

**Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy
Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno
Česká bioklimatologická společnost
Slovenská bioklimatologická společnost
Mendelova univerzita v Brně
Výzkumný ústav rostlinné výroby
Český výbor ICID
Asociace pro vodu v krajině ČR – Technologická platforma pro udržitelné
vodní zdroje
ve spolupráci s Centrem OSN v České republice
a partnerem konference RENOMIA a.s.**

PŮDNÍ A ZEMĚDĚLSKÉ SUCHO

Sborník příspěvků z mezinárodní konference

Kutná Hora 28.–29. duben 2016



ISBN 978-80-87361-55-9

© VÚMOP, J. Rožnovský, J. Vopravil (eds)

OBSAH

Perspektíva udržateľného využívania závlah s ohľadom na hydrologický vývoj zdrojov vody v povodiach slovenska	8
Ing. Štefan Adam, doc. RNDr. Štefan Reháč, PhD., Ing. Ľubica Kopčová, PhD.	
Vliv organické hmoty v půdě na její retenční schopnost	26
Barbora Badalíková, Jaroslava Novotná	
Monitoring zemědělského sucha a jeho uživatelé a zpravodajové	34
Lenka Bartošová ^{1,2} , Miroslav Trnka ¹ , Daniela Semerádová ^{1,2} , Petr Hlavinka ^{1,2} , Petr Štěpánek ^{1,3} , Pavel Zahradníček ^{1,3} , Zdeněk Žalud ²	
Závlahy versus sucho a nedostatek vody pohledem správce povodí	41
Kateřina Čudková	
Půdní a zemědělské sucho: role půdních organismů	53
Dana Elhottová	
Zemědělské sucho – krajina jako základ řešení	60
Josef Fanta	
Zemědělské sucho na území České republiky v roce 2015.....	66
Rostislav Fiala ¹ , Mojmír Kohut ¹ , Filip Chuchma ¹ , Jaroslav Rožnovský ^{1,2} ,	
Identifikácia pôdneho sucha v podmienkach ťažkých pôd	82
Milan Gomboš	
Citlivost empirického modelu obsahu dostupné vody v kořenové zóně plodin na změnu vybraných vstupní údajů	90
Jan Haberle, Pavel Svoboda, Gabriela Kurešová	
Vliv vysokých teplot a různých vodních režimů na tvorbu nadzemní biomasy vybraných odrůd pšenice ozimé.....	96
Marcela Hlaváčová ^{1,2} , Karel Klem ^{1,2} , Petr Hlavinka ^{1,2} , Miroslav Trnka ^{1,2}	
Dálkový průzkum Země jako podpůrný nástroj při posuzování zemědělského sucha	109
Petr Hlavinka ^{1,2} , Daniela Semerádová ^{1,2} , Jan Balek ^{1,2} , Zdeněk Žalud ^{1,2} , Tsegay Tadesse ³ , Michael Hayes ³ , Brian Wardlow ⁴ , Miroslav Trnka ^{1,2}	
Zhodnocení vlivu ročníku na zaplevelení monokultury kukuřice seté	122
Světlana Chovancová ¹ , František Illek ² , Jan Winkler ¹	
Mapování sucha a odhad výnosů polních plodin pomocí indexu ESI	130
František Jurečka ^{1,2} , Martha C. Anderson ³ , Petr Hlavinka ^{1,2} , Christopher R. Hain ⁴ , Wayne Dulaney ³ , Feng Gao ³ , David M. Johnson ⁵ , Jason Otkin ⁶ , Zdenek Zalud ^{1,2} , Miroslav Trnka ^{1,2}	
Aplikácia vybraných hydrometeorologických indexov pre identifikáciu extrémnych vegetačných období.....	140
Branislav Kandra ¹ , Danka Pavelková ²	
Výnos českých odrůd vojtěšky seté ve vztahu k počasí a lokalitě	149
¹ Daniela Knotová, ² Jan Pelikán	

Výpar z vodní hladiny	156
Grażyna Knozová ¹ , Mojmír Kohut ¹ , Jaroslav Rožnovský ^{1,2} , Jáchym Brzezina ¹	
Geografické sucho - jiný pohled na problematiku a její aplikaci v praxi	165
Jaromír Kolejka ¹ , Kateřina Batelková ² , Aleš Ruda ³	
Vplyv výskytu sucha na výnosy poľnohospodárskych plodín na Podunajskej nížine	178
Lívia Labudová ^{1,2} , Martin Labuda ¹ , Jozef Takáč ³	
Nový monitoring sucha na Slovensku	190
Lívia Labudová ^{1,2} , Maroš Turňa ¹ , Pavel Šťastný ¹	
Výnosy a kvalita jetelovino travních směsí pěstovaných na orné půdě ve srážkově rozdílných letech	201
Jaroslav Lang	
Potenciálna a aktuálna evapotranspirácia na Slovensku v období 1951-2015 a scenáre možného vývoja do roku 2100	210
Milan Lapin ¹ , Ingrid Damborská ¹ , Martin Gera ¹ , Ján Hrvol ¹ , Marián Melo ¹	
Citlivosť rastu štyroch druhov ihličnatých drevín na sucho	226
Adriana Leštianska, Katarína Merganičová, Katarína Střelcová	
Nový přístup k vyhodnocení vlhkostně - teplotních podmínek při pěstování brambor	242
Tomáš Litschmann ¹ , Petr Doležal ² , Ervín Hausvater ²	
Odhad výnosů zemědělských plodin na základě družicového monitoringu	257
Vojtěch Lukáš ¹ , Miroslav Trnka ^{1,2} , Daniela Semerádová ^{1,2} , Kamil Rajdl ² , Jan Balek ^{1,2} , Petr Štěpánek ^{2,3} , Pavel Zahradníček ^{2,3} , Petr Hlavinka ^{1,2} , Zdeněk Žalud ^{1,2}	
Vliv sucha na výskyt některých chorob a škůdců vybraných polních plodin a trvalých kultur	267
František Muška ¹ , Lukáš Rudolfský ² , Lubomír Lampír ³ , Simona Kratochvílová ⁴ , Radomil Měřínský ⁴ , Antonín Muška mladší ¹ , Anna Mušková ¹	
Kvantitatívne vyjadrenie fyziologického sucha a jeho priebehu počas vegetačného obdobia	281
Viliam Novák ¹ , Marek Rodný ²	
Obsah vody v půdě při úhorovém hospodaření	292
Jaroslava Novotná, Barbora Badalíková	
Podpora závlahového hospodářství prostřednictvím aplikace GIS pro hydromeliorační opatření	298
Igor Pelíšek, Zbyněk Kulhavý, Vladimír Papaj	
Úloha vegetace v distribuci sluneční energie a oběhu vody - dokážeme zabránit vysychání kulturní krajiny?	308
Jan Pokorný, Hanna Huryna, Petra Hesslerová, Vladimír Jirka	
Suchovzdornost, růst a vývoj pšenice	325
Ilja Tom Prášil ¹ , Jana Musilová ¹ , Eva Vlasáková ¹ , Milan Oldřich Urban ¹ , Klára Kosová ¹ , Pavel Vítámvás ¹ , Kateřina Pánková ¹ , Ondřej Veškrna ² , Pavel Horčíčka ²	

Retrospektivní analýza výnosů pšenice seté v podmínkách klimatu ČR.....	337
Petra Procházková ¹ , Jana Klimešová ¹ , Filip Chuchma ² , Tomáš Středa ^{1,2}	
Využití indexu sucha při modelování dynamiky zásob vody v půdě.....	346
Marek Rodný ¹	
Erozní charakteristiky půd při proměnlivých počátečních podmínkách experimentálního vzorku.....	364
Pavla Schwarzová ¹ Tomáš Laburda ¹ , Adam Tejk ¹ , Ondřej Pavlík ¹	
Hydrologické sucho v podzemních vodách	378
Eva Soukalová	
Retrospektivní analýza fenologických fází pšenice ozimé (<i>Triticum aestivum</i> L.) v podmínkách klimatu České republiky.....	391
Eva Stehnová ¹ , Hana Středová ¹ , Jaroslav Rožnovský ^{1,2}	
Vliv pojezdu traktoru na fyzikální vlastnosti půdy	401
Ing. Martin Svoboda, doc. Ing. Jan Červinka, CSc.	
Hodnocení změn poměru uhlíku a dusíku v půdě.....	410
Ivana Šindelková, Barbora Badalíková, Jaroslava Novotná	
Vplyv suchého a vlhkého vegetačního obdobia na nástup vybraných fenofáz lesných drevín	420
Jana Škvareninová ¹ , Katarína Koristeková ³ , Helena Hlavatá ⁴ , Miriam Váľková ² , Jaroslav Škvarenina ²	
Ekonomické souvislosti dopadů klimatické změny	428
Marie Trantinová ¹	
Zlepšování základních půdních vlastností a eliminace dopadů sucha na výši produkce plodin pomocí aplikace půdních aktivátorů	443
František Václavík, Barbora Badalíková, Jaroslava Novotná	
Vplyv vodnej bilancie na abundanciu segetálnej vegetácie	465
Miriam Váľková ¹ , Jaroslav Škvarenina ² , Jana Škvareninová ³ , Katarína Koristeková ⁴ , Lenka Slobodníková ⁵ , Helena Hlavatá ⁶	
Sucho v souvislostech	477
Jan Vopravil, Tomáš Khel, Marek Batysta, Petra Huislová, Michaela Hrabalíková, Martin Petera, Jan Srbek, Štěpánka Matoušková	
Problematika změn klimatu v severních Čechách a jejich řešení	485
Jaroslava Vráblíková, Petr Vráblík, Eliška Habásková	
Osivové směsi pro ozeleňování aridních oblastí.....	500
Tomáš Vymyslický	
Vliv změny klimatu na vodní bilanci v povodích Jihomoravského kraje.....	511
Petr Vyskoč ¹ , Adam Vizina ¹ , Martin Hanel ¹	
Vztah dešťových srážek a zaplevelení ozimé pšenice v podmínkách odlišných osevních postupů.....	526

Jan Winkler ¹ , Helena Hanusová ¹ , Alexandr Neischl ¹ , Pavel Hledík ² , Vztah dešťových srážek a zaplevelení jarního ječmene v podmínkách odlišných osevních postupů	539
Jan Winkler ¹ , Světlana Chovancová ¹ , Alexandr Neischl ¹ , Pavel Hledík ² , Projevy změny klimatu na území České republiky	554
Pavel Zahradníček ^{1,2} , Petr Štěpánek ^{1,2} , Mirek Trnka ¹ , Aleš Farda ¹ Hodnocení dopadů sucha na kukuřici a trvalé travní porosty v roce 2015	567
Zdeněk Žalud ^{1,2} , Daniela Semerádová ^{1,2} , Jan Klír ³ , Pavel Čermák ³ , Radko Loučka ⁴ , Petr Hlavinka ^{1,2} , Lenka Bartošová ^{1,2} , Jan Balek ^{1,2} , Miroslav Trnka ^{1,2}	

Úvodem

Problematika výskytu vody, respektive jejího nedostatku v naší krajině byla náplní několika konferencí v posledních letech, které organizovala Česká bioklimatologická společnost ve spolupráci s dalšími institucemi. Vývoj našeho podnebí a vysoká pravděpodobnost výstupů z klimatologických modelů byly pro tyto aktivity vodítkem, a to přesto, že se nedařilo o závažnosti těchto poznatků přesvědčit odpovědné instituce či osoby. Pomineme-li výskyty sucha před mnoha desetiletími, až mimořádné sucho roku 2015 se stalo předmětem zájmu naší vlády a uvítali jsme její Usnesení č. 620, které vymezilo důležité okruhy pro řešení vlivů sucha. Jak je tomu u každého přírodního extrému, nelze jej řešit samostatně, bez vazeb na další přírodní procesy. Tedy lze, ale výsledek je dosti hubený, ne-li žádný.

Nebude-li řešeno sucho jako komplexní přírodní proces, tedy jako extrém v rámci fázi v oběhu vody v krajině, nebudou dosaženy potřebné výsledky a naopak může dojít k neefektivním investicím. Stále častější výskyty sucha na našem území mohou způsobit až nedostatek vody pro hospodářství nebo dokonce zásobování obyvatel. S tímto možným a velmi nebezpečným stavem kalkuluje výběr environmentálních bezpečnostních rizik.

Co bychom měli dělat proto, aby se negativní dopady sucha projevovaly co nejméně? Musíme vycházet z našich přírodních podmínek, tedy znát a neustále poznávat naše podnebí, uvědomovat si, že neumíme zvýšit náš jediný zdroj vody, tedy srážky. A současně také to, že svými přístupy v krajině ovlivňujeme další fáze vody, to, co někdy jednoslovně nazýváme distribuce vody. Jak postupovat by měli naznačit odborníci na přírodní procesy, tedy meteorologové, pedologové, geologové, hydrologové apod. Z jejich výsledků musí vycházet zemědělství, které však má jako základní cíl finanční úspěšnost. Přitom má rozhodující vliv na retenční kapacitu naší krajiny, protože jeho činností se mění vlastnosti půd v negativním směru. Obdobně musí z vědeckých výsledků vycházet vodní hospodářství a další obory. Když jsme na závěr naší poslední konference věnované závlahám konstatovali, že je nutné jim věnovat větší pozornost, neuvědomovali jsme si, že závlahy musí též vycházet z dostupného množství vody. Udeří-li v nejbližších letech mimořádná sucho, nemusí být vybudované závlahové systémy za dotační finance pomoci, protože se nepamatovalo na dostatečné zdroje vody. I když není jednoduché předpovídat výskyt sucha a jeho intenzitu, odhady svědčí o možném nárůstu.

Věřím, že poznatky v oblasti půdního a zemědělského sucha uvedené na této konferenci budou pro vhodné řešení využitelné.

Perspektíva udržateľného využívania závlah s ohľadom na hydrologický vývoj zdrojov vody v povodiach slovenska

Perspective of Sustainable Irrigation Use with Respect to Hydrological
Development of Water Resources in Slovak River Basins

Ing. Štefan Adam, doc. RNDr. Štefan Reháč, PhD., Ing. Ľubica Kopčová, PhD.

Ministerstvo zahraničných vecí SR, Výskumný ústav vodného hospodárstva

Abstrakt

Na základe klimatických scenárov a výstupov modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry sa reálne predpokladá mimoriadny nárast vysokých zrážkových úhrnov a nárast počtu dní bez zrážok. Tieto skutočnosti budú vplyvať na stabilitu poľnohospodárskej výroby prednostne v nížinných oblastiach. Zvýšila sa výmera oblastí s deficitom vody a došlo k nárastu vlhovej potreby plodín. Zároveň sa však znižujú disponibilné zdroje vody pre závlahy, čo bude limitovať ich rozvoj. Oblasť s deficitom vody, respektíve s potrebou závlah, boli vyčlenené na základe pomeru aktuálnej evapotranspirácie a potenciálnej evapotranspirácie ET_a/ET_0 . Vlhová potreba plodín bola vypočítaná s využitím modelu Daisy. Disponibilné zdroje závlahovej vody boli vyhodnotené s využitím hydrologickej bilancie podľa scenárov CCCM pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075.

Kľúčové slová: evapotranspirácia, vlhová potreba plodín, vodný deficit, disponibilné zdroje vody

Abstract

According to climate scenarios and outputs of models of general circulation of atmosphere there is expected extraordinary increase of high precipitation totals as well as increase of number of days without precipitation. These facts will impact the stability of agricultural production, especially in lowland areas. The area of land with water deficit increased and the moisture demand of crops also increased. However, the disposable resources of irrigation water decrease. This will limit the development of irrigation. The areas with water deficit were determined according to the ratio of actual and potential evapotranspiration ET_a/ET_0 . The irrigation demand of crops was calculated with the help of model Daisy. Disposable resources of irrigation water were evaluated with the help of hydrological balance according to scenarios CCCM for time horizons 2010, 2030 a 2075.

Key words: evapotranspiration, moisture demand of crops, water deficit , disposable water resources

Úvod

Nevyhnutným predpokladom úspešného hospodárenia na pôde je potrebné množstvo vody v pôde a jej správne rozdelenie v priebehu vegetačného obdobia. Závlahy, tým že optimalizujú vlhkosť režim pôdy z hľadiska požiadaviek rastlín, sú významnou zložkou výrobných-pestovateľských technológií poľných plodín, produkcie zeleniny a ovocia. Rozvoj závlah úzko súvisí s úspešným hospodárením na pôde a s prosperitou vidieka. Popri priamych ekonomických a spoločensko-sociálnych vplyvoch majú závlahy značný význam pri ochrane a tvorbe životného prostredia. Analýzy ukazujú, že viaceré povodia v blízkej budúcnosti budú mať napätú hydrologickú bilanciu a niektoré dokonca až pasívnu hydrologickú bilanciu, čo bude limitovať odber vody pre poľnohospodárstvo vrátane odberov vody na závlahy.

Materiál a metódy

Po roku 1987 sa priemery teploty vzduchu výrazne zvýšili aj v strednej Európe a rekordy najvyššej teploty od začiatku pozorovaní na jednotlivých staniciach sa vyskytujú asi 5-krát častejšie ako rekordy najnižšej teploty (Lapin et al, 2003, 2012).

Ak aplikujeme na prípravu scenárov mimoriadnych epizód počasia výstupy modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry, tak môžeme reálne predpokladať rast mimoriadne vysokých úhrnov zrážok a rast počtu dní so suchom do roku 2100 až o 50 % v porovnaní s podobnými mimoriadnymi epizódami v minulosti. Je zrejmé, že problémy so suchom budú významnejšie na juhu Slovenska (Hrvoľ et al., 2001).

Vysoká intenzita poľnohospodárskej výroby v nížinných oblastiach, ktorá je tu podmienená vysokým slnečným žiarením, prirodzenou úrodnosťou pôdy, však vyžaduje aj tomu zodpovedajúcu úroveň vstupov a ďalších produkčných faktorov (hnojív, pesticídov, vysoko výkonných osív). V nížinných oblastiach, z dôvodu predpokladu opakovania suchých vegetačných období s trvalým charakterom, sa pestovanie hlavných plodín nezaobíde bez závlah, ktoré spolu s inými opatreniami a závlahovou vodou zaručia optimálny produkčný efekt.

Voda je významným faktorom produkčného procesu, ktorý dokážeme v poľnohospodárskej sústave efektívne regulovať vo výrobných oblastiach, ktoré sú vlhkosťne deficitné počas celého vegetačného obdobia. Voda ako bezalternatívny produkčný faktor výrazne ovplyvňuje stabilitu a produkciu agroekosystémov v poľnohospodársky výrobných oblastiach (PVO).

Oblasti s deficitom pôdnej vody v rizosfére počas vegetačného obdobia sú tzv. **hlavné závlahové oblasti Slovenska**, v ktorých je potrebné dnes, alebo v blízkej budúcnosti regulovať obsah vody v pôde, pokiaľ chceme zachovať v týchto oblastiach poľnohospodársku výrobu. Hlavné závlahové oblasti sú v priamom vzťahu s poľnohospodárskymi výrobnými oblasťami v rámci povodí Slovenska. Konfrontáciou nárokov plodín na prírodné podmienky s údajmi uloženými v bonitačnom informačnom systéme (BIS), boli prírodné podmienky SR podľa kódu BPEJ rozčlenené do poľnohospodárskych výrobných oblastí (PVO) (Buday, Vilček, 2013).

Vyčlenenie závlahových oblastí bolo vykonané na základe klimatických regiónov a pôdnych parametrov poľnohospodárskych výrobných oblastí, avšak ako determinujúce kritérium bola zvolená evapotranspirácia, resp. pomer aktuálnej a potenciálnej evapotranspirácie za reprezentatívne obdobie, tzv. relatívna evapotranspirácia (ETa/ETp).

Rozloženie relatívnej evapotranspirácie na území Slovenska

Efektívnosť atmosférických zrážok, ktoré sú prirodzeným zdrojom zásob vody v pôde, závisí od ich množstva a rozloženia počas roka ako aj podmienok evapotranspirácie. Viacerí odborníci ukázali, že pri optimálnych podmienkach rastu poľných plodín sa úhrny aktuálnej evapotranspirácie len málo líšia od potenciálnej evapotranspirácie, t. j. maximálne možnej evapotranspirácie v daných klimatických podmienkach, ak povrchová koreňová vrstva pôdy obsahuje dostatok vody pre normálny rast poľných plodín (Rehák 1994; Šútor et al. 2010).

V súlade s metódou, ktorú navrhli M. I. Budyko a L. I. Zubenokova (1961), aktuálna evapotranspirácia E je daná vzťahom:

$$E = E_0 \cdot \frac{W}{W_0} \quad (1)$$

kde E_0 je potenciálna evapotranspirácia, W je vlhkosť pôdy za uvažovaný časový interval a **W_0 je optimálna vlhkosť pôdy zabezpečujúca normálny rast poľných plodín.**

Vychádzajúc z rovnice turbulentného prenosu vodnej pary od vyparujúceho povrchu do atmosféry, pre stanovenie úhrnov potenciálnej evapotranspirácie bol použitý vzťah:

$$E_0 = \rho D (q_s - q_2), \quad (2)$$

kde ρ je hustota vzduchu, D – integrálny koeficient vonkajšej difúzie (v zime $D = 0,30 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ a v lete $D = 0,6 - 0,7 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$), q_s je merná vlhkosť vzduchu nasýteného vodnou parou pri

teplote vyparujúceho sa povrchu a q_2 je merná vlhkosť vzduchu vo výške 2 m nad povrchom (v meteorologickej búde).

Ak údaje o teplote vyparujúceho povrchu chýbajú, potom q_s sa určuje metódou matematického modelovania z rovnice energetickej bilancie povrchu. Priemernú vlhkosť pôdy:

$$W = \frac{W_1 + W_2}{2} \quad (3)$$

určujeme z rovnice vodnej bilancie metódou postupných priblížení (W_1 je vlhkosť pôdy na začiatku a W_2 na konci zvoleného časového intervalu, za ktorý počítame W).

Hodnoty optimálnej vlhkosti pôdy (W_o) pre najvyššiu jeden meter hrubú vrstvu pôdy sa menia od 100 do 200 mm v závislosti od klimatických pomerov a ročného obdobia. V ročnom chode pozorujeme pokles W_o od jari k letu a jej rast na jeseň, čo súvisí s vývojom koreňového systému počas roka, ktorým plodiny čerpajú vodu z väčších hĺbok pôdy (Budyko 1974; Budyko, Zubenok 1961).

Z rovnice (1) je zrejmé, že $W < W_o$ pomer

$$\frac{E}{E_o} = \frac{W}{W_o}$$

t.j. $\frac{E}{E_o}$ je funkciou vlhkosti pôdy (4)

Relatívna evapotranspirácia $\frac{E}{E_o}$ a tiež evapotranspiračný deficit ($E_o - E$) umožňujú

kvantifikovať nedostatok vody v pôde pre optimálny rast plodín, t. j. dovoľujú stanoviť množstvo vody potrebnej na závlahy.

Podkladom pre vyhodnotenie relatívnej evapotranspirácie na území Slovenska bol modelový výpočet mesačných úhrnov potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie za vegetačné obdobie na 32 meteorologických staniách za obdobie 1981 až 2010. Ako doplňujúce údaje boli použité ročné hodnoty E/E_o za obdobie 1951 až 1980 na 54 staniách.

Výpočet mesačných úhrnov E a E_o bol robený aplikáciou metódy založenej na spoločnom riešení rovníc energetickej a vodnej bilancie povrchu. Matematický model bol rozpracovaný na Katedre meteorológie a klimatológie Matematicko-fyzikálnej fakulty UK v Bratislave.

V priemere najmenšie ročné hodnoty E/E_0 za obdobie 1981 až 2010 boli zaznamenané na Podunajskej nížine ($E/E_0 < 60 \%$), t. j. v našej najteplejšej a na atmosférické zrážky najchudobnejšej oblasti. Západná časť Záhorskej nížiny, južné Slovensko a južná časť Východoslovenskej nížiny sú v priemere za rok charakterizované relatívnou evapotranspiráciou menšou ako 65 %. V južnej časti Košickej kotliny, na juhozápadnom Slovensku, na východnej časti Záhorskej nížiny, na Považí južne od Trenčína, na strednom Ponitří, v strednej časti Východoslovenskej nížiny na juh od Michaloviec a v juhovýchodnej časti Zvolenskej kotliny je priemerná ročná hodnota E/E_0 menšia ako 70 %. Na severe Slovenska a hlavne v horských oblastiach pozorujeme dostatok zrážok počas celého roka, a preto ročné hodnoty relatívnej evapotranspirácie sú tu väčšie ako 90 % .

Tab. 1 Závlahové oblasti Slovenska s reprezentatívnymi meteorologickými stanicami
(Alena et al. 2005; Rehák et al. in press)

Oblasť	Názov	Stanica
I.	Podunajská nížina – Juh	Hurbanovo, Žihárec
II.	Podunajská nížina – Sever Časť Hornonitrianskej kotliny	Bratislava – letisko, Jaslovské Bohunice, Piešťany , Nitra, Prievidza
III.	Záhorská nížina	Malacky, Myjava
IV.	Juhoslovenské kotliny	Boľkovce, Rimavská Sobota,
V.	Východoslovenská nížina	Michalovce, Somotor, Čaklov
VI.	Košická kotlina	Košice, Moldava n. Bodvou

Tab. 2 Výmery vlahovo deficitných oblastí – závlahových oblastí
(Alena et al. 2005; Rehák et al. in press)

P. č.	Názov oblasti	Plocha oblasti (ha)	% podiel na celkovej ploche PPF v SR
1.	Podunajská nížina - juh	527 362,59	21,87
2.	Podunajská nížina - sever a časť Hornonitrianskej kotliny	485 987,64	20,16
3.	Záhorská nížina a Myjavská pahorkatina	191 979,26	7,96
4.	Juhoslovenské kotliny	192 598,86	7,99
5.	Východoslovenská nížina	246 108,42	10,21
6.	Košická kotlina	122 767,98	5,09
SPOLU		1 766 804,75	73,29
Celková výmera PPF v SR		2 410 812	

Oblasť I. Podunajská nížina – Juh je ohraničená *izočiarou relatívnej evapotranspirácie 0,6*. Je to najsuchšia oblasť na Slovensku s najväčšou intenzitou poľnohospodárskej výroby.

Oblasť II. Podunajská nížina – Sever sa rozprestiera medzi Bratislavou a Šahami na území medzi *izočiarami relatívnej evapotranspirácie 0,6 až 0,7*. Je to mierne suchá oblasť, v ktorej by mali v budúcnosti prevládať v štruktúre plodín husto siate obilniny.

Oblasť III. Záhorská nížina predstavuje mierne suchú oblasť ohraničenú *izočiarou relatívnej evapotranspirácie 0,7* a hraničnou riekou Morava.

Oblasť IV. Juhoslovenskej kotliny je mierne suchá oblasť ohraničená *izočiarou relatívnej evapotranspirácie 0,7*, od Šiah po Lenártovce a hranicou s Maďarskom.

Oblasť V. Východoslovenská nížina zaberá mierne suchú oblasť ohraničenú *izočiarou relatívnej evapotranspirácie 0,7* a hranicami s Maďarskom a Ukrajinou.

Oblasť VI. Košická kotlina tvorí významnú oblasť pre pestovanie ovocia a zeleniny pre mestské obyvateľstvo, preto v tejto oblasti je potenciál pre rozvoj závlah – mikrozávlah.

Uvedené nížinné oblasti Slovenska sú charakteristické ročnými zrážkovými úhrnmi nižšími ako sú ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie (ET_c).

Zvyšovanie rozdielov medzi zrážkovými úhrnmi a úhrnmi potenciálnej evapotranspirácie zvyšuje citlivosť územia na suchu. Pri zložitých pôdnych podmienkach to znamená značnú závislosť zložiek vodnej bilancie územia od prejavov klimatickej zmeny. Tvorba sucha je doménou bez zrážkového obdobia. Jeho parametrizácia, t. j. frekvencia výskytu a dĺžka trvania, je kľúčom ku kvantifikácii pôdneho sucha počas hydrologického roka vo výrobných oblastiach. Ak sa časový interval medzi zrážkami zvýši na čas, počas ktorého zásoba vody v zóne aerácie pôdy klesne vplyvom evapotranspirácie porastu až na hodnotu odpovedajúcu bodu vädnutia, začína pôdne suchu. Podľa spracovaných výsledkov najviac BZO celkovo sa vyskytlo v rokoch 1990 a 1996, najviac BZO nad 20 dní v rokoch 1989 a 1991. Taktiež možno konštatovať, že najväčšia bola suma dní bez zrážkových períód v rokoch 1991 (180 dní) a 1990, najvyššia suma 20 a viac dňových períód bez zrážok sa vyskytla v rokoch 1991 (127 dní) a 1989. Dve najdlhšie períódy bez zrážok sa vyskytli v rokoch 1989 a 1991. Prvá v trvaní 40 dní (od 9.1. do 17.2.), druhá 44-dňová (11.2. - 22.3).

Na základe predložených výsledkov (Šútor a kol., 2007) možno konštatovať, že v procese retrospektívneho sledovania a hodnotenia BZO má počas vegetačného obdobia na vznik pôdneho sucha v poľnohospodárskych výrobných oblastiach dominantný vplyv výskyt extrémnych bez zrážkových časových períód. ***BZO sú významným fenoménom klimatickej zmeny.*** Z výsledkov vidieť, že nie je možné nájsť nejaký pravidelný výskyt BZO. Majú stochastický charakter.

V Európe, s ohľadom na klimatický vývoj, sa závlahy prestávajú posudzovať a navrhovať ako intenzifikačný faktor poľnohospodárskej produkcie, ale ako jej stabilizačný faktor udržateľného rozvoja poľnohospodárstva.

Podľa predpokladov, rozšírenie závlahových sústav v hlavných závlahových oblastiach bude jedným z hlavných adaptačných opatrení na zmiernenie negatívnych dôsledkov meniacej sa klímy.

Tab. 3 Súčasný stav a predpokladaný rozvoj závlah na území Slovenska do roku 2075

Závlahová oblasť	Výmera závlah (tis. ha)			
	2005	2010	2030	2075
I.	177	160	255	325
II.	76	60	70	75
III.	22	15	25	35
IV.	18	8	25	35
V.	27	7	25	30
VI.	1	0	0	0
Spolu	321	250	400	500

Rozšírenie závlah na takmer 500 tis. ha bude vytvárať veľký tlak na vhodné vodné zdroje. Do časového horizontu roku 2075 sa predpokladá nárast celkovej potreby vody pre závlahy o 115 % a jej spotreba na úroveň cca 75 %.

Prognóza potreby závlahovej vody podľa scenárov klimatickej zmeny pre časové obdobie rokov 2010, 2030 a 2075

Prognóza potreby závlahovej vody je spracovaná pre jednotlivé oblasti hlavných závlahových oblastí Slovenska, priemerných simulovaných množstiev potreby závlahovej vody, prognózových stavov výmer závlah pre tieto oblasti a časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075.

Tab. 4 Prognóza potreby závlahovej vody podľa scenára CCCM

(Takáč in Alena et al. 2005)

Oblasť	Horizont 2010			Horizont 2030			Horizont 2075		
	m ³ .ha ⁻¹	tis. ha	mil. m ³	m ³ .ha ⁻¹	tis. ha	mil. m ³	m ³ .ha ⁻¹	tis. ha	mil. m ³
I.	1 380	160	220,8	1 400	255	357,0	1 480	325	481,0
II.	1 000	60	60,0	990	70	69,3	1 050	75	78,75
III.	900	15	13,5	950	25	23,75	1 030	35	25,75
IV.	1 090	8	8,75	1 130	25	28,25	1 320	35	46,2

Oblasť	Horizont 2010			Horizont 2030			Horizont 2075		
	m ³ .ha ⁻¹	tis. ha	mil. m ³	m ³ .ha ⁻¹	tis. ha	mil. m ³	m ³ .ha ⁻¹	tis. ha	mil. m ³
V.	1 020	7	7,15	1 040	25	26,0	1 210	30	36,3
VI.	400	0	0	430	0	0	430	0	0
Spolu	Ø 1 240	250	310,2	Ø 1 240	400	504,3	Ø 1 336	500	668,0

Tab. 5 Prognóza potreby závlahovej vody podľa scenára GISS
(Takáč in Alena et al. 2005)

Oblasť	Horizont 2010			Horizont 2030			Horizont 2075		
	m ³ .ha ⁻¹	tis. ha	mil. m ³	m ³ .ha ⁻¹	tis. ha	mil. m ³	m ³ .ha ⁻¹	tis. ha	mil. m ³
I.	1 390	160	222,4	1 420	255	362,1	1 450	325	481,0
II.	1 000	60	60,0	1 050	70	73,5	1 050	75	78,75
III.	870	15	13,0	890	25	22,25	1 030	35	25,75
IV.	1 100	8	8,8	1 120	25	28,0	1 320	35	46,2
V.	990	7	6,9	1 000	25	20,0	1 210	30	36,3
VI.	390	0	0	390	0	0	430	0	0
Spolu	Ø 1 245	250	311,1	Ø 1 265	400	505,85	Ø 1 325	500	662,5

Ako je z uvedených tabuliek zrejmé, medzi scenármi CCCM a GISS nie sú výrazné rozdiely v celkovej potrebe závlahovej vody v jednotlivých oblastiach a časových horizontoch. V priebehu cca 60 rokov by mala celková potreba závlahovej vody vzrásť o cca 115 %, čo bude spôsobené nárastom deficitu potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie a výmery potrebných závlah, ktorá by sa mala zvýšiť o cca 100 % v porovnaní k súčasnému stavu, resp. roku 2010.

Nárast celkovej potreby vody pre závlahy bude možné riešiť zavádzaním nových spôsobov zavlažovania, s dôrazom na efektívnosť zavlažovania a šetrenia vody. Avšak aj napriek technickému pokroku v závlahách je pravdepodobné, že potreby vody poľných plodín budú uspokojené len čiastočne.

Vodné zdroje pre závlahy

Povrchové vodné zdroje

Jediným zdrojom vody našich autochtónnych tokov (t. j. tokov prameniacych a tečúcich na našom území) sú zrážky. Priemerný ročný zrážkový úhrn za obdobie 1931 – 1980 bol 753 mm, čo na ploche územia Slovenska $49\,034,55\text{ km}^2$ predstavuje $36,924\text{ km}^3$ vody. Z uvedeného priemeru pripadá na zimný polrok (október až marec) 306 mm a na letný polrok (apríl – september) 447 mm. Časť zrážok, ktorá sa v dlhodobom priemere dostáva do odtoku vodnými tokmi predstavuje na Slovensku 35 %.

Potenciálne možnosti využitia povrchových vodných zdrojov pre závlahy najlepšie vystihuje dlhodobý priemerný ročný prietok. Z územia Slovenska priemerne odteká $405\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, čo v ročnom objeme činí $12,781\text{ km}^3$. V prepočte na odtokovú výšku je to 261 mm a špecifický odtok $8,26\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$. Kapacita povrchových vodných zdrojov v suchom období predstavuje $90,3\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Po odčítaní prietokov vody, ktoré sa musia ponechať v koryte z ekologického hľadiska, zostáva (bez Dunaja, Moravy a Tisy) na využívanie $36,4\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

Najväčším zdrojom povrchovej vody Slovenska sú alochtónne rieky, pritekajúce na naše územie z okolitých krajín. Najvýznamnejšou z nich je Dunaj. Pri započítaní všetkých povrchových vodných zdrojov dostaneme priemerný prietok $2\,963\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, to znamená že samotné územie Slovenska sa na celom odtoku podieľa len 13,7 %. Podstatná časť priteká zo susedných štátov (hlavne Dunajom, Moravou, Uhom, Latoricou, Tisou, prítokmi Ipľa). Maximálne prietoky sa vyskytujú pravidelne v mesiacoch marec, apríl (na Dunaji, Poprade a Dunajci je ich výskyt o 2 – 3 mesiace neskôr), minimálne prietoky sú koncom leta, na jeseň a v zime. Najvyrovnanjší prietokový režim má Dunaj, mohutný a pohotový vodný zdroj, ktorého dlhodobý priemerný prietok vo výustnom profile z nášho územia je $2\,348\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Z vodohospodárskeho hľadiska je veľmi nepriaznivá veľká rozkolísanosť prietokov väčšiny ostatných našich tokov (Kalúz, Rehák 2007, 2010)

Podpovrchové vodné zdroje

Termín „podpovrchová voda“ sa používa na súborné označenie pre pôdnu vodu a podzemnú vodu podľa STN 73 6511.

Pri posudzovaní využiteľných zdrojov podzemných vôd pre závlahy je základným problémom kvalitatívne zhodnotenie prírodných podzemných vôd, z ktorého sa vychádza pri stanovení využiteľných zásob. V kvartérnych a v mezozoických štruktúrach je dokumentovaných až vyše 80 % všetkých využiteľných zásob Slovenska.

Celkové využiteľné množstvo podzemných vôd Slovenska predstavuje sumár zdrojov schválených Komisiou pre klasifikáciu využiteľných množstiev podzemných vôd

(KKMPzV) a množstiev neschválených KKMPzV, stanovených na základe dokumentovaných množstiev z hydrogeologických výskumov a prieskumov.

Základnou hodnotenou jednotkou vodohospodárskej bilancie podzemných vôd Slovenska je hydrogeologický rajón s jeho následným detailným členením na subrajóny a čiastkové rajóny. Hydrogeologický rajón je hydrogeologicky jednotné územie s podrobnými hydrogeologickými vlastnosťami, typom zvodnenia a obehom podzemnej vody. Podľa súčasnej hydrogeologickej rajonizácie je územie Slovenska rozdelené na 141 hydrogeologických rajónov (1995). V r. 2004 bolo v rámci Slovenska vyčlenených 101 útvarov podzemných vôd. Celková kapacita podzemných vodných zdrojov (2004) bola ocenená na $146,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Využiteľné zásoby tvorí $76,541 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Malé podzemné vodné zdroje

Za malé podzemné vodné zdroje sa považujú podzemné zdroje vôd, pramene a vrty s výdatnosťou od $0,2$ do $2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$, môžu byť zaujímavým zdrojom pre vodárenské využitie. Na území Slovenska je viac ako 6 641 malých vodných zdrojov (MVZ), ktoré predstavujú celkovo $29 286 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ využiteľného množstva podzemných vôd na rôznej úrovni preskúmanosti.

Štrkoviská predstavujú odkrytú podzemnú vodu v dôsledku ťažby štrkov a pieskov, predovšetkým na stavebné účely.

Tieto vodné plochy sa zvyčajne nedostatočne rekultivujú a preto nie vždy prispievajú k celkovému vzhľadu okolia. Poskytujú možnosti ich využitia pre rekreačné, estetické, poľnohospodárske a iné účely a pritom vytvárajú ekostabilizačné prvky širšieho okolitého prostredia. Kvantitatívne (hydrologické a hydraulické) parametre režimu týchto vôd podporujú ich zaradenie medzi podzemné vodné zdroje, avšak ich špecifické podmienky môžu viesť k tomu, že chemický a hydrobiologický režim ich môže radiť k vodám charakteru povrchových vôd, využitelných ako zdroje vody pre závlahy.

Malé vodné nádrže

Malé vodné nádrže (MVN) sú súčasťou poľnohospodárskej krajiny. Na území Slovenska evidujeme 200 malých vodných nádrží, ktoré boli vybudované pre účely závlah.

Zachytávajú a akumulujú vodu, čím slúžia predovšetkým pre zásobné účely. Existujúce nádrže sa navrhovali kvôli zabezpečeniu zdroja vody pre závlahy v oblastiach, v ktorých je riedka hydrografická sieť a zásoby podzemnej vody nie sú dostatočné. V období, kedy priame odbery vody z vodného toku by s ohľadom na vodnosť toku neboli uskutočniteľné, môžu poskytnúť akumulovaný objem z vodnejších častí roka. Pri hospodárení s vodou v rámci jedného roku hovoríme o nádržiach s jednoročným vyrovnaním prietokov. Táto tzv. zásobná funkcia slúži

zachovaniu životného prostredia – biologicky potrebných prietokov v tokoch a tiež poľnohospodárstvu (najmä rastlinná produkcia) (Čistý 2003, Šálek et al., 1989, Cablík 1960).

Hydroekologické limity

Vo vodohospodárskych bilanciách sa za prvoradú považuje požiadavka udržateľného rozvoja spoločnosti, pretože zdroje vody je možné využívať len dovedy, pokiaľ sa nenaruší funkcia vody v ekosystéme. Stanovenie hydroekologických limitov, resp. hodnoty minimálneho prietoku, ktorý je nevyhnutný pre zachovanie bioty toku, patrí k veľmi zložitým problémom vodného hospodárstva u nás i v cudzine a problém nie je možné považovať za doriešený.

Hydroekologické limity súvisia s povoľovaním odberov z povrchových a podzemných vôd takto:

Orgán štátnej vodnej správy je viazaný pri povoľovaní odberu:

- z vodného toku prietokom vody vo vodnom toku, ktorý ešte umožňuje všeobecné užívanie povrchových vôd a zabezpečuje funkcie vodného toku a zachovanie vodných ekosystémov v ňom (ďalej len "minimálny zostatkový prietok"),
- z podzemných vôd hladinou podzemnej vody, ktorá ešte umožňuje trvalo udržateľné využívanie vodných zdrojov a riadnu funkciu vodných útvarov s nimi súvisiacich (ďalej len "minimálna hladina podzemných vôd").

Vodohospodárska hydrologická bilancia

Pri výpočte miery ovplyvnenia hydrologického režimu boli použité údaje z kvantitatívnej vodohospodárskej bilancie za rok 2012:

E – ovplyvnený prietok,

C – očistený prietok (prirodzený prietok, ktorý by bol v profile bez ľudských vplyvov – odberov a manipulácii na vodných stavbách).

Výpočet bol prakticky vypočítaný podľa vzorca:

$$C - E / E \quad (5)$$

pričom:

C – E – vplyv užívania vôd, vrátane vplyvu manipulácii na vodných stavbách

E – zdroj vody ovplyvnený, čiže prietok ktorý zostal po všetkých vplyvoch!

Pri kvantitatívnej vodohospodárskej bilancii povrchových vôd sa posudzuje vzťah medzi zdrojmi vody (*Z*) a požiadavkami na vodu (*P*) v danom priestore (povodie, sieť profilov, resp. výhľadovo sieť vodných útvarov):

$$Z \Leftrightarrow P \quad (6)$$

kde *Z* je označenie pre zdroje a *P* je označenie pre potrebu vody.

Širší tvar základnej bilančnej rovnice používanej v SR je:

$$ZP \pm ZN \pm ZPR \Leftrightarrow P + MQ - V \quad (7)$$

kde je:

ZP – prirodzený zdroj vody,

ZN – zmena zdroja spôsobená vodnými nádržami,

ZPR – zmena zdroja spôsobená prevodmi vody,

P – potreba vody (odbery),

MQ – minimálny bilančný prietok,

V – vypúšťanie vody do toku.

Základné bilančné hodnotenie sa posudzuje podľa dvoch parametrov:

1. Bilančného stavu vypočítaného z pomeru hodnôt *Z/P*:

- ak $Z/P \leq 0,9$ ide o pasívny (nevyhovujúci) bilančný stav,
- ak $0,9 < Z/P < 1,1$ ide o napätý bilančný stav,
- ak $Z/P \geq 1,1$ ide o aktívny bilančný stav.

2. Využiteľnej kapacity zdroja vypočítanej ako rozdiel *Z-P*:

- ak *Z-P* je kladná hodnota, zdroje prevyšujú potreby vôd (možnosť ďalších odberov),
- ak *Z-P* je záporná hodnota, je nedostatok vôd (potreby vody možno kryť ďalšími zdrojmi).

Výsledky

Prognóza zabezpečenia disponibilných zdrojov vody pre závlahy

Aktuálne spracovaná prognóza vodohospodárskej bilancie (Fekete 2013) uvažuje na strane potrieb vôd na závlahy zo scenára CCCM pre horizonty 2010, 2030 a 2075. Na strane zdrojov vody sú uvažované prirodzené priemerné mesačné prietoky s vysokou zabezpečenosťou a na strane minimálnych zostatkových prietokov sú použité platné hodnoty MQ (Fekete 1985, 1990). Bilancia je spracovaná hodnotením výustných profilov jednotlivých čiastkových povodí. Výsledky sú deklarované prostredníctvom kapacity zdrojov vody (prietokov). Záporné číslo znamená nedostatok zdrojov vody.

Tab. č. 6 Kapacita zdroja po mesiacoch – rok 2010

Povodie	mesiac						
	4	5	6	7	8	9	10
Bodrog	26,85	18,71	9,801	0,383	0,196	3,604	6,140
Hron	6,461	6,042	3,072	1,165	-1,554	0,961	-0,111
Ipeľ	0,763	0,110	-0,686	-0,972	-0,792	-0,053	0,311
Slaná	1,894	3,496	1,480	0,476	0,221	0,549	0,550
Nitra	2,456	0,575	-0,833	-1,018	-1,453	-0,026	0,567
Váh	47,42	17,95	13,64	4,707	-2,042	0,529	-1,365
Morava	30,99	22,93	9,396	3,022	2,013	5,314	3,219
Dunaj	888,5	828,4	824,1	890,8	437,5	276,7	13,6
Bodva	-0,005	0,339	0,306	-0,249	-0,299	-0,318	-0,178
Poprad	5,386	6,261	8,239	3,874	2,923	2,137	1,381
Hornád	2,047	3,396	2,024	1,745	1,035	0,126	0,604

Údaje sú v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Tieňované bunky znamenajú nedostatok zdrojov.

Tab. č. 7 Kapacita zdroja po mesiacoch – rok 2030

Povodie	mesiac						
	4	5	6	7	8	9	10
Bodrog	26,56	17,38	7,691	-1,166	-1,001	3,168	5,928
Hron	5,047	3,980	0,957	-0,321	-3,040	-0,103	-0,886
Ipeľ	0,206	-1,129	-2,023	-2,050	-1,655	-0,331	0,203
Slaná	1,475	2,595	0,409	-0,425	-0,590	0,223	0,415
Nitra	2,294	0,214	-1,223	-1,332	-1,720	-0,107	0,551
Váh	45,73	15,31	10,78	1,890	-4,015	-0,257	-1,722
Morava	30,51	22,21	8,566	2,218	1,363	4,997	3,143
Dunaj	881,8	815,9	811,1	880,3	428,2	272,8	11,2

Tab. č. 8 Kapacita zdroja po mesiacoch – rok 2075

Povodie	mesiac						
	4	5	6	7	8	9	10
Bodrog	26,40	16,64	6,538	-2,012	-1,654	2,929	5,813
Hron	4,242	2,602	-0,467	-1,190	-3,909	-0,599	-1,126
Ipeľ	-0,216	-2,069	-3,036	-2,867	-2,309	-0,543	0,122
Slaná	1,075	1,735	-0,614	-1,285	-1,364	-0,088	0,286
Nitra	2,036	-0,360	-1,841	-1,831	-2,144	-0,236	0,526
Váh	43,66	12,04	7,237	-1,571	-6,459	-1,221	-2,151
Morava	29,94	21,33	7,569	1,254	0,582	4,618	3,051
Dunaj	875,5	804,0	798,4	870,0	419,4	269,4	9,3

Diskusia

V súčasnosti je hlavný spôsob aplikácie závlahy naďalej postrek (cca 95 %) s postupným zavádzaním progresívnejších spôsobov zavlažovania mikrozávlahami (cca 5 %). Nové spôsoby zavlažovania a automatického riadenia závlah by mali zvýšiť efektívnosť zavlažovania, šetrenia spotreby závlahovej vody. Tento trend modernizácie závlah by mal

pokračovať a v časovom horizonte roku 2075 by sa pomer postreku a mikrozávlah mal pohybovať na úrovni 70 %/30 %.

Šetrenie vodou sa dosahuje zvýšením kvality zavlažovania, t. j. zvýšením kvalitatívnych parametrov, akými sú stupeň rovnomernosti rozdelenia závlahovej vody zvýšením rovnomernosti z priemerných 50 až 60 % pri najrozšírenejšom spôsobe závlah, postrekom na 90 až 96 % pri aplikácii mikrozávlah. Úspory vo výške 40 – 50 % z objemu dodanej závlahovej vody, pri spravidla zvýšených produkčných efektoch procesu zavlažovania, sú jednoznačným príspevkom do problematiky.

Pre účely ovplyvňovania vodného režimu pôd sa veľmi perspektívne ukazujú jestvujúce odvodňovacie systémy, ktoré by pri svojej primárnej odvodňovacej funkcii vykonávali aj funkciu zavlažovacia počas vegetačného obdobia. V územiach s vhodnými stanovištnými podmienkami, ovplyvňovaných retardáciou odtoku drenážou, resp. odvodňovacími kanálmi by bolo možné kryť 30 – 50 mm z celkovej potreby vody plodín za vegetačné obdobie.

Záver

Voda ako bezalternatívny produkčný faktor výrazne ovplyvňuje stabilitu a produkciu agroekosystémov v poľnohospodársky výrobných oblastiach (PVO). Relatívna evapotranspirácia $\frac{E}{E_0}$ a tiež evapotranspiračný deficit ($E_0 - E$) umožňujú kvantifikovať

nedostatok vody v pôde pre optimálny rast plodín, t. j. dovoľujú stanoviť množstvo vody potrebnej v poľnohospodárskych výrobných oblastiach, resp. v závlahových oblastiach. Výpočet mesačných úhrnov E a E_0 bol robený aplikáciou metódy založenej na spoločnom riešení rovníc energetickej a vodnej bilancie povrchu. Pre vyčlenenie závlahových oblastí bolo ako determinujúce kritérium zvolená evapotranspirácia, resp. pomer aktuálnej a potenciálnej evapotranspirácie za reprezentatívne obdobie, tzv. relatívna evapotranspirácia (ET_a/ET_p).

Rozšírenie závlahových sústav v hlavných závlahových oblastiach bude jedným z hlavných adaptačných opatrení na zmiernenie negatívnych dôsledkov meniacej sa klímy. Prognóza potreby závlahovej vody je spracovaná pre jednotlivé oblasti hlavných závlahových oblastí Slovenska, priemerných simulovaných množstiev potreby závlahovej vody, prognózovaných stavov výmer závlah pre tieto oblasti a časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075. Aktuálne spracovaná prognóza vodohospodárskej bilancie uvažuje na strane potrieb vôd na závlahy zo scenára CCCM pre horizonty 2010, 2030 a 2075. Na strane zdrojov vody sú uvažované

prirodzené priemerné mesačné prietoky s vysokou zabezpečenosťou a na strane minimálnych zostatkových prietokov sú použité platné hodnoty MQ.

Nárast celkovej potreby vody pre závlahy bude možné riešiť zavádzaním nových spôsobov zavlažovania, s dôrazom na efektívnosť zavlažovania a šetrenia vody. Napriek technickému pokroku v závlahách, potreby vody poľných plodín budú uspokojené len čiastočne z dôvodu obmedzených disponibilných zdrojov vody pre závlahy v niektorých povodiach Slovenska. Už v blízkej budúcnosti sa bude uplatňovať zásada, že plodiny náročné na vodu by mali byť prednostne umiestňované na plochy s vybudovanými závlahami s dostatočnými zdrojmi závlahovej vody. To znamená, mala by byť dodržiavaná zásada, aby **plodina išla za vodou a nie voda za plodinou**.

Literatúra

1. Alena J., Takáč J., Sobocký I., Hříbik J., 2005. Prebiehajúca klimatická zmena a jej dopady na rozvoj spoločnosti. Dôsledky klimatickej zmeny v oblasti závlahového hospodárstva. Záverečná správa čiastkovej úlohy 03“ Úloha štátneho programu výskumu a vývoja: Aktuálne otázky rozvoja spoločnosti. Hydromeliorácie, Bratislava. 85 s.
2. Buday Š., Vilček J., 2013. Kategorizácia a hodnotenie poľnohospodárskych pozemkov na Slovensku, ISBN 978-80-7375-789-2, Mendelová Univerzita v Brne.
3. Budyko, M.I., 1974. Klimat i žizň. Leningrad, Gidrometeoizdat.
4. Budyko, M.I., Zubenok, L.I., 1961. Estimation of evaporation from the Earth. Izvestija AN SSR, Ser. Geograf., 6, 3-17. Budyko, M.I. (1974). Climate and life. Leningrad, Gidrometeoizdat.
5. Hrvoľ, J., Lapin, M., Tomlain, J., 2001: Changes and variability in solar radiation and evapotranspiration in Slovakia in 1951-2000. Acta Meteorol. Univ. Comen., XXX, 31-58.
6. Cáblik J., 1960. Základy výstavby rybníku a hospodárskych nádrží. SZN Praha.
7. Čistý M., 2003. Malé vodné nádrže I. STU, Elektronické skriptá, Bratislava, 140 s. ČSN (STN) 73 6510 - Základné vodohospodárske názvoslovie.
8. Fekete, V., 1985. Prehodnotenie bilančných profilov ŠVHB a MQ, VÚVH Bratislava. 50 s.
9. Fekete, V., 1990: Stanovenie MQ, QZ, a QR v bilančných profiloch ŠVHB, Záverečná správa úlohy R 05-531-162.03.07, VÚVH, Bratislava.
10. Fekete, V., 2013. Výhľadová VHB množstva a kvality povrchovej vody k časovému horizontu 2021 vrátane prehodnotenia výhľadových vodných nádrží, VÚVH Bratislava.

11. Kalúz, K., Rehák, Š., 2007: Vodné hospodárstvo. 2. vyd.- Nitra: Vydavateľstvo SPU, 132 s. ISBN 978-80-8069-945-1.
12. Kalúz, K., Rehák, Š., Hlavčová, K., Szolgay, J., 2010. Vodné hospodárstvo krajiny, celoštátna vysokoškolská učebnica, SPU Nitra, STU Bratislava, 314 s.
13. Lapin, M., Hlavčová, K., Petrovič, P., 2003: Vplyv klimatickej zmeny na hydrologické procesy. *Acta Hydrologica Slovaca*, Vol. IV, No. 2, 2003, 211-221.
14. Lapin, M., Bašták-Ďurán, I., Gera, M., Hrvoľ, J., Kremler, M., Melo, M. (2012): New climate change scenarios for Slovakia based on global and regional general circulation models. *Acta Met. Univ. Comen.*, 37, 25-74.
15. Rehák Š., 1994. Postavenie závlah v ekosystéme poľnohospodársky využívanej krajiny. In: Možnosti zvyšovania účinnosti závlah. Bratislava: VÚZH a VŠP Nitra, s.198-200.
16. Šálek J., Mika Z., Tresová A., 1989: Rybníky a účelové nádrže. SNTL Praha.
17. Šútor, J., M. Gomboš, R. Mati (2007): Pôdne sucho - fenomén klimatickej zmeny. In: .Zb. 7. Konferencie s medzinárodnou účasťou "Vplyv vodohospodárskych stavieb na tvorbu a ochranu životného prostredia (ed. R. Cabadaj).24. - 26. 10. 2007 Podbánske, ISBN 978-80227-2729-7, s.223-234.
18. Šútor, J., Rehák Š., Stradiot, P., Kalúz, K., 2010: Treshold value of water storage in soil for disruption of agro-ecosystem (AASPIC).

Kontakt:

Doc. RNDr. Štefan Rehák, PhD.

Výskumný ústav vodného hospodárstva

Nábřežie arm. gen. L. Svobodu 5

812 49 Bratislava 1

tel. č.: 0903/997 907

e-mail: rehak@vuvh.sk

Ing. Štefan Adam

Ministerstvo zahraničných vecí SR

Hlboká cesta 2

811 04 Bratislava 37

Vliv organické hmoty v půdě na její retenční schopnost

Influence of soil organic matter on its retention capacity

Barbora Badalíková, Jaroslava Novotná

Zemědělský výzkum, spol. s r.o. Troubsko

Abstrakt

V průběhu tří let 2013 – 2015 byly hodnoceny vlhkosti půdy a obsah organického uhlíku v monokultuře kukuřice na siláž. Pokus byl založen v řepařské výrobní oblasti na černozemi karbonátové, jílovitohlinité. Sledování probíhalo u třech variant s odlišnou dávkou zapraveného kompostu: 1. varianta – kontrolní, bez kompostu, 2. varianta – na podzim zapravení kompostu 20 t.ha⁻¹, 3. varianta – na podzim zapravení kompostu 40 t.ha⁻¹. Získané výsledky prokázaly, že zapravená organická hmota ve formě kompostu zvýšila obsah vody v půdě a zadržela půdní vlhkost po delší dobu oproti variantě bez zapravené organické hmoty.

Klíčová slova: kompost, organický uhlík, vlhkost půdy

Abstract

During the three years 2013 – 2015 soil moisture and organic carbon content in silage maize monoculture were evaluated. The experiment was established in sugar beet growing region on Carbonate Chernozem, clay loamy textured. Monitoring was carried out in three variants with different dose of applied compost: Variant 1 – Control, without compost; Variant 2 – Compost (20 t.ha⁻¹) applied in autumn; Variant 3 – Compost (40 t.ha⁻¹) applied in autumn. The obtained results showed that applied organic matter i.e. compost increased soil water content and retained soil moisture for longer time than variant without application of organic matter.

Keywords: compost, organic carbon, soil moisture

Úvod

Obsah organické hmoty v půdě je výsledkem jejího dlouhodobého vývoje, především působení půdotvorných faktorů, ale také činnosti člověka, způsobu využití půdy a systému hospodaření. Využívání půdu zlepšujících organických materiálů je tradiční zemědělskou praktikou sloužící ke zlepšení fyzikálních a chemických vlastností půd, půdní struktury, teplotních a vlhkostních podmínek a také obsahu živin potřebných pro růst rostlin. Brown a Cotton (2011) kvantifikovali výhody aplikace kompostu na zemědělsky obhospodařované

půdy. Zjistili, že po zapravení kompostu došlo ve srovnání s kontrolou k trojnásobnému nárůstu obsahu půdního organického uhlíku a ke zdvojnásobení mikrobiální aktivity v půdě. Kompost měl také významný vliv na zvýšení obsahu vody v půdě, snížení objemové hmotnosti půdy a na snížení infiltračního času vody do půdy. Badalíková, Novotná (2015) zjistili, že zapravená organická hmota ve formě kompostu zlepšila většinu fyzikálních vlastností půdy (penetrometrický odpor půdy, provzdušněnost), zvýšila obsah půdního humusu a retenční schopnost půdní vody.

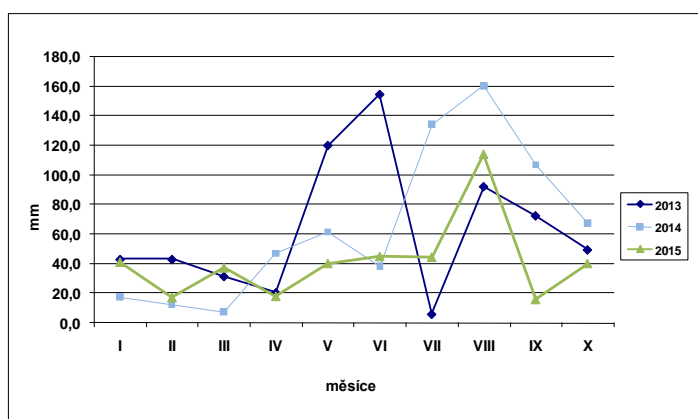
Náhlé a časté výkyvy teplotní a srážkové se negativně projevují i na kvalitě půdní úrodnosti. Přičemž půdní úrodnost je základní vlastností, která se u půdy hodnotí. Můžeme ji definovat jako schopnost půdy produkovat úrodu, především kulturních zemědělských plodin. Úrodnost půdy však nelze charakterizovat jednou nebo několika jejími vlastnostmi, ale je výslednicí působení velmi složitého souboru vlastností, které se vzájemně ovlivňují. Mezi prvořadě půdní vlastnosti, které nám určují půdní úrodnost, zahrnujeme fyzikální vlastnosti půdy. Tyto vlastnosti mohou být značně proměnné (teplota, obsah vody v půdě, apod.), což vede ke kvalitativním změnám půdních vlastností a tím i ke změně úrodnosti půdy. K tomu se váže i dostatečné množství organické hmoty v půdě, která nám zaručuje rovnováhu mezi jednotlivými fyzikálními vlastnostmi během rozdílných klimatických podmínek během vegetace (Pokorný a kol., 2011). Poznání vzájemných vztahů mezi klimatickými faktory a změnou půdních vlastností nemá však význam pouze pro zemědělství. Předpokládané změny klimatu do roku 2025 charakterizované nárůstem teplot v létě o 2 až 3⁰ C, poklesem srážek o 5 až 15 % a poklesem vlhkosti půdy o 15 až 29 % (Lapin, 1994) bezesporu poznamenají celé ekosystémy.

Cílem příspěvku je posouzení souvislosti mezi obsahem organické hmoty v půdě a půdní vlhkostí.

Materiál a metody

Hodnocení probíhalo na lokalitě v řepařské výrobní oblasti, zemědělské společnosti Rakovec, a.s., Velešovice v monokultuře kukuřice na siláž. Nadmořská výška lokality je 297 m a patří do klimatické oblasti – teplé, mírně suché. Půdní podmínky: černozem karbonátová, zrnitostním složením – jílovitohlinitá půda. Dlouhodobý roční průměr srážek je 490 mm, dlouhodobá průměrná roční teplota je 8,7⁰ C. Suma měsíčních dešťových srážky během vegetačního období 2013 – 2015 jsou graficky zobrazeny na obr. 1.

Obr. 1: Průběh měsíčních srážek během sledovaných let



Organická hmota do půdy byla dodávána formou kompostu vyrobeného ze zeleného odpadu údržby obcí, parků, zahrad a zeleného odpadu ze separovaného sběru.

Hodnocené varianty pokusu

Varianta 1: kontrola - bez kompostu, na jaře setí kukuřice

Varianta 2: na podzim zapravení kompostu 20 t / ha, na jaře setí kukuřice

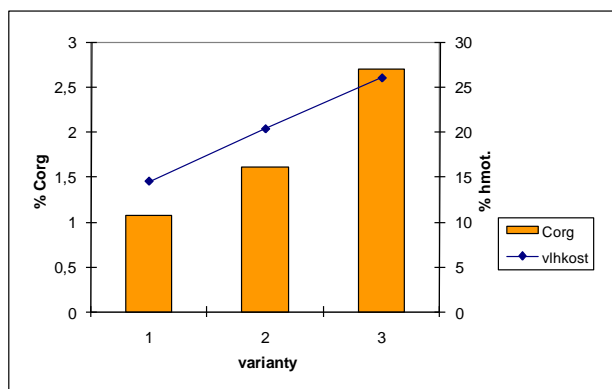
Varianta 3: na podzim zapravení kompostu 40 t / ha, na jaře setí kukuřice

Obsah organického uhlíku byl stanoven oxidimetrickou titrací dle Walkley-Blacka v modifikaci Novák-Pelíšek, obsah vlhkosti půdy byl stanoven gravimetricky – vázkovou metodou.

Výsledky

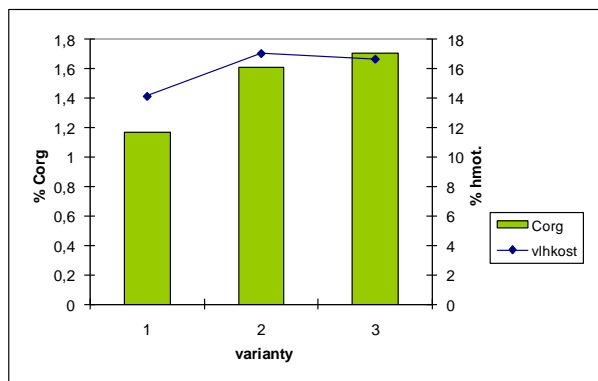
Předložené grafy 2 – 7 zahrnují vzájemný vztah mezi půdní organickou hmotou a vlhkostí půdy za sledované roky 2013 – 2015, a to na začátku a na konci vegetačního období. Z grafů je patrné, že vždy na začátku vegetace u varianty se zvýšenou dávkou kompostu byl zaznamenán i nárůst půdní vlhkosti ve všech letech. Ke konci vegetačního období se vlhkost půdy mezi variantou 2 a 3 vyrovnávala. Znamená to, že množství aplikační dávky kompostu již nehrálo tak významnou roli při schopnosti půdy zadržet vodu po delší čas. V každém případě oproti kontrolní variantě bez dodání organické hmoty do půdy byla u variant 2 a 3 vlhkost půdy vždy vyšší.

Obr. 2: Vztah mezi Corg a vlhkostí půdy – začátek vegetace 2013

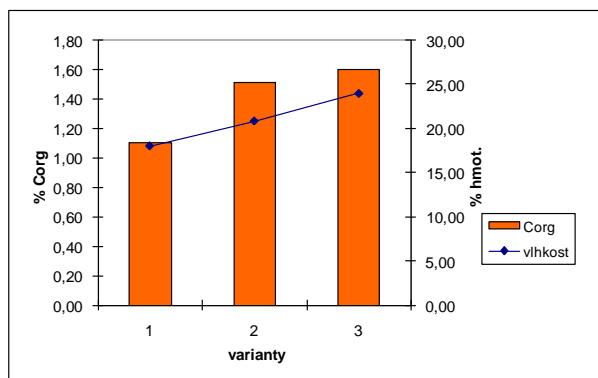


Z výsledků lze vidět, že během let došlo k narůstajícímu trendu obsahu organického uhlíku zvláště u variant s aplikovaným kompostem. Zvyšování množství organických látek je významné pro retenční schopnost půdy a zpomalování degradačních procesů. To vše souvisí i s přítomností jílovitých minerálů, které se na tomto stanovišti nachází. Pokles zásoby organických látek v půdě také souvisí se vztahem mezi dávkami živin, snížením poměru C:N a zvýšením mikrobiální činnosti. To vše má klíčový význam pro hospodaření půdy s vodou.

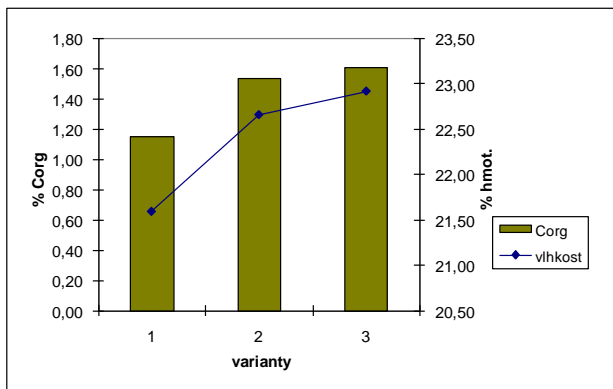
Obr. 3: Vztah mezi Corg a vlhkostí půdy – konec vegetace 2013



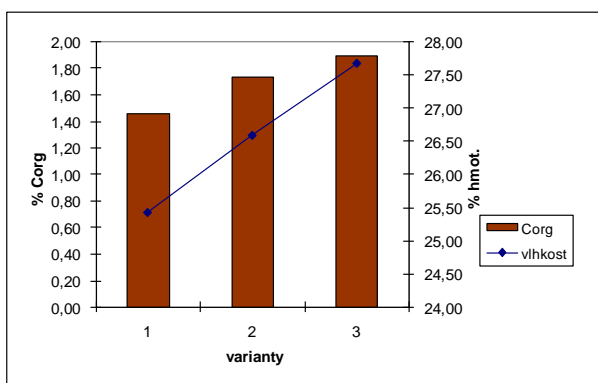
Obr. 4: Vztah mezi Corg a vlhkostí půdy – začátek vegetace 2014



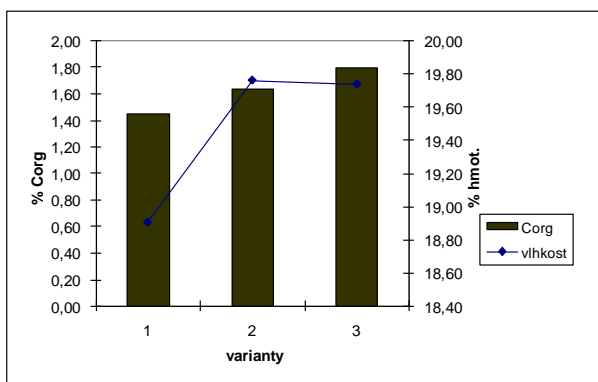
Obr. 5: Vztah mezi Corg a vlhkostí půdy – konec vegetace 2014



Obr. 6: Vztah mezi Corg a vlhkostí půdy – začátek vegetace 2015



Obr. 7: Vztah mezi Corg a vlhkostí půdy – konec vegetace 2015



Diskuze

Význam organického hnojení spočívá mimo jiné v jeho kvalitě, množství a způsobu zapravení do půdy, což ovlivňuje fyzikální, chemické i biologické vlastnosti půdy a tím živinný stav pro potřebu rostlin (Prax, 1997). Přísun organického materiálu může být různý např. formou hnoje, kompostu, posklizňových zbytků, slámy či zaorávání meziplodin.

Způsob zpracování půdy ovlivňuje podstatně propustnost půdy pro vodu, což je z hlediska přívalových srážek i sucha velmi podstatné. Dlouhodobé zpracování půdy jak bezorebné tak i konvenční, může změnit objem pórů, stabilitu půdních agregátů a obsah organické hmoty a tím změnit celou půdní strukturu (Drees et al., 1994; Lal et al., 1994). Dobře obhospodařovaná půda zmenšuje důsledky náhlých změn počasí (Foto 1). S těmi musíme při právě probíhajícím oteplování počítat (Kutílek, 2012). Množství organické hmoty v půdě ovlivňuje infiltrační a retenční schopnost půdy. Infiltrace půdy neboli vsak vody do půdy, je přímo úměrná stabilitě půdní struktury a organické hmoty v půdě (Badalíková, 2010), velikostí objemu a struktury pórů (Patel, Singh, 1981, Ankeny a kol., 1990; Badalíková a kol., 2007). Spolu s tím se mohou měnit další vlastnosti půdy ovlivňující její infiltrační a retenční schopnost a pohyb půdní vody v profilu. Pokorný a kol. (2012) uvádí, že retenční schopnost půdy je maximální množství vody, které je půda schopna trvaleji zadržet vlastními silami po dobu 24 hodin v téměř rovnovážném stavu po nadměrném zavlažení. Další hodnocení půdní vlhkosti v kteroukoliv dobu měření může být vztaženo k suché hmotnosti půdy.

Závěr

Na základě získaných výsledků můžeme konstatovat, že zapravená organická hmota ve formě kompostu pozitivně ovlivnila příjem vody do půdy a schopnost udržet půdní vláhu po delší čas. Současně bylo zjištěno, že s každoroční aplikací kompostu se zvyšoval obsah organické hmoty v půdě. Organická hmota v půdě má tedy svůj účel z hlediska zachování půdní úrodnosti v období nižšího úhrnu srážek.

Literatura

- Ankeny, M., D., Kaspar, T. C., Horton, R., 1990: Characterization of tillage and traffic effect on unconfined infiltration measurements. *Soil Sci. Soc. of America Journal*, 54, s. 837 - 840.
- Badalíková, B., 2010: Struktura půdy. In: *Certifikovaná metodika Hůla J. a kol.: Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí*. 58 s.
- Badalíková, B., Hrubý, J., Pokorný, E., 2007: Rychlost infiltrace vody do půdy indikuje stav půdního profilu. *Úroda* 4/2007, s. 56-57
- Badalíková, B., Novotná J., 2015: Possibilities of elimination of water erosion on slopes. In *Proc. 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2015, Albena 18-24 June, Bulgaria*, pp. 255-262

- Brown, S., Cotton, M., 2011: Changes in soil properties and carbon content following compost application: Results of on - farm sampling. *Compost Science and Utilization*, 19 (2): 87-96.
- Drees, T., Karathanasis, A. D., Wilding, L. B., Blevins, R. L., 1994: Micromorphological characteristic of long-term no-tillage and conventionally tilled soils. *Soil Sci. Soc. Of America Journal*, 58, s. 508 – 517.
- Kutílek, M., 2012: *Půda planety Země*. Nakladatelství Dokořán, 1. vyd., 199 s.
- Lal, R., Mahboubi, A. A., Fausey, N. R. (1994): Long term tillage and rotation effects on properties of a central Ohio soil. *Soil Sci. Soc. of America Journal*, 58, s. 517 – 522
- Lapin, M., 1994: Očekávané globálne oteplenie atmosféry a jeho možné dopady na našom území. Zborník príspevkov z odbornej konferencie: Prognózované zmeny klímy a zmiernenie ich negatívneho vplyvu na krajinné prostredie. Bratislava 1994, s. 10 – 28
- Patel, M. S., Singh, N. T., 1981: Changes in bulk density and water intake rate of a coarse textured soil in relation to different levels of compaction. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 29, s. 110 – 112.
- Pokorný, E., Střalková, R., Brtnický, M., Foukalová, J., Denešová, O., Podešvová, J., 2011: Analýza dlouhodobých srážkových a teplotních řad a hodnocení jejich dopadu na změny vlastností půd vybraného agroekosystému. Monografie, Mendelova univerzita v Brně, 1.vyd., 118 s.
- Pokorný, E., Brtnický, M., Denešová, O., Podešvová, J., 2012: Charakteristika antropogenní degradace černozemí luvických v oblasti Hané. Monografie, Mendelova univerzita v Brně, 1.vyd., 99 s.
- Prax A. (1997): Ubývá půdní humus. *Úroda*, roč. 45, č. 7, s. 24 - 27.

Poděkování

Příspěvek vznikl s podporou MZe ČR projektu č. QJ1210263 v rámci programu Komplexní udržitelné systémy v zemědělství „KUS“ a z (částečné) institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace.



Foto 1: Pukliny v půdě při špatném hospodaření – nedostatek půdní organické hmoty

(Foto Badalíková)

Kontakt:

Ing. Barbora Badalíková

Zemědělský výzkum, spol. s r.o. Troubsko

Zahradní 1, 664 41 Troubsko

+420 547138821, e-mail: badalikova@vupt.cz

Monitoring zemědělského sucha a jeho uživatelé a zpravodajové

The agricultural drought monitoring and its users and correspondents

Lenka Bartošová^{1,2}, Miroslav Trnka¹, Daniela Semerádová^{1,2}, Petr Hlavinka^{1,2}, Petr Štěpánek^{1,3}, Pavel Zahradníček^{1,3}, Zdeněk Žalud²

¹Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Bělidla 986/4a, Brno, 60300, Česká republika; Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 61300, Brno, Česká republika; Český hydrometeorologický ústav v Brně, Kroftova 43, 616 67, Brno, Česká republika

Abstrakt

Monitoring sucha je klíčovým prvkem sledování vývoje klimatu v České republice. Cílem tohoto článku je popsat, jak se na samotném monitoringu podílejí agronomové, lesníci, ovocnáři či lidé pracující v krajině a to v rámci Integrovaného Systému Sledování Sucha (ISSS). ISSS v týdenním kroku monitoruje vývoj a stav sucha pro celou Českou republiku s využitím různých zdrojů informací (výsledky vycházející z modelu SoilClim či výstupy z nástroje MODIS na družicích Aqua a Terra). Jedním z pilířů ISSS je také popis dopadů sucha na výnosy hlavních plodin a to díky spolupráci zejména se zemědělci, jejichž expertní hodnocení prováděná v týdenním kroku přináší pohled na aktuální situaci očima praxe, která je k dispozici na www.intersucho.cz.

Klíčová slova: sucho, intersucho.cz, dopady na výnosy, dotazník

Abstract

Drought monitoring in the Czech Republic is a key element in climate monitoring. The aim of this article is to describe the possible participation of agronomists, foresters and fruiterers in drought monitoring within the Integrated Drought Monitoring System. This system monitor drought occurrence weekly on the base of various information (data from model SoiClim or outputs from satellite Aqua and Terra). One of the main pillar of the monitor is also information about drought impact on yields in the cooperation with especially farmers. Their expert assessment brings insight into actual situation in agricultural landscape in weekly time step. All results are free to download in www.intersucho.cz.

Keywords: drought, intersucho.cz, impacts on yield, questionnaire

Úvod

Sucho je klimatický extrém, který se zejména v posledních 20-ti letech objevuje na území České republiky díky rostoucím teplotám (Brázdil, Trnka, a kolektiv, 2015). Významné suché periody byly zaznamenány v letech 2000, 2003, 2011-2012, 2013-2014, 2015. Sucho způsobuje problémy zejména v zemědělství, lesnictví a vodním hospodářství a podle jeho projevů jej můžeme rozdělit do čtyř etap: meteorologické, zemědělské, hydrologické a socio-ekonomické sucho (Wilhite, 2005). Tyto jednotlivé fáze mohou být a jsou monitorovány. Nejznámější monitorovací systém provozuje Národní Centrum pro Zmírnění Dopadů Sucha ve státě Nebraska v USA (The National Drought Mitigation Centre, <http://drought.unl.edu>). V České republice je provozován Integrovaný Systém Sledování Sucha (ISSS, www.intersucho.cz), který v týdenním kroku monitoruje právě zemědělské sucho. Tento systém vznikl jako reakce na řadu vědeckých prací, které se zabývaly měněním se obsahem vody v půdě, jako reakce na vývoj klimatu (Brázdil et al., 2008; Žalud et al., 2009; Hlavinka et al., 2009; Trnka et al., 2013). S využitím různých zdrojů informací hodnotí ISSS aktuální stav obsahu vody v půdě či stav vegetace a nebo dopady sucha na výnosy pěstovaných plodin.

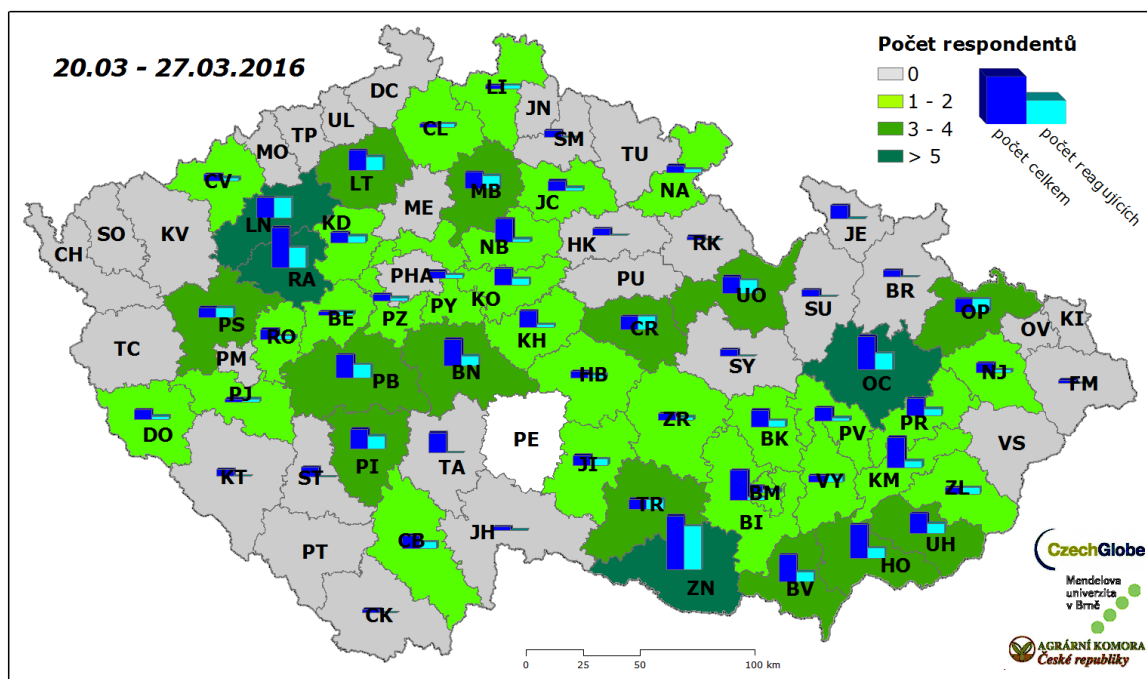
Cílem tohoto příspěvku je popsat způsoby sběru dat a následného vyhodnocení a tvorby map, které v týdenním kroku popisují stav porostů očima agronomů, lesníků či ovocnářů a dokumentují tak dopady sucha na výnosy plodiny.

Materiál a metody

Dopady sucha na produkci polních plodiny (či ovocných dřevin a lesních porostů) jsou vyhodnocovány na základě přijatých dotazníkových šetřeních, která jsou zpracovávána v týdenním kroku. Dotazníky pravidelně vyplňují zemědělci, ovocnáři a lesníci a přinášejí tak svá expertní hodnocení o stavu sucha na pozemcích, kde hospodaří v rámci svého zemědělského podniku nebo v rámci své soukromé praxe. Dotazníky jsou sestaveny tak, aby každý hodnotitel popsal stav půdní vlhkosti v povrchové vrstvě a dále zhodnotil aktuální a dlouhodobou vodní bilanci. V navazujících dotazech už hodnotitelé popisují konkrétní dopady sucha na právě pěstované plodiny (případně ovocné stromy či lesní pozemky) a na závěr zhodnocují případné využívání zavlažování na svých pozemcích.

Monitoring dopadů sucha na plodiny probíhá od začátku vegetační sezóny roku 2014 a to zejména díky spolupráci s Agrární komorou ČR, která nominovala vybrané zemědělské či ovocnářské podniky, které byly osloveny a do hodnocení sucha se zapojily.

V současné době probíhá monitoring v 40-45 okresech, ze kterých je zpracováváno každý týden cca 100 až 110 přijatých dotazníků (Obr. 1).

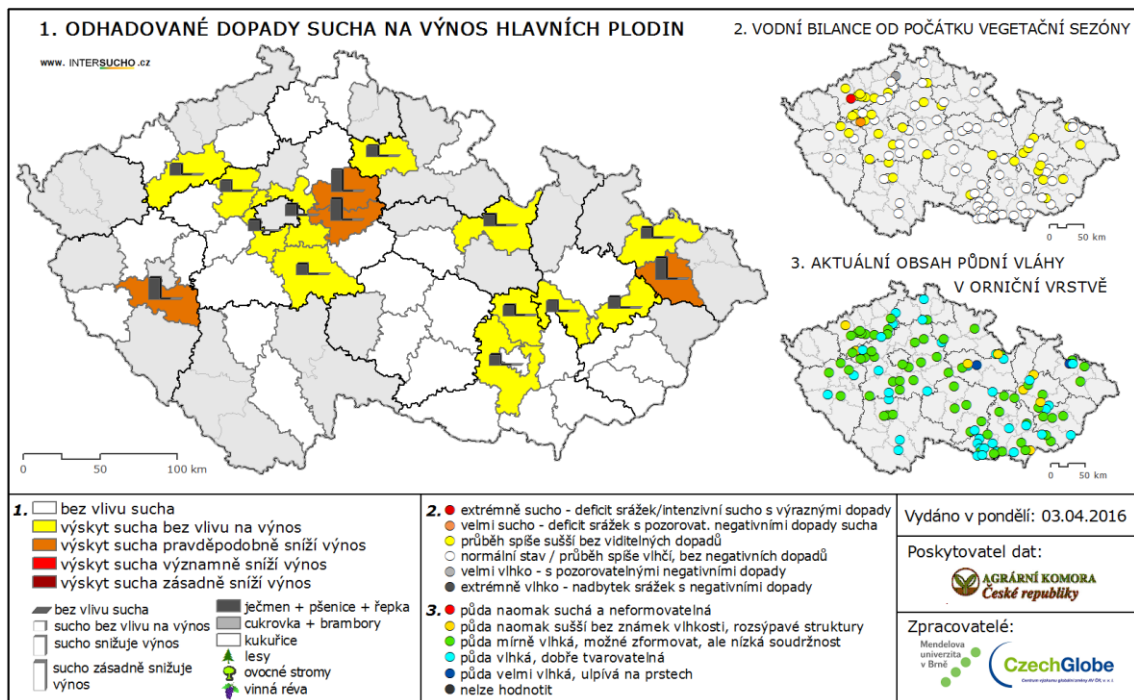


Obr. 1: Počet respondentů hodnotících dopady sucha na zemědělskou produkci v rámci monitoringu ISSS pro hodnotící období 20.3. – 27.3. 2016.

Pro hodnotitele a uživatele webu jsou také v týdenním kroku připravovány detailní okresní mapy intenzity sucha a relativního nasycení půdy. Tyto mapy jsou připravovány na základě modelu SoilClim, jehož struktura a validace byly popsány v pracích Hlavinka et al. (2011) a Trnka et al. (2013). Model SoilClim odhaduje množství půdní vlhkosti a popisuje stav sucha ve dvou hloubkách (0-40 cm a 40-100cm) a to v gridu 500x500m. Uživatel tak může sledovat průběh sucha přímo ve svém katastru.

Výsledky

Výsledkem monitoringu sucha ve spolupráci s expertními hodnotiteli jsou mapy Dopadů na zemědělství, které jsou aktualizovány jednou týdně (Obr. 2) a tvoří je kompozitní mapka tří parametrů: odhadované dopady sucha na výnos pěstovaných plodin, odhad vodní bilance za poslední 3 měsíce a aktuální půdní vlhkost ve vrstvě do 20 cm.



Obr. 2: Mapa „Dopady na zemědělství“ pro období 20. 3. – 27. 3. 2016

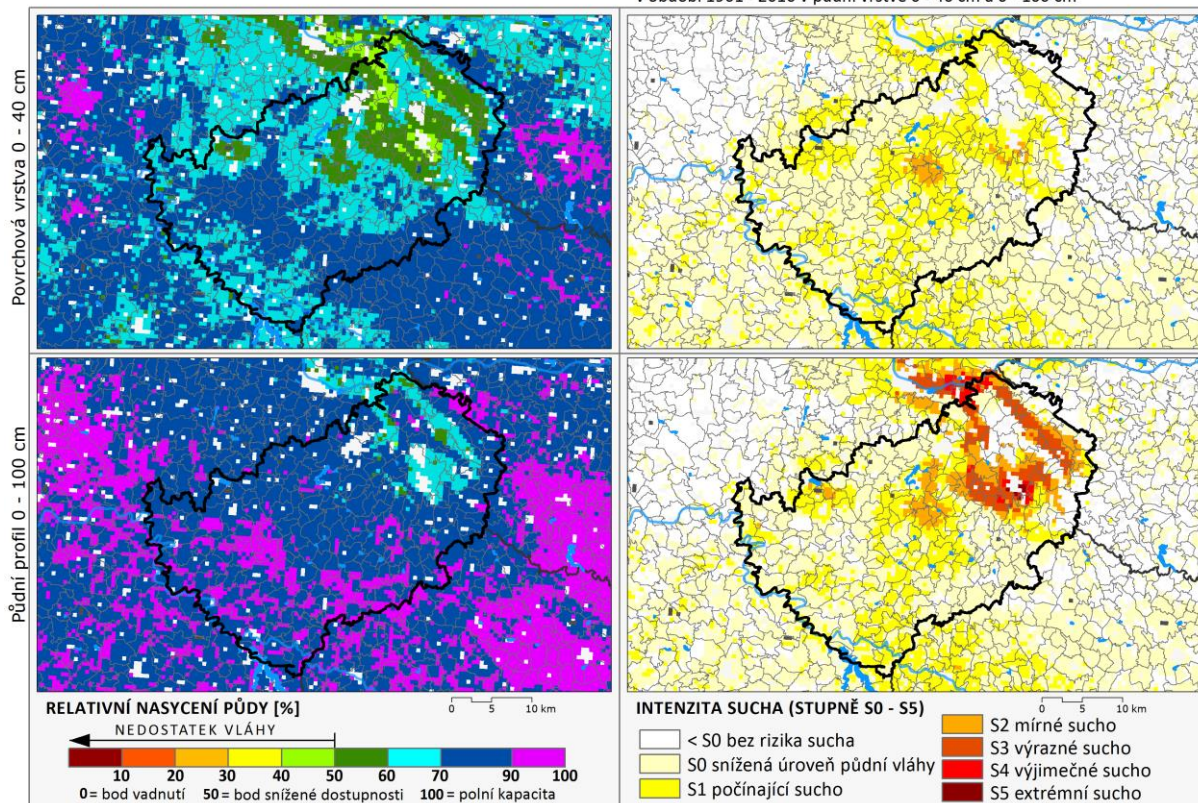
Mapy okresů připravované v týdenním kroku popisují detailně stav sucha a zobrazují aktuální situaci na úrovni katastrů (Obr. 3), jako příklad byl zvolen okres Kutná Hora popisující stav pro 3. 4. 2016 (mapa byla vydána následující den).

RELATIVNÍ NASYCENÍ PŮDY

Na kolik procent je nasycena půdní vrstva 0 - 40 cm a 0 - 100 cm

INTENZITA SUCHA

Odchylka půdní vlhkosti (vyjádřená stupněm sucha) od obvyklého stavu v období 1961 - 2010 v půdní vrstvě 0 - 40 cm a 0 - 100 cm



Obr. 3: Okresní mapa intenzity sucha a relativního nasycení půdy pro oblast Kutné Hory odráží stav k datu 3. 4. 2016.

Závěr

Na základě rostoucího zájmu o kvalitní monitorovací systém ze strany nejen agronomů a ovocnářů, ale v poslední době i lesníků (v roce 2014 byl počet respondentů 20 z cca 5-10 okresů, v současné době vyhodnocujeme dotazníky z celkem 40-45 okresů od cca 100-110 respondentů) můžeme usuzovat, že sucho je v současné době považováno za hrozbu, na kterou potřebujeme hledat adaptační a mitigační opatření.

Integrovaný Systém Sledování Sucha tak má za cíl v co nejpřesnějším měřítku monitorovat sucho a přinášet aktuální informace o vývoji situace tak aby tyto výsledky mohly pomoci uživatelům při rozhodování polních prací či plánování zásahů v krajině.

ISSS je v současné době doplňován o další mapové podklady, které uživatelům přináší komplexní informace (např. nově zveřejňovaná mapa dopadů na vegetace trvalých kultur) jsou průběžně doplňovány.

Literatura

Brázdil, R., Trnka, M. a kolektiv (2015): Historie počasí a podnebí v českých zemích XI: Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno, 402 s. ISBN 978-80-87902-11-0.

Brázdil, R., Trnka, M., Dobrovolný, P., Chromá, K., Hlavinka, P., Žalud, Z., 2008. Variability of droughts in the Czech Republic, 1881–2006. *Theoretical and Applied Climatology*, 97: 297-315

Hlavinka P, Trnka M, Balek J, Semerádová D, Hayes M, Svoboda M, Eitzinger J, Možný M, Fischer M, Hunt E, Žalud Z. 2011. Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates. *Agriculture and Water Management* 98: 1249–1261

Hlavinka, P., Trnka, M., Semerádová, D., Dubrovský, M., Žalud, Z., Možný, M., 2009. Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. *Agric. For. Meteorol.* 149, 431–442.

Trnka M., Kersebaum KC, Eitzinger J., Hayes M., Hlavinka P., Svoboda M., Dubrovský M., Semerádová D., Wardlow B., Pokorný E., Možný M., Wilhite D., Žalud Z. 2013, Consequences of climate change for the soil climate in Central Europe and the central plains of the United States, *Climatic Change*, 120, 1-2: 405-418

Žalud, Z. et al.. 2009. Změna klimatu a české zemědělství – dopady a adaptace, *Folia Universitas Agriculturae et Silviculturae Mendeliana Brunensis*, Brno, vědecká monografie, MZLU v Brně, Roč. II, Čís.10, s. 154.

Wilhite, D. A. (ed.) 2005. *Drought and Water Crisis: Science, Technology and Management Issues*. CRC Press, Boca Raton, FL, p.431

Poděkování

Příspěvek byl hrazen z projektu CzechAdapt – Systém pro výměnu informací o dopadech změny klimatu, zranitelnosti a adaptačních opatřeních na území ČR (EHP-CZ02-OV-1-014-2014), který byl podpořen grantem z Islandu, Lichtenštejnska a Norska. Tato práce byla zároveň podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci Národního programu udržitelnosti (NPU I), grant číslo LO1415.

Kontakt:

Ing. Lenka Bartošová, Ph.D.

Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.

Bělidla 986/4a, 603 00, Brno

731 622 088, bartolen@gmail.com

Závlahy versus sucho a nedostatek vody pohledem správce povodí

Irrigation versus drought and water scarcity view of the river basin administrator

Kateřina Čudková

Povodí Moravy, s.p.

Abstrakt

Príspevek se zaměřuje na problematiku závlah z pohledu správce povodí. Ve zkratce prezentuje výstupy z inventarizace závlah, proběhlé v rámci spolupráce mezi Státním pozemkovým úřadem (SPÚ) a státním podnikem Povodí Moravy (PM), včetně souhrnu doporučení zřizovateli obou institucí. Poté představí úkoly, které v souvislosti se závlahami a suchem vzešly správcům povodí z materiálu schváleného Usnesením vlády č. 620 z 29. července 2015 s názvem „*Příprava realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody*“ a ze strategie vytvořené pro jejich naplnění. Závěr nastíní současný pohled na problematiku ze strany správce povodí, zejména v kontextu s prohlubujícím se problémem nedostatku vody a sucha na našem území, včetně hledání správného řešení pro jeho eliminaci a udržitelného užívání vod při zajištění cílů ochrany vod.

Klíčové slova: Závlahy, správce povodí, Usnesení vlády č. 620, nedostatek vody a sucho, udržitelné užívání vod

Abstract

This paper focuses on the issue of irrigation from the perspective of river basin administrator. In brief presents the outcomes of the inventory of irrigation, took place in the framework of cooperation between the State Land Office (SPÚ) and the state enterprise Morava River Board (PM), including a summary of recommendations of both institutions founder. After presenting challenges related to irrigation and drought arose River basin administrators of the document approved by the Government Resolution no. 620 of 29 July 2015 entitled "*Preparing the implementation of measures to mitigate the negative effects of drought and water scarcity*" and the strategies developed for their fulfillment. Finally, outline the current view on this issue by the River basin administrator, especially in the context of the deepening problem of water scarcity and drought in our area, including finding the right solution for its elimination and sustainable use of water while ensuring the protection objectives of waters.

Keywords: Irrigation, River basin administrator, Government Resolution No. 620, Water scarcity and drought, sustainable use of water,

Závlahové soustavy v majetku státu v územní působnosti Povodí Moravy, s.p., v současnosti

Problematika zemědělských hydromeliorací, obzvláště závlah, se dostala do popředí v kontextu s dožíváním dnes již starých a často neudržovaných staveb a s potřebou efektivního využití zemědělské půdy a zajištění vlastní zemědělské produkce při zachování dobrého ekologického stavu vod. Největší pozornost se ovšem této problematice začala věnovat až v loňském roce 2015, kdy se začaly projevovat následky zemědělského sucha na téměř celém území České republiky (dále jen ČR).

Ukazuje se tak, jak nezbytně nutné je začít problematiku závlah řešit koncepčně, pro celé území ČR a v souvislosti se současnými i výhledovými potřebami zemědělství. Funkční koncepce závlah je do budoucna jedinou možností pro zachování stávající zemědělské produkce v období stále častějšího výskytu sucha, a to zejména v případě nepříznivých dopadů prognózované klimatické změny a s ní souvisejícím výhledovým nedostatkem vody. V loňském roce proto provedlo PM a SPÚ prvotní práce pro tuto koncepci, spočívající ve zmapování současného stavu (inventarizaci) hlavních závlahových soustav v majetku státu, jejich skutečného aktuálního využití a identifikaci jejich majetkoprávních poměrů.

V současné době jsou v územní působnosti PM a v majetku státu provozovány již pouze čtyři, resp. pět hlavních závlahových soustav, a to:

- Závlahová soustava „*Krhovice-Hevlín*“, včetně náhonu N1 a náhonu N2 (PM, provozuje společnost Závlahy Dyjákovice, spol. s r. o.)
- Závlahová soustava „*Brod-Bulhary-Valtice, 1. stavba*“ (PM, provozují společnosti Závlahy Dolní Dunajovice, s.r.o. (Trödler, s.r.o.), Landmann s.r.o.)
- Závlahová soustava „*Brod-Bulhary-Valtice, 8. a 9. stavba*“ (SPÚ, do roku 2015 provozovala společnost VIA AQUA, s.r.o., Velké Bílovice)
- Závlahová soustava „*Trníček-závlahový kanál K7*“ (správa i provoz PM)
- Závlahová soustava „*Podivín-Lužice I*“ (SPÚ, do roku 2015 provozovala společnost VIA AQUA, s.r.o., Velké Bílovice)

Z pohledu závlahových soustav lze ještě také zmínit následující systémy:

- Závlahová soustava „*Břeclav-Lanžhot, kanál K5*“ (správa SPÚ, do roku 2015 provozovala společnost VIA AQUA, s.r.o., Velké Bílovice)

- Závlahová soustava „Hodonín-Lanžhot, kanál K6“ (správa SPÚ, do roku 2015 provozovala společnost VIA AQUA, s.r.o., Velké Bílovice)
- Podivín II, Regulační drenáž (správa i provoz SPÚ)
- Bulhary-Přítluky, regulační drenáž (správa i provoz SPÚ)
- Strážnice-Rohatec (správa i provoz SPÚ)
- Uherčice-regulační drenáž (správa i provoz SPÚ)
- Veselí-Vnorovy (správa i provoz SPÚ)
- Němčice-podmok (správa i provoz SPÚ)
- Závlahová soustava „Závlahy pod Brnem“ (soukromé subjekty)

Pro každou z výše citovaných soustav byl mimo jiné vytvořen „pasport závlahové soustavy“, obsahující základní identifikační údaje, včetně mapového zakreslení a fotodokumentace aktuálního stavu. Tam, kde to bylo možné, byly prověřeny majetkoprávní vztahy a platná vodoprávní rozhodnutí k jednotlivým objektům k provozování závlah a závlahové stavby.

Obr. č. 1 Pasport závlahové soustavy „Brod – Bulhary - Valtice, 1. stavba“

Pasport závlahové soustavy (ZS)		
Název ZS	Závlahová soustava „Brod-Bulhary-Valtice, 1. stavba“	Rok výstavby
Vodní zdroj	Vodní nádrž Nové Mlýny - horní	ID - ZS
		B-B-V 1
Vlasta na územní jednotky:		
Kraj	ČSPP	Katastr
Jihomoravský	Břeclav	Dotín, Dunajovice, Břečci u Mikulova, Mikulov na Hvozdu, Blatná, Brod nad Dyjí
Dělní povodí	Číslo hydrolog. pořadí	DVJ, DVZ, J
	4-14-03-0720	DVJ_0296_J
Daje	14-17-01-0501	DVJ_1250
Popis současného stavu		
Závlahová soustava zajišťuje přečerpávání závlahové vody z horní nádrže vodního díla Nové Mlýny přes podtlak (ČS 1) do sektorového závlahového kanálu B-B-V 1, o délce 15,41 km. Z tohoto kanálu může být voda do místa závlah dopravována dalšími šesti čerpacími stanicemi, z nichž všechny byly privatizovány a jsou v režimem státní provozuschopnosti.		
Objekty ZS		
B-B-V ČS 1 (ČS P 0) – stavební část B-B-V ČS 1 (ČS P 0) – technologická část B-B-V ČS 1 (ČS P 0) – instalace Kanál B-B-V 1, stavba – výtažné potrubí = zatrubněná část kanálu Kanál B-B-V 1, stavba – výtažný betonový kanál = umělý vodní tok Závlaha B-B-V 1, stavba - ČSZ 1 Závlaha B-B-V 1, stavba - ČSZ 2 Závlaha B-B-V 1, stavba - ČSZ 3 Závlaha B-B-V 1, stavba - ČSZ 4 – povolení do 31. 12. 2018 Závlaha B-B-V 1, stavba - ČSZ 5 Landmann - B-B-V (obousměrně později, sezení mobilní čerpadlo)		
Související závlahové stavby		
B-B-V Landmann NMH (sezení) Závlaha B-B-V 1, stavba (ČSZ 6, plocha 10) Závlaha B-B-V 1, stavba (ČSZ 7, plocha 10) Závlaha B-B-V 1, stavba (ČSZ 8, plocha 10)		
Vydání rozhodnutí		
1. Dne 24. 8. 2012 pod čj. 106238/2012-4426-12141 vydaný souhlas zakladatele s projevem ZS formou nabídkového řízení. 2. Dne 21. 12. 2012 pod čj. PM087240210-220449/Nov (smouva o výpůjčce) 3. Dne 4. 7. 2013 pod čj. MUMH 13017972 prodlouženo povolení nakládání s vodami pro ČS 1 (ČS P 0) 4. Dne 19. 8. 2013 – čj. MUMH13022244 prodlouženo povolení nakládání s vodami pro ČSZ 2 kanálu B-B-V 5. Dne 19. 8. 2013 pod čj. MUMH13022246 prodlouženo povolení nakládání s vodami pro ČSZ 5 kanálu B-B-V 6. Dne 22. 10. 2013 pod čj. MUMH13029551 prodlouženo povolení nakládání s vodami pro ČSZ 1 kanálu B-B-V 7. Dne 25. 10. 2013 pod čj. JMKS7975/2013 prodlouženo povolení nakládání s vodami pro ČSZ Břečci kanálu B-B-V.		

Mapové zakreslení ZS

Fotodokumentace ZS

Na základě dostupných informací jsme sestavili také souhrnný přehled o odběratelích, odběrných místech, technických zařízeních a množství závlahové vody. Seznam odběratelů/uživatelů vody pro závlahy byl zpracován s údaji o současném povoleném množství vody, platností povolení k nakládání s vodami, o odebraném množství vody v letech 2009–2015 a pro porovnání také v klimaticky nepříznivém, suchém roce 2003. Pokud byl

údaj dostupný, také rozloha zavlažované plochy v roce 2013, 2014, 2015, většinou zjištěna z hlášení o krytí vláhového deficitu. Pro porovnání jsou uvedeny také informace o původních povoleních platných do roku 2007. Pokud chtěli uživatelé po ukončení platných povolení k odběru vody vydaných před 31. 12. 2001 vodu k závlahám dále využívat, museli je aktualizovat. PM pro vyjádření k těmto nakládáním s vodami vyžadoval, aby uživatelé závlahové vody uvedli požadovaná množství v nových nakládáním s vodami, s určitou rezervou, do souladu se skutečnými spotřebami z posledních let. Tím byla ve většině případů upravena, v podstatě těžko realizovatelná, povolená množství vody (původně povolená množství neodpovídala kapacitám vodních toků a vodních nádrží).

V rámci této inventarizace byly identifikovány zcela základní nedostatky v této části vodohospodářské a zemědělské politiky státu, a to:

- Absence koncepce zemědělské politiky s ohledem na současnou zemědělskou produkci, potravinovou soběstačnost ve vazbě na klimatickou změnu, nebezpečí sucha, potřeby závlah a s tím související potřebu vody, včetně výhledového stavu;
- Technicky a morálně zastaralý majetek závlahových soustav s množstvím technických problémů, které již pro zamezení havarijního stavu a udržení současné funkčnosti vyžadují značné náklady;
- Vazba na hospodaření na pozemcích;
- Absence informací o rozsahu zemědělských pozemků zavlažovatelných a zavlažovaných (jsou k dispozici pouze neucelená data tam, kde odběry závlahové vody překračují stanovené limity, spadají do vodohospodářské bilance);
- Neznalost skutečné potřeby vody pro závlahy;
- Nevyjasněné majetkoprávní a provozní vztahy dotýkající se závlahových soustav (roztříštěnost vlastnictví, nedořešené majetkoprávní vyrovnání, otázka církevních restitucí).
- Nevyhovující a neaktuální oficiální grafická data;

Navrhované kroky zřizovateli - Ministerstvu zemědělství (dále MZe)

PM ani SPÚ není oprávněn provádět podrobnou analýzu stavu závlah a jejich potřeb u koncových uživatelů, tedy zemědělců. Za to nese odpovědnost zřizovatel, stejně jako

za strategii či koncepci ČR v oblasti zemědělství, které by měly obsahovat s tím přímo související potřeby závlah zemědělské půdy. Závěrem celé inventarizace hlavních závlahových zařízení bylo, mimo jiné, na základě svých zjištění doporučit postupné kroky zřizovateli obou státních subjektů - MZe, vedoucí ke sjednocení přístupu a k zajištění provozuschopnosti a rozvoje hlavních závlahových zařízení na celostátní úrovni.

1. Přípravné práce ke zpracování koncepce závlahových staveb (provozu a rozvoje) a zařízení ve vlastnictví a správě státu

- Analýza všech dosud státem spravovaných závlahových zařízení z pohledu strategické významnosti (nadregionální, regionální, lokální), potřebnosti současné i výhledové, funkčnosti, ekonomičnosti provozu, smluvních podmínek;
- Definování a vyhodnocení požadavků a potřeb na obnovu nefunkčních či technicky a morálně zastaralých stávajících významných závlahových soustav;
- Ekonomická analýza provozu závlah (z pohledu vlastního provozu, udržení provozuschopnosti, nutných oprav a investic v krátkodobém až střednědobém horizontu);
- Vyhodnocení stávající legislativy k nakládání s povrchovou vodou pro závlahové účely a pokrytí vláhových deficitů, obchodování se závlahovou vodou, povinností a práv odběratelů závlahové vody (např. snížení množství limitu pro ohlašování odběrů závlahové vody než jsou současné limity pro vodohospodářskou bilanci);
- Vyhodnocení stávajících potřeb na množství závlahové vody, podle regionů, např. ve vazbě na skutečné odběry v minulosti. Tzn. vyhodnocení potřeb vody na krytí vláhového deficitu a potřeb vody pro jiné účely, včetně výhledového stavu ve spojitosti s předpokládaným vývojem klimatické změny a koncepcí zemědělské produkce.

2. Koncepce rozvoje závlahových soustav a zařízení ve vlastnictví a správě státu

- Vymezení významných zemědělsky obhospodařovaných ploch s potřebou eliminovat vláhové deficity ve středně až dlouhodobém výhledu;
- Vazba těchto ploch na stávající závlahové soustavy a zdroje povrchových vod, včetně vyhodnocení možností pokrytí potřeb závlahové vody z těchto zdrojů (s vazbou na požadavek dosažení dobrého ekologického stavu – udržení ekologických průtoků);

- Ve vazbě na toto vyhodnocení popsat současný technický stav a majetkoprávní vztahy stávajících staveb k pozemkům a dalším zařízením;
- Určení priorit při postupném (vzhledem k finančním nárokům cca 10 let) řešení rekonstrukcí, oprav a rozvoji závlahových staveb a zařízení včetně finančních nároků;
- Harmonogram přípravy a realizací postupných oprav, rekonstrukcí a úprav závlahových zařízení ve vlastnictví státu;
- Stanovení smluvních podmínek pro odběry závlahové vody jak pro koncové uživatele (zemědělce), tak pro distributory – vazba na legislativu popř. na úpravu legislativy (novela vodního zákona);
- Stanovení konkrétních požadavků na množství odběrů závlahové vody podle jednotlivých závlahových soustav či staveb.

3. Koncepce provozu závlahových soustav a zařízení ve vlastnictví a správě státu

- Určení jednotného správce závlahových zařízení v majetku státu pro celou ČR;
- Koncepce financování údržby a provozu závlahových staveb a zařízení (provoz, opravy, investice) - zajištění financování závlah ze státního rozpočtu (?) a od uživatelů vod (?) podle vypracovaného plánu rozvoje;
- Zahájit postupné dosud nedořešené majetkoprávní vypořádávání těchto vodních děl;
- Rušení do budoucna neúčelných a nevyužívaných závlahových staveb;
- Legislativní změny pro naplnění požadavků Evropské komise a v souvislosti s provedenými výše citovanými kroky v problematice „závlah“.

Materiál schválený Usnesením vlády č. 620 z 29. července 2015 s názvem „Příprava realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody“ (dále UV č. 620)

Tímto usnesením vlády byl přijat materiál, který si za hlavní cíl klade přípravu a realizaci opatření k co možná největšímu zmírnění následků sucha. V návaznosti na tento materiál byla Poradou vedení MZe schválena „Strategie k realizaci opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody“ (dále Strategie), vypracovaná panem RNDr. Punčochářem ve spolupráci se státními podniky Povodí (dále s. p. Povodí). Cíle stanovené v rámci

navrhovaných opatření by měly být dosaženy naplněním úkolů z UV č. 620, které jsou také citovány ve zmiňované Strategii v příloze č. 1. Úkoly jsou rozděleny do sedmi okruhů, z nichž každý má různý počet dílčích úkolů, a to:

- A. Monitorovací a informativní opatření – 7 úkolů (A/1 až A/7);
- B. Legislativní opatření – 6 úkolů (B/1 až B/6);
- C. Organizační a provozní opatření – 8 úkolů (C/1 až C/8);
- D. Ekonomická opatření – 6 úkolů (D/1 až D/6);
- E. Technická opatření – 8 úkolů (E/1 až E/8);
- F. Environmentální opatření - 8 úkolů (F/1 až F/8);
- G. Jiná opatření - 7 úkolů (G/1 až G/7).

Každý z těchto padesáti úkolů má jasně určeno, jaký subjekt zodpovídá za jeho naplnění, a které subjekty mají se zodpovědným resortem spolupracovat. Součinnost státních podniků Povodí je očekávána celkově pro naplnění osmnácti úkolů s různým termínem plnění, kde jako nejaktuálnější jsou ze strany MZe určeny v roce 2016 následující úkoly:

Úkol C/1	Vypracovat sjednocující požadavky na operativní řízení vodních nádrží v období sucha (formou příslušné revize manipulačních řádů významných vodních děl a MVN primárně určených ke zvládnutí sucha a nedostatku vody) vedoucí k zajištění rovnováhy mezi maximálním využitím vodního zdroje a minimálními dopady hospodaření nádrže na ekosystémy vázané na nádrž a na úsek toku pod nádrží.
Zajistí	MZe, MŽP
Součinnost	podniky Povodí, krajské úřady
Termín	2016

Úkol C/2	Provést revizi možností rekonstrukcí (včetně odstranění sedimentů pro zvětšení zásobního prostoru) vodních nádrží prioritně v lokalitách potenciálně ohrožených suchem; navrhnout harmonogram investic a způsob financování.
Zajistí	MZe
Součinnost	podniky Povodí, Lesy ČR, krajské úřady, AOPK ČR
Termín	2016

Úkol D/3	Vypracovat analýzu účinného omezení dlouhodobě nevyužívaných rezervovaných limitů pro odběr vody vedoucí k jejich racionálnímu využití (v duchu user-pay principu) a tím ke snížení potenciálního zatížení vodního zdroje.
----------	--

Zajistí	MZe
Součinnost	podniky Povodí, IEEP, MPO, SOVAK
Termín	2016

Úkol D/4	Vypracovat analýzu vydaných povolení povrchových odběrů vč. návrhu na jejich revizi a návrh cílené dotační podpory vhodných opatření a technologií podporujících retenci vody v krajině (např. změnou způsobu hospodaření na zemědělské a lesní půdě, zlepšením efektivity závlahových systémů, podporou vlastníků lesní a zemědělské půdy v oblastech přirozené akumulace vod apod.) a dlouhodobé snížení spotřeby vody jako takové.
Zajistí	MZe, MŽP, MO
Součinnost	MF, MZd
Termín	2016

Úkol E/3	Zhodnotit potenciál povodí ohrožených výskytem sucha a nedostatkem vody z hlediska možností převodů vody ze sousedních povodí s dostatkem vodních zdrojů (pouze za určitých okolností, např. v době platnosti nejvyššího stupně sucha s tím, že se v žádném vodním útvaru nezhorší stav) jako alternativy k budování malých vodních nádrží.
Zajistí	MZe, MŽP
Součinnost	podniky Povodí, krajské úřady
Termín	2016

V materiálu „Strategie“ je k naplnění úkolů vytvořen harmonogram aktivit pro tzv.:

- Prioritní úkoly;
- Krátkodobé úkoly do r. 2017;
- Střednědobé úkoly (2018 – 2030);

Kde s. p. Povodí se dotýkají následující úkoly:

Typ úkolu	Úkol	Termín
Prioritní	Vyhodnocení situace vodních zdrojů a vodohospodářské bilance v roce 2015	31. 3. 2016
Prioritní	Úprava manipulací na vodních dílech a podmínek omezování odběrů vodoprávními úřady z hlediska veřejného zájmu na využívání závlah ve prospěch zemědělské a potravinářské produkce.	30. 6. 2016
Prioritní	Zpracování záměrů na prioritní posílení vodních zdrojů v povodích vodních toků s kritickou vodohospodářskou bilancí	31. 12. 2016
Krátkodobý	Pokračovat v přípravě realizace čtyřech nádrží v územích ohrožených nedostatkem vody.	31. 12. 2017

Krátkodobý	Zpracovat studie proveditelnosti realizace vodních nádrží v bilančně napjatých a bilančně pasivních povodích.	31. 12. 2017
Krátkodobý	Provéřit dostupnost vodních zdrojů v lokalitách, ve kterých zemědělci navrhuji realizaci závlah a navrhnout řešení, pokud stávající zdroje nevystačí.	30. 6. 2016
Krátkodobý	Připravit dotační titul na odstraňování sedimentů z přehradních nádrží.	-
Střednědobý	Provéřovat možnosti obnovy zaniklých rybníků v jednotlivých povodích	průběžně
Střednědobý	Ve veřejném zájmu zahájit realizaci propojení vodohospodářských soustav k zajištění disponibilních vodních zdrojů v regionech s dlouhodobě napjatou vodohospodářskou bilancí	2019
Střednědobý	V návaznosti na vývoj klimatu a stavu vodních zdrojů zahájit v souladu s Generalem LAPV přípravu přehradních nádrží v povodích ohrožených suchem jako součást III. etapy plánování	2020
Střednědobý	Zahájit realizaci přehradních nádrží navržených v lokalitách nejohroženějších suchem a nedostatkem vody ve vodních tocích	2020 a dále průběžně

V současné době je nutné zdůraznit, že prioritou pana ministra zemědělství Jurečky, ve vztahu „voda - zemědělství“, je rozvoj závlah a jejich podpora. Od s. p. Povodí je tedy velmi aktuálně očekáváno zhodnocení dostupnosti dostatečných vodních zdrojů pro současně provozované závlahové soustavy a rovněž pro závlahové systémy, které budou rozvíjeny podle předaných požadavků zemědělců, uvedených v příloze č. 3, materiálu „Strategie“. Zde je souhrn požadavků od konkrétních subjektů na výstavbu, rekonstrukci nebo rozšíření současných závlah, které obdrželo MZe v rámci své výzvy uskutečněné na podzim loňského roku. Požadavky z této přílohy týkající se území ve správě PM lze shrnout následovně:

- **30 subjektů** celkem podalo konkrétní žádost na realizaci/rekonstrukci závlah;
- výměra pozemků, které budou akcemi zavlažovány, činí **1720,35 [ha]**;
- z toho 10 subjektů předpokládá jako zdroj podzemní vodu – jedná se o plochu 308,45 [ha];
- u 5 subjektů z 30 se jedná již nyní o nadlimitní odběratele vody pro závlahy a z velké části se jedná o rekonstrukci již fungujících závlahových systémů o zavlažovatelné ploše 962 [ha];
- 2 subjekty z 30 mají v současné době dodávku závlahové vody zajištěnu současnými fungujícími závlahovými společnostmi;

- 13 subjektů žádá o investici do závlahy ovocných sadů/školek, 5 subjektů pro zeleninu/obiloviny, 12 subjektů pro okrasné školky;

Další 4 subjekty (Zelinářská unie, Svaz pěstitelů chmele, Svaz vinařů, Cech blatnických vinařů) uvedly požadavky v rovině obecné, popřípadě legislativní a jejich naplnění by mělo být předmětem okruhu úkolů B. z UV č. 620.

Z pohledu prvotního vyhodnocení potřeby vody současných nadlimitních odběratelů vody pro závlahy, které PM registruje v rámci vodohospodářské bilance, došlo v roce 2015 k navýšení odběrů, ovšem stále se až na výjimky jedná u celkově 45 odběrů pro závlahy o čerpání v rozmezí do 50% povoleného množství, a to:

- Dílčí povodí Moravy - 1 odběr z 10 převyšující 50% povoleného množství (ovšem jedná se o odběratele s menším povoleným ročním objemem vody k odběru);
- Dílčí povodí Dyje - 10 odběrů převyšující 50% povoleného množství, z toho v případě pěti z nich (když opomeneme Centrální odběrný objekt v gesci PM) se jedná také z pohledu povolených ročních objemů vody k odběru o největší odběratele vody pro závlahy;

Souhrnná data v průměru **za roky 2009–2015**, tedy od doby snížení původně povolených množství ze strany PM, ukazuje následující tabulka:

Dílčí povodí	Počet odběrů	Povolené množství [tis. m ³ /rok]	Skutečně odebrané [tis. m ³ /rok]	%
Moravy	10	1 084,2	43,3	4,0
Dyje	34	36 908,5	16 441,3	44,5

Závěry z pohledu správce povodí

Jižní Morava je nejzranitelnější oblastí ČR z pohledu dopadu sucha na zemědělství, krajinu i vodní toky. Závěry i průměrných scénářů vývoje a dopadu klimatické změny v Evropě vyhodnotily právě jižní Moravu společně s Dolním Rakouskem za území s největším dopadem. Rok 2015 tyto závěry plně potvrdil a ukázal dopady v oblasti nedostatku vody v celé oblasti dílčího povodí Moravy a Dyje.

Zemědělství na jižní Moravě je závislé na dodávkách vody pro závlahy a zejména v suchých obdobích. S ohledem na situování jižní Moravy v široké údolní nivě s minimálním výškovým převýšením je však na rozdíl od zbytku republiky dodávka závlahové vody závislá na existenci a provozování rozsáhlých závlahových systémů včetně soustavy kanálů, trubních

systemů, nádrží a čerpacích stanic. Po transformaci ZVHS došlo k roztržitosti a narušení jednotné správy, změny účelu a provozování závlah. Stávající systém není schopen plně zabezpečit dodávku vody na území s vláhovým deficitem. Provozovány jsou, až na výjimky, jen lokální (ostrovní) závlahy některých hospodařících subjektů.

Je nutné zdůraznit, že jestliže nedojde k rychlému řešení problematiky závlah jakožto celku, v podobě vypracování zmíněné ucelené Koncepce zemědělské politiky s ohledem na zemědělskou produkci, potravinovou soběstačnost ve vazbě na klimatickou změnu a nebezpečí sucha, potřeby závlah a s tím související potřebu vody, včetně výhledového stavu, **za současného zachování dobrého ekologického stavu vod** (minimálních zůstatkových průtoků a dosažení cílů ochrany vod jako složky životního prostředí), nebude do budoucna možné zajistit zemědělské sféře požadovaný přísun vody.

Dá se očekávat, že v případě dlouhodobého sucha by se nezvyšovaly jen odběry vody pro závlahy, ale i množství vody odebírané pro úpravu na vodu pitnou z vodárenských nádrží ležících výše na vodních tocích. Maximální povolené odběry vody pro všechna užívání by tak při dlouhodobém trvání sucha mohly mít i významnější nepříznivý vliv na vodní ekosystémy.

O posílení vodních zdrojů pro závlahy v rámci Dyjsko-svratecké soustavy, která v současné době nejvíce přispívá k pozitivnímu hospodaření s vodou ve vodních tocích v dílčím povodí Dyje, nelze hovořit. Horní nádrže soustavy jsou vodárenské, či s vodárenským odběrem (Vír, Mostiště, Hubenov, Nová Říše, Vranov) a neumožňují v době dlouhotrvajícího sucha výrazně posilovat nádrže v dolní části soustavy (Brno, VD Nové Mlýny).

Z hlediska možnosti převodů vody mezi povodí (úkol E/3), byl nedostatek vodních zdrojů v minulosti řešen realizací převodu vody k posílení vodního zdroje Hubenov a to přivaděčem vody z povodí Jedlovského a dále přivaděčem vody z povodí Jiřínského potoka. Posílení vodního zdroje Hubenov je nezbytné i v období mimo sucho, s ohledem na intenzivní využívání této vodárenské nádrže. S ohledem na nedostatečné kapacity stávajících vodních zdrojů v povodí Moravy nelze uvažovat v současné době o budování dalších převodů vody, neboť neexistuje bilančně aktivní povodí nebo vodní zdroj, který by díky své kapacitě byl schopen jiný vodní zdroj posílit.

Je nutné také zmínit, že v současné době nelze uvažovat ani o posílení povrchových vodních zdrojů čerpáním podzemních vod. Jak ukazují výsledky „*Rebilance zásob podzemní vody*“, které provedla Česká geologická služba, bude nutné naopak přehodnotit i dosud povolené odběry podzemní vody. Například u hydrogeologického rajónu 2241 - Dyjsko-Svratecký úval, který patří mezi významné zdroje podzemní vody na jižní Moravě, povolené odběry výrazně

převyšují množství skutečně čerpané a v případě jejich plného využití by došlo k jeho „vysušení“. Podobně byl vyhodnocen také hydrogeologického rajón 2242 - Kuřimská kotlina, kde jsou odebíraná množství podzemní vody na hranici, které je možné z tohoto hydrogeologického rajónu čerpat.

Zásadní pro ČR je jakékoliv zpomalování odtoku vody, která u nás pochází výhradně z atmosférických srážek. Významné je zadržování vody v krajině, kterou jsme značně pozměnili a tím se zmenšila její schopnost vodu zadržovat. Z tohoto pohledu „opatření v krajině“ je zásadní zlepšení kondice zemědělských půd, které v dnešní době mají, vlivem nadměrné eroze půdy a nevhodného hospodaření, podstatně sníženou schopnost zadržovat vodu. Řešení problematiky zemědělského sucha se proto z velké části nachází v samotném zemědělském hospodaření. V případě dlouhodobého sucha nebo očekávaných delších období bez srážek ve vegetační době se však do budoucna zřejmě neobejdeme bez budování nových zdrojů povrchové vody pro její všestranné využití. Docházíme tak k tolik diskutované výstavbě víceúčelových vodních nádrží. Ty jsou totiž jako jediné schopné svým zásobním objemem vody zabezpečit za sucha dlouhodobě stabilní krytí potřeb pro vodárenské účely, průmysl i zemědělství, ale také pro udržení dobrého ekologického stavu vodních toků a na vodu vázaných ekosystémů. Z tohoto důvodu, je nezbytné komplexně přehodnotit počet **hájených lokalit akumulace povrchových vod**, ale též jejich rozsahu (rozlohy hájených území), neboť u mnoha z nich byl v minulosti velmi redukován.

Kontakt:

Ing. Kateřina Čudková, Ph.D.

Povodí Moravy, s.p., Dřevařská 11, 602 00 Brno

Telefon: +420 541 637 542, +420 720 958 480

Email: cudkova@pmo.cz

Půdní a zemědělské sucho: role půdních organismů

Soil and agricultural drought: the role of soil organisms

Dana Elhottová

Biologické centrum AVČR, v.v.i., Ústav půdní biologie, České Budějovice

Abstrakt

Omezená dostupnost vody v půdě se zcela zásadně promítá do zemědělské činnosti. Dlouhodobá perspektiva nepříznivých klimatických podmínek nutí k přehodnocení dosavadních přístupů k půdě v nejrůznějších směrech. Nedílnou součástí půdy je její živá složka – půdní organismy (edafon). Tento příspěvek přináší pohled na eko-fyziologii půdních organismů ve vztahu k dostupnosti vody v prostředí, na ekosystémové služby, které půdní organismy zajišťují a jejich roli diskutuje v souvislostech se zemědělským suchem.

Klíčová slova: edafon, půdní organická hmota, biodiverzita, adaptační mechanismy, multi-trofní interakce

Abstract

Limited water availability in soil is reflected in agricultural activities fundamentally. Long-term prospects of unfavourable climatic conditions force us to rethink current approaches to landscape and soil. An integral part of the soil is its living component – soil organisms (edaphon). This contribution brings a view on eco-physiology of soil organisms in relation to water availability in the environment, on ecosystem services provided by soil organisms and it discusses the role of soil organisms in relation to agricultural drought.

Keywords: edaphon, soil organic matter, biodiversity, adaptation mechanisms, multi-trophic interaction

Edafon - klíčová součást půdy

Nedílnou součástí půdy je její živá složka - edafon. Edafon zahrnuje všechny organismy, které žijí v půdě trvale anebo jen část svého životního cyklu, což představuje zástupce všech domén a říší organismů, které se vyskytují na Zemi. Převážnou část edafonu tvoří mikroorganismy, následované živočichy a rostlinami (Obr. 1). Díky rozvoji a kombinaci environmetálních a molekulárních přístupů byly v posledních desetiletích získány cenné nové údaje o biodiverzitě i ekologii jeho složek, které jasně řadí půdu mezi jeden z nejvíce biologicky rozmanitých systémů na Zemi. Zároveň bylo získáno dostatek důkazů, o ztrátách biologické rozmanitosti

půdy, které mohou mít negativní vliv na udržitelnost globálních ekosystémů. Zástupci edafonu, patří k velmi málo známým a doceňovaným organismům většinou částí lidské společnosti. Důvodem je fakt, že se jedná z valné části o neviditelnou (mikroskopickou) složku biot skrytou pod povrchem půdy. Ačkoliv v rámci půdního celku představuje edafon jen zlomek procenta, a v rámci celkové půdní organické hmoty jen jednotky procent, jak schematicky znázorňuje Obr 1., hraje klíčovou roli nejen v půdě, ale i v celém ekosystému. Nejvýznamnější funkcí edafonu jsou přeměny (transformace) odumřelé organické hmoty (OOH), které zahrnují přeměny OOH na biomasu edafonu (produkce) a na ostatní půdní organickou hmotu (humifikace a stabilizace) za současného uvolňování živin (mineralizace). Transformace organické hmoty je zajišťována v součinnosti všech složek edafonu a v závislosti na abiotických podmínkách prostředí. Tato komplexní (multi-trofní) síť procesů a vztahů, představující ústřední službu v půdě zajišťovanou edafonem, je logicky provázána i s jeho ostatními službami, jejichž přehled uvádí Tabulka 1.

Tabulka 1 Hlavní ekosystémové služby zajišťované půdními organismy a související s transformací organické hmoty v půdě

Koloběh organické hmoty a živin

Produkce rostlinné biomasy

Zásobník stabilní organické hmoty a živin

Zdroj bio-diversity

Regulace dostupnosti vody a živin

Výměna plynů

Tvorba struktury půdy

Tvorba nových habitatů

Kontrola patogenů a škůdců

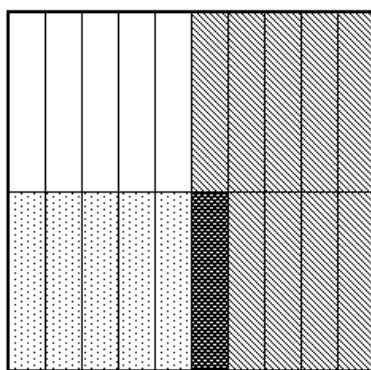
Detoxikace prostředí od znečišťujících látek

Bio-remediace prostředí

Edafon je zároveň nepostradatelný i pro vytváření půdní organické hmoty v pionýrských stádiích vzniku ekosystému, kdy se postupně půdní organická hmota formuje pouze z jeho vlastní biomasy. Schopnost půdních organismů osídlit prostředí prosté půdní organické hmoty a zlepšit podmínky včetně dostupnosti vody pro další organismy je dobře dokumentován i v našich podmínkách na příkladech nově se vyvíjejících ekosystémů v místech s ukončenou těžbou jako jsou hnědouhelné výsypky.





Obr. 1 Schématické znázornění podílu živé složky v půdním celku

Zastoupení složek půdy

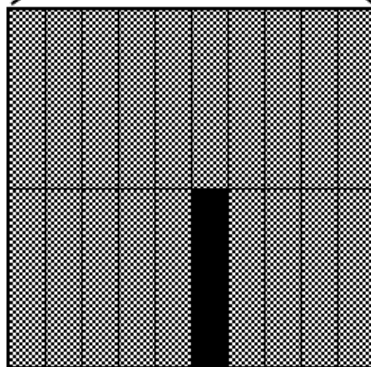


SLOŽENÍ PŮDY:

[objemová %]



	Minerální podíl	45%
	Voda	25%
	Vzduch	25%
	Organická hmota	5%

5%

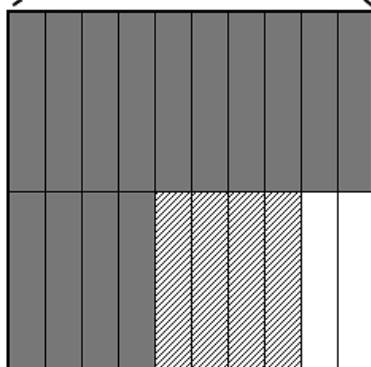


SLOŽENÍ PŮDNÍ ORGANICKÉ HMOTY:

[hmotnostní %]




	Odumřelá organická hmota	> 90%
	Živá organická hmota (EDAFON)	< 4%

< 4%



SLOŽENÍ ŽIVÉ ORGANICKÉ HMOTY:

[hmotnostní %]

	Půdní mikroorganismy	60 - 80%
	Půdní živočichové	15 - 30%
	Kořeny	5 - 10%

V procesu tzv. primární sukcese společenstev půdních organismů lze dobře sledovat, jak edafon postupně od specifických mikrobiálních forem (např. krusty půdních sinic v iniciálních stádiích sukcese) zapojuje do půdní sítě vyšší formy organismů, a zhruba v rozpětí třiceti až padesáti let vytvoří první centimetry stabilní půdní organické hmoty. Právě

stabilní složka půdní organické hmoty, je nesmírně důležitá pro vyrovnávání dostupnosti vody v terestrickém ekosystému. Jedná se o těžce rozložitelný materiál s nízkou výživovou hodnotou, ale s nenahraditelnou strukturou umožňující zadržovat a uvolňovat velké objemy vody. Čím více má půda stabilní půdní organické hmoty, tím se lépe vyrovnává s vlhkostními výkyvy.

Vztah edafonu k dostupnosti vody v prostředí

Edafon, stejně jako ostatní organismy potřebují k fyziologickým procesům vodu, která je nezbytnou součástí metabolických procesů, zajišťuje aktivitu enzymů a je zároveň důležitou součástí vnitrobuněčného prostředí. V okolním prostředí voda ovlivňuje organismy nepřímo skrze teplotu půdy (je dobrý vodič tepla), aeraci prostředí (různou měrou zaplňuje půdní póry), pH reakci, koncentraci rozpuštěných živin i jiných chemických látek, ovlivňuje tak pohyb, typ metabolismu, růst i vzájemné interakce půdních organismů.

Pro půdní prostředí je typické, že dostupnost vody kolísá v čase i v prostoru. Půdní organismy proto vyvinuly škálu adaptačních mechanismů, pomocí nichž relativně dobře čelí stresům v prostředí. Vlákňité mikroorganismy překonávají nedostupnost vody v prostředí přemostěním suchých míst svými vláknitými těly, čehož s výhodou využívají rostliny formou spolupráce s mykorrhizními houbami. Osmotický tlak, vyvolaný vodní disbalancí, regulují půdní organismy za pomoci akumulace nebo spotřeby různých typů zásobních látek. Významná je povrchová obrana v podobě odolnějších buněčných obalů včetně slizových pouzder a vytváření mikrobiálního biofilmu. Většina půdních mikroorganismů přechází snadno z biotického do anabiotického stavu a zpět. Zooedafon díky svojí mobilitě aktivně vyhledává příhodnější prostředí, nepříznivé období sucha překonává v hlubších půdních vrstvách. Také kořeny rostlin využívají řadu adaptačních opatření často ve spolupráci s rhizosférymi mikroorganismy. Četné studie ukazují, že mikroorganismy (bakterie i houby) podporující rostlinný růst pozitivně ovlivňují rostliny vystavené stresu vodního deficitu. Studie zaměřené na vliv mnohočetných stresů spojených s klimatickými změnami (sucho, zvýšené UV, zvýšená koncentrace ozonu v ovzduší, zvýšené koncentrace solí v půdním roztoku) poukazují na řadu změn v interakci mezi rostlinou a ostatními složkami edafonu.

Klimatické změny a zemědělské sucho

Je dobře známo, že v důsledku přeměn původních přirozených ekosystémů na agro-ekosystémy ve spojení s intenzifikací zemědělství, se drasticky snížila biologická rozmanitost zemědělské půdy, což vede ke snížení poskytovaných ekosystémových služeb půdou, včetně

stabilizace OH a následně i schopnosti zadržetí a hospodaření s vodou. Paradoxem, který vyplývá z nedostatku informací nebo jejich ignorování, je nadále trvající intenzifikační přístup k zemědělské i nezemědělské půdě, který snižuje její odolnost k stresům, ačkoliv v podmínkách extrémních klimatických změn je potřeba naopak posilovat kapacitu odolnosti a houževnatosti (resilience) půdy při stresových zátěžích. Z pohledu potřeb půdy a její živé složky, se jako vhodná pomoc jeví začlenění přirozených trvalých pásů vegetace do nepřirozeně velkých oraných celků. Studie ekotonů mezi zemědělsky využívanou a přirozenou půdou indikují prospěšnost takových opatření pro biodiverzitu edafonu. Omezení pesticidů, těžké mechanizace a starostlivost o návrat vhodné organické hmoty do půdy patří mezi notoricky známé potřeby pro ozdravení a oživení zemědělských půd, které je třeba prosazovat i bez ohledu na nepříznivé klimatické změny. V souvislosti s řešením kritické situace kolem zhoršujícího se stavu našich půd a nepříznivými klimatickými změnami, je však třeba intenzivně doplňovat a integrovat poznatky o multi-trofních vztazích mezi všemi složkami edafonu a jejich odpovědích na vlivy prostředí, které pomůžou hledat způsoby, jak se nejlépe se změnami vyrovnat. Dlouhotrvající a opakující se extrémní sucho povede k nejrůznějším adaptacím na úrovni organismů, společenstev i ekosystémů, které sebou ponese řadu nepříznivých i neočekávaných změn, a to zejména z pohledu lidské společnosti, která bude dál trvat na stávajících přístupech hospodaření a způsobu života. Je zřejmé, že změnám lépe čelí ekosystém, v kterém panuje přirozená vyváženost doprovázená vysokou funkční rozmanitostí zaručující pružnost, houževnatost i odolnost, a naopak, že intenzifikace v zemědělství ekosystémy jednostranně specializuje a vychyluje z přirozené rovnováhy, tak, že se stávají závislými na umělém dotování živinami, organickou hmotou a závlahami, ztrácí svoji přirozenou schopnost vyvažovat výkyvy a dochází k jejich postupné degradaci. Udržení zemědělské produkce, která dobře zajistí skutečné potřeby obyvatelstva je společným přirozeným úkolem současnosti, ke kterému patří sdílení znalostí a zkušeností mezi zemědělci, pedology, biology, chemiky, ekology, a dalšími odborníky ve vědecké i nevědecké oblasti.

Závěr

Edafon představuje typ biocenózy s velkým potenciálem pro objevení a pochopení nových biologických mechanismů a ekologických souvislostí. Kromě jiného je důležitým faktorem ovlivňujícím reakce rostlin na změnu klimatu.

Literatura

- Compant, S., Van Der Heijden, M.G.A., Sessitsch, A. (2010) Climate change effects on beneficial plant-microorganism interactions. *FEMS Microbiology Ecology* 73: 197-214.
- Frouz, J., Elhottová, D., Baldrián, P., Chroňáková, A., Lukešová, A., Nováková, A., Křišťůfek, V. (2013) Soil Microflora Development in Post-mining Sites. In: Frouz, J. (Ed.), *Soil Biota and Ecosystem Development in Post Mining Sites*. Taylor & Francis CRC Press, p. 104-131.
- Chakraborty, S., Pangga, I.B., Roper, M.M. (2012) Climate change and multitrophic interactions in soil: The primacy of plants and functional domains. *Global Change Biology* 18: 2111-2125.
- Jeffery, S., Gardi, C., Jones, A., Montanarella, L., Marmo, L., Miko, L., Ritz, K., Peres, G., Römbke J., van der Putten W. H. (eds.) (2010) *European Atlas of Soil Biodiversity*. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Killham, K. (2001) *Soil Ecology*. Cambridge Cambridge Univ. Press,
- Lukešová, A., Zahradníková, M., Frouz, J. (2013) Biological Soil Crusts in Post-Mining Areas. In: Frouz, J. (Ed.), *Soil Biota and Ecosystem Development in Post Mining Sites*. Taylor & Francis CRC Press, p. 53-65.
- Madsen, E.L. (2008) *Environmental Microbiology*. Oxford. Blackwell Publishing Ltd.
- Pineda, A., Dicke, M., Pieterse, C.M.J., Pozo, M.J. (2013) Beneficial microbes in a changing environment: Are they always helping plants to deal with insects? *Functional Ecology* 27: 574-586.
- Pižl, V., Zeithaml, J. (2005) Earthworms in an arable field-forest ecotone. *Contribution to Soil Zoology in Central Europe I*. Tajovský, K., Schlaghamerský, J. Pižl, V. (eds.) 113-117, ISB ASCR, České Budějovice.
- Wytwer, J., Tajovský, K. (2007) Centipede assemblages in an abandoned arable field with different plant diversity manipulations. *Contribution to Soil Zoology in Central Europe II*. Tajovský, K., Schlaghamerský, J. Pižl, V. (eds.) 205-209, ISB BC ASCR, České Budějovice.

Poděkování

Příspěvek je součástí aktivit „Hospodaření v krajině s ohledem na globální změny“ a „Půdní organismy – řídicí činitel procesů a ekosystémových služeb“ v rámci projektu „Rozmanitost života a zdraví ekosystémů“, Strategie AV21

Kontakt:

RNDr. Dana Elhottová, PhD.

Biologické centrum AVČR, v.v.i. – Ústav půdní biologie

ÚPB, BC AVČR,

Na Sádkách 7

370 05 České Budějovice

38 777 5764, danael@upb.cas.cz

Zemědělské sucho – krajina jako základ řešení

Agricultural drought – landscape as basis for solutions

Josef Fanta

Botanický ústav AV ČR, Průhonice

Abstrakt

Za probíhající klimatické změny a extrémních fluktuací počasí se půdní sucho stává kritickým faktorem pro provozování zemědělství. Změna způsobů provozování zemědělství je nezbytná. Hlavním cílem zemědělského využívání krajiny by měla být promyšlená kombinace ekonomických a ekologických hledisek, postavená na ochraně půdní vody. Volba vhodných způsobů hospodaření by měla vycházet z výsledků stanovištního mapování zemědělské krajiny. To poskytne podklady jak pro prostorovou úpravu krajiny, tak i pro potřebné pozemkové úpravy a pro volbu vhodných způsobů obhospodařování půdy. Reakcí na klimatickou změnu a hrozbu sucha by měly být systémové řízení vývoje a využívání krajiny jako prostoru veřejného zájmu, zodpovědná krajinná politika a krajinné plánování. Ty by měly nahradit dosavadní libovolné nakládání s krajinou bez jakýchkoliv pravidel.

Klíčová slova: klimatická změna; sucho; změna zemědělského hospodaření; stanovištní mapování; vize, politika a plánování krajiny

Abstract:

Under ongoing climate change and extreme weather fluctuations, soil water becomes a critical factor of the land use. A change of the land use and management practices is necessary. The main task of the future land use is a well-thought-out combination of economic and ecological management goals based on protection of soil water. The choice of proper management should be based on the results of site mapping of the land. This will bring a good basis for both spatial planning of the landscape, for necessary technical measures and for the choice of suitable management practices. A responsible reaction on climate change and the threat of drought should be a system steering process of development and use of landscape as a space of public interest, responsible landscape policy and landscape planning. They should replace the until now arbitrary large-scale land use without any rules.

Keywords: climate change; drought; change of agricultural land use; site mapping; landscape vision, policy and planning

Úvod

Extrémní výkyvy počasí v posledních letech jsou jasným signálem změny klimatu. Ta probíhá již několik desetiletí a její dopady se ve střední Evropě projevují stále výrazněji především v oblasti primární produkce – v zemědělství a v lesnictví. V ČR je názorným příkladem Morava. Do nedávné doby ve své jižní části označovaná za severní výběžek teplé Panonské oblasti je dnes téměř na celém území postihovaná extrémním suchem, které má pro tamní krajinu už vážné následky. A nad dalším vývojem zde panuje značná nejistota.

Je proto pochopitelné, že hlavní starostí českého zemědělského sektoru je půda a její zásobování vodou v budoucnosti. Tomu odpovídá i program zdejší konference počínající změnou klimatu a končící zájmem o technická a politická řešení. V této řadě mi ale chybí dva důležité články: krajina a způsoby jejího využívání. V tomto příspěvku chci uvést důvody, proč by se krajině a způsobům jejího využívání měla v této souvislosti věnovat náležitá pozornost.

Česká kulturní krajina

Česká kulturní krajina je ze své přírodní podstaty mimořádně proměnlivá. Tato proměnlivost je dána kombinací primárních stanovištních faktorů, ke kterým patří pestrá geologická stavba území, značná výšková členitost a lokálně odlišné hydrologické podmínky. V neposlední řadě k nim ale patří i zeměpisná poloha na pohyblivé hranici mezi subatlantickým a kontinentálním klimatem. Ve srovnání s plochými krajinami evropského východu nebo rovinatým severem a západem kontinentu je tedy česká krajina v principu maloplošná, s místně velmi rozdílnými půdními a hydrologickými podmínkami.

Na tuto prostorovou proměnlivost reagovalo i historické osídlení zdejšího území a využívání krajiny. Až do poloviny minulého století bylo zemědělské využívání krajiny postaveno na silném vlastnickém vztahu k půdě a na dobré znalosti místních stanovištních podmínek. Oběma těmito důležitým okolnostem udělalo konec socialistické vyvlastnění zemědělských půd a likvidace selského stavu v 50. letech minulého století. A vzniklou situaci ještě zhoršila špatně provedená reprivatizace zemědělských pozemků v 90. letech po likvidaci totalitního režimu, která vyústila ve velkopodnikatelské zemědělství. Současná struktura zemědělského podnikatelského sektoru, způsob provozování zemědělství a využívání krajiny v ČR jsou v současné střední Evropě zcela ojedinělé. Hospodaření na vlastních pozemcích je omezeno asi na 10 % rozlohy zemědělského půdního fondu. Převažují velkopodnikatelské způsoby hospodaření na pronajaté půdě. Uplatňují se při něm převážně ekonomická hlediska, na lokální přírodní podmínky se nebere ohled. Důsledky více než 60 let takového bezohledného

zneužívání krajiny jsou do nebe volající: nadměrné odvodnění; více než polovina zemědělských půd postižena silnou erozí; kritický nedostatek organické hmoty v půdě; podstatné snížení retenční schopnosti zemědělských i lesních půd; nadměrné množství chemických látek; utužení půd používáním těžké techniky; totální likvidace prostorové a biologické rozmanitosti v krajině; uniformita a neprostupnost krajiny; neomezené vytváření podmínek pro biologické invaze škodlivých druhů (např. kůrovec v lesích, divoké prase v polních kulturách); a další průvodní jevy změny někdejší v pravdě kulturní krajiny v bezduchý a bezobsažný monokulturní produkční prostor. Podrobné informace k jednotlivým aspektům věci je možné najít v literatuře (např. Brtnický *et al.*, 2012; Fanta a Petřík (*eds.*), 2014; Kučera (*ed.*), 2014; atd.).

Půdní voda a stanovištní mapování zemědělské krajiny

Půdní voda je za těchto podmínek jedním z nejdůležitějších faktorů, kterému je třeba věnovat pozornost. Po více než 60 letech výhradně ekonomicky zaměřeného nakládání s krajinou je už více než na čase. Současný nedostatek vody v zemědělských půdách není jen věci klimatické změny a nadměrných teplot na straně jedné a technických opatření jako závlahy na straně druhé. Důležitým spojovacím článkem mezi nimi je krajina. Krajina jako veřejný prostor a tudíž nepostradatelná součást životního prostředí; krajina jako mnohoúčelový prostor poskytující společnosti množství ekosystémových služeb; krajina jako kulturní entita.

Pro hodnocení bonity půd má české zemědělství k dispozici systém BPEJ. Základním východiskem pro volbu vhodných opatření souvisejících se zajištěním dostatečného množství vody v půdě by ale mělo být podrobné stanovištní mapování zemědělsky využívané části krajiny. Podobný postup se už po desetiletí s úspěchem používá v lesnictví. Stanovištní mapování je výchozím bodem pro posouzení produkční kapacity daného území i pro volbu vhodných plánovacích záměrů a managementových technologií. Poskytuje totiž podrobný přehled o místně rozdílných přírodních podmínkách – ať už jde o vlastnosti a úživnost půd či o jejich kapacitu vázat vodu. Vymezuje v krajině přirozené hranice produkčních podmínek vhodných pro pěstování různých plodin. Tím zároveň poskytuje důležité podklady pro zemědělské a krajinné plánování. Na jeho základě je možné založit vhodné prostorové členění krajiny a vytvořit vhodnou, krajině přizpůsobenou užitelskou a ekologickou infrastrukturu krajiny. Je zároveň nejlepším podkladem pro komplexní pozemkové úpravy, jejichž základním smyslem je zlepšení vodního režimu krajiny.

Příklady úspěšného uplatnění tohoto přístupu jsou dobře známy z Německa. Metoda stanovištního mapování byla vyvinuta již v 50. letech minulého století ve spolkové zemi

Bádensko-Württembersko (Ellenberg, 1951, 1956), později byla uplatněna i v dalších spolkových zemích (např. Meynen a Schmithüsen, 1953-1962; Haber, 1971; Müller *et al.*, 1972; Weller, 1978, 1987; Finke a Marks, 1979; Weller a Durwen, 1994; a další). Výsledkem jejího využití jsou dnes spolehlivé podklady pro dlouhodobou vizi vývoje a využívání krajiny a pro krajinnou politiku schopnou integrovat různá hlediska a koncepce v krajině působících rezortů a jejich činností. Rozdíl oproti české velkopodnikatelské praxi, která na přírodní podmínky nebere žádný nebo jen minimální ohled a nerespektuje ani běžná pravidla nakládání s půdou a krajinou je evidentní. Je na čase tuto českou praxi změnit.

Vize krajiny, řízení jejího vývoje a využívání

Na aktuálně nepříznivém hydrologickém stavu českých zemědělských půd se nepodepisuje jen klimatická změna a sucho. Z objektivních podkladů shromážděných např. ve sborníku *Povodně a sucho: krajina jako základ řešení* (Fanta a Petřík (*eds.*), 2014) zřetelně vyplývá, že na vině jsou i nevhodné způsoby nakládání s krajinou a špatné nakládání s půdou. V rámci úsilí o zlepšení hydrologických podmínek půdy a krajiny je proto třeba začít především na tomto poli. Poručit větru a dešti se nedá. Stejně tak se nedá všude zavlažovat. Změnit způsoby využívání krajiny a nakládání s půdou naopak možné je – a to v principu ihned. Výchozím bodem této změny se musí stát odborně fundovaná politická vize krajiny a promyšlená krajinná politika (viz např. Nizozemsko: *Visie landschap, 1991*). ČR takové dokumenty dosud postrádá – ve skutečnosti je v moderní době nikdy neměla. Přitom vědeckých informací vhodných pro zpracování těchto politických dokumentů je v ČR dostatek (viz např. Sklenička, 2002; Vopravil a kol., 2009, 2011; Šarapatka, 2012; a mnohé další). Dosavadní nevyužívání těchto vědeckých poznatků pro politické rozhodování je jen dalším charakteristickým rysem chaotické české situace.

Šanci na zpracování těchto významných politických dokumentů dává dnes dokument *Strategie přizpůsobení se změně klimatu* v podmínkách ČR a z něj vyplývající program adaptace na klimatickou změnu, které z pověření vlády zpracovává a koordinuje Ministerstvo životního prostředí. O tom, že jde o velmi aktuální záležitost, svědčí v poslední době celá řada iniciativ, včetně této konference. Na programu adaptace na klimatickou změnu se podílí i Komise pro životní prostředí Akademie věd a Botanickým ústavem AV připravovaná *Platforma pro krajinu*. Jde o aktivity, které by měly v ČR pomoci ukončit dosavadní dlouhé období neřízeného vývoje krajiny a jejího využívání bez jakýchkoliv pravidel a vyústit ve zpracování dlouhodobé vize vývoje krajiny a využívání jejích přírodních zdrojů (viz podrobněji Petřík *et al.*, 2015). Dobrý příklad jak v těchto záležitostech postupovat také dává

Evropská úmluva o krajině (2000). Je ale až s podivem, s jakým nezájmem se tento celoevropsky platný dokument setkal u minulých českých vlád. Za 12 let od jejího podpisu se v ČR na jejím využití neudělalo prakticky nic (celkové hodnocení viz např. Kučera *et al.*, 2014).

Takovým „přístupům“ je ale potřeba udělat konec. Závažná rozhodnutí se totiž nedají odsouvat do nekonečna. Dá se předpokládat, že v průběhu dalšího vývoje bude muset dojít i na ty nejaktuálnější otázky a problémy současného českého zemědělství: velkoplošné pronájmy zemědělské půdy, podporu hospodaření na vlastní půdě, zemědělské dotace a vytváření podmínek pro promyšlené řízení vývoje a využívání krajiny. Není pochyby o tom, že takový přístup usnadní i řešení problematiky adaptace českého zemědělství na klimatickou změnu a řešení otázek sucha v zemědělské krajině.

Poděkování

Činnost *Platformy pro krajinu* probíhá za podpory projektu *Strategie AV21 (program ROZE): Hospodaření v krajině s ohledem na globální změny*. Vznik této publikace byl umožněn díky dlouhodobému koncepčnímu rozvoji Botanického ústavu AV ČR, v. v. i. (RVO 67985939).

Literatura

- , 1991. *Visie landschap*, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Den Haag
- , 2000. *Evropská úmluva o krajině a důvodová zpráva*. Strasbourg
- , *s.d.*, *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR*. Ministerstvo životního prostředí, Praha
- Brtnický M. a kol., 2012. *Degradace půdy v České republice*. VÚMOP, Brno
- Ellenberg H., 1951. *Landwirtschaftliche Standortskartierung auf pflanzengemässer Grundlage*. Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 53: 204-224
- Ellenberg H., 1956. *Landespflege und Standortskartierung*. Veröff. Landesstelle Naturschutz u. Landespflege B.-W. 24: 179-189, Ludwigsburg
- Fanta J. a P. Petřík (*eds.*), 2014. *Povodně a sucho: krajina jako základ řešení*. Komise pro životní prostředí AV ČR – Botanický ústav AV ČR, Průhonice
- Finke L. a R. Marks, 1979. *Die ökologische Raumgliederung als Grundlage der Landschaftsplanung – bisherige Erfahrungen und kritische Anmerkungen*. Verh. Ges. f. Ökologie 7: 101-112, Münster

Haber W., 1971. Landschaftspflege durch differenzierte Bodennutzung. Bayer. Landwirtschaft Jb. 48: 19-35

Kučera P. (ed.), 2014. Úmluva o krajině. MENDELU, Brno

Meynen E. a H. Schmithüsen, 1953-1962. Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Bad Godesberg

Müller S., K.-H. Schreiber a F. Weller, 1972. Grundzüge einer Schnellmethode der Standortkartierung im Masstab 1:50.000 als Grundlage für die Agrar- und Landschaftsplanung in Baden-Württemberg. Mitt.dt. Bodenkundl.Gesellschaft 16: 105-119

Petrík, P., J. Fanta a M. Petrtýl, 2015. It is time to change land use and landscape management in the Czech Republic. Ecosystem Health and Management 1: 1-6

Šarapatka B. a kol., 2010. Agroekologie. Východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření. Bioinstitut, Olomouc

Vopravil a kol., 2009, 2011. Půda a její hodnocení I, II. VÚMOP, Zbraslav n. Vlt.

Weller F., 1970. Landbauliche Standortskarten für die Landschaftsplanung. Natur u. Landschaft 45: 203-209

Weller F., 1978. Stand der agrarökologischen Kartierung in Baden-Württemberg. Beih. Veröff. Naturschutz u. Landschaftspflege 11: 215-230

Weller F., 1987. Die Beurteilung des Wasserhaushaltes bei der landbaulichen Standortkartierung in Baden-Württemberg. Mitt. Ver. f. Standortkunde u. Forstpflanzenzüchtung 33: 41-48

Weller F. a K.-J. Durwen, 1994. Standort und Landschaftsplanung. Ökologische Standortskarten als Grundlage der Landschaftsplanung. Ecomed, Landsberg

Kontakt

Prof. em. Ing Josef Fanta CSc.

Botanický ústav Akademie věd ČR, v. v. i., Průhonice

jfanta.cz@gmail.com

Zemědělské sucho na území České republiky v roce 2015

Agricultural drought in the Czech Republic in the year 2015

Rostislav Fiala¹, Mojmír Kohut¹, Filip Chuchma¹, Jaroslav Rožnovský^{1,2},

¹ Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno

² Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Valtická 337, 691 44 Lednice

Abstrakt

Předkládaný příspěvek se zabývá vyhodnocením vlhkostně-vláhové situace na území České republiky během roku 2015. Hlavní důraz byl kladen na vegetační období, a to především měsíce červenec až září, kdy se na většině území naší republiky prohloubil nedostatek srážek a s tím spojené intenzivní projevy sucha. Vlhkostně-vláhová situace v České republice byla analyzována vybranými výstupy modelu AVISO. Zemědělské sucho bylo charakterizováno pomocí modelových dat základní vláhové bilance travního porostu, půdní sucho podle zásoby využitelné vody na středně těžké půdě s travním porostem. Jako další charakteristiku pro hodnocení možného sucha byla zvolena aktuální vláhová bilance travního porostu na středně těžké půdě. Těžištěm hodnocení jsou přehledné mapy České republiky doplněné grafickými přílohami.

Klíčová slova: srážky, evapotranspirace, vláhová bilance, zásoba vody v půdě, model AVISO

Abstract

The presented paper is concerned with evaluation of humidity-moisture situation in the region of the Czech Republic during the year 2015. It focuses primarily on the vegetation period, especially months July, August and September, when most of the region suffered from insufficient precipitation and the consequent intensive drought. The situation in the Czech Republic was analyzed using selected outputs from the AVISO model. Agricultural drought was characterized using model data of basic water balance of grassland, soil drought based on available water capacity of grassland on loam soils. Another characteristic used for assessment of potential drought was the current water balance of grassland on loam soils. The main results of the evaluation are given using maps of the Czech Republic with figures in the appendices.

Keywords: precipitation, evapotranspiration, water balance, available water capacity in soil, AVISO model

Úvod

Sucho je vedle povodňových situací jedním z hydrometeorologických extrémů. Je to v podstatě pozvolně se vyvíjející fenomén, jehož projevy a dopady se objevují s určitým zpožděním. Meteorologické příčiny sucha v podobě nedostatkového množství srážek jsou často kombinovány s vysokými teplotami vzduchu a vysokou evaporací a evapotranspirací a nejdříve se projevují v deficitu půdní vlhkosti. Velikost, resp. intenzitu sucha lze velmi těžko vyhodnotit jediným kritériem. Přesto je však zjevné, že sucho v roce 2015 lze srovnávat se známými historickými epizodami sucha v minulých obdobích (např. 1947 či 2003).

V předkládaném zpracování této problematiky jsme se zaměřili na analýzu zemědělského a půdního sucha. Hodnocení jsme realizovali podle vybraných charakteristik modelu AVISO. V případě bilančních výpočtů se jednalo o srovnání srážek a potenciální, resp. aktuální evapotranspiraci travního porostu, vlhkost půdy jsme zhodnotili pomocí zásoby využitelné vody v půdním profilu středně těžké půdy pod travním porostem.

Výsledkem zpracování jsou mapy pro vybrané datum vegetačního období, a to v podobě aktuálního stavu a jako srovnání s dlouhodobými podmínkami 1961-2010. Ty jsou dále doplněny grafickými přílohami pro vybrané klimatologické stanice (Doksany a Strážnice), reprezentující z hlediska klimatického suché a teplé lokality ČR, resp. pro vybrané oblasti (Haná, jižní Morava, Polabí, Poohří a Vysočina). Oblastní charakteristika je dána aritmetickým průměrem hodnot příslušných stanic.

Materiál a metody

Zpracování vlhkostní situace na území České republiky v průběhu roku 2015 bylo realizováno pomocí agrometeorologického modelu AVISO (Vitoslavský, J., Kohut, M.; 1999), založeného v modifikované podobě na anglickém modelu MORECS (Hough, M., Jones, R. J., 1997; Hough, M. at all, 1997). Pravidelná hodnocení, která rovněž byla podkladem výstupů „Monitoringu sucha na území České republiky“ na webových stránkách ČHMÚ, byla zpracovávána na podkladě základních meteorologických údajů o počasí (teplota vzduchu, vlhkost vzduchu ve formě tlaku vodní páry, trvání slunečního svitu, rychlost větru a srážky) v denním intervalu, a to pro 198 automatizovaných klimatologických stanic ze sítě měřících objektů ČHMÚ. Ve všech případech jsme pro daný den v roce vyhodnotili aktuální stav dané charakteristiky a současně její srovnání s dlouhodobou hodnotou odpovídající období let

1981-2010. Tato režimová zpracování byla založena na technických řadách vybraných klimatických prvků (Štěpánek a kol., 2011, 2013).

V předkládaném článku jsme se tedy soustředili na analýzu vybraných agroklimatických ukazatelů, které velmi vhodným způsobem mohou charakterizovat průběžný stav z hlediska možného klimatického a půdního sucha.

Podrobná analýza vláhové situace na území České republiky byla provedena na základě agroklimatických prvků:

1. **Základní vláhová bilance travního porostu (ZVLBI_TP, mm)** mezi srážkami a potenciální evapotranspirací (SRAZ – PEVA_TP): aktuální stav v mm a jeho srovnání s dlouhodobými podmínkami (1981–2010) za předpokladu kumulace bilančních hodnot od 1. 3.
2. **Aktuální vláhová bilance travního porostu (SRAZ – AVLBI_TP, mm)** na modelově stanovené středně těžké půdě s využitelnou vodní kapacitou VVK = 170 mm / 1 m půdního horizontu: aktuální stav v mm a jeho a srovnání s dlouhodobými podmínkami (1981–2010) za předpokladu kumulace bilančních hodnot od 1. 3.
3. **Zásoba využitelné vody na středně těžkých půdách (VVK = 170 mm / 1 m půdního profilu)** pod travním porostem: aktuální stav v % VVK a jeho srovnání s dlouhodobými podmínkami (1981–2010).

První veličina (ZVLBI_TP) vyjadřuje tzv. klimatickou bilanci, tj. vláhovou bilanci, která v podstatě nezávisí na vlhkostním stavu půdního podloží a je tedy vhodnou charakteristikou pro analýzu možného klimatického sucha. Posledně jmenovaná veličina (ZVVP_TP) je charakteristikou pro specifikaci možného půdního sucha.

Analýza vlhkostní situace na území České republiky byla mapově zpracována pro vybraná data ve vegetačním období (14. 6., 12. 7., 16. 8. a 20. 9.). Mapy byly u všech charakteristik doplněny o histogramy, znázorňující plošné zastoupení jednotlivých intervalů (% celkové plochy České republiky) v průběhu roku 2015 (aktuální stav i srovnání s obdobím 1981–2010).

Vláhové charakteristiky (ZVLBI_TP, AVLBI_TP) jsme navíc zhodnotili individuálně pro agrometeorologickou observatoř Doksany a jihomoravskou stanici Strážnici, stejně tak jsme zpracovali obě bilance pro vybrané oblasti naší republiky (Haná, jižní Morava, Polabí, Poohří a Vysočina).

Výsledky

Přehledné mapy na obr. 1 a 2 analyzují na území ČR k vybraným datům v roce 2015 (14. 6., 12. 7., 16. 8. a 20. 9.) průběžný stav **základní vláhové bilance travního porostu** (dále jen ZVLBI_TP), resp. průběžný stav **aktuální vláhové bilance travního porostu** (dále jen AVLBI_TP) a jejich srovnání s dlouhodobými hodnotami 1981–2010. Všechny údaje jsou v mm, výsledné úhrny vláhové bilance jsou v obou případech průběžně kumulovány od 1. 3.

Čím jsou rozdíly mezi srážkami a evapotranspirací travního porostu nižší (předpoklad ZVLBI_TP i AVLBI_TP), tím jsou horší vláhové podmínky a tím je vyšší pravděpodobnost splnění podmínek možného výskytu sucha v krajině. Čím jsou rozdíly mezi ZVLBI_TP, resp. AVLBI_TP a dlouhodobým průměrem 1981–2010 nižší, tím je vyšší pravděpodobnost splnění podmínek možného výskytu sucha v krajině.

Bereme-li v úvahu aktuální stav PVLBI_TP, z map na obr. 1 jasně vyplývá trend postupného zhoršování vláhově-bilanční situace na většině území naší republiky. V polovině června ještě výrazně převládal interval -100 až 0 mm, avšak během srpna a září se situace celorepublikově výrazně zhoršila. Dominantní zastoupení již měly vláhově velmi nepříznivé intervaly -200 až -100 mm a -300 až -200 mm a svůj výrazný podíl měl také interval -300 mm a méně (většina jižní Moravy, část Hané, východního Polabí a středních Čech).

Ze srovnání aktuálního stavu PVLBI_TP s dlouhodobým průměrem 1981–2010 (obr. 1) vyplývá obdobný trend vývoje. Většina území ČR v červnu ještě připadala k intervalům -100 až -50 mm, případně -50 až 0 mm, avšak v červenci již k intervalům -150 až -100 mm, případně -100 až -50 mm. Srpen a září se na většině území ČR takto vyznačovaly převahou intervalů -250 až -200 mm a -250 mm a méně (severovýchodní Morava, západní Čechy, v menší míře Polabí), které jsou z hlediska vláhy velmi nepříznivé.

Podrobná analýza aktuálního stavu AVLBI_TP (obr. 2) dokladuje obdobný trend vývoje jako u PVLBI_TP. Na začátku sledovaného období převažují na území republiky intervaly -100 až -50 mm a -50 až 0 mm, avšak již v polovině července velká část území jižní Moravy spadá do vláhově velmi nepříznivého intervalu -150 mm a méně. Zhoršené vlhkostní podmínky dále dokladují mapy pro 16. 8. a 20. 9. s výraznou převahou intervalů -150 až 100 a -150 mm a méně na většině území republiky (nejvíce postiženy jižní Morava, Haná, části východního Polabí, středních a jižních Čech).

Srovnání aktuálního stavu AVLBI_TP k dlouhodobým podmínkám (obr. 2) opět vykazuje obdobný charakter jako je tomu u PVLBI_TP (obr. 1). Během měsíců srpen a září podstatná

část území republiky má největší odchylky AVLBI_TP od průměru 1981–2010 (-250 až -200 mm, ojediněle až -250 mm a méně) na severovýchodní Moravě, v jižních a západních Čechách, ale také v oblasti Krkonoš.

Stručná textová analýza map z obr. 1 a 2 je provedena pro oblasti ČR ležící v malých a středních nadmořských výškách, pro něž byla prokázána záporná, resp. místy výrazně záporná ZVLBI_TP a AVLBI_TP. Okrajová pohoří ČR (Krkonoše, Krušné hory, Šumava, Jeseníky, Karpaty, Beskydy) se naopak během roku 2015 vyznačovala většinou kladnou vláhovou bilancí, jinými slovy, srážky vždy k určitému datu převažovaly nad evapotranspirací.

Vláhové podmínky v roce 2015 vykazovaly ve vegetačním období prohlubující se negativní trend vývoje. Na základě dosažených výsledků lze říci, že k nejméně příznivé situaci došlo z hlediska ZVLBI_TP a AVLBI_TP ke konci sledovaného období v měsících srpnu a září.

Grafy na obr. 3 až 6 zpracovávají pro celé území ČR po týdnech (období duben až polovina října) aktuální stav ZVLBI_TP, resp. AVLBI_TP (kumulace vždy od 1. 3.) v roce 2015 v mm a jeho rozdíl proti dlouhodobým podmínkám 1981–2010. Z grafů lze jednoduše určit, jaká část území ČR vyjádřená v % plochy republiky připadala na vybrané intervaly.

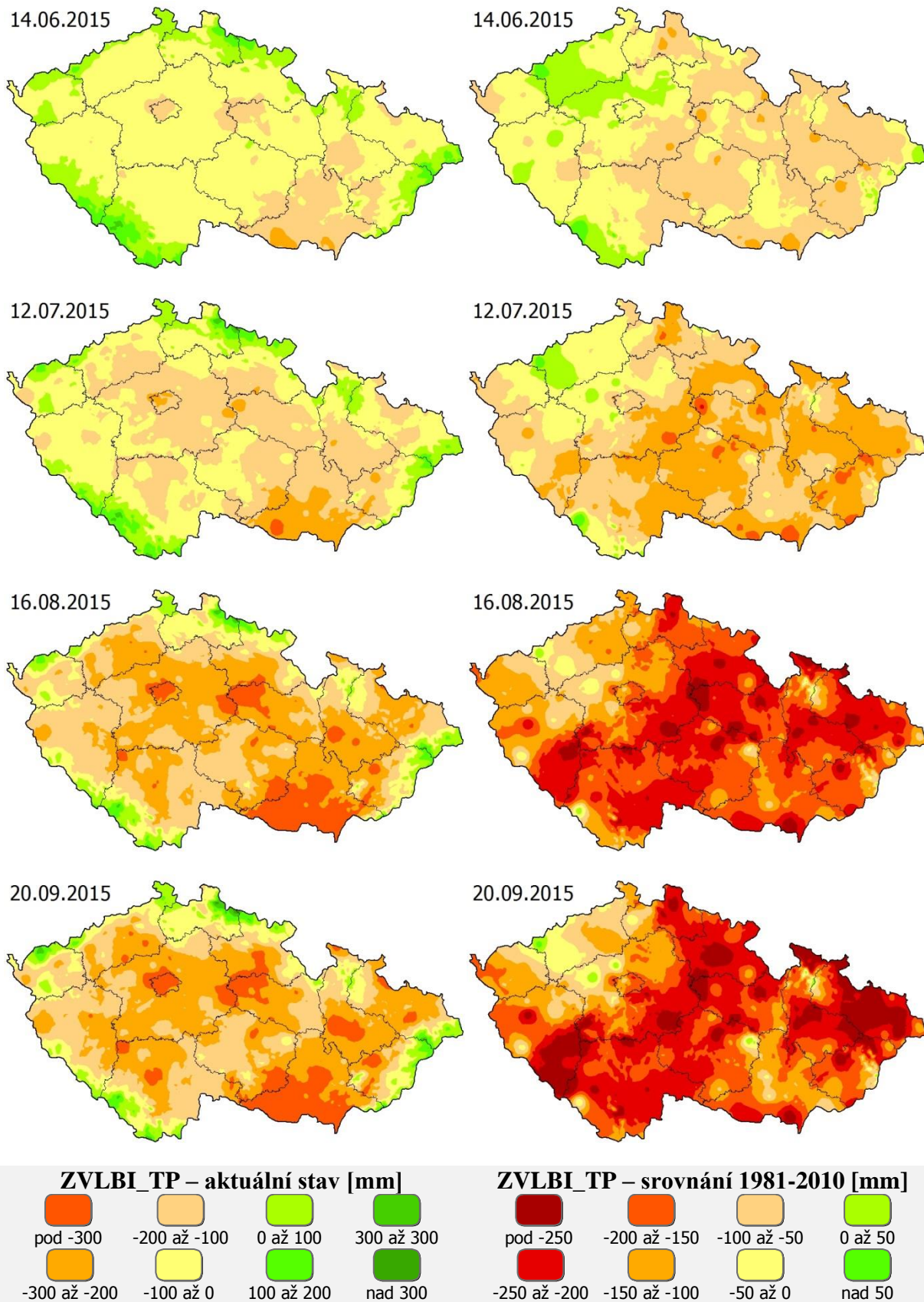
Z grafů na obr. 3 a 4 (hodnocení PVLBI_TP) vyplývá počínaje srpnem dominantní zastoupení vláhově nejméně příznivých intervalů < -250 mm a -250 až -150 mm (obr. 3, kolem 70 % území ČR), resp. < -200 mm a -200 mm až -100 mm (obr. 4, přes 80 % území ČR).

Výsledky zpracování AVLBI_TP jsou velmi obdobné. Z grafů na obr. 5 a 6 vyplývá počínaje srpnem opět dominantní zastoupení vláhově nejméně příznivých intervalů < -150 mm a -150 až -100 mm (obr. 5, téměř 70 % území ČR; obr. 6, nad 60 % území ČR).

Bereme-li aktuální stav vláhové bilance (obr. 3 a 5), pak nejméně příznivé vláhové intervaly se na území ČR objevily již v průběhu června (ZVLBI_TP) a května (AVLBI_TP).

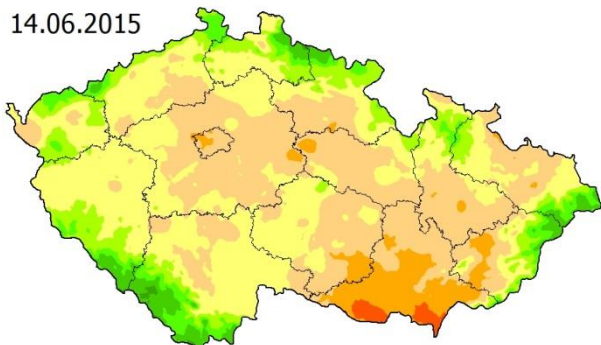
Časový průběh úhrnů ZVLBI_TP a AVLBI_TP v roce 2015 (období leden až říjen) vyjádřených v mm jako rozdíl k dlouhodobému průměru 1981–2010 je pro klimatologické stanice Doksany a Strážnice uveden na obr. 7 a 8.

Grafy na obr. 9 a 10 dokumentují časový průběh průměrných úhrnů ZVLBI_TP a AVLBI_TP v roce 2015 (období duben až říjen) a jejich srovnání s dlouhodobým průměrem 1981–2010 pro vybrané oblasti ČR (Haná, jižní Morava, Polabí, Poohří, Vysočina). Každá z oblastí je reprezentována vybraným souborem klimatologických stanic.

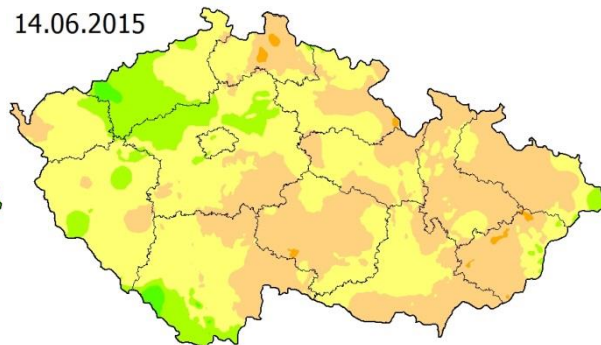


Obr. 1 – Základní vláhová bilance travního porostu na území ČR, stav kumulovaných hodnot od 1. 3. k vybraným datům v roce 2015 a jejich srovnání s dlouhodobým průměrem 1981–2010

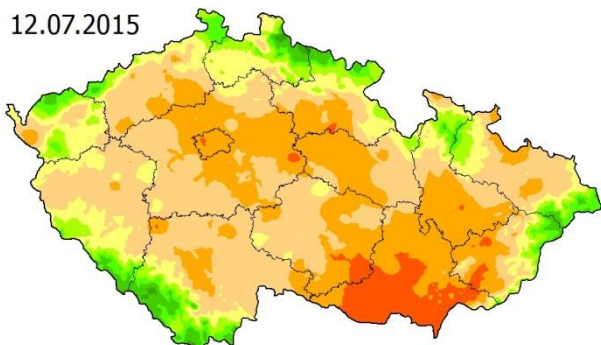
14.06.2015



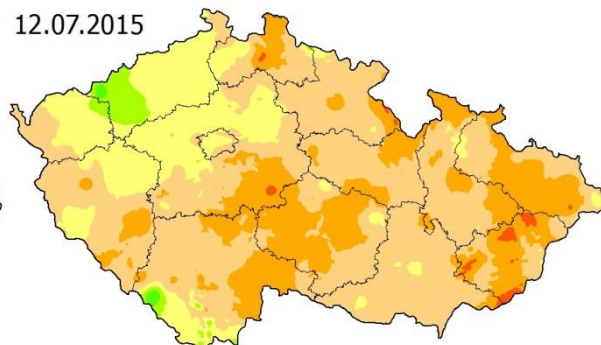
14.06.2015



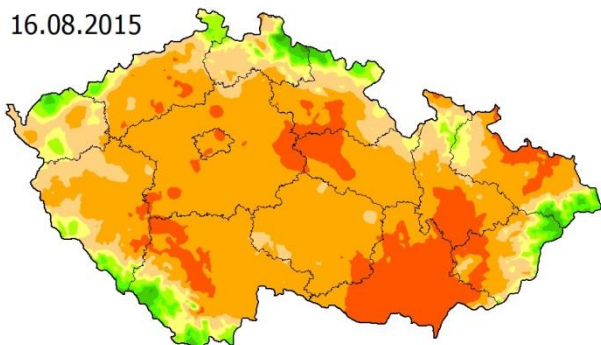
12.07.2015



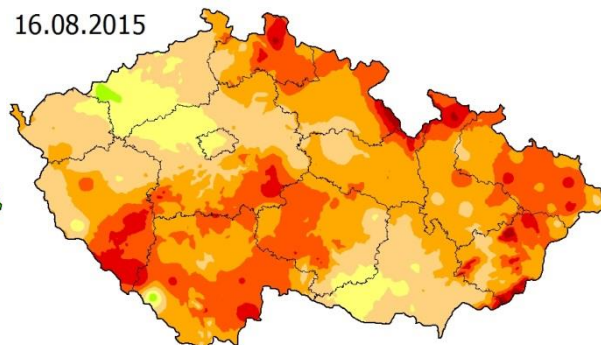
12.07.2015



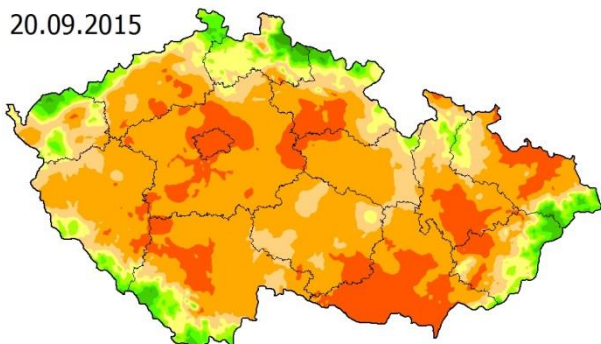
16.08.2015



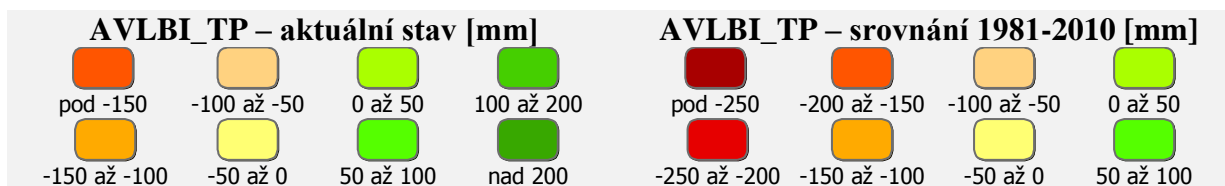
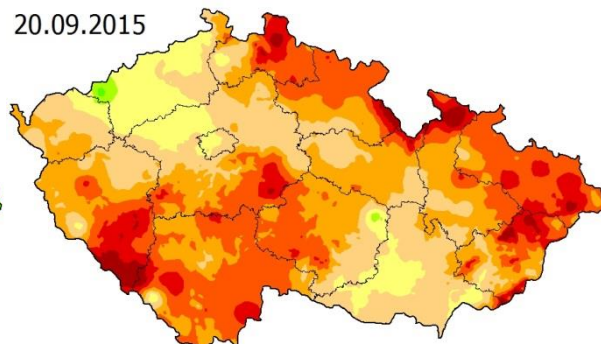
16.08.2015



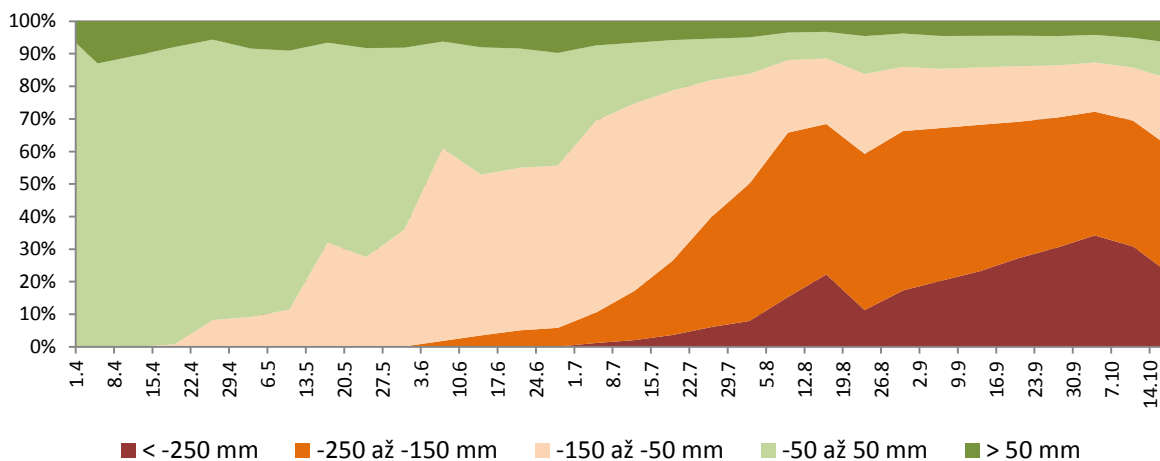
20.09.2015



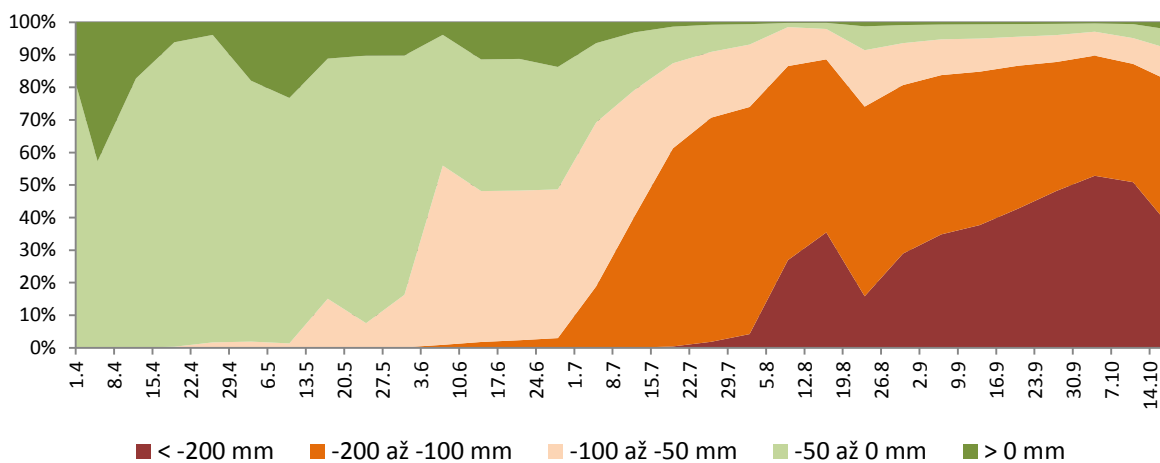
20.09.2015



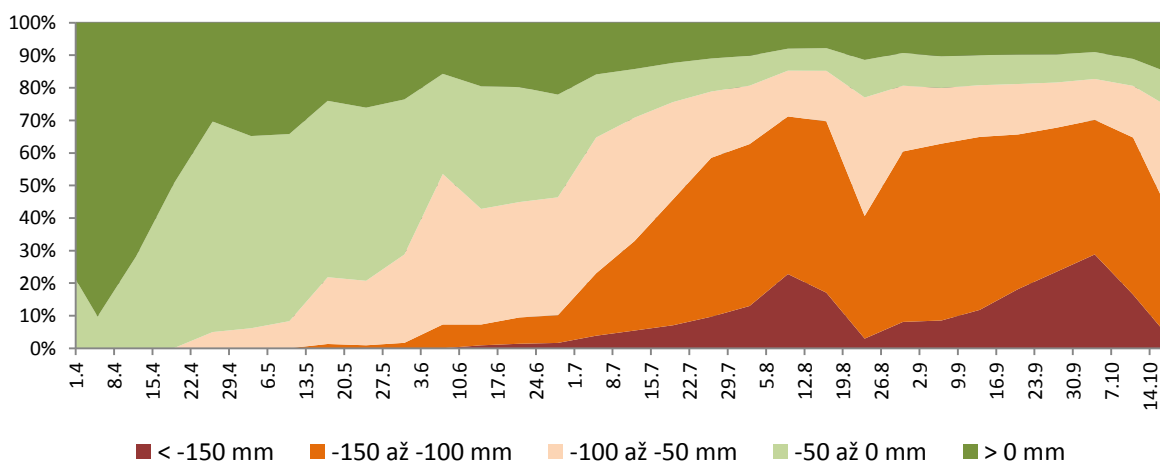
Obr. 2 – Aktuální vláhová bilance travního porostu na středně těžké půdě na území ČR, stav kumulovaných hodnot od 1. 3. k vybraným datům a jejich srovnání s dlouhodobým průměrem 1981–2010



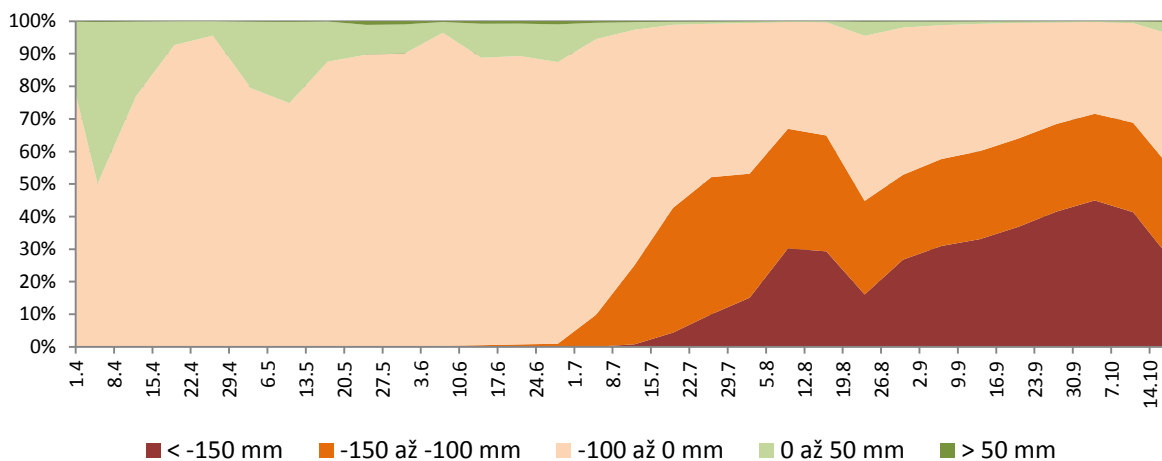
Obr. 3 – Základní vláhová bilance travního porostu v mm, plošné zastoupení zvolených intervalů na území ČR (%) v roce 2015, kumulace hodnot od 1. 3.



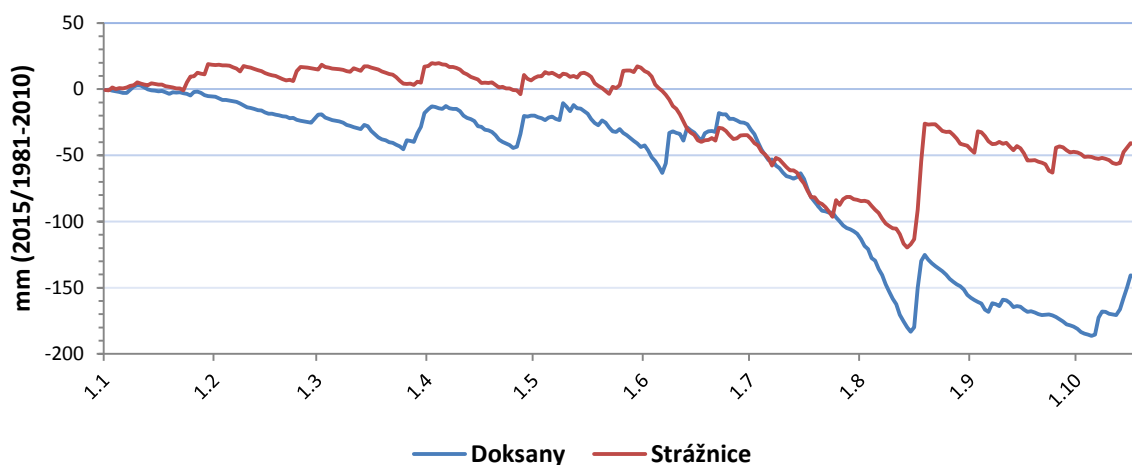
Obr. 4 – Srovnání základní vláhové bilance travního porostu v roce 2015 v mm s dlouhodobým průměrem 1981–2010, plošné zastoupení zvolených intervalů na území ČR (%) v roce 2015, kumulace hodnot od 1. 3.



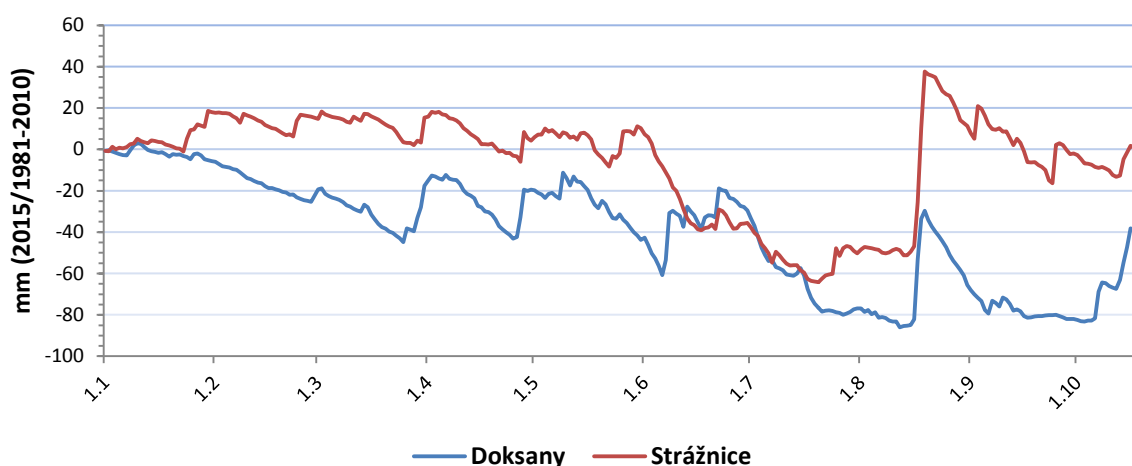
Obr. 5 – Aktuální vláhová bilance travního porostu na středně těžké půdě v mm, plošné zastoupení zvolených intervalů na území ČR (%) v roce 2015, kumulace hodnot od 1. 3.



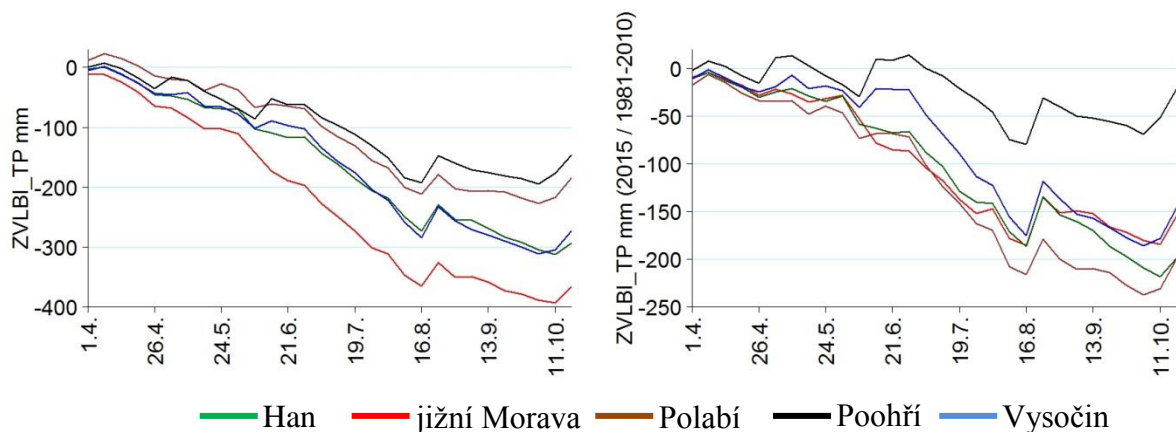
Obr. 6 – Srovnání aktuální vláhové bilance travního porostu na středně těžké půdě v roce 2015 v mm s dlouhodobým průměrem 1981–2010, plošné zastoupení zvolených intervalů na území ČR (%), kumulace hodnot od 1. 3.



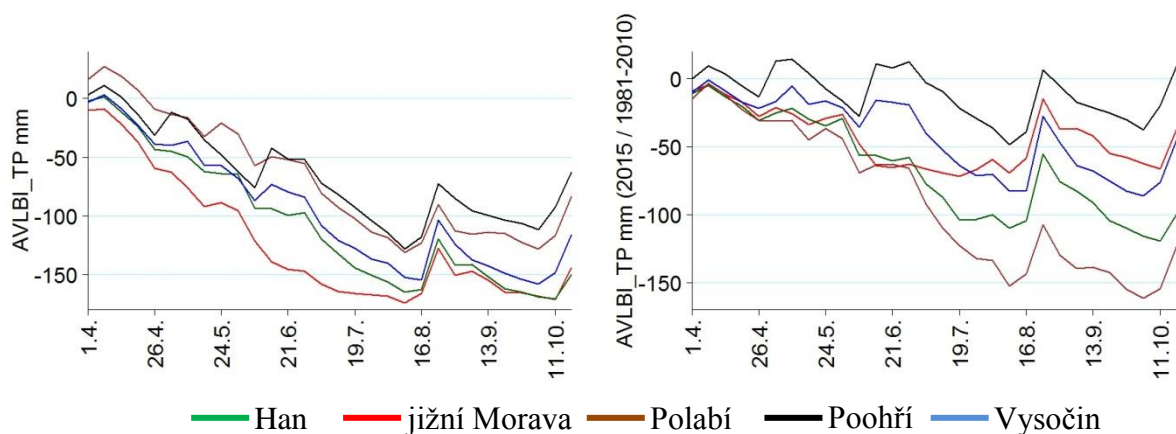
Obr. 7 – Stanice Doksany a Strážnice, základní vláhová bilance travního porostu v roce 2015 vyjádřená v mm dlouhodobého průměru 1981–2010



Obr. 8 – Stanice Doksany a Strážnice, aktuální vláhová bilance travního porostu na středně těžké půdě v roce 2015 vyjádřená v mm dlouhodobého průměru 1981–2010



Obr. 9 – Oblasti Haná, jižní Morava, Polabí, Poohří, Vysočina, průměrná základní vláhová bilance travního porostu v roce 2015, průběžná kumulace od 1. 4. (graf vlevo) a srovnání s dlouhodobým průměrem 1981–2010 (graf vpravo)



Obr. 10 – Oblasti Haná, jižní Morava, Polabí, Poohří, Vysočina, průměrná aktuální vláhová bilance travního porostu na středně těžké půdě v roce 2015, průběžná kumulace od 1. 4. (graf vlevo) a srovnání s dlouhodobým průměrem 1981–2010 (graf vpravo)

V dalším zpracování zvláště půdně-vlhkostních podmínek během roku 2015 na území ČR jsme se soustředili na hodnocení půdního sucha podle **zásoby využitelné vody v půdním profilu pod travním porostem do hloubky 100 cm**. Ke zpracování jsme opět použili model AVISO, jehož základním výstupem jsou denní údaje aktuálního vláhového deficitu v mm. Rozumí se jím nedostatkové množství využitelné vody v půdě chybějící do plní vodní kapacity. Předkládané hodnocení je založeno na jednotném hydrolimitu VVK = 170 mm/1m půdního horizontu. Z hlediska půdních druhů se jedná o půdy středně těžké, které na území naší republiky převládají. Finálním výstupem je pak modelová zásoba využitelné vody v půdě s travním porostem (dále jen ZVVP_TP) vyjádřená v % VVK.

Obecně lze konstatovat, že čím jsou nižší aktuální hodnoty ZVVP_TP vyjádřené v % VVK, resp. nižší podíly aktuálních hodnot ZVVP_TP na dlouhodobém průměru vyjádřené v %

(mapy na obr. 11), tím je vyšší pravděpodobnost výskytu nepříznivých půdně-vlhkostních podmínek a tedy vyšší pravděpodobnost rizika výskytu půdního sucha.

Přehledné mapy na obr. 11 analyzují k vybraným datům letošního roku (14. 6., 12. 7., 16. 8., 20. 9.) aktuální stav ZVVP_TP v % VVK a jeho srovnání s dlouhodobými podmínkami období 1981–2010 vyjádřené v %.

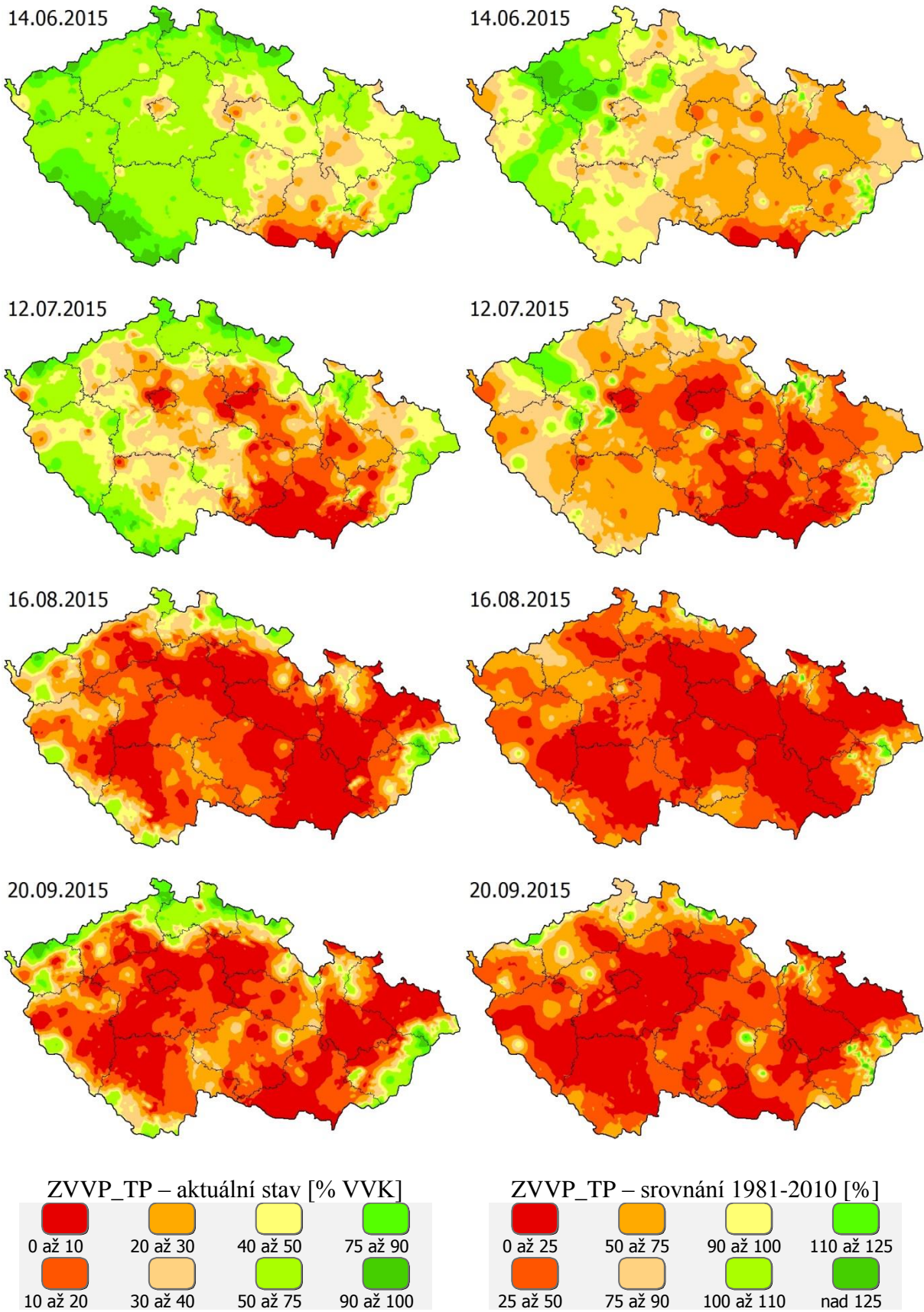
Podle pravidelných týdenních výstupů „Monitoringu sucha“ na webových stránkách ČHMÚ nebylo v průběhu roku 2015 do konce května pro půdní vrstvu 0 až 100 cm dosaženo modelové ZVVP_TP pod hranicí 20 % VVK; hodnoty v rozmezí 20 až 40 % VVK byly jen ojediněle zjištěny na jižní Moravě. Toto tvrzení platí pro středně těžké půdy. Výrazné zhoršení půdně-vlhkostní situace u tohoto půdního druhu nastalo již během června, nejintenzivněji se projevilo v průběhu letních měsíců července a srpna a během prvního podzimního měsíce září. Situaci dokladují přehledné mapy na obr. 11.

Vlhkostní situace na středně těžkých půdách do hloubky 100 cm byla z pohledu ZVVP_TP velmi nepříznivá zvláště k neděli 16. 8. s tím, že na velmi nízkých hodnotách vlhkost půdy setrvala až do druhé poloviny září, a to na naprosté většině území ČR.

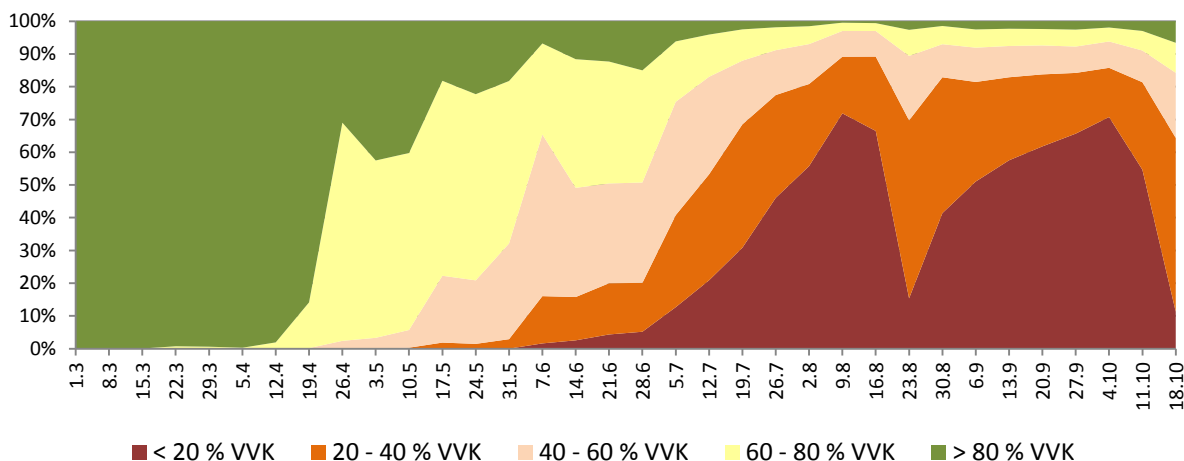
Podle mapy na obr. 11 vykazuje aktuální stav ZVVP_TP k neděli 16.8. na četných územích Moravy, východních, jižních i západních Čech extrémní hodnoty vlhkosti půdy pod 10 % VVK. Další rozsáhlá území republiky spadají do kategorie 10 až 20 % VVK. K obdobným závěrům docházíme při srovnání aktuálního stavu k dlouhodobým podmínkám: prakticky stejná území ČR vykazují při srovnání s dlouhodobým průměrem za období 1981–2010 velmi nepříznivé vlhkostní poměry (ZVVP_TP většinou pod 30 % průměru). Lepší půdně-vláhová situace byla modelově zjištěna pouze pro okrajová pohoří republiky. Velmi podobná situace byla zjištěna ke konci září k neděli 20. 9. (obr. 11).

Podrobná analýza prokázala, že vlhkostní podmínky v půdě v letošním roce měly během měsíců červen až říjen prohlubující se negativní trend vývoje, přičemž nejméně příznivá situace nastala v polovině srpna a ve druhé polovině září, jak dokumentují předkládané mapy.

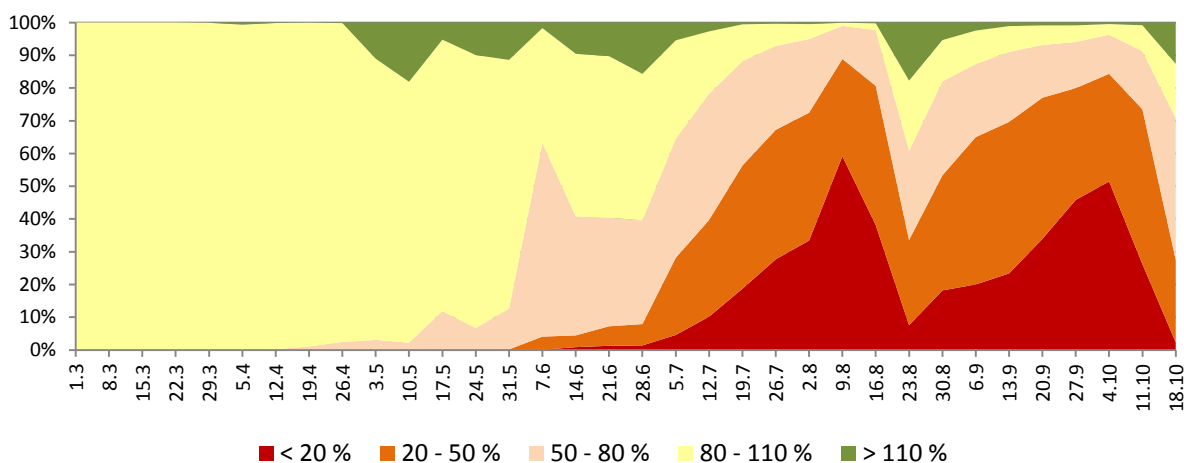
Grafy na obr. 12 a 13 zpracovávají pro celé území ČR po týdnech (období března až polovina října) aktuální stav roku 2015 a srovnání týdenních údajů ZVVP_TP s dlouhodobými hodnotami 1981–2010. Z obou grafů lze jednoduše vyčíst, jaká část území ČR vyjádřená v % připadala průběžně po týdnech v období března až polovina října na vybrané intervaly. Z předložených grafů vyplývají velmi výrazná zastoupení vlhkostně nejméně příznivých intervalů.



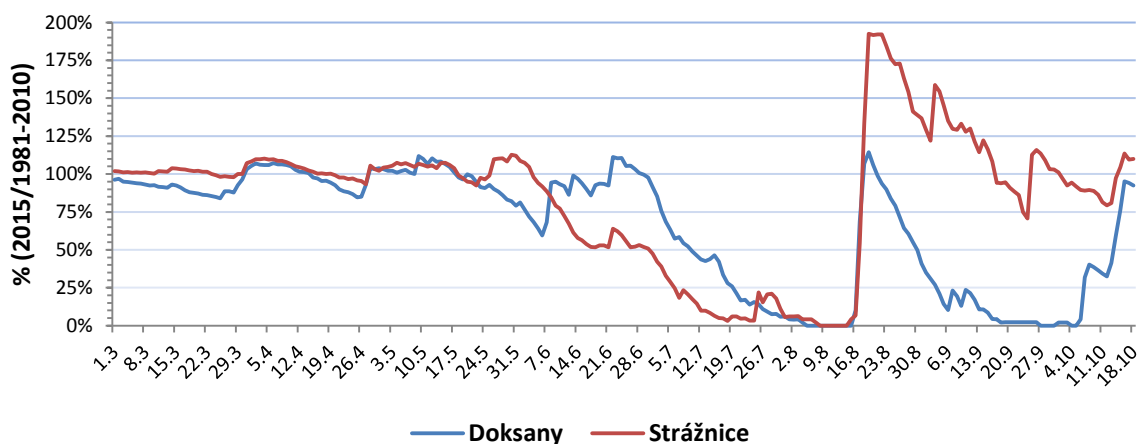
Obr. 11 – Zásoba využitelné vody na středně těžkých půdách (VVK=170mm/1m půdního profilu) pod travním porostem na území ČR, aktuální stav a srovnání s dlouhodobými podmínkami (1981–2010) k vybraným datům



Obr. 12 – Zásoba využitelné vody na středně těžké půdě s travním porostem na území ČR, plošné zastoupení zvolených intervalů na území ČR (%) v roce 2015 (březen až říjen)



Obr. 13 – Srovnání zásoby využitelné vody na středně těžké půdě s travním porostem v roce 2015 (březen až říjen) s dlouhodobým průměrem 1981–2010 v %, plošné zastoupení zvolených intervalů na území ČR v %



Obr. 14 – Stanice Doksany a Strážnice, zásoba využitelné vody na středně těžkých půdách s travním porostem v roce 2015 (duben až srpen) v % dlouhodobého průměru 1981–2010

Z grafu na obr. 12 je zřejmé, že od poloviny srpna až do poloviny října oba nejméně příznivé intervaly (< 20 % VVK a 20-40 % VVK) průběžně charakterizovaly cca 80 % i více území ČR, a to převážně v nejnižších až středních nadmořských výškách. Jediný výrazný pokles aktuálního stavu ZVVP_TP se projevil v polovině poslední dekády srpna, kdy výrazná srážková činnost na většině našeho území zapříčinila krátké nadlepšení půdně-vláhových vlastností středně těžkých půd. Lze konstatovat, že již od poloviny června průběžně a navíc dosti výrazně narůstal na území ČR podíl obou vláhově nejméně příznivých intervalů.

Obdobná situace vyplývá při analýze grafu na obr. 13. Intenzivní srážková činnost z poloviny poslední dekády srpna je příčinou časově omezeného nadlepšení půdně-vláhových podmínek i při srovnání roku 2015 s dlouhodobými poměry. I z grafu na obr. 13 vyplývají pro většinu území republiky výrazně negativní projevy půdního sucha. Přibližně od poloviny července až do konce sledovaného období ZVVP_TP je více než polovina našeho území pod 50 % dlouhodobého průměru 1981-2010.

Časový průběh denních hodnot ZVVP_TP v roce 2015 (duben až říjen) vyjádřených v % dlouhodobého průměru 1981–2010 je pro klimatologické stanice Doksany a Strážnice uveden na obr. 14.

Diskuze

S ohledem na analyzované výsledky a na měřené klimatické prvky je zřejmé, že rok 2015 byl velmi suchý a teplý. Srážkový deficit, který se projevoval již v roce 2014, pokračoval i v průběhu jara 2015 a výrazně rostl až do srpna 2015. Stejně tak průměrná teplota vzduchu ve vegetačním období roku 2015 byla o 1,1 °C vyšší než dlouhodobý průměr 1981 – 2010 s tím, že v letních měsících byla druhá nejvyšší od roku 1961. To samozřejmě vysoce negativně ovlivňovalo průběh vlhkostních podmínek na území ČR. Z výsledků je patrné, že výrazný nástup sucha začíná přibližně od června, kdy je na většině území ČR negativní vláhová bilance. V průběhu července se tento negativní stav vlivem vysokých teplot a srážkového deficitu dále prohlubuje, kdy na většině území je negativní vláhová bilance, v oblasti jižní Moravy jsou hodnoty ZVLBI_TP pod -150 mm a na polovině území ČR je ZVVP_TP kolem 50 % VVK. V polovině srpna je na většině území ČR hodnota ZVLBI_TP pod -100 mm, ve srovnání s dlouhodobým průměrem je pak na více jak 80 % území ČR hodnota ZVLBI_TP - 200 až -100 mm. Stav ZVVP_TP byl dle výpočtů v tomto období na kolem 20 – 50 % dlouhodobého průměru. Z vybraných oblastí byla situace nejhorší na jižní Moravě a Hané, silně byla postižena i Vysočina. V polovině srpna došlo ke krátkodobému výraznému nadlepšení vláhových podmínek, díky vydatným srážkovým úhrnům, následně ale opět

pokračoval negativní trend až do října, na některých lokalitách jako například na severní Moravě trvalo výrazné sucho až do konce roku 2015. Ke konci září tedy stále pokračovala situace kdy na polovině území ČR byly hodnoty ZVLBI_TP o -200 mm nižší než je dlouhodobý průměr a na více jak 60 % území byl aktuální stav ZVVP_TP pod 20 % VVK. Z dlouhodobého hlediska pak na více jak 80 % území ČR byl stav ZVVP_TP nižší o 50 % VVK. Z prezentovaných výsledků je patrné, že při srovnání map aktuálních hodnot a map srovnání s dlouhodobým průměrem, byly některé lokality s obvykle příznivými aktuálními hodnotami vláhové bilance postiženy velmi výrazně. Ve srovnání s dlouhodobými průměrnými hodnotami zde v roce 2015 převažovaly vysoce negativní vláhové poměry, jedná se například o oblast jižních Čech, Vysočiny, Jeseníků. Tento stav měl kupříkladu výrazný dopad na velmi silné projevy sucha na lesní porosty.

Závěr

Sucho, v České republice nahodilý jev, se v současné době jako jeden z meteorologických extrémů, vzhledem k měnícím se klimatickým podmínkám stává celospolečenským tématem a je potřeba se k němu takto stavět. Jak dokládají uvedené výsledky hodnocení průběhu sucha, je základní vláhová bilance vhodným ukazatelem sucha v naší krajině. Na průběhu roku 2015 a i na dřívějších letech s více či méně výraznými projevy sucha je potom vidět, že potřeba komplexního měření jednak meteorologických prvků, ale také fenologických pozorování u zemědělských plodin, které v současné době prováděná nejsou. Současně je nutná důsledná analýza získaných výsledků a kvalifikovaná interpretace výsledků. V článku byl prezentován průběh sucha v roce 2015 na území ČR z pohledu vybraných agroklimatických charakteristik, monitorovaných na ČHMÚ, které mohou dále sloužit jako podklad pro další analýzy míry intenzity sucha a jeho dopadů v různých odvětvích lidské činnosti. Výskyt zemědělského sucha je určitým indikátorem nedostatku vody pro další fáze oběhu vody v krajině.

Poděkování

Příspěvek vychází z výsledků projektu QH92030 (NAZV) „Hodnocení půd z hlediska jejich produkčních a mimoprodukčních funkcí s dopady na plošnou a kvalitativní ochranu půd České republiky“ a projektu NAZV QI111C080 "Zpřesnění dostupné zásoby vody v půdním profilu na základě modelu kořenového systému plodin pro efektivní hospodaření s vodou a dusíkem".

Literatura

Hough, M., Jones, R. J., 1997: The United Kingdom Meteorological Office rainfall and evaporation calculation system: MORECS version 2.0 - an overview. *Hydrology and Earth System Sciences*, 1997, 1(2), p. 227-239.

Hough, M., Palmer, S., Weir, A., Lee, M., Barrie, I., 1997: *The Meteorological Office Rainfall and Evaporation Calculation System: MORECS version 2.0*. Meteorological Office Bracknell, Meteorological Office Wolverhampton, Bracknell 1997, 82 p.

Štěpánek P, Zahradníček P, Farda A. 2013. Experiences with data quality control and homogenization of daily records of various meteorological elements in the Czech Republic in the period 1961–2010. *Időjárás* 117:

123–141. Štěpánek, P., Zahradníček, P., Brázdil, R., Tolasz, R., Skalák, P., 2011: Metodologie kontroly a homogenizace časových řad v klimatologii na příkladu české republiky v období 1961-2009. *Sborník prací ČHMÚ, Práce a studie*.

Vitoslavský, J., Kohut, M., 1999: Agrometeorologická výpočetní a informační soustava - možnosti jejího využití. *Meteorologické Zprávy*, 1999, r. 52, č. 4, s. 119-125.

Identifikácia pôdneho sucha v podmienkach ťažkých pôd

Identification of soil drought in heavy soils

Milan Gomboš

*Výskumná hydrologická základňa, Ústav hydrologie SAV Bratislava, pracovisko Hollého 42,
071 01 Michalovce*

Abstrakt

Ťažké pôdy sa vyznačujú vysokým obsahom ílových minerálov. Tieto spôsobujú pri zmenách vlhkosti objemové zmeny pôdy. V procese vysušovania tak dochádza k zmršťovaniu pôdneho profilu. Týmto sa vytvára dvojdoménová pôdna štruktúra. Táto pozostáva z pôdnej matrice a z puklín. V predložennom príspevku je kvantifikovaný maximálny objem puklín v časovom rade vegetačných období rokov 1970 až 2014. Maximálne objemy puklín sú kvantifikované z hľadiska vlhkosti pôdy a podľa hydrolimitov. Pravdepodobnosť ich výskytu je spracovaná vo forme empirickej a teoretickej čiary prekročenia.

Kľúčové slová: dvojdoménová pôdna štruktúra, objem puklín, indikátor pôdneho sucha

Abstract

Heavy soils are characterized by high content of clay minerals. This minerals cause at the changing of soil moisture the changes of the soil volume. Shrinking of soil profile occurs during the drying process. Thereby double domain structure is created. This double domain structure consists of soil matrix and cracks. There is maximum volume of cracks during time series of vegetal periods of years 1970-2014 quantified in submitted report. Maximum volumes of cracks are quantified in terms of soil moisture and soil-moisture constants. Probability of their occurrence is executed in form of empirical and theoretical exceedance curve. This report presents quantification one of the stress factors on the example of chosen soil profile.

Keywords: two-domain soil structure, cracks volume, indicator of soil drought

Úvod

Jedným z prejavov extrémnosti hydrologických procesov je vznik pôdneho sucha. Vo všeobecnosti sa pôdne sucho chápe ako nedostatok tej vody v pôde, ktorú sú rastliny schopné použiť pre svoj rast. Pri nedostatku vody sa rastliny dostávajú do stresu a ich fyziologické procesy sú orientované na prežitie rastliny. Pre stanovenie dostupnosti vody pre rastlinný kryt sa obyčajne používajú dohodnuté body na retenčnej krivke – hydrolimity. Sú to bod vädnutia

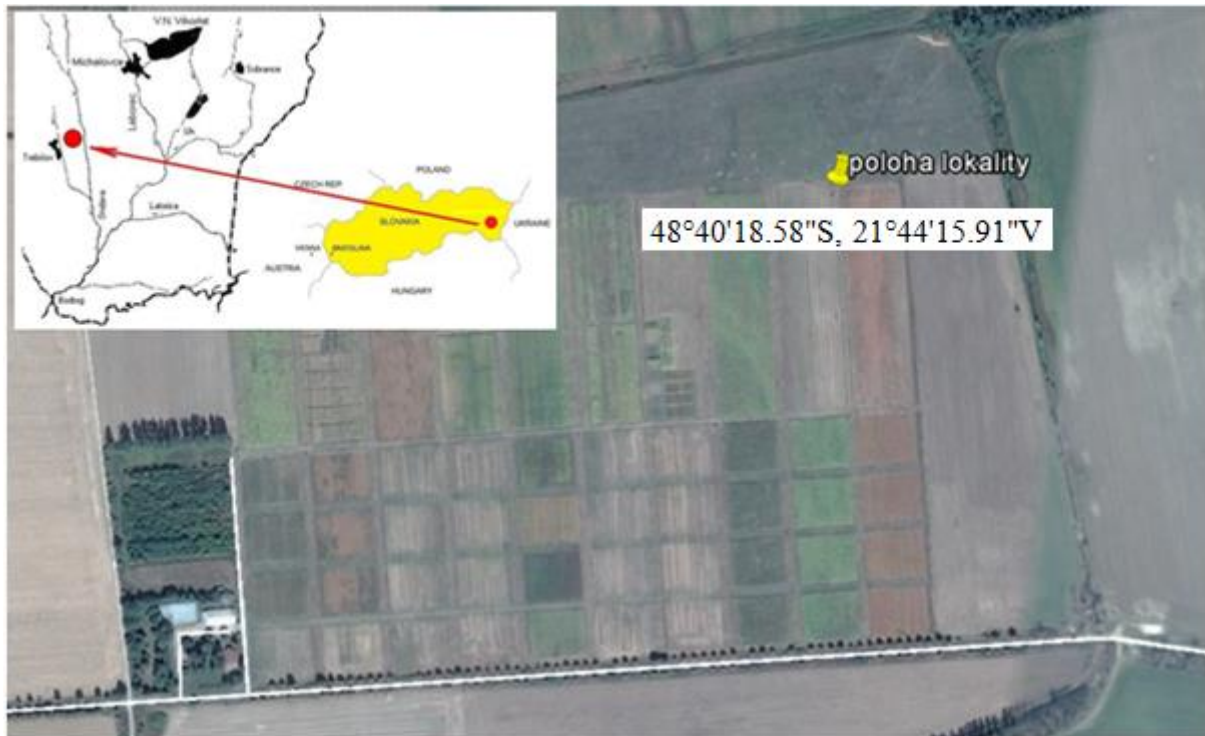
(wilting point, WP), reprezentujúci hodnotu $pF = 4,18$, bod zníženej dostupnosti (threshold point TP) reprezentujúci hodnotu $pF = 3,3$ a plná vodná kapacita (field water capacity FWC) reprezentujúca hodnotu $pF = 2,0$ až $2,7$. Pôdne sucho začína ak sú zásoby vody v koreňovej zóne pôdneho profilu na úrovni (TP). Je to vlhkosťný stav pôdy, kedy fyziologické procesy rastlín sú limitované nedostatkom vody. Ak je vlhkosť na úrovni (WP) tak je rastlinný kryt trvale nedostatočne zásobovaný vodou a vädne.

Ťažké pôdy majú zvýšený obsah ílových minerálov. Tieto spôsobujú pri zmenách vlhkosti pôdy jej objemové zmeny. Objemové zmeny sa v procese vysušovania pôdneho profilu prejavujú vznikom puklín. Objem puklín, ktorý je závislý od vlhkosti pôdy sa takto stáva indikátorom vlhkosťného stavu pôdneho profilu.

Cieľom predloženého príspevku je na príklade vybraného pôdneho profilu kvantifikovať jeden zo stresujúcich faktorov – pôdne sucho pomocou objemu pôdných puklín.

Materiál a metódy

Skúmanie uvedeného problému je založené na analýze vlhkosťného režimu pôdy vo vzťahu k objemu puklín a bodom WP a TP na retenčnej čiare. Pre výskumné práce bol vybraný pôdny profil v lokalite Milhostov ($48^{\circ}40'18.58''S$, $21^{\circ}44'15.91''V$) ktorý sa nachádza v centrálnej časti Východoslovenskej nížiny, (VSN), obr. 1. Vlhkosťný režim v tomto profile bol skúmaný na základe vlastných meraní a numerickej simulácie do hĺbky 1 m. Boli získané súbory údajov o hydrofyzikálnych charakteristikách, hydrometeorologických prvkoch, rastlinnom kryte a fenologických charakteristikách. Na základe týchto údajov, po verifikácii čiastkových výsledkov, bola vykonaná numerická simulácia vodného režimu na matematickom modeli GLOBAL. Numerická simulácia bola vypočítaná s výpočtovým časovým krokom 1 deň v 45 ročnom rade vegetačných období rokov 1970 – 2014. Analýza objemových zmien vychádzala z vlhkosťného režimu pôdneho profilu. Objemy puklín boli vypočítané v rovnakých časových a priestorových dimenziách ako vlhkosťný režim pôdneho profilu. Pre kvantifikáciu objemu puklín boli na základe terénnych a laboratórnych meraní a experimentov získané hydrofyzikálne charakteristiky popisujúce zmrašťovacie vlastnosti pôd. Základná charakteristika zmrašťovacieho procesu vychádza zo vzťahu medzi objemom pôdy a prislúchajúcou vlhkosťou. Často používaná forma vyjadrenia je založená na vzťahu medzi číslom vlhkosti a číslom pórovitosti. Ďalšími charakteristikami boli COLE (Coefficient Of Linear Extensibility), PLE (Potential Linear Extensibility) a geometrický faktor r_s . Objemové zmeny pôdy sú trojrozmerným procesom, ktorý sa po vertikále prejavuje pohybom povrchu pôdy a v horizontálnej rovine vznikom puklín Obr. 2.



Obr.1. Poloha lokality

Pre výpočet zmeny objemu vo vodorovnom smere bol použitý vzťah (Bronswijk, 1990).

$$\Delta V_h = V_s \left[\left(\frac{V}{V_s} \right)^{\frac{1}{r_s}} - \frac{V}{V_s} \right]$$

kde

ΔV_h - zmena objemu vzorky v horizontálnom smere [m³];

V - objem vzorky po zmrštení [m³];

V_s - objem saturovanej vzorky [m³];

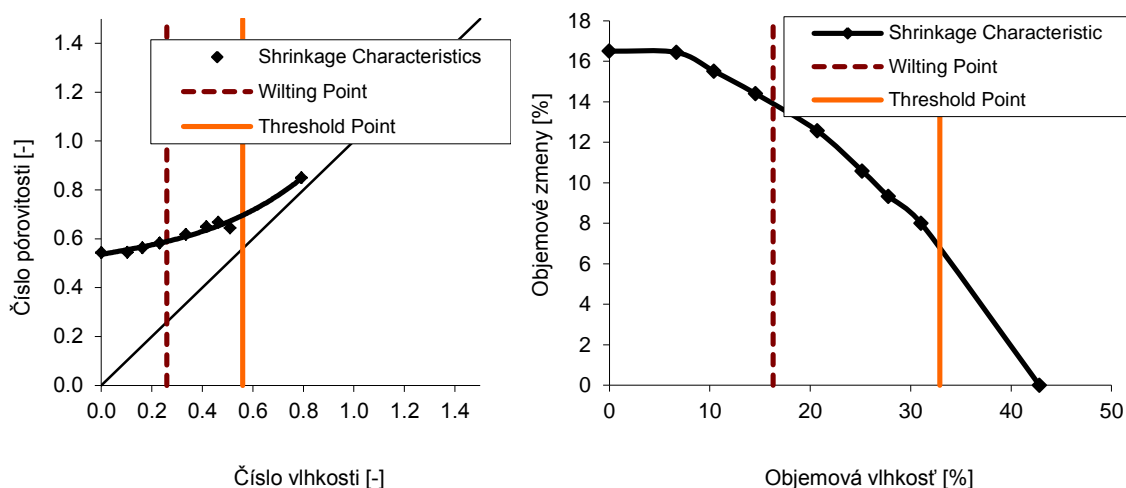
r_s - geometrický faktor [-].



Obr. 2. Dvojdoméňová pôdna štruktúra, (lokalita Milhostov – Východoslovenská nížina)

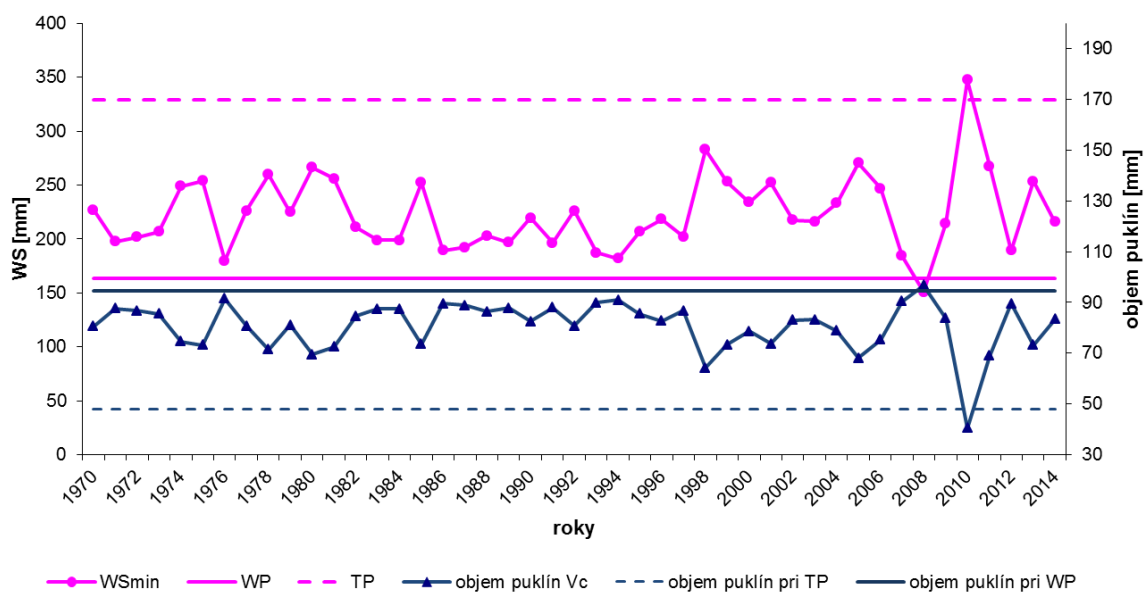
Výsledky

Na obr. 3 sú uvedené zmršťovacie charakteristiky vyjadrené vo forme závislosti čísla pórovitosti od čísla vlhkosti a vo forme závislosti celkovej zmeny objemu pôdy od vlhkosti. Na oboch vyjadreniach sú uvedené hodnoty TP a VP. Z priebehu závislosti čísla pórovitosti od čísla vlhkosti vyplýva, že rastliny sa dostávajú do stresu v prípade keď zmršťovacia charakteristika prechádza z normálnej fázy zmršťovania do reziduálnej fázy. V procese zmršťovania sa začína prejavovať nelinearita. Úbytok objemu pôdy je menší ako úbytok vody a do mikropórov začína vnikat' vzduch. Číslo vlhkosti má pre TP hodnotu 0,56 a pre WP je 0,26. Z priebehu celkovej objemovej zmeny uvedenej v druhej časti obr. 3 vyplýva, že táto je pre TP 7 % a pre WP 14 % vzhľadom k nasýtenému stavu. Toto zmrštenie spôsobí v povrchovej vrstve pôdneho profilu o mocnosti 1 m vznik puklín t.j. dvojdoménovej pôdnej štruktúry. Objem vzniknutých puklín pri vlhkosti TP je 48 mm a pre WP 95 mm.



Obr. 3. Zmršťovacie charakteristiky (Shrinkage Characteristics) vyjadrené vo forme závislosti čísla pórovitosti od čísla vlhkosti a vo forme závislosti celkovej zmeny objemu pôdy od vlhkosti

Na obr. 4 sú uvedené hodnoty najmenších denných zásob vody v pôde do hĺbky 1 m za 45 ročný rad vegetačných období a im zodpovedajúce objemy puklín. Z obr. 4 je zrejماً závislosť sledovaných parametrov, pričom objem puklín je zrkadlovým obrazom vlhkovného stavu pôdneho profilu. Pri poznaní zmršťovacích charakteristík lokality je možné zadefinovať limitné objemy puklín pre štart pôdneho sucha (TP) a pre WP. Z uvedených dôvodov môžu pukliny v ťažkých pôdach slúžiť ako indikátor pôdneho sucha.



Obr.4. Hodnoty najmenších denných zásob vody v pôde do hĺbky 1 m za 45 ročný rad vegetačných období a im zodpovedajúce objemy puklín

Diskusia

Ťažké pôdy sa vyznačujú vysokým podielom ílových minerálov prevažne illitickej a montmorillonitickej skupiny. Tieto sú vo svojej štruktúre schopné absorbovať vodu. V priebehu ich nasycovania vodou dochádza k napučievaniu, naopak pri ich vysušovaní nastáva zmršťovanie. Tieto objemové zmeny majú v pôdnom profile trojrozmerný charakter. Časť objemovej zmeny sa prejavuje vo vertikálnych pohyboch povrchu pôdy a časť sa prejavuje v tvorbe puklinovej pórovitosti. Veľkosť tejto pórovitosti je závislá od objemovej vlhkosti pôdy a obsahu ílovej zložky. Z hydropedologického hľadiska najpremenlivejšou zložkou v pôdnom profile je objemová vlhkosť ktorá má priamy vplyv na objem puklinovej pórovitosti. Z toho dôvodu je v ťažkých pôdach možné puklinovú pórovitosť použiť ako indikátor sucha.

Záver

V predložennom príspevku je pomocou objemu pôdných puklín kvantifikovaný jeden zo stresujúcich faktorov pre rastlinný kryt – pôdne sucho. Bolo preukázané, že rastlinný kryt sa dostáva do stresu keď proces zmršťovania pôdy prechádza do nelineárnej, reziduálnej fázy zmršťovania. Pre skúmaný profil boli vypočítané priebehy zmršťovacích charakteristík a definované hodnoty objemu puklín pre TP (48 mm) a WP (95) mm. Pre 45 ročný rad

vegetačných období boli vypočítané priebehy puklinovej pórovitosti a zásoby vody do hĺbky 1 m. Bola porovnávaná z každého vegetačného obdobia najmenšia zásoba vody s príslušnou puklinovou pórovitosťou. Bolo preukázané, že v ťažkých pôdach je možné pomocou procesu tvorby puklín identifikovať pôdne sucha a stav kedy sa v jeho dôsledku rastlinný kryt dostáva do fyziologického stresu.

Literatura

KANDRA, Branislav - PAVELKOVÁ, Dana - KOTOROVÁ, Dana. Hodnotenie ťažkých pôd z hľadiska interakcie s podzemnou vodou = assesment of heavy soils with regard to interaction with ground water level. In Faktory ovplyvňujúce využívanie pôdy a krajiny v znevýhodnených oblastiach - Factors influencing soil and landscape use in less favoured areas : zborník referátov z vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou - proceedings of manuscripts from scientific conference with international participation. - Michalovce : Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum : Výskumný ústav agroekológie Michalovce, 2014, s. 83-86. ISBN 978-80-971644-0-9.

KANDRA, Branislav - PAVELKOVÁ, Dana - TALL, Andrej. Stanovenie retenčných čiar s ohľadom na objemové zmeny pôd [Determination of the soil retention curves with regard to the soil volume changes]. In Acta Hydrologica Slovaca, 2015, roč. 16, č. 2, p. 203-209. ISSN 1335-6291.

TALL, Andrej - VITKOVÁ, Justína. POUŽITIE AUTOMATICKÝCH MERACÍCH STANÍC PRI HODNOTENÍ VODNÉHO REŽIMU PÔDY. In 22. Posterový deň s medzinárodnou účasťou a Deň otvorených dverí na ÚH SAV - 22nd International Poster Day and Institute of Hydrology Open Day : Zborník recenzovaných príspevkov - Proceedings of peer-reviewed contributions [elektronický zdroj]. - Bratislava : ÚH SAV, 2015, s. 287-294. ISBN 978-80-89139-36-1.

STEHLOVÁ Katarína: 2007. Assessment of the soil water storage with regard to prognosis of the climate change at lowlands. Cereal Research Communications, vol. 35, no. 2, pp 1093-1096

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Grantovou VEGA agentúrou prostredníctvom finančnej podpory projektu 2/0062/16

Kontakt:

Ing. Milan Gomboš, CSc. název organizace

Výskumná hydrologická základňa ÚH SAV

Hollého, 42

071 01 Michalovce

gombos@uh.savba.sk

+421 907 995 665

+421 56 6425147

Citlivost empirického modelu obsahu dostupné vody v kořenové zóně plodin na změnu vybraných vstupní údajů

The sensitivity of empirical model of available water content in
root zone of crops to changes of selected input data

Jan Haberle, Pavel Svoboda, Gabriela Kurešová

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha-Ruzyně

Abstrakt

Byla analyzována citlivost výpočtu bilance vody v kořenové zóně plodin. Výpočet je určen pro modelování bilance vody v praxi a zahrnuje několik zjednodušujících předpokladů. Byl určen vliv posunu data dosažení maximální hodnoty plodinového koeficientu (Kc_2) o ± 15 dní na změny obsahu dostupné zásoby vody v průběhu růstu. Výpočet byl porovnán s experimentálními údaji. Vypočtený obsah vody dobře indikoval, i přes posun termínu Kc_2 , období nedostatku vody.

Klíčová slova: evapotranspirace, plodinový koeficient, sucho

Abstract

The sensitivity of the calculation of water balance in crop root zone was analysed. The calculation is aimed at modelling of water balance in farms and it includes several simplifications. The sensitivity of available water content calculation to shift of term of reaching maximum value of crop coefficient by ± 15 days was studied. The results were compared with experimental data. The calculated changes of water content indicated reasonably, in spite of the shift, the periods of water shortage.

Key words: evapotranspiration, crop coefficient, drought

Úvod

Kolísání intenzity a rozdělení srážek v průběhu roku, spolu s rostoucími teplotami, zhoršuje podmínky pro stabilní produkci zemědělských plodin. Škody v důsledku sucha dosahují až miliard korun, sucho je velké téma pro veřejnost, výzkum i řídicí složky, jsou vyhlašovány ambiciózní programy, které by měly vést k redukci dopadů sucha na zemědělskou produkci. Na druhé straně sami pěstitelé nemají k dispozici vhodné metody pro určení dostupné zásoby

vody v kořenové zóně na svých pozemcích u konkrétní plodiny, pro výpočet bilance a odhad nástupu nedostatku vody při určitém průběhu počasí.

K tomuto účelu byl vytvořen program pro výpočet dostupné zásoby vody v kořenové zóně plodin (Haberle et al. 2015a,b). Program počítá změny této zásoby na základě bilance vody v porostu plodin, zahrnuje zjednodušený výpočet evapotranspirace a využitelné vodní kapacity vrstev půdy a využívá údaje o hloubce kořenů a využití vody z kořenové zóny. Výpočet byl ověřen na údajích o vlhkosti půdy pod obilninami, bramborami, kukuřicí, řepkou a dalšími plodinami z polních pokusů a provozních pozemků zemědělských podniků v letech 2011-2014. Program je určen pro provozní podmínky zemědělských podniků, kde nejsou k dispozici přesné vstupní údaje pro modelování, a proto nutně zahrnuje několik zjednodušení, například odhad vodní kapacity vrstev půdy a bodu vadnutí na základě zrnitostního složení (Vlček et al. 2014).

Program není určen jako náhrada plodinových modelů, záměrem bylo poskytnout pěstiteli představu o změnách obsahu dostupné vody a jejím vyčerpání při nedostatku srážek. Výpočet využívá znalosti uživatele o specifických půdních podmínkách konkrétního pozemku a stavu porostu v daném roce (nebo ho k získání těchto údajů vede).

Cílem příspěvku bylo určit citlivost výpočtu na posun termínu dosažení nejvyšší hodnoty plodinového koeficientu.

Metody a Materiál

Plodinový koeficient K_c , který vyjadřuje poměr mezi skutečnou a vypočtenou potenciální evapotranspirací, se v uvedeném výpočtu (Haberle et al. 2015a) lineárně zvyšuje z hodnoty 0,35 pro holou půdu od fáze vzházení nebo jarní regenerace k maximální hodnotě K_{c2} (v případě dostatku vody) v době zakrytí půdy porostem z 80%. Skutečný průběh změn hodnoty K_c nelze určit bez přímého měření evapotranspirace, odběru vody porostem, s pomocí lysimetrů nebo Bowenova poměru (např. Zábranský et al. 2015), a proto se hodnota K_c v agroklimatických modelech odhaduje podle data, fáze vývoje nebo ze sumy efektivních teplot (např. Allen et al. 2003, Spitz et al. 2007). V našem programu odhaduje uživatel termín dosažení K_{c2} na základě přímého pozorování nebo zkušeností, takže může zohlednit vliv agrotechniky, nerovnoměrnost porostu, poškození mrazem apod.

Byl počítán obsah vody v kořenové zóně ozimé pšenice při posunu termínu dosažení K_{c2} o 5, 10 a 15 dní před a po 15. dubnu. Protože vliv posunu byl ve všech případech malý, jsou prezentovány pouze výsledky posunu o ± 15 dnů. S cílem redukovat dopad subjektivní volby

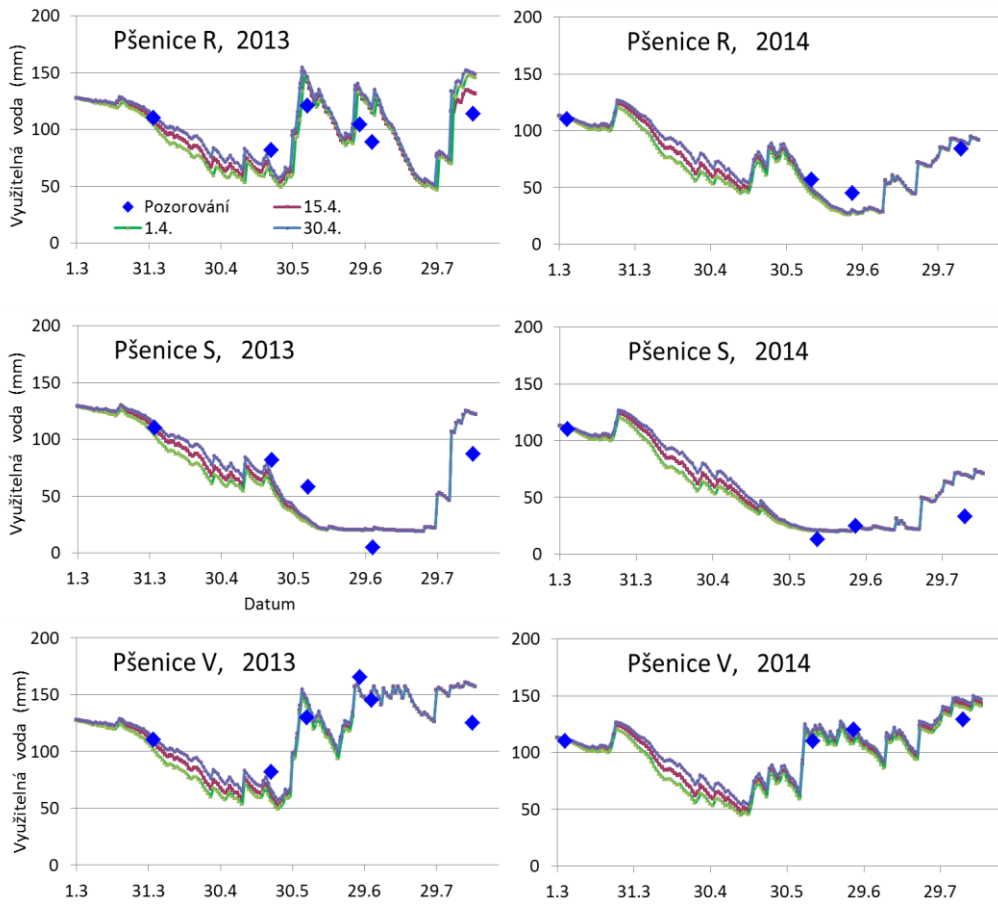
byl ve všech letech použit jako základ stejný termín zapojení porostu pšenice (15.duben). Byl porovnán průběh změn obsahu vody a vypočtena absolutní chyba odhadu na základě pozorované vlhkosti půdy v pokusu s indukovaným suchem a závlahou v období růstu zrna ozimé pšenice v letech 2013-2015.

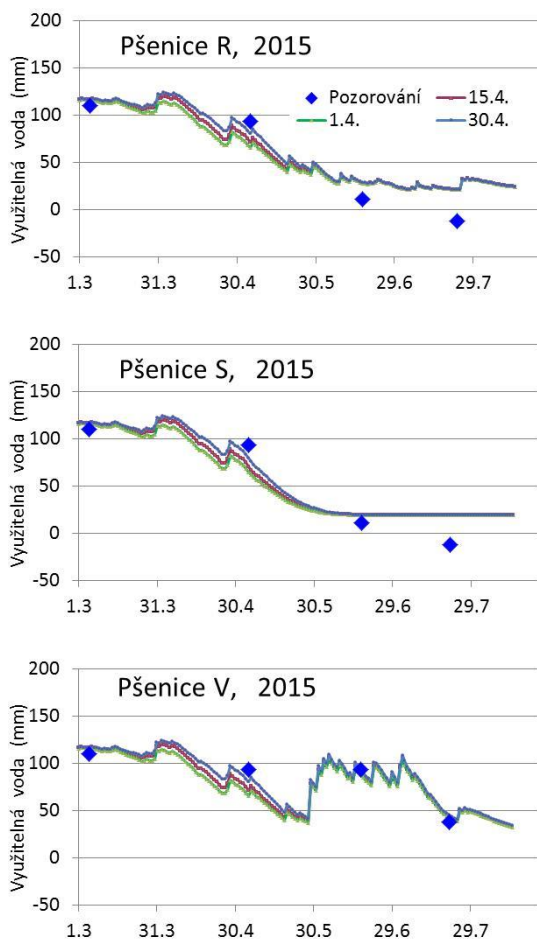
Pro výpočet byly použity denní hodnoty teploty a srážek v Ruzyni u Prahy.

Výsledky a Diskuze

Změny průběhu obsahu dostupné vody při posunu termínu dosažení hodnoty plodinového koeficientu Kc_2 jsou znázorněny na obr. 1. Podle očekávání se zvyšoval nebo snižoval vypočtený odběr vody v průběhu postupného čerpání dostupné zásoby porostem pšenice, ale obsah vody stále dobře indikoval pokles na nízkou úroveň v období růstu. Posun termínu Kc_2 o 15 dnů od 15. 4. neměl zásadní vliv na výpočet odběru vody porostem, největší rozdíly v obsahu vody při použití termínu 1. 4. a 30. 4. dosahovaly 15 mm (obr. 1). V našich klimatických podmínkách v průběhu růstu dochází k odběru vody, která většinou není plně doplněna srážkami. Po dosažení nízké úrovně obsahu dostupné vody se tak rozdíly způsobené odlišným termínem Kc_2 postupně vyrovnávaly (obr. 1). Průměrná absolutní chyba výpočtu se pohybovala v širokém rozsahu 4-34 mm (největší v roce 2015), ale vliv posunu termínu Kc_2 byl v nepatrný, do 3 mm. To bylo dáno tím, že vlhkost půdy byla zjišťována později v průběhu růstu, kdy se již rozdíly téměř vyrovnaly. Také korelační koeficient vztahu pozorovaného a modelovaného obsahu vody se proto při posunu termínu Kc_2 měnil jen málo. Podobný vliv změny termínu Kc_2 jsme zaznamenali i u dalších plodin (neprezentováno).

Uvedený výpočet bilance vod pod porostem plodin zahrnuje několik zjednodušení a tím i nejistot výpočtu. Přesná hodnota plodinového koeficientu ovlivňuje výpočet čerpání vody především v případě dostatku vody. Za podmínek nedostatku vody, které jsou z hlediska pěstitelé nejdůležitější, je příjem vody limitován dostupností vody a drobné rozdíly v termínu a hodnotě Kc nemají zásadní vliv. Samotný předpokládaný průběh změn hodnoty Kc v průběhu vývoje představuje velké zjednodušení v porovnání s experimentálními údaji (např. Zábranský et al. 2015). Další otázkou je vliv přísunu vody kapilárním vztlínáním z mimokořenové zóny, který nelze spolehlivě kvantifikovat bez dalších vstupních údajů, v praxi nedostupných. To, spolu s komplexem dalších faktorů a znaků, které ovlivňují tvorbu výnosu, obecně limituje interpretaci pozorovaného nebo modelovaného poklesu obsahu dostupné vody v kořenové zóně plodin a predikci dopadů vyčerpání vody na růst a výnos plodin, jak naposled ukázaly výsledky ozimů v suchém roce 2015.





Obr. 1 Vliv posunu hodnoty plodinového koeficientu o 15 dní oproti termínu 15. dubna na modelovaný obsah dostupné pod ozimou pšenicí. R, S a V označuje kontrolní, stresovanou a zavlažovanou variantu polního pokusu.

Závěr

Citlivostní analýza prokázala, že posun termínu dosažení nejvyšší úrovně plodinového koeficientu v rozmezí ± 15 dnů se projevil rychlejším nebo pomalejším čerpáním dostupné vody, ale průběh změn i přesto dobře indikoval pokles dostupnosti vody k úrovni bodu vadnutí.

Literatura

Allen R. G., Pereira L. S., Raies D., Smith M. 1998: Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. UN. Rome. Italy. 300 p.

Haberle J., Vlček V., Kohut M., Dostál J., Středa T., Svoboda P. 2015a: Bilance a určení dostupné zásoby vody v kořenové zóně plodin. Certifikovaná metodika. VÚRV, v.v.i., 36 s. (<http://www.vurv.cz>).

Haberle J., Svoboda P. 2015b: Calculation of available water supply in crop root zone and water balance of crops. Contributions to Geophysics and Geodesy 45 (4), 285-298.

Spitz P., Zavadil J., Hemerka I. 2007: Metodika řízení závlahového režimu plodin výpočetním programem ZAPROG 1. (VÚMOP 2007, příloha CD).

Vlček V., Hybler V., Hladký J., Pospíšilová L. 2014: Vybrané pedotransferové funkce a jejich vhodnost pro orientační hydrofyzikální charakteristiku půd. Úroda 62 (12), 453-456.

Zábranský P., Pivec J., Brant V., Kroulík M., Škeříková M. 2015: The values of crop coefficients and Bowen ratio of field crops in areas with insufficient precipitation in central Europe. Irrigation & Drainage 64(2), 253 - 262.

Poděkování

Příspěvek byl podpořen z projektů MZe ČR Národní agentury pro zemědělský výzkum QJ1510098 a RO0415.

Kontakt:

Ing. Jan Haberle, CSc.

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Drnovská 507, 16106 Praha 6

tel.: 223022254, e-mail: haberle@vurv.cz

Vliv vysokých teplot a různých vodních režimů na tvorbu nadzemní biomasy vybraných odrůd pšenice ozimé

Effect of high temperatures and different water regimes on selected winter wheat varieties above-ground biomass production

Marcela Hlaváčová^{1, 2}, Karel Klem^{1, 2}, Petr Hlavinka^{1, 2}, Miroslav Trnka^{1, 2}

Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno¹; Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1/1665, 613 00 Brno²

Abstrakt

Cílem této studie bylo hodnocení vlivu vysoké teploty a nedostatku půdní vláhy v období kvetení na alokaci nadzemní biomasy dvou odrůd pšenice ozimé (Bohemia a Pannonia). Za tímto účelem byly simulovány podmínky stresu teplem s těmito teplotními maximy: 26 °C (kontrolní komora), 29, 32, 35, 38 a 41 °C. Průběh relativní vlhkosti vzduchu (RV) a fotosynteticky aktivní radiace (FAR) byl řízen prostřednictvím protokolů. Kromě toho byla v každé komoře ustanovena varianta stresovaná suchem (Dry) a varianta optimálně zalévaná (Wet). Rostliny byly po 14 dnech stresového režimu vyjmuty z komor a do období plné zralosti byly vystaveny vlivům aktuálního počasí. Po sklizni byla pro všechny varianty nastolených stresových podmínek obou odrůd vyhodnocena produktivita hlavních klasů a sklizňový index (HI) hlavních klasů.

Klíčová slova: Bohemia, Pannonia, produktivita klasu, sklizňový index

Abstract

The aim of this study was to assess the effect of high temperatures and soil water scarcity during anthesis on the above-ground biomass allocation of the two winter wheat varieties (Bohemia and Pannonia). The six growth chambers were used to simulate heat stress conditions within following gradient of temperature maxima: 26°C (control chamber), 29, 32, 35, 38 and 41°C. The relative humidity (RH) course and photosynthetically active radiation (PAR) intensity were controlled via protocols. Additionally, drought stressed (Dry) and well-watered (Wet) treatments were established within each growth chamber. The plants were removed from the growth chambers after 14 days and they were left until a full maturity, exposed to ambient weather conditions. The spike productivities of the main spikes and harvest indices (HI) of the main spikes were evaluated for particular treatments within both winter wheat varieties after harvest.

Keywords: Bohemia, harvest index, Pannonia, spike productivity

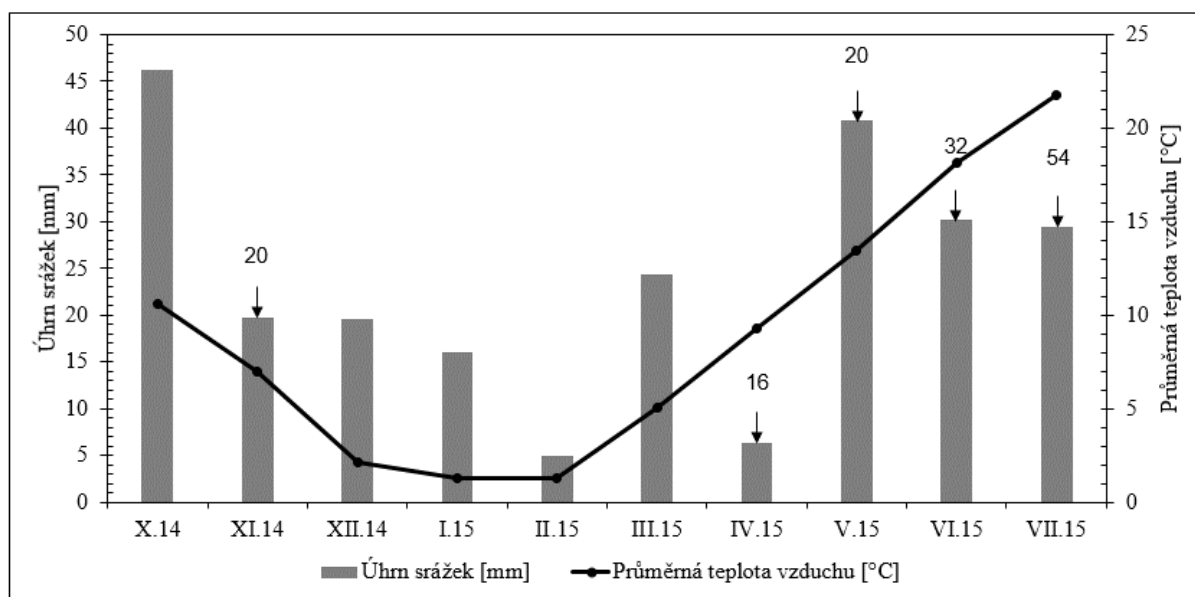
Úvod

Zemědělská produkce České republiky se stále častěji potýká s problémem zemědělského sucha, které je důsledkem zvýšené průměrné roční teploty vzduchu (za posledních 170 let se zvýšila o 1,3 °C), přičemž úhrny srážek zůstávají zachovány (Žalud 2016), ale mění se jejich rozložení v roce (Trnka et al. 2014). Také do budoucna se očekává, že výskyty období sucha a vyšších teplot budou četnější (Trnka et al. 2014). To s sebou přináší riziko sníženého výnosu polních plodin (Trnka et al. 2014, Žalud 2016). Pšenice je druhou nejpěstovanější obilninou na světě (Reyer et al. 2013, Trnka et al. 2014), v rámci České republiky zaujímá první příčku (Český statistický úřad 2016). U pšenice je známo, že je velmi citlivá na výskyt extrémně vysokých teplot během fáze reprodukce (Saini et al. 1983, Marcellos, Single 1984, Alghabari et al. 2014, Vara Prasad, Djanaguiraman 2014), přičemž v souvislosti s globální změnou klimatu se v Evropě očekává vyšší frekvence výskytu vysokých teplot právě v době kvetení (Semenov, Shewry 2011, Stratonovitch, Semenov 2015). Výskyt teploty nad 30 °C ve fenofázi kvetení může způsobit kompletní sterilitu, přičemž lze sledovat rozdíly napříč jednotlivými odrůdami pšenice (Saini, Aspinall 1982). Proto v případě, kdy dojde ke zvýšení teplot mezi obdobími kvetení a zralostí zrna, je výnos zrna snížen kvůli zkrácení času k zachycení zdrojů (Wheeler et al. 1996a,b, Farooq et al. 2011). Teplotní stres v době kvetení má také vážný dopad na počet a velikost zrna (Fischer 1985, Saini, Aspinall 1982). Dobrým ukazatelem reakce zemědělských plodin na klimatické změny je tzv. sklizňový index (HI) (Ludlow, Muchow 1993, Hay 1995), který vyjadřuje poměr mezi hmotností sklizeného zrna a hmotností nadzemní biomasy (Huehn 1993). Taktéž produktivita klasu, v rámci samostatného hodnocení zastoupena hmotností zrna na klas přepočítanou na 14% vlhkost, může zachytit rozdíly napříč prostředími s různými stresovými podmínkami. Proto se tato studie bude věnovat reakcemi vysokých teplot a nedostatku půdní vláhy na alokaci nadzemní biomasy právě u pšenice ozimé.

Materiál a metody

Na konci října roku 2014 (22. 10.) byl založen nádobový experiment vysetím semen dvou odrůd pšenice ozimé (Bohemia a Pannonia NS) v dávce dvou semen na jeden květník, a to do plastových květníků s vnitřními rozměry 10,5 × 10,5 × 21,5 cm. Byly tak vytvořeny celkem dvě parcely, každá pro jednu odrůdu. Odrůda Bohemia byla zvolena jakožto jedna z moderních odrůd kvalitní (A) jakosti (ÚKZÚZ 2015a) dosahujících v rámci území České

republiky vysokých výnosů. Její množitelská plocha v roce 2014 byla největší v rámci všech odrůd pšenice ozimé a rozkládala se na území 2 439,29 ha s množstvím vyprodukovaného osiva 7 137,59 t (ÚKZÚZ 2015b). Pannonia NS byla vybrána jakožto zástupce odrůd pšenice ozimé (zapsaných ve Společném katalogu odrůd druhů zemědělských rostlin), u nichž je předpokládána odolnost vůči suchu a vysokým teplotám (ÚKZÚZ 2015a, Palík et al. 2009), čímž se jeví jako odrůda vhodná pro pěstování v podmínkách budoucího klimatu, v němž jsou očekávány vyšší četnosti výskytu období sucha a vyšších teplot (Trnka et al. 2014, Žalud 2016). Jedná se rovněž o odrůdu kvalitní (A) jakosti (Palík et al. 2009). V roce 2014 se množitelská plocha odrůdy Pannonia NS rozkládala na území 759,60 ha s množstvím vyprodukovaného osiva 2 786,57 t (ÚKZÚZ 2015b). Před setím byly květníky naplněny půdou, která byla odebrána na pokusné stanici v Polkovicích (nadmořská výška 199 m n. m.). Dle výsledků odběrů půdními sondami byla tato půda kvalifikována jako černozem luvická se spraší jako matečným substrátem. Květníky byly umístěny na betonovou podlahu vegetační haly Mendelovy univerzity v Brně, kde byly rostliny vystaveny aktuálním klimatickým podmínkám. Jelikož se jedná o nádobový experiment, aby byl podpořen růst a vývoj rostlin a aby bylo zabráněno vysychání půdy v květnících, byly rostliny obou odrůd zavlažovány. Průběh teploty vzduchu a úhrnu srážek v době realizace experimentu byl zaznamenáván v arboretu Mendelovy univerzity v Brně a společně s údaji o uskutečněných závlahách (zakresleny šipkami s hodnotou závlahy) v průběhu jednotlivých měsíců jsou znázorněny v rámci klimadiagramu níže (Obr. 1). Aby byla zajištěna ochrana rostlin před vymrznutím, květníky obou parcel byly obsypány keramzitem. V rámci ochrany proti napadení listovými chorobami (padlí travní a rez pšeničná) a škůdci (mšice střemchová a kyjatka travní) byly rostliny opakovaně chemicky ošetřeny (přehled aplikovaných přípravků včetně termínů viz Tab. 1 níže). Pro jarní podporu růstu byly rostliny jedenkrát pohnojeny (17. 3. 2015) dusičnanem amonným (NH_4NO_3), a to v dávce 0,29 g hnojiva rozpuštěného ve 14 ml vody pro dodání 90 kg N na ha. V polovině května (15. 5. 2015) byly květníky převezeny na Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., kde byly v růstové fázi metání (BBCH 51–52) vloženy do šesti růstových komor FS 3400 (Photon Systems Instruments LLC, www.psi.cz) na dvoudenní aklimatizaci ke kontrolní teplotě (nejvyšší teplota 26 °C), třetí den od vložení do komor byl pak zahájen experimentální program, který se lišil pro každou růstovou komoru. Jelikož se jedná o odrůdy s odlišnou raností, nástup růstové fáze metání byl rovněž v různém termínu, a to 15. 5. 2015



Obr. 1 Měsíční úhrny srážek a průměrná teplota vzduchu v arboretu Mendelovy univerzity v Brně za období od října 2014 do července 2015 a celkové měsíční závlahy květinů s odrůdami

Tab. 1 Přehled přípravků aplikovaných v rámci experimentu

Termín aplikace	*Fungicid	Koncentrace [%]
31. 3. 2015	PROSARO [®] 250 EC	0.13
14. 4. 2015	Fandango [®] 200 EC	0.4
28. 4. 2015	PROSARO [®] 250 EC	0.28
Termín aplikace	**Insekticid	Koncentrace [%]
28. 5. 2015	Plenum	0.1
2. 6. 2015	Plenum	0.1
4. 6. 2015	Plenum	0.1
23. 6. 2015	Karate se Zeon technologií 5 [®] CS	0.05

* tyto přípravky jsou registrovány pod obchodní značkou společnosti Bayer CropScience AG (Německo), ** tyto přípravky jsou registrovány pod obchodní značkou společnosti Syngenta (Švýcarsko)

v případě Pannonie a 18. 5. 2015 v případě Bohemie. Experimentální program byl tedy zahájen 18. 5. 2015 pro Pannonii a 21. 5. 2015 pro Bohemii (obě odrůdy ve fázi BBCH 55–57). V těchto růstových komorách lze řízeně kontrolovat pěstební podmínky, a to jak ručně, tak pomocí různých protokolů simulujících denní změny intenzity světla, průběhy teploty

vzduchu a chod relativní vlhkosti (PSI 2011). V případě tohoto experimentu byly v každé komoře nastaveny protokoly denního průběhu teploty vzduchu, hodnoty fotosynteticky aktivní radiace (FAR) a relativní vlhkosti (RV), kdy hodnoty FAR a RV byly pro všechny komory shodné (viz Tab. 2 s nastavením protokolů v jednotlivých komorách). V každé komoře byly květníky následně rozděleny na variantu stresovanou suchem (dále používáno označení *Dry*) a variantu optimálně zalévanou (dále používáno označení *Wet*), kdy pro každou z těchto dvou variant bylo použito 7 květníků. Aktuální vlhkost půdy byla měřena čidlem ThetaProbe Soil Moisture Sensor (Delta-T Devices Ltd, <http://www.delta-t.co.uk>) pro zpětnou kontrolu závlah. Vlhkost půdy byla v rámci varianty *Dry* udržována pod hranicí 30 % plné vodní jímavosti (v angličtině označované jako water-holding capacity), v rámci varianty *Wet* to pak byla hodnota 70 %.

Tab. 2 Protokoly teploty vzduchu, FAR, RV a maximální teploty vzduchu v jednotlivých komorách; ke změně hodnoty mezi dvěma následujícími časovými body u daných veličin docházelo postupně, ne skokově

Čas	Teplota [°C]	FAR [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]	RV [%]	t_{max} [°C]	Označení komory
0:00	20	0	85	26	1 (kontrolní)
4:00	18	0	90	29	2
6:00	18	0	90	32	3
12:00	t_{max}	1500	45	35	4
14:00	t_{max}	1500	45	38	5
20:00	22	0	75	41	6
0:00	20	0	85		

Po 14 dnech expozice stresovým podmínkám v rámci růstových komor byly květníky z komor vyjmuty a převezeny zpět do vegetační haly Mendelovy univerzity v Brně, kde byly až do období plné zralosti vystaveny aktuálním klimatickým podmínkám. Poté byly květníky ručně sklizeny, přičemž pro každou rostlinu v daném květníku byl pro hlavní klas zvlášť oddělen klas a stéblo s listy, u nichž byla následně určena hmotnost při aktuální vlhkosti pomocí vah s přesností 0,001 g. Zrno z klasu bylo vydroleno a byla stanovena rovněž hmotnost samotného zrna. Posléze byl pro hlavní klas každé rostliny stanoven sklizňový index (HI) jako podíl hmotnosti zrna (X) a součtu hmotnosti zrna s hmotností stébla, listů a klasů po vydrolení zrna (S) následujícím způsobem (vzorec 1) (Huehn 1993, Pennington 2013):

$$HI = \frac{X}{X + S}$$

Zrno bylo následně v sušičce vysušeno (na 105 °C po dobu 12 hodin), byla znovu určena jeho hmotnost a byla stanovena vlhkost zrna v klasu při vážení po sklizni (vlhkost) (viz Hellevang 1995 či ÚKZÚZ 2013). Výsledná produktivita klasu při 14% vlhkosti (PK14) pak byla stanovena přepočtem na 14% vlhkost z hmotnosti zrna po sklizni (PK_{vlhkost}) dle přepočtu na standardní (normovanou) vlhkost (ÚKZÚZ 2013) pomocí následujícího vzorce (vzorec 2):

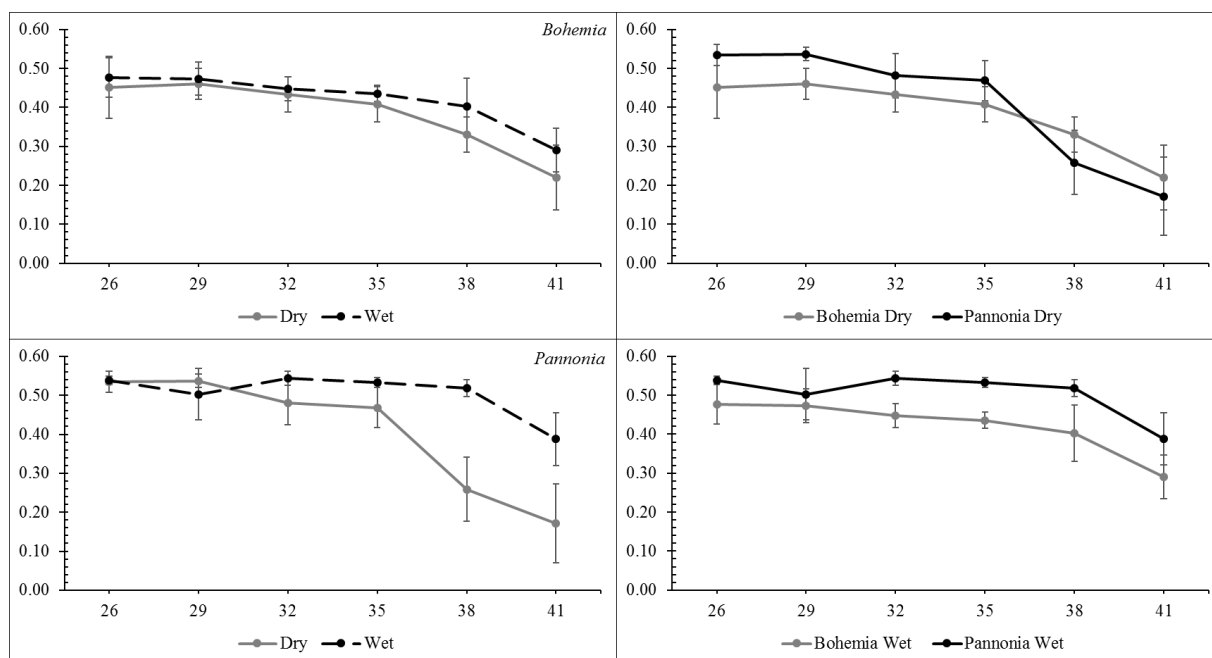
$$PK14 = \frac{PK_{vlhkost} \times (100 - vlhkost)}{100 - 14}$$

Sady dat produktivity hlavních klasů a sklizňových indexů pro jednotlivé varianty teplotního a vodního režimu byly zbaveny extrémních hodnot využitím metody orientačního vyloučení extrémních hodnot uvedené v publikaci Bedáňová, Večerek (2007). V tabulkových a grafických výstupech byly ponechány (byť pro Českou republiku neobvyklé) desetinné tečky.

Výsledky

Nejprve budou prezentovány výpočty HI obou odrůd (Tab. 3 a Obr. 2) vypočítané dle vzorce 1. Poté bude samostatně vyhodnocena produktivita klasu obou odrůd přepočítaná na 14% vlhkost (PK14) dle vzorce 2 (Tab. 4). Z průměrných hodnot HI (viz Obr. 2) pro obě odrůdy je patrné, že nejvyššího čísla HI průměrně dosahovaly v rámci odrůdy Bohemia rostliny varianty *Wet* při $t_{max} = 26$ °C, u odrůdy Pannonia průměrně nejvyšších hodnot HI dosahovala varianta *Wet* při $t_{max} = 32$ °C. Průměrně nejnižších hodnot HI pak dosahovaly varianty *Dry* při $t_{max} = 41$ °C, a to u obou odrůd. Provedené dvoufaktorové Analýzy rozptylu (ANOVA) vlivu teploty a vodního režimu na hodnotu HI dané odrůdy při hladině významnosti $\alpha = 0,05$ ukázaly, že faktor vodní režim i faktor teplota mají na hodnoty HI statisticky významný vliv, a to v rámci dat HI pro obě odrůdy, přičemž u odrůdy Bohemia pro faktor vodní režim byla p -hodnota = 0,0001 (u odrůdy Pannonia byla p -hodnota = 2,7E-19) a pro faktor teplota byla p -hodnota = 2,26E-29 (u odrůdy Pannonia pak byla tato p -hodnota = 1,78E-34). Proto byl v rámci obou ANOVA analýz následně ještě proveden Tukeyho test mnohonásobného porovnání (viz Tab. 3a, b níže), který ukázal, mezi kterými skupinami jsou statisticky významné rozdíly. S ohledem na výsledky Tukeyho testu, sestávající z rozsáhlého výčtu všech kombinací, byly v rámci tohoto příspěvku interpretovány jen ty skupiny, jejichž p -hodnoty $\leq \alpha_{0,05}$, což při zvolené hladině významnosti indikuje statisticky významný rozdíl mezi danými skupinami. Provedené testy ANOVA pro vliv teploty a vodního režimu na hodnotu produktivity hlavních klasů dané odrůdy při hladině významnosti $\alpha = 0,05$ ukázaly statistickou významnost obou

faktorů (stejně jako v případě hodnot HI), přičemž u odrůdy Bohemia pro faktor vodní režim byla p -hodnota = 0,00033 (pro Pannonii byla p -hodnota = 1,6E-24) a pro faktor teplota byla p -hodnota = 2,37E-21 (pro Pannonii pak byla tato p -hodnota = 1,37E-28). Opět byl tedy proveden Tukeyho test mnohonásobného porovnání (viz Tab. 4a, b níže), přičemž byly interpretovány jen výsledky p -hodnot skupin se statisticky významnými rozdíly.



Obr. 2 Průměrné hodnoty HI hlavních klasů rostlin obou odrůd a směrodatné odchylky od průměru jako chybové úsečky

Tab. 3 Tukeyho test mnohonásobného porovnání testu ANOVA pro vliv teploty a vodního režimu na hodnoty HI hl. klasů rostlin odrůdy a) Bohemia, b) Pannonia NS, kdy hodnoty označené *, ** a *** označují hladiny významnosti pro hodnoty $p < 0,05$, $p < 0,01$ a $p < 0,001$; prezentovány jsou pouze skupiny, mezi nimiž je statisticky významný rozdíl; tučně jsou zvýrazněny nejnižší hodnoty p -hodnoty v rámci variant dané odrůdy – u Pannonie bylo takto zviditelněno více čísel, protože ty dosahovaly stejné hodnoty; tabulka pokračuje na další straně

a) Tuckey Bohemie	p -hodnota	b) Tuckey Pannonie	p -hodnota
Wet-Dry	< 0.001***	Wet-Dry	< 0.001***
38: Dry-26: Dry	< 0.001***	38: Dry-26: Dry	< 0.001***
41: Dry-26: Dry	< 0.001***	41: Dry-26: Dry	< 0.001 ***
41: Wet-26: Dry	< 0.001***	41: Wet-26: Dry	< 0.001***
38: Dry-29: Dry	< 0.001***	38: Dry-29: Dry	< 0.001***
41: Dry-29: Dry	< 0.001***	41: Dry-29: Dry	< 0.001***
41: Wet-29: Dry	< 0.001***	41: Wet-29: Dry	< 0.001***

a) Tuckey Bohemie	<i>p</i> -hodnota	b) Tuckey Pannonie	<i>p</i> -hodnota
38:Dry-32:Dry	< 0.001***	38:Dry-32:Dry	< 0.001***
41:Dry-32:Dry	< 0.001***	41:Dry-32:Dry	< 0.001***
41:Wet-32:Dry	< 0.001***	41:Wet-32:Dry	0.006**
38:Dry-35:Dry	0.037*	38:Dry-35:Dry	< 0.001***
41:Dry-35:Dry	< 0.001***	41:Dry-35:Dry	< 0.001***
41:Wet-35:Dry	< 0.001***	41:Wet-35:Dry	0.035*
41:Dry-38:Dry	< 0.001***	41:Dry-38:Dry	0.015*
26:Wet-38:Dry	< 0.001***	26:Wet-38:Dry	< 0.001***
29:Wet-38:Dry	< 0.001***	29:Wet-38:Dry	< 0.001***
32:Wet-38:Dry	< 0.001***	32:Wet-38:Dry	< 0.001***
35:Wet-38:Dry	0.001**	35:Wet-38:Dry	< 0.001***
26:Wet-41:Dry	< 0.001 ***	38:Wet-38:Dry	< 0.001***
29:Wet-41:Dry	< 0.001***	41:Wet-38:Dry	< 0.001***
32:Wet-41:Dry	< 0.001***	26:Wet-41:Dry	< 0.001***
35:Wet-41:Dry	< 0.001***	29:Wet-41:Dry	< 0.001 ***
38:Wet-41:Dry	< 0.001***	32:Wet-41:Dry	< 0.001 ***
38:Wet-26:Wet	0.048*	35:Wet-41:Dry	< 0.001 ***
41:Wet-26:Wet	< 0.001***	38:Wet-41:Dry	< 0.001 ***
41:Wet-29:Wet	< 0.001***	41:Wet-41:Dry	< 0.001***
41:Wet-32:Wet	< 0.001***	41:Wet-26:Wet	< 0.001***
41:Wet-35:Wet	< 0.001***	41:Wet-29:Wet	< 0.001***
41:Wet-38:Wet	< 0.001***	41:Wet-32:Wet	< 0.001***
		41:Wet-35:Wet	< 0.001***
		41:Wet-38:Wet	< 0.001***

Tab. 4 Tuckeyho test mnohonásobného porovnání testu ANOVA pro vliv teploty a vodního režimu na hodnoty produktivity hl. klasů rostlin odrůdy a) Bohemia, b) Pannonia NS, kdy hodnoty označené *, ** a *** označují hladiny významnosti pro hodnoty $p < 0,05$, $p < 0,01$ a $p < 0,001$; prezentovány jsou pouze skupiny, mezi nimiž je statisticky významný rozdíl; tučně jsou zvýrazněny nejnižší hodnoty *p*-hodnoty v rámci variant dané odrůdy; tabulka pokračuje na další straně

a) Tuckey Bohemie	<i>p</i> -hodnota	b) Tuckey Pannonie	<i>p</i> -hodnota
Wet-Dry	<0.001***	Wet-Dry	<0.001***
38:Dry-26:Dry	<0.001***	35:Dry-26:Dry	0.007**
41:Dry-26:Dry	<0.001***	38:Dry-26:Dry	<0.001***
41:Wet-26:Dry	<0.001***	41:Dry-26:Dry	<0.001***
38:Dry-29:Dry	<0.001***	32:Wet-26:Dry	0.04*
41:Dry-29:Dry	<0.001***	41:Wet-26:Dry	<0.001***
41:Wet-29:Dry	<0.001***	38:Dry-29:Dry	<0.001***
38:Dry-32:Dry	<0.001***	41:Dry-29:Dry	<0.001***

a) Tuckey Bohemie	<i>p</i> -hodnota	b) Tuckey Pannonie	<i>p</i> -hodnota
41: Dry-32: Dry	<0.001***	32: Wet-29: Dry	0.003**
41: Wet-32: Dry	<0.001***	41: Wet-29: Dry	0.004**
41: Dry-35: Dry	<0.001***	38: Dry-32: Dry	<0.001***
26: Wet-35: Dry	0.002**	41: Dry-32: Dry	<0.001***
29: Wet-35: Dry	0.036*	26: Wet-32: Dry	<0.001***
26: Wet-38: Dry	<0.001***	32: Wet-32: Dry	<0.001***
29: Wet-38: Dry	<0.001***	38: Dry-35: Dry	<0.001***
32: Wet-38: Dry	<0.001***	41: Dry-35: Dry	<0.001***
35: Wet-38: Dry	0.008**	26: Wet-35: Dry	<0.001***
38: Wet-38: Dry	0.001**	29: Wet-35: Dry	<0.001***
26: Wet-41: Dry	<0.001***	32: Wet-35: Dry	<0.001***
29: Wet-41: Dry	<0.001***	35: Wet-35: Dry	0.004**
32: Wet-41: Dry	<0.001***	38: Wet-35: Dry	<0.001***
35: Wet-41: Dry	<0.001***	26: Wet-38: Dry	<0.001***
38: Wet-41: Dry	<0.001***	29: Wet-38: Dry	<0.001***
41: Wet-26: Wet	<0.001***	32: Wet-38: Dry	<0.001***
41: Wet-29: Wet	<0.001***	35: Wet-38: Dry	<0.001***
41: Wet-32: Wet	<0.001***	38: Wet-38: Dry	<0.001***
41: Wet-35: Wet	0.011*	41: Wet-38: Dry	<0.001***
41: Wet-38: Wet	0.002**	26: Wet-41: Dry	<0.001***
		29: Wet-41: Dry	<0.001***
		32: Wet-41: Dry	<0.001***
		35: Wet-41: Dry	<0.001***
		38: Wet-41: Dry	<0.001***
		41: Wet-41: Dry	<0.001***
		41: Wet-26: Wet	<0.001***
		41: Wet-29: Wet	<0.001***
		41: Wet-32: Wet	<0.001***
		41: Wet-35: Wet	<0.001***
		41: Wet-38: Wet	<0.001***

Diskuze

V případě, že jsou plodiny vystaveny závažným stresovým podmínkám (voda, teplota, záplavy, nemoci), pak lze očekávat velmi nízkou hodnotu HI (Cormeau Barnett 1979, Hay 1995). Jako příklad lze uvést nádobový experiment, uskutečněný v Austrálii, v němž se hodnoty HI pro kultivary pšenice, které byly vystaveny závažnému vodnímu stresu, pohybovaly od hodnoty okolo 0,45 po hodnotu menší než 0,1 (Passioura 1977), zatímco v jiném experimentu (rovněž z Austrálie) realizovaném ve skleníku bylo zaznamenáno významné, ale mírnější, snížení hodnot HI, které se pohybovaly v rozmezí od 0,49 do 0,36 (Davidson, Birch 1978). V rámci České republiky se HI pro pšenici setou většinou pohybuje

blízko k hodnotě 0,5 (Konvalina et al. 2010). Nejvyšší průměrné hodnoty HI v rámci experimentu bylo dosaženo u rostlin varianty *Wet* u Pannonie při $t_{\max} = 32$ °C, naopak nejnižší průměrné hodnoty HI v rámci celého experimentu bylo dosaženo u rostlin odrůdy Pannonia ve variantě *Dry* při $t_{\max} = 41$ °C.

Závěr

Hodnoty sklizňového indexu obou odrůd se nejčastěji průměrně pohybovaly v rozmezí 0,4–0,54, což odpovídá obvyklým hodnotám HI pro pšenici setou v podmínkách České republiky. Výrazné snížení hodnot HI bylo pozorováno u obou odrůd v rámci variant *Dry* od $t_{\max} = 35$ °C, přičemž nejvýrazněji byl tento jev pozorován v rámci nejvyšší nastavené teploty $t_{\max} = 41$ °C.

Literatura

Alghabari F., Lukac M., Jones H. E., Gooding M. J. 2014. Effect of Rht alleles on the tolerance of wheat grain set to high temperature and drought stress during booting and anthesis. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200(1): 36–45.

Bedáňová I., Večerek V. 2007. *Základy statistiky pro studující veterinární medicíny a farmacie*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno.

Comeau A., Barnett G. 1979. Effect of barley yellow dwarf virus on N, P, K fertilizer efficiency and on the harvest index of oats. *Canadian Journal of Plant Science*, 59(1): 43-54.

Český statistický úřad [ed.] 2016. Definitivní údaje o sklizni zemědělských plodin – 2015. *Český statistický úřad* [online]. [2016-04-10]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2015>

Davidson J. L., Birch J. W. 1978. Response of a standard Australian and Mexican wheat to temperature and water stress. *Aust. J. Agric. Res.*, 29:1091–1106.

Farooq M., Bramley H., Palta J. A., Siddique K. H. 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(6): 491-507, DOI: 10.1080/07352689.2011.615687

Fischer R. A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science*, 105: 447–461.

Hay R. K. M. 1995. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of applied biology*, 126(1): 197-216.

- Hellevang K. J. 1995. Grain moisture content effects and management. AE-905 (Revised). Fargo: NDSU Extension Service, North Dakota State University of Agriculture and Applied Science.
- Konvalina P., Capouchová I., Stehno Z., Moudrý J., Moudrý J. 2010. *Volba druhu a odrůdy pšenice v ekologickém zemědělství, certifikovaná metodika*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta.
- Ludlow M. M., Muchow R. C. 1993. Crop improvement for changing climates. In: *International Crop Science 1*, 247–250. Madison: Crop Science Society of America.
- Marcellos H., Single W. 1984. Frost injury in wheat ears after ear emergence. *Australian Journal of Plant Physiology*, 11(2): 7–15.
- Palík S., Burešová I., Edler S., Sedláčková I., Tichý F., Váňová M. 2009. *Metodika pěstování ozimé pečárenské pšenice*. Kroměříž: Agrotest fyto, s. r. o.
- Passioura J. B. 1977. Grain yield, harvest index and water use of wheat. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science* Zář/prosinec: 117–118.
- Pennington D. 2013. Harvest index: A predictor of corn stover yield. *Michigan State University Extension* [online]. [2016-04-10]. Dostupné z: http://msue.anr.msu.edu/news/harvest_index_a_predictor_of_corn_stover_yield
- PSI 2011. *Walk-In FytoScope Series Operation Manual*. ver. 06-2011. Drasov: PSI, spol. s. r. o.
- Reyer C. P. O., Leuzinger S., Rammig A., Wolf A., Bartholomeus R. P., Bonfante A., Lorenzi F., Dury M., Gloning P., Abou Jaoudé R., Klein T., Kuster T. M., Martins M., Niedrist G., Riccardi M., Wohlfahrt G., Angelis P., Dato G., François L., Menzel A., Pereira M. 2013. A plant's perspective of extremes: terrestrial plant responses to changing climatic variability. *Global Change Biology*, 19: 75–89. doi:10.1111/gcb.12023
- Saini H. S., Aspinall D. 1982. Abnormal sporogenesis in wheat (*Triticum aestivum* L.) induced by short periods of high temperature. *Annals of Botany*, 49: 835–846.
- Saini H. S., Sedgley M., Aspinall D. 1983. Effect of heat stress during floral development on pollen tube growth and ovary anatomy in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian Journal of Plant Physiology*, 10(2): 137–144.
- Semenov M. A., Shewry P. R. 2011. *Modelling predicts that heat stress, not drought, will increase vulnerability of wheat in Europe*. *Scientific Reports*, 1(66).

Stratonovitch P., Semenov, M. A. 2015. Heat tolerance around flowering in wheat identified as a key trait for increased yield potential in Europe under climate change. *Journal of Experimental Botany*, 66(12): 3599–3609.

Trnka M., Rotter R. P., Ruiz-Ramos M., Kersebaum K. Ch., Olesen J. E., Zalud Z., Semenov M. A., 2014. Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Climate Change*. doi:10.1038/nclimate2242

ÚKZÚZ (Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský) [ed.] 2013. *Metodika zkoušek užité hodnoty, obecná část (ZUH/1-2013)*. 1. vyd. Brno: ÚKZÚZ.

ÚKZÚZ (Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský) [ed.] 2015a. *Obilniny a luskoviny 2015*. 1. vyd. Brno: ÚKZÚZ.

ÚKZÚZ (Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský) [ed.] 2015b. *Výroční zpráva za sklizňový rok 2014*. 1. vyd. Brno: ÚKZÚZ.

Vara Prasad P. V., Djanaguiraman M. 2014. Response of floret fertility and individual grain weight of wheat to high temperature stress: sensitive stages and thresholds for temperature and duration. *Functional Plant Biology*, 41(12): 1261–1269.

Wheeler T. R., Hong T. D., Ellis R. H., Batts G. R., Morison J. I. L., Hadley P. 1996a. The duration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to temperature and CO₂. *Journal of Experimental Botany*, 47(5): 623-630.

Wheeler T. R., Batts G. R., Ellis R. H., Hadley P., Morison J. I. L. 1996b. Growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum*) crops in response to CO₂ and temperature. *The Journal of Agricultural Science*, 127(01): 37-48.

Žalud Z. 2016. Monitoring zemědělského sucha v České republice. *Agromanual®.cz* [online]. [2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/monitoring-zemedelskeho-sucha-v-ceske-republice>

Poděkování

Tato publikace vznikla na Mendelově univerzitě v Brně v rámci projektu Interní grantové agentury Agronomické fakulty Mendelovy univerzity v Brně č. TP 7/2015 podpořeného z prostředků účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum, kterou poskytlo Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v roce 2015. Tento článek byl vytvořen rovněž za finanční podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci programu NPU I, číslo projektu LO1415.

Kontakt:

Ing. Marcela Hlaváčová

Mendelova univerzita v Brně

Zemědělská 1/1665, 613 00 Brno

+420 725 321 577, Marci.Hlava.22@gmail.com

Dálkový průzkum Země jako podpůrný nástroj při posuzování zemědělského sucha

Remote sensing as support tool for agricultural drought assessment

*Petr Hlavinka^{1,2}, Daniela Semerádová^{1,2}, Jan Balek^{1,2}, Zdeněk Žalud^{1,2}, Tsegay Tadesse³,
Michael Hayes³, Brian Wardlow⁴, Miroslav Trnka^{1,2}*

¹*Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Bělidla 986/4a, 603 00, Brno*

²*Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00,
Brno*

³*National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, 3310 Holdrege Street,
Lincoln, NE 68583, USA*

⁴*Center for Advanced Land Management Information Technologies (CALMIT) School of
Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln, 3310 Holdrege Street, Lincoln, NE
68583, USA*

Abstrakt

Díky satelitnímu snímání v rámci Dálkového průzkumu Země (DPZ) lze získávat velmi cenné údaje o podmínkách na rozsáhlých územích (napříč kontinenty i státy) i pro menší území v rozlišení stovek až desítek metrů. Mezi velké přednosti těchto přístupů patří časová a prostorová kontinuita získaných údajů. Pro hodnocení stavu vegetačního krytu na zemském povrchu jsou často využívány tzv. vegetační indexy. Předkládaný příspěvek si klade za cíl demonstrovat možnosti využití vegetačního indexu EVI2 (Enhanced Vegetation Index) v rámci sledování odezvy stavu vegetace na výskyt sucha. Výsledky jsou zaměřeny na popis situací ve vybraných letech za období 2000-2015 s využitím dat získaných pomocí zařízení MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) neseného družicí Terra. Prezentována jsou data dostupná v týdenním kroku pro celé území České republiky.

Klíčová slova: družice, vegetační indexy, vodní bilance

Abstract

Very important information about vegetation condition within wide areas (through continents and states) or for local areas in resolution from hundreds to tens of meters could be obtained from satellites within remote sensing. The temporal and spatial continuity is big advantage of this method. Namely so-called vegetation indices are often used for vegetation cover condition assessment. The aim of submitted study is to present possibility of using EVI2 (Enhanced Vegetation Index) for assessment of drought impact within vegetation. The results for selected years of the period 2000-2015 achieved using MODIS (Moderate Resolution

Imaging Spectroradiometer) aboard Terra satellite are included. The data in weekly time step and for the whole Czech Republic are presented.

Keywords: Satellite, vegetation indices, water balance

Úvod

Řada prací upozorňuje na rostoucí rizika výskytu epizod sucha v regionu střední Evropy Českou republiku nevyjímaje (např. Brázdil et al., 2015), přičemž se jedná o jev s řadou velmi vážných dopadů v různých oblastech a odvětvích. Obecně můžeme sucho definovat jako negativní odchylku srážek nebo lépe vodní bilance daného území vzhledem k průměrným hodnotám odpovídajícím určitému časovému intervalu. Na základě dopadů a průběhu epizody bývá sucho obvykle členěno do čtyř kategorií na sucho meteorologické, zemědělské, hydrologické a socioekonomické (Heim, 2002). Mezi nejzranitelnější sektory pak patří právě zemědělství díky poklesům výnosů v důsledku stresu suchem (např. Hlavinka et al., 2009). V rámci podpory operativního i strategického rozhodování v rámci sektoru od úrovně pozemků až po kraje či státy a od úrovně farmáře až po politickou sféru, je velký důraz kladen na včasnost, operativnost a přesnost informací o výskytech sucha, intenzitě epizod a následných dopadech. Tyto informace bývají uživatelům poskytovány v rámci monitorovacích nástrojů. Takovým nástrojem je např. Integrovaný Systém pro Sledování Sucha (ISSS), který poskytuje prostřednictvím domény www.intersucho.cz uživatelů vybrané údaje za celou Českou republiku v denním případně týdenním kroku. Díky komplexní povaze problematiky sucha je nezbytné hodnocení provádět na základě vhodné kombinace několika indikátorů jako je např. hodnocení zásoby vody v půdě na základě meteorologických měření v síti stanic, odhad budoucího vývoje na základě předpovědi počasí i prognózy dle obvyklého vývoje, hodnocení situace a dopadů na základě zpětné vazby od spolupracujících respondentů a v neposlední řadě analýza vegetačních podmínek pomocí satelitní techniky a dostupných senzorů v rámci tzv. Dálkového průzkumu Země (DPZ).

V případě DPZ patří mezi nesporné výhody nezávislost výsledku na pozemním pozorování a prostorová i časová kontinuita měření napříč rozsáhlými územími. Metod DPZ s velkým uplatněním jsou např. postupy vedoucí k odhadu množství biomasy a výnosů zemědělských plodin založené jak na využití povrchové teploty, tak na vyhodnocení vegetačních indexů (např. Hlavinka et al., 2015; Johnson, 2014; Mkhabela et al., 2011), případně společné využití vegetačních indexů v kombinaci s růstovým modelem (Moriondo et al., 2007). Logickou aplikací pak je využití DPZ jako podpůrného nástroje v rámci monitoringu sucha, jako je tomu například v USA prostřednictvím produktu VegDRI (Brown et al., 2008) a v posledních

letech i pro českou republiku v rámci ISSS díky hodnocení tzv. kondice vegetace. Díky neustálému rozvoji a dostupnosti moderních senzorů, satelitních nosičů i výpočetní techniky schopné zpracovávat velké objemy získaných dat tyto postupy nabízejí v současné době velmi kvalitní zdroj informací a současně lze předpokládat i jejich další rozvoj v následujícím období.

Cílem tohoto příspěvku je prezentovat výsledky z vybraných let období 2000-2015 popisující odezvu výskytu epizod sucha v rámci vegetace hodnocené s využitím satelitních pozorování. Konkrétně se bude jednat o hodnocení kondice vegetace na území České republiky v týdenním kroku na základě vegetačního indexu EVI2 (Enhanced vegetation index).

Materiál a metody

Výskyt a intenzita suchých epizod jsou v rámci předkládané studie hodnoceny na základě parametru AWP využívaného v rámci ISSS. Výpočet je na základě unifikovaných datových zdrojů (meteorologické a půdní podmínky) v jednotném gridovém systému (o velikosti pole 500 x 500 m) prováděn dynamickým modelem obsahu vody v půdě - SoilClim (Hlavinka et al., 2010). Tento model vychází z prací Allena et al. (1998), obsahuje ale celou řadu modifikací a úprav tak, aby vyhovoval pro podmínky ČR. Model poskytuje pro každý grid informace o aktuální a referenční evapotranspiraci, o obsahu vody v půdě ve dvou vrstvách vyjádřeného buď jako míra nasycení půdního profilu v % nebo jako obsah půdní vláhly v mm. Finálním produktem je mapa intenzity sucha (AWP), která je pro každý grid stanovena porovnáním aktuální hodnoty obsahu půdní vláhly v daný den s distribucí hodnot půdní vláhly dosažené v období 1961-2010 v časovém úseku ± 10 dní od posuzovaného data. Získaná hodnota pak vyjadřuje pravděpodobnost opakování daného obsahu půdní vláhly (v rámci předkládané studie uvažována situace v půdním profilu 0-100 cm) v daný den a pro přiřazení odpovídající intenzity sucha je použita škála S0 až S5, kdy popis jednotlivých kategorií uvádí Tabulka 1.

Tabulka 1. Stupnice intenzity sucha a korespondující barevná škála (www.intersucho.cz).

Kategorie	Popis	
Normální stav	Zásoba vody v půdě je blízká nebo vyšší než normální hodnoty pro dané období. Obsah dostupné vláhy je větší než hodnota 30. percentilu	
S0 – snížená úroveň půdní vláhy	Relativně nižší úroveň půdní vlhkosti opakující se v daném období v průměru jedenkrát za 3-5 let. Obsah dostupné půdní vláhy v intervalu 20.-30. percentilu.	
S1 – počínající sucho	Snížená úroveň půdní vlhkosti opakující se v daném období v průměru jedenkrát za 5-10 let. Obsah dostupné půdní vláhy v intervalu 10.-20. percentilu.	
S2 – výrazné sucho	Půdní vlhkost dosahuje hodnot, které se v daném období opakují v průměru jedenkrát za 10-20 let. Obsah dostupné půdní vláhy v intervalu 5.-10. percentilu.	
S3 – velmi výrazné sucho	Půdní vlhkost dosahuje hodnot, které se v daném období opakují v průměru jedenkrát za 20-50 let. Obsah dostupné půdní vláhy v intervalu 2.-5. percentilu.	
S4 – výjimečné sucho	Půdní vlhkost dosahuje neobvykle nízkých hodnot, které se v daném období opakují v průměru jedenkrát za 50-100 let. Obsah dostupné půdní vláhy v intervalu 1.-2. percentilu.	
S5 – extrémní sucho	Extrémně nízká půdní vlhkost, která se v daném období v průměru opakuje méně než jedenkrát za 100 let a současně nasycení půdy je nižší než 50% po více než 1 měsíc.	

Pro hodnocení stavu vegetace na základě DPZ byl zvolen přístup založený na vegetačním indexu EVI2 (vzorec 1), který vyjadřuje kombinovanou informaci o stavu fotosyntetického aparátu a množství biomasy pro dané území.

$$EVI2 = 2,5 \times \frac{(NIR - RED)}{(NIR + 2,4 \times RED + 1)} \quad (1), \text{ kde}$$

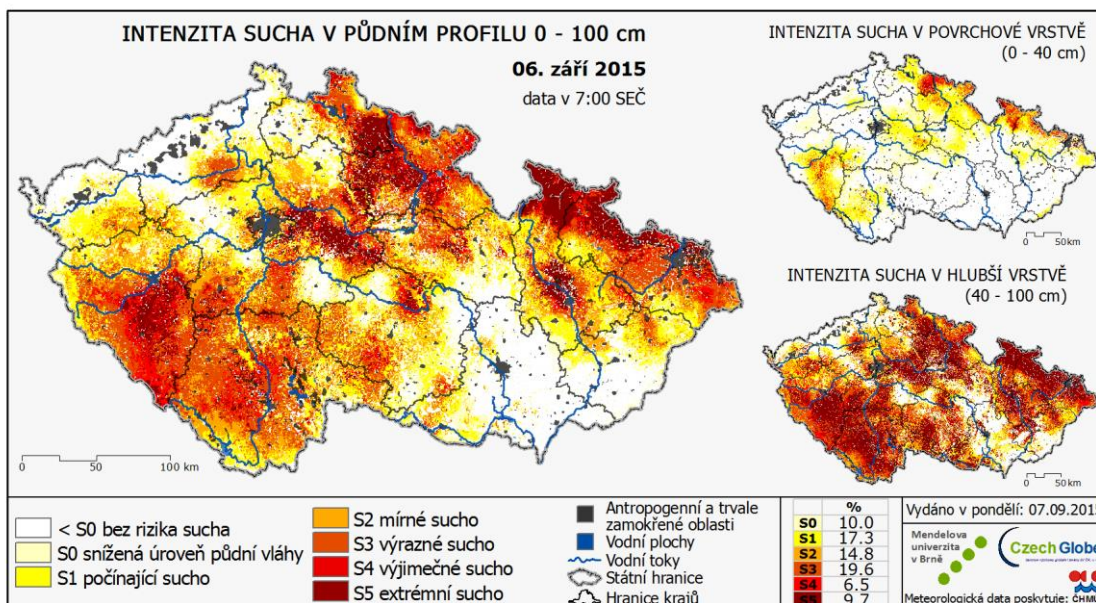
NIR odpovídá odražené blízké infračervené radiaci a RED červené části z viditelného spektra.

Potřebné údaje pro výpočet indexu EVI2 v rozlišení 250 m a v denním kroku pocházejí ze zařízení MODIS neseného družicí Terra s polární dráhou letu. Z důvodu redukce vlivu nežádoucího výskytu oblačnosti nad sledovaným územím byl na vypočtená data aplikován jednoduchý filtr vyřazující nereálné hodnoty (zejména prudké výkyvy směrem dolů). Údaje pro dny s vyřazenými (chybějícími reálnými) hodnotami byly následně doplněny prostřednictvím lineární interpolace. Takto získaná data byla následně průměrována pro území odpovídající čtvercům 5x5 km, přičemž byly započítány jen takové gridy (250 m) kde se nachází vegetace a to buď ve variantě za veškerou vegetaci (bez rozlišení) nebo pouze se

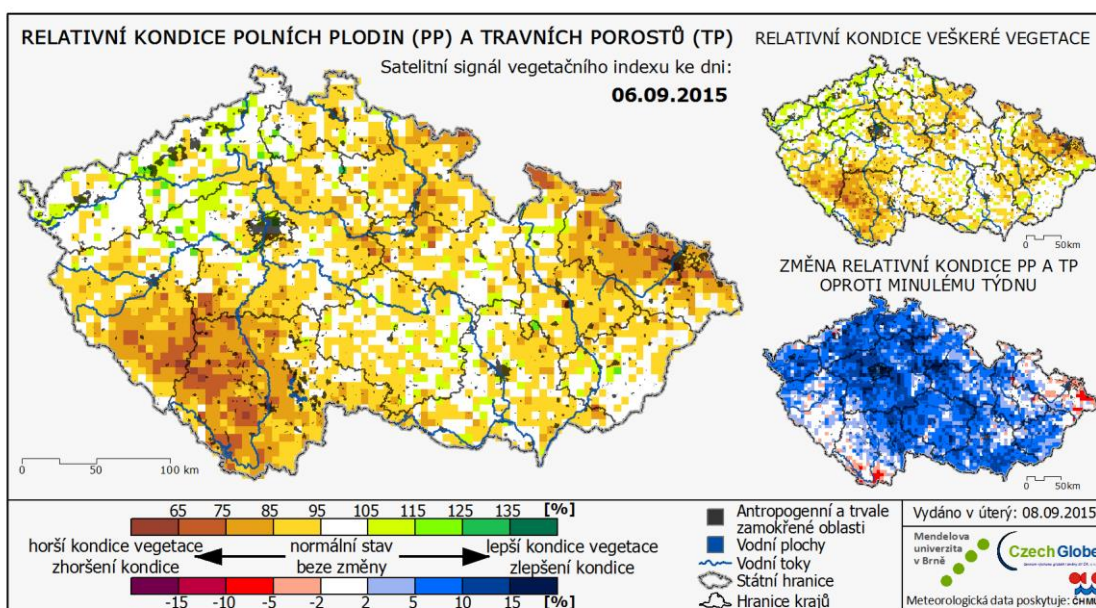
započítáním hodnot z gridů s polními plodinami a travními porosty. Prostorová integrace do čtverců o velikosti 5 x 5 km byla provedena z důvodu nedostupnosti přesných informací o lokalizaci pěstovaných plodinách v rámci čtverců 250, což by mohlo být zdrojem jisté míry šumu (rozdíl mezi jarními, ozimými plodina, rozdíl mezi v létě a na podzim sklizenými plodinami atd.). Provedený úkon předpokládá přibližně stabilní zastoupení plodin v rámci větších územních celků, jako jsou gridy 5x5 km. Posledním krokem ve zpracování dat je pak vyhodnocení odchylky (v %) EVI2 (tzv. kondice vegetace) v týdenním kroku pro čtverce 5 x 5 km vzhledem k obvyklým hodnotám pro dané území a týden v roce.

Výsledky

Příklad plošného hodnocení intenzity sucha (stupnice viz Tabulka č. 1) v rámci ISSS uvádí Obrázek č. 1, v rámci kterého je zachycena situace k 6. září 2015. Mimořádnou intenzitu sucha pro půdní profil 0-100 cm bylo stále (po letní epizodě sucha, která zasáhla téměř celé území České republiky) možné pozorovat zejména ve středních a severních Čechách, Plzeňském kraji, Olomouckém a Moravskoslezském kraji. Daná situace byla charakteristická mj. i velkým rozdílem mezi orniční vrstvou 0-40 cm a horizontem 40-100 cm, který v té době ještě nebyl dosycen srážkami z předešlého období. Stav vegetace zachycený jako tzv. „relativní kondice“ s využitím indexu EVI2 napříč Českou republikou popisuje pro 6. září 016 Obrázek 2. Z výsledků satelitních pozorování je zřejmé, že stav vegetace je na většině území díky dopadům snížené dostupnosti vody v horším než obvyklém stavu (pro dané území a část roku) a to jak z pohledu relativní kondice veškeré vegetace, tak i v případě polních plodin a trvalých travních porostů. Nicméně je patrná i pozitivní reakce (zlepšení stavu) vegetace (Obrázek č. 2 - mapa vpravo dole) oproti předchozímu období díky zlepšení dostupnosti vody v půdě (zejména ve vrstvě 0-40 cm).



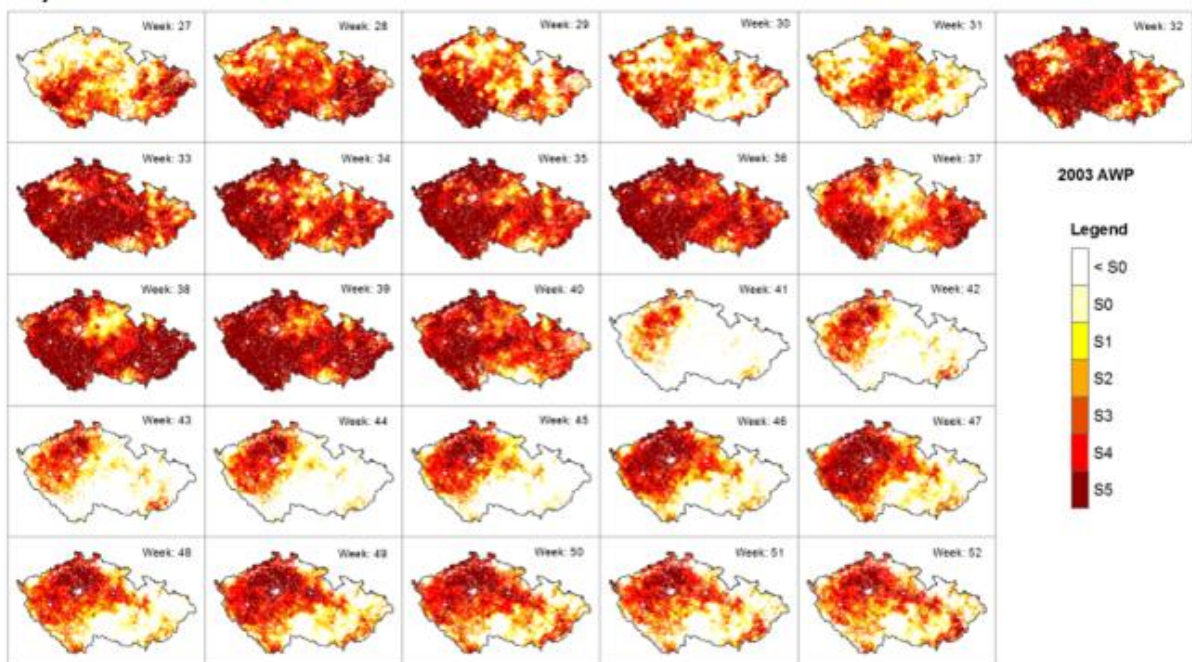
Obrázek č. 1: Intenzita sucha dle ISSS pro den 6. září 2015 (www.intersucho.cz)



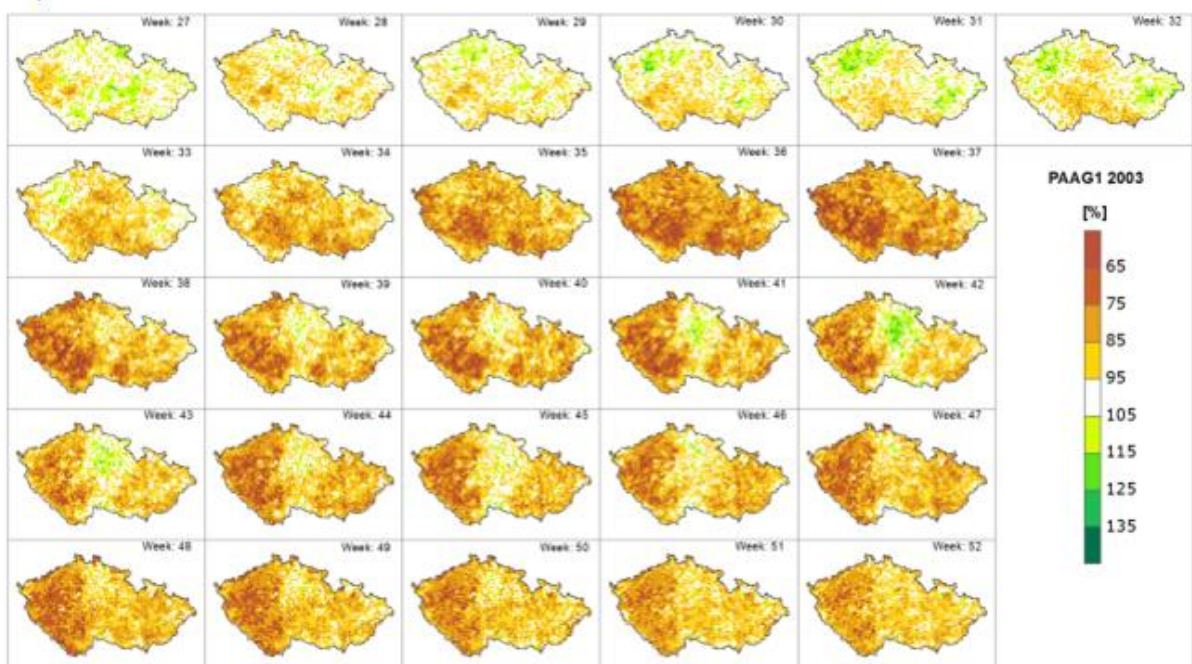
Obrázek č. 2: Relativní kondice vegetace s využitím indexu EVI2 pro den 6. září 2015 (www.intersucho.cz)

Následující obrázky zachycují v týdenním kroku vývoj intenzity sucha (a) a relativní kondice vegetace (b) pro období 2. poloviny roku 2003 (Obr. 3.), 2. poloviny roku 2009 (Obr. 4), 1. poloviny roku 2012 (Obr. 5) a 2. poloviny roku 2015.

a)

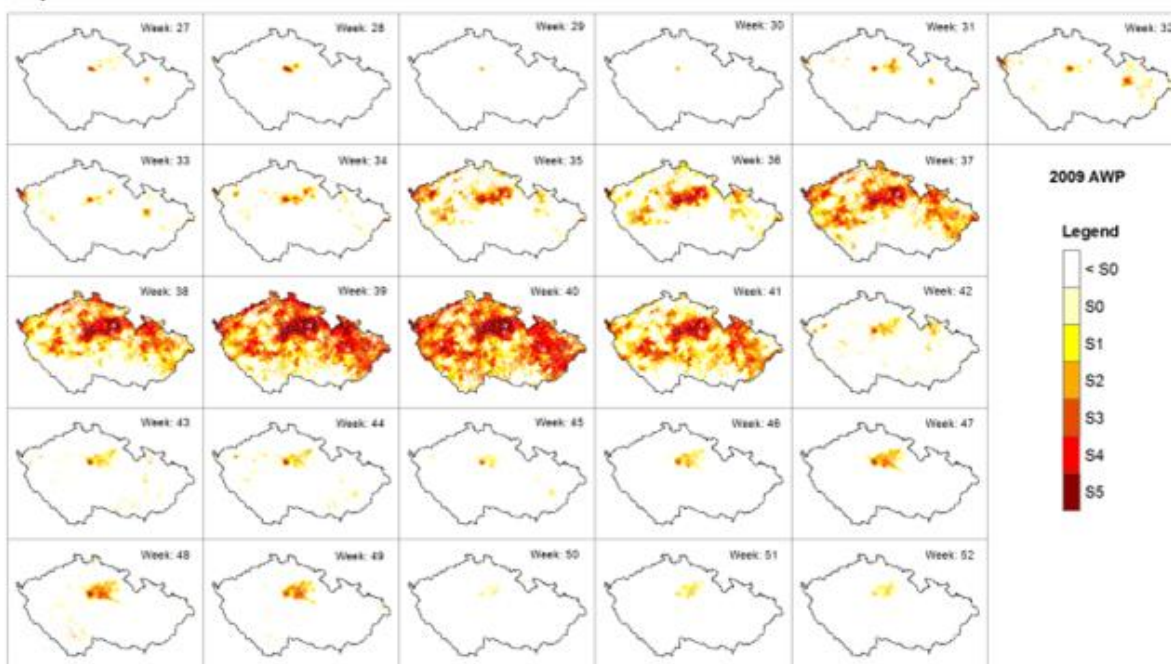


b)

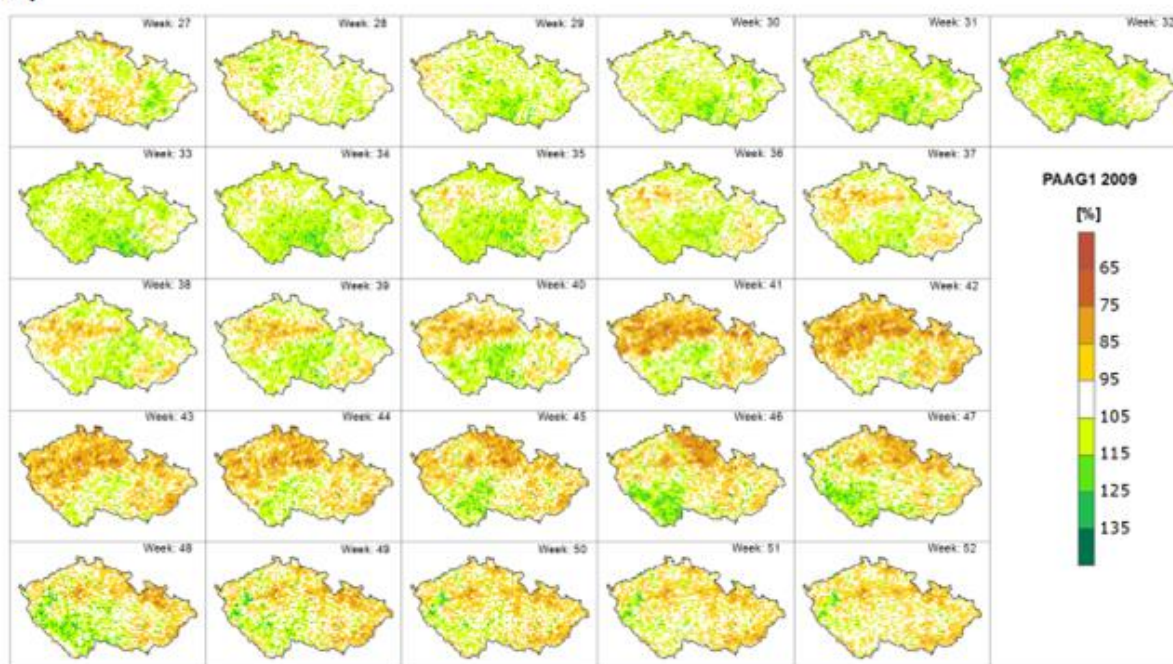


Obrázek č. 3: Vývoj intenzity sucha (a) a relativní kondice vegetace pro polní plodiny a travní porosty (b) v týdenním kroku v průběhu 2. poloviny roku 2003 (27. až 52. týden).

a)

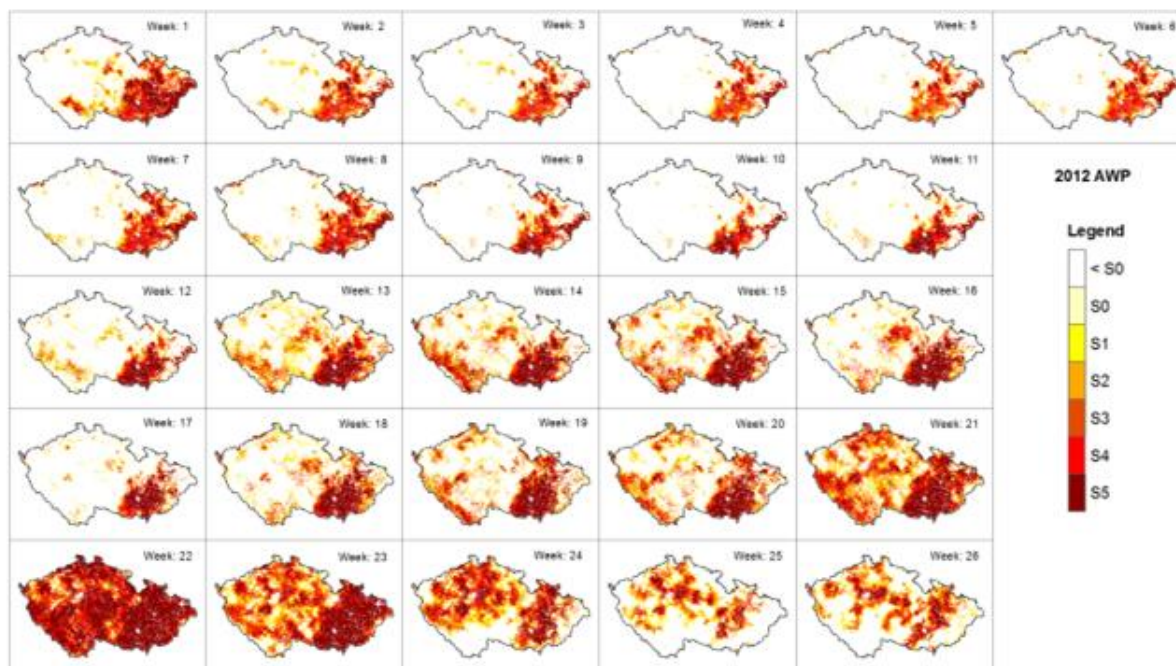


b)

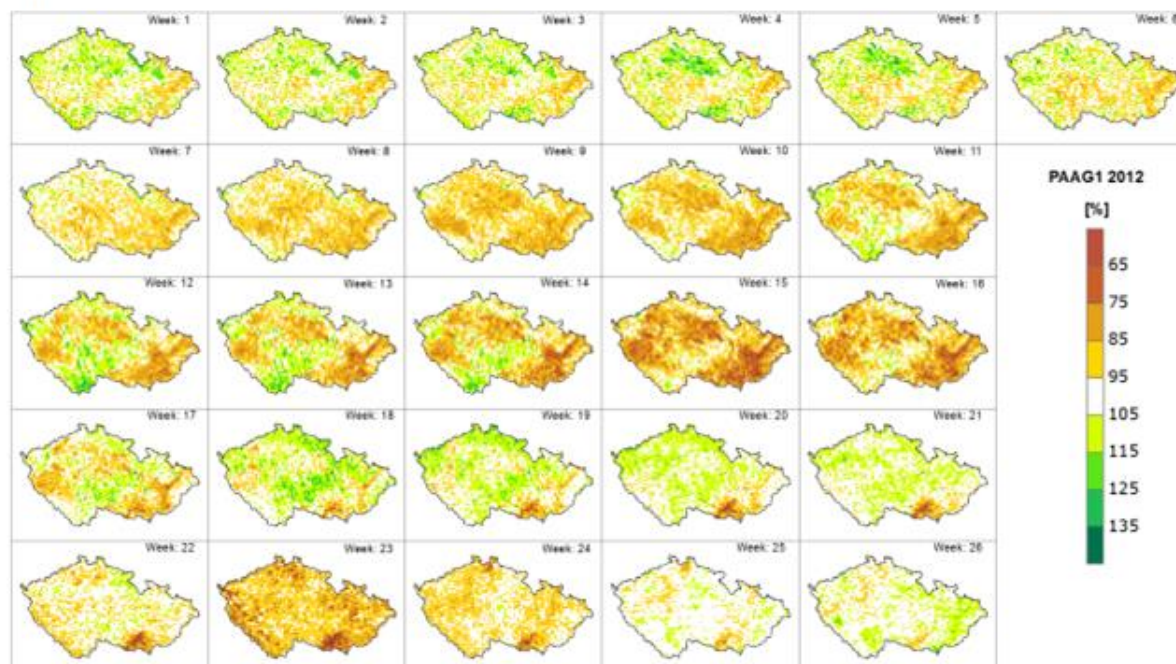


Obrázek č. 4: Vývoj intenzity sucha (a) a relativní kondice vegetace pro polní plodiny a travní porosty (b) v týdenním kroku v průběhu 2. poloviny roku 2009 (27. až 52. týden).

a)

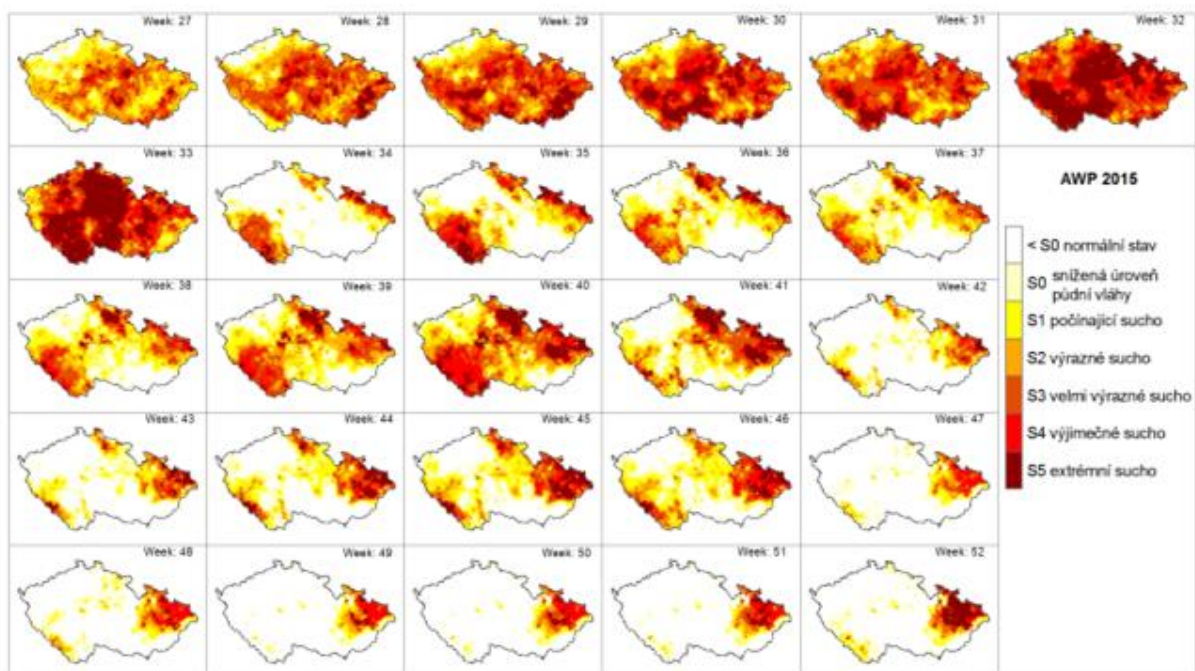


b)

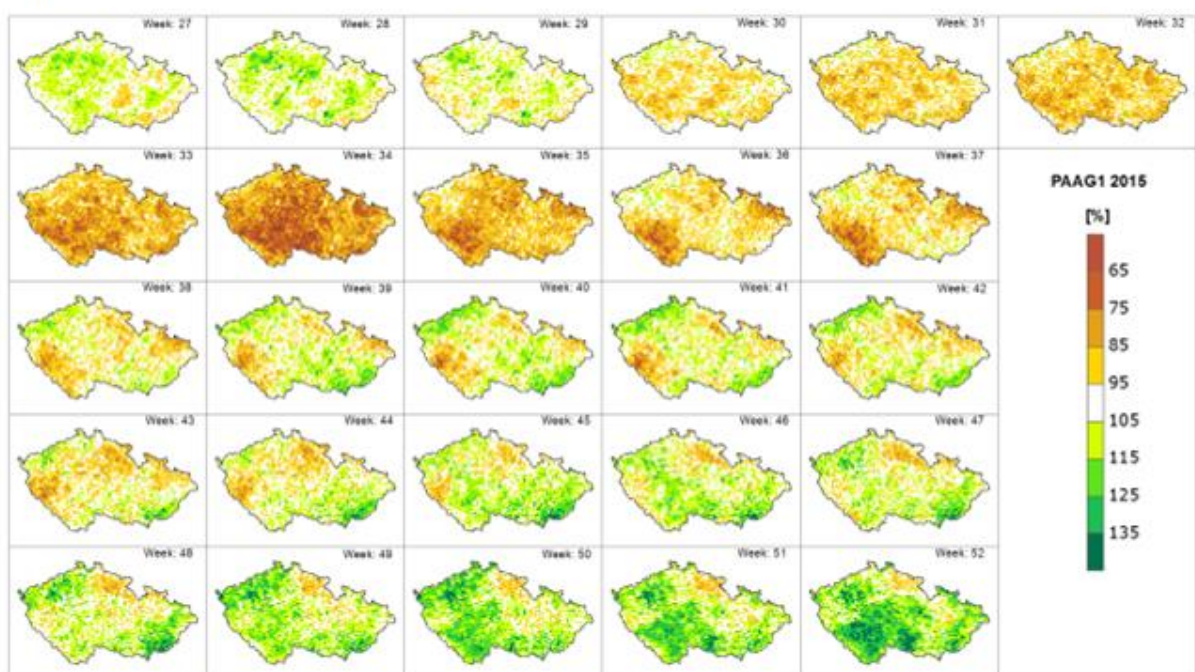


Obrázek č. 5: Vývoj intenzity sucha (a) a relativní kondice vegetace pro polní plodiny a travní porosty (b) v týdenním kroku v průběhu 1. poloviny roku 2012 (1. až 26. týden).

a)



b)



Obrázek č. 6: Vývoj intenzity sucha (a) a relativní kondice vegetace pro polní plodiny a travní porosty (b) v týdenním kroku v průběhu 2. poloviny roku 2015 (27. až 52. týden).

Prezentované výsledky poukazují na specifika a souvislosti mezi vývojem sucha a stavem vegetace. Nástroj mapující relativní kondici vegetace je schopen dobře identifikovat území

zasazené suchem, což je zřejmé např. ze situace v západní a východní části České republiky na podzim roku 2004 (Obr. 3) či severní vs. jižní části území na podzim roku 2009 (Obr. 4). Prostřednictvím relativní kondice vegetace byly zaznamenány různé případy včetně prostorově omezeného územně specifického výskytu intenzivního sucha v rámci území Moravy v průběhu jara roku 2012 (Obr. 5). Situace v 2. polovině roku 2015 (Obr. 6) dokazuje, že propad relativní kondice vegetace může mít oproti nástupu epizody sucha (snížení dostupnosti půdní vláhy) určité zpoždění (kulminace intenzity sucha ve 33. týdnu vs. maximální propad relativní kondice vegetace v 34. týdnu).

Diskuze

Ačkoliv satelitně sledovaná kondice vegetace poskytuje velmi cenné údaje o stavech porostů, je třeba dbát na správnou interpretaci daných situací, ať již v souvislosti s dopady snížené dostupnosti půdní vláhy (výskytem sucha) nebo jinými podmínkami. Stav vegetace nemusí být vždy důsledkem výskytu sucha, ale významný může být jiný stresový faktor (opozdění začátku vegetace v důsledku nízkých teplot na jaře, poškození mrazem, dřívější dozrávání). I z tohoto důvodu je pro správnou interpretaci důležitý přístup i k dalším informacím. Naopak výskyt mírného sucha brzy na jaře (často souvisí s vyššími teplotami vzduchu) může znamenat lepší relativní kondici vegetace (viz např. situace z jara 2014) a současně výskyt intenzivního sucha v letních měsících nemusí nutně přinést významný pokles relativní kondice vegetace, protože hodnoty vegetačních indexů jsou v tomto období standardně o něco nižší. Výhodou prezentované metody je fakt, že se jedná spíše o jednodušší postup (méně náročný na doprovodné databáze a výpočtové procedury) ve srovnání např. s aplikací tzv. data-miningu v případě nástroje VegDRI, který je využíván pro území USA.

Závěr

Využití vegetačního indexu EVI2 pro hodnocení odezvy stavu vegetace na podmínky v krajině přináší velmi užitečné informace. Na základě provedených srovnání je zřejmé, že tímto způsobem mohou být mapovány projevy sucha v rámci vegetace v podmínkách střední Evropy, nicméně je velmi důležitá interpretace pozorovaných hodnot zejména v souvislosti s celkovým průběhem dané vegetační sezóny, konkrétní částí roku a možnému výskytu jiných druhů stresu. Mezi přednosti tohoto přístupu patří nezávislost metody na pozemním pozorování a možnost efektivně hodnotit podmínky v rámci velkých územních celků (regiony, státy až kontinenty). Mezi známé aplikace testované metody patří využití dynamiky vegetačních indexů pro odhad výnosů zemědělských plodin a velký potenciál rozvoje do

budoucná lze očekávat s možností využití satelitních nástrojů pro sledování zemského povrchu ve větším prostorovém rozlišení (např. desítky metrů v případě nových družic Sentinel v rámci programu Copernicus). Další rozvoj je možné očekávat v souvislosti s pokrokem v oblasti identifikace plodin na jednotlivých pozemcích, ať již prostřednictvím vyvinutých algoritmů nebo na základě zemědělci vedených evidencí.

Literatura

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.
- Brázdil, R., Trnka, M., Řezníčková, L., Balek, J., Bartošová, L., Bičík, I., Cudlín, P., Čermák, P., Dobrovolný, P., Dubrovský, M., Farda, A., Hanel, M., Hladík, J., Hlavinka, P., Janský, B., Ježík, P., Klem, K., Kocum, J., Kolář, T., Kotyza, O., Kyncl, T., Krkošla, Lorencová, E., Macků, J., Mikšovský, J., Možný, M., Muzikář, R., Novotný, I., Pártl, A., Pařil, P., Pokorný, R., Ryblíček, M., Semerádová, D., Soukalová, E., Stachoň, Z., Štěpánek, P., Štych, P., Treml, P., Urban, O., Vačkář, D., Valášek, H., Vizina, A., Vlnas, R., Vopravil, J., Zahradníček, P., Žalud, Z., 2015. Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno.
- Brown, J. F., B. D. Wardlaw, T. Tadesse, M. J. Hayes, Reed, B.C., 2008. The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation, *GISci. Remote Sens.*, 45, 16–46.
- Heim, R.R., 2002. A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States. *Bull Am Meteorol Soc* 83, 1149–1165.
- Hlavinka, P., Trnka, M., Semerádová, D., Dubrovský, M., Žalud, Z., Možný, M., 2009. Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. *Agric. For. Meteorol.* 149, 431–442.
- Hlavinka, P., Trnka, M., Balek, J., Semerádová, D., Hayes, M., Svoboda, M., Eitzinger, J., Možný, M., Fischer, M., Hunt, E., Žalud, Z., 2011. Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates. *Agriculture and Water Management* 98: 1249–1261.
- Mkhabela, M.S., Bullock, P., Raj, S., Wang, S., Yang, Y., 2011. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. *Agric. For. Meteorol.* 151, 385–393.
- Moriondo, M., Maselli, F., Bindi, M., 2007. A simple model of regional wheat yield based on NDVI data. *Eur. J. Agron.* 26, 266–274.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl díky podpoře projektu NAZV č. QJ1610072 a podpoře MŠMT v rámci programu NPU I, číslo projektu LO1415.

Kontakt:

Ing. Petr Hlavinka, Ph.D.

Mendelova univerzita v Brně

a

Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

Zemědělská 1/1665, 613 00 Brno

+420 736 645 793, phlavinka@centrum.cz

Zhodnocení vlivu ročníku na zaplevelení monokultury kukuřice seté

Evaluation of impact of year on weed infestation in maize monoculture

Světlana Chovancová¹, František Illek², Jan Winkler¹

¹*Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav biologie rostlin*

²*Agroservis I. zemědělská a.s., Višňové*

Abstrakt

Cílem práce je posouzení vlivu ročníku na intenzitu zaplevelení a druhové složení plevelů v monokultuře kukuřice. Pokusný pozemek se nachází v katastrálním území obce Višňové. V polním pokusu byly použity tři varianty technologie zpracování půdy: konvenční (CT) zpracování půdy, kypření (MT) a přímé setí (NT). V průběhu čtyř hodnocených ročníků bylo celkem identifikováno 33 druhů plevelů. Výsledky analýzy RDA, která hodnotila vliv ročníku na výskyt plevelů, nám ukazují, že ročník výrazně přispívá ke změně intenzity zaplevelení a hlavně druhového spektra plevelů v kukuřici. Vliv ročníku je dán především odlišným průběhem meteorologických charakteristik. Kromě vlivu počasí se projevuje i vliv monokultury kukuřice, který je patrný především úbytkem typických polních plevelů a přibýváním těch netypických.

Klíčová slova: plevele, monokultura kukuřice, zpracování půdy

Abstract

The aim of this study is to assess the impact of the year on the weed infestation intensity and weed species composition in maize monoculture. The experimental field is located in cadastral area of village Visnove. Three variants of soil tillage were applied: conventional (CT), soil loosening (MT) and no-tillage (ST). It was found 33 weed species within the monitoring period. Results of RDA analysis, which evaluated the impact of the year on weed occurrence, show that the year significantly contribute to a change of intensity and weed composition in maize. The effect of year is primarily influenced according to different condition of meteorological characteristics. Besides the influence of the weather, the impact of maize monoculture is reflected. This is obvious in decreasing occurrence of typical field weeds and increasing number of untypical species.

Keywords: weeds, maize monoculture, soil tillage

Úvod

Kukuřice je plodinou, v níž bývá plevelné spektrum poměrně úzké (Jursík a Soukup, 2008). Typickými plevelely v České republice jsou *Chenopodium*, *Amaranthus*, *Persicaria* a *Echinochloa crus-galli*. Na některých lokalitách se může vyskytovat *Setaria* a další pozdně jarní plevele jako například *Datura stramonium*. Vzhledem k tomu, že *Datura stramonium* klíčí při vyšších teplotách, uniká velmi často herbicidnímu zásahu a je schopen za velmi krátkou dobu vytvořit značnou biomasu. Následně vlivem své jedovatosti znehodnocuje silážní kukuřici. K typickým plevelům vyskytujícím se v kukuřici patří i *Fallopia convolvulus*, a to zejména v důsledku její vysoké odolnosti proti řadě půdních i listových herbicidů. Poměrně snadno se v kukuřici prosazují také vytrvalé druhy, jako jsou *Elytrigia repens*, *Cirsium arvense* a *Artemisia vulgaris*. Výše uvedené plevelné spektrum je charakteristické pro typické kukuřičné oblasti České republiky. Výskyt těchto plevelných druhů v kukuřici potvrzují i další autoři (Hanf, 1982), (Kohaut, 2001), (Dvořák a Smutný, 2003). Ze skupiny přezimujících plevelů jsou to především kosmopolitní druhy (*Tripleurospermum inodorum*, *Capsella bursa-pastoris* a *Thlaspi arvense*). Jejich výskyt je však velmi ovlivněn průběhem počasí v daném roce. Je celá řada autorů, kteří se zabývali intenzitou zaplevelení kukuřice a jejím následným vlivem na výnos (Cavero et al. 1999), (Harrison et al. 2001), (Strahan et al. 2000), (Yong et al. 1984). Výsledky těchto prací ukázaly, že při rozdílné intenzitě zaplevelení různými plevelnými druhy může docházet k redukci výnosu o 12-37 %.

V předkládaném příspěvku bude pozornost věnována rozdílům v intenzitě zaplevelení a druhovém složení plevelů mezi sledovanými čtyřmi ročníky.

Materiál a metody

Polní poloprovozní pokus zaměřený na sledování vlivu různého zpracování půdy na pěstování kukuřice na zrno je realizován na pozemcích zemědělského podniku Agroservis 1. zemědělská, a. s. ve Višňové. Pokusný pozemek leží v nadmořské výšce 230 m n. m. Průměrná roční teplota zde dosahuje 8,5°C a roční úhrn srážek je 470 mm. Nachází se v katastru obce Višňové, Jižní Morava, Česká republika.

Pokus je koncipován jako dlouhodobý a kukuřice je zde pěstována opakovaně na stejném pozemku od roku 2001. Pokusný pozemek byl rozdělen na tři části, kde jsou uplatňovány tři různé technologické postupy zpracování půdy. Plocha jedné části činí 150 m x 100 m. Způsob zpracování půdy je agrotechnický zásah, který se po dobu trvání pokusu nemění. Varianty technologie zpracování půdy jsou:

- CT: orba – konvenční zpracování půdy do hloubky 0,22 m, na jaře je prováděno smykování, před setím zpracování půdy kypřičem, setí s přihnojením pod patu a válení.
- MT: kypření – zpracování půdy talířovým náradím na hloubku 0,10 – 0,12 m, před setím zpracování půdy kypřičem, setí s přihnojením pod patu a válení.
- NT: přímé setí - bez zpracování půdy, setí s přihnojením pod patu.

Zaplevelení bylo hodnoceno pomocí početní metody. Na každé variantě technologie zpracování půdy byly plevele kvantifikovány na 1 m² ve 30 opakováních. Hodnocení proběhlo v letech 2012, 2013, 2014 a 2015 vždy v měsíci srpnu. Názvy nalezených druhů byly použity podle Kubáta et al. (2002).

Získané údaje byly zpracovány mnohorozměrnou analýzou ekologických dat. Výběr optimální analýzy se řídil délkou gradientu (*Lengths of Gradient*), zjištěného segmentovou analýzou DCA (*Detrended Correspondence Analysis*). Pro další zpracování byla použita redundanční analýza (*Redundancy analysis*, RDA), která je založena na modelu lineární odpovědi (*Linear Response*). Při testování průkaznosti pomocí testu Monte-Carlo bylo propočítáno 499 permutací. Data byla zpracována pomocí počítačového programu Canoco 4.0. (Ter Braak, 1998). Pomocí těchto analýz byl zjišťován vliv sledovaných ročníků na výskyt plevelných druhů.

Výsledky

V průběhu sledování bylo celkem identifikováno 33 druhů plevelů. Průměrné počty plevelů ve sledovaných letech jsou uvedeny v Tab. I.

Tab. I. Průměrný počet jedinců plevelů ve sledovaných letech

Druhy plevelů	Rok sledování (ks.m ²)			
	2012	2013	2014	2015
<i>Amaranthus</i> spp.	0.08	0.36	0.12	0.33
<i>Anagallis arvensis</i> L.	0.02	0.03		
<i>Atriplex patula</i> L.				0.07
<i>Atriplex sagittata</i> BORKH.				0.08
<i>Bromus sterilis</i> L.				0.08
<i>Cirsium arvense</i> (L.) SCOP.	0.81	1.66	0.48	2.23
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	0.31	1.53	1.50	3.84
<i>Conyza canadensis</i> (L.) CRONQUIST	0.01			
<i>Datura stramonium</i> L.		0.41		0.17
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.B.	3.68	1.77	0.87	0.79
<i>Elytrigia repens</i> (L.) NEVSKI				0.04
<i>Equisetum arvense</i> L.				0.02

Druhy plevelů	Rok sledování (ks.m ⁻²)			
	2012	2013	2014	2015
<i>Euphorbia cyparissias</i> L.				0.21
<i>Euphorbia helioscopia</i> L.			0.07	
<i>Fallopia convolvulus</i> (L.) Á. LÖVE	0.32		0.27	0.17
<i>Chenopodium album</i> L.	5.27	0.11	1.00	0.29
<i>Chenopodium hybridum</i> L.			0.26	0.02
<i>Lamium amplexicaule</i> L.			0.09	
<i>Lathyrus tuberosus</i> L.	0.01			
<i>Linaria vulgaris</i> MILL.				0.02
<i>Mercurialis annua</i> L.		0.58	0.27	0.29
<i>Persicaria lapathifolia</i> (L.) DELARBRE	0.02			
<i>Polygonum aviculare</i> L.	0.09	0.30		0.21
<i>Rubus</i> spp.		0.24		
<i>Sambucus nigra</i> L.			0.02	0.03
<i>Setaria pumila</i> (POIRET) R. et SCH.		0.33	0.33	0.23
<i>Sonchus oleraceus</i> L.		0.10		
<i>Stellaria media</i> (L.) VILL.			0.16	0.08
<i>Taraxacum</i> sect. <i>Ruderalia</i>			0.02	
<i>Thlaspi arvense</i> L.		0.07	0.19	
<i>Urtica dioica</i> L.	0.06	1.20	0.46	0.12
<i>Veronica polita</i> FRIES	0.01			
<i>Viola arvensis</i> MURRAY	0.01	0.06	0.13	
Průměrný počet druhů	1.94	2.24	2.74	2.43
Průměrný počet jedinců	10.70	8.74	6.22	9.33

Ke statistickému zpracování výsledků zaplevelení kukuřice byla nejprve použita analýza DCA. Ta vypočetla délku gradientu (*Lengths of Gradient*), která činila 3,247. Na základě tohoto výpočtu byla k dalšímu zpracování zvolena redundanční analýza (*Redundancy analysis*, RDA). Analýza RDA vymezuje prostorové uspořádání jednotlivých druhů plevelů a sledovaných let na základě dat, která byla o frekvenci výskytu plevelných druhů zjištěna. Výsledky jsou následně graficky vyjádřeny pomocí ordinačního diagramu. Druhy plevelů jsou zobrazeny pomocí vektorů (šipek), u kterých je důležitý směr. Sledované ročníky jsou zobrazeny body odlišného tvaru a barvy. Pokud vektor druhu směřuje k bodu určitého ročníku, znamená to, že se v tomto roce vyskytoval častěji než v ostatních ročnicích.

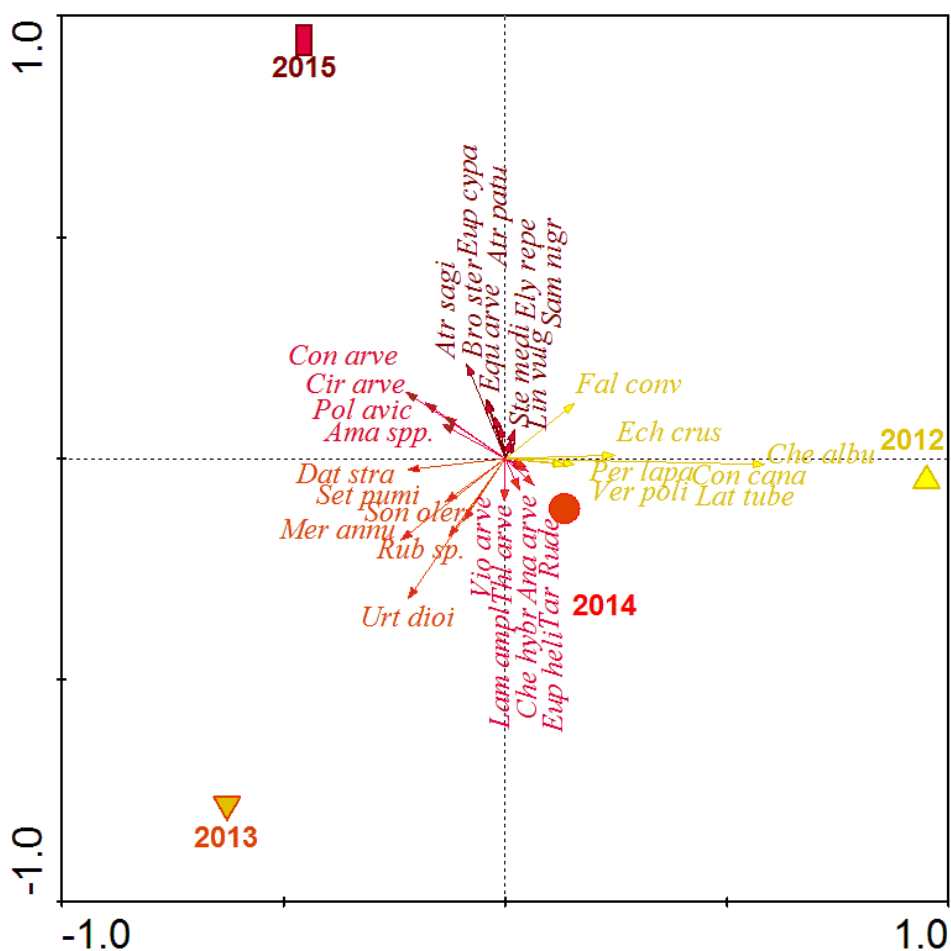
Výsledky analýzy RDA, která hodnotila rozdíly mezi ročníky, jsou signifikantní na hladině významnosti $\alpha = 0,002$, pro všechny kanonické osy (Obr. 1). Na základě analýzy RDA je možné nalezené druhy plevelů rozdělit do 5 skupin.

První skupina je tvořena druhy, které byly nalezeny především v prvním roce sledování (2012): *Conyza canadensis*, *Echinochloa crus-galli*, *Fallopia convolvulus*, *Chenopodium*

album, *Lathyrus tuberosus*, *Persicaria lapathifolia*, *Veronica polita*. V druhé skupině jsou zastoupeny druhy, které byly nalezeny především v roce 2013: *Datura stramonium*, *Mercurialis annua*, *Setaria pumila*, *Sonchus oleraceus*, *Rubus* spp., *Urtica dioica*.

Třetí skupinu druhů plevelů bylo možné pozorovat především v roce 2014: *Anagallis arvensis*, *Euphorbia helioscopia*, *Chenopodium hybridum*, *Lamium amplexicaule*, *Taraxacum* sect. *Ruderalia*, *Thlaspi arvense*, *Viola arvensis*. Čtvrtá skupina druhů plevelů je reprezentována druhy, které se vyskytovaly především v roce 2015: *Amaranthus* spp., *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis*, *Polygonum aviculare*. Poslední skupina plevelů je tvořena druhy, které byly ovlivněny více jinými faktory prostředí: *Atriplex sagittata*, *Atriplex patula*, *Bromus sterilis*, *Elytrigia repens*, *Equisetum arvense*, *Euphorbia cyparissias*, *Linaria vulgaris*, *Sambucus nigra*, *Stellaria media*.

Obr. 1 Ordinační diagram vyjadřující vztah sledovaných ročníků a druhů plevelů v monokultuře kukuřice (Trace = 0.169, F-ratio = 12.007, P-value = 0.002)



Vysvětlivky: 2012, 2013, 2014, 2015 – ročníky, *Ama spp.* – *Amaranthus spp.*, *Ana arve* – *Anagallis arvensis*, *Atr sagi* – *Atriplex sagittata*, *Atr patu* – *Atriplex patula*, *Bro ster* – *Bromus sterilis*, *Cir arve* – *Cirsium arvense*, *Con arve* – *Convolvulus arvensis*, *Con cana* – *Conyza canadensis*, *Dat stram* – *Datura stramonium*, *Ech crus* – *Echinochloa crus-galli*, *Ely repe* – *Elytrigia repens*, *Equ arve* – *Equisetum arvense*, *Eup cypa* – *Euphorbia cyparissias*, *Eup heli* – *Euphorbia helioscopia*, *Fal conv* – *Fallopia convolvulus*, *Che albu* – *Chenopodium album*, *Che hybr* – *Chenopodium hybridum*, *Lam ampl* – *Lamium amplexicaule*, *Lat tube* – *Lathyrus tuberosus*, *Lin vulg* – *Linaria vulgaris*, *Mer annu* – *Mercurialis annua*, *Per lapa* – *Persicaria lapathifolia*, *Pol avic* – *Polygonum aviculare*, *Rub sp.* – *Rubus spp.*, *Sam nigr* – *Sambucus nigra*, *Set pumi* – *Setaria pumila*, *Son oler* – *Sonchus oleraceus*, *Ste medi* – *Stellaria media*, *Tar Rude* – *Taraxacum sect. Ruderalia*, *Thl arve* – *Thlaspi arvense*, *Urt dioi* – *Urtica dioica*, *Ver poli* – *Veronica polita*, *Vio arve* – *Viola arvensis*.

Diskuze

Vliv ročníku je dán především odlišným průběhem meteorologických charakteristik. Mezi nejzásadnější z nich patří srážky a teplota vzduchu, ty jsou také dlouhodobě měřeny a sledovány.

Dešťové srážky a teplota vzduchu jsou jedny z nejvýznamnějších faktorů ovlivňující zaplevelení a zásadně ovlivňují přežití, růst a rozmnožování rostlin. Klimatické podmínky jsou dány nadmořskou výškou a zeměpisnou polohou stanoviště. K hlavním klimatickým podmínkám patří sluneční záření (tepelné a světelné), atmosférické srážky, vítr aj. (Hron a Vodák, 1959).

Mnohé plevely se vyznačují vysokou plastičností k uvedeným faktorům a vyskytují se téměř všude, např. merlík bílý (*Chenopodium album*) nebo kokoška pastuší tobolka (*Capsella bursa-pastoris*), (Dvořák, 1987).

Z výsledků je patné, že rozdíly v zaplevelení mezi sledovanými ročníky byly nejen v intenzitě zaplevelení, zároveň ročník výrazně ovlivnil i druhové složení plevelů v monokultuře kukuřice.

V roce 2012 byly dominantně zastoupené druhy ze skupiny pozdně jarních plevelů (*Echinochloa crus-galli*, *Chenopodium album*, *Persicaria lapathifolia*). Rok 2013 byl příznivější pro výskyt druhů, které nejsou typickými polními plevely (*Mercurialis annua*, *Rubus spp.*, *Urtica dioica*). Následující rok 2014 podpořil výskyt plevelů ze skupiny přezimujících druhů (*Lamium amplexicaule*, *Thlaspi arvense*, *Viola arvensis*). V posledním

roce byl pozorován vyšší výskyt především vytrvalých druhů (*Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis*).

Kromě vlivu počasí se zde projevuje i vliv monokultury kukuřice, který je patrný především v úbytku typických polních plevelů (*Echinochloa crus-galli*, *Chenopodium album*) a přibývání netypických druhů plevelů (*Atriplex sagittata*, *Bromus sterilis*, *Elytrigia repens*, *Euphorbia cyparissias*, *Linaria vulgaris*, *Sambucus nigra*).

Závěr

Výsledky nám ukazují, že ročník výrazně přispívá ke změně intenzity zaplevelení a hlavně druhového spektra plevelů v kukuřici. Z pohledu zaplevelení byly roky 2012 a 2014 příznivé pro výskyt druhu *Chenopodium album*. Naopak roky 2013 a 2015 byly vhodnější pro druhy *Amaranthus* spp., *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis*, *Polygonum aviculare*.

Průběh teploty vzduchu, množství a rozložení srážek ovlivňuje nejen dobu a intenzitu klíčení a vzházení plevelů, ale ovlivňuje také působení herbicidů. To vše se projeví ve změnách zaplevelení. Ovšem k formulaci přesnějších závěrů by bylo potřeba dlouhodobějšího pozorování. Z tohoto důvodu jsou nepostradatelné dlouhodobé polní pokusy, které jsou pravidelně vyhodnocovány. Dlouhodobá ucelená řada nám umožní hledat případné souvislosti mezi zaplevelením a průběhem meteorologických charakteristik.

Literatura

CAVERO, J., ZARAGOZA, C., SUSO, M.L., PARDO, A., 1999: Competition between maize and *Datura stramonium* in an irrigated field under semi-arid conditions. *Weed Research* 39, 225-240.

DVOŘÁK, J., 1987: *Zemědělské soustavy: Vybrané kapitoly - polní plevelé*. Určeno pro agronomické fakulty, Brno, 59.

DVOŘÁK, J., SMUTNÝ, V., 2003: *Herbologie - Integrovaná ochrana proti plevelům*. Skriptum MZLU v Brně, 186.

HANF, M., 1982: *Ackerunkräuter Europas mit ihren Keimlingen und Samen*. BASF Aktiengesellschaft, Ludwigshafen, Klambt-Druck GmbH, Speyer, 496.

HARRISON, S.K., REGNIER, E.E., SCHMOLL, J.T., WEBB, J.E., 2001: Competition and fecundity of giant ragweed in corn. *Weed Science* 49, 224-229.

HRON, F., VODÁK, A., 1959: *Polní plevelé a jejich hubení*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 380.

- JURSÍK, M., SOUKUP, J., 2008: Možnosti herbicidní regulace zaplevelení v kukuřici. Agromanuál 4, 10-13.
- KOHAUT, P., 2001: Buriny Slovenska určovanie podľa klíčnych listov. Naše pole, Nitra, 99.
- KUBÁT, K., HROUDA, L., CHRTEK, J. jun., KAPLAN, Z., KIRSCHNER, J., ŠTĚPÁNEK, J., 2002: Klíč ke květeně České republiky. Academia. Praha. 928.
- STRAHAN, R.E., GRIFFIN, J.L., REYNOLDS, D.B., MILLER, D.K., 2000: Interference between *Rottboellia cochinchinensis* and *Zea mays*. Weed Science 48, 205-211.
- TER BRAAK and SMILAUER, 1998: CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination, Microcomputer Power, New York.
- YONG, F.L., WYSE, D.L., JONES, R.J., 1984: Quackgrass (*Agropyron repens*) interference on corn (*Zea mays*). Weed Science 32, 226-234.

Poděkování

Práce vznikla jako výstup projektu Interní grantové agentury AF MENDELU číslo: IP 12/2014 „Vliv odlišných technologií zpracování půdy na plevely v monokultuře kukuřice“.

Kontakt:

Ing. Světlana Chovancová

Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav biologie rostlin

Zemědělská 1/1665, 613 00 Brno

775 073 220, chovancova.svetlana@seznam.cz

Mapování sucha a odhad výnosů polních plodin pomocí indexu ESI

Use of ESI index for drought monitoring and crop yield forecasting

František Jurečka^{1,2}, Martha C. Anderson³, Petr Hlavinka^{1,2}, Christopher R. Hain⁴, Wayne Dulaney³, Feng Gao³, David M. Johnson⁵, Jason Otkin⁶, Zdenek Zalud^{1,2}, Miroslav Trnka^{1,2}

¹*Mendelova univerzita v Brně, Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Zemědělská 1665/1,
613 00 Brno*

²*Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno*

³*Hydrology and Remote Sensing Laboratory, USDA, Agricultural Research Service, 10300
Baltimore Avenue, Beltsville, Maryland 20705*

⁴*Earth System Science Interdisciplinary Center, University of Maryland, College
Park, Maryland 20740*

⁵*National Agricultural Statistics Service, USDA, 1400 Independence Ave., SW
Washington, DC 20250*

⁶*Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, Space Science and Engineering
Center, University of Wisconsin-Madison, 1225 West Dayton St.
Madison, WI 53706*

Abstrakt

Dálkový průzkum Země (DPZ) se již řadu let se používá k různým analýzám, které zjišťují limitující faktory pro zemědělskou produkci. V souvislosti s klimatickými podmínkami posledních let se do oblasti zájmu dostává zejména monitoring sucha, zjišťování stavu vegetace na zemědělských pozemcích a odhad výnosů polních plodin. Metody dálkového průzkumu využívají záření o různé vlnové délce, které při pozorování jednotlivých složek zemského povrchu a vegetace vykazuje různé chování. Dálkový průzkum využívá ke zjišťování stavu vegetace, zemědělské krajiny a odhadů výnosu celou řadu indexů. V této studii byl k monitoringu sucha a odhadu výnosů použit index ESI (Evaporative Stress Index) používaný modelem ALEXI (Atmosphere-Land Exchange Inverse).

Klíčová slova: Dálkový průzkum Země, sucho, výnosy, ALEXI, polní plodiny

Abstract

Remote sensing is already for many years used for various analysis providing limited factors for agriculture production. Drought monitoring, vegetation conditions in the fields and crop

yield forecasting in context of climatic conditions of recent years seem to be crucial. Methods of remote sensing use various wavebands behaving differently under different surfaces and vegetation covers. Remote sensing use many indices for study of vegetation conditions and agriculture landscape and for forecasting yield. In this case, index ESI (Evaporative Stress Index) was used for drought monitoring and yield forecasting. Index ESI is used by ALEXI model (Atmosphere-Land Exchange Inverse model).

Keywords: Remote sensing, drought, yield, ALEXI, crops

Úvod

Pokud srovnáme sucho s jinými přírodními riziky, se suchem často souvisí vyšší škody z důvodů vážných ekonomických, environmentálních a sociálních důsledků, které jsou často důsledkem jeho dlouhého trvání a rozsahu (Wilhite, 1997). Výskyt suchých období byl důvodem, proč došlo ke zlepšení nástrojů monitoringu sucha, které poskytují přesné a aktuální informace a slouží k efektivnímu plánování, včasnému reagování a zmírnění dopadů sucha (WGA, 2004). Samotný monitoring sucha je poměrně komplikovaný proces, protože projevuje obrovskou variabilitou v rámci prostoru i času. S charakteru vyskytujícího se sucha vyplývá, že k tomu, abychom mohli sucho charakterizovat a monitorovat, je zapotřebí více metod. S tím souvisí neustálé zlepšování a vývoj v oblasti metod a produktů, které se monitoringem sucha zabývají, jako např. vyšší prostorové rozlišení a aktuální dodání potřebných informací v různých formátech (mapy, statistické údaje atd.) (WGA, 2004). Pozorování založené na satelitních snímcích je jedním z nástrojů, jak zjišťovat anomálie související se stavem vegetace (tj. viditelné snížení vitality vegetace). Data z dálkového průzkumu jsou užitečným nástrojem pro monitorování stavu vegetace, je však často těžké rozlišit vegetační stres od dalších faktorů, aniž bychom měli k dispozici dodatečné informace. Z toho vyplývá, že spojení klimatických dat z pozemních měření a satelitních dat s větším prostorovým rozlišením může být vhodným řešením pro lepší pozorování rozšíření, intenzity a lokální variace vyskytujícího se sucha v souvislosti se zhoršujícím se stavem vegetace (Brown et al., 2008).

Při využívání dat z dálkového průzkumu je nutné zmínit, že důležitou roli hraje odraz slunečního záření. Ten se chová jinak v případě zemského povrchu bez vegetace a s vegetací. Odraz ze zemského povrchu bez vegetačního pokryvu závisí na mnoha vzájemně propojených faktorech včetně vlhkosti půdy, zrnitosti půdy, přítomnosti oxidů železa či organické hmoty. Stejná část půdy bez vegetačního pokryvu může vykazovat značně rozdílné tóny barev v průběhu různých dní, což závisí zejména na vlhkosti půdy. Pokud narůstá plocha

vegetačních orgánů (např. listů) během vegetační sezóny, je odrazivost daného území spíše výsledkem vegetačních vlastností než typu půdy (Lillesand et al., 2008).

Podle toho, v jakém intervalu vlnových délek se dané záření nachází, lze toto záření využít k mapování různých částí (respektive složek) zemského povrchu. V oblasti dálkového průzkumu se používá záření v tzv. optické části spektra zahrnující viditelné a blízké infračervené záření. Například blízké infračervené záření se často používá ke zjišťování stavu vegetace v zemědělství a lesnictví (Lillesand et al., 2008). Dále se využívá záření v termální části spektra umožňující mapovat povrchovou teplotu vegetačního krytu či teplotu svrchní vrstvy půdy, které významně korelují s obsahem vody v půdě a tedy s výskytem sucha (Tang et al., 2014). Charakteristiky vlhkosti vegetace nebo půdy je možné monitorovat také v oblasti mikrovlnného záření s využitím aktivních metod jako je RADAR (Wang et al., 2009) či pasivních metod pomocí tzv. mikrovlnných radiometrů (Hirschi et al., 2014).

Index, kterým se tento článek zabývá, je index ESI (Evaporative Stress Index), který je využíván modelem ALEXI (Atmosphere-land Exchange Inverse model) vyvinutým v United States Department of Agriculture (USDA) v Beltsvillu. V předchozích studiích provedenými USDA prokázal index ESI významnou korelaci s výnosy zemědělských plodin. Tento index popisuje odchylky v poměru aktuální a referenční evapotranspirace (f_{RET}) za pomoci algoritmu, který vychází z teploty zemského povrchu, tzv. landsurface temperature – LST (Anderson et al., 2015). Odhad evapotranspirace založený na LST má výhodu v tom, že je ve srovnání s jednoduššími technikami velmi citlivý na změny vlhkosti na povrchu půdy i v kořenové vrstvě rostlin (Anderson et al., 2015). Anderson a kol. (2015) použili index ESI při hodnocení sucha v zemědělství v Brazílii, kdy použili výnosy jednotlivých plodin na státní i regionální úrovni. Přednost indexu ESI oproti např. Leaf Area Index (LAI) byla v jeho reakci na rychle se měnící vlhkostní poměry a to zejména na severovýchodě a jihu Brazílie (Anderson et al., 2015).

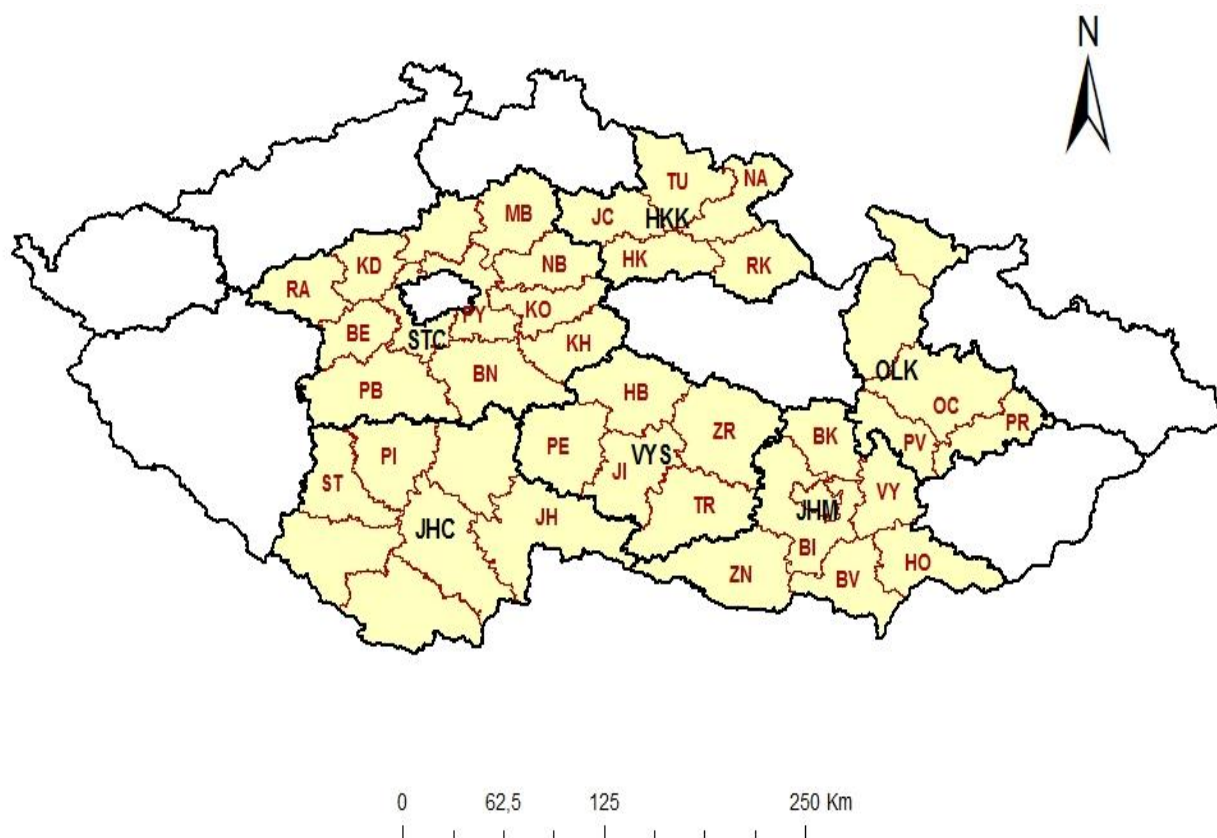
Materiál a metody

Sledované kraje a zdroje dat

Nejprve byly pomocí indexu ESI hodnoceny podmínky ve třech krajích ČR. Jednalo se o Jihomoravský a Olomoucký kraj a kraj Vysočinu. K dispozici byly rovněž výnosy pro pšenici ozimou, ječmen jarní a řepku ozimou za období 2002 až 2014. V další studii byly zkoumány již jen dvě plodiny – pšenice ozimá a ječmen jarní. Jedná se o dvě hlavní obilniny pěstované v ČR. Pro pšenici ozimou je typická doba výsevu pozdě v září a ječmen jarní se seje brzy na jaře obvykle v druhé polovině března. Tyto dvě obilniny byly vybrány z hlediska srovnání

citlivosti indexu ESI vůči jarní a ozimé plodině. Ozimé plodiny jsou typicky méně citlivé vůči jarnímu a letnímu suchu, protože v tomto období už mají dobře vyvinutý kořenový systém (Hlavinka et al., 2009).

I v tomto případě byly použity výnosy za období 2002–2014, avšak zkoumaná oblast byla rozšířena na 6 krajů ČR, jak je patrné z Tabulky č. 1 a z následné mapy (Obrázek č. 1).



Obrázek č. 1: Mapa s okresy a kraji ČR, které byly zahrnuty do korelační analýzy pomocí indexu ESI za období 2002–2014

Tabulka č. 1: Seznam okresů a krajů ČR, které byly zahrnuty do korelační analýzy pomocí indexu ESI za období 2002–2014

Zkratka okresu	Okres	Kraj
BN	Benešov	Středočeský kraj (STČ)
BE	Beroun	
KD	Kladno	
KO	Kolín	
KH	Kutná Hora	
MB	Mladá Boleslav	
NB	Nymburk	

Zkratka okresu	Okres	Kraj
PY	Praha-východ	
PB	Příbram	
RA	Rakovník	
JH	Jindřichův Hradec	Jihočeský kraj (JHČ)
PI	Písek	
ST	Strakonice	
HK	Hradec Králové	Královéhradecký kraj (HKK)
JC	Jičín	
NA	Náchod	
RK	Rychnov nad Kněžnou	
TU	Trutnov	
BK	Blansko	Jihomoravský kraj (JHM)
BI	Brno-venkov	
BV	Břeclav	
HO	Hodonín	
VY	Vyškov	
ZN	Znojmo	
OC	Olomouc	Olomoucký kraj (OLK)
PV	Prostějov	
PR	Přerov	
HB	Havlíčkův Brod	Kraj Vysočina (VYS)
JI	Jihlava	
PE	Pelhřimov	
TR	Třebíč	
ZR	Žďár nad Sázavou	

Okresy v jednotlivých krajích byly vybrány z toho důvodu, že jsme pro ně měli k dispozici data ročních výnosů pšenice ozimé i ječmene jarního za dané období. Sledované okresy se nacházejí v těchto krajích: Středočeský (STČ), Jihočeský (JHČ), Královéhradecký (HKK), kraj Vysočina (VYS), Jihomoravský (JHM) a Olomoucký kraj (OLK).

Informace ohledně výnosů zkoumaných polních plodin byly ve většině případů získány od Státního zemědělského intervenčního fondu (SZIF). Ve zbývajících případech byla data poskytnuta Agrární komorou ČR. Výnosy byly uváděny jako poměr produkce (v tunách) vůči sklizené ploše (v hektarech).

Data výnosů jednotlivých plodin jsou výsledkem statistického dotazování reprezentativního vzorku zemědělců, kteří v daných krajích či okresech hospodaří. Tento způsob je sám o sobě někdy považován za zdroj nepřesností. V případě některých okresů může hrát důležitou roli i

rozdíl v umístění a velikosti dotazovaného pozemku. I když jsou hlášené výnosy v průměru o 30 až 50 % nižší než ty, které se vyskytují na experimentálních parcelách, poměrně dobře reprezentují existující rozdíly ve výnosech, které lze vysvětlit klimatickými faktory (Trnka et al., 2012).

Index ESI (Evaporative Stress Index)

Článek je výsledkem spolupráce vědců z Mendelovy univerzity v Brně, Ústavu výzkumu globální změny AV ČR (Czech Globe) a pracovištěm USDA (United States Department of Agriculture) v Beltsvillu.

Index ESI představuje standardizované odchylky v poměru aktuální a referenční evapotranspirace (f_{RET}) a je indikátorem zdravotního stavu vegetace (Anderson et al., 2015). Index byl porovnán s výnosovými daty z 32 okresů ČR, které reprezentují klimatické podmínky v 6 krajích ČR. Index zvýrazňuje oblasti, kde se oproti normálu vyskytují nižší nebo vyšší hodnoty evapotranspirace. Data ohledně evapotranspirace jsou vygenerována z modelu ALEXI, který využívá rozdíly denních a nočních teplot z radiometru MODIS umístěného na družici Terra (Anderson et al., 2015). Různé indikátory poskytují informace o různých aspektech životního prostředí. ESI patří mezi indikátory, které jsou založeny na evapotranspiraci, a při plném zapojení vegetace sleduje odchylky ve využití vody rostlinami. To úzce souvisí se zdravotním stavem rostlin a jejich činností. Z nedávných experimentů je zřejmé, že při nástupu náhlého sucha reagoval index ESI na měnící se podmínky rychleji než indexy založené na srážkách nebo vegetační indexy. Z tohoto důvodu lze index ESI využít jako nástroj včasného varování při nástupu sucha (Otkin et al. 2013).

V této studii byly použity data indexu ESI pro období 2002 až 2014. Tyto data byly získány z globálního produktu v rozlišení 5 km (strana čtverce je 5 km). Snímky byly získány v týdenním kroku.

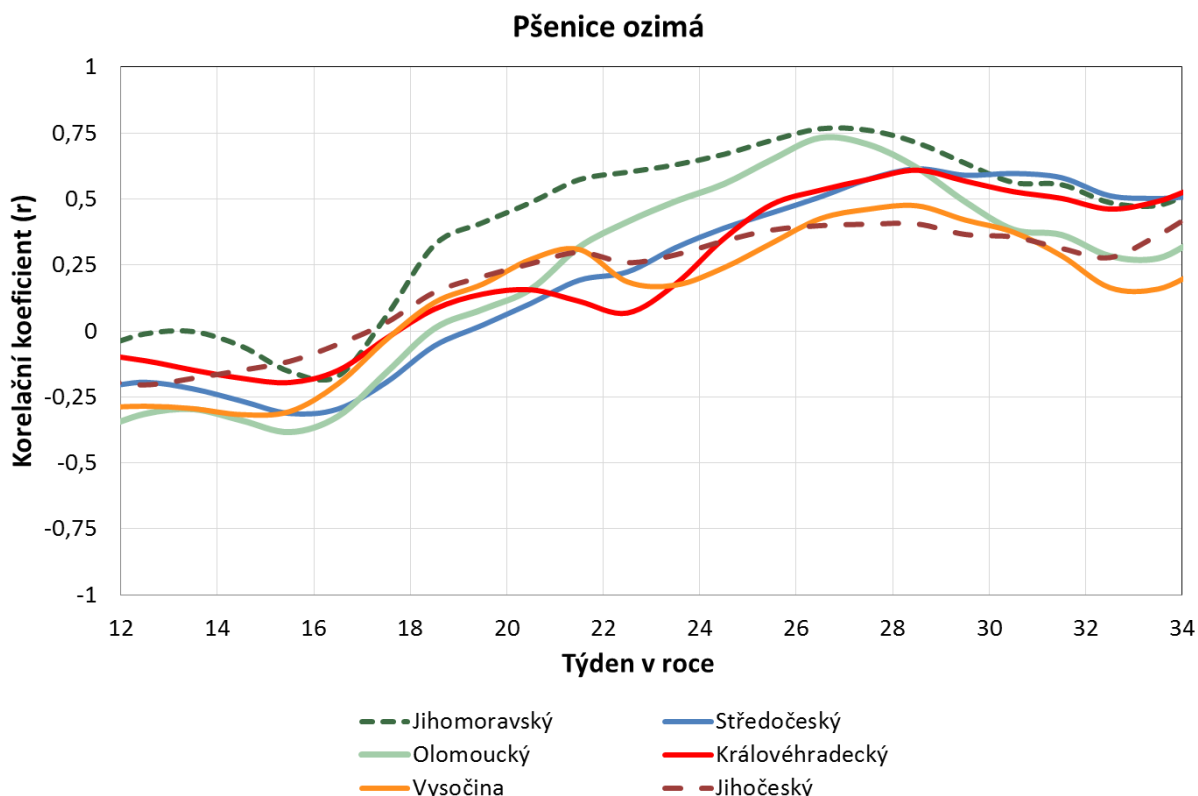
Korelace mezi indexem ESI a výnosy z 6 krajů ČR byla číselně stanovena použitím Pearsonova korelačního koeficientu (r). Koeficient se počítá mezi hodnotami výnosů a hodnotami indexu ESI (Anderson et al., 2015). Do výpočtu vstupují data výnosů za 13 let (období 2002–2014) pro 32 okresů ČR.

Pro lepší rozlišení míst, kde je intenzivnější zemědělská produkce, byly v rámci každého okresu použity jenom pixely, ve kterých je více než 50 % plochy tvořeno zemědělskou půdou. Toto rozlišení bylo stanoveno ze snímků z radiometru MODIS. K tomuto kroku došlo, aby výsledky nebyly skresleny pixely, kde většinu plochy zabírá les, lidská obydlí nebo přirozená

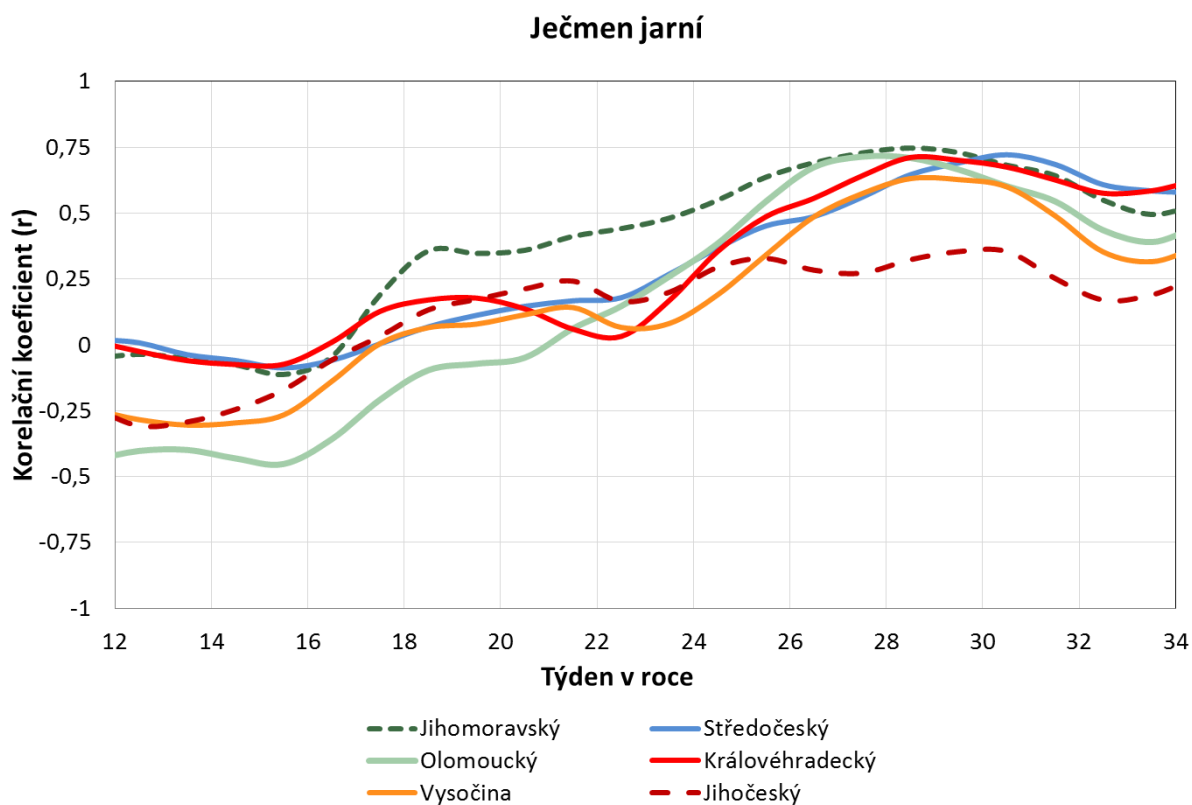
vegetace. Při nedávné studii v Brazílii bylo zjištěn, že pixely, kde převažoval les, čelili ohrožení suchem jinak než plochy se zemědělskými plodinami (Anderson et. al, 2015).

Výsledky

Korelace mezi ESI a výnosovými daty se liší v závislosti na klimatu daného kraje. Nejsilnější korelace mezi ESI a výnosy byly zjištěny v sušších okresech jižní Moravy a ve Středočeském kraji. Naopak nejslabší korelace byly ve vlhčích a výše položených oblastech. Nejnižší korelace byly zjištěny u Jihočeského kraje a kraje Vysočina. Průběh korelačního koeficientu je zřejmý z grafů na obrázcích č. 2 a 3. V grafech jsou znázorněny data za jednotlivé kraje. Na ose x jsou znázorněny týdny v roce a na ose y je znázorněn korelační koeficient. Vrchol korelace se pohybuje v rozmezí 0,4 až 0,8 u obou sledovaných plodin. Rozdíl mezi pšenicí ozimou a ječmenem jarním je v tom, že korelace je v rámci jednotlivých krajů více rozkolísaná u pšenice. Další rozdíl mezi plodinami je v tom, že vrchol korelace začíná dřív u pšenice ozimé (26 až 28 týden). V tomto případě se jedná o období od začátku do poloviny července. Vrchol korelace u ječmene jarního se objevuje kolem 28. až 30. týdne, což je polovina až konec července.



Obrázek č. 2: Korelace mezi indexem ESI a výnosy pšenice ozimé pro jednotlivé kraje ČR pro období 2002–2014



Obrázek č. 3: Korelace mezi indexem ESI a výnosy ječmene jarního pro jednotlivé kraje ČR pro období 2002–2014

Diskuze

V souvislosti s monitoringem sucha se často objevují názory, že využití pouze jednoho vegetačního indexu má svá omezení a slabé stránky. Hlavní nevýhodou použití jednoho indexu je, že nedokáže zachytit či zhodnotit všechny aspekty spojené se suchem. Z tohoto důvodu je pro monitoring sucha vhodnější použít několik indexů a jejich výsledky vzájemně porovnat. Existují i další možnosti, jak lze překonat omezení jednoho indexu, který zohledňuje jen některé parametry. Lze využít tzv. sdružený nebo také „hybridní“ index. Tento typ indexu je kombinací několika indexů a indikátorů. Příkladem tohoto „hybridního“ indexu je např. VegDRI - Vegetation Drought Response Index (Brown et al., 2008).

V budoucím výzkumu by tedy bylo vhodné porovnat index ESI s dalšími vegetačními indexy (např. NDVI a EVI) a zjistit, jakým způsobem reagují na výskyt sucha, popřípadě zda jsou schopny předpovídat či včas reagovat při nástupu náhlého sucha. Dalším úkolem bude zjistit, jak korelují s výnosy nejdůležitějších zemědělských plodin v ČR, popřípadě i v okolních zemích. Na základě výsledků bychom mohli dojít k závěru, který z těchto indexů je v podmínkách ČR vhodnější.

Závěr

Z výsledků vyplývá, že korelace se liší v případě okresů, které leží v nížinách od těch nacházejících se ve vyšších nadmořských výškách, kde jsou nižší teploty a vyšší úhrny srážek. Rozdílné výsledky ukazují odlišnou citlivost vůči suchu. V budoucích studiích by bylo vhodné rozšířit stávající počet krajů a také porovnat další zemědělské plodiny. Velmi důležitý krok je porovnat index ESI s dalšími vegetačními indexy či indikátory, které jsou schopny monitorovat suchu. Studie, kterou tým USDA provedl v Brazílii (Anderson et al. 2015) ukazuje na to, že chování určitého indikátoru sucha či kombinace několika indikátorů se může lišit v závislosti na geografické poloze sledovaného území. Důležitou roli také hraje to, o jakou zemědělskou plodinu se jedná. Poznatky tohoto typu mohou v budoucnu usnadnit další vývoj v oblasti monitoringu sucha pomocí skupiny několika indikátorů či využití tzv. sdružených nebo „hybridních“ indexů.

Literatura

- Anderson M. C., Zolin C., Hain C. R., Semmens K. A., Yilmaz M. T., Gao F. 2015. Comparison of satellite-derived LAI and precipitation anomalies over Brazil with a thermal infrared-based Evaporative Stress Index for 2003–2013. *Journal of Hydrology*, 526: 287–302.
- Brown J. F., Wardlow B. D., Tadesse T., Hayes M. J., Reed B. C. 2008: The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GIScience and Remote Sensing*, 45(1): 16–46.
- Hirschi M., Mueller B. Dorigo W., Seneviratne S. 2014: Using remotely sensed soil moisture for land-atmosphere coupling diagnostics: The role of surface vs. root-zone soil moisture variability, *Remote Sensing of Environment*, 154: 246–252.
- Hlavinka P., Trnka M., Semerádová D., Dubrovský M., Žalud Z., Možný M. 2009. Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. *Agriculture and Forest Meteorology*, 149(3–4): 431–442.
- Lillesand T., Kiefer R. W., Chipman J. 2008: Remote Sensing and Image Interpretation, 6th Edition, Wiley, 804 s.
- Otkin J. A., Anderson M. C., Hain C. R., Mladenova I. E., Basara J. B., Svoboda M. 2013. Examining rapid onset drought development using the thermal infrared based Evaporative Stress Index. *Journal of Hydrometeorology*, 14(4): 1057–1074.
- Tang H., Li Z. L. 2014: Quantitative remote sensing in thermal infrared: Theory and applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 281 s.

Trnka M., Brázdil R., Olesen J. E., Eitzinger J., Zahradníček P., Kocmánková E., Dobrovolný P., Štěpánek P., Možný M., Bartošová L., Hlavinka P., Semerádová D., Valášek H., Havlíček M., Horáková V., Fischer M., Žalud Z. 2012. Could the changes in regional crop yields be a pointer of climatic change? *Agriculture and Forest Meteorology*, 166–167: 62–71.

Wang L., Qu J. J. 2009: Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review. *Frontiers of Earth Science in China*, 3(2): 237–247.

WGA - Western Governors' Association 2004: Creating a Drought Early Warning System for the 21st Century: The National Integrated Drought Information System, Western Governors' Association, Denver, CO., 13 s.

Wilhite D. A. 1997: Responding to Drought: Common Threads from the Past, Vision for the Future, *Journal of the American Water Resources Association*, 33(5): 951–959.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl na Mendelově univerzitě v Brně v rámci projektu IGA AF MENDELU č. IP_14/2016 podpořeného z prostředků účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum, kterou poskytlo MŠMT v roce 2016. Příspěvek vznikl také za finanční podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci programu NPU I, číslo projektu LO1415.

Kontakt:

Ing. František Jurečka

Mendelova univerzita v Brně, Ústav agrosystémů a bioklimatologie

Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.

Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno

tel.: 545 133 090, e-mail: frantisek.jurecka@centrum.cz

Aplikácia vybraných hydrometeorologických indexov pre identifikáciu extrémnych vegetačných období

Application of selected hydrometeorological indexes for extreme growing seasons identifying.

Branislav Kandra¹, Danka Pavelková²

Výskumná hydrologická základňa, Ústav hydrológie SAV, Bratislava^{1,2}

Abstrakt

V príspevku je hodnotený dlhodobý časový rad vegetačných období z hľadiska identifikácie extrémov sucha, či vlhka vo vybranej lokalite Východoslovenskej nížiny. Identifikácia extrémnych vegetačných období a ich hodnotenie vychádzalo z údajov vybranej lokality Milhostov. Z tohto hľadiska boli skúmané aj jednotlivé mesiace vegetačných období (apríl – september). Spôsob hodnotenia vychádzal z porovnávania vybraných vzťahov. Za týmto účelom boli vybrané nasledovné charakteristiky, Vysotského index, Klimatický ukazovateľ sucha a Hydrotermický koeficient podľa Seljaninova.

Kľúčové slová: Východoslovenská nížina, indexy sucha, meteorologické extrémny

Abstract

In this paper was evaluated long-term time series of growing seasons from the aspect of dry and wet extremes in the selected locality of Eastern Slovakian lowland. Identification of extreme growing seasons and its evaluation was based on the data from a selected locality Milhostov. From this aspect the individual months of growing seasons (April - September) were analysed. Method of evaluation was based on a selected indexes comparison. For this purpose these indexes were selected, Vysotsky index, Climatic parameter of drought, Seljaninov hydrothermal coefficient.

Keywords: Eastern Slovakian Lowland, drought indexes, meteorological extremes

Úvod

Výskyt hydrometeorologických a klimatologických extrémov je výsledkom prirodzenej variability zemskej atmosféry. V nej sa pod vplyvom rôznych prírodných a antropogénnych faktorov odohráva rada zložitých a vzájomne sa ovplyvňujúcich fyzikálnych a chemických procesov, ktoré v interakcii s aktívnym povrchom môžu viesť k výskytu extrémnych stavov rôzneho plošného rozsahu a trvania (Gomboš, 1999; Tall a Gomboš 2004). Zatiaľ čo v

prírodných ekosystémoch sú takéto extrémny vrátane ich účinkov súčasťou ich prirodzeného vývoja, v kultúrnej krajine spôsobujú pri stále zložitejšej infraštruktúre ľudskej spoločnosti mnohokrát veľké škody rôzneho charakteru. V súvislosti so zmenami v atmosfére sa v posledných rokoch zvyšuje periodicita výskytu extrémnych hydrologických situácií. V prírodných podmienkach Slovenska sa predlžujú periódy bez dažďa a zvyšuje sa výskyt extrémnych zrážok extrémnej intenzity a výdatnosti. Hydrologické extrémny sa vo všeobecnosti prejavujú vo forme povodní a sucha. Zvýšený výskyt sucha je v našich zemepisných šírkach novým fenoménom. Patrí k sprievodným javom našej klímy a je javom, s ktorým je potrebné počítať ako v poľnohospodárskej praxi, tak aj vo vodnom hospodárstve a ďalších odvetviach. Výraznosť suchých období býva rôzna, od krátkodobých prísuškov až po niekoľkomesačné či dokonca ročné obdobia s nízkym úhrnom zrážok. Následky sucha môžu byť rovnako rozdielne v závislosti na ročnom období, v ktorom sa sucho vyskytne, na sledovanej plodine a jej vývojovom štádiu a pod. Je preto možné oprávnene predpokladať, že metódy hodnotenia výraznosti sucha budú rozdielne a ich výstupy sa môžu navzájom odlišovať (Wilhite a Glantz, 1987). Vo svete bola vypracovaná celá rada metód pre kvantifikáciu hydrometeorologických extrémov, pričom tie jednoduchšie berú do úvahy iba množstvo spadnutých zrážok (Changnon, 1987), zložitejšie potom uvažujú i s premenlivým vplyvom teploty na výpar a ďalšie bilančné metódy, ktoré priamo počítajú s evapotranspiráciou buď štandardného trávneho porastu alebo priamo danej plodiny. U nás často používané indexy, ako napr. Vysotského index, Klimatický ukazovateľ sucha, Hydrotermický koeficient podľa Seljaninova a pod. boli svojimi autormi pôvodne navrhnuté ako klimatické ukazovatele k rozlíšeniu jednotlivých oblastí a menej už k hodnoteniu priebehu počasia na jednom stanovišti, poprípade k vyjadreniu závažnosti sucha. Výskytu privalových dažďov a následnému rozvodneniu tokov je v našej klimatologickej a hydrologickej literatúre venovaná podstatne väčšia pozornosť ako opačnému extrémnu, ktorý neprichádza náhle, ale môže postihnúť rozsiahlejšie územie (Szolgay a kol., 1995).

Cieľom príspevku je hodnotiť dlhodobý časový rad vegetačných období a v nich identifikovať extrémny sucha, či vlhka vo vybranej lokalite Východoslovenskej nížiny. Spôsob hodnotenia vychádza z vybraných vzťahov, ktoré sú vzájomne porovnávané.

Materiál a metódy

Identifikácia extrémnych vegetačných období a ich hodnotenie z hľadiska dlhodobého vývoja hydrometeorologických prvkov vychádzalo z údajov vybranej lokality Milhostov. Lokalita leží v centrálnej časti Východoslovenskej nížiny (VSN), blízko mesta Trebišov (48° 40' s.z.š,

21° 44' v.z.d) v nadmorskej výške 101 m nad morom. Priemerný ročný úhrn zrážok na lokalite je 559 mm, úhrn zrážok za vegetačné obdobie je 348 mm. Priemerná ročná teplota vzduchu je 8,9 °C, priemerná teplota vzduchu za vegetačné obdobie je 16 °C.

Pre potreby posudzovania meteorologického stavu za vegetačné obdobia v skúmanom 55 ročnom rade boli postupne vypočítané hodnoty troch hodnotiacich koeficientov:

Vysotského index (V_i)

$$V_i = \frac{Z}{ET_0} \quad (1)$$

kde

Z - je suma denných úhrnov atmosférických zrážok za hodnotené obdobie v [mm],

ET_0 - je suma potenciálnej evapotranspirácie za hodnotené obdobie v [mm].

Tab. 1. hodnoty ukazovateľa s popisom

0 – 1	Prevláda výpar
1	Zrážky rovné výparu
> 1	Prevládajú zrážky

Klimatický ukazovateľ sucha (K_s)

$$K_s = ET_0 - Z \quad (2)$$

Tab. 2. hodnoty ukazovateľa s popisom

> 0	Prevláda výpar
0	Zrážky rovné výparu
< 0	Prevládajú zrážky

Podobnú charakteristiku ako V_i (1), (Tab. 1.) ponúka aj K_s (2) v tabuľke 2. Tento ukazovateľ svojím znamienkom poukazuje na to, či má daná oblasť dostatok vlhky na výpar, alebo nie. Jeho absolútna hodnota je zase mierou „suchosti“, či „vlhkosti“ danej lokality. Klimatický ukazovateľ zavlaženia má dobré fyzikálne zdôvodnenie, vyžaduje však zložitý výpočet potenciálnej evapotranspirácie, ktorá závisí od mnohých veličín.

Na International Commission for Irrigation and Drainage a World Meteorological Organization (FAO) v odbornej diskusii sa dosiahla jednotná dohoda, kde sa odporúča Penman-Monteithov spôsob riešenia, ako najvhodnejšia metóda na odhad výpočtu potenciálnej

evapotranspirácie, ktorá vychádza z originálu Penmanovej rovnice, z rovnice povrchového odporu a z aerodynamickej rovnice (Allen, 1989). Táto metóda prekonáva nedostatky predošlej Penmanovej rovnice a približuje sa skutočným hodnotám výparu. Okrem polohy lokality, rovnica FAO Penman-Monteith vyžaduje štandardné klimatologické údaje ako teplota vzduchu, vlhkosť vzduchu, rýchlosť vetra, globálne žiarenie (slnečný svit), zrážkový úhrn.

Na výpočet potenciálnej evapotranspirácie v našich podmienkach je možné s výhodou použiť metódu navrhnutú Novákom, ktorá je modifikovaná tak, aby umožňovala výpočet potenciálnej evapotranspirácie z ľubovoľného vyparujúceho povrchu (Novák, 1995).

Hydrotermický koeficient podľa Seljaninova (HTC)

$$HTC = \frac{\sum Z}{0,1 \sum t_{10}} \quad (3)$$

kde

$\sum Z$ - suma zrážok za hodnotené obdobie v [mm],

$\sum t_{10}$ - suma priemerných denných teplôt ($t > 10^\circ\text{C}$), za hodnotené obdobie v [$^\circ\text{C}$]

Tabuľka 3 opäť ponúka slovnú interpretáciu hodnôt HTC (3), kde rozlišuje šesť kategórií vlhkosti.

Tab. 3. Hodnoty ukazovateľa s popisom

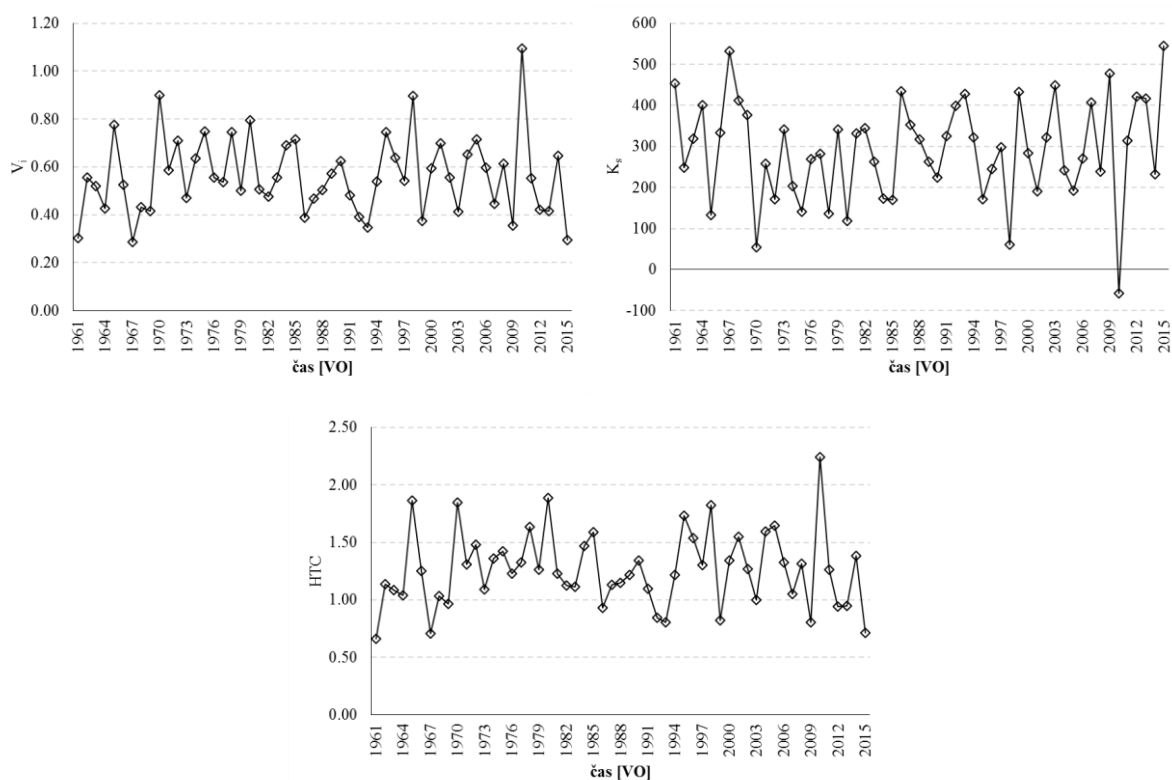
< 0,30	Katastrofálne sucho
0,31 – 0,50	Sucho
0,51 – 0,99	Nedostatok vody
1,00	Zrážky sú rovné výparu
1,01 – 2,00	Dostatok vody
> 2,00	Prebytok vody

V_i a K_s sú založené na rozdielnom vzťahu dvoch totožných meteorologických prvkov (zrážky a výpar). Prvý predstavuje podiel týchto prvkov a druhý ich rozdiel. Zrážky a výpar tvoria základné prítokové a odtokové zložky hydrologického cyklu a preto tieto dva ukazovatele ponúkajú jednoduchú bilanciu založenú na vyjadrení prevládajúcej hodnoty príslušného prvku počas hodnotených vegetačných období (VO). Hodnotenie meteorologického stavu pomocou hodnotiacich vzťahov bolo uskutočnené aj na úrovni dlhodobých mesačných chodov

vypočítaných za jednotlivé mesiace VO (apríl - september). Vyberali sa maximálne a minimálne hodnoty vzťahov za VO rokov a jednotlivé mesiace sledovaného radu, ktoré boli zároveň vyjadrené aj v slovnej škále.

Výsledky

Pri hodnotení VO podľa hodnotiacich vzťahov predstavuje jedine rok 2010 extrém v zmysle extrémne vlhkého VO. V číselnom vyjadrení hodnôt jednotlivých indexov to bolo nasledovné: V_i (1,09), K_s (-57,86) a HTC (2,24). V slovnom vyjadrení možno VO 2010 charakterizovať ako obdobie s prevládajúcimi zrážkami podľa V_i a K_s a podľa HTC je to obdobie s prebytkom vody. Zvyšok skúmaného radu je podľa V_i a K_s definovaný prevládajúcim výparom a dostatkom vody podľa HTC.



Obr. 1. Hodnoty indexov za vegetačné obdobia (1961 – 2015)

V tabuľke 4 sú uvedené vegetačné obdobia a hodnotiace charakteristiky podľa vypočítaných indexov. Pre každý index je vybraných 5 najvlhkejších a 5 najsuchších období v poradí od najextrémnejších. V prípade najvlhkejších období figurujú roky 2010, 1998, 1980, 1970 a 1965. Poradie extrémnosti sa zhoduje u V_i a K_s . Určitý rozdiel predstavujú hodnoty HTC, kde sa síce najvlhkejšie VO zhodujú, ale poradie je iné. Opačným extrémom sú najsuchšie

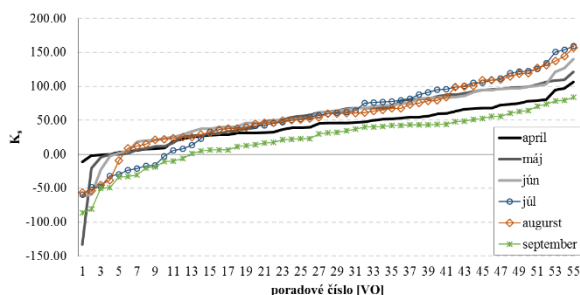
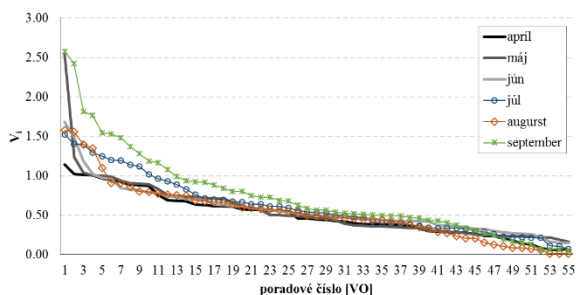
obdobia rokov 2015, 2009, 2003, 1993, 1967 a 1961. Tu sa v rámci hodnotiacich indexov odlišuje nielen poradie extrémnosti rokov ale aj samotné roky.

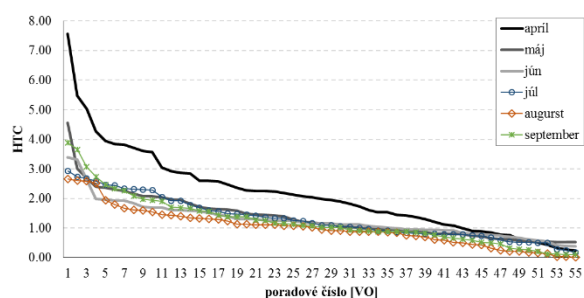
Tab. 4. Výber a zoradenie VO podľa závažnosti vlhkostných extrémov

Poradie	Vlhké VO	V_i	Vlhké VO	K_s	Vlhké VO	HTC
1.	2010	1,09	2010	-57,7	2010	2,24
2.	1970	0,90	1970	54,2	1980	1,89
3.	1998	0,90	1998	61,1	1965	1,87
4.	1980	0,80	1980	119,1	1970	1,85
5.	1965	0,78	1965	133,6	1998	1,82

Poradie	Suché VO	V_i	Suché VO	K_s	Suché VO	HTC
1.	1967	0,29	2015	544,7	1961	0,66
2.	2015	0,29	1967	532,1	1967	0,71
3.	1961	0,30	2009	477,4	2015	0,71
4.	1993	0,35	1961	454,0	1993	0,80
5.	2009	0,35	2003	449,1	2009	0,81

Pri hodnotení jednotlivých mesiacov (apríl – september) v dlhodobom rade je poradie extrémnosti najvlhkejších rokov ako aj samotné roky takmer identické pri V_i a K_s . Najvlhkejšie mesiace vo VO sú podľa V_i september 1976 (2,57), K_s máj 2010 (-133,07) a HTC apríl 1979 (7,57). V slovnom vyjadrení prevládajú zrážky pri V_i a K_s a pri HTC je prebytok vody. Na opačnej strane extrém v podobe najsuchších mesiacov v dlhodobom meradle sú podľa V_i august 1970 (0,01), K_s júl 1994 (159,36) a HTC september 1986 (0,10). V týchto mesiacoch prevláda výpar podľa V_i a K_s . Podľa HTC je mesiac júl 1994 definovaný katastrofálnym suchom. Na obrázku 2 sú hodnoty indexov pre jednotlivé mesiace v skúmanom rade zoradené od najvlhkejších po najsuchšie.





Obr. 2. Hodnoty indexov za mesiace apríl – september (1961 – 2015)

Diskusia

Pri hodnotení VO ako aj jednotlivých mesiacov v dlhodobom 55 ročnom horizonte boli použité jednoduché vzťahy pre identifikáciu extrémne vlhkých, či suchých období. V prípade V_i a K_s ide v podstate o vyjadrenie bilancie medzi najdôležitejšími prítokovými a odtokovými zložkami v hydrologickom cykle. Pri hodnotení pomocou HTC, G. T. Seljaninov vychádzal z toho, že v teplých mesiacoch roka ($t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) je desatina sumy priemerných denných teplôt za mesiac približne zhodná s mesačnou hodnotou výparu z vodnej hladiny. Na tomto poznatku zostavil vzorec pre výpočet HTC. Tento prístup priniesol výraznejšie odlišnosti v porovnaní s predošlými dvoma vzťahmi. Zhoda všetkých indexov sa prejavila v extrémne najvlhkejšom VO roku 2010. V tomto období bol historicky najvyšší úhrn zrážok (671,2 mm), čo je o 310,3 mm viac ako dlhodobý priemer 360,9 mm. Úhrn ET_0 bol 613,3 mm, blízko dlhodobého priemeru 652,5 mm. V ostatných najvlhkejších rokoch daného výberu bola zhoda poradia od najväčšieho extrému medzi V_i a K_s . Pri všetkých troch indexoch však figurovalo 5 totožných rokov ako vlhkosťne najextrémnejších a tomu zodpovedali aj nadpriemerné vegetačné úhrny zrážok (461,2 mm – 671,2 mm). Na druhej strane vegetačné úhrny ET_0 sa v týchto obdobiach pohybovali v nižších hodnotách pod priemerom (541,1 mm – 613,3 mm). Pri hodnotení opačného extrému t.j. najsuchších VO podľa indexov sa úhrny zrážok pohybovali v rozpätí (196,1 mm - 314,9 mm) pod priemerom. Vo všetkých 5 extrémne suchých VO výberu boli naopak úhrny ET_0 relatívne vysoké a pohybovali sa nad priemerom v rozmedzí 650,1 mm – 771,6 mm. Porovnávanie indexov v dlhodobo najvlhkejších mesiacoch (apríl – september) prinieslo najväčšiu zhodu medzi V_i a K_s . Priemerné hodnoty indexov sa pohybovali v rozmedzí V_i (1,03 – 2,03), K_s (-2,36) – (-59,98) a HTC (2,46 – 5,26). V najsuchších mesiacoch sa priemerné hodnoty indexov pohybovali nasledovne: V_i (0,03 – 0,20), K_s (77,31 – 144,66) a HTC (0,07 – 0,54).

Záver

V predloženom príspevku bol podľa vybraných hodnotiacich indexov analyzovaný 55 ročný rad VO z hľadiska výskytu extrémne suchých a vlhkých rokov. Z tohto hľadiska boli skúmané aj jednotlivé mesiace VO (apríl – september). Použité charakteristiky predstavovali vzťahy založené na jednoduchej bilancii prítokových a odtokových zložiek hydrologického cyklu (zrážok a výparu). V prípade prvých dvoch ukazovateľov to boli Vysotského index a Klimatický ukazovateľ sucha. Tretí, Hydrotermický koeficient podľa Seljaninova vychádzal aj zo sumy teplôt nad 10 °C. Databáza potrebných meteorologických údajov pre výpočet pochádzala z blízkej stanice SHMÚ blízko záujmovej lokality Milhostov. Na základe výsledkov bolo vyselektovaných 5 najvlhkejších a 5 najsuchších VO a rovnako aj 5 extrémnych období pre každý mesiac VO. Všetky indexy preukázali zhodu pri identifikácii extrémnych období. Najviac to bolo zreteľné pri V_i a K_s , nakoľko tieto indexy vychádzajú z rovnakých ukazovateľov. Tu sa zhoda prejavila nielen v identifikovaných najsuchších VO, ale takmer totožné bolo aj poradie smerom od najväčšieho extrému. V prípade opačného extrému v podobe najvlhkejších období sa indexy zhodovali prevažne v samotnej identifikácii týchto období a menej už v poradí extrémnosti.

Literatúra

- Allen, R. G., Jensen, M. E., Wright, 1989. Operational estimates of reference evapotranspiration. In: Agron. J. 81: s. 650 – 662.
- Gomboš, M., Ivančo, J., Mati, R. 1999. Výsledky meraní pôdnej vlhkosti v ťažkých pôdach na Východoslovenskej nížine. In: III. Zborník z konferencie „Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia“. ÚH SAV Bratislava – Michalovce 1999, s. 258-261.
- Changnon, 1987. Detecting drought conditions in Illinois. In: Illinois State Water Survey Circular, roč. 36, 1987, s. 164-87.
- Novák, V. 1995. Výpočet potenciálnej evapotranspirácie homogénnych povrchov. In: Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania, 1995, s. 211 – 214.
- Szolgay, J., Dzubák, M., Hlavčová, K. a iní 1995. Analýza hydrologických pomerov hornej Torysy. In: Záverečná správa, KVHK SvF STU, Bratislava 1995.
- Tall, A., Gomboš, M. 2004. Simulation of extreme rainfall influence to the regime in clay – loam soil profile. In: Climate change – Water extremes Organisms and Ecosystems. Viničky: Slovak bioclimatological society et al., 2004, CD. ISBN 80-8069-402-8.
- Wilhite, D. A., Glantz, M. H., 1987. Understanding the drought phenomenon-The role of definitions. In: Planning for drought: Boulder, Colo., Westview Press, 1987, s. 11-27.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied VEGA 2/0062/16.

Kontakt:

Ing. Branislav Kandra, PhD.

VHZ ÚH SAV

Hollého 42, 071 01 Michalovce

0566425147, kandra@uh.savba.sk

Výnos českých odrůd vojtěšky seté ve vztahu k počasí a lokalitě

The yields of Czech varieties of alfalfa in relation to the weather and location

¹Daniela Knotová, ²Jan Pelikán

Zemědělský výzkum, spol. s r.o., Výzkumný ústav pícninářský, spol. s r.o.²

Abstrakt

V letech 2010-2011 byly na dvou pokusných lokalitách zkoušeny české odrůdy vojtěšky seté. V prvním a druhém užitkovém roce byly na porostech provedeny čtyři vážené seče. Mezi odrůdami a lokalitami byly zjišťovány statisticky průkazné rozdíly.

Klíčová slova: *Medicago sativa*, výnos, české odrůdy

Abstract

In the years 2010 and 2011 in the field conditions and on the two localities we evaluated yields of green and dry matter of the Czech varieties of *Medicago sativa* L. In harvesting years we made four cuts per a year. Yields of green matter and dry matter were statistically significant different between varieties. Between the localities statistically significant differences were found too.

Keywords: *Medicago sativa*, yield, Czech varieties

Úvod

V České republice je v současné době vojtěška setá pěstována na 56 000 ha zemědělské půdy. I přes trend snižování osevních ploch touto plodinou patří vojtěška setá zároveň s jetelem lučným a kukuřicí setou mezi naše nejvýnosnější pícniny. Její předností jsou především stále a vysoké výnosy, odolnost proti suchu, vytrvalost a předplodinová hodnota. Z krmivářského hlediska je ceněna především produkcí stravitelných bílkovin a nízkými náklady na výrobu 1 kg stravitelné bílkoviny.

Materiál a metody

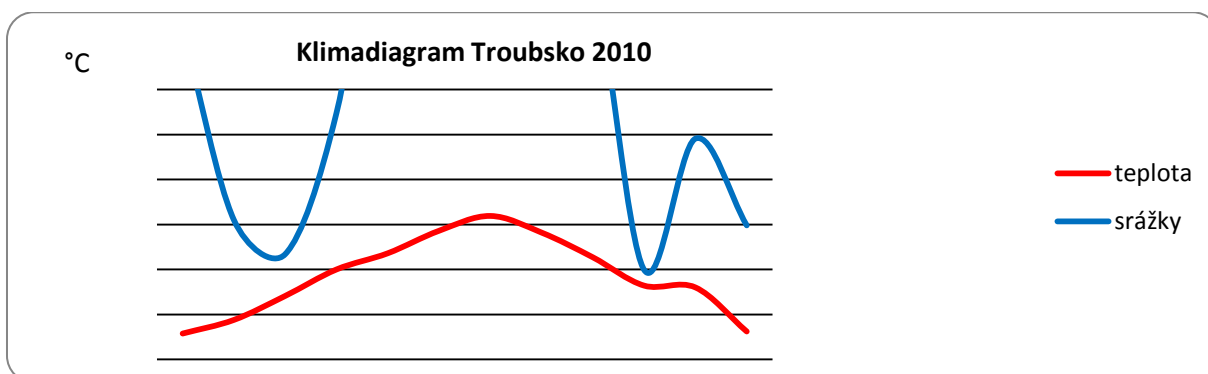
V roce 2009 byly na dvou lokalitách, v Troubsku a v Želešicích, založeny pokusy s vybranými českými odrůdami vojtěšky seté. Zkoušeny byly tyto odrůdy: Palava, Jarka, Zuzana, Jitka, Kamila, Litava, Magda, Morava, Niva, Oslava, Vlasta, Holyna, Tereza a Denisa. Parcely o velikosti 10m² byly rozmístěny metodou znáhodněných bloků do tří opakování. V roce založení byly na porostech prováděny plevelné seče a v následujících dvou užitkových letech pak čtyři vážené seče za rok. Odběr vzorků pro stanovení výnosů sena byl

prováděn před každou sečí ve fázi butonizace. Následně byl vzorek odebrané zelené hmoty usušen při teplotě 60°C, poté zvážen a přepočítán na výnos v t.ha⁻¹.

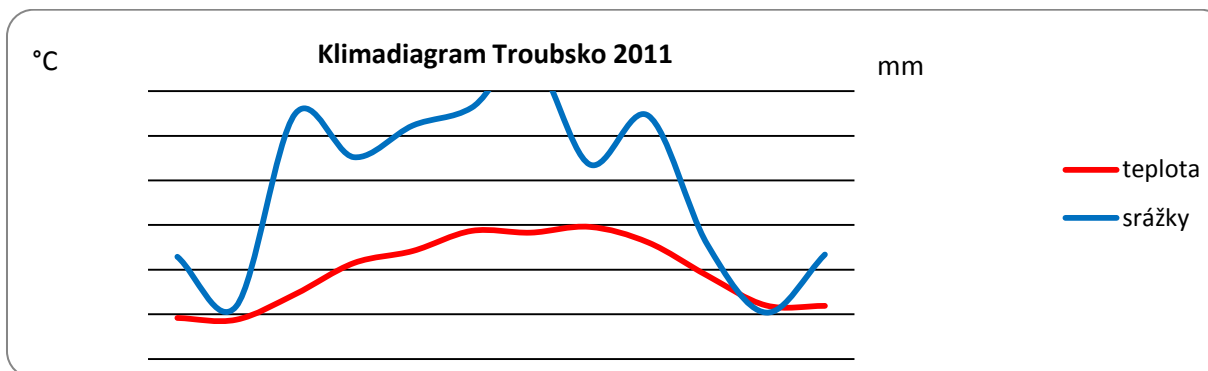
Pokusné pozemky Troubsko leží 1 km západně od obce. Patří do teplé mírně suché řepařské výrobní oblasti, 270 m n. m. Půdotvorný substrát tvoří zvětraliny hornin mladšího terciéru, převážně luvizemě modální, na pokusných pozemcích jsou degradované hnědozemní půdy, zrnitostní složení hlinité až jílovitohlinité s půdní reakcí neutrální, mírně humózní. Klimadiagram pro lokalitu Troubsko pro roky 2010 a 2011 je v grafu 1 a 2.

Experimentální pozemek Želešice se nachází na západním konci obce. Patří do řepařské výrobní oblasti, 210 m n. m. Půdu tvoří úrodná spraš. V těsné blízkosti pokusného stanoviště se nachází Hajanský potok. Klimadiagram pro lokalitu Želešice pro roky 2010 a 2011 je v grafu 3 a 4.

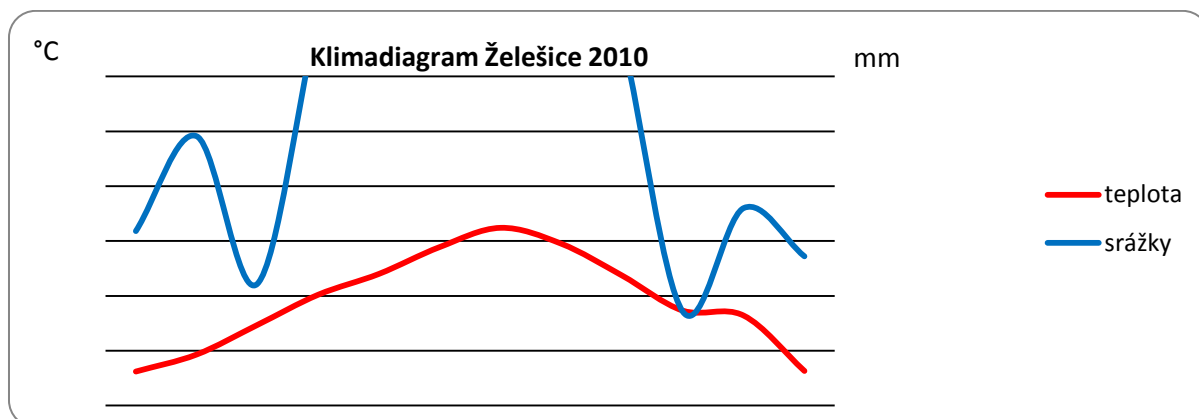
Graf 1: Klimadiagram podle Waltera (1957) pro stanici Troubsko v nadmořské výšce 270 m n. m. v roce 2010



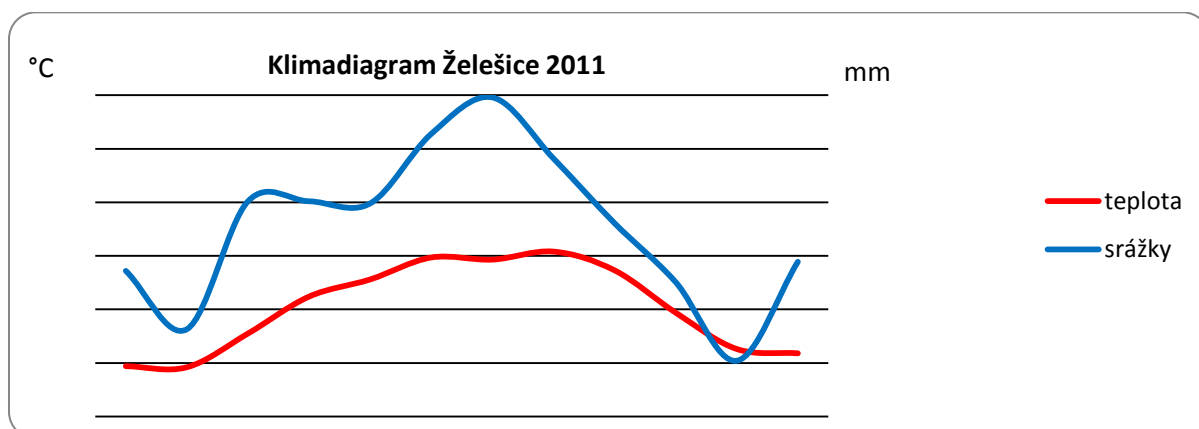
Graf 2: Klimadiagram podle Waltera (1957) pro stanici Troubsko v nadmořské výšce 270 m n. m. v roce 2011



Graf 3: Klimadiagram podle Waltera (1957) pro stanici Želešice v nadmořské výšce 210 m n. m. v roce 2010



Graf 4: Klimadiagram podle Waltera (1957) pro stanici Želešice v nadmořské výšce 210 m n. m. v roce 2011



Výsledky

Celková produkce zelené hmoty a sena dosažená na obou lokalitách v jednotlivých sklizňových rocích je uvedena v tabulce 1. Na lokalitě v Troubsku byly zaznamenány výnosy v prvním užitkovém roce v rozpětí 66,30-77,20 t.ha⁻¹, v druhém užitkovém roce od 37,67 do 47,27 t.ha⁻¹. Na lokalitě v Želešicích se výnosy zelené hmoty v prvním užitkovém roce pohybovaly od 84,33 do 92,00 t.ha⁻¹ a ve druhém užitkovém roce v rozmezí 81,50-91,17t.ha⁻¹. V celkových produkcích zelené hmoty a sena v jednotlivých užitkových rocích u českých odrůd na obou místech byly zjištěny statisticky průkazné rozdíly. Výjimkou byl pouze 1.

užitkový rok na lokalitě Troubsko, kde ve výnosech zelené hmoty statistické rozdíly mezi odrudami zjištěny nebyly. Nejvyšší výnos v tomto roce poskytla odrůda Holyna. Ve 2. užitkovém roce byl nejvyšší výnos zelené hmoty zaznamenán u odrůdy Denisa. Tento se statisticky průkazně lišil od výnosů odrůd Magda a Vlasta. V Želešicích byl v 1. užitkovém roce dosažen nejvyšší výnos u odrůd Litava a Vlasta a tento statisticky průkazně překonal odrůdy Oslava, Tereza a Denisa. Ve 2. užitkovém roce byl nejvyšší výnos zelené hmoty zaznamenán opět u odrůdy Litava a statisticky průkazně se lišil od výnosu odrůd Palava a Denisa. Zcela odlišná situace byla zjištěna ve výnosech sena.

Při hodnocení vlivu lokality a užitkového roku na výnosy zelené hmoty (Tab. 2) nebyly zjištěny statistické rozdíly mezi užitkovými roky na lokalitě Želešice na rozdíl od lokality Troubsko. Na této lokalitě byly zjištěny nižší výnosy ($P < 0,05$) oproti lokalitě Želešice. Ve výnosech sena byly zjištěny statistické rozdíly mezi oběma lokalitami a užitkovými roky.

Tab. 1. Vliv odrůdy na celkovou produkci zelené hmoty a sena na lokalitách Troubsko a Želešice v letech 2010 a 2011

	zelená hmota ($t \cdot ha^{-1}$)				sena ($t \cdot ha^{-1}$)			
	Troubsko		Želešice		Troubsko		Želešice	
	1. už. rok	2. už. rok	1. už. rok	2. už. rok	1. už. rok	2. už. rok	1. už. rok	2. už. rok
Palava	73,90 ^a	42,20 ^{ab}	86,17 ^{ab}	81,50 ^a	13,41 ^{abc}	8,28 ^{ab}	15,97 ^{ab}	18,35 ^e
Jarka	76,50 ^a	43,53 ^{ab}	88,17 ^{ab}	83,83 ^{ab}	15,43 ^c	9,18 ^{abc}	16,49 ^{ab}	16,15 ^{abcd}
Zuzana	72,33 ^a	42,30 ^{ab}	85,67 ^{ab}	83,83 ^{ab}	13,07 ^{abc}	10,27 ^c	15,36 ^{ab}	17,43 ^{cde}
Jitka	66,30 ^a	37,67 ^a	89,50 ^{ab}	83,00 ^{ab}	11,71 ^a	7,89 ^a	15,52 ^{ab}	15,80 ^{abc}
Kamila	69,80 ^a	39,27 ^{ab}	88,33 ^{ab}	85,00 ^{ab}	12,87 ^{ab}	8,75 ^{abc}	15,22 ^{ab}	16,79 ^{bcde}
Litava	76,37 ^a	42,57 ^{ab}	92,00 ^b	91,17 ^b	14,29 ^{bc}	7,83 ^a	15,96 ^{ab}	18,35 ^e
Magda	76,63 ^a	38,40 ^a	87,50 ^{ab}	86,67 ^{ab}	15,08 ^{bc}	8,99 ^{abc}	15,60 ^{ab}	16,65 ^{abcde}
Morava	76,10 ^a	42,43 ^{ab}	88,67 ^{ab}	86,17 ^{ab}	13,73 ^{abc}	9,28 ^{abc}	15,06 ^{ab}	16,98 ^{cde}
Niva	73,73 ^a	44,13 ^{ab}	85,50 ^{ab}	87,50 ^{ab}	13,78 ^{abc}	9,93 ^{bc}	15,26 ^{ab}	16,77 ^{bcde}
Oslava	72,80 ^a	42,57 ^{ab}	84,33 ^a	84,17 ^{ab}	14,58 ^{bc}	9,49 ^{abc}	15,26 ^{ab}	14,97 ^a
Vlasta	71,20 ^a	37,80 ^a	91,83 ^b	87,83 ^{ab}	13,00 ^{abc}	8,65 ^{abc}	16,73 ^b	17,88 ^{de}
Holyna	77,20 ^a	42,97 ^{ab}	87,00 ^{ab}	85,00 ^{ab}	14,14 ^{abc}	8,27 ^{ab}	15,35 ^{ab}	16,88 ^{cde}
Tereza	66,77 ^a	41,27 ^{ab}	84,33 ^a	89,17 ^{ab}	13,64 ^{abc}	8,82 ^{abc}	14,66 ^a	15,83 ^{abc}

Denisa	71,13 ^a	47,27 ^b	84,50 ^a	82,50 ^a	12,70 ^{ab}	8,37 ^{ab}	15,65 ^{ab}	15,06 ^{ab}
--------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	---------------------	--------------------	---------------------	---------------------

Mezi průměrnými hodnotami ve sloupcích s různými indexy (^{a,b,c}) jsou průkazné rozdíly na hladině $P < 0,05$

Tab. 2. Vliv lokality a roku na celkovou produkci zelené hmoty a sena

lokality	užitkový rok	zelená hmota	sena
Troubsko	1	72,91 ^c	13,67 ^b
	2	41,74 ^b	8,86 ^a
Želešice	1	87,39 ^a	15,58 ^c
	2	85,52 ^a	16,71 ^d

Mezi průměrnými hodnotami ve sloupcích s různými indexy (^{a,b,c,d}) jsou průkazné rozdíly na hladině $P < 0,05$

Diskuze

Na lokalitě Troubsko byl zaznamenán pokles ve výnosech v jednotlivých sečích u všech zkoušených odrůd, což může být následkem průběhu počasí během vegetace. V prvním užitkovém roce byly srážky nadprůměrné, kdežto v druhém užitkovém roce podprůměrné. Na lokalitě Želešice došlo k opaku, čili v prvním užitkovém roce byly zaznamenány větší výnosy ve všech sečích u všech odrůd než ve druhém užitkovém roce. Tento fakt je z největší pravděpodobností dán lepšími půdními podmínkami na lokalitě Želešice s dostatkem podzemní vody, neboť se hned vedle experimentálního stanoviště nachází Hajanský potok, který dokáže nahradit nepříznivé období s malým množstvím srážek. Zásoba podzemní vody je také zdůvodněním, proč jsou na lokalitě Želešice až o třetinu větší výnosy než na lokalitě Troubsko. Novosádová a Lang (2010) uvádějí, že v prvním roce dává vojtěška setá větší výnosy než ve druhém užitkovém roce. S tím je možné souhlasit v tom případě, že je v prvním užitkovém roce příznivý, především vláhvový, režim. Rožnovský et al. (2014) zdůrazňují, že k základním faktorům tvorby výnosu patří počasí a projev sucha působí na výnos silně negativně. Nedostatek vody zpomaluje růst rostlin a snižuje aktivitu všech enzymů v rostlině (Bláha et al., 2003). Odrůdy do suchých lokalit určených např. na jižní Moravu by měly být suchovzdorné (Graman a Čurn, 1997). Podle Procházky et al. (1998) dochází u rostlin při nedostatku vody k redukci listové plochy a stupňuje se intenzita dýchání. Rostliny, které jsou schopny, co nejvíce omezit fyziologické pochody jsou suchovzdornější. Podle Velicha (1991) se intenzitou pěstování snižují výnosové a vytrvalostní schopnosti vojtěšky, jejíž vytrvalost podle Šantrůčka et al. (1995) může být na jednom stanovišti 10-15 let. Undersander et al. (2011) zjišťoval produkční schopnosti vojtěšky seté na dvou lokalitách ve čtyřech užitkových letech. První užitkový rok byly výnosy sena o něco málo vyšší než druhý užitkový rok. Třetí užitkový rok však byly výnosy na obou lokalitách vyšší než

v prvních dvou rocích. Ve čtvrtém roce došlo k značnému poklesu ve výnosech sena na obou lokalitách. Výše výnosu je také ovlivněna schopností přezimování a regenerací rostlin po zimním období. Tímto se dají také vysvětlit odlišné výsledky v objemu a v rozdílu mezi výnosy v užitkových letech. Mrazuvzdornost záleží na typu odrůdy a úrovni výživy (Graman a Čurn, 1997). Úroveň výživy byla mezi lokalitami zcela odlišná ve prospěch lokality Želešice, kde byl pokus založen na kvalitní černozemi s dobrým zásobením živin. Co se týká schopnosti přezimování, tak všechny vojtěšky seté svým původem pochází z místa, pro které byly vyšlechtěny, takže není překvapující, že je u všech odrůd tato schopnost vysoká až velmi vysoká.

Závěr

Výsledky ukazují, že na každém stanovišti excelovaly jiné odrůdy a mezi lokalitami byly zjištěny statisticky průkazné rozdíly ($P < 0,05$) ve prospěch Želešic. Zatímco na lokalitě v Troubsku poskytla v prvním užitkovém roce nejvyšší výnos zelené hmoty odrůda Holyna, tak na lokalitě v Želešicích byla nejvýkonnější odrůda Litava. Jiná situace ovšem nastala ten samý rok u výnosů sena, kdy v Troubsku dala největší výnosy odrůda Magda, naopak v Želešicích poskytla nejvyšší výnos odrůda Vlasta. Výsledky ukazují schopnost jednotlivých odrůd přizpůsobit se různým půdně-klimatickým podmínkám. Na lokalitě v Želešicích dobře reagovaly odrůdy na větší zásobu podzemní vody, neboť se tato lokalita nachází v blízkosti Hajanského potoka. K dosažení vysokých výnosů píče je důležitý výběr co nejvhodnější odrůdy do daných podmínek.

Závěrem je vhodné také dodat, že pro lepší zhodnocení genofondů kulturních rostlin je žádoucí zakládat polní pokusy v různých agroekologických podmínkách, z důvodu zjištění plasticity a adaptability zkoušených odrůd či genotypů.

Literatura

BLÁHA L. et al., 2003: *Rostlina a stres*. VÚRV, Praha, 156 s.

GRAMAN, J., ČURN, V., 1997: *Šlechtění rostlin*. JU ZF, České Budějovice, 133 s.

NOVOSÁDOVÁ I., LANG J., 2010: Zhodnocení produktivity perspektivních jetelovin. *Úroda*, Praha, 12: 665-668.

PROCHÁZKA S., MACHÁČKOVÁ I., KREKULE J., ŠEBÁNEK J. et al., 1998: *Fyziologie rostlin*. Academia, 484 s.

ROŽNOVSKÝ J., LITSCHMANN T., STŘEDA T., STŘEDOVÁ H., 2014: *Extrémy oběhu vody v krajině*. Mikulov.

ŠANTRŮČEK J. et al., 1995: *Základy pěstování víceletých pícnin na orné půdě*. Institut výchovy a vzdělání Ministerstva zemědělství ČR, Praha, 32 s.

UNDERSANDER D. et al., 2011: *Alfalfa Management Guide*. American Society of Agronomy. *Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc.*, 68 s.

VELICH J. et al. 1991: *Pícninářství*. Vysoká škola zemědělská, Praha, 204 s.

Poděkování

Tato práce vznikla s podporou grantu QJ1310100 „Vývoj a optimalizace metod stanovení biogenních aminů v návaznosti na zvýšení zdravotní bezpečnosti siláží“ financovaného Národní agenturou pro zemědělský výzkum (NAZV) a částečně z prostředků Národního programu konzervace a využití genetických zdrojů kulturních rostlin a agrobiodiverzity, financovaného MZe ČR.

Kontakt:

Ing. Daniela Knotová, Ph.D.

Zemědělský výzkum, spol. s r.o.

Zahradní 1, 66441 Troubsko

knotova@vupt.cz

Výpar z vodní hladiny

Evaporation from Water Surface

Gražyna Knozová¹, Mojmír Kohut¹, Jaroslav Rožnovský^{1,2}, Jáchym Brzezina¹

¹Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno

²Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Valtická 337, 691 44 Lednice

Abstrakt

Výpar z vodní hladiny představuje důležitou fázi oběhu vody v krajině. Automatizované měření VVH výparoměrem EWM je součástí standardních pozorování na profesionálních meteorologických stanicích Českého hydrometeorologického ústavu. V současné době je v České republice 22 stanic vybavených přístrojem EWM. Vyhodnocení bylo provedeno z databáze měření na stanic Hradec Králové, Nový Hradec Králové za období 2005-2014, ze sezony od 1. května do 30. září v období 2005-2014. Na základě statistické analýzy bylo zjištěno, že denní úhrny výparu kolísaly v rozmezí od 0,1 mm do 6,9 mm. Nejvyšší dlouhodobý průměrný denní úhrn se vyskytl 17. 7. (3,8 mm) a nejnižší 27. 9. (0,9 mm). Průměrné měsíční úhrny VVH kolísaly v intervalu od 45,8 mm v září až 89,3 mm v červenci. Dlouhodobý průměrný úhrn VVH za sledované období květen až září činil 366,2 mm.

Klíčová slova: výparoměr EWM, evaporace, Hradec Králové

Abstract

Evaporation from water surface (VVH) represents the outflow component within the water cycle in landscape. Measurements of VVH by the automatic EWM device are standard part of the network of professional meteorological stations of CHMI. Currently, there are 22 stations with EWM in the Czech Republic. The station Hradec Králové, Nový Hradec Králové was used as an example for the assessment of VVH. The analyzed period was from May 1st to September 30th in the years 2005 to 2014. Statistical analysis of the daily evaporation showed that the values ranged between 0.1 mm and 6.9 mm. The highest average daily evaporation was observed on July 17th (3.8 mm), and the lowest average daily evaporation on September 27th (0.9 mm). Average monthly evaporation totals ranged from 45.8 mm (September) to 89.3 mm (July). Average annual (May-September) evaporation for the 14 years is 366.2 mm.

Keywords: evaporimeter EWM, evaporation, Hradec Králové

Úvod

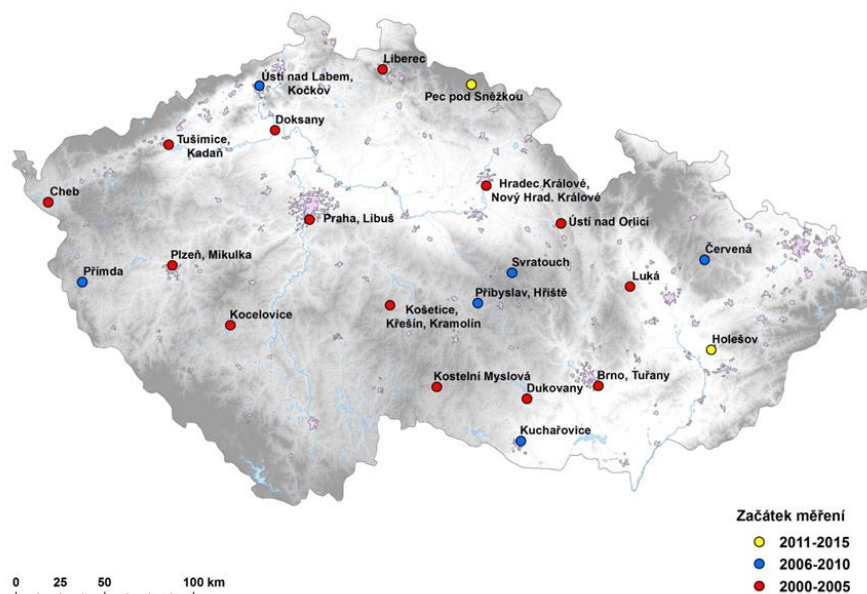
Výpar, jako velmi důležitý a složitý proces oběhu vody v krajině, který představuje výdejovou složku, významně ovlivňuje výskyt sucha. Přímé měření výparu není však jednoduché. V agrometeorologii je nejvíce rozšířené měření výparu z vodní hladiny (dále VVH). Měření výparu z vodní hladiny (dále jen VVH) v síti klimatologických stanic Českého hydrometeorologického ústavu (dále jen ČHMÚ) bylo od roku 1968 prováděno manuálními přístroji GGI-3000 (Krška, Šamaj, 2001). V roce 1999 bylo v rámci ČHMÚ rozhodnuto o postupné modernizaci a automatizaci měření VVH. Hlavním důvodem byl až na několik málo výjimek neuspokojivý stav dosavadních přístrojů GGI-3000 včetně kvality samotného měření a také snaha získat kvalitnější síť výparoměrných stanic pro testování a kalibraci evapotranspiračních modelů. Zařízení GGI-3000 bylo v síti stanic ČHMÚ nahrazeno technologicky vhodnějším automatizovaným výparoměrem EWM (Bareš, Možný, Stalmacher, 2006). K 1. lednu 2016 je celkový počet klimatologických stanic s automatizovaným měřením VVH 22.

Cílem práce byla kvantifikace a vyhodnocení sezonní dynamiky VVH na jedné, příkladové stanici ČHMÚ.

Materiál a metody

V předkládané práci bylo provedeno podrobné hodnocení VVH pro stanici Hradec Králové, Nový Hradec Králové, z 10letého období 2005-2014, ze sezony od 1. května do 30. září. Polohu stanice vzhledem k ostatním výparoměrným stanicím znázorňuje obr. 1.

Za účelem kontroly, respektive doplnění scházejících údajů, byly denní řady naměřených dat porovnané s referenční řadou dat. Jako referenční řada byly využity modelové výpočty VVH v denním intervalu, provedené podle celosvětově rozšířené standardní metodiky FAO (Bos, Vos, Feddes, 1996), vycházející z Penmanovy metody, a modifikované v rámci agrometeorologického modelu AVISO. Koeficient korelace obou řad dat byl 0,72 (tab 1). Na základě lineární regrese mezi denními úhrny VVH měřenými pomocí EWM) a modelově vypočítanými byla provedená rekonstrukce scházejících nebo nedůvěryhodných údajů v měřené řadě. Při kontrole dat a jejich statistickém zpracování byla využita klimatologická aplikace ProClimDB (<http://www.climahom.eu>).



Obr. 1 Poloha stanic a začátek automatizovaného měření VVH podle EWM v České republice

Tab. 1 Lineární regrese mezi denními úhrny VVH měřenými EWM a modelově vypočítanými (modifikovaná metodika FAO) na stanici Hradec Králové, Nový Hradec Králové

Meteorologická stanice	Koeficient korelace	Rovnice regrese	Koeficient determinace
Hradec Králové, N. H. K.	0,72	$y = 0,5864x + 0,5160$	$R^2 = 0,5188$

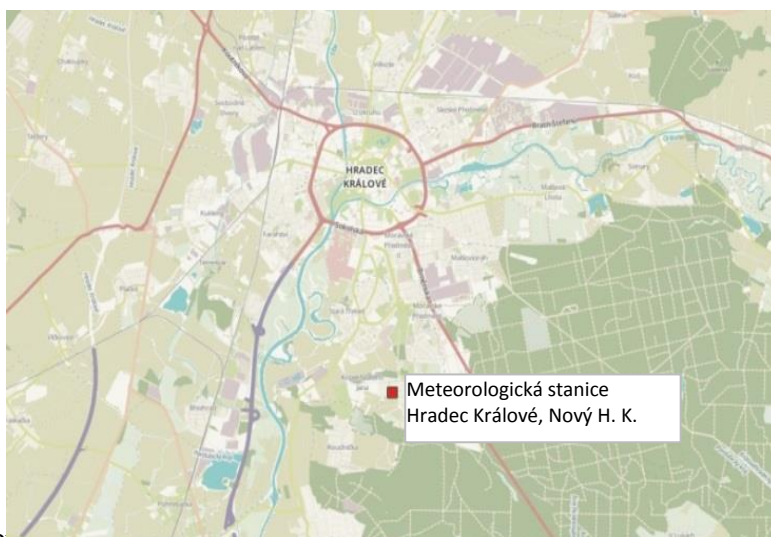
Výsledky

Meteorologická stanice Hradec Králové, Nový Hradec Králové se nachází na Východolabské tabuli v povodí Labe v nadmořské výšce 278 m. Byla zřízena v areálu Solární a ozónové observatoře ČHMÚ a umístěna na návrší na jižním okraji města s převýšením 40 m nad okolním terénem.

Ve vzdálenosti 150 m severně a 1 km jihovýchodně od stanice se nachází smíšený les (obr. 2). Podle Quittovy klasifikace leží v teplé oblasti W2, podle klasifikace z Atlasu podnebí ČSR z roku 1958 leží na rozhraní mezi mírně teplou oblastí, suchou podoblastí (mírně teplý, suchý okrsek) B1 a mírně teplou oblastí, mírně suchou podoblastí (mírně teplý, mírně suchý okrsek) B2 (Tolasz a kol., 2007).

V minulosti na této stanici probíhalo měření VVH v letech 1968 až 1979, pomocí výparoměru GGI-3000 (Kohut, Rožnovský, Knozová, 2013). Po víc než 20 letech bylo 1. 5. 2003 opět zahájené měření VVH přístrojem EWM. V předkládaném příspěvku však uvádíme výsledky

analýzy měření z období 2005-2014. Toto období bylo zvoleno za účelem možnosti porovnání VVH na více stanicích.



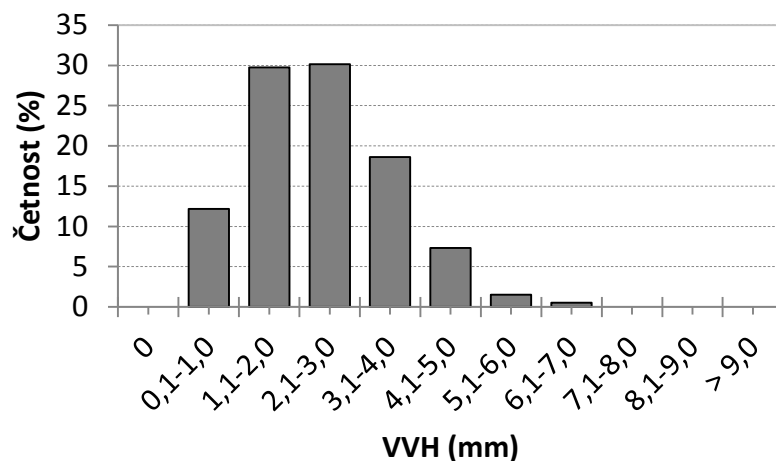
Obr. Hradec Králové

Korelace denního úhrnu VVH na stanici Hradec Králové, Nový Hradec Králové z VVH na ostatních výparoměrných stanicích není příliš těsná, z důvodu dost velké vzdáleností mezi jednotlivými lokalitami. Největší korelace je v případě stanice Praha, Libuň, kde koeficient korelace dosahuje 0,75, a v případě stanic Ústí nad Orlicí a Luká, kde koeficienty korelace dosahují 0,69.

Tab. 2 Korelační koeficienty mezi denními úhrny VVH naměřenými na stanici Hradec Králové, Nový Hradec Králové a na vybraných výparoměrných stanicích ČHMÚ (2005-2014)

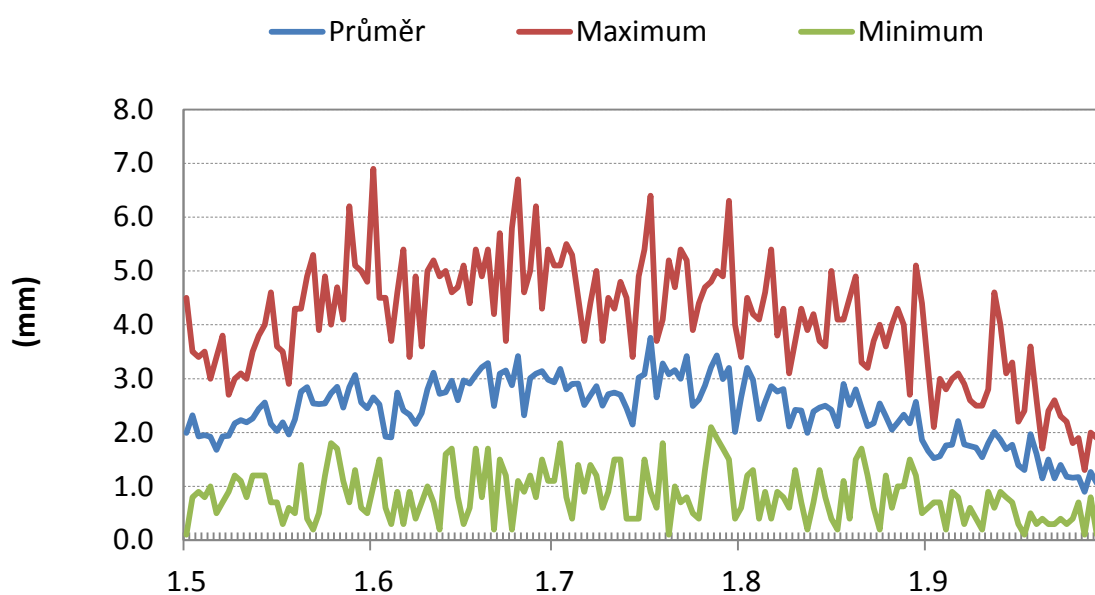
Brno, Tuřany	Doksany	Dukovany	Cheb	Kocelovice	Kostelní Myslová	Košetice, Křešín, Kramolín	Liberec	Luká	Plzeň, Mikulka	Praha, Libuň	Tušimice, Kadaň	Ústí nad Orlicí
0,59	0,64	0,64	0,52	0,66	0,68	0,68	0,62	0,69	0,58	0,75	0,54	0,69

Denní úhrny VVH v období 2005-2014 (1. květen až 30. září) kolísaly na stanici v rozmezí 0,1 mm až 6,9 mm (1. 6. 2008), nejnižší hodnota 0,1 mm byla dosažena 5x. Dlouhodobý průměrný denní úhrn (2005-2014) činí 2,4 mm (tab. 3). Nejvyšší zastoupení mají intervaly 2,1 mm až 3,0 mm (30,1 % měření), 1,1 mm až 2,0 mm (29,7 % měření) a 3,1 mm až 4,0 mm (18,6 % měření), viz obr. 3.



Obr. 3 Hradec Králové, Nový Hradec Králové, četnosti denních úhrnů výparu z vodní hladiny ve zvolených intervalech (2005-2014)

Graf na obr. 4 dokumentuje dlouhodobé průměrné denní úhrny VVH pro jednotlivé dny z období od 1. května do 30. září (2005-2014) včetně nejvyššího a nejnižšího úhrnu VVH v daný den z tohoto 10letého období.



Obr. 4 Hradec Králové, Nový Hradec Králové, dlouhodobé průměrné denní úhrny výparu z vodní hladiny včetně denních maximálních a minimálních úhrnů (2005-2014)

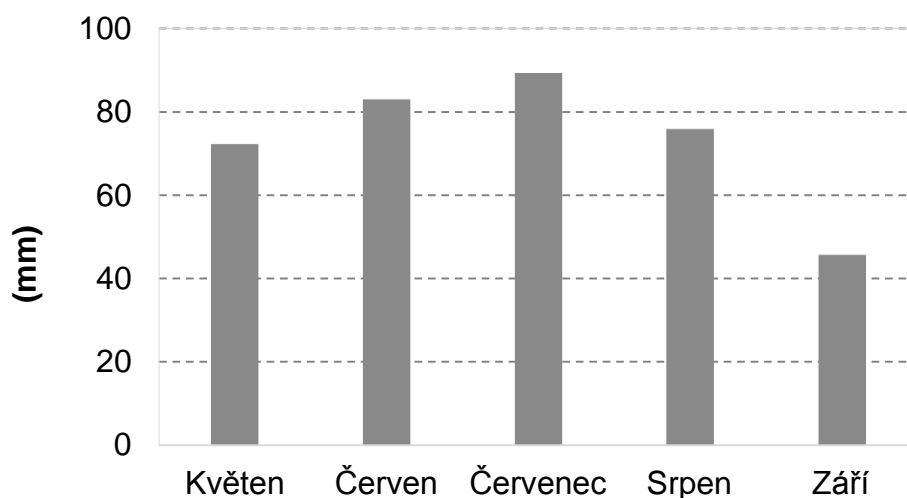
Dlouhodobé průměrné denní úhrny VVH na stanici kolísaly v rozmezí 0,9 mm (27. 9.) až 3,8 mm (17. 7.). Z analýzy obrázku je patrné, že v průměru změny VVH ze dne na den jsou v řádu desetin mm. V konkrétním roce však tato variabilita činila několik desetin nebo jednotek mm v závislosti na proměnlivosti teploty a vlhkostí vzduchu, rychlostí větru, trvání slunečního svitu a úhrnu srážek.

Základní statistická analýza vycházející z naměřených denních úhrnů VVH je uvedena v tab. 3. Nejnižší průměrný denní úhrn VVH byl pozorován v září, naopak nejvyšší v červenci. Odráží se to i v měsíčních sumách. Dlouhodobé průměrné měsíční úhrny VVH na stanici kolísaly v rozmezí od 45,8 mm v září až 89,3 mm v červenci (obr. 5).

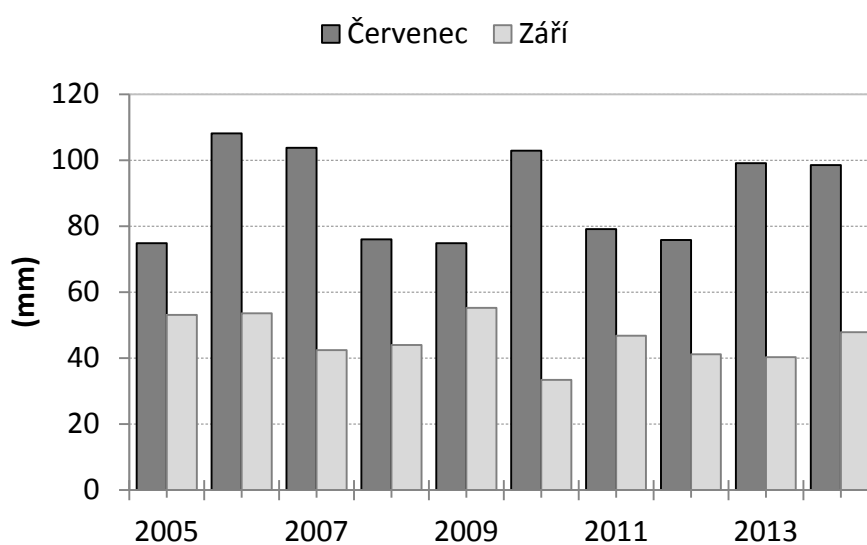
Tab. 3 Hradec Králové, Nový Hradec Králové, základní statistika denních úhrnů výparu z vodní hladiny (2005-2014)

Hradec Králové, N.Hr.Kr.	V	VI	VII	VIII	IX	V-IX
Průměrný denní úhrn	2,33	2,77	2,88	2,45	1,53	2,39
Průměrný měsíční úhrn	72,26	82,96	89,29	75,86	45,79	366,16
Standardní odchylka	1,052	1,295	1,240	1,011	0,745	1,184
Koeficient variace	45,131	46,835	43,056	41,316	48,820	49,478
Šikmost	0,602	0,370	0,126	0,088	0,571	0,509
Špičatost	0,344	-0,033	-0,349	-0,328	0,531	0,027
Denní minimum	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1
Denní maximum	6,2	6,9	6,4	5,4	4,6	6,9
Datum výskytu maxima	28.05.07	01.06.08	17.07.10	06.08.12	12.09.08	01.06.08
1. decil (10 %)	1,10	1,05	1,30	1,20	0,60	0,90
Dolní kvartil (25 %)	1,60	1,90	2,00	1,70	1,00	1,50
Medián	2,20	2,70	2,90	2,50	1,50	2,30
Horní kvartil (75 %)	2,80	3,60	3,70	3,10	2,00	3,10
10. decil (90 %)	3,80	4,50	4,50	3,70	2,50	4,00

Úhrny VVH se měnily v jednotlivých letech sledovaného období. Na obr. 5 jsou prezentovány měsíční červencové a zářiové úhrny VVH v letech 2005-2014. Nejvyšší měsíční úhrn VVH v za červenec byl na stanici Hradec Králové, Nový Hradec Králové naměřen v roce 2006 a to 108,1 mm. Je však nutno poznamenat, že ještě vyšší měsíční hodnota VVH byla naměřená v červnu roku 2005, a to 113,2 mm. Nejnižší naměřený úhrn VVH byl naopak zaznamenán v září 2010 roku, pouze 33,4 mm. V roce 2010 byl zároveň zaznamenán nejnižší úhrn VVH za celou sezonu od května po září, rovný 336,5 mm. Nejvyšší úhrn VVH za analyzovaných pět měsíců se vyskytl v roce 2007, a to 417,2mm. Dlouhodobý průměrný úhrn VVH za sledované období květen až září činil 366,2 mm.



Obr. 5 Hradec Králové, Nový Hradec Králové, dlouhodobé průměrné měsíční úhrny výparu z vodní hladiny (2005-2014)



Obr. 6. Hradec Králové, Nový Hradec Králové, úhrny výparu z vodní hladiny v měsících červenec a září za období 2005-2014

Závěr

Zajištění kvalitního měření výparu z vodní hladiny patří k technicky nejnáročnějším a nejproblematičtějším ve staniční síti ČHMÚ. Dosažené výsledky lze prakticky využít jednak pro stanovení vodní a vláhové bilance konkrétní lokality, a jednak pro kalibraci modelových výpočtů evaporace a evapotranspirace. Je nutné uvést, že výpar měřený pomocí EWM není

zcela roven výparu z hladiny vodních nádrží, nicméně naměřená data poskytují hodnotný materiál pro široké využití v agrometeorologii.

Výsledky poukazují na dimenzi a dynamiku procesu vypařování z vodní hladiny, jednak v denním a jednak v měsíčním časovém kroku. Jako příkladová lokalita byla vybraná meteorologická stanice Hradec Králové, Nový Hradec Králové, která reprezentuje podmínky geografického prostředí České tabule, ale do jisté míry i podmínky charakteristické pro jiné oblasti České republiky ve výškovém pásmu 0 m až 300 m n. m.

Období automatizovaného měření VVH pomocí výparoměru EWM je bohužel stále dosti krátké na to, aby se daly vyhodnotit trendy dlouhodobých změn. V kontextu klimatické změny a čím dál častějšího výskytu extrémních jevů, ke kterým patří sucho (např. Zahradníček et al, 2014) nebo přívalové deště (např. Knozová, 2015), lze očekávat, že i v evaporačním režimu bude docházet k proměnám. V extrémně horkém roce 2015 byly dosažené rekordní měsíční úhrny VVH. Na stanici Hradec Králové, Nový Hradec Králové úhrn za srpen 2015 činil 113,7 mm. Neobvykle vysoké úhrny VVH v roce 2015 naznačují pravděpodobný směr v dynamice VVH.

Poděkování

Příspěvek vychází z výsledků projektu QH92030 (NAZV) „Hodnocení půd z hlediska jejich produkčních a mimoprodukčních funkcí s dopady na plošnou a kvalitativní ochranu půd České republiky“.

Literatura

BAREŠ, D. – MOŽNÝ, M. – STALMACHER, J., 2006. Automatizace měření výparu v ČHMÚ. In: „Bioklimatologie a voda v krajině“, Bioklimatologické pracovní dny 2006 [online]. [cit. 16. 8. 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.cbks.cz/sbornikStrecno06/prispevky/PosterI._clanky/P1-16.pdf>

BOS, M.G. – VOS, J. – FEDDES, R. A., 1996. CRIWAR 2.0. A simulation model on Crop Irrigation Water Requirements. Wageningen: ILRI publication 46, pp. 117.

KNOZOVÁ G., 2015, Vydátnost srážek v Brodě nad Dyjí (2000-2014), Mikulov, 18.–19. 3. 2015, Rožnovský, J., Litschmann, T., (eds), ISBN 978-80-87577-46-2.

KOHUT M., ROŽNOVSKÝ J., KNOZOVÁ G., BRZEZINA J., 2015 a, Analysis of evaporation from water surface measured automatically by the EWM evaporimeter at the

weather station in ' Ust'1 nad Orlic'1 between 2001 and 2014, Contributions to Geophysics and Geodesy 45/4, 269–283.

KOHUT, M. – ROŽNOVSKÝ, J. –CHUCHMA, F. – HORA, P. 2015 b, Potenciální vláhová bilance jako ukazatel sucha v roce 2012, Mikulov, 18.–19. 3. 2015, Rožnovský, J., Litschmann, T., (eds), ISBN 978-80-87577-46-2.

KOHUT, M., – ROŽNOVSKÝ, J., – KNOZOVÁ, G., 2013, Měření výparu z vodní hladiny výparoměrem GGI-3000 v České republice, Práce a studie, 35. 95 s. ISBN 978-80-87577-16-5.

KRŠKA, K. – ŠAMAJ, F., 2001. Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku. Praha: Univerzita Karlova v Praze. Nakladatelství Karolinum. 568 s. ISBN 80-7184-951-0.

TOLASZ, R. A KOL., 2007. Atlas podnebí Česka, Praha, Olomouc: Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci, 255 s., ISBN 978-80-86690-26-1.

ZAHRADNÍČEK, P. – TRNKA, M. – BRÁZDIL, R. – MOŽNÝ, M. – ŠTĚPÁNEK, P. – HLAVINKA, P. – ŽALUD, Z. – MALÝ, A. – SEMERÁDOVÁ, D. – DOBROVOLNÝ, P. – DUBROVSKÝ, M. – ŘEZNÍČKOVÁ, L, 2014, The extreme drought episode of August 2011–May 2012 in the Czech Republic, Int. J. Climatol.

<http://www.climahom.eu>

Kontakt:

Dr. Gražyna Knozová
Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno
Kroftova 43, 616 67 Brno
451 421 034, grazyna.knozova@chmi.cz

Geografické sucho - jiný pohled na problematiku a její aplikaci v praxi

The geographical drought – a different view of the issue and its application in practice

Jaromír Kolečka¹, Kateřina Batelková², Aleš Ruda³

¹Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Ostrava; ²Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Brno; ³Fakulta regionálního rozvoje a mezinárodních studií, Mendelova univerzita v Brně

Abstrakt

Česká republika jako středoevropská země čelí riziku sucha především v posledních dvou desetiletích a sucho představuje důležitý předmět pozornosti řady projektů akademické i aplikačních pracovišť. Zaměřili jsme se na tzv. geografické sucho způsobené společným účinkem reprezentativních faktorů všech přírodních složek krajiny a využitím ploch člověkem. Použitím technologie GIS jsme provedli vzorový výzkum vyvolaný vlnou horka a deficitem srážek v létě roku 2013. Použití detailních komponentních dat a dat o využívání ploch v rozlišení 1:50 000, bylo odlišeno územní pěti tříd rizika sucha. Některé z nejvíce ohrožených území leží v nejúrodnější oblasti zemědělské půdy na jižní Moravě. Umělé zavlažování zde musí být naplánováno s cílem zajistit přijatelnou sklizeň ihned po spuštění vlny horka.

Klíčová slova: přírodní rizika, sucho, plánování využití ploch, scénář zmírňování dopadů

Abstract

Czech Republic as a Central-European country faces a risk of the drought extensively in the last two decades and the drought represents an important subject of attention of several projects at academic and applied institutes. We focused on the so called geographical drought caused by an integral impact of representative factors of all natural landscape components and human land utilizing. Using GIS technology, we have carried out an exemplar research ignited by the hot wave and the precipitation deficit in the 2013 summer. Using detail component and land use data at the resolution 1:50 000, five territorial classes of drought risk were distinguished. Some of the most endangered areas cover large territory in the most fertile agricultural land in Southern Moravia. The artificial irrigation has to be planned here to ensure acceptable harvest after hot wave has started.

Keywords: natural risk, drought, land utilizing planning, mitigation scenario

Úvod

Opakované epizody sucha postihují stále častěji v posledních dekáдах území České republiky. Podobnými zkušenostmi trpí také řada nedalekých evropských zemí v podobných přírodních podmínkách. Rostoucí aridita a na ni navazující proces desertifikace s mnoha dalšími doprovodnými negativními jevy však trápí především země s kontinentálním klimatem ve všech klimatických zónách. Trend aridizace, ať již dlouhodobé – klimatické, tak krátkodobé – sezónní má za následek jak změny přírodního prostředí, tak často těžké ekonomické a sociální důsledky. Aridizaci je přičítána částečně i současná mimořádná vlna migrace z ohrožených území (Cílek, 2015), kde obtížná situace v dostupnosti vodních zdrojů je jednou z příčin konfliktů a navazující existenční nejistoty vedoucí k hlubokým společenským a politickým turbulencím.

Obecně platí, že sucho naznačuje nedostatek vody v přírodě (Rožnovský, 1998). Sucho je také nedílnou součástí klimatických podmínek a vždy ovlivňuje lidskou společnost a její aktivity. Zemědělství je nejvíce postihováno dopady sucha a vzhledem k tomu, že zabezpečuje potravinové zdroje pro obyvatelstvo, výkyvy v produkci mohou mít nedozírné dopady na společnost. Brázdil a Kirchner (2007) za období sucha považují stav krajiny, představovaný relativně krátkodobou negativní odchylkou od normální vodní bilance, kde jde o období, kdy ztráty vody v krajině převažují nad příjmem vody.

Sucho není to náhodný nebo vzácný jev, ale normální opakující se situace ve vztahu ke kolísání klimatu. Ve formě přechodných povětrnostních anomálií se suchem setkáváme ve všech srážkových režimů klimatických pásem. To jej odlišuje od vyprahlosti, kterou považujeme za stálý znak klimatu (Munzar, 2004). Účinky sucha jsou kumulativní, protože intenzita sucha se zvyšuje s délkou periody. Ztráty způsobené suchem mohou dosáhnout značné velikosti a může trvat mnoho následujících let, než dojde k návratu do normálního režimu srážek.

Zcela obecná a všeobecně přijímaná definice sucha neexistuje (Blinka, 2002). Critchfield (1983) uvádí, že sucho je nedostatek vody, který nastane, když vlhkost půdy je nedostatečná k splnění požadavků potenciální evapotranspirace. Sucho lze rozdělit do tří kategorií: trvalé sucho aridního podnebí, pravidelné sezónní období sucha a sucha způsobené mimořádným nedostatkem srážek. Mnoho autorů provedlo typizaci sucha, např. podle jeho dominantního projevu: meteorologické sucho, zemědělské sucho, hydrologické sucho a socio-ekonomické

sucho (Brázdil, Kirchner, 2007). Je jasné, že mezi těmito čtyřmi typy existuje určitá časová posloupnost, byť jeho různé projevy se mohou vyskytnout současně. Na sucho zpravidla navazují další pro člověka nepříznivé jevy, například nadprůměrné teploty vzduchu, nižší relativní vlhkost, menší oblačnost, vyšší rychlost větru a delší doba trvání slunečního svitu, to vše zvyšuje evapotranspiraci (Heatchcote, 1999). Snižuje se efektivita fotosynteticky aktivního záření (Earl Davis, 2003). Trnka, et al. (2009) identifikuje dva hlavní procesy, které prohlubují sucho - desertifikaci a aridizaci. Desertifikace je degradací suchých, polosuchých a sub-vlhkých oblastí (Reynolds, Stafford-Smith, 2002). Aridizace je proces dlouhodobého vysychání.

K hodnocení intenzity sucha se používají četné indexy: The Palmer Drought Severity Index - PDSI (Palmer, 1965), Standardized Precipitation Index (McKee, et al, 1993), Standardized Runoff Index (SRI, Shukla, Wood, 2008), Surface Water Supply Index (Dezman, et al., 1983) a Vegetation Condition Index (VCI) aj. V případě, že se pracuje s velkým počtem parametrů při výpočtu indexů, dochází ke snížení jejich kvality. Někteří vědci (např. Hayes, 2003, Tsakiris a Vangelis, 2005) přesto doporučují pracovat raději s komplexními indexy, než pouze se srážkami.

Wilhite (Wilhite, et al., 2000) zmiňuje další indexy sucha. Období bez srážek jsou pak považovány za období, kdy po dobu nejméně deseti po sobě následujících dnů nebyly naměřeny žádné měřitelné srážky nebo jejich velmi malé množství, úhrn srážek, který přerušil období sucha a dosáhl maximálně 5 mm během 1-5 dnů.

Geografické sucho

Klimatické, resp. meteorologické faktory sucha jsou zjevným spouštěčem, který zahajuje další následné jevy, jež vedou k aktuálnímu nedostatku vláh v lokalitě. Dlouhodobý, či sezónní nedostatek srážek v lokalitě, deficit zásob podzemní nebo povrchové vody může být zesilován nebo zeslabován působením dalších faktorů geografického prostředí – přírodního i antropogenního původu. Geografickým suchem je pak vnímáno sucho, resp. náchylnost k suchu v dané lokalitě jako výsledek spolupůsobení všech geografických faktorů v dané lokalitě.

Vedle zavedených termínů dlouhodobého (klimatického) a sezónního (meteorologického) sucha je nutno rozlišovat i sucho, které je produktem rozmanitě kombinovaného účinku všech krajinných komponent, samozřejmě atmosférické faktory nevyjímaje. To znamená, že reálný

deficit vody v lokalitě může být zcela lokálně specificky zvyšován, nebo snižován jejich účinkem.

Základním diferenciačním faktorem vlastností a hodnot ostatních přírodních komponent krajiny a také faktorem výběru a rozmístění forem využívání území je reliéf. Zejména u morfometrických parametrů reliéfu lze dedukovat vliv na vláhový management lokality. Sklon, expozice, absolutní a relativní výška atd. působí na přerozdělení srážek, na odtokové a transpirační poměry. Dostupná geodata, technologie a poznatky dovolují (byť s jistou opatrností) modelovat disponibilní kvanta srážek s ohledem na dominantní směry přínosu vláhy, teplotní a evapotranspirační poměry, provětrávání reliéfu a náchylnost k tvorbě atmosférických inverzí s ohledem na tvářnost terénu. Kombinováním vypočtených hodnot přerozdělených srážek, teploty, odtoku a vsaku tentokrát s ohledem na charakter geologického podloží, půd a aktivního povrchu (krajinnou pokrývku) lze identifikovat plochy, kde přes výskyt klimatického nebo meteorologického sucha nehrozí sucho geografické, a naopak dobře lokalizovat plochy, kde takové sucho hrozí, i když srážkový deficit to nenaznačuje.

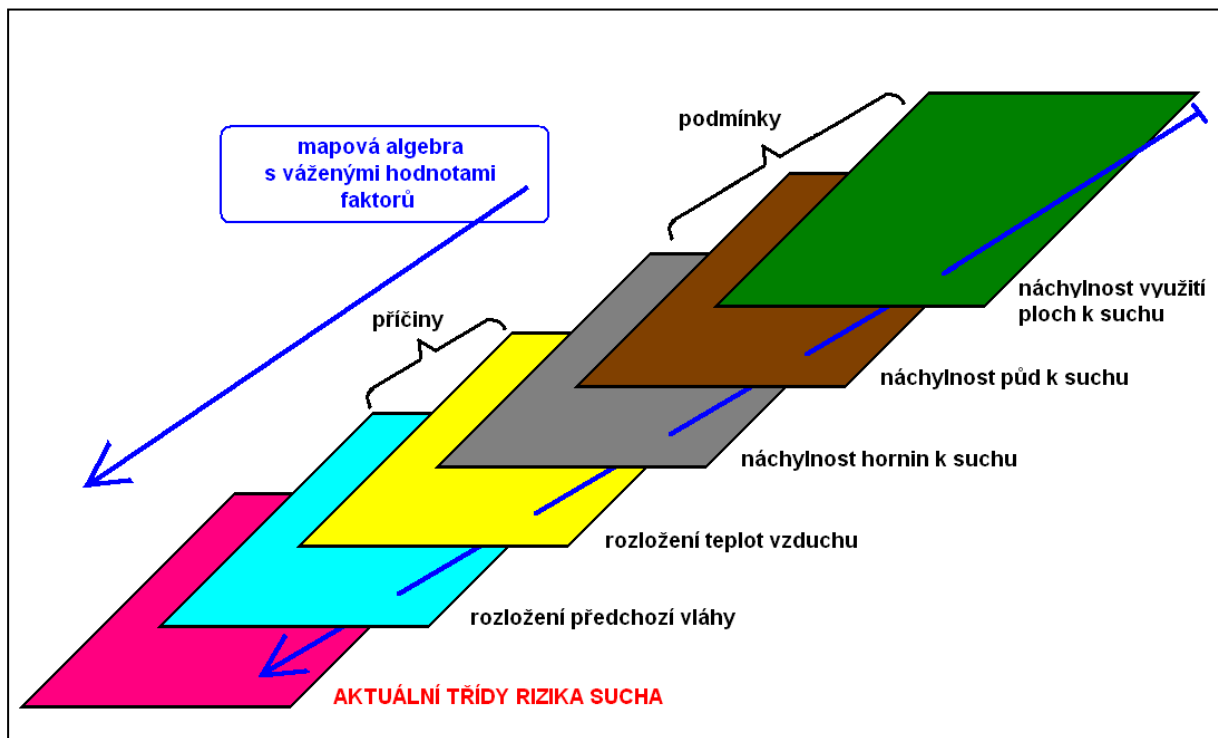
Materiál a metody

Metodika hodnocení rizika geografického sucha byla realizována na testovacím území na Hustopečsku v Jihomoravském kraji. Opírá se o použití digitálních mapových vrstev (v rozlišení odpovídajícím mapovému měřítku 1:50 000 a větším) a technologie GIS a výchozí hypotézy. Na vzniku sucha v konkrétní lokalitě se podílejí faktory zastupující všechny složky krajiny (geologické prostředí, půdy, reliéf, vodní objekty, vegetační či jiný kryt, teplo, vítr, srážky, lidské aktivity). Míra jejich účinku nemusí být stejná. Riziko sucha nastává, když po jistém odstupu od posledních srážek nastupuje situace vedoucí ke zrychlené ztrátě vody v území evaporací a evapotranspirací. Vzhledem ke značné rozmanitosti okolního prostředí, kde předpokládáme výskyt rizika geografického (aj.) sucha, nutno spíše než se změřenými či vypočtenými hodnotami počítat spíše s kategoriemi hodnot relevantních proměnných. Tak je možné se vyhnout nepřesným výsledkům z přesných údajů, byť cenou je vyšší nejistota detailu výpočtu (exaktnosti), zato však pokrytí území dostatečnou kvalitativní informací (v podobě míry rizika s ohledem na jednotlivé relevantní faktory a jejich komplex).

Rozmanitost kombinací charakteristik prostředí nutně vyžaduje četná zjednodušení, která lze sotva efektivně aplikovat v exaktních výpočtech, zato však jsou akceptovatelná při práci

s kategoriemi hodnot proměnných. Práce s kategoriemi je páteří součástí scénáře hodnocení rizika geografického sucha.

Základní datové zdroje – digitální mapové vrstvy – reprezentují zmiňované klíčové faktory se zásadním vlivem na vznik, výskyt a trvání sucha v konkrétní lokalitě (obr. 1). Dlouhodobé faktory sucha představují „podmínky“ vzniku sucha a jsou v území trvale přítomny. Ke klíčovým faktorům této skupiny patří: reliéf, geologické prostředí, půdní pokryv, vegetační či jiným kryt. Krátkodobé faktory jsou „příčinami“ sucha a jsou triggerem realizace skutečného sucha. Klíčovými příčinami sucha je absence disponibilní vláhy a vysoké teploty vzduchu, které ztráty vláhy akcelerují. Jde tedy o maximální denní teplotu vzduchu, srážkový úhrn za poslední srážkovou periodu před očekávaným obdobím sucha, od které se odvíjejí operativní zásoby vody v krajině (mimo hluboké podzemní vody).



Obr. 1: Základní digitální tematické datové vrstvy použité k hodnocení aktuálního rizika geografického sucha nad digitálním modelem reliéfu

Data o reliéfu jsou optimálně k dispozici v podobě digitálního modelu reliéfu (DMR), ať již vychází z vrstevnicové kresby nebo lidarovým měření. Data o geologickém prostředí jsou dostupná ve vektorové podobě (za úplatu) u České geologické služby. Půdní datové vrstvy distribuuje za úplatu VÚMOP v širokém spektru relevantních tematik (a také rozlišení),

případně je možné je získat od ÚHUL Brandýs nad Labem pro lesní půdy (v rozlišení 1:10 000). Vcelku spolehlivá data o vegetačním a jiném krytu, tedy o využití ploch, lze ve vysokém rozlišení (odpovídajícím měřítku 1:10 000) a vektorovém formátu odečíst z geodatabáze ZABAGED. Poskytuje je za úplatu ČÚZK Praha. V rozlišení 1:50 000 je lze bezplatně pořídit z geoportálu Cenie jako data CORINE LC 2006.

Teplotní a srážkové údaje jsou v zásadě k dispozici ze staniční sítě (srážky případně ze sumací radarových odrazů). Staniční data mají bodový charakter a prvním úkolem je jejich „rozvinutí“ do území. Za startovní údaj procedury lze vhodně využít nástup tropických teplot vzduchu, kdy maximální denní teplota překročí +30°C. Lze předpokládat rychlé ztráty disponibilní vláhly v území v případě dalšího trvání takových teplot. Za jiný startovní údaj procedury lze označit přítomnost vyschlých půd s prakticky nulovým výparem, když předtím z nasycených půd výpar činil 10-15 mm/den, z nenasyčených 3-4 mm/den (Tlapák, Legát, Šálek, 1992). Jiným zdrojem sumárních srážkových údajů jsou radarová data ČHMÚ.

Pro práci s takto rozmanitými daty je nutná jejich všestranná integrace (formát, zobrazení, souřadnice). Klíčovým je převod do rastrové podoby. V daném případě byla použita konverze vektorových dat na rastr s průmětem pixelu 20 x 20 m na zemském povrchu.

Přípravná fáze procedury odhadu rizika geografického sucha zahrnuje:

1. Účelové hodnocení geologického prostředí z hlediska sucha (rozhodující z tohoto hlediska byla textura materiálů – propustnost hornin a zemin pro vodu). Datová vrstva geologické mapy byla s využitím metody vícevrcholového rozdělení reklasifikována do pěti kategorií rizika sucha (1 – nejvyšší, ..., 5 – nejnižší riziko).
2. Podobně bylo naloženo s půdními mapami (půdní typ a druh, lze ovšem využít specializované půdní mapové deriváty zohledňující vláhové poměry půd: Trvale a sezónně zamokřené půdy, Hydrologické skupiny půd)
3. Využití území podle náchylnosti k vysychání bylo odvozeno a hodnoceno z dat geodatabáze CORINE Land cover 2006, kdy byla s ohledem na evapotranspirační charakter vegetačního krytu a antropogenního pokryvu ke každému typu využití oblasti přiřazena hodnota indikující schopnost pokryvu zadržovat vodu v krajině. Kvantitativní stupnice (0 – žádná a 255 nejvyšší možná) byla zvolena na základě doporučeného číselného rozptylu pro fuzzy standardizaci dat (Eastman, 2009). Data byla dále pro přesnější reklasifikaci standardizována fuzzy metodou Large v programu

ArcGIS 10.1 a obdobně jako u předchozích faktorů reklasifikována do pěti tříd rizika výskytu sucha.

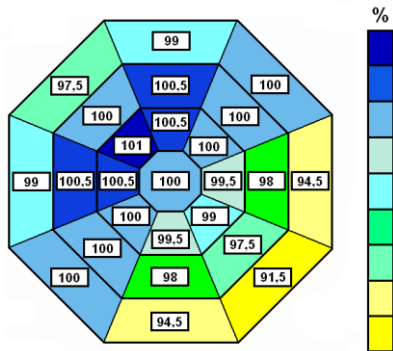
4. Dále došlo k vyjmutí ze zpracování těch částí území, které představují zábrany (constrains). Ty mohou v problematice prostorového rozhodování celkový výsledek zpřesnit a zamezit tak nepřesnostem v případě použití reklasifikačního algoritmu. V našem případě šlo jak o stálé vodní plochy, tak o území přiléhající k vodním tokům, které díky své přítomnosti ovlivňují vlhkost prostředí v přilehlé oblasti. V případě vodních ploch šlo jak o přírodní, tak antropogenní vodní plochy. Kolem vodních toků vymezilo pásmo indikující rozsah území od vodního toku omezeného relativní výškou 5 m. Tato výška byla modelově stanovena a vymezuje tak paušálně definované území vzdálené od vodního toku, které je kapilárním zdvihem, infiltrací či přirozeným průsakem proudící vody ovlivněno a nelze v něm výskyt sucha s největší pravděpodobností očekávat. Identifikace těchto území byla provedena s použitím souborů nástrojů nadstavby *Spatial Analyst* v *ArcGIS 10.1* nástrojem *Vertical buffer*).

Integrací kategorií rizika geografického sucha (z hlediska charakteru geologického prostředí, půdního pokryvu, využití ploch a interakce s vodními objekty) byla získána datová vrstva „podmínek“ geografického sucha, jakožto časově relativně stabilní prostorová informace.

Operační fáze procedury odhadu rizika geografického sucha zahrnuje:

1. Rozvinutí (extrapolaci) staničních měření teplot do území. K tomuto účelu byla využita data ze stanic uvnitř zájmového území (mapový list ZM ČR 50 Hustopeče) a jeho nejbližšího sousedství. Metodickou podporu poskytla procedura původně vyvinutá na VŠZ (Vašků, 1971), později zdokonalená pro použití v technologii GIS (Klimánek, 2008). Spočívá v přepočtu staničních měření podle nadmořské výšky, sklonu a expozice svahů nad pozadím rastrového DMR. Přepočet je zahájen tehdy, když maximální denní teplota vzduchu na alespoň jedné stanici v zájmovém území a jeho nejbližším okolí překročí +30°C. Využitím metody vícevrcholového rozdělení pixelů maximálních denních teplot byla zjištěná data reklasifikována do pěti kategorií rizika sucha (1 – nejvyšší, ..., 5 – nejnižší riziko).
2. Jiným postupem, který se osvědčil při hodnocení bioklimatických poměrů (Kolejka, Kretek, 2001), došlo k extrapolaci staničních hodnot předchozích srážek podle

nadmořské výšky, expozice, sklonu svahu a převládajícího směru větru při srážkách (obr. 2). Zde bylo zapotřebí přistoupit ke zjednodušenému přístupu, neboť je zřejmé,

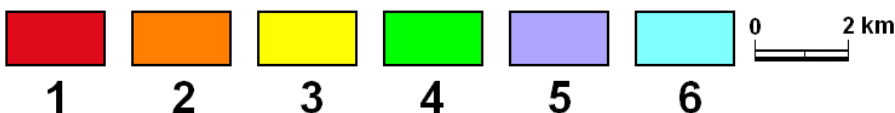
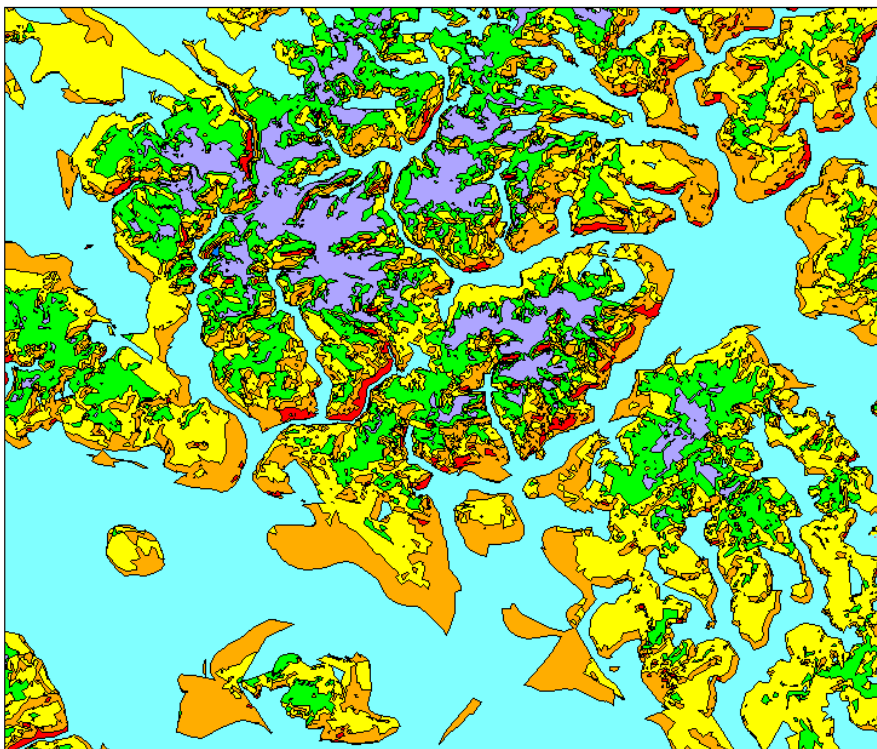


že především vítr prodělává v návaznosti na reliéf četné lokální odchylky ve směru a rychlosti ve srovnání se stanicemi ležícími přímo v zájmovém území. Právě v tomto přepočtu je momentálně považováno nejslabší místo postupu a předpokládá se extrapolaci na reliéf provést podle záznamů meteorologického radaru. Také zde při využití metody vícevrcholového došlo k

rozdělení pixelů s úhrny předchozích srážek do pěti kategorií rizika sucha (1 – nejvyšší, ..., 5 – nejnižší riziko).

Obr. 2: Příklad prostorové matrice zohledňující 8 expozičních kategorií, 5 sklonových kategorií a SZ směr větru pro extrapolaci srážkového úhrnu přepočteného podle disponibilních srážkových dat stanic na nadmořskou výšku

Výsledky



Kombinováním teplotních a srážkových údajů nad DMR bylo odvozeno 5 kategorií rizika sucha jakožto „příčin“ geografického sucha. Provázáním s vrstvou „podmínek“ geografického sucha byla získána vrstva aktuálního rizika. Pro výsledné modelování a mapovou vizualizaci (obr. 3) byla využita metoda WLC, která je

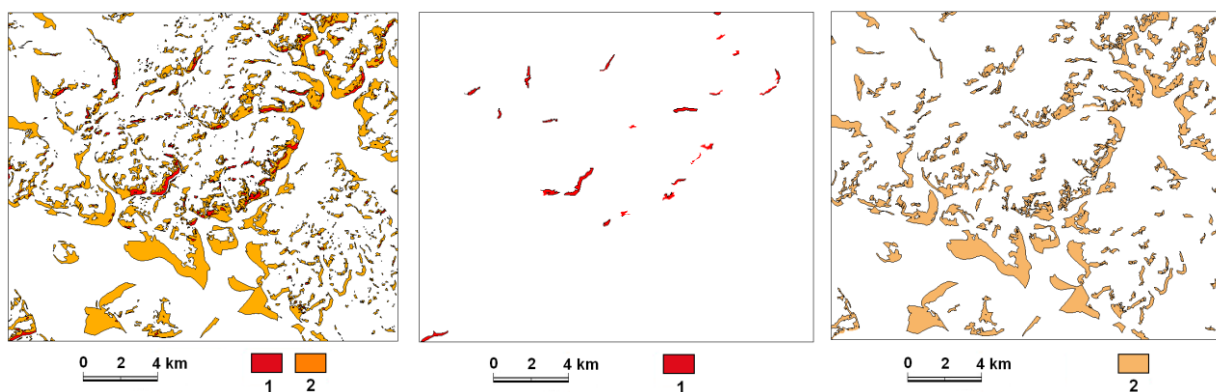
založena na součtu bodových hodnot faktorů, jejichž různý podíl na výsledném vzniku sucha byl odlišen stanovením preferenčních vah. Ty byly vypočteny na základě matice Saatyho párového porovnávání v programovém doplňku AHP 1.1. Výsledný obraz byl vytvořen s pomocí nástroje *Weigh-ted Sum*, kterým disponuje program ArcGIS 10.1 v nadstavbě *Spatial Analyst*.

Obr. 3: Kategorie rizika vzniku geografického sucha na území Hustopečska v první den tropických teplot (1 – nejvyšší, ..., 5 – nejnižší riziko, 6 - žádné)

Diskuze

Sestavená metoda hodnocení rizika geografického sucha se aplikuje za situace, kdy je splněna podmínka předchozího alespoň několikadenního bezsrážkového období (s možností max. 5 mm srážek celkem v tomto období) a začíná nástup extrémních teplot (max. denní teplota vzduchu 30°C a více). Tyto podmínky vcelku bez potřeby dalšího měření navozují situaci vysoké evapotranspirace za minimální dostupné vláhy. Robustní metodika je použitelná v libovolném území mírného klimatického pásu a opírá o dobře dostupná data. Ta reprezentují jak stabilní podmínky zájmového území (reliéf, geologické prostředí, půdy, land use), tak časově proměnlivé charakteristiky triggeru (srážky, teploty vzduchu).

Pozornost uživatele výsledku se pochopitelně soustřeďuje na dvě nejvyšší kategorie rizika geografického sucha (obr. 4). Území s těmito třídami rizika budou vyžadovat aplikaci relevantních opatření v územním managementu. Z hospodářského hlediska je významná velikost rizika a velikost ohrožené plochy.



Obr. 4: Rozmístění ploch se dvěma nejvyššími stupni rizika sucha na území Hustopečska pro bezsrážkové období tropických dní v létě 2013. Třídy rizika: 1 – nejvyšší, 2 – vysoké (vlevo –

plochy obou kategorií rizika všech zjištěných velikostí, uprostřed plochy s nejvyšším rizikem a rozlohami nad 5 ha, vpravo plochy sekundárního rizika s rozlohami nad 5 ha)

Riziková území, resp. lokality lze v zájmovém území Hustopečska rozdělit do několika skupin:

- a) Velká rovinatá území v sousedství údolních den v malé nadmořské výšce
- b) Úzká rovinatá území v sousedství údolních den v malé nadmořské výšce
- c) Ukloněná území na úpatích svahů a na svazích
- d) Drobné lokality v rovinatém terénu
- e) Drobné lokality v členitém terénu

Tyto parametry výrazně usměřují výběr potřebných opatření. Drobná území v členitém terénu (obecně i jinde) vyžadují stabilizaci trvalou vegetací, ať již přírodě blízkou (les, křoviny, stepní lada), nebo kulturní (ovocný sad, vinohrad). Zpravidla se takové lokality hodí pro obytnou nebo rekreační zástavbu.

U drobných lokalit není zapotřebí uvažovat o operativních krátkodobých opatřeních, neboť jejich vlastnosti je předurčují k opakovanému výskytu sucha vzhledem k jejich identifikačním parametrům. Jejich hospodářský význam je nižší jak vzhledem k menším rozlohám jednotlivých případů, tak zpravidla poloze na příkrých svazích. Stabilizace trvalou vegetací je mnohoúčelová: přispěje jak ke zlepšení vlhkostních podmínek snížením výparu díky ochranné cloně vegetace, tak omezí rozvoj eroze půdy.

Daleko plošně významnější jsou lokality s vysokým (sekundárním) rizikem geografického sucha. K nim patří rozsáhlé rovinaté, úpatní i svažité plochy (obr. 4). Největší plochy o rozloze ve stovkách hektarů vykazují polohu v rovinatém terénu. V těchto lokalitách se vyplatí vybudování a (jsou-li) okamžité použití umělých závlahových systémů. Je třeba podotknout, že při pokračujících tropických teplotách se plocha této třídy rizika může rozšiřovat do areálů doposud průměrného rizika, ba část této třídy rizika může přejít do nejvyšší třídy rizika, kdy neodkladné nasazení závlah bude nezbytnou podmínkou záchrany úrody na polích.

Závěr

Geografické sucho je nepochybně jedním z limitujících faktorů efektivního využívání území. Jeho opakovaný výskyt má zásadní dopady na ekonomiku dotčeného venkovského území. Jestliže výše demonstrovaná metodika operativního hodnocení rizika vede k identifikaci nejvíce ohrožených ploch, má osoba odpovědná za plánování využití ploch k dispozici klíčovou prostorově lokalizovanou informaci podporující její rozhodování o volbě a nasazení vhodného zmírňujícího opatření. Opakované sucho v ještě větším rozsahu, než které v tomto území nastalo v letních měsících roku 2015, jen podporuje myšlenku vytvoření celoplošných (regionálních, národních) systémů nikoliv monitoringu, ale výstrahy před nastávajícím rizikem geografického sucha. Takový postup pomůže odhalit rovněž plochy, které se sice z meteorologického či hydrologického rizika mohou jevit jako výrazně rizikové, avšak z geografického hlediska není důvodu k poplachu, neboť ostatní přírodní složky území dopady hydrometeorologických podmínek tlumí. Naopak je tomu tam, kde reliéf, půdy a geologické prostředí negativní efekt celkového vláhového deficitu ještě zesilují, ačkoliv by jinak tyto plochy zůstaly stranou pozornosti, a takové lokality se stávají kritickými, ačkoliv hydrometeorologické hodnocení sucha by takovou skutečnost třeba nenaznačovalo.

Relativně vysoká přesnost lokalizace ploch s konkrétní třídou rizika geografického sucha samozřejmě odpovídá kvalitě podkladových dat. Jejich trvale rostoucí kvalita díky upřesňovanému mapování bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ), podrobnějšímu geologickému mapování (až do měřítka 1:10 000) a nasazení digitálního modelu terénu na bázi lidarových dat (DMT 4. generace v ČR), ale nakonec i dokonalejší evidenci využití ploch (např. v nejnovější verzi geodatabáze ZABAGED) povede jak k přesnějšímu stanovení míry rizika geografického sucha, tak k přesnější lokalizaci zjištěných tříd ohrožení.

Literatura

BLINKA, P. (2002). Metoda hodnocení sucha. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference. Lednice na Moravě, s. 32-44.

BRÁZDIL, R., KIRCHNER, K. (2007). Vybrané přírodní extrémny a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku. Brno, Masarykova univerzita, 432 s.

CÍLEK, V. (2015): Jsme na prahu třetí velké muslimské migrace? *Vesmír*, roč. 95, č. 5, s. 300-305.

CRUTCHFIELD, H. J. (1983) *General Climatology*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 464 s.

- DEZMAN, L. E., SHAFER, B. A., SIMPSON, H. D., DANIELSON, J. A. (1983). Development of a Surface Water Supply Index - A Drought Severity Indicator for Colorado. Proc., International Symposium on Hydrometeorology, Bethesda, American Water Resources Association, s. 337-341.
- EARL H., DAVIS R. F. (2003). Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*, roč. 95, s. 688–696.
- EASTMAN, J. R. (2009): IDRISI 16: The Taiga Edition, Worcester, Clark University.
- HAYES, M. J. (2003). Drought indices. U. S. National Drought Mitigation Center – NDMC [online], accessed [27. 8. 2015], available from <http://enso.unl.edu/ndme/enigma/indices.htm#spi>
- HEATHCOTE, R. L. (1999). Drought, Impacts and Management. In: *Encyclopaedia of Environmental Science*. Dordrecht, Kluwer Academic Press, s. 137–139.
- KLIMÁNEK, M. (2008): Landscape Modelling in GIS. Map algebra: Map of potential average annual air temperatures. Presentace Power Point, Brno, Mendelova univerzita, 22 s.
- KOLEJKA, J., KRETEK, M. (2001). Klimatické změny a ochrana přírody. GIS jako účelný nástroj pro hodnocení rizik. *GEOinfo*, roč. 8, č. 1, s. 28-31.
- MCKEE, T. B., DOESKEN, N. J., KLEIST, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: *Preprints, 8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, s. 179-184.
- MUNZAR, J. (2004). Extreme droughts in Central Europe in the preinstrumental period. *Moravian geographical reports*. roč. 12, s. 13-23
- PALMER, W. C. (1965). Meteorological drought, Research paper No. 45, Washington, D. C, U. S. Weather Bureau, 65 s.
- REYNOLDS, J. F., STAFFORD SMITH, D. M. (2002). Do humans cause deserts? In: *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* (ed. J. F. Reynolds and D. M. Stafford Smith). Berlin, Dahlem University. Press, s. 1–21.
- ROŽNOVSKÝ, J. (1998). Dynamics of occurrence of dry periods in the region of south Moravia and possible reduction of the effect of drought in agriculture. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae Mendeliana Brunensis*, roč. 46, s. 63-68.
- SHUKLA, S., WOOD, A. W. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical research letters*, roč. 35, s. 1-7.

TLAPÁK, V., LEGÁT, V., ŠÁLEK, J. (1992): Voda v zemědělské krajině. Praha, Brázda, 318 s.

TRNKA, M., KYSELÝ, J., MOŽNÝ, M., DUBROVSKÝ, M. (2009). Changes in central-european soil-moisture availability and circulation patterns in 1881-2005. *International Journal of Climatology*, roč. 29, s. 655–672.

TSAKIRIS, G., VANGELIS, H. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, roč. 9, s. 3–11.

VAŠKŮ, Z. (1971): Metodika vyhodnocení potřeby odvodnění a závlah. In: Ambros Z. (ed.) *Praktikum geobiocenologie*, Brno, VŠZ, 98 s.

WILHITE, D. A., HAYES, M., KNUTSON, C., SMITH, K. H. (2000). Planning for drought: Moving from crisis to risk management. *Journal of the American Water Resources Association*, roč. 36, s. 697-710.

Poděkování

Prezentované výsledky jsou součástí řešení mezinárodního česko-řeckého projektu „Hodnocení rizika sucha geoinformačními technologiemi“ č. 7AMB12GR017 podporovaného MŠMT Praha, ČR a Hellenic Republic, Athens v letech 2012–2014 a projektu „Scénáře podpory krizového řízení geoinformačními technologiemi“ (VG20132015106) podporovaného Ministerstvem vnitra ČR v rámci 3. veřejné soutěže Programu bezpečnostního výzkumu České republiky v letech 2013–2015 (BV II/2-VS).

Kontakt:

doc. RNDr. Jaromír Kolejka, CSc.

Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Ostrava, oddělení environmentální geografie v Brně

Drobného 28, 60200 Brno

Telefon: 545422735, e-mail: kolejka@geonika.cz

Vplyv výskytu sucha na výnosy poľnohospodárskych plodín na Podunajskej nížine

Assessment of drought impact on crop yields on the Danubian Lowland

Lívia Labudová^{1,2}, Martin Labuda¹, Jozef Takáč³

¹*Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava*

²*Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava*

³*Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava*

Abstrakt

Sucho patrí k hlavným faktorom, ktoré ovplyvňujú úrody poľnohospodárskych plodín. Preto sa náš príspevok zameriava na hodnotenie výskytu a intenzity suchých období, ako aj ich vplyvu na výnosy plodín na Podunajskej nížine. Údaje boli spracovávané na úrovni okresov a ich dĺžka (obdobie 1996 - 2013) bola hlavným limitujúcim faktorom pre analýzu. Štandardizované výnosy šiestich plodín (pšenica ozimná, jačmeň jarný, kukurica, repka olejná, slnečnica a cukrová repa) boli korelované so štandardizovaným zrážkovým indexom (SPI) a štandardizovaným zrážkovým a evapotranspiračným indexom (SPEI). Väčšina plodín vykazuje vyššiu mieru korelácie s SPEI než s SPI. Najvyššia korelácia bola zaznamenaná medzi výnosmi kukurice a 3-mesačným SPEI v auguste, reprezentujúcim zrážkové a evapotranspiračné podmienky v lete.

Kľúčové slová: SPI, SPEI, úrody, potenciálna evapotranspirácia

Abstract

Drought belongs among the main impact factors considering crop yields. Therefore, this paper is focused on the assessment of drought occurrence and intensity as well as on its impact on crop yields on the Danubian lowland with the spatial resolution on district level. Yield data were the main limitation of the study, which resulted in the limited length of the assessed period (1996 – 2013). The standardized yields of six crops (winter wheat, spring barley, maize, oilseed rape, sunflower and sugar beet) were correlated with standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation and evapotranspiration index (SPEI). Most crops

show a higher correlation with the SPEI than with the SPI. The highest correlation can be seen between maize and the 3-monthly SPEI in August representing summer precipitation and potential evapotranspiration conditions.

Keywords: SPI, SPEI, yields, potential evapotranspiration

Úvod

V súvislosti s meniacou sa klímou sa stalo sucho globálnym problémom, keďže potreba zásobovania rastúcej ľudskej populácie kvalitnými a zdravými potravinami je veľmi vysoká. V posledných desaťročiach bolo vyvinutého veľa úsilia na nájdenie takých metód, ktoré by boli vhodné pre monitoring sucha a jeho praktické využitie (Svoboda et al., 2015). Jednou z najviac ovplyvnených ľudských aktivít je práve poľnohospodárstvo. Preto sa venuje stále väčšia pozornosť hodnoteniu vplyvu sucha na poľnohospodárske výnosy.

Potop (2011) hodnotila závažnosť sucha a jej vplyv na kukuricu v Moldavsku. Analýza ukázala, že SPEI dosahuje vyššiu koreláciu s jej úrodami než SPI. Suché obdobia, ktoré sa vyskytli v mesiacoch máj, júl a august sa najviac podieľali na stratách na úrode v tomto regióne. V nasledujúcich rokoch boli podobné štúdie urobené aj pre Českú republiku (Potop et al., 2012; Kolář et al., 2013; Potopová et al., 2015 a iné). Potopová et al. (2012) preukázali, že suché, resp. vlhké obdobia najviac ovplyvňujú zeleninu počas jej výsevu a tri týždne pred zberom. Taktiež zistili, že v období 20. storočia a začiatku 21. storočia prevažovali zimné suché obdobia približne do 60 – tých rokov, zatiaľ, čo jarné a letné suché epizódy prevažovali vo zvyšku skúmaného obdobia. Kolář et al. (2013) sa zamerali na dve najvýznamnejšie obilniny v Českej republike, jačmeň jarný a pšenicu ozimnú. Veľmi vysoké až extrémne straty, obzvlášť u jačmeňa, boli pozorované v roku 2000. Pre tento rok boli charakteristické vysoké teploty vzduchu, nízke úhrny zrážok, a tým záporné hodnoty Palmerovho indexu závažnosti sucha (PDSI) počas všetkých mesiacov. Podobné podmienky sa vyskytli v rokoch 1993 a 2007. Najnovšia štúdia autorov Potopová et al. (2015) hodnotila vplyv sucha na 11 plodín v období 1961 – 2012 v Českej republike na národnej úrovni. Najvyššia korelácia medzi suchom a výnosmi bola zistená pri obilninách, pokiaľ hovoríme o druhu plodiny, a v mesiacoch apríl až jún pri uvažovaní času výskytu. Medzi obilninami sú najzraniteľnejšími jarné obilniny, keďže ozimné druhy sa so suchom vedia vyrovnáť lepšie. Najvyššie straty boli zaznamenané v rokoch 2000, 2003, 2007 a 2012 v dôsledku veľmi suchých jarných mesiacov.

Hodnotenie výskytu sucha na Slovensku použitím klimatických a agroklimatických indexov identifikovalo dva veľmi suché regióny, kde deficit vody presahuje 250 mm za rok (Šiška a Takáč, 2009). Sú nimi Podunajská a Východoslovenská nížina, ktoré sú zároveň dvomi najvýznamnejšími regiónmi z hľadiska poľnohospodárskej produkcie na Slovensku. Navyše, Eitzinger et al. (2013) konštatovali, že produkčný potenciál Podunajskej nížiny bude v budúcnosti limitovaný klesajúcou dostupnosťou vody pre rastliny a vlnami horúčav. Z tohto dôvodu má hodnotenie vplyvu sucha na výnosy plodín v tejto oblasti vysoký význam. Cieľom tohto príspevku je preto hodnotenie tohto vplyvu na vybrané poľnohospodárske plodiny. Použili sme dva svetovo etablované indexy štandardizovaný zrážkový index (SPI) a štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index (SPEI), ktorých hodnoty sme korelovali s výnosmi šiestich vybraných plodín na Podunajskej nížine. Labudová et al. (2015) poukázali na zmeny v priemernej teplote vzduchu a úhrnoch zrážok na Slovensku v období 1931 – 2014. Štatistický významný nárast priemernej teploty vzduchu vedie aj k vyššej potenciálnej evapotranspirácii. Z tohto dôvodu sme porovnávali výsledky korelácií oboch indexov so štandardizovanými výnosmi aj medzi sebou, aby sme zistili, ktorý z nich je vhodnejší pre monitoring sucha za cieľom včasného varovania.

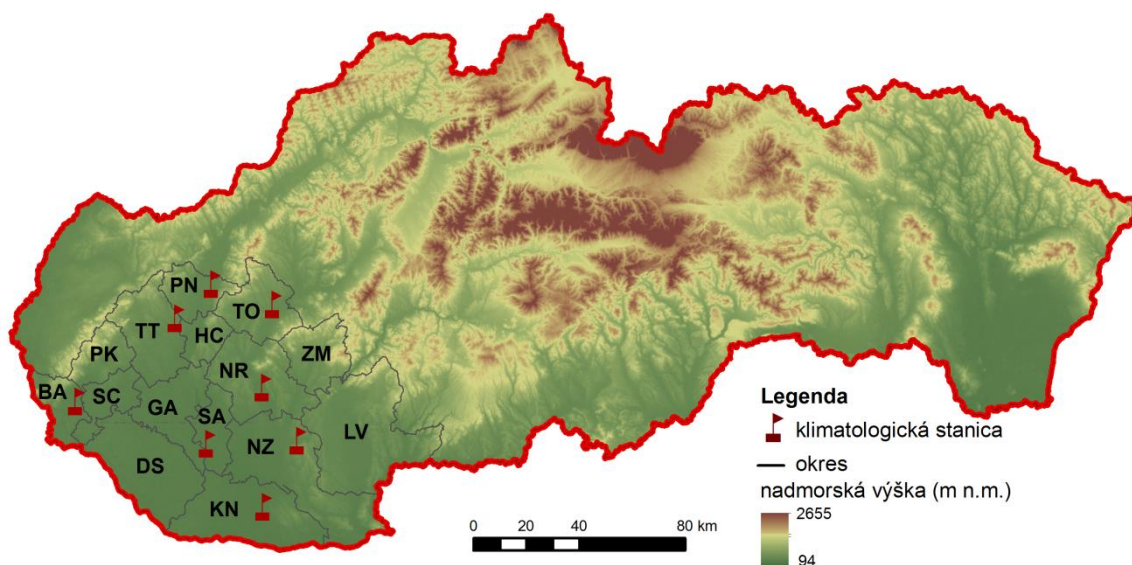
Materiál a metódy

Pre výpočet indexov sucha bolo vybraných 8 klimatologických staníc na Podunajskej nížine (Obr. 1) s časovým radom 1961 – 2013. Rozmiestnenie staníc je rovnomerné a postačuje na zachytenie regionálnych odlišností. Údaje boli otestované na prítomnosť nehomogenít pomocou programu MASHv3.03 (Szentimery, 2003), ktoré boli pomocou tohto programu následne odstránené.

Podunajská nížina je lokalizovaná v zrážkovom tieni Karpát pri cyklonálnych situáciách prichádzajúcich zo západu, severozápadu a severu. Na druhej strane, je návetrím pre vzduchové hmoty smerujúce z juhozápadu až juhovýchodu. Podunajská nížina leží v teplej a suchej klimatickej oblasti s priemernou ročnou teplotou vzduchu od 9 °C do 10,5 °C v období 1961 - 2010 a priemerným ročným úhrnom zrážok od 500 mm do 550 mm v období 1981 - 2010. Väčšina zrážok počas roka spadne v mesiacoch máj až júl, ktoré sú v porovnaní so zimnými mesiacmi bohaté na zrážky. Zima je mierna s priemernou mesačnou teplotou vzduchu v januári medzi -1 °C a -2 °C. Naopak, priemerné júlové teploty sa pohybujú v intervale od 19 °C do 21 °C (Šťastný et al., 2016). Hlavnými pôdnymi typmi sú černoze

(47 %), hnedozeme (22 %), fluvizeme (15 %) a čiernice (14 %). Dominantným pôdnym druhom je hlinitá pôda (72 %). Celková výmera poľnohospodárskej pôdy je 672 000 ha (Takáč et al., 2015). Vzhľadom na monitoring podzemných vôd prevádzkovaný Slovenským hydrometeorologickým ústavom (SHMÚ), hladina pozemnej vody je asi na tretine Žitného ostrova a na záplavových územiach vyššie ako 1,5 m.

Údaje o výnosoch šiestich poľnohospodárskych plodín (pšenica ozimná, jačmeň jarný, kukurica, repka olejná, slnečnica a cukrová repa) na úrovni okresov bolo upravených do podoby štandardizovaných výnosových reziduí (SYRS) podľa metodiky autorov Potopová et al. (2015). Pôvodné údaje boli poskytnuté Štatistickým úradom Slovenskej republiky (2015). Analyzované bolo obdobie 1996 – 2013, pričom jeho dĺžka vyplývala z viacerých dôvodov. Hlavným z nich bol fakt, že administratívne členenie Slovenska bolo pred rokom 1996 úplne odlišné. Niektoré z okresov vtedy neexistovali a boli len súčasťou iných okresov. Preto nebolo možné získať údaje pre okresy, ktoré poznáme dnes. Ďalším problémom bol prístup k dátam, keďže niektoré údaje sú vedené ako dôverné, príp. chýbajú úplne. Z tohto dôvodu boli vylúčené okresy Bratislava, Komárno a Pezinok z analýzy výnosov cukrovej repy a okresy Bratislava, Hlohovec, Nitra, Pezinok, Piešťany, Šaľa, Topoľčany a Zlaté Moravce z hodnotenia pšenice jarnej. SYRS boli rozdelené do piatich kategórií (Tab. 2), aby lepšie vyjadrovali mieru strát.



Obrázok 1 Lokalizácia okresov na Podunajskej nížine a rozmiestnenie klimatologických staníc

Tabuľka 1 Zoznam okresov a ich skratky

okres	skratka	okres	skratka
Bratislava	BA	Nitra	NR
Dunajská Streda	DS	Pezinok	PK
Galanta	GA	Šaľa	SA
Hlohovec	HC	Topoľčany	TO
Komárno	KN	Zlaté Moravce	ZM

Vzhľadom k údajom od Hydromeliorácie š.p., ktoré sú jediným poskytovateľom závlahových systémov na Slovensku, zavlažované územie pokrývalo v roku 1990 asi 316 000 ha z celkovej rozlohy krajiny, pričom bolo naň spotrebovaných 297 mil. m³ vody. Väčšina tohto územia leží na Podunajskej a Východoslovenskej nížine. V 90 – tých rokoch minulého storočia bolo zavlažovanie na Slovensku obmedzené a celková zavlažovaná plocha zaberala v roku 2010 len 8 000 ha so spotrebou vody 6 mil. m³. V posledných piatich rokoch sa výmera zavlažovanej pôdy pohybuje v intervale od 14 000 do 25 000 ha a spotreba vody sa pohybuje od 6 do 21 mil. m³. Je to veľmi nízke číslo na to, aby sme zohľadňovali vplyv závlah na hodnotené plodínové výnosy, najmä ak si uvedomíme, že len časť tohto územia leží v našom záujmovom území. Závlahy sú pritom využívané najmä pri zelenine, kukurici a cukrovej repe. Vplyv sucha na úrody plodín bol hodnotený pomocou Spearmanovej korelačnej metódy a miera štatistickej významnosti bola hodnotená pomocou F-testu na úrovni významnosti $\alpha = 0.05$. Menšie okresy, ako Bratislava, Pezinok a Senec, majú jednu spoločnú reprezentatívnu klimatologickú stanicu. Väčšie okresy, napr. Nové Zámky, môžu byť reprezentované aj dvomi stanicami. V takom prípade priemer ich mesačných úhrnov zrážok a súm potenciálnej evapotranspirácie bol využitý pre výpočet indexov sucha.

Vybranými indexmi sucha boli štandardizovaný zrážkový index (SPI; McKee et al., 1993) a štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index (SPEI; Vicente-Serrano et al., 2010). Nakoľko údaje o potenciálnej evapotranspirácii nie sú dostupné, bolo potrebné ich vypočítať z dostupných údajov. Pre tento účel bola vybraná Penman-Montheitova metóda. Táto metóda je všeobecne odporúčaná Organizáciou pre výživu a poľnohospodárstvo (FAO) a Svetovou meteorologickou organizáciou (WMO). Práve SPEI by mal na rozdiel od SPI reflektovať aj vplyv klimatickej zmeny na rast priemernej teploty vzduchu, ktorá sa prejavuje aj rastom potenciálnej evapotranspirácie. Oba indexy boli počítané pre tri rôzne časové kroky: jedno-, dvoj- a trojmesačný. Čím dlhší je časový krok, tým nižší je vplyv jednotlivých mesiacov. Na

základe hodnôt oboch indexov sme kategorizovali mesiace do štyroch kategórií (Tab. 2). Výsledky indexov sme navzájom porovnali, aby sme zistili, ktorý z nich lepšie vyjadruje vplyv suchých období na výnosy plodín.

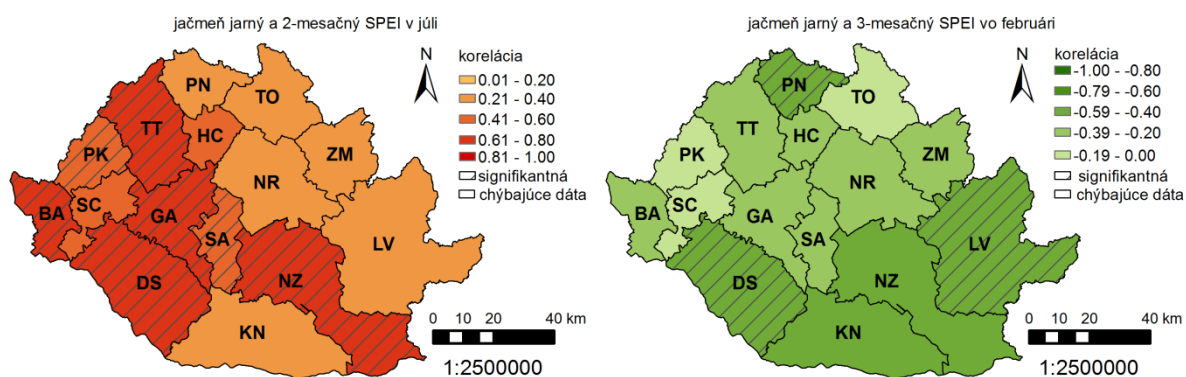
Tabuľka 2 Kategórie sucha podľa SPI a SPEI a kategórie strát na výnosoch podľa SYRS

SYRS	SYRS kategórie	SPEI/SPI	kategórie mesiacov
0 to -0.49	normálna úroda	0 to -0.99	normálny
-0.5 to -0.99	nízke straty	-1.0 to -1.49	mierne suchý
-1.0 to -1.49	vysoké straty	-1.5 to -1.99	veľmi suchý
-1.5 to -1.99	veľmi vysoké straty	≤-2.0	extrémne suchý
≤-2.0	extrémne straty		

Výsledky

Jačmeň jarný

Vysoká, štatisticky významná korelácia bola dosiahnutá medzi štandardizovanými výnosmi jačmeňa jarného s indexom SPEI-1 v mesiaci jún, avšak predovšetkým v západnej časti Podunajskej nížiny (PN). Korelácia v jarnom období nie je významná, s výnimkou apríla v okresoch Dunajská Streda a Senec. Rovnaké výsledky boli zaznamenané pri indexe SPI-1. Počet mesiacov a okresov, v ktorých korelácie dosahujú vysoké hodnoty a sú významné, sa zvyšuje s časovou škálou použitých indikátorov. Na jar a začiatkom leta dosahujú hodnoty SPEI-2 najčastejšie významné hodnoty v západnej časti Podunajskej nížiny, ale význam indexu SPEI-2 v mesiaci júl stúpa i v iných okresoch (Obr. 2). Rozdiel medzi SPEI-2 a SPI-2 je významný. Korelačné koeficienty SPI-2 sú nižšie a väčšinou štatisticky nevýznamné. Plošne a sezónne je význam SPEI-2 vyšší a dosahuje významné hodnoty korelačných koeficientov medzi 0,5 a 0,67 v júli v polovici okresov ležiacich na Podunajskej nížine. To znamená, že evapotranspirácia zohráva dôležitú úlohu počas vyplňania zŕn u jarného jačmeňa a nepostačuje to k tomu, aby sme uvažovali len nad deficitom/nadbytkom zrážok. Ešte vyššie významné korelácie boli zaznamenané v mesiacoch máj a júl pri využití indexu SPEI-3. V tomto časovom rozpätí je aj zreteľný význam zimných zrážok počas obdobia siatia a na začiatku vegetačného obdobia jarného jačmeňa (Obr. 2). Najextrémnejším rokom bol rok 2000, kedy takmer všetky okresy na území Podunajskej nížiny zaznamenali extrémne alebo veľmi vysoké straty.

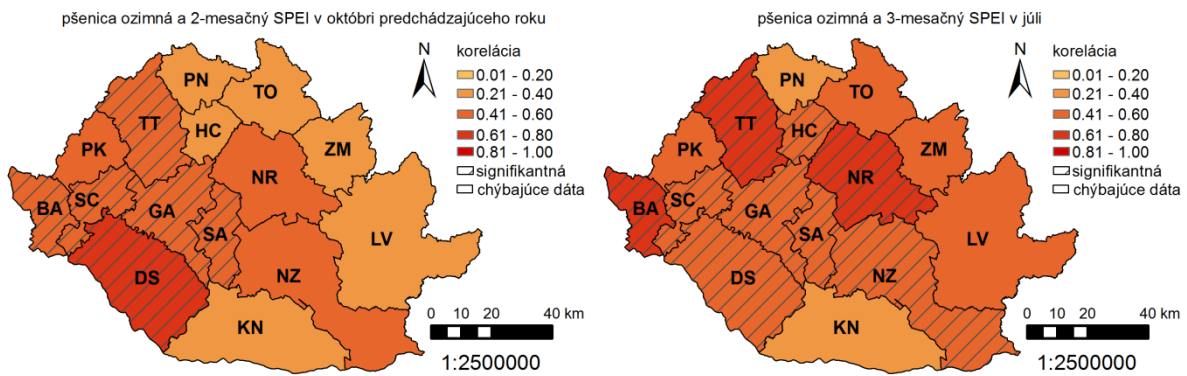


Obrázok 2 Korelácia medzi 2-mesačným SPEI a štandardizovanými výnosmi jačmeňa jarného v júli (vľavo) a 3-mesačným SPEI vo februári a štandardizovanými výnosmi jačmeňa jarného (vpravo) na Podunajskej nížine

Ozimná pšenica

Ozimná pšenica je ďalším príkladom plodiny, ktorá je značne ovplyvnená nielen zrážkami, ale i potenciálnou evapotranspiráciou. Korelácia je výrazne vyššia a priestorovo viac rozšírená pri využití indexu SPEI, než len pri SPI. Opäť platí, že výnosy sú väčšinou ovplyvnené suchom indikovaným 3-mesačným SPEI indexom.

Môžeme pozorovať tri fázy rastu ozimnej pšenice, počas ktorých je zraniteľná suchom. Prvá fáza je siatie, kedy boli v mesiaci október identifikované pozitívne významné korelácie (koeficienty v rozsahu od 0,51 do 0,68) s využitím indexu SPEI-2 v šiestich okresoch na Podunajskej nížine (Obr. 3). Druhou fázou je prezimovanie. V tejto fáze sa zrážky zdajú byť veľmi dôležité, špeciálne vo veľmi vlhkých podmienkach, pretože bola pozorovaná pomerne vysoká negatívna, štatisticky významná korelácia v piatich okresoch PN v mesiaci január pri indexe SPI-1 (koeficient v rozpätí -0,53 až -0,64). Najvyššia pozitívna významná korelácia zo všetkých zistených (koeficient v rozpätí od 0,49 do 0,73) bola zaznamenaná v mesiaci júl pri využití SPEI-3 (Obr. 3). Vysoké straty na PN boli zaznamenané v roku 2003. Boli spôsobené veľmi závažným až extrémnym suchom v období marec - október 2003 (SPEI-3 v rozpätí od -1,34 do -2,23).

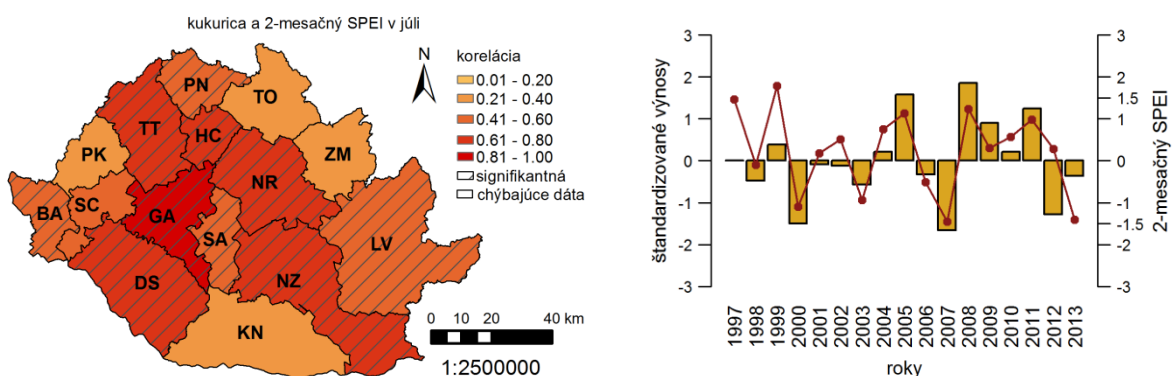


Obrázok 3 Korelácia medzi 2-mesačným SPEI v mesiaci október predchádzajúceho roka a štandardizovanými výnosmi ozimnej pšenice na Podunajskej nížine (vľavo) a korelácia medzi 3-mesačným SPEI v mesiaci júl a štandardizovanými výnosmi ozimnej pšenice na Podunajskej nížine (vpravo)

Kukurica

Kukurica vykazuje veľmi vysokú a štatisticky významnú senzitivnosť voči zrážkam v období neskorej jari a leta (Obr. 4).

Rok 2012 bol do istej miery špecifický. Napriek tomu, že hodnota SPEI-2 ležala blízko hodnoty nula (napr. 0,27 v okrese Galanta), zaznamenali sme stredne vysoké až vysoké straty vo výnosoch kukurice a v niektorých okresoch boli zaznamenané dokonca extrémne vysoké straty. Tieto straty boli spôsobené veľkým suchom, ktoré trvalo od jesene 2011 do mája 2012. Úrody boli preto nízke v dôsledku deficitu vody v zime a na jar. Korelácia medzi SPEI-2 a štandardizovanými výnosmi kukurice je o niečo vyššia ako pri SPEI-3. Opäť platí, že význam PET pre konečnú analýzu vplyvu sucha je jasne zreteľný. Všetky korelácie s SPI sú o niečo nižšie, ako tie s SPEI.



Obrázok 4 Korelácia medzi 2-mesačným SPEI v mesiaci júl a štandardizovanými výnosmi kukurice na Podunajskej nížine (vľavo) a štandardizované výnosy kukurice (vpravo - stĺpce) a 2-mesačný SPEI v mesiaci júl (vpravo - krivka) v okrese Galanta

Repka olejná

Najvyšší možný vplyv sucha na repku bol pozorovaný v júni pri využití SPEI-1 a od mája do júla s využitím SPEI-3. Korelačný koeficient je veľmi vysoký a signifikantný vo väčšine okresov na PN. Naopak, rovnaké okresy vykazujú signifikantné korelácie SPI-3 iba v mesiaci jún. Toto pozorovanie indikuje, že zrážky sú pre repku významné v mesiaci jún a marec (niektoré okresy), avšak sumy potenciálnej evapotranspirácie v máji až júni taktiež významne ovplyvňujú výnosy. V roku 2003 sme zaznamenali vysoké úhrny zrážok na jar, po ktorých nasledoval nedostatok zrážok, ale aj vysoké teploty vzduchu v letnom období. Všetky okresy na PN zaznamenali vysoké alebo extrémne vysoké straty v danom roku. Podobné podmienky a následne vysoké straty sme zaznamenali v rokoch 2000 a 2012. V roku 2012 bolo hlavnou príčinou veľmi suché obdobie jeseň 2011 – jar 2012, ktoré sme spomenuli už skôr. V roku 2000 sa extrémne nízke hodnoty SPI a SPEI objavili v júni.

Cukrová repa

Okresy Pezinok, Bratislava a Komárno majú nedostatok údajov o výnosoch cukrovej repy a neboli preto použité pre účely analýzy. Cukrová repa sa zdá byť najviac ohrozená suchom v lete, kedy štatisticky významné korelácie dosahovali vysoké hodnoty (od 0,54 v okrese Nitra do 0,83 v okrese Hlohovec) s SPEI-3 v mesiaci august. Aj napriek tomu, že zrážky v letnom období sú významnejšie ako potenciálna evapotranspirácia, korelačné koeficienty sú veľmi vysoké aj pri využití SPI-3 a majú väčšie plošné rozšírenie na PN. Podobne ako u kukurice, najvyššie straty sme zaznamenali v roku 2000 v dôsledku mierneho až veľmi závažného sucha koncom jari a v lete. Obe plodiny, kukurica i cukrová repa sú veľmi senzitívne voči suchu v letnom období. Najmä dlhodobé obdobia sucha, ktoré začínajú na jar zapríčiňujú vysoké straty. Avšak je tu rozdiel v parametroch sucha, ktoré by mali byť vzaté do úvahy pri hodnotení dopadov sucha. Pri cukrovej repe stačí sledovať iba zrážky, keďže hodnoty korelačných koeficientov SPI a SPEI sú podobné. K nižším výnosom došlo iba v rokoch, kedy bolo nízke SPEI spôsobené deficitom zrážok, nie vysokými úhrnmi PET. Na

druhej strane, aj malé deficity zrážok sprevádzané vysokou PET majú vplyv na kukuricu. Toto dokazujú i vyššie korelácie medzi výnosmi a SPEI, ako SPI v prípade kukurice.

Slničnica

Slničnica vykazuje len nízku koreláciu s každým z indexov. Štatisticky významný koeficient sa vyskytuje len zriedkavo a len v jednom okrese v danom časovom období. Negatívna, významná korelácia bola identifikovaná s pomocou SPI alebo SPEI neskoro na jar a v lete v okrese Piešťany. Slničnica sa zdá byť v tomto okrese citlivá na vlhké podmienky vzhľadom na vysoké úhrny zrážok v období kvitnutia a krátko pred ním, keďže významný koeficient korelácie výnosov je vyšší pri SPI.

Diskusia a záver

Najvyššie straty spôsobené najmä závažným suchom boli zaznamenané v rokoch 2000, 2003, 2007 a 2012. V prvých troch uvedených rokoch došlo k veľmi závažnému až extrémnemu suchu v období od neskorej jari až do konca leta, najmä v roku 2003. Sucho v roku 2012 začalo už na jeseň 2011, kedy bol zaznamenaný extrémne suchý mesiac november 2011. Z tohto dôvodu došlo k vysokým stratám nielen pri jarých, ale i pri prezimujúcich plodinách. To je v súlade s výsledkami práce Potop et. al. (2015). Analogicky, výsledky pre jarý jačmeň a ozimnú pšenicu sú podobné tým, ktoré uvádzajú Kolář et. al. (2013).

Potenciálna evapotranspirácia hrá veľkú úlohu pri výskyte sucha, predovšetkým na PN. Pomocou indexu SPI sme identifikovali veľmi závažné až extrémne sucho, najmä v mesiacoch október až marec. Na druhej strane pomocou indexu SPEI sme zaznamenávali najzávažnejšie sucho v letných mesiacoch. Väčšina z hodnotených kultúrnych plodín na PN vykazuje štatisticky významnú koreláciu s SPEI. Z toho dôvodu je index SPEI vhodnejší na sledovanie v agrosektore, ako SPI.

Na základe výsledkov môžeme konštatovať, že existuje signifikantný vzťah medzi suchom identifikovaným pomocou SPI a SPEI na jednej strane a výnosmi kultúrnych plodín na PN na druhej strane. Keďže PET sa zdá byť veľmi dôležitou pri výskyte sucha v sledovanej oblasti, index SPEI odporúčame pre monitoring sucha. Index je možné vypočítať pre rôzne dlhé časové obdobia. Podľa našich výsledkov je 1-mesačný SPEI vhodnejší pre hodnotenie vplyvov sucha na výnosy jarého jačmeňa, ďalej 1-mesačný SPI v zimných mesiacoch, avšak 2-mesačný SPEI je v letných mesiacoch vhodnejší pre ozimný jačmeň. Trojmesačný SPEI

koreluje lepšie s kukuricou, repkou, cukrovou repou, jarnou a ozimnou pšenicom a na koniec, 3-mesačný SPI je vhodný pre cukrovú repu a slnečnicu. V odporúčaníach figuruje aj SPI, ktorý koreluje lepšie s niektorými plodinami. Je však potrebné poznamenať, že tieto rozdiely sú malé a SPEI môže byť rovnako využitý pre monitoring aj v týchto prípadoch.

Literatúra

Eitzinger, J., Trnka, M., Semerádová, D., Thaler, S., Svobodová, E., Hlavínka, P., Šiška, B., Takáč, J., Malatinská, L., Nováková, M., Dubrovský, M., Žalud, Z. (2013) Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and Eastern Europe – hotspots, regional differences and common trends. *J Agr Sci* 151: 782 – 812

Kolář, P., Trnka, M., Brázdil, R., Hlavínka, P. (2013) Influence of climatic factors on the low yields of spring barley and winter wheat in Southern Moravia (Czech Republic) during the 1961–2007 period. *Theor Appl Climatol* 117: 707-721

Labudová, L., Faško, P., Ivaňáková, G. (2015) Changes in climate and changing climate regions in Slovakia. *Moravian Geographical Reports* 23: 71-82

McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California

Potop, V. (2011) Evolution of drought severity and its impact on corn in the Republic of Moldova. *Theor Appl Climatol* 105: 469-483

Potop, V., Možný, M., Soukup, J. (2012) Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agr Forest Meteorol* 156: 121-133

Potopová, V., Štěpánek, P., Možný, M., Turoktt, L., Soukup, J. (2015) Performance of the standardised precipitation evapotranspiration index at various lags for agricultural drought risk assessment in the Czech Republic. *Agr Forest Meteorol* 202: 26-38

Svoboda, M., Fuchs, B.A., Poulsen, C.C., Nothwehr, J.J. (2015) The drought risk atlas : Enhancing decision support for drought risk management in the United States. *J Hydrol* 526:274 286

Szentimrey, T. (2003) Homogenization software MASHv3.03. Hungarian Meteorological Service. http://www.met.hu/en/omsz/palyazatok_projektek/carpatclim/. Accessed 14 October 2014

Štatistický úrad Slovenskej republiky. (2015) Databáza Slovstat. Dostupné online na: <http://www.statistics.sk/pls/elisw/vbd>. Citované dňa 10.2.2015

Šiška, B., Takáč, J. (2009) Drought Analyse of Agricultural Regions as Influenced by Climatic Conditions in the Slovak Republic. *Idojaras* 113: 135-143

Šťastný, P., Bochníček, O., Faško, P., Nejedlík, P., Snopková, Z. (eds.) (2016) Atlas klímy Slovenskej republiky. Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

Takáč, J., Skalský, R., Morávek, A., Klikušovská, Z., Bezák, P., Bárdyová, M. (2015) Spatial patterns of agricultural drought events in Danube lowland in the 1961 – 2013 period. Proceedings from Towards Climatic Services Conference, Nitra, Slovakia, 15-18 September 2015.

Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., López-Moreno, J.I. (2010) A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *J Climate* 23: 1696-1718

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol s podporou grantu VEGA 1/0103/14, ktorý je financovaný Ministerstvom školstva, výskumu a športu Slovenskej republiky.

Kontakt:

Mgr. Lívia Labudová

Slovenský hydrometeorologický ústav

Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

livia.labudova@shmu.sk, +421 2 594 15 329

Nový monitoring sucha na Slovensku

New drought monitoring in Slovakia

Livia Labudová^{1,2}, Maroš Turňa¹, Pavel Šťastný¹

¹*Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava,*

livia.labudova@shmu.sk

²*Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, Ilkovičova 6,
842 15 Bratislava*

Abstrakt

V dôsledku globálnej klimatickej zmeny, sucho sa stalo vážnou a dôležitou témou diskusií. Tento jav má totiž významný vplyv na poľnohospodársku produkciu, a tým aj produkciu potravín pre rastúcu ľudskú populáciu. Keďže význam monitoringu sucha je veľký, rozhodli sme sa spustiť jeho testovaciu verziu v roku 2015 aj na Slovensku. Keďže išlo o pilotnú verziu, monitorovaná plocha pokrývala len Podunajskú a Východoslovenskú nížinu. Štyri vybrané indexy (SPI, SPEI, Z-index a CMI) boli týždenne aktualizované a vývoj suchých, resp. vlhkých podmienok bol popísaný. Okrem toho sme sa snažili priniesť a pravdepodobnú tendenciu vývoja situácie počas nasledujúcich 7 dní. Predpoveď bola založená na modeli ECMWF. V novej sezóne 2016, sme zväčšili monitorované územie, mierne sme upravili metodiku a pripravili sme aj nový vzhľad monitoringu.

Kľúčové slová: SPI, SPEI, CMI, predpoveď, ECMWF

Abstract

Due to the global climate change, the drought begins to be more serious and important theme of discussions. This phenomenon has an influence on the agricultural production, and consequently on the production of food for increasing world population. Due to the importance of drought monitoring, we decided to run its testing version in the first season 2015 and monitored area covered the Danubian Lowland and the East Slovakian Lowland. Four drought indices (SPI, SPEI, Z-index and CMI) were weekly updated and drought/humidity development was described. Except of that, we tried to illustrate the tendency of each index in next 7 days. The forecast was based on the European model

ECMWF. In new season 2016, we enlarged the monitored area, slightly modified a methodology and prepared new appearance of drought monitoring.

Keywords: SPI, SPEI, CMI, forecast, ECMWF

Úvod

V projekciách dôsledkov klimatickej zmeny sa predpokladá častejší výskyt povodní, ale aj dlhšie periódy s intenzívnejším suchom (IPCC, 2013). Výskyt sucha je prvotne zapríčinený deficitom zrážok. Pri projektovanom zvýšení teploty vzduchu sa zvýši aj výpar, ktorý zapríčiňuje väčší deficit pôdnej vody vo vrchných vrstvách pôdy. Slovensko leží v prechodnom pásme medzi južnou Európou, kde je v nasledujúcom období projektovaný pokles ročného úhrnu zrážok a severnom Európe, kde je naopak predpokladaný nárast zrážok (EEA, 2012). Preto sa na našom území predpokladá väčšia medziročná premenlivosť zrážok. K takémuto javu došlo už v minulej dekáde, keď rok 2003 bol extrémne suchý a naopak rok 2010 bol najbohatší na zrážky za celé obdobie prístrojového pozorovania u nás. Sucho sa mnohokrát začína “plíživo”, keď sprvoti nenápadný deficit zrážok v jednom roku môže pokračovať aj v roku nasledujúcom a spôsobí vážne následky vo vodnom hospodárstve. Príkladom takýchto rokov je obdobie 2011 – 2012, kedy bolo intenzívne sucho zaznamenané až v druhom roku jeho trvania (Šťastný, P. a Turňa, M., 2014).

V mnohých krajinách funguje monitoring sucha dlhšie obdobie, napr. v USA to je Národný integrovaný systém informácií o suchu (NIDIS) (<http://www.drought.gov/drought/>). Po jednom z najrozsiahlejších období sucha v roku 2003 narástli v EÚ obavy z výskytu sucha a nedostatku vody. Boli zriadené Európske monitorovacie stredisko pre sucho (European Drought Observatory, EDO) pri Spoločnom výskumnom centre Európskej komisie (Joint Research Centre, JRC) a Centrum pre riadenie sucha pre juhovýchodnú Európu (Drought Management Centre for South East Europe, DMCSEE) (Takáč, 2015). Monitoring sucha sa zakladá na hodnotení vybraných indikátorov sucha. Indikátory, založené na klimatologickom princípe dovoľujú zhodnotiť sucho konzistentným spôsobom počas rôznych časových intervalov v rôznych geografických podmienkach. Predpoveď meteorologických podmienok, resp. ich dlhodobý výhľad dovoľujú indikátory kvantifikovať aj do budúceho obdobia a tak predpovedať intenzitu prejavu sucha.

Materiál a metódy

Sezóna 2015

Monitoring sucha prebiehal na SHMÚ počas testovacej sezóny 2015 (marec až september) pomocou štyroch indexov sucha: štandardizovaného zrážkového indexu (SPI), štandardizovaného zrážkového a evapotranspiračného indexu (SPEI), Palmerovho Z-indexu a Crop Moisture Index (CMI). Tieto indexy sa úspešne používajú na celom svete a patria medzi základné indexy sucha, ktoré slúžia na včasné varovanie pred suchom.

Vyššie uvedené štyri indexy sa aktualizovali každý týždeň vždy v pondelok v dopoludňajších hodinách bodovo pre 12 staníc ležiacich na Podunajskej a Východoslovenskej nížine. Zoznam staníc je uvedený v Tab. 1a a 1b. Okrem hodnotenia súčasného stavu bola pripravovaná aj vyhládka vývoja indexov na nasledujúci týždeň.

Tab. 1a Zoznam monitorovaných staníc na Podunajskej nížine

Indikatív	Stanica	nadm. výška (m n.m.)
11816	Bratislava - Ivanka	128
11819	Jaslovské Bohunice	176
11826	Piešťany	163
11855	Nitra – V. Janíkovce	132
11820	Žihárec	111
11858	Hurbanovo	115
11880	Dudince	137
11856	Mochovce	260

Tab. 1b Zoznam monitorovaných staníc na Východoslovenskej nížine

Indikatív	Stanica	nadm. výška (m n.m.)
11978	Milhostov	102
11979	Somotor	97
11984	Orechová	120
11995	Vysoká nad Uhom	105

SPI (McKee a kol., 1993) a SPEI (Vicente-Serrano a kol., 2010) sa v originálnej podobe používajú na určenie deficitu zrážok v mesačnom kroku. Pri počítaní SPI sa využíva gama funkcia na určenie hustoty pravdepodobnosti rozdelenia. Každé hodnote SPI prislúcha hodnota kumulatívnej pravdepodobnosti výskytu v danej časovej škále. Nevýhoda SPI je, že sucho sa posudzuje len na základe úhrnu zrážok a nezohľadňujú sa tu vlhkostné, radiačné a energetické podmienky v pôde. SPEI okrem zrážok zohľadňuje aj potenciálny výpar, ktorý môžeme počítať pomocou viacerých metód. V našom monitoringu sme zvolili metódu Penman-Monteitha. Pri SPEI sa následne z mesačných úhrnov zrážok a výparu vypočíta vodná bilancia, ktorá je daná rozdielom $P - E_0$, kde P sú zrážky a E_0 je potenciálny výpar. Z

výsledných hodnôt tohto rozdielu sa potom obdobným spôsobom ako pri SPI vypočítajú hodnoty SPEI.

Výpočet Palmerovho Z-indexu a CMI indexu je komplexný a zahŕňa v sebe výpočet odtoku, prítoku, potenciálnej straty vody v pôde a potenciálneho výparu. Pri výpočte potenciálneho výparu sa používa Thornthwaitova metóda. Vstupnými parametrami pri výpočte Palmerových indexov sú priemerná teplota vzduchu, úhrn zrážok, zemepisná šírka a využitelná vodná kapacita (VVK). Využitelná vodná kapacita je špecifická hodnota pre každú stanicu. Je určená v pôdnom profile s hĺbkou 100 cm. Údaje o VVK boli poskytnuté Výskumným ústavom pôdoznanectva a ochrany pôdy.

Z-index predstavuje relatívnu odchýlku od dlhodobého radu meraní. Pri výpočte Z-indexu v poslednom týždni, ktorý je aktuálny, sa vychádza z hodnôt úhrnu zrážok a evapotranspirácie za posledný týždeň, a tiež sa zohľadňuje aj vlhkosť pôdy na konci predposledného týždňa. CMI index využíva, podobne ako SPEI, vodnú bilanciu v pôde, teda rozdiel zrážky - evapotranspirácia, ale pri tomto indexe sa určuje aj odtok a prítok vypočítaný za posledný týždeň, a tiež hodnota vlhkosti pôdy na konci predposledného týždňa. Následne z vypočítaných veličín sa výsledný deficit, resp. nadbytok vlhkosti v pôde prevedie do jednoduchej bezrozmernej číselnej hodnoty, ktorá predstavuje mieru intenzity sucha v danej lokalite.

Sezóna 2016

Medzi novinky, ktoré sme v rámci aktualizovaného monitoringu pripravili, patrí rozšírenie monitorovaného územia. To momentálne pokrýva celé územie Slovenska s výnimkou horských oblastí. Hustota a priestorové rozloženie staníc zodpovedá rozmiestneniu kvalitných staníc s údajovým radom minimálne od roku 1981, ktoré poskytujú údaje na dennej operatívnej báze. Prehľadná mapa poskytuje rýchly priestorový náhľad na momentálnu situáciu na Slovensku, ktorá je znázornená farbou značiek, ktorá zodpovedá škále na grafoch. Stále však zostala zachovaná možnosť zobrazit' grafy pre jednotlivé stanice. Tie zostávajú po vizuálnej stránke nezmenené a jednotlivé kategórie suchých, resp. vlhkých podmienok sú farebne odlíšené. V rámci metodiky sme vylúčili Palmerov Z-index, ktorý sa v minulej sezóne neosvedčil. Vďaka charakteru indexov, najmä štandardizovanému zrážkovému indexu (SPI) a štandardizovanému zrážkovému a evapotranspiračnému indexu (SPEI), je možné monitorovať nielen mieru sucha, ale aj mieru vlhkých podmienok. Tie môžu rovnako spôsobiť škody na poľnohospodárskych plodinách.

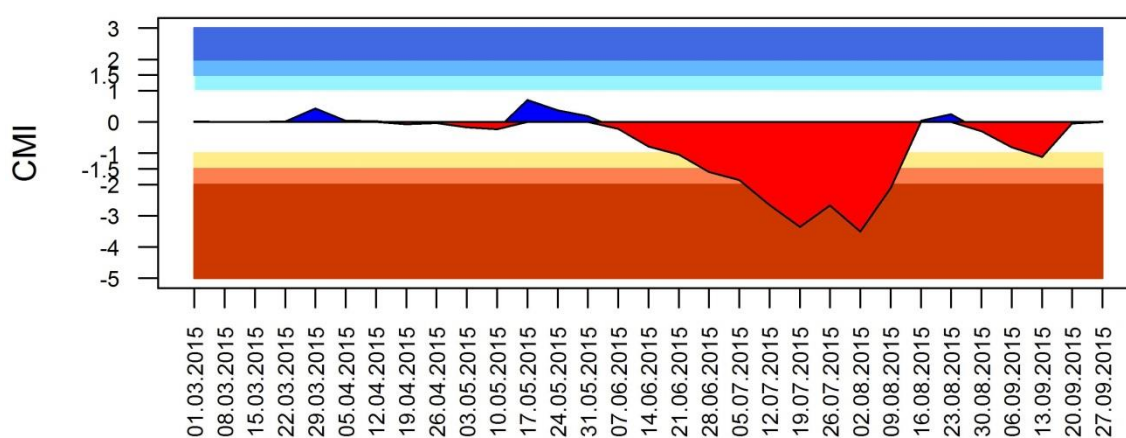
Dôležitou novinkou je komplexnosť monitoringu. Ten má momentálne dve hlavné časti, monitoring atmosférického sucha, ktorý bol popísaný vyššie a monitoring pôdneho sucha, ktorý Slovenský hydrometeorologický ústav realizuje v spolupráci s českými kolegami zo spoločnosti CzechGlobe. Monitoring atmosférického sucha je postavený najmä na sledovaní množstva zrážok a potenciálnej evapotranspirácie (maximálne množstvo vody, ktoré by sa za daných podmienok vyparilo v prípade, že by voda nebola limitujúcim faktorom). Index CMI pritom do úvahy berie aj vlastnosti pôdy, konkrétne využiteľnú vodnú kapacitu, ktorej hodnoty boli poskytnuté Výskumným ústavom pôdoznaectva a ochrany pôdy (VÚPOP). Monitoring pôdneho sucha sa zameriava na hodnotenie pôdnej vlhkosti a stavu vegetácie, ktorá je sledovaná aj pomocou družíc.

Výsledky

Monitorovacej sezóny 2015 predchádzala najmä na Východoslovenskej nížine suchá druhá polovica jesene a suchá zima, s výnimkou mesiaca január. To spôsobilo, že zásoby vody sa nedoplnili zimnými zrážkami v dostatočnej miere. Tie sú pritom veľmi dôležité na začiatku vegetačného obdobia. Iná situácia bola na Podunajskej nížine, kde jeseň nemala suchý charakter a v zimnom období bol suchý len mesiac február. Výnimkou bolo len okolie Nitry, ktoré zaznamenalo podobný vývoj indexov sucha v tomto období ako Východoslovenská nížina. Z tohto dôvodu bola situácia už na začiatku monitorovacej sezóny na východe krajiny nepriaznivá. V marci dosiahol mesačný úhrn zrážok v Milhostove hodnotu len 11,8 mm. SPI dosiahol v Milhostove počas marca hodnoty pod -1, v Somotore dokonca pod -1,5. Index SPEI naznačoval o niečo miernejšie podmienky. Bolo to spôsobené najmä tým, že výpar v danom období nedosahoval ešte významné hodnoty vplyvom nižších teplôt, preto príčinou vzniku sucha bol primárne výrazný nedostatok zrážok.

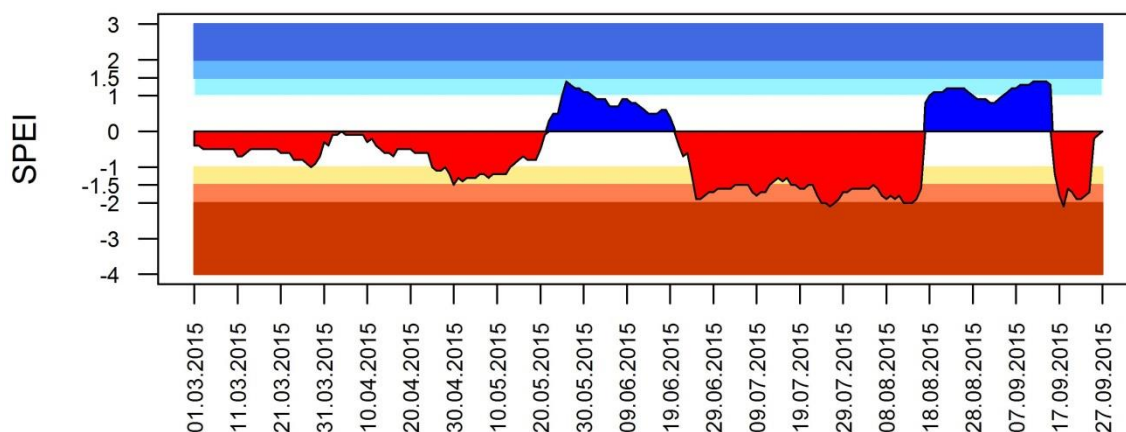
Najvyšší aprílový mesačný úhrn zrážok bol v Ivanke (26,1 mm), ale na Východoslovenskej nížine spadlo v Somotore a Milhostove zhodne len 6,2 mm. Preto sa sucho počas celého mesiaca prehlbovalo najmä na juhovýchode Slovenska. So vzrastajúcimi teplotami v poslednej aprílovej dekáde, klesal už aj index CMI. V Milhostove aj Somotore bol zrážkový index SPI pod hranicou -2. Na Podunajskej nížine, vďaka vyšším zrážkam v marci a apríli, bola situácia úplne odlišná. Na začiatku mesiaca boli hodnoty SPI ojedinele takmer +1 (Nitra, Piešťany a Jaslovské Bohunice), no neskôr aj tu klesali. O niečo horšia situácia bola v Hurbanove a Žihárči. S rastúcou teplotou vzduchu sa zvyšoval aj výpar, preto SPEI začal

dosahovať nižšie hodnoty v porovnaní s SPI. To naznačuje, že výpar začal výraznejšie ovplyvňovať vlhové podmienky na monitorovaných nížinách až v tomto období a jeho význam naďalej narastal v priebehu sezóny. CMI poukazoval na Podunajskej nížine stále na vyrovnané vlhové podmienky (Obr. 1). Z-index na začiatku mesiaca bol na Podunajskej nížine vysoký. V Jaslovských Bohuniciach mal prvý aprílový týždeň hodnotu viac ako +2. Súviselo to aj s výrazným ochladením na začiatku mesiaca.



Obrázok 1 Priebeh indexu CMI na stanici Žihárec v sezóne 2015

Prvý májový týždeň boli indexy SPEI a SPI veľmi nízke predovšetkým na Východoslovenskej nížine. V Somotore aj Milhostove dosahoval SPI hodnotu približne -2,5. Neskôr, nastal nárast indexov a ku koncu mesiaca dosiahol SPEI aj nízke kladné hodnoty. Toto obdobie bolo však len krátke a nahromadený deficit sa v jeho priebehu nedoplnil. Postupne tu v priebehu mája klesal aj CMI index. Na Podunajskej nížine bola situácia priaznivejšia. Spočiatku boli indexy SPEI a SPI najvyššie v Piešťanoch, no v dôsledku vyšších úhrnov zrážok ku koncu mesiaca bolo najvlhšie v oblasti Hurbanova a Žihárca (Obr. 2).

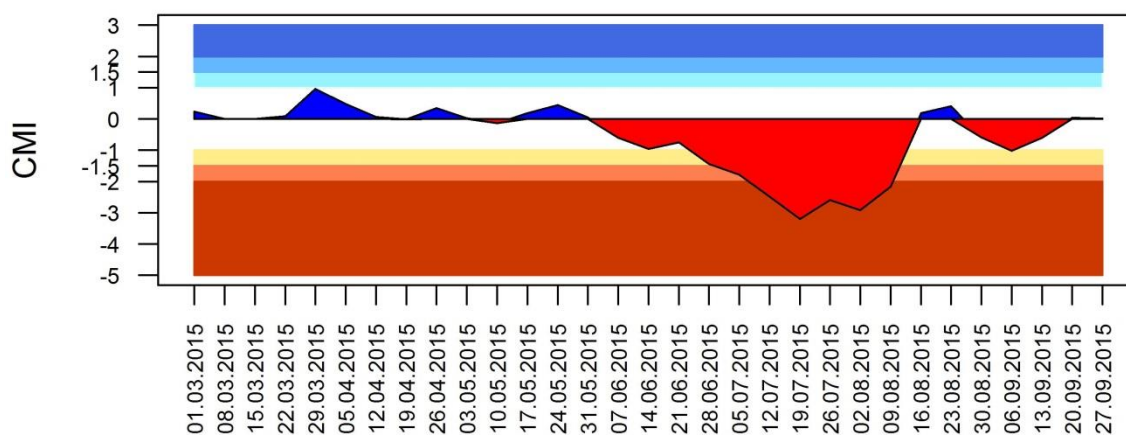


Obrázok 2 Priebeg indexu SPEI na stanici Hurbanovo v sezóne 2015

V júni kvôli výskytu búrkovej činnosti, ktorá bola skôr ojedinelým javom, vznikali značné regionálne rozdiely. V Milhostove síce spadlo za mesiac jún 49 mm, z toho ale 45 mm v jeden deň. Takéto zrážky však pre krajinu nie sú veľmi efektívne, najmä po dlhšom suchom období. Pôda je na povrchu suchá, jej infiltračná schopnosť je tým znížená a nastáva vyšší povrchový odtok. Ani jeden z indexov však nevie odfiltrovať bleskové zrážky, ktoré sucho nedokážu v skutočnosti úplne ukončiť. Aj napriek vysokému jednorazovému úhrnu, ktorý zvýšil hodnoty SPI nad nulovú hranicu, deficit v dôsledku nedostatku zrážok, znásobený vysokým výparom, vykompenzovaný nebol a index SPEI zostal záporným. Výpar bol vysoký kvôli vysokým denným priemerným teplotám, dlhodobo stabilnému slnečnému počasiu a nízkej vlhkosti vzduchu, a tak sucho naberalo na intenzite. Zatiaľ, čo bola situácia ohľadom vlahy ku koncu mája na Podunajskej nížine ešte priaznivá, hneď prvá júnová dekáda bola veľmi suchá. Indexy SPEI a SPI boli na konci júna pod hranicou -2 na väčšine týchto staníc. V Somotore SPI dokonca klesol pod hodnotu -3, čo už je veľmi extrémna hodnota. Sucho, ktoré sa počas celého mesiaca znásobovalo, zapríčinilo aj pokračujúci pokles CMI. V posledných júnových dňoch v Somotore podkročil hranicu pre závažné sucho.

Po veľmi suchom júni, ani júl nepriniesol dlho očakávané zrážky. V júli bola na niektorých miestach rekordne vysoká priemerná mesačná teplota vzduchu, čo v kombinácii so suchým a slnečným počasím spôsobilo ešte výraznejšie prehlbovanie sucha. SPI v Milhostove postupne klesol až pod -3, na Podunajskej nížine boli indexy SPEI a SPI prevažne na úrovni -2. Prehlbovanie sucha sa veľmi dobre prejavilo aj na indexe CMI. V Piešťanoch bola hodnota CMI -3,2 zároveň najnižšou týždennou hodnotou tohto indexu od roku 1961 (Obr.3).

V minulosti sa v Piešťanoch ešte nevyskytla nižšia hodnota CMI ako -3, dokonca ani v rokoch 1990, či 1998. V Žihárce hodnota CMI -3,36 je taktiež najnižšia týždenná hodnota od roku 1961, podobné sucho bolo len v roku 2012.

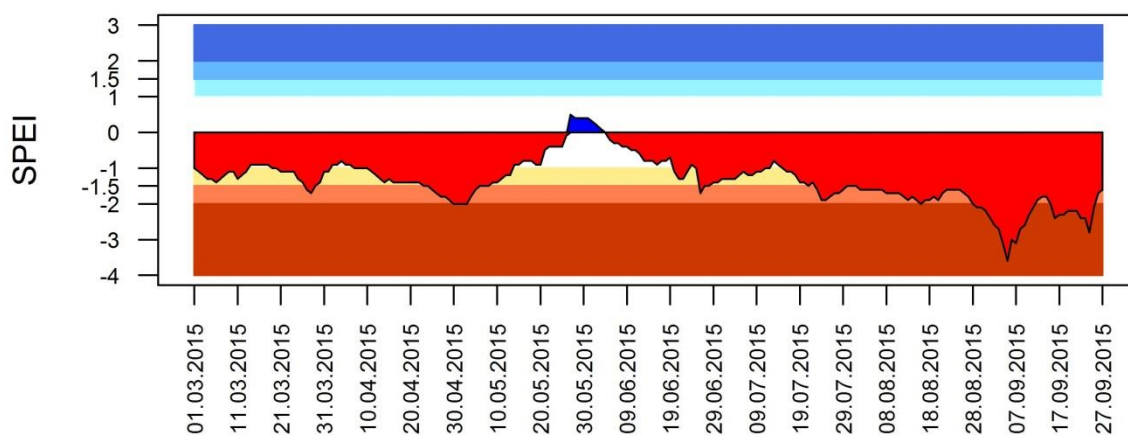


Obrázok 3 Priebieh indexu CMI na stanici Piešťany v sezóne 2015

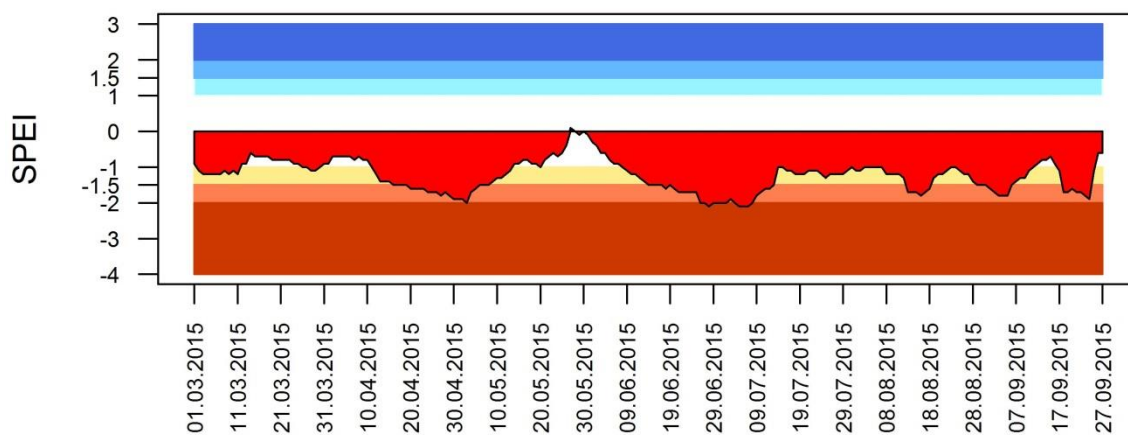
V auguste spočiatku pokračovalo výrazné sucho, no v druhej polovici augusta sa situácia výrazne zlepšila najmä na Podunajskej nížine, kde na všetkých monitorovaných staniciach bola ukončená suchá epizóda. Naopak, na východe krajiny sa situácia naďalej zhoršovala. Monitorované stanice zaznamenali veľmi až extrémne suché obdobie. V druhej polovici augusta dosiahol CMI na Východoslovenskej nížine svoje minimálne hodnoty v rámci celej sezóny 2015. Vo Vysokej nad Uhom klesol spomínaný index až na -4,40, čo predstavuje rekordne nízku hodnotu CMI na tejto stanici od roku 1981. Podobne rekordne nízka hodnota CMI -4,19 bola aj v Somotore, ale tento rekord je platný od roku 1961. Celkovo až na 6 monitorovaných staniciach dosiahol CMI v sezóne 2015 rekordne nízke hodnoty od začiatku jeho výpočtu, teda od roku 1961, resp. 1981.

Začiatok septembra nepriniesol žiadne zlepšenie, naopak, nové suché obdobie bolo zaznamenané na Podunajskej nížine. Oveľa závažnejšia situácia bola opäť na východe Slovenska, kde vo Vysokej nad Uhom bola zaznamenaná rekordne nízka hodnota už aj pri SPEI rovná -3,6 (Obr. 4). K rekordne nízkym hodnotám sa blížila aj stanica Milhostov. K ukončeniu sucha pred koncom monitorovacej sezóny došlo len v Milhostove vplyvom zrážok na konci mesiaca. Na zvyšných staniciach na Východoslovenskej nížine k ukončeniu sucha, ktoré tam začalo na začiatku júna, do konca septembra nedošlo. Tejto suchej epizóde však predchádzalo len veľmi krátke prerušenie predchádzajúcej suchej epizódy. Preto sa dá

konštatovať, že celá monitorovacia sezóna 2015 bola na staniciach Somotor (Obr. 5), Vysoká nad Uhom, Orechová a Milhostov z pohľadu SPEI suchá, pričom viackrát boli zaznamenané veľmi až extrémne suché podmienky.



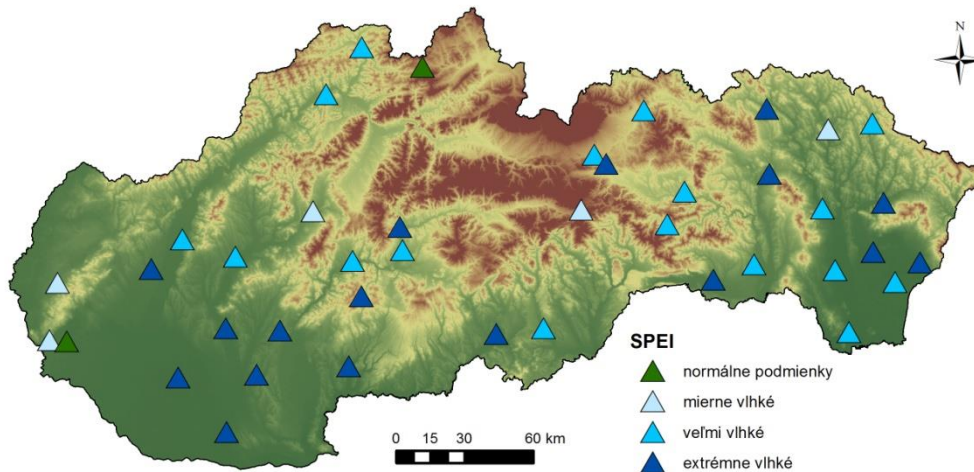
Obrázok 4 Priebeh indexu SPEI na stanici Vysoká nad Uhom v sezóne 2015



Obrázok 5 Priebeh indexu SPEI na stanici Somotor v sezóne 2015

Hodnoty indexov SPI a SPEI na začiatku novej monitorovacej sezóny 2016 začínali v extrémne vlhkom intervale vďaka veľmi výdatným februárovým zrážkam (Obr. 6). Spomínané dva indexy začali výraznejšie narastať približne v polovici februára, kedy prekročili na väčšine staníc hodnotu +1,5. Na konci mesiaca boli ich hodnoty už výrazne nad hodnotou 2. Ide pritom predovšetkým o stanice na západnom a strednom Slovensku, kde na juhu týchto oblastí bola situácia najextrémnejšia. Na východnom Slovensku vlhké podmienky boli zaznamenané približne o mesiac skôr, než v ostatných regiónoch Slovenska. Výnimkou sú spišský a podtatranský región, ktoré sa vlhkosťnými podmienkami podobali skôr strednému

Slovensku. Palmerov CMI index sa pred začiatkom sezóny pohyboval dlhodobo v okolí hodnoty 0, vplyvom nízkej priemernej teploty vzduchu. Výrazné úhrny zrážok v februári podmienili nárast aj jeho hodnôt, pričom priebeh krivky je veľmi podobný krivke indexu SPI.



Obrázok 6 Hodnoty indexu SPEI na Slovensku k 13. marcu 2016

Záver

Priebeh indexov sucha na Podunajskej a Východoslovenskej nížine zaznamenal viacero suchých až extrémne suchých období počas monitorovacej sezóny 2015. Najhoršia situácia bola pozorovaná na východe krajiny, kde sucho pretrvávalo prakticky neustále počas viac ako siedmych mesiacov. Zároveň boli prekonané aj rekordné hodnoty indexov SPEI a CMI na niektorých staniciach.

Počas monitoringu sa najviac osvedčili práve indexy SPEI a CMI. Prvý menovaný mal výhodu najmä na začiatku sezóny, kedy skôr zachytil začiatok sucha. CMI v tom čase udával nulové hodnoty vplyvom nižších teplôt vzduchu. Neskôr, najmä v letných mesiacoch však o niečo lepšie vyjadroval akumuláciu deficitu. Index SPI bol počas mesiacov s vysokým výparom nedostatkovým, nakoľko aj nižšie úhrny zrážok, ktoré sa reálne veľmi rýchlo vyparili, výraznejšie hýbali hodnotami indexu. Presnejšie informácie poskytuje v mesiacoch chladného polroka, kedy evapotranspirácia nezohráva významnú úlohu pri výskyte suchých období. Z-index sa na týždennej úrovni pre naše potreby monitoringu sucha neosvedčil, nakoľko udáva zmenu podmienok len v porovnaní s predchádzajúcim týždňom a nereaguje na akumuláciu deficitu vody. Z tohto dôvodu bol z monitoringu v sezóne 2016 vylúčený.

Ako je vidieť z úvodu monitorovacej sezóny 216, indexy používané v monitoringu atmosférického sucha je možné využiť aj na monitorovanie podmienok počas veľmi až extrémne vlhkých období. Tie môžu spôsobiť problémy poľnohospodárom predovšetkým na ozimných plodinách, ktoré môžu vo veľmi vlhkých podmienkach začať vyhnívať.

Literatúra

European Environmental Agency. 2012. *Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2012. An Indicator Based Report*. EEA Report No. 12/2012. EEA, Copenhagen, 2012. 300 pp. ISBN 978-92-9213-346-7

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California.

Šťastný, P., Turňa, M.: Manažment sucha – Zhodnotenie rokov 2011 a 2012 podľa indexov sucha, Správa pre Global Water Partnership, Bratislava, 2014, s.15

Takáč, J. Sucho v poľnohospodárskej krajine. Bratislava : NPPC-VÚPOP, 2015. 69 s. ISBN 978-80-8163-012-5.

Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., López-Moreno, J.I. (2010) A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *J Climate* 23: 1696-1718

Kontakt:

Mgr. Lívia Labudová

Slovenský hydrometeorologický ústav

Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

livia.labudova@shmu.sk, +421 2 594 15 329

Výnosy a kvalita jetelovinotravních směsí pěstovaných na orné půdě ve srážkově rozdílných letech

The yields and quality of legume-grass mixtures grown on arable land in years with different precipitation

Jaroslav Lang

Zemědělský výzkum, spol. s r.o., Troubsko, Zahradní 1, 664 41 Troubsko, lang@vupt.cz

Abstrakt

Na lokalitě Troubsko byly založeny maloparcelové pokusy s jetelovinotravními směsmi. K vojtěšce seté a k jeteli lučnímu byly přidány srha laločnatá nebo hybrid Felina v poměrech (jetelovina:tráva) 50:50 % a 80:20 %. Ve dvou sklizňových letech, které byly teplotně a vláhově velmi rozdílné, byly kromě výnosů sledovány také kvalitativní parametry sklizené píce, která je určena zejména k výkrmu skotu. Bylo zjištěno, že nejlepší výnosy jsou u vojtěškotravních směsí, vliv travního druhu a jeho zastoupení ve směsi na výnos v suchém ani srážkově normálním roce nebyl prokázán. U kvalitativních parametrů bylo zjištěno, že vlivem počasí může dojít k ovlivnění kvality píce dvěma způsoby. Přímý vliv byl prokázán v suchém roce zvýšenou koncentrací vlákniny u některých jetelotrav. Nepřímé ovlivnění spočívá v botanicky rozdílném složení směsí v důsledku změny přísunu vody v daném roce pěstování.

Klíčová slova: vojtěška, jetel luční, srha laločnatá, Felina, výnos, sucho, kvalita

Abstract

At the locality Troubsko small plot trials with legume-grass mixtures were established. *Dactylis glomerata* and interspecific hybrid Felina were added to *Trifolium pratense* in ratio clover:grass 50:50 % and 80:20 %. In two harvest years that were very different as far as temperatures and the precipitation were concerned, not only yields but also qualitative parameters of harvested forage were monitored with a special regard to the cattle feeding. It was found, that the best yields were obtained in the mixtures of *Medicago sativa* and grasses. The influence of grass species and its ratio in the tested mixtures was not significant both in dry and in normal year. It was found out that the forage quality may be influenced in two different ways. A direct effect was indicated by a higher content of fibre in some clover-grass

mixtures. While an indirect one was indicated by a different botanical composition of mixtures that resulted from changes in the precipitation.

Key words: alfalfa, red clover, cocksfoot, Felina, yield, dry, quality

Úvod

Jetelovinotravní směsi pěstované na orné půdě jsou zdrojem píce vhodné ke zkrmování skotu v čerstvém i konzervovaném stavu. Vojtěška a jetel jsou nositeli látek převážně bílkovinného charakteru a travní komponent ve směsi zvyšuje obsah vodorozpustných cukrů. To má pozitivní vliv na proces silážování píce (Vorlíček, Dubec, 2007). Tráva také zvyšuje podíl potřebné rychle rozpustné vlákniny. S výhodou bývají jeteloviny a trávy pěstovány ve směsích. Zejména v suchých oblastech je vojtěška komponentem, který zaručuje výnos. Na vodu náročný travní komponent dokáže využít rosy, která se v porostu vojtěšky drží déle a dává větší výnosy než samostatně pěstovaná (např. Lang, Novosádová, 2011, Lang, 2014). Do pokusu byla zařazena pozdní odrůda srhy laločnaté, která je perspektivní pícninou zejména pro suché oblasti. V minulosti se do směsí nevyužívala kvůli její ranosti a nevyhovující rytmicitou růstu s jetelovinami. V současné době je na trhu několik pozdních odrůd, které se do směsí mohou použít (Lang, 2013).

Jetelovinotravní směsi na orné půdě slouží jako vhodné přerušovače osevních postupů mezi ostatními plodinami. V minulých deseti letech navzdory zhoršující se kvalitě půdy způsobené především jednostrannými osevními postupy, docházelo bohužel k poklesu pěstování víceletých pícnin na orné půdě (ČSÚ, 2013 [on-line]). Víceleté pícniny mají příznivý vliv na fyzikální i chemické vlastnosti půdy, zlepšují její strukturu, působí vododržně např. (Svobodová, Šantrůček, 2007), protierozně, zanechávají velké množství organické hmoty v půdě, jeteloviny vlivem přítomnosti nitrifikačních bakterií na kořenech obohacují půdu o minerální dusík. Na vláhu nenáročná a hlubokokořenící vojtěška je schopna svými kořeny rozrušovat utužený půdní profil a dokáže přijímat vodu a živiny z hlubších vrstev půdy.

Pro výrobu kvalitního krmiva a z důvodu vysoké konkurenceschopnosti trav by měl podíl trávy v lokalitách s dostatkem srážek ve směsi tvořit 20, maximálně však 25 % celkové hmoty při první sklizni. Tomu odpovídá např. směs osiva 16 kg vojtěšky + 3 kg mezirodového hybridu (MRH) Felina (84:16 %) určená pro výsev na 1 ha (Vorlíček a kol., 2009). V suchých lokalitách může být podíl trávy ve směsi osiva navýšen až na 50 %, čemuž

například odpovídá směs 9 kg vojtěšky + 15 kg MRH Felina určená pro výsev na 1 ha (Lang, 2013). Jetelovinotravní směsi se na orné půdě pěstují 1 – 3 roky.

Materiál a metody

V roce 2011 byl na lokalitě Troubsko založen maloparcelový pokus s jetelovinotravními směsmi. K vojtěšce seté (vojtěškotrávy, var. č. 1, 2, 5, 6), anebo jeteli lučnímu (jetelotrávy, var. č. 3, 4, 7, 8) byla přidána nová pozdní odrůda srhy laločnaté (pod pracovním názvem VV 115-132/10) nebo běžně používaný mezirodový hybrid (MRH) Felina jako kontrola (tab. 1). Před založením, ani během kultivace, nebyla použita žádná hnojiva. V roce 2011 probíhaly odplevelovací seče, rok 2012 byl první sklizňový, rok 2013 druhý sklizňový. V obou letech byly provedeny čtyři sklizně v optimální zralosti píce. Statistické hodnocení výnosů suché hmoty bylo provedeno metodou analýzy variance (ANOVA $P > 0.05$) s následným hodnocením Tukeyovým testem. Lokalita Troubsko patří do řepařské výrobní oblasti, s nadmořskou výškou 270 m, průměrnou roční teplotou 8,6 °C, ve vegetaci (duben – září) 14,8 °C. Roční suma srážek činí 547 mm, ve vegetaci 346 mm. Průměrné měsíční teploty a srážky ve sklizňových letech uvádí tabulka č. 2, ve které je uvedeno klimatologické hodnocení měsíců. Hodnocení bylo provedeno podle doporučení WMO pro popis klimatologických podmínek (Kožnarová, Klabzuba, 2002). Lze konstatovat, že vegetační období 2012 na lokalitě Troubsko bylo charakterizováno silně podnormálními srážkami a naopak nadnormálními teplotami, zatím co rok 2013 byl teplotně i srážkově značně kolísavý.

Tab. č. 1: Složení směsí a jejich výsevek

číslo	Směs	zastoupení [%]		výsevek [kg.ha ⁻¹]	
		jetelovina	tráva	jetelovina	tráva
1	vojtěška setá + srha laločnatá	80	20	14,4	4
2	vojtěška setá + srha laločnatá	50	50	9	10
3	jetel luční + srha laločnatá	80	20	14,4	4
4	jetel luční + srha laločnatá	50	50	9	10
5	vojtěška setá + MRH Felina	80	20	14,4	6
6	vojtěška setá + MRH Felina	50	50	9	15
7	jetel luční + MRH Felina	80	20	14,4	6

číslo	Směs	zastoupení [%]		výsevek [kg.ha ⁻¹]	
		jetelovina	tráva	jetelovina	tráva
8	jetel luční + MRH Felina	50	50	9	15
9	vojtěška setá	100	0	18	0
10	jetel luční	100	0	18	0
11	srha laločnatá	0	100	20	0
12	hybrid Felina	0	100	30	0

Tab. č. 2: Klimatologické hodnocení vegetačních měsíců v roce 2012 a 2013

měsíc	rok 2012				rok 2013			
	teplota [°C]		srážky [mm]		teplota [°C]		srážky [mm]	
	průměr	hodnocení	celkem	hodnocení	průměr	hodnocení	celkem	hodnocení
leden	0,7	1	27,5	0	-1,3	0	21,3	0
únor	-3,8	-1	5,6	-2	0,4	0	47,5	1
březen	6,1	1	1,8	-3	1,0	-1	42,1	1
duben	9,5	0	12,1	-2	9,5	0	18,0	-1
květen	16,0	1	25,4	-2	13,8	0	105,6	1
červen	18,2	1	60,6	0	16,9	0	116,2	1
červenec	20,4	2	60,0	0	20,8	2	4,8	-3
srpen	19,7	2	72,4	0	19,3	1	68,8	0
září	14,5	0	32,1	0	12,5	-1	48,4	0
říjen	10,2	1	35,1	0	9,5	0	33,3	0
listopad	5,7	2	20,1	-1	5,1	2	21,5	-1
prosinec	-1,8	0	29,9	0	1,7	1	4,1	-3

Hodnocení teplot: -1 = studený, 0 = normální, 1 = teplý, 2 = silně teplý

Hodnocení srážek: -3 = mimořádně suchý, -2 = silně suchý -1 = suchý, 0 = normální, 1 = vlhký

Výsledky

Výnosy suché hmoty v obou sklizňových letech ovlivnil zejména průběh počasí. Jak vyplývá z výsledků Anovy, roky 2012 a 2013 byly ve sklizni rozdílné. Vegetační období 2012 na lokalitě Troubsko bylo charakterizováno silně podnormálními srážkami a naopak nadnormálními teplotami, zatímco rok 2013 byl ve vegetaci většinou vlhký a teplotně normální. V roce 2012 byl průměrný výnos všech variant 1,39 t suché hmoty. V roce 2013 byl průměrný výnos variant 2,89 t suché hmoty.

Na základě statistického rozboru je možné v roce 2012 vytvořit tři výnosové skupiny. Do nejvýnosnější skupiny patří vojtěška s celkovým výnosem $9,33 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, směs vojtěšky se srhou v poměru 80:20 s celkovým výnosem $9,31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, směs vojtěšky se srhou v poměru 50:50 s celkovým výnosem $9,25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, směs vojtěšky s hybridem Felina v poměru 50:50 s celkovým výnosem $8,86 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, a směs vojtěšky a hybridu Felina v poměru 80:20 s celkovým výnosem $8,19 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. V roce 2012 se nepotvrdily rozdíly ve výnosech mezi směsmi vojtěšky se srhou a vojtěšky s hybridem Felina. Nebyly také potvrzeny rozdíly v poměru osiva u směsí vojtěšky se srhou ani u směsí vojtěšky s hybridem Felina. Do druhé skupiny s nižším výnosem spadají směsi jetele lučního se srhou v poměru 80:20 s celkovým výnosem $4,72 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, směsi jetele lučního se srhou laločnatou v poměru 50:50 s celkovým výnosem $3,92 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, směs jetele lučního s hybridem Felina v poměru 80:20 s celkovým výnosem $3,91 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, směs jetele lučního s hybridem Felina v poměru 50:50 s celkovým výnosem $3,55 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, a jetel luční s celkovým výnosem $3,44 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ani v této skupině se nepotvrdily rozdíly ve výnosech u jetelotravních směsí s rozdílným travním komponentem ani rozdílným složením. Do třetí skupiny s nejnižším výnosem patří trávy a to srha s celkovým výnosem $1,25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a hybrid Felina s celkovým výnosem $1,11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

V roce 2013 lze vytvořit také tři výnosové skupiny. Mezi nejvýnosnější patří opět vojtěška s celkovým výnosem $18,60 \text{ t/ha}$, směs vojtěšky se srhou v poměru 50:50 s celkovým výnosem $18,22 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, směs vojtěšky se srhou v poměru 80:20 s celkovým výnosem $17,62 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, směs vojtěšky s hybridem Felina v poměru 80:20 s celkovým výnosem $17,26 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, směs vojtěšky s hybridem Felina v poměru 50:50 s celkovým výnosem $16,04 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. V roce 2013, který byl teplotně i srážkově normální se nepotvrdily rozdíly ve výnosech mezi vojtěškotravními směsmi s rozdílným travním komponentem (srha x Felina) ani s rozdílným poměrem složení osiva. Do druhé skupiny s nižším výnosem patří směs jetele lučního se srhou v poměru 80:20 s celkovým výnosem $9,11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, jetel luční s celkovým výnosem $8,59 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, směs jetele lučního s hybridem Felina v poměru 80:20 s celkovým výnosem $8,45 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, směs jetele lučního se srhou v poměru 50:50 s celkovým výnosem $7,99 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a směs jetele lučního s hybridem Felina v poměru 50:50 s celkovým výnosem $7,95 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Třetí a nejnižší výnosovou skupinu tvoří srha s celkovým výnosem $4,67 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a hybrid Felina s celkovým výnosem $4,37 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

V kvalitativních znacích byly hodnoceny pouze směsi (varianty 1 – 8), nikoliv samostatné komponenty (trávy a jeteloviny).

V obsahu NL bylo zjištěno vyšší zastoupení u vojtěškotrav (var. č. 1, 2, 5, 6). U variant se stejným složením, ale rozdílným poměrem osiva nebyl zjištěn vliv poměru osiva (tab. č. 3) a vliv rozdílného travního komponentu na obsah NL také nebyl zjištěn. Rozdíly v obsahu NL u variant mezi sklizňovými roky byly zjištěny u varianty č. 3, která v roce 2012 vykazovala 173,35 g.kg⁻¹ a v roce 2013 145 g.kg⁻¹, dále u varianty č. 7, která v roce 2012 vykazovala 168,44 g.kg⁻¹ a v roce 2013 150,92 g.kg⁻¹ a u varianty č. 8, která v roce 2012 vykazovala 164,75 g.kg⁻¹ a v roce 2013 145,99 g.kg⁻¹.

V obsahu vlákniny bylo zjištěno, že var. č. 8 (jetelotráva) obsahuje více vlákniny než všechny vojtěškotravy (varianty č. 1, 2, 5, 6) a varianta č. 4 (jetelotráva). Rozdíly mezi sklizňovými roky byly zjištěny pouze u jetelotrav a to u varianty č. 3, která v roce 2012 vykazovala 256,59 g.kg⁻¹ a v roce 2013 277,85 g.kg⁻¹, dále u varianty č. 7, která v roce 2012 vykazovala 259,43 g.kg⁻¹ a v roce 2013 279,31 g.kg⁻¹ a u varianty č. 8, která v roce 2012 vykazovala 267,25 g.kg⁻¹ a v roce 2013 287,16 g.kg⁻¹. U vojtěškotrav nebyl zjištěn vliv sklizňového roku.

Vyšší obsah WSC byl zjištěn u všech jetelotrav (var. 3, 4, 7, 8) (tab. 3), což potvrzuje skutečnost, že jetel luční obsahuje více WSC než vojtěška setá.

NEL hodnoty jsou vyšší u všech vojtěškotrav (var. č. 1, 2, 5, 6) a nebyl zde prokázán vliv travního komponentu. U jetelotrav obsahující srhu laločnatou jsou hodnoty NEL vyšší než u směsí, které obsahují MRH Felina (tab. č. 3). Mezi sklizňovými roky byly zjištěny rozdíly u variant č. 1,3,5,6,7,8. U těchto variant došlo v roce 2013 ke snížení NEL.

Nejvyšší SOH 71,8 % byla zaznamenána u var. č. 6, která se lišila od variant 2, 3, 4 a 8. Nebyly zjištěny rozdíly SOH mezi sklizňovými roky, nebyl potvrzen vliv poměru osiva ani vliv travního komponentu.

Tab. č. 3: Statistické hodnocení kvality píce

var.	NL [g.kg ⁻¹]	vláknina [g.kg ⁻¹]	WSC [g.kg ⁻¹]	NEL [MJ.kg ⁻¹]	OMD
1	194,60 ^a	262,42 ^a	37,36 ^a	6,43 ^a	70,15 ^{ab}
2	201,78 ^a	259,62 ^a	38,88 ^a	6,44 ^a	69,20 ^{ab}
3	159,65 ^b	267,22 ^a	47,01 ^b	6,06 ^c	69,68 ^{ab}
4	159,97 ^b	264,15 ^a	48,64 ^b	6,12 ^c	69,65 ^{ab}
5	194,60 ^a	259,62 ^a	40,11 ^a	6,45 ^a	70,99 ^{bc}
6	201,78 ^a	259,10 ^a	41,47 ^a	6,45 ^a	71,80 ^c
7	159,68 ^b	269,37 ^b	48,78 ^b	5,89 ^d	70,15 ^{ab}
8	155,37 ^b	277,20 ^d	49,53 ^b	5,78 ^d	69,56 ^{ab}

Písmena v horním indexu zařazují varianty do skupin podle výsledků ANOVY na hladině významnosti $P > 0.05$.

Diskuse

Na nízkém výnosu trav se podílí nejen srážkové poměry, ale i absence dusíku (pokus nebyl hnojen) na rozdíl od směsí, které mají přísun dusíku prostřednictvím hlízkových bakterií žijících v symbióze s jetelovinami, které poutají vzdušný dusík. Z jiných pokusů na stejné lokalitě ale vyplývá, že výnosy samotných trav v podmínkách nedostatku srážek jsou nízké, i když jsou hnojené dusíkatým hnojivem (Lang, Novosádová, 2011). U vojtěškotrav, na rozdíl od jetelotrav, se srha laločnatá i hybrid Felina v suchých obdobích vyvíjely v porostech velmi dobře. To může být dáno tím, že hustý a vysoký vojtěškový porost dokáže zamezit lépe výparu (hlavně rosy) a vytvoří tak vhodnější mikroklima pro růst trav. Podobnou funkci ve směsích tvoří například jetel plazivý po sklizni píce (Svobodová, Šantrůček, 2007).

I přesto, že vojtěška dala v obou sklizňových letech nejvyšší výnosy, vykazovala mezi sklizňovými roky největší rozdíly ve výnosech. Rozdíl mezi suchým rokem 2012 a normálním rokem 2013 činí $9,27 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ suché hmoty. Podobné meziroční rozdíly vykazují varianty vojtěškotrav s intervalem výnosů $9,07\text{-}7,19 \text{ t/ha}$ suché hmoty. Jetelotrávy vykazují rozdíly $4,54 - 4,07 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Rozdíl u jetele lučního je $5,14 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a rozdíl u trav $3,42 - 3,26 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Pokles obsahu dusíkatých látek je způsoben nárůstem travního komponentu ve vlhčím roce 2013 (Lang, 2013) a zároveň úbytkem jetele z porostu ve druhém sklizňovém roce. Za úbytkem jetele lučního z porostu stojí nevhodné klimatické podmínky (Lang, 2013). Vyšší zastoupení vlákniny v jetelotrávách je způsobeno spolupůsobením dvou faktorů: dřívějším stárnutím jetele lučního v suchých podmínkách a přítomností MRH Felina ve směsi, který, jako kostřavovitý hybrid, přirozeně obsahuje více vlákniny. Ve vojtěškotrávách k nárůstu obsahu vlákniny nedošlo. U všech sledovaných variant došlo v roce 2013 k průkaznému nárůstu obsahu WSC. To je způsobeno vyšším zastoupením travního komponentu vlivem dostatku vody (Lang, 2013). Vliv poměru osiva, ani vliv travního komponentu nebyl zjištěn.

Závěr

V suchých a teplejších podmínkách mají vojtěškotrávy vyšší výnos než jetelotrávy. Ty jsou vhodnější do vyšších poloh s větším množstvím srážek, ve kterých se vojtěška, kvůli vyšším nárokům na teplotu, nepěstuje. Rozdílné zastoupení pozdní odrůdy srhy laločnaté VV 115-

132/10 a hybridu Felina ve směsi nemá vliv na výnos hmoty v suchém, ani normálně srážkovém roce. Srha laločnatá podobně jako mezirodový hybrid Felina jsou vhodné do jetelovinotravních směsí do suchých podmínek.

Vliv rozdílných klimatických podmínek na kvalitu píce jetelovinotravních směsí se může projevit přímým i nepřímým způsobem. Přímo může být ovlivněn obsah vlákniny ve směších jetele lučního u jetele lučního a u MRH Felina. Rostliny při nedostatku vody v kombinaci s vyššími teplotami rychleji stárnou a v době optimální sklizně může být v rostlinách vytvořeno vyšší množství vlákniny. Nepřímým způsobem může být kvalita píce ovlivněna změnou botanického zastoupení porostu. Při zvyšujícím se zastoupení travního komponentu dochází ke snižování obsahu dusíkatých látek a k nárůstu obsahu vodorozpustných cukrů. Vliv teplotně a srážkově rozdílných vegetací se neprojevil na NEL a SOH. Pozdní odrůda srhy laločnaté VV 115-132/10 je z hlediska kvality vhodnou alternativou do jetelovinotravních směsí k MRH Felina. Je výkonnou trávou v suchých podmínkách a má sladěnou periodicitu růstu s jetelovinami. V jetelotrávách zpomaluje proces stárnutí píce a zpomaluje pokles energetické hodnoty krmiva. To ale prakticky ztrácí na významu v podmínkách sucha, protože jetelotrávy mají nízké výnosy a není vhodné je v takových podmínkách pěstovat.

Informační zdroje:

Český statistický úřad: Soupis ploch osevů [on-line] 2013. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <<https://www.czso.cz/csu/czso/ceska-republika-od-roku-1989-v-cislech#09>>

Kožnarová, V., Klabzuba, J.: Doporučení WMO pro popis meteorologických, resp. klimatologických podmínek definovaného období. Rostlinná výroba 2002: roč. 48, č. 4, s. 190 – 192.

Lang, J., Novosádová I. 2011: A comparison of different nitrogen application systems for intergenetic grass hybrids with regard to forage production and quality. In: sborník 15th Conference on Environment and Mineral Processing & Exhibition. VSB – Technical University of Ostrava

Lang, J.: Srha laločnatá v jetelovinotravních směších. Úroda 12, 2013 vědecká příloha, s. 86-91. ISSN 0139-6013

Lang, J.: Výnosy jetelovinotravních směsí pěstovaných na orné půdě ve srážkově rozdílných letech. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. Sborník

mezinárodní konference Slovenskej akadémie vied, Zvolen, 10-11.9.2014, ISBN 978-800-89408-17-7

Vorlíček, Z., Dubec, J. 2007: Jeteloviny a jetelotrávy pro kvalitní objemnou píci. Vše pro trávy a jetelovino-trávy, magazín měsíčníku Agrární obzor, s.6-7.

Vorlíček, Z., Hanuš, O, Šindelková, I.: Zvýšení podílu energie v objemných krmivech ekologických farem pěstováním vhodných travních a jetelovino-travních směsí. Certifikovaná metodika, Troubsko 2009, 16 s. ISBN 978–80–86908–09–0

Svobodová, M., Šantrůček, J. 2007: Mulčování porostů trav a jetelovin [on-line]. Agroweb [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: http://www.agroweb.cz/Mulcovani-porostu-trav-a-jetelovin__s73x27544.html

Poděkování

Výsledek byl získán za částečné institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace.

Kontakt:

Ing. Jaroslav Lang, Ph.D., Zemědělský výzkum, spol. s r.o., Troubsko, 66441, lang@vupt.cz

Potenciálna a aktuálna evapotranspirácia na Slovensku v období 1951-2015 a scenáre možného vývoja do roku 2100

Potential and actual evapotranspiration in Slovakia in 1951-2015
and possible scenarios up to the year 2100

Milan Lapin¹, Ingrid Damborská¹, Martin Gera¹, Ján Hrvol¹, Marián Melo¹

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky (FMFI) Univerzity Komenského v Bratislave¹

Abstrakt

Potenciálna a aktuálna evapotranspirácia sa spracúva komplexnou metódou podľa Budyka adaptovanou na slovenské pomery Tomlainom. Výpočty sa robia z mesačných hodnôt klimatických prvkov z 30 staníc (v niektorých rokoch až z 35) za obdobie od roku 1951. Priebežne sa spracované údaje porovnávajú aj s hodnotami získanými inými metódami. Scenáre klimatickej zmeny sú založené na modifikácii výstupov viacerých modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry, tu prezentujeme iba výsledky dvoch regionálnych modelov KNMI a MPI. Mesačné sumy scenárov potenciálnej evapotranspirácie boli vypočítané z nomogramov podľa Zubenok a mesačných priemerov sýtostného doplnku. Výsledky potvrdili rast potenciálnej evapotranspirácie tak v období 1951-2015 ako aj do roku 2100, pričom je zrejmé, že aktuálna evapotranspirácia závisí od vlhkosti pôdy, ktorá väčšinou klesá.

Kľúčové slová: koeficient zavlaženia, relatívna evapotranspirácia, meteorologické sucho

Abstract

Potential and actual evapotranspiration is elaborated by the complex Budyko method modified to Slovakia by Tomlain. Monthly climatic data from 30 stations since 1951 represent base for calculation (up to 35 stations in some years). Results are compared also with calculations obtained by other methods. Climate change scenarios were designed by statistical downscaling of General Circulation Models outputs, here only two regional models results are presented (KNMI and MPI). Scenarios of monthly potential evapotranspiration sums have been calculated using simple Zubenok method based on saturation deficit data. Results confirmed increase of potential evapotranspiration in 1951-2015 as well as up to 2100. It is clear that actual evapotranspiration depends on soil moisture conditions which decrease mostly nearly continuously since 1951.

Keywords: irrigation coefficient, relative evapotranspiration, meteorological drought

Úvod

Spracovanie mesačných súm potenciálnej (E_o) a aktuálnej (E) evapotranspirácie sa robí na Fakulte matematiky a informatiky (FMFI) UK v Oddelení meteorológie a klimatológie (OMK) už vyše 40 rokov rovnakou komplexnou metódou podľa Budyka (1974), ktorá bola adaptovaná na slovenské podmienky Tomlainom (1980). Podľa dostupnosti mesačných údajov zo staníc Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) sa spracovanie robilo z 30 až 35 staníc, pričom 30 staníc má kompletne výsledky. Vedľajším výsledkom spracovania evapotranspirácie je aj priemerná využiteľná vlhkosť pôdy (W) v hornej 1 m vrstve. V tomto príspevku uvádzame spracovanie E_o , E a W za obdobie 1951-2015 z vybraných staníc. Podrobnejšie výsledky sú uvedené z reprezentatívnej stanice pre nížiny juhozápadného Slovenska, pre Hurbanovo (115 m n.m.).

Okrem výsledkov spracovania E_o , E a W uvádzame aj časový priebeh teploty vzduchu (T) a úhrnov zrážok (R) v priemere na Slovensku od roku 1881 a možný vývoj do roku 2100. Vzájomný vývoj T a R dominante určuje aj podmienky evapotranspirácie, najmä v južnej nížinatej polovici Slovenska. Dôležitý je aj vývoj relatívnej vlhkosti vzduchu (U), ktorá tesne koreluje s vlhkosťou pôdy (Damborská et al., 2015), preto uvádzame pre Hurbanovo aj grafy W a U v období 1951-2015. Pretože máme k dispozícii aj scenáre vývoja U do roku 2100, môžeme odhadnúť aj možný vývoj využiteľnej vlhkosti pôdy (W) v nasledujúcich desaťročiach podľa očakávaného trendu U .

Hodnoty E_o , E a R sa na Slovensku (podobne ako aj v iných krajinách) používali a stále používajú aj na analýzu podmienok zavlaženia a rizika sucha (Tomlain, 1980 a 1991). V tomto prípade ide o sucho meteorologické alebo klimatologické, kde sú dobrými ukazovateľmi klimatický ukazovateľ zavlaženia - $K = E_o - R$, alebo koeficient zavlaženia - $K_z = R/E_o$, alebo koeficient aridity (suchosti) $K_a = E_o/R$, alebo evapotranspiračný deficit - $dE = E_o - E$, alebo relatívna evapotranspirácia - $E_r = E/E_o$. Iné definície zavlaženia alebo sucha sú založené na možných dôsledkoch v rôznych sektoroch: Ak je v pôde (v prostredí) nedostatok vody pre rastliny (živočíchy), vzniká tzv. fyziologické sucho. Ak je nedostatok vody na formovanie zvyčajných prietokov v riekach a na udržiavanie zvyčajnej hladiny podzemnej vody, vzniká tzv. hydrologické sucho. Ak je nedostatok vody pre zvyčajné sociálne a ekonomické aktivity,

vzniká tzv. socio-ekonomické sucha (zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou, potravinová bezpečnosť a pod.). Podrobnosti uvádzajú Lapin (2005) a iné zdroje.

Scenáre možného vývoja E_o do roku 2100 boli spracované z denných scenárov teploty a vlhkosti vzduchu odvodených štatistickou modifikáciou výstupov viacerých modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCM) do roku 2100. V tomto príspevku sa sústreďujeme iba na regionálne GCM s označením KNMI (Holandsko) a MPI (Nemecko), obidva vychádzajú z okrajových podmienok globálneho GCM s označením ECHAM5 (Nemecko). Podrobnosti sú uvedené v Lapin et al. (2012 a 2015). Vlastný výpočet scenárov E_o bol urobený zjednodušenou metódou podľa Zubenok (1976), kde mesačné sumy E_o závisia len od sýtostného doplnku (D) rozdielne pre jednotlivé mesiace a rôzne geobotanické zóny. Aj v tomto prípade prezentujeme v príspevku iba vybrané stanice tak, aby charakterizovali vývoj na celom území Slovenska.

Materiál a metódy

Na Slovensku sa robí kompletné meteorologické pozorovanie v 3 klimatických termínoch o 7., 14. a 21. hodine SMČ približne na 100 klimatologických stanicach už od roku 1951. V dôsledku výpadkov pozorovaní a horšej kvality údajov sú spoľahlivé údaje za celé obdobie iba asi z 30 staníc. Požiadavky praxe boli ale také, že potenciálna (E_o) a aktuálna (E) evapotranspirácia sa spracúvala v jednotlivých rokoch z maximálneho počtu spoľahlivejších staníc (v niektorých rokoch až z 35). Vstupom výpočtov boli nasledujúce údaje: mesačné priemery teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu, tlaku vodnej pary, oblačnosti alebo trvania slnečného svitu, úhrnov zrážok a počtu dní so snehovou pokrývkou.

Podrobný popis komplexnej metódy výpočtu E_o a E uvádza Tomlain (1980). Dôležité je to že E_o závisí od sýtostného doplnku podľa vypočítanej teploty vyparujúceho sa povrchu a meranej vlhkosti vzduchu v meteorologickej búde, čo znamená, že najmä v zimných mesiacoch je E_o znížená v porovnaní s inými metodikami vplyvom usadených zrážok. Vo väčšine prípadov majú december a január E_o iba na úrovni 0 mm až 5 mm za celý mesiac.

$$E_o = \rho \Delta (q_s - q_2),$$

kde ρ je hustota vzduchu, Δ – integrálny koeficient difúzie, q_s – merná vlhkosť v stave nasýtenia pri teplote vyparujúceho sa povrchu a q_2 – merná vlhkosť v meteorologickej búde. Hodnoty E sa počítajú podľa nasledujúceho vzťahu:

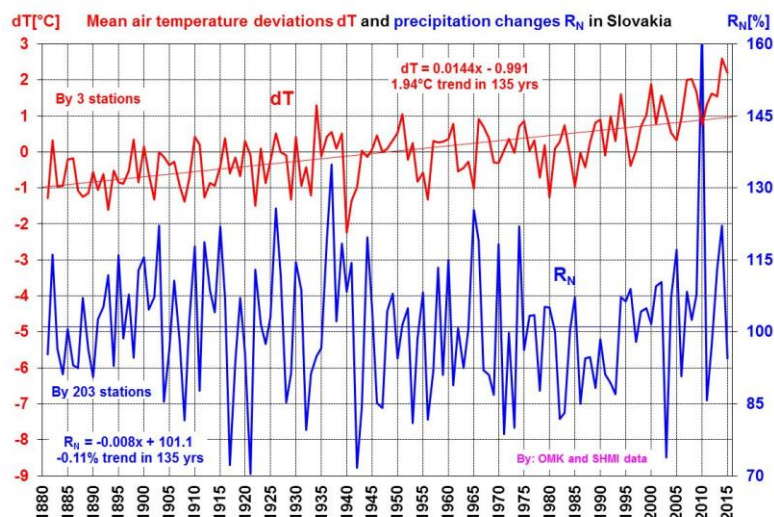
$$E = E_0 \frac{\bar{W}}{W_0},$$

kde vlhkosť pôdy \bar{W} sa rozumie obsah využiteľnej vody na evapotranspiráciu v hornej 1-metrovej vrstve, W_0 je kritická vlhkosť pôdy, nad ktorou je $E = E_0$. Priemerná vlhkosť pôdy sa počíta ako $\bar{W} = (W_1 + W_2)/2$ ktorá sa stanovuje postupným výpočtom rovnice hydrologickej (vodnej) bilancie (W_1 je vlhkosť pôdy na začiatku a W_2 na konci mesiaca). Hodnoty W_0 sú pre 1-metrovú vrstvu zvyčajne od 100 do 200 mm so sezónnymi zmenami.

Výpočty je potrebné začať aspoň 6 mesiacov pred začiatkom spracovávaného obdobia. V zásade nemôže E prekročiť v mesačných hodnotách E_0 a ani R počas dlhšieho obdobia ako 18 mesiacov.

Scenáre klimatickej zmeny sa pripravujú na Slovensku už od roku 1993, pričom v rokoch 1995-1997 bola publikovaná prvá verzia mesačných scenárov klimatickej zmeny na báze výstupov 3 modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCM). Od roku 2011 používame najnovšiu verziu denných scenárov ako modifikovaných výstupov 3 globálnych a 2 regionálnych GCM v 3 verziách emisných scenárov SRES A2, B1 a A1B. V tomto príspevku uvádzame iba výsledky spracovania E_0 pre vybrané stanice na základe denných údajov sýtoštného doplnku z 2 regionálnych GCM (holandského KNMI a nemeckého MPI, obidva s okrajovými podmienkami z nemeckého globálneho GCM s označením ECHAM5).

Spracovanie scenárov E_0 bolo urobené podľa nomogramov uvedených v práci Zubenok (1976), pričom sme pre nižšie polohy použili nomogramy pre lesostep a pre vyššie alebo zalesnené polohy pre listnatý alebo zmiešaný les. Vzhľadom na to, že sa vo výpočtoch berie do úvahy sýtoštný doplnok z meteorologickej búdky (nie vzhľadom k vyparujúcemu sa povrchu pôdy) sú mesačné sumy E_0 o niečo vyššie ako pri použití komplexnej metódy (predovšetkým v zime). Do roku 2100 sa očakáva rast priemerov teploty vzduchu o 2 až 4 °C.

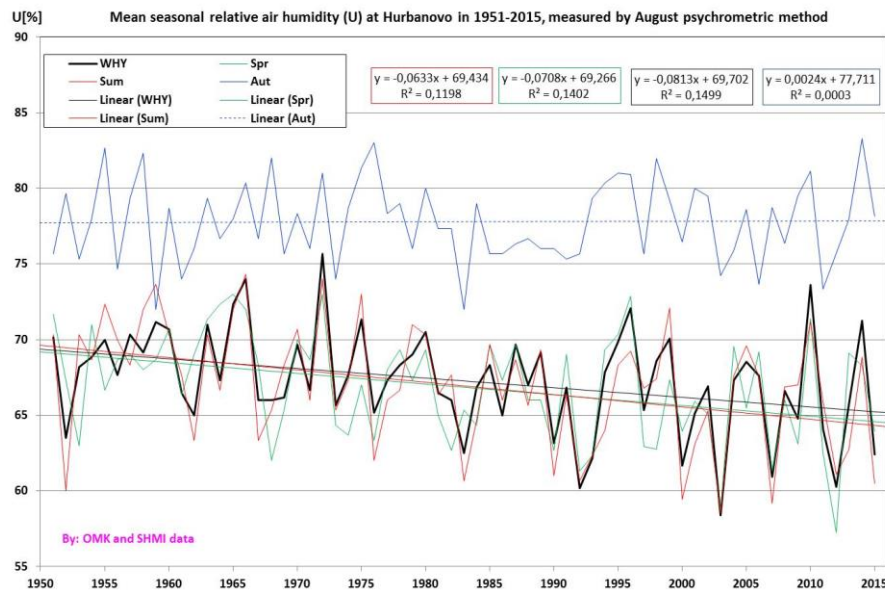


Obr. 1: Zmeny priemerných odchýlok teploty vzduchu od dlhodobého priemeru 1951-1980 a relatívnych územných úhrnov zrážok (ako % dlhodobého priemeru 1901-1990) na Slovensku v období 1881-2015 (priemerné odchýlky teploty vzduchu sú vypočítané z 3 staníc – Hurbanovo, Košice a Liptovský Hrádok a územné úhrny zrážok sú vypočítané dvojitým váženým priemerom z 203 staníc). Spracované v Oddelení meteorológie a klimatológie FMFI UK na základe údajov SHMÚ. Do r. 2100 predpokladajú scenáre ďalší rast teploty vzduchu o 2 až 4 °C ale iba malé zmeny úhrnov zrážok na juhu a mierny rast na severe Slovenska

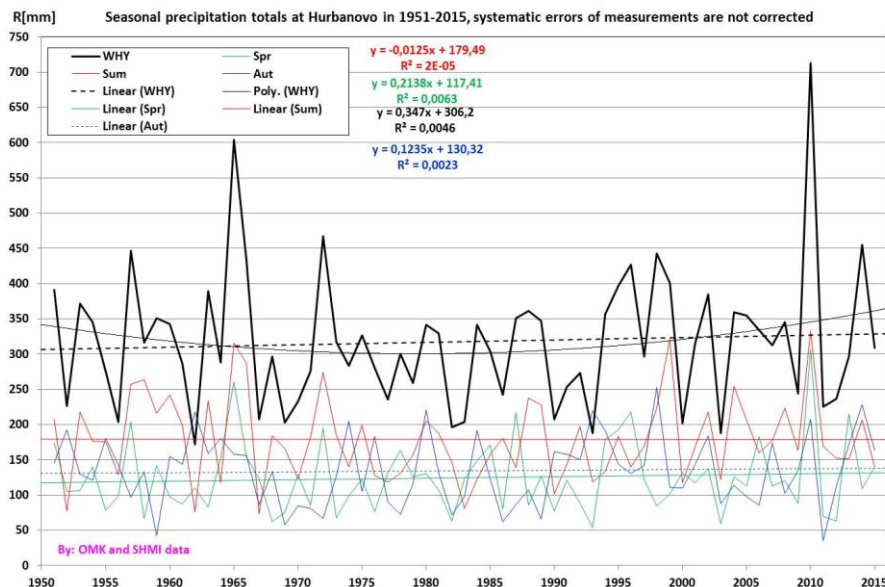
Výsledky analýzy za obdobie 1951-2015

Obdobie 1951-2015 predstavovalo aj v širšom horizonte 1881-2015 (Obr. 1) postupne otepľujúcu sa klímu na Slovensku, pričom po roku 1991 sme už zaznamenávali prekonávanie teplých rekordov za celé obdobie meraní 5-krát častejšie ako prekonávanie studených rekordov (týkalo sa to tak denných a mesačných priemerov ako aj denných a mesačných minim a maxim teploty vzduchu). Vývoj úhrnov zrážok bol komplikovanejší najmä preto, že sa v celkovo klesajúcom trende prejavil od roku 1975 výrazný nedostatok zrážok pri zvyšujúcej sa potenciálnej evapotranspirácii a klesajúcej relatívnej vlhkosti vzduchu (Obr. 2 až 5). Toto zrážkovo výrazne nedostatkové obdobie (najmä na juhu Slovenska) skončilo v roku 1993. Potom sa úhrny zrážok postupne zvýšili a vyvrcholili extrémne zrážkovo bohatým rokom 2010. Napriek tomu sme nezaznamenali na nížinách Slovenska výraznejšie a dlhotrvajúce zvýšenie pôdnej vlhkosti (Obr. 4). Dá sa to vysvetliť tým, že na zvyšujúcich sa úhrnoch zrážok sa podieľali predovšetkým búrkové lejaky a intenzívne prehánky s krátkym trvaním, z ktorých väčšia časť vody predstavovala odtok. Keďže sa súčasne predĺžili a zosilneli relatívne suché epizódy, pôdna vlhkosť sa rýchle vyčerpana výparom a častejšie ako v minulosti sme zaznamenali na Slovensku dlhotrvajúce a ničivé sucho. Relatívne sucho bolo postupne

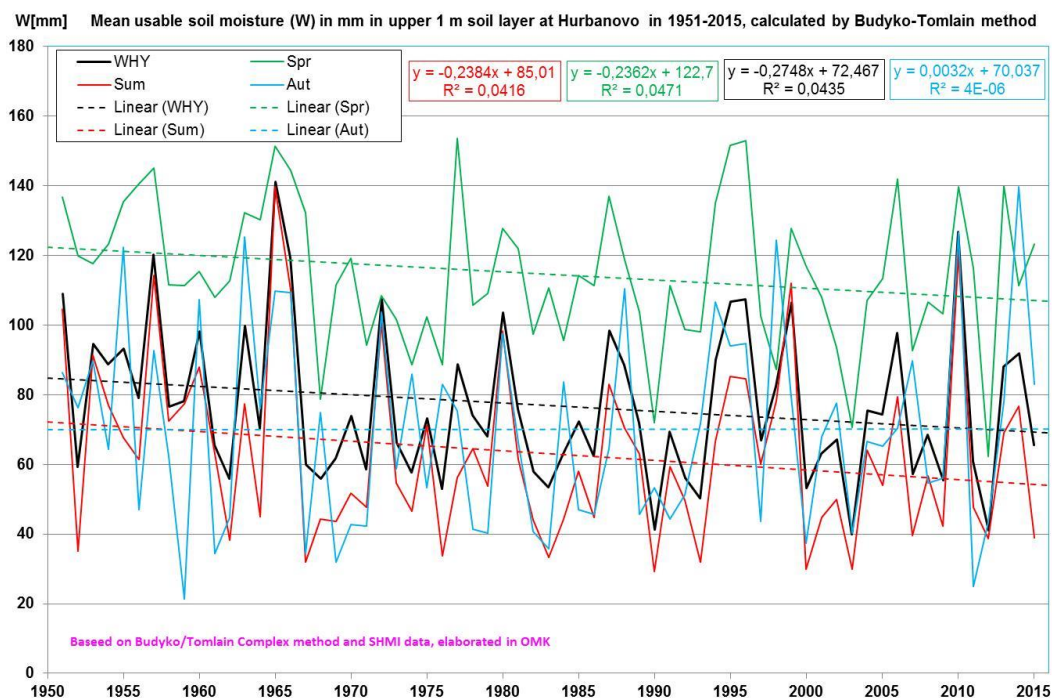
stále častejšie aj podľa trendu dôležitých klimatických charakteristík evapotranspirácie na nížinách Slovenska (Obr. 4 až 6).



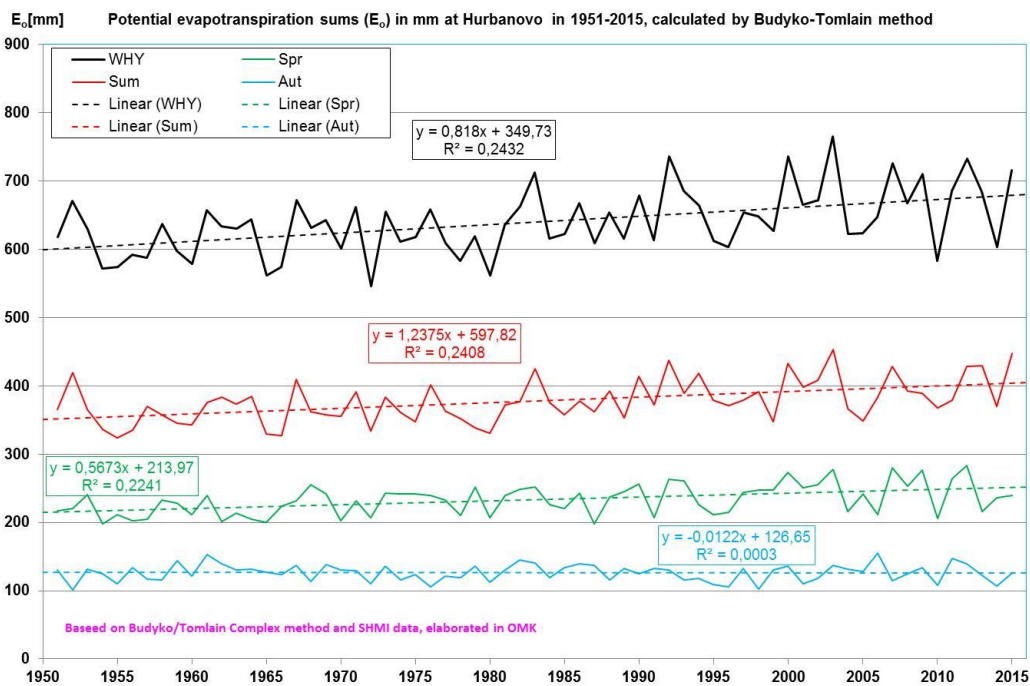
Obr. 2: Priemery relatívnej vlhkosti vzduchu (U) v Hurbanove v % v období 1951-2015 za teplý polrok (WHY, IV-IX), na jar (Spr), v lete (Sum) a na jeseň (Aut), vrátane lineárneho trendu a koeficientu determinácie R^2 . SHMÚ meria U v neventilovanej meteorologickej búdke pomocou Augustovho psychrometra. Spracované v OMK na základe údajov SHMÚ.



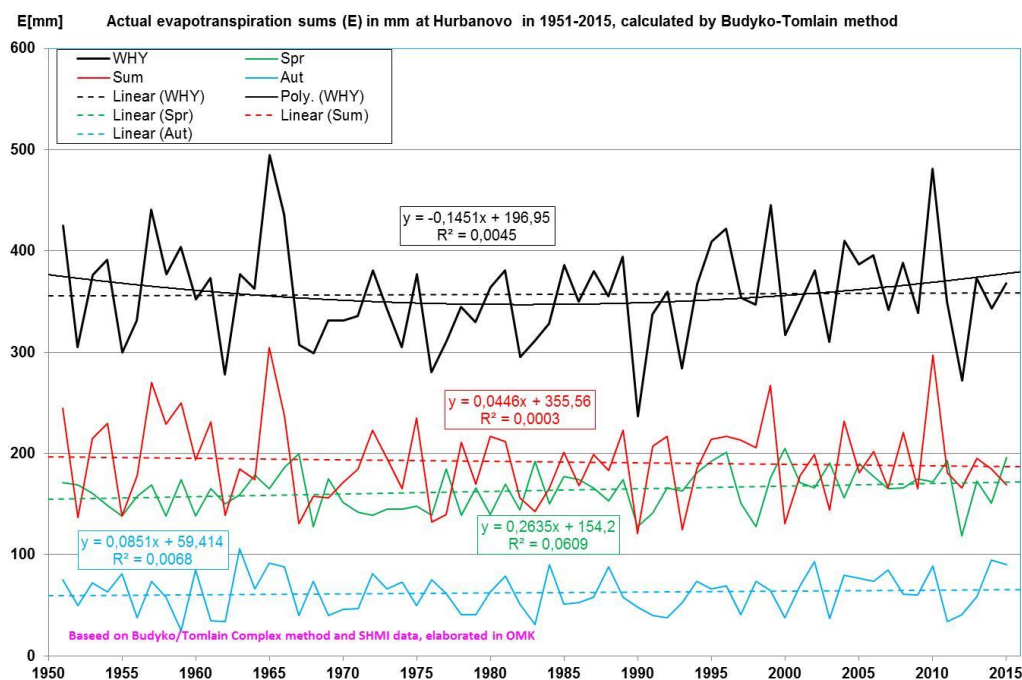
Obr. 3: Úhrny zrážok (R) v Hurbanove v mm v období 1951-2015 za teplý polrok (WHY, IV-IX), na jar (Spr), v lete (Sum) a na jeseň (Aut), vrátane lineárneho trendu (pre WHY aj kvadratický trend) a koeficientu determinácie R^2 . SHMÚ meria R pomocou zrážkomeru Metra, úhrny nie sú opravené o systematické chyby. Spracované v OMK z údajov SHMÚ.



Obr. 4: Využitelná vlhkosť pôdy (W) v Hurbanove v mm v hornej 1-metrovej vrstve v období 1951-2015 za teplý polrok (WHY, IV-IX), na jar (Spr), v lete (Sum) a na jeseň (Aut), vrátane lineárneho trendu a koeficientu determinácie R^2 . Uvedené hodnoty W sú medzi výsledkom výpočtu aktuálnej evapotranspirácie podľa komplexnej Budyko-Tomlainovej metódy. Spracované v OMK na základe údajov SHMÚ.



Obr. 5: Potenciálna evapotranspirácia (E_o) v Hurbanove v mm v období 1951-2015 za teplý polrok (WHY, IV-IX), na jar (Spr), v lete (Sum) a na jeseň (Aut), vrátane lineárneho trendu a koeficientu determinácie R^2 . Uvedené hodnoty E_o sú vypočítané podľa komplexnej Budyko-Tomlainej metódy. Spracované v OMK na základe údajov SHMÚ.



Obr. 6: Aktuálna evapotranspirácia (E) v Hurbanove v mm v období 1951-2015 za teplý polrok (WHY, IV-IX), na jar (Spr), v lete (Sum) a na jeseň (Aut), vrátane lineárneho trendu (pre WHY aj kvadratický trend) a koeficientu determinácie R^2 . Uvedené hodnoty E sú vypočítané podľa komplexnej Budyko-Tomlainej metódy. Spracované v OMK na základe údajov SHMÚ.

Podmienky zavlaženia môžeme približne zhodnotiť v Hurbanove aj podľa klimatického ukazovateľa zavlaženia $K = E_o - R$, alebo evapotranspiračného deficitu - $dE = E_o - E$, alebo relatívnej evapotranspirácie - $E_r = E/E_o$, ako to vidíme v Tab. 1. Obdobie 2011-2015 je ešte príliš krátke na závery hodnotenia trendu. Do roku 2010 ale vidíme zaujímavý negatívny vývoj všetkých 3 koeficientov napriek tomu, že rok 2010 bol extrémne vlhký a trochu skresľuje výsledky desaťročia 2001-2010. Trend zvyšovania rizika sucha na južnom Slovensku je aj tak zrejмый.

Tabuľka 1: Porovnanie rôznych koeficientov zavlaženia v 10-ročných obdobiach v celkovom období 1951-2010 a v 5-ročnom období 2011-2015, rok 2010 je uvedený zvlášť ako významný extrém s rekordne vysokými úhrnmi zrážok (TP – teplý polrok, IV-IX).

Koeficient	$K = E_o - R$ [mm]				$dE = E_o - E$ [mm]				$E_r = E/E_o$ [%]			
	TP	Jar	Leto	Jeseň	TP	Jar	Leto	Jeseň	TP	Jar	Leto	Jeseň
1951-1960	283,6	93,4	166,3	-8,6	236,6	58,9	147,4	63,8	61,4	73,2	59,1	49,4

1961-1970	300,3	101,9	175,1	-13,2	261,5	57,9	173,6	65,7	58,6	74,5	53,3	51,5
1971-1980	318,2	110,6	198,8	9,6	282,4	80,3	179,9	64,6	54,5	65,4	50,8	48,4
1981-1990	334,2	106,4	203,7	14,6	281,6	67,8	185,6	68,4	56,1	71,0	50,7	48,8
1991-2000	327,9	113,9	216,6	-45,9	296,2	75,2	192,7	63,6	55,1	69,3	51,1	48,5
2001-2010	379,5	134,7	218,9	5,7	321,8	77,4	218,3	61,6	53,5	69,9	46,1	53,2
2010	-130	-101	36	-100	102	34	71	19	82,5	83,5	80,7	82,4
2011-2015	272,6	88,3	193,0	-26,6	294,2	79,4	190,4	61,2	56,4	68,5	52,5	54,4
1951-2015	320,6	108,7	196,8	-7,8	281,8	70,5	184,1	64,4	56,4	70,3	51,8	50,3

Zo spracovania potenciálnej (E_o) a aktuálnej (E) evapotranspirácie z ostatných staníc na Slovensku uvádzame iba stručné informácie zamerané na porovnanie E_o a E v období rýchleho otepľovania klímy (1991-2015) a predchádzajúcich období 1951-1980 a 1961-1990.

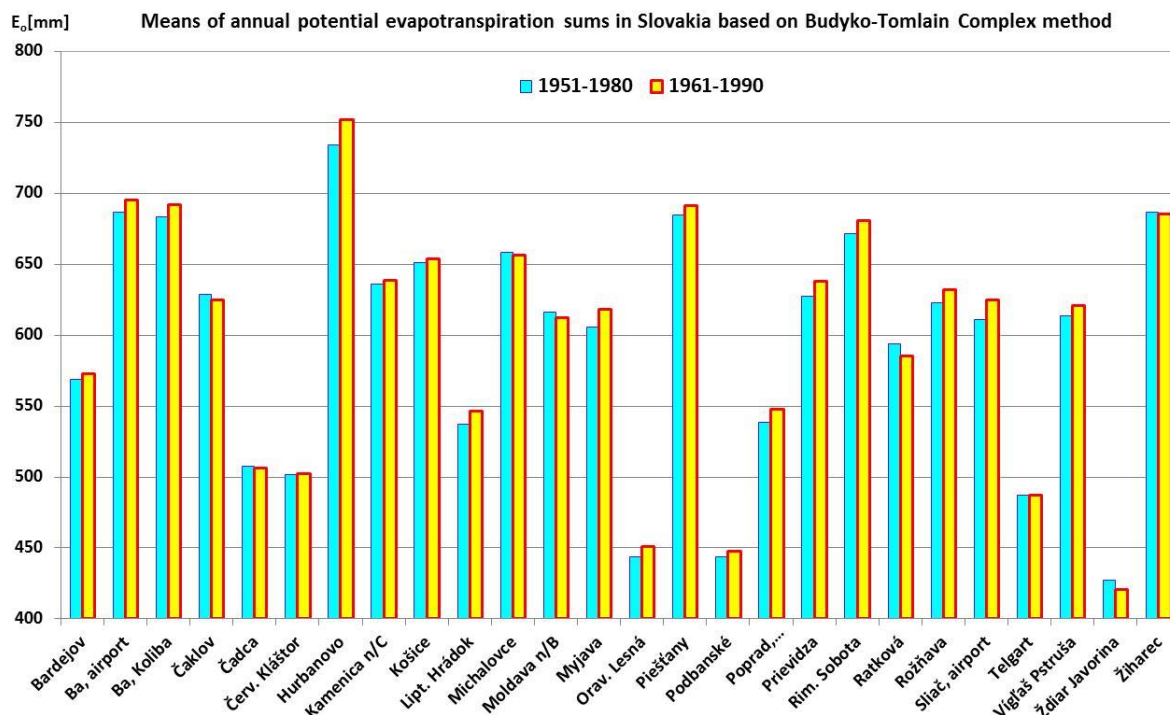
Tabuľka 2: Zoznam staníc na spracovanie evapotranspirácie od roku 1951 s nadmorskými výškami a priemerným úhrnom zrážok v období 1961-1990 (kurzívou stanice s prerušeniami).

<i>Stanica, nadmorská výška [m n.m.]</i>	<i>[mm]</i>	<i>Stanica, nadmorská výška [m n.m.]</i>	<i>[mm]</i>
Bardejov, 305	743	Oravská Lesná, 780	1095
<i>Bol'kovce (pri Lučenci), 214</i>	612	Piešťany, 165	577
Bratislava-Koliba, 286	647	Plaveč (pri Starej Ľubovni), 488	663
Bratislava-letisko, 131	576	Podbanské, 972	925
Bystrička (pri Martine), 470	803	Poprad, 695	579
Čadca, 423	926	Prievidza, 260	642
Čaklov, 133	637	Ratková, 287	725
Červený Kláštor, 474	748	Rimavská Sobota, 214	596
Hurbanovo, 115	525	<i>Rožňava, 289</i>	668
Kamenica nad Cirochou, 178	724	Sliač-letisko, 313	702
Košice-letisko, 230	622	<i>Somotor, 100</i>	559
Kuchyňa-Nový Dvor, 206	650	<i>Štrbské Pleso, 1360</i>	959
Liptovský Hrádok, 640	678	Telgárt, 901	830
Michalovce, 112	606	Trstená, Ústie n/Priehradou, 598	798
Moldava nad Bodvou, 210	643	Víglaš-Pstruša, 368	606
Myjava, 375	668	Ždiar-Javorina, 1020	1229
<i>Nitra, 173</i>	540	Žihárec, 111	553

Ako vidíme z Tab. 2, pre niektoré stanice nie je možné vypočítať dlhodobé hodnoty E_o a E kvôli častým prerušeniam pozorovaní, prípadne kvôli zníženej kvalite údajov. Ročné sumy E_o je možné aj doplniť podľa spracovania okolitých staníc v podobnej nadmorskej výške, doplnenie ročných súm E je problematické aj na blízkyh staniciach, pretože závisia značne od napremenlivejšieho faktora – od vlhkosti pôdy, ktorá je limitovaná úhrnmi zrážok, odtokovými podmienkami a predchádzajúcim výparom.

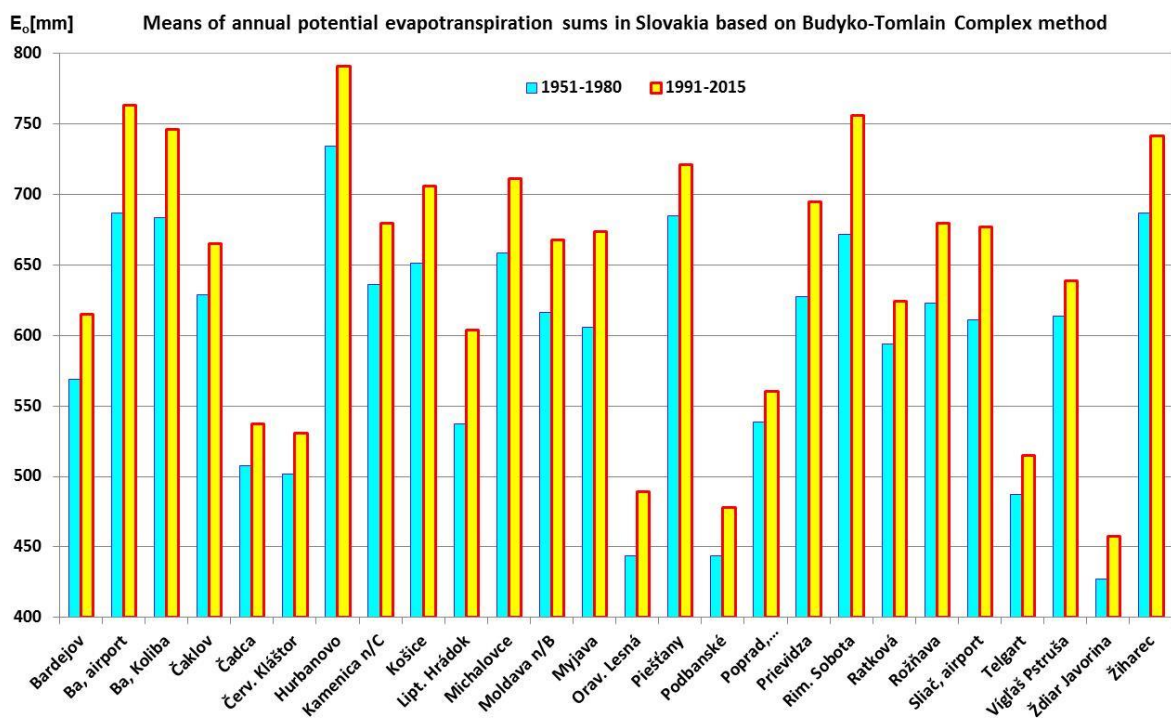
Najprv uvádzame porovnanie hodnôt E_o v dvoch v slovenskej odbornej literatúre používaných normálových obdobiach – 1951-1980 a 1961-1990. Z Obr. 7 vidíme, že na žiadnej z prezentovaných staníc nie sú medzi týmito obdobiami významnejšie rozdiely, obdobie

1961-1990 má ale vyššie priemery E_o , pretože bolo celkovo suchšie, trochu teplejšie a s nižšou relatívnou vlhkosťou vzduchu.

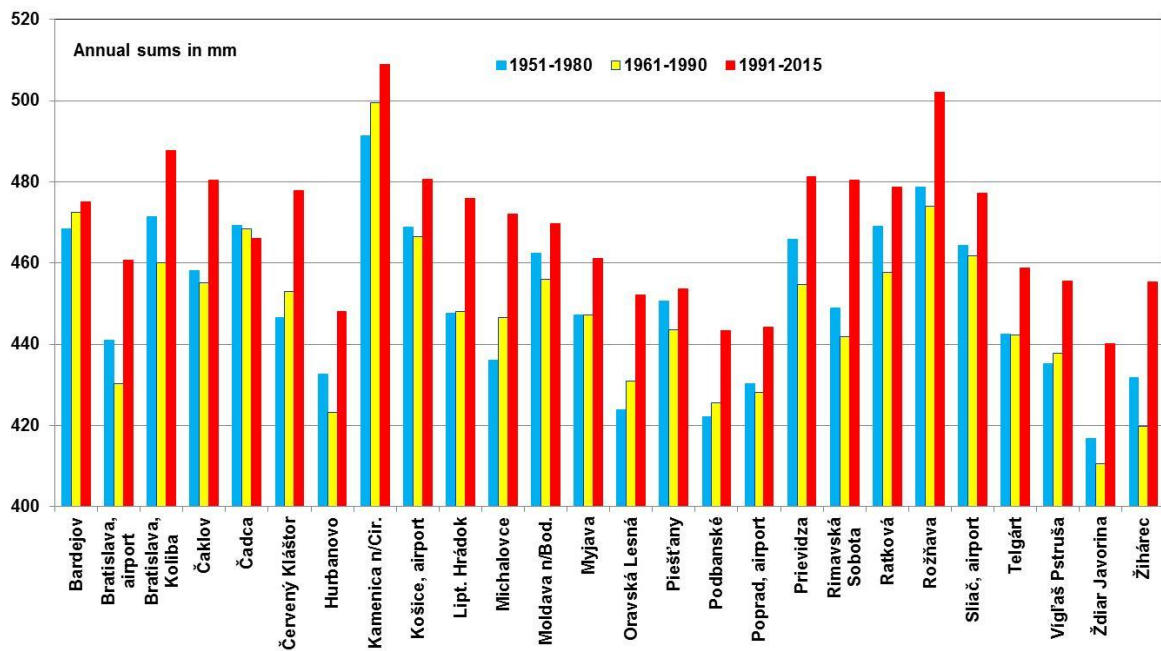


Obr. 7: Porovnanie ročných priemerov potenciálnej evapotranspirácie v obdobiach 1951-1980 a 1961-1990 pre vybraných 26 staníc na Slovensku. Údaje E_o boli spracované komplexnou Budykovou metódou v OMK upravenou Tomlainom na podmienky Slovenska na základe pozorovaní v sieti staníc SHMÚ. Ba, airport a Ba, Koliba sú stanice Bratislava letisko a Bratislava Koliba.

Na Obr. 8 uvádzame porovnanie priemerov E_o v obdobiach 1951-1980 a 1991-2015, teda v období, ktoré vcelku reprezentuje podmienky 20. storočia a v období rýchle sa otepľujúcej klímy na prelome 20. a 21. storočia. Je zreteľne vidieť, že E_o bola v priemere v období 1991-2015 podstatne vyššia ako v období 1951-1980, pričom relatívny rozdiel (v %) bol najväčší na juhu Slovenska (okolo 10%), na severe a východe Slovenska miestami menej ako 5%.



Obr. 8: Porovnanie ročných priemerov potenciálnej evapotranspirácie v obdobiach 1951-1980 a 1991-2015 pre vybraných 26 staníc na Slovensku. Údaje E_0 boli spracované komplexnou Budykovou metódou v OMK upravenou Tomlainom na podmienky Slovenska na základe pozorovaní v sieti staníc SHMÚ. Ba, airport a Ba, Koliba sú stanice Bratislava letisko a Bratislava Koliba.

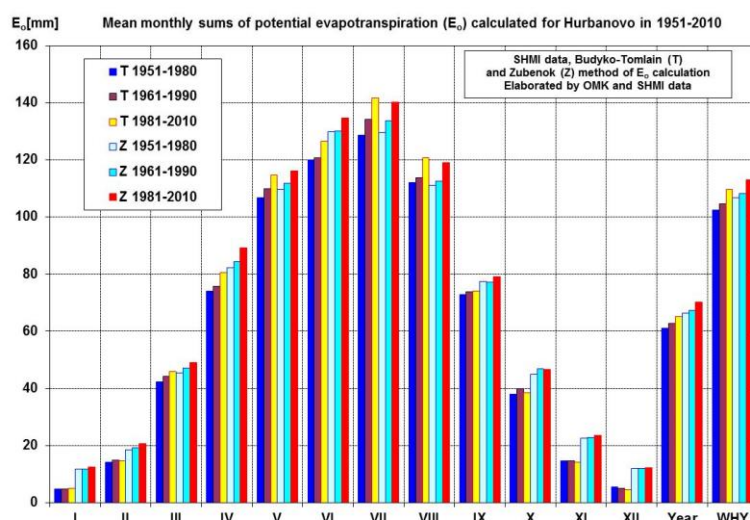


Obr. 9: Porovnanie ročných priemerov aktuálnej evapotranspirácie v obdobiach 1951-1980, 1961-1990 a 1991-2015 pre vybraných 26 staníc na Slovensku. Údaje E boli spracované komplexnou Budykovou metódou v OMK upravenou Tomlainom na podmienky Slovenska na základe pozorovaní v sieti staníc SHMÚ.

Z Obr. 9 je zrejmé, že vývoj aktuálnej evapotranspirácie E (výpočty podľa komplexnej metódy) závisí jednak od potenciálnej evapotranspirácie E_0 , a tiež od zrážok alebo vlhkosti pôdy. V období 1951-1980 bolo dostatok zrážok a ako je vidieť z Obr. 4 bola aj na nížinách dosť vysoká vlhkosť pôdy, preto bola E relatívne vyššia napriek nižšej E_0 ako v období 1961-1990. V hlavnom normálovom období 1961-1990 boli totiž väčšinou nízke úhrny zrážok, predovšetkým po roku 1974 (Obr. 1 a 3, chýbali roky s vysokými úhrnmi zrážok), čo znížilo vlhkosť pôdy a to limitovalo veľkosť súm E . Od roku 1994 sa mierne zvýšili úhrny zrážok (Obr. 1), no značne vzrástli aj sumy E_0 vo vegetačnom období (Obr. 5), čo sa podpísalo nielen na výraznom raste ročných súm E ale aj na poklese vlhkosti pôdy. Z iných spracovaní je zrejmé, že veľmi nízke prietoky riek sa po roku 1993 mierne zvýšili, no nedosiahli v priemere také hodnoty ako pred rokom 1975. Rok 2010 bol výraznou výnimkou kvôli extrémne vysokým úhrnom zrážok. Zvýšenie priemerných prietokov riek po roku 1993 bolo čiastočne spôsobené aj rastom podielu kovektívnych zrážok na úkor zrážok trvalého charakteru. Z konvektívnych zrážok, najmä z intenzívnych lejakov, sa väčšina zrážkovej vody transformuje na odtok aj v suchých letných podmienkach.

Výsledky analýzy scenárov pre obdobie 2000-2100

Scenáre klimatickej zmeny sú založené prevažne na modifikácii výstupov modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCM), ktoré majú fyzikálny základ a meniace sa parametre klimatotvorných faktorov. V tomto príspevku uvádzame len analýzu vývoja mesačných a sezónnych súm potenciálnej evapotranspirácie (E_o) spracovaných podľa modifikovaných výstupov dvoch regionálnych modelov GCM (nemeckého MPI a holandského KNMI, obidva majú okrajové podmienky z globálneho GCM ECHAM5). Podrobnosti máme uvedené v Lapin et al. (2012). Na výpočet E_o pomocou nomogramov uvedených v Zubenok (1976) potrebujeme stanoviť čo najspoľahlivejšie mesačné priemery sýtnostného doplnku $D = e^* - e$, kde e^* je tlak vodnej pary v stave nasýtenia pri danej teplote a e je skutočný tlak vodnej pary. Pretože hodnoty D závisia od metodiky výpočtu (aj e^* a aj e závisia exponenciálne od teploty T), tak sme zvolili taký postup, že sme vypočítali z modelových výstupov e^* a e pre každý deň a z denných hodnôt D sme potom aritmetickým priemerom stanovili mesačné priemery. Zubenok (1976) uvádza nomogramy na výpočet E_o zvlášť pre každý mesiac roka a pre každú geobotanickú zónu (celkovo 10 geobotanických zón). Pre Hurbanovo a iné nížinné stanice sme použili nomogramy pre lesostep. Na Obr. 10 prezentujeme rozdiely vo vypočítaných hodnotách E_o podľa metód Budyko-Tomlain a Zubenok v Hurbanove v období 1951-2010. Tieto rozdiely vyplývajú z vstupných údajov, ako sme uviedli v časti Materiál a metódy.

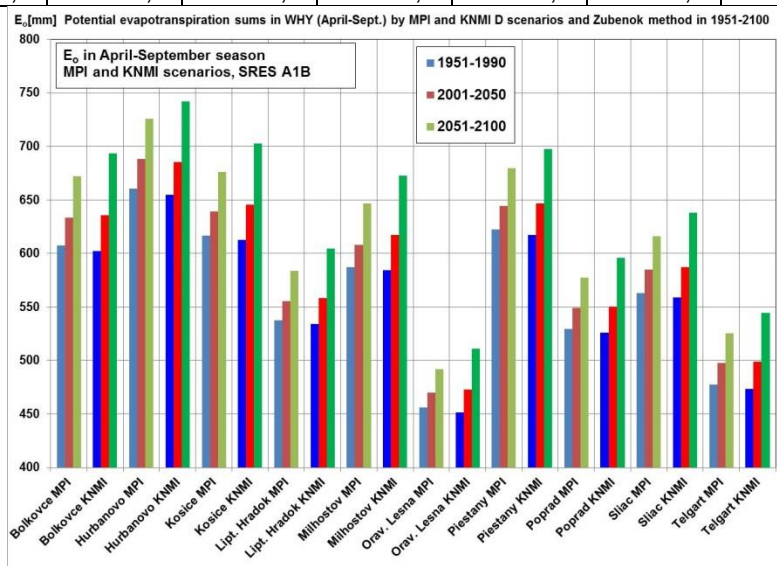


Obr. 10: Priemery potenciálnej evapotranspirácie (E_o) v Hurbanove v období 1951-2010 (v rôznych 30-ročných obdobiach) vypočítané pomocou dvoch metód používaných v OMK (komplexnej Budykovej metódy modifikovanej Tomlainom na podmienky Slovenska a metódy Zubenok) a meraných údajov SHMÚ.

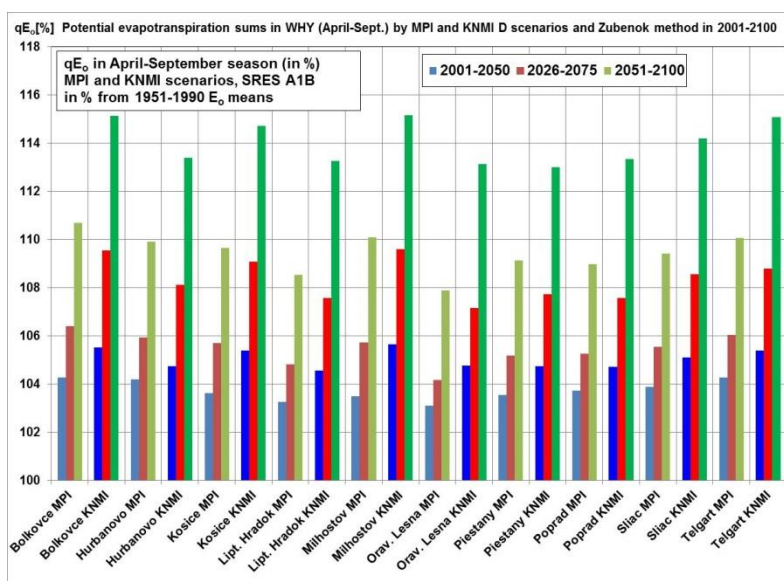
V ďalších dvoch obrázkoch uvádzame v zjednodušenom formáte vypočítané hodnoty E_o podľa metódy Zubenok pre 10 staníc na Slovensku v časových horizontoch 1951-1990, 2001-2050 a 2051-2100 (Obr. 11) a relatívne hodnoty E_o (v % z obdobia 1951-1990) pre časové horizonty 2001-2050, 2026-2075 a 2051-2100 (Obr. 12). Je vidieť, že podľa modelu MPI, ktorý má vyššiu relatívnu vlhkosť, je zvýšenie E_o v 21. storočí o niečo menšie ako podľa suchšieho modelu KNMI. Celkovo je ale rast E_o menší ako rast sýtnostného doplnku D, čo súvisí s nelineárnou závislosťou E_o od D v nomogramoch podľa Zubenok (1976). V Tab. 3 je očakávaný vývoj D v 21. storočí v porovnaní s D v období 1951-1990.

Tabuľka 3: Priemery sýtnostného doplnku (D) z modifikovaných výstupov regionálnych modelov KNMI a MPI v hPa pre mesiace, rok, teplý polrok a obdobia od 1951 do 2100.

Mesiac/ obdobie	Podľa modelu KNMI				Podľa modelu MPI			
	1951- 1990	2001- 2050	2026- 2075	2051- 2100	1951- 1990	2001- 2050	2026- 2075	2051- 2100
I	0,9	1,0	1,1	1,2	1,0	1,2	1,5	1,6
II	1,3	1,5	1,7	1,7	1,4	1,6	2,1	2,1
III	2,6	2,9	3,2	3,3	2,8	3,2	3,5	3,5
IV	4,7	5,3	5,4	5,6	4,8	5,3	5,2	5,2
V	6,1	6,9	7,3	8,1	6,1	6,2	6,4	6,7
VI	7,2	7,9	8,3	9,7	7,2	7,7	7,7	8,5
VII	8,2	9,1	10,0	12,0	8,3	9,0	9,2	10,3
VIII	7,3	8,0	8,9	9,9	7,7	8,8	9,6	10,8
IX	4,5	5,1	5,6	5,9	4,8	5,6	6,1	6,9
X	2,9	3,2	3,4	3,5	3,0	3,5	3,7	3,8
XI	1,5	1,6	1,7	1,8	1,6	1,9	2,0	2,1
XII	1,0	1,0	1,1	1,2	1,0	1,2	1,4	1,5
Rok	4,0	4,5	4,8	5,3	4,1	4,6	4,9	5,3
IV-IX	6,3	7,0	7,6	8,5	6,5	7,1	7,4	8,1



Obr. 11: Sumy potenciálnej evapotranspirácie (E_o) v mm podľa výstupov modelov MPI a KNMI a metódy Zubenok pre 10 staníc SHMÚ na Slovensku v období IV-IX a 1951-2100.



Obr. 12: Sumy potenciálnej evapotranspirácie (E_o) v % z hodnôt v období 1951-1990 podľa výstupov modelov MPI a KNMI a metódy Zubenok pre 10 staníc SHMÚ na Slovensku vo vegetačnom období IV-IX a časových horizontoch 2001-2050, 2026-2075 a 2051-2100.

Záver

Hodnotenie potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie predstavuje neoddeliteľnú súčasť akejkoľvek analýzy zavlaženia pôdy alebo rizika sucha. Je zrejmé, že sa pomocou týchto podkladov môžeme priamo dopracovať iba k posudzovaniu zavlaženia pôdy v štandardných podmienkach, v našom prípade nízkostrihaného prirodzeného trávnik, ktorý je štandardom aj ako zemský povrch v okolí meteorologickej búdky na pozorovacích stanicích SHMÚ. Napriek tomu ide o cenné podklady, ktoré vedia odborníci z iných sektorov (napríklad poľnohospodárstvo, lesné a vodné hospodárstvo) využiť vo svojich modeloch a pri svojich analýzach. Už dlhšiu dobu avizujú klimatológovia prebiehajúcu klimatickú zmenu, ktorá je okrem otepľovania klímy spojená aj s celým radom iných zmien, vrátane zvýšenia rizika sucha. Preto považujeme priebežné spracovanie a upresňovanie scenárov zmien potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie ako aj výpočtovej vlhkosti pôdy za dôležitý prínos meteorológov a klimatológov pre praktické riešenia v dotknutých sektoroch.

Literatúra

Budyko, M.I., 1974: Climate and life. Gidrometeorizdat. Leningrad. (v ruštine)

Damborská, I., Gera, M., Melo, M., Lapin, M., Nejedlík, P., 2015: Changes in the daily range of the air temperature in the mountainous part of Slovakia within the possible context of global warming. *Meteorologische Zeitschrift*. Vol. 25, No. 1, 17-35.

Lapin, M., I. Bašták-Đurán, M. Gera, J. Hrvol', M. Kremler, M. Melo, 2012: New climate change scenarios for Slovakia based on global and regional general circulation models. *Acta Met. Univ. Comen.* 37, 25–74.

Lapin, M., 2005: Čo je to sucho a povodeň? Ako s tým súvisí globálne otepľovanie. http://www.dmc.fmph.uniba.sk/public_html/climate/aktualne2.htm

Lapin, M., Damborská, I., Gera, M., Hrvol', J., Melo, M., 2015: Trends of evapotranspiration in Slovakia, including scenarios up to 2100. In: *International Bioclimatological Conference: Toward Climatic Services*. Slovak. Bioclimatological Society SAS, Nitra, 5 pp.

Tomlain, J., 1980: Výpar z povrchu pôdy a jeho rozloženie na území ČSSR. – *Vodohospodársky časopis* Vol. XXVIII, No. 2, 170-205.

Tomlain, J., 1991: Výpar z povrchu pôdy a rastlín. Charakteristiky suchých a vlhkých oblastí Slovenska In: *Zborník prác SHMÚ*, Vol. 33/1. Bratislava, 163-183

Zubenok, L.I., 1976. *Evaporation on Continents*, Gidrometeoizdat. Leningrad, 264 pp. (v ruštine)

Pod'akovanie

Tento text bol spracovaný aj na základe využitia výsledkov projektov APVV-0303-11 a APVV-0089-12 ako aj údajov Slovenského hydrometeorologického ústavu.

Kontakt:

Prof. RNDr. Milan Lapin, PhD.

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského

Mlynská dolina, F-1, 84248 Bratislava, Tel.: +421 2 654 26 820, lapin@fmph.uniba.sk

Citlivosť rastu štyroch druhov ihličnatých drevín na sucho

Growth sensitivity of four coniferous species to drought

Adriana Leštianska, Katarína Merganičová, Katarína Střelcová

Technická univerzita vo Zvolene

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá dynamikou zmien obvodu kmeňa štyroch druhov ihličnatých drevín borovica lesná (*Pinus sylvestris* L.), smrek obyčajný (*Picea abies* Karst), smrekovec opadavý (*Larix decidua* Mill.) a jedľa biela (*Abies alba* Mill.) rastúcich v Arboréte Borová hora (Zvolenská kotlina, Slovenská republika) počas vegetačnej sezóny 2015. Vegetačné obdobie roku 2015 sa javilo v porovnaní s dlhodobým priemerom ako teplotne mimoriadne nadnormálne. Aj keď bolo sledované obdobie zrážkovo normálne, zaznamenali sme výraznú diferencovanosť v rozdelení zrážok. Analýza variancie rozdielov kumulatívnych zmien obvodu kmeňa medzi drevinami ukázala na významný vplyv dreviny na celkovú zmenu obvodu kmeňa za sledované obdobie. Počas obdobia sucha sme zaznamenali, že dreviny smrekovec a borovica reagovali citlivejšie ako dreviny smrek a jedľa.

Kľúčové slová: ihličnany, dendrometer, obdobie sucha

Abstract

The contribution deals with the dynamics of stem circumference changes of four coniferous species Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.), Norway spruce (*Picea abies* Karst), European larch (*Larix decidua* Mill.) and Silver fir (*Abies alba* Mill.) located in Arboretum Borová hora (Zvolen valley, Slovakia) during the growing season of the year 2015. The air temperature in the growing season of the year 2015 was extremely above-average compared to the long-term average. Although the precipitation total of the growing season was normal, we recorded significant intra-seasonal fluctuations of precipitation. ANOVA of differences in cumulative changes of stem circumference among the species showed a significant effect of tree species

on the overall stem circumference change during the growing season of the year 2015. We recorded that pine and larch responded more sensitively to the drought than spruce and fir.

Keywords: conifers, dendrometer, drought period

Úvod

V súvislosti s očakávanými klimatickými zmenami sa prikladá čoraz väčší dôraz problematike monitoringu zmien v priestorovej a časovej distribúcii úhrnu atmosférických zrážok a teplotného režimu (Lapin et al. 2010), a to nielen na celosvetovej, ale aj regionálnej úrovni (Dore 2005). Stúpajúca frekvencia a intenzita klimatických extrémov na väčšej časti územia Slovenska je zrejmá vzhľadom na jej negatívny vplyv na produkciu lesných drevín a zo stúpajúcich škôd zaznamenaných na lesných ekosystémoch od nížin až po horské polohy (Škvarenina et al. 2006, Holécý a Giertliová 2009). Za najvýznamnejší dlhodobý vplyv klimatickej zmeny na lesné ekosystémy mierneho pásma sa považujú zmeny v disturbančných režimoch, ako je trvanie a frekvencia suchých období a minimálny obsah vlhky v pôde (Hanson a Weltzin 2000, Dobbertin et al. 2005). Za posledných desať rokov (2005–2014) sa zintenzívnili procesy meniacej sa klímy aj v mikroklimatických resp. regionálnych podmienkach Arboréta Borová hora. Viaceré klimatické faktory spôsobujú zhoršovanie podmienok pre úspešný rast a nepriaznivo ovplyvňujú zdravotný stav jedincov drevín vysadených v Arboréte Borová hora (Sarvašová 2015).

Ekologické vzťahy medzi druhmi drevín, klímou, podmienkami lokality a biotickými faktormi sú často vykonávané pomocou analýzy rastových prírastkov (Dean et al. 1996, Vieira et al. 2013). Je známe, že intenzita rastu a veľkosť hrúbkového prírastku závisí nielen od vonkajších faktorov obmedzujúcich, resp. podporujúcich rast (napr. teplota, fotoperiód, sucho), ale aj od rastového potenciálu stromu (napr. metabolická a hormonálna regulácia). Viacerí autori (napr. Pichler a Oberhuber 2007, Swidrak et al. 2013, Taeger et al. 2013) sledovali vplyv extrémov počasia na rast rôznych druhov lesných drevín mierneho pásma. V suchých alpských údoliach predstavuje dostupnosť vody výrazné obmedzenie rastu u *L. decidua*, *P. sylvestris* a *P. abies* (Eilmann a Rigling 2013, Schuster a Oberhuber 2013). Ukázalo sa, že sucho vyskytujúce sa v letnom období malo vplyv na pokles ročného hrúbkového prírastku až navodenie predčasného zastavenia rastu ihličnanov (napr. Gonzalez-Benecke et al. 2010, Pichler a Oberhuber 2007).

Cieľom práce bolo i) analyzovať rozdiely v sezónnej dynamike zmien obvodu kmeňa štyroch druhov ihličnatých drevín *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Larix decidua*, *Abies alba*, ii) sledovať vývoj dynamiky zmien obvodu kmeňa ihličnatých drevín s ohľadom na výskyt suchých období v sledovanom vegetačnom období 2015.

Materiál a metódy

Arborétum Borová hora je výskumno-vývojovým a pedagogickým pracoviskom Technickej univerzity vo Zvolene, ktoré je zamerané najmä na ochranu a záchranu genofondu dendroflóry Slovenska. Jedným z cieľov výskumu v zbierkach Arboréta Borová hora Technickej univerzity vo Zvolene je sledovanie rastových procesov a vývoja vybraných druhov drevín vo vzťahu k predpokladaným klimatickým zmenám (Lukáčik 2015).

Arborétum Borová hora sa nachádza v povodí stredného Hrona, asi 3 km severo-západne od centra Zvolena, medzi 48°35'42" až 48°35'06" severnej zemepisnej dĺžky a 19°07'58" až 19°10'00" východnej zemepisnej dĺžky. Rozprestiera sa na juhozápadných výbežkoch Zvolenskej pahorkatiny, ktorá patrí do Zvolenskej kotliny. Arborétum má pahorkatinný charakter s rozpätím nadmorských výšok od 290 m do 377 m (Labanc a Čížová 1993). Arborétum Borová hora patrí klimaticky do teplej oblasti a teplého, mierne vlhkého okrsku s chladnou zimou. Priemerná ročná teplota je +8,2°C a priemerná teplota vo vegetačnom období je +14,7°C. Priemerný ročný úhrn zrážok je 757 mm, vo vegetačnom období je to 428 mm. Typologicky je Arborétum zaradené do skupiny lesných typov buková dúbrava (*Fageto-Quercetum*), drievňová dúbrava (*Corneto-Quercetum*), 2. lesný vegetačný stupeň (bukovo-dubový).

V rámci areálu Arborétum Borová hora boli vybrané 4 výskumné plochy so zastúpením jedného druhu dreviny na každej ploche. Sledované boli dreviny: borovica lesná (*Pinus sylvestris* L.), smrek obyčajný (*Picea abies* Karst), smrekovec opadavý (*Larix decidua* Mill.), jedľa biela (*Abies alba* Mill.). Pôvod a charakteristika skúmaných jedincov a charakteristika jednotlivých výskumných plôch je uvedená v tabuľke 1.

Na každý jedinec (5 jedincov na každej ploche) bol na jar v roku 2015 nainštalovaný digitálny dendrometer typu DRL 26 (EMS Brno, CZ) s automatizovaným ukladaním dát do zabudovaného datalogera. Zmeny obvodov kmeňov sú kontinuálne zaznamenávané v 20-minútových intervaloch.

Meranie atmosférických zrážok, teploty vzduchu a pôdy, globálnej radiácie a vlhkosti vzduchu prebieha na regionálnej meteorologickej stanici v Arboréte Borová hora, ktorá sa nachádza neďaleko výskumných plôch. Meteorologická stanica je súčasťou siete regionálnych staníc, ktoré sa nachádzajú v rôznych nadmorských výškach v lesných oblastiach Zvolenskej kotliny a jej okolí. Meteorologické veličiny sú merané na voľnej ploche vo výške 2 m (zrážky vo výške 1,5 m) (Střelcová et al. 2007). Na ich meranie sa používa digitálna meteorologická stanica výrobcu EMS Brno (Environmental Measuring Systems, Brno, www.emsbrno.cz) s automatizovaným zaznamenávaním údajov v 10-minútových intervaloch. Údaje sú vysielané na internetovú stránku www.tuzvo.sk. Z nameraných meteorologických údajov boli spracované klimatické charakteristiky (priemery, úhrny) porovnávané s dlhodobými priemermi za roky 1961–1990 zo stanice Sliach kúpele (371 m n. m., klimatologická stanica SHMÚ). Klimadiagram regionálnej meteorologickej stanice je znázornený na obrázku 1. Hodnotenie abnormálnosti aktuálneho počasia bolo urobené podľa metodického predpisu SHMÚ (Lapin et al. 1988).

Tab. 1 Pôvod vybraných jedincov s dendrometrami a charakteristika výskumných plôch

Druh dreviny	Pôvod						Výskumná plocha (Arborétum Borová hora)		
	rok výsadby	vek sadeníc pri výsadbe	orografický celok	lokalita	podložie	nadmorská výška	Podložie a pôdy	expozícia	sklon
<i>Larix decidua</i>	04/1968	2	Spišsko-gem. kras, Muránska planina	dolina Voniaca	trias vápenec	900	8d	S	15°
<i>Abies alba</i>	03/1972	4	Kremnické vrchy	Flochovský chrbát	propylit. andezit	950	11d	SZ	30°
<i>Pinus sylvestris</i>	04/1965	4	Sumskaaja oblasť, severových. časť Ukrajiny		-	140-180	8b	rovina	rovina
	04/1965	4	Kurskaaja oblasť, juhozáp. Rusko		-	250	8b	rovina	rovina
	04/1965	4	Vladimirskaaja oblasť, Rusko, východne od Moskvy		-	108	8b	rovina	rovina
	04/1965	4	Černigovskaaja oblasť, Ukrajina, severových od Kyjeva		-	140	8b	rovina	rovina
<i>Picea abies</i>	04/1965	4	Archangel'skaaja oblasť, Rusko		-	33	8e	rovina	rovina
	04/1965	4	Archangel'skaaja oblasť, Rusko		-	62	8e	rovina	rovina

	04/1965	4	Volgogradskaja oblast'	-	117	8e	rovina	rovina
--	---------	---	------------------------	---	-----	----	--------	--------

Podložia a pôdotvorné substráty v jednotlivých porastoch Arboréta Borová hora (ABH):

8b svahoviny sprašovej hliny a podložného kaolinizovaného andezitového tufu

8d svahoviny tufitického materiálu a podložného kaolinizovaného andezitového tufu

8e svahoviny sprašovej hliny a podložného kaolinizovaného andezitového tufu

11d svahoviny tufitického materiálu s väčšou prímiesou kremitých štrkov

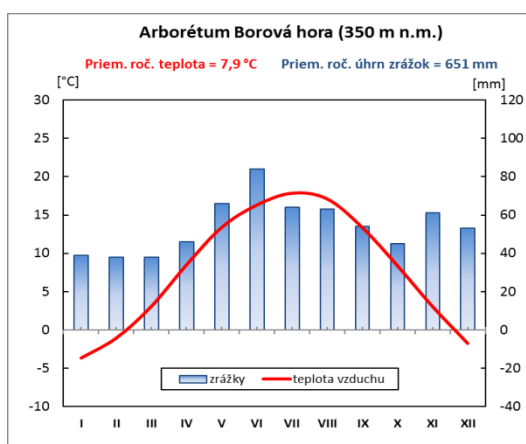
Pôdy v jednotlivých porastoch ABH:

8b oglejené ilimerizované pôdy zo svahoviny tufitického materiálu (pseudoglejová luvizem)

8d nasýtené typické hnedé lesné pôdy zo svahoviny tufitického materiálu (kambizem)

8e oglejené dvojsubstrátové ilimerizované pôdy zo svahoviny sprašového materiálu a podložného kaolinizovaného andezitového tufu (pseudoglej – luvizem)

11d nasýtené typické hnedé lesné pôdy zo svahoviny tufitického materiálu a prímiesi kremitých štrkov (kambizem)



Obr. 1 Klimadiagram regionálnej stanice Arboréta Borová hora (dlhodobé priemery teploty vzduchu a zrážok za roky 1961–1990)

Vodný potenciál pôdy bol meraný v troch hĺbkach 15 cm, 30 cm a 50 cm v dvoch opakovaníach na každej ploche. Na jeho meranie bol použitý MicroLog SP so sadrovými bločkami výrobcu EMS Brno s automatizovaným ukladaním dát v 20-minútovom intervale. Údaje vodného potenciálu pôdy sú vyjadrené v absolútnych hodnotách. Čím vyššia je hodnota vodného potenciálu pôdy, tým je pôda suchšia, čím sa viac približuje k 0, tým je pôda vlhkejšia.

Na hodnotenie významnosti rozdielov medzi drevinami sme použili jednofaktorovú analýzu variancie, ktorou sme analyzovali, či sú medzi drevinami významné rozdiely v hrúbke stromov a v ich ročnom radiálnom prírastku. Ročný radiálny prírastok sme zistili z údajov nameraných dendrometrami ako kumulatívnu zmenu obvodu kmeňa stromu k poslednému zaznamenanému dňu.

Následne sme analyzovali priebeh zmien obvodu kmeňa jednotlivých drevín v období sucha. Kvôli lepšej porovnateľnosti vývoja zmien obvodu kmeňa sme najprv hodnoty zmien obvodu kmeňa jednotlivých stromov harmonizovali. Harmonizácia sa vykonala tak, že v prvý deň obdobia sucha, t.j. 10. 6. 2015, sme prvú nameranú hodnotu zmeny obvodu kmeňa o 0:00 umiestnili do hodnoty 0 a od všetkých následných hodnôt zmeny obvodu kmeňa zaznamenaných v určitom časovom okamihu v danom období sucha sme odpočítali pôvodnú prvú hodnotu merania zmeny obvodu kmeňa daného jedinca zaznamenanú 10.06.2015 o 0:00. Takýmto spôsobom sme docielili, že všetky priebehy zmien obvodov kmeňov jednotlivých stromov začínali v rovnakom bode 0. Následne sme z meraní obvodov kmeňa pre jednotlivé stromy vypočítali priemerné zmeny obvodu kmeňa za drevinu ako aritmetický priemer zmien jednotlivých stromov tej istej drevinu a ich konfidenčné intervaly na 95% hladine spoľahlivosti. Tým sme dostali priemerný priebeh zmien obvodu kmeňa za jednotlivú drevinu, ktorý sme z dôvodu stanovenia časového trendu vyrovnali jednoduchou lineárnou regresiou. Signifikantnosť hodnôt korelačného koeficienta zistených lineárnych závislostí

Mesiac	Atmosférické zrážky	Teplota vzduchu	Globálna	Teplota	Vlhkosť
--------	---------------------	-----------------	----------	---------	---------

priemerných zmien obvodu kmeňa od času sme testovali F-testom a signifikantnosť hodnôt regresných koeficientov sa testovala T-testom.

Rozdiely medzi drevinami sme hodnotili porovnaním konfidenčných intervalov priemerných zmien obvodu kmeňa v jednotlivých časových bodoch a ich regresných koeficientov ich vypočítaných lineárnych regresíí. V prípade, že sa konfidenčné intervaly drevín prekrývali, potvrdila sa nesignifikantnosť rozdielov medzi drevinami.

Výsledky

Klimatická charakteristika skúmaného obdobia

Klimatický prehľad za teplý polrok (apríl–september) 2015 je uvedený v tabuľke 2.

	Úhrn [mm]	N [%]	char.	ZN [mm]	Priemer [°C]	Odch. [°C]	char.	TN [°C]	Max. [°C]	Min. [°C]	radiácia [kWh/m ²]	pôdy [°C]	vzduchu [%]
Apríl	36,4	79	n	46	9,4	0,9	N	8,5	25,2	-3,5	140,3	8,1	69
Máj	78,8	119	n	66	14,3	1,0	N	13,4	27,6	1,9	146,4	14,4	81
Jún	24,6	29	mpn	84	18,7	2,4	Snn	16,3	30,9	5,9	175,5	18,6	77
Júl	99,4	155	nn	64	21,6	3,8	mnn	17,9	36,9	6,0	185,5	20,9	71
August	31,8	50	pn	63	21,5	4,4	mnn	17,1	36,1	8,7	154,4	21,0	80
September	41,0	76	n	54	15,8	2,4	snn	13,4	33,3	1,2	104,3	17,0	81
v. o. 2015	312,0	85	n	377	16,9	2,5	mnn	14,4	36,9	-3,5	906,5	16,7	76

N[%] - percento dlhodobého priemeru rokov 1961-90

Odch. [°C] - odchýlka z dlhodobého priemeru rokov 1961-90

ZN [mm] - dlhodobý priemer zrážok rokov 1961-90

TN [°C] - dlhodobý priemer teploty vzduchu rokov 1961-90

n-normálny

snn-silne nadnormálny

mnn-mimoriadne nadnormálny

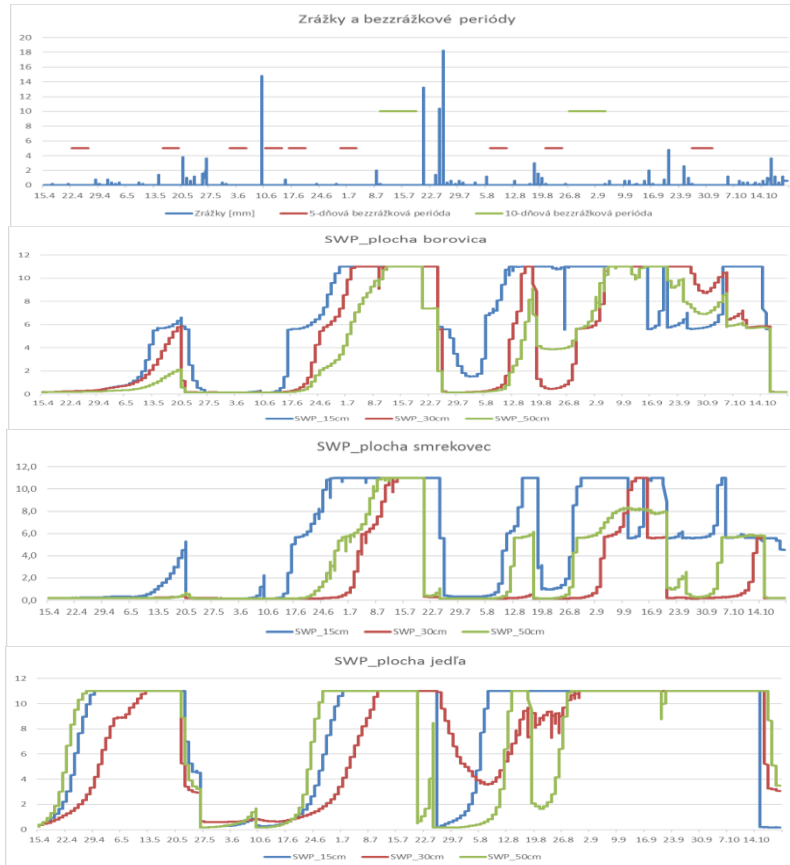
pn-podnormálny

mpn-mimoriadne podnormálny

Tab. 2 Klimatický prehľad teplý polrok 2015 – Arborétum Borová hora (350 m n. m.)

Sledovaný teplý polrok 2015 s priemernou teplotou 16,9°C je možné charakterizovať ako teplotne mimoriadne nadnormálny (priemerná odchýlka od dlhodobého priemeru bola +2,5°C) a s úhrnom zrážok 312 mm ako zrážkovo normálny. Počas sledovaného obdobia sme zaznamenali výraznú diferencovanosť v zrážkach medzi jednotlivými mesiacmi s prevahou mesiacov s hodnotami pod dlhodobým normálom. Po teplotne i zrážkovo normálnych jarných mesiacoch apríl a máj prišiel extrémne suchý (29 % z dlhodobého priemeru úhrnu zrážok) a teplotne silne nadnormálny jún s priemernou mesačnou teplotou 18,7°C. Naopak júl bol zrážkovo výrazne rozdielny, kedy úhrn zrážok dosiahol nadpriemernú hodnotu v porovnaní s dlhodobým priemerom. Napriek vysokému úhrnu zrážok bola priemerná mesačná teplota vzduchu mimoriadne nadnormálna (priemerná odchýlka teploty vzduchu od dlhodobého priemeru bola +3,8°C). 22. júla bola dosiahnutá maximálna teplota vzduchu 36,9°C (Tab. 2). Výraznejšie suché obdobie so zvýšeným výskytom bezzrážkových období sme zaznamenali od druhej polovice júna až do polovice júla, kedy pozorujeme aj nárast hodnôt pôdneho vodného potenciálu (v absolútnych hodnotách) (Obr. 2). S výrazne zápornou bilanciou zrážok skončil aj mesiac august (50% z dlhodobého priemeru úhrnu zrážok), čo sa taktiež prejavilo v náraste hodnôt pôdneho vodného potenciálu v prvej polovici augusta ako aj koncom augusta a pretrvávalo až do prvej polovice septembra. S mesačnou odchýlkou od dlhodobého priemeru teploty vzduchu +4,4°C bol august teplotne mimoriadne nadnormálny mesiac. Teplý charakter počasia pokračoval aj v septembri, kedy priemerná teplota vzduchu stále dosahovala

nadpriemernú teplotu vzduchu (Tab. 2). Pribeh pôdneho vodného potenciálu nám korešponduje s trvaním a intenzitou zrážok ako aj s periódami sucha (Obr. 2).

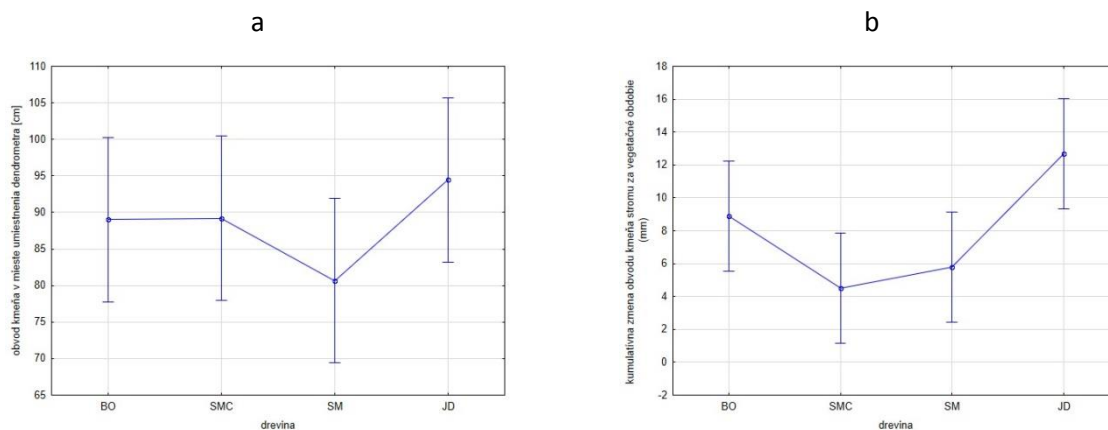


Obr. 2 Dynamika úhrnu zrážok, výskyt 5- a 10- dňových suchých (bezzrážkových) periód a hodnoty vodného potenciálu pôdy na jednotlivých výskumných plochách v teplom polroku 2015

Porovnanie rastu ihličnatých drevín

Z údajov Arboréta Borová hora (Tab. 1) vyplýva, že dreviny pochádzali z rôznych stanovišť a rôznych nadmorských výšok. Všetky stromy drevín jedľa a smrekovec sú rovnakého slovenského pôvodu, kým stromy drevín borovica a smrek majú viac pôvodov, pričom najviac pôvodov (4) sa zachytilo pri drevine borovica. Vek jednotlivých stromov varíruje od 47 do 54 rokov. Najmladšie jedince sú jedince jedle, jedince smrekovca majú 49 rokov a jedince borovice a smreka majú každý 54 rokov (Tab. 1).

Analýza variance medzi drevinami ukázala, že aj keď sú medzi drevinami viditeľné rozdiely v obvode kmeňov, tieto rozdiely neboli štatisticky významné a teda dreviny sa od seba vo svojej veľkosti obvodu na začiatku vegetačného obdobia významne neodlišovali (Obr. 3a). Drevina smrek vykazuje najmenší priemerný obvod kmeňa a drevina jedľa najväčší priemerný obvod sledovaných stromov. Priemerné hrúbky drevín borovica a smrekovec boli takmer identické.



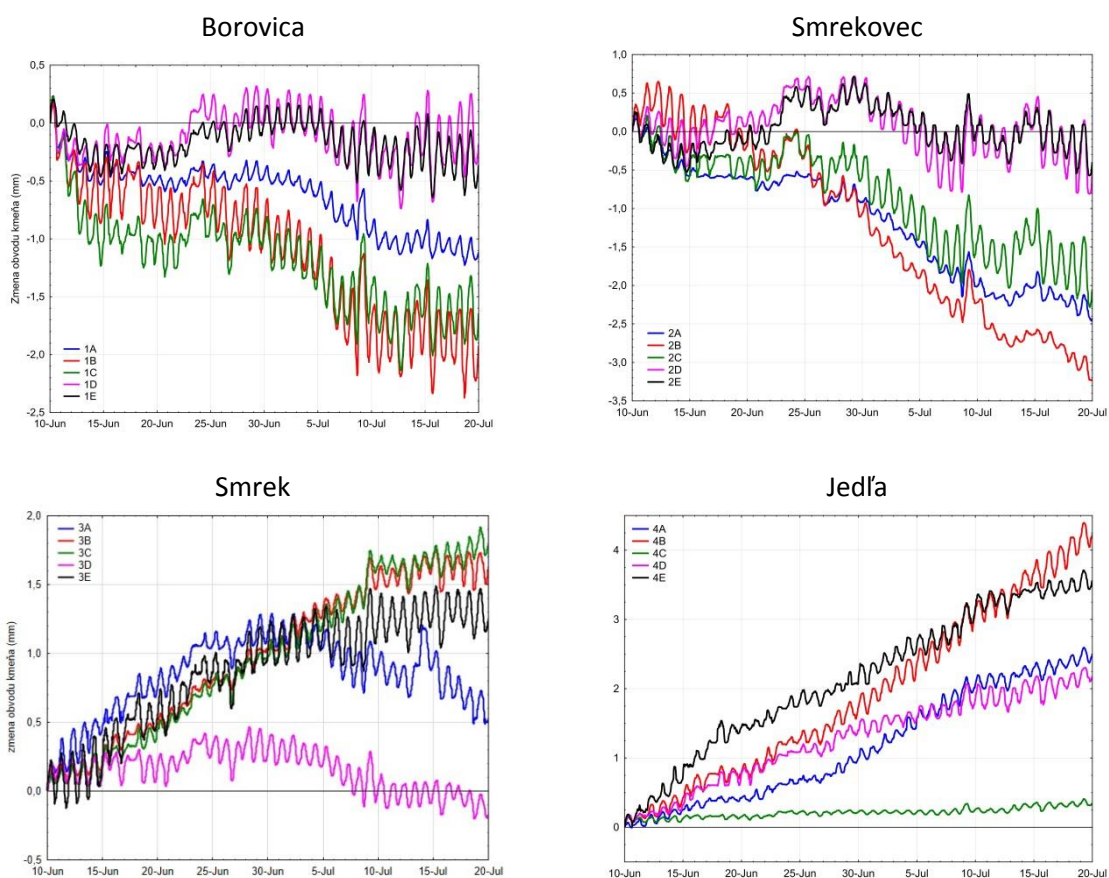
Obr. 3 Analýza variance rozdielov medzi priemernými obvodmi kmeňa jednotlivých drevín (a) a medzi priemernými ročnými prírastkami (b). Vertikálne stĺpce označujú 95% intervaly spoľahlivosti priemernej hodnoty zobrazenej prázdny krúžkom.

Analýza variance zároveň ukázala na významný vplyv dreviny na celkovú zmenu obvodu kmeňa za vegetačné obdobie (Obr. 3b). Túto kumulatívnu zmenu obvodu kmeňa môžeme v podstate považovať za ročný prírastok stromu. Najvyšší priemerný radiálny prírastok sme zaznamenali u dreviny jedľa, ktorá za rok 2015 prirástla významne viac ako dreviny smrek a smrekovec. Smrek mal najnižší priemerný ročný prírastok na obvode kmeňa. Priemerný ročný radiálny prírastok na drevine borovica nebol významne odlišný od ostatných drevín (Obr. 3b).

Reakcia zmien obvodu kmeňov ihličnatých drevín na suchu

Následne sme analyzovali priebeh zmien obvodu kmeňa počas vymedzeného obdobia sucha, t.j. v čase od 10.6.2015 po 19.7.2015, ktoré je ohraničené dňami s výraznejšími zrážkami (dňa 9.6.2015 spadlo 21,4 mm zrážok a dňa 20.7.2015 spadlo 17,2 mm zrážok). Za celé nami vymedzené obdobie spadlo len 9,4 mm zrážok, pričom maximálna zrážka v danom období

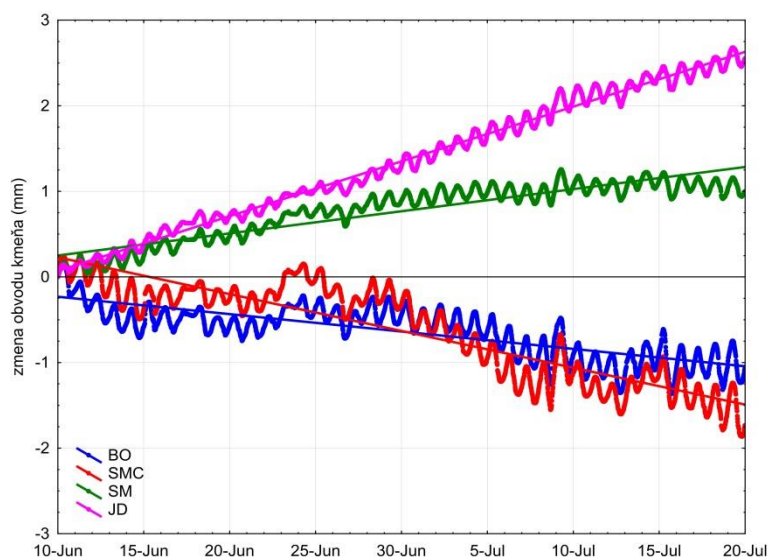
bola 6,2 mm a spadla dňa 8.7.2015 (Obr. 2). Ako dokumentuje obrázok 4, reakcie stromov sú výrazne individuálne, aj keď u jedincov rovnakej dreviny pozorujeme podobný priebeh zmien obvodu kmeňa, ktoré sa medzi sebou líšia v absolútnych hodnotách zmien. Z priebehu týchto zmien vyplýva, že jedince borovice a smrekovca reagovali na klimatické sucha skôr negatívne, t.j. ich zmeny obvodu kmeňa majú u väčšiny stromov negatívny trend. Naopak, pri drevinách smrek a jedľa sme u väčšiny jedincov aj počas obdobia sucha pozorovali nárast obvodu kmeňa (Obr. 4).



Obr. 4 Priebeh zmien obvodu kmeňa jednotlivých stromov (označené jedince: borovica 1A–E, smrekovec 2A–E, smrek 3A–E, jedľa 4A–E) v období sucha počas vegetačného obdobia 2015 po drevinách

V ďalšom kroku sme vypočítali priemerné zmeny obvodu kmeňa počas obdobia sucha vo vegetačnom období 2015 pre každú drevinu zvlášť (Obr. 5). Tento obrázok nám dokumentuje hore uvedené, že dreviny smrek a jedľa počas obdobia sucha naďalej prirastali, kým borovica a smrekovec zaznamenali pokles obvodu kmeňa o 1.5 mm a 1.7 mm za sledované obdobie

sucha. Najvýraznejší radiálny prírastok počas obdobia sucha sa zistil pri drevine jedľa (obvod kmeňa bol na konci obdobia sucha v priemere o 2.5 mm väčší ako na začiatku obdobia sucha). Pozitívne resp. negatívne trendy zmien obvodu kmeňa v čase boli pri každej drevine významné, čo potvrdila jednoduchá regresná analýza a následné testovanie regresných koeficientov vypočítaných lineárnych regresných závislostí zmeny obvodu kmeňa v čase (Obr. 5, Tab. 3). Všetky regresné koeficienty pre každú drevinu boli významne rozdielne od nuly, pričom pri drevinách smrek a jedľa boli hodnoty regresných koeficientov kladné, kým pri drevinách borovica a smrekovec boli hodnoty regresných koeficientov záporné (Tab. 3). Najväčšia hodnota štandardizovaného regresného koeficienta sa zistila pri drevine jedľa, pri ktorej sme zároveň zistili aj najsilnejšiu koreláciu zmien obvodu kmeňa od času. Naopak, najnižšiu koreláciu sme zistili pri drevine borovica (Tab. 3). Zároveň sme zistili, že časové trendy zmien obvodu kmeňa sa významne líšili medzi drevinami, pretože ich regresné koeficienty boli významne odlišné (Tab. 3).

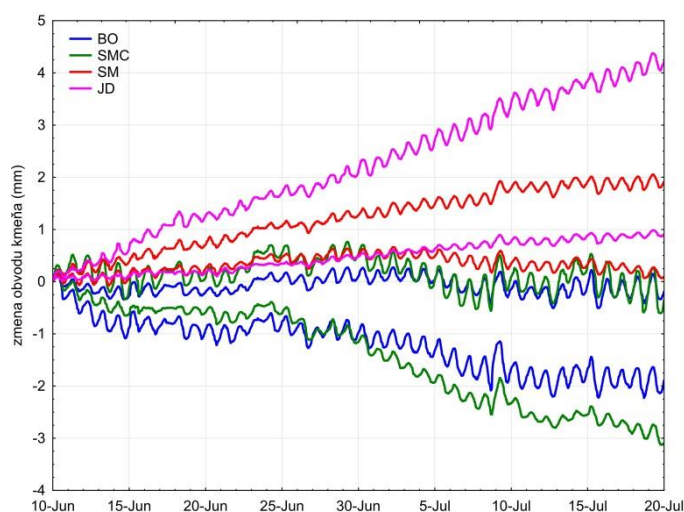


Obr. 5 Priebeh priemerných zmien obvodu kmeňa po drevinách počas obdobia sucha v roku 2015 s preloženými lineárnymi regresiami

Tab. 3 Regresná analýza časového trendu priebehu zmien obvodu kmeňa jednotlivých drevín v období sucha (červená farba indikuje štatisticky významné hodnoty).

drevina	R ²	F(1,2878)	p	b*	Sm.chyba z b*	T (2878)	p-hodn.	b*- SE	b*+SE
JD	0,99	248100	0,00	0,994249	0,001996	498,065	0,00	0,992	0,996
SM	0,84	15280	0,00	0,917371	0,007419	123,643	0,00	0,909	0,924
SMC	0,81	12070	0,00	-0,898593	0,008179	-109,865	0,00	-0,906	-0,890
BO	0,62	4590	0,00	-0,784001	0,011571	-67,7547	0,00	-0,795	-0,772

Z porovnania 95% intervalov spoľahlivosti vypočítaných pre priemerné zmeny obvodu kmeňa jednotlivých drevín vyplýva, že zmeny obvodu kmeňa počas obdobia sucha sa medzi drevinami smrekovec a borovica od seba významne nelíšili, keďže ich intervaly spoľahlivosti sa prekrývajú počas celého sledovaného obdobia sucha (Obr. 6, zaznamenali sme len 1 významný rozdiel medzi drevinami z celkového počtu 2880 analyzovaných hodnôt počas obdobia sucha vo vegetačnom období roku 2015). Pri drevinách smrek a jedľa sa priebeh zmien obvodu kmeňa významne líšil v 19 prípadoch na začiatku stanoveného obdobia sucha, t.j. v 0.65% z celkového počtu analyzovaných meraní predstavujúcich suché obdobie počas vegetačného obdobia roka 2015. Priemerný priebeh zmien obvodu kmeňa dreviny borovica bol významne odlišný od drevín smrek a jedľa zhodne v 90.84% prípadoch (2834 hodnôt) počas obdobia sucha. Priebeh zmien obvodu kmeňa dreviny smrekovec sa významne líšil od dreviny jedľa v 71.6% prípadoch (2062 hodnôt) a od dreviny smrek v 80.4% prípadoch (2315 hodnôt).



Obr. 6 Priebeh horných a dolných hraníc 95% intervalov spoľahlivosti vypočítaných priemerných hodnôt zmien obvodu kmeňa jednotlivých drevín počas obdobia sucha v roku 2015

Diskusia

Medzi správaním sa jednotlivých druhov drevín môžu byť značné rozdiely závislé od morfológických aj fyziologických vlastností druhov a ich vývinu na danom stanovišti. Aj keď boli medzi drevinami viditeľné rozdiely v hrúbke stromov, tieto rozdiely sa štatisticky nepotvrdili, a teda dreviny sa od seba vo svojej hrúbke na začiatku vegetačného obdobia signifikantne neodlišovali. V rámci vegetačného obdobia sme zistili signifikantný vplyv dreviny na celkovú zmenu obvodu kmeňa, pričom najvyšší radiálny prírastok sme zaznamenali u dreviny jedľa, ktorá za rok 2015 prirástla signifikantne viac ako dreviny smrek a smrekovec. Priemerný ročný radiálny prírastok na drevine borovica nebol signifikantne odlišný od ostatných drevín (Obr. 3b).

Sucho sa považuje za jeden z hlavných klimatických limitov rastu stromu (Allen et al. 2010). V našom prípade sme analyzovali odozvu zmien obvodu kmeňov v priebehu vymedzeného dlhšie trvajúceho obdobia sucha, t.j. v čase od 10.6.2015 po 19.7.2015 (Obr. 2). Zistili sme, že dreviny smrek a jedľa počas obdobia sucha naďalej prirastali, kým dreviny borovica a smrekovec zaznamenali pokles obvodu kmeňa. Najvýraznejší radiálny prírastok počas obdobia sucha sa zistil pri drevine jedľa. Ako uvádzajú Mind'áš a Škvarenina (2003), z fyziologického hľadiska veľmi nepriaznivo pôsobia júlové deficity zrážok, pretože na začiatku vegetačného obdobia (aj pri malých zrážkach) môžu dreviny ešte využiť zásoby vody naakumulované v pôde počas zimy. Je známe, že stres suchom u drevín ovplyvňuje rast priamo redukciou turgoru buniek a narušením metabolizmu a zväčšovania sa buniek a nepriamo poklesom syntézy auxínov a karbohydrátov a spomaľovaním ich translokácie do kambia (Kramer 1983). Dreviny rodu *Pinus* sú vysoko citlivé na embolizmus xylému, ktorý môže limitovať ich prežitie počas extrémneho sucha, ako to preukázal Martínez-Vilalta et al. (2004). Rigling et al. (2003) uvádza, že tvorba buniek neskorého dreva *P. sylvestris* bola nepriaznivo ovplyvnená na suchých plochách s vysokým vodným deficitom práve v letnom období. Z tohto dôvodu môže radiálny rast začať skôr a v období sucha sa u *P. sylvestris* zastaviť skôr v porovnaní s *Picea abies*, čo by ju mohlo urobiť náchylnejšou na obdobie sucha v letných mesiacoch. Okrem toho, aj keď *P. sylvestris* je známa ako na sucho tolerantný druh dreviny (Weber et al. 2007), Zweifel et al. (2009) uvádza, že *P. sylvestris* potrebuje dážď v pravidelných intervaloch, aby jej prieduchy ostali otvorené a mala obmedzenú schopnosť uvoľniť uloženú vodu v jej kmeni. Eilmann a Rigling (2013) považujú *L. decidua*

za citlivú drevinu na sucho, čo by mohlo byť spojené s jeho anizohydrickou stratégiou, čo znamená, že si dokáže udržať vysokú mieru transpirácie aj v podmienkach nízkej dostupnosti vody, zatiaľ čo *P.sylvestris* a *P.abies* si stabilizujú vodný stav skorým zatváraním prieduchov (Leo et al. 2013).

Záver

Uplynulé vegetačné obdobie 2015 bolo teplotne aj zrážkovo extrémne. Teplý polrok 2015 sa javil v porovnaní s dlhodobým priemerom ako teplotne mimoriadne nadnormálny. Aj keď bol teplý polrok 2015 zrážkovo normálny, zaznamenali sme výraznú diferencovanosť v rozložení zrážok v priebehu vegetačného obdobia. Analýza variácie rozdielov zmien obvodu kmeňa medzi drevinami ukázala na signifikantný vplyv drevinu na celkovú zmenu obvodu kmeňa za sledované obdobie. Dreviny smrekovec a borovica reagovali na sucho citlivejšie ako dreviny smrek a jedľa. Je však potrebné vykonať detailnejšie analýzy nameraných údajov s ohľadom na požiadavky drevín, ich vnútro- a medziročný prírastkový cyklus, aby sa dali zistené poznatky zovšeobecniť.

Literatúra

- Allen C.D., et al., 2010: A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For. Ecol. Manage.* 259: 660–684 (20 authors)
- Dean J.S., Meko D.M., Swetnam T.W., 1996: Tree rings, environment and humanity. In: *Proceedings of the International Conference*. Tucson, Arizona, May 17–21, 1994. Radiocarbon, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA.
- Dobbertin M., Mayer P., Wohlgemuth T., Feldmeyer-Christe E., Graf U., Zimmermann N.E., Rigling A., 2005: The decline of *Pinus sylvestris* L. forests in the Swiss Rhone valley—a result of drought stress? *Phyton.* 45 (4): 153–156
- Dore M.H.I., 2005: Climate change and changes in global precipitation patterns: What do we know? *Environ. Int.* 31: 1167–1181
- Eilmann B., Rigling A., 2013: Tree-growth analyses to estimate tree species drought tolerance. *Tree Physiol.* 00: 1–10

- Gonzalez-Benecke C.A., Martin T.A., Clark III A., Peter G.F., 2010: Water availability and genetic effect on wood properties of loblolly pine (*Pinus taeda*). *Can. J. For. Res.* 40: 2265–2277
- Hanson P.J., Weltzin J.F., 2000: Drought disturbance from climate change: response of United States forests. *Sci. Total Environ.* 262: 205–220
- Holécý J., Giertliová B., 2009: An integrated forest management risk insurance model for beech stands attacked by selected climate extremes. In: Pribullová, A., Bičárová, S., (eds.) 2009: Sustainable Development and Bioclimate, Reviewed Conference Proceedings. Geophysical Institute of the SAS, Stará Lesná, 5th to 8th October 2009: 91–92
- Kramer P.J., 1983: *Water Relations of Plants*. Academic Press, New York, USA.
- Labanc J., Čížová M., 1993: *Arborétum Borová hora Technickej univerzity vo Zvolene*. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen: 34 s.
- Lapin M., Faško P., Kveták Š., 1988: Metodický predpis 3-09-1/1, Klimatické normály, SHMÚ, Bratislava: 25 s.
- Lukáčik I., 2015: Arborétum Borová hora – história, súčasnosť a perspektívy. In: Lukáčik I., Sarvašová I. (eds.) *Dendroflóra strednej Európy – využitie poznatkov vo výskume, vzdelávaní a praxi*. Dendroflora of Central Europe – utilization of knowledge in research, education and practice. Vydavateľstvo TU vo Zvolene: 9–19
- Lapin M., Gera M., Kremler M., 2010: Scenáre zmeny teploty a vlhkosti vzduchu na Slovensku a možné dôsledky v mestách. *Životné Prostredie* 5 (5): 227–231
- Leo M., Oberhuber W., Schuster R., Grams T.E.E., Matyssek R., Wieser G., 2013: Evaluating the effect of plant water availability on inner-alpine coniferous trees based on sap flow measurements. *Eur. J. For. Res.* 133: 691–698
- Martínez-Vilalta J., Sala A., Pinol J., 2004: The hydraulic architecture of Pinaceae – a review. *Plant Ecol.* 171: 3–13
- Mind'áš J., Škvarenina J., 2003: *Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny*. EFRA Zvolen, LVÚ Zvolen: 129 s.
- Pichler P., Oberhuber W., 2007: Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to heat-wave in 2003. *For. Ecol. Manage.* 242: 688–699
- Rigling A., Brühlhart H., Bräker O.U., Forster T., Schweingruber F.H., 2003: Effects of irrigation on diameter growth and vertical resin duct production in *Pinus sylvestris* L. on dry sites in the central Alps, Switzerland. *For. Ecol. Manage.* 75: 285–296

- Sarvašová I., 2015: Vývoj zbierky drevín Arboréta Borová hora v období rokov 2005-2014. Development of Arboretum Borová hora tree species collection in the period 2005-2014. In: Lukáčik I., Sarvašová I. (eds.) Dendroflóra strednej Európy – využitie poznatkov vo výskume, vzdelávaní a praxi. Dendroflora of Central Europe – utilization of knowledge in research, education and practice. Vydavateľstvo TU vo Zvolene: 101–108
- Schuster R., Oberhuber W., 2013: Drought sensitivity of three co-occurring conifers within a dry inner Alpine environment. *Trees* 27 (1): 69–69
- Střelcová K., Škvarenina J., Kučera J., Skarbová A., 2007: Biometeorologický monitoring na regionálnych meteorologických staniach Technickej univerzity s on-line prenosom údajov z do internetu. In: Rožnovský, J., Litschmann, T., Vyskot, I., (eds): Klima lesa. Sborník referátů z mezinárodní vědecké konference, Křtiny 11–12. 4. 2007: 43 s.
- Swidrak I., Schuster R., Oberhuber W., 2013: Comparing Growth phenology of co-occurring deciduous and evergreen conifers exposed to drought. *Flora* 208: 609–617
- Taeger S., Zang Ch., Leisebach M., Schneck V., Menzel A., 2013: Impact of climate and drought events on the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances. *For. Ecol. Manage.* 307: 30–42
- Škvarenina J., Kunca V., Križová E., Tomlain J., 2006: Impact of the climate change on the water balance of altitudinal vegetation zones and changed critical loads in forest ecosystems in Slovakia. *Forestry Journal* 52 (1–2): 49–59
- Vieira J., Rossi S., Campelo F., Freitas H., Nabais C., 2013: Seasonal and daily cycles of stem radial variation of *Pinus pinaster* in a drought-prone environment. *Agric. For. Meteorol.* 180: 173–181
- Zweifel R., Rigling A., Dobbertin M. 2009: Species-specific stomatal response of trees to drought - a link to vegetation dynamics? *J. Veg. Sci.* 20: 442–454
- Weber P., Bugmann H., Rigling A., 2007: Radial growth responses to drought of *Pinus sylvestris* and *Quercus pubescens* in an inner-Alpine dry valley. *J. Veg. Sci.* 18: 777–792

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0480-12 a projektom VEGA 1/0367/16

Kontakt:

Ing. Adriana Leštianska, PhD.
Technická univerzita vo Zvolene
T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen
+421 45/52 06 268, adriana.lestianska@tuzvo.sk

Nový přístup k vyhodnocení vlhkostně - teplotních podmínek při pěstování brambor

A new approach to evaluation of moisture and temperature conditions
in potato growing

Tomáš Litschmann¹, Petr Doležal², Ervín Hausvater²

AMET, Velké Bílovice¹, Výzkumný ústav bramborářský Havlíčkův Brod²

Abstrakt

V práci je popsána konstrukce a aplikace hodnocení meteorologických podmínek pro růst brambor v jednotlivých letech založená na teplotě vzduchu a vlhkosti půdy. Obě veličiny jsou parametrizovány tak, aby jejich nulové hodnoty charakterizovaly vhodné podmínky pro pěstování, hodnoty -1 a 1 pak extrémní. Kombinací těchto parametrizovaných veličin lze každý den z vegetačního období zařadit do jedné z devíti kategorií, stejně tak lze jednotlivým kategoriím dnů přiřadit číselné hodnoty a po jejich sečtení za celou sezónu charakterizovat jedním číslem vliv teplotně – vlhkostních podmínek daného ročníku na růst brambor.

Klíčová slova: brambory, pěstování, teplota vzduchu, vlhkost půdy, hodnocení

Abstract

The study describes construction and application of evaluation of meteorological conditions for potato growth in individual years based on air temperature and soil moisture. Both quantities are parameterized so that their zero values characterize suitable conditions for growing, values -1 and 1 represent extreme conditions. Combining these parameterized quantities every day from the growing season could be included into one of nine categories; similarly, numeric values could be assigned to individual categories of days and after

counting these values for the whole growing season an effect of temperature and moisture conditions of the given year on potato growth could be characterized by one number.

Keywords: potatoes, growing, air temperature, soil moisture, evaluation

Úvod

Požadavky brambor na prostředí se fylogeneticky vyvíjely v genetických centrech Jižní Ameriky mezi 13 – 15 ° j.š. a také okolo 45 ° j.š., v nadmořských výškách 3000 – 4000 m, při malých rozdílech mezi ročními obdobími, ale velkých rozdílech mezi dnem a nocí a za průměrné roční teploty do 9,3 °C. Vývoj probíhal na krátkém dni při rovnoměrně rozdělených srážkách během vegetačního období a jejich ročním úhrnu 560 – 1100 mm. I přes značnou přizpůsobivost, výnos i jakost brambor závisejí na vlhkostních a teplotních podmínkách vegetace a délce dne (Petr a kol. 1987). V průběhu vegetačního cyklu brambor se nároky na teplotu a vláhu mění, vysoká půdní vlhkost po vysazení společně s nízkými teplotami vede ke špatnému klíčení a častému vyhívání sadby, kromě toho brambory za takových podmínek vytvářejí mělký kořenový systém, který při případném nedostatku vláhy v dalším období nestačí zásobovat rostliny vodou a živinami. Na lehkých půdách sucho v květnu a v první polovině června není pro výnos polopozdních a pozdních brambor rozhodující, ale v další vegetaci brambory vyžadují optimální zásobení vodou a chladnější počasí a před sklizní sušší a teplejší počasí k vyzrání hlíz a zpevnění slupky.

S postupnou změnou klimatických podmínek v celoplanetárním měřítku dochází i u nás k nárůstu teplot na celém území, společně se změnou dalších prvků lze očekávat, že se budou měnit i podmínky pro pěstování brambor v jejich tradičních oblastech. Na obr. 1 jsou vyneseny průměrné teploty za vegetační období na vybraných místech ČR a SR, kde probíhaly pokusy v rámci výzkumného úkolu NAZV QJ1210305. Jejich srovnání s obdobím 1901 - 1930 (Machyček 1958), tedy přibližně před 100 lety, ukazuje, že v roce 2015 teplotní poměry vegetačního období typických bramborařských oblastí dosahovaly hodnot, jaké se vyskytovaly v minulosti v nejteplejších oblastech Moravy. Vysoké teploty vyvolávají vyšší evapotranspiraci porostu a při nedostatku vláhy v půdě následně dochází k prvním viditelným příznakům na listech – vadnutí natě (obr. 2).

Materiál a metody

Teplotní index

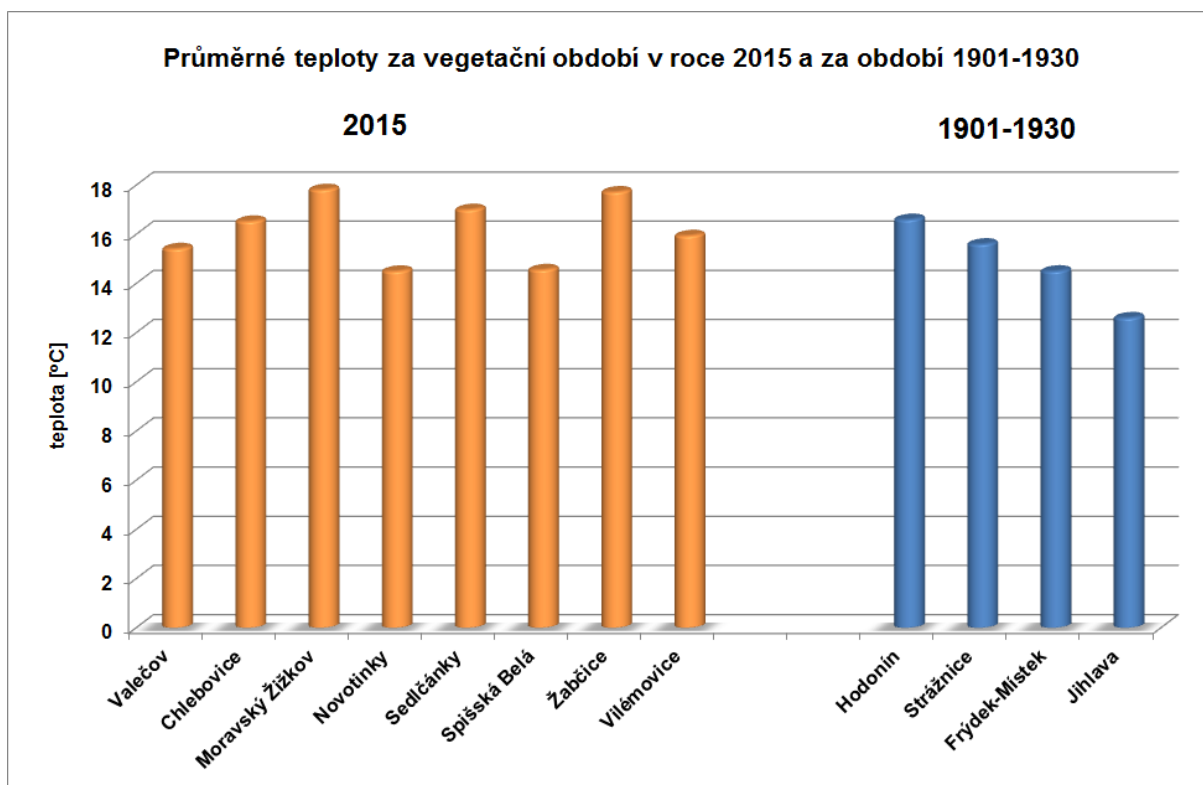
Přes mírně odlišné údaje o vlivu teplot na růst brambor podle jednotlivých autorů lze s mírným zjednodušením konstatovat, že brambory začínají vegetovat při teplotách vzduchu kolem cca 5 °C, optimální růst nastává při teplotách od 15 do 25 °C a s jejich dalším zvyšováním až k cca 33 °C se růst opět zpomaluje až zastavuje. Explicitněji tuto závislost vyjádřil Sands et al (1979) při tvorbě tzv. P-days, určité obdoby sum efektivních teplot (v zahraniční literatuře označovány jako degree-days, DD), avšak odrážející lépe teplotní nároky brambor. V P-days je teplotní funkce relativní závislosti P(T) vyjádřena těmito rovnicemi:

$$P(T) = 0 \text{ když } T < 7 \text{ °C,}$$

$$P(T) = 10[1 - (T - 21)^2 / (21 - 7)^2] \text{ když } 7 \text{ °C} \leq T \leq 21 \text{ °C}$$

$$P(T) = 10[1 - (T - 21)^2 / (30 - 21)^2] \text{ když } 21 \text{ °C} \leq T \leq 30 \text{ °C}$$

$$P(T) = 0 \text{ když } T > 30 \text{ °C}$$



Obr. 1 Průměrné teploty vzduchu za vegetační období v roce 2015 a za období 1901 – 1930



Obr. 2 Vadnutí natě na bramboru v důsledku nedostatku vláhy a vysokých teplot

Graficky je tato funkce znázorněna na obr. 3. Při teplotách pod 7 a nad 30 °C je hodnota relativního růstu nulová, v tomto intervalu teplot je funkce tvořena pomocí dvou větví paraboly, spojujících se v hodnotě teploty 21 °C. Vyplývá z toho, že jak při nižších, tak i při vyšších teplotách, než je optimálních 21 °C, se vývoj rostlin zpomaluje. Takto koncipovaná

závislost však neumožňuje odlišit, zpomaluje-li se vývoj z důvodu nižších, anebo vyšších teplot.

Upravili jsme proto rovnice závislosti do tvaru:

$$P\text{-index}(T) = -1 \text{ když } T < 7 \text{ °C,}$$

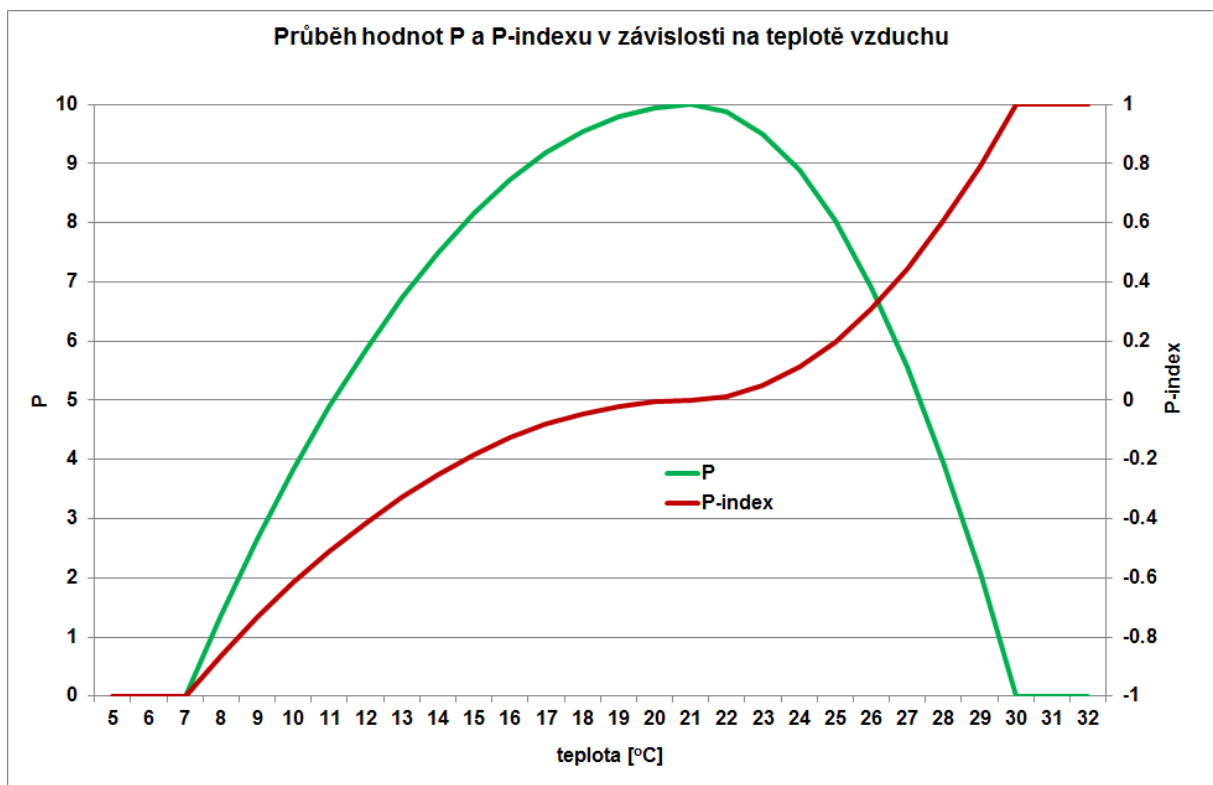
$$P\text{-index}(T) = -[(T - 21)^2 / (21 - 7)^2] \text{ když } 7 \text{ °C} \leq T \leq 21 \text{ °C}$$

$$P\text{-index}(T) = [(T - 21)^2 / (30 - 21)^2] \text{ když } 21 \text{ °C} \leq T \leq 30 \text{ °C}$$

$$P\text{-index}(T) = 1 \text{ když } T > 30 \text{ °C}$$

a označili ji jako P-index(T). Tato funkce je rovněž vynesena na obr. 3. Je zřejmé, že po této úpravě má velikost P-indexu při optimálních teplotách hodnoty blízké nule, při nižších teplotách se index pohybuje v záporných hodnotách až do -1, při vyšších teplotách nabývá kladných hodnot až do velikosti 1.

Hodnoty P-indexu jsou počítány pro jednotlivé hodinové teploty daného dne a následně zprůměrovány, takže pro každý den nabývá hodnotu z intervalu <-1;1>.



Obr. 3 Průběh hodnot P a P-indexu v závislosti na teplotě vzduchu

Vlhkostní index

Brambory mají relativně mělký kořenový systém, v závislosti na půdních a odrůdových podmínkách dosahující hloubky kolem 30 – 60 cm. Vyžadují proto pravidelný přísun vláhy nejlépe formou dešťových srážek k jejich dostatečnému zásobení vodou a plné transpiraci. Dostatečná zásoba půdní vláhy v teplých dnech umožňuje rostlinám provádět aktivní ochlazování listů transpirací a částečně tak mírnit jejich negativní dopad. Jak však ukazuje např. práce Klementová, Litschmann, Rožnovský (2002), v posledních desetiletích se zvyšují výskyty suchých období, způsobené déletrvalejšími obdobími bez srážek, která většinou bývají střídána vlhkými obdobími s jejich nadbytkem.

Ke konstrukci vlhkostního indexu, jež by měl vyjadřovat míru zásobení rostlin vláhou, jsme využili údaje o vlhkosti půdy, nejlépe přímo měřené v terénu, vztažené k základním hydrolimitům pro konkrétní druh půdy. Vlhkostní stav půdy je pak vyjádřen v % využitelné vodní kapacity (VVK), což je rozdíl mezi polní vodní kapacitou a bodem vadnutí. Novotný a kol. (1990) uvádí, že vlhkost půdy v případě brambor by neměla klesnout pod 60 % VVK. Tento údaj je pak v dobré shodě např. s hodnotou 65 % VVK, publikovanou Curwenem (1993). Hranice 60 %VVK je označována jako bod snížené dostupnosti (BSD).

Hodnoty vlhkostí jednotlivých hydrolimitů pro různé druhy půdy je možno stanovit pomocí vztahů odvozených Brežným (1970):

$$\Theta_{PVK} = 6,66 + 1,03Z - 0,008Z^2$$

$$\Theta_{BV} = 2,97 + 0,33Z - 0,0012Z^2$$

kde

Θ_{PVK} – vlhkost půdy při hydrolimitu polní vodní kapacita (obj. %)

Θ_{BV} – vlhkost půdy při hydrolimitu bod vadnutí (obj. %)

Z – obsah zrn I. kategorie (%)

Na obr. 4 jsou tyto závislosti vyjádřeny graficky, je zde rovněž vykreslena i hodnota odpovídající vlhkosti půdy při dosažení 60 %VVK.

Použitý vlhkostní index je zkonstruován tak, aby při hodnotě vlhkosti odpovídající PVK byla jeho hodnota 1, při dosažení bodu vadnutí -1, při vlhkosti BSD je jeho hodnota nulová.

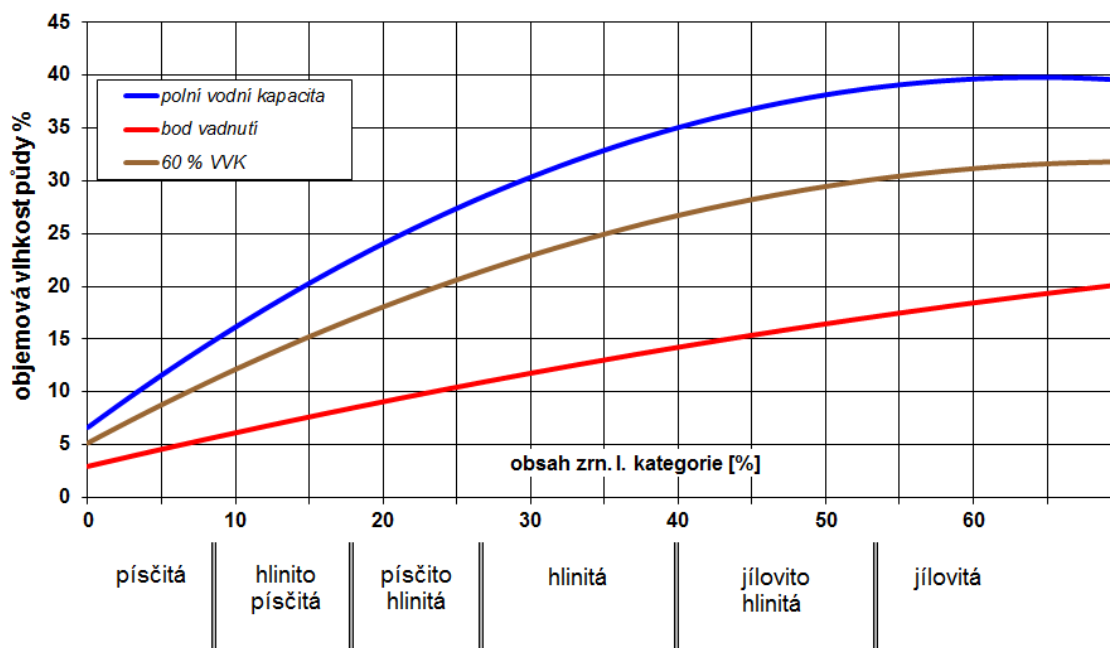
Změna indexu je v závislosti na vlhkosti půdy lineární a je možno jej vyjádřit vztahy:

$$M\text{-index}(\Theta) = [(\Theta_{PVK} - \Theta) / (\Theta_{PVK} - \Theta_{BSD})] \quad \text{když } \Theta_{BSD} \leq \Theta \leq \Theta_{PVK}$$

$$M\text{-index}(\Theta) = - [(\Theta - \Theta_{BV}) / (\Theta_{BSD} - \Theta_{BV})] \quad \text{když } \Theta_{BV} \leq \Theta \leq \Theta_{BSD}$$

Při obvyklém vlhkostním režimu půdy nabývá index hodnot v intervalu $<-1;1>$, pouze v případech přemokření po vydatnějších deštích anebo na jaře po tání sněhu překračuje hodnotu 1.

Vztah mezi půdními hydrolimity a druhem půdy



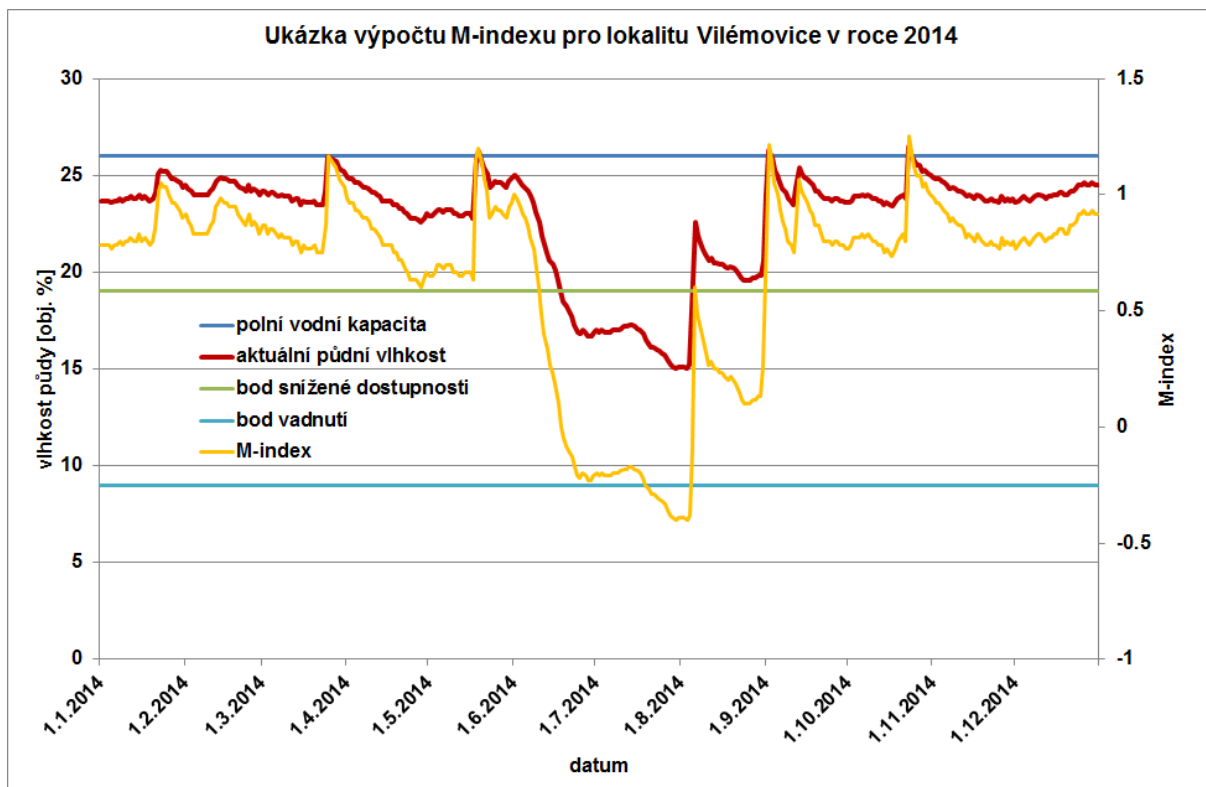
Obr. 4 Vztah mezi půdními hydrolimity a druhem půdy

Na obr. 5 je ukázka stanovení jednotlivých parametrů a výpočtu M-indexu pro lokalitu Vilémovice za rok 2014. Aby bylo možno tento index stanovit na základě měřené půdní vlhkosti, je zapotřebí ji měřit dlouhodobě v povrchové vrstvě do 30 cm pokud možno za různých vlhkostních stavů. Jak je zřejmé z obr. 5, křivka denních průměrů aktuálně naměřené půdní vlhkosti dosahuje po vydatnějších deštích lokálních maxim, mírně převyšujících hodnotu 26 obj. %. Tuto hodnotu lze pak označit jako PVK a na jejím základě pak dopočítat i ostatní potřebné hydrolimity. Ze znalosti těchto hydrolimitů a údajů o aktuální vlhkosti půdy pro jednotlivé dny lze následně vypočítat denní hodnoty M-indexu(Θ).

Výsledky a diskuse

Konstrukce termohydrogramu

Na základě hodnot obou indexů lze každý den zařadit do některé z následujících teplotně – vlhkostních kategorií: chladný, studený, vlhký, suchý, chladný-suchý, chladný-vlhký, normální, teplý-vlhký, teplý-suchý. Jako příklad jsou na obr. 6 vyneseny pro každý den za vegetační sezónu od května do konce srpna hodnoty obou indexů pro Vilémovice za rok 2014. Již z toho lze usoudit na extremitu jednotlivých dní a jejich zastoupení v daném ročníku, lepší představu však mohou poskytnout souhrnné grafy, znázorněné na obr. 7. Jsou zde pro porovnání shrnuty počty dnů v jednotlivých kategoriích pro lokality Vilémovice a Chlebovice (u Frýdku – Místku) za roky 2014 a 2015. Na první pohled je patrný rozdíl mezi oběma ročníky: v roce 2014 na obou lokalitách převažovaly dny charakterizované jako chladné, vlhké, normální, suché a teplé se vyskytovaly jen ojediněle. Chlebovice měly četnější zastoupení vlhkých dnů, ve Vilemovicích zase chladných (tzn., že vlhkostní podmínky byly v mezích normálu, avšak teploty byly nízké).



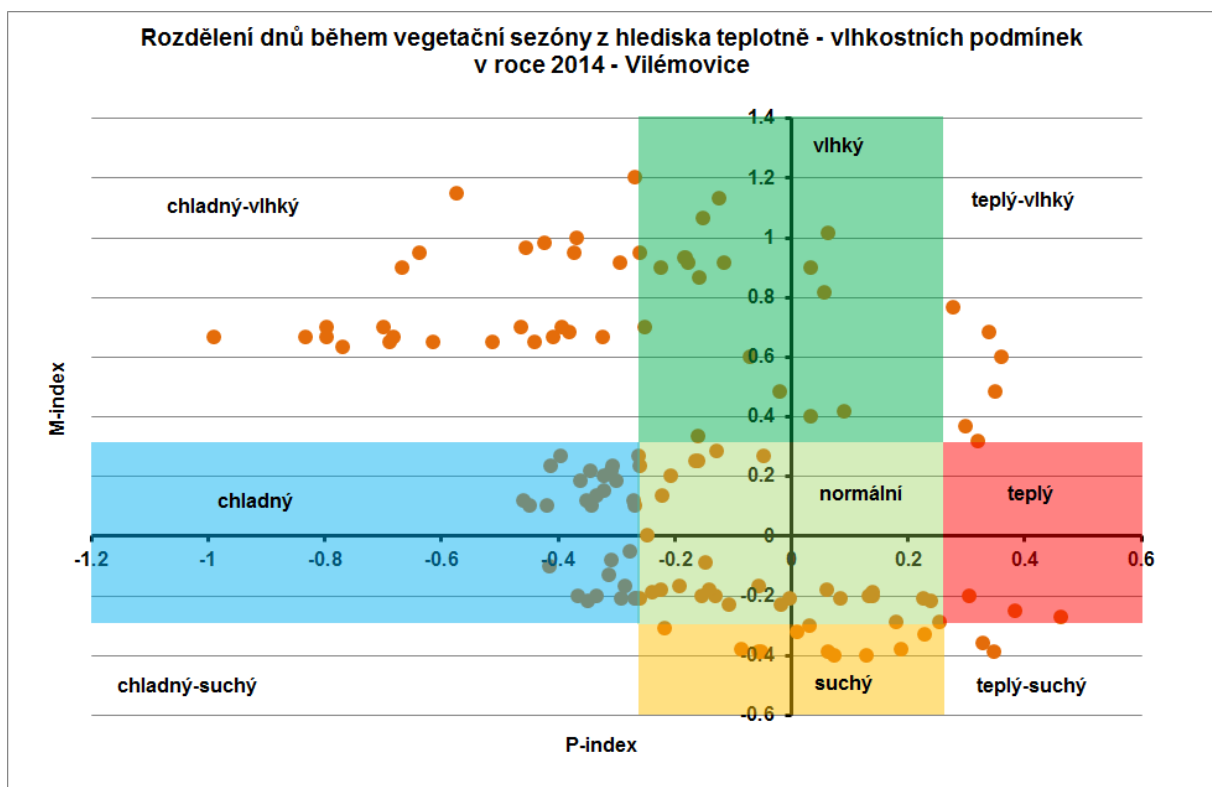
Obr. 5

Podmínky roku 2015 byly podstatně odlišné, je možno pozorovat daleko větší zastoupení dnů klasifikovaných jako suché a rovněž i dnů patřících do nejméně příznivé kategorie z hlediska vývoj rostlin, teplých a suchých. Situace v Chlebovicích byla méně příznivá, zde do kategorií suchý a teplý-suchý patřily téměř $\frac{3}{4}$ všech dnů od května do srpna. U obou lokalit v roce 2015

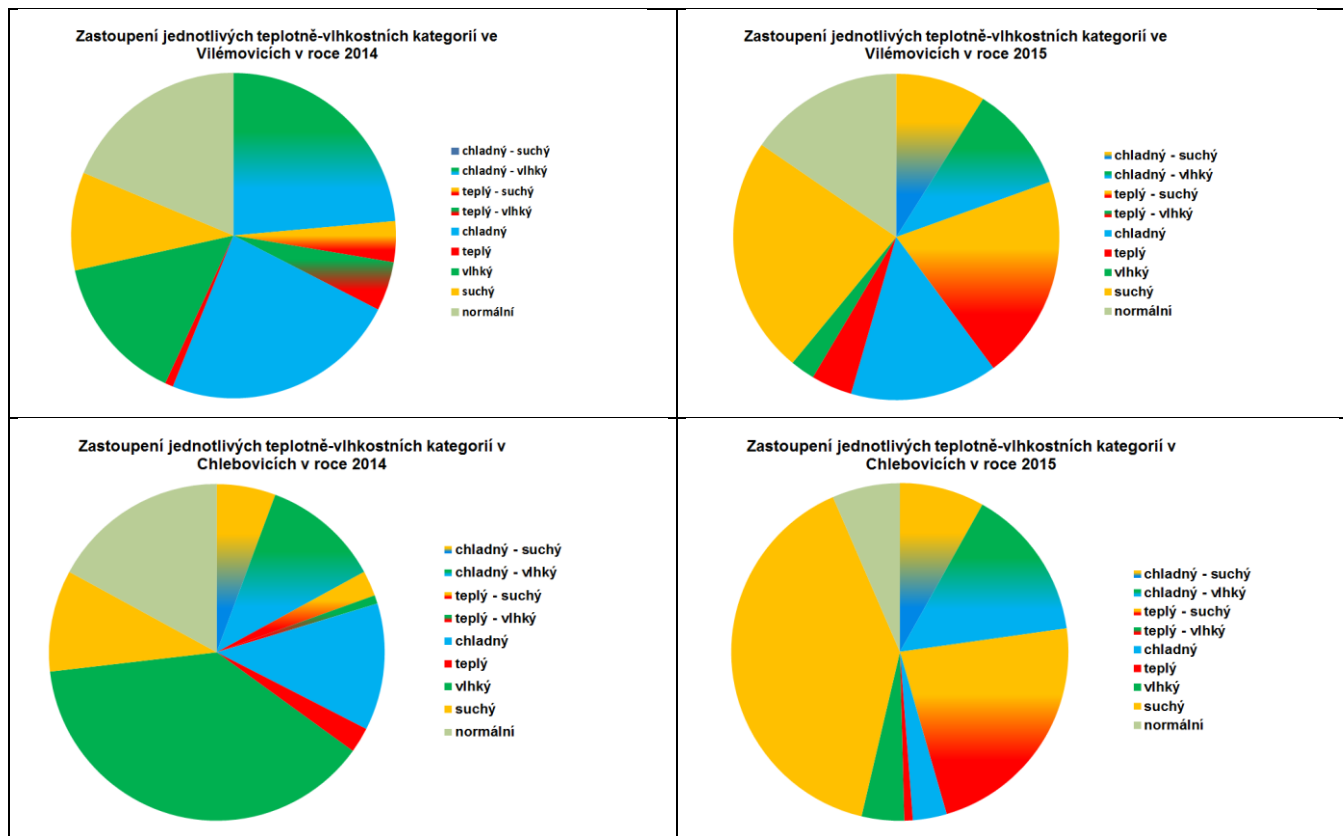
nebyl zaznamenán ani jeden den v kategorii teplý-vlhký, která je o něco příznivější pro růst hlíz než kategorie teplý-suchý, v níž byl zaznamenán oproti roku 2014 výrazný nárůst.

Z hlediska vývoje rostlin je důležité i zastoupení jednotlivých teplotně-vlhkostních kategorií v průběhu vegetace. Tento přehled můžou podat typy grafů, jejichž ukázka je na obr. 8 pro Vilémovice a roky 2014 a 2015. V roce 2014 se vyskytlo teplé-suché, popřípadě jenom teplé období pouze na několik dnů na přelomu července a srpna, přičemž počátek a konec sezóny byl spíše chladnější a vlhčí. Naproti tomu se v roce 2015 první sušší období vyskytlo již na počátku června, avšak déletrvalejší suché a teplé období trvalo od července až do druhé dekády srpna. To mělo výrazný vliv na tvorbu výnosu hlíz a jejich velikost.

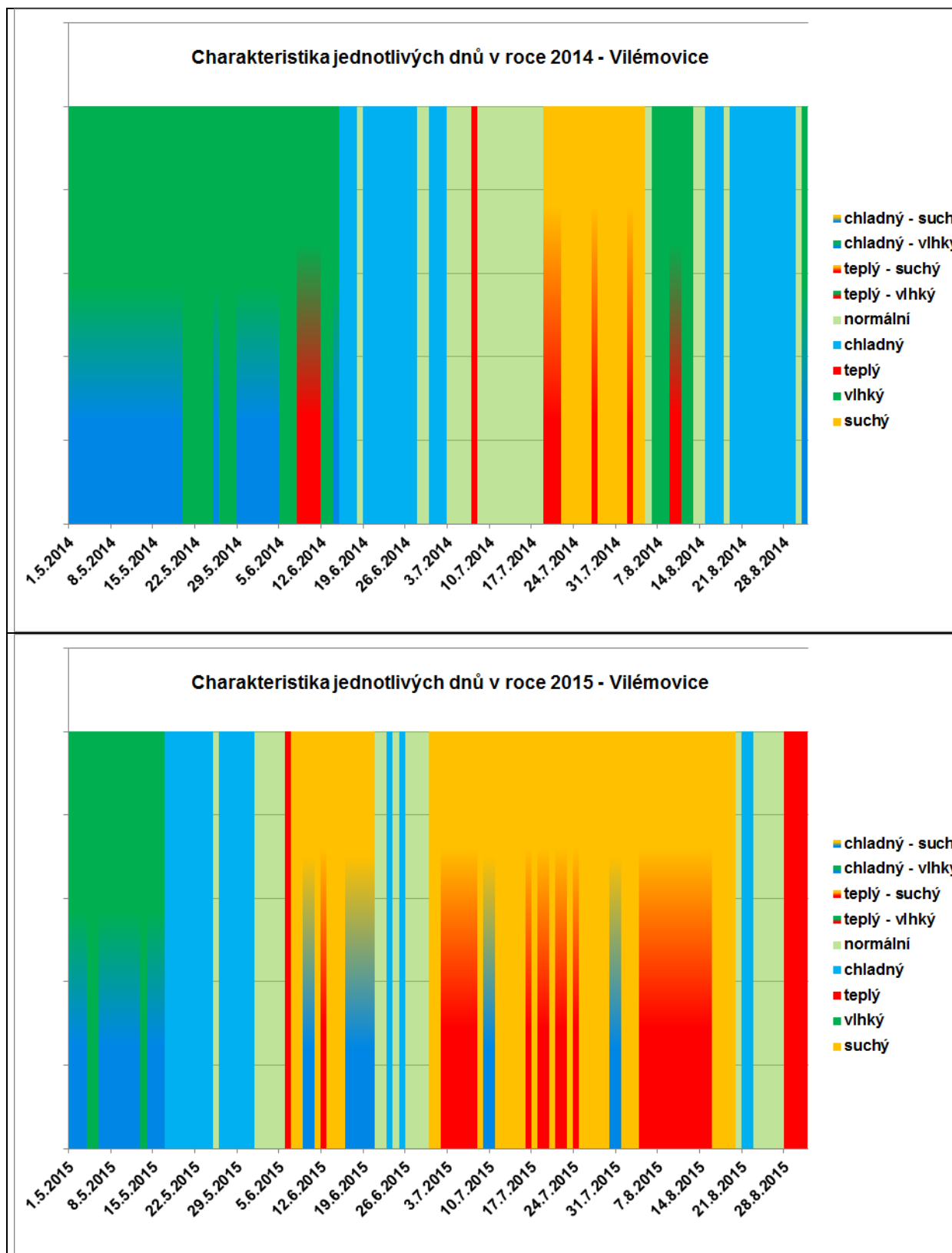
Jednotlivým kategoriím dnů je možno přisoudit rozdílné hodnoty z hlediska jejich závažnosti na vývoj porostů. V prvotním přiblížení je možno použít empiricky stanovené hodnoty, které jsou uvedeny v tab. 1.



Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8

Tab. 1 Přiřazení hodnot závažnosti jednotlivým kategoriím dnů

Kategorie dne	Hodnota závažnosti
chladný - suchý	0.3
chladný - vlhký	0.5
teplý - suchý	1
teplý - vlhký	0.5
chladný	0.2
teplý	0.6
vlhký	0.2
suchý	0.7
normální	0

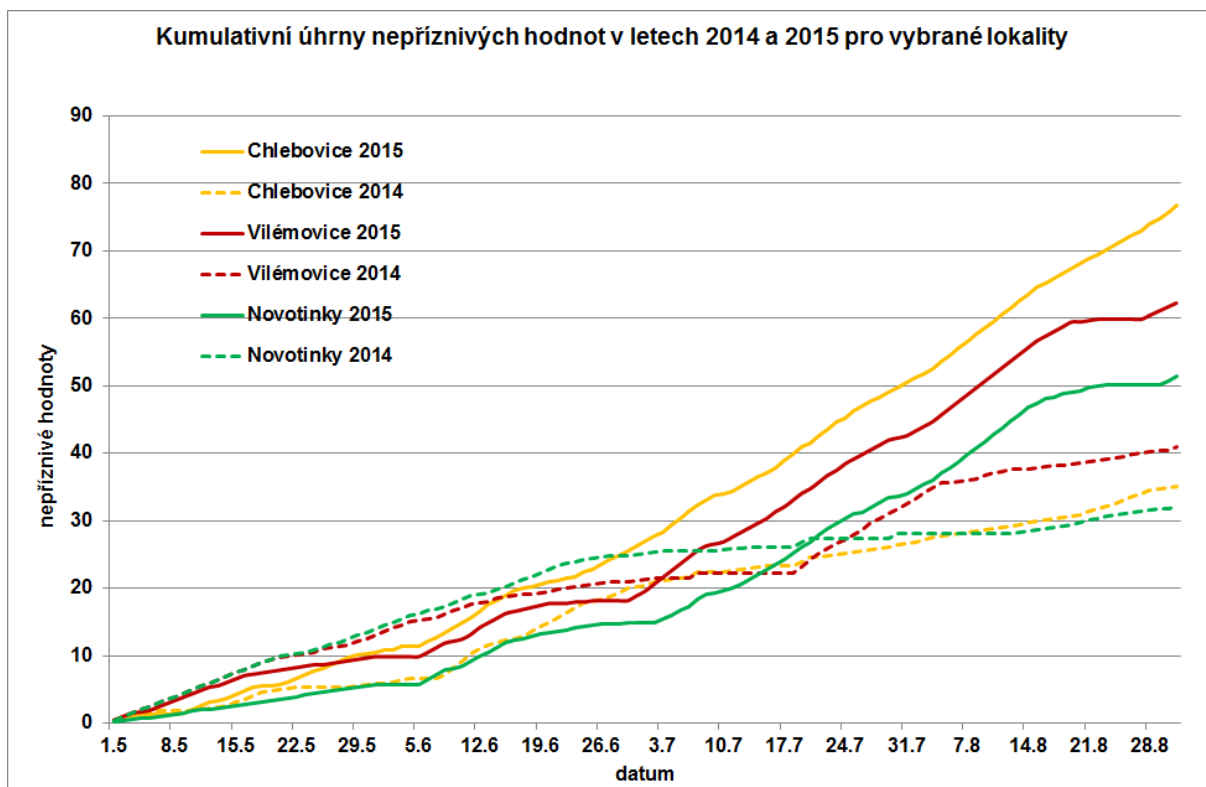
Vychází se při tom z úvahy, že nejškodlivější jsou suché a současně teplé dny, proto je jim přiřazena hodnota 1, naproti tomu normální dny nemají žádný negativní vliv a proto je jim přiřazena nulová hodnota.

Průběžným sčítáním jednotlivých hodnot závažnosti v průběhu sezóny lze dojít k výsledné hodnotě za celou sezónu, popřípadě po jejich vykreslení do grafu si lze udělat představu o jejich rozložení. Ukázkou takového grafu pro vybrané lokality a roky 2014 a 2015 je obr. 9. Počátek sezóny byl v obou letech přibližně stejný, avšak zatímco ke konci června v roce 2014 začaly převládat dny s příznivými podmínkami pro růst brambor, v roce 2015 přibližně ve stejném období začal prudký nárůst dnů s vyššími hodnotami závažnosti. Tento nárůst trval v Chlebovicích až do konce sledovaného období, na zbývajících dvou lokalitách se v důsledku srpnových srážek zastavil a po krátkou dobu před sklizní převládaly příznivé podmínky. V tab. 2 jsou pak uvedeny celkové součty nepříznivých hodnot za celé období od května do srpna pro jednotlivé zpracované lokality. Jsou zde zřetelné rozdíly mezi lety 2014 a 2015, v roce 2015 byl jejich nejvyšší součet právě u Chlebovic. U ranobramborářských oblastí by bylo zřejmě vhodné uvažovat kratší období, během nějž probíhala vegetace brambor. Při sečtení hodnot pouze od května do července vychází u Přerova n. L. pro rok 2014 i 2015 stejná hodnota, 37, u Lednice vychází pro rok 2014 celková suma 42, pro rok 2015 pak 54. I to by mohla být jedna z příčin, proč k největšímu snížení výnosů v roce 2015 oproti roku 2014 došlo u ostatních brambor, zatímco výnosy raných brambor byly sníženy jen nepatrně a dosahovaly nadprůměrných hodnot (obr. 10)

Závěr

V předloženém příspěvku byl učiněn pokus o kvantitativní vyjádření vhodnosti povětrnostních a vlhkostně-půdních podmínek na pěstování brambor. Kombinací normovaných hodnot teplotního a vlhkostního indexu lze každý den zařadit do některé

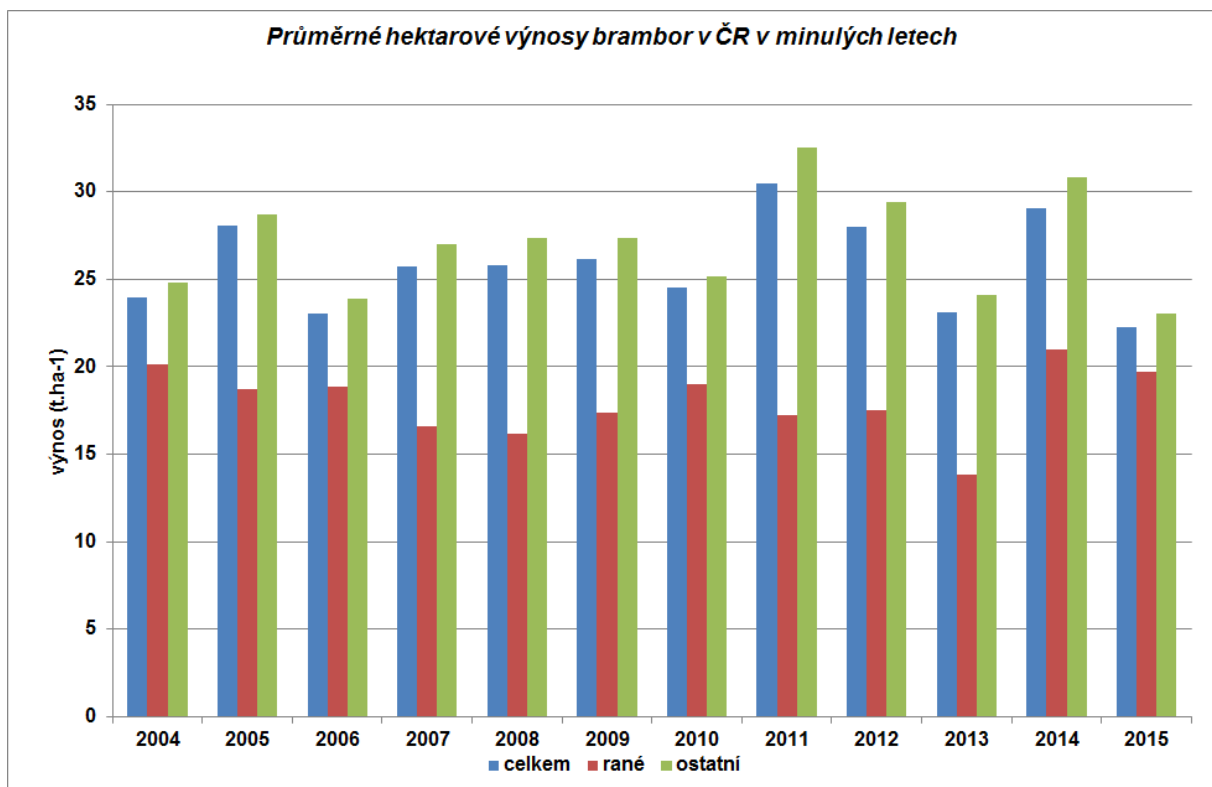
z devíti stanovených kategorií, kterým lze následně přiřadit určitou číselnou hodnotu. Takto lze poměrně exaktně vyjádřit vliv povětrnostních podmínek za celou sezónu pro jednotlivé lokality. Možnou modifikací číselného přiřazení jednotlivým kategoriím dnů by mohlo být zavedení určitých vah v závislosti na fenologickém vývoji porostu, definovaném např. použitím P-days.



Obr. 9 Kumulativní úhrny nepříznivých hodnot v letech 2014 a 2015 pro vybrané lokality

Tab. 2 Úhrny nepříznivých hodnot pro jednotlivé lokality za roky 2014 a 2015

lokality	2014	2015
Chlebovice	35	76
Vilémovice	41	62
Novotinky	32	51
Přerov n. Labem	45	56
Sp. Belá	28	49
Ostrov u Macochy	37	60
Lednice	47	61



Obr. 10 Průměrné hektarové výnosy brambor v ČR v minulých letech (podle ČSÚ)

Literatura

- Bárta, J., Čepl, J., Diviš, J., Hamouz, K., Jůzl, M., Vacek, J. (2008): Brambory. In: Prugar J. (ed.): Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Kvasný průmysl, Praha, s. 241-261, ISBN 978-80-86576-28-2.
- Brežný, O. (1970): Vzťahy medzi pôdnymi hydrolimitmi a mechanicko-fyzikálnymi vlastnosťami pôdy. Vedecké práce Výskumného ústavu závlahového hospodárstva v Bratislave, s. 53 – 80
- Curwen, D. (1993): Water Management. In: Rowe Randall, C. (Ed.) Potato Health Management. St. Paul, Minnesota, USA. APS Press. The American Phytopathological Society. 178 s.
- Griffin, T., Bradley, S., Ritchie, J. (1993). A simulation model for potato growth and development: SUBSTOR-potato version 2.0. Report, Department of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii, Honolulu.

- Haverkort, A.J. (1990): Ecology of potato cropping systems in relation to latitude and altitude. *Agric. Syst.* 32, s. 251-272.
- Klementová, E., Litschmann, T., Rožnovský, J: Assessment of Drought in Landscape. In: Participation of women in the fields of meteorology, operational hydrology and related sciences. Bratislava, 16-17. V. 2002, s. 143 – 148
- Levy D, Veilleux RE (2007): Adaptation of potato to high temperatures and salinity—A review. *American Journal of Potato Research* 84, s. 487–506
- Machyček, J. (1958): Teplotné poměry Moravy a Slezska. Spisy vydávané přírodovědeckou fakultou Masarykovy university v Brně, řada H2, č. 391, 96 s.
- Novotný, M. a kol. (1990): Závlaha poľných a špeciálnych plodín. 1. vydání, Bratislava, PRÍRODA, 312 s. ISBN 80-07-00267-7
- Petr, J. a kol. (1987): Počasí a výnosy. SZN Praha, 368 s.
- Sands, P. J., Hackett, C., and Nix, H. A.(1979): A model of the development and bulking of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Field Crops Res.* 2, s. 309-331.
- Vos, J. (1999): Potato. In: SMITH, D. L., HAMEL, C. (eds): *Crop Yield - Physiology and Processes*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 504 s. ISBN 978-3642636448

Poděkování

Příspěvek vznikl s podporou výzkumného úkolu NAZV QJ1210305 Integrovaná ochrana proti plísni bramboru v nových agroenvironmentálních podmínkách s využitím prognózy výskytu choroby a na základě nových poznatků o změnách v populacích patogena a procesech rozkladu hlíz.

Kontakt:

RNDr. Tomáš Litschmann PhD.

AMET

Žižkovská 1230

731702744, amet@email.cz

Odhad výnosů zemědělských plodin na základě družicového monitoringu

Prediction of crop yields using satellite remote sensing

Vojtěch Lukas¹, Miroslav Trnka^{1,2}, Daniela Semerádová^{1,2}, Kamil Rajdl², Jan Balek^{1,2}, Petr Štěpánek^{2,3}, Pavel Zahradníček^{2,3}, Petr Hlavinka^{1,2}, Zdeněk Žalud^{1,2}

¹Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Mendelova universita v Brně, Zemědělská 1, 61300

Brno; ²Ústavu výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Bělidla 986/4a, 60300 Brno; ³Český hydrometeorologický ústav, Pobočka Brno, Kroftova 2578/43, 61667 Brno

Abstrakt

Znalost výnosů plodin před dosažením sklizně je významná nejen pro plánování aktivit na úrovni zemědělských podniků, ale také z národohospodářského pohledu pro zabezpečení produkce potravin. Cílem studie bylo ověřit vývoj modelu odhadu výnosů významných plodin (pšenice ozimé, ječmene jarního a řepky ozimé) z výsledků vegetačních indexů NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) a EVI2 (Enhanced Vegetation Index) ze senzoru MODIS v podobě 16 denních kompozitů za období 2000 – 2014. Za vybrané území 14 okresů České republiky, které představují regiony s vyšší intenzitou zemědělské produkce a rozdílnými pedo-klimatickými podmínkami. Přesnost predikčního modelu byl testována zejména v ročnicích se silným výskytem sucha a nízkou úrovní výnosu (2000, 2003, 2006 a 2012). Stabilnější výsledky byly dosaženy ve výnosově nejproduktivnějších okresech, jako jsou Olomouc a Přerov, zatímco u výše položených území byl model značně ovlivněn nižším podílem sledovaných plodin na úkor pícnin. Ve většině případů byla vyšší přesnost stanovení výnosu dosažena pomocí vegetačního indexu EVI2 a postupným průměrováním hodnot kompozitů v průběhu vegetačního období plodin.

Klíčová slova: dálkový průzkum Země, MODIS, vegetační indexy, sucho, EVI2

Abstract

Knowledge of the crop yield with sufficient lead time prior to harvest is crucial for both the farm management and the agro-food sector policy. The aim of this study was to test feasibility of developing crop yield forecasting model in Czech Republic for winter wheat, spring barley

and oilseed rape based on 2000-2014 database of vegetation indices Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Enhanced Vegetation Index (EVI2) from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on Terra satellite in form of 16-days composites. An average yield data were collected for 14 selected districts in the Czech Republic that represent the regions with more intensive agricultural production among varying climate and topographic conditions. The viability of the concept was proven in years with significant yield decline i.e. 2000, 2003, 2006 and 2012, when yields of cereals were significantly affected by occurred drought periods. More stable regression results were achieved in the most productive areas such as Olomouc and Prerov, whilst models in highland regions were influenced by lower acreage of three modelled crops and higher prevalence of fodder crops. In most cases, EVI2 showed higher correlations to the crop yield together with using an average value of all composites during vegetation period.

Keywords: remote sensing, MODIS, vegetation indices, drought, EVI2

Úvod

Dálkový průzkum Země poskytuje informace o prostorových a časových změnách veličin významných pro hodnocení stavu plodin, které jsou jinými postupy jen obtížně zachytitelné, a umožňuje tak modelovat chování agroekosystému pro maximalizaci produkce se současnou minimalizací environmentálních rizik (Dorigo et al., 2007). Pro zvýraznění vegetační složky v obraze jsou využívány vegetační indexy, které zároveň redukuje množství vstupních spektrálních pásem do jediné veličiny. Nejčastěji využívaným vegetačním indexem je Normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index), který je vypočten z odrazivosti červené a blížeinfračervené části elektromagnetického záření (Rouse et al., 1974) podle rovnice $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$. Později byl představen vegetační index EVI (Enhanced Vegetation Index), který redukuje atmosferické efekty implementací modrého pásma spektra Huete et al. (1994). EVI index byl následně modifikován jako dvoupásmový index EVI2 pro senzory bez snímání modrého pásma Jiang et al. (2008), který umožňuje zajištění kompatibility napříč nejrůznějšími senzory při zachování funkční ekvivalence s původním EVI.

$$EVI2 = \frac{2.5 \times (\rho_{NIR} - \rho_{red})}{1 + \rho_{NIR} + 2.4 \times \rho_{red}}$$

Mapování velkého území spolu s požadovanou vysokou četností monitoringu zužuje sortiment použitelných metod DPZ na oblast družicového snímání. Z hlediska dostupnosti ucelené řady snímků pro zachycení výkyvů výnosů plodin mezi ročníky jsou nejčastěji využívána obrazová data ze senzorů AVHRR a MODIS. Nízké prostorové rozlišení MODIS dat je kompenzováno vysokým časovým rozlišením, data jsou pořizována denně. Ačkoli lze takto podrobně zachytit dynamiku vývoje porostů, z důvodu výskytu oblačnosti jsou často využívány kompozitní produkty, které vybírají data ze série snímků za určité období (8, 16 dnů) pro omezení vlivu oblačnosti (Justice et al., 2002).

Cílem této studie bylo vyvinout a ověřit model pro predikci výnosů významných plodin v České republice, který by byl postaven na průběžném družicovém monitoringu stavu porostů v dostatečném prostorovém a časovém rozlišení. Jako hlavní plodiny byly vybrány pšenice ozimá, ječmen jarní a řepka ozimá s ohledem na jejich procentuálním zastoupení a význam při produkci potravin v ČR. Vychází se z hypotézy, že spektrální odrazivost vegetace zjištěná z dálkového průzkumu formou poměrových vegetačních indexů vypovídá o biofyzikálních parametrech porostů, které se následně odráží na tvorbě výnosu zemědělských plodin. Pro parametrizaci modelu byly využity informace o průměrném výnosu plodin na okresní úrovni za období 2000 – 2014.

Materiál a metody

V rámci České republiky bylo zvoleno 14 okresů pokrývajících různorodé produkční a půdně-klimatické podmínky převážně jižní a střední části České republiky, jejichž souhrnná výměra orné půdy činí 825 tis. ha (stav 2014). Procentuální zastoupení plodin na celkové výměře orné půdy v období 2000 – 2014 se v jednotlivých okresech liší a odpovídá zařazení plodin do osevních sledů vycházející z produkčních podmínek daného regionu. Nejvýznamnější plodinou je pšenice ozimá, jejíž podíl kolísá od 15 do 34 %, dále ječmen jarní (10 – 24%) a řepka ozimá (8 – 14 %). Tyto plodiny v souhrnu reprezentují 40 – 59 % orné půdy, zbytek představují plodiny jako je kukuřice, ostatní obilniny, ostatní olejniny, píceiny na orné půdě a další plodiny.

Výnosová data

Pro studii byly využity statistické záznamy o výnosech a sklizňových plochách plodin pro zvolené okresy v období 2000 – 2014. Data byla získána ze záznamů Agrární komory České

republiky na základě statistického šetření zemědělských podniků v jednotlivých regionech. Výnos jednotlivých plodin je vyjádřen jako průměrné množství sklizeného hlavního produktu - zrna v t.ha⁻¹ v rámci jednotlivých okresů. Pro souhrn výnosů všech plodin v daném roce byl proveden přepočítání na obilní jednotky, které umožňují srovnání rozdílných zemědělských produktů (Brankatschk a Finkbeiner, 2014). Pro pšenici ozimou a ječmen jarní je koeficient přepočítání výnosu hlavního produktu (zrna) na obilní jednotky (OJ) shodně roven $OJ = 1.0$, pro ozimou řepku je na úrovni $OJ = 2.0$. Výnos vedlejšího produktu nebyl brán v potaz, ve statistických záznamech nejsou tyto hodnoty evidovány a použití obecných tabulkových lineárních přepočtů by nevedlo ke zpřesnění výsledků. Kromě vzájemného porovnání produktivity plodin lze na základě obilních jednotek ze statistických údajů o výnosech hodnotit komplexně výnosovou produktivitu na maximální rozloze orné půdy, neboť sdružuje všechny sledované plodiny.

Data DPZ

Pro účely této studie byly zvoleny data MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) z družice Terra, z důvodu dobré dostupnosti historických snímků (od roku 2000) pro sledované území. Původní obrazová data jsou pořizována denně s globálním pokrytím v prostorovém rozlišení 250 m na pixel, pro odhad výnosů byly použity 16 denní kompozitní data MOD44C s červeným a NIR spektrálním pásmem. Základním principem kompozitů je v daném období vybrat pixely s hodnotami odpovídající bezoblačným observačním podmínkám. Z obrazových dat byly vypočteny NDVI a EVI2 pro kompozity odpovídající hlavnímu vegetačnímu období sledovaných plodin – březen (kompozit č. 5) až srpen (kompozit č. 15). Hodnoty odrazivosti červeného a NIR pásma byly získány pro každý pixel orné půdy, tyto hodnoty byly následně agregovány dle územního vymezení jednotlivých okresů.

Vlastní vymezení orné půdy bylo provedeno na základě datasetu z evropského monitoringu CORINE Land Cover (CLC) ve verzi 2012, která je mírnou modifikací verze 2006 (Büttner a Kosztra, 2007).

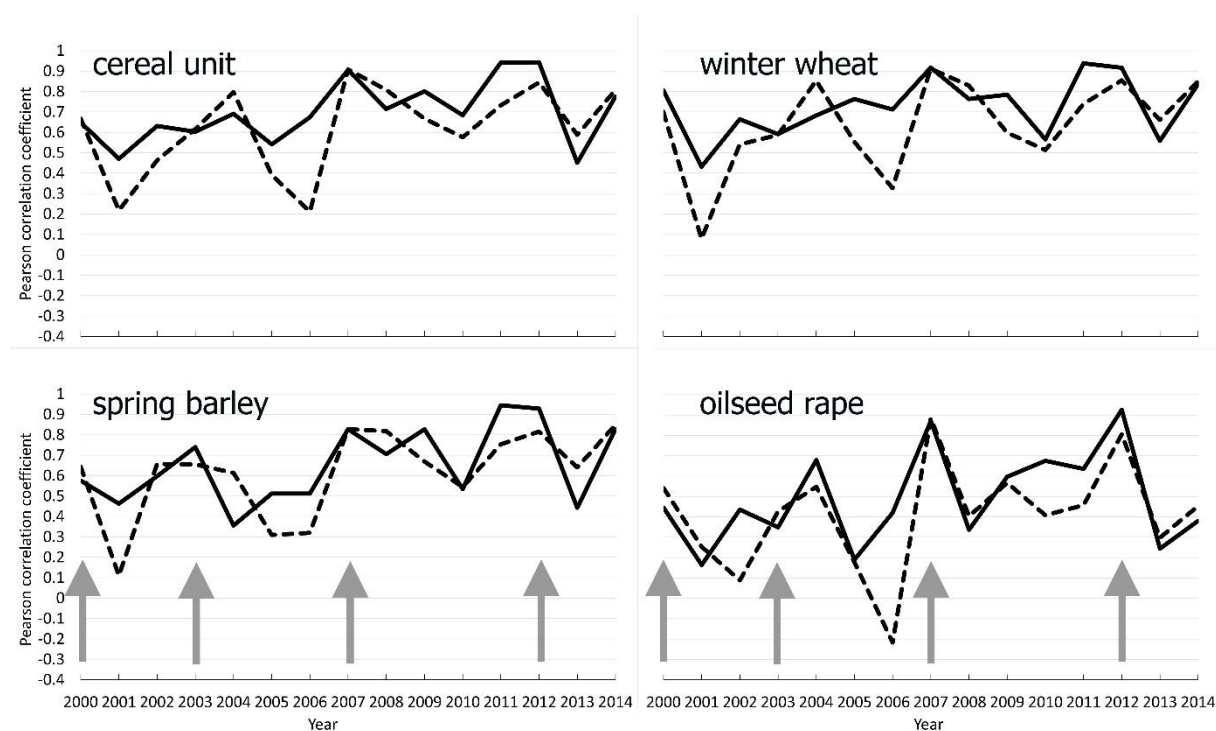
Meteorologická data

Základními vstupními daty o klimatu byla informace o procentuálním výskytu sucha v jednotlivých okresech za sledované období. Stanovení intenzity sucha vychází z údajů

verifikovaného modelu vodní bilance SoilClim (Hlavinka et al., 2011), který využívá vstupní data z pozemních meteorologických stanic a interpoluje výsledky do gridu s prostorovým rozlišením 500 m. Následně je hodnoceno relativní nasycení půdy v povrchové vrstvě (0 – 0,4 m) a celém profilu půdy (0 - 1 m) ve vegetačním období od 1.2. do 20.7., kdy je zaznamenáván počet dnů s hodnotou nasycení pod 30 %.

Výsledky

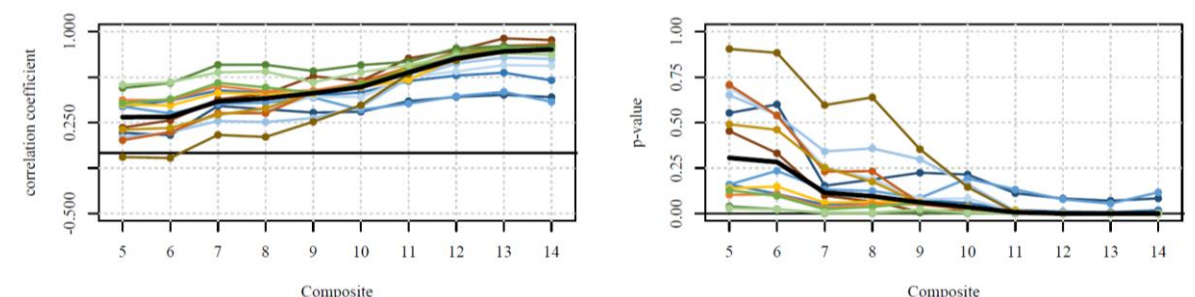
Pro určení významnosti jednotlivých kompozitů na určení vztahu vegetačních indexů s výnosy plodin byla provedena korelační analýza napříč sledovanými ročníky a jednotlivými územními jednotkami – okresy. Pro jednodušší interpretaci byl za okresy a roky spočítán medián korelačních koeficientů v jednotlivých kompozitech, který je pro jednotlivé vykreslen v grafu na Obr.1. U obou indexů vykazuje průběh hodnot typické rozložení odpovídající shodně vegetačním cyklům plodin, přičemž nejvyšších hodnot Pearsonova korelačního koeficientu bylo dosaženo v období definovaném 10 – 11 kompozitem (konec květen, první dekáda června). Z grafu také vyplývá, že u všech sledovaných plodin a obilních jednotek byly zaznamenány vyšší hodnoty korelačního koeficientu u EVI2 než u NDVI. Taktéž v ranějších fázích kompozitních dat byla dosažena vyšší korelace EVI2 v porovnání s NDVI.



Obr. 1 Pearsonův korelační koeficient mezi vegetačními indexy (EVI2 – plná čára, NDVI – čárkovaně) a výnosy plodin pro jednotlivé ročníky. Šipky ukazují na ročníky postižené suchem.

Výsledky korelační analýzy mezi vegetačními indexy a výnosy za jednotlivé ročníky jsou uvedeny na Obr. 1. Těsnost vztahu mezi výnosem a vegetačními indexy se liší pro jednotlivé plodiny a současně kolísá mezi ročníky. Vyšších hodnot korelačního koeficientu bylo dosaženo v ročnících významně postižených suchem (2000, 2003, 2012) nebo s nadprůměrnými výnosy (2011, 2014). Ačkoli je vzájemný průběh křivek obou vegetačních indexů obdobný, úroveň korelace s výnosy se v některých ročnících značně lišila, ve většině případů ve prospěch EVI2 (např. 2001, 2006). Naopak s výjimkou ozimé řepky vyšší citlivost s výnosem vykázal výnosově nadprůměrných let 2004 a 2013 vegetační index NDVI. Celkově meziročníkové porovnání NDVI s EVI2 ukazuje na převažující vyšší závislost výnosu s EVI2, nejvíce se rozdíly projeví v ročnících 2001 (pšenice ozimá, ječmen jarní) a 2006 (všechny plodiny).

S ohledem na výsledky korelační analýzy mezi výnosem a vegetačními indexy byl pro predikci výnosu v jednotlivých okresech zvolen index EVI2. Výběr vstupního kompozitu pro výpočet regrese za každý okresy není s ohledem na malý počet dat nijak snadné, neboť úroveň korelace mezi okresy a kompozity značně kolísá. Proto byl pro dosažení co nejvyšší přesnosti regresního modelu ověřován postup výpočtu z postupně průměrné hodnoty kompozitních dat. Tato varianta vedla ke stabilizaci závislosti, a to zejména v druhé polovině vegetačního období (od 9 kompozitu). Hodnota Pearsonova koeficientu se s rostoucím počtem kompozitů postupně zvyšovala současně se snižující se p-hodnotou závislosti, obojí se výrazně měnilo až do 12. kompozitu, poté byly změny již méně výrazné (Obr. 2).





Obr. 2 Korelační koeficienty a p-hodnota pro pšenici ozimou vypočtené z postupného průměru kompozitních dat EVI2.

Postupný průměr vstupních kompozitních dat dosáhl ve většině případů vyšší úrovně korelace s výnosy plodin. To se samozřejmě projevilo také na přesnosti predikce výnosu, která byla hodnocena pomocí ukazatele Mean Absolute Error (MAE) - viz Tab. 1. U pšenice ozimé bylo pro průměr všech kompozitů nejvyššího zpřesnění mezi 9 a 14 kompozitem dosaženo u okresů PV (0.288 t.ha⁻¹), VY (0.284 t.ha⁻¹) a BI (o 0.283 t.ha⁻¹), pro ječmen jarní PV (o 0.248 t.ha⁻¹), ZN (0.188 t.ha⁻¹) a BI (0.175 t.ha⁻¹) a pro ozimou řepku BI (0.162 t.ha⁻¹), HO (0.134 t.ha⁻¹) a BK (0.105 t.ha⁻¹). Komplexně hodnocená produktivita v podobě obilních jednotek se u průměru všech kompozitů nejvíce zpřesnila pro okres BI (0.913 t.ha⁻¹), VY (0.842 t.ha⁻¹) a PV (0.768 t.ha⁻¹), zejména mezi 11 a 12 kompozitem. Naopak postupný průměr všech kompozitních dat nepřinesl zpřesnění výnosu u okresu PE, HB a JI, které představují méně produktivní oblasti s vyšší polohou a zastoupením pícnin a TTP.

Tab. 1 Výsledky hodnocení přesnosti predikce výnosu plodin z EVI2 ukazatelem MAE [t.ha⁻¹] s barevnou klasifikací hodnot.

MAE	pšenice ozimá						ječmen jarní						řepka ozimá						obilní jednotky					
	9	10	11	12	13	14	9	10	11	12	13	14	9	10	11	12	13	14	9	10	11	12	13	14
BK	0.604	0.595	0.509	0.475	0.405	0.385	0.718	0.715	0.686	0.632	0.603	0.601	0.591	0.583	0.562	0.521	0.493	0.486	2.249	2.224	2.126	1.904	1.705	1.669
BI	0.968	0.996	0.978	0.844	0.745	0.685	0.777	0.739	0.705	0.651	0.613	0.602	0.702	0.689	0.668	0.611	0.560	0.540	2.962	2.950	2.821	2.473	2.222	2.049
BV	0.871	0.881	0.840	0.781	0.719	0.667	0.702	0.659	0.589	0.554	0.534	0.558	0.675	0.676	0.664	0.640	0.613	0.584	2.705	2.703	2.634	2.505	2.352	2.185
HB	0.600	0.608	0.580	0.569	0.564	0.566	0.557	0.559	0.555	0.550	0.545	0.547	0.438	0.438	0.442	0.446	0.440	0.431	1.718	1.764	1.689	1.683	1.618	1.574
HO	0.864	0.871	0.857	0.770	0.709	0.653	0.816	0.801	0.779	0.749	0.737	0.736	0.624	0.616	0.580	0.525	0.501	0.490	2.810	2.763	2.567	2.315	2.166	2.048
JI	0.727	0.733	0.678	0.659	0.634	0.647	0.724	0.731	0.694	0.664	0.650	0.658	0.521	0.517	0.523	0.511	0.500	0.490	2.073	2.093	2.038	1.972	1.855	1.792
OC	0.633	0.623	0.564	0.485	0.429	0.410	0.541	0.539	0.499	0.497	0.494	0.484	0.540	0.540	0.533	0.522	0.516	0.509	2.092	2.069	1.950	1.778	1.737	1.654
PE	0.612	0.644	0.617	0.612	0.585	0.611	0.594	0.616	0.598	0.576	0.557	0.583	0.432	0.430	0.434	0.449	0.454	0.449	1.737	1.749	1.711	1.752	1.717	1.725
PV	0.865	0.860	0.787	0.667	0.593	0.577	0.785	0.776	0.699	0.590	0.563	0.537	0.535	0.540	0.530	0.519	0.508	0.502	2.552	2.532	2.327	1.960	1.850	1.784
PR	0.608	0.589	0.548	0.499	0.469	0.458	0.646	0.642	0.600	0.575	0.585	0.586	0.567	0.570	0.558	0.553	0.559	0.568	2.024	1.997	1.844	1.773	1.799	1.824
TR	0.715	0.693	0.638	0.607	0.551	0.537	0.626	0.625	0.624	0.614	0.612	0.616	0.558	0.563	0.563	0.536	0.520	0.512	2.047	2.038	2.050	1.952	1.833	1.787
VY	0.843	0.837	0.799	0.668	0.601	0.559	0.756	0.742	0.707	0.677	0.643	0.622	0.549	0.554	0.526	0.515	0.494	0.503	2.581	2.543	2.300	1.979	1.822	1.739
ZN	0.946	0.903	0.895	0.832	0.765	0.724	0.792	0.756	0.676	0.590	0.597	0.604	0.602	0.590	0.581	0.540	0.528	0.512	2.578	2.517	2.488	2.291	2.043	1.906
ZR	0.585	0.579	0.551	0.510	0.475	0.462	0.675	0.670	0.648	0.622	0.623	0.630	0.508	0.504	0.502	0.506	0.502	0.493	1.957	1.969	1.940	1.894	1.818	1.757

Z hlediska dosaženého průměrného výnosu je právě predikce pro řepku ozimou nejméně přesná, což nejspíše souvisí s jejím nízkým procentuálním zastoupením na orné půdě a současně s nemožností přesného vymezení ploch pouze s touto plodinou. Pokud jsou vstupními daty záznamy vegetačního indexu na veškerou ornou půdu na úrovni okresů, jeví se

pro celkové hodnocení produktivity vhodnější využití obilních jednotek, které souhrnně zahrnují plochy a výnosy plodin ze statistiky.

Diskuze

Zvýšenou citlivost EVI indexů na změny porostních parametrů potvrzuje celá řada studií (Bolton a Friedl, 2013; Govedarica et al., 2015; Huete et al., 2002; Zhang et al., 2015). Hlavním důvodem je již dobře zdokumentovaná snížená citlivost NDVI při vysokém množství zelené nadzemní hmoty rostlin (Baret a Guyot, 1991; Huete et al., 1997). V určitých vývojových fázích porostu se zvyšující hodnoty LAI neprojevují na změně NDVI a dochází tak k saturaci NDVI prostřednictvím rozdílné absorpce záření v červené a NIR oblasti.

Ačkoli implementace obilních jednotek vedla ke zvýšení přesnosti predikce, s ohledem na zastoupení plodin ve výpočtu (40 – 60%) pro ornou půdu mohou být výsledky stále ovlivněny ostatními (nehodnocenými) plodinami, které jsou na orné půdě pěstovány. Za sledované období je ale nelze zahrnout do hodnocení z důvodu absence výsledných údajů ze sklizně. Právě přesná klasifikace plodin se ukazuje jako klíčová při využití DPZ pro stanovení výnosových parametrů (Doraiswamy et al., 2004). Východiskem by mohla být implementace pokročilých algoritmů pro identifikaci plodin na pozemcích přímo z družicových dat MODIS (Chang et al., 2007; Wardlow a Egbert, 2008; Wardlow et al., 2007), která ale může být s ohledem na menší velikost pozemků limitována přesností vymezení jednotlivých pixelů v rámci pozemků. Přesnost klasifikace plodin lze zvýšit kombinací MODIS dat s obrazovými daty o vysokém prostorovém rozlišení, jako je Landsat (Doraiswamy et al., 2004) nebo Sentinel, které budou s ohledem na vyšší prostorové rozlišení lépe odpovídat nižší velikosti pozemků na území ČR

Závěr

Metody družicového dálkového průzkumu umožňují celoplošné hodnocení stavu porostů zemědělských plodin a jejich kvantifikaci prostřednictvím vegetačních indexů. Výsledky hodnocení ukázaly na dosažení vyšší přesnosti predikce výnosů za pomoci vegetačního indexu EVI2 a současně při použití výpočtu z postupného průměru kompozitních dat. Další zvýšení přesnosti predikce je zejména otázkou přesného vymezení ploch zemědělských plodin na družicových snímcích, které by vedlo k sestavení regresního modelu z hodnot EVI2 pouze pro danou plodinu.

Literatura

- Baret, F., Guyot, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*. 1991, vol. 35, no. 2-3, pp. 161-173.
- Bolton, D. K., Friedl, M. A. Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2013, vol. 173, no. 0, pp. 74-84. 5/15/.
- Brankatschk, G., Finkbeiner, M. Application of the Cereal Unit in a new allocation procedure for agricultural life cycle assessments. *Journal of Cleaner Production*. 2014, vol. 73, pp. 72-79. 6/15/.
- Büttner, G., Kosztra, B. *CLC2006 Technical Guidelines. Technical report 17/2007*, 2007.
- Doraiswamy, P. C., Hatfield, J. L., Jackson, T. J., Akhmedov, B., Prueger, J., Stern, A. Crop condition and yield simulations using Landsat and MODIS. *Remote Sensing of Environment*. 2004, vol. 92, no. 4, pp. 548-559.
- Dorigo, W. A., Zurita-Milla, R., de Wit, A. J. W., Brazile, J., Singh, R., Schaepman, M. E. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2007, vol. 9, no. 2, pp. 165-193.
- Govedarica, M., Jovanović, D., Sabo, F. Corn yield estimation in Serbia using MODIS 13Q1 product. In Michaelides, S., Hadjimitsis, D. G., Themistocleous, K. *et al. 3rd International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment, RSCy 2015*, SPIE, 2015, p.
- Hlavinka, P., Trnka, M., Balek, J., Semerádová, D., Hayes, M., Svoboda, M., Eitzinger, J., Možný, M., Fischer, M., Hunt, E., Žalud, Z. Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates. *Agricultural Water Management*. 2011, vol. 98, no. 8, pp. 1249-1261.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., Ferreira, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 2002, vol. 83, no. 1-2, pp. 195-213. Nov.
- Huete, A., Justice, C., Liu, H. Development of Vegetation and Soil Indexes for Modis-Eos. *Remote Sensing of Environment*. 1994, vol. 49, no. 3, pp. 224-234. Sep.
- Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K., vanLeeuwen, W. A comparison of vegetation indices global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*. 1997, vol. 59, no. 3, pp. 440-451. Mar.
- Chang, J., Hansen, M. C., Pittman, K., Carroll, M., DiMiceli, C. Corn and soybean mapping in the United States using MODIS time-series data sets. *Agronomy Journal*. 2007, vol. 99, no. 6, pp. 1654-1664.
- Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K., Miura, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*. 2008, vol. 112, no. 10, pp. 3833-3845.
- Justice, C. O., Townshend, J. R. G., Vermote, E. F., Masuoka, E., Wolfe, R. E., Saleous, N., Roy, D. P., Morisette, J. T. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*. 2002, vol. 83, no. 1-2, pp. 3-15. 11//.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: United States: 1974, p. 309-317.
- Wardlow, B. D., Egbert, S. L. Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: An assessment for the U.S. Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*. 2008, vol. 112, no. 3, pp. 1096-1116.

Wardlow, B. D., Egbert, S. L., Kastens, J. H. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*. 2007, vol. 108, no. 3, pp. 290-310.

Zhang, Q., Cheng, Y.-B., Lyapustin, A. I., Wang, Y., Zhang, X., Suyker, A., Verma, S., Shuai, Y., Middleton, E. M. Estimation of crop gross primary production (GPP): II. Do scaled MODIS vegetation indices improve performance? *Agricultural and Forest Meteorology*. 2015, vol. 200, pp. 1-8. 1/15/.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu COST CZ MŠMT LD14121 “Možnosti dálkového průzkumu Země pro stanovení aktuální evapotranspirace vybraných polních plodin“ a projektu EHP-CZ02-OV-1-066-01-2014 „CzechAdapt – Systém pro výměnu informací o dopadech změny klimatu, zranitelnosti a adaptačních opatřeních na území ČR“

Kontakt:

Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D.

Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Mendelova univerzita v Brně

Zemědělská 1, 613 00 Brno

Tel. 545 133 081, email: vojtech.lukas@mendelu.cz

Vliv sucha na výskyt některých chorob a škůdců vybraných polních plodin a trvalých kultur

Effect of drought on the incidence of certain diseases and pests selected field crops and permanent crops

František Muška¹, Lukáš Rudolfský², Lubomír Lampíř³, Simona Kratochvílová⁴, Radomil Měřinský⁴, Antonín Muška mladší¹, Anna Mušková¹

Táborská 21, Brno, 615 00¹

Vinné sklepy Kutná Hora, s. r. o.²

*ČZU v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, katedra zahradnictví³
Mendelova univerzita v Brně, školní zemědělský podnik Žabčice⁴*

Abstrakt

Pro prognózu a signalizaci ošetření proti vybraným škodlivým činitelům v polních plodinách a trvalých kulturách je využívána metoda Ing. Antonína Mušky v některých zemědělských podnicích v České republice a na Slovensku. V příspěvku jsou předloženy výsledky z révy vinné. V letech 2013 – 15 na třech lokalitách Kutná Hora (okres Kutná Hora), Sádek (okres Třebíč) a Lednice (okres Břeclav), kde byla využívána proti plísni révové (*Plasmopara viticola*), padlí révovému (*Erysiphe necator* syn. *Uncinula necator*), šedé hnilobě hroznů révy syn. plíseň šedá (*Botrytis cinerea*), obaleči mramorovanému (*Lobesia botrana*) a obalečiku jednopásnému syn. obaleč jednopásý (*Eupoecilia ambiguella*). S využitím této metody byly získány velmi dobré výsledky. Projevil se také výrazný vliv sucha na výskyt sledovaných škodlivých činitelů.

Klíčová slova: Prognóza, signalizace, réva vinná

Abstract

For prognosis and treatment indication to harmful agents in the selected field crops and perennial crops is the method used Ing. Anthony Flies in some farms in the Czech and Slovak Republics. The paper presented results from the vines of wine. In the years 2013-15 in three locations in Kutna Hora (District Kutna Hora), Sadek (District Třebíč) and refrigerator (district Breclav) where it was used against downy mildew of grapevine (*Plasmopara viticola*), powdery mildew of grapevine (*Erysiphe necator* syn. *Uncinula necator*), grey

mould bunch rot of grapes (*Botrytis cinerea*), European grapevine moth moth (*Lobesia botrana*) and grapevine moth (*Eupoecilia ambiguella*) on the grapevine. Using this method were obtained very good results. Also showed a significant effect on the occurrence of drought observed harmful factors.

Keywords: Prognosis, signalization, grapevine

Úvod

Je zcela samozřejmé, že škodlivost jednotlivých chorob a škůdců je přímo závislá na průběhu meteorologické situace. Studium těchto závislostí se zabývá "Dlouhodobá a krátkodobá prognóza a signalizace". Cílem krátkodobé prognózy je v dostatečném předstihu (1 - 1,5 měsíce) upozornit zemědělskou praxi na hospodářsky významný výskyt daného škodlivého činitele, aby se mohla včas na zásah připravit, nebo v případě negativní prognózy praxi sdělit, že zásah není třeba provádět, čímž dochází k šetření nejen finančních prostředků, ale i pesticidů. Přesnou dobu zahájení ošetření jakož i frekvenci dalších postřiků stanovuje signalizace. Dlouhodobá prognóza se zpracovává na delší časové období. Takovým příkladem je prognóza rojení a škodlivosti chrousta obecného (*Melolontha melolontha*), kterou vypracoval Ing. Antonín Muška. Bývalé Československo bylo teprve čtvrtou zemí po Švýcarsku, Rakousku a Francii v Evropě, kde byla tato prognóza zpracována. Dále zpracoval prognózu pro hospodářsky významný výskyt drátovců (*Elateridae -larvae*) larvy brouků kovaříků. (KRATOCHVÍL a kol., 1953, DIRLBEK J., 1991, DRACHOVSKÁ, 1959, MUŠKA 1975, MUŠKA 2000a, MUŠKA 2000b, MUŠKA 2004, MUŠKA 2006, ZACHA a kol., 1966, ZACHA a kol., 1970)

Pojmem hospodářsky významný výskyt se rozumí takový, který průkazně sníží produkci dané plodiny (ha výnos), nebo negativně ovlivní stav během skladování. Jinými slovy je to takový stav, při kterém by náklady na ochranu, kdyby nebyla provedena, převýšily škody škodlivým činitelem působené. Ochrana se tedy nebude provádět v tom případě, jestliže náklady na ni jsou vyšší, než škody škodlivým činitelem působené. Toto pojetí plně odpovídá požadavkům na integrovanou ochranu, jejímž cílem je minimalizace chemických zásahů. Omezením rozsahu ošetření dochází ke skutečné racionalizaci, kromě toho i k ochraně životního prostředí proti nežádoucím vlivům pesticidů na užitečný hmyz, půdní faunu, zemědělské produkty, vodu atd.. (DIRLBEK J., 1991, DRACHOVSKÁ, 1959, MUŠKA 2000a, ZACHA a kol., 1966, ZACHA, 1970)

Ing. Antonín Muška díky záznamům v "Týdenních situačních" zprávách IKOR ÚKZÚZ a ÚKSÚP o intenzitě výskytu škodlivých činitelů zemědělských plodin v závislosti na průběhu meteosituaace let 1961 – 1966 na podzim roku 1967 objevil matematicko - statistickou cestou závislosti pro významný plísně bramborové (*Phytophthora infestans*) na jednotlivých skupinách odrůd brambor, v dalších letech pak závislosti pro hospodářsky významný výskyt plísně révové (*Plasmopara viticola*), padlí révové (*Erysiphe necator* syn. *Uncinula necator*), šedé hniloby hroznů révy syn. plíseň šedá (*Botrytis cinerea*), obaleče mramorovaného (*Lobesia botrana*) a obalečika jednopásného syn. obaleč jednopásý (*Eupoecilia ambiguella*) révy vinné. Strupovitosti (*Venturia inaequalis*), padlí (*Podosphaera leucotricha*) a obaleče jablečného (*Cydia pomonella*) na jabloních; kadeřavost (*Taphrina deformans*) a padlí (*Sphaerothaeca pannosa*) na broskvoních; gnomonie meruňek (*Gnomonia erythrostoma*); moniliová hniloba (*Monilia* spp.) na meruňkách, třešni a višni; peronospora chmelová (*Pseudoperonospora humuli*) na chmelu. Ze zelenin se jedná o plíseň bramborovou (*Phytophthora infestans*) na rajčatech; plíseň okurkovou (*Pseudoperonospora cubensis*) na okurkách; plíseň cibulovou (*Peronospora destructor*) na cibuli. Z polních plodin padlí (*Blumeria graminis*) a stéblolam (*Pseudocercospora herpotrichoides*) na ozimé pšenici a hlívenka obecná (*Sclerotinia sclerotiorum*), šedá plísnovitost slunečnice syn. plíseň šedá (*Botrytis cinerea*), mšice maková (*Aphis fabae*) a mšice slívová (*Brachycaudus helichrisi*) na slunečnici roční. Cerkosporová listová skvrnitost řepy syn. skvrničnatka řepná (*Cercospora beticola*), padlí řepy (*Erysiphe betae*), mšice maková (*Aphis fabae*) a mšice broskvoňová (*Myzus persicae*) na řepě cukrové. (MUŠKA 2000a, MUŠKA, 2015)

Na práci Ing. Antonína Mušky navazuje jeho syn Ing. František Muška, Ph. D., který pomocí této metody také zpracovává aktuální stav sucha na sledovaných lokalitách a přijatelnost dusíku pro rostliny. Ve spolupráci s firmou Agrofina spol. s. r. o. (Ing. Jiří Kratochvíl) jsou hledány možnosti signalizace ošetření proti vybraným škodlivým činitelům kukuřice seté a to zejména u zavíječe kukuřičného (*Ostrinia nubilalis*). (MUŠKA, 2015)

Metoda je využívána řadou vinařů. V moravské vinařské oblasti jsou to například Vinofrukt Dolní Dunajovice a. s., pan Jaroslav Křížan Sedlec u Mikulova, Agro Zlechov a.s., Vinařství Sádek s. r. o. atd.. Spolupracujeme také se zahrádkáři například Spolek zahrádkářů Palánek Ždánice, Sdružení vinařů Dambořice atd.. V české vinařské oblasti je využívána Vinařským střediskem ČZU Praha, Mělník – Chloumek. Dále v jediném biodynamickém vinařství v

České republice Vinné sklepy Kutná Hora s. r. o., které jsou certifikovány v ekologickém biodynamickém systému Demeter. (MUŠKA, 2015)

V publikaci *História a súčasnosť ochrany rastlín v Slovenskej republike* je uvedeno "Príchodom Ing. Antona Mušku sa zvýšila úroveň prognózy a signalizácie predovšetkým plesne zemiaka (*Phytophthora infestans*), perenospor (*Plasmopara viticola*), múčnatky (*Uncinula nectator*), plesne sivej (*Botrytis cinerea*) na viniči a drotovcov (*Elateridae*). Výrazne sa zvýšila úroveň praxe v tejto oblasti. Metody prognózy a signalizácie sa zdokonaľovali v priamej spolupráci s poľnohospodárskymi podnikmi. Uverejňovali sa v novinách, rozhlase, v teletextu a v televízii s platnosťou pre celé Slovensko a okrem toho sa dávali podnikom upozornenia o potenciálnom výskyte chorôb a potreby ochrany." (BOJŇANSKÝ V. a kol, 1998)

Je samozrejmé, že na hospodársky významný výskyt chorôb a škůdců má vliv sucho. Jednak konkrétním tlakem některých chorôb, ale i kondicí rostlin atd..

Materiál a metódy

Výše uvedená metóda pracuje s predpoklady a podmínkami (MUŠKA 2000a, MUŠKA, 2015)

1. K hospodársky významnému výskytu dojde v tom prípade, jsou-li splněny "predpoklady" t.j. určitý přesně stanovený průběh meteorologické situace, který epidemii předchází (krátkodobá prognóza) a "podmínky" t.j. určitý přesně stanovený průběh meteosituace, který následuje po "predpokladech" (signalizace).

2. Jestliže jsou splněny "predpoklady" a nebyly splněny "podmínky" k hospodársky významnému výskytu nedojde.

3. Jsou-li splněny "podmínky" a nebyly splněny "predpoklady" k hosp. významnému výskytu škodlivého činitele rovněž nedojde.

Spolupráce nejen s vinařskými podniky probíhá formou týdenní předpovědi. V předstihu, po zhodnocení meteosituace, jsou stanoveny termíny prvního ošetření a dále nebezpečí dalšího šíření některých chorôb a škůdců, což umožňuje stanovit frekvenci dalších postřiků, které jsou odvislé od druhu použitého pesticidu. Doba zahájení ošetření i další sled postřiků je každého roku odlišná a závisí na prošlé meteosituaci, kromě toho i na fenologické fázi dané plodiny (např. termín výsadby brambor dle skupin odrůd, u révy vinné data začátku slzení, rašení, délky letorostů 10, 30, 70, 100 cm, začátek květu, plný květ, 100% odkvět, bobule velikosti

hrachu, uzavírání střapců, zaměkání, dozrávání, sklizeň, ha výnos, cukernatost). Kontakt je prováděn pomocí Emailů, kdy týdenní úhrny srážek, provedená ošetření, zdravotní stav porostů a fenologie jsou v období vegetace zasílány vždy v pondělí od pěstitelů a následně je zasíláno zhodnocení dané situace včetně sledu ošetření. Samozřejmě probíhají telefonické konzultace a návštěvy u pěstitelů. (MUŠKA 2015)

Jako modelová rostlina byla zvolena réva vinná, ze které jsou předloženy výsledky. Srovnání proběhlo v následujících třech lokalitách v letech 2013 – 2015 u pěstitelů révy vinné, u kterých je uveden stručný popis:

Kutná Hora (Vinné sklepy Kutná Hora s. r. o.) - okres Kutná Hora, Středočeský kraj, vinařská podoblast Mělnická. Nadmořská výška v 196 – 270 m. Mají plochu vinic 54 ha nejen v okolí Kutné Hory (Vinice u všech svatých, Pod chrámem svaté Barbory, Jezuitská, Nad kapličkou, Na Borku – obec Svatý Mikuláš, Na Příčce – obec vinaře). Součástí vinařství je také jediná registrovaná vinice v Hradeckém kraji a trať Nad Zámkem v obci Kuks (okres Trutnov) Z tradičních odrůd pěstují například Müller Thurgau, Ryzlink rýnský, Rulandské šedé, Rulandské modré, Svatovavřínecké a další. Z rezistentních odrůd pěstují například Hibernál, Solaris, Regent atd.. Pěstují také téměř zapomenuté odrůdy například Ryzlink zlatý, Jakubské. (<http://www.vinokutnahora.cz>)

Vinné sklepy Kutná s. r. o. jsou nejen jediným ekologickým vinařstvím v české vinařské oblasti, ale zejména jediným biodynamickým vinařstvím v České republice s certifikací DEMETER. Tento systém hospodaření vychází z myšlenek Rudolfa Steinera (1861 – 1925). Jednou ze základních myšlenek je, že zemědělský statek má být uzavřeným celkem a většinu, toho co potřebuje, si má vyprodukovat z vlastních zdrojů. Vinné sklepy Kutná Hora s. r. o. z tohoto důvodu nepěstují pouze révu vinnou, ale obhospodařují také 14 ha polních plodin; 1,5 ha zeleniny (zejména česnek a cibule), 6 ha sadů (broskve). Jedním ze základních principů je, že půda je živý organismus a ne výrobní prostředek. Hnojí se půda ne rostlina. Z tohoto důvodu mají stádo ovcí, pro které udržují 30 ha pastvin.(DOSTÁLEK, HRADIL 1998, HRADIL 2015, PŘIKRYL 2010, STEINER 2015, <http://www.vinokutnahora.cz>)

Naplňují také sociální funkci kdy prostory v bývalém klášteře svaté Voršily, kde toto vinařství sídlí, jsou pravidelným místem pro setkávání. V roce 2015 to byla konference o půdě. V letošním roce Vás srdečně zvou na konferenci o vodě. Na vodu se pohlíží i z jiných aspektů než jen materiálních. Konference se uskuteční 21. 5. 2016.

Sádek (Vinařství Sádek s. r. o.) okres Třebíč, kraj Vysočina. Nadmořská výška v rozmezí 420 – 480 metrů. Mají celkovou plochu 5 ha. Vinařství náleží do Znojemske vinařské podoblasti. Jsou jediným produkčním vinařstvím v Kraji Vysočina. Vzhledem k poloze vinařství pěstují zejména ranější odrůdy Muškát Moravský, Müller Thurgau, Irsai Oliver. Z rezistentních odrůd jsou to například Hibernal, Solaris a další. Modré odrůdy jsou pěstovány v omezeném rozsahu a to Modrý Portugal, Dornfelder a z rezistentních je to například Regent. Vinařství Sádek s. r. o. nabízí naučnou vinařskou stezku s 13 způsoby řezu révy vinné, 40 odrůdami na pergole Trentino. Součástí této stezky je také zahrada čínských léčivých bylin, 40 stromů broskví odrůd Redhaven a Dixired a Zahrada jižní Vysočiny s tradičními ovocnými druhy a odrůdami. Nelze opomenout také chmelnici s odrůdami Žatecký poloraný červeňák a Sládek. Chmel je pěstován na klasické tyčovce a na nízké konstrukci. (LAMPÍŘ, MUŠKA 2008a, LAMPÍŘ, MUŠKA 2008b, LAMPÍŘ a kol., 2011, VALÍČEK a kol., 2010, www.vinarstvi-sadek.cz)

Majitel Vinařství Sádek Ing. Lubomír Lampíř, Ph.D. se intenzivně zabývá vědeckou činností a propagací pěstování révy vinné a rezistentních odrůd PIWI. Vinařství je členem sdružení PIWI pěstitelů rezistentních odrůd révy vinné ve Švýcarsku. Je také garantem předmětu vinohradnictví na ČZU Praha - fakulta agrobiologie a potravinových zdrojů - katedra genetiky a zahradnictví. (<http://www.piwi-international.de>, www.vinarstvi-sadek.cz)

Lednice (Mendelova univerzita v Brně, školní zemědělský podnik Žabčice) – okres Břeclav, Jihomoravský kraj, nadmořská výška 173 m. Hlavní náplní tohoto podniku je praktická výuka studentů v provozech rostlinné, živočišné a speciální výroby (exkurze, řešení bakalářských, diplomových a doktorandských prací, spolupráce při řešení výzkumných úkolů, dále propagační akce - polní den MendelAgro v červnu a polní den Slunečník v září). Doplňkovou činností produkce a prodej komodit zemědělské výroby, dále výroba a prodej vína. (<http://mendelu.cz/>)

K zajištění výuky studentů a 33 výzkumných úkolů je polně pokusnou stanicí využíváno téměř 60 ha. V areálu polní pokusné stanice je umístěna klimatologická stanice s automatickou měřicí ústřednou s příslušnými čidly, zajišťující nepřetržitá celoroční měření základních meteorologických prvků (teplota a vlhkost půdy, teplota a vlhkost vzduchu,

srážky, globální radiace, fotosyntetická radiace). Měření základních meteorologických prvků jsou na ŠZP Žabčice prováděna nepřetržitě 50 let. (<http://mendelu.cz/>)

Středisko vinic pracoviště Lednice přísluší do Mikulovské vinohradnické podoblasti. Základními a nejrozšířenějšími odrůdami, které právě v této oblasti dosahují špičkové kvality, jsou z bílých odrůd Ryzlink vlašský, Tramín, Ryzlink rýnský, Chardonnay a Müller-Thurgau. Z modrých odrůd jsou to Svatovavřínecké, Modrý Portugal, Frankovka a Rulandské modré. Odrůdová skladba vinic se postupně obměňuje, zejména v souvislosti s klučením přestárlých vinic. (<http://mendelu.cz/>)

Výsledky

Následně je uvedeno hodnocení průběhu meteo situace v jednotlivých výše uvedených lokalitách. Hodnocení je zpracováno z hlediska množství srážek a orientačního stanovení intenzity sucha a výskytu chorob plísně révové (*Plasmopara viticola*), padlí révové (*Erysiphe necator* syn. *Uncinula necator*), šedé hnilobě hroznů révy syn. plíseň šedá (*Botrytis cinerea*), obaleče mramorovaného (*Lobesia botrana*) a obalečika jednopásného syn. obaleč jednopásý (*Eupoecilia ambiguella*) révy vinné.

Kutná Hora

2013 – na začátku vegetace v březnu byly srážky optimální a následovalo kratší období sucha (první a druhá dekáda dubna). Následovalo delší období (poslední dekáda dubna až první dekáda července) s výraznými srážkami, kdy napršelo 270,5 mm. Zde byly výrazné především dva týdny a to 27.5. - 2. 6. 2013 (s úhrnem 93,0 mm) resp. 24. - 30. 6. (s úhrnem 76,2 mm). Následovalo kratší období výrazného sucha (druhá dekáda července). Od poslední dekády července až do konce vegetace byly srážky výraznější ovšem nedosahovaly velkých extrémů. Zejména od poloviny srpna do konce září je můžeme označit za optimální.

Od začátku vegetace do první dekády července byl výrazný tlak plísně révové a šedé hniloby hroznů révy syn. plíseň šedá. Tlak padlí byl v první polovině července. Ovšem v srpnu byl opět tlak plísní zejména šedé hniloby hroznů révy syn. plíseň šedá. Bylo nutné provést ošetření tesně před uzavřením střípaců a u pozdních odrůd na začátku zaměkání. Proti obalečům nebylo nutné ošetřovat.

2014 – v tomto roce oproti lokalitám na jižní Moravě zde byly optimální srážky v březnu, kdy napršelo 47,3 mm. V první a druhé dekádě června bylo sucho ovšem ne výrazné. Následovalo poměrně dlouhé období (21.4. - 1.6.2014) výrazných srážek s celkovým úhrnem 174,6 mm. Následně v první a druhé dekádě měsíce června bylo sucho s úhrnem srážek pouze 3,6 mm. Od poslední dekády měsíce června do začátku října bylo období ve znamení optimálních srážek, kdy napršelo 246,4 mm.

Na začátku vegetace do konce května byl tlak plísni. Naopak od začátku června do poloviny srpna byl tlak padlí, který v druhé polovině srpna vystřídal tlak plísni. Tento trval až do konce sezony. Proti obalečům se neošetřovalo.

2015 - tento rok opět potvrdil, že průběh meteo situace v Kutné Hoře se neprojevuje takovými extrémny jako na sledovaných lokalitách na jižní Moravě. Období od začátku vegetace do první dekády dubna lze označit za období srážkově téměř optimální. V dubnu následovalo období tří týdnů výrazného sucha. Ovšem následovalo poměrně dlouhé období (květen až červen), který lze označit pouze jako mírné sucho. Naopak od července do první dekády srpna bylo výrazné sucho. Srpen byl pouze mírně nadprůměrný. Září se vyznačovalo menším objemem srážek a umožnilo optimální sklizeň.

V průběhu vegetace byl nejsilnější tlak padlí réвовého, který trval až do začátku zaměkání. Ve fenofázi těsně před uzavřením střapců bylo nutné provést ošetření proti šedé hnilobě hroznů révy syn. plísni šedé. Proti obalečům se neošetřovalo.

Sádek

2013 – z technických důvodů zde bylo zahájeno měření srážek poslední týden v březnu. Průběh meteo situace lze v tomto roce na této lokalitě rozdělit do dvou odlišných polovin. V první od začátku měření až do první dekády července byly srážky prakticky optimální. Naopak od druhé dekády července až do konce srpna bylo výrazné sucho. V září byly srážky optimální.

V první polovině vegetace na této lokalitě byl tlak plísni. V druhé polovině vegetace to naopak byl tlak padlí. Pouze u pozdních odrůd bylo nutné věnovat větší pozornost šedé hnilobě hroznů révy syn. plísni šedé. Proti obalečům nebylo nutné ošetřovat.

2014 - hodnocení průběhu meteo situace na této lokalitě je velmi jednoduché. V období od 24.2. do 5.10.2014 zde byl celkový úhrn 801 mm. Za celou vegetaci zde nebylo žádné období sucha.

V průběhu vegetace byl neustále tlak plísni. Ošetření bylo nutné provádět v období před květem, těsně před uzavřením střapců a na začátku zaměkání proti šedé hnilobě hroznů révy syn. plísni šedé. U plísně révové bylo nutné provádět ošetření před květem systémovým přípravkem. Potvrdila se také opodstatněnost ošetření měďnatými přípravky (vyzrávání dřeva).

2015 – z technických důvodů v tomto roce bylo měření zahájeno až začátkem dubna. Ve druhé až třetí dekádě dubna výrazné sucho. Ovšem v květnu až v první dekádě června byly srážky mírně nadprůměrné. Od druhé dekády června do první dekády srpna zde bylo výrazné sucho. V období 10.8. - 27.9.2015 zde napršelo 133 mm to je 43,3 % z celkového množství 307 mm za sledované období 6.4. – 27.9.2015.

Na začátku vegetace zde byl tlak plísně révové a bylo nutné provést ošetření měďnatým přípravkem. Po odkvětu bylo nutné použít přípravek s biologickou účinností proti šedé hnilobě hroznů révy syn. plísni šedé. Následně až do zaměkání následoval výrazný tlak padlí. Naopak vzhledem k průběhu meteo situace bylo nutné provést ošetření proti šedé hnilobě hroznů révy syn. plísni šedé těsně před uzavřením střapců, ale také u pozdních odrůd na začátku zaměkání. Proti obalečům nebylo nutné provádět ošetření.

Lednice

2013 – od začátku vegetace až do konce června zde byly velmi výrazné srážky s celkovým úhrnem 311,5 mm tj. 71,6 % z celkového úhrnu za sledované období 434,9 mm. V červenci a srpnu bylo výrazné sucho, kdy napršelo pouze 43,2 mm. Tato perioda byla vystřídána výraznými srážkami v září.

Od začátku vegetace do konce července byl velmi výrazný tlak plísně révové a šedé hniloby hroznů révy syn. plísni šedé. Následovalo období tlaku padlí révového. V září bylo nutné u pozdních odrůd věnovat pozornost šedé hnilobě hroznů révy syn. plísni šedé. Proti obalečům se neošetřovalo.

2014 – v tomto roce zde bylo výrazné sucho na začátku vegetace, kdy v období 17.2. - 6.4.2014 napršelo pouze 10 mm. Naopak 7.4. - 1.6.2014 lze srážky označit za optimální, kdy úhrn za toto období byl 115,8 mm. V červnu bylo období výrazného sucha. Naopak období 23.6. - 5.10. 2014 napršelo 535,7 mm to je 80,7 % z celkového úhrnu 663,5 mm. Důležité je upozornit zejména na úhrn v týdnu 8. - 14.9.2014 a to 147,0 mm.

Na začátku vegetace bylo nutné provést ošetření měďnatým přípravkem a po odkvětu také proti plísni šedé. V červnu byl výrazný tlak padlí révového. Naopak od konce července následuje období výrazného tlaku plísně révové a zejména šedé hniloby hroznů révy syn. plísně šedé. Proti obalečům nebylo nutné ošetřovat.

2015 - počátek vegetace lze označit do poloviny dubna za optimální také vzhledem k zásobě vláhy z druhé poloviny vegetace roku 2014. Od druhé poloviny dubna do první dekády srpna nastává období dlouhodobého sucha s velmi krátkým přerušením jednoho týdne v květnu, kdy se množství srážek blížilo k optimu. V druhé a třetí dekádě srpna byly srážky vysoce nad normálem. V období 16.2. - 4.10.2015 byl celkový úhrn srážek 246,5 mm. Pro celkovou sklizeň byl rozhodující týden 17. -23.8.2015, kdy byl úhrn srážek 83,0 mm (33,7 % z celkového úhrnu za sledované období). Prakticky po celou dobu vegetace od rašení do zaměkání hroznů byl tlak padlí révového. U pozdních odrůd bylo nutné provést ošetření proti plísni šedé. Obaleče na révě nebylo nutno ošetřovat.

Diskuze

Je předložen je průběh meteo situace ve třech lokalitách Kutná Hora (okres Kutná Hora), Sádek (okres Třebíč) a Lednice (okres Břeclav) v letech 2013 – 15. Je zde také zhodnocen průběh ochrany révy vinné na těchto lokalitách.

Ve všech letech a lokalitách trend se potvrdil současnosti, že nejvýznamnější chorobou révy vinné je padlí révové. Ovšem nebylo tomu tak vždy. Přibližně do začátku 70let minulého století nebyl výskyt zdaleka tak významný. Za jednu z příčin tohoto stavu lze označit omezení používání měďnatých přípravků. Tyto jsou využívány v Evropě ve vinařství již od roku 1882. (CREMLYN, 1985) Také na území České republiky se využívají dlouhodobě. (J. Sm, 1921) Tyto mají význam jako ochrana nejen proti plísni révové, ale nepřímo také proti padlí révovému, kdy dojde ke zpevnění pletiv a rostliny révy vinné nejsou tolik náchylné k této chorobě. V letech 1961 – 1971 se uvádí na území bývalého Československa pouze jeden rok (1961) s velmi silným výskytem této choroby. Jako kalamitní se uvádí až rok 1972. Na zvýšení výskytu padlí révového vlivem omezení používání měďnatých přípravků již v roce 2001 upozornil Ing. Antonín Muška. (MUŠKA, 2001, RICHTER a kol.,1962, ZÁBRANSKÝ, SATKO, 1973)

Potvrdil se také význam prognózy a signalizace a zelených prací, které uvádí například PAVLOUŠEK (2011). Dále, že na jižní Moravě je významným problémem sucho, jak uvádí FUKALOVÁ a kol. (2013).

Zhodnocení

V letech 2013 – 15 byla na třech různých lokalitách v České republice využívána metoda prognózy a signalizace plísně révové (*Plasmopara viticola*), padlí révové (*Erysiphe necator* syn. *Uncinula necator*), šedé hniloby hroznů révy syn. plíseň šedá (*Botrytis cinerea*), obaleče mramorovaného (*Lobesia botrana*) a obalečika jednopásného syn. obaleč jednopásý (*Eupoecilia ambiguella*) v révě vinné.

Vybrané lokality zastupovaly různé regiony pěstování v České republice a to Lednice (okres Břeclav – Mikulovská vinařská podoblast), která zastupovala tradiční region pěstování. Lokalita Sádek (okres Třebíč, Znojemská vinařská podoblast) je okrajovou oblastí pěstování révy vinné. Kutná Hora (okres Kutná Hora, Mělnická vinařská podoblast) byla vybrána jako jediné registrované biodynamické vinařství v České republice. Ve všech letech a na všech lokalitách byly s využíváním této metody velmi dobré výsledky.

Důležité je upozornit, že ve všech lokalitách a letech se projevíly extrémní ve vývoji počasí v průběhu vegetace. A to střídání období sucha a zvýšených srážek. Tyto extrémní se projevíly zejména na lokalitě Lednice (okres Břeclav – Mikulovská vinařská podoblast). Zvýšenou pozornost bude nutné věnovat nejen ochraně révy vinné, ale také půdě. Pouze zdravá půda je schopna v době zvýšených srážek přijímat vláhu a naopak v obdobích sucha napomáhat překonávat toto období rostlinám.

V současnosti se řeší návrhy protipovodňových opatření. Za nejlepší protipovodňové opatření lze považovat zejména dostatečné a pravidelné hnojení organickou hmotou. Nejedná se o žádné nové poznatky. Již v roce 1871 se v publikaci autora Filipa: Řepářství uvádí následující „Má-li se rostlině dařiti vůbec, jesti' třeba, aby v půdě, stanovišti svém, nalezala přiměřenou potravu v záživné pro ni způsobě a v dostatečném množství. Odnímají-li se však půdě potravné látky sklizněmi, aniž by nahražovány byly pravidelným mrvením dostatečně, musí nastati vyžilost půdy a sebe lepší práce nepomůže ničeho. Totéž platí ještě více o řepě cukrovce nežli o každé jiné hospodářské plodině, neb nenapomáha-li se přiměřeným mrvením, nelze častým sázením této na dlouho očekávati trvalého úžitku.“ Výše uvedené platí

nejen pro pěstitele řepy cukrové, ale pro všechny zemědělce včetně vinařů resp. celou společnost. Pokud bude zdravá půda, bude i zdravá réva vinná.

Výše uvedená sledování potvrdila výrazný vliv sucha na zdravotní stav révy vinné.

Závěr

Ve výše uvedeném příspěvku jsou uvedeny výsledky využívání metod prognózy a signalizace Ing. Antonína Mušky, ošetření révy vinné proti třem nejvýznamnějším chorobám plíseň révová (*Plasmopara viticola*), padlí révové (*Erysiphe necator* syn. *Uncinula necator*), šedá hniloba hroznů révy syn. plíseň šedá (*Botrytis cinerea*), obaleč mramorovaný (*Lobesia botrana*) a obalečík jednopásý syn. obaleč jednopásý (*Eupoecilia ambiguella*). Tato metoda je vinohradnickou praxí v České republice a na Slovensku využívána od roku 1970 s velmi dobrými výsledky. Plně odpovídá požadavkům integrované ochrany. Je využívána v konvenčním, integrovaném, ekologickém (včetně biodynamického způsobu) pěstování révy vinné.

Literatura

BOJŇANSKÝ V. 1998: História a súčasnosť ochrany rastlín v Slovenskej republike, Ústav experimentálnej fytopatológie a entomológie SAV Ivanka pri Dunaji, máj 1998, 89 str.

CREMLY R. 1985: Pesticidy. SNTL Praha, 244 str.

DOSTÁLEK P., HRADIL R. 1998: Biologicko -dynamické preparáty. Svaz producentů a zpracovatelů biopotravin Šumperk, 72 str.

DRACHOVSKÁ N. 1959: Prognosa a diagnosa v ochraně rostlin. ČAZV Praha v SZN Praha, 569 str.

DIRLBEK J. 1991: Prognóza a signalizace v ochraně rostlin. VŠZ Praha, 90 str.

FILIP F. 1871: Řepařství a rolnické cukrovary. Matice rolnická Praha, 169 str.

FUKALOVÁ P., STŘEDOVÁ H., VEJTASOVÁ K. 2013: Vývoj vybraných teplotních a srážkových charakteristik v oblasti jižní Moravy. Voda, půda, rostliny Křtiny 29. - 30.5.2013, In Rožnovský J., Litschmann T., Středová Hana H., Středa T., Voda, půda a rostliny Křtiny 29. - 30.5.2013, ISBN 978-80-87577-17-2

- HRADIL R. 2015: Půda zdravá – živá, úrodná. Fabula Hranice, Bioinstitut Olomouc, ISBN 978-80-87635-5 (Fabula), ISBN 978-80-87371-28-2 (Bioinstitut), 273 str.
- J. Sm. 1921: Příprava směsi bordeauxské, či měďnato vapenaté. Ochrana rostlin 1 (1-2): 12 - 13
- KRATOCHVÍL J. A kol. 1953: Chrousti a boj s nimi. Praha, 1953
- LAMPÍŘ L., MUŠKA F. 2008a: Vinařské centrum Sádek. Jediné vinohrady v kraji Vysočina. Agromanuál 3 (1): 30 - 31
- LAMPÍŘ L., MUŠKA F. 2008b: Vinařské centrum Sádek – návrat k terroir. Vinařský obzor 101 (11): 538 – 539
- LAMPÍŘ L., MUŠKA F., KREJCAR Z., ROŽNOVSKÝ J. 2011: Seznámení s projektem „Historie a obnova chmelařství na jižní Vysočině“. Chmelařství 84 (4): 44 – 47
- MUŠKA A. 1975: Results of thirteen years' observation of cockchafer (*Melolontha melolontha* L) swarming on the territory of Czechoslovakia. Sborník UVTI - Ochrana rostlin 11 (4): 283 - 294
- MUŠKA A. 2000a: Vývoj agrometeorologických prognóz výskytu některých chorob a škůdců zemědělských plodin na území Československa 1961 – 1992. Agro ochrana, výživa, odrůdy, 5 (7): 13 – 16
- MUŠKA A. 2001: Vliv průběhu počasí na výskyt některých chorob a škůdců révy vinné ve vegetačním období roku 2001 v České republice. Vinařský obzor 94 (1): 13 – 15
- MUŠKA A. 2002: Plíseň bramborová vývoj metod. Agro ochrana, výživa, odrůdy, 7 (3): 18 – 19
- MUŠKA F. 2000b: Rojení chroustů a škodlivost ponrav v roce 2000 na území České republiky. Swarming of cockchafers (*Melolontha melolontha*) and their harmfulness of their larvae in the Czech Republic in 2000 season. Sborník referátů z XV. České a Slovenské konference o ochraně rostlin v Brně 12. - 14. září 2000, MZLU Brno: 110, ISBN 80 - 7032-001-x.
- MUŠKA F. 2004: Swarming of cockchafers (*Melolontha melolontha*) and harmfulness of their larvae in the Czech republic in 2000 – 2004 season. Book of abstracts Melolontha – meeting Innsbruck. Session 1, 4.

- MUŠKA F. 2006: Occurrence and control of the field cockchafer (*Melolontha melolontha* L.) in the Czech Republic – a historical overview. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes, 58 (9): 228 – 234
- MUŠKA F., MUŠKA A. mladší, MUŠKOVÁ A., 2015: Možnosti prognózy a signalizace nejen v révě vinné. Vinař Sadař 7 (3): 19 – 21
- PAVLOUŠEK P. 2011: Pěstování révy vinné. Grada Publishing Praha, ISBN 978-80-247, 333 s.
- PŘIKRYL L. 2010: Zahrádkářova čítanka. Biodynamické pěstování ovoce a zeleniny. Fabula Hranice. ISBN 978-80-86600-69-7, 262
- RICHTER F. 1962: Přehled výskytu některých škodlivých činitelů rostlin na území ČSSR. ÚKZÚZ Brno, 555 s
- STEINER R. 2015: Zemědělský kurz. Fabula Hranice, ISBN 978-80-876 35-32-2, 247 str.
- VALÍČEK P., LAMPÍŘ L., MUŠKA F ,2010: Zahrada čínských léčivých rostlin ve vinařství Sádek. Naše rodina 41 (4): 17 Klub receptáře
- ZÁBRANSKÝ S., SATKO J. 1972: Přehled výskytu některých škodlivých činitelů rostlin na území ČSSR. ÚKZÚZ Brno, ÚKSÚP Bratislava, 215 str.
- ZACHA V. a kol. 1966: Prognóza a signalizace v ochraně rostlin. SZN Praha, 182 str.
- ZACHA V. a kol. 1970: Prognóza a signalizace v ochraně rostlin. SZN Praha, 242 str.

Internetové stránky

<http://mendelu.cz/>

<http://www.vinokutnahora.cz>

www.vinarstvi-sadek.cz

Poděkování

Práce je věnována památce Ing. Antonína Mušky (1934 – 2014), který se více než 50 let aktivně zabýval problematikou prognózy a signalizace ošetření zemědělských plodin a trvalých kultur proti chorobám a škůdcům.

Kontakt:

Ing. František Muška, Ph. D.

Táborská 21, Brno, 615 00

telefon, e-mail 607 187 895, 534 009 348, muska34@email.cz

**Kvantitatívne vyjadrenie fyziologického sucha a jeho priebehu počas
vegetačného obdobia**

Physiological drought quantitative expression and its course during growing
period

Viliam Novák¹, Marek Rodný²

Ústav hydrológie SAV, Dúbravská cesta 9, 84104 Bratislava

Abstrakt

Fyziologické sucho je taký stav porastu (rastliny), počas ktorého je produkcia biomasy negatívne ovplyvnená dehydratáciou; je nižšia ako by bola v optimálne hydratovanej rastline, v daných meteorologických, nutričných a iných staničných podmienkach. Explicitne sa fyziologické sucho prejavuje intenzitou transpirácie nižšou, ako je intenzita potenciálnej transpirácie v daných podmienkach. Z analýzy závislosti denného priebehu intenzity transpirácie porastu a vlhkosťou (matričným potenciálom) pôdy vyplýva, že aj počas časti dňa s vysokou intenzitou transpirácie sa môže porast na pôde s relatívne vysokou vlhkosťou

dostať do stavu fyziologického sucha, keď je prítok vody ku koreňom rastlín menší, ako je intenzita potenciálnej transpirácie.

Kľúčové slová: fyziologické sucho, produkcia biomasy, transpirácia

Abstract

Physiological drought of plant canopy can be defined as a state during which the biomass production is limited by hydration of plants. Physiological drought can be characterized by actual transpiration rate lower than potential one. From analysis of daily courses of transpiration rate it can be shown, that even during the day with well hydrated soil the physiological drought can occur when root extraction rate is lower than potential transpiration rate. Such a state can be observed during summer hot days.

Keywords: physiological drought, biomass production, transpiration

Úvod

Sucho je všeobecne definované ako nedostatok vody v časti hydrosféry. Termín „sucho“ sa používa často a jeho význam nie je jednoznačný a kvantitatívne vyjadrenie sucha, fyzikálne, alebo fyziologicky opodstatnené je zriedkavé. Hore uvedená definícia je toho dobrou ilustráciou. Preto, definície sucha sú väčšinou kvalitatívneho charakteru a miera sucha sa vyjadruje slovami ako „nedostatok vody“, málo vody“ „nízky úhrn zrážok“. Napríklad internetová encyklopédia Wikipédia označuje sucho ako „dlhé obdobie viacerých mesiacov, alebo rokov, kedy región pociťuje nedostatok vody“. Slovník Multilingual Technical Dictionary (1996) definuje sucho ako „spojitý interval času s nedostatočnými zrážkami“. Prvá vec, čo nás môže zarazit je, že sucho je definované ako interval času a nie ako stav určitej časti hydrosféry. Možno je to dané tým, že v anglosaských krajinách používajú výraz „dry spell“, čo znamená suché obdobie, alebo slovo „drought“ čo v podstate znamená to isté.

V Meteorologickom slovníku (1993) je možné nájsť definície rôznych druhov sucha: meteorologické sucho, agronomické sucho, hydrologické sucho. V monografii Hydrogeologické sucho (2010) je tento druh sucha definovaný ako „výskyt a prejavy sucha v podzemných vodách“. Takáto definícia je naozaj veľmi všeobecná. Takto definované „suchá“ sa nedajú dať na spoločného menovateľa a už vôbec nie (vychádzajúc z horeuvedených definícií) kvantifikovať.

Šútor et al., (2005), Šútor, (2006), Kandra, (2006) a mnohí iní sa pokúsili definovať pôdne sucho ako taký stav vody v pôde, keď je priemerný obsah vody v koreňovej oblasti pôdy pod vlhkosťou bodu trvalého vädnutia. Podľa Wikipédie, je „pôľnohospodárske sucho“ (agricultural drought) definované ako nedostatok vody, ktorý negatívne ovplyvňuje produkciu biomasy. Toto je prijateľná definícia a môže byť stotožnená s definíciou fyziologického sucha uverejnenej v Meteorologickom slovníku (1993) ako stav pôdy (a následne vody v rastline), ktorý limituje rast rastlín a produkciu biomasy. Táto ostatne uvedená definícia je akceptovateľná, a umožňuje kvantitatívne vyjadriť „sucho“ ako stav hydratácie pôdy (a rastliny), ktorý limituje fotosyntézu (alebo produkciu biomasy).

Predmetom tejto práce je kvantitatívne definovať fyziologické sucho a ilustrovať jeho výskyt v sezónnom priebehu v závislosti na vlastnostiach prostredia.

Klasický (najstarší) spôsob vyjadrenia sucha v pôde. Definícia sucha založená na vlhkosti pôdy zodpovedajúcej trvalému vädnutiu (rastlín)

Vlhkosť bodu trvalého vädnutia θ_v (wilting point) je definovaná ako vlhkosť, zodpovedajúca vlhkosťnému potenciálu pôdy $p_w = - 1,5$ MPa, najčastejšie sa vlhkosťný (matričný) potenciál pôdnej vody vyjadruje v jednotkách tlakovej výšky, teda $h_w = - 15000$ cm. Aby sme lepšie pochopili skutočný význam tohto termínu, bude vhodné, ak sa oboznámime so spôsobom jeho identifikácie. Briggs a Shantz (1912) (University of Davis, California) boli prví, ktorí zaviedli pojem súčiniteľ vädnutia (wilting coefficient), čo malo označovať vlhkosť pôdy, pri ktorej rastlina ešte nevädne. Veihmeyer a Hendrickson (1928) zistili, že je to charakteristika pôdy (je teda pre každú pôdu iná) a nezávisí od vlastností prostredia. Pomenovali ho bodom trvalého vädnutia. Neskôr, Richards (1931) z USSL, Riverside, California priradil tejto vlhkosti trvalého vädnutia hodnotu vlhkosťného potenciálu pôdy ($p_w = - 1,5$ MPa).

Ako vlastne prišli k tejto hodnote? Takto definovaná vlhkosť pôdy zodpovedá situácii, keď rastlina (alebo porast) pestovaný v ideálnych podmienkach nádobového pokusu je dostatočne zásobený vodou, t.j. voda nie je limitujúcim faktorom rastu. Transpirácia porastu je teda maximálna (potenciálna), povrch pôdy je zakrytý, aby sa vylúčil výpar z povrchu pôdy a všetká voda prešla cez rastliny transpiráciou. V určitom (bližšie nedefinovanom) štádiu vývoja porastu sa zavlažovanie ukončí, transpiráciou sa pôda začne vysušovať, intenzita transpirácie sústavne klesá, až sa na rastline objavia viditeľné znaky vädnutia (ovisnutie a skrúcanie listov, zmena farby listov). V tomto štádiu (vädnutie), sa určí priemerná vlhkosť

koreňovej oblasti pôdy; je to vlhkosť trvalého vädnutia. Prečo trvalého ? Preto, lebo ak prejde porast (rastlina) opísanou procedúrou, vädnutie sa stane nezvratným; to znamená ani pri následnej závlaha sa rastliny nezregenerujú.

Aby som sa uistil, že je to naozaj tak, zopakoval som (je to dávno) pokusy Briggsa a Shantza, dostal som podobné výsledky. Zdá sa, že pri hore uvedenej procedúre je matričný (vlhkostný) potenciál pôdy charakterizujúci vlhkosť trvalého vädnutia rastlín ($h_v = - 15000$ cm) hodnotou pokrývajúcou široké spektrum plodín, ktoré sú pestované v ideálnych hydratačných podmienkach. Samozrejme, korešpondujúce vlhkosti θ_v sú pre každú pôdu iné.

Zaujímavé je, že matričný (vlhkostný) potenciál pôdy $h_v = - 15000$ cm neznamená vädnutie rastlín, ktoré boli pestované v menej priaznivých hydratačných podmienkach. Jordan a Ritchie, (1971) publikovali informácie, že porasty nejavili znaky vädnutia ani pri vlhkostnom potenciáli $h_w = - 32 000$ cm, čo je viac ako o polovicu nižšia hodnota vlhkostného potenciálu vody v pôde zodpovedajúcemu potenciálu trvalého vädnutia rastlín. Okrem toho, hore uvedené tvrdenia platia len pre väčšinu plodín.

Prečo je to tak ?

Je to jednoduché. Rastlina ako nekonzervatívny prvok systému pôda – rastlina – atmosféra je schopná naadaptovať sa na nízku úroveň hydratácie rastliny, ak tento proces prebieha pozvoľna. Preto, je bod (vlhkosť) trvalého vädnutia hodnota relatívna a význam tohto hydrolimitu musí byť interpretovaný vzhľadom na podmienky pre ktoré bol tento hydrolimit určený. Je teda vidieť, že ak priemerná vlhkosť koreňovej oblasti pôdy dosiahne vlhkosť bodu trvalého vädnutia, to ešte neznamená, že porast naozaj zvädne. To závisí na histórii vlhkostí v predchádzajúcom období, ale aj na vlastnostiach porastu. Každá rastlina reaguje na dehydratáciu odlišne. Nesporne však, identifikovaná vlhkosť „bodu vädnutia“ je signálom, že porast je dehydratovaný a že sa blíži do kritickej oblasti vlhkostí pôdy, kedy je ohrozená existencia porastu.

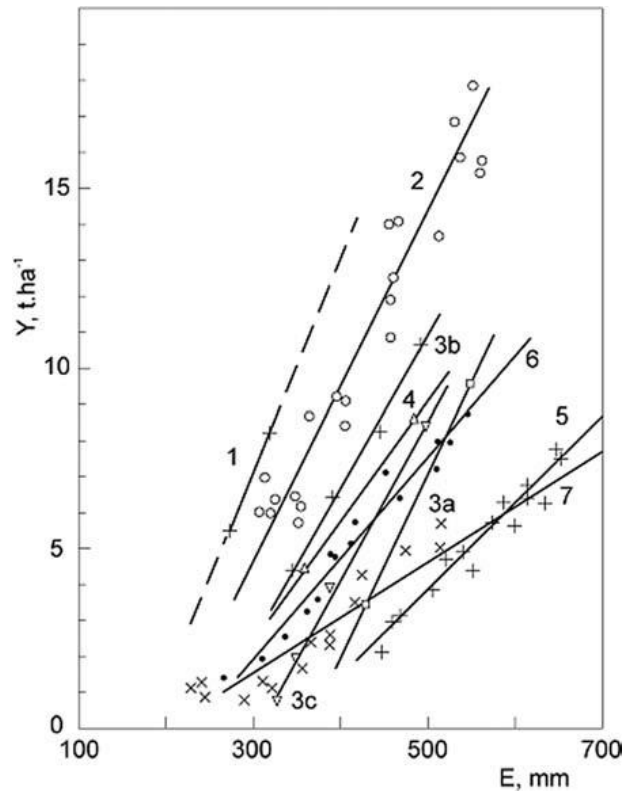
Definícia fyziologického sucha založená na identifikácii negatívneho ovplyvnenia produkcie biomasy dehydratáciou rastlín.

Dlhoročné skúsenosti ukázali, že rast porastov a produkcia biomasy sa znižujú už pred dosiahnutím hydrolimitu vlhkosti trvalého vädnutia (Richards, Waldleigh, 1952). Všimnime si, že stále hovoríme o vlastnostiach pôdy, a nie o vlastnostiach rastliny, predpokladajúc, že

ak je dost' vody v pôde, bude jej dost' aj pre porasty. Toto nemusí byť pravda, pretože transpirácia sa zabezpečuje prítokom vody z pôdy cez korene a rastlinu do listov a závisí od hydraulickej vodivosti najmenej vodivej časti systému PRAT- pôdy. Teda, ak sa do oblasti transpirácie (podprieduchové priestory rastlín) nedostane toľko vody, koľko je rastlina schopná transpirovať, produkcia biomasy bude nižšia, ako maximálne možná.

Početnými meraniami bola zistená lineárna závislosť medzi intenzitou fotosyntézy a intenzitou transpirácie konkrétneho porastu, ak sú ostatné podmienky, (výživa, agrotechnika) nemenné (Hanks, Hill, 1980, Vidovič, Novák, 1987, Novák, Havrila, 2006) – obr.1. Platí teda, že čím je vyššia rýchlosť transpirácie rastliny (v daných podmienkach), tým je vyššia produkcia biomasy. Úlohou poľnohospodárov je teda udržať transpiráciu na maximálnej (potenciálnej) úrovni. Maximálnu rýchlosť transpirácie je možné udržať v intervale vlhkostí pôdy, kedy je rýchlosť prítoku vody do podprieduchových priestorov rastlín dostatočná, aby bola udržaná potenciálna transpirácia. Vlhkosť pôdy, ktorá v daných meteorologických podmienkach už neumožňuje priviesť vodu v potrebnej intenzite, sa nazýva kritickou vlhkosťou pôdy.

Kritická vlhkosť pôdy, keď sa znižuje dostupnosť vody pre rastliny (θ_a) - skrátene kritická vlhkosť pôdy, je charakterizovaná priemernou vlhkosťou koreňovej oblasti pôdy, kedy sa začne rýchlosť transpirácie znižovať, sprevádzaná znižovaním produkcie biomasy. Je spravidla postačujúce uvažovať hornú, metrovú vrstvu pôdy, kde sú lokalizované korene väčšiny kultúrnych plodín. Princíp metódy určovania kritickej vlhkosti pôdy (θ_a), je založený na využití známej, empirickej závislosti medzi intenzitou transpirácie E_t a objemovej vlhkosti pôdy θ , (Novák, 2012).



Obr.1. Empirická závislosť hmotností suchých zŕn kukurice Y vo vzťahu k sumárnej transpirácii E , za vegetačné obdobie. 1 – Trnava (1981 – 1982), 2 – Logan, USA,(1975), 3a,3b,3c –Gilat, Izrael, (1968,1969,1970), 4 – Cherson, Ukrajina, (1974 – 1978), 5 – Greenville, USA, (1978), 6 –Farmington, USA, (1978), 7 - Evans, USA, (1978). Rozptyl výsledkov meraní je spôsobený výparom, ktorý sa nepodieľa na tvorbe biomasy.

Metóda výpočtu kritickej vlhkosti pôdy , kedy je dostupnosť vody pre porast znížená (critical soil water content of limited water availability θ_{la}), bola opísaná už skôr, v súvislosti s metódou výpočtu výparu (Novák, Havrila, 2006). Pre rýchlosti transpirácie menšie ako 6 mm d^{-1} ($0,25 \text{ mm h}^{-1}$) je možné postup výpočtu vyjadriť rovnicami (1–3) (Novák, 2012):

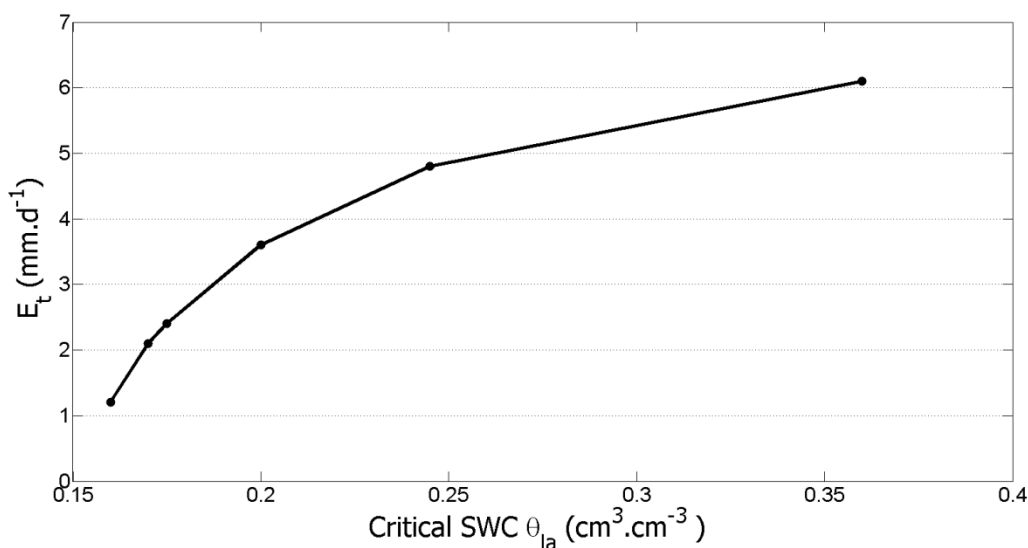
$$\theta_{la} = \theta_{k1} = \frac{1}{\alpha} + \theta_{k2} \quad (1)$$

$$\theta_{k2} = 0.67 \cdot \theta_v \quad (2)$$

$$\alpha = -2.27 E_p + 17.5 \quad (3)$$

θ_{k1} , θ_{k2} sú kritické vlhkosti pôdy indikujúce začiatok a koniec intervalu vlhkostí pôdy, kedy sa transpirácia začne znižovať a kedy je blízka nule, θ_v je vlhkosť trvalého vädnutia (Kutílek, Nielsen, 1994). Koeficient α môžeme približne určiť podľa očakávanej dennej intenzity potenciálnej transpirácie E_p ; pre výpočet θ_{k2} je potrebné poznať vlhkosť bodu trvalého vädnutia θ_v , (8). Nakoniec sa vypočíta θ_{la} z rovnice (1).

Všimnime si (rov.2), že kritická vlhkosť pôdy θ_{la} je nižšia ako vlhkosť trvalého vädnutia ($\theta_{k1} < \theta_v$); pretože rastlina transpiruje aj pri vlhkostiach pôdy nižších ako je vlhkosť trvalého vädnutia pôd, čo je v súlade s našimi poznatkami.

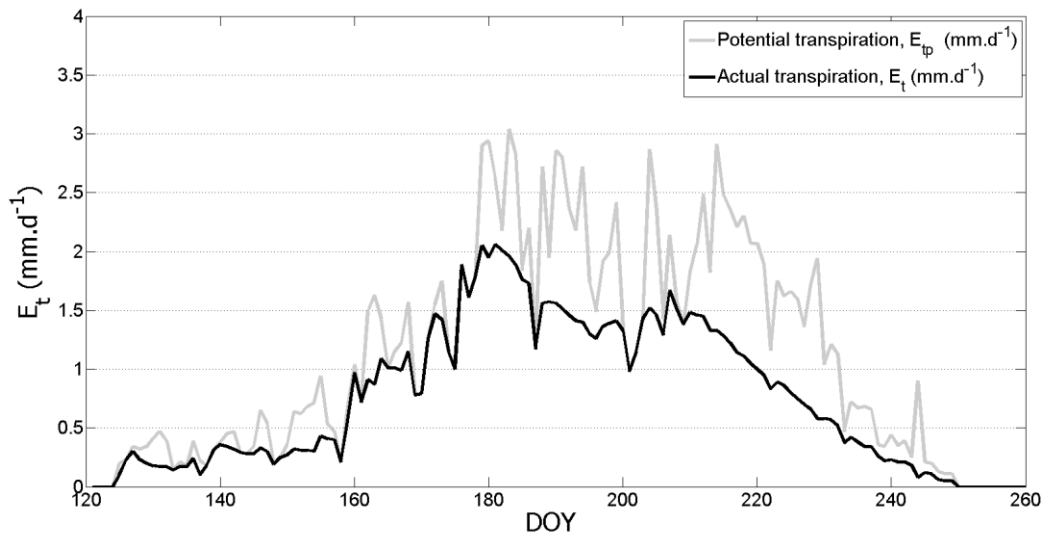


Obr. 2. Závislosť criticalkej vlhkosti pôdy θ_{la} na priemerných denných intenzitách transpirácie kukurice (*Zea Mais L.*) E_t pre černozem na spraši v okolí Trnavy.

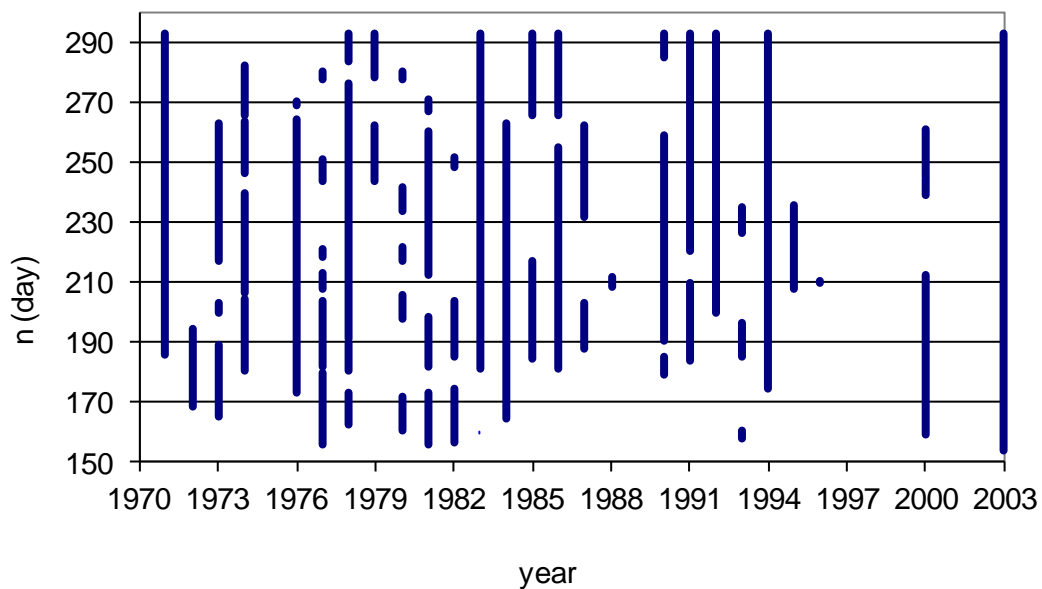
Na obr. 2 sú kritické vlhkosti pôdy reprezentujúce zníženú dostupnosť vody pre rastliny (critical soil water content of limited availability to plants) v závislosti na intenzite transpirácie - $\theta_{la} = f(E_t)$. Z obrázku vyplýva výrazná závislosť θ_{la} na intenzite transpirácie porastu. Ak sa pozrieme na černozem na spraši z Trnavy, tak pre relatívne nízku intenzitu transpirácie 1 mm d^{-1} , typickú pre letný zamračený deň $\theta_{la} = 0,15$, pre horúci letný deň s $E_t = 5 \text{ mm/d}$ je $\theta_{la} = 0,25$. Je to podstatný rozdiel. Je zaujímavé, že nedostatok vody v pôde limituje produkciu biomasy predovšetkým počas horúcich dní, nedostatok vody v pôde počas chladných dní, nie je tak významný.

Sezónne a denné priebehy transpirácie a potenciálnej transpirácie a fyziologické sucho.

Sezónny priebeh denných úhrnov transpirácie kukurice (E_t) v okolí Trnavy počas roku 1981 je na obr.3. Na obrázku Sú tiež priebehy denných úhrnov potenciálnej transpirácie kukurice (E_{tp}).



Obr.3. Sezónny priebeh denných úhrnov transpirácie E_t a potenciálnej transpirácie E_{tp} porastu kukurice počas sezóny 1981, v okolí Trnavy.



Obr.4. Počty dní počas vegetačných období rokov 1970 – 2003 s vlhkosťou koreňovej oblasti pôdy nižšou, ako je kritická vlhkosť pôdy. Dni s nižšou vlhkosťou koreňovej oblasti pôdy sú znázornené plnou čiarou. (Most pri Bratislave).

Počas dní, keď je potenciálna transpirácia porastu vyššia, ako je aktuálna, nie je produkcia biomasy maximálna a to je v tomto prípade počas väčšiny vegetačného obdobia kukurice. Závlahami by bolo možné produkciu zvýšiť, je však potrebné porovnať náklady na závlahy a zvýšenie zisku zo zvýšenej úrody. Obr. 4. reprezentuje počty dní s vlhkosťou koreňovej oblasti pôdy nižšou, ako je kritická vlhkosť pôdy; dni s nižšou vlhkosťou koreňovej oblasti pôdy sú znázornené plnou čiarou.

Aj pôda s porastom na dobre hydratovanej pôde nemusí byť schopná počas horúcich dní s vysokou rýchlosťou potenciálnej transpirácie dopraviť do rastlín vodu s intenzitou, zodpovedajúcou potenciálnej transpirácii porastu. Prejavuje sa to v čase okolo poludnia počas horúcich letných dní, rastlinám ovisnú listy (cukrová repa), alebo sa skrútia (kukurica).

Závery

1. Fyziologické sucho je vhodné definovať ako hydratačný stav rastliny (porastu), keď je produkcia biomasy nižšia, ako maximálne možná v daných meteorologických podmienkach (predpokladajúc nemenné nutričné a agrotechnické podmienky).
2. Hydratačný stav porastu, kedy sa začína fyziologické sucho je podmienený hydratačným stavom pôdy, tzv. kritickou vlhkosťou pôdy θ_{la} . Pri vlhkosti pôdy nižšej ako je θ_{la} prítok vody na úroveň transpirácie je nižší ako maximálne možná (potenciálna) transpirácia, čo je spojené so zníženou produkciou biomasy.
3. Sezónne priebehy denných úhrnov potenciálnej a skutočnej transpirácie indikujú intervaly času s maximálnou produkciou biomasy (transpirácia a potenciálna transpirácia sú rovnaké) a menšou ako maximálnou produkciou biomasy (transpirácia je nižšia ako potenciálna transpirácia). Dni s výskytom fyziologického sucha indikujú jeho relatívne častý výskyt a významnú variabilitu medzi sezónami.

4. Denné priebehy transpirácie indikujú, že aj počas dňa sa vyskytujú intervaly času, ktoré môžu byť označené ako fyziologické sucho; ich výskyt a trvanie závisia od vlhkosti pôdy ale hlavne na meteorologických podmienkach.

Literatúra

BRIGGS, L. J., SHANTZ, H. L. 1912. The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. USDA Bureau of Plant Industry Bull 230. U. S. Gov. Printing Office, Washington, DC.

HANKS, R.J., HILL, R.W. 1980. Modeling crop responses to irrigation in relation to soils, climate and salinity. Inter. Irrig. Inform. Center, Publ. No. 6, Bet Dagan, Israel, s. 57.

HYDROLOGICKÉ SUCHO. 2010.(M. Fendeková a Z. Ženišová, Eds.), SAH a KH, Prír. Fak. UK Bratislava.

JORDAN, W.R., RITCHIE, J.T. 1971. Influence of soil waterstress on evaporation, root absorption and internal water statusof cotton. Plant Physiol. 48: 783–788.

KANDRA, B. 2006. Results of drought identification of East Slovakia Lowland, according to different characteristics. Acta Hydrologica Slovaca, v.7, 163 – 175

KUTÍLEK, M., NIELSEN, D.R. 1994. Soil hydrology. Catena Verlag, Cremlingen - Destedt, Germany, 370 pp.

METEOROLOGICKÝ SLOVNÍK , výkladový, terminologický. 1993. Academia, MZCR, Praha, pp.594.

MULTILINGUAL TECH. DICTIONARY ON IRRIGATION AND DRAINAGE, ICID, New Delhi, 2nd Ed.1996.

NOVÁK, V., HAVRILA, J. 2006. Method to estimate the critical soil water content of limited availability for plants. Biologia, (Bratislava), 61 / Suppl. 19, 289 –293.

NOVÁK,V. 2012. Evapotranspiration in the Soil – Plant – Atmosphere System. Springer Science + Bussiness Media Dordrecht, pp.253.

ŠÚTOR, J., GOMBOŠ, M., MATI, R. 2005. Kvantifikácia pôdneho sucha a jej interpretácia. Acta Hydrologica Slovaca, v.6, 299 – 306.

ŠÚTOR, J. 2006. Prognóza pôdneho sucha. Acta Hydrologica Slovaca, v.7, 176 –182.

RICHARDS, L.A. 1931. Capillary conduction of liquids through porous medium. Physics, 318 – 333.

VEIHMEYER, F.J., HENDRICKSON, A.H. 1928. "Soil moisture at permanent wilting of plants". Plant Physiol. 3 (3): 355–357

VIDOVIČ, J., NOVÁK, V. 1987. Závislosť úrody kukurice na evapotranspirácii porastu. Rostlinná výroba, 33, No.6, 663-670.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla s podporou projektu VEGA 2/0013/15 a realizáciou projektu ITMS 26240120004 Centrum excelentnosti integrovanej protipovodňovej ochrany územia na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Kontakt:

Ing. Viliam Novák, DrSc.

Ústav hydrológie SAV

Dúbravská cesta 9

841 04 Bratislava

Slovensko

e-mail: novak@uh.savba.sk, tel: +421232293517

Obsah vody v půdě při úhorovém hospodaření

The water content in the fallow soils

Jaroslava Novotná, Barbora Badalíková

Zemědělský výzkum, spol. s r. o.

Abstrakt

V letech 2011-2015 byl sledován vliv různého agrotechnického hospodaření na fyzikální stav ornice pomocí válečku Kopeckého. Na sledovaném pozemku byly založeny dvě varianty pokusu - zpracování půdy diskováním a úhorové hospodaření. Lokalita se nachází poblíž obce Mikulov v kukuřičné výrobní oblasti v nadmořské výšce 350 m na středně těžké černozemi na spraši. Průměrná roční teplota je zde 9,6° C a průměrný roční úhrn srážek je 524 mm. Na lokalitě byly pěstovány plodiny v rámci osevního postupu. Úhor byl zcela ponechán sukcesi, pouze se 1x ročně provedlo posečení narostlých plevelů. Během pětiletého sledování byly u varianty s úhorovým hospodařením zjištěny vyšší hodnoty minimální vzdušné kapacity a maximální kapilární kapacity ve srovnání s diskovanou variantou.

Klíčová slova: fyzikální vlastnosti půdy, černozem, úhor, diskování

Abstract

In the years 2011-2015 the effect of different agronomy practices on physical properties of topsoil was studied. The samples of intact soil were collected by means of Kopecky cylinders. Two soil tillage treatments were established – disk tillage and fallow. The locality is situated in the territory of Mikulov in a maize-growing region at the altitude 350 m. Average annual sums of temperature and precipitations were 9.6 °C and 350 mm, respectively. Local soils were characterised as medium-heavy Chernozem on loess. A part to the experimental plot was left as a fallow with a spontaneous succession of vegetation (full-grown weeds were cut only once per year). During five years of monitoring has been found that for fallow management was higher minimal air capacity and maximal capillary capacity in contrast to the disk tillage.

Keywords: physical soil properties, chernozem, fallow, disk tillage

Úvod

Změny fyzikálních vlastností půdy jsou charakteristickým projevem nežádoucího zhutnění půdy. Zhutnění půd je na mnohých stanovištích příčinou významného zhoršení produkční schopnosti půd, omezuje plné využití genetického potenciálu plodin a snižuje efektivitu dalších vstupů (hnojiva, chemikálie). Zhutňování půdy se především negativně projevuje zvýšením objemové hmotnosti půdy a má za následek snížení nekapilárních pórů v půdě, při vyšší intenzitě zhutnění i destrukci půdních agregátů (Hůla a kol., 2010).

Výsledky výzkumu (Javůrek a Vach, 2008) jednoznačně prokázaly, že zhutňování půdy má za následek zvýšení objemové hmotnosti půdy, snížení pórovitosti (především nižší objem nekapilárních pórů) a při vyšším stupni působí destrukci půdních agregátů. To vede ke zhoršování dalších fyzikálních vlastností půdy, např. k omezené propustnosti půdy pro vodu, způsobuje změny v obsahu vody v rámci půdního horizontu a ovlivňuje její pohyb v půdě. Současně ovlivňuje relace mezi obsahem vzduchu (deficit kyslíku v kořenovém prostoru) a teplotou půdy.

Podle Praganala a Podstawka-Chmielewska (2012) mohou mít úhory svou funkci v životním prostředí jako jedna ze stabilních součástí agroekosystémů. Zjistili, že ponechání půdy 10 let ladem vedlo k významnému zlepšení půdního utužení, celkové pórovitosti, polní vodní kapacity atd. Také Franzen a kol. (1994) konstatují, že pro používání mechanizace v dlouhodobém bezorebném systému hospodaření na písčítých luvisolích jsou k regeneraci půdní struktury a zlepšení makroporosity vhodné opatření jako jsou mulčování, rotace plodin a úhorový systém.

Materiál a metody

V roce 2011 – 2015 probíhalo sledování poloprovozního pokusu v katastru obce Mikulov (foto 1). Lokalita se nachází v kukuřičné výrobní oblasti v nadmořské výšce 350 m na středně těžké černozemi na spraši, půdní druh hlinitá. Průměrná roční teplota je zde 9,6° C a průměrný roční úhrn srážek je 524 mm. Na lokalitě byly pěstovány plodiny v rámci osevního postupu: ječmen ozimý (*Hordeum vulgare*), řepka ozimá (*Brassica napus L.*), pšenice ozimá (*Triticum aestivum*), kukuřice (*Zea mays*), pšenice ozimá (*Triticum aestivum*).

Na sledovaném pozemku byl spolu s obhospodařovanou částí založen úhor, který byl zcela ponechán sukcesi, pouze se 1x ročně provedlo posečení narostlých plevelů.

Varianty pokusu:

1. půda bez zpracování (úhor)

2. diskování

Fyzikální stav půdy byl sledován pomocí válečků dle Kopeckého. Půdní vzorky byly odebrány na začátku vegetačního a na konci vegetačního období, vždy ze třech hloubek 0-0,10, 0,10-0,20 a 0,20-0,30 m.

Výsledky

Při hodnocení fyzikálních vlastností pomocí Kopeckého válečků byla hodnocena maximální kapilární kapacita (MKK) a minimální vzdušná kapacita (MVK). Tyto hodnoty jsou ovlivněny jak utužením půdy, tak strukturou, zrnitostí a dalšími parametry.

V tabulce 1 jsou uvedeny hodnoty maximální kapilární kapacity (% obj.). Byly zjištěny vyšší průměrné hodnoty MKK u varianty s úhorem ve srovnání s diskováním, hodnoty MKK klesají s hloubkou odběru. Hodnoty MKK by dle Lhotského (2000) neměli přesahovat hodnotu 35 % obj. Z výsledků lze vidět, že hodnota 35 (% obj.) byla překročena u diskování zejména ve svrchní vrstvě půdy (0 – 0,1 m) a u úhoru i ve vrstvách nižších.

V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty minimální vzdušné kapacity (% obj.). Byly zjištěny vyšší průměrné hodnoty MVK u varianty s úhorem ve srovnání s diskováním, hodnoty MVK klesají s hloubkou odběru. Hodnoty MVK by dle Lhotského (2000) neměli klesnout pod 10 % obj. Zde se projevila celkově vysoká utuženost pozemku, kdy s růstem utužení dochází k poklesu hodnot MVK, což vede k nedostatečnému provzdušnění půdy a k následnému deficitu kyslíku v kořenovém prostoru. U varianty s diskováním, kde bylo vyšší utužení půdy a horší struktura došlo k poklesu MVK ve srovnání s úhorem, kde bylo utužení půdy nižší a struktura lepší. Zejména lepší strukturní stav a nižší utužení u varianty s úhorem se projeví také vyšším MKK, kdy byla půda více nakypřenější ve srovnání s diskováním.

Tab. 1: Průměrné hodnoty maximální kapilární kapacity (% obj.)

varianta	hloubka (m)	rok				
		2011	2012	2013	2014	2015
úhor	0-0,1	38,15	39,15	38,18	40,40	39,98
	0,1-0,2	36,96	34,56	31,29	34,49	38,04
	0,2-0,3	36,83	31,96	30,04	32,41	35,65
	průměr	37,31	35,22	33,17	35,77	37,89
diskování	0-0,1	38,01	33,48	33,59	35,93	36,33
	0,1-0,2	32,89	34,91	29,78	33,05	35,97
	0,2-0,3	33,77	31,89	31,16	33,24	33,82
	průměr	34,89	33,42	31,51	34,07	35,37

Tab 2: Průměrné hodnoty minimální vzdušné kapacity (% obj.)

varianta	hloubka (m)	rok				
		2011	2012	2013	2014	2015
úhor	0-0,1	19,38	12,42	11,37	12,33	11,75
	0,1-0,2	3,24	10,18	8,50	8,25	13,24
	0,2-0,3	5,03	7,78	9,63	8,37	12,09
	průměr	9,22	10,13	9,83	9,65	12,36
diskování	0-0,1	13,51	10,39	13,06	8,99	14,80
	0,1-0,2	6,82	11,92	7,96	7,08	9,40
	0,2-0,3	8,21	7,91	7,54	7,67	7,80
	průměr	9,51	10,07	9,52	7,91	10,67

Diskuze

Některé půdní fyzikální vlastnosti jsou indikátory existence utužených vrstev, které mohou ovlivnit vývoj kořenů rostlin (Mazurana a kol., 2013).

Z hlediska fyziologie rostlin je za nejdůležitější považovaná hodnota minimální vzdušnosti. Ta udává kolik je vzduchu v půdě po nasycení kapilárních pórů. Neměla by být pod 10 %. Pokud tomu tak je, dochází k časté hypoxii v rizosféře a limitním makrobiogenním prvkem se stává kyslík. V půdě začnou převažovat anaerobní máselná clostridia způsobující denitrifikaci (Pokorný a kol., 2016).

Podle Cunha a kol. (2011) dochází při zpracování půdy, ve srovnání s půdou ponechanou ladem, k redukci půdní organické hmoty, která ovlivňuje fyzikální vlastnosti, jako je zvýšení OHR a penetračního odporu půdy, snižuje makroporositu a pórovitost půdy atd.

Závěr

Na utuženém pozemku bylo na úhorovém hospodaření dosaženo vyšších hodnot maximální kapilární kapacity i minimální vzdušné kapacity ve srovnání s diskovanou variantou, což je pozitivní z hlediska jímavosti vody v půdě. Nedostatek vzduchu v kořenové zóně se projevil zejména ve spodních částech ornice u obou variant.

Literatura

- Cunha E. D., Stone L. F., Moreira J. A. A., Ferreira E. P. D., Didonet A. D., Leandro W. M., 2011: Soil tillage systems and cover crops in organic production of common bean and corn. I – Soil physical properties. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 35 (2): 589-602.
- Franten, H., Lal, R., Ehlers, W, 1994: Tillage and mulching effects on physical-properties of a tropical alfisol. *Soil and tillage research*, 28 (3-4): 329-346.
- Hůla J. a kol., 2010: Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí. Uplatněná certifikovaná metodika, VUZT Praha, 58 s.
- Lhotský J., 2000: Zhutnění půd a opatření proti němu. Studijní zpráva UZPI, Praha, 61 s.
- Mazurana M., Fink J. R., da Silveira V. H., Levien R., Zulpo L., Brezolin D., 2013: Soil physical properties and maize root growth in an ultisol under controlled machine traffic. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 37 (5): 1185-1195.
- Pokorný E., Spáčilová V., Bílovský J., Podešvová J., 2016: Vybrané pedopatologické aspekty současného zemědělství. *Obilnářské listy*, č.1, s. 16-19.
- Praganal, J., Podstawka-Chmielewska, E., 2012: Physical properties of a Rendzic Phaeozem during a ten year period of fallowing under the conditions of south-eastern Poland. *Geoderma*, 189-190: 262-267.

Poděkování

Výsledek byl získán za (částečné) institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace.

Foto 1: Pohled na lokalitu v červenci



Kontakt:

Ing, Jaroslava Novotná, Ph.D.

Zemědělský výzkum, spol. s r. o.

Zahradní 1, 664 41 Troubsko

547 138 816, jaroslava.novotna@vupt.cz

Podpora závlahového hospodářství prostřednictvím aplikace GIS pro hydromeliorační opatření

Support of Irrigation Management Through the Application of GIS for Hydromeliorative Measures

Igor Pelíšek, Zbyněk Kulhavý, Vladimír Papaj

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Abstrakt

Zmírňování dopadů dynamiky klimatu v kontextu sofistikovaných zemědělských soustav lze účelně podpořit informačními systémy, např. GIS pro řízení závlah, případně dále rozšířenými do podoby komplexního informačního systému hydromelioračních staveb (ISMS). Pro zvolené území ZOS Kačina byl zpracován vzorový postup GIS podpory závlahového hospodářství, který je integrován do průběžně rozšiřovaného systému ISMS, provozovaného VÚMOP v.v.i. Mapový server může poskytnout informace až na úroveň archiválií projektové dokumentace nebo výpočtu aktuální vláhové potřeby v měřítku konkrétního pozemku.

Příklad potenciálního rozsahu aplikace technických opatření pro zmírnění projevů sucha dokumentuje například více než 35% překryv (resp. cca 1 100 ha) ploch v dosahu závlah a současně ploch odvodněných drenáží ve zpracované oblasti.

Klíčová slova: hydromeliorace; řízení závlah; metoda ideálních srážek; aktuální vláhová potřeba; projektová dokumentace

Abstract

Mitigation of climate dynamics impacts in the context of sophisticated agricultural systems can be usefully supported by information systems, eg. GIS for irrigation management, or more broadly: comprehensive information system of hydromelioration buildings (ISMS). For a selected agricultural area a model procedure of GIS supported irrigation management was processed. is integrated into the ongoing upgraded ISMS, operated by the RISWC. The map server can provide information to the level of archival project documentation or calculating the actual needs of the moisture in the scale of a particular parcel. An example of the potential scope of application of technical measures to reduce drought impacts documents more than 35% overlap (or approx. 1100 ha) of areas with tile drainage and irrigatable areas.

Keywords: hydromelioration; irrigation management; ideal precipitation method; actual water demand; design documentation

Úvod
Zde popsané výsledky vycházejí z aktuálně rozpracovaných činností, podporujících udržitelnost hydromelioračních opatření, a spojují je s výsledky předchozích řešených výzkumných projektů v oblasti závlah. Řešení přihlíží k následujícím souvislostem:

- i) udržitelnosti, tj. zachování dobrého stavu, případně potřeby rekonstrukcí nebo modernizací s cílem dosažení vícefunkčnosti hydromelioračních staveb,
- ii) informační podpory vodního hospodářství krajiny, založeného na funkční vazbě vlastnictví s užíváním pozemků či vodohospodářských zařízení,
- iii) kapacit a ochrany vodních zdrojů – platí vzájemný vztah k vodohospodářským soustavám zajišťujícím vodu pro závlahu, zejména v oblastech s deficitními vodními zdroji.

Význam zefektivňování řízení vodních zdrojů je dán koncentrací informací a rozhodovacích mechanismů, souvisí také s nízkou zaměstnaností (pod 5%) v agrárním sektoru, která dokumentuje na jedné straně vysokou produktivitu práce, zároveň však i pokles objemu zemědělské výroby.

Téma je zpracováno s ohledem na potřebu hospodařících subjektů optimalizovat vláhový režim na zemědělských pozemcích, zejména včas a efektivně reagovat na nedostatek vláhy. Stabilita výnosů má velký význam z hlediska dodavatelsko-odběratelských vztahů. Producent s nestabilními výnosy je pro odběratele nespolehlivý. Stabilizační funkci závlah jednoznačně prokazují výsledky polních experimentů a provozních šetření provedených řadou odborníků v uplynulých letech.

Informační podpora závlahového hospodářství v ČR s využitím výpočetní techniky prochází vývojem od 60. let 20. století - např. Agrometservis (ČHMÚ), IRKOS (KOS, 1991), AVISO (VITOSLAVSKÝ a KOHUT, 1999); čerpat lze i ze zahraničních zkušeností z podobných klimatických oblastí. Odborné řízení závlahového režimu je základním předpokladem účinné a přitom hospodárné a životnímu prostředí neškodné závlahy.

Řízením závlahového režimu se rozumí stanovení optimální velikosti závlahové dávky a termínu jejího dodání (ZAVADIL a kol., 2003). Význam optimalizace spotřeby vody pro závlahu může výrazně narůst v důsledku realizace predikovaných změn klimatu.

Materiál a metody

Stěžejními kroky řešení bodů i) až iii) jsou:

- zajištění podkladových dat (topologických, pedologických, klimatických, meteorologických, hydrogeologických, vymezení půdních bloků, aktuální plodiny, o užívané agrotechnice, o stavu a využívání závlahových zařízení a dalších hydromelioračních opatřeních v řešené oblasti), tzn. relativně dlouhodobých charakteristik i aktuálních hodnot dynamicky se měnících proměnných,
- GIS analýzy (v prostředí ArcMap 10.2);
- pro řízení závlah aplikace klasické metody ideální srážky. Ideální srážky jsou přitom takové přirozené srážky, jejichž množství a časový výskyt odpovídá požadavkům rostlin pro zabezpečení požadovaného výnosu (ZAVADIL a kol., 2003). Jde o jednu z nejstarších, přitom ověřených a stále doporučovaných jednoduchých metod. Určení měsíčních ideálních srážek vychází z analýzy srážkoměrných pozorování v letech, kdy bylo dosaženo vysokých výnosů. Ideální srážky jsou vázány na klimatické faktory (průběh teplot) a na půdní poměry. Vyrovnání teplot je prováděno k měsíčnímu normálu. Bilanční metoda je založena na operativním (denním, pentádním, dekádním apod.) hodnocení vláhové potřeby plodin, vyjádřené ideální srážkou,
- naplnění a aktualizace databází,
- integrace dříve zpracovaných konceptů a vzorových projektů (informační systém hydromelioračních staveb, vzorový projekt závlah pro ZOS Kačina),
- úpravy funkcí stávající GIS služby (webový prohlížeč na adrese: <http://meliorace.vumop.cz>) a testy implementace do navrženého konceptu ISMS s využitím knihovny OpenLayers; databázové dotazy a výpočty na základě aktuální situace resp. stavu zohledněných komponent (půda, meteo data, plodiny, rizikové procesy),
- veřejná a neveřejná část služby, diferenciacie přístupů pro vlastníky, uživatele, provozovatele nebo správce, postupné zapracování požadavků uživatelů,
- průběžné doplňování dostupných projektových dokumentací a dokumentací skutečného provedení hydromelioračních staveb.

Výsledky

Stávající verze webového portálu ISMS je rozšířena o podporu závlahového hospodářství, a to integrováním a úpravami vzorového projektu založení a vedení GIS v závlahách, který byl zpracován v roce 2003 pro závlahovou soustavu Zemědělského obchodního sdružení (ZOS) Kačina o výměře zavlažovatelné plochy 371 ha. Rozsah zpracování pro konkrétního uživatele

reflektoval požadavky praxe a posloužil k ověření funkčnosti v několikaměsíčním zkušebním provozu. Projekt je založen na struktuře datového modelu podle koncepce Informačního systému hydromelioračních staveb (blíže ZAVADIL, 2003; KULHAVÝ, 2005).

Výsledkem podrobného zpracování závlahové soustavy jsou:

- obecné topografické vrstvy,
- odvozená témata (využití území, svažitosti, svahové orientace a elevace konstruované z DMT),
- půdní mapy (bonitované půdní ekologické jednotky, hlavní půdní jednotky, půdní subtypy) a z nich odvozené vlastnosti (rychlost infiltrace srážkových vod do půdy, půdotvorný substrát, erozní ohroženost a vymezení záplavových oblastí),
- zemědělské podklady (hranice půdních bloků, rozpracování nitrátové směrnice na jednotlivé pozemky, tj. aplikační pásma a termíny zákazu hnojení),
- vodohospodářská témata (existence plošného odvodnění a odvodňovací příkopy s evidenčními údaji, zavlažovatelné plochy, síť meteorologických a hydrologických měření),
- tematika závlah v podrobnosti odpovídající potřebám pro řízení provozu (zpracovaná digitalizací prováděcích projektů, doplňujícím průzkumem a geodetickým zaměřením - hydranty, odběrná místa, čerpací stanice, vodní nádrže, trasy závlahového potrubí, zavlažovatelné plochy s projektovaným řešením přenosného detailu závlahy atd.).

Provedené ověření skutečného stavu zařízení závlahy včetně závlahových detailů a terénní zaměření GPS ilustrují vektorové vrstvy a rastr situace stavby z projektové dokumentace v náhledu portálu ISMS na Obr. 2.

Mapový prohlížeč je průběžně doplňován o rastrová a vektorová data v podrobnosti prováděcí projektové dokumentace. Cílem je, aby registrovaný uživatel, zejména vlastník či provozovatel hydromelioračních zařízení, měl možnost po přihlášení využít informace zanesené do systému z dostupné projektové dokumentace. Zlepší se tak informační a aplikační hodnota digitalizovaných podkladů, mezi které náleží také digitalizované mapové zákresy (v měřítku 1:10 000 resp. 1:5 000) realizované bývalou ZVHS do roku 2008.

Aktuální potřeba závlah pro jednotlivé pozemky je rozpracována v úvodním projektu podle metody ideálních srážek (příklad výstupu na Obr. 3). Aplikace výsledků z výpočtů v prostředí GIS předpokládá ze strany ISMS dodání podkladů uživatelům (charakteristiky a stav prostředí a vodohospodářských resp. hydromelioračních zařízení, plodiny, potřeba závlahy, prognóza),

na základě kterých uživatel (hospodář) zvolí adekvátní režim závlahy (dle kapacit a typu závlahového zařízení).

Při výpočtu se zpracovávají databáze: vývoj počasí (denní úhrny srážek, průměrná teplota vzduchu pro aktuální rok, obojí průběžně aktualizované na základě vlastních či převzatých meteorologických pozorování), zemědělské charakteristiky osetých půdních bloků (plodina, její ekvivalent v tabulce ideálních srážek, datum zasetí, aplikovaná velikost závlahové dávky resp. její celkový úhrn za vegetační období) a půdní charakteristiky bloků (půdní druh, korespondující s tabulkou ideálních srážek).

Ideální srážky odpovídají podmínkám středně těžkých půd při měsíčním teplotním normálu. Korekce na půdní druh se provádí lineárně (-15% u těžkých půd, +15% u lehkých půd). Korekce na teplotu se provádí podle skutečných teplot v posuzovaném období (± 5 mm na 1°C teploty vzduchu; vyšší teplota zvyšuje vláhovou potřebu, nižší teplota ji naopak snižuje). Průběžným porovnáváním naměřených srážek s ideálními srážkami, upravenými pro bilancované období, se zjišťuje deficit či přebytek srážek. Tyto rozdíly se průběžně sčítají.

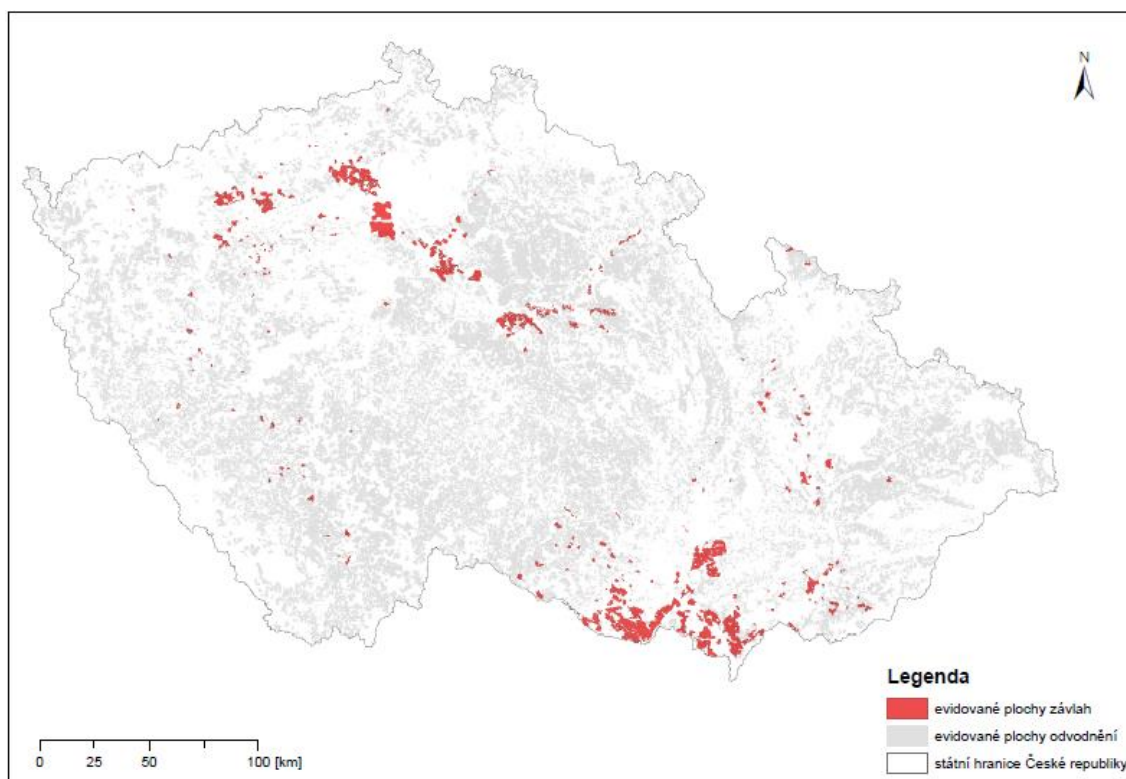
Plánování závlahového režimu nelze z provozních důvodů přizpůsobit ideálnímu stavu, kdy deficit vláhy vykrývá závlahová dávka příslušné velikosti a v odpovídajícím čase. Realističtější je plánovat provoz závlah podle dosažení kritického deficitu.

Provedený bilanční výpočet k aktuálnímu dni překlasifikuje atributy deficitu vláhy pro jednotlivé půdní bloky, nebo jejich předem stanovené části. Zobrazení pomocí mapového prohlížeče poskytne grafický přehled o bilančním zhodnocení stupně vláhové potřeby, a to vypočtenou hodnotou vláhového deficitu (D) jako podkladu pro harmonogram řízení závlah. ZAVADIL a kol. (2003) podle Slavíka definují čtyři stupně naléhavosti závlahy, s modifikací pro řešený příklad s uvedením limitů vláhových deficitů takto:

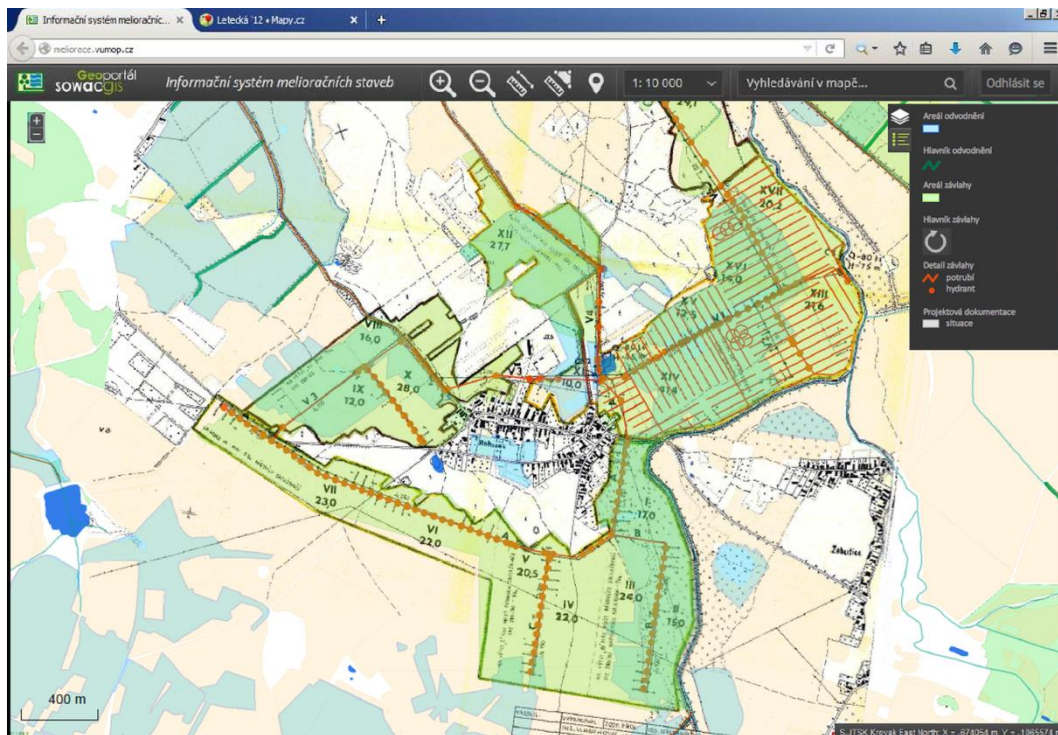
- 1 – závlaha nutná (kritický stav) – pro hodnoty $D > 50$ mm,
- 2 – závlaha naléhavá – pro hodnoty D od 25 do 50 mm,
- 3 – závlaha vhodná – pro hodnoty D od 10 do 25 mm,
- 4 – závlaha přípustná – pro hodnoty $D < 10$ mm.

Ověřována je funkčnost a možnosti napojení na externí databáze, zejména s ohledem na rychlost odezvy a dostupnost úplných dat pro výpočty.

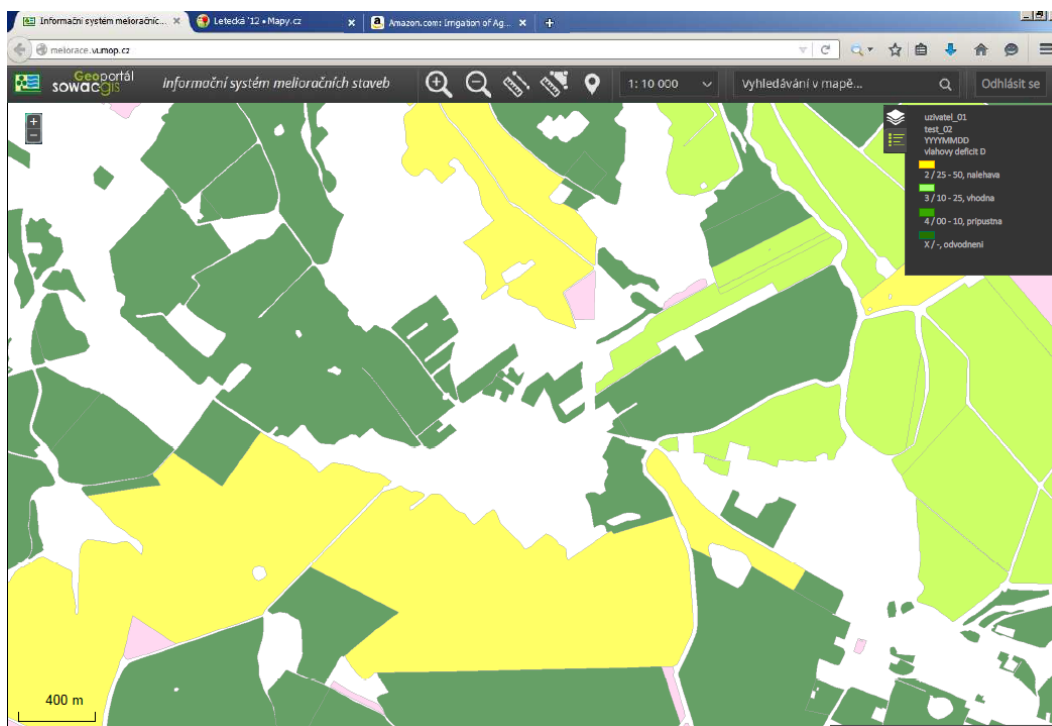
Prostřednictvím GIS portálu lze řešit zpětnou vazbu na skutečně dodané množství závlahové vody a provádět korekce výpočtů pro další závlahové cykly.



Obr. 1 Pokrytí území ČR evidovanými zavlažovatelnými plochami a plochami odvodnění (sestaveno z dostupných dat).



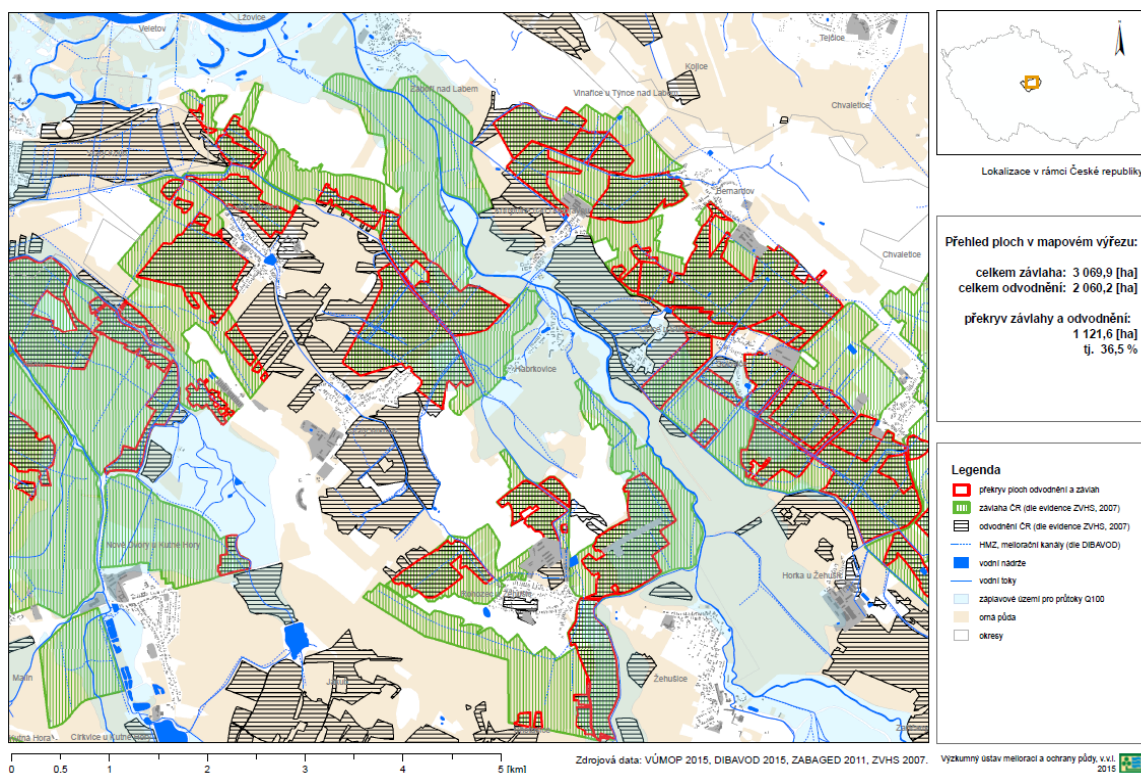
Obr. 2 Náhled projektové dokumentace závlahy (situace z PD) v ISMS pro Kutnohorsko



Obr. 3 Příklad informačních vrstev a testu výpočtu vláhového deficitu v prostředí ISMS

Diskuze

Nezbytnou podmínkou účinného řízení závlah je soulad digitálních dat a reálného provedení staveb, spolu s dostupnou úplnou projektovou dokumentací k vybudovaným a provozuschopným závlahovým stavbám resp. hydromelioračním zařízením, včetně zanesení provedených změn a oprav. Neúplné PD a odchylky mezi evidencí a reálným provedením ošetřují rezervy při výpočtech. Uvedené podmínky platí také v případě bilancování pro pozemky, na kterých lze ovlivnit vodní režim nejen stávajícími závlahovými zařízeními vybudovanými, dostupnými a funkčními, ale také dalšími potenciálními způsoby (např. uplatnění regulace drenážního odtoku, samostatně nebo v kombinaci se stávajícími nebo modernizovanými závlahami). Potenciál aplikace opatření dokumentuje překryv evidovaných zavlažovaných a odvodněných ploch na Obr. 4. Efektem není pouze možnost uplatnění drenážního podmoku (pro úzkou skupinu vhodných pozemků), ale zejména skutečnost nezvyšování deficitu vláhy z důvodu provozování neregulovaného systému drenážního odvodnění.



Obr. 4 Podíl překryvu ploch odvodnění a závlahy z celkových odvodněných ploch činí na příkladu z Kutnohorska více než 35%

Pro webový portál jsou řešeny podmínky aktuálnosti a dostupnosti dat a přepočtů v případě výpadků části zdrojových terénních stanic. Aktuálně je možné využívat pokročilé metody přenosu dat, zároveň je vhodné upřesnit, která část výpočtů pro vlastní půdní bloky může probíhat u koncového uživatele nezávisle na centralizovaném portálu.

Závěr

Pro rozsáhlejší závlahové systémy (se zavlažovanými plochami v řádu stovek hektarů) lze s výhodou pro distribuci provozu závlah využít metod GIS, doplněných metodami výpočtu deficitu půdní vláhy či evapotranspirace plodin. Při řízení závlahového režimu je vedle aktuální meteorologické situace, která je dominantní, dále zohledňován druh pěstované plodiny, vodní režim půd a technický způsob realizace závlahy.

Další potenciál zefektivnění vláhového zabezpečení plodin skýtá zohlednění existence odvodňovací stavby na zavlažovaném pozemku a úspěšně v zahraničí využívaný princip regulace odtoku z odvodněných pozemků.

Použité zkratky

DMT = digitální model terénu; ISMS = informační systém melioračních staveb; PD = projektová dokumentace; ZVHS = bývalá Zemědělská vodohospodářská správa.

Literatura

BENDA, J. (2010): Závlahová zařízení, stav a perspektiva. In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (eds.): *Voda v krajině*. Sborník. s. 73 - 78. ISBN 978-80-86690-79-7.

BERAN, J. a kol. (1991): *Rekonstrukce drenážních sítí (směrnice)*. Metodika 7/1991. Praha: VÚMOP, v.v.i. 50 s.

FIELD, C. B., BARROS, V. R. et al (eds.) (2014): *Climate change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Working Group II contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Cambridge University Press. 1 820 s.

JURRIËNS, M. et al. (2001): *SURDEV: Surface Irrigation Software*. Wageningen: ILRI. 194 s. ISBN 90 70754 56 8.

KOS, Z. (1991): IRKOS – PC software pro plánování závlah. *Vodní hospodářství*, 51 (1): 7 - 11. ISSN 1211-0760.

KULHAVÝ, Z. (2005): Geografické informační systémy pro řízení závlah. *Bramborářství*, 13 (1): 9 – 12. ISSN 1211-2429.

SCHMITZ, G. H. et al. (2007): *Irrigation control: towards a new solution of an old problem*. Koblenz: IHP/HWRP. 218 s. ISSN 1614-1180.

SPITZ, P., ZAVADIL, J. (2010): Závlahový režim zemědělských plodin a jeho řízení. In: (eds.) (2010): *Voda v krajině*. Sborník z konference. ISBN 978-80-86690-79-7.

VITOSLAVSKÝ, J., KOHUT, M. (1999): Agrometeorologická výpočetní a informační soustava – možnosti jejího využití. In: (eds.): *Agrometeorologické prognózy a modely*. Brno: Ediční středisko MZLU v Brně. ISBN 80-7157-378-7.

ZAVADIL, J. a kol. (2003): *Založení a vedení GIS v závlahách*. Výstup VZ MZE-M07-99-01, Racionální systémy využití závlah a optimalizace závlahového zemědělství. Praha: VÚMOP. 32 s. + přílohy.

články k tématu závlah z časopisů *Vodní hospodářství*, *Věstník pro vodní hospodářství*, *Irrigation and Drainage*, *Vodohospodářský časopis* a *Meliorace*.

web www.hydromeliorace.cz

web / GIS portál: meliorace.vumop.cz

Poděkování

Článek byl zpracován v rámci řešení projektu Technologické agentury České republiky (TA ČR) TD0300330 „Kritéria udržitelnosti hydromelioračních opatření v ČR“.

Kontakt:

Igor Pelíšek, Mgr. Ph.D., Zbyněk Kulhavý, doc. Ing. CSc.

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

156 27 Praha 5 – Zbraslav, Žabovřeská 250, pracoviště 530 02 Pardubice, B. Němcové 231

tel. 466 300 041, pelisek.igor@vumop.cz, kulhavy.zbynek@vumop.cz

Úloha vegetace v distribuci sluneční energie a oběhu vody - dokážeme zabránit vysychání kulturní krajiny?

Role of vegetation in distribution of solar energy and water cycle – are we able
to stop drying of cultural landscape?

Jan Pokorný, Hanna Huryna, Petra Hesslerová, Vladimír Jirka

ENKI, o.p.s Třeboň, Dukelská 145, 379 01, CZ

Abstrakt

Historické civilizace většinou vyschly následkem odlesnění a odvodnění půdy pro zemědělské plodiny. Odvodnila se i sídla. Nepoučili jsme se. Článek shrnuje fakta o příkonu sluneční energie a její distribuci v kulturní krajině. Odlesnění nebo odvodnění mokřadů na 1km² vede k uvolňování zjevného tepla stovek MW a k transportu vodní páry do vyšších vrstev atmosféry. Sklizená zemědělská pole přeměňují sluneční energii na zjevné teplo, které brání přísunu vlhkého vzduchu. Les na rozdíl od zemědělských plodin má inverzní rozložení teplot ve vertikálním profilu. V lese je nižší teplota při zemi nežli v korunách stromů. Vodní pára uvolňovaná korunami stromů se drží nad porostem a může v noci kondenzovat zpět. Chladný vzduch je těžší a zůstává dole. Zdravý les má nízkou teplotu a vodní pára stoupající z nížin se v něm sráží. Naopak obnažená zemědělská půda bez podrostu, bez plevelů se přehřívá a teplý vzduch stoupá vzhůru a unáší vodní páru do atmosféry. Ztráty vlhkosti z krajiny jsou zesíleny teplými povrchy okolních kopců a hor po jejich odlesnění nebo uschnutí lesa. Krajina se stává donorem vodní páry ve smyslu koncepce vodní pumpy. Zmíněny jsou pozitivní příklady obnovy vysušené krajiny založené na zadržování vody a podpoře trvalé a vrstevnaté vegetace složené z kulturních rostlin a užitkových stromů. Klimatická změna je působena velkými rozdíly v teplotách a tlaku vzduchu mezi místy, prohlubujeme ji odvodněním a odstraňováním vegetace.

Klíčová slova: Evapotranspirace, zjevné teplo, biotická pumpa, změna klimatu, obnova krajiny

Abstract

Historical civilizations mostly dried out due to deforestation, drainage of agriculture land and sealing of towns. We did not learn the lesson. Data on incoming solar energy and its

distribution in agriculture landscape are presented. Deforestation and drainage of 1km² result in a release of sensible heat of several hundred MW and in transport of water vapour in high atmosphere. Harvested agriculture fields transform solar energy into sensible heat and prevent income of wet air and fronts. Forest unlike crops has inversion distribution of temperature in vertical profile: lower temperature at ground and higher on surface of crowns. Bare soil of agriculture crop fields (without weeds) overheat, hot air rises up and takes water vapour high in atmosphere. Loses of water vapour from landscape are forced by warm surface of hills and mountains which were either deforested or forest dried. Our inland landscape becomes donor of water vapour instead of its acceptor in sense of the biotic pump concept. Positive examples of restoration of degraded dry landscape based on retention of rain water and support of permanent and vertical structured vegetation consisting of culture species are given. Climatic change is driven by gradients of temperature and air pressure; human beings force the climate change by drainage and deforestation.

Key words: evapotranspiration, sensible heat, biotic pump, climate change, landscape restoration

Úvod

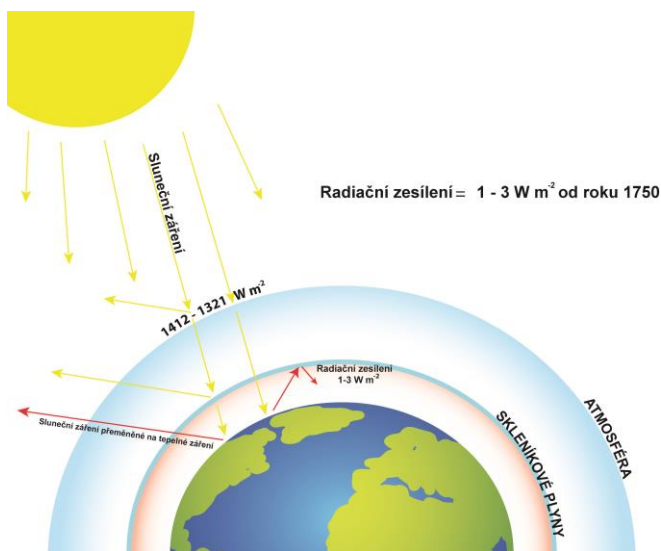
Člověk (*Homo habilis*) byl na Zemi již před téměř dvěma miliony let a další vývojové formy (*Homo erectus*) před milionem let a *Homo sapiens* již před několika stovkami tisíc let. Rozsáhlejší městské civilizace umožněné trvalou zemědělskou produkcí se rozvíjejí teprve až v posledních deseti tisíci letech. V průběhu několika tisíciletí mnohé z těchto civilizací v různých částech světa vysušily krajinu, znehodnotily zemědělskou půdu a zanikly. Denně vidáme v televizi záběry z vyprahlé Sýrie a Iráku, je to území bývalé Sumerské říše v Mezopotámii, území „kolébky civilizace“. Vyschly civilizace v údolí Indu, křesťanské království v Etiopii (Eritrea), severní Afrika, civilizace Jižní a Střední Ameriky (Ponting 1991).

Platon popsal sugestivně „plundrování“ krajiny v Critias (str. 76, Ponting 1991): „*To, co zde nyní zůstalo, je ve srovnání s tím, co zde bylo dříve, jako kostra nemocného člověka; tuk a měkká zem odplaveny (promrhány) a zůstala holá kostra země... některé hory poskytují potravu pouze včelám, a přitom nedávno na nich rostly stromy.*“ Dále popisuje, jak „*voda po dešti rychle odtéká, zatímco dříve dešťovou vodu využívaly četné lesy a pastviny a bohatá jílovitá půda uchovávala vodu a napájela četné prameny*“.

Les uživí 1-3 osoby na km². Populace roste, žďáří les a přeměňuje ho na zemědělskou půdu. Naše zemědělské plodiny jsou původně stepními rostlinami, jejichž kořeny nesnášejí zatopení vodou, a proto musí být půda odvodněna. Odvodňujeme též města. Odvodnění je prevencí malárie. Člověk odlesňuje a odvodňuje krajinu v globálním měřítku. Krajina vysychá, ledovce na horách ubývají, teplotní extrémy se zvyšují, přibývá přívalových srážek, ubývá ranních mlh, prodlužují se periody bez srážek.

Na 180 státních představitelů v Paříži v prosinci 2015 vyslechlo, že příčinou klimatické změny a tedy i sucha je zvyšující se koncentrace skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého. V Paříži se usnesli, že je nutné snižovat produkci oxidu uhličitého a zastavit tak zvyšování průměrné teploty Země.

Podle Mezivládního panelu pro klimatickou změnu (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC 2014) se následkem zvýšené koncentrace skleníkových plynů v atmosféře zesílil tok energie (délhovělného záření) směrem k zemi o 1-3 Wm⁻² od počátku průmyslové revoluce (rok 1750) a v příštím desetiletí se zvýší od 0,2 Wm⁻². To jsou ovšem hodnoty vypočtené, které nelze změřit, protože Země dostává na povrch atmosféry v průběhu roku 1412-1321 Wm⁻² (Obr. 1). V tomto článku se budeme zabývat distribucí sluneční energie, která na Zemi přichází, je to energie měřitelná a člověk její distribuci ovlivňuje svým hospodařením v krajině a ovlivňuje tak i místní klima a oběh vody.



Obrázek 1: Na vnější vrstvu atmosféry dopadá v průběhu roku 1412-1321 Wm⁻², na povrch Země za jasného dne až 1000 W.m⁻². Hodnota radiálního zesílení způsobeného zvýšenou

koncentrací skleníkových plynů je podle IPCC v rozsahu 1-3 W.m⁻² od počátku průmyslové revoluce (1750) do současnosti.

Cílem tohoto příspěvku je

- kvantifikovat úlohu vegetace a vody v distribuci sluneční energie
- porovnat efekt odvodnění a odlesnění na teplotu s efektem zvýšené koncentrace skleníkových plynů
- vysvětlit na příkladech důvody prohlubování sucha
- ukázat pozitivní příklady obnovy krajiny a obnovy krátkého oběhu vody v kulturní krajině

Materiál a metody

Pozemní monitoring je zajišťován stanicemi Fiedler – Magr: jednotka M4016-G při plném vybavení v sobě zahrnuje univerzální datalogger, telemetrickou stanici s vestavěným GSM/GPRS modulem, programovatelný řídicí automat a senzory. V jednotce M4016-G se podařilo skloubit její snadnou SW i HW modifikovatelnost a zároveň její vysokou odolnost proti nepříznivým podmínkám. Stanice jsou celoročně v provozu, data se ukládají průběžně na server.

Stanice ENKI, o.p.s. jsou osazeny následujícími čidly:

1. Pyranometr Kipp&Zonen CM3 globální dopadající radiace [W.m⁻²]
2. Pyranometr Kipp&Zonen CM3 globální odražená radiace [W.m⁻²]
3. NET radiometr Kipp&Zonen CNR 1 [W.m⁻²]
4. Anemometr Tlust'ák(W2) směr a rychlost větru [m.s⁻¹ , °]
5. Snímač RVT11/RK snímače teploty a relativní vlhkosti [°C, %]
6. VIRRIB – čidlo relativní objemové vlhkosti půdy [%]
7. Čidlo teploty Pt 100 [°C]
8. SR02 člunkový srážkoměr Meteoservis [mm.10min⁻¹]
9. Půdní radiometr Hukseflux [W.m⁻²]

(případně pH, elektrická vodivost vody, výška vodní hladiny)

Termovizní kamery FLIR ThermaCam PM 695 a FLIR ThermaCam P65 SH. Spektrální rozsah měření 7-14 μm, rozlišení 320x240 pixelů, základní aperturní úhel 24° možnost rozšířit na 45° nebo naopak zúžit na 12° předsádkovým objektivem a předsádkovou čočku pro

velikost objektu 64x48 mm ze vzdálenosti 150 mm (teplotní pole květů a listů). Maximální frekvence snímání 8 resp. 50 Hz. Na vyhodnocování termogramů je k dispozici softwarové vybavení ThermaCAM REPORTER pro vyhodnocení a archivaci a ThermaCAM IMAGE BUILDER pro spojování a sjednocování termogramů, a ThermaCAM RESEARCHER, které má velký význam pro on-line DPZ sledování z letadla.

S termovizní kamerou se snímají povrchové (radiální) teploty přímo v terénu nebo je nesena vzducholodí, případně letadlem. Pro hodnocení povrchových teplot větších krajinných celků využíváme satelitní snímky LANDSAT.

Výše popsaná sestava na zjišťování energetických toků je chráněna patentem (Jirka et al. 2012), vzducholod' pro snímání povrchových teplot je zapsána jako užitný vzor (Jirka et al. 2011). Podrobnější popis využití viz například: Pokorný et al. 2010; Hesslerová et al. 2013; Huryna et al. 2014.

Výsledky

Průchod slunečního záření atmosférou

Teplota povrchu Slunce je přibližně 6000 stupňů K, proto je maximum sluneční energie v oblasti viditelného záření (Planckův a Wienův zákon). Na zemský povrch se při jasné obloze dostává až $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ slunečního záření. Oblaka snižují průchod slunečního záření zásadním způsobem. Při zatažené obloze přichází na povrch Země i méně než $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (Obr. 2). Ve slunném letním dnu přijde na metr čtvereční vodorovného povrchu 6 až 8 kWh sluneční energie. Za rok je to v mírném pásmu 1000-1200 kWh.m⁻² sluneční energie (v subtropích a kolem rovníku až 2700 kWh.m⁻²).

Distribuce slunečního záření na zemském povrchu

Sluneční záření, které přichází na zemský povrch, se částečně odráží, částečně ohřívá povrch Země a od něj se ohřívá vzduch, který proudí vzhůru (zjevné teplo). Část energie se spotřebuje na výpar vody (latentní teplo, skryté teplo) a část přechází do země (tok tepla do podloží). Fotosyntéza a ohřev porostu spotřebovávají velmi nízký podíl sluneční energie ve srovnání s odrazem, výparem vody a zjevným teplem.

Voda odráží pouze asi 10 % záření, vegetace přibližně 20 %, zastavěné plochy a betonový povrch 25-30 % (Obr. 3,4). Zásadní význam mají dva toky energie, jejichž poměr závisí na množství dostupné vody – zjevné teplo a latentní teplo výparu vody. Suchý povrch se pohlcovanou sluneční energií ohřívá a od ohřátého povrchu se ohřívá vzduch, který stoupá

vzhůru – v meteorologické budce zaznamenáváme vzestup teploty (zjevné teplo). Vlhký povrch, listy rostlin se ohřívají méně – sluneční energie se spotřebovává na výpar vody.

Rostlinami a půdou se z metru čtverečního za den odpaří až několik litrů vody. Na výpar jednoho litru vody o teplotě 20 °C se spotřebuje 2,45 MJ \approx 0,68 kWh sluneční energie. Při odpaření 5 litrů se tedy do vodní páry váže 3,4 kWh, více než polovina sluneční energie, která je k dispozici. Sluneční energie vázaná ve vodní páře ve formě skupenského tepla se potom opět uvolní při kondenzaci vodní páry, a to na chladných místech, na kterých se vodní pára sráží. Vázání sluneční energie výparem vody na místech s nadbytkem energie a uvolňování sluneční energie na místech chladných při kondenzaci vody je podstatou dokonalé přirozené klimatizace realizované vodou a rostlinami. Na pouhém jednom metru čtverečním může činit v létě rozdíl mezi energií vázanou ve vodní páře a energií uvolněnou jako teplo i několik kWh za den. Toky sluneční energie vázané při evapotranspiraci dosahují až několika set wattů na m^{-2} (Obr. 5).

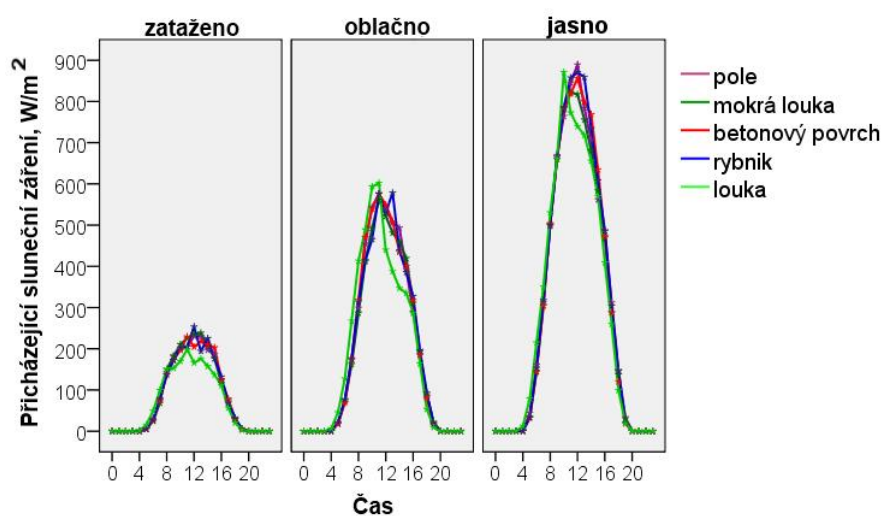
Fotosyntéza však váže do biomasy necelé 1 % sluneční energie dopadající na rostlinu. Za rok vytvoří rostliny v našich podmínkách nejvýše 1 kg biomasy (sušiny) na metru čtverečním, která obsahuje přibližně 18 MJ (5 kWh) energie. Srovnáme-li toto množství energie v biomase s množstvím sluneční energie přicházející na 1 m^2 za rok (1100 kWh), je zřejmé, že se do biomasy váže nejvýše 0,5 %.

Hlavním procesem přeměny sluneční energie v porostech není fotosyntéza, ale evapotranspirace, která účinně vyrovnává teplotní rozdíly v čase (mezi dnem a nocí) a v prostoru (mezi místy). Tomu odpovídá i poměr molekul přijímaného oxidu uhličitého a odpařované vody. Počet molekul vody, které rostlina přes průduchy odpařuje, je o dva řády vyšší než počet molekul oxidu uhličitého, které rostlina průduchy přijímá. Na jednu molekulu přijatého CO₂ (vydaného O₂) se z téhož průduchu odpaří až několik set molekul vody.

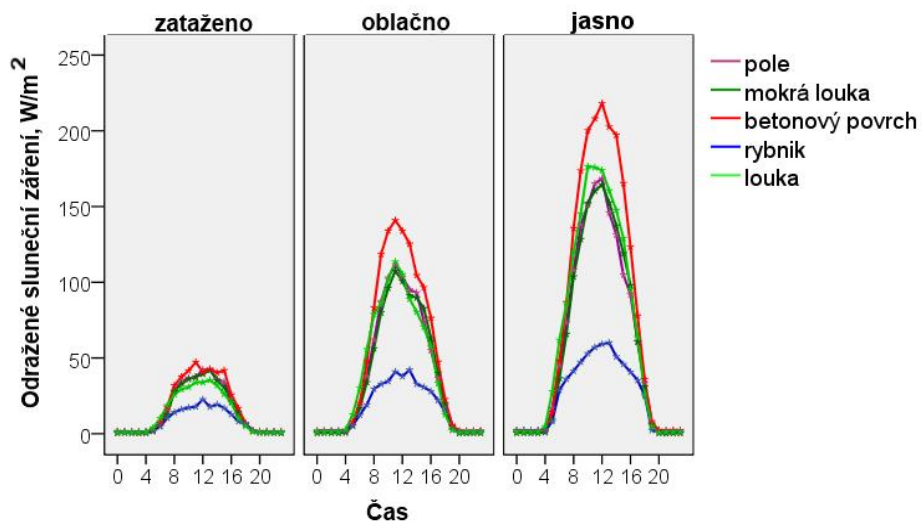
Z termodynamického hlediska jsou živé systémy otevřené a pod příkonem sluneční energie. Samovolně spějí do ustáleného stavu dynamické rovnováhy a přitom se utvářejí. Klasická termodynamika charakterizuje rovnovážný stav jako uspořádání, v němž nedochází k makroskopickým změnám stavových veličin a jehož entropie je z daných možností maximální. Vegetace a ekosystémy obecně reagují zpětnovazebně na množství přicházející sluneční energie tak, že tlumí vytváření teplotních rozdílů. S nástupem jara, tedy s růstem příkonu sluneční energie, začíná v mírném pásmu vegetační sezona a rostliny využívají sluneční energii k tvorbě biomasy a současně převádějí řádově vyšší množství energie

evapotranspirací. Z měřených denních průběhů je zřejmé, jak se evapotranspirace během dne bezprostředně zvyšuje se zvýšeným příkonem sluneční energie. Biosféra udržuje v dynamické rovnováze složení atmosféry a podílí se na utváření klimatu – tlumí vytváření teplotních extrémů. Funkci biosféry při utváření klimatu si uvědomíme při srovnání teplotních výkyvů na poušti a v tropickém deštném lese, ležícím v podobném zeměpisném pásmu. Nemusíme chodit až do tropů, stačí porovnat teploty a vlhkosti vzduchu v mírném pásmu na odvodněných plochách (městská zástavba, sklizené pole) s podmínkami v nedalekém lese. Uvědomíme si, že vegetace upravuje klima pro teplotně živočichy, aby mohli svoji tělesnou teplotu „doladit“ vlastní termoregulací.

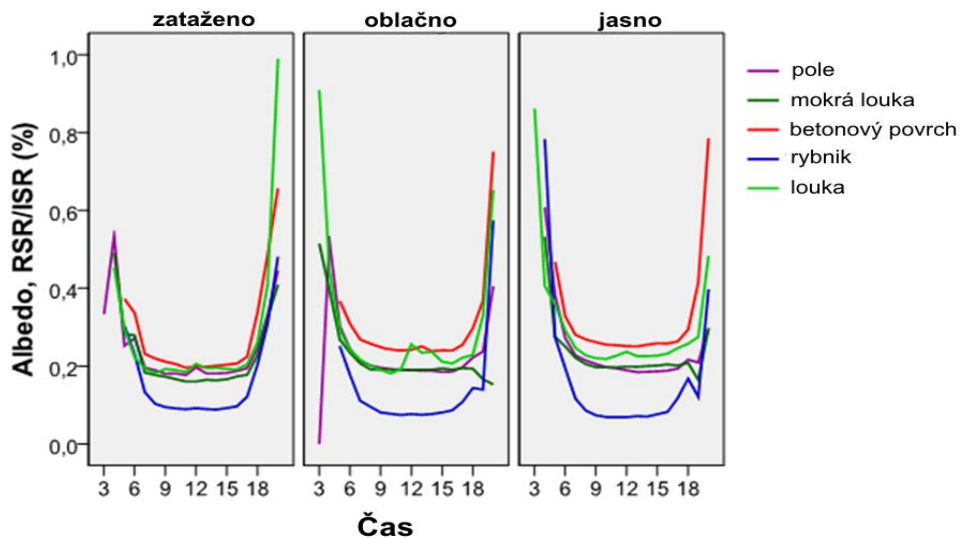
Nejvíce zjevného tepla vzniká přeměnou slunečního záření na betonovém povrchu a odvodněném poli. Vzduch se ohřívá intenzitou $200-400 \text{ W.m}^{-2}$, zatímco na mokré louce je hodnota zjevného tepla nižší než 100 W.m^{-2} . Latentní teplo výparu na mokré louce dosahuje až 500 W.m^{-2} , vypařuje se na $200 \text{ mg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (Obr. 5). Odvodněním, odstraněním vegetace a vody změním tedy distribuci sluneční energie v řádu několika 100 W.m^{-2} . Sníží se chlazení (klimatizace) výparem vody a zvýší se ohřev povrchu a od ohřátého povrchu se ohřívá vzduch, který stoupá vzhůru.



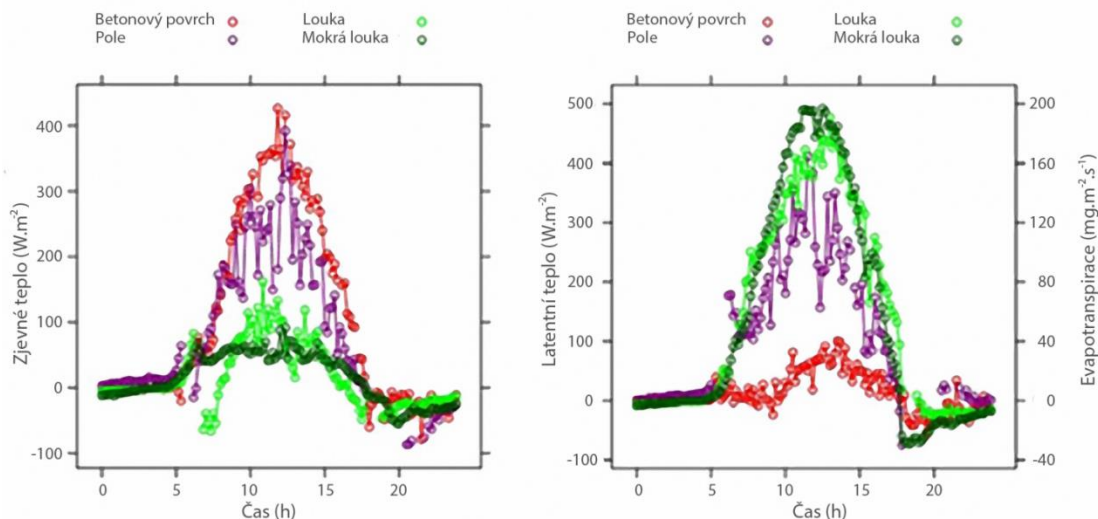
Obrázek 2: Průměrné denní chody přicházející sluneční energie (W.m^{-2}) měřené v průběhu vegetační sezóny na různých lokalitách na Třeboňsku. (Sensor Kipp&Zonen CM3, 310 – 2800 nm). Naměřené hodnoty byly rozděleny do tří tříd podle celodenního příkonu slunečního záření: zataženo $< 3 \text{ kWh.m}^{-2}$, oblačno $3 - 6 \text{ kWh.m}^{-2}$, jasno $> 6 \text{ kWh.m}^{-2}$.



Obrázek 3: Denní průběh odraženého slunečního záření při zatažené, oblačné a jasné obloze. Nejnižší odraz má vodní hladina, nejvyšší odraz má betonová plocha.



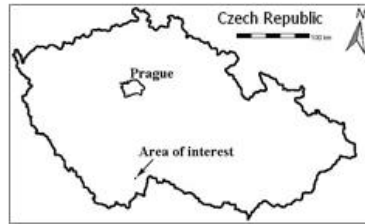
Obrázek 4: Denní průběh odraženého záření vyjádřený jako albedo (odražené záření/přicházející záření). Vysoké hodnoty ráno a večer jsou způsobeny jednak úhlem dopadu slunečních paprsků, jednak nepřesností měření při nízkých hodnotách slunečního záření



Obrázek 5: Denní průběhy zjevného tepla ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) a latentního tepla výparu vody ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), které je též vyjádřeno jako rychlost evapotranspirace $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Chladicí funkce rostlinných porostů dobře zásobených vodou je patrná na termovizních snímcích kulturní krajiny v Biosférické rezervaci a CHKO Třeboňsko. Na obrázku 6 je fotografie území v okolí obce Domanín, kde byly pomocí termovizní kamery nesené vzducholodí snímány povrchové teploty v průběhu letního dne celkem 16x od 4:50 do 20:10. Povrchové teploty různých typů krajinného pokryvu jsou vyneseny v obrázku 7. V poledních hodinách povrchové teploty posečené louky a asfaltu dosahují téměř $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, zatímco povrchová teplota lesa, olšiny a mokré louky je přibližně $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, tedy o $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ nižší. V samotném porostu je teplota ještě nižší. Pozoruhodné jsou rozdíly mezi povrchovou (radiační) teplotou a teplotou měřenou ve standardní meteorologické budce. Rozdíl mezi teplotou vzduchu a povrchovou teplotou asfaltu přesahuje $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, vysoký je též rozdíl mezi povrchovou teplotou posečené louky a teplotou vzduchu (Obr. 8). Podrobněji viz Hesslerová et al. 2013.

Změna krajinného pokryvu (odvodnění, změna kultur, odlesnění) je provázána výraznou změnou povrchové teploty. Tuto změnu standardní měření teploty vzduchu ve stínu meteorologické budky nezachytí. Povrchová teplota určuje rychlost výparu a tepelné rozdíly mezi místy, které určují směr a rychlost proudění vzduchu.

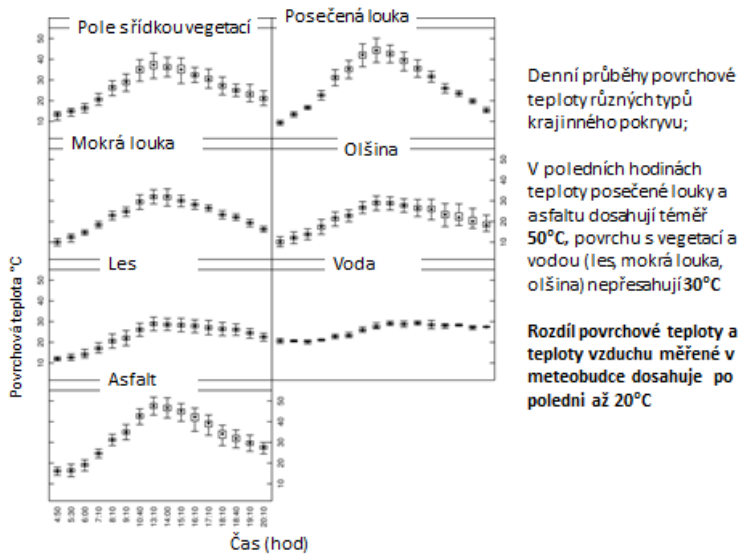


ChKO Třeboňsko, okolí obce Domanín
rovinatá kulturní krajina je ideální pro
DPZ

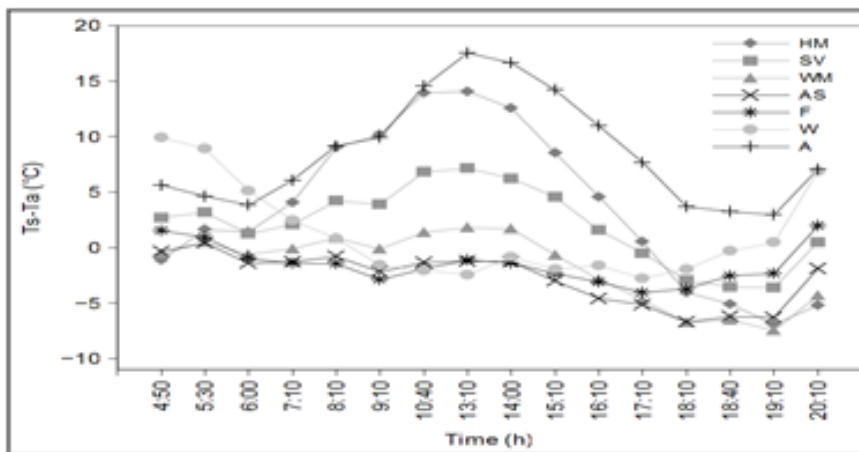
16x snímkování během
9.7.2010
od 4:50 do 20:10



Obrázek 6: Lokality snímané termovizí zavěšené na vzducholodi.

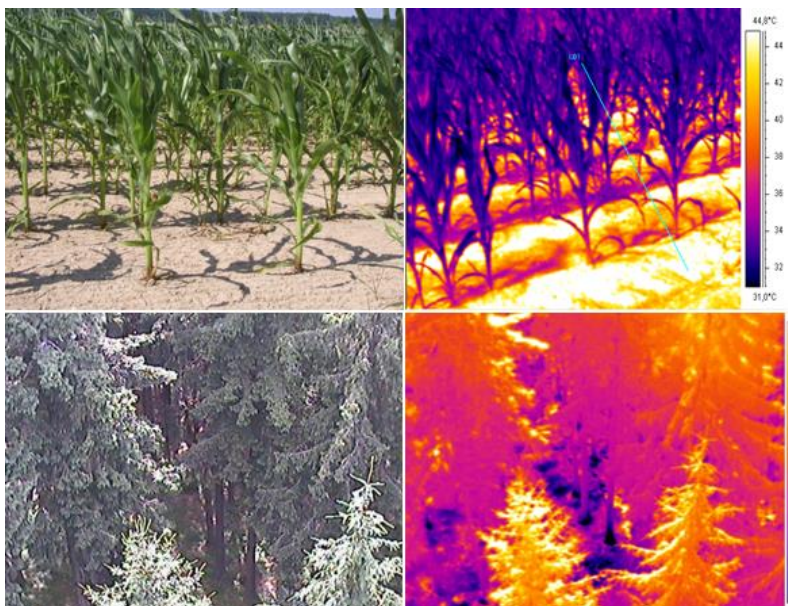


Obrázek 7: Povrchové teploty krajinného pokryvu měřené v letním slunném dnu od 4:50 do 20:10.



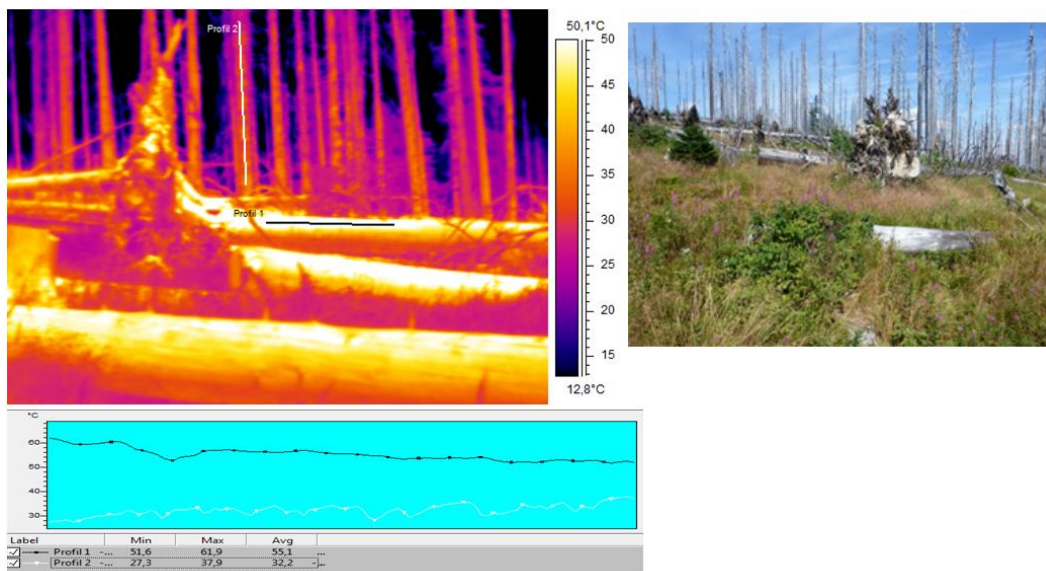
Obrázek 8: Rozdíly mezi teplotou vzduchu měřenou ve 2m (T_a) a povrchovou teplotou (T_s) posečené louky (HM), sporé vegetace (SV), mokré louky (WM), olšiny (AS), lesa (F), vodní plochy (W), asfaltu (A).

Pro další osud vody vypařované při evapotranspiraci je zásadní teplota porostu a rozložení teplot v porostu (Obr. 9). Vyvinuté porosty s dostatečnou vertikální patrovitostí vyrovnávají dostatečně teplotní gradient a mívají inverzní rozložení teplot: v dolních patrech je teplota nižší nežli na povrchu porostu. Zemědělské plodiny s obnaženou půdou, na které byly vyhubeny plevely, mají za slunných dnů nižší teplotu povrchu a vysokou teplotu půdy. Povrchové teploty korun stromů a horních listů kukuřice jsou podobné (stromy 28 °C, kukuřice 31 °C). Výrazně se ovšem liší teploty při zemi: povrch holé půdy v kukuřici dosahuje i 50 °C, zatímco v bylinném a keřovitém patru lesa je teplota kolem 22 °C (Hesslerová a Pokorný, 2011).



Obrázek 9: Termovizní snímek zachycující vertikální rozložení teplot v různých typech porostů – v kukuřičném poli a v lese.

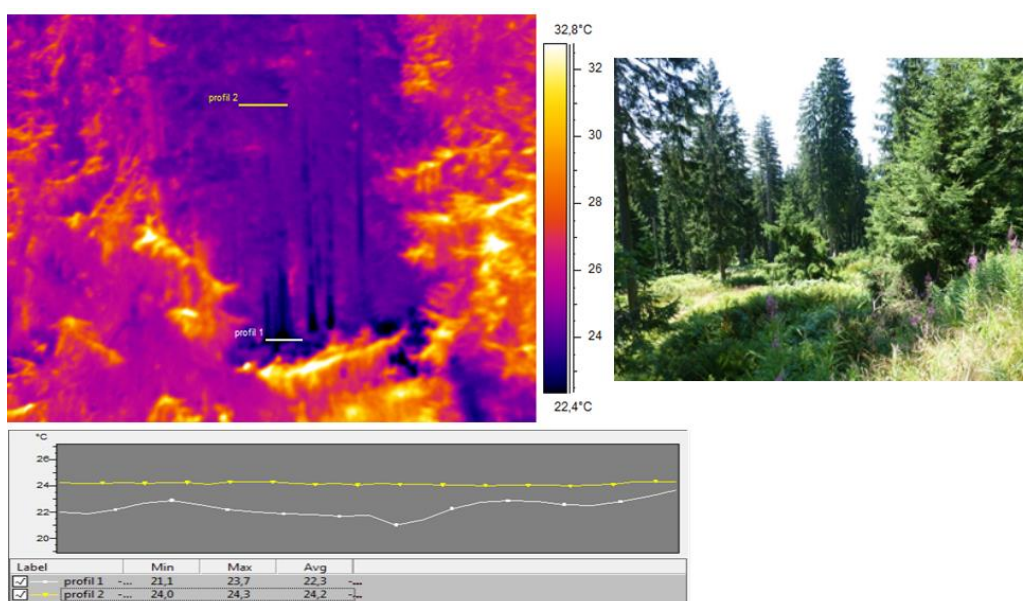
Vzrostlý les evapotranspirací a stíněním dolních pater porostu vytváří inverzní rozložení teplot ve vertikálním profilu. Chladnější vzduch je těžší a nestoupá vzhůru. Vodní pára transpirovaná korunami stromů není unášena rychle vzhůru, jako je to v případě zemědělských plodin s teplotou půdy až 50 °C. Po smýcení lesa nebo po uschnutí vzrostlých stromů teplota povrchu výrazně stoupne, jak je patrné z termovizních snímků pořízených v srpnu 2015 v uschlém porostu Třístoličníku v Národním parku Šumava (obrázek 10, 11). V nedalekém zachovalém lese na bavorské straně jsou teploty výrazně nižší. Na zdravých jehlicích v noci kondenzuje vodní pára, která stoupá se vzduchem s nížiny. Na prohřátých kmenech uschlých stromů vodní pára nekondenzuje, stoupá vzhůru a mizí z krátkého oběhu vody.



Obrázek 10: Termovizní snímek uschlého lesa a padlých stromů pořízený v srpnu 2015. Teploty uschlých kmenů přesahují místy 50 °C, stojící uschlé kmeny mají teplotu kolem 32 °C a traviny, kapradiny a sítiny mají teplotu přes 30 °C.



Obrázek 11: Pohled na Třístoličník v roce 2011 a 2015



Obrázek 12: Povrchové teploty zachovalého lesa na bavorské straně Třístoličníku (Dreisessel) v korunách stromů jsou okolo 24 °C, teploty v dolním patře lesa 20 – 22 °C. Snímek byl pořízen na osluněné straně 100 – 200 m od lokality na obrázku 10, 11.

Diskuse

V současnosti je v České republice (78 866 km²) evidováno 1 084 800 ha odvodněných trubkovou drenáží (+ cca 450 000 ha neevidovaných). Mezi lety 1948–1989 bylo rozoráno 270 000 ha luk a pastvin, 145 000 ha mezí (tj. 800 000 km), 120 000 km polních cest, odstraněno bylo 35 000 ha lesíků, hájků, remízků, 30 000 km liniové zeleně (Vašků 2011).

Rozsáhlé odvodnění zemědělských půd vede k rozkladu organických látek v půdě a k vymývání kovů alkalických zemin (vápník, hořčík, draslík), protože oxidace amonných

sloučenin, sulfidů atp. je provázána uvolňováním protonů. Odvodněné půdy se okyselují (acidifikace), snižuje se v nich obsah organických látek a taková půda ztrácí schopnost vázat vodu a živiny.

V srpnu 2015 byla na cca 18 000 km² zemědělských ploch sklizena řepka a obilniny (kromě kukuřice). Ve slunečných dnech stoupla produkce zjevného tepla (ohřev vzduchu o přehřátou půdu) na každém metru čtverečním minimálně o 300 W, to jest o 300 MW na km². Na každých 4 km² se tedy vyvíjelo teplo srovnatelné s výkonem bloku jaderné elektrárny Temelín. Na 40 km² se vyvíjelo teplo srovnatelné s výkonem všech elektráren instalovaných v ČR (12 000 MW). V srpnu jsme ze sklizených ploch při slunném počasí produkovali v ČR navíc 5400 GW tepla do atmosféry to je 450x více nežli vyrábí všechny naše elektrárny. Je to hrubý rámcový odhad, vystihuje ovšem, jak obrovský dopad má naše hospodaření v krajině na toky tepla, pohyb vzduchu, pohyb vodní páry. V srpnu nastal stepní až pouštní efekt – přehřátá půda ohřívá vzduch (zjevné teplo) a ten blokuje přísun srážek od moří. Krajina ztrácí vodu, protože ta se nevrací v krátkém oběhu zpět, nevrací se s mlhou a drobnými srážkami.

Vysoušení krajiny umocňuje odlesňování kopců a hor, vodní pára odcházející se vzduchem se nemá na čem srážet. Živé vzrostlé lesní stromy totiž uvolňují organické látky, na kterých vodní pára kondenzuje, vodní pára kondenzuje na hranách jehlic, trichomech listů a kondenzaci podporují bakterie. Funkce lesa v klimatu je shrnuta v provolání WeForest publikovaném na Konferenci o klimatu v Paříži (Pokorný 2016).

Záměrné nebo přinejmenším vědomé usychání lesa na Šumavě ve jménu divočiny je z tohoto hlediska hydrologickým hazardem a vede k prohlubování sucha nejenom na Šumavě, ale i v níže položených oblastech. Vysoušená krajina zbavená vegetace a vody se totiž ve smyslu koncepce „biotické pumpy“ stává donorem vody pro chladnější oblasti. Vodní pára z přehřátých míst odchází a sráží se na místech chladných (Makarieva a Gorshkov 2007, Makarieva et al. 2006; 2013). Naše krajina vysychá, stává se v létě donorem, nikoli akceptorem vlhkosti a dešťových srážek.

Odlesnění a odvodnění ve větším měřítku proběhlo na území dnešní USA. Od příchodu Evropanů bylo z celkové rozlohy mokřadů, více než 51 % (45.9 x 10⁶ ha) přeměněno na ornou půdu (Mitsch and Hernandez 2013). Během dnů s vysokou intenzitou slunečního záření je cca 400 W.m⁻² vázáno do zjevného tepla, místo toho, aby bylo přeměněno na latentní teplo výparu. V důsledku toho je více než 175 000 GW sluneční energie uvolněno ve formě zjevného tepla, což následně silně ovlivní dynamiku atmosférických procesů.

Území východní Afriky bylo ještě v polovině dvacátého století pokryto z 50% lesy, do dneška se zachoval les jen na 2% plochy. Dříve stoupal zvolna k ledovcům na horách vzduch nasycený vodou a ledovce se obnovovaly. Dnes stoupá z krajiny ohřátý vzduch o nízké relativní vlhkosti a ledovce ubývají.

Existují však i pozitivní příklady. Opatření pro zvýšení retence vody v krajině vznikají v Indii od roku 1985 v rámci projektu Tarun Bharat. Na horských svazích jsou budovány malé vodní nádrže (johady), které v době monzunů zadržují vodu. V době sucha jsou schopny poskytnout vodu pro zavlažování více než 140 000 ha půdy. Navíc se zvýšila i hladina podzemní vody ze 100 – 120 metrů na 3 – 13 metrů. Rozloha zemědělské půdy vzrostla ze 3 na 50 %, lesní porosty byly obnoveny na 40 % půdy (z původních 7 %) (Gupta 2011; Bhattacharya 2015). V Austrálii jde příkladem Peter Andrews a jeho systém Natural Sequence Farming (NSF). Systém metod je zaměřen na obnovu půdy a biodiverzity především v ripariálních zónách. Využívá umělého systému malých vodních toků ke snížení salinity, eroze, zvýšení kvality vody a půdy, s následnou obnovou vegetace v příbřežních zónách (Andrews 2006).

Závěr

Z krajiny neustále mizí mokřady a strukturovaná vegetace, která je schopna zadržet vodu. Především zemědělská a urbanizovaná krajina naší zásluhou neustále vysychá, v létě se stává donorem, nikoli akceptorem vlhkosti a dešťových srážek. Příklady z různých částí světa ukazují, že návrat funkční vegetace do krajiny může pomoci vodu v krajině udržet.

IPCC uvádí hodnotu radiačního zesílení způsobeného nárůstem koncentrace skleníkových plynů $1 - 3\text{Wm}^{-2}$. V příštím desetiletí to má být $0,2\text{Wm}^{-2}$. Jsou to hodnoty exaktně nezměřitelné. Sluneční energie přicházející za jasné oblohy do krajiny dosahuje až 1000Wm^{-2} . Hospodařením s vegetací a vodou v krajině měníme toky sluneční energie v rozsahu několik stovek wattů na metr čtverečný. Odvodněním a odlesněním bráníme vegetaci ve snižování gradientů teplot a tlaku vzduchu, naopak tyto rozdíly vytváříme. Například v srpnu roku 2015 se uvolňovalo ze sklizených polí zjevné teplo do atmosféry v rozsahu 5000GW. Pokud nemáme vyschnout, jako předchozí civilizace, musíme porozumět efektu našeho hospodaření v krajině na oběh vody a distribuci sluneční energie a hospodařit tak, abychom snižovali teplotní gradienty a obnovili krátký oběh vody.

Literatura

- Andrews, P. 2006. Back from the Brink. ABC Books, Australia
- Bhattacharya, S. 2015. Traditional water harvesting structures and sustainable water management in India: a socio-hydrological review. *Int. Lett Nat Sci* 37, 30 – 38
- Gupta, S. 2011. Demystifying 'tradition': The politics of rainwater harvesting in rural Rajasthan, India. *Water Altern* 4(3), 347-364
- Hesslerová, P., Pokorný, J. 2011. Teplota krajiny jako indikátor jejího fungování II. *Geografické rozhledy* 21, 30 – 31.
- Hesslerová, P., Pokorný, J., Brom, J., Rejšková – Procházková, A. 2013. Daily dynamics of radiation surface temperature of different land cover types in a temperate cultural Landscape: consequences for the local climate. *Ecol Eng* 54, 145 – 154
- Huryna, H., Brom, J., Pokorný, J. 2014. The importance of wetlands in the energy balance of an agricultural landscape. *Wetl Ecol Manag* 22, 363 – 381
- IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Jirka, V., Pokorný, J., Zicha, J., Bíla, J. 2012: Patent 303245 Způsob zjišťování energetických toků v přízemní vrstvě atmosféry a systém k provádění tohoto způsobu.
- Jirka, V., Pokorný, J., Kobrzek, F., Mareček, P., Zicha, J., Bíla, J. (2011): Soustava prostředků pro zjišťování energetických toků v přízemní vrstvě atmosféry. Užité vzor CZ 22671 U1. 12.9.2011. ENKI, o.p.s. a AIRSHIP CLUB.COM - Občanské sdružení, Praha.
- Makarieva, A., Gorshkov, V., Li, B.-L. 2006. Conservation of water cycle on land via restoration of natural closed-canopy forests: implications for regional landscape planning. *Ecol.Res.* 21, 897 – 906
- Makarieva, A., Gorshkov, V. 2007. Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11, 1013 – 1033.
- Makarieva, A., Gorshkov, V., Sheil, D., Nobre, A. Li, B.-L. 2013. Where do winds come from? A new theory on how water vapor condensation influences atmospheric pressure and dynamics. *Atmos. Chem. Phys* 13, 1039-1056
- Mitsch, W.J., Hernandez, M.I. 2013. Landscape and climate change threats to wetlands of North and Central America. *Aquatic Science* 75,133 – 149

- Pokorný, J., Brom, J., Čermák, J., Hesslerová, P., Huryna, H., Nadezhdina, N., Rejšková, A. 2010. Solar energy dissipation and temperature control by water and plants, *Int. J. Water* (5)4, 311 – 336
- Pokorný, J. 2016. Management lesů a jeho význam pro vodu a klimatizaci krajiny. *Vodní hospodářství* 2, 22 - 25
- Pontning, C. 1991. *A Green History of the World. The Environment and the Collapse of Great Civilizations*, Penguin Books, 1991, 412 s.
- Vašků, Z. 2011. Zlo zvané meliorace. *Vesmír* 90, 440–444.

Poděkování

Výsledky vznikly za podpory projektů: EEA Grant – Norway grant Ochrana a udržitelný rozvoj mokřadů v ČR (EHP-CZ02-PDP-1-003); Inteligentní Regiony - Informační modelování budov a sídel, technologie a infrastruktura pro udržitelný rozvoj (TE02000077).

Kontakt:

Doc., RNDr. Jan Pokorný, CSc.

ENKI, o.p.s.

Dukelská 145, 37901 Třeboň

+420 602 465 099, pokorny@enki.cz

Suchovzdornost, růst a vývoj pšenice

Drought tolerance, growth and development of wheat

*Ilja Tom Prášil¹, Jana Musilová¹, Eva Vlasáková¹, Milan Oldřich Urban¹, Klára Kosová¹,
Pavel Vítámvás¹, Kateřina Pánková¹, Ondřej Veškrna², Pavel Horčíčka²*

¹*Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha*

²*Selgen a.s., šlechtitelská stanice Stupice*

Abstrakt.

Pšenice je citlivá na nedostatek vody zejména v době rychlého růstu (odnožování, sloupkování), diferenciaci květních orgánů, kvetení a v první fázi nalévání zrna. V roce 2015, kdy se vyskytovalo teplé období a nedostatek srážek, růst rostlin a vývoj vzrostného vrcholu (diferenciaci klasu) probíhal u pšenice bez známek poškození a negativního dopadu sucha na výnos. Rostliny pšenice ozimé i jarní stačily vyvinout všechny důležité orgány do fáze kvetení, které proběhlo na přelomu května a června a to díky zásobám vody v různé hloubce půdy a přizpůsobení rostlin vnějším podmínkám. Uvedená analýza růstu a vývoje souboru odrůd pšenice byla provedena ve VÚRV, v.v.i. v Praze- Ruzyni a na stanici Selgenu a.s. ve Stupicích.

Klíčová slova: fenologie, pšenice ozimá, pšenice jarní, vlhkost půdy, suma teplot

Abstract.

Wheat is sensitive to water shortage, in particular, during fast growth (tillering, stem elongation), differentiation of floral organs, flowering and in the initial phase of grain filling. In 2015, wheat growth, spike development and the final yield were not adversely affected by a lack of precipitation because winter and spring wheat genotypes developed all key organs up to the flowering phase (which passed off in late May and June). The main reason may lie in the fact that the plants managed to utilize water supplies in different soil depths and wheat adaptation and acclimatization to drought. These studies of the plant growth and development

of a set of wheat varieties were carried out in Crop Research Institute, Prague-Ruzyne and the station of SELGEN Inc. Stupice.

Keywords: phenology, winter wheat, spring wheat, soil moisture, degree days

Úvod

Sucho a rostliny

Sucho je obvykle spojováno se zápornou vodní (vláhovou) bilancí a vznikem nedostatku vody v daném systému (např. krajina, půda, porost a další). Analogicky, nedostatek vody (vodní deficit) u rostlin vzniká, když rychlost výdeje vody (transpirace) je vyšší než rychlost příjmu vody (absorpce kořeny). Z vnějších faktorů snižuje příjem vody kořeny nedostatek vody v půdě, vysoká koncentrace solí, nízká teplota, nedostatek kyslíku, zaplavení. Transpiraci zvyšuje nízká vlhkost vzduchu, vysoká teplota, vysoká ozářenost, silný vítr atd. Vodní deficit (někdy vodní nebo suchostní stres) v rostlinách tak může být způsoben půdním suchem, zasolením, zimním suchem, zaplavením, utužením půdy, suchým větrem atd. (Larcher 2003). Příjem, vedení a výdej vody rostlinou spolu úzce souvisí. Transport vody v rostlině na krátkou vzdálenost se děje difuzí a je ovlivněn osmotickými jevy. Na velkou vzdálenost probíhá přenos vody transpiračním proudem (má znaky hromadného toku).

Důležitou vlastností rostlin v reakci na sucho je jejich schopnost přizpůsobit se (aklimatizovat). Mírný nedostatek vody vyvolá v rostlinách pochody a modifikace, které jim umožní lépe se vypořádat nejen s existujícím, ale i s případným dalším suchem.

Nedostatek vody v rostlinách a přizpůsobení rostlin na něj lze stanovit (Blum 2011, Ehlers a Goss 2003, Pask et al. 2012, Kůdela et al. 2013) na základě:

1) vlastností rostlin a porostů

- fenologických – zpomalení klíčení, zrychlení vývoje, zrání, opad listů atd.
- anatomických a morfologických např. stupněm vadnutí či stáčením listů, změnou voskového povrchu, růstových a výnosových parametrů, poměru R/S (kořenů ku nadzemním částem),

- fyziologických a biochemických – např. poklesem rychlosti fotosyntézy, vodivosti průduchů, transpiračním koeficientem, efektivitou využití vody (WUE), fluorescencí chlorofylu, hromaděním dehydrinů, cukrů,
- molekulárních – např. indukci genů rezistence k suchu, změnami v transkriptomických a proteomických sestavách,
- fyzikálních, např. teplotou porostu či povrchu rostlin (měřeno infračervenými kamerami a termometry), odrazivostí či absorpcí záření,

2) objemu a tlaku vody v rostlinách

- objem vody, který je vztažen na jednotku určité složky rostliny (objem voda na čerstvou hmotnost nebo na sušinu) nebo objemem vody vůči plnému nasycení pletiv vodou (RWC – Relative Water Content)
- vodní potenciál, který je odvozen z fyzikálně-chemických charakteristik (chemického potenciálu) vody. Rozdíl ve vodním potenciálu je hnací silou a ukazuje směr pohybu vody v půdě a rostlině, vyjadřuje se v jednotkách tlaku (MPa) či energie (J/kg) a je složen ze čtyř složek – tlakové, osmotické, gravitační a matriční. Jednotlivé složky vodního potenciálu se uplatňují v rostlině různě, např. tlaková složka v cévách, apoplastu, při prodlužovacím růstu buněk a růstu vegetativních částí rostliny, pohybech průduchů; osmotická při transportu vody v buňkách a pletivech, plazmolýze, růstu a kořenovém vztlaku; gravitační u vysokých stromů; matriční při bobtnání a první fázi klíčení semen, silné dehydrataci pletiv atd.

Vztah mezi objemem vody a vodním potenciálem, včetně jeho složek vyjadřují tzv. pV (pressure - volume) – křivky. Pomocí nich lze stanovit objem vody, kdy turgor (tlakový potenciál buněk) je nulový a dochází k uzavření průduchů (zastavení průduchové transpirace), hodnotu osmotického potenciálu při plném nasycení vodou nebo při nulovém turgoru, objem neosmotické vody, velikost osmotického přizpůsobení (Osmotic Adjustment), elastického vyrovnání (Elastic Adjustment) atd. (Boyer 1995, Pask et al. 2012).

Sucho, růst, vývoj a výnos pšenice.

Vývoj (ontogenezi) pšenice v závislosti na okolním prostředí popisuje fenologie. Tu můžeme sledovat na úrovni morfologických (růstových) změn rostlin v porostu pomocí nejrozličnějších stupnic (např. BBCH nebo Zadoksova stupnice) nebo na úrovni morfologických změn vzrostného vrcholu rostlin (morfogeneze klasu). Oba typy fenologie pšenice se vzájemně doplňují. Jednotlivé fenologické fáze pšenice může rozdělit na několik hlavních fází

charakteristických z hlediska základních růstových a vývojových změn a citlivosti k vnějším faktorům u jednotlivých odrůd. U posledně jmenované charakteristiky jde jednak o citlivost vývojových fází k vnějším faktorům (např. vernalizační požadavek, degree day, citlivost k fotoperiodě) a jednak o citlivost ke stresovým faktorům (např. k mrazu, horku či suchu).

Vývoj pšenice se rozděluje na pět základních fází (Reynolds et al. 2012) :

- fáze vzcházení (doba mezi setím a vzejitím)
- fáze vegetativní (doba mezi vzejitím a začátkem tvorby klasu- květenství)
- fáze rané reprodukce (doba mezi iniciací klasu a založením terminálního klásku)
- fáze pozdní reprodukce (doba mezi založením terminálního klásku a kvetením)
- fáze tvorby zrna (kvetení až plná zralost)

V uvedených fázích se zakládají a tvoří jednotlivé výnosové prvky pšenice (počet odnoží, počet zrn v klasu, hmotnost obilek) a z toho vyplývá i možný dopad sucha na konečný výnos pšenice. Pšenice potřebuje vodu nejprve pro klíčení. Voda je dále nutná ve fázi vegetace pro tvorbu listů a počtu odnoží, v době reprodukce pro zakládání počtu klásků a fertálních kvítků – základů zrn v klasu a po kvetení pro vývoj hmotnosti zrna. Potřeba vody v době klíčení pšenice není velká, je však nutná pro plynulý rozvoj dalších fází vývoje. Pro růst odnoží a základů klásků a kvítků může být příjem vody limitující. Většina studií (Nátrová a Jokeš 1993, Atwell et al. 1999, Blum 2011) o vlivu sucha na výnos pšenice uvádí jako nejcitlivější fázi před kvetením, kdy v důsledku sucha může dojít k redukci počtu fertálních kvítků a krátce po kvetení, kdy může dojít ke snížení hmotnosti zrn v klasu. Podle klimatologických studií (přehledně Brázdil et al. 2015) je na našem území z hlediska negativního dopadu sucha na výnos pšenice nejdůležitější období od dubna do června, kdy probíhají k suchu nejcitlivější fáze vývoje a tvorby výnosu pšenice.

V roce 2015 postihla naše území významná perioda sucha (ČHMU 2015, Intersucho), která byla spojena s negativním dopadem na rostlinnou produkci. Výjimkou byla pšenice, která v tomto roce dosáhla druhý nejvyšší výnos (ČSU). Během posledních několika let probíhá na pracovištích VÚRV v.v.i.-Ruzyně, MENDELU v Žabčicích, Agrotestu s.r.o. v Kroměříži, Ditaně s.r.o. ve Velké Bystřici a na stanicích Selgenu a.s. (Stupice, Lužany, Uhřetice) společný výzkum dopadu sucha a extrémních teplot (mrazu a horka) na vývoj a výnos odrůd pšenice a ječmene. Cílem práce bylo analyzovat vztah mezi růstem a vývojem pšenice na poli

a průběhem počasí. V tomto příspěvku uvádíme část výsledků dosažených během vegetace pšenice ozimé a jarní v roce 2014/2015 na dvou stanovištích.

Materiál a metody

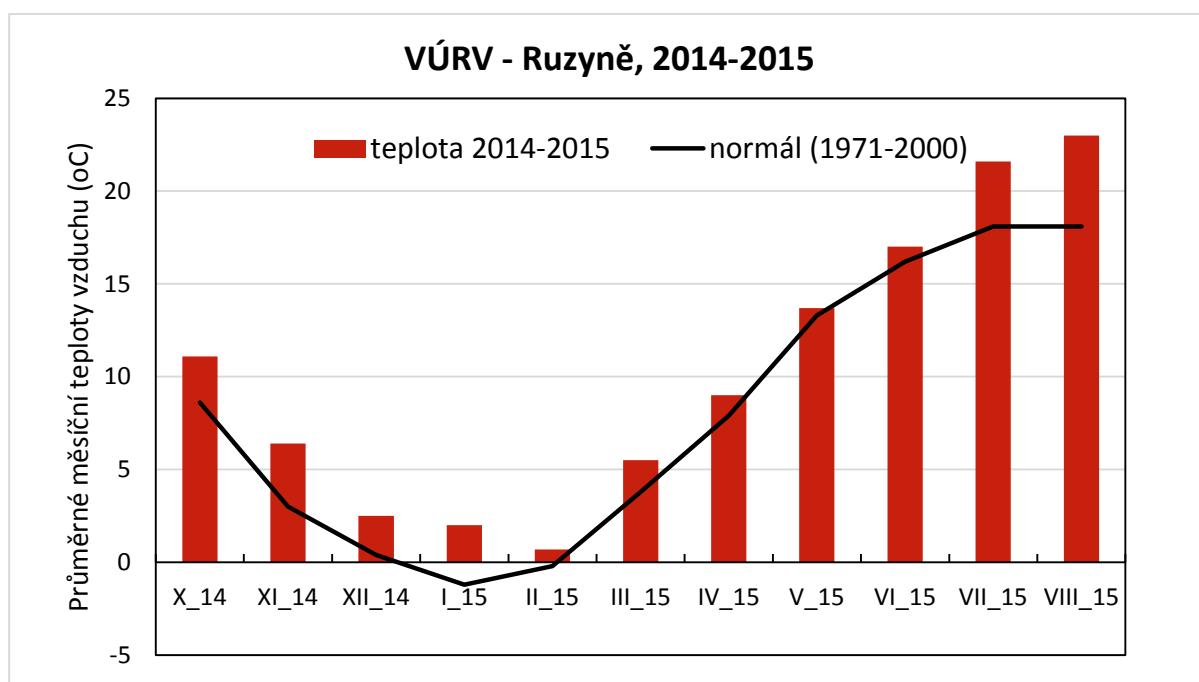
Polní maloparcelkové pokusy byly založeny se souborem odrůd pšenice ve VÚRV, v.v.i. v Praze - Ruzyni a na stanici Selgenu, a.s. ve Stupicích. Jednalo se jak o ozimé pšenice (odráždy Bohemia, Julie, Turandot, Matylda, Vanessa, Elly, Fermi, Bonanza), tak i jarní pšenice (odráždy Seance, Siraél, Septima, Anabel, Dafne, Amaretto). Odrůdy byly vysety na parcelky o rozměrech 2 a 4.5 m² v agrotechnických termínech. Každá odrůda byla vyseta ve dvou až třech opakováních. Po celou dobu vegetace byly podle potřeby prováděny standardní agrotechnické zásahy (hnojení, postřiky atd.) a při sklizni byla provedena základní analýza výnosu (počet rostlin a odnoží na m², počet zrna v klasu, hmotnost 1000 zrn, objemová hmotnost, výnos).

V průběhu vegetace od vzejití až po sklizeň bylo odebíráno z každé parcelky 5 až 10 rostlin v týdenních nebo několika týdenních termínech a to podle rychlosti vývoje rostlin. Každá rostlina byla analyzována z hlediska růstové fáze dle Zadokse et al. (1974) a podrobně byl vyšetřen vývoj vzrostného vrcholu (diferenciace klasu) podle stupnice publikované Waddingtonem et al. (1983). V některých termínech byly analyzovány i růstové a fyziologické charakteristiky rostlin (např. pokryvnost listoví, biomasa, osmotický potenciál) jednotlivých odrůd. Zároveň od setí až po sklizeň byly sledovány pomocí automatických stanic jednotlivé meteorologické prvky. Ve VÚRV v Ruzyni se jednalo o teplotu vzduchu ve 2 m a v přízemní vrstvě, teplotu půdy v 3, 5, 10, 20 a 50 cm hloubky půdy, podobně i vlhkost půdy pomocí čidel VIRRIB; dále byly sledovány: rychlost a směr větru, globální a fotosynteticky účinné záření, relativní vlhkost vzduchu, tlak a ovlhčení. Měření bylo prováděno na zatravněné ploše v bezprostřední blízkosti pole, typ půdy je hnědozem modální, jílovitohlinitá.

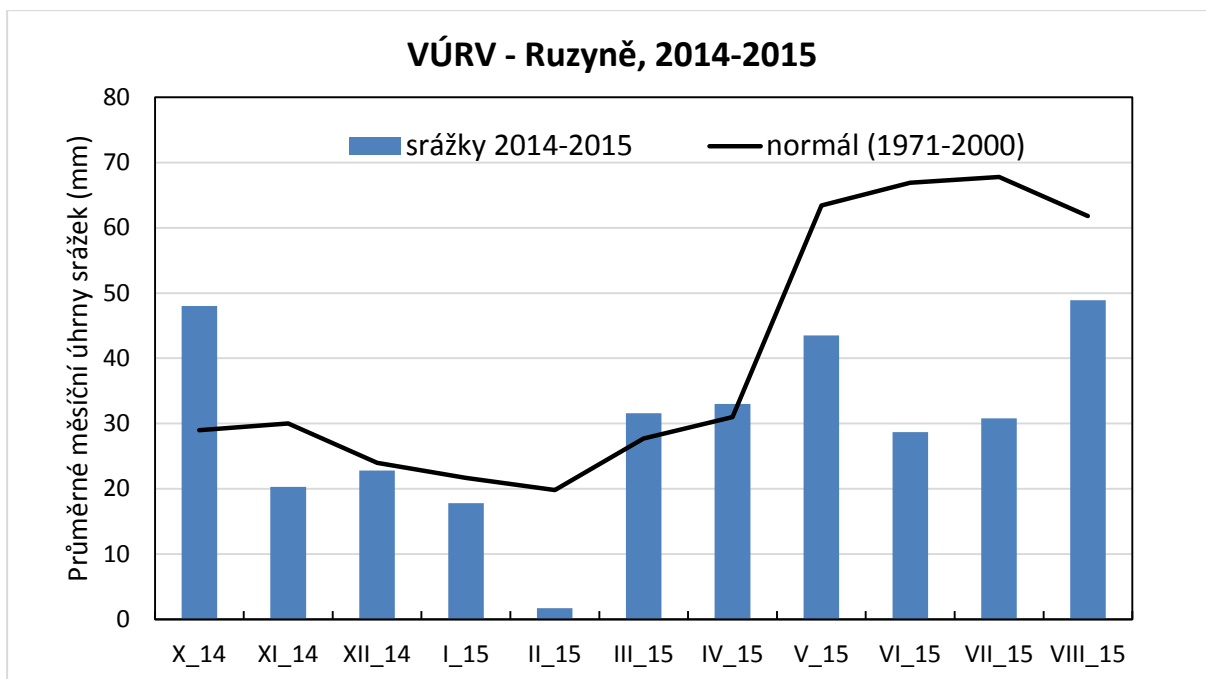
Výsledky a diskuse

Průběh počasí ve sledovaných letech měl stejný trend na obou sledovaných stanovištích, podobně i vývoj rostlin a vrcholů (klasu) jednotlivých odrůd. Pro přehlednost dále uvádíme podrobněji údaje z VÚRV-Ruzyně s tím, že v případě vývoje vrcholu, jsme využili i hodnoty naměřené na stanici Stupice, kde proběhlo hodnocení všech odrůd.

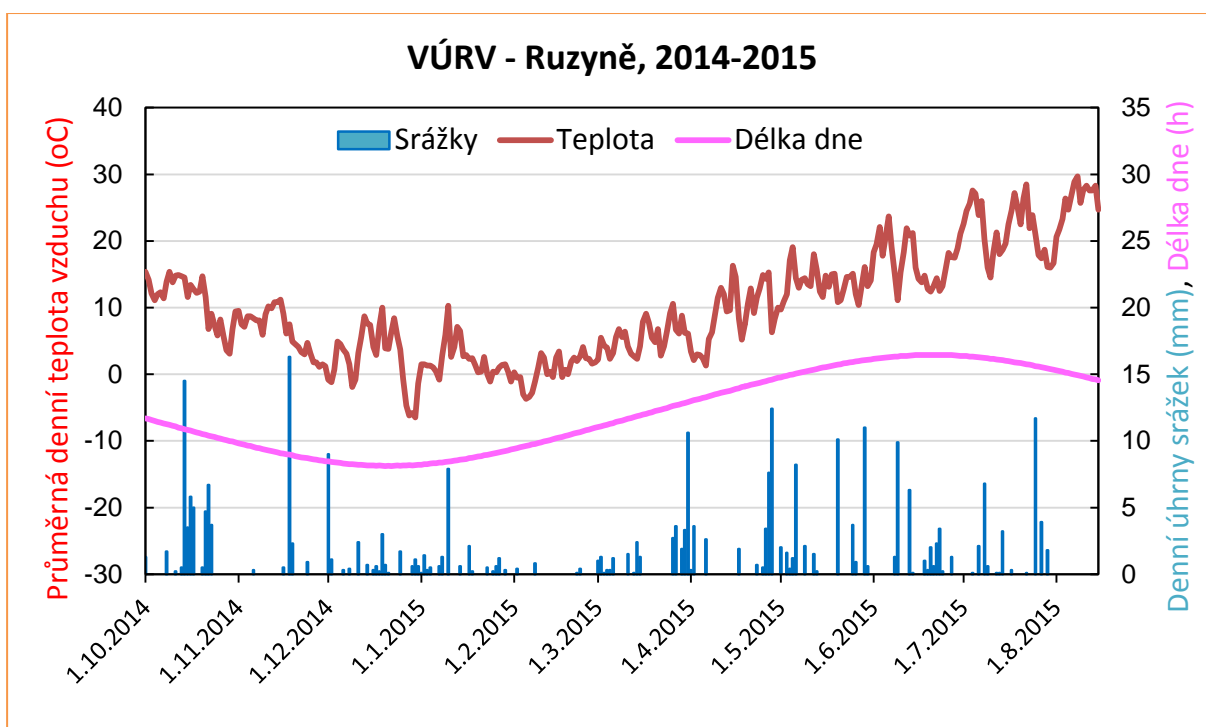
Průběh počasí vyjádřený měsíčními průměry teplot a srážek ve VÚRV-Ruzyně od října 2014 do srpna 2015, kdy proběhlo setí, vegetace a sklizeň pšenice, zachycuje **obrázek 1 a 2**. Díky srážkově i teplotně nadnormálnímu podzimu 2014 (měsíce září a říjen byly velmi vlhké a teplé) všechny odrůdy ozimé pšenice vzešly do deseti dní od výsevu, vytvořily dobře zapojený porost a na začátku zimy dosáhly fáze plného odnožování. Zimní období bylo teplotně nadnormální, kdy minimální teplota půdy na úrovni odnožovacích uzlů neklesla pod $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nedošlo tak k poškození či vyzimování rostlin pšenice. Srážkově mimořádně suchý byl únor; teplé a srážkově normální měsíce březen a duben umožnily následné rovnoměrné vzcházení a růst jařin, ale i růst a vývoj ozimů. Srážkově podnormální období se dostavilo v druhé polovině května, následované velmi suchou a mimořádně teplou epizodou od června až do poloviny srpna, která pak urychlila zrání i sklizeň pšenice. Výskyt vyšších teplot v tomto období pak znamenal i vyšší evapotranspiraci a ztrátu vody z půdy (ČHMU 2015)



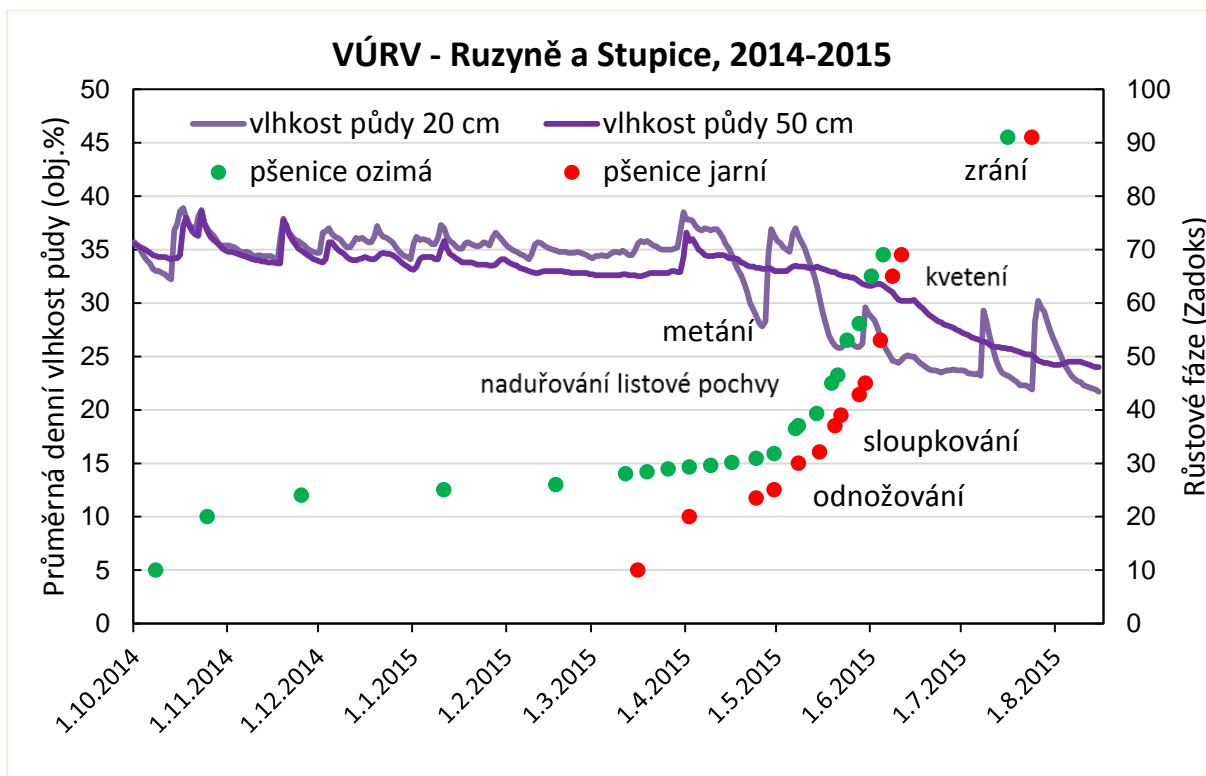
Obrázek 1. Průměrné měsíční teploty vzduchu ve VÚRV-Ruzyni od září 2014 do srpna 2015 a jejich normály za roky 1971-2000.



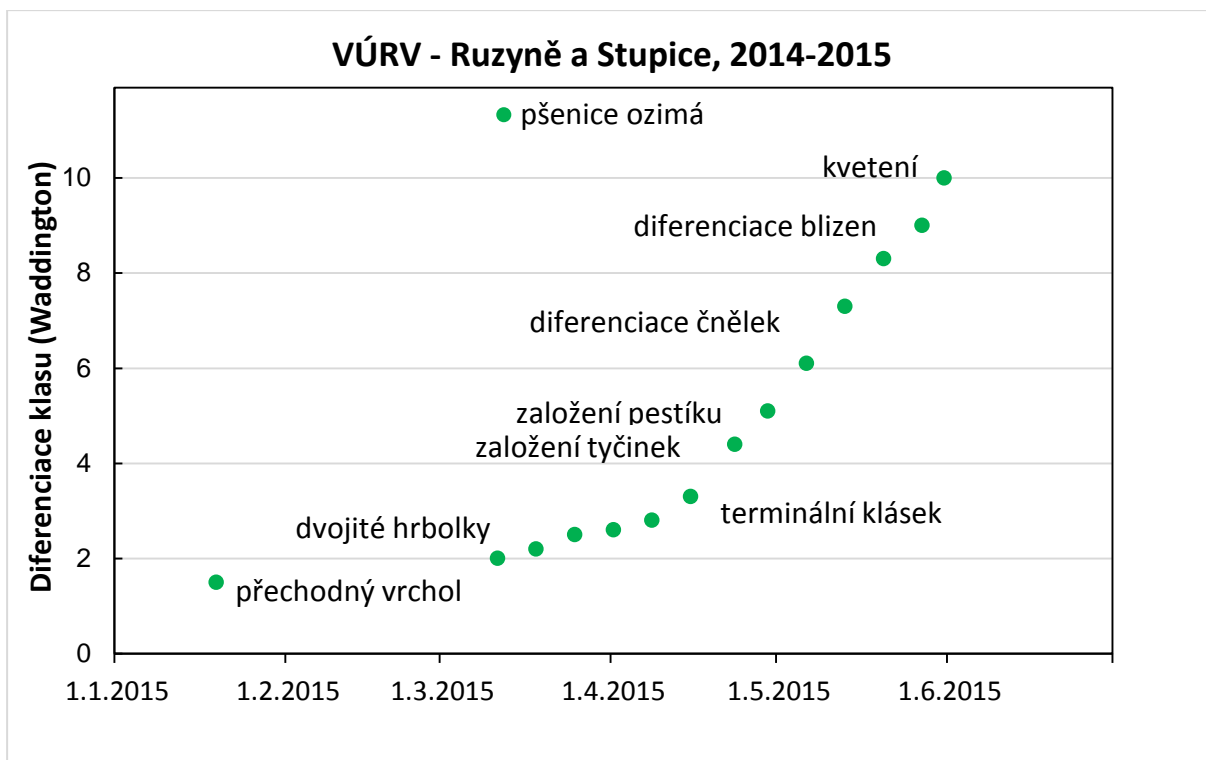
Obrázek 2. Průměrné měsíční úhrny srážek ve VÚRV-Ruzyni od září 2014 do srpna 2015 a jejich normály za roky 1971-2000.



Obrázek 3. Průměrná denní teplota vzduchu ve 2m a denní úhrn srážek ve VÚRV-Ruzyni od září 2014 do 15. srpna 2015; doplněno o délku dne (fotoperiodu).



Obrázek 4. Průměrná denní vlhkost půdy v různé hloubce (20 a 50cm) a průměrná růstová fáze souboru odrůd pšenice ozimé a jarní od září 2014 do 15. srpna 2015.



Obrázek 5. Průměrná fáze diferenciacie vrcholu (klasu) souboru odrůd pšenice ozimé od ledna 2015 do konce června 2015.

Podrobné rozložení jednotlivých meteorologických faktorů a jejich dopad na růst pšenice v průběhu října 2014 do 15. srpna 2015 zachycují **obrázky 3 a 4**. Průměrná denní vlhkost půdy ve dvou hloubkách ukazuje dobrou zásobu vody v půdě od vzejití ozimů až do poloviny května 2015 (cca kolem 60 až 80% VVK). Zejména v povrchové vrstvě půdy do 20 cm se projevují větší výkyvy vlhkosti půdy v případě silných srážek. V druhé polovině května dochází k postupnému poklesu vlhkosti půdy v 50 cm, podobný trend se projevuje v hloubce 20 cm s tím, že v případě dešťů se i zde přechodně zvyšuje vlhkost půdy. Pšenice dosahuje fáze sloupkování a prodlužování stébla v první polovině dubna (pšenice ozimá) a počátkem května (pšenice jarní), fáze kvetení ke konci května (pš. ozimá) a v první dekádě června (pš. jarní). Obě zmíněné citlivé fáze růstu pšenice na vodu tak nebyly omezeny nedostatkem vody v půdě.

Stanovení vývoje vzrostného vrcholu, diferenciacie klasu, podle Waddingtonovy stupnice (**obr. 5**) umožňuje přesněji stanovit případný negativní dopad počasí na jednotlivé fáze tvorby klasu, počtu klásků, kvítků a zejména diferenciaci květních orgánů (tyčinek a pestíku), které jsou velmi citlivé na jakýkoliv nepříznivý vnější faktor (sucho, nízká či vysoká teplota,

intenzivní záření). K poruchám pak dochází při redukčním dělení (meiosa), vzniká sterilní pyl či dochází k deformacím tyčinek (Nátrová a Jokeš 1993). Podíváme-li se na průběh nástupu jednotlivých fází Waddingtonovy stupnice (**obr. 5**) vidíme u pšenice ozimé pozvolný průběh tvorby klásků v klasu (tj. od dvojitých hrbolků až po terminální klásek). Pak dochází ke zlomu a další fáze nastupují rychleji a téměř v lineárním sledu až do kvetení. To ukazuje, že vývoj diferenciac květních orgánů klasu až do kvetení nebyl v zásadě ničím omezen (Prášil nepublikováno), tedy ani nedostatkem vody. Uvedený zlom v rychlosti vývoje klasu souvisí s dosažením kritické délky dne (viz **obr. 3**), kdy končí citlivost rostlin pšenice k fotoperiodě a vývoj pšenice pak probíhá především v závislosti na teplotě. Průměrné výnosy souboru odrůd pšenice ozimé v maloparcelkovém pokusu byly 13,2 t/ha a souboru odrůd jarní pšenice 9,4 t/ha.

K úspěšnému přežití a vysokému výnosu pšenice v roce 2015 je třeba vzít v úvahu i aklimatizace rostlin v sušších obdobích na podzim (listopad) a v zimě, kdy díky tvorbě mohutnějších a hlouběji zasahujících kořenů mohly rostliny čerpat vodu z větší škály hloubek (Haberle a Svoboda 2015). Vliv sucha v ranějších fázích vývoje na nižší redukci výnosu pšenice zasažené suchem v době kvetení u nás popsal Zemánek (1992). V neposlední řadě teplé a suché počasí v době sklizně přispělo k vyrovnanému zrání pšenice a snížení ztrát při sklizni v roce 2015.

Závěr

Růst rostlin a vývoj vrcholu (klasu) u pšenice ozimé i jarní proběhl v roce 2015 ve VÚRV v.v.i v Praze-Ruzyni a na stanici Selgenu, a.s. ve Stupicích plynule a bez známek zjevného poškození, což dokumentuje i nepřerušovaný vývoj klasu a jeho jednotlivých orgánů. Až do fáze kvetení a mléčné zralosti rostliny pšenice mohly čerpat vodu z různých hloubek půdy a přizpůsobily se jak předchozímu mírnému suchu, tak dynamikou růstu a vývoje vnějším faktorům (jarovizace, fotoperiodická citlivost, suma teplot).

Poznámka. Ve výsledcích uvádíme průměrné hodnoty dosažení růstových a vývojových fází u souboru odrůd pšenice. Jednotlivé odrůdy se však v některých fázích liší o několik dní, což může mít významný vliv na případnou redukci výnosu při působení nepříznivých faktorů počasí. Analýza na úrovni jednotlivých odrůd a dopadu sucha či extrémních teplot v jednotlivých fázích jejich vývoje je předmětem další studie.

Poděkování

Práce byla podpořena finančními prostředky z European Union Seventh Framework Programme, Adaptawheat (FP7- KBBE-2011-5) a z projektů MZE NAZV QJ1310055 a RO0416. Autoři děkují Ing. Pavle Prášilové a Ing. Jiřímu Zámečnickovi, CSc. za pečlivé pročtení a cenné připomínky k rukopisu a Ing. Marii Coufové za technickou pomoc.

Literatura

Atwell A., Kriedemann P., Turnbull C. (Eds) 1999. Plants in action. Adaptation in nature, performance in cultivation. Macmillan Education Australia PTY LTD.

Blum A. 2011. Plant breeding for water-limited environments. Springer, New York Dordrecht Heidelberg London

Boyer JS. 1995. Measuring the water status of plants nad soils. Academic press, Inc. New York

Brázdil, R., Trnka, M. a kol. 2015. Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. Centrum výzkumu globální změny AV ČR v.v.i., Brno

ČHMÚ 2015. Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015. Předběžná zpráva.

Ehlers W., Goss M. 2003. Water dynamics in plantt production.CABI Publishing

Haberle J., Svoboda P. 2015- Příčiny letošních rozdílných výnosů. Zemědělec 38, Rostlinná výroba 29.

Kúdela, V., Ackermann P., Prášil IT., Rod J., Veverka K. 2013. Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění. Academia, Praha.

Larcher W.,2003. Physiological plant ecology. 4th edition. Springer-Verlag, Berlin Heideberg New York.

Intersucho - www.intersucho.cz

Nátrová Z., Jokeš M. 1993. A proposal for a decimal scale of the inflorescence development of wheat. Rostlinná výroba, 40, 315-328

Pask, AJD., Pietragalla, J., Mullan, DM. and Reynolds, MP. (Eds.) 2012. Physiological Breeding II: A Field Guide to Wheat Phenotyping. Mexico, D.F.: CIMMYT.

Reynolds, MP., Pask, AJD. and Mullan DM. (Eds.) 2012. Physiological Breeding I: Interdisciplinary Approaches to Improve Crop Adaptation. Mexico, D.F.: CIMMYT.

Waddington SR, Cartwright PM, Wall PC. 1983. A quantitative scale of spike initial and pistil development in barley and wheat. *Annals of Botany* 51, 119–130.

Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14, 415–421.

Zemánek M. 1992. Adaptace vybraných odrůd ozimé pšenice na různé zásobení vodou. *Rostlinná výroba*, 39, 139-152.

Kontakt:

RNDr. Ilja Tom Prášil, CSc.

Výzkumný ústav rostlinné výroby v.v.i.

Drnovská 507

161 06 Praha

telefon 702 087 686

e-mail Prasil@vurv.cz

Retrospektivní analýza výnosů pšenice seté v podmínkách klimatu ČR

Retrospective Analysis of Wheat Yields in the Climatic Conditions of the Czech Republic

Petra Procházková¹, Jana Klimešová¹, Filip Chuchma², Tomáš Středa^{1,2}

¹*Mendelova univerzita v Brně*

²*Český hydrometeorologický ústav*

Abstrakt

Výnosy pšenice seté a kolísání hodnoty ukazatele P-E v kritickém období z hlediska tvorby výnosu pšenice v České republice byly vyhodnoceny za období 1971–2010. Pro 14 pokusných stanic ÚKZÚZ byla agrometeorologickým modelem AVISO vypočtena pro sledované období potenciální evapotranspirace porostu pšenice, která byla následně použita k výpočtu hodnot ukazatele P-E. Historické výnosové řady pokusných stanic pro modelovou plodinu (pšenice ozimá) byly korelovány s hodnotami ukazatele P-E napříč stanicemi pro jednotlivé dekády. Byly zjištěny statisticky průkazné korelace mezi výnosem pšenice a hodnotou ukazatele P-E v určitých dekádách vegetace.

Klíčová slova: pšenice setá, výnos, sucho, P-E ukazatel

Abstract

Wheat yields and fluctuations of the P-E indicator in the critical period in terms of wheat yield in the Czech Republic were evaluated for the period 1971–2010. The potential evapotranspiration was calculated by agrometeorological model AVISO for 14 experimental stations of ÚKZÚZ for the reporting period, which was then used to calculate the P-E indicator. The historical yield range from the experimental stations for the wheat was correlated with the values of the P-E indicator across the stations for each decade. The statistically significant correlations between the wheat yield and the value of the P-E indicator were found in certain decades of vegetation.

Keywords: wheat, yield, drought, P-E indicator

Úvod

Zemědělská produkce je značně limitována působením meteorologických podmínek, přičemž nejvíce je ovlivňován výnos dané plodiny během kritického období tvorby výnosu. U obilnin

je kritické období kvetení a období nalévání zrn, dále i odnožování, které rozhoduje o počtu klasů a založení sekundárních kořenů (Haberle et al., 2008). S přihlédnutím k orografii České republiky je velká část území závislá na sycení půdního profilu pouze atmosférickými srážkami, pro něž je typická velká časová i lokální proměnlivost s výraznou závislostí na nadmořské výšce a expozici. Meteorologické podmínky v jednotlivých letech podléhají značným výkyvům, a to jak z pohledu za sebou jdoucích ročníků, tak i ve spojitosti k víceletým průměrům. Kolísání meteorologických podmínek v čase má významný dopad na objem a kvalitu rostlinné produkce.

Sucho náleží k průvodním jevům našeho klimatu a je jedním ze stresorů působících na výnos a kvalitu zemědělských plodin. Z tohoto hlediska má pro pěstitele největší význam případný výskyt tzv. agronomického sucha. To je obecně definováno jako stav, kdy je množství půdní vláhky nižší, než je potřeba rostlin (Blinka, 2005), a také je často chápáno jako pokles půdní vlhkosti pod bod trvalého vadnutí (tj. cca -1,5 MPa), kdy dojde k zastavení příjmu vody a rostliny přestanou růst (Kincl a Krpeš, 2000).

Materiál a metody

Cílem bylo odhadnout vazbu mezi průběhem počasí a tvorbou výnosu obilnin. Pro popis vazby byla zvolena jako modelová plodina pšenice setá (*Triticum aestivum* L.), její ozimá forma (pšenice ozimá). Byla zjištěna závislost P-E ukazatele a výnosu pšenice na 14 pokusných stanicích Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ), a to za období 1971–2010.

Stanice se nacházejí ve výrobních oblastech kukuřičné (KVO), obilnářské (OVO), řepařské (ŘVO) a bramborářské (BVO). Lokalizovány jsou od 171 do 585 m n. m., průměrná teplota se pohybuje v rozmezí od 7,1 do 9,6 °C a roční srážkové úhrny od 435 do 738 mm (Tab. 1).

Tab. 1: Pokusné stanice ÚKZÚZ a jejich charakteristika

Stanice	Výrobní oblast	Nadmořská výška (m)	Dlouhodobá průměrná teplota (°C)	Dlouhodobý průměrný úhrn srážek (mm)
Brno–Chrlice	ŘVO	190	9,0	451
Čáslav–Filipov	ŘVO	260	8,9	555
Hradec nad Svitavou	BVO	465	7,4	616
Chrastava	OVO	345	8,0	738
Jaroměřice nad Rokyt.	OVO	425	8,0	471
Lednice	KVO	171	9,6	461

Lípa	BVO	505	7,5	594
Pusté Jakartice	ŘVO	295	8,3	584
Staňkov	OVO	370	8,1	537
Uherský Ostroh	KVO	196	9,1	521
Věrovany	ŘVO	207	8,7	502
Vysoká	BVO	585	7,1	611
Znojmo–Oblekovice	KVO	242	9,3	435
Zatec	ŘVO	285	9,0	439

Agrotechnika u jednotlivých stanic byla srovnatelná (předplodina, hnojení) a odrůdová skladba v daném roce v rámci pokusů ÚKZÚZ totožná. Hodnoceny byly pouze výnosy v letech, kdy byly do osevního postupu zařazeny vhodné předplodiny (nejčastěji luskoviny). Byl uplatněn pěstitelský systém na úrovni optimální intenzity hnojení a ochrany rostlin dle metodiky ÚKZÚZ pro vedení staničních pokusů.

Pro kvantifikaci sucha byl z řady různých charakteristik vybrán P-E ukazatel, který je uváděn v mm. Tento ukazatel pro stanovení sucha se vypočítá jako rozdíl srážkových úhrnů (P) a potenciální evapotranspirace (PET). Pro stanovení P-E ukazatele v jednotlivých letech na každé pokusné stanici bylo nezbytné vypočítat potenciální evapotranspiraci, která byla vypočtena prostřednictvím agrometeorologického modelu „Agrometeorologické výpočetní a informační soustavy“ (AVISO) pro jednotlivé dekády vegetačního období (od 61. až do 180. dne roku). Výpočet potenciální evapotranspirace porostu pšenice ozimé představuje ztrátový člen v rovnici vodní bilance, metodou podle Penman–Monteithovy úplné kombinované rovnice s korekcí na teplotu vypařujícího povrchu a s vyjádřením vlhkosti vzduchu pomocí tlaku vodní páry na území České republiky v horizontu let 1971–2010. Model AVISO je založen na bázi modelu MORECS (Hough et al., 1997) od něž se liší organizací sběru meteorologických dat, výstupními sestavami a řadou programových úprav, které byly uskutečněny na základě experimentálních měření. Model zpracovává meteorologická data (teplota a vlhkost vzduchu, trvání slunečního svitu, rychlost větru a srážky) v denním intervalu z dostupných klimatologických stanic na území ČR. Model AVISO je upraven a přizpůsoben podmínkám ČR a průběžně aktualizován.

Výnosové řady pokusných stanic byly porovnány s dekádními hodnotami P-E ukazatele od 61. do 180. dne roku za sledované období 1971–2010. Prostřednictvím korelačního koeficientu byla vyjádřena těsnost vztahu.

Výsledky a diskuze

Pomocí modelu AVISO byla vypočtena potenciální evapotranspirace ve vegetačním období pšenice ozimé (61. až 180. den roku). Prostřednictvím rozdílu srážek a evapotranspirace byl vypočten P-E ukazatel v jednotlivých dekádách sledovaných let na každé pokusné stanici. Průměrná sezónní hodnota P-E ukazatele za období 1971–2010 se na vybraných 14 stanicích pohybuje od -13,81 mm do 1,25 mm.

Nejvyšší průměrná dlouhodobá hodnota ukazatele P-E byla zjištěna na lokalitě Chrastava (1,25 mm) ve střední nadmořské výšce, zatímco nejnižší průměrná hodnota byla zjištěna na níže položené lokalitě Brno-Chrlice (-13,81 mm). Maximální průměrné hodnoty P-E ukazatele bylo dosaženo v dekádě od 71. do 80. dne na stanici Chrastava (12,27 mm) a nejnižší průměrné hodnoty na stanici Brno-Chrlice (-19,50 mm) za dekádu od 121. do 130. dne. Pomocí ukazatele P-E byly vyhodnoceny suché a mokré roky napříč pokusnými stanicemi. Mezi velmi vláhově nepříznivé patřily roky 1976, 1993, 2000, 2003 a 2007, kdy průměrná roční hodnota ukazatele P-E za všechny dekády dosahovala méně než -10 mm. Nejvyšší hodnoty ukazatele P-E (nad 0 mm) byly dosahovány v letech 1987, 1995 a 2010, kdy tyto roky byly vláhově nejpříznivější.

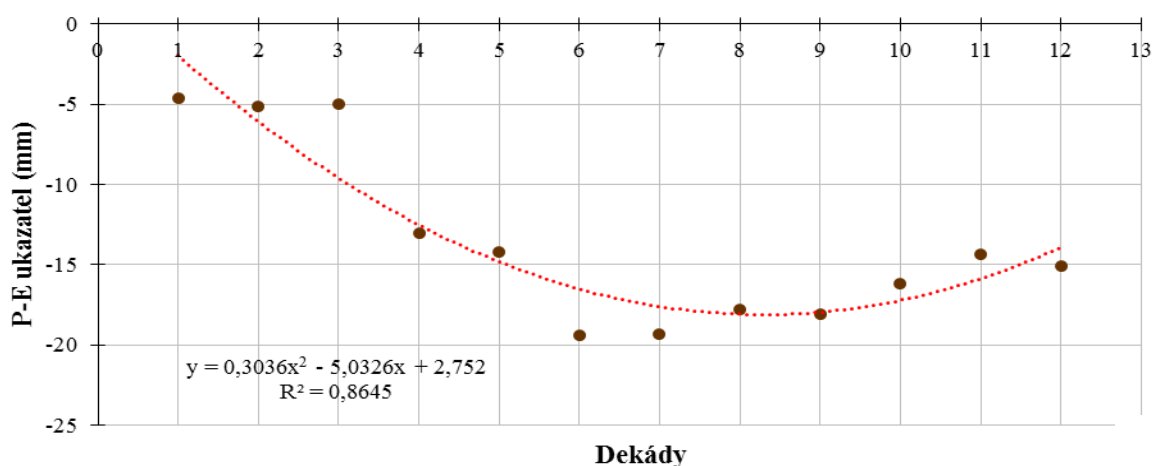
Z hlediska výnosů zrna pšenice (Tab. 2) se jeví jako nejpříznivější rok 2004, kdy bylo na 8 lokalitách dosaženo nejvyššího výnosu z celého zkoumaného období. Tento rok byl velmi příznivý i pro výnosy ječmene jarního, jak dokládá práce Mužíkové et al. (2013), i když roční hodnota ukazatele P-E dosahovala nižší úrovně (-4,65 mm). Výnosově nejméně příznivý se jeví rok 1976, kdy byl na 4 lokalitách zaznamenán nejnižší výnos za sledované období. V tomto roce ukazatel P-E dosahoval značně záporných hodnot ve většině sledovaných dekád. Průměrná roční hodnota činila -13,11 mm.

Tab. 2 Průměrné, maximální a minimální roční výnosy pšenice ozimé na vybraných stanicích za období 1971–2010

Stanice	MAX	Rok	MIN	Rok	Průměr
Brno-Chrlice	10,36	2004	3,90	1974	7,458
Čáslav-Filipov	10,92	2004	4,42	1975	7,959
Hradec nad Svitavou	10,04	2000	3,64	1976	7,058
Chrastava	9,50	2004	4,19	1977	7,288
Jaroměřice nad Rokyt.	9,60	1998	3,08	1976	7,143
Lednice	11,19	2004	2,74	1993	7,602
Lípa	10,04	1998	3,51	1972	6,447
Pusté Jakartice	9,64	1992	4,79	1972	7,402

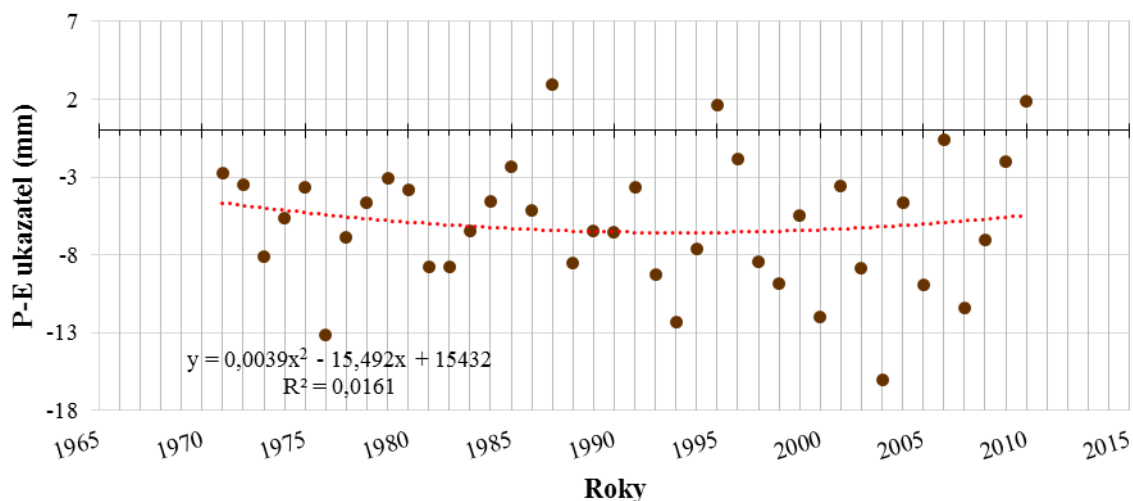
Staňkov	10,67	2004	3,67	1976	7,577
Uherský Ostroh	10,14	2004	3,83	1972	7,050
Věrovany	10,11	2004	4,10	1972	7,846
Vysoká	10,16	1996	4,18	1976	7,604
Znojmo-Oblekovice	9,75	2004	3,00	1976	6,384
Žatec	10,60	2009	1,61	1976	6,988

Nejvyšších průměrných výnosů bylo v období 1971–2010 dosaženo na lokalitách Čáslav-Filipov (ŘVO), Věrovany (ŘVO) a Vysoká (BVO). Nejnižší průměrný výnos byl zaznamenán v kukuřičné výrobní oblasti na lokalitě Znojmo-Oblekovice (6,38 t.ha⁻¹), kde se hodnota ukazatele P-E trvale udržovala v záporných hodnotách ve všech dekádách sledovaného období (Obr. 1). Nejnižší výnos pšenice byl zjištěn v řepařské výrobní oblasti na stanici Žatec (1,61 t.ha⁻¹) v roce 1976, ale také na stanici Lednice (KVO) v roce 1993 (2,74 t.ha⁻¹). Roky 1976 a 1993 byly vláhově velmi nepříznivé (s nízkou hodnotou ukazatele P-E).



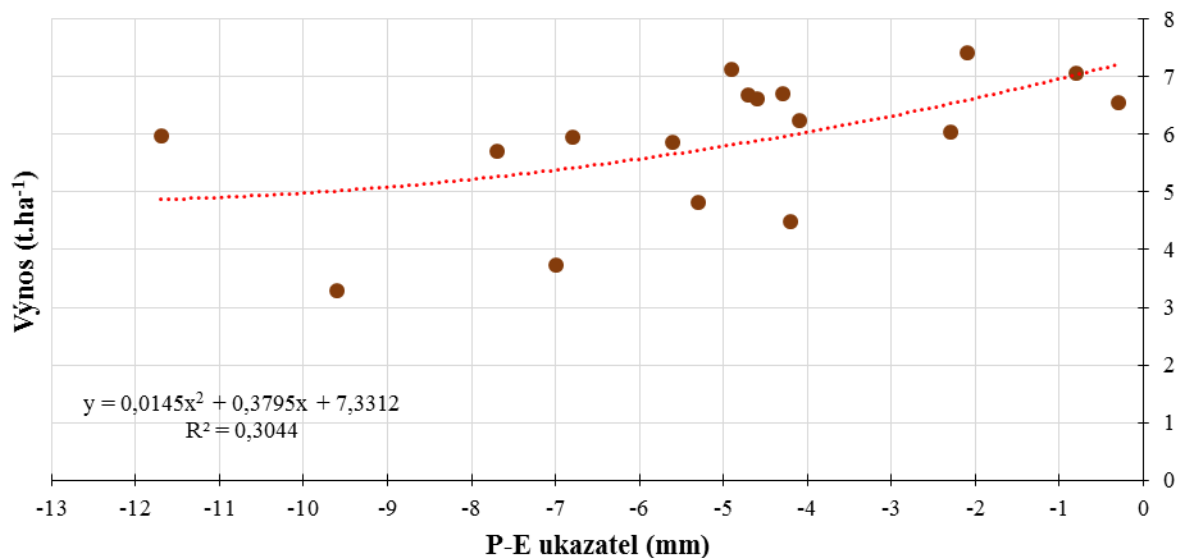
Obr. 1 Průměrné dekádní hodnoty ukazatele P-E na stanici Znojmo-Oblekovice za období 1971–2010

Obr. 2 znázorňuje průměrné roční hodnoty ukazatele P-E všech 14 stanic ÚKZÚZ, ze kterého je patrné, že ve sledovaném období se projevila převážně negativní vláhová bilance pro porosty pšenice ozimé. Je zde zřejmá fluktuace hodnot ukazatele P-E, nicméně Blinka (2004) uvádí v rámci své hodnotící studie suchých období v letech 1876–2003, že se výskyt méně intenzivních suchých období ke konci 20. století zvyšuje.

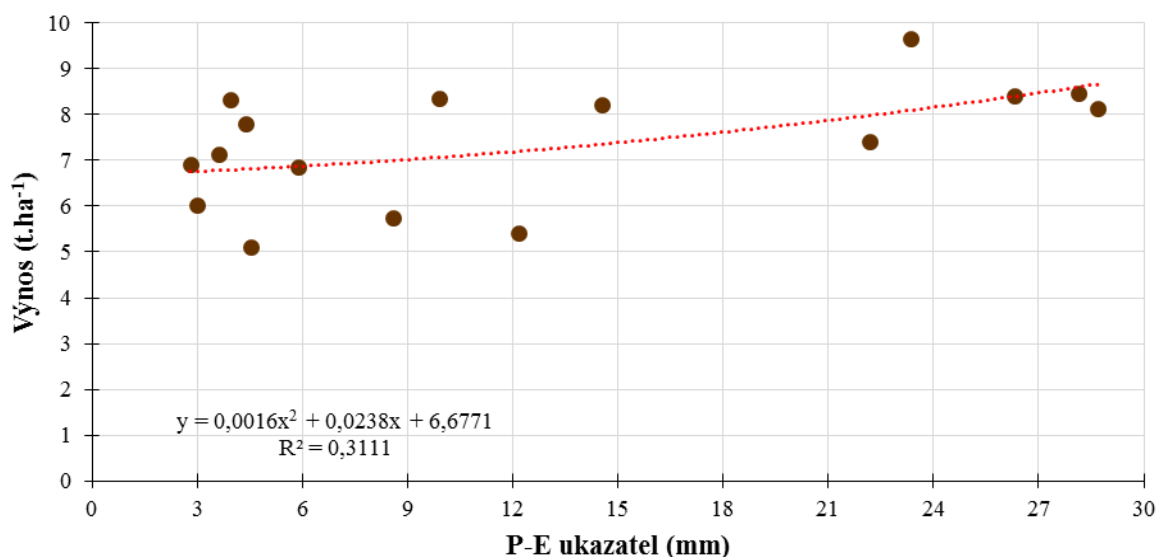


Obr. 2 Průměrné roční hodnoty ukazatele P-E napříč stanicemi (1971–2010)

Na základě průměrné roční hodnoty ukazatele P-E ze všech stanic ÚKZÚZ byly rozděleny ročníky do dvou kategorií: suché roky (P-E ukazatel < 0 mm) a mokré roky (P-E ukazatel > 0 mm), a to pro všechny sledované dekády od 61. až do 180. dne roku. U každé kategorie byly hodnoty ukazatele P-E (průměrné roční hodnoty ukazatele za dekádu) korelovány s průměrnými ročními výnosy zrna, vypočtenými ze všech stanic ÚKZÚZ. U kategorie suchých let ($n = 17$) byl zjištěn statisticky významný vztah ($\alpha = 0,05$) v první dekádě (61. až 70. den), kdy hodnota korelačního koeficientu činila $r = 0,536^*$. U kategorie mokřých let ($n = 16$) bylo dosaženo statisticky významné závislosti ve třetí dekádě (81. až 90. den) na hladině významnosti $\alpha = 0,05$, kdy hodnota korelačního koeficientu činila $r = 0,553^*$. Statisticky průkazných závislostí bylo tedy dosaženo v průběhu měsíce března (1. a 3. dekáda) ve fázi odnožování, která rozhoduje hlavně o počtu klasů (Haberle et al., 2008). Hodnoty byly vyneseny do grafu a proloženy polynomem 2. stupně s odhadem trendu. Byly získány křivky zachycující vztah mezi ukazatelem P-E a výnosem v suchých a mokřých letech (Obr. 3 a 4).



Obr. 3 Vztah ukazatele P-E a výnosu zrna pšenice ozimé v 1. dekádě v suchých letech



Obr. 4 Vztah ukazatele P-E a výnosu zrna pšenice ozimé ve 3. dekádě v mokřích letech

Závěr

Pro 14 vybraných pokusných stanic ÚKZÚZ byly vyhodnoceny průměrné, maximální i minimální výnosy pšenice ozimé za období 1971–2010. Také bylo vyhodnoceno kolísání hodnoty ukazatele P-E v kritickém období z hlediska vývoje i tvorby výnosu pšenice ozimé (61. – 180. den roku) v ČR. Byla zjištěna podstatná variabilita vláhových poměrů stanic v rámci vegetačního období sledovaných ročníků. Mezi suché ročníky (s nejnižší hodnotou

ukazatele P-E) patřily v pořadí od nejsuššího roky 2003, 1976, 1993, 2000 a 2007. Vláhově nejpříznivější ročníky byly v pořadí od nejvlhčího roky 1987, 1995 a 2010.

Vazba mezi průběhem počasí a výnosem byla prokázána na základě korelace hodnot P-E ukazatele s hektarovými výnosy pšenice ozimé. U kategorií suchých a mokrých let byly korelační koeficienty vypočítány napříč stanicemi pro jednotlivé dekády (od 61. do 180. dne roku). Byly zjištěny statisticky průkazné vztahy mezi výnosem zrna pšenice ozimé a hodnotou P-E ukazatele v 1. a 3. hodnocené dekádě (fáze odnožování). To naznačuje využití modelu AVISO a následného ukazatele P-E k modelování vlivu počasí na tvorbu výnosu pro libovolnou lokalitu v ČR.

Literatura

BLINKA, P., 2004: Klimatologické hodnocení sucha a suchých období na území ČR v letech 1876–2003. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): *Seminář: „Extrémy počasí a podnebí“*. ČHMÚ, Brno. ISBN 80-86690-12-1.

BLINKA, P., 2005: Klimatologické hodnocení sucha a suchých období na území České republiky v letech 1876–2002. *Meteorologické zprávy*, 58 (1), 10–19.

HABERLE, J., TRČKOVÁ, M., RŮŽEK, P., 2008: *Příčiny nepříznivého působení sucha a dalších abiotických faktorů na příjem a využití živin obilninami a možnosti jeho omezení*. Metodika pro praxi. VÚRV. ISBN: 978-80-87011-45-4.

HOUGH, M., PALMER, S., WEIR, A., LEE, M., BARRIE, I., 1997: *The Meteorological Office Rainfall and Evaporation Calculation System: MORECS version 2.0*. Meteorological Office Bracknell, Meteorological Office Wolverhampton, Bracknell, 82 s.

KINCL, M., KRPEŠ, V., 2000: *Základy fyziologie rostlin*. 2. vyd. Montanex, Ostrava. ISBN 80-7225-041-8.

MUŽÍKOVÁ, B., STŘEDA, T., KRMELOVÁ, P., DVOŘÁČKOVÁ, O., 2013: Výnosy ječmene setého v klimatických podmínkách České republiky. *Kvasný průmysl*, 59, 352–357.

Poděkování

Podpořeno z prostředků specifického vysokoškolského výzkumu prostřednictvím projektu Interní grantové agentury AF MENDELU 2016 (IP_18/2015).

Kontaktní adresa 1. autora:

Ing. Petra Procházková

Ústav pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství, Mendelova univerzita v Brně,

Zemědělská 1, 613 00 Brno

e-mail: petraprochazkova88@seznam.cz

Využitie indexu sucha pri modelovaní dynamiky zásob vody v pôde

Applicability of the drought index in the soil water dynamics modeling

Marek Rodný¹

¹*Ústav hydrologie SAV, Dúbravská cesta 9, 84104 Bratislava*

Abstrakt

V práci je prezentovaný alternatívny spôsob modelovania dynamiky zásob vody v pôde využívajúci len základné, ľahko a často merateľné meteorologické charakteristiky. Navrhnutý model na báze umelých neurónových sietí efektívne transformuje informácie obsiahnuté v meteorologickom indexe sucha, resp. efektívnych zrážok (Byun a Wilhite, 1999) a obdobne odvodenom indexe efektívnych teplôt na informácie o zásobách vody v pôde. V práci bolo preukázané, že tzv. hĺbková analýza údajov umožňuje z ľahko dostupných meteorologických charakteristík extrahovať aj informácie o dynamike zásob vody v pôde.

Kľúčové slová: vodný režim pôdy, umelé neurónové siete

Abstract

In the following study an alternative approach to soil water dynamics modeling is presented. Proposed methodology utilizes basic meteorological data (daily temperatures, precipitations) transformed into the drought and temperature indices (Byun a Wilhite, 1999). Presented algorithm builds upon the approximation potential of the artificial neural networks using which the information content of the retrospective meteorological indices could be transformed into the soil water dynamics. From the presented results it could be concluded that the data-mining approach could sufficiently extract the underlying relationship between the soil water dynamics and the antecedent meteorological conditions.

Keywords: soil water regime, artificial neural networks

Úvod

Pohyb vody a rozpustených látok cez zónu aerácie pôdy je kľúčovým procesom vplyvujúcim na kvalitu a kvantitu vodných zdrojov. Aj preto, v období s rastúcou početnosťou extrémnych meteorologických javov, získavajú matematické modely vodného režimu pôdy čoraz väčšie uplatnenie. Matematické modelovanie vodného režimu pôdy má svoje špecifikum v podobe komplikovanej prípravnej fázy, zahŕňajúcej spracovanie početných vstupných charakteristík

prostredia (pôdy, porastov, atmosféry) a identifikáciu tzv. okrajových a počiatkových podmienok. Špeciálne stanovovanie vlhkostných retenčných čiar a parametrov hydraulickej vodivosti pôdy predstavuje kľúčovú časť prípravnej fázy matematického modelovania (Šútor a Štekauerová, 2000; Matula et al., 2007; Tall a Kandra, 2009; Igaz et al., 2011). Metódy nahrádzajúce klasické, časovo a finančne náročné spôsoby stanovovania hydrofyzikálnych charakteristík pôdy v laboratórnych podmienkach sú síce neustále zdokonaľované, no zároveň rastie aj potenciál nových, výpočtovo náročných metód umelej inteligencie. Jednou z alternatív modelovania dynamiky obsahu vody v pôde je využitie aproximačného potenciálu umelých neurónových sietí pre „naučenie sa“ nelineárneho vzťahu medzi obsahom vody v pôde a atmosférickými vplyvmi v predchádzajúcom období. Ako vstupné parametre možno využiť napr. meteorologické charakteristiky upravené do formy retrospektívnych indexov. Indexovanie meteorologických charakteristík pomôže vniesť do výpočtu časovú dynamiku meteorológii podriadených procesov prebiehajúcich v zóne aerácie pôdy záujmovej lokality. Rôzne retrospektívne meteorologické indexy ako vstupné parametre umelých neurónových sietí vo svojich prácach využili aj Elshorbagy a Parasuraman, (2008), alebo Čistý et al., (2010). V oboch citovaných prácach je výber druhu indexov a dĺžky retrospektívneho obdobia, ktoré charakterizujú do značnej miery intuitívny a postráda systematický prístup. Tento fakt mohol negatívne ovplyvniť kvalitu dosiahnutých výsledkov vzhľadom na neadekvátne vysokú komplexitu vytvorených modelov (vysoké množstvo vstupných premenných) a následne nedokonalú kalibráciu resp. pretrénovanie dátovo riadeného modelu. Cieľom tejto práce je prezentovať možnosti simplexného modelu s čo najjednoduchším priestorom vstupných premenných.

Materiál a metódy

Návrh a preverenie metodiky dátami riadeného modelovania dynamiky zásob vody v pôde sme v práci realizovali s využitím synteticky vygenerovaných „bezchybných“ údajov. Podnetom pre využitie syntetických experimentov je fakt, že údaje z terénneho monitoringu vodného režimu pôdy sú často zaťažené rôznymi chybami (napr. priestorovou variabilitou zrážok). Ak sú údaje obsahujúce chyby použité pre štatistické vyhodnotenie novo navrhovaných metodík a postupov, dosiahnuté hodnoty odchýlok sú značne diskutabilné (Šimůnek a van Genuchten, 1996).

Údaje o vodnom režime pôdy boli získané aplikáciou z modelu HYDRUS 1D (Šimůnek et al., 2008). Meteorologické charakteristiky zo stanice Gabčíkovo, použité pri generovaní syntetických údajov, boli poskytnuté Slovenským hydrometeorologickým ústavom (SHMÚ) za obdobie rokov 2000-2010. Meteorologická stanica Gabčíkovo sa nachádza v nadmorskej výške 113 m. n. m., jej severná zemepisná šírka je 47° 53' 45'' a východná zemepisná dĺžka je 17° 33' 56''.

Vodný režim pôdy v okolí stanice Gabčíkovo bol modelovaný v dvoch variantoch (označených V1 a V2). Variant V1 predstavuje homogénny pôdny profil bez prítomnosti vegetácie. Variant V2 bol definovaný ako vrstevnatý pôdny profil s celoročnou prítomnosťou referenčného porastu trávy (albedo=0,23; výška porastu 12 cm).

Metodika prezentovaná v práci je primárne určená pre modelovanie tzv. aktívneho horizontu zóny aerácie pôdy (0-60 cm), v ktorom je zmena zásob vody v pôde kontrolovaná primárne úhrnom zrážok a evapotranspiráciou. Model využíva aproximačný potenciál metódy Support Vector Machines (SVM) pre „naučenie sa“ nelineárneho vzťahu medzi obsahom vody v pôde a atmosférickými vplyvmi v predchádzajúcom období, ktoré do modelu vstupujú vo forme retrospektívnych indexov. Kľúčovým je retrospektívny index sucha resp. efektívnych zrážok (effective precipitation, EP), ako ho definujú Byun a Wilhite, (1999). Nakoľko ide o index predchádzajúcich zrážok, pri výpočte indexu je potrebné stanoviť dĺžku obdobia, pre ktoré sa index spracováva a v rámci ktorého sa aplikuje časovo závislá redukčná funkcia (Byun a Wilhite, 1999).

$$EP = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^m H_{z_m}}{m} \right) / m \right] \quad (1)$$

Kde: EP je index efektívnych zrážok (mm), n je počet dní pre ktoré má byť index vyhodnotený (m) a H_{z_m} je zrážkový úhrn m dní pred prvým dňom zahrnutým do výpočtu indexu efektívnej zrážky EP (mm).

Uvedený vzťah je formuláciou indexu, v ktorom sú zrážkové úhrny z predchádzajúcich dní hodnoteného obdobia pripočítavané ku „celkovým vodným zdrojom v krajine“ vo forme priemernej hodnoty za m - dní, teda v prípade, že $n=3$, potom $m= [1, 2, 3]$ a následne:

$$EP_3 = [Hz_1 + (Hz_1 + Hz_2)/2 + (Hz_1 + Hz_2 + Hz_3)/3] \quad (2)$$

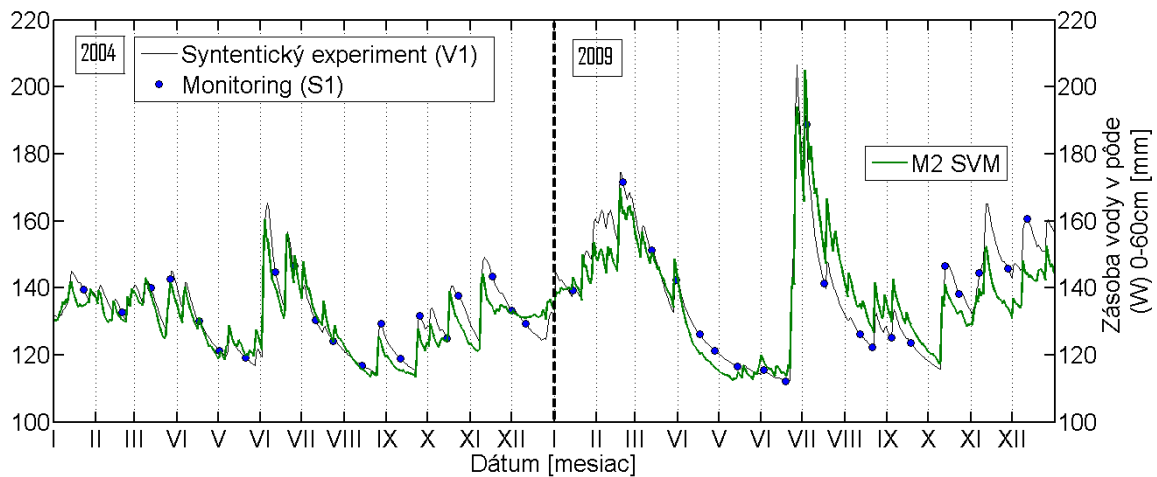
Kde: EP_3 je index efektívnych zrážok predchádzajúcich troch dní (mm) a H_{z1} , H_{z2} , H_{z3} sú zrážkové úhrny z predchádzajúcich troch dní (mm).

Aplikáciou redukčnej funkcie sa snažíme zohľadniť kumulatívne pôsobenie viacerých faktorov (topografia terénu, pôdne charakteristiky, teplota vzduchu, rýchlosť vetra, vegetácia) na stav zásob vody v systéme. Vzhľadom na charakteristický priebeh najväčšej pasívnej zložky vodného režimu pôdy je zrejmé, že aplikáciou samotnej lineárnej redukčnej funkcie charakterizujúcej rovnomerný úbytok vodných zdrojov v krajine počas celého sledovaného obdobia vnášame do modelu nepresnosť, najmä pre obdobia s vysokým fyziologickým výparom z vegetačného krytu. Z tohto dôvodu vstupuje do modelu aj index predchádzajúcich, resp. efektívnych teplôt (ET), ktorý sa vo vstupnom priestore modelu snaží interpretovať silnú závislosť evapotranspirácie od teploty vzduchu (Novák, 1995). Ak vstupné premenné dátami riadeného modelu tvorí viacero retrospektívnych indexov (zrážok, teplôt a pod.) je pravdepodobné, že doby ich retrospektívneho záberu budú vzájomne závislé. Preto ich stanovenie nie je triviálnou úlohou riešiteľnou pomocou metódy pokus - omyl. Optimálne doby trvania sumácie jednotlivých indexov však možno považovať za parametre dátami riadeného modelu dynamiky zásob vody v pôde a pre ich stanovenie možno efektívne využiť globálne optimalizačné algoritmy (napr. Vrugt a Robinson, 2007).

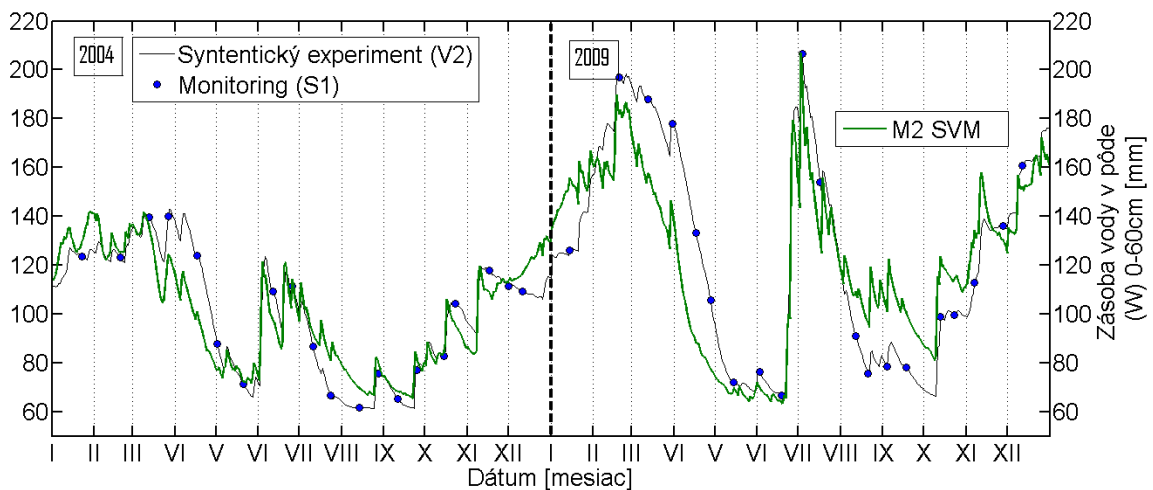
Výsledky

Pre oba varianty syntetických experimentov (V1, V2) bola tréningová množina údajov zostavená zo syntetických údajov o zásobách vody v pôde pokrývajúcich obdobie rokov 2001-2005 a 2007-2009. Roky 2004 a 2009 boli použité pre validáciu resp. nezávislé overenie generalizačnej schopnosti vytvoreného modelu. Rok 2006 absentoval v tréningovej množine z dôvodu výpadku meraní v meteorologickej stanici. Počet a termín jednotlivých syntetických „meraní“ použitých pre kalibráciu, resp. natréňovanie modelu bol totožný s

načasovaním reálne uskutočňovaného monitoringu vodného režimu pôdy na žitnom ostrove (frekvencia merania približne raz za dva týždne).



Obr. 1: Modelovanie dynamiky zásob vody v pôde s využitím metódy SVM a indexov efektívnych zrážok a teplôt s optimalizovanou dobou trvania sumácie pre variant V1



Obr. 2: Modelovanie dynamiky zásob vody v pôde s využitím metódy SVM a indexov efektívnych zrážok a teplôt s optimalizovanou dobou trvania sumácie pre variant V2

Na obrázkoch 1 a 2 možno vidieť, že s využitím optimalizačného algoritmu pre stanovenie doby sumácie oboch vstupných premenných (indexov EP a ET) bola dosiahnutá uspokojivá kvalita modelovania pre oba varianty a oba roky validačného obdobia. Dosiahnuté hodnoty odchýlok a korelačných koeficientov sú uvedené v tabuľke 1.

Tab. 1: Štatistické vyhodnotenie odchýlok modelovania dynamiky zásob vody v pôde s využitím metódy SVM a indexov efektívnych zrážok a teplôt s optimalizovanou dobou trvania sumácie pre varianty V1 a V2

	MRE	RMSE	ME	r
V1	0.032	5.600	1.562	0.937
V2	0.117	17.299	-0.739	0.888

Zatiaľ čo pri modelovaní zásob vody v homogénnom pôdnom profile bez vegetácie (V1) je odchýlka modelu viditeľná najmä pri poklesoch stavu zásob vody v pôde, pri variante V2 evidujeme takéto sporných momentov viaceré. Na základe výsledkov dosiahnutých pre variant V1 možno dedukovať, že doplnenie indexu efektívnych teplôt (ET) nedokázalo v plnej miere substituovať informačné spektrum charakteristík ovplyvňujúcich proces vyparovania vody z porastu (rýchlosť vetra, trvanie slnečného svitu, vlhkosť vzduchu, odpor prieduchov a pod.). Je pravdepodobné, že zahrnutím uvedených meteorologických charakteristík do modelu by sa mohlo dôjsť k zlepšeniu jeho predpovednej schopnosti.

Záver

Primárnym cieľom práce bolo prezentovať ľahko aplikovateľný, „umelointeligentý“ model dynamiky zásob vody v pôde využívajúci ľahko a často merateľné meteorologické charakteristiky (zrážky a teploty vzduchu). Hlavnou myšlienkou prezentovanej metodiky je využitie aproximačného potenciálu Support Vector Machines pre „naučenie sa“ vzťahu medzi dynamikou vody v pôde a atmosférickými vplyvmi v predchádzajúcom období. Pre takto koncipovanú prácu boli meteorologické charakteristiky upravené do formy retrospektívnych indexov efektívnych zrážok a teplôt. Na konečnom výsledku modelovania sa pozitívne prejavilo aj využitie optimalizačného algoritmu pre stanovenie retrospektívneho záberu (doby

trvania sumácie) oboch meteorologických indexov. Bolo tiež preukázané, že problematickou časťou modelovania dynamiky zásob vody v pôde pomocou navrhovanej metodiky sú najmä obdobia s výrazným úbytkom zásob vody. Pravdepodobnou príčinou tohto javu je, že doplnenie indexu efektívnych teplôt nedokázalo v plnej miere substituovať informačné spektrum charakteristík určujúcich proces evapotranspirácie.

Literatúra

Byun, H.R. - Wilhite, D.A.: Objective Quantification of Drought Severity and Duration, In: J. of Climate, ISSN: 0894-8755 1999, 12, 2747–2756.

Elshorbagy, A. - Parasuraman, K.: On the Relevance of Using Artificial Neural Networks for Estimating soil Moisture Content. In: Journal of Hydrology, ISSN: 0022-1694, 2008, 362, 1-18.

Čistý, M. - Štekauerová, V. - Suchár, M. (2010): Model Pre Interpoláciu Vlhkosti Pôdy na Báze Podporných Vektorov pre Lokalitu Báč. In: Acta Hydrologica Slovaca, ISSN: 1335-6291, 2010, 11, 126 – 134.

Igaz, D. et al.: Analýza Hydrofyzikálnych Charakteristík Pôd v Povodí Rieky Nitra. In: Gomboš, M., Pavelková, D., Tall, A. (eds): 18. slovensko - česko - poľský vedecký seminár Fyzika vody v pôde, Michalovce, Vinianske jazero, 2011, ISBN 978-80-89139-23-1, 141-150.

Matula, S. -Mojrová, M. - Špongrová, K.: Estimation of the Soil Water Retention Curve (SWRC) Using Pedotransfer Functions (PTFs). In: Soil and Water Research. 2007, 2, 2007, 113-122.

Novák, V.: Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania. Veda, Bratislava, 1995, ISBN: 80-224-0409-8, 253s.

Vrugt, J.A.- Robinson, B.A.: Improved Evolutionary Optimization from Genetically Adaptive Multimethod Search. In: Proc. Natl. Acad. Sci, ISSN: 1091-6490, 2007, 104, 708–711.

Šimůnek, J. et al.: The Hydrus-1D Software Package for Simulating the Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably Saturated Media, Version 4.0, HYDRUS Software Series 3, Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, California, USA, 2008, 315 s.

Šimůnek, J., van Genuchten, M. Th.: Estimating unsaturated soil hydraulic properties from tension disc infiltrometer data by numerical inversion, Water Resour. Res., ISSN: 0043-1397, 1996, 32, 2683–2696.

Šútor, J. - Štekauerová, V.: Hydrofyzikálne Charakteristiky Pôd Žitného Ostrova. Bratislava: Ústav hydrológie SAV, 2000, ISBN 80-968480-1-1, 163 s.

Tall, A.- Kandra, B.: Spoľahlivosť TDR Metódy pre Meranie Pôdnej Vlhkosti vo Vzťahu ku Gravimetrickej Metóde. In: Acta Hydrologica Slovaca, ISSN: 1335-6921, 2009, 10, 55-60.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla s podporou projektu VEGA 2/0013/15 a realizáciou projektu ITMS 26240120004 Centrum excelentnosti integrovanej protipovodňovej ochrany územia na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Kontakt:

Ing. Marek Rodný, PhD.

Ústav hydrológie SAV

Dúbravská cesta 9

841 04 Bratislava

Slovensko

e-mail: rodny@uh.savba.sk, tel: +421232293518

Zemědělské sucho, jeho výskyt a hodnocení

Occurrence and Assessment of Agricultural Drought

Jaroslav Rožnovský^{1,2}, Mojmír Kohut¹, Filip Chuchma¹,

¹ Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno

² Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Valtická 337, 691 44 Lednice

Abstrakt

Výskyt sucha v roce 2015 opětovně upozornil na tento stále častěji se opakující jev, zvláště sucho zemědělské. Sucho je projevem našeho velmi proměnlivého podnebí, ale s časově rozdílným výskytem, jde o sucho nahodilé. Pro kvalifikované hodnocení sucha je nutná podrobná znalost našeho podnebí. Český hydrometeorologický ústav se v rámci agrometeorologických služeb věnuje sledování sucha mnoho desítek let a na svých webových stránkách uvádí soubor údajů ve složce „Monitoring sucha“. Výskyt a hodnocení sucha je prováděno pomocí modelů AVISO, a to v denním intervalu zpracování. Ukazatelem sucha je potom základní vláhová bilance, stanovená jako rozdíl atmosférických srážek a potenciální evapotranspirace travního porostu. Jak dokládají hodnoty základní vláhové bilance v letech 2000, 2003, 2012 a 2015, nedostatek vody v naší krajině může představovat až 300 mm koncem vegetačního období daného roku. Na základě dlouhodobých hodnot vláhové bilance byly vymezeny jednotlivé katastry s mimořádným a vysokým rizikem ohrožení zemědělským suchem.

Klíčová slova: podnebí, srážky, evapotranspirace, monitoring sucha, agrometeorologické služby, vláhová bilance

Abstract

Drought in 2015, in particular the agricultural drought, yet again reminded us of this still more and more frequently occurring phenomenon. Drought is especially a result of the very variable climate of the Czech Republic, but with a random occurrence. In-depth knowledge of Czech climate is required for making qualified assessments of drought. The Czech Hydrometeorological Institute has been monitoring drought as part of its agrometeorological services for several decades and this information is now available on the official website in the Drought monitoring section. Occurrence and assessment of drought is performed using the

AVISO model and processed in daily intervals. The drought indicator used is the basic moisture balance determined as the difference between atmospheric precipitation and potential evapotranspiration from grassland. Looking at the basic water balance data from recent years 2000, 2003, 2012 and 2015, it is apparent that the deficiency of water in the Czech landscape can be as high as 300 mm by the end of the vegetation period of the particular year. Regions with particularly high risk of agricultural drought were defined based on long-term values of water balance.

Key words: climate, precipitation, evapotranspiration, drought monitoring, agrometeorological services, moisture balance

Úvod

Projevy mimořádného sucha v roce 2015 způsobily, že se nejen mnoho odborníků, ale i vláda o tento velmi nebezpečný projev počasí začala zajímat. Ovšem sucho je typickým projevem našeho podnebí. Jeho proměnlivost na území České republiky způsobuje, že máme roky s povodněmi, ale i se suchem (Rožnovský, Kohut 2004). A právě jeho výskyty jsou v posledních letech častější. Rozsáhlá sucha byla v roce 2000, 2003 a také v roce 2012. Přitom se v dalších letech vyskytovalo na menších územích, např. roce 2007 na jižní Moravě. Je to dáno mimořádně nízkým úhrnem srážek a dlouhým, několikátýdenním bezesrážkovým obdobím (Brázdil, R., Štěpánek, P., 2000). Musíme si také uvědomit, že pouze meteorologické hodnocení může mnohdy daným formálním přístupem (např. hodnocením pouze podle kalendářních měsíců nebo podle určitých statistických hodnot apod.) vyjádřit poměry v krajině až se zavádějícím výsledkem.

Na našem území se sucho projevuje většinou jako jev nahodilý. Vyskytuje se nepravidelně v období podnormálních až výrazně podnormálních srážek s trváním od několika dní až po extrémně několik měsíců. Výskyt zemědělského sucha je dán průběhem a dynamikou vlhkosti půdy, která je ovlivněna druhem půdy, jejím zpracováním a pochopitelně pěstovanou plodinou. K hodnocení sucha obecně (tedy včetně sucha zemědělského) je ve světě i u nás aplikováno velké množství různě složitých výpočetních metod, přičemž některé z nich pracují pouze s meteorologickými prvky (především se srážkami a teplotami vzduchu), jiné zohledňují i půdní poměry, avšak většinou pouze modelově. Český hydrometeorologický ústav (dále jen ČHMÚ) vychází z meteorologických databází a zpracovává mimo jiné i rozsáhlou škálu podkladů k vyhodnocení sucha.

Materiál a metody

Základním podkladem pro hodnocení podnebí byl Atlas podnebí Česka (2007) a popis podnebí (Rožnovský, 1999). Hodnocení sucha nejčastěji v podkladech ČHMÚ pro území ČR vychází z relativně jednoduchého principu vzájemného srovnání srážek (SRA) s údaji evapotranspirace travního porostu. Jde o základní vláhovou bilanci vody v krajinném prostředí, kde základní příjmovou složku tvoří srážky, naopak základní výdejovou potenciální evapotranspirace (výdej vody půdním a rostlinným pokryvem). Pro výpočet potenciální evapotranspirace byly použity vybrané algoritmy (metodika Penman-Monteith) agrometeorologického modelu AVISO („Agrometeorologická výpočetní a informační soustava“), který je českou variantou analogického anglického modelu MORECS („The Meteorological Office Rainfall and Evaporation Calculation System“). Výpočty jsou provedeny pro travní porost, jenž tvoří povrch u všech klimatologických stanic.

Do výpočtů výdejové složky oběhu vody v krajině (evapotranspirace travního porostu) vstupují: průměrná denní teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$], průměrný denní tlak vodní páry [hPa], doba slunečního svitu za den [h], průměrná denní rychlost větru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]. Pro výpočet vláhové bilance jsou využity denní úhrny srážek [mm].

Podnebí České republiky

Nemůžeme provádět vhodná opatření ke zmírnění negativních dopadů změn klimatu na našem území, pokud toto dobře neznáme. Naše podnebí je limitováno polohou, jsme součástí mírného klimatického pásu, ovšem v oblasti přechodného klimatu středoevropského (Kolektiv autorů 1958). Významnou roli sehrávají cirkulační a geografické poměry. Po převážnou část roku u nás převládá vzduch mírného pásma, ale na našem území se projevuje v krátkých obdobích vzduch tropický ale také vzduch arktický. Kontinentalita na Moravě a ve Slezsku je oproti Čechám vyšší. Z geografických podmínek mají vliv naše hory, které vytvářejí tzv. klimatické přehradu, kdy zčásti zabraňují vpádům studeného vzduchu od severu více v Čechách, ale vzhledem k západnímu proudění vyvolávají dešťový stín. Významnou roli pro naše počasí má cyklonální činnost, která ovlivňuje přechody atmosférických front přes naše území, a tím výskyt srážek (Tolasz et al. 2007).

Teplotní poměry našeho území lze velmi jednoduše charakterizovat dlouhodobou průměrnou roční teplotou vzduchu, která se pohybuje od 0°C (vrcholové polohy) až po 10°C na jižní Moravě. Nejvyšší maximum teploty vzduchu na území ČR bylo naměřeno 20. 8.

2012 v Dobřichovicích, a to 40,4 °C. Nejnižší minimum teploty vzduchu, mínus 42,2 °C se vyskytlo v Litvínovicích u Českých Budějovic 11. února 1929. V průměru je nejchladnějším měsícem roku leden, nejteplejším měsícem červenec. Teplotní suma průměrných denních teplot vzduchu rovných a vyšších než 10 °C je v nejteplejších oblastech vyšší než 3100 °C, v okrajových oblastech pro zemědělství je to 1600 °C. Z analýzy průměrných ročních a měsíčních teplot vzduchu za období 1961 až 2010 vyplývá, že teploty vzduchu na našem území rostou (Střeštík et al., 2014a).

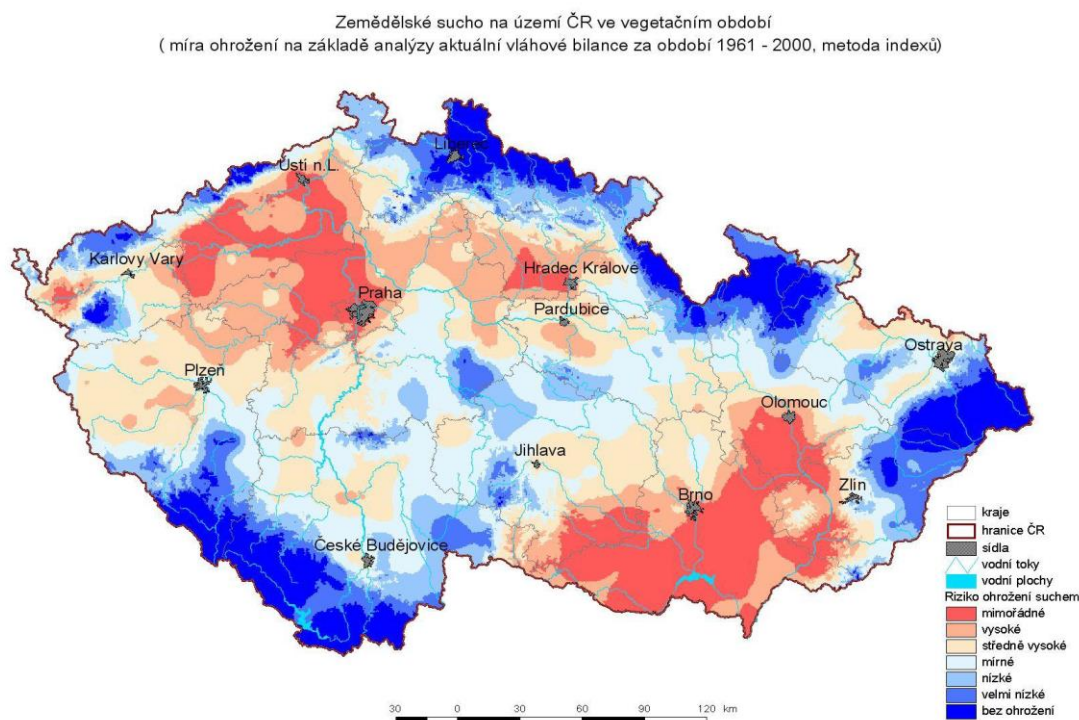
Úhrny srážek jako jediný zdroj vody na našem území se vyznačují velkou časovou i místní proměnlivostí s vysokou závislostí na nadmořské výšce a expozici vzhledem k převládajícímu proudění. Nejnižší dlouhodobé roční průměrné úhrny srážek se vyskytují v okolí Žatce, kdy tento úhrn činí 410 mm. Podle ročních období má nejvyšší průměrné úhrny srážek léto (kolem 40 %), dále jaro (25 %), podzim (20 %) a zima (15 %). Měsíční maxima v mimořádně vlhkých měsících mohou překročit i více než 500 % příslušného měsíčního průměru. Denní maxima v jednotlivých měsících překračují měsíční průměr pro dané místo. Počet dnů se srážkami 1 mm a více je průměrně za rok v suchých oblastech přes 90, v horských, nejvlhčích oblastech, skoro 190. Letní maximum souvisí s výskytem bouřkových lijáků. Průměrně je u nás v roce kolem 25 bouřek, přitom nejméně jich je v nížinách, ale s nadmořskou výškou jejich počet stoupá.

Výskyt sněhové pokrývky je velmi nepravidelný. V jižních částech se v některých letech souvislá sněhová pokrývky takřka nevyskytuje. V průměru se maximální výška sněhové pokrývky pohybuje od 15 cm v nížinách do 200 cm na horách. Průměrný počet dnů se sněžením činí v nížinách kolem 40, na horách dosahuje až 110 dnů.

Z analýzy měsíčních srážkových úhrnů za období 1961 až 2012 (Střeštík et al., 2014b) vyplývá, že srážkové úhrny slabě rostou, ale projevuje se silné kolísání z roku na rok. Pro průměry za celou republiku činí tento procentuální vzrůst 5,9 %.

Protikladem srážek je výpar. Skutečný celkový výpar z porostů a půdy, tedy reálná evapotranspirace, dosahuje v teplých oblastech 400 až 450 mm, největší je ve středních výškách, málo přes 500 mm, a v nejvyšších polohách činí méně než 350 mm. Výpar z vodní hladiny se pohybuje v rozmezí 520 až 760 mm. Ovšem potenciální evaporace či evapotranspirace činí v jižních oblastech až 700 mm. Pro tyto oblasti je potenciální roční vláhová bilance, vyjádřená jako rozdíl mezi úhrnem srážek a potenciální evapotranspirací,

slabě záporná s hodnotami do -100 mm (Rožnovský, Kohut 2004). Mapu míry ohrožení zemědělským suchem ve vegetačním období za roky 1961–2000 uvádí obr. 1.



Obr. 1: Mapa míry ohrožení zemědělským suchem ve vegetačním období za roky 1961–2000 (ČHMÚ 2010).

Výsledky a diskuse

Jak vyplývá z klimatologických klasifikací našeho podnebí sucho je v podstatě typické pro naše nejteplejší oblasti. Za suché oblasti na území ČR považujeme ty, kde normálový či za delší období průměrný roční úhrn srážek nepřesáhne 550 mm. Je ovšem rozdíl mezi suchem z pohledu klimatologického a např. zemědělského. Toto suchu nevyjadřuje jen nedostatek srážek v daném časovém období, ale také obsah vody v půdě. Hospodářsky významné bylo sucho v letech 2000, 2003, 2012, na jaře 2014 a také v roce 2015. Jde o roky klimatologicky hodnocené jako velmi teplé, některé měsíce potom jako mimořádně teplé. Například za období leden až září roku 2003 bylo na většině území ČR naměřeno méně než

500 mm srážek, což není ani 80 % průměrné hodnoty, velká část území zaznamenala méně než 60 % průměrného úhrnu srážek.

Většinou je srážkový deficit ve vegetačním období doprovázen nadnormálními až extrémně nadnormálními teplotami vzduchu, nižší relativní vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a větším počtem hodin slunečního svitu. Logicky jsou vyšší hodnoty evapotranspirace z pozemků. Mimořádně důležité je, že výskyty sucha jsou stále častější a mohly by dále být, jak dokládají výsledky klimatologických modelů. Na ČHMÚ byly vypracovány podrobné studie o výskytu sucha v letech 2000, 2003, 2007 (oblast jižní Moravy), 2012, 2013, 2015. Jako příklad uvádíme hodnocení výskytu sucha v roce 2012, rok 2015 je v samostatném článku (Fiala et. al., 2016).

Zemědělské sucho roku 2012

V průběhu roku 2012 bylo možno sledovat velmi intenzivní projevy sucha v rámci území ČR. Ve většině níže položených oblastí docházelo již během dubna a poté hlavně začátkem května k poklesu hodnot vláhové bilance, což souviselo s výraznou převahou výparu (evaporace, evapotranspirace) nad úhrny srážek. S tím souviselo i postupné snižování zásoby využitelné vody v půdním profilu, kdy v níže položených oblastech tyto hodnoty postupně klesaly pod 50 % využitelné vodní kapacity. Během května pak tento trend pokračoval a následoval razantní propad vláhově-bilančních hodnot, kdy na většině území ČR v týdenních úhrnech byla negativní bilance srážek a výparu (až kolem -30 mm). Velmi intenzivně byly suchem zasaženy oblasti Polabí, Poohří, ale zvláště pak většina území jižní Moravy.

Kumulativní hodnoty potenciální vláhové bilance počítané od 1.1.2012 ke konci května se pohybovaly na hranici -100 mm a místy klesaly i pod -150 mm. Zde se už dá hovořit o vysoce negativní vláhové bilanci, resp. o výskytu mimořádného sucha. Tento nepříznivý stav měl velmi negativní vliv na zemědělské plodiny. Ve srovnání s dlouhodobými poměry byla vláhová bilance ke konci května téměř na celém území ČR o více jak 50 mm, v nejméně postižených oblastech až o 150 mm nižší. Na většině území byla negativní vláhová bilance ještě koncem září a místy překračovala hodnoty mínus 200 mm.

Na výskytu sucha v roce 2012 je možné doložit, že kalendářní hodnocení není pro bioklimatologická hodnocení nejvhodnější. Dokladem je vyhodnocení období srpen 2011 až květen 2012 (obr. 2). Ukázalo se, že nízké hodnoty srážkových úhrnů v některých oblastech,

především na území jižní a jihovýchodní Moravy, dosaženy pouze jednou za sto let. Pro zbytek Moravy je doba opakování nízkých srážkových úhrnů ve sledovaném období příznivější, takto nízké hodnoty nejsou dosaženy maximálně jednou za 10 let. V oblasti Čech tak vysoké extrémy zaznamenány nebyly. Většina území Čech měla za zkoumané období nízké srážkové úhrny překračovány za méně než pět let (Rožnovský et. al. 2012).

Z provedených analýz výskytu zemědělského sucha na našem území vyplývá, že je nedostatečné hodnocení pouze vegetačního období daného roku, tedy měsíce duben až září, případně říjen. Pro objektivní posouzení růstových a vývojových podmínek zemědělských plodin, hlavně přezimujících, např. pšenice ozimé, je nutné posoudit celé jejich vegetační období, a proto volit období září 2006 až srpen 2007. Jak potvrzují výsledky výzkumu, sehrávají významnou roli již podmínky při setí.

Pro další zpřesnění výskytu zemědělského sucha je nutné zahrnout podrobnější současné podklady o půdách. Ze srovnání našich výsledků o výskytu sucha a stavu porostů vyplývá, že reálný výskyt sucha v zemědělských porostech je významně ovlivněn agrotechnikou z dlouhodobého pohledu.

Výskyt sucha ovlivní prokazatelné změny v trendech meteorologických prvků:

- roste dynamika teplot vzduchu, nárůst teploty vzduchu je rozdílný v jednotlivých ročních obdobích, když nejvíce se teplota zvyšuje v létě, a tím se zvyšuje také evapotranspirace,
- díky vyšším teplotám se nejen prodlužuje vegetační období, ale jsou dřívější nástupy fenofází rostlin,
- průměrné roční srážkové úhrny vykazují velmi výraznou meziroční proměnlivost a dochází k redistribuci měsíčních srážkových úhrnů během roku,
- v souvislosti s rostoucí variabilitou srážek se vyskytují delší bezesrážková období a v posledních desetiletích roste počet období s výskytem sucha,
- počet dní se sněhovou pokrývkou 1 cm a více je meziročně značně proměnlivý jak v nižších, tak i vyšších polohách, nicméně v posledním padesátiletí jejich počet zejména v souvislosti s nárůstem průměrné teploty klesá. Takto dochází ke zvyšování teploty v zimním období a výskytu výparu

Závěr

Výskyty a hodnocení sucha obecně, zvláště zemědělského, vyžaduje co nejpodrobnější kvalitní měření meteorologických prvků a využití nejnovějších technologií pro plošné vyjádření teplotních a vláhových poměrů v naší krajině. Na území České republiky dochází ke zvyšování teploty vzduchu, což je doloženo podrobnými statistickými analýzami, naopak výskyt srážek sice mění svou dynamiku, ale úhrny se statisticky prokazatelně nemění, což je jednoznačným dokladem pro odhad zvýšeného výskytu sucha.

Navíc nesmíme zapomínat, že jednotlivé meteorologické prvky, jako např. teploty vzduchu nebo úhrny srážek, jsou součástí klimatického systému a v určitém pohledu mají synergický účinek. Rostoucí teplota vzduchu je jednoznačným dokladem, že poroste i celkový výpar, tedy evapotranspirace apod. Ale protože tato možnost je, musíme hledat v rámci předcházení výskytům sucha metody zastavení rostoucí teploty vzduchu.

Z dosažených výsledků vyplývá, že na našem území by se mohly významně snižovat hodnoty vláhové bilance, a to znamená zvyšováním jak intenzity, tak četností výskytu sucha. Určitě velkým problémem bude snižování obsahu vody v půdě, na něž však působí i další vlivy, nejen průběh počasí. Je prokázáno, že na nekvalitních či erodovaných půdách mají extrémní projevy počasí negativnější dopady než na půdách s vyšším obsahem humusu, s vysokou retenční kapacitou apod. (Vopravil et al. 2010). Nelze však hodnotit výskyt zemědělského sucha samostatně, ale jako součást oběhu vody v naší krajině, protože je jednoznačná návaznost se suchem hydrologickým. Jeho extrémní stavy budou limitující pro zajištění dostatku vody pro hospodářství, ale i zásobování obyvatel vodou.

Je také nutné zdůraznit nezastupitelnou roli výzkumu nejen v oblasti meteorologie, klimatologie a bioklimatologie, ale také v dalších oborech.

Poděkování

Příspěvek vychází z výsledků projektu QH92030 (NAZV) „Hodnocení půd z hlediska jejich produkčních a mimoprodukčních funkcí s dopady na plošnou a kvalitativní ochranu půd České republiky“.

Literatura

- BRÁZDIL, R., ŠTĚPÁNEK, P. (2000): Hodnocení extremity řad měsíčních úhrnů srážek. Výzkumná zpráva projektu VaV/740/1/00: Výzkum dopadu klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na Českou republiku, Brno, 20 s.
- BROHAN, P., KENNEDY J. J., HARRIS I., TETT S. F. B., JONES P. D. (2006): Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *J. Geophys. Res.* 111, D12106, doi: 10.1029/2005JD006548.
- KOLEKTIV AUTORŮ (1958): Atlas podnebí Československé republiky. Ústřední správa geodézie a kartografie, Praha.
- KYSELÝ, J., KAKOS, V., POKORNÁ, L. (2003): Povodně a extrémní srážkové úhrny v ČR a jejich časová proměnlivost. In *Bioklimatologické pracovné dni. Funkciaenergetickej a vodnejbilanciev bioklimatologických systémoch, Račková Dolina, 2.-4.9.2003*. Ed. Šiška, B., Igaz, D., Mucha, M. SPU v Nitre, Nitra, s. 6.
- ROŽNOVSKÝ et. al. Agroklimatologická studie o výskytu sucha na území ČR v roce 2012 a za období srpen 2011 až srpen 2012. Zpráva pro Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Brno 202, 67 s.
- ROŽNOVSKÝ J., KOHUT M. (2004): Drought 2003 and Potential Moisture Balance. - *Contributions to Geophysics and Geodesy* 34: 195-208.
- ROŽNOVSKÝ, J. *Klimatologie*. Brno, MZLU 1999, 146 s.
- SMITH I. M. (1993): CO₂ and climatic change: An overview of the science. *Energy Conversion and Management* 34, 739-735.
- STŘEŠTÍK J., ROŽNOVSKÝ J., ŠTĚPÁNEK P., ZAHRADNÍČEK P. Změna ročních a sezonních srážkových úhrnů v České republice v letech 1961-2012 . In: *Extrémy oběhu vody v krajině*, Mikulov, 2014b. (CD-ROM).
- STŘEŠTÍK, J., J. ROŽNOVSKÝ, P. ŠTĚPÁNEK a P. ZAHRADNÍČEK. Increase of annual and seasonal air temperatures in the Czech Republic during 1961-2010. In: ROŽNOVSKÝ, J. a T. LITSCHMANN eds. *Mendel and Bioclimatology. Conference proceedings*, Brno, 3rd-5rd Sep. 2014[CD-ROM]. Brno: 2014. ISBN 978-80-210-6983-1.
- STŘEŠTÍK, J., J. ROŽNOVSKÝ, P. ŠTĚPÁNEK a P. ZAHRADNÍČEK. Změna hodnot dešťového faktoru na síti stanic v ČR v období 1961-2010. In: ROŽNOVSKÝ, J. a T. LITSCHMANN eds. *Závlahy a jejich perspektiva – sborník abstraktů z mezinárodní*

konference Mikulov, 18.-19.3.2015. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2015. ISBN 978-80-87577-47-9.

TOLASZ, R., et al. (2007): Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1 (CHMI), 978-80-244-1626-7 (UP).

VOPRAVIL, J. et al. (2010): Půda a její hodnocení v ČR. Díl I. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha, 2. vydání, 147 s. ISBN 978-80-87361-05-4.

Kontakt:

RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc.

Český hydrometeorologický ústav

Kroftova 43, 616 67 Brno

telefon: 724185617 e-mail: roznovsky@chmi.cz, roznov@mendelu.cz

Erozní charakteristiky půd při proměnlivých počátečních podmínkách experimentálního vzorku

Erosion characteristics at varying initial conditions of the experimental soil sample

Pavla Schwarzová¹ Tomáš Laburda¹, Adam Tejk1¹, Ondřej Pavlík¹

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství¹

Abstrakt

Laboratorní dešťový simulátor ČVUT již od roku 1999 testuje erozní charakteristiky obhospodařovaných půd ČR a postupně vzniká „Katalog testovaných půd ČR v experimentálních podmínkách Laboratorního dešťového simulátoru ČVUT“. Řada veličin je sledována v závislosti na proměnných podmínkách experimentu, jako jsou: sklon půdního povrchu 0 - 8°, intenzity deště 40-60 mm/h, různé počáteční vlhkosti vzorku a stav půdního povrchu (míry vývoje půdní krusty). Vývoj povrchového odtoku, půdního smyvu a infiltrace jsou sledovány v konstantních intervalech během 60minutových simulací na půdním vzorku 0,9 x 4 x 0,15 m. Získaná data poskytují detailní popis chování půdy z hlediska povrchového odtoku a půdního smyvu a názorně ukazují vliv vysychání půdního vzorku nebo jeho nakypření na počátek formování povrchového odtoku a celkové ztráty půdy během srážky.

Klíčová slova: eroze, povrchový odtok, sucho, ztráta půdy, laboratorní

Abstract

Laboratory rainfall simulator at the CTU in Prague has been used for testing water erosion on agriculture soil samples and for developing „Catalogue of experimentally tested soils at the Laboratory Rainfall Simulator CTU“. Within this research large datasets were collected, the most important data include mainly progression of surface runoff and soil loss that give the clearest information about the behaviour of soils during extreme precipitation events. Other test parameters include total soil loss, infiltration, velocity of surface runoff and initial and final moisture content of soil sample. Experiments usually last 60 minutes and are done at the soil sample of 0,9 x 4 x 0,15 m. Results give us knowledge about how drying or tilling soil surface affect surface runoff and soil loss.

Keywords: erosion, surface runoff, drought, soil loss, laboratory

Úvod

Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT Praha se již cca 10 let významně specializuje na výzkum vodní eroze. Kromě dvou funkčních experimentálních povodí pro měření erozních a srážkoodtokových veličin v přírodních podmínkách (Býkovické povodí - Třebešice, založeno 2007) a (Nučice 2011) má ještě dva dešťové simulátory - laboratorní (zkonstruován 1999) a terénní (pořízen 2010) [1]. Všechny tyto experimentální plochy testují zejména zemědělskou půdu, nechráněnou vegetačním krytem v průběhu celého roku, kdy se vodní eroze rozvíjí nejvíce. Pomineme-li počáteční těžkosti při uvádění unikátních experimentálních zařízení do provozu, je měřeno a zpracováváno velké množství experimentálních erozních a srážkoodtokových dat.

Tato data samozřejmě zahrnují i podmínky půdního sucha, neboť poslední tři kalendářní roky již znatelně nesou rysy klimatické změny. Dlouhá bezdeštná období s letními (nad 25 °C) a tropickými (nad 30 °C) teplotami jsou řídce střídána srážkami, spíše s vysokou intenzitou přivalových dešťů (nad 30 mm/h), nebo naopak obdobími delších regionálních dešťů. Obojí má výrazný dopad na zemědělskou půdu. Na jednotlivých stanovištích se proto sledují data vlhkostí půdních profilů, množství kumulovaného povrchového odtoku z přirozených nebo umělých srážek, množství půdního smyvu a na povodích i průtoky v tocích - recipientech.

Materiál a metody

Experimentální výzkum eroze půdy je prováděn i na Laboratorním dešťovém simulátoru (dále jen LabDS), který se nachází na Fakultě stavební ČVUT ve Vodohospodářském experimentálním centru v budově D. Jedná se o tryskový dešťový simulátor typu „Norton Ladder“ s překlápěcími tryskami VeeJeet a pádovou výškou kapky 2,43 m. Zařízení bylo zkonstruováno v roce 1999 z komponentů dodaných z USA na základě podobného simulátoru univerzity BOKU ve Vídni a v USA [2].



Obr. 1 Laboratorní dešťový simulátor KHMKI, ČVUT

Půdy pro testování na LabDS jsou odebírány podle Metodiky odběrů vzorků [3] většinou v letních měsících, a vlastní testování probíhá v souladu s akademickým rokem přibližně od října do května (tzv. měřící set). Cílem jednotlivých setů je otestovat různé druhy zemědělských půd ČR a jejich chování při vyšších intenzitách deště, odpovídajících přívalovým srážkám. Zařízení laboratorního dešťového simulátoru umožňuje přesné nastavení intenzity deště v rozmezí 20 - 60 mm/hod a podélného sklonu sklopného žlabu se vzorkem v rozmezí 0° - 8°. Testován je též různý stav půdního povrchu. Ten se ponechává buď beze změny, s vytvořenou krustou po předchozí simulaci (testování probíhá v týdenních intervalech, tedy týdenní vysychání v podmínkách velké laboratorní haly), nebo se kypří do hloubky cca 5 cm (adekvátní agrotechnickým podmínkám setí). Při simulacích trvajících standardně 60 minut se sleduje a zaznamenává počátek, průběh a rychlost povrchového odtoku, jeho forma (plošný nebo soustředěný), průběh půdního smyvu a finálně se počítá i celková ztráta půdy za 60 minut simulovaného deště. Dalšími veličinami, které se vždy zaznamenávají, jsou vlhkost půdního vzorku na začátku a konci simulace, kontrolní intenzity simulovaného deště po skončení měření, teplota v hale a případně i doplňková srovnávací měření pro potřeby terénních experimentů (stanovení zrnitosti půdního smyvu, obsah fosforu v povrchovém odtoku atd.).

Z hlediska charakteristiky testovaného vzorku půdy umístěného v erozním kontejneru se jedná o porušený, konsolidovaný vzorek ornice, velikosti 4 x 0,9 m, mocnosti 15 cm, pod nímž je 5 cm spodní drenážní vrstva písku pro etážové měření infiltrace. Podrobný popis uvádí [2]. Do současné doby (1999 – 2016) bylo na LabDS provedeno měření již 11 půdních setů s celkovým počtem 275 převážně 60-minutových experimentů (viz tab. 1). Všechna tato data, měřená v průběhu 14 let, jsou součástí bakalářských, diplomových a disertačních prací, které jsou od roku 2000 soustavně vypracovávány. Během všech simulací bylo podrobně

vyhodnoceno okolo 12 000 dílčích půdních vzorků, které se pokouší analyzovat a zobecnit erozní chování testovaných půd. [4]. V akademickém roce 2015/2016 pokračuje měření na 12. půdním setu, zemina hlinitá z lokality Nové Strašecí.

Tab. 1 Základní fyzikální vlastnosti dosud testovaných půd na DS KHMKI

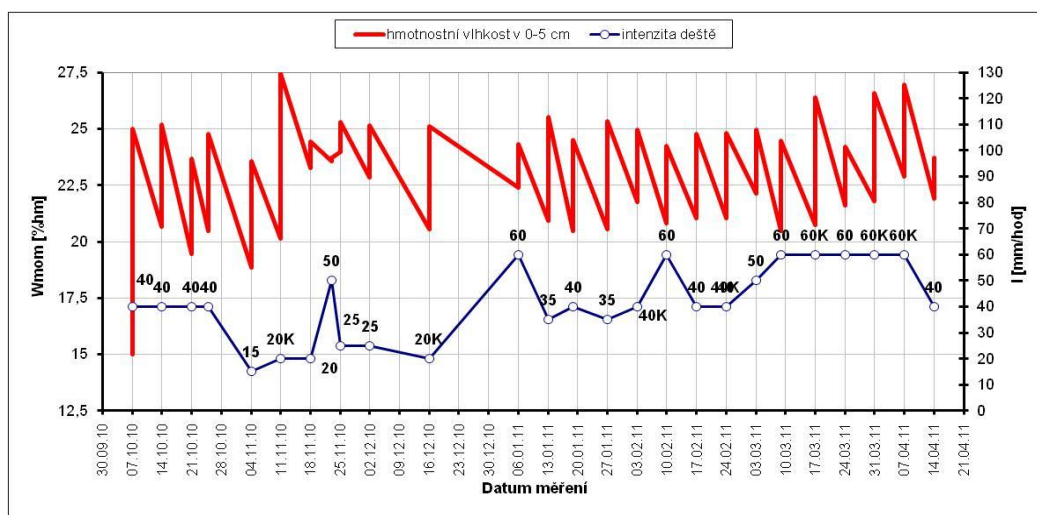
Číslo	název/ lokality	rok testování	počet experimentů	klasifikace dle Nováka			
				jíl [%]	prach [%]	písek [%]	půdní druh
1	Horoměřice	2002/4	25	25	58	17	jílovitohlinitá
2	Třebsín I	2004/6	22	5	60	35	písčitohlinitá
3	Neustupov	2006/7	14	4	41	55	hlinitopísčítá
4	Klapý	2007/8	25	30	54	16	jílovitohlinitá
5	Třebsín II	2008/9	28	5	60	35	písčitohlinitá
6	Třebešice I	2009/10	27	4	25	71	hlinito-písčítá
7	Třebešice II	2010/11	36	7	46	47	písčito-hlinitá
8	Nučice	2011/12	35	14	57	29	hlinitá
9	Všetaty I	2012/13	24	22	42	36	hlinitá
10	Všetaty II	2013/14	17	22	42	36	hlinitá
11	Třebešice III	2014/15	22	8	56	36	písčito-hlinitá

Výsledky

Stav půdního povrchu, jeho nakypření nebo naopak krusta, vzniklá vysýcháním uhlazeného povrchu po předchozích deštích, má významný vliv na infiltraci srážkové (nebo též závlahové) vody. Ovlivňuje velikost povrchového odtoku, a podle sklonu půdy a intenzity deště i jeho unášecí sílu. Tím je ovlivněno i množství půdního smyvu, které finálně zanáší a kontaminuje vodní toky a vodní nádrže. A právě odnos jemných částic snižuje významně úrodnost půdy.

Na LabDS jsou řídicím počítačem a hydraulickým sklopným žlabem velmi přesně nastavovány počáteční podmínky experimentu. Před měřením a po něm je gravimetricky

stanovována vlhkost půdního vzorku a z ní se určí změna vlhkosti půdy způsobená simulací daných parametrů. Z těchto hodnot vznikají grafy, které popisují chování vlhkosti půdního vzorku jak během šedesáti minut simulace, tak i během celého setu. V závislosti na teplotních podmínkách laboratoře popisují vysychání půdního vzorku, viz obrázek 2. Na tomto obrázku byl vybrán set Třebešice II., písčitohlinitá půda z experimentálních ploch Býkovického povodí, doba testování říjen 2010 až duben 2011. Červená lomená čára udává průběh vlhkosti povrchové vrstvy vzorku (hloubka 0 až 5 cm) během setu. Svislé úseky značí hmotnostní vlhkost před experimentem a po šedesáti minutách srážky. Intenzita srážky je uvedena příslušně níže na modré lomené čáře a pohybuje se od 15mm/hod do 60mm/hod. Písmeno „K“ uvedené za hodnotou intenzity značí, že se jednalo o kypřený experiment. Odpovídá mu většinou i vyšší změna vlhkosti půdy, díky vyšší infiltraci deště při experimentu. Údaje na vodorovné ose jsou dny, kdy experiment probíhal, a odlehlost mezi nimi vypovídá o vysychání půdního vzorku a odpovídajícím poklesu vlhkosti půdy.



Obr. 2 Průběh vlhkosti v povrchové vrstvě půdního vzorku (0-5 cm) písčitohlinité půdy Třebešice II. [5]

Výsledky - změna vlhkostí a vysychání hlinité půdy (Všetaty I a II)

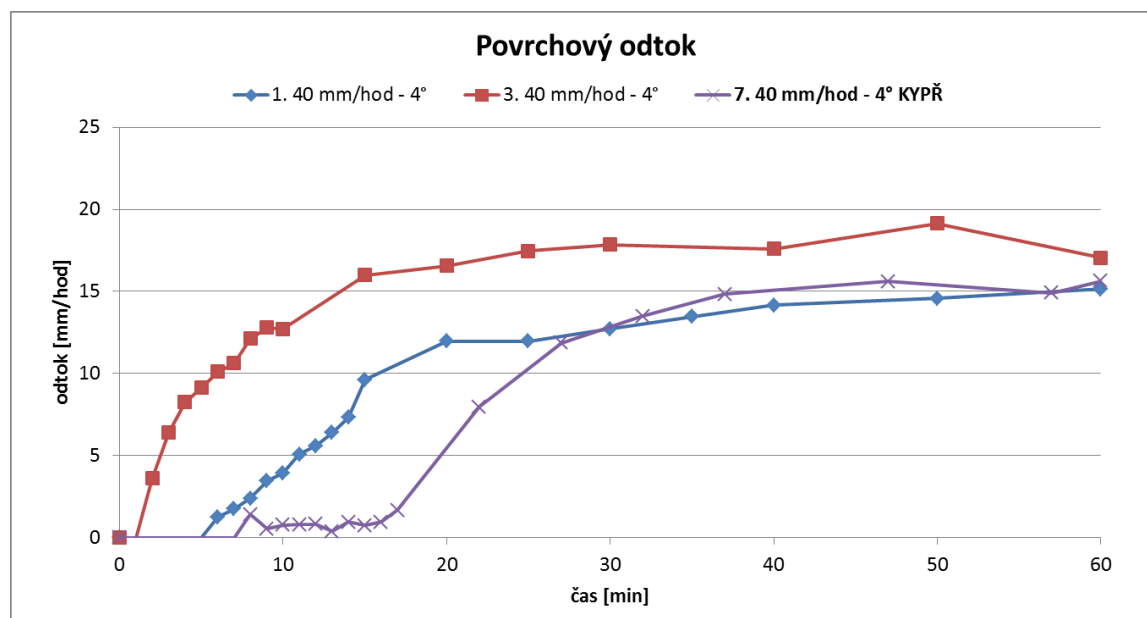
Na obrázcích 3 až 6 jsou vybrané průběhy povrchového odtoku a půdního smyvu během šedesáti minut simulace deště na hlinité půdě Všetaty. Jednalo se o experimenty ze dvou setů, Všetaty I (standardní) a Všetaty II (opakovaný, simulace zhuštěného podomičí). V tabulce 1 jsou uvedeny základní fyzikální vlastnosti této půdy. V tabulce 2 a 3 jsou uvedeny vybrané

experimenty a jejich parametry: pořadí experimentu v setu, datum experimentu, doba vysychání vzorku po předchozím měření, stav půdního povrchu, intenzita deště (zadávaná a kontrolní), vlhkost povrchové vrstvy před experimentem, ztráta půdy a sklon půdního povrchu.

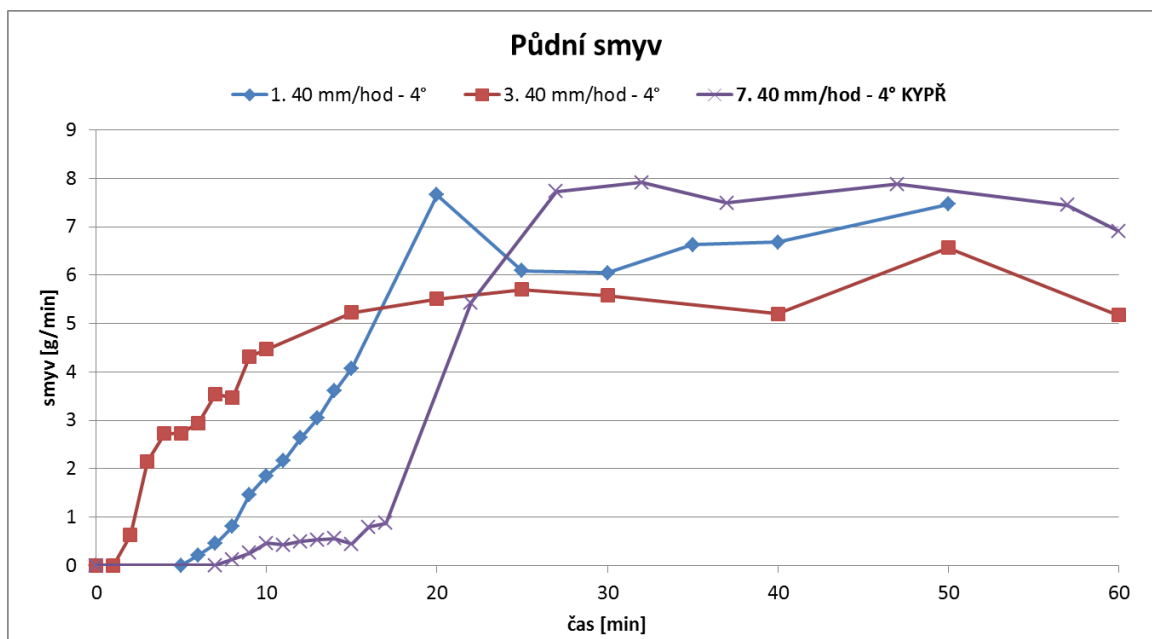
Z obrázku 3 je vidět zpoždění povrchového odtoku díky infiltraci srážkové vody pro experimenty 1 (první v setu) a 7 (nakypřené podmínky). Naopak experiment 3 (mírně zhutněný předchozími dvěma dešti, standardně vlhké podmínky po týdnu vysychání od poslední simulace) již měl mírně vytvořenou krustu. Povrchový odtok byl proto pozorován téměř současně se začátkem deště a dosahoval vyšších hodnot. Typické chování má i půdní smyv na obrázku č. 4. Pro čerstvé (1) a kypřené (7) podmínky je více uvolněných částic náchylných k odnosu, hodnoty jsou rozkolísané vlivem rozplavení agregátů, ale zpoždění počátku povrchového odtoku snižuje celkovou ztrátu půdy (viz obr. 9). Experiment standardně krustovaný, po týdnu vysychání (3) má částice již mírně vázané ve vlhké krustě a uvolňuje je postupně do ustálení zhruba ve 20. minutě deště.

Tab. 2 Přehled vybraných měření z 9. půdního setu Všetaty I (hlinitá půda)

č. měření	datum	doba schnutí (dny)	půdní povrch	intenzita deště (mm/h)		hm. vlhkost 0-5 cm před měřením (%)	ztráta půdy (t/ha.hod)	sklon (°)
				nastavená	referenční			
1	13.11.2012	-	čerstvý	40	42	26,71	0,91	4
3	27.11.2012	7	-	40	44	28,32	0,86	4
7	8.1.2013	21	KYPŘENÝ	40	48	26,56	0,79	4



Obr. 3 Průběhy povrchového odtoku pro vybraná měření 9. půdního setu Všetaty I



Obr. 4 Průběhy půdního smyvu pro vybraná měření 9. půdního setu Všetaty I

Tab. 3 Přehled vybraných porovnávaných měření z 10. půdního setu Všetaty II

č. měření	datum	doba schnutí (dny)	půdní povrch	intenzita deště (mm/h)		hm. vlhkost 0-5 cm před měřením (%)	ztráta půdy (t/ha.hod)	sklon (°)
				nastavená	referenční			
3	2.12.2013	12	-	40	40,35	27,33	1,21	4
6	6.1.2014	21	SUCHÝ	40	34,93	21,83	0,81	4
7	14.1.2014	8	KYPŘENÝ	40	31,2	24,35	0,65	4
8	20.1.2014	6	-	40	41,06	27,72	1,50	6
9	17.2.2014	28	SUCHÝ	40	38,5	20,80	2,24	6
10	24.2.2014	7	KYPŘENÝ	40	42,31	26,73	0,81	6

Set Všetaty II byl analogií zhuštěného podorničí v krajině. Poprvé v historii LabDS testoval během dalšího setu týž vzorek (Všetaty I). Cílem setu bylo zjistit změnu chování hlinité půdy poté, co byly během roku vyplavovány jemné částice klasickým pořadím experimentů.

Zemina Všetaty I již byla konsolidovaná, zhuštěná, a upravena pouze dosypáním úbytku zeminy.

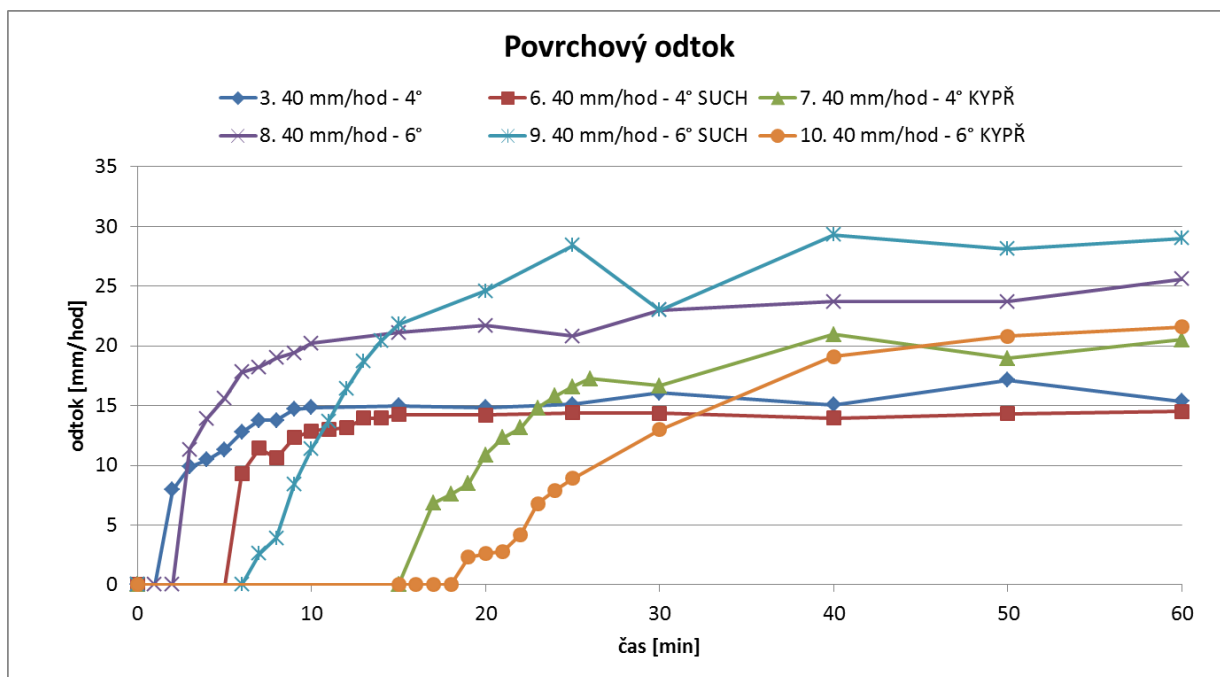
S předchozími třemi experimenty, opět intenzita 40 mm/hod a sklon 4°, jsou tedy srovnávány experimenty stejných parametrů 3, 6 a 7. Standardní vzorek (3), suchý (6) a kypřený (7).

Experimenty 8, 9 a 10 jsou také stejných parametrů, ale pro vyšší sklon půdního povrchu 6°.

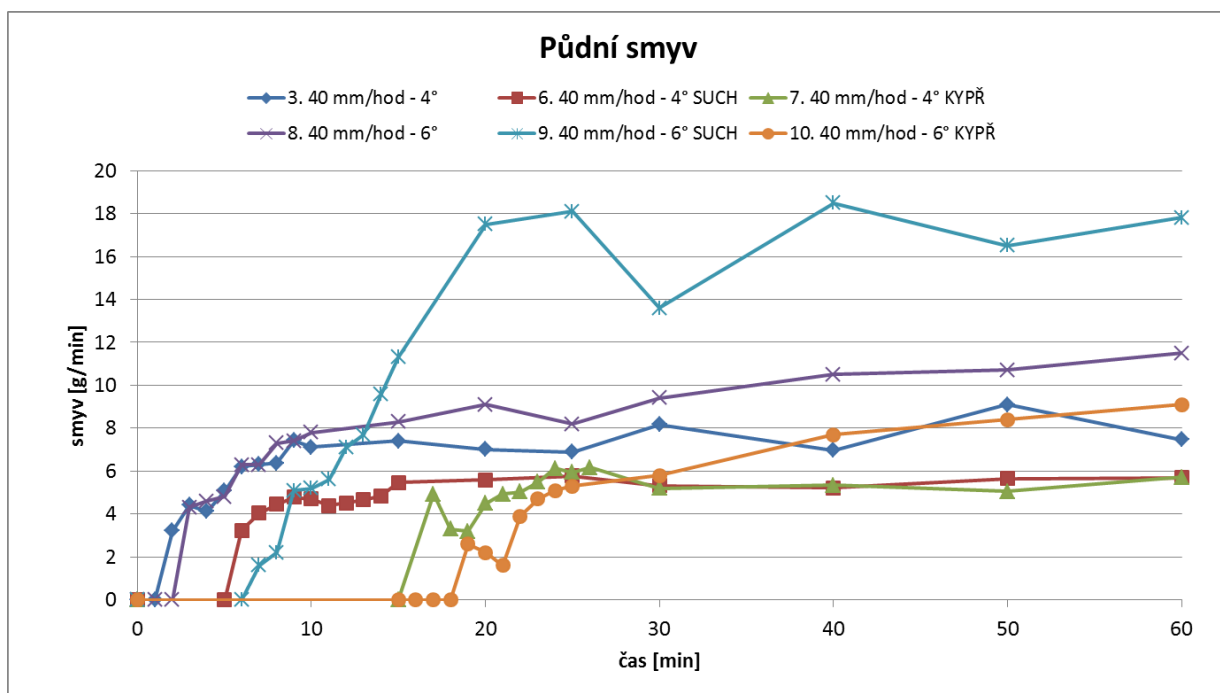
Typický průběh povrchového odtoku (3) je zde srovnáván se značně suchým vzorkem (6) po

21 dnech vysýchání (pokles vlhkosti z 27,3 % hm. na 21,8 % hm.). Jde o mírný sklon půdního povrchu, je tedy mírně zpožděn začátek povrchového odtoku díky infiltraci a rozmáčení půdní krusty. Poté bylo cca v 15. minutě dosaženo téměř stejných hodnot povrchového odtoku. U kypřeného vzorku (7) je průběh povrchového odtoku podobný podmínkám v setu I. Nástup erozních jevů je cca v 15. minutě od počátku deště a mírně vyšší ustálená hodnota povrchového odtoku je způsobena "uhlazením" povrchu. Pro půdní smyv dosahuje experiment suchý (6) nižší ztráty půdy než standardně vlhký po týdnu vysýchání a další snížení půdní ztráty způsobuje nakypření (7), díky infiltraci. Je zde zpožděn začátek odnosu částic až do 15. minuty od počátku deště a v obrázku 9. je pak patrna numerická hodnota ztráty půdy pro hodinový přívalový déšť a simulaci podmínek zhutněného podorničí. Pro suché i kypřené podmínky dochází k ustálení půdního smyvu cca ve 30. minutě deště na zhruba stejných hodnotách, mírně nižších než v podmínkách Všetaty I, kde bylo více jemných částic.

Experimenty 8, 9 a 10 byly provedeny pro větší sklon půdního povrchu 6°. Z obrázku 5 je na první pohled patrný rozdíl v průběhu povrchového odtoku i půdního smyvu suchého vzorku (9) po 28 dnech vysýchání. Opět značný pokles vlhkosti z 27,7 % hm. na 20,8 % hm. formuje nejvyšší dosažené hodnoty ro obě sledované veličiny. V celkové ztrátě půdy (na obr. 9) se pak ukáže pro toto měření (9) výrazně vyšší hodnota, i proti kypřeným půdním podmínkám (10). Suché podmínky jsou tedy díky uvolnění vazeb mezi částicemi (rozplavení půdní krusty) zde významným erozním nebezpečím.



Obr. 5 Průběhy povrchového odtoku pro vybraná měření 10. půdního setu Všetaty II



Obr. 6 Průběhy půdního smyvu pro vybraná měření 10. půdního setu Všetaty II

Výsledky - změna vlhkostí a vysýchání vzorku Třebešice III

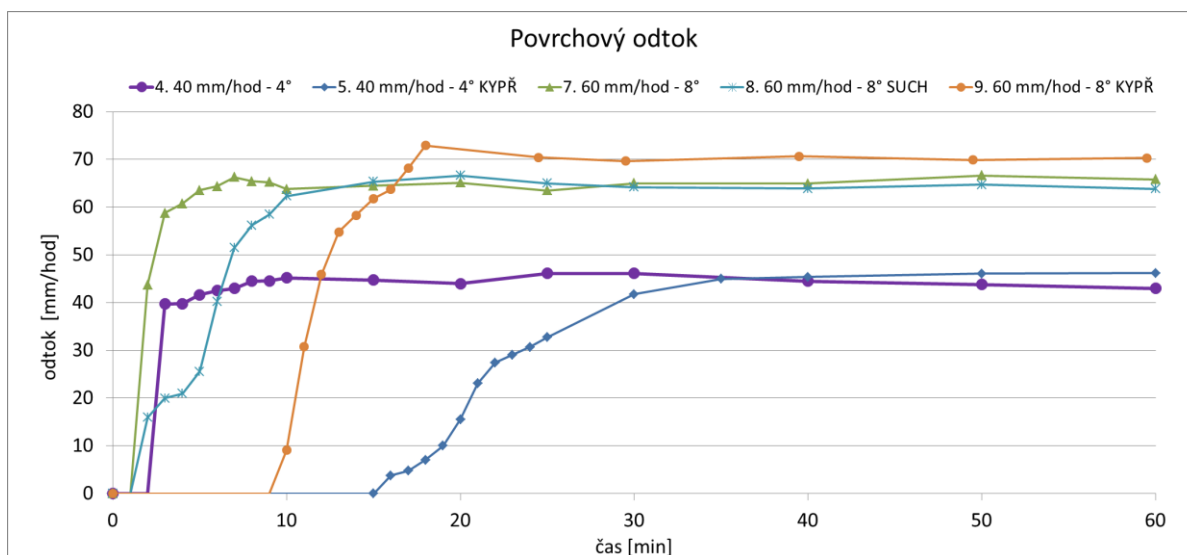
Na obrázcích 7 a 8 byly vybrány experimenty podobných počátečních podmínek č. 4, 5, 7, 8 a 9. Jedná se o experimenty ze setu Třebešice III, třetí půdní vzorek z lokality Býkovického povodí. Set Třebešice II a Třebešice III měly půdní vzorek odebíraný ze zhruba stejného místa, Třebešice I byla původní a nevyhovující lokalita experimentálních ploch. V tabulce 2 jsou opět uvedena vybraná měření a jejich parametry.

Tab. 4 Přehled vybraných měření z 11. půdního setu Třebešice III (písčitohlinitá)

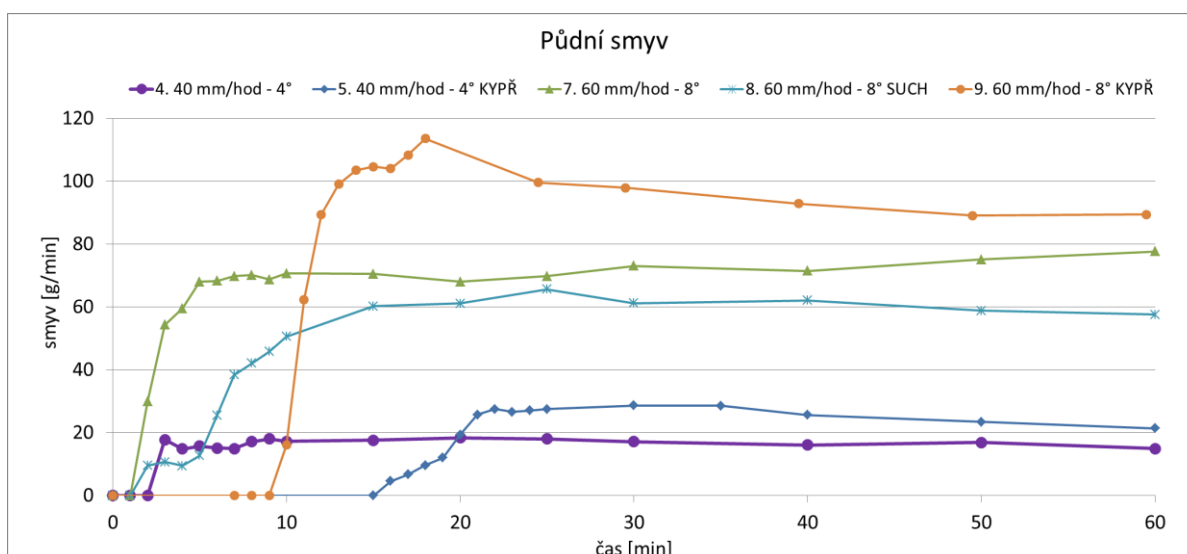
č. měření	datum	doba schnutí (dny)	půdní povrch	intenzita deště (mm/h)		hm. vlhkost 0-5 cm před měřením (%)	ztráta půdy (t/ha.hod)	sklon (°)
				nastavená	referenční			
4	25.11.2014	7	-	40	40,3	22,13	2,72	4
5	2.12.2014	7	KYPŘENÝ	40	41,8	21,94	3,01	4
7	17.12.2014	8	-	60	75,9	23,65	11,64	8
8	6.1.2015	20	SUCHÝ	60	75,9	21,53	9,08	8
9	13.1.2015	7	KYPŘENÝ	60	78,0	20,84	13,33	8

Při pohledu na obrázky 7 a 8 je na první pohled patrný trend ustalování hodnot, které pro písčitohlinitý vzorek nastává velmi brzo, v 10. minutě od počátku srážky. Zároveň je vidět i dosahování podobných ustálených hodnot pro podobné experimenty. Tj. pro experimenty 4 a 5 (intenzita 40 mm/hod a sklon 4°) je povrchový odtok zhruba 45 mm a ztráta půdy kolem 20 g/min. Naproti tomu pro experimenty 7 a 8 maximálně srážko-odtokově zatížené (60 mm/hod a 8°) je povrchový odtok zhruba 65 mm/hod a půdní smyv cca 70 g/min.

Typický rozdíl je mezi křivkami měření 4 a 5. Obě měření proběhla v prvních týdnech setu, kdy je ve vzorku přítomna ještě většina jemných částic. Kypřený vzorek (5) má znatelně oddálen nástup povrchového odtoku, voda téměř 20 minut infiltruje a v cca 35 minutě deště se hodnoty téměř srovnají. Půdní smyv je v podmínkách nakypření (5) pozorován tedy až od 15. minuty simulace, ale poté dosáhne v ustálení mírně vyšších hodnot vlivem porušení půdních vazeb. Zajímavý je i průběh veličin pro experiment č. 7, vzorek vysychal přes vánoční prázdniny (20 dní se neměřilo). Vlhkost ale pro tuto písčitohlinitou půdu poklesla z 23,7 % hm. na 21,5 % hm, což je výrazně menší rozdíl než za stejné zimní období u hlinité půdy Všetaty. Na experimentu č. 9 je pak patrna změna chování vzorku v nejvyšších zátěžových podmínkách (60 mm/hod a 8°) a ještě nakypřením půdního povrchu. Zpoždění nástupu povrchového odtoku je cca 10 minut a ustálená hodnota povrchového odtoku vzroste mírně. Půdní smyv je pro experiment č. 10 ovlivněn znatelněji, což se v obrázku č. 9 projeví extrémní půdní ztrátou.



Obr. 7 Průběhy povrchového odtoku pro vybraná měření 11. půdního setu Třebešice III



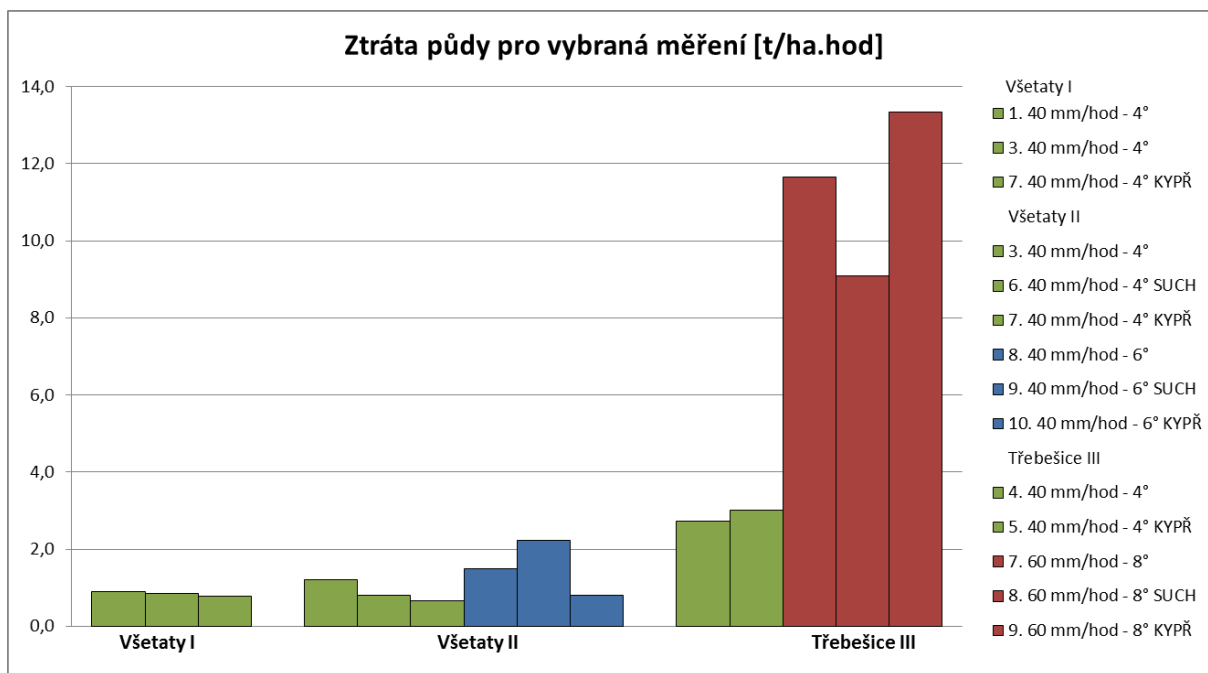
Obr. 8 Průběhy půdního smyvu pro vybraná měření 11. půdního setu Třebešice III

Diskuze

Souhrnná ztráta půdy dosažená při experimentech na Laboratorním dešťovém simulátoru ČVUT je zobrazena na obrázku 9. Ukazuje velikost odnosu půdy při různých přívalových srážkách a různém sklonu půdního povrchu pro hlinitou (Všetaty I a II) a písčitohlinitou půdu (Třebešice III.). Hodnoty ztráty půdy ($t/ha \cdot \text{hod}$) byly pro každý experiment vypočteny z cca

15 odebraných vzorků v průběhu hodinového experimentu. Z obrázku 9 je jasně patrný rozdíl mezi ztrátou půdy hlinité a písčitohlinité půdy (srovnání zelených sloupců, parametry 40 mm/hod a 4°). Dále je vidět zvýšení hodnot ztráty půdy pro zvýšení sklonu na 6° (modře Všetaty II) a na 8° (červeně Třebešice III., ale zde zvýšena i intenzita srážky). Zároveň je patrné nebezpečí půdního smyvu na suché hlinité konsolidované půdě (experiment č. 9, vysychání 28 dní od poslední srážky). A naopak nízká ztráta půdy pro suchý vzorek Třebešice III (experiment č. 8, vysychání 20 dní od poslední srážky a vysoká intenzita 60 mm/h).

Kombinace velkého sklonu, vysoké intenzity a vytvořené krusty funguje jako nepropustná vrstva, půdní částice jsou vázány a nedochází k rozmočení krusty. V detailu je pak možné se ještě zaměřit na charakter velikosti ztráty půdy v trojicích měření – první v trojici je vždy standardní vlhkost (týden od poslední simulace, podmínky setí), druhý je vyschlý vzorek (vytvořená půdní křusta, pro Třebešice III. měření nepovedeno), a třetí nakypřený vzorek (podmínky podmínky, orby).



Obr. 9 Ztráta půdy pro vybraná měření

Závěr

Z grafu na obr. 9 je tedy patrný vliv vysychání, kypření, zvýšení intenzity deště a sklonu půdního povrchu na ztrátu půdy pro hlinitou půdu, typově arenickou černozem ze Všetat a

písčitohlinitou půdu, typově kambizem z Třebešic u Benešova. Problémem je, že dosažené závěry nelze zevšeobecnit. Lze konstatovat, že vliv vysychání půdních vzorků je významným faktorem povrchového odtoku a ztráty půdy. A též, že půdní krusta může i při malých sklonech půdního povrchu a při malých intenzitách deště způsobit, že na počátku srážky nedochází nejprve k infiltraci a teprve poté k vzniku povrchového odtoku, ale naopak. A tyto závěry je možné aplikovat i pro reálné situace v krajině na zemědělské půdě nebo úhoru.

Literatura

- [1] DAVIDOVÁ, Tereza a kol. Měření vodní eroze pomocí dešťového simulátoru, In Voda a krajina 2014. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, 2014, str. 49 – 59, ISBN 978-80-01-05533-5
- [2] PAŘÍKOVÁ, Pavla, Vodní eroze jako činitel dynamiky krajiny, Praha, Doktorská disertační práce, srpen 2001
- [3] SCHWARZOVÁ, P., a kol.: Metodika provádění erozních experimentů na dešťovém simulátoru ČVUT Praha, In: sborník konference Enviro Nitra 2009, str. 224 – 236, ISBN: 978-80-552-0372-0
- [4] LABURDA, T. a kol., 12 let experimentálního výzkumu eroze půdy na laboratorním dešťovém simulátoru ČVUT. In Voda a krajina 2014. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného hospodářství, 2014, s. 103-113. ISBN 978-80-01-05533-5.
- [5] DVOŘÁK, P.: Terénní a laboratorní experimentální výzkum eroze. Porovnání a analýza jejich dosavadních výsledků, diplomová práce, 107 s, Praha, 2010

Poděkování

Tento výzkum byl financován z grantu Studentské grantové soutěže SGS 14/180/OKH1/3T/11 „Srážko-odtokové, erozní a transportní procesy - experimentální výzkum“.

Kontakt:

Ing. Pavla Schwarzová, Ph.D.

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství

Thákurova 7, 166 27 Praha 6

22435 4740, pavla.schwarzova@fsv.cvut.cz

Hydrologické sucho v podzemních vodách

Hydrological drought in groundwater

Eva Soukalová

Český hydrometeorologický ústav P-Brno

Abstrakt

V posledních 20 letech jsme v České republice zaznamenali zvýšený počet povodní, ale na druhé straně také výskyt hydrologického sucha. Česká krajina není zcela připravena na stávající i budoucí výkyvy srážkové činnosti, změny sezonního chodu povodní a stále častější projevy hydrologického sucha. Jako podklad pro řešení problémů v krajině slouží hydrologická pozorování ČHMÚ jak povrchových vod, tak podzemních vod, která již v některých stanicích dosahují 100 let. V předloženém příspěvku jsou uvedeny zákonitosti oběhu podzemních vod se zřetelem na výskyt extrémně nízkých hladin, jejich sezónní a víceletá periodicitu a trendy, výskyt minimálních hladin a jejich dopady na složky životního prostředí.

Klíčová slova: periodicitu, minimální hladiny podzemní vody, pozorovací vrt

Abstract

Groundwater recharge is irregular both seasonally and during long-term periods. An analysis of long-term observation of the groundwater level regime made it possible to establish cyclicity and trends, occurrence of minimal levels and their impact on the environmental components. The paper deals with the regularities of groundwater circulation with respect to extremely low groundwater level occurrence, seasonal and multiannual periodicity and trends of groundwater levels, occurrence of minimal levels and their impact on the environmental components, methods of groundwater levels forecasts. The forecasts of the minimal groundwater levels can be used as the basis for the decision of water right institutes on solution of drought problem. In closing there are given measures for severe water shortages.

Keywords: peridocity, minimal groundwater level, monitoring borehole

Úvod

V roce 2015 se vyskytlo v létě na území České republiky hydrologické sucho, které se zařadilo mezi historicky významné epizody sucha. Hydrologické sucho vzniká následkem

nedostatku srážek a projevuje se jako nedostatek zdrojů povrchových a podzemních vod (průtoky ve vodních tocích, hladiny jezer a nádrží, podzemní vody). Přitom vznik hydrologického sucha je ovlivněn i způsobem lidského užívání vody, proto je nutno na hydrologické sucho pohlížet jako na přírodní fenomén, který však může být prohlouben lidským působením.

Nedostatek srážek se v komponentách podzemní části hydrologického cyklu projevuje s určitým zpožděním. Hydrologické sucho je pak nezbytné pojímat jako výsledek působení procesů hydrologického cyklu a antropogenního ovlivnění v rámci celého povodí.

Pozorování hladin podzemní vody

Podkladem pro studium zákonitostí oběhu podzemní vody jsou výsledky systematického pozorování, zajišťovaného Českým hydrometeorologickým ústavem. Bylo zahájeno v trase projektovaného kanálu Dunaj - Odra - Labe na přelomu 30 a 40 let 20. století. Část těchto objektů byla zařazena do státní pozorovací sítě a je pozorována dosud. Celoplošná pozorovací síť vznikla postupně v letech 1957 až 1969, s výjimkou pozorovací sítě hlubších zvodní. V dalším období byla doplňována a upravována. Nejdelší doba pozorování v České republice je ve vrtu V 12, situovaném v infiltrační oblasti vodního zdroje Březová nad Svitavou v jižní části ústecké synklinály. Pozorování bylo zahájeno 6. 10. 1899, takže trvá 116 let a pozorování zajišťují Brněnské vodárny a kanalizace. Současný stav pozorovací sítě podzemních vod je proto výsledkem vývoje od konce padesátých let až do počátku let devadesátých, kdy byla uskutečněna poslední významná změna, respektive doplnění pozorovaných objektů. Vlastní koncepce byla položena při úvahách již v počátku, kdy objekty byly rozděleny na:

- pozorovací síť pramenů sledující vydatnosti a teploty vody pramenů, vybraných podle jednotné metodiky na základě celoplošného průzkumu,
- pozorovací síť mělkých zvodní, která byla situována do poříčních zón a přilehlých terasových stupňů vytvořenou podle projektů z počátku šedesátých let,
- pozorovací síť hlubokých zvodní, která měla být podle původního záměru jedním z výsledků programu regionálního hydrogeologického průzkumu probíhajícího v období od šedesátých do devadesátých let.

Rozsah pozorovací sítě se mění v souvislosti s jejím postupným budováním a úpravami. V současné době se pozoruje asi 2000 objektů podzemních vod.

Údaje o hladinách podzemních vod a vydatnostech pramenů představují velmi cenný zdroj informací pro všechny, kdo jakýmkoliv způsobem podzemní vody využívají a jsou důležité i při projektování staveb, zejména při ražbě tunelů a jiných rozsáhlých podzemních děl. Zpracované údaje jsou nepostradatelné při rozhodování o využívání a ochraně zdrojů vod, stejně jako pro ochranu životního a přírodního prostředí a jsou výchozím podkladem pro hydrologickou a vodohospodářskou bilanci a zjišťování stavu podzemních vod.

Dalším zpracováním údajů lze stanovit množství podzemních vod, které je k dispozici a tvoří součást průtoku v povrchovém toku. Tento údaj se nazývá základní odtok. Stanovuje se pro desítky dílčích povodí, následně se převádí pro hydrogeologické rajony a slouží jako podklad pro využívání podzemních vod.

Odběry podzemní vody tvoří 23 % z celkových odběrů vod, z toho odběry pro vodovody pro veřejnou potřebu představují 82 % z celkového množství odběrů podzemní vody. Druhým největším odběratelem je průmysl včetně dobývání nerostných surovin, který odebírá 9,2 % z celkového množství. Ostatní odběratelé podzemní vody jako zemědělství, stavebnictví a energetika odebírají méně než 4,8 % z celkového odebíraného množství. Odběry podzemní vody pro vodovody tvoří 49 % z celkového množství vody odebírané pro vodovody. Vzhledem k tomu, že 93,8 % obyvatel je zásobováno z veřejných zdrojů, bude zbývajících 6,2 % obyvatel zásobováno z vlastních zdrojů tj. většinou z domovních studní, takže podíl odběrů podzemní vody pro zásobování pitnou vodou bude vyšší než 49 %.

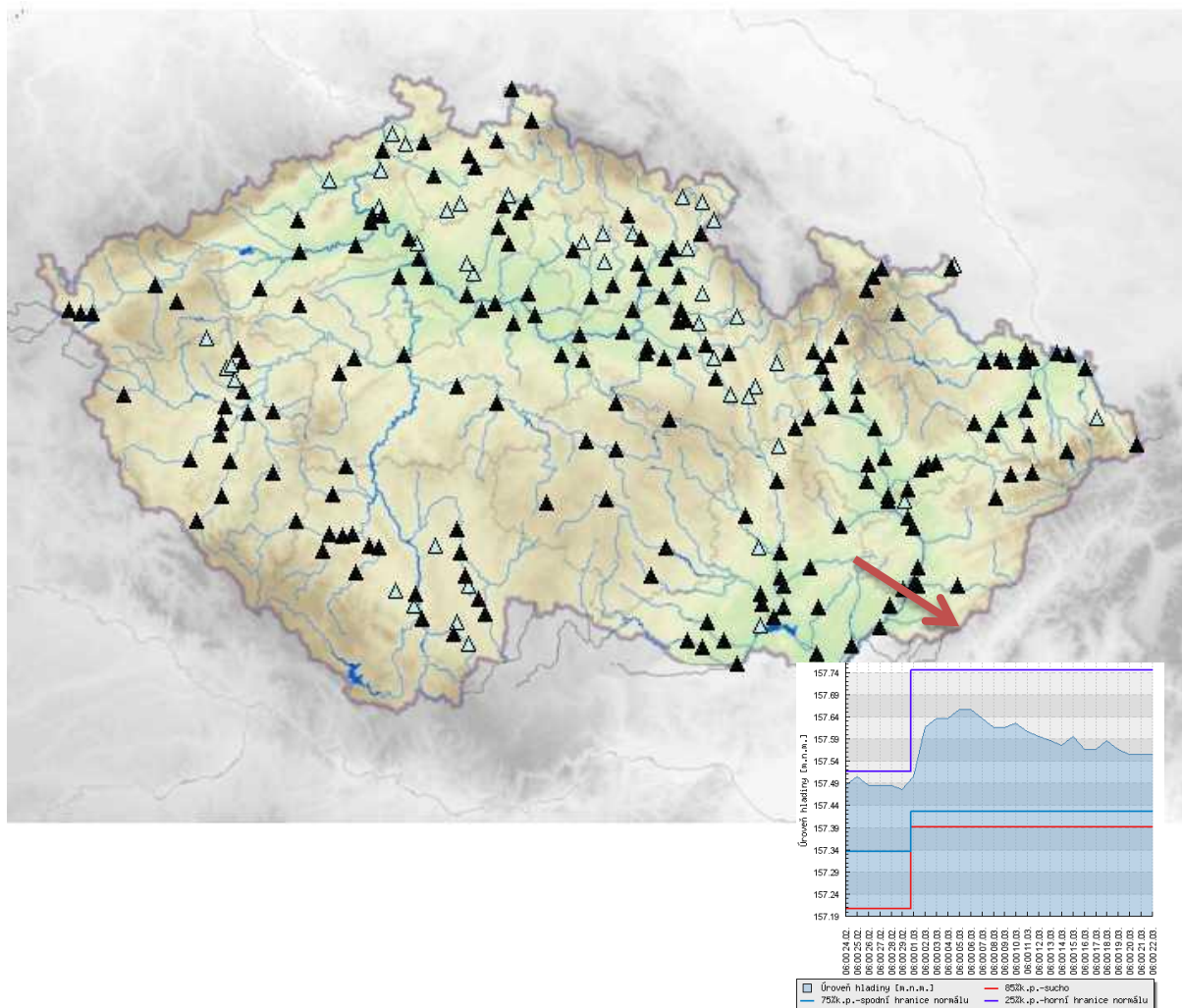
Na území ČR je přibližně 80 % využitelných množství podzemních vod soustředěno na zhruba 30 % plochy. K nejvýznamnějším územím náleží část české křídové pánve omezená přibližně Jizerou, dolním tokem Labe a státní hranicí, východní Čechy na pomezí s Moravou, Třeboňská a Budějovická pánev na jihu Čech. Všechna tato území musí být chráněna proti znečištění a nadměrným odběrům podzemních vod a dalším činnostem, které by mohly ohrozit jejich množství nebo kvalitu.

Aktuální informace o stavu hladin podzemní vody jsou na

http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_pzv.php (obr. 1).

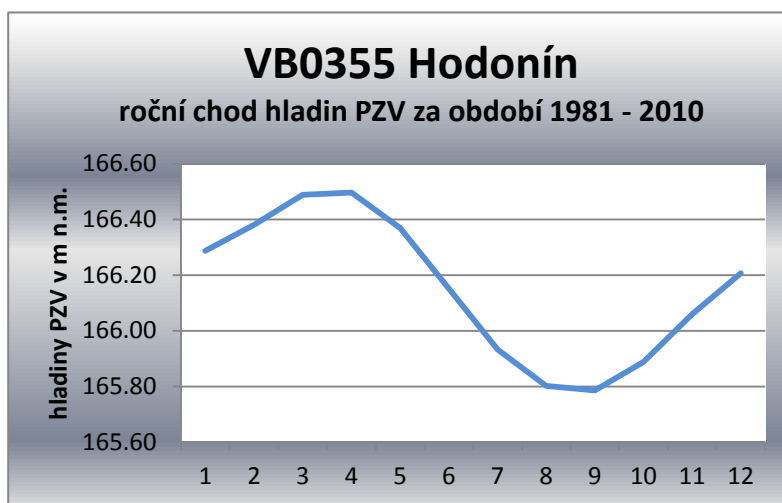
Hlavním faktorem pro velikost doplňování zásob podzemní vody jsou atmosférické srážky zmenšené o výpar. V našich podmínkách jsou dva typy doplňování zásob: s celoročním doplňováním zásob a se sezónním doplňováním zásob. Při sezónním doplňování zásob je převážnou část zimního období na území sněhová pokrývka (s celkovým počtem dní s výskytem sněhové pokrývky větším než 50 dní). Sezónní doplňování zásob je rozšířeno na

větší části ČR. U obou typů režimu doplňování zásob je obecně známá výrazná sezónní periodicitu, charakteristická výskytem jarních respektive letních maximálních hladin a podzimních respektive zimních minimálních hladin. Sezónní trendy mají následující průběh: po výskytu maximálních hladin (většinou začátkem roku) nastává sestupný trend pohybu hladiny podzemní vody, který bývá v ojedinělých případech přerušen mírným vzestupem



Obr. 1. Aktuální informace o stavu hladin PZV ve vybraných pozorovacích vrtech (VB0356 Mikulčice)

hladiny, způsobeným vysokým úhrnem srážek v letním období. Tento vzestup hladiny trvá jen krátce, zpravidla několik dní a po jeho odeznění pokračuje opět sestupný trend hladiny až do výskytu roční minimální hladiny, které se vyskytují většinou koncem léta. Velikost minimálních hladin velmi dobře koreluje s velikostí maximálních hladin. Po výskytu ročních



Obr. 2 Roční chod hladin podzemní vody ve vrtu VB0355

minimálních hladin nastává mírný vzestup hladiny, způsobený podzimními srážkami při nízkém výparu, vyvrcholený vzestupem hladiny na jaře až do výskytu roční maximální hladiny.

Vedle sezónního kolísání hladin podzemní vody (sezónní periodicity) existuje víceleté kolísání hladin podzemní vody, které se vyznačuje víceletou periodicitou (angl. secular periodicity). Pro stanovení víceleté periodicity se zpracovávají časové řady ročních charakteristik hladin podzemní vody (roční průměrné, maximální nebo minimální hladiny).

Vedle sezónního kolísání hladin podzemní vody (sezónní periodicity) existuje víceleté kolísání hladin podzemní vody, které se vyznačuje víceletou periodicitou (angl. secular periodicity). Pro stanovení víceleté periodicity se zpracovávají časové řady ročních charakteristik hladin podzemní vody (roční průměrné, maximální nebo minimální hladiny).

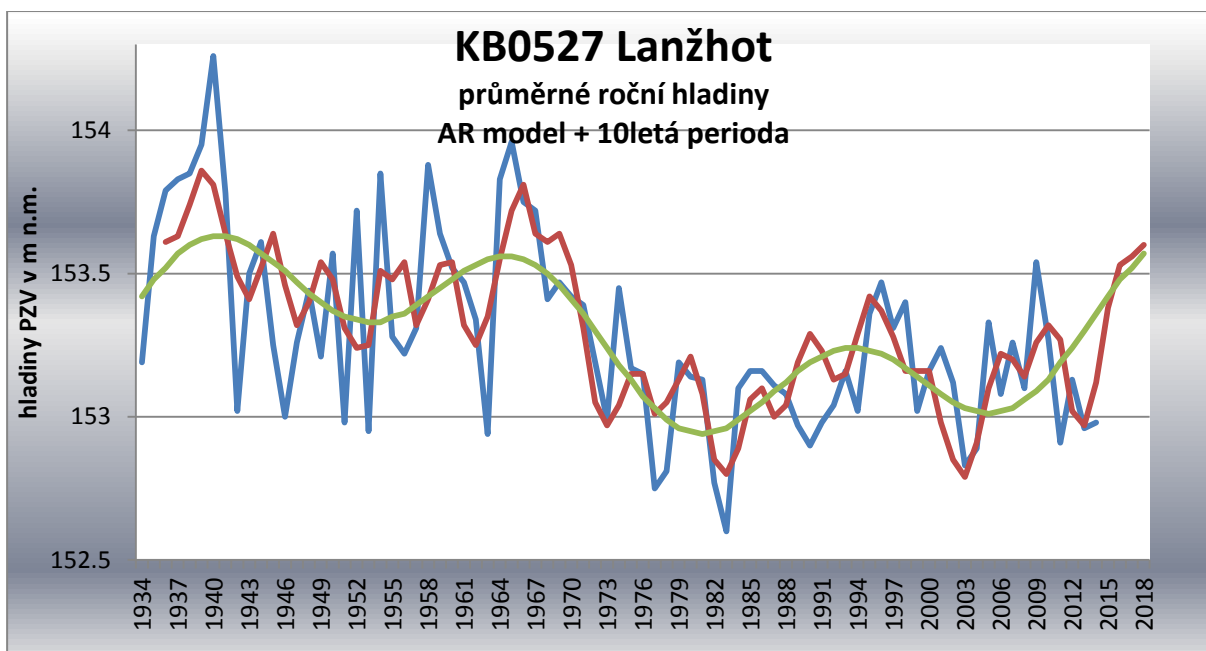
Periodicita a trendy hladin podzemní vody

Pro studium periodicity, trendů a prognózy hladin podzemní vody se používají časové řady. Časová řada je chronologické uspořádání výsledků pozorování provedených v pravidelných časových intervalech. Hydrologickými časovými řadami jsou řady hladin podzemní vody, vydatnosti pramenů, velikosti podzemního odtoku atd. V případě minimálních hladin

podzemní vody se jedná o řady minimálních ročních hladin. Analýza časové řady umožní identifikaci mechanismu její tvorby a na jejím základě předpovídání jejího budoucího chování – vytváření předpovědí. V hydrologických časových řadách je možno vyčlenit: trend, sezónní složku, cyklickou složku víceletou, složku náhodnou a složku katastrofální.

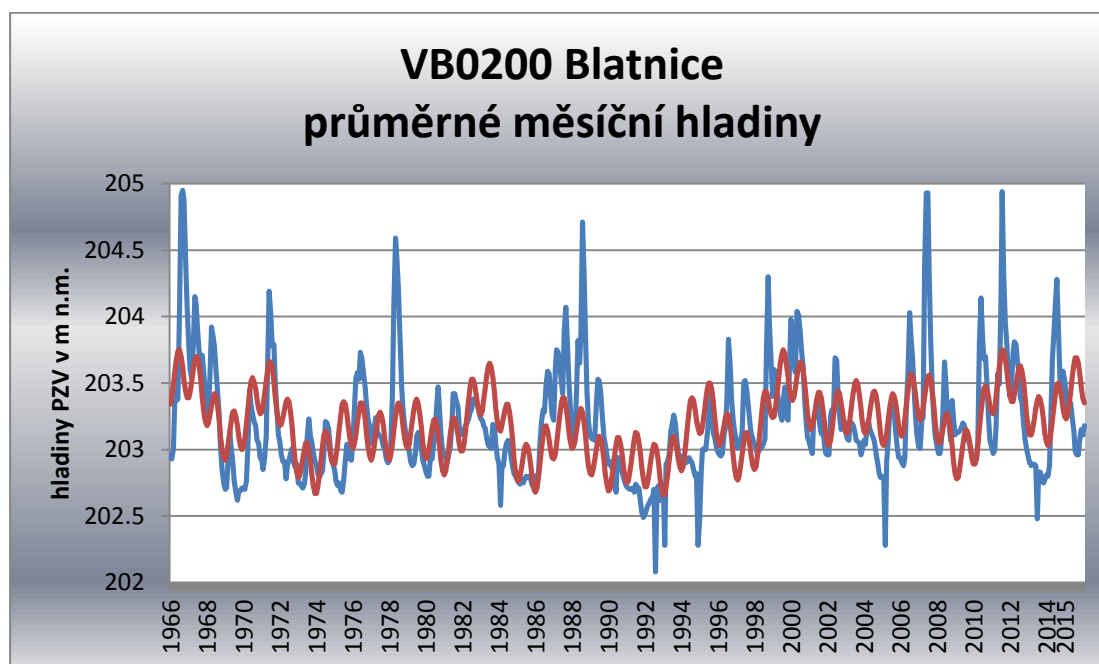
Trend představuje dlouhodobou systematickou změnu v časové řadě. Projevuje se jako dlouhodobý vzestup nebo pokles hladiny podzemní vody, resp. vydatnosti. Po identifikaci trendu testy náhodnosti se přistoupí k jeho aproximaci matematickými křivkami. Jako nejvhodnější se v hydrologii PZV jeví trend lineární. V případě umělého ovlivnění režimu podzemní vody (na příklad odběry podzemní vody) je nejvhodnější aproximace logaritmickou nebo exponenciální funkcí.

Nejvýznamnější periodou u většiny vrtů je dvanáctiměsíční perioda, která koresponduje se sezónním doplňováním podzemní vody. Druhá nejvýznamnější (platí pro povodí Moravy) je perioda pětiletá. Dvouletá a desetiletá perioda jsou třetí nejvýznamnější. U řad s šedesátiletou řadou pozorování se vyskytují rovněž statisticky významné 30 leté periody, odpovídající tzv. Brücknerově periodě (34 roků) známé při popisu přírodních jevů. Na obr. 3 je znázorněn průběh průměrných ročních hladin podzemních vod ve vrtu KB0527 Lanžhot. Je zde vyznačena 10 letá perioda, naměřené hodnoty a modelované hodnoty (harmonická analýza a AR model).



Obr. 3 Průměrné roční hladiny ve vrtu KB0527 Lanžhot (povodí Moravy)

Na obr. č. 4 je vyznačen průběh modelových hodnot měsíčních hladin podzemních vod mělkých zvodní stanovených harmonickou analýzou. Délka period v časových řadách ročních minimálních hladin a ročních průměrných hladin je analogická.

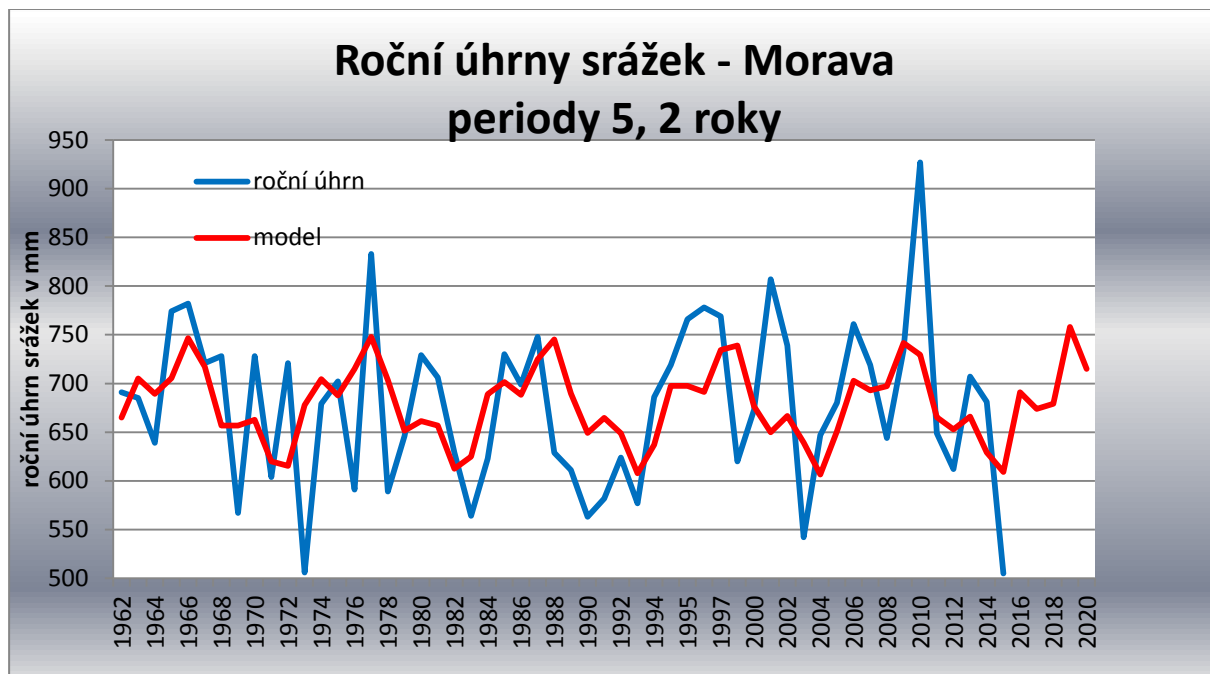


Obr. 4 Průměrné měsíční hladiny a 12 měsíční perioda

Periodicita se vyskytuje velmi často s nestejnou délkou amplitud a period a je někdy málo výrazná. Proto je vhodnější uvažovat spíše o tendenci k periodicitě nebo o kvaziperiodicitě. Ve víceletém chodu ročních charakteristik se vyskytují seskupení několika za sebou jdoucích let s vysokými hladinami nebo nízkými hladinami. Mezi nimi je sestupný nebo vzestupný trend hladiny. V sezónním i mnohaletém kolísání hladiny podzemní vody se neprojevuje výrazný vliv aktuálních srážek, nýbrž akumulace srážek z předcházejícího období. Doba akumulace srážek roste se vzdáleností posuzovaného místa od infiltrační oblasti a je nepřímo závislá na rychlosti proudění podzemní vody. U víceletého kolísání hladin to může dosáhnout až 5 - 7 let.

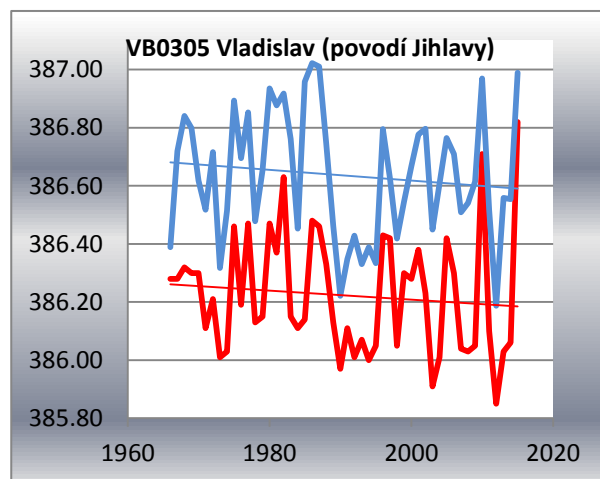
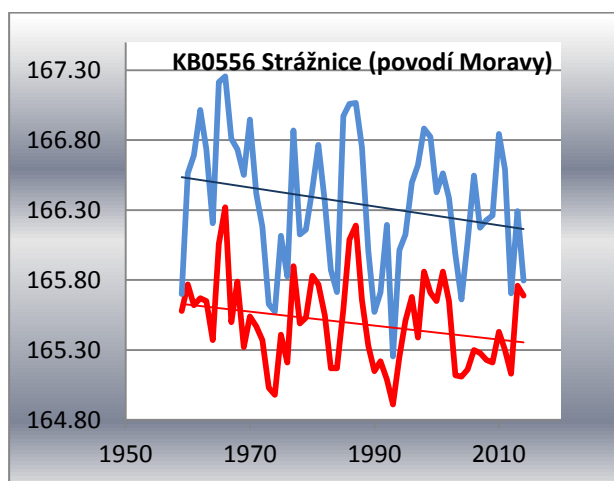
Periodicita byla pozorována i v minulosti u výskytu srážek. Byla uvedena i tzv. Brücknerova perioda pro srážky a průtoky v povrchových vodách ve Švýcarsku v délce 33 - 36 let. Podstata periodicity nebyla dosud spolehlivě vysvětlena. Většina badatelů se přiklání ke vlivu heliogeofyzikálních faktorů. Kvaziperiodicitu je možno přičíst interferenci různých heliogeofyzikálních faktorů, které se přenáší přes atmosféru na zemskou kůru, která hraje úlohu „filtru“. Pro kolísání hladin podzemní vody jsou rozhodující srážky. Významnou roli hraje inerční schopnost zvodněného kolektoru. Roční charakteristiky ovlivňuje úhrn srážek za

předcházejících několik let. Periodicita ročních úhrnů srážek, které jsou rozhodujícím faktorem pro tvorbu podzemních vod, koresponduje s periodami v časových řadách hladin podzemních vod. To dokládá časová řada ročních úhrnů srážek na Moravě za období 1961 – 2015. Nejvýznamnější periody jsou 2 a 5 let (viz obrázek 5).



Obr. 5 Naměřené a modelované úhrny srážek pro území Moravy za období 1961 - 2015

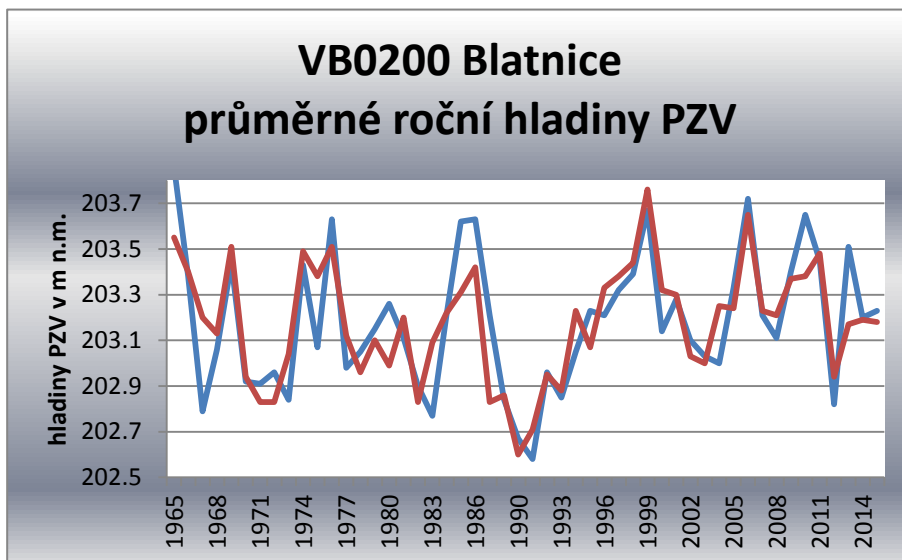
Příklady významných trendů ročních průměrných a ročních minimálních hladin v povodí Moravy a Jihlavy jsou uvedeny na obrázku 6. V obou vrtech je patrný sestupný lineární trend.



Obr. 6 Významné trendy ročních průměrných a minimálních hladin podzemních vod

Sestupné trendy mohou být způsobeny klimatickými změnami a prostorovým rozložením srážek během roku. V ČR se zatím větší změny v celkovém objemu srážek nepotvrdily - pomalu se ovšem začíná projevovat změna v rozložení srážek v průběhu roku – více srážek v zimě, méně na jaře. Dalším indikátorem klimatických změn je patrně nárůst počtu a intenzity extrémních srážek (více než 150 mm/den). Přívalové srážky rychle odtečou a sníží velikost doplňování zásob podzemní vody.

Na obr. 7 jsou znázorněny průměrné roční hladiny a modelové hladiny podzemní vody (periody 2, 5, 10 let).



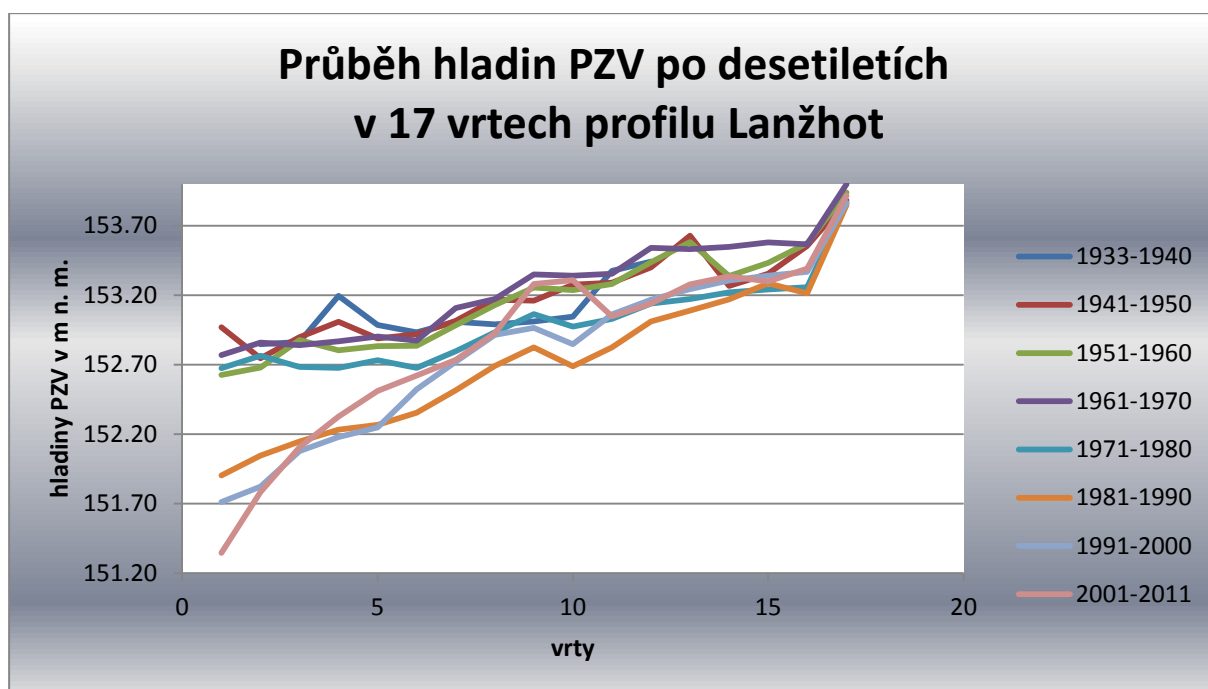
(periody 2, 5, 10 let). Minimální hladina byla v roce 1991.

Obr. 7 Průměrné roční hladiny podzemní vody – naměřené a modelové (flyš v povodí Moravy)

Výskyt minimálních hladin a dopady výskytu minimálních hladin

Minimálních hladiny se vyskytují s přibližně 10letou periodou. Jako málo vodné se z hlediska podzemních vod jeví roky 1934, 1944, 1954, 1964, 1974, 1984 a 1993, 2003 a 2015. V povodí Moravy byly dosaženy minimální hladiny převážně v letech 1974, 1993 a 1984, v povodí Jihlavy většinou v letech 1995 a 1983, v povodí Svratky v letech 1973 – 74 a v povodí Dyje v letech 1974, 1983 a 2003. V roce 2015 se vyskytly absolutní minimální hladiny v jednotlivých objektech ve všech povodích.

Na obr. 8 je znázorněn průběh hladin podzemní vody po desetiletích v 17 vrtech hydrogeologického profilu Lanžhot. Vrty jsou situovány kolmo na řeku Moravu a nachází se mezi řekou Moravou a obcí Lanžhot. Délka tohoto profilu je téměř 4 km. Měření se zde provádí od roku 1934. Z průběhu hladin vyplývá, že nejnižší hladiny se vyskytovaly v desetiletí 1981 – 1990, nejvyšše byly hladiny v desetiletí 1961 – 1970.



Obr. 8 Průběh hladin podzemní vody v hydrogeologickém profilu Lanžhot

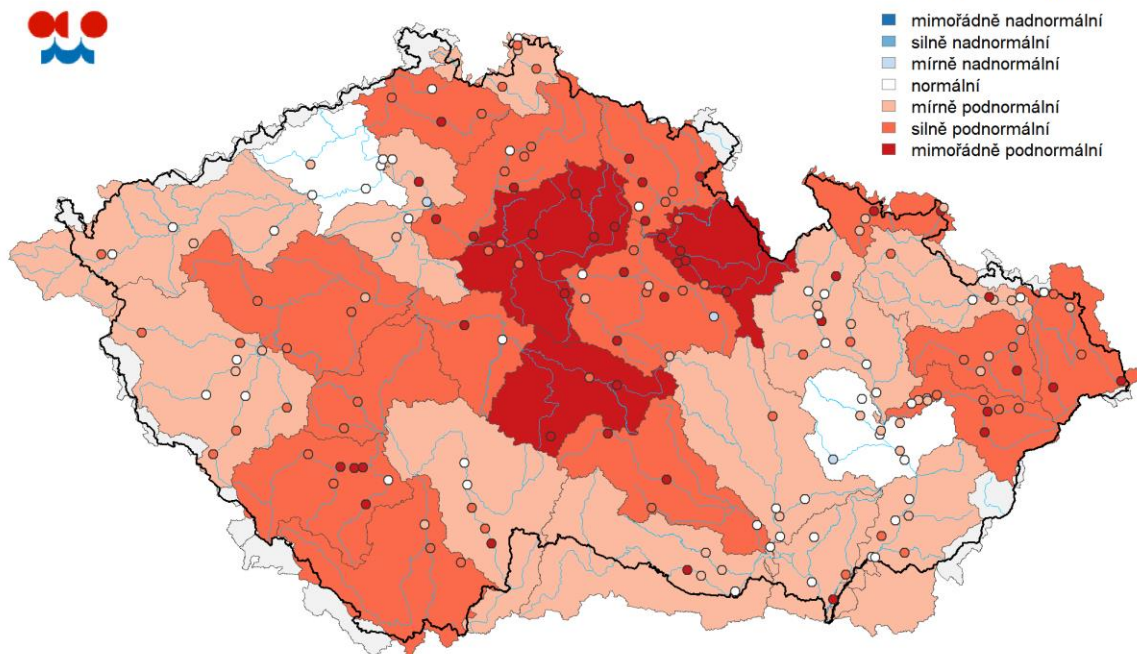
Stav sucha v **podzemních vodách** je hodnocen podle pravděpodobnosti překročení hladiny ve vrtu v příslušném kalendářním měsíci. Stav sucha je charakterizován třemi kategoriemi závažnosti odvozenými za referenční období 1981–2010. Jako **mírné sucho** jsou označeny stavy mírně podnormální s pravděpodobností překročení 75 – 85 %, jako **silné sucho** stavy silně podnormální s pravděpodobností překročení 85 – 95 % a jako **mimořádné sucho** jsou označeny mimořádně podnormální stavy, které odpovídají nejnižším 5 % pozorování. Analogicky znamená pravděpodobnost překročení 15 – 25 % mírně nadnormální stav hladiny, pravděpodobnost překročení 5 – 15 % silně nadnormální stav hladiny a jako mimořádně nadnormální jsou označeny stavy, které odpovídají nejvyšším 5 % pozorování. Hodnocení je prováděno jak pro jednotlivé objekty, tak souhrnně pro definované oblasti povodí.

Za vrchol sucha v roce 2015 lze považovat polovinu srpna. Popis aktuální situace stavu sucha v rámci hydrometeorologické situace je pravidelně publikován v [Týdenní zprávě o hydrometeorologické situaci a suchu na území ČR \(obr. 9\)](#)

(<http://portal.chmi.cz>)

Stav hladiny podzemní vody v mělkých vrtech

27. 07. – 02. 08. 2015

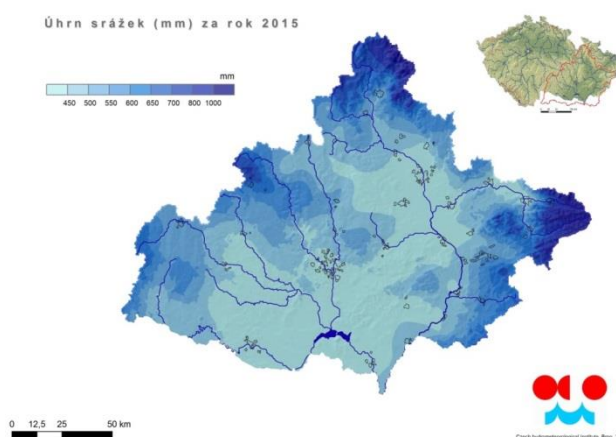


Obr. 9 Stav hladiny podzemní vody v mělkých vrtech – týdenní zpráva ČHMÚ (srpen 2015)

V roce 2015 byl úhrn srážek na povodí Moravy 497 mm, což je 80 % normálu.

Absolutní minimální hladiny byly zaznamenány v měsících červenec až prosinec asi ve 20 % vrtů hlásné sítě základní mělké sítě podzemních vod.

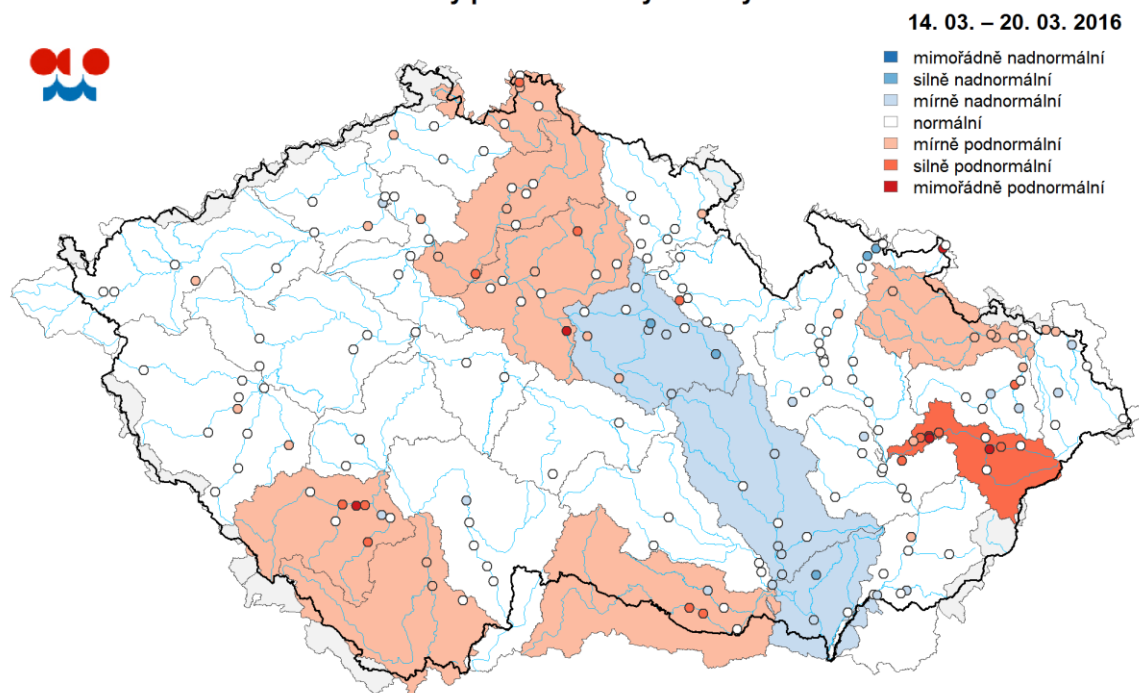
Rozložení ročních úhrnů srážek v povodí Moravy je na obr. 10.



Obr. 10 Úhrn srážek na povodí Moravy v roce 2015

Od začátku roku do 20. března 2016 spadlo na povodí Moravy 110 – 150 % normálu, což se projevilo také v hladinách podzemní vody. V povodí Moravy se vyskytly v březnu 2016 silně podnormální hladiny podzemní vody v povodí Bečvy, mírně podnormální v povodí Dyje (obr. 11).

Stav hladiny podzemní vody v mělkých vrtech



Obr. 11 Stav hladiny podzemní vody v mělkých vrtech – týdenní zpráva ČHMÚ (březen 2016)

Závěr

Výskyt sucha v podzemních vodách, které jsou významnou složkou oběhu vody v přírodě a jsou v interakci s povrchovými vodami a dalšími složkami životního prostředí, může vést ke krizovým situacím, jak ve složkách životního prostředí, tak i v zásobování obyvatelstva pitnou vodou a v zemědělské výrobě. Z toho důvodu je nezbytné zpracovat reálnou adaptační strategii pro řešení problematiky sucha, včetně prognóz minimálních hladin a zlepšování retenčních schopností krajiny a efektivnější hospodaření se srážkovými vodami.

Dne 29. července 2015 schválila vláda České republiky usnesení k přípravě realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody. V rámci tohoto usnesení vláda uložila ministrům životního prostředí, zemědělství, průmyslu a obchodu, 1. místopředsedovi vlády pro ekonomiku a ministru financí, ministryni pro místní rozvoj a vedoucímu Úřadu vlády realizovat opatření k naplnění cílů ochrany před negativními dopady sucha.

Literatura

- [1] ES. 2000. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/ES ze dne 23. října 2000 ustanovující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky (Rámcová směrnice o vodě)
- [2] Muzikář, R. *Interakce podzemní a povrchové vody*. Vodní hospodářství č. 8, roč. 64, 18-21 s.
- [3] Muzikář, R., Soukalová, E. *Prognózy režimu podzemních vod pomocí stochastických modelů*. Praha, Sborník prací ČHMÚ, sv. 36, 1988. 112 s.
- [4] Soukalová, E., Muzikář, R. In: Brázdil, R., Trnka M. : *Sucho v českých zemích minulost, současnost, budoucnost*. Centrum výzkumu globální změny akademie věd ČR, v. v. i. Brno. 2015.

Kontakt:

Ing. Eva Soukalová, CSc.

Český hydrometeorologický ústav P-Brno

Kroftova 43, 616 67 Brno

Tel.: 541421022, e-mail: eva.soukalova@chmi.cz

Retrospektivní analýza fenologických fází pšenice ozimé (*Triticum aestivum* L.) v podmínkách klimatu České republiky

Retrospective analysis of the phenological phases of winter wheat in conditions of climate of the Czech Republic

Eva Stehnová¹, Hana Středová¹, Jaroslav Rožnovský^{1,2}

¹ Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

² Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno

Abstrakt

Fenologická pozorování se používají ve spojení s problematikou týkající se změny klimatu (bioindikace změny klimatu), zemědělskou činností – výnosové modely polních plodin a predikční modely výskytu patogenů, pylové informační služby, eroze půdy atd. Jedním ze zásadních faktorů u fenologických pozorování jsou dostatečně dlouhodobé řady pozorování. V práci je provedena analýza vybraných fenofází pšenice ozimé (*Triticum aestivum* L.) za dvě třicetiletá období 1931-1960 a 1961-1990 na stanici Branišovice. Následně bylo provedeno porovnání těchto období. Na základě dosažených výsledků je možné konstatovat, že v letech 1961-1990 došlo k prodloužení vegetačního období o 15 dnů. V těchto letech docházelo i k dřívějšímu výsevu pšenice ozimé. Výsev v období 1961-1990 probíhal v průměru 2. října. Termín vzcházení v obou obdobích zůstává neměnný a to 19. října. Největší změna byla identifikována mezi fenofázemi metání a sklizeň. V období 1961-1990 došlo k prodloužení intervalu mezi metáním a sklizní o 14 dnů. Nejvyšší korelační koeficient byl stanoven u fenofáze metání a to -0,4099, což značí statistickou průkaznost. U ostatních fenofází byly stanoveny nízké korelační koeficienty pro období 1961-1990.

Klíčová slova: fenofáze, změna klimatu, vegetační období

Abstract

The phenological observations are used in conjunction with the issues relating to climate change (bioindications climate change), agricultural activities – models yield of field crops and predictive models of the incidence of pathogens, pollen information service, soil erosion etc. Enough long-term data series are one of the fundamental factors in the phenological observations. This article is focused on the analysis of selected phenophase of winter wheat

(*Triticum aestivum* L.) for two thirty-year periods 1931-1960 and 1961-1990. Comparison was made of this period subsequently. Based on results it can be stated that in period of 1961-1990 the vegetation period was lengthened about 15 days. An earlier sowing of winter wheat was done in those years. Sowing took place on average October 2 in the period of 1961-1990. The term of emergence remains unchanged in both periods and on October 19. The biggest change has been identified between phenophase of heading and harvest. The trend analysis of individual phenophase onset proven extension of interval between heading and harvest about 14 days from 1961-1990. Within the was elongated. Trend of earlier onset was statistically significant just for heading ($r = -0,4099$) and power.

Keywords: phenophase, climate change, vegetation period

Úvod

Fenologická pozorování zemědělských plodin byla zařazena do činností Českého hydrometeorologického ústavu ve dvacátých letech minulého století (Nekovář et al., 2006). V posledních letech dostává do popředí zájmu vědeckých pracovníků v souvislosti se změnou klimatu, hlavně s určením jejich dopadů. Vědecké výzkumy potvrzují, že globální oteplování má vliv na načasování jednotlivých fenologických fází (Hudson, 2010). Fenologie se zabývá studiem životních projevů rostlin a živočichů, které jsou závislé na povětrnostních podmínkách v průběhu roku (Uhlíř, 1961). Jednotlivé fenologické fáze jsou určeny především biotickými a abiotickými faktory (Lieth, 1974). Fenologická data jsou významným zdrojem informací a to především z důvodu dlouhých časových řad fenologických pozorování, které jsou k dispozici (Hájková et al., 2014). Globální změna klimatu má výrazný vliv na fenofáze rostlin (Cleland, 2007), a proto je i vhodným ukazatelem pro analýzu změny klimatu. Díky zvyšující se teplotě vzduchu dochází k ovlivnění a časové variabilitě jednotlivých vývojových fází rostlin (Cleland, 2007, Partanen, 1998). Fenologická pozorování v rámci České republiky jsou od roku 1940 provozována Českým hydrometeorologickým ústavem, který disponuje archivem s údaji od roku 1923 (Nekovář et al., 2006). Pozorování a předpověď nástupu fenofází má praktické využití především v zemědělství. Díky fenologickým pozorováním je možné stanovit vhodný termín aplikace přípravků na ochranu rostlin, termín závlah atd. (Šiška, 2006). Dále je možné fenologická pozorování využít při určení délky produkční doby u jednotlivých plodin. Tyto informace napomáhají i při určování klimatické povahy určité

oblasti (Rožnovský et al., 1999). Fenofáze rostlin slouží i pro lékařské účely, kde jsou tyto informace využívány v souvislosti s určením výskytu pylových alergenů (Středa et al., 2004). Vědci využívají fenologické analýzy i při řešení otázek druhových vztahů, populační dynamiky a při adaptačních strategiích pro řízení přírodních ekosystémů (Hudson, 2010). V zemědělském výzkumu i výrobní praxi jsou fenologické údaje potenciálně využitelné i v optimalizaci protierozní ochrany půd. Při výpočtu univerzální rovnice ztráty půdy (USLE) hraje důležitou roli faktor ochranného vlivu vegetace (faktor C), který závisí především na vývoji vegetace a použité agrotechnice. Wischmeier a Smith (1978) uvádějí pět pěstebních období: období podmítky a hrubé brázdy, období od přípravy pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí nebo sázení, období po dobu druhého měsíce od jarního nebo letního setí či sázení (u ozimů do 30.4.), období od konce třetího období do sklizně, období strniště.

Vegetace má přímý vliv na smyv půdy a chrání ji před dopadajícími dešťovými kapkami. Dále dochází ke zpomalení povrchového odtoku (Janeček et al., 2012).

Změny nástupu jednotlivých fenofází, ať už u polních plodin nebo ovocných stromů, by mohly mít v budoucnu přímý vliv i na výnosy plodin a na konečnou sklizeň (Chmielewski et al., 2004).

Fenologická pozorování neprobíhají pouze v České republice. V rámci Evropy existuje síť mezinárodních fenologických zahrádek (IPG) (Nekovář, 2006). Pro stanovování fenofází v mezinárodních podmínkách slouží stupnice BBCH. Zkratka BBCH vychází z němčiny, kde označuje **B**iologische **B**undesanstalt, **B**undessortenamt and **C**hemical Industry. Tato stupnice je v rozmezí od 00 (ošetření osiva před výsevem) do 99 (po sklizeň) (Meier, 2001). BBCH stupnice vycházela z kódování obilovin ZADOKS vytvořené v roce 1974 (Nekovář et al., 2006).

V současné době je ve fenologickém výzkumu velmi často využívaná metoda regresní analýzy, která ukazuje časový trend (Hudson, 2010).

Materiál a metody

V rámci článku je řešena retrospektivní analýza nástupu fenofází pro pšenici setou, formu ozimou (*Triticum aestivum* L.). Fenologická data v práci nejsou uváděna do vztahu s klimatickými podmínkami. Jedná se o popis vybraných fenofází v rámci vymezeného období. Dále jsou vyjádřeny změny jednotlivých fenofází v čase. Pro analýzu byla použita data z fenologické stanice Branišovice za období 1961-1990. Obec se nachází

v Jihomoravském kraji a leží přibližně 6 km od Pohořelic západním směrem v nadmořské výšce 194 m n. m. Průměrný roční úhrn srážek je 553 mm a dlouhodobá průměrná teplota je 9°C (Kurpelová et al., 1975).

Fenologická pozorování jsou prováděna na základě metodických předpisů tzv. návodů pro činnost fenologických stanic, které stanovují bližší informace potřebné k fenologickým pozorováním. Tyto metodiky stanovují, které fenofáze se sledují a jak se jednotlivé fenofáze od sebe odlišují. Při fenologickém pozorování v období 1961-1990 vycházelo sledování z Metodických předpisů pro pozorovatele vydaných v roce 1956 a 1982. Od roku 1956 do roku 1982 se u pšenice ozimé (*Triticum aktivum* L.) sledovaly tyto fenofáze: počátek setby (sázení), vzcházení, odnožování, sloupkování, metání, počátek květu, žlutá zralost, plná zralost a počátek žní (Pifflová et al., 1956). Od roku 1983 byl vydán nový metodický předpis, který stanovil i nové fenofáze, které se budou sledovat. V metodickém předpisu jsou pro pšenici ozimou vymezeny tyto fenofáze: setí, vzcházení, odnožování, počátek prodlužování listových pochev, první kolénko, druhé kolénko, naduření pochvy posledního listu, metání, počátek kvetení, konec kvetení, mléčná zralost, žlutá zralost, plná zralost a sklizeň (Valter, 1982). V práci je provedena analýza pro fenofáze setí, vzcházení, metání a sklizeň. Definice těchto fenofází jsou uvedené v tab. 1.

Tab.1 Popis vybraných fenofází (Pifflová et al., 1956, Valter, 1982)

Analyzované fenofáze u pšenice ozimé (<i>Triticum aktivum</i> L.) a jejich popis		
Fenofáze	Zkratka	Definice
Setí	ST	Den, kdy bylo osivo vybrané plodiny vpraveno do půdy na vybrané pokusné ploše. Neboli termín, kdy bylo zahájeno setí dané plodiny.
Vzcházení	VZ	Den, kdy na pokusné ploše rostliny začínají řádkovat.
Metání	ME	Den, kdy plodina na poli metá. Fáze metání nastává tehdy, pokud z pochvy posledního listu vyčnívá polovina květenství (klasu, laty).
Sklizeň	SK	Den, kdy bylo na pozorované ploše započato sklizení, kosení plodiny.

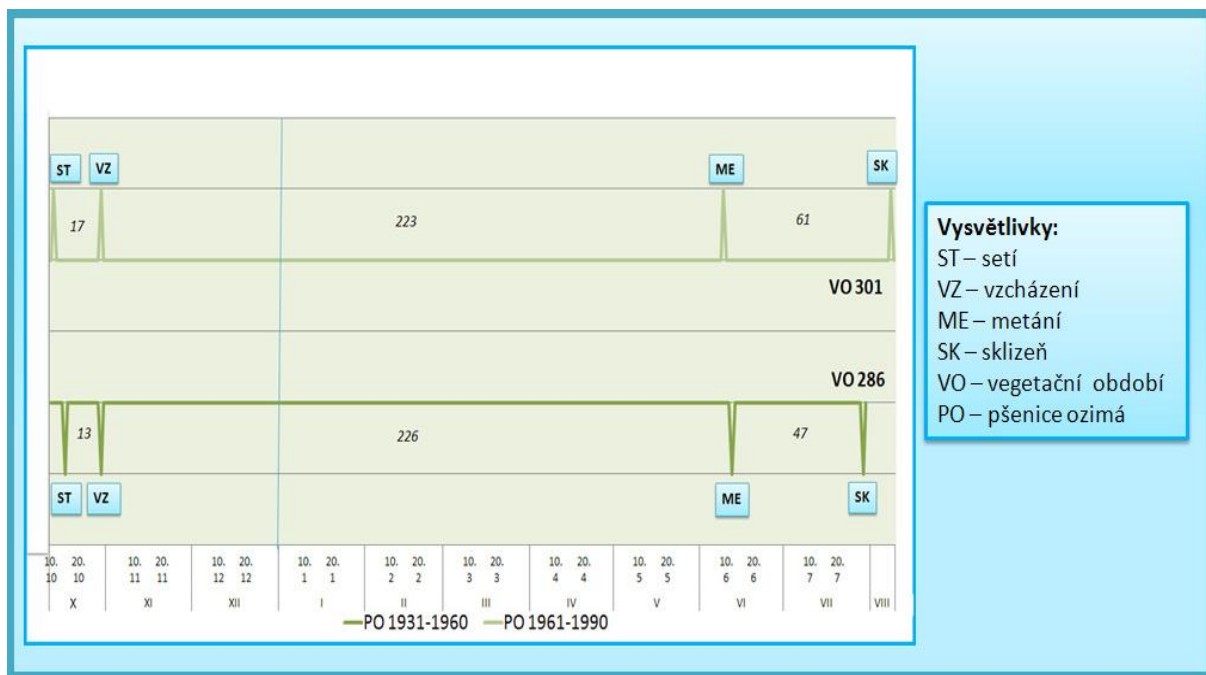
Na základě získaných dat bylo provedeno porovnání fenologických fází za dvě období, a to za období 1931-1960 a 1961-1990. Data pro období 1931-1960 byla získána z tabulek

Agroklimatických podmínek ČSSR (Kurpelová et al., 1975). V tabulkách nejsou uvedeny údaje přímo pro stanici Branišovice, proto byla vybrána nejbližší stanice s podobnými charakteristikami, a to Rajhrad.

Data pro roky 1961-1990 jsou získána přímo z fenologické stanice z přímých pozorování. Fenologická data byla následně graficky vyjádřena.

Výsledky

Obr. 1 znázorňuje délku vegetačního období a rozložení vybraných fenofází (setí, vzcházení, metání a sklizeň) pro období 1931-1960 a 1961-1990. Obr. 2 vymezuje detailní korelační analýzu pšenice ozimé pro období 1961-1990. V grafu jsou analyzovány vybrané fenofáze (setí, vzcházení, metání, plná zralost, sklizeň). Fenofáze setí a sklizeň je možné chápat jako agrotechnické ukazatele. Tyto fenofáze neukazují přímo na určitý stav rostliny.



Obr. 1: Vybrané fenofáze pšenice ozimé pro období 1931-1960 a 1961-1990

Období 1931-1960:

V letech 1931-1960 bylo v průměru setí prováděno 6. října. Doba mezi setím a vzcházením byla v průměru 13 dnů. Vzcházení pšenice ozimé je v průměru datováno do 19. října. Počet dnů mezi vzcházením a metáním bylo v tomto období 226 dnů. Metání v průměru nastávalo 3.6. Doba mezi metáním a sklizní je pro zmíněné období v průměru 47 dnů. Termín sklizně je

v průměru 20. července. Délka vegetačního období (VO) tzn. od setí po sklizeň je v průměru 286 dnů.

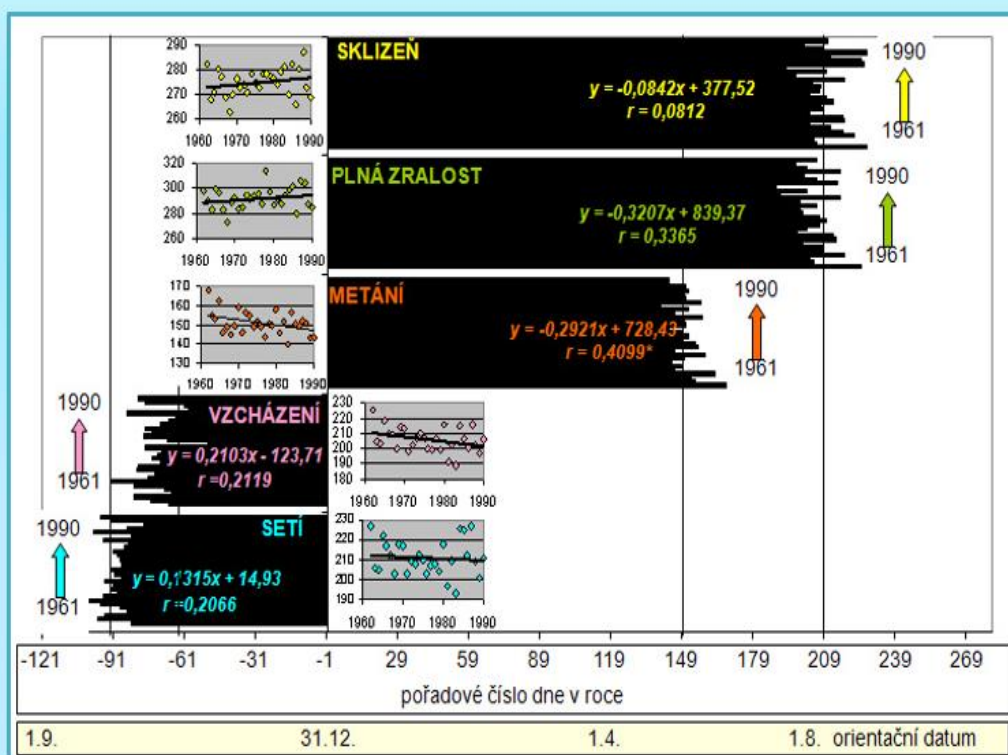
Období 1961-1990:

Setí bylo v průměru prováděno 2. října. Fenofáze vzcházení v průměru nastává 17. den po výsevu, což je 19. října. Metání nastává v průměru 31. května. Fenofáze metání nastává v průměru 223 dne po vzcházení. Mezi fenofázemi metání a sklizeň je interval v průměru 61 dnů. Sklizeň se v průměru provádí 30. července. Délka vegetačního období (od setí do sklizně) je v průměru 301 dnů.

Při porovnání období 1931-1960 a 1961-1990 dochází k opoždění sklizně o 14 dnů. Důvody k posunu termínu sklizně mohou být různé. Pozdější sklizeň může být způsobena klimatickými podmínkami, odrůdou pšenice ozimé, agrotechnikou atd. V období 1961 -1990 došlo v průměru o prodloužení vegetačního období o 15 dnů. Z analýzy fenologických fází pro období 1931-1960 a 1961-1990 vyplývá, že se termín setí v průměru posouvá v období 1961-1990 o 4 dny tzn. že dochází k dřívějšímu výsevu. Délka vzcházení pšenice ozimé se zvyšuje ze 13 dnů na 17 dnů. Rozmezí mezi vzcházením a metáním se v průměru v období 1961 -1990 zkrátilo o 3 dny.

Dále byla provedena korelační analýza pro období 1961-1990. Korelační koeficient stanovuje sílu vztahu vybraných fenofází v daném období.

Fenologické trendy pšenice ozimé (*Triticum aestivum*) u vybraných fenofází



Obr. 2: Fenologické trendy a korelační analýza vybraných fenofází pšenice ozimé v období 1961-1990

Poznámka:

* :průkazný vztah

-1; -31 den atd.: jedná se o dny předchozího roku

Korelační koeficienty na obr. 2 znázorňují míru těsnosti dvou proměnných. Fenofáze metání nastává statisticky průkazně dříve a to o 12 dnů. U této fenofáze je hodnota korelačního koeficientu -0,4099. Pro fenofázi setí je korelační koeficient -0,2066. Jedná se o statisticky neprůkazný vztah. Hodnota korelačního koeficientu pro fenofázi vzcházení je -0,2119, což znamená opět statisticky neprůkazný vztah. Plná zralost pšenice ozimé má korelační koeficient 0,3365, což značí také statisticky neprůkazný vztah. U fenofáze sklizeň je také statisticky neprůkazný vztah, protože hodnota korelačního koeficientu je 0,0812.

Diskuze

Chmielewski ve své studii z roku 2001 uvádí, že může v Evropě dojít k posunu vegetačního období o 8 dnů, což znamená dřívější nástupu jara. V důsledku dřívějšího příchodu jara dochází k prodlužování vegetačního období. V rámci této studie je zřejmé, že se v období 1961-1990 v průměru posunulo setí pšenice ozimé o čtyři dny. Je možné konstatovat, že se délka vegetačního období mění. Dále Chmielewski et al. (2001) uvádí, že bude v budoucnu docházet k prodlužování vegetačního období. Z obr. 1 je patrné, že v rámci analýzy fenofází pšenice ozimé je viditelné prodloužení vegetačního období. Analýza vybraných fenofází ukazuje, že při porovnání období 1931-1960 a 1961-1990 došlo k prodloužení vegetačního období o 15 dnů.

Hájková et al. (2012) uvádí, že průměrný termín vzcházení pšenice ozimé je 6. října. V analyzovaných obdobích 1931-1960 a 1961-1990 byl průměrný termín vzcházení v Branišovicích 19. října. Toto ukazuje na dřívější termín vzcházení, což může být ovlivněno i dřívějším výsevem. Ve fenologickém atlase je dále uveden průměrný termín metání, který v průměru nastává 30. května pro období 1991-2010. Toto ukazuje na posun termínu metání. Tento trend je patrný i v rámci analýzy provedené v této práci. V období 1961-1990 došlo v Branišovicích k posunu průměrného termínu metání na 31.5. V období 1931-1960 termín metání nastával 3.6. Metání v období 1961-1990 nastává o 3 dny dříve.

Závěr

V rámci této práce je řešena retrospektivní analýza pro pšenici setou, formu ozimou (*Triticum aestivum* L.). Analýzy provedené v tomto článku jsou popisného charakteru. Data nejsou dána do vztahu s klimatickými podmínkami. Práce řeší dvě období, a to rozmezí let 1931-1960 a 1961-1990. Následně bylo provedeno porovnání těchto období. Použitá data vybraných fenofází jsou pro fenologickou stanici Branišovice.

Byla provedena analýza vybraných fenofází u pšenice ozimé tj. setí, vzcházení, metání a sklizeň. V období 1931-1960 byly průměrné termíny těchto fenofází následující: setí 6. října, vzcházení 19. října, metání 3. června a sklizeň 20. července. Délka vegetačního období byla v průměru 286 dnů. V letech 1961-1990 byly termíny vybraných fenofází následující: setí 2. října, vzcházení 19. října, metání 31. května a sklizeň 30. července. Vegetační období bylo v průměru 301 dnů.

Největší rozdíly mezi výše zmíněnými obdobími jsou v termínech sklizně a délce vegetačního období. V letech 1961-1990 došlo k prodloužení vegetačního období o 15 dnů a termín sklizně byl opožděn o 14 dnů v porovnání s roky 1931-1960. Toto může být způsobeno meteorologickými podmínkami, odrudou pšenice ozimé, agrotechnikou atd. Termín setí se v období 1961-1990 v průměru posouvá o 4 dny. Prodlužuje se i doba mezi setím a vzházením ze 13 dnů na 17 dnů. Rozmezí mezi vzházením a metáním se v průměru zkrátilo o 3 dny.

Dále byla provedena korelační analýza fenologických trendů pšenice ozimé (*Triticum aestivum* L.) pro období 1961-1990. Korelační analýza byla udělána pro tyto fenofáze: setí, vzházení, metání, plná zralost a sklizeň. Průkazný vztah byl zjištěn pouze u fenofáze metání, kde je hodnota korelačního koeficientu -0,4099.

Literatura

CLELAND, E. Elsa, Isabelle CHUINE, Annette MENZEL, Harold A. MOONEY a Mark D. SCHWARTZ. Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology and Evolution*[online], © 2007, vol. 22, issues 7 [cit 2016-03-23], 357-365 s. ISSN: 0169-5347.

HÁJKOVÁ, L., V. KOŽNAROVÁ a M. MOŽNÝ. History and present of phenological observations or phenology at the crossroad. In: ROŽNOVSKÝ, Jaroslav a Tomáš LITSCHMANN (eds.). *Mendel and bioklimatology. International conference 3.9.-5.9.2014* Brno: Masarykova univerzita, © 2014. ISBN 978-80-210-6983-1.

HÁJKOVÁ, Lenka et al. *Atlas fenologických poměrů Česka: Atlas of the phenological conditions in Czechia*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, © 2012. ISBN 978-80-86690-98-8.

CHMIELEWSKI, Frank-M a Thomas RÖTZER. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* [online], ©2001, 108 [cit. 2016-03-18], 101-112 s. ISSN: 0168-1923. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192301002337>

CHMIELEWSKI, Frank-M, Antje MÜLLER a Ekko BRUNS. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000. *Agricultural and Forest Meteorology* [online], © 2004, 121 [cit. 2016-03-18], 69-78 s. ISSN: 0168-1923. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192303001618>

- JANEČEK, Miloslav et al. *Metodika – Ochrana zemědělské půdy před erozí*. 1. Vyd. Praha: Powerprint, 2012, 113 s. ISBN 978-80-87415-42-9.
- KURPELOVÁ, M, L. COUFAL a J. ČULÍK. *Agroklimatické podmínky ČSSR*. Bratislava: Hydrometeorologický ústav v přírode, © 1975, s. 267.
- LEITH, Helmut. *Phenology and seasonality modeling*. New York: Springer Science and Business media, 1974, 444 s. ISBN 978-642-51865-2.
- MEIER, Uwe eds. *Growth stages of mono-and dicotyledonous plants. BBCH Monograph* [online]. Berlín: Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, © 2001 [cit. 2016-3-24]. Dostupné z: <https://www.politicheagricole.it/flex/AppData/WebLive/Agrometeo/MIEPFY800/BBCHengl2001.pdf>
- NEKOVÁŘ, Jiří a Jaroslav ROŽNOVSKÝ. Fenologická služba Českého hydrometeorologického ústavu. In: ROŽNOVSKÝ, Jaroslav, Tomáš LITSCHMANN a Ilja VYSKOT eds. *Fenologická odezva proměnlivosti podnebí. Sborník z mezinárodní vědeckého semináře Brno 22.3.2006*. Brno: ©2006. ISBN 80-86690-35-0.
- PARTANEN, J., V. KOSKI a H. Hänninen. Effects of fotoperiod and temperature on the timing of bud burst in Norway spruce (*Picea abies*). *Tree physiology* [online], 1998, vol. 18, issues 12 [cit. 2016-03-23], 811-816 s. ISSN: 0829-318X.
- HUDSON, Irene L. a Marie R. KEATLEY (eds). *Phenological research: methods for environmental and climate change analysis*. Dordrecht [The Netherlands]: Springer, c2010. ISBN 978-90-481-3334-5.
- PIFFLOVÁ, L., J. BRABLEC, V. LENNER, M. MINÁŘ. *Příručka pro fenologické pozorovatele*. Praha: Hydrometeorologický ústav, © 1956, 152 s.
- ROŽNOVSKÝ, Jaroslav a Vladimír HAVLÍČEK. *Bioklimatologie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, © 1999, 155 s. ISBN 80-7157-291-8.
- STŘEDA, Tomáš, Jaroslav ROŽNOVSKÝ a Petr ŠTĚPÁNEK. Analýza iniciace počátku kvetení meruňky (*Prunus armeniaca L.*) prostřednictvím vybraných teplotních charakteristik. In: ŠIŠKA, B. a D. IGAZ eds. *Bioklimatologické pracovní dny 2004. Zmeny podnebí – Extrémy počasia – Organizmy a ekosystémy. Medzinárodná vedecká konferencia. 23.-26.8.2004 Viničky*. Viničky: © 2004. ISBN 80-8069-402-8.
- ŠIŠKA, Bernard a Ivana MEZEYOVÁ. Fenologický monitoring ovocných dřevín na SPU a v podmienkach SROV. In: ROŽNOVSKÝ, Jaroslav, Tomáš LITSCHMANN a Ilja VYSKOT

eds. *Fenologická odezva proměnlivosti podnebí. Sborník z mezinárodní vědeckého semináře Brno 22.3.2006*. Brno: ©2006. ISBN 80-86690-35-0.

VALTER, J. *Metodický předpis č. 2. Návod pro činnost fenologických stanic. Polní plodiny*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, © 1982, 78 s.

WISCHMEIER, W.H. a D.D. SMITH. *Predicting rainfall erosion losses – A guide book to conservation planning*. Washington: U.S. Department of agriculture, 1978.

UHLÍŘ, Pavel. *Meteorologie a klimatologie v zemědělství*. Praha: Československá akademie zemědělských věd, 1961, 402 s.

Poděkování

Tato práce vznikla za podpory projektu Interní grantové agentury Agronomické fakulty Mendelovy univerzity v Brně TP_1_2016 „Nové poznatky v pěstování a využití ostropestřece mariánského (*Silybum Marianum* L.) v zemědělství“ a projektu Ministerstva zemědělství České republiky QJ1530181 „Stanovení aktuálních hodnot ochranného účinku vegetace za účelem kvantifikace a zefektivnění protierozní ochrany zemědělské půdy v České republice.“

Kontakt:

Ing. Eva Stehnová

Mendelova univerzita v Brně

Zemědělská 1, Brno 602 00

545 135 478, eva.stehnova@mendelu.cz

Vliv pojezdu traktoru na fyzikální vlastnosti půdy

The influence of tractor chassis on the physical properties of soil

Ing. Martin Svoboda, doc. Ing. Jan Červinka, CSc.

Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky, Zemědělská 1, 602 00 Brno, Česká Republika

Abstrakt

Při polně laboratorních zkouškách fyzikálních vlastností půdy byl posouzen vliv traktoru s různou výbavou pneumatik. Porovnávala se klasická pneumatika a dvoumontáž s různými

hodnotami plnicího tlaku. U jednotlivých variant (stop), které traktor vytvořil, byly odebrány půdní vzorky z hloubky 150 a 300 mm pomocí Kopeckého válečku. Z odebraných vzorků byla stanovena vlhkost půdy, měrná hmotnost, objemová hmotnost redukována a pórovitost. Výsledky měření potvrdily vliv různých pneumatik (dvoumontáže) a plnicího tlaku v nich, jak na objemovou hmotnost redukovanou, tak i na pórovitost.

Klíčová slova: pneumatika, dvoumontáž, hmotnost, objemová hmotnost redukována, pórovitost

Abstract

The field and laboratory trials evaluate influence of tractor tires on physical features of the soil. The comparison was made on classical tires and twin tires with different pressures. The samples were collected by Kopecky roller from depths of 150 mm and 300 mm for each variant. The soil humidity, density, bulk density reduced and porosity were measured. The results confirmed influence of different tires (twin tires) and tire pressure on soil bulk density reduced and porosity as well.

Keywords: tire, twin tires, weight, bulk density reduced, porosity

Úvod

Pro konkurenceschopnost české rostlinné produkce v zemědělství je klíčovou podmínkou zachování produkčního potenciálu zemědělské půdy. Jde zejména o snižování rizik vodní a větrné eroze. Půda je základní, omezený a neobnovitelný zdroj tvorby potravin, je nedílnou součástí přírodního bohatství každé země. Pro úrodnost i pro zadržení vody v kraji je základní podmínkou zlepšování fyzikálních vlastností půdy. Mezi vlastnostmi, které charakterizují její stav, je kromě jiného objemová hmotnost, vlhkost a pórovitost. Pórovitost půdy je kvantitativní charakteristikou půdy, která definuje její stav, zhutnění a nakypření. Pórovitost půdy se vztahuje k části objemu půdy, který není zaplněn půdními částicemi nebo organickým materiálem, ale je vyplněn plyny nebo vodou. Pórovitost a objemovou hmotnost půdy můžeme použít jako popis úrovně půdního zhutnění.

Zvyšování objemové hmotnosti půdy, a tím snižování vodní kapacity, je jednou z příčin splavování ornice z polí a lokálních záplav. Dlouhodobě nevhodné zpracování půdy vytvoří nepropustné vrstvy bez vzduchu, sníží se úrodnost půdy a silně se omezí vodní kapacita. Důsledky jsou zcela zřetelné, „jezera“ na polích, po malém dešti stéká voda z polí. Takto

„zamokřená“ místa výrazně snižují výnosy plodin a ničí půdu. Biologicky činná půda je podmínkou intenzivního a vyváženého příjmu živin rostlinami. Při nadměrném zhutnění půdy tj. při hodnotách objemové hmotnosti nad $1,6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ u středně těžkých půd se značně snižuje nejen výnos, ale i efektivnost hnojení, přičemž se zejména projevuje nedostatek dusíku (Valenta, 2012).

Materiál a metody

Měření fyzikálních vlastností a polní pokus byl založen na pozemku v katastru města Telč. Pro polní pokus byl použit traktor John Deere 7820 (viz tab. 1), který byl dotížen závažím v zadních kolech každé 290 kg závaží a v předním tříbodovém závěsu 800 kg závaží. Odebírání půdních vzorků pomocí Kopeckého válečků probíhalo v březnu roku 2015 na středně těžké půdě, půdního typu kambiem, s půdním druhem písčitohlinité až hlinité, bezskeletovité až slabě skeletovité se střední hloubkou. Klimatický region je mírně teplý, vlhký. Roční úhrn srážek je 650 – 750 mm. S průměrnou roční teplotou 6 – 7° C. Vlhkost se pohybovala v době měření v hloubce 100 mm v půdě bez přejezdu 16 %, ve stopách traktoru byla v rozmezí 19 – 22%. Rozbor Kopeckého válečků probíhal v laboratoři na Mendelově univerzitě v Brně během následujících dnů. Na pozemku byla v podzimu roku 2014 provedena orba na hloubku 250 mm a na jaře roku 2015 byl před měřením usmykván.

Polní měření probíhalo tak, že při projetí traktoru se označila stopa traktoru a z ní se odebíral půdní vzorek pomocí Kopeckého válečku z hloubky 150 a 300 mm pro laboratorní rozbor. Nejprve projel traktor na klasických pneumatikách. Po projetí se v pneumatikách snížil tlak. Byly zvoleny dva tlaky v pneumatice (viz tab. 2), přetlak a standardní tlak (doporučený výrobcem). Pro kontrolní vzorek se odebírala půda, kde nebylo přejeté traktorem. Stejně se postupovalo, když byly na zadní nápravu traktoru nainstalovány dvoumontáže.

Půdní vzorky z kolejí traktoru se začínaly odebírat až ve vzdálenosti 20 m od kraje pozemku z důvodu otáčení traktoru a aby traktor dosáhl požadované konstantní rychlosti pro všechny varianty měření a eliminovaly se úvratě, kde dochází k obracení souprav traktorů při dřívějších pracích na pozemku.

Tab. 1 Základní parametry traktoru John Deere 7820

Označení		John Deere 7820
Výkon	kW/k	136/185

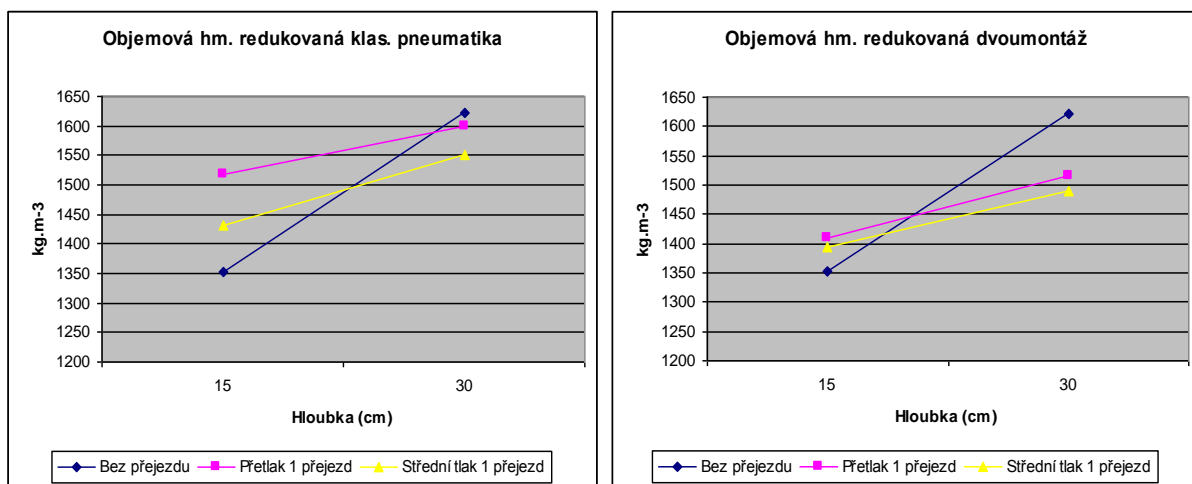
Převodovka		AutoQuad 20/20
Celková hmotnost	kg	9 940
Celková hmotnost s dvoumontáží	kg	10 240
Hmotnost na přední nápravu	kg	5 964
Hmotnost na zadní nápravu	kg	3 976
Hmotnost na zadní nápravu s dvoumontáží	kg	4 276
Závaží v předním třibodovém závěsu	kg	800
Závaží v zadních kolech (každé)	kg	290
Přední pneumatiky	540/65 R30	Trelleborg TM800
Zadní pneumatiky	650/65 R42	Alliance Super Power Drive Radial A -360
Pneumatiky zadní dvoumontáže	650/65 R42	Michelin Multibib

Tab. 2 Zadané hodnoty pro různé varianty sledování

Varianty	Rozměr přední pneumatiky	Rozměr zadní pneumatiky	Varianta tlaku	Tlak v přední pneum. (kPa)	Tlak v zadní pneum. (kPa)	Hmotnost traktoru (kg)	
						Klas. pneumatika	Dvoumontáž
Přetlak	540/65 R30	650/65 R42	Přetlak	220	220	9940	10240
Střední tlak	540/65 R30	650/65 R42	Standardní	170	170	9940	10240
Kontrola			Mimo stopu traktoru				

Výsledky

Pro porovnání vlivu pneumatiky a plnicího tlaku na změnu stavu půdy jsme použili objemovou hmotnost redukovanou a celkovou pórovitost, které jsme zjistili z laboratorního rozboru Kopeckého válečků. Dále jsme si laboratorně stanovili měrnou hmotnost. Porovnávány byly, jak jednotlivé varianty tlaku v pneumatice mezi sebou, tak různé pneumatiky (klasická pneumatika a dvoumontáž).

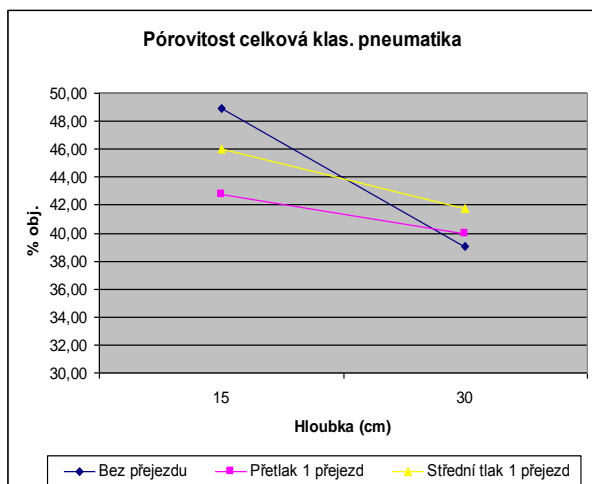


Obr.1. Objemová hm. redukována klas. pneu. Obr. 2.. Objemová hm. redukována dvoumout.

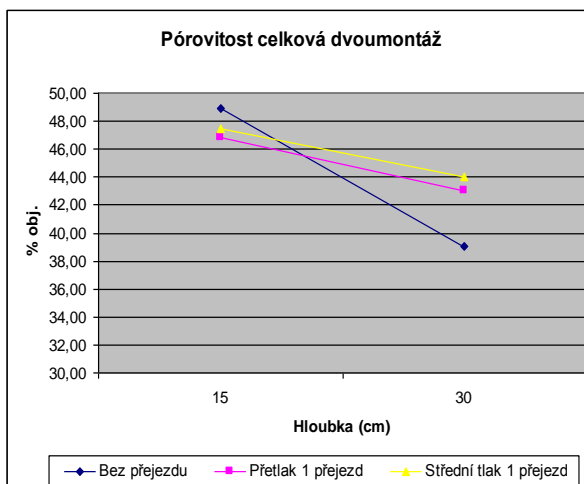
V grafickém znázornění (viz obr. 1) je použito klasické pneumatiky a v obr. 2 je použita dvoumoutáž na zadní nápravě traktoru. Hodnoty objemové hmotnosti redukováne se dosahuje ve svrchních půdních vrstvách nejčastěji mezi hodnotami 1200 – 1500 kg.m⁻³. Ve spodních vrstvách tyto hodnoty vzrůstají až na hodnoty 1600 – 1800 kg. m⁻³. Objemová hmotnost suché půdy indikuje kyprost nebo ulehlost půdy a je potřebná pro výpočet pórovitosti. U klasické pneumatiky (obr.1) dosahuje nižší hodnoty varianta se středním tlakem v pneumatice v 150 mm hloubky. Varianta s přetlakem resp. s vyšším plnicím tlakem v pneumatice má proti variantě se středním tlakem vyšší hodnoty objemové hmotnosti redukováne. V hloubce 300 mm má varianta se středním tlakem nižší hodnoty než varianta s přetlakem v pneumatice. Jen u kontroly byly vykázány vyšší hodnoty objemové hmotnosti redukováne v 300 mm než tam, kde bylo přejížděno.

V grafu na obr. 2 varianty s dvoumoutáží hodnoty postupně narůstají se zvyšující se hloubkou měření. Varianta se středním tlakem v pneumatice vykazuje nižší hodnoty objemové hmotnosti redukováne než varianta s přetlakem v pneumatice. V hloubce 30 cm je vidět už větší nárůst hodnot u kontroly než u ostatních variant.

Při porovnání jednotlivých pneumatik resp. grafu 1 a 2 je vidět, že při použití dvoumoutáží je objemová hmotnost redukována nižší.



Graf 3. Pórovitost celková klas. pneu.



Graf 4. Pórovitost celková dvoumontáž

Na grafech 3 a 4 je zobrazena celková pórovitost, která podává obraz o okamžitém zastoupení objemu pórů v celkovém objemu půdy. Na grafu 3 vidíme celkovou pórovitost při použití klasické pneumatiky. Nejlepších hodnot dosáhla varianta se středním tlakem v hloubce 15 cm, když nebudeme počítat kontrolu. Varianta s přetlakem v pneumatice měla hodnoty nižší. V hloubce 30 cm byla opět nejlepší varianta se středním tlakem v pneumatice. Nejhorší výsledek dosáhla kontrola, kde bylo procento pórů nízké.

V grafu 4 vidíme celkovou pórovitost při použití dvoumontáží. V hloubce 15 cm měla nejlepší výsledky varianta se středním tlakem v pneumatikách. Varianta s přetlakem dosahovala menších hodnot. Hodnoty v hloubce 30 cm měla lepší varianta se středním tlakem oproti variantě s přetlakem.

V porovnání jednotlivých grafů (3 a 4) resp. variant klasické pneumatiky a dvoumontáže je vidět, že lepších výsledků dosáhla varianta s použitím dvoumontáží.

Diskuze

Podmínky pro zpracování půdy a zakládání porostů plodin jsou významným způsobem ovlivňovány předchozími přejezdy traktorů, dopravních prostředků a sklizňových strojů. O stupni zhutnění půdy rozhoduje kromě hmotnosti strojů připadající na jednu nápravu a kromě středních kontaktních tlaků na půdu významným způsobem momentální odolnost půdy vůči stlačování. Určité zatížení půdy může mít různou odezvu v půdě v průběhu roku v závislosti především na momentální vlhkosti půdy a prostorovém uspořádání půdní hmoty (stupni nakypření nebo utužení půdy) (Randusová, Hůla, 2014).

Významnou veličinou hodnocení půd je vodní kapacita. Je to množství vody, které půda jí nasycená, dokáže za daných okolností po určitou dobu zadržet. Rozlišujeme absolutní vodní kapacitu, kapilární vodní kapacitu a molekulární vodní kapacitu. Vodní kapacita půdy je nepřímě úměrná objemové hmotnosti půdy. Objemová hmotnost půdy u středně těžkých půd je 1,1 – 1,8 g/cm³. Hodnota nad 1,6 g/cm³ je pro pěstování plodin riziková. Zvyšování objemové hmotnosti půdy, a tím snižování vodní kapacity, je jednou z příčin splavování ornice z polí a lokálních záplav. Zhoršuje vzájemné vztahy uživatelů půdy a obyvatelů venkova (Valenta, 2012).

V České republice převažuje (a pravděpodobně nadále bude) používání výkonných kolových traktorů. Je to jednak z důvodů ekonomických: pásové traktory jsou pro běžného zemědělce cenově nevýhodné a rovněž velikost a členitost pozemků znemožňují optimální využití těchto kvalitních strojů. Nejpoužívanějšími a nejsledovanějšími typy zemědělských pneumatik jsou tedy pneumatiky traktorové a návěsové (Prikner, 2012).

Kromě technologických postupů pro omezení nežádoucího zhutnění půdy se mohou použít i technická řešení např. snížení tlaku v pneumatice, snížení zatížení přenášené kolem, dvoumontáž obou náprav, používání flotačních či nízkotlakých pneumatik, zvýšení šířky a vnějšího průměru pneumatik, zvolení pásového podvozku (Bauer 2011).

Jelikož dnes kolové traktory klasické koncepce dosahují výkonu až 380 kW, je složité tento výkon přenést na podložku. K tomu mohou dopomoci dvoumontáže pneumatik, které styčnou plochu zvýší. Nevýhodou tohoto řešení je větší šířka stroje, s čímž souvisí problém přepravy po silnici, nutnost doprovodu soupravy, případně speciálního povolení pro přepravu (Renčín, Čupera, 2016).

Závěr

Výše zmíněné měření ukázalo vliv změny huštění pneumatik na změny objemové hmotnosti redukované a celkové pórovitosti. Potvrdilo význam zvyšování kontaktní plochy (klasická pneumatika versus dvoumontáž) a vliv snížení tlaku v pneumatikách.

Naměřené výsledky ukazují, u varianty, kde byla použita klasická pneumatika, že dochází k nárůstu objemové hmotnosti redukované se zvyšujícím se tlakem v pneumatice. Při použití dvoumontáže na zadní nápravě traktoru dochází opět k postupnému navýšení objemové hmotnosti redukované směrem k vyšší hloubce půdy. V porovnání klasická pneumatika a dvoumontáž má lepší výsledky objemové hmotnosti redukované použití dvoumontáže.

Celková pórovitost se zvětšující se hloubkou měření klesá. Lepší hodnoty vykazuje použití menšího plnicího tlaku v pneumatice. Při porovnání klasické pneumatiky a dvoumontáže má opět lepší výsledky použití dvoumontáže.

Uvedená měření ukázala vhodnost snížení tlaku v pneumatice a také vhodnost užití dvoumontáže. Všechna uvedená technická řešení (viz. diskuze) se dále propracovávají. V dnešní době je největší pozornost upínána na správné zvolení šířky a velikosti pneumatiky a schopnosti měnit plnicí tlak. Mnoho výrobců zemědělské techniky dnes nabízí systém pro změnu tlaku v pneumatikách, který pružně a rychle reaguje na měnící se podmínky provozu daného stroje. Nevýhodou tohoto systému jsou vysoké investiční náklady, proto dochází často k užití alternativy v podobě dvoumontáží či trojmontáží.

Literatura

Bauer, F., Sedlák, P., Šmerda, T.: Traktory. Knihu vydal Profi Press, 2011, Praha, 192 s.
ISBN 80-86726-15-0

Prikner P., (2012): <http://zemedelec.cz/vliv-zatizenych-pneumatik-na-pudu/>

Hůla J., Randusová A., (2014): <http://www.ochrana-pudy.cz/hrozby-pro-pudu/zhutneni/technogenni-zhutnovani-pudy-nezadouci-jev/2014/09/09/>

Renčín L., Čupera J., 2016: Moderní trendy v oblasti zemědělské techniky, Magazín pro moderní farmu – farmář, vydává Profi Press, březen 2016, ročník 22, Praha, 106 stran, ISSN 1210-9789

Valenta S., (2012): <http://www.zea.cz/kukurice/utuzeni-pudy-limituje-ekonomiku-vsech-plodin-i/>

Valenta S., (2012): <http://www.zea.cz/kukurice/utuzeni-pudy-limituje-ekonomiku-vsech-plodin-i/>

Poděkování

Publikace vznikla díky podpoře z projektu NAZV QJ 1220029.

Kontakt:

Ing. Martin Svoboda

Mendelova univerzita v Brně

Agronomická fakulta

Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky

Zemědělská 1,

613 00 Brno

+420 545 132 373

xsvobo66@mendelu.cz

Hodnocení změn poměru uhlíku a dusíku v půdě

Evaluation of changes of carbon and nitrogen ratio in the soil

Ivana Šindelková, Barbora Badalíková, Jaroslava Novotná

Zemědělský výzkum, spol. s r.o. Troubsko

Abstrakt

V průběhu let 2014-2015 byly sledovány změny obsahu půdního uhlíku a dusíku na šesti různých lokalitách jižní Moravy s odlišnými půdními podmínkami. Půdní vzorky byly odebrány z meziřadí vinic, oseté druhově rozmanitými směsmi pro ozelenění vinohradů. Získané výsledky naznačují, že snížené množství srážek během vegetace může mít vliv na dynamiku poměru obsahu uhlíku a dusíku v půdě.

Klíčová slova: půdní vláha, celkový dusík, oxidovatelný uhlík, půdní vlastnosti, vinice

Abstract

During the years 2014-2015 content changes of soil carbon and nitrogen on six different soils of South Moravia were monitored. Soil samples were taken from between rows of vines, sown species-diverse mixtures for vineyards greening. The results indicate that the reduced amount of rainfall during the growing season can affect the dynamics of the ratio of carbon and nitrogen in the soil.

Key words: soil moisture, total volume of nitrogen, oxidizable carbon, soil properties, vineyard

Úvod

Půda je živý organismus. Význam půdní organické hmoty pro půdní úrodnost a obecně pro kvalitu půdy je dlouhodobě známý a dlouhodobě oceňovaný. Není pochyb o tom, že organická hmota příznivě ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti půdy a je tak základním faktorem půdní úrodnosti (Kubát a kol. 2008). Půdní struktura je ve většině případů narušena vlivem nízké biologické aktivity půdy a nedostatkem organických látek. V jednom gramu půdy žije až 100 miliard jedinců různých druhů mikroorganismů. Významně se podílejí na zvětrávání půdy a půdotvorných procesech a svojí enzymatickou činností rozkládají organické zbytky, uvolňují živiny do půdního roztoku a jsou spolutvárci humusu.

Půda, má jednu z nejdůležitějších funkcí na zemi, a to zajistit koloběh vody v krajině. Důležitost této funkce svědčí v tom, že půdní vláha na území ČR představuje 10krát více vody, než je objem ve všech vodních nádržích a vodotečích (Václavík, 2016). Druhá rozmanitost neboli biodiverzita, je vlastnost půdy, která je důležitá pro všechny její funkce a úrodnost. Půdy se sníženou biodiverzitou jsou více zranitelné a náchylné k degradačním jevům, kontaminaci a acidifikaci. Mezi hlavní příčiny snižování biodiverzity patří nevhodné zemědělské postupy, přemíra používaných pesticidů a v poslední době i nevyvážené hnojení průmyslovými hnojivy. Všechny tyto vlivy představují rizika pro vývoj půdní úrodnosti a kvalitu půdy.

Cílem příspěvku je hodnocení poměru uhlíku a dusíku na různých lokalitách s odlišnými půdními podmínkami v meziřadí vinic.

Materiál a metody

V roce 2014 byly vytipovány stanoviště pro sledování změn půdních vlastností po zasetí druhově rozmanitých směsí určených pro ozelenění meziřadí vinic. Bylo vybráno šest lokalit, kde byly odebírány vzorky půdy na chemické a další analýzy.

Půdní vzorky na obsah celkového dusíku N_c byl stanoven mineralizací, destilační metodou dle Kjedahla, výměnná půdní reakce pH byla stanovena z výluhu KCl potenciometricky. Obsah uhlíku Cox byl stanoven oxidometrickou titrací podle Nelson a Sommers (1982). Vzorky byly odebírány ze dvou hloubek, a sice 0-0,15 a 0,15-0,30 m ve třech opakováních.

Sledované lokality:

Vinice Gotberg, Popice – (Foto 1) se nachází v nadmořské výšce 215 m, patří do teplé oblasti T4, teplého okrsku, suchého s mírnou suchou zimou, průměrná roční teplota 9 – 10°C, průměrný roční úhrn srážek 450-550 mm, průměrná relativní vlhkost je kolem 80%. Půdní podmínky – rendzina antropická, akumulovaná na slínu, půda jílovitohlinitá. Foto 1

Vinice Sonberk, Popice – se nachází v nadmořské výšce 230 m, patří do teplé oblasti T4, teplého okrsku, suchého s mírnou suchou zimou, průměrná roční teplota 9 – 10°C, průměrný roční úhrn srážek 450-550 mm, průměrná relativní vlhkost je kolem 80%. Půdní podmínky – černozem karbonátová na spraši, půda hlinitá.

Vinice Bavory, Mikulov – se nachází v nadmořské výšce 270 m, patří do teplé oblasti T4, teplého okrsku, suchého s mírnou suchou zimou, průměrná roční teplota 8 – 9°C, průměrný

roční úhrn srážek 500-550 mm, průměrná relativní vlhkost je kolem 80%. Půdní podmínky – rendzina modální na slínu, půda jílovitohlinitá.

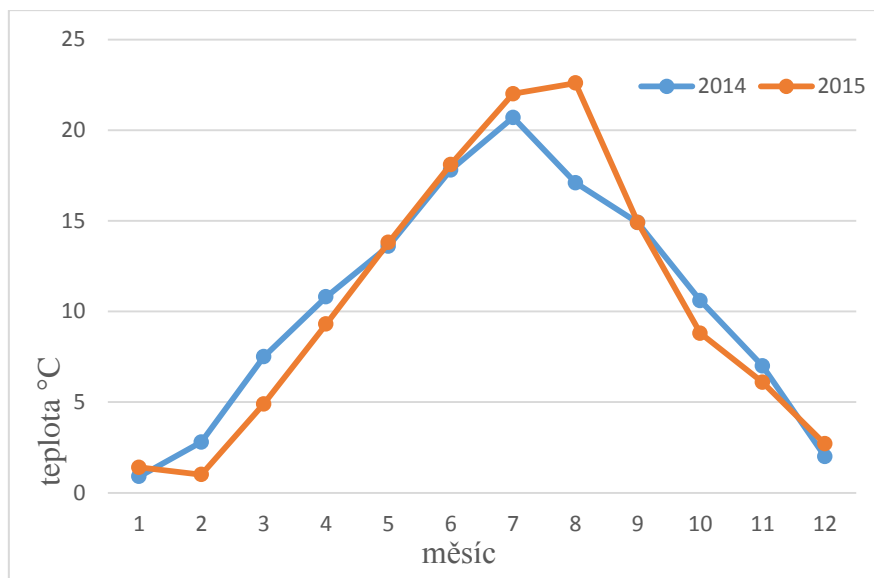
Vinice Spielberg, Archlebov – se nachází v nadmořské výšce 316 m, patří do teplé oblasti T4, teplého okrsku, suchého s mírnou suchou zimou, průměrná roční teplota 8 – 9°C, průměrný roční úhrn srážek 500-550 mm, průměrná relativní vlhkost je kolem 80%. Půdní podmínky – černozem modální, půda písčitohlinitá.

Vinice Syrovín, Bzenec – se nachází v nadmořské výšce 329 m, patří do teplé oblasti T4, teplého okrsku, suchého s mírnou suchou zimou, průměrná roční teplota 8-9°C, průměrný roční úhrn srážek 500-550 mm, průměrná relativní vlhkost je kolem 80%. Půdní podmínky – hnědozem antropická na spraši, půda hlinitá.

Vinice Hnízdo, Znojmo – (Foto 2) se nachází v nadmořské výšce 282 m, patří do teplé oblasti T4, teplého okrsku, suchého až mírně suchého, Průměrná roční teplota 8-9°C, průměrný roční úhrn srážek 350-500 mm, průměrná relativní vlhkost je kolem 80%. Půdní podmínky – černozem karbonátová na spraši, půda hlinitá.

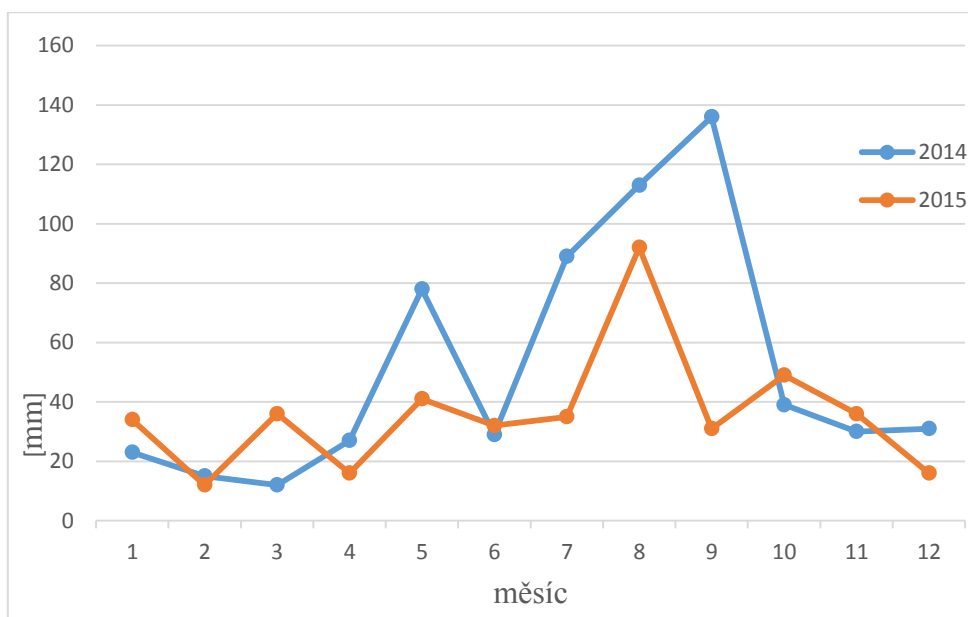
Na obr. 1 a 2 jsou uvedeny hodnoty průběhu teplot a úhrny srážek v letech 2014 a 2015 pro sledovaný Jihomoravský kraj (zdroj www.chmi.cz), kdy v roce 2014 byla průměrná teplota od ledna do prosince 10,5 °C a úhrn srážek pro tento rok byl 622 mm. Rok 2014 se vyznačoval suchým jarem a od konce července deštivým průběhem počasí až do podzimního období. V roce 2015 byla průměrná teplota od ledna do prosince stejná jako v roce 2014, tedy 10,5 °C a úhrn srážek za stejné období pro tento rok byl o 31% nižší než rok 2014, a to 430 mm.

Obr. 1: Průběh měsíčních teplot 2014 – 2015



Zdroj: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>

Obr. 2: Úhrn měsíčních srážek 2014- 2015



Zdroj: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#>

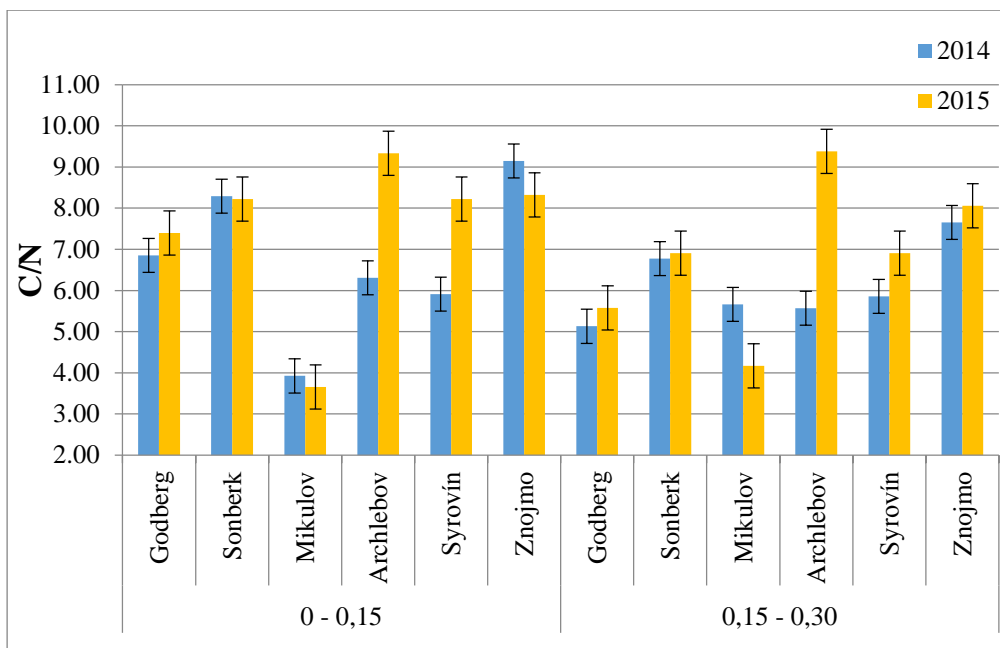
Výsledky

Hodnocení poměru C/N v ornici a v podorničí je uvedeno graficky na obr. 3. Jsou zde patrné rozdíly mezi vstupními hodnotami v roce 2014 a hodnotami zjištěnými v roce 2015. Největší meziroční průkazné rozdíly byly zjištěny na lokalitě Archlebov, a to v ornici i v podorničí. V roce 2015 zde došlo k prudkému zvýšení poměru C/N. Maximum v ornici bylo 9,33

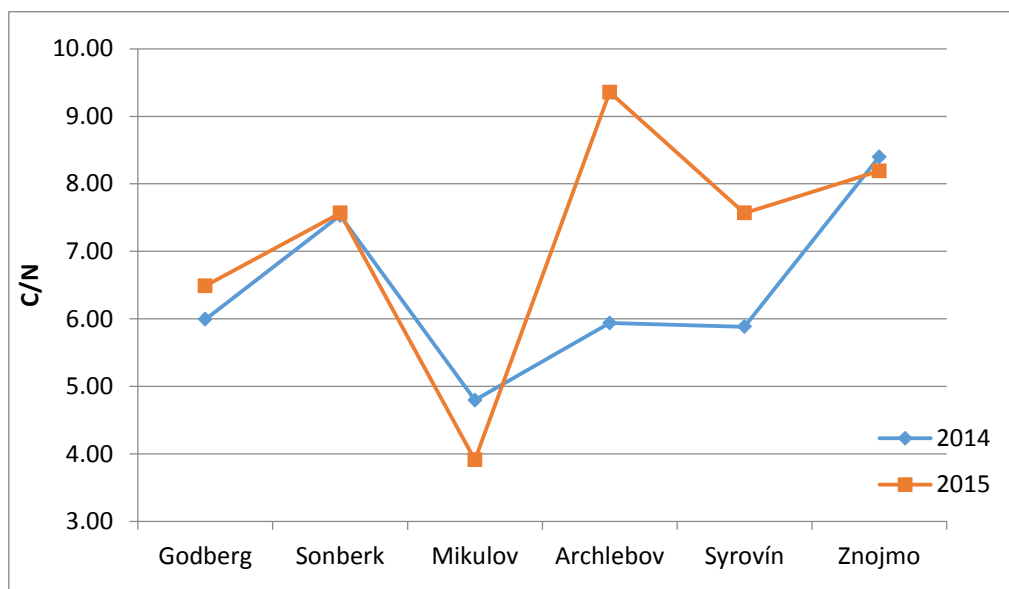
a v podorničí 9,38. Ke zvýšení poměru C/N v roce 2015 došlo i na lokalitě Godberg a Syrovín. Na ostatních lokalitách byl stav vyrovnaný. Meziroční trend byl více dynamický v orničním profilu oproti podorničí. Náhlé zvýšení poměru C/N v roce 2015 je pravděpodobně způsobeno zhoršenými podmínkami pro mineralizaci (Pokorný a kol., 2011). Jde o půdu písčitohlinitou, takže v suchém období dochází ke zvýšení obsahu dusíku a snížení obsahu uhlíku, což vede ke změně dynamiky C/N. V roce 2014 bylo zjištěno maximum poměru C/N 9,15 v ornici na lokalitě Znojmo a minimum 3,93 v ornici na lokalitě Mikulov. V roce 2015 bylo zjištěno maximum 9,38 v podorničí na lokalitě Archlebov a minimum 3,66 v ornici opět na lokalitě Mikulov. Odpovídá to nejhorším půdním podmínkám na této lokalitě a zjištěnému velmi nízkému obsahu uhlíku.

Množství organického C v půdě se v souboru údajů (Kubát a kol., 2008) pohybuje v širokém intervalu od 0,60 % C do 3,23 % C. Velká většina z nich (téměř 85%) se nachází v intervalu od 1 % C do 2 % C, z hlediska obsahu organického C ve vrchní vrstvě (0-20cm), přičemž četnost zjištěných hodnot přibližně odpovídá normálnímu rozdělení. Podobně je tomu také u celkového obsahu organického N, který se pohybuje od 0,067 % N do 0,362 % N a více než 85 % hodnot se nachází v intervalu od 0,1 % N do 0,2 % N. Rovněž poměr C/N se pohybuje v širokém intervalu od 6,4 do 13,1. Většina údajů (více než 83 %) se nachází v intervalu od 8,5 do 10,5.

**Obr. 3: Dynamika poměru obsahu uhlíku a dusíku v ornici a v podorničí
na sledovaných lokalitách**



Obr. 4: Průměrné hodnoty poměru uhlíku a dusíku na sledovaných lokalitách



Průměrné hodnoty C/N na všech zájmových lokalitách jsou vyhodnoceny na obr. 4.

Na začátku sledování na podzim roku 2014 byl průměrný poměr C/N nižší na lokalitách Godberg, Sonberk, Archlebov a Syrovín. Na lokalitě Mikulov a Znojmo byly naopak hodnoty vyšší v roce 2014 oproti roku 2015. Je to dáno, mimo dalších faktorů, horšími půdními podmínkami na těchto dvou lokalitách. Snížení hodnot mohlo být způsobeno relativním nedostatkem uhlíku kvůli rychlejší mineralizaci v roce 2014 a také půdním typem

a zrnitostním složením půdy. Příčinou byla i vyšší hladina celkového dusíku na některých lokalitách. Optimálního průměrného poměru C/N 9,36 bylo dosaženo v roce 2015 na lokalitě Archlebov. Dynamika poměru C/N je důležitá, protože je základem pro charakteristiku biologické půdní aktivity.

Diskuze

Poměr C/N řadíme k důležitým indikátorům kvality / zdraví půdy a můžeme tedy konstatovat, že užší poměr C/N je výsledkem vyšší kvality humusu a doporučená hodnota poměru je 10:1 nebo hodnoty nižší (Zaujec a kol., 2009). Cyklus uhlíku a dusíku na sebe vzájemně působí. I přes komplikovanost a měnící se cesty, kterými se cyklus dusíku může ubírat, za nejvýznamnější faktor v celkovém zdraví půdy je považován cyklus uhlíku, zvláště v záležitostech, které se týkají zbytků plodin a organické hmoty (Nelson, Sommers, 1996). Organická hmota může dodávat dusík plodině. Na druhé straně rostlinné zbytky mohou někdy omezovat dostupnost dusíku. Poměr uhlíku k dusíku je používán jako indikátor množství uhlíku ve vztahu k obsahu dusíku v organickém materiálu (Pospíšilová, Tesařová, 2009). Je to zcela standardní vztah. Cyklus dusíku v půdě představuje neoddelitelnou součást v systému půda – rostlina – zvíře – atmosféra – půda. Obsah celkového dusíku v orniční vrstvě půdy se pohybuje v rozpětí 0,03 - 0,5 % (Jandák a kol., 2009). Poměr mezi C/N v organické hmotě ovlivňuje pohyblivost dusíku. Při širším poměru C/N než 25:1 trpí rostliny nedostatkem dusíku proto, že většina je ho spotřebována mikroorganismy (imobilizace dusíku resp. biologická fixace dusíku mikroorganismy). Při užším poměru C/N než 20:1 dochází k mineralizaci organické hmoty a uvolnění C. V našich půdách je obvyklý poměr C:N 10-15:1. Proto převládají procesy mineralizace nad procesy imobilizace, což vyžaduje pravidelný zvýšený přísun organické hmoty do půdy (Zhang a kol., 2010). Na mineralizaci má značný vliv obsah vody a teplota půdy.

Závěr

Z dosažených výsledků můžeme konstatovat, že období s nedostatečnými srážkami během vegetace může mít vliv na dynamiku poměru obsahu uhlíku a dusíku v půdě. V této souvislosti bylo také zjištěno, že významnou roli zde hrají nejen klimatické, ale i půdní podmínky sledovaného stanoviště, avšak k projevení významnějších rozdílů je zapotřebí delšího sledování.

Literatura

- Jandák, J., Pokorný, E., Prax, A. (2009): Půdoznalství. MZLU v Brně, 129 s.
- Kubát J., Cerhanová D., Mikanová O., Šimon T., (2008): Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. VÚRV, v. v. i. Praha – Ruzyně. ISBN: 978-80-87011-65-2.
- Pokorný, E., Sřalková, R., Brtnický, M., Foukalová, J., Deneřová, O., Podeřvová, J., (2011): Analýza dlouhodobých srážkových a teplotních řad a hodnocení jejich dopadu na změny vlastností půd vybraného agroekosystému. Monografie, Mendelova univerzita v Brně, 1.vyd., 118 s.
- Pospíšilová, L., Tesařová M., (2009): Organický uhlík obhospodařovaných půd. MZLU v Brně 46 s.
- Nelson DW, Sommers LE, (1996): Total carbon, organic carbon, and organic matter. In 'Methods of soil analysis. Part 3: Chemical methods'. (Eds DL Sparks, AL Page, PA Helmke, RH Loeppert, PN Soltanpour, MA Tabatabai, CT Johnston, ME Sumner) pp. 961–1010. (Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc.: Madison, WI)
- Václavík F., (2016): Zdravá půda, zdravé rostliny, zdravý život, Poľnohospodářsky týždenník, X. ročník, číslo 11, str. 8-9.
- Zaujec A., Kováč K. (2009): The influence of crops station, cultivation and fertilization on soil organic matter in Luvi-haplic chernozem. In: Zb. Humic Substances in ecosystems, 8, 2009: 161 – 166.
- Zhang, H. H., He, P. J., & Shao, L. M. (2010): Ammonia volatilization, N₂O and CO₂ emissions from landfill leachate-irrigated soils. *Waste Management*, 30(1), 119-124.

Poděkování

Výsledky byly získány v rámci řešení projektu Technologické agentury ČR pod č. TA04020464.

Foto 1: Sledovaná lokalita - vinice Gotberg, jaro 2015



Foto 2: Sledovaná lokalita - vinice Znojmo Hnízdo – Vrbovec, jaro 2015



Kontakt:

Ing. Ivana Šindelková

Zemědělský výzkum, spol. s r. o. Troubsko

Zahradní 1, 664 41 Troubsko

+420 547138822, e-mail: sindelkova@vupt.cz

Vplyv suchého a vlhkého vegetačného obdobia na nástup vybraných fenofáz lesných drevín

The impact of dry and wet growing season on the onset and course of phenological phases of selected forest trees

*Jana Škvareninová*¹, *Katarína Koristeková*³, *Helena Hlavatá*⁴, *Miriam Vál'ková*²,
*Jaroslav Škvarenina*²

*Technická univerzita vo Zvolene, Katedra aplikovanej ekológie*¹, *Katedra prírodného prostredia*², *Katedra protipožiarnej ochrany*³

*Slovenský hydrometeorologický ústav Košice*⁴

Abstrakt

Práca podáva výsledky vplyvu rozdielnych podmienok vegetačného obdobia na nástup a priebeh jesenných fenologických fáz vybraných lesných drevín (*Quercus robur* L., *Fagus sylvatica* L., *Tilia cordata* Mill., *Prunus spinosa* L.) v centrálnej časti Slovenska. Na skupine 10 drevín daného druhu sme určili 10% výskyt žltnutia a opadu listov. Z meteorologických prvkov sme zaznamenali údaje zrážok, počet tropických dní a ich periódy v mesiacoch jún až august. Medzi rokmi 2014 a 2015 vidieť výrazné rozdiely zrážkových a teplotných pomerov. Aj na základe výpočtu Thornthwaitovho indexu sucha a klimatickej vodnej bilancie (zrážky –výpar) sme potvrdili stav, že rok 2014 (s výnimkou júna) bol výrazne vlhkejší ako sledované letné mesiace suchého roku 2015. V roku 2015 sa prejavili dlhé periódy tropických dní. Tieto extrémny posunuli skôr nástup žltnutia lípy a trnky o 24–31 dní a opad listov o 15–36 dní oproti roku 2014. Dub sa ukázal ako druh s vyrovnaným priebehom nástupu jesenných fenofáz v oboch rokoch.

Kľúčové slová: extrémny počasie, fenológia, stredné Slovensko, druhy lesných drevín

Abstract

The paper presents the results of the impact of different conditions of the growing season on the onset and course of autumn phenological phases of selected forest trees (*Quercus robur* L., *Fagus sylvatica* L., *Tilia cordata* Mill., *Prunus spinosa* L.) in the central part of Slovakia. We identified a 10% incidence of yellowing and falling leaves on a group of ten plants selected species. Evaluated meteorological factors were rainfall data, the number of tropical days and the period from June to August. We recorded significant differences between years

2014 and 2015 in precipitation and temperature conditions. Moreover by calculating of Thornthwait moisture index and climatic water balance (precipitation – evaporation) we confirmed the hypothesis that the year 2014 (excluding June), was significantly wetter than observed dry summer months of 2015. In 2015 was recorded a deficit of precipitation and long periods of tropical days. These extreme conditions moved the onset of yellowing *Tilia cordata*, *Prunus spinosa* about 24–31 days earlier, and leaf fall by 15–36 days compared to year 2014. *Quercus robur* was represented as species with balanced course of onset of autumn phenophases in both years.

Keywords: weather extremes, phenology, central Slovakia, forest-tree species

Úvod

Voda a lesy predstavujú dôležité zložky pre život na našej planéte. Ich vzťahy sa v meniacich klimatických podmienkach čoraz častejšie dostávajú do pozornosti odbornej verejnosti. V poslednom období sa vyskytujú výrazné zmeny hlavne v teplotnom a zrážkovom režime krajiny počas roka. V jednom roku pozorujeme výskyt extrémnych javov, ktoré charakterizuje dlhotrvajúce obdobie sucha s vysokými teplotami, alebo vlny prudkých a výdatných dažďov. Sucho pri dlhodobom pôsobení ohrozuje biodiverzitu, mení vlastnosti stanovišť a v konečnom dôsledku aj areály drevín. Vplýva na viaceré fyziologické procesy a spôsobuje predčasné žltnutie listov už koncom leta (STŘEDOVÁ *et al.* 2013). Schopnosť jednotlivých drevín odolávať stresu je do určitej miery podmienená geneticky, ale aj vnútrodruhovou variabilitou. Odozvou na dlhodobé pôsobenie vonkajších stresových faktorov sú zmenené ekosystémy vegetačných stupňov a klimatické areály drevín.

Materiál a metódy

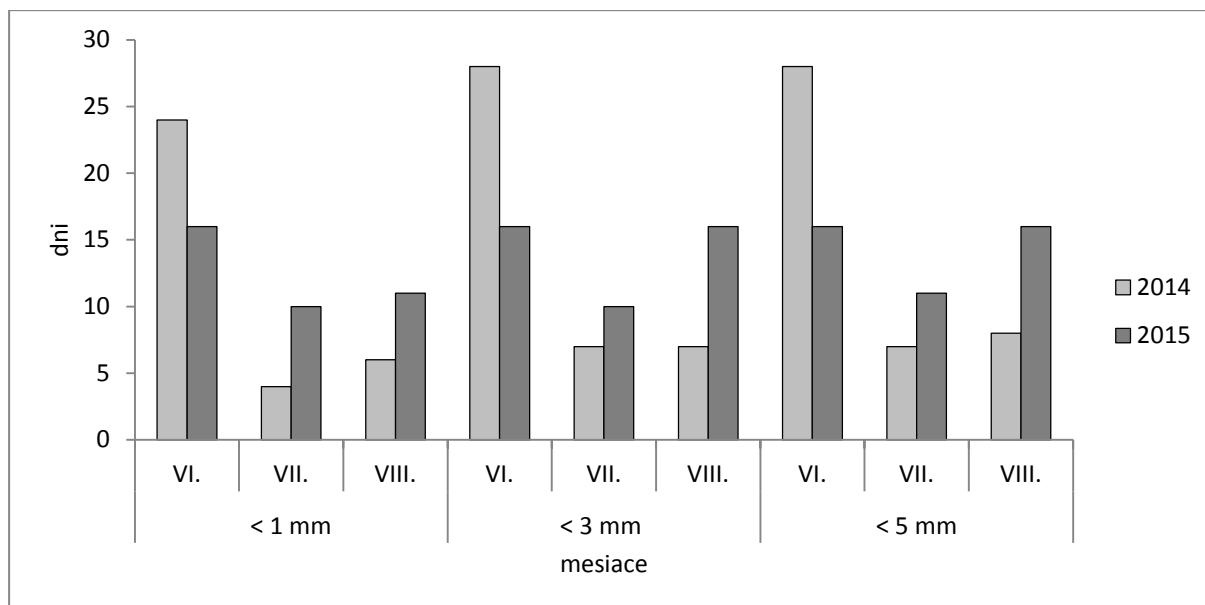
Cieľom nášho príspevku je poukázať na fenologickú reakciu drevín v dvoch teplotne a zrážkovo rozdielnych vegetačných obdobiach rokov 2014 a 2015 v centrálnej časti Slovenska – Zvolenskej kotline. Na lokalite s nadmorskou výškou 290–377 m n. m. prevažuje severo-severozápadná expozícia. Územie patrí do teplej až mierne teplej klimatickej oblasti, do rozhrania teplého mierne vlhkého okrsku s chladnou zimou až mierne teplého mierne vlhkého pahorkatinového až vrchovinového okrsku (LAPIN *et al.*, 2002). Predmetom výskumu boli lesné dreviny, ktoré sú zložkou pôvodných lesných ekosystémov – dub letný (*Quercus robur* L.), buk lesný (*Fagus sylvatica* L.), lipa malolistá (*Tilia cordata* Mill.) a trnka obyčajná

(*Prunus spinosa* L.). Pri fenologickom pozorovaní sme použili metodiku Slovenského hydrometeorologického ústavu. Na skupine 10 drevín daného druhu sme zaznamenávali začiatok fenologickej fázy pri 10% výskyte.

Z meteorologických prvkov sme vyhodnotili počet tropických dní v mesiacoch jún - august, v ktorých maximálna denná teplota vzduchu presiahla hodnotu 30 °C. Zistili sme aj periódy tropických dní t. j. počet po sebe idúcich dní s charakteristickou teplotou vzduchu ≥ 30 °C. Pri hodnotení vodného režimu sme sa zamerali na maximálne dĺžky suchých períód v jednotlivých mesiacoch. Pri stanovení limitných hraníc sme vychádzali z práce SHMÚ (Kolektív 1991), kde kritériá množstva zrážok pre sucho boli stanovené pre skupiny (1 mm, 3 mm, 5 mm) podľa dlhodobých pozorovacích radov v rozdielnych orografických podmienkach. Zistili sme aj počet dní s výdatnými zrážkami nad 20 mm. Ako indikátor sucha sme použili výpočet Thornthwaitovho indexu sucha (TIS) a klimatickej vodnej bilancie (KVB = zrážky –výpar).

Výsledky a diskusia

Pri hodnotení vplyvu vegetačného obdobia na fenologické prejavy drevín sme sa zamerali na extrémny priebeh hlavných meteorologických prvkov - zrážok a teploty vzduchu. Medzi sledovanými rokmi vidieť výrazné rozdiely zrážkových pomerov (Obr. 1). Aj napriek tomu, že sa v júni 2014 ukázala prevaha dlhších períód sucha (24–28 dní), v nasledujúcich dvoch mesiacoch vzrástol počet dní, ktoré priniesli zásoby využiteľnej pôdnej vody pre neprerušený proces fotosyntézy a respirácie. Maximálne denné úhrny a počty dní so zrážkami nad 20 mm (Tab. 1) zmiernili negatívne účinky sucha, čo sa prejavilo oneskoreným nástupom fenologických fáz drevín



Obr. 1: Periódy sucha v mesiacoch jún – august v rokoch 2014 a 2015 podľa množstva zrážok

Tab. 1: Vybrané zrážkové charakteristiky vegetačného obdobia v Zvolenskej kotline v rokoch 2014 a 2015

Roky	Mesačný úhrn / Max. denný (mm)			Počet dní so zrážkami >20 mm		
	VI.	VII.	VIII.	VI.	VII.	VIII.
2014	43/28	171,3/41,8	111,5/28,2	1	4	2
2015	25,9/10,2	120,8/37	31,2/16,5	0	3	0

Tab. 2: Indikátory sucha a vodnej bilancie v Zvolenskej kotline v rokoch 2014 a 2015

Roky	Klimatická vodná bilancia			Thornthwaitov index sucha		
	VI.	VII.	VIII.	VI.	VII.	VIII.
2014	-103	60	37	-71	54	50
2015	-105	-42	-99	-80	-26	-76

Analýza klimatickej vodnej bilancie (zrážky–výpar), ako aj následný výpočet Thornthwaitovho indexu sucha (- záporná hodnota: sucho, + kladná hodnota prebytok vody) (Tab. 2) preukázali, že v roku 2014 mal deficit vody len mesiac jún. V roku 2015 sme zaznamenali výskyt sucha vo všetkých sledovaných letných mesiacoch.

Teplotné extrémny nastali v roku 2015 v každej z uvedených charakteristík (Tab. 3). Ak porovnáme periódu tropických dní v tomto roku s obdobím 1987–2012 (ŠKVARENINOVÁ 2013) na tej istej lokalite zistíme, že v roku 2015 bol dosiahnutý 13 dňový absolútny rekord periódy tropických dní od roku 1987. Suché a horúce počasie urýchlilo nástup žltnutia listov pozorovaných drevín (Tab. 4). Najvýraznejšie sa to prejavilo pri lipe malolistej a trnke obyčajnej, kde rozdiel v nástupe žltnutia medzi rokmi predstavoval 31 a 24 dní. Listy buka lesného začali žltnúť v dôsledku extrémov o 17 dní skôr. Podobnú reakciu tejto dreviny zaznamenal ŠTEFANČÍK (1995) ktorý uvádza, že ak sa počas vegetačného obdobia vyskytlo extrémne sucho a dlhotrvajúce vysoké teploty nad 30 °C, listy buka opadli ešte zelené v auguste. Dub letný najlepšie prekonal suché a horúce obdobie roku 2015 s nepatrným skorším nástupom žltnutia o 2 dni. Jeho mohutná koreňová sústava s kolovým koreňom siahajúcim až do hĺbky 5 metrov umožňuje využívať pôdnu vlhkosť aj z hlbších pôdnych vrstiev (PAGAN 1992), čo pravdepodobne spôsobilo takmer rovnaký nástup fenofázy v obidvoch rokoch.

Tab. 3: Vybrané teplotné charakteristiky vegetačného obdobia v Zvolenskej kotline v rokoch 2014 a 2015

Roky	Počet tropických dní/ T _{max} (°C)			Max. perióda tropických dní		
	VI.	VII.	VIII.	VI.	VII.	VIII.
2014	6/35,8	10/32,7	4/31,7	6	3	3
2015	11/32,4	19/37,4	15/37	11	9	13

Tab. 4: Začiatky nástupu jesenných fenologických fáz, rozdiely medzi rokmi a dlhodobým priemerným nástupom

Drevina	Žltnutie listov		Posun žltnutia + skôr, - neskôr		Opad listov		Posun opadu + skôr, - neskôr	
	2014	2015	2014/15	Ø2014/15	2014	2015	2014/15	Ø2014/15
<i>Quercus robur</i>	26.9.	24.9.	+2	-9/-7	26.10.	28.10.	-2	-12/-14
<i>Fagus sylvatica</i>	2.10.	15.9.	+17	-12/+5	20.10.	15.10.	+5	-18/-13
<i>Prunus spinosa</i>	29.9.	5.9.	+24	-7/+17	13.10.	7.9.	+36	-7/+29
<i>Tilia cordata</i>	27.9.	27.8.	+31	-20/+11	17.10.	2.10.	+15	-16/-1

Nástup žltnutia listov v rokoch 2014 a 2015 sme porovnali s dlhodobým 25 ročným priemerom (Tab. 4). V roku 2015 vplyvom sucha a dlhotrvajúcich tropických periód žltnutie u troch drevín nastalo o 5–17 dní skôr ako dlhodobý priemer. Výnimkou bol dub, u ktorého aj v tomto roku listy začali žltnúť o 7 dní neskôr. Ďalej sme zistili, že aj napriek dostatku zrážok a nízkeho počtu dní s tropickými teplotami v auguste roku 2014 sa oneskorila táto fenofáza všetkých drevín oproti dlhodobému priemeru o 7–20 dní. Zistené hodnoty sme porovnali s podobnými údajmi pre dub letný a buk lesný (BRASLAVSKÁ- KAMENSKÝ 2002) na Slovensku v rokoch 1986–2000. Aj táto práca potvrdila, že napriek medziročnej variabilite, ktorá dosiahla záporné aj kladné odchýlky od 15 ročného priemeru sa fenofáza posúva k neskorším termínom o 7 dní, čo môže byť signálom zmeny klimatických podmienok.

Podobný priebeh ako žltnutie mala aj fenofáza opad listov. Medziročné rozdiely boli najväčšie pri trnke (36 dní) a lipe (15 dní), menšie pri buku (5 dní). Opad listov duba sa aj napriek horúcemu a suchému letnému obdobiu oneskoril o 2 dni. Ak porovnáme fenofázu sledovaných rokov s dlhodobým priemerom vidíme, že opad v roku 2014 sa aj pri dostatku zrážok u všetkých drevín posunul do neskoršieho obdobia o 7–18 dní. Naopak v extrémne teplom a suchom roku 2015 listy trnky opadli o 29 dní skôr ako je dlhodobý priemer. Pri ostatných druhoch opad listov nastal neskôr o 1–14 dní oproti dlhodobému priemeru, čo signalizuje zmenu klimatických podmienok na danej lokalite.

Záver

V rokoch 2014 a 2015 sme v mesiacoch jún-august sledovali vplyv rozdielnych meteorologických prvkov na nástup jesenných fenologických fáz drevín (*Quercus robur*, *Fagus sylvatica*, *Tilia cordata*, *Prunus spinosa*) v centrálnej časti Slovenska v Zvolenskej kotline. Na skupine 10 jedincov daného druhu sme zaznamenávali 10% výskyt žltnutia a opadu listov podľa metódy Slovenského hydrometeorologického ústavu.

Medzi sledovanými rokmi sa vyskytli výrazné rozdiely v teplotnom a zrážkovom režime, čo sa prejavilo aj na fenologickej reakcii drevín. Aj na základe výpočtu Thornthwaitovho indexu sucha a klimatickej vodnej bilancie (zrážky –výpar) sme potvrdili stav, že rok 2014 (s výnimkou júna) bol výrazne vlhší ako sledované letné mesiace suchého roku 2015. V roku 2015 vplyvom dlhej 13 dňovej periódy tropických dní a nízkych mesačných aj denných úhrnov zrážok v mesiaci august žltnutie listov buka, trnky a lipy začalo o 17–31 dní skôr a opad o 5–36 dní skôr ako v roku 2014. Dub letný najlepšie prekonal suché a horúce obdobie roku 2015 s nepatrným 2 dňovým skorším žltnutím a o 2 dni neskorším opadom listov. Pri porovnaní nástupu fenofáz s dlhodobým 25 ročným priemerom v roku 2015 žltnutie u troch drevín začalo o 5–17 dní skôr ako dlhodobý priemer. V roku 2014 sa táto fenofáza oneskorila u všetkých drevín oproti dlhodobému priemeru o 7–20 dní. Opad listov s výnimkou trnky sa v oboch rokoch posunul do neskoršieho obdobia ako je dlhodobý priemer, čo môže byť signálom zmien klimatických podmienok na danej lokalite.

Fenologické pozorovania slúžia ako bioindikátor zmien prostredia a ako jeden z hlavných ukazovateľov odolnosti druhov na extrémny počasie. Ich význam spočíva v objasnení vzťahov v súvislosti s vývojom klímy, ale aj predpokladu rozšírenia a zmeny areálov drevín v závislosti od kľúčových meteorologických prvkov.

PodĎakovanie:

Príspevok vznikol a bol finančne podporený z projektu VEGA Ministerstva školstva SR 1/0463/14, 1/0589/15 a APVV-0423-10.

Literatúra

BRASLAVSKÁ O., KAMENSKÝ L., 2002: Variabilita vegetačného obdobia na Slovensku v rokoch 1986–2000. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konferencia. 2.–4. 9. 2002. Lednice na Moravě. Praha, Česká bioklimatologická spoločnosť: 525–531.

- KOLEKTÍV, 1991: Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu, Vydavateľstvo Alfa, Bratislava, 239 s.
- LAPIN, M., FAŠKO, P., MELO, M., ŠŤASTNÝ, P., TOMLAIN, J., 2002: Klimatické oblasti. In: Atlas krajiny, Vydavateľstvo Esprit, 2002, s. 95.
- PAGAN, J., 1992: Lesnícka dendrológia. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, 347 s.
- STŘEDO VÁ, H., ROŽNOVSKÝ, J., STŘEDA, T., 2013: Predisposition of drought occurrence in selected arid areas of the Czech Republic. Contributions to Geophysics and Geodesy. 43 (3):237–252.
- ŠKVARENINOVÁ, J., 2013: Vplyv zmeny klimatických podmienok na fenologickú odozvu ekosystémov. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, 132 s.
- ŠTEFANČÍK, I., 1995: Fenológia bukového (*Fagus sylvatica* L.) porastu s rozdielnym zakmenením. Lesnictví-Forestry, 41(8):365–371.

Kontakt:

doc. Ing. Jana Škvareninová, PhD.
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

Ekonomické souvislosti dopadů klimatické změny

The economic context of climate change impacts

Marie Trantínová¹

Ústav zemědělské ekonomiky a informací¹;

Abstrakt

Příspěvek vychází z projektu EHP-CZ02-OV-1-039-2015 "Komplexní plánovací, monitorovací, informační a vzdělávací nástroje pro adaptaci území na dopady klimatické změny s hlavním zřetelem na zemědělské a lesnické hospodaření v krajině" (zkráceně AdaptaN). Ekonomické souvislosti dopadů klimatické změny je jedna z šesti etap tohoto projektu, která přisívá k vyhodnocení dopadů navržených adaptačních opatření v rámci Jihomoravského kraje. Analýzou nákladů a přínosů je testováno 36 katastrálních území, na kterých spoluřešitelé navrhli adaptační opatření na dopady sucha, eroze, retence a přívalových dešťů. Jedná se o projevy klimatických podmínek, které v současné době existují s predikcí změn do roku 2040 a posouzení míry ochrany proti rizikům vývoje zejména pro zemědělskou činnost.

Klíčová slova: klimatická změna, adaptační opatření, náklady, přínosy,

Abstract

The article is based on a project-EEA CZ02-OV-1-039-2015 EHP-CZ02-OV-1-039-2015 Complex planning, monitoring, information and educational tools for adaptation of territory to the climate change impacts with the main emphasis on agriculture and forestry management in the landscape (abbreviated AdaptaN). The economic context of climate change impacts is one of the six stages in the project, which contributes to evaluate the impacts of the proposed adaptation measures in the South Moravian region. Cost-benefit analysis is tested for 36 cadastral units where co-investigators suggested adaptation measures on the impacts of drought, erosion, retention and torrential rains. Climatic conditions are assessed at the moment and with the prediction of changes in the year 2040 in assessing the necessary protection against risks especially for agricultural activity.

Keywords: climate change, adaptation measures, costs, benefits

Úvod

Předmětem článku je seznámit čtenáře se zpracováním části projektu číslo EHP-CZ02-OV-1-039-2015 s názvem „Komplexní plánovací, monitorovací, informační a vzdělávací nástroje pro adaptaci území na dopady klimatické změny s hlavním zřetelem na zemědělské a lesnické hospodaření v krajině“ financovaného z fondu EHP 2009–2014 programu CZ02 - Biodiverzita a ekosystémové služby. Pracovní (zkrácený) název projektu je AdaptaN. Projekt byl situován do území Jihomoravského kraje a ve větším detailu do pilotních katastrálních území.

Projekt AdaptaN vychází z předpokladu, že zemědělská/lesnická produkce a také vodní režim na půdě budou v budoucnu zásadně ovlivněny klimatickou změnou. Ve skutečnosti se předpokládá, že velká část dopadů bude představovat zhoršení již existujících negativních projevů počasí jako je sucho, eroze a její dopady a rychlé místní povodně. Projekt tedy stanovuje předpokládané dopady v těchto oblastech jako například vliv klimatu na produkci, dopady eroze a zrychleného odtoku vod, dopady změn v půdě vlivem očekávaných změn, rizika pro obyvatelstvo při přivalových deštích.

Smyslem projektu je po identifikaci problému navrhnout odpovídající opatření, která mají za cíl redukovat stávající předpokládané dopady a současně dopady očekávané v budoucnu vlivem klimatické změny. Náklady spojené s opatřeními a očekávané přínosy těchto opatření budou vstupními podklady pro návrh strategie pro JMK ve sledované oblasti a jejich posouzení umožní navrhnout odstupňované skupiny opatření tak, aby bylo usnadněno rozhodování o prioritách a postupu, který by umožnil začít s adaptací tam, kde bude efekt investic největší. Z toho jednoznačně vyplývá, že je nezbytné provést ekonomickou analýzu, která bude mít podstatně širší záběr, než investiční projekty srovnávající jednodušším způsobem návratnost investice.

Tím, že je v rámci projektu AdaptaN navrženo značné množství opatření, která budou přinášet kombinované a společenské přínosy, bylo nutné zvolit vhodnou metodu. V tomto případě byla řešiteli zvolena metoda CBA, která hodnotí náklady a přínosy z pohledu celospolečenského. Výhodou metody je, že může pracovat s různými variantami návrhů opatření a v časovém horizontu, čímž umožňuje přiblížit se k optimálnímu rozsahu opatření.

Finanční efekty a argumenty přispívají k vyšší přijatelnosti opatření u správců, ekonomických subjektů i řídicích orgánů při snižování negativních dopadů klimatické změny a příznivější

adaptace na ně. Finanční vyjádření je značně obtížné, z tohoto důvodu je v některých případech nutné brát v potaz i odhady odborníků dané problematiky. V některých případech je dokonce v rámci finanční úspory (ocenění efektu by bylo ekonomicky nerentabilní), zjištěný ukazatel pouze slovně ohodnocen a nevstupuje do výpočtu CBA. I přes tyto skutečnosti je tento způsob snadněji komunikovatelný s většinou dotčených skupin lidí.

Projekt je směřován na adaptační opatření se zachováním stávající struktury zemědělského hospodaření a výnosy plodin. Důvodem je především to, že dopady do hospodaření (výnosy plodin) nejsou zatím dostatečně prověřeny. Současně některá opatření zaměřená na zpomalení zrychleného odtoku vody z krajiny, jako vedlejší efekt opatření zpravidla působí i pozitivně na snížení rozsahu dopadů sucha, avšak nepředpokládá se, že by efekt byl značný. Navíc je vzhledem k vysokému stupni komplexity příčinných vazeb a vysokého stupně nejistoty nereálné tento efekt změřit (K. Koutná, 2016¹).

Ekonomické souvislosti navazují na práci odborníků na ochranu půd, modelů klimatických změn a vodního hospodářství. Porovnání nákladů a přínosů navrhovaných opatření v krajině umožňuje lépe rozhodnout o implementaci těchto opatření v horizontu 24 let. Metoda usnadňuje posouzení většího množství nákladů a přínosů současně v monetárním vyjádření, která jsou navržena pro plochu pilotního území projektu.

Materiál a metody

Posouzení ekonomických dopadů identifikovaných rizik změny klimatu předpokládá vyhodnocení ekonomických aspektů vlivu změny klimatu v Jihomoravském kraji především formou škody/újm a výpočtem nebo odhadem jejich snižování. Zvolená metoda posouzení nákladů a přínosů bude ještě doplněna celkovou analýzou CBA. V současné době je ještě projekt v řešení, ale hlavní část „vyhodnocení dopadů do roku 2040 a návrh opatření na zmírnění negativních jevů“ je již hotova.

Metoda CBA je zaměřena na návrhy opatření financované z veřejných zdrojů s cílem produkovat veřejné statky a kladné externality, jakož i snižovat negativní externality, tím je tato CBA svým způsobem specifická a liší se od CBA prováděných při investičním rozhodování. Postup prací při analýze CBA bude zveřejněn v druhé polovině roku 2016, v současnosti jsou již vypočteny nákladové a přínosové položky podle jednotlivých opatření, které jsou uvedeny v tomto příspěvku.

¹ Metodika je součástí projektu, nebyla ještě publikována

Velmi složité je prokázání přímého dopadu zemědělského sucha u jednotlivých plodin. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k posouzení zemědělských výrobních oblastí na území, které se odlišují výší nákladů a výnosů u jednotlivých plodin. Vlivem změny klimatu totiž dochází k posunu hranic výrobních oblastí, kdy např. řepařská oblast se stává kukuřičnou apod. Jedna z možností by byl odborný odhad (10% snížení výnosu M. Trnka).

Nákladovou stránku CBA tvoří náklady spojené se vstupy do projektu investiční, náklady příležitosti – neboli ztracené příjmy tím, že je opatření uskutečněno. Posouzen je také časový faktor a to zda se jedná o trvalé, dočasné opatření, zda opatření vyžaduje následnou péči apod. Literatura uvádí (1): Náklady jsou monetárně (tam kde lze) vyčíslené náklady – nebo také negativní efekty investice na zainteresované subjekty: investiční (např. vybudování suchých nádrží), provozní (např. péče o vybudované prvky v krajině).

Na straně přínosů stojí ušetřené negativní dopady vlivem navržených opatření pro zmírnění vybraných vlivů klimatické změny, která se předpokládá v projektu vymezeném čase 2015 - 2040. Jedním z nich je například snížení dopadů vodní eroze půdy, zvýšení potenciální retence vody v krajině nebo zvýšení objemu zadržené vody v krajině.

Dle scénáře klimatické změny dojde k degradaci půd projevující se zvýšenou erozí a snížením potenciální retence půdy. Navržená opatření, které se snaží zamezit projevům klimatické změny, přináší poměrně značnou pestrost nákladů i přínosů. Níže je uvedený seznam, se kterým se v projektu AdaptaN pracovalo:

- **VENP** (vyloučení erozně nebezpečných plodin)
U některých podniků dojde k poklesu plochy tržních plodin (v tomto případě jsou uvažovány průměrné příspěvky na úhradu za roky 2009-2014). Ušlá příležitost je uvažovaná každoročně.
- **VENP 2** – (vyloučení erozně nebezpečných plodin a navíc bezorebné technologie)
Jsou ekonomicky přínosné, proto se neuvažuje navýšení ušlé příležitosti a ta je totožná s VENP.
- **AGT** – setí do svazenky nebo žita. Kalkulace staví na předpokladu, že svazenka vymrzne, vzniká tedy náklad navíc na zasetí svazenky jako krycí plodiny.

- **AGT 2** – stanovení nákladů navíc je totožné s předchozím, přičemž se bezorebné technologie považují za mírně ekonomicky výhodné, spojené však s mírně vyššími pořizovacími náklady. Zvýšený náklad u AGT a AGT2 je uvažován každoročně.
- **TTP - Zatravnění** – představuje: ušlá příležitost z orné půdy a náklad na založení porostu, lze uvažovat, že z travního porostu není v JMK vzhledem k nízkým srážkám žádný příjem. Ušlá příležitost – příjem z orné půdy - je uvažována jen na dobu 5 let.
- **Zalesnění** – jedná se o kombinaci ztráty v podobě ušlé příležitosti z orné půdy, nákladů na zalesnění a nákladů na další péči o lesní porost. V JMK je uvažováno zalesnění listnatými stromy. Ušlá příležitost je uvažována 5 let, náklady na zajištění porostu (další péče) je uvažována na 15 let.
- **OCHRSAD Výsadba vinic a sadů** je navržena jako doporučení vhodného místa pro zemědělce, kteří budou tyto trvalé kultury obnovovat. Tyto náklady nevstoupí přímo do CBA, neboť tyto nejsou přímo projektovaná opatření v rámci projektu, ale jde o soukromé investice, které by nastaly i bez projektu.
- **Stabilizace DSO** – zatravnění dráhy soustředěného odtoku vod je spojeno s vyššími nároky vzhledem k terénu, tvaru zatravněvané plochy a také je vyžadováno mírně nákladnější osivo, než je obvyklé v komerčních směsích. Ušlá příležitost produkce na orné půdě je uvažována jako u zatravnění na 5 let.
- **Hrázka** – Jedná se o násyp, který je zatravněný, s cílem zachytit a odvést povrchovou vodu mimo určitou oblast. Náklad je odvozen z již provedených akcí v posledních pěti letech (sběr dat, AdaptaN, ÚZEI, VUT a ceníky prací).
- **Průleh** – jedná se o zařízení k zachycení a odvedení srážkové vody. Průlehy mohou mít podobu vsakovacích mělkých zatravněných příkopů s případným vegetačním doprovodem nebo může jít o průlehy svodné (odvádějící vodu).

Vyčísleny jsou ušetřené náklady na odstranění škod způsobených erozí a shrnutí a rozprostření zpět na půdní blok. V části eroze se pracovalo s detailem velikosti povodí, které ovlivňuje poměr podílu splavenin on-site a off-site (viz tabulka1).

Tabulka 1 Poměr odnosu ve vztahu k velikosti povodí. Zdroj: Janeček, (2).

Plocha povodí [km²]	Podíl odnosu splavenin [%]	Plocha povodí [km²]	Podíl odnosu splavenin [%]
---	---------------------------------------	---	---------------------------------------

0,1	53	50	15
0,5	39	100	13
1	35	200	11
5	27	500	8,5
10	24	-	-

Pozn.: Podíly odnosu splavenin podle velikosti ploch povodí udává Robinson (1977).

Je nutné provést schematizaci povodí, stanovit elementární odtokové plochy dle DSO od plochy sběrného povodí 3 ha. Na základě elementárních odtokových ploch brát v úvahu jejich velikost a dle tabulky určit poměr odnosu. Zbylé plochy (které nemají výraznou DSO, tzv. povodí o 1 svahu) se stanoví dle analogie elementárních odtokových ploch a pro ně se zvolí jedna hodnota poměru odnosu.

Vymezené náklady a přínosy jsou převedeny na hotovostní toky a zahrnuty do výpočtu rozhodujících ukazatelů, na základě nichž lze rozhodnout, zda je projekt ve svém důsledku pro společnost přínosem či nikoli.

Náprava škod je uvažována tak, že je ornice v sytkém stavu shrnuta, naložena, odvezena a rozhrnuta zpět na původní ploše. Vzhledem k velmi pestrým podmínkám pro tyto práce jsou vzaty položky bez ohledu na specifické podmínky (kvalifikovaný odhad z ceníků).

S odnosem ornice jsou také odnášeny živiny, přičemž část je ztracena i v případě, že by byla ornice vrácena zpět na původní místo a zcela ztracena v případě uložení na skládky. Živiny lze ocenit cenou čistých živin na trhu.

Pro ocenění redukce dopadů vyvolaných povodněmi není dostupný odhad takovýchto událostí, neboť pro modelování je zde příliš mnoho nejistot. Pro posouzení efektů adaptačních opatření byla využita data o škodách způsobených povodněmi na úrovni obcí a krajů od roku 1997. Přehled představuje především četnost událostí a na úrovni kraje také finanční dopady. Vzhledem k nemožnosti predikovat události tohoto druhu do budoucnosti, byl zvolen náhradní postup stanovení odhadem, četností v průměru za rok za sledované období. Další posuzování staví na konzervativním předpokladu, že se za sledované období budou události v průměru opakovat stejnou měrou. Odhad ušetření škod vychází z plochy katastrů, ve kterých je nádrž pro zadržení přívalových vod navržena (je nutno vzít v úvahu, že obvykle nádrž chrání nejen část katastru, na kterém je postavena, ale hlavně pak katastry položené níže po proudu).

Kalkulace dat pro stanovení nákladů i přínosů vycházely z více zdrojů, z nich lze jmenovat:

- šetření ÚZEI o nákladech zemědělských plodin (Poláčková, Janotová, Boudný 2013 - 2015, příprava plateb PRV 2014 -2020),
- ceníky, Agronormativy, ceník stavebních prací RTS (popř. jiné),

- převzetí nákladů z dosud prováděných opatření (data partnerů v projektu KPÚ),
- vlastní šetření u dodavatelských firem,
- úprava výsledků šetření o cenách z dřívějších výzkumů o inflaci.

Výsledky²

Pilotní území, kde byla ekonomická analýza řešena, je na ploše 36 katastrálních územích v Jihomoravském kraji. Celková rozloha území je 53 682 ha. Na výměře 28 431 ha zemědělské půdy bylo navrženo nějaké jmenované opatření, což představovalo celkovou výměru 12 631 ha (to zahrnuje plošná opatření VENP, AGT, zatravnění, zalesnění, výsadbu vinic a sadů, hrázky, průlehy a retenční prostory).

Podle výsledků se ukazuje, že cca polovina území by měla přijmout nějaká opatření nad rámec těch, která jsou nyní v tomto území provedena. Výpočet nákladů a přínosů je do jisté míry poznamenán tím, jaké hodnoty bylo možné vyjádřit monetárně. V tabulce 2 je uveden přehled dopadů klimatické změny na jednotku plochy zemědělské půdy v katastrálních územích pilotního území. V Tabulce jsou hodnoty vypočteny jako ztráta půdy před opatřením, po opatření v současnosti a po 24 letech (varianta se zhutněním, a změnou navrhované roční srážky) a dále hodnoty potenciální retence půdy.

Tabulka 2 Seznam katastrálních území v pilotním území a hodnoty eroze a potenciální retence pro výpočet dopadů nákladů a přínosů.

² Projekt ADAPTAN v současné době probíhá, respektive je před závěrem, proto jsou některé výstupy a závěry ještě v řešitelském týmu konzultovány a nebudou zde publikovány, proto jsou zde uvedeny jen dílčí výsledky ekonomické analýzy (a není uveden konečný výsledek CBA).

Název k.ú.	G (t na hektar za rok)				rozdíl po návrhu adapt. Opatření			
	G* současnost	G** 2040	G* adapt. opatření	G** 2040 + adapt. opatření	CN v povodí rozdíl	potenciální retence	přímý odtok	Oph/km3
	NAZEV_KU	G_souc40p	G_zhut60p	G_peo40p	G_peozh60p	CN_dif	A_dif [mm]	H0_dif [mm]
Archlebov	22,3	47,2	2,8	5,7	-3,6	21	-5	-5 163
Bohumilice	28,9	63	3,8	8,1	-6,5	31	-11	-11 166
Boleradice	29,8	63	2	4	-3,8	21	-6	-5 721
Bořetice u Hustopečí	15,4	31,1	2,6	4,9	-3,6	15	-7	-6 827
Brumovice	16,5	34,6	2,6	5,2	-2,6	12	-5	-4 630
Čejkovice	21,3	45,7	2,4	5,2	-4,4	20	-8	-7 853
Dambořice	21,2	45,7	4,3	9	-2,7	16	-4	-3 839
Dolní Bojanovice	6,9	13,2	2,4	4,2	-1,5	8	-2	-2 250
Dubňany	1,7	2,8	1	1,7	-5,2	26	-8	-8 434
Hodonín	1	1,6	0,6	1	-4,2	17	-8	-8 120
Horní Bojanovice	35,2	76,2	1,9	4,2	-4,6	22	-8	-7 683
Hrušky	1,4	2,3	1	1,7	-2,5	10	-5	-4 932
Josefov u Hodonína	8,1	15,6	1,9	3,4	-2,1	16	-2	-2 485
Kašnice	19,7	42	3	6,4	-4	20	-7	-6 695
Klobouky u Brna	28,6	61,4	2,7	5,5	-2,6	13	-4	-4 274
Křepice u Hustopečí	14,3	31,6	5,1	11,4	-2,4	10	-5	-4 531
Ladná	1,3	2,3	0,7	1,2	-2,7	21	-3	-3 081
Lovčice u Kyjova	24,4	51,3	3	6,2	-5	21	-9	-9 483
Lužice u Hodonína	1,5	2,5	0,7	1,1	-3,9	27	-5	-4 930
Mikulčice	1,5	2,6	0,9	1,6	-5,6	25	-10	-10 062
Moravská Nová Ves	2,7	5,2	0,9	1,6	-2,4	15	-3	-3 366
Moravský Žižkov	2,7	4,7	1,5	2,5	-0,9	5	-1	-1 340
Morkůvky	26	54,2	3,6	7,2	-0,3	2	0	-333
Mutěnice	13,3	26,2	2,6	4,8	-0,8	4	-1	-1 387
Nikolčice	10,9	23,4	2,8	5,8	-3,3	15	-6	-5 973
Nový Poddvorov	12,6	22,8	3,2	5,5	-3,5	16	-6	-6 158
Prušánky	6,3	10,5	1,6	2,7	-0,7	4	-1	-1 027
Ratiškovice	1,9	3,1	0,5	0,9	-0,3	1	-1	-560
Rohatec	1,1	1,8	0,7	1,2	-0,9	4	-2	-1 683
Starý Poddvorov	17,3	31,5	3,2	5,8	-1,3	6	-2	-2 242
Terežín u Čejče	11,8	23,4	1,9	3,7	-5,8	25	-11	-10 814
Tvrdonice	2,5	5	0,8	1,4	-2,2	9	-4	-4 100
Uhřetice u Kyjova	24,2	50,7	4,2	8,6	-0,7	4	-1	-1 022
Velké Hostěrádky	31,7	70,3	3,1	6,8	-2,9	15	-5	-4 591
Vrbice u Velkých Pavlovic	23	44,6	3,5	6,9	-0,2	1	0	-355
Ždánice	22,1	47,1	2,2	4,4	-5,9	24	-11	-11 349

*Erozní smyv dlouhodobý - varianta současnost, R=40

**Erozní smyv dlouhodobý - modelová varianta zhutnění, R=60

Zdroj: data projektu AdaptaN

Výpočet nákladů

Výpočet nákladů je postaven na základě výpočtů nákladů na zavedení či vybudování navržených opatření v krajině a jejich údržbu, změny nákladů vlivem změny výrobního typu a údržbu a ušlé příležitosti produkce. Tabulka 3 uvádí popis opatření a způsob stanovení nákladů, které byly dále podrobně rozpracovány do jednotlivých finančních položek i s ohledem na dobu vyplácení či opakování platby (např. platí u obnovy travního porostu apod.)

Tabulka 3. Popis opatření a způsob stanovení nákladů

Opatření	Způsob stanovení
VENP (vyloučení erozně nebezpečných plodin),	Příspěvek na úhradu fixních nákladů a zisku hlavních tržních plodin (průměr let 2009-2014)
VENP – Alternativa (možnost volby vůči předchozímu)	Část podniků (nezjištěno) nemusí redukovat plochu dotčených plodin (průměr let 2009-2014)
VENP 2, navíc bezorebné technologie u ostatních plodin ³	Příspěvek na úhradu fixních nákladů a zisku hlavních tržních plodin (průměr let 2009-2014)
VENP – Alternativa (možnost volby vůči předchozímu)	Část podniků (nezjištěno) nemusí redukovat plochu dotčených plodin
AGT – kukuřice do svazenky	Náklad na osivo svazenky a setí
AGT 2 – dtto + ostatní bezorebně	Náklad na osivo svazenky a setí
Zatavnění	Ušlá příležitost produkce z orné půdy (průměr let 2009-2014)
Zatavnění	Náklad na setí (1x za 5 let),
Zalesnění	Výsadba,
Zalesnění	Ztráta z orné půdy (PNÚ)
Stabilizace drah soustředěného odtoku DSO ⁴	Ztráta z produkce na orné půdě (PNÚ průměr let 2009-2014)
Dráhy soustředěného odtoku	Náklad na založení porostu – zdroj příloha PRV (2015)
Hrázka (á 10 m šíře) ⁵	Náklad na vytvoření
Hrázka	Ztráta z orné půdy (PNÚ)
Průleh (á 10 m šíře) ⁶	Náklad na 1 ha (1565 Kč/1 m)
Průleh	Ztráta z orné půdy (PNÚ)
Retenční prostor (poldr atd.)	Náklad na 1m ³ objemu nádrže
Zasakovací pás (á 30 m)	Jako zatavnění
Zasakovací pás	Ztráta z orné půdy (PNÚ)

PNÚ – příspěvek na úhradu (zdroj 4,5)

Tabulka 4 obsahuje přehled navržených opatření za celou plochu pilotního území. Tato opatření byla v průběhu projektu navržena řešiteli a projednána na workshopech ve vybraných dotčených územích. Setkání se účastnili zemědělci, starostové i zástupci správy vod a projektanti území. Ne všechny připomínky mohly být zapracovány do návrhů, část připomínek nebyla k samotným opatřením, ale směřovala více k využití politických nástrojů.

³ Nepředpokládá se projevení nákladů navíc.

⁴ Zdroj: ÚZEI 2015

⁵ Zdroj: šetření VUT 2016

⁶ Zdroj: šetření VUT 2016

V každém případě byly tyto semináře velmi dobrou inspirací i doplněním informací jak k navrženým opatřením, tak k celému procesu implementace do budoucna.

Tabulka 4 Přehled navržených opatření v pilotním území JMK pro rok 2016 v ha

Opatření	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha	Ha
Popisky řádků	orná půda	travní porost	vinice	ovocný sad	mimo LPIS	Jiné plochy	Celkový součet
VENP	967,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	967,03
VENP2	583,67					0,00	583,67
AGT	3 235,60					39,56	3 275,16
AGT2	3 437,24		0,00			0,00	3 437,24
TTP	633,86					4,49	638,35
OCHSAD	2 878,54		0,00			13,36	2 891,90
ZALES	10,01					0,00	10,01
HRÁZKA	52,43				0,73	0,18	53,34
PRŮLEH	9,01		0,06	0,00	5,23	0,05	14,35
STABILIZACE ÚDOLNICE	112,38		0,01		3,42	0,33	116,14
ZASAKOVACÍ PÁS	129,14		0,14		0,96	0,00	130,24
VĚTROLAM	105,15		1,28	0,62	62,88	4,59	174,52
RETENČNÍ PROSTOR	236,13	2,92	2,60	2,02	70,59	5,51	319,77
PRAMENIŠTĚ	0,14				0,53	0,00	0,67
MOKŘAD	7,59				11,04	0,00	18,63
bez opatření	12 443,61	394,51	2 040,84	453,08		467,88	15 799,92
Celkový součet	24 841,54	397,42	2 044,93	455,73	155,38	535,93	28 430,93

Zdroj: data projektu AdaptaN

Navržené opatření byly oceněny finančně, jako náklad, který zatíží území do budoucna a bude porovnán s přínosy v podobě neprojeveného zhoršení stavu. To je uvedeno v následující tabulce 5, která obsahuje jednoduchý výpočet nákladů do roku 2040. Konečné finanční vyjádření nákladů a přínosů navíc pro více variant bude později vyjádřeno v CBA. Vyrianty představují například řešení, že se nebude implementovat žádné opatření v krajině, (tzv. Nulová varianta), nebo budou implementována jen část popřípadě všechna navržená opatření (varianta 1, 2 ...). V CBA je také zohledněn diskontní koeficient, vypočtena čistá současná hodnota, vnitřní výnosové procento, které poskytují hlavní kritéria pro rozhodování o projektu.

V tuto chvíli se však ještě musíme spokojit s prvními výpočty. Náklady na adaptační opatření byly propočteny podle uvedené metodiky projektu v hodnotě cca 921–1 128 mil. Kč, pro

plochu 36. k. ú, dále ještě budou započteny náklady na změnu výrobních typů a dopad na příspěvek na úhradu fixních nákladů a zisků a náklady na stavbu retenčních a zavlažovacích nádrží, kde bude použit náklad 401 Kč na jeden m³, ale nejsou zcela vyjasněny všechny možné kapacity retenčních nádrží.

Tedy dá se předpokládat, že náklady se ještě o tyto položky zvýší.

Tabulka 5 Opatření a náklady na realizaci opatření

Opatření	Ha	Kč celkem (nižší VENP)	Kč celkem
VENP	967,03	126 672 696	253 322 183
VENP2	583,67	76 455 498	152 896 988
AGT	3 275,16	260 492 808	260 492 808
AGT2	3 437,24	273 384 639	273 384 639
TTP	638,35	49 708 634	49 708 634
OCHSAD*	2 891,90	0	0
ZALES	10,01	1 574 224	2 120 493
HRÁZKA	53,34	86 974 230	89 885 261
PRŮLEH	14,35	22 476 831	23 260 189
STAB. ÚDOLNICE	116,14	9 496 729	9 496 729
ZASAK. PÁS	130,24	13 509 122	13 509 122
VĚTROLAM*	174,52	0	0
RET. PROSTOR a MOKŘAD	319,77 (8189582 m ³)	Zatím v diskuzi na straně přínosů	Zatím v diskuzi na straně přínosů
PRAMENIŠTĚ*	0,67	0	0
Celkový součet	28 430,93	920 745 410	1 128 077 045

*nezapočteno, nejsou na druhé straně ani stanoveny přínosy

Výpočet přínosů

Výpočet přínosů vycházel ze snížení dopadů na ploše po uplatnění navržených opatření a u eroze bylo využito poznatků ze dvou přístupů a to dopady na ploše stejného půdního bloku a dopady mimo plochu jako jsou příkopy a vodní toky a nádrže. Náklady jsou složeny z dílčích položek, jako jsou náklady na vytěžení, na naložení, odvoz a uložení sedimentů na skládku, dále částečná ztráta živin, odplavených nevratně z polí.

Cena nákladů na odstranění dopadů vodní eroze on-site činí celkem 237,1 Kč/t.⁷ Opatření tedy sníží množství splavené půdy a tím ušetří náklady na shrnutí, naložení, odvezení a rozhrnutí smyté ornice na půdě. V pilotním území 36 k. ú. to představuje ročně cca 280 862 t ročně a to převedeno na finanční částku představuje 66,59 mil. Kč/ročně. Při zavedení opatření po klimatické změně v délce 24 let to už ale znamená úsporu 588 199 t zeminy v hodnotě 139,46 mil. Kč/ ročně za pilotní 36 k. ú. JMK.

První výpočty přínosů adaptačních opatření jsou uvedeny v tabulce 6, prozatím se jedná o předběžné hodnoty, které budou dále upřesněny a především zpracovány v CBA.

Tabulka 6. Celkově vyjádřená ušetřená ztráta v Kč za rok v současnosti a v roce 2020 za rok

Ušetřené náklady u snížení eroze	Ušetřené náklady na nápravu škod – při zavedení opatření v současnosti	Ušetřené náklady na nápravu škod – při zavedení opatření po klimatické změně
Zemina usazená na půdě	66 592 379	139 461 903
Zemina usazená ve vodách	54 496 950	114 326 963
Celkem půda	121 089 329	253 788 866

Zdroj: data projektu AdaptaN

Ukazatel ztráta živin – cena za 1kg hnojiva a náklad na aplikaci (vše na 1 ha) je samozřejmě zjednodušením situace, neboť při pokračující erozi dochází k celkové degradaci půdy a dalším dopadům, jako je utužení, ztráta humusu a zrychlený odtok vody, které samy o sobě mají negativní dopad na výnosy. Povrchový půdní horizont obsahuje pro rostliny nezbytné živiny, které jsou procesem eroze dislokovány do hlubších vrstev profilu či zcela mimo produkční plochy; příp. transformovány do rostlinami nepřijatelné formy. Celkový obsah dusíku v půdách je velmi rozdílný a kolísá nejčastěji v rozmezí 0,05-0,5 %. V orniční vrstvě převážné části zemědělsky využívaných půd ČR je asi 98 % dusíku v organické formě (cca 9 t/ha), ovšem mineralizovaných a tím rostlinám přístupných forem jsou pouze 2 %, tedy asi 30–120 kg/ha v závislosti na ročním období a dalších faktorech, což odpovídá 6,67–26,67 mg/kg ornice (3).

Na základě odhadu hmotnosti čistých živin, které by při správně provedených protierozních opatřeních nebyly splaveny s půdou z orničního horizontu, byly vyčísleny

⁷ Ztracenou ornici lze ocenit cenou nákupu této ornice za obvyklé ceny na trhu (205 Kč/t), nebo náklady na shrnutí, naložení, odvezení a rozhrnutí smyté ornice na půdě, která činí 237,1 Kč/tunu (vypočteno z podkladů ceníků RTS šetření zemních prací),

přínosy opatření, viz tabulka č. 5. Pro stanovení byly použity údaje o cenách Agronormativy a práce Kapler 2008 a Koutná 2016.

Tabulka 7. Hodnocení živin podle stávajících cen (www.agronormativy.cz)

Prvek	Hmotnost čistých živin			Hodnota živin		
	(Kg/t půdy)			(Kč/t půdy)		
	Nízký obsah	Vysoký obsah	Průměrný obsah	Nízký obsah	Vysoký obsah	Průměrný obsah
Dusík	6,7	26,6	16,7	171,8	681,9	428,1
Draslík	17,8	88,8	53,3	395,6	1973,3	1184,4
Fosfor	6,7	28,9	17,8	253,5	1093,4	673,4
Hořčík	13,3	68,8	41,1	904,4	4678,4	2794,8
Celkem	-	-	-	1725,2	8427,0	5080,8

Zdroj: Kapler a kol., www.agronormativy.cz, vlastní výpočty Pražan, Koutná

Cena ztráty živin je značná položka v celkové bilanci přínosů a ztrát, proto je ještě ve stádiu diskuzí. Už nyní se však ukazuje, že ve skutečnosti bude ztráta živin výrazně větší – zejména živin, které jsou snadno rozpustné (např. N), neboť větší část ornice se usadí mimo původní místo a pokud je to mimo zemědělskou půdu, tak jsou živiny ztraceny i s ornici. V případě, že bychom hypoteticky uvažovali navrácení této ornice zpět na původní místo (náklad na odstranění škod), tak i v tomto případě jsou snadno rozpustné živiny ztraceny, neboť byly vyplaveny vodou, která ornici smývala. Podle propočtů by mohla ztráta v současnosti podle návrhové srážky činit ročně až 426 mil. Kč, toto číslo se v roce 2040 podle předpovědi zdvojnásobí na částku 894 mil. Kč ročně.

Další ocenění zadržené vody v krajině je postaveno na zavedení protierozních opatření, zatravněním, hrázkami a dalšími opatřeními, které projekt AdaptaN navrhuje. Pro ocenění je zvolen náklad, spojený s dopravou vody na zemědělskou půdu v případě závlah, stanovený na základě šetření cen v území JMK. Po provedení váženého průměru dle zavlažované plochy bude uvažován náklad spojený s průměrnou cenou dodávky vody v JMK. Po zavedení opatření dojde k zadržení vody v objemu 2 023 407 m³ vody ročně, což představuje hodnotu 14 163 848 Kč/ročně.

Pokud bychom přijali i předpoklady ochrany půdy vlivem přívalových dešťů a lokálních povodní, tak lze kvalifikovaně odhadnout, že suché nádrže ochrání přibližně 49 959 ha. Na této ploše bude hodnota ušetřených škod dosahovat 11 058 849 Kč/rok. Ve skutečnosti bude přínos ještě větší, neboť lokální povodně nebyly dosud oceněny.

Diskuze a závěr

Z povahy zejména přínosů vyplývá, že značná část sledovaných přínosů spadá do oblasti externalit a veřejných statků, jejichž vyjádření v monetární podobě je značně problematické, nebo časově/finančně náročné. Z tohoto důvodu byl v projektu proveden přehled možných způsobů hodnocení, ačkoli nebylo možné je v rámci projektu všechny započítat, v tom případě byly popsány a posouzeny kvalitativně. Jedná se však o velkou výzvu do budoucna se těmito složitými, ale významnými přínosy (popřípadě újmami) zabývat.

Čistý přínos bude ve variantním provedení podkladem pro vypracování strategie adaptace na dopady klimatické změny v JMK, které umožní uvažovat o hospodárném postupu v adaptaci. Správné nastavení variant v kombinacích opatření (a odpovídajících přínosů) umožní přiblížit se k takovému rozsahu opatření a jejich cílení, které bude co nejvíce nákladově efektivní.

Ekonomická analýza zodpovídá některé otázky investorů a hospodářů, jako je například:

Vyplatí se investovat finanční zdroje do opatření?

Jaké přínosy budou navržená opatření v projektu mít?

Co komu realizace opatření navržené v projektu přináší a co komu bere?

Celkový závěr však bude vhodné přednést až v závěru celého projektu, který bude v roce 2016 zveřejněn. V tuto chvíli kolektiv autorů spíše přináší představení postupu, jak lze přistoupit k ocenění následků a dopadů klimatické změny při současném a navrhovaném způsobu hospodaření v krajině.

Z předběžných výsledků lze již nyní říci, že náklady na opatření představují cca 4x nižší cenu, než jsou jejich přínosy, které tvoří především ekosystémové služby. Očekávané přínosy však mohou být i daleko vyšší, protože ne vše bylo možné vyjádřit ve finančních hodnotách a ne všechny přínosy jsou dnes již uzavřeny a započteny.

Literatura

(1) Boardman, A., Greenberg, D., Vining, A., Weimer, D. *Cost-benefit analysis, concepts and practice*. Upper Saddle River, Pearson Publication. 2011.

European Commission: *Guide to COST-BENEFIT ANALYSIS of investment projects*, 2008.

(2) Janeček M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Česká zemědělská universita, Praha, 2012: ISBN 978-80-87415-42-9.

(3) Kapler, P. a kol.: Analýza vybraných zemědělských adaptačních opatření na změnu klimatu v podmínkách ČR, Zpráva z funkčního úkolu pro MZe ČR, ÚZEI, Praha, 2008.

(4) Konečná, J., Pražan, J. Hodnocení ekonomických aspektů protierozní ochrany zemědělské půdy. Certifikovaná metodika. Výzkumný ústav meliorací a ochrany zemědělské půdy, v.v.i. Praha, Praha 2014.

(5) Koutná, K. Systém opatření k ochraně půdy a vody v zemědělské krajině –závazný podklad pro územní plán a komplexní pozemkové úpravy. Výzkumný záměr MZE0002704902, Integrované systémy ochrany a využití půdy, vody a krajiny v zemědělství a rozvoji venkova, Projekt 04, Etapa 43, Efektivnost a ekonomické aspekty vybraných opatření ochrany půdy a vody, studie pro VÚMOP, Brankovice 2012.

Poděkování

Děkuji za možnost spolupráce v projektu AdaptaN, který velmi komplexně zabírá celou problematiku vyhodnocení závažnosti výskytu i rizik zemědělského, lesnického a hydrologického sucha a lokálních přívalových srážek na postižených konkrétních územích Jihomoravského kraje. Stále se máme co učit při vypracování komplexních návrhů řešení a je správné, že se o to pokoušíme, Osobně pak chci poděkovat kolegovi Přemku Pavkovi za precizně zpracovaná data pro ÚZEI.

Kontakt:

Ing. Marie Trantinová, Ph.D.

Ústav zemědělské ekonomiky a informací

Krnovská 69

736 484 232

Trantinova.marie@uzei.cz

Zlepšování základních půdních vlastností a eliminace dopadů sucha na výši produkce plodin pomocí aplikace půdních aktivátorů

Improving the basic soil properties and elimination the impact of drought on crop production levels by using of soil activators

František Václavík, Barbora Badalíková, Jaroslava Novotná

PRP TECHNOLOGIS ČR, Zemědělský výzkum, spol. s r.o., Troubsko

Abstrakt

Mezi negativní procesy, které ohrožují naše půdy, patří především její fyzikální degradace. Vlivem degradace textury a zhutnění půdy se snižuje biologická aktivita v půdě a produktivita půdy klesá (Stefanovits, 1975, Taylor, 1987). Kvůli zhutnění půdy dochází ke škodlivé disfunkci, co se týče infiltrační schopnosti půdy, vzdušné kapacity a tepelného režimu půdy (Stefanovits, 1992, Birkás, 2002). Půdní podmínky mohou být zlepšeny vhodným zpracováním půdy nebo přidáváním různých pomocných látek. Organická hnojiva představují cenný zdroj půdní organické hmoty, která hraje důležitou roli v udržení integrity struktury půdy, která podporuje kontrolu mnoha půdních funkcí, zejména infiltrace, retence vody, odolnost vůči erozi (Gregorich a kol., 1994).

Klíčová slova: degradace půdy, produktivita, infiltrace, retence vody, eroze.

Abstract

Among the negative processes that threaten our land, and is primarily a physical degradation. Biological activity in the soil declines due to soil compaction and degradation of soil texture, thus reducing soil productivity (Stefanovits, 1975, Taylor, 1987). Soil compaction is also the cause of harmful dysfunction in terms of the soil's infiltration ability, air capacity and thermal behaviour (Stefanovits, 1992, Birkás, 2002). Soil conditions can be improved by suitable soil cultivations or adding different excipients. Organic fertilizer is a valuable source of soil organic matter which plays an important role in sustaining the integrity of soil structure supporting numerous functions of soil, especially infiltration, water retention and resilience against erosion (Gregorich et al., 1994).

Key words: soil degradation, productivity, infiltration, water retention, erosion.

Úvod

Půdní degradační procesy nabírají na dynamice a kořenový systém rostlin se potýká s podpovrchovým technogenním utužením půdního profilu. Klimatické změny sebou přinášejí nepříznivé rozložení srážek a kumulace těchto problémů se velmi negativně promítá do finálních výsledků výroby.

Výnosy plodin jsou nestabilní, úroveň využití stále nákladnějších vstupů klesá a zemědělská výroba se bez dotací stává nerentabilní. Poruchy půdní struktury a nerovnoměrný vláhový management se dnes již dotýkají většiny pěstovaných plodin a kultur nejen v české republice. Tento problém je dnes globální a takto je i prezentován. Tyto dva faktory spolu nejen úzce souvisí, ale bohužel se významně ovlivňují. Půdní struktura je ve většině případů narušena vlivem nízké biologické aktivity půdní a nedostatku organických látek. V důsledku těchto poruch se pak výrazně zhoršují fyzikální vlastnosti půdy a vzniká první předpoklad zhoršení zasakování srážkové vody do půdy a jejího udržení v půdním profilu.

Jestliže je totiž takováto půda se sníženou schopností příjmu vody vystavena přívalovým dešťům, vznikne situace, kdy voda nevsákne, zůstane na povrchu, zatěžuje půdu velkou hmotností a rozplaví nestabilní půdní agregáty (vzniklé vlivem poruchy biologické činnosti a nedostatku organických látek). Následkem toho dochází k vytěsnění vzduchu a vzniku anaerobního prostředí, které je dalším krokem ke zhoršení poměru aerobních a anaerobních bakterií. Posunem k anaerobnímu prostředí je výrazně snížena schopnost půdy zpracovávat organické zbytky humifikací a následnou mineralizací. Naopak převládají procesy hnilobné a okyselení půdy.

Kruh se potom uzavírá v bodě, kdy vlivem nerovnoměrných srážek zhoršené půdní prostředí negativně ovlivňuje biologickou činnost, koloběh uhlíku a obsah aktivní organické složky půdní, což se negativně projevuje na stavu organominerálního sorpčního komplexu. Je nasnadě, že takováto půda není schopna dobře hospodařit s vláhou. Jak již bylo uvedeno, v případě přívalového deště není schopna vodu přijmout, ta působí škody vytěsněním vzduchu z půdního profilu, rozplavením půdních agregátů a následné zhutňováním půdy. Na plochách náchylných k erozi výrazně zvyšuje pravděpodobnost jejího vzniku. Jakmile však přívalový déšť odezní a nastane období bez srážek, půda rozpraská do hloubky a praskliny jako komíny vytahují vláhu a prosušují půdu do větší hloubky. Z toho jednoznačně vyplývá, že využitelnost vody, jak ze srážek, tak i z půdní zásoby je pro rostliny velmi limitovaná.

Dalším negativním jevem je vliv takto porušeného půdního prostředí na tvorbu kořenů. V důsledku vytěsnění vzduchu vodou dochází k asfyxii a při následném zaplavení půdního profilu je častým jevem hydromorfie kořenů. Rostliny pak spotřebují obrovské množství energie na regeneraci kořenů. Jestliže se tyto jevy opakují několikrát za vegetaci, pak rostliny koření mělce což jim neumožňuje čerpat půdní vláhu a živiny hlavně v období sucha. Jestliže tedy není v pořádku půdní profil ani kořenový systém, je rostlina oslabená a nemůže využít svůj biologický výnosový potenciál. V zájmu udržení intenzity výroby pak vyvstává nutnost zvyšování dávek průmyslových hnojiv a pesticidů. Avšak ani zvyšování dávek živin ve formě průmyslových hnojiv nevede k požadovanému výsledku, protože v nezdravých půdách je nízká aktivita rhizosféry a využitelnost dodávaných živin se pohybuje na úrovni 5-30%.

Z výše uvedeného vyplývá, že standardní model hospodaření na degradovaných půdách ke zlepšení situace nevede a to ani při vysoké intenzitě výroby orientované na udržení úrovně vstupů v zájmu zabezpečení cílových výnosů plodin a kvality produkce.

Řešení je relativně jednoduché a dostupné - zlepšení půdních vlastností a přirozené úrodnosti půdy. Cílem řešení je uvést do rovnováhy biologické půdní systémy v zájmu optimalizace půdních procesů pomocí produktů se specifickým poměrem organických, minerálních látek a stopových prvků, které budou systémově začleněny do technologií pěstování plodin. Dále pak optimalizovat růst a vývoj rostlin v zájmu zvýšení efektu fotosyntézy, zlepšení zdravotního stavu a využití biologického výnosového potenciálu rostlin. Dostupným a účinným řešením je použití půdního kondicionéru PRP SOL a jeho zařazení do plodinových systémů. Optimalizaci růstu a vývoje rostlin a zvýšení efektu fotosyntézy i v podmínkách permanentního nedostatku vody lze zabezpečit listovou aplikací stimulátoru vegetativních funkcí rostlin PRP EBV. Výsledkem v praxi pak mohou být přínosy dosažené v tomto projektu.

Materiál a metody

Při různých dávkách přípravku PRP SOL může docházet nejen ke změnám fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy, ale následně i ke změnám produkční schopnosti půdy čili výnosovým výkyvům (PRP EBV).

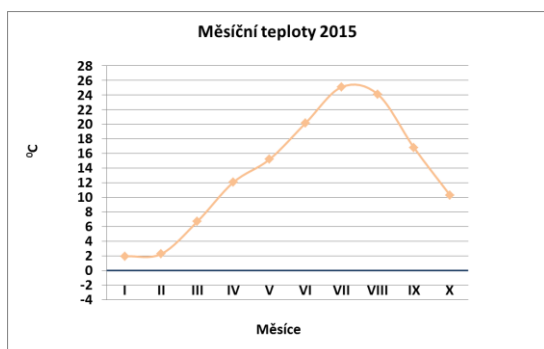
Pokus byl založen na jaře roku 2011 na pozemcích Agrocentra v Hrušovanech nad Jevišovkou v katastru obce Litobratřice a byla zde v monokultuře pěstována kukuřice na zrno z důvodu vyloučení vlivu střídání plodin.

Klimatické podmínky: lokalita se nachází v kukuřičné výrobní oblasti, v nadmořské výšce 210 m a patří do klimatické oblasti T4 - nejteplejší. Uplatňuje se zde srážkový stín českomoravské vrchoviny. Dlouhodobé srážky se v tomto regionu pohybují v průměru kolem 461 mm, z toho během vegetace 302 mm a dlouhodobá průměrná roční teplota bývá 8,9 °C, z toho ve vegetačním období 15,3°C. V roce 2015 však byla naměřena během vegetační doby suma srážek 212 mm a průměrná teplota 17,2 °C, což je o 90 mm méně srážek a o 1,9 °C vyšší teplota než je dlouhodobý průměr.

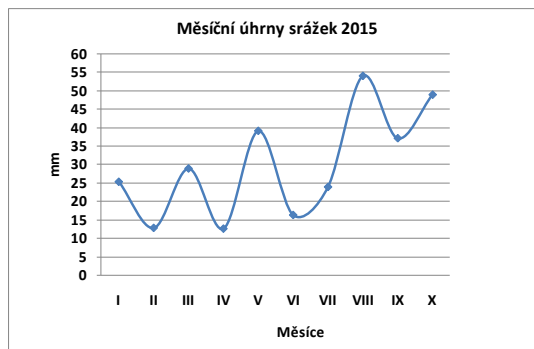
Půdní podmínky: černozem modální na spraši, středně těžká až těžká, zrnitostně hlinitá až jílovitohlinitá půda, orníční horizont sahá do 0,4 m.

V grafech 1 a 2 jsou uvedeny hodnoty průběhu teplot a úhrnu srážek v roce 2015 na sledovaném stanovišti v Litobratřicích. Tento rok se vyznačoval suchým jarem a od konce července deštivým průběhem počasí až do podzimního období. Průměrná teplota od ledna do listopadu činila v tomto roce 12,4 °C a úhrn srážek za stejné období byl 495,4 mm.

Graf 1: Průběh měsíčních teplot – 2015

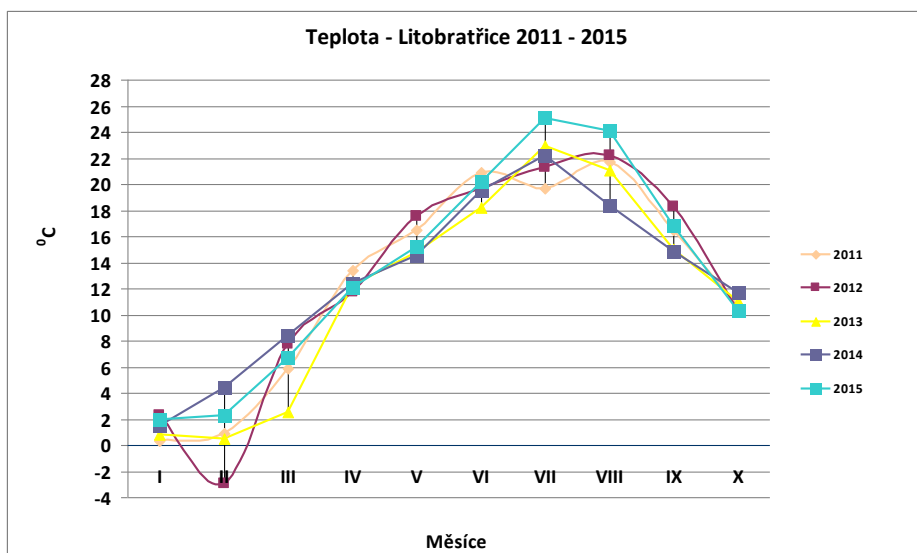


Graf 2: Úhrn měsíčních srážek - 2015

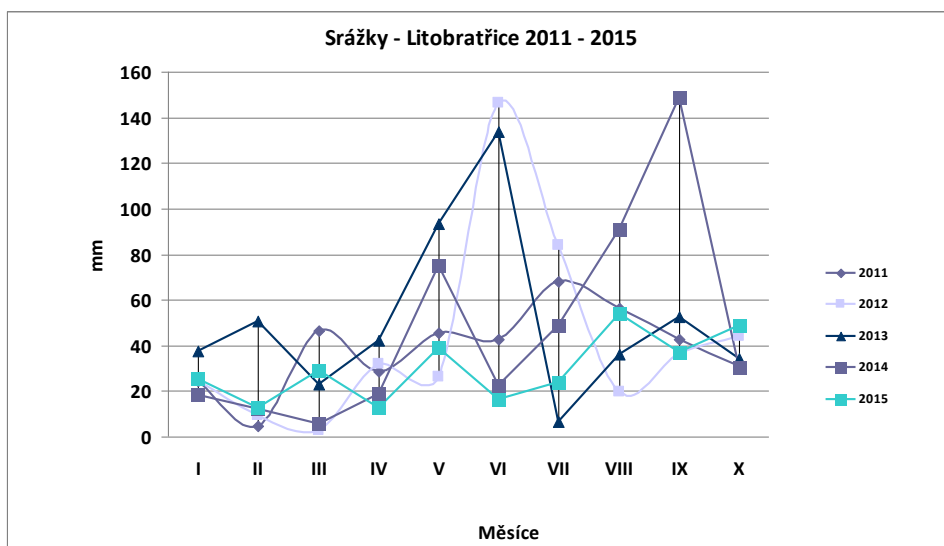


Průběh počasí během let 2011 – 2015 je zobrazen v grafu 3 (průměr měsíčních teplot) a v grafu 4 (sumy měsíčních srážek).

Graf 3: Průměrné měsíční teploty za sledované období



Graf 4: Suma měsíčních srážek za sledované období



V rámci projektu byly sledovány fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy a výnosy hlavní plodiny kukuřice na zrno.

Vzorky půdy byly odebírány v průběhu vegetačního období ze čtyř založených variant v rámci hodnocení vlivu aplikace a dávek PRP SOL na půdní prostředí (pokus I):

Pokus I:

A Varianta kontrolní – bez PRP SOL pouze minerální hnojení N na široko, P pod patu

B Varianta N + 100 kg přípravku PRP SOL aplikace pod patu, bez P a K

C Varianta N + 150 kg přípravku PRP SOL, aplikace pod patu, bez P a K

D Varianta N + 150 kg přípravku PRP SOL, aplikace na široko, bez P a K

Pokus II:

A Varianta kontrolní – bez PRP SOL pouze minerální hnojení N na široko, P pod patu

B Varianta N + 100 kg přípravku PRP SOL aplikace pod patu, bez P a K + PRP EBV

C Varianta N + 150 kg přípravku PRP SOL, aplikace pod patu, bez P a K + PRP EBV

D Varianta N + 150 kg přípravku PRP SOL, aplikace na široko, bez P a K + PRP EBV

Stejné varianty jako v pokusu I byly založeny varianty v pokusu II, kde byly rostliny ve 3. až 4. listu postříkány kapalným stimulantem PRP EBV. U pokusu II byl sledován pouze výnos. Výnosy kukuřice na zrno u pokusu I a II byly získány ruční sklizní z každé varianty ve třech opakováních. Byla zjištěna hmotnost palic z 15 rostlin, vlhkost zrna při sklizni, který byl přepočten na výnos při standardní vlhkosti 14 % a hmotnost tisíce zrn.

Šířka jedné varianty je cca 30 m, délka parcely 100 m. Ochrana plodiny byla jednotná dle aktuální potřeby na sledované lokalitě.

Metodika stanovení půdních analýz

Z fyzikálních vlastností půdy byly sledovány tyto parametry: objemová hmotnost redukovaná, pórovitost, momentální obsah vody a vzduchu, maximální kapilární vodní a minimální vzdušná kapacita, půdní struktura, vodostálost půdních agregátů a penetrometrické měření utužení půdy.

Fyzikální vlastnosti půdy byly sledovány pomocí válečků dle Kopeckého. Vzorky byly odebrány ze třech hloubek půdy: 0-0,10, 0,10-0,20 a 0,20-0,30 m v pěti opakováních.

Půdní struktura byla stanovena prosíváním suché zeminy na sítích o průměrných otvorech 0,25, 0,5, 2, 5, 10, 20 mm. Vzorky byly odebrány ze dvou hloubek, a sice 0-0,15 a 0,15-0,30 m ve třech opakováních. Každá strukturní frakce byla samostatně zvážena a přepočtena na procenta. Pro vlastní hodnocení byl vypočítán koeficient strukturnosti, který vyjadřuje vztah mezi agronomicky hodnotnými (0,25-10 mm) a méně hodnotnými strukturními elementy (>10 a <0,25 mm).

Stanovení vodostálosti, nebo-li stability půdních agregátů, bylo zjištěno ze sypaných půdních vzorků z průměrné hloubky 0-0,20 m. Půdní agregáty o velikosti 1-2 mm jsou při této metodě promývány po dobu 5 minut na síťovém promývacím přístroji. Vodostálost půdních agregátů byla zjišťována metodou mokrého prosévání (Kandeler 1996). Byl stanoven procentický podíl nerozplavených agregátů z celkové navážky vzorku podle vzorce:

$$\% \text{ SAS} = ((M_2 - M_3) / W - (M_3 - M_1)) \cdot 100$$

kde

% SAS	procento stabilních půdních agregátů
M ₁	hmotnost misky (g)
M ₂	hmotnost misky, stabilních agregátů a písku (g)
M ₃	hmotnost misky a písku (g)
(M ₂ - M ₃)	hmotnost stabilních agregátů
(M ₃ - M ₁)	hmotnost písku
W	navážka vzorku (4 g)

Z chemických vlastností půdy byly sledovány základní živiny - dusík, fosfor, draslík, hořčík a vápník. Dále byl sledován obsah humusu, jeho kvalita a výměnná půdní reakce.

Půdní vzorky na chemické analýzy pro zjištění základního obsahu živin v půdě byly odebírány ze dvou hloubek: 0-0,15 a 0,15-0,30 m. Vzorky byly odebírány současně se vzorky pro stanovení obsahu humusu. Výměnná půdní reakce pH byla stanovena z výluhu KCl a měřena na pH-metru, obsah přístupného fosforu, draslíku a hořčíku byl stanoven na spektrofotometru metodou podle Melicha III (vyjádřeno v mg na 1 kg půdy) a obsah celkového dusíku mineralizací, destilační metodou dle Kjehdahla (vyjádřen v %). Vzorky půdy pro zjištění obsahu humusu a jeho kvality byly také odebrány z hloubky 0,0-0,15m a 0,15-0,30 m. Celkový obsah humusu resp. oxidovatelného uhlíku byl stanoven klasickou metodou dle Tjurina upravenou dle Nováka. Pro zjištění kvality humusu byl zjištěn poměr huminových kyselin k fulvokyselinám z tabelární závislosti na barevném koeficientu Q4/6.

Z biologických vlastností byly sledovány kvantitativní a kvalitativní biologické parametry z povrchové vrstvy půdy do 0,10 m.

Bazální a potenciální respirace - kvalitativní biologické parametry (dle Černoškové) vychází z měření respirační aktivity při sledování množství vydýchaného CO₂ - C (nejčastěji v g) za určitý časový úsek vztaženého na jeden gram suché půdy. Půdní mikrobiální respirace byla sledována v průběhu 7-30 denní aerobní inkubace. Výsledky měření mikrobiální respirační aktivity byly vyjádřeny jako kumulativní obsah CO₂ - C uvolněného za jednotku času nebo jako průměrná denní produkce CO₂ - C, vyjádřeného v mg CO₂-C. na kg_{suš.}

Půdní biomasa byla zjištěna jako kvantitativní obsah mikroorganismů Fumigačně-extrakční metodou (dle Vance et al.). U této metody se půdní vzorky fumigují chloroformem 24 hodin. Obsah C_{bio} byl stanoven z rozdílu mezi fumigovanými a nefumigovanými vzorky. Uhlík byl stanoven dichromanovou oxidací v přítomnosti silné kyseliny a následou titrací Mohrovou solí, popř. spektrofotometricky.

Výsledky

Výsledky výnosu kukuřice na zrno s přípravkem PRP SOL a s PRP SOL + EBV jsou uvedeny v tabulce 1 a 2. Sklizeň zrnové kukuřice proběhla 1. 10. 2015.

Výnosy v roce 2015 byly poznamenány průběhem počasí během vegetačního období, kdy od června do konce srpna téměř nepršelo. Celkově byly výnosy na střední úrovni.

Nejnižší výnos byl zjištěn u varianty A (kontrolní) bez aplikace PRP SOL. Nejvyšší výnos byl zjištěn u varianty D. Varianta D, vykázala až o 9,96 t.ha⁻¹ vyšší výnos oproti kontrole. Celkově byly však klasy kukuřice menší a zrna drobnější, místy nevyvinuté, a to u všech variant.

Tab. 1: Průměrné hodnoty výnosu (t.ha⁻¹, při 14 % vlhkosti) v letech 2011-2015

PRP SOL

Varianta	2011	2012	2013	2014	2015	prům.
A	10.52	5.65	7.48	3.36	7.13	6.83
B	10.85	5.99	8.29	3.82	16.23	9.04
C	11.63	7.52	8.10	3.10	13.29	8.73
D	11.48	7.19	8.45	3.91	12.62	8.73

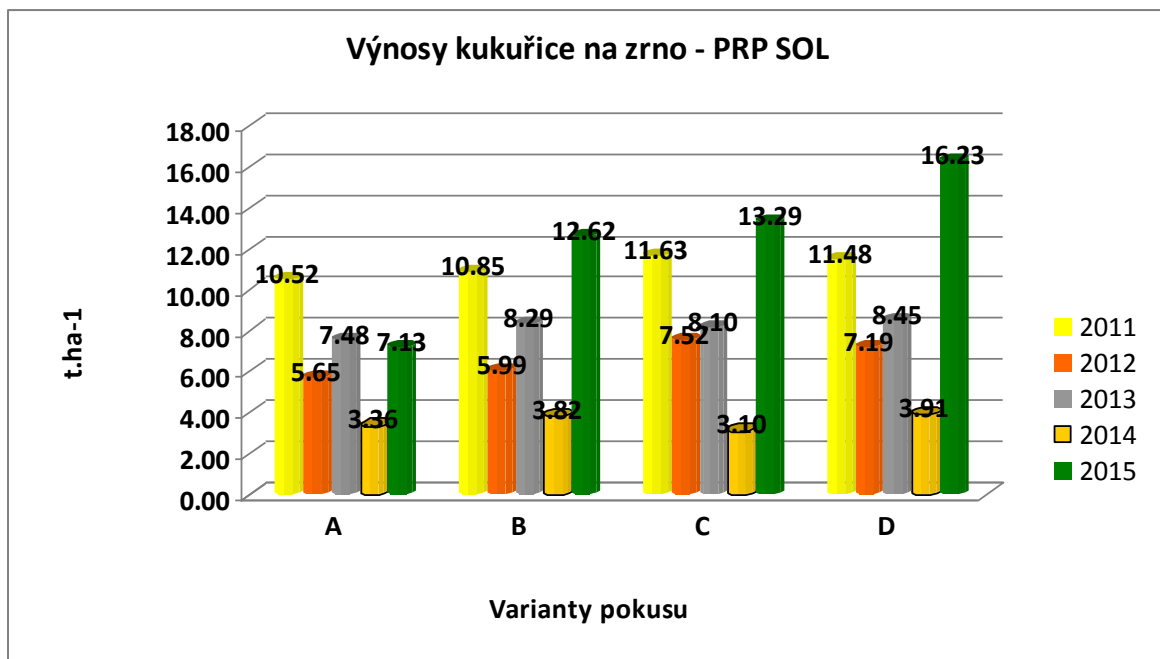
Tab. 2: Průměrné hodnoty výnosu (t.ha⁻¹, při 14 % vlhkosti) v letech 2011-2015

PRP SOL + EBV

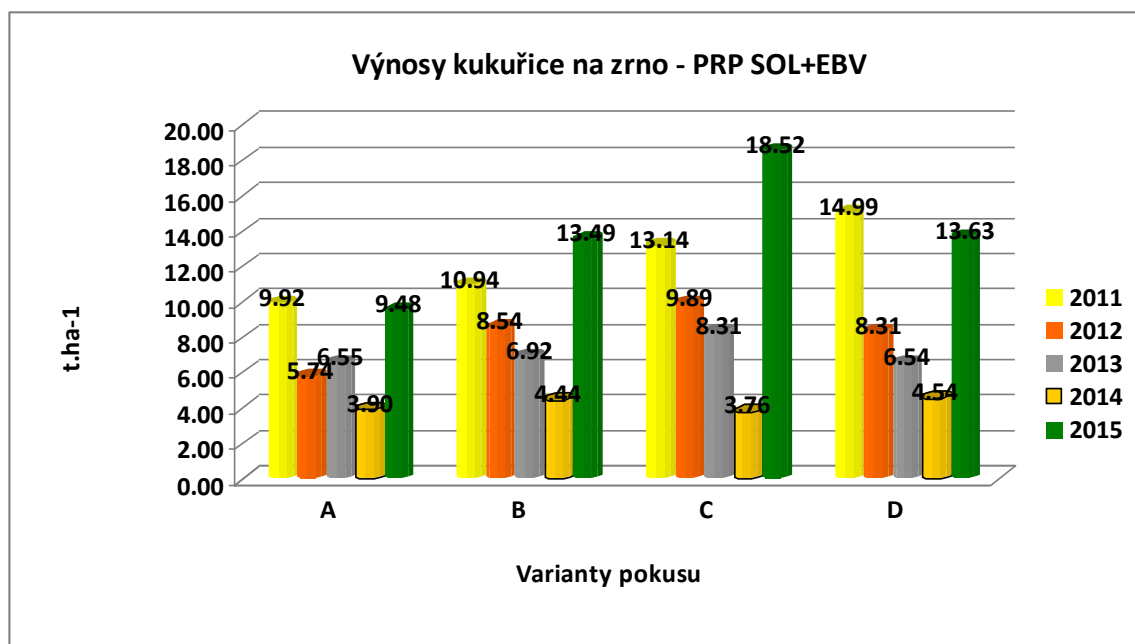
Varianta	2011	2012	2013	2014	2015	prům.
A	9.92	5.74	6.55	3.90	9.48	7.12
B	10.94	8.54	6.92	4.44	13.49	8.87
C	13.14	9.89	8.31	3.76	18.52	10.73
D	14.99	8.31	6.54	4.54	13.63	9.60

Z tabulky 2 je patrné, že kapalný stimulant PRP EBV ovlivnil pozitivně výši výnosů, zvláště u variant C a D s vyšší dávkou aplikovaného PRP SOL. Nejnižší výnos byl zjištěn u varianty A bez aplikace PRP SOL.

Graf 5: Průměrné výnosy zrnové kukuřice za roky 2011 – 2015 s PRP SOL



Graf 6: Průměrné výnosy zrnové kukuřice za roky 2011 – 2015 s PRP SOL + EBV



Porovnání výnosů od roku 2011 u obou pokusů je vyhodnoceno v tabulkách 1, 2 a graficky v grafech 5 a 6. Z tabulkových hodnot i grafů je patrná souvislost mezi variantami s PRP SOL a PRP SOL + EBV. Téměř ve všech letech byl výnos vyšší u varianty C a D. Také byly výnosy pozitivně ovlivněny postřikem přípravku EBV ve 4. listu růstové fáze kukuřice u druhé části pokusu. Je zde také patrný velký vliv ročníku, což je doloženo i statisticky.

Fyzikální vlastnosti půdy

Hodnoty fyzikálních vlastností půdy za rok 2015 jsou uvedeny v tabulce 3. Objemová hmotnost redukovaná (O_{Hr}) byla naměřena v průměru nejvyšší u kontrolní varianty A, a to 1,45 g.cm⁻³, což je limitní hodnota u těchto půd podle Lhotského (2000). Ve spodní vrstvě půd 0,2 – 0,3 m byl však tento limit překročen o 0,14 g.cm⁻³. Nejnižší O_{Hr} byla zjištěna u varianty D, v průměru 1,29 g.cm⁻³, v povrchové vrstvě půdy 0 – 0,10 m pouze 1,14 g.cm⁻³. Tomu odpovídaly i hodnoty pórovitosti a provzdušněnost půdy. Nejnižší vzdušná kapacita byla naměřena u varianty kontrolní A a nejvyšší u varianty D. Největší rozdíly O_{Hr} byly zaznamenány mezi orniční vrstvou a podorničím u varianty A a B. Momentální obsah půdní vody (MOV) byl zjištěn v průměru nejvyšší u varianty A, což bylo způsobeno nahromaděním vody hlavně v podorničí díky vyšší utuženosti půdy. U ostatních variant nedošlo k výrazným rozdílům.

Tab. 3: Fyzikální vlastnosti půdy – Litobratřice 2015

varianta	Hloubka půdy (m)	Objemová hmotnost red. (g.cm ⁻³)	Celková pórovitost (%)	Momentální obsah		Max.kapilár. kapacita	Min.vzduš. kapacita
				vody	vzduchu		
				%obj.		%obj.	
A	0 - 0,1	1,28	51,21	17,39	33,81	39,22	11,98
	0,1 - 0,2	1,47	43,88	24,90	18,97	33,76	10,12
	0,2 - 0,3	1,59	39,15	27,63	11,52	30,70	8,45
	0 - 0,3	1,45	44,75	23,31	21,44	34,56	10,18
B	0 - 0,1	1,13	56,69	12,77	43,93	39,41	17,28
	0,1 - 0,2	1,42	45,82	26,52	19,30	34,46	11,37
	0,2 - 0,3	1,44	45,06	25,20	19,86	32,76	12,30
	0 - 0,3	1,33	49,19	21,50	27,70	35,54	13,65
C	0 - 0,1	1,26	51,99	19,04	32,96	38,11	13,88
	0,1 - 0,2	1,50	42,71	24,78	17,93	31,23	11,48
	0,2 - 0,3	1,43	45,51	25,61	19,90	33,05	12,46
	0 - 0,3	1,40	46,74	23,14	23,60	34,13	12,61
D	0 - 0,1	1,14	56,45	15,35	41,10	39,72	16,73
	0,1 - 0,2	1,34	48,83	24,22	24,61	33,11	15,72
	0,2 - 0,3	1,39	46,81	25,03	21,78	33,61	13,20
	0 - 0,3	1,29	50,70	21,53	29,16	35,48	15,22

Půdní struktura

V tabulce 4 jsou uvedeny hodnoty půdní struktury za rok 2015. Hodnoty koeficientu strukturnosti (KS) představují kvalitu půdní struktury. KS byl zjištěn nejvyšší u varianty D, a nejnižší u varianty A (kontrolní). U varianty D byl koeficient vyšší o 0,32 bodů oproti variantě A, což naznačuje, že i přes velké suchu v tomto roce je strukturotvornost zachována díky aplikaci PRP SOL (var. C, D), zvláště v povrchové vrstvě půdy. KS v tomto roce nepřesáhla hodnotu 1 u žádné varianty, což je stav pro strukturu nepříznivý. Bylo to dáno velkým suchem v době odběru půdních vzorků. Téměř u všech variant byl zjištěn lepší KS v povrchové vrstvě půdy.

Tab. 4: Zastoupení strukturních elementů – Litobratřice 2015

varianta	hloubka (m)	Strukturní elementy (% hmot.)						Koeficient strukturnosti
		nad 10	5 - 10	2 - 5	0,5 - 2	0,25 - 0,5	pod 0,25	
1	0,00-0,15	67,59	11,59	11,73	6,85	0,40	1,84	0,44
	0,15-0,30	78,94	8,29	6,03	5,86	0,17	0,71	0,26
	průměr	73,26	9,94	8,88	6,35	0,28	1,28	0,34
2	0,00-0,15	61,10	14,58	11,80	10,07	0,49	1,97	0,59
	0,15-0,30	61,04	16,56	15,42	5,73	0,25	1,00	0,61
	průměr	61,07	15,57	13,61	7,90	0,37	1,48	0,60
3	0,00-0,15	56,30	15,68	21,04	5,84	0,23	0,90	0,75
	0,15-0,30	64,56	14,86	13,52	5,97	0,22	0,88	0,53
	průměr	60,43	15,27	17,28	5,91	0,23	0,89	0,63
4	0,00-0,15	54,48	17,66	13,43	13,00	0,30	1,13	0,80
	0,15-0,30	64,14	15,81	14,03	5,14	0,18	0,69	0,54
	průměr	59,31	16,73	13,73	9,07	0,24	0,91	0,66

Vodostálost

Jak je uvedeno v tab. 5, v roce 2015 byly hodnoty vodostálosti na dobré úrovni a nebyly patrné významné rozdíly mezi variantami. Nejnižší hodnoty byly zjištěny u varianty A - kontrolní. Podle klasifikační stupnice zastoupení vodostálosti půdních agregátů byla kvalita struktury na střední úrovni u všech variant.

Tab. 5: Průměrné hodnoty vodostálosti půdních agregátů Litobratřice 2015

odběr	opakování	(%)
A	1	39,43
	2	37,22
	3	37,99
	průměr	38,21
B	1	38,23
	2	45,17
	3	42,09
	průměr	41,83
C	1	43,15
	2	41,59
	3	42,02
	průměr	42,25
D	1	40,54
	2	45,48
	3	42,15
	průměr	42,72
celkový průměr		40,77

Obsah vody v půdě

Gravimetricky zjištěný obsah vody v roce 2015 je uveden v tab. 6. Zatímco vyšší vlhkost půdy byla naměřena v jarním období u variant s PRP SOL, tak naopak vyšší vlhkost na konci vegetace, kdy byly naměřeny vyšší dešťové srážky, byla naměřena u varianty A (kontrolní bez PRP SOL). Koresponduje to s vyšší utužeností půdy u této varianty a menší schopností vodu propouštět do podorničí. Varianty s aplikovaným přípravkem si podržely vláhu na stejné úrovni v celém orničním profilu.

Tab. 6: Vlhkost půdy – Litobratřice 2015

Varianta	hloubka (m)	odběr vzorků		průměr
		počátek vegetace	konec vegetace	
% hmot.				
1	0,0-0,10	13,61	15,34	14,48
	0,10-0,20	16,94	17,30	17,12
	0,20-0,30	17,33	17,20	17,27
	průměr	15,96	16,62	16,29
2	0,0-0,10	11,25	17,33	14,29
	0,10-0,20	18,69	17,86	18,27
	0,20-0,30	17,51	15,86	16,69
	průměr	15,82	17,02	16,42
3	0,0-0,10	15,14	17,13	16,13
	0,10-0,20	16,51	17,58	17,05
	0,20-0,30	17,94	16,37	17,15
	průměr	16,53	17,03	16,78
4	0,0-0,10	13,46	14,97	14,21
	0,10-0,20	18,07	17,71	17,89
	0,20-0,30	17,96	18,04	18,00
	průměr	16,50	16,90	16,70

Chemické vlastnosti půdy

V tabulce 7 jsou obsaženy hodnoty obsahu živin v půdě a výměnné půdní reakce zjištěné během vegetace. Ze zjištěných hodnot je patrné, že obsah přístupného P je nízký, obsah K dobrý, obsah Mg dobrý, obsah celkového N střední a obsah Ca velmi vysoký. Mezi variantami nebyly významné rozdíly. Půdní reakce byla vyhodnocena jako alkalická a zůstala na stejné úrovni jako v loňském roce.

Tab. 7: Obsah živin v půdě a půdní reakce – Litobratřice 2015

varianta	hloubka (m)	pH _{KCl}	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Nc (%)	Ca (mg/kg)
A	0 - 0,15	7,4	54	247	247	0,180	7584
	0,15 - 0,30	7,5	42	220	249	0,180	7533
	průměr	7,5	48	234	248	0,180	7559
B	0 - 0,15	7,5	38	256	260	0,180	7334
	0,15 - 0,30	7,5	24	205	238	0,160	6965
	průměr	7,5	31	231	249	0,170	7150
C	0 - 0,15	7,5	38	225	247	0,180	6694
	0,15 - 0,30	7,5	38	226	264	0,170	7259
	průměr	7,5	38	226	256	0,175	6977
D	0 - 0,15	7,5	38	244	254	0,160	7280
	0,15 - 0,30	7,5	28	186	245	0,160	7549
	průměr	7,5	33	215	250	0,160	7415

Obsah humusu a jeho kvalita

V tabulce 8 jsou uvedeny hodnoty obsahu Cox, humusu (přepočteného Cox) a jeho kvality. Z tabulky je patrný vyšší obsah humusu u variant C a D. U variant A a B byl obsah humusu na stejné úrovni.

Stanovení kvality humusu (Cox) patří k důležitým ukazatelům kvality/zdraví půdy. Za kvalitnější považujeme ty půdy, u kterých převládá frakce huminových kyselin (HK) nad fulvokyselinami (FK) a tudíž poměr HK/FK je větší než jedna, jak uvádí Sotáková (1982). Bohužel kvalita humusu (HK/FK) byla nižší jak 1 u všech variant, a to v orniční vrstvě i v podorniči. Bylo to dáno průběhem počasí během vegetační doby, kdy bylo málo dešťových srážek a tím byl nedostupný dusík, který také udává kvalitu humusu, tedy vyšší obsah huminových kyselin. Vlivem pomalé mineralizace humusu docházelo i k pomalému uvolňování dusíku a tím i ke zhoršení kvality humusu. V průměru nejlepší kvalita humusu byla zjištěna u variant C a D.

Co se týče kvality humusu podle barevného kvocientu Q 4/6 je podle výsledků absorbance HL v UV-VIS oblasti spektra kvalita střední u všech variant. Hodnoty absorbance jsou vyrovnané. Hodnoty barevného indexu byly od 3,6 do 4,2 a indikují střední kvalitu HL.

Tab. 8: Obsah humusu a jeho kvalita – Litobratřice 2015

varianta	hloubka (m)	C _{ox} (%)	humus (%)	HK/FK	Q4/6
A	0 - 0,15	1,45	2,50	0,92	3,8
	0,15 - 0,30	1,47	2,53	0,87	3,9
	průměr	1,46	2,52	0,90	3,9
B	0 - 0,15	1,46	2,52	0,83	4,0
	0,15 - 0,30	1,49	2,57	0,92	3,8
	průměr	1,48	2,54	0,88	3,9
C	0 - 0,15	1,65	2,84	0,92	3,8
	0,15 - 0,30	1,65	2,84	0,92	3,8
	průměr	1,65	2,84	0,92	3,8
D	0 - 0,15	1,69	2,91	0,87	3,9
	0,15 - 0,30	1,49	2,57	0,98	3,7
	průměr	1,59	2,74	0,93	3,8

Závěrečné hodnocení za všechny sledované roky 2011 – 2015

Biologické vlastnosti půdy

Půdní biomasa

Biomasa je pro půdu definována jako žijící část organické hmoty.

V tab. 9 jsou uvedeny průměrné hodnoty půdní biomasy mikrobiálního uhlíku (C_{mic}). Biomasa rostlinných kořenů, živočišná biomasa a biomasa mikroorganismů je důležitou

složkou pro správné fungování ekosystému. Vyšší dostupnost uhlíku by mělo zvýšit možnost růstu mikroorganismů a tím by mělo dojít i k vyšším hodnotám množství mikrobiálního uhlíku. U mikrobiální biomasy byly zjištěny nejnižší hodnoty uhlíku v půdní biomase na variantě A. Průkazně nejvyšší hodnoty byly naměřeny u var. C, ve srovnání s ostatními variantami.

Tab. 9: Průměrné hodnoty C_{mic} ($\mu\text{g C/g sušiny}$) v půdní biomase za roky 2011- 2015

Varianta	2011	2012	2013	2014	2015	Průměr
A	218.00	115.50	261.16	220.50	124.85	188.00
B	205.00	162.73	441.43	290.50	110.20	241.97
C	202.67	112.37	431.33	570.83	92.27	281.89
D	210.00	153.37	466.33	270.37	105.19	241.05

Fyzikální vlastnosti půdy

Při celkovém zhodnocení průměrných hodnot získaných během pěti let pokusu se projeví vyšší hodnoty O_{Hr} ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) u kontrolní varianty A ve srovnání s ostatními ošetřenými variantami (tab. 10). Tento rozdíl byl statisticky průkazný. Také u varianty D byla průkazně vyšší hodnota O_{Hr} oproti variantě B. O_{Hr} negativně koreluje s hodnotami pórovitosti (%), což se projevilo u varianty A, kde byla významně nižší pórovitost ve srovnání s ostatními variantami, také u var. B byla průkazně vyšší pórovitost oproti variantě D (tab. 11). O_{Hr} a pórovitost také odráží utužení půdy, které se výrazně projevuje na neošetřené variantě A, kde ve většině let dochází v hloubce 0,1 - 0,3 m k překročení mezních hodnot kritických vlastností zhutněných půd (Lhotský, 2000). U varianty B byla zjištěna nejvyšší maximální kapilární kapacita (% obj.) oproti ostatním variantám, tento rozdíl byl průkazný ve srovnání s variantou A a D (tab. 12).

Tab. 10: Průměrné hodnoty objemové hmotnosti redukované ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) 2011 - 2015

Varianta	Hloubka (m)	2011	2012	2013	2014	2015	Průměr
A	0 - 0,1	1.37	1.29	1.58	1.23	1.28	1.35
	0,1 - 0,2	1.57	1.49	1.58	1.37	1.47	1.50
	0,2 - 0,3	1.54	1.57	1.57	1.26	1.59	1.51
	0 - 0,3	1.50	1.45	1.58	1.29	1.45	1.45
B	0 - 0,1	1.33	1.20	1.27	1.19	1.13	1.22
	0,1 - 0,2	1.42	1.37	1.30	1.20	1.42	1.34
	0,2 - 0,3	1.36	1.48	1.51	1.33	1.44	1.42
	0 - 0,3	1.37	1.35	1.36	1.24	1.33	1.33
C	0 - 0,1	1.27	1.19	1.28	1.18	1.26	1.23
	0,1 - 0,2	1.39	1.37	1.32	1.38	1.50	1.39
	0,2 - 0,3	1.39	1.47	1.40	1.41	1.43	1.42
	0 - 0,3	1.35	1.34	1.33	1.33	1.40	1.35
D	0 - 0,1	1.20	1.32	1.37	1.46	1.14	1.30
	0,1 - 0,2	1.33	1.49	1.37	1.53	1.34	1.41
	0,2 - 0,3	1.43	1.43	1.41	1.44	1.39	1.42
	0 - 0,3	1.32	1.42	1.39	1.48	1.29	1.38

Tab. 11: Průměrné hodnoty celkové pórovitosti (%) 2011 – 2015

Varianta	Hloubka (m)	2011	2012	2013	2014	2015	Průměr
A	0 - 0,1	48.70	51.67	40.48	53.75	51.21	49.16
	0,1 - 0,2	41.05	44.13	40.95	48.51	43.88	43.70
	0,2 - 0,3	42.89	40.93	41.07	52.53	39.15	43.31
	0 - 0,3	44.21	45.58	40.83	51.60	44.75	45.39
B	0 - 0,1	49.98	55.08	52.74	55.62	56.77	54.04
	0,1 - 0,2	46.94	48.76	51.46	55.11	45.82	49.62
	0,2 - 0,3	48.70	45.12	44.15	50.72	45.06	46.75
	0 - 0,3	48.54	49.65	49.45	53.82	49.22	50.14
C	0 - 0,1	52.40	55.26	52.05	55.64	51.99	53.47
	0,1 - 0,2	48.11	48.52	50.43	48.15	42.71	47.58
	0,2 - 0,3	47.71	44.92	47.27	46.86	45.51	46.45
	0 - 0,3	49.41	49.57	49.92	50.22	46.74	49.17
D	0 - 0,1	54.93	50.24	48.37	45.17	56.45	51.03
	0,1 - 0,2	50.18	44.08	48.53	42.54	48.83	46.83
	0,2 - 0,3	46.26	46.07	46.95	45.70	46.81	46.36
	0 - 0,3	50.46	46.79	47.95	44.47	50.70	48.08

Celková pórovitost zemědělských půd se v ornici pohybuje většinou v rozmezí 40 – 50%, v podorničí 30 – 40%. Umožňuje objektivně vyhodnotit kyprost či ulehlost půdy.

Tab. 12: Průměrné hodnoty maximální kapilární kapacity (% obj.) za roky 2011 – 2015

Varianta	Hloubka (m)	2011	2012	2013	2014	2015	Průměr
A	0 - 0,1	33.97	36.98	25.69	38.52	39.22	34.88
	0,1 - 0,2	33.00	34.84	26.11	35.84	34.17	32.79
	0,2 - 0,3	32.47	34.65	26.85	33.51	30.70	31.64
	0 - 0,3	33.15	35.49	26.22	35.96	34.70	33.10
B	0 - 0,1	36.87	42.23	29.46	37.29	39.41	37.05
	0,1 - 0,2	35.52	37.16	28.43	34.36	34.46	33.99
	0,2 - 0,3	34.96	35.40	23.04	34.56	32.76	32.14
	0 - 0,3	35.79	38.26	26.98	35.40	35.54	34.39
C	0 - 0,1	39.41	40.55	28.64	38.40	38.11	37.02
	0,1 - 0,2	33.55	35.12	24.53	35.70	31.63	32.11
	0,2 - 0,3	35.10	33.88	26.62	34.36	33.05	32.60
	0 - 0,3	36.02	36.52	26.60	36.15	34.26	33.91
D	0 - 0,1	39.34	39.34	28.80	31.80	39.72	35.80
	0,1 - 0,2	33.74	35.54	25.14	31.65	33.11	31.84
	0,2 - 0,3	33.85	36.60	25.32	33.36	33.61	32.55
	0 - 0,3	35.65	37.16	26.42	32.27	35.48	33.40

Nejnižší koeficient strukturnosti byl zjištěn u varianty A, průměrné hodnoty zde nedosahovaly hodnotu 1, což značí špatnou strukturu (tab. 13). Rozdíl mezi var. A a ostatními variantami s vyšším koeficientem strukturnosti byl statisticky průkazný. U koeficientu strukturnosti se díky ročníkům u jednotlivých variant mezi jednotlivými lety projevila značná variabilita u naměřených dat, což způsobilo, že u ostatních variant se neprojevil průkazný rozdíl. Přesto nejvyšší strukturnost byla zjištěna u variant C a D.

Tab. 13: Průměrné hodnoty půdní struktury 2011 – 2015

Varianta	Hloubka (m)	2011	2012	2013	2014	2015	Průměr
A	0,0-0,15	1.18	1.32	0.63	0.75	0.44	0.86
	0,15-0,30	1.29	1.23	0.54	0.56	0.26	0.77
	průměr	1.24	1.27	0.58	0.65	0.35	0.82
B	0,0-0,15	2.00	2.29	1.35	1.59	0.59	1.57
	0,15-0,30	2.14	1.95	1.24	0.51	0.61	1.29
	průměr	2.07	2.12	1.30	1.05	0.60	1.43
C	0,0-0,15	2.65	2.76	2.10	1.45	0.75	1.94
	0,15-0,30	1.85	2.00	1.05	0.69	0.53	1.22
	průměr	2.25	2.38	1.58	1.07	0.64	1.58
D	0,0-0,15	2.70	2.60	1.33	2.20	0.80	1.93
	0,15-0,30	2.19	2.08	0.80	1.03	0.54	1.33
	průměr	2.44	2.34	1.07	1.62	0.67	1.63

Kvalita struktury dle vodostálosti půdních agregátů na této lokalitě byla podle stanovených tabulkových hodnot nízká u všech variant (Bartlová a kol., 2015). Hodnoty kolísaly podle ročníku (tab. 14). Nejnižší vodostálost půdních agregátů (%) byla zjištěna v průměru u varianty C a nejvyšší u varianty D. Tento rozdíl byl statisticky průkazný. V posledním roce sledování došlo k výraznému zvýšení hodnot vodostálosti zvláště u variant s vyšší aplikovanou dávkou PRP SOL, což naznačuje určitý trend zlepšení půdní struktury.

Tab. 14: Průměrné hodnoty vodostálosti půdních agregátů (%) 2011 – 2015

Varianta	2011	2012	2013	2014	2015	Průměr
A	12.33	28.64	25.84	38.98	38.21	28.80
B	12.26	31.95	27.82	35.18	41.83	29.81
C	16.96	20.40	25.82	30.31	42.25	27.15
D	17.30	23.11	29.05	37.75	42.72	29.99

Chemické vlastnosti půdy

Průměrné hodnoty celkového dusíku (tab. 15) dosahovaly nejnižší obsah u var. C, nejvyšších u variant A a B. Tento rozdíl byl statisticky průkazný.

Vysoký obsah dusíku vede k poklesu fyziologického poměru C/N, což indikuje lepší zásobenost mikroorganismů uhlíkem než dusíkem, který chybí. To se na pěstovaných porostech projeví vizuálními příznaky nedostatku dusíku přístupného pro rostliny a jako nápravné opatření se volí dohnojení dusíkem. Nedostatek dusíku pro výživu rostlin způsobený především biologickými procesy lze označit jako „biologickou pozitivní zpětnou vazbu“, jejímž působením účinnost dodaného dusíku klesá (Pokorný a kol., 2012).

Tab. 15: Průměrné hodnoty Nc (%) 2011-2015

Varianta	Hloubka (m)	2011	2012	2013	2014	2015	Průměr
A	0,0-0,15	0.16	0.22	0.19	0.22	0.18	0.19
	0,15-0,30	0.16	0.18	0.18	0.22	0.18	0.18
	průměr	0.16	0.20	0.19	0.22	0.18	0.19
B	0,0-0,15	0.19	0.22	0.21	0.21	0.18	0.20
	0,15-0,30	0.16	0.19	0.20	0.20	0.16	0.18
	průměr	0.18	0.21	0.21	0.21	0.17	0.19
C	0,0-0,15	0.16	0.19	0.18	0.19	0.18	0.18
	0,15-0,30	0.12	0.19	0.16	0.21	0.17	0.17
	průměr	0.14	0.19	0.17	0.20	0.18	0.18
D	0,0-0,15	0.20	0.18	0.19	0.20	0.16	0.19
	0,15-0,30	0.18	0.18	0.18	0.20	0.16	0.18
	průměr	0.19	0.18	0.19	0.20	0.16	0.18

U hodnot oxidovatelného uhlíku (%) nebyl zjištěn významný rozdíl mezi jednotlivými variantami. Hodnoty Cox v průměru neukázaly na přímou souvislost s bilancí pomocného půdního přípravku. Nejvýraznější vliv PRP SOL byl zjištěn v roce 2014 a 2015, což naznačuje určitý pozitivní trend působení přípravku (tab. 16).

Tab. 16: Průměrné hodnoty Cox (%) 2011-2015

Varianta	Hloubka (m)	2011	2012	2013	2014	2015	Průměr
A	0,0-0,15	1.69	1.67	1.68	1.55	1.79	1.68
	0,15-0,30	1.37	1.39	1.62	1.65	1.47	1.50
	průměr	1.53	1.53	1.65	1.60	1.63	1.59
B	0,0-0,15	1.64	1.74	1.88	1.61	1.46	1.67
	0,15-0,30	1.45	1.51	1.59	1.64	1.49	1.54
	průměr	1.55	1.63	1.74	1.63	1.48	1.60
C	0,0-0,15	1.38	1.88	1.76	1.83	1.65	1.70
	0,15-0,30	0.92	1.45	1.59	1.63	1.65	1.45
	průměr	1.15	1.67	1.68	1.73	1.65	1.57
D	0,0-0,15	1.57	1.62	1.74	1.67	1.69	1.66
	0,15-0,30	1.38	1.55	1.61	1.74	1.49	1.55
	průměr	1.48	1.59	1.68	1.71	1.59	1.61

V tab. 17 jsou vyhodnoceny průměrné hodnoty kvality humusu za sledované období. Rozdíly mezi variantami nebyly průkazné a mimo roku 2014 u varianty A a D, nepřesáhly hodnotu 1, což znamená špatnou kvalitu humusu. Převažují fulvokyseliny nad huminovými kyselinami a tím klesá kvalita humusu. Ta se posuzuje hlavně podle poměru obsahu huminových kyselin k fulvokyselinám (HK / FK). Se vzrůstajícím obsahem huminových kyselin vzrůstá i kvalita humusu. Vysoce kvalitní humus má mít poměr HK / FK vyšší než 1,5. Takové půdy jsou odolnější vůči zhutnění i okyselení.

Tab. 17: Průměrné hodnoty kvality humusu 2011-2015

Varianta	Hloubka (m)	2011	2012	2013	2014	2015	Průměr
A	0,0-0,15	0.83	0.74	0.92	0.92	0.92	0.87
	0,15-0,30	0.71	0.71	0.98	1.04	0.87	0.86
	průměr	0.77	0.73	0.95	0.98	0.90	0.86
B	0,0-0,15	0.95	0.71	0.92	1.04	0.83	0.89
	0,15-0,30	0.87	0.76	0.92	0.87	0.92	0.87
	průměr	0.91	0.74	0.92	0.96	0.88	0.88
C	0,0-0,15	0.97	0.83	0.92	0.83	0.92	0.89
	0,15-0,30	0.83	0.76	0.98	0.74	0.92	0.85
	průměr	0.90	0.80	0.95	0.79	0.92	0.87
D	0,0-0,15	0.94	0.71	0.92	0.92	0.87	0.87
	0,15-0,30	0.83	0.71	0.98	1.04	0.98	0.91
	průměr	0.89	0.71	0.95	0.98	0.93	0.89

Závěr

Na základě výsledků získaných pětiletým sledováním (2011 – 2015) fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy s použitím různých dávek půdního přípravku PRP SOL můžeme konstatovat, že přípravek pozitivně působí na zlepšení půdní úrodnosti a celkové kondice půdy. Zlepšuje fyzikální vlastnosti půdy, což způsobilo pokles utužení půdy, zlepšení její struktury, následně lepší schopnosti zadržet půdní vodu a zlepšuje provzdušněnost půdy. To ukázaly i statisticky významné rozdíly. Jedním z pozitivních účinků bylo zvýšení výnosů zvláště při aplikaci PRP EBV ve 4. růstovém listu kukuřice na části pokusu. Začal se také projevovat trend zvýšení biologické aktivity mikroorganismů v půdě a zlepšení kvality humusu.

Během pětiletého řešení projektu byly hodnoceny půdní podmínky s aplikací PRP SOL s redukováním obděláváním půdy. Ukázalo se, že redukované zpracování půdy nijak neovlivnilo půdní vlastnosti, naopak s aplikovaným přípravkem PRP SOL došlo k významnému zvýšení půdní úrodnosti.

Použitá literatura

- Badalucco L., Gelsomino A., Dell'orco S., Greco S., Nannipieri P.; 1992. Biochemical characterization of soil organic compounds extracted by 0,5 M K₂SO₄ before and after chloroform fumigation. *Soil Biol. Biochem.*, 24: 569-578.
- Bartlová J., Badalíková B., Pospíšilová L., Pokorný E., Šarapatka B., 2015. Water stability of soil aggregates in different systems of tillage. *Soil and Water Research*, 10 (3): 147-154.
- Birkás M.; 2002. Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. (Ekologické a energeticky efektivní zpracování půdy). Gödöllő. Akaprint Nyomdaipari Kft., 25-97.
- Brookes, P. C.; 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils*. 1995, 19(4): 269-279. ISSN 0178-2762.
- Fallih A. B. K., Wainwright M.; 1996. Microbial and enzyme activity in soils amended with natural source of easily available carbon, *Biology and Fertility of Soils* 21: 177–183.
- García-Gil, J. C, C Plaza, P Soler-Rovira A A Polo.; 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*. 32(13): 1907-1913. ISSN 00380717.
- Gregorich E. G., Carter M. R., Angers D. A., Montreal C. M., Ellert B. H.; 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.*, 74, 367-385.

- Lhotský J.; 2000. Zhutnění půd a opatření proti němu. Studijní zpráva, UZPI Praha , 61s.
- Li X. G., Li F. M., Zed R., Zhan Z. Y.; 2007. Soil physical properties and their relations to organic carbon pools as affected by land use in an alpine pastureland. *Geoderma*, 139, 98-105.
- Pokorný E., a kol.; 2012. Charakteristika antropogenní degradace černozemí luvických v oblasti Hané. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012. 91s. ISBN 978- 80-7375-682-6.
- Sotáková S.; 1982. Organická hmota a úrodnost' pody, *Príroda*, Bratislava, 234s.
- Stefanovits P.; 1975. Talajpusztulás, talajszennyezés (Znečištění pody). In: *A környezetvédelem biológiai alapjai. (Biologické základy životní prostředí)* (szerk. Kovács K.) Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 167-196.
- Stefanovits P.; 1992. Talajtan. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Szűcs L., Zsembeli J.; 2014. Improvement of soil productivity by application of PRP-SOL in reduced tillage. *Úroda* 12/2014, vědecká příloha, roč. LXII, 119-126. ISSN 0139-6013
- Taylor H. M.: 1987. Soil structure and plant performance. Trans. XIII. Congr. Hamburg, Vol.V. 301-309. Cit. in Várallyay. 1996.
- Tejada, M., M. T. Hernandez A C. Garcia.; 2006. Application of Two Organic Amendments on Soil Restoration: Effects on the Soil Biological Properties. *Journal of Environment Quality*. 35(4): 1010-1015. ISSN 1537-2537

Poděkování

Zvláštní poděkování patří Ing. Bronislavu Formánkovi, jednateři Agrocentra Hrušovany nad Jevišovkou za perfektní spolupráci po celou dobu realizace projektu, zejména za zabezpečení všech polních prací i aplikací sledovaných přípravků.

Kontakt:

Ing. František Václavík

PRP TECHNOLOGIES

PRP GmbH

Am Staden 13

D-66 121 Saarbrücken

Office: 763 24 Vlachovice 155

Mobil: +420 602 550 748

E-mail: fvaclavik@prp-technologies.cz

Vplyv vodnej bilancie na abundanciu segetálnej vegetácie

Influence of water balance on segetal vegetation abundance

*Miriám Váľková¹, Jaroslav Škvarenina², Jana Škvareninová³, Katarína Korísteková⁴,
Lenka Slobodníková⁵, Helena Hlavatá⁶*

^{1, 2, 4, 5}*Katedra prírodného prostredia, Lesnícka fakulta TU vo Zvolene, Masarykova 24, 960*

53 Zvolen, Slovenská republika

²*Katedra aplikovanej ekológie, Fakulta ekológie a environmentalistiky, TU vo Zvolene,*

Masarykova 24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika

⁶*Slovenský hydrometeorologický ústav, Regionálne pracovisko SMHÚ Košice, Borická cesta*

103, 011 13 Košice

Abstrakt

Poľný experiment sme uskutočňovali na 6 poľnohospodárskych parcelách Poľnohospodárskeho družstva (PD) Očová. V práci bola použitá štandardná metodika stanovenia potenciálnej zaburinenosti, klasifikácie semien burinných druhov podľa metodiky Líška (2002), stanovenie druhového spektra burín a spektrum dominantných burinných druhov v kultúrnych porastoch a vyhodnotenie klimatických charakteristík - teploty vzduchu a zrážok. Podkladový materiál a údaje boli prebrané z meteorologickej stanice SMHÚ Sliach. Sledovaným obdobím bolo vegetačné obdobie apríl – august jednotlivých rokov 2006 – 2008. Vplyv stanovišťa a klimatické faktory sme vyhodnotili ako signifikantný faktor na priemernú početnosť burinných druhov na výskumných plochách v rokoch 2006 a 2008.

Kľúčové slová: buriny, klimatické faktory, diverzita, potenciálna zaburinenosť

Abstract

Field experiment was conducted on six research plots. Experimental areas were located largely in the cadastral territory AC Očová and adjacent communities. The standard methodology was applied for determining the potential weed infestation, seeds of weed species classification methodology according to Like (2002), determining the weed species spectrum, richness and range of ecological dominant weed species and climatic factors - temperature, precipitation in the cultural stands. Measured values and data were taken from

meteorological station Slain. The evaluated period has been three growing seasons from April to August 2006 – 2008. Habitat and climatic characteristics were identified as significant factors in the average abundance and richness of weed species on research plots in 2006 and 2008.

Keywords: weeds, climatic factors, diversity, potential weed infestation

Úvod

Človek svojou činnosťou pretvára krajinu a prispôsobuje ju svojim potrebám a požiadavkám. Za posledné desaťročia vzniklo mnoho umelých ekosystémov, ktoré sú priamo závislé na ľudskej činnosti a na energetických vstupoch zvonku.

Agroekosystémy a prirodzené ekosystémy majú spoločné mnohé znaky, avšak v niekoľkých aspektoch sa líšia. Pre obidva typy platia rovnaké biologické zákonitosti a vzťahy charakteristické pre ekologické sústavy. Základné zložky prirodzeného ekosystému a agroekosystému sú rovnaké vonkajšie prostredie a jeho vplyvy a živé organizmy. Jednotlivé zložky sú navzájom prepojené potravnými reťazcami, aj keď v mnohých prípadoch sú agroekosystémy od seba značne vzdialené.

Funkčnosť jednotlivých typov agroekosystémov závisí od mnohých faktorov, pričom významnú úlohu plnia najmä klimatické faktory (zrážková činnosť, teplota), vodný režim, ktoré výrazne prispievajú k diverzite segetálnej vegetácie v rámci agroekosystému Kováč, Krajčovič a kol. (2000).

Voda na Zemi je v neustálom pohybe. Tento pohyb nazývame hydrologický cyklus. Hydrologický cyklus zabezpečuje transfer vody z oceánov na zemský povrch a odtiaľ späť do oceánu a opäť do atmosféry. Hlavnými komponentmi hydrologického cyklu sú zrážky, infiltrácia odtok, evaporácia a transpirácia. Ľudské aktivity môžu narušiť a narúšajú jednotlivé komponenty hydrologického cyklu Mind'áš, Škvarenina (2010). Jedným z najväznejších problémov súčasnosti je globálna klimatická zmena, ktorej vplyv na lesné ekosystémy je dnes už nesporný Mind'áš, Páleník, Nejedlík (2011). Následne sme svedkami toho ako klimatické zmeny, majú neblahý dopad vegetáciu, hlavne v podobe stresových javov, rastliny a dreviny. Tieto strácajú rezistenciu voči škodlivým činiteľom, či už voči abiotickým, alebo biotické škodlivým činiteľom. Následne dochádza k úbytku početnosti niektorých druhov a ohrozeniu stability obhospodarovaných porastov na Slovensku. Zvyšovanie teploty a znižovanie

mesačných úhrnov zrážok, alebo ich predpokladané nerovnomerné rozdelenie výrazne vplýva na druhovú diverzitu burinných druhov v poľnohospodárskych porastoch kultúrnych plodín.

V našom príspevku sme sa zamerali na hodnotenie vplyvu vodnej bilancie na abundanciu segetálnej vegetácie a zmenám v druhovom zastúpení burinných druhov na jednotlivých stanovištiach.

Materiál a metodika

Riešené územie spadá do katastrov obcí Očová, Dúbravy, Detva, Vígl'as a Zolná. Hranica katastrálneho územia Očovej. Katastrálne územie Očovej má rozlohu 8856 ha. Zasahuje od nadmorskej výšky cca 330 m až ku k. 1333, čo predstavuje výškový rozdiel 1033 m. Stred obce má výšku 400 m n.m. Alberty a kol. (1999).

Poľný experiment sme uskutočňovali na 6 výskumných plochách. Sledovaným obdobím bolo vegetačné obdobie ohraničené mesiacmi apríl – august jednotlivých rokov 2006 – 2008. Z údajov získaných z odobratých vzoriek sme podľa metodiky Liška a kol. (2003) určili počet semien všetkých druhov burín v jednotlivých vrstvách ornice a stanovili ich druhové spektrum, dominantné burinné druhy a početnosť biologických skupín burín.

Teplota vzduchu patrí k hlavným klimatickým činiteľom, ktorý spolu s atmosférickými zrážkami určuje klimatický ráz jednotlivých oblastí. Atmosférické zrážky patria spolu s teplotou vzduchu k najdôležitejším meteorologickým prvkom. Patria aj k najpremenlivejším meteorologickým prvkom tak z priestorového ako aj časového hľadiska. Atmosférické zrážky najviac ovplyvňuje geografická poloha územia, nadmorská výška, náveternosť, resp. záveternosť územia k prevládajúcemu prúdeniu, prinášajúcemu vlhké vzduchové hmoty a frontálne systémy.

Meteorologické údaje sme získali zo staničnej siete Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ), konkrétne zo stanice Sliach Letisko. Výskyt sucha v jednotlivých mesiacoch a vo vegetačnom období sme spracovali podľa dvoch ukazovateľov:

- a. **Thornthwaitov index sucha** (Thornthwaite moisture index) podľa Thornthwaite a Mather (1955) nasledovne :

$$TIS = 100((Z/PE)-1)$$

kde: TIS je Thornthwaitov index sucha, Z sú zrážky v (mm), PE je potenciálna evapotranspirácia v (mm)

b. Klimatická vodná bilancia

$$KVB = Z - PE$$

kde: KVB je klimatická vodná bilancia v (mm), Z sú zrážky, PE je potenciálna evapotranspirácia

pričom PE sme vypočítali podľa Ivanova Novák (1995):

$$PE = 0,0018 (25+T)^2 \cdot (100-RV)$$

kde: T je teplota vzduchu v (°C) a RV je relatívna vlhkosť vzduchu v (%)

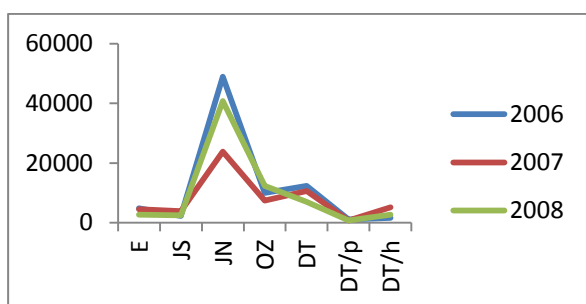
Významnosť rozdielov medzi jednotlivými variantmi sme štatisticky vyhodnotili.

Výsledky a diskusia

Na skúmaných pokusných plochách sme zaznamenali v roku 2006 30 burinných druhov, v roku 2007 32 a 2008 30 druhov. Najpočetnejšími druhmi boli: *Persicaria maculata*, *Sinapis arvensis*, *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Tripleurospermum inodorum*, *Rumex acetosa*, *Fallopia convolvulus*. Zistili sme, že celkové zastúpenie početnosti jednotlivých burinných druhov je pomerne variabilné v závislosti od množstva spadnutých zrážok v danom vegetačnom období a priemerných teplôt územia.. Na zatriedenie burinných druhov podľa hospodárskeho významu, na(+++) veľmi nebezpečné buriny, (++) menej nebezpečné buriny, (+) málo významné druhy a (*) karanténne druhy, sme použili klasifikáciu podľa Hrona, Vodáka (1959), ktorá zahŕňa okrem ekonomickej škodlivosti aj biologické vlastností burín. Podľa našich pozorovaní sme zistili, že agrofytocenózy PD Očová zaburiňujú predovšetkým buriny s vysokým potenciálom škodlivosti tj. veľmi nebezpečné, nebezpečné burinné druhy a karanténne druhy burín (*), ktoré s mimoriadnou konkurenčnou schopnosťou pri

zaburiňovaní nových areálov znižujú kvalitu a úrodové výnosy kultúrnych plodín. Medzi karanténne buriny vyskytujúce sa na skúmaných plochách patrí *Datura stramonium*, *Iva xantifolia*.

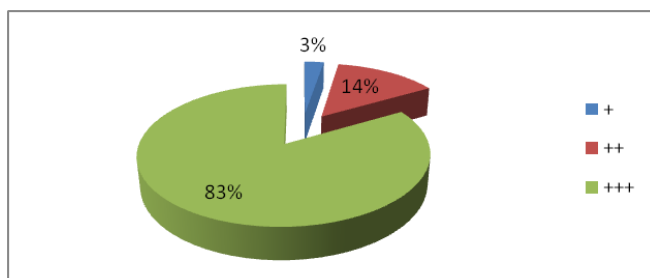
Na základe biologických vlastností burín, sme zistili, že na výskumných plochách sa vyskytovali, efemérne (E), jarné skoré buriny (JS), jarné neskoré buriny (JN), ozimné (OZ), dvojročné a trváce (DT), trváce plytko zakoreňujúce (DT/p), trváce hlboko zakoreňujúce (DT/h) burinné druhy (Obr.1).



Obr 1 Početné zastúpenie semien biologických skupín burinných druhov na skúmaných plochách v rokoch 2006-2008

Pre zvyšovanie kvality pestovania kultúrnych a elimináciu burinných druhov je významným faktorom ich potenciálna hospodárska škodlivosť. Pestované kultúrne plodiny vo významnej miere ovplyvňovali druhové zloženie a početnosť jednotlivých burinných druhov.

Pri vyhodnotení celkovej potenciálnej zaburinenosti výskumných plôch počas celej doby trvania experimentu sme zaznamenali posun v spektre burinných spoločenstiev v prospech nebezpečných a veľmi nebezpečných burinných druhov Liška a kol. (2002) vo vybraných kultúrnych plodinách (Obr 2).



Obr 2 Podiel semien jednotlivých burinných druhov podľa hospodárskej škodlivosti na skúmaných plochách v rokoch 2006-2008

V našich podmienkach predovšetkým sa jednalo o druhy *Persicaria maculata* *Chenopodium album*, *Rumex acetosa* a *Echinochloa crus-galli*.

Pri hodnotení vplyvu klimatických faktorov na abundanciu burinných druhov v agrofytocénózach sme zistili, že najpočetnejšou skupinou boli druhy adaptabilné na zmenené klimatické podmienky jednotlivých stanovišť.

Zistili sme, že celkové zastúpenie početnosti jednotlivých burinných druhov je pomerne variabilné v závislosti od množstva spadnutých zrážok v danom vegetačnom období a priemerných teplôt územia.

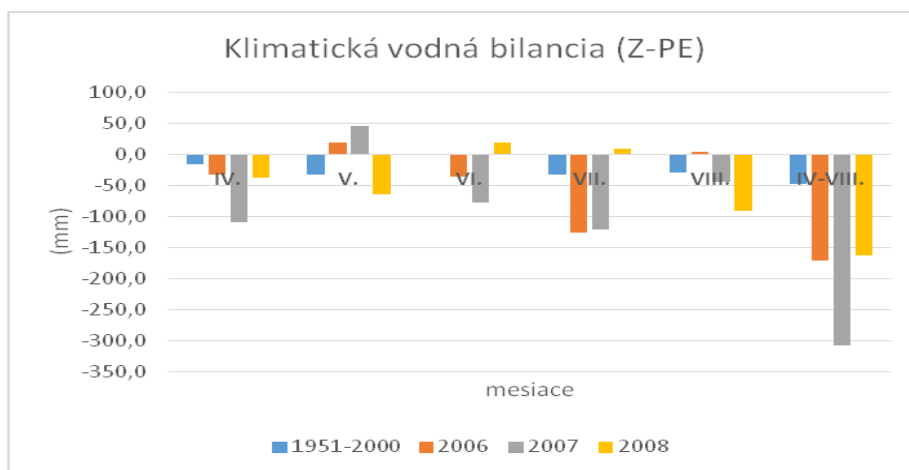
Skúmaná lokalita sa vyznačuje priemernou ročnou teplotou 8,71°C. Najnižšia priemerná mesačná teplota bola nameraná v januári (-3,2 °C) a najvyššia v júli (19,5 °C). Vegetačná sezóna v rokoch 2006-2008 sa vyznačovala mierne vyššími priemernými mesačnými teplotami vzduchu v porovnaní s dlhodobým priemerom., najmä v letných mesiacoch júl, august.

Úhrn zrážok za sledované vegetačné obdobie (apríl - august bol 338,9mm v roku 2006, 272,8mm v roku 2007, 353,5mm v roku 2008.

Klimatická vodná bilancia v období mesiacov apríl – august v rokoch 2006 - 2008

Najvyššiu hodnotu klimatickej vodnej bilancie sme zaznamenali v mesiaci máj 2007, kde množstvo spadnutých zrážok prevažovalo nad potenciálnou evapotranspiráciou o 44,9 mm v sledovanom vegetačnom období. Najnižšia hodnota klimatickej vodnej bilancie bola zaznamenaná v júli 2007 (-125,5 mm).

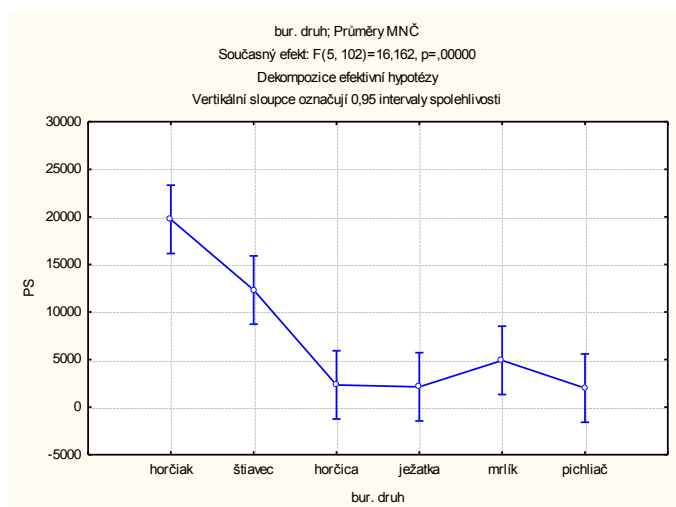
Zo získaných údajom sme vyhodnotili rok 2007 ako najsuchší, nielen v rámci sledovaného časového úseku, ale aj v porovnaní s dlhodobými pozorovaniami (1951-2000).



Obr 3 Porovnanie priemerných mesačných hodnôt klimatickej vodnej bilancie v rokoch 2006 – 2008 s dlhodobým priemerom

Podobný trend sme pozorovali aj pri stanovení Thorntwaitovho indexu sucha (TIS).

Vyhodnotené klimatické ukazovatele majú vplyv na abundanciu (resp. druhové rozloženie) burinných druhov na sledovaných výskumných plochách.



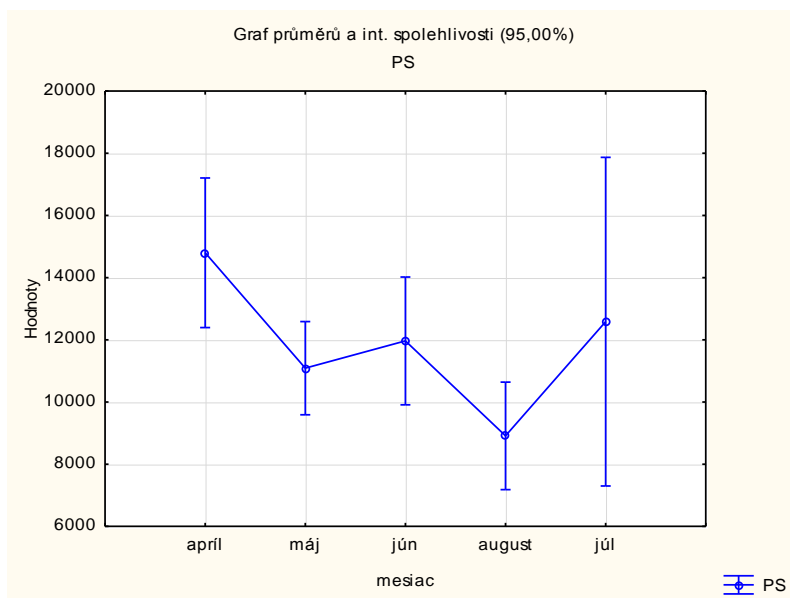
Obr 4 Abundancia významných burinných druhov na výskumných plochách v rokoch 2006 – 2008

Významnými druhmi zaburiňujúcimi poľné plodiny (Obr 4) boli *Cirsium arvense* (L.) SCOP., *Persicaria maculata* (Rafin.) Fourr., *Sinapis arvensis* L., *Echinochloa crus-galli* (L.) P.B., *Chenopodium album* L., *Rumex acetosa* L., *Galium aparine* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) MED., *Fallopia convolvulus* (L.) Á. LÖVE. čo korešponduje s literatúrou Čerňuško (2003), Kočík (2002).

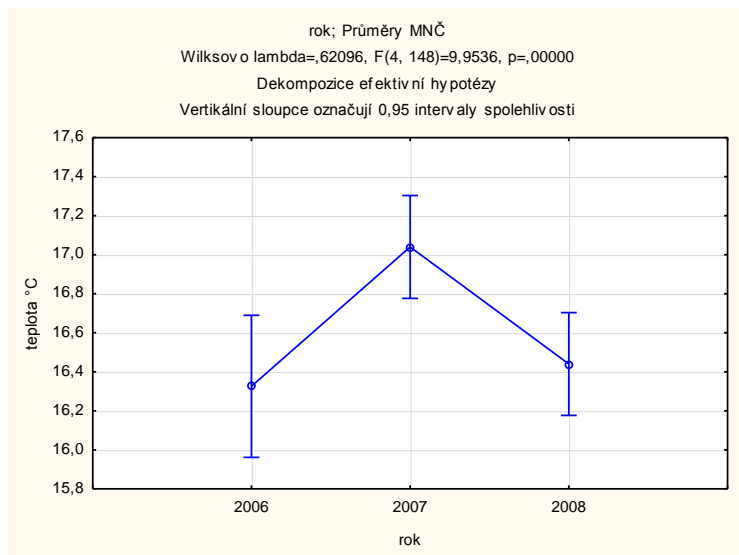
Tab 1 Dominancia abundancie (%) významných burinných druhov zastúpených na výskumných plochách v rokoch 2006 až 2008

biol. sk	Hosp. význam	Slovenský názov	EWRS	Početnosť (%)		
				2006	2007	2008
JN	+++	Horčiak broskyňolistý	PERLA	42,04	25,4	42,13
JS	+++	Horčica roľná	SINAR	3,05	7,85	3,84
JN	+++	Ježatka kuria	ECGCG	3,4	5,18	4,09
JN	+++	Mrlík biely	CHEAL	10,08	0,92	9,79
DT/h	+++	Pichliač roľný	CIRAR	0,42	9,52	3,47
DT/h	+++	Štiavec lúčny	RUMAC	14,44	20,22	9,05

Najvyššie zaburinenie vykazovali jarné **neskoré burinné druhy** (59%) a **ozimné burinné druhy** (18%), **dvojročné a trváce druhy** (15%) a trváce hlboko zakoreňujúce druhy v porastoch Pšenice ozimnej a Kukurice siatej čo koreluje so získanými meteorologickými údajmi o priemernej teplote a počte zrážok v sledovaných vegetačných obdobiach.

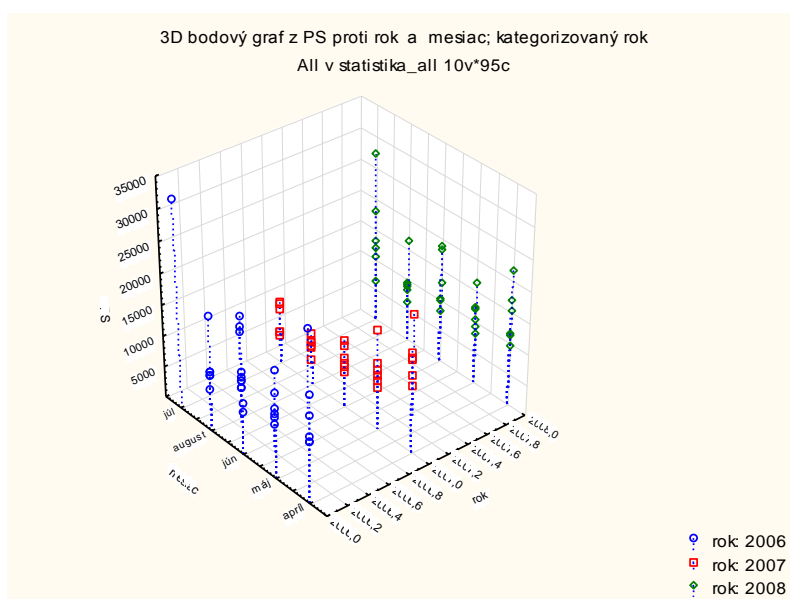


Obr 5 Priemerná početnosť semien burinných druhov v jednotlivých mesiacoch vegetačného obdobia v rokoch 2006-2008



Obr 6 Významnosť rozdielu abundancie semien burinných druhov v jednotlivých rokoch trvania experimentu

Priemerná početnosť semien burinných druhov bola najnižšia v roku 2007 čo koreluje s nameranými výsledkami teploty a množstvom spadnutých zrážok v sledovanom období. Rok 2007 bol na základe meraní vyhodnotený ako najsuchší.



Obr 7 Početné zastúpenie semien burinných druhov v rokoch 2006 – 2008 – súhrn

Záver

V práci sme sa zamerali na výskum a hodnotenie segetálnej vegetácie na modelových plochách katastrálneho územia PD Očová v súvislosti so súčasným trendom racionalizácie poľnohospodárskej výroby a managementu burín v kontexte globálnych klimatických zmien. Vplyv stanovišťa a klimatické faktory sme vyhodnotili ako signifikantný faktor na priemernú početnosť burinných druhov na výskumných plochách v rokoch 2006 a 2008.

Počet semien jednotlivých burinných druhov v ornici je veľmi premenlivý a varíruje v priestore a čase. Na veľkú zásobu semien v pôde poukazujú naše nielen výsledky, ale aj poznatky iných autorov o vysokej variabilite potenciálnej zaburinenosti pôdy semenami burín Lacko-Bartošová a kol. (2000) 1751 – 22418 ks/m², Albrecht a Bachthaler (1990) zistili priemerné zaburinenie semenami burinných druhov od 12800 do 19720 ks/m².

Na zvýšený počet burinných druhov na obhospodarovaných plochách mali vplyv nielen klimatické faktory, ale aj kultúrne plodiny (Jačmeň jarný, Repka olejná), v ktorých sme zaznamenali zvýšený počet burinných druhov viazaných na danú kultúrnu plodinu a stanovište. Druhové spektrum sa vyznačovalo vysokou rezistenciou voči vonkajším faktorom Jakubec Kočík, Chovanová (2007).

- v priebehu hodnoteného obdobia 2006 až 2008 sme vyhodnotili počet burinných druhov na výskumných plochách v intervale 13- 23 druhov a celkový počet burinných druhov v počte 30 v rokoch 2006 a 2008, 32 v roku 2007.
- najpočetnejšou biologickou skupinou burín počas celej doby trvania experimentu boli jarné neskoré druhy 59%, ozimné burinné druhy 18% a dvojročné a trváce 18%. Najvýznamnejšie zaburiňujúcim druhom bol *Persicaria maculata* a *Rumex acetosa*
- z hľadiska hospodárskej škodlivosti boli výskumné plochy zaburinené veľmi nebezpečnými burinnými druhmi 83%, čo predpokladá venovanie zvýšenej pozornosti ich regulácie a efektivity managementu burín
- pri hodnotení celkovej početnosti semien burín v oboch schémach hospodárenia sme zaznamenali rastúci trend potenciálnej zaburinenosti skúmaných plôch v celom období trvania experimentu
- ročník bol štatisticky preukazným faktorom, rok 2006 a 2008 klimaticky vyhovoval nielen rastu a vývinu kultúrnych plodín, ale aj početnému zastúpeniu semien burinných druhov v pôde, najmä *Persicaria maculata*, *Rumex acetosa* a *Capsela bursa-pastoris*, v roku 2007 bolo celkové zaburinenie výskumných plôch nižšie

- najpočetnejším druhom bol *Persicaria maculata*, odporúčame regulovať ohniská jeho výskytu aplikáciou vhodných herbicídov.

Kvalita a efektivita managementu burín segetálnej vegetácie v kontexte klimatických zmien je komplexný proces založený na súčinnosti mnohých faktorov a vedných disciplín, pri zachovaní druhovej diverzity burinných spoločenstiev.

Literatúra

- ALBERTY, J. a kol. 1999. *Očová história a súčasnosť*. Žilina : Knižné centrum, 1999. 152 s. ISBN 80- 8064-026-2.
- ALBRECCH, H. – BACHTHALER, G. 1990. Unkreutsamengehelte und Bodeneigenschaften von Ackerflächen in Bayern. In *Weed Research*, roč. 30, 1990, s. 101 – 108.
- ČERNUŠKO, K. 2003. Vývoj výskytu burinných druhov v hustosiatych obilninách v SR v rokoch 1997-2000. In *Ochrana intenzívne pestovaných obilnín proti škodlivým činiteľom. Ziskové pestovanie repky olejky*. DAS Praha, 2003. s. 6-9.
- HRON, F. - VODÁK, A. 1959. *Polní plevelé a boj proti nim*. 1. vyd. Praha : SZN – Praha, 1959. 379 s.
- JAKUBEC, B. – KOČÍK, K. – CHOVANOVÁ, J. 2007. Vplyv obhospodarovania agroekosystémov na potenciálnu zaburinenosť agrofytocenóz okolia obce Očová. In *Vplyv foriem obhospodarovania poľnohospodárskej krajiny na základné zložky agroekosystémov vo vzťahu k optimalizácii využívania krajiny* . Poniky : Vydavateľstvo JANKA ČIEMÁROVÁ – PARTNER, 2007, IS BN 978-80-89183-35-7, s. 19 30.
- KOČÍK, K. 2002. Krajinnno-ekologická analýza stavu poľnohospodárskej sústavy PD Očová - vnútorná štruktúra. In: *Acta Facultatis Ecologiae*. ISSN 1336-300X, 2002. roč. 9, s. 47-53.
- KOVÁČ, K. - KRAJČOVIČ, V. a kol., 2000. *Agroenvironmentálny program pre Slovensko*. Nitra : SPU Nitra, 2000. 121 s. ISBN 80-7137-667-1.
- LACKO – BARTOŠOVÁ, M. – MINÁR, M: - VRANOVSKÁ, Z. – ŠTRASER, D. 2000. Vývoj potenciálnej zaburinenosti v ekologickom a integrovanom systéme hospodárenia. In *Rastlinná výroba*, roč. 46, 2000, s. 319 – 324.
- LÍŠKA, E., a kol. 2003. *Buriny :Biológia burín a ich regulácia* . Nitra : ÚVTIP, 2003. 112 s. ISBN 80-89088-24-4.

- MINDÁŠ J., PÁLENÍK V., NEJEDLÍK P., 2011. *Dôsledky klimatickej zmeny a možné adaptačné opatrenia v jednotlivých sektoroch*.
- MINDÁŠ J., ŠKVARENINA J., 2010. *Lesy Slovenska a voda* Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, I. vydanie 129 s. ISBN 978 – 80 – 228 – 2216 – 9.
- NOVÁK, V., 1995: Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania. VEDA. Bratislava, 1995, 260 s.
- ŠKVARENINA, J. – SZOLGAY, J. – ŠIŠKA, B. – LAPIN, M. 2010. *Klimatická zmena a krajina: dopady klimatickej zmeny a zhodnotenie zraniteľnosti územia na Slovensku v sektoroch "vodné hospodárstvo, lesy a poľnohospodárstvo"*. Štúdia Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti SAV XXV. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010. 114 s.
- THORNTON, C. W. – MATHER, J. R.: 1955, 'The Water Balance', Publications in Climatology 8, 104 s.
- STATSOFT, Inc. (2004): STATISTICA Cz [Softwarový systém na analýzu dát], verze 12. www.StatSoft.Cz
- TÓTH, Š. 2006. Výskyt burín na Slovensku v kontexte klimatických zmien. In: *Fenologická odezva v proměnlivom podnebí*. ISBN 80-86690-35-0, 2006. s. 94 - 101.

Pod'akovanie

Práca bola podporená prostriedkami z projektu Ministerstva Školstva Vedy Výskumu a Športu Slovenskej republiky VEGA 1/0423/10

Kontakt:

Mgr. Miriam Válková, PhD.
Katedra prírodného prostredia,
Lesnícka fakulta TU vo Zvolene,
Masarykova 24,
960 53 Zvolen, Slovenská republika
email: valkova@tuzvo.sk
Tel: +421 45 5206 205

Sucho v souvislostech

Drought in relation

Jan Vopravil, Tomáš Khel, Marek Batysta, Petra Huislová, Michaela Hrabalíková,

Martin Petera, Jan Srbek, Štěpánka Matoušková

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Abstrakt

Půda je jednou ze základních složek životního prostředí a plní zde širokou škálu funkcí. Je základním výrobním prostředkem v zemědělství i lesnictví. Půda je ohrožena řadou degradačních faktorů, které jsou někdy přirozené, často však výrazně urychlené činností člověka. Degradace půdy vede k omezení či ztrátě schopnosti půdy plnit své produkční i ekologické funkce. Současné klimatické změny, které přinášejí zvýšení průměrných teplot a nerovnoměrné rozložení srážek, vedou v kombinaci s degradací půdy ke ztrátám v zemědělské výrobě v důsledku sucha.

Klíčová slova: půda, degradace, retence vody, ekonomický dopad sucha

Abstract

Soil that has had a wide range of functions, is an important component of the environment with. Soil is the fundamental means of production in agriculture and forestry. However, it is threatened by a variety of either natural or human accelerated degradation processes. Mostly processes caused by human activities leads to reduction or destruction of the capacity of soil to perform its basic productive and non-productive (ecological) functions. Climate change, bringing increasing of temperatures and uneven distribution of rainfall, all this combined with degraded soils leads to losses in agricultural production due to drought.

Keywords: soil, degradation, water retention, economic impact of drought

Úvod

Půda plní v krajině kromě produkční funkce také řadu funkcí mimoprodukčních, z nichž většina se vztahuje ke koloběhu vody v krajině. Jedná se o infiltraci vody do půdy, kterou se doplňují zásoby podzemních vod. Díky infiltraci se zároveň snižuje objem povrchového odtoku, který způsobuje erozi půdy, urychluje odtok vody z krajiny a tím vznik povodňových

stavů řek. Půda také obohacuje vodu o minerální látky, upravuje její pH a zbavuje vodu kontaminujících látek. Velmi významnou funkcí půdy je akumulace a zadržování vody. Díky systému půdních pórů je půda schopna poutat velké množství vody, např. 1 ha hluboké černozemě může akumulovat až 3 500 m³ vody. Díky těmto schopnostem půda významně přispívá k udržení vody v krajině a předcházení vzniku povodní.

Schopnost půdy infiltrovat a zadržovat vodu závisí na několika faktorech. Jsou to např.:

- zrnitostní složení půdního profilu,
- strukturní stav půdy, případně utužení půdy,
- hloubka půdy (k podložní hornině, k hladině podzemní vody),
- mineralogické složení jílové frakce (bobtnání a smršťování půdy),
- charakter pórů, jejich velikost a rozmístění,
- obsah humusu a kvalita humusu,
- vlastnosti geologického půdotvorného substrátu,
- půdní pokryv (travní porost, půda nakypřená x nenakypřená apod.).

Některé z výše uvedených vlastností půd jsou dané jejich vývojem a prakticky je nelze ovlivnit. Další vlastnosti půdy jsou přímo závislé na způsobu hospodaření na půdě a na kvalitě péče o ní. Jednotlivé pracovní operace na půdě mají zásadní vliv na infiltrační a retenční schopnosti půdy potažmo i celé krajiny. Zejména se jedná o zpracování půdy (orba, podrývání, minimalizační technologie apod.). Volba optimálního způsobu zpracování půdy závisí vždy na konkrétních stanovištních podmínkách (svažitost, zrnitost půdy, hloubka hladiny podzemní vody) a klimatických faktorech daného stanoviště. Nevhodným hospodařením na půdě dochází k její degradaci. Degradací půdy se zhoršuje či ztrácí schopnost půdy plnit své funkce, což v tomto případě znamená omezení infiltrační a retenční schopnosti půdy. To v kombinaci s postupnou klimatickou změnou, která se vyznačuje výskytem období sucha střídaných přivalovými dešti, vede ke stále častějšímu výskytu povodňových stavů.

Hlavní degradační faktory půdy ovlivňující odtok vody z krajiny

Eroze půdy

Erozi půdy dochází ve svrchních částech svahů ke snižování mocnosti (až ztrátě) humusových horizontů půdy, které mají pro infiltraci a retenci vody největší význam. Kromě snižování hloubky půdy (a tedy akumulačního prostoru pro vodu) dochází i ke ztrátě půdní organické

hmoty, která je uložena v horních partiích půdního profilu a má na infiltraci značný pozitivní vliv. V údolních polohách dochází naopak k zanášení vodních toků a nádrží sedimenty, čímž se snižují jejich akumulční prostory pro zachycení přívalových dešťů.

Utužení půdy

Nadměrné utužování půd je důsledkem intenzivního hospodaření. Jde o stlačování půdy opakovanými přejezdy těžkou zemědělskou technikou zejména za nevhodné (vysoké) vlhkosti půdy. Utužením dochází k rozpadu půdní struktury, mající za následek změny pórovitosti, objemové hmotnosti, schopnosti infiltrace a propustnosti, snížení retenční kapacity. Zejména změna zastoupení a velikosti půdních pórů má negativní vliv na pohyb vody půdou.

Mezi opatření proti utužení půdy patří např. vhodné konstrukční řešení strojů, vstup na pozemky za vhodné vlhkosti půdy, omezení pojezdů po poli, dostatečné organické hnojení, vápnění půdy, zařazení hlubokokořenících plodin do osevního postupu a podrývání již utužených půd.

Dehumifikace

Obsah humusu v půdě výrazně klesá intenzivním zemědělským obhospodařováním bez dodávání organické hmoty, protože zvýšené provzdušnění půdy tlumí humifikaci organických zbytků a zvyšuje jejich rozklad. Nedostatek organické hmoty v půdě má mimo jiné negativní vliv na půdní strukturu a schopnost infiltrace a akumulace srážkové vody. Snižuje se i schopnost zachycení kontaminujících látek z vody.

Řešení spočívá opět v omezení příčin. Jde o zachování trvalých travních porostů, citlivé zásahy do vodního režimu půd, dostatečné organické hnojení orných půd. Vzhledem k výraznému nedostatku statkových hnojiv je potřeba hledat nové zdroje organické hmoty, např. komposty, čistírenské kaly, sedimenty apod.

Velmi účinným nástrojem pro zlepšení hospodaření půdy s vodou je pěstování meziplodin, přičemž je potřeba volit meziplodiny, které půdu nevysušují (LOS, Landsberská směska apod.). Luskoviny mají nižší nároky na vláhu a tedy vláhu neodebírají cílové plodině. Ozimé směsky mají výhodu ve využití podzimní vláhy. Naopak meziplodinou, která prokazatelně vysušuje půdu, je hořčice bílá. Meziplodiny zvyšují pórovitost půdy, zároveň jsou zdrojem organické hmoty a působí proti plevelům i proti erozi půdy.

Zábor půdy

Při pokrytí půdy nepropustnými materiály dochází k totální a trvalé ztrátě většiny jejích funkcí. Srážková voda je z takové plochy odváděna přímo do vodotečí, čímž se opět urychluje odtok vody z krajiny. Denně je v ČR zastavováno průměrně cca 9 ha půdy. Zastavovány jsou přitom často nejkvalitnější půdy v okolí velkých měst, která v minulosti vznikala obvykle v úrodných oblastech.

Úpravy vodního režimu

Zásoba vody v půdě je kromě klimatických podmínek a vlastností půdy také významně ovlivňována zásahy člověka do vodního režimu půd. Česká republika je typická značnou rozlohou odvodněných půd. Odvodňovací soustavy byly vytvořeny i v místech, kde nebyly nezbytné. V současných podmínkách oteplovajícího se klimatu a nerovnoměrného rozložení srážek v těchto místech dochází k rychlému odtoku vody a vysychání půdy.

Jedním z možných řešení nedostatku srážek je závlaha zemědělských plodin. Vzhledem k vysokým nákladům na čerpání vody a údržbu závlahových soustav jsou závlahy využívány prakticky pouze u trvalých kultur (ovocné sady, vinice) případně při pěstování zeleniny. Celkově jsou zavlažována necelá 4 % rozlohy zemědělské půdy.

Materiál a metody

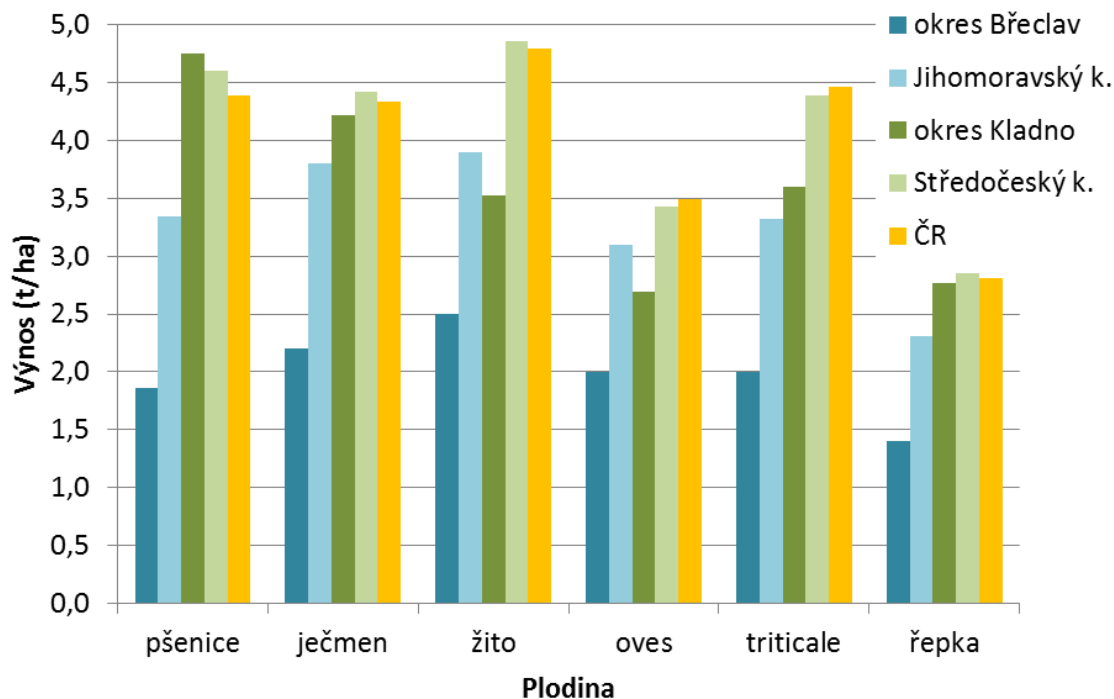
Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy ve spolupráci s MZe, ČHMÚ, Zemědělskými agenturami Kladno a Břeclav a zemědělskými subjekty zpracovával projekt „Možnosti řešení degradace půdy a její ovlivnění změnou klimatu na příkladu aridních oblastí“. Mimo jiné zde byly hodnoceny výnosy zemědělských plodin v suchem často postihovaných oblastech (Kladensko a Břeclavsko). Srovnávány byly výnosy v běžných letech s roky suchými. Sledovány byly i rozdíly ve výnosech v různých částech ČR v suchém roce 2012. Na základě cen zemědělských plodin podle plodinové burzy, byly vypočítány i konkrétní finanční ztráty způsobené nižšími výnosy z důvodu výskytu sucha.

Na základě komunikace se zástupci zemědělských společností byly definovány hlavní problémy v suchých oblastech a následně navrženy možnosti jejich řešení.

Výsledky

Obrázek 1 ukazuje ztráty ve výnosech způsobené suchem v roce 2012. Zejména u okresu Břeclav jsou výnosy přibližně poloviční ve srovnání s průměrem ČR, přestože se v této

oblasti vyskytují velmi kvalitní půdy. Z výsledků je patrné také regionální působení sucha. Přestože okres Kladno patří v rámci ČR také mezi aridní oblasti, v tomto konkrétním roce byl suchem zasažen méně než okres Břeclav a výnosy některých zemědělských plodin zde lehce přesáhly celorepublikový průměr.



Obr. 1 Výnosy zemědělských plodin (t/ha) pro okresy Břeclav a Kladno, kraje Jihomoravský a Středočeský a celou ČR v roce 2012

Pro získání představy o konkrétních ekonomických ztrátách způsobených suchem (viz tab. 1) byly k výnosům zemědělských plodin přiřazeny konkrétní výkupní ceny podle plodinové burzy Brno. Při srovnání suchého roku 2012 s běžným rokem 2011 jsou vidět značné finanční ztráty v obou sledovaných oblastech (střední Čechy i jižní Morava). Např. při srovnání produkce obilovin v okrese Břeclav v suchém roce 2012 s průměrnými celorepublikovými výnosy v běžném roce 2011 se jedná o ztrátu 23 350 Kč/ha.

Tab. 1 Ekonomická újma (Kč/ha) okresů Břeclav (BV) a Kladno (KL) v suchém roce 2012 ve srovnání s Jihomoravským a Středočeským krajem a s celou ČR v porovnání se srážkově průměrným rokem 2011

Plodina	Jednotka	BV/JM kraj 2012/2011	BV/ČR 2012/2011	KL/Stř. kraj 2012/2011	KL/ČR 2012/2011
pšenice ozimá	Kč/ha	21 560	21 560	6 160	5 390
pšenice jarní	Kč/ha	13 915	13 255	3 630	3 245
ječmen ozimý	Kč/ha	18 700	17 270	3 080	2 805
ječmen jarní	Kč/ha	15 015	15 125	4 565	3 960
žito	Kč/ha	10 450	12 320	6 050	6 710
oves	Kč/ha	7 700	8 965	4 565	5 170
triticale	Kč/ha	12 925	13 860	4 895	5 060
průměr obilovin	Kč/ha	23 100	23 350	6 270	5 720
řepka	Kč/ha	16 120	15 400	770	330

Diskuze

V rámci výše citovaného projektu byly vymezeny hlavní problémy v zemědělské výrobě působené suchem. Dále byla navržena některá opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha.

Hlavní problémy aridních oblastí

Jako hlavní problémy působené zemědělským suchem byly definovány tyto:

- snížení výnosu z důvodu nedostatku srážek,
- nutnost závlahy u trvalých kultur (vyšší náklady na produkci),
- obtížné zpracování půdy (vyšší spotřeba nafty, prašnost, tvorba hrud půdy),
- obtížné zaorání organických hnojiv,
- vyšší opotřebení strojů při zpracování suché půdy,
- zvýšený výskyt škůdců (křísek polní, obaleč jablečný...),
- větrná eroze,
- rychlejší mineralizace organické hmoty,
- nutnost hledání odolnějších odrůd,
- špatné využití hnojiv a herbicidů na suché půdě.

Opatření navržená pro zemědělskou výrobu v aridních oblastech

Navrženy byly tři skupiny opatření. Konkrétně se jedná o tato opatření:

Organizační a agrotechnická opatření

- organické hnojení půdy (min. 1x za 5 let)
- osevní postupy s odolnými odrůdami
- pěstování meziplodin (např. luskobilné směsky)
- minimalizační zpracování půdy
- organizace agrotechnických zásahů (max. využití podzimní vláhy)
- mulčování z plodin a meziplodin (omezení výparu)
- podrývání půdy (zlepšení akumulace vody)
- budování větrolamů (omezení vysušování půdy a větrné eroze)
- úpravy krajiny pro zvýšení retenčních schopností (zasakovací průlehy apod.).

Vodohospodářská opatření

- závlahy (pro speciální plodiny),
- odvodnění (podle místních podmínek – rekonstrukce či naopak odborné znefunkčnění zařízení),
- vodní nádrže (budování rybníků a malých vodních nádrží).

Ekonomická, realizační a dotační opatření

- podpora ze strany státu (případně EU a krajů),
- podpora závlahových zařízení,
- vytvoření fondu nepojistitelných rizik,
- zařazení aridních oblastí do podpory z národních zdrojů (PRV),
- zemědělské pojištění proti suchu,
- pozemkové úpravy (podpora úprav krajiny pro maximální zadržetí vody, podpora výsadby, větrolamů, protierozní ochrana apod.),
- dotační podpora živočišné výroby.

Závěr

Příznivý vodní režim půdy lze do značné míry podpořit kvalitní péčí o půdu, tj. ochranou půdy před erozí, minimalizace utužení půdy, udržování optimálních hodnot pH půdy, pěstování meziplodin, dostatečné organické hnojení půdy a tím i udržování stabilní půdní struktury. Významná je rovněž otázka zpracování půdy, které je nutno přizpůsobit místním podmínkám, např. zařadit podrývání na utužených pozemcích, omezit orbu při nedostatku

organických hnojiv, využívat minimalizační technologie na erozně ohrožených pozemcích apod.

Kromě výše uvedených půdních faktorů nelze při v otázce předcházení vzniku extrémních stavů vody v krajině (sucho, povodně) opomenout další souvislosti, např. zrychlený odtok vody z krajiny napřimováním vodních toků, rušení mokřadů a nadměrné budování odvodňovacích soustav v minulosti.

Literatura

Agrární komora ČR: Přehled sklizně v České republice v letech 2011, 2012.

Novák, P., Vopravil, J., Vetišková, D. (2007): Využitelná vodní kapacita půd VVK. Závěrečná zpráva. VÚMOP, v.v.i. Praha.

Vopravil, J., Rožnovský, J., Batysta, M., Srbek, J. a kol. (2012): Možnosti řešení degradace půdy a její ovlivnění změnou klimatu na příkladu aridních oblastí. Závěrečná zpráva, VÚMOP, v.v.i. Praha, 200 s.

Vopravil, J. a kol. (2010): Půda a její hodnocení v ČR – Díl I. VÚMOP, v.v.i. Praha, 147 s.

Kontakt:

Ing. Jan Vopravil, Ph.D.

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5 Zbraslav

257 027 268, vopravil.jan@vumop.cz

Problematika změn klimatu v severních Čechách a jejich řešení

Climate Changes in Northern Bohemia and Possible Solutions

Jaroslava Vráblíková, Petr Vráblík, Eliška Habásková

Fakulta životního prostředí UJEP, Ústí nad Labem, Králova Výšina 3132/7, 40096

Abstrakt

Změny klimatu a jejich dopady na životní prostředí jsou mezi nejdiskutovanějšími tématy současnosti. V České republice je řešena tato problematika až v posledních letech, kdy se začaly projevovat důsledky těchto změn s větší intenzitou. Jedná se hlavně o extrémní projevy počasí jako je sucho a přívalové deště, které nejvíce ohrožují především půdu a zemědělskou produkci. Z násobí se tím zejména proces eroze půdy. Rok 2015 byl dle dostupných údajů nejsušším rokem za poslední dekádu. V severních Čechách byl jeho průběh mírnější než v ostatních částech republiky. Opatření, která zmírní dopady klimatických změn, by měla být navrhována takovým způsobem, aby byl dodržen princip trvale udržitelného rozvoje.

Klíčová slova: klimatické změny, adaptační opatření, udržitelný rozvoj, integrovaný management krajiny, zemědělský půdní fond

Abstract

Climate changes and their impacts on the environment are currently the most discussed topic. This issue is recently solved in the Czech Republic, because in the last two years the effects of the changes were more intensive than ever. These effects are mainly the drought and extreme rains that threaten primarily soil and agricultural production. The process of erosion is multiplied due to these extreme conditions. The year 2015 was according to available data the driest year in the last decade. The drought in northern Bohemia was milder compared with other parts of the Czech Republic. Measures that can mitigate the impacts of climate changes should be designed with emphasis on sustainable development.

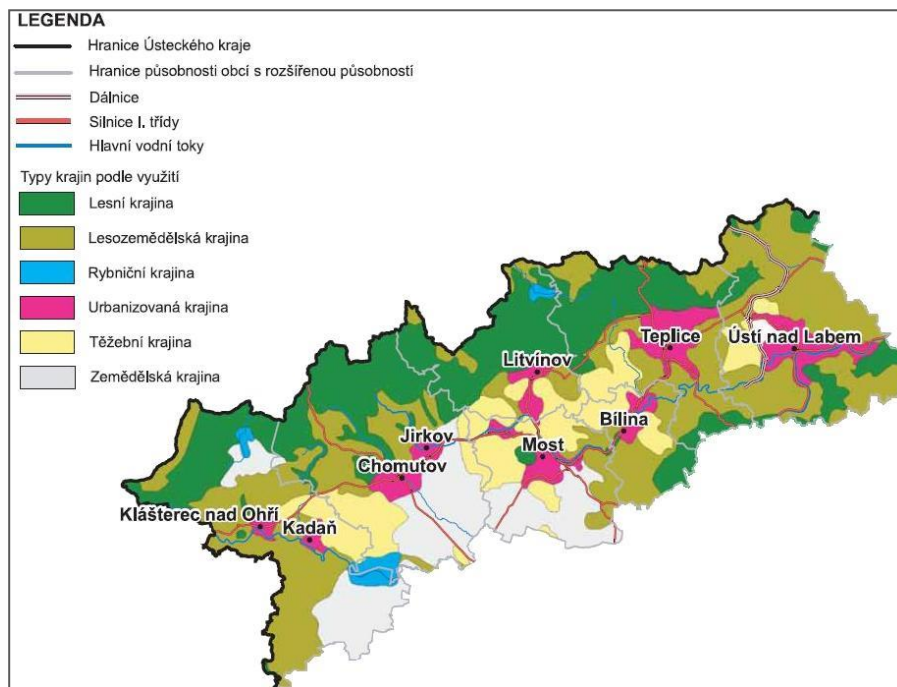
Keywords: climate changes, adaptation measures, sustainable development, integrated landscape management, agricultural land fund

Úvod

Globální ohrožení biosféry a člověka je způsobeno negativními vlivy a účinky přírodních antropogenních faktorů. V historii byly globální změny způsobeny především přírodními faktory, ale v druhé polovině 20. století se člověk stává nejvýznamnější silou na Zemi a začíná měnit její charakter. Působení člověka na geosféru, ale i biosféru nabylo postupně globálních rozměrů (DEMO et al., 1999).

Změny klimatu a jejich dopady na jednotlivé složky životního prostředí jsou v současnosti hlavním tématem environmentální politiky na úrovni globální i regionální. V České republice se změny klimatu projevují především postupným zvyšováním průměrné roční teploty, ubýváním sněhové pokrývky v horských oblastech, meziročním zvýšeným výskytem krátkodobých přívalových dešťů s následkem povodní a obdobími sucha v důsledku nepravidelnosti srážek s dopadem na vegetační dobu rostlin. Pro kulturní krajinu, která byla v posledních 60 letech nejvíce antropogenně zatěžována a jejíž potenciál obnovy byl omezován až likvidován, představují tyto změny významnou hrozbu zejména z hlediska její udržitelnosti pro budoucí generace. Taková krajina se vyskytuje v oblasti Podkrušnohoří (okresy Chomutov, Most, Teplice, Ústí nad Labem), kde jsou těženy zásoby hnědého uhlí velkolomovým způsobem zhruba od r. 1950 (obr. 1). Povrchová těžba hnědého uhlí od svého počátku až po dnešní dny zasáhla plochu cca 250 km² a kulminovala v polovině 80. let objemem více než 80 Mt/r. Mostecká pánev (dříve Severočeská hnědouhelná pánev) je největší a těžebně nejvýznamnější hnědouhelnou pánví v České republice, rozkládá se na ploše cca 140.000 ha. Od 60. let minulého století zde bylo zlikvidováno 116 obcí či jejich částí včetně historické části města Most. Přitom bylo přestěhováno na 90 tis. lidí. Obnova těžbou zatížené krajiny je možná v rámci rekultivací a revitalizací, ale s přibývajícím extremitou klimatických změn je i tato krajina ohrožena (VRÁBLÍKOVÁ et al, 2011).

Obr. 1: Rozdělení krajiny Mostecké pánve



Dne 19. 10. 2015 bylo vládou schváleno částečné prolomení limitů na dole Bílina. (obr. 2). Hlavním argumentem pro prolomení je vysoká nezaměstnanost v regionu, která by se po útlumu těžby podstatně zvýšila. Nedojde k likvidaci dalších obydlí, ovšem zdravotní následky na přilehlé i vzdálenější obce Ústeckého kraje respektive severních Čech se v případě pokračující těžby nevyhnutelně projeví. U lomu ČSA zůstávají současné limity v platnosti (Česká televize, 2015). S prolomením limitů se posune i začlenění antropogenně zatížené krajiny do okolního prostředí, na kterou mají klimatické změny intenzivnější vliv. Krajina vzniklá rekultivací a revitalizací vyžaduje delší časové období na obnovu svých přirozených funkcí a na adaptaci na stále více se projevující změny klimatu. Například nově vzniklá a stále se vyvíjející zemědělská krajina, zatížená vodní a větrnou erozí, není schopna absorbovat přivalové srážky a omezit tak povrchový odtok, ale nedokáže ani vodu zadržet pro případ dlouhodobějšího sucha.

Obr. 2: Schválená varianta prolomení limitů



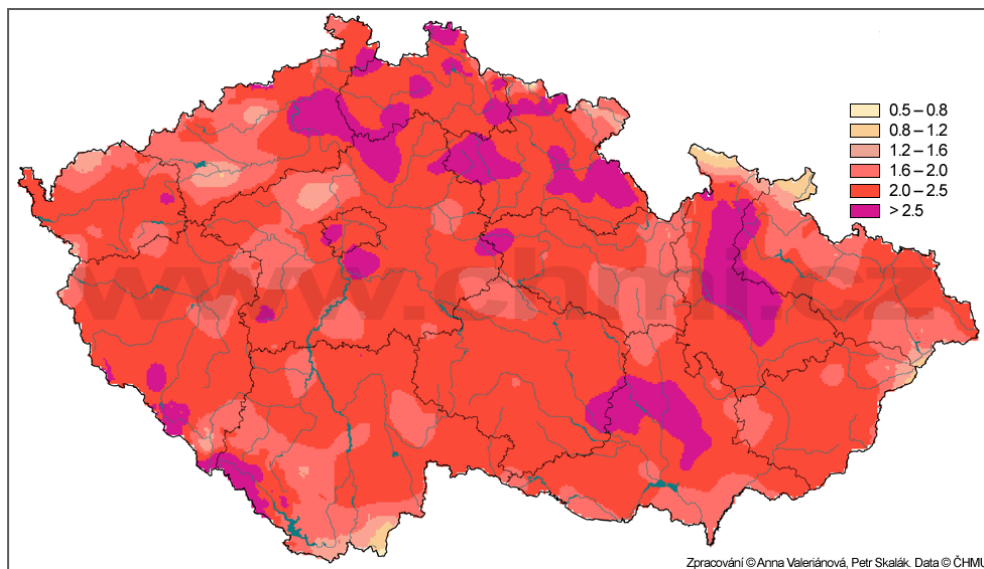
Zdroj: Česká televize, 2015

Projekt v rámci Fakulty životního prostředí UJEP „**Udržitelné hospodaření v antropogenně zatížené krajině**“ se zabývá nejvíce antropogenně ovlivněnými oblastmi v České republice a to okresy Chomutov, Most, Teplice a Ústí nad Labem. Řešení projektu zahrnuje i monitoring dopadů klimatických změn na modelovou oblast v souvislosti s antropogenní činností a její případnou adaptaci v rámci procesů rekultivací a revitalizací.

Materiál a metody

V současné době je aktuální problematika globálního oteplování, která má v oblasti ČR za následek zejména zvýšené riziko sucha díky úbytku atmosférických srážek a jejich nerovnoměrnému rozdělení v průběhu roku a díky zvyšující se průměrné teplotě. V některých částech České Republiky došlo ke zvýšení průměrné roční teploty vzduchu oproti dlouhodobému normálu (1961–1990) i o více jak 2,5 °C. (obr. 3.).

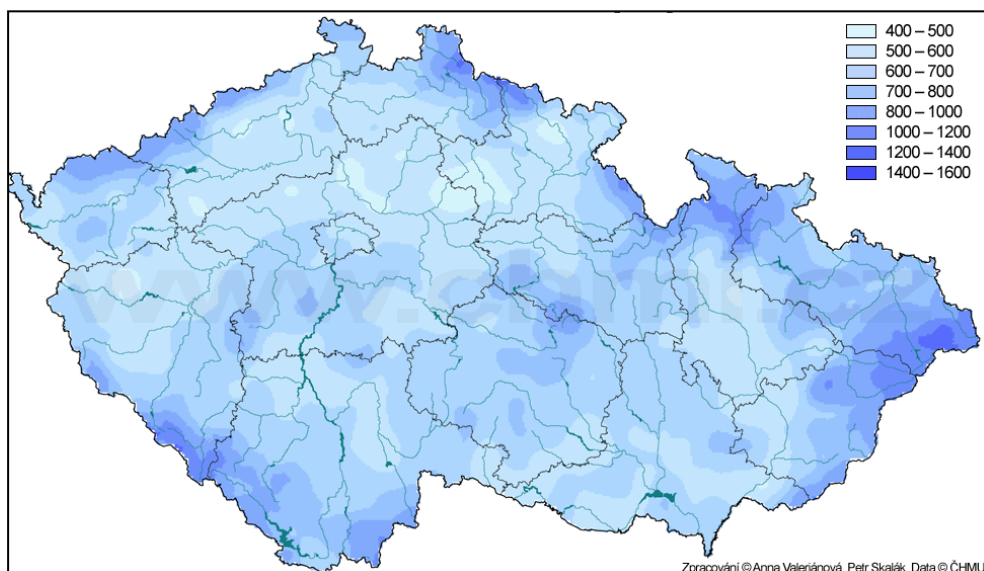
Obr. 3: Odchylka průměrné roční teploty vzduchu v roce 2014 od normálu 1961-1990 [°C]



Zdroj: ČHMÚ, 2015

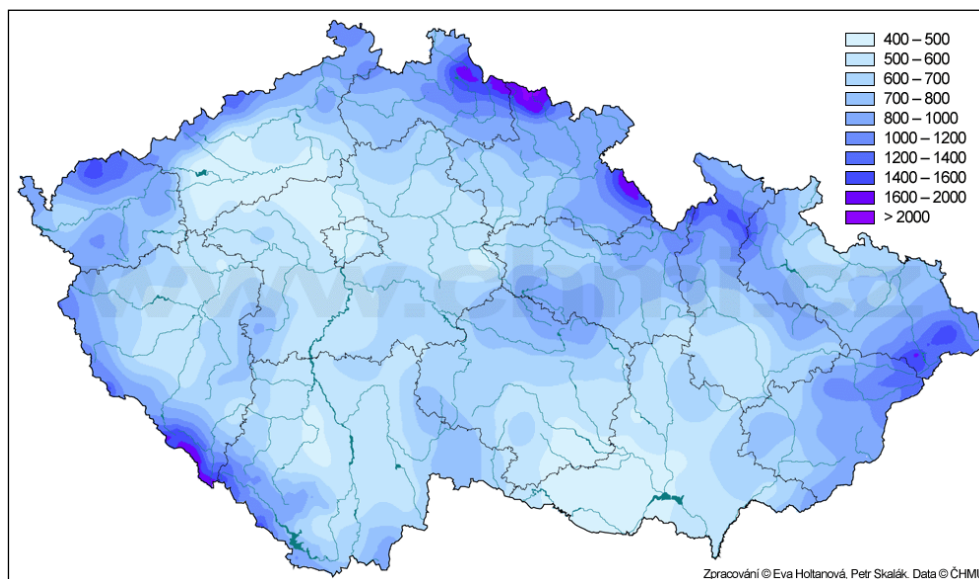
V období v letech 1998–2014 nastaly podstatné negativní změny v ročním úhrnu srážek. Jedná se nejen o jejich značný úbytek (obr. 4), kdy se před 16 lety vyskytovala v ČR místa s průměrným úhrnem přesahujícím i 2000 mm (obr. 5), ale i o jejich nerovnoměrné rozdělení v rámci celého roku. To se projevuje nedostatkem vody ve vegetačním období pro rostliny anebo přívalovými dešti, které způsobují vodní erozi a povodně.

Obr. 4: Úhrn srážek v roce 2014 [mm]



Zdroj: ČHMÚ, 2015

Obr. 5: Úhrn srážek v roce 1998 [mm]



Zdroj: ČHMÚ, 2015

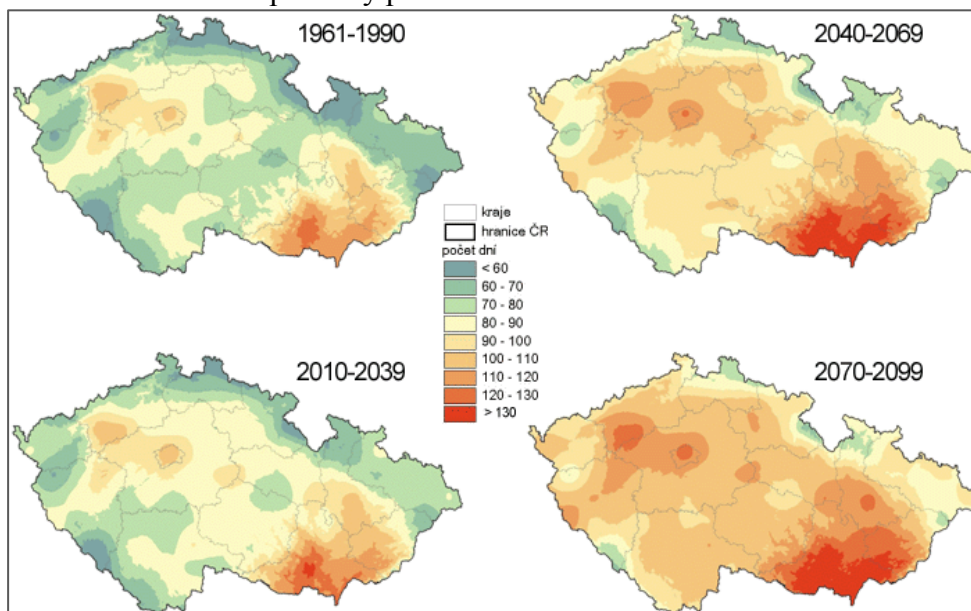
Podnebí ČR je významně ovlivněno cirkulačními a geografickými poměry. Převládá zde vzduch mírného pásma. V letním období se pak projevuje i vzduchová hmota tropická a v zimním období vzduchová hmota arktická. Kontinentalita našeho území od západu k východu vzrůstá přibližně o 10 %. V Čechách se obecně vyskytuje mírnější zima a chladnější léto, sluneční svit je nižší a srážky jsou stejnoměrněji rozdělené než na Moravě a ve Slezsku, kde jsou větší teplotní amplitudy. Významný vliv na podnebí mají horské oblasti ČR, které vytvářejí takzvané klimatické přehrady. Projevuje se to zejména tak, že zabraňují vpádu studeného vzduchu od severu a vzhledem k západnímu proudění vytvářejí dešťový stín. Na klimatickou rozmanitost více působí výškové poměry a členitost terénu než zeměpisná poloha. Obecně lze říci, že naše podnebí závisí hlavně na cyklonální činnosti a podle její aktivity jsou jednotlivé roky velmi proměnlivé.

V souvislosti se zvyšováním teplot vzduchu lze od poloviny 21. Století očekávat nárůst počtu aktivních a efektivních teplot a počtu letních a tropických dnů. Bezmrazové období se prodlouží až o 20–30 dnů a počátek vegetačního období se v nižších nadmořských výškách

posune na začátek března a konec až do závěru října. Vyšší teploty ve vegetačním období prodlouží a ovlivní růst a vývoj rostlin tak, že umožní dřívější vzcházení a nástupy dalších fenofází. Změny charakteru vodních srážek budou vyvíjet tlak na vodní zdroje, čímž budou ovlivněny zdroje pitné a závlahové vody. Extrémní meteorologické jevy se stanou častějšími, čímž budou trpět všechny oblasti ČR. Teplá období se budou ve vnitrozemských zeměpisných šířkách vyznačovat častějším výskytem suchých epizod a snížením mocnosti půdních horizontů.

Nerovnoměrné rozložení srážek během roku bude mít za následek postupné přibývání počtu dnů bez srážek celkově (obr. 6), což bude mít negativní dopady zejména na zemědělskou produkci a to hlavně díky stále ubývajícimu podílu organické hmoty v půdě v ČR.

Obr. 6: Dlouhodobé průměry počtu dnů bez srážek v referenčním a scénářovém období



Zdroj: ČHMÚ, 2015

Při jednotlivých extrémních projevech klimatických změn, jako jsou povodně a sucho vznikají hlavně ekonomické škody. Krátkodobá řešení způsobů využívání krajiny, která nezohledňují trvale udržitelné postupy hospodaření, jsou ve výsledku ztrátová. Půda, která je využívána pro maximální zisk z primární produkce bez ohledu na princip trvalé udržitelnosti, je po epizodách sucha či povodní ve stavu s nutností mimořádných dotací státu na náhradu škod způsobených těmito jevy.

Názory na reálnost klimatických změn se mezi odborníky velice často různí. Budoucnost klimatických se opírá zatím převážně o hypotézy. Jedna skupina se opírá o tvrzení, že

klimatické změny respektive globální oteplování je způsobeno nadměrnou produkcí skleníkových plynů v posledních letech, především oxidu uhličitého. V současné době jsou pozorovány nejvyšší naměřené hodnoty CO₂ za posledních 750 000 let. Argumentem jsou pouze klimatologické výzkumy, které pracují se satelitními daty, která byla zpracována po roce 1975. Globální oteplování jako jeden z projevů změn klimatu není možné zkoumat bez dlouhodobých relevantních dat. Druhá skupina přikládá původ změn klimatu solární aktivitě. Změny na slunci jsou v přímé souvislosti s extrémními změnami klimatu, jako byly v období pleistocénu především v dobách ledových.

Společným prokázaným výsledkem všech teorií je fakt, že klimatické změny na planetě probíhaly v minulosti, probíhají současnosti a předpokladem je, že budou probíhat i v budoucnosti (BLAŽKOVÁ, 2014).

Dopady projevů klimatických změn v ČR

- S kontinuálním oteplováním se předpokládá, že průměrná teplota v České republice do roku 2060 o 2,5 °C.
- Bude ubývat mrazových dní a přibude dní s teplotou nad 30 °C.
- Extrémní sucho se projeví nejvíce v nejteplejších oblastech jižní Moravy a středních Čech.
- Zvýší se výskyt období s nedostatkem vody a bude ohrožena i její kvalita.
- Mimořádné stavy vody (sucho, povodně) budou mít za následek socioekonomické problémy.
- Zemědělství se bude potýkat s nižšími výnosy.
- Zvýšené riziko eroze půdy s následkem snižování její úrodnosti.
- Snižování biodiverzity v krajině.
- Omezení až zastavení využívání vody pro energetiku a závlahy.

Vliv klimatických faktorů na půdu a zemědělství

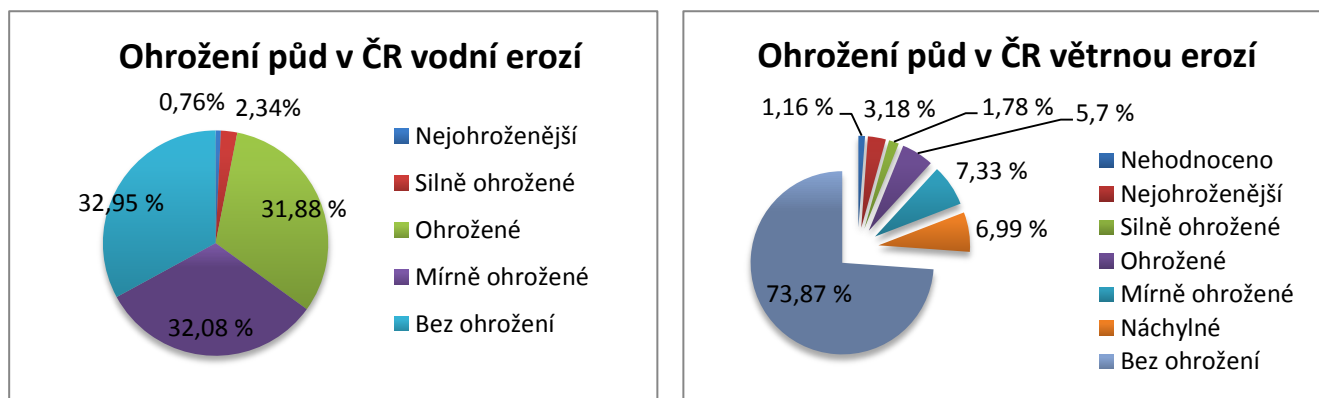
Půda jako složka životního prostředí patří mezi nejvíce zranitelné složky přírodního prostředí. Je třeba, aby se přizpůsobila stávající i budoucí změně klimatu a jejím důsledkům. Je nutné v předstihu specifikovat případně i zavádět opatření, která budou rizika takových změn s dostatečným časovým odstupem předvídat. Adaptační opatření je důležité směřovat zejména

na problematiku půdy a rostlinné produkce. S budoucí změnou klimatu lze očekávat výskyt sucha a erozně nebezpečných dešťů, což s sebou přinese nejen další degradaci půd, ale i snižování jejich kvality.

Produktivita zemědělství je závislá na počasí a podnebí tj. klimatu. Je podmíněna příznivými klimatickými podmínkami, ale zároveň zemědělství ovlivňuje nejen okolní krajinu, ale i klimatické podmínky v ní. Očekávaná klimatická změna způsobí pravděpodobně aridizaci klimatu v Evropě. Je především nutná změna hospodaření s vodními zdroji v krajině. U zemědělství, kromě produkce potravin, je potřeba zohlednit i funkce mimoprodukční - péče o krajinu, což zvyšuje jeho význam. Výkonnost zemědělství je podmíněna mnoha faktory - například energetická bilance, cirkulace atmosféry, charakter zemského povrchu nebo vliv lidské činnosti. Rychlost změn klimatu (jak známe z minulosti) naznačuje, že se v současné době zvyšuje a že jejich dopady na zemědělství budou spíše negativní než pozitivní. Podmínkou udržitelné produkce potravin je přizpůsobit zemědělství očekávaným změnám klimatu. Globální oteplování bude mít vliv na růstové podmínky některých rostlin. Původní rostliny mohou nahradit takové druhy, které se dokážou lépe přizpůsobit vyšším teplotám a suchu. Scénáře zároveň předpokládají prodlužování vegetační doby, kdy dojde sice k navýšení produkce, ale zároveň k úbytku půdní vláhy, který může být zřetelnější v nižších nadmořských výškách.

Při předpokládané klimatické změně ohrožuje časté střídání extrémních jevů, jako jsou přivalové deště a sucho, především fyzikální degradaci půdy, která vede k jejímu utužování, tvrdnutí a následné erozi. Půd, které jsou ohroženy vodní a větrnou erozí, v ČR stále přibývá. V České republice je určitou formou vodní eroze potenciálně ohroženo 67 % zemědělské půdy. V současné době je maximální ztráta půdy v ČR vyčíslena na přibližně 21 mil. tun ornice za rok, což lze vyjádřit jako ekonomickou ztrátu minimálně 4,3 mld. Kč. Různým stupněm větrné eroze je v ČR potenciálně ohroženo přibližně 18 % zemědělské půdy (obr. 7). Nejvyšším stupněm je ohroženo 3,2 %. Silně ohroženo je 1,8 % zemědělské půdy (Zpráva Půda, 2015).

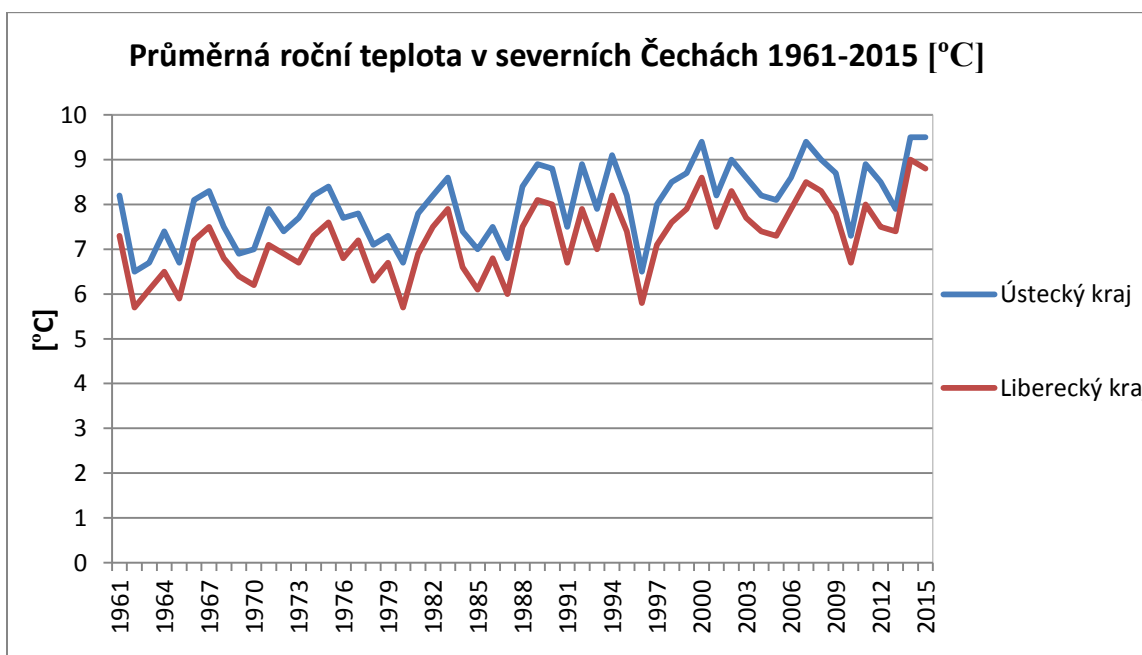
Obr. 7: Ohrožení půd v České republice vodní a větrnou erozí v roce 2015



Sucho v severních Čechách

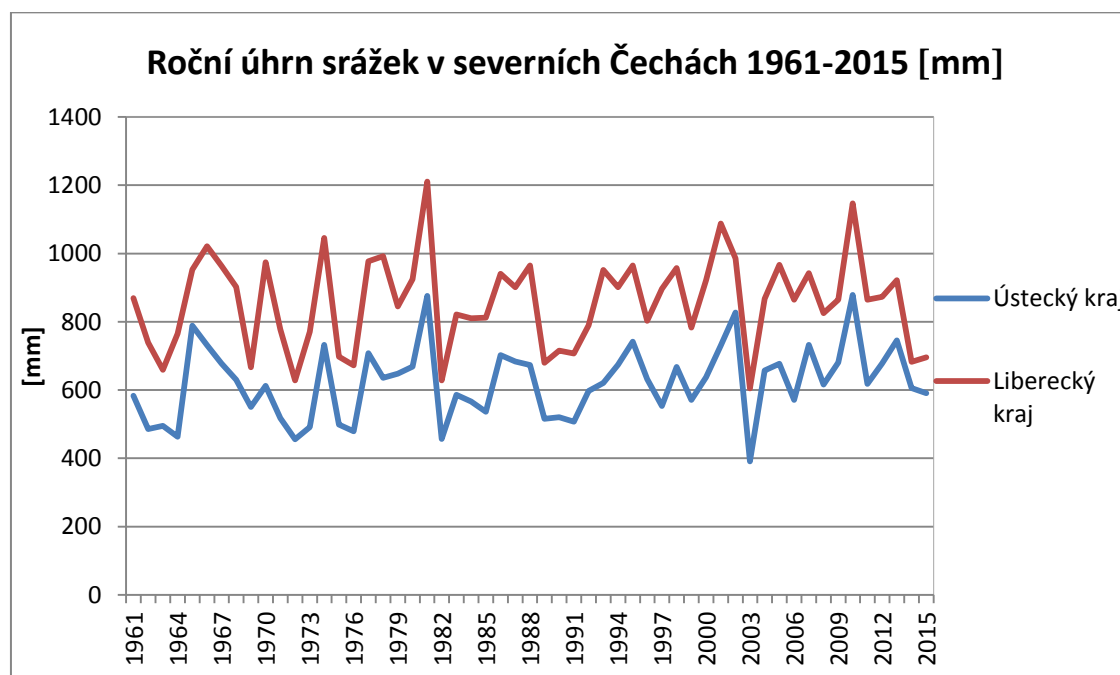
Období sucha v severních Čechách se vyznačují mírnějším průběhem, než je tomu v ostatních částech České republiky. I když průměrná roční teplota byla v roce 2015 nejvyšší za období let 1961–2015 (Ústecký kraj 9,5 °C, Liberecký kraj 8,8 °C – obr. 9), průměrný úhrn srážek se zde udržel v nejvyšších hladinách v ČR (Ústecký kraj 591 mm, Liberecký kraj 696 mm – obr. 10). Nejhuře se sucho projevilo v Jihomoravském kraji, kde byla průměrná roční teplota 10,5 °C a roční úhrn srážek 430 mm. Nicméně i vyšší průměrná teplota vyšší počet dní s teplotami nad 30 °C jsou projevem klimatických změn, zejména v kraji Ústeckém, kde je doprovází i znečištěné ovzduší.

Obr. 9: průměrná roční teplota v Ústeckém a Libereckém kraji v letech 1961–2015



Zdroj: ČHMÚ, 2016

Obr. 10: roční úhrn srážek v Ústeckém a Libereckém kraji v letech 1961–201



Zdroj: ČHMÚ, 2016

Výsledky

Doporučená opatření pro hospodaření na půdě k zmírnění dopadů sucha:

- zaměřit se na nové šetrné technologie při obdělávání orné půdy, snížit počet operací, případně zavádění bezorebních systémů, krom ochrany půdy to sebou přinese i úsporu nákladů,
- zaměřit se na dodržování střídání zemědělských plodin, využívat i luskovinoobilné směsky, vikvovité.
- po sklizni hlavní plodiny, například obilovin zajistit pěstování meziplodin
- udržovat ornou půdu tak, aby převážnou část vegetačního období byla oseta, aby byl povrch půdy zakryt vegetací, využívat zeleného hnojení,
- zajistit hnojení orné půdy statkovými hnojivy, zejména chlévským hnojem, kejdou, komposty, ale i dalšími organickými hnojivy, případně i rašelinu, kaly, drůbeží trus apod.,
- provádět zaorávání slámy a posklizňových zbytků
- ochraňovat půdní organickou hmotu, zejména rašelinu,
- zabývat se revitalizací rašelinišť, mokřadů
- snižovat rozsah orné půdy ve prospěch trvalých travních porostů,

- zalesňovat zemědělskou půdu, pěstovat rychle rostoucí dřeviny,
- rozšiřovat území s rozptýlenou zelení v krajině.

Adaptační opatření v sektoru půda -zemědělství

- Změny pěstebních postupů za účelem snížení ztrát půdní vláhy.
- Využití nových plodin, vyšlechtit rostliny s nižšími nároky na vodu a vyšší odolnosti k vodnímu a tepelnému stresu.
- Zlepšení využívání závlahových systémů.
- Opatření proti zemědělskému suchu
- Zavlažovací systémy přispívají k efektivnímu využití závlahové vody a umožňuje zachovat rostlinnou produkci i v případě výskytu delších period zemědělského sucha.
- Provoz zavlažovacích systémů je ovšem závislý na zajištění povrchových vodních zdrojů s dostatečnou vydatností a kvalitou vody.

Adaptační opatření jsou spojena s finančními nároky, které pokrývají náklady na jejich přípravu a zavádění. Ty jsou anebo mohou být vyrovnány snižováním výše škod, kterou nepříznivé dopady změny klimatu vyvolávají. Před zaváděním adaptačních opatření je vhodné podrobně zanalyzovat jejich účinnost, náklady a efektivitu s ohledem na schopnost klimatického systému a jeho složek se ke změně klimatu přizpůsobit. Adaptační opatření je třeba směřovat zejména na problematiku půdy a rostlinné produkce (VRÁBLÍKOVÁ, 2014).

Dne 29. 2. 2016 schválila vláda materiál Ministerstva zemědělství o zmírnění následků sucha a nedostatku vody v příštích desetiletích. Dokument uvádí různé možnosti, jak zadržovat vodu v krajině. Jednou z nich je vybudování malých vodních nádrží, které zajistí lidem i přírodě vodu v obdobích s výrazným nedostatkem srážek. Dle ministerstva může následky sucha zmírnit jedině zadržování vody v krajině, ve vodních nádržích a zpomalení odtoku. Velkou měrou k zadržování vody v krajině přispívá zalesněná půda. Ministerstvo zemědělství usiluje například o změnu způsobu hospodaření s půdou, o používání vhodných technologických postupů, zatravnění, obnovu nebo budování rybníků, podporuje výsadbu melioračních a zpevňujících dřevin a další pozemkové úpravy (MZe, 2016).

V celé problematice dopadů klimatických změn na životní prostředí v ČR však chybí integrovaný přístup. Řešení jsou zatím jen krátkodobá a účelová, které neřeší princip trvalé udržitelnosti a nebere ohledy na všechny orgány a rezorty, které jsou zainteresované v problematice změn klimatu. Takovým řešením by mohl být **integrovaný management**

krajiny (IMK), který je v sousedním Slovensku legislativně podporován. Integrovaný management krajiny je nástrojem, jenž se snaží o co nejefektivnější využívání krajiny s cílem zajistit dodržování politiky trvale udržitelného rozvoje. Integrovaný přístup spočívá v souladu socio-ekonomického rozvoje území s ochranou životního prostředí a je proto základem pro zabezpečení TUR v lidské společnosti. Při uplatnění principů integrovaného přístupu ke krajině se vychází z předpokladu, že na to aby krajina mohla nadále plnit všechny svoje funkce a zároveň uspokojovat novodobé potřeby lidské společnosti ve smyslu TUR, musí se řídit integrovaným způsobem. Zachování přírodních systémů v krajině pro budoucí generace totiž vyžaduje interakci mezi socio-ekonomickým rozvojem krajiny a stavem životního prostředí (BELAŇOVÁ, 2015). Pokud vycházíme ze základní koncepce pojmu IMK, management jednoznačně znamená řízení či komplex řídicích činností (plánování, organizace, kontrola). Dle Evropských dohod o krajině je environmentální management činnost, která má z hlediska perspektivy trvale udržitelného rozvoje zabezpečit pravidelnou péči o krajinu s cílem usměrňovat a sladit změny, které jsou způsobené sociálními, hospodářskými a environmentálními procesy (DIVIAKOVÁ, 2014).

Je důležité, abychom se snažili i v České republice o oporu integrovaného managementu krajiny v právních předpisech, aby se více respektovaly ekologické limity a regulativy územního rozvoje v rámci Územně plánovací dokumentace, přičemž nesmí být brány jako omezení společenských požadavků na využití území.

Diskuze

V důsledku klimatických změn je třeba zhodnotit vliv různých forem hospodaření a zemědělství na životní prostředí na půdu, vodu a biodiverzitu. Zaměřit se na formy zemědělského hospodaření v krajině, které zajistí udržení funkčnosti a ekologické stability území, ale i zajistit efektivní obhospodařování půdního fondu s důrazem na jeho ochranu a dále ochranu vody, ovzduší a bioty s cílem racionálně využívat funkční potenciál krajiny a přispět i k rozvoji venkova.

S ohledem na klimatické změny je třeba posuzovat i negativní vlivy konvenčního hospodaření na základní složky ŽP a zaměřit se na pozitivní vlivy, které posilují vedle produkčních funkcí zemědělství i funkce mimoprodukční (vodohospodářské, půdoochranné, environmentální, krajínotvorné, ekostabilizační).

V současné době je pravděpodobně nejvýznamnějším problémem trvale udržitelného zemědělství degradace půdy, která zvyšuje ekonomické ztráty. Degradace půd je specifická dle druhu pozemku, intenzity a přírodně – klimatických podmínek stanoviště. Očekávaná aridizace klimatu se projeví zejména tím, že dojde ke zvětšení výměry půd náchylných k větrné erozi. Je proto reálný předpoklad, že výměra půdy, přímo ohrožená větrnou erozí vzroste. V budoucnu se očekává častější výskyt extrémních meteorologických událostí typu přivalových dešťů a povodní, proto nelze podceňovat ani erozi vodního typu (VRÁBLÍK, 2014).

Závěr

Sucho patří k průvodním jevům našeho klimatu. Je jevem, s nímž musíme počítat jak v zemědělské praxi, tak ve vodním hospodářství. Výraznost suchých období bývá od krátkodobých přísušků, až po několikaměsíční období s nízkými srážkovými úhrny. Dopady změn klimatu se projevují na území České republiky s rozdílnou intenzitou, ale mají vždy společné řešení a tím je dodržování principu trvale udržitelného rozvoje a efektivní adaptace na dopady změn klimatu. V opačném případě nebude zachována naše krajina a životní prostředí celkově pro budoucí generace.

Poděkování

Príspevek byl podpořen projektem QJ1520307 s názvem „Udržitelné formy hospodaření v antropogenně postižené krajině“. Tento projekt byl realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím programu KUS, Ministerstva zemědělství České republiky.

Literatura

BELAŇOVÁ, E. 2014: Krajinno-ekologické aspekty integrovaného manažmentu krajiny v územnom pláne a v projekte pozemkových úprav. Dizertačná práca. Zvolen: FEE TU, 120s.
ČHMÚ. 2015: Mapy charakteristik klimatu 2014. Dostupné z: < <http://portal.chmi.cz/>>.
ČHMÚ. 2016: Územní teploty a územní srážky v ČR 1961–2015. Dostupné z: < <http://portal.chmi.cz/>>.

- DEMO, M., BIELEK, P. HRONEC, O. 1999: Trvalo udržateľný rozvoj. 1. Vydání. Slovenská poľnohospodárska Univerzita v Nitre, Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy v Bratislave, 400 s. ISBN 80-7137-611-6.
- DIVIAKOVÁ, A. et al. 2014: Stav a trendy integrovaného manažmentu životného prostredia. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, fakulta ekológie a environmentalistiky. 220 s. ISBN 978-80-228-2711-9.
- Ministerstvo zemědělství. 2015: Situační a výhledová zpráva půda. Praha, 137 s. ISBN 978-80-7434-252-3.
- Ministerstvo zemědělství. 2016: Ministerstvo zemědělství chystá opatření na zmírnění dopadů sucha. Jednou z možností je zadržování vody v malých vodních nádržích [online]. Dostupné na <www.eagri.cz>.
- ŠEMBERA, J., SCHENHERR, J. I., BLAŽKOVÁ, M., ENGEL. J. 2014: Vliv změn klimatu na životní prostředí a zemní stavby (Metodika). Auswirkungen des Klimawandels auf Umwelt und Erdbauwerke (Leitfanden). TU Liberec ISBN 978-80-7494-086-6.
- Vláda prolomila limity na dole Bílina, k domům stroje nedojdou [online]. Domáci zpravodajství České televize [cit. 23. 10. 2015]. Dostupné na WWW: <<http://www.ceskatelevize.cz>>.
- VRÁBLÍKOVÁ J., VRÁBLÍK, P. 2014: Vliv klimatických faktorů na půdu a zemědělství. Str. 159-176. In: ŠEMBERA, J., SCHENHERR, J. I., BLAŽKOVÁ, M., ENGEL. J. 2014: Vliv změn klimatu na životní prostředí a zemní stavby (Metodika). Auswirkungen des Klimawandels auf Umwelt und Erdbauwerke (Leitfanden). TU Liberec ISBN 978-80-7494-086-6.
- VRÁBLÍKOVÁ, J., et al. 2011: Revitalizace území v Severních Čechách. Ústí nad Labem: FŽP UJEP. 294 s. ISBN 978-80-7414-396-0.

Kontakt

Prof. Ing. Jaroslava VRÁBLÍKOVÁ, CSc., doc. Ing. Petr VRÁBLÍK, Ph.D., Ing. Eliška HABÁSKOVÁ

Email: jaroslava.vrablikova@ujep.cz, petr.vrablik@ujep.cz, E.Habaskova@gmail.com

Fakulta životního prostředí Univerzity J. E. Purkyně

Králova výšina 7, 400 96 Ústí nad Labem

Telefon: 475 284 141

Osivové směsi pro ozeleňování aridních oblastí

Seed mixtures for greening of arid areas

Tomáš Vymyslický

Zemědělský výzkum, spol. s r. o., Zahradní 1, 664 41 Troubsko

Abstrakt

Regionální, krajinná a jednoletá směs byly v období let 2008-2014 zkoušeny na čtyřech lokalitách (Hodonín, Rousínov, Troubsko a Zubří). Hodnocení směsí probíhalo formou zápisu fytoecologických snímků na trvalých plochách. Snímky byly následně zpracované statistickými metodami. Cílem hodnocení bylo i) zjistit vliv pomocných půdních látek (Agrisorb, lignit, zeolit) na vývoj vegetace a ii) porovnat vývoj vysévaných směsí v čase. Na základě monitoringu lze konstatovat, že ani v jednom roce nebyl u žádné vysévané směsi zjištěn statisticky významný vliv pomocné půdní látky na vývoj porostu. Během času dochází u směsí k výrazným změnám v druhovém složení. Na základě výsledků tohoto výzkumu bylo druhové složení směsí upraveno, tyto směsi byly přihlášeny k patentové ochraně a nyní jsou patentově chráněny a distribuovány pod obchodními názvy „Sahara“ a „Panonie“.

Klíčová slova: Botanické složení, agroekologické podmínky, fytoecologické snímky, trvalé plochy, sukcese

Abstract

Regional, landscape and annual mixtures had been tested in the years 2008-2014 at four localities (Hodonín, Rousínov, Troubsko and Zubří). Evaluation of the mixtures was performed by the way of phytosociological relevés recording on permanent plots. The relevés were later statistically evaluated. Two main aims of the research was i) to find the influence of auxiliary soil substances (Agrisorb, lignit, zeolit) on the vegetation development and ii) to compare the development of tested mixtures in time. Basing on the monitoring it can be concluded that statistically significant effect of auxiliary soil substances on vegetation cover and its development was never found. Significant changes of species composition in time were found. Species composition of mixtures was changed on the basis of results of the research and the mixtures were submitted to patent protection. Nowadays the mixtures are under patent protection and are distributed under names “Sahara” and “Panonie”.

Keywords: Botanical composition, agroecological conditions, phytosociological relevés, permanent plots, succession

Úvod

Krajina České republiky je stále více negativně ovlivňována člověkem. Degradční změny zasahují čím dále větší plochy krajiny, zejména v intenzivně zemědělsky obhospodařovaných oblastech. Dochází k intenzivní vodní a větrné erozi. Díky nedostatku humusu půda nedokáže udržet vodu, živiny a dochází k její degradaci. Degradace je často spojena s těžbou nerostných surovin a následnou rekultivací (Russell & La Roi, 1986). Pokud je degradace silná, často pak pozemek není vhodný pro zemědělské využívání a je potřeba jej zatravnit nebo zalesnit (Vašků, 2008). Ekologie obnovy je vědecká disciplína, poprvé zmíněna autory Hobbs et Harris (2001), studující obnovu člověkem narušených míst, jejím hlavním cílem jsou zvyšování biodiverzity, zvýšení vodní retenční kapacity, obrana před erozí a zakládání nových ekosystémů. Zatravnění nebo zalesnění degradované půdy v suchých oblastech není jednoduché, i v souvislosti se změnou klimatu. Klimatická změna bude mít podle většiny modelů za následek delší a častější periody sucha a větší rozkolísanost klimatu (Dubrovský et al., 2005).

Nejstarším způsobem obnovy narušených stanovišť je spontánní sukcese, což je proces z časového hlediska velice náročný (Jongepierová & al., 2006). Spontánní sukcese je využívána velmi často, protože je to velmi levná metoda obnovy rostlinného krytu na lokalitě. Její význam je na místech obklopených polopřirozenou vegetací. Rekultivace je lepší na místech, která nejsou integrována do přirozené vegetace anebo v případě, že jsou tato místa příliš velká. Nejprve je potřeba udělat technickou rekultivaci, připravit lokalitu pro biologickou rekultivaci a poté vysít vhodnou směs semen rostlin nebo zasadit na rekultivovanou plochu dřeviny.

V rámci řešení výzkumného projektu „Modelový projekt zamezení biologické degradace půd v podmínkách aridního klimatu“ byly zkoumány různé typy osivových směsí i rostlinných druhů z hlediska jejich uplatnění při ozeleňování v aridních podmínkách. Cílem hodnocení bylo i) zjistit vliv pomocných půdních látek (Agrisorb, lignit, zeolit) na vývoj vegetace a ii) porovnat vývoj vysévaných směsí v čase.

Materiál a metodika

V letech 2008-2014 probíhalo sledování vývoje tří vyšetých osivových směsí a na čtyřech lokalitách – Hodonín, Rousínov, Troubsko a Zubří. Do výzkumu byly zařazeny tři směsi: jednoletá směs (JS) s výsevkiem 70 kg.ha⁻¹, krajinná směs (KS) s výsevkiem 30 kg.ha⁻¹, regionální směs (RS) s výsevkiem 60 kg.ha⁻¹ a kontrola (sukcesní plocha). Tyto směsi byly sestaveny tak, aby našly svoje uplatnění v teplých a suchých oblastech ČR na stanovištích s projevy dezertifikace. Druhové složení směsí je uvedeno v Tabulce 1. Na výzkumných plochách byly před vyšetím zapraveny pomocné půdní látky (PPL). Jednalo se o Agrisorb (A) v dávce 200 kg.ha⁻¹, lignit (L) v dávce 10 t.ha⁻¹ a zeolit (Z) v dávce 30 m³.ha⁻¹, plus kontrola. Naším cílem bylo zjistit jejich vliv na vývoj porostů.

Tabulka 8: Složení vyšetých směsí

Jednoletá		Krajinná		Regionální	
Druh	%	Druh	%	Druh	%
<i>Bromus</i> sp.	10	<i>Agrostis tenuis</i>	0,9	<i>Agrostis capillaris</i>	2
<i>Lolium multiflorum</i>	19	<i>Festuca ovina</i>	12,8	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	6,5
<i>Panicum miliaceum</i>	6	<i>Festuca rubra</i> - trsnatá	25,5	<i>Arrhenatherum elatius</i>	5
<i>Phalaris canariensis</i>	15	<i>Festuca rubra</i> - výběžkatá	38,3	<i>Cynodon dactylon</i>	6
		<i>Poa pratensis</i>	7,7	<i>Festuca ovina</i>	19,9
				<i>Festuca rubra</i>	6
				<i>Festuca rupicola</i>	4,8
				<i>Festuca valesiaca</i>	2,1
				<i>Koeleria macrantha</i>	9,4
				<i>Phleum phleoides</i>	1,9
				<i>Poa angustifolia</i>	0,2
				<i>Poa pratensis</i>	6
Trávy celkem	50		85,2		69,8

Jednoletá		Krajinná		Regionální	
Druh	%	Druh	%	Druh	%
<i>Carthamus tinctorius</i>	8	<i>Anthyllis vulneraria</i>	3	<i>Achilea millefolium</i>	0,5
<i>Cicer arietinum</i>	1	<i>Lotus corniculatus</i>	2,9	<i>Anthyllis vulneraria</i>	4,6
<i>Lupinus albus</i>	7	<i>Onobrychis viciifolia</i>	3	<i>Artemisia vulgaris</i>	0,5
<i>Medicago lupulina</i>	23	<i>Securigera varia</i>	3	<i>Astragalus cicer</i>	0,2
<i>Melilotus albus</i>	4	<i>Trifolium repens</i>	2,9	<i>Astragalus lasiopetalus</i>	1,4
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	1			<i>Dianthus carthusianorum</i>	0,1
<i>Trifolium campestre</i>	6			<i>Hypericum perforatum</i>	0,5
				<i>Lathyrus sylvestris</i>	1,2
				<i>Lotus corniculatus</i>	0,5
				<i>Lupinus polyphyllus</i>	0,4
				<i>Medicago falcata</i>	0
				<i>Onobrychis viciifolia</i>	7,4
				<i>Plantago lanceolata</i>	1,9
				<i>Plantago media</i>	0,1
				<i>Securigera varia</i>	6
				<i>Silene vulgaris</i>	0,2
				<i>Trifolium alpestre</i>	0,2
				<i>Trifolium medium</i>	0
				<i>Trifolium repens</i>	3,2
				<i>Trifolium rubens</i>	0,4
				<i>Veronica teucrium</i>	0,1
				<i>Vicia pisiformis</i>	0,7
				<i>Vicia villosa</i>	0,1
Byliny celkem	50		14,8		30,2
Směsi celkem	100		100		100

Zápisy fytoocenologických snímků probíhaly na lokalitách během šesti let vždy v období vrcholné vegetace, v letních termínech: 21.5.2009, 4.6.2010, 27.5.2011, 27.6.2012, 17.6.2013 a 29.5.2014. U porostů se zapisovala celková pokryvnost a pokryvnost jednotlivých druhů. Fytoocenologické snímky o velikosti 1×1 m byly zaznamenávány v sedmičlenné Braun-Blanquetově stupnici. Celkově bylo zapsáno 534 fytoocenologických snímků.

Fytoocenologické snímky byly zapsány do databázového programu Turboveg for Windows (Hennekens & Schaminée, 2001). Získaná data byla vyhodnocena v programu Statistica for Windows (Statsoft, Inc., 2014) analýzou variance metodou dvojcestného třídění dat. Zvolená metoda nám posloužila ke zjištění vztahu pokryvnosti jednotlivých porostních skupin (trávy, byliny, jeteloviny, plevely) k použitým PPL. Rozdíly v datech byly testovány Tukeyho

testem. Statisticky významné rozdíly byly označeny standardním způsobem: p* (p<0,05), p** (p<0,01), p*** (p<0,001).

Na základě výsledků tohoto výzkumu bylo výchozí druhové složení osivových směsí upraveno a tyto směsi byly přihlášeny k patentové ochraně. Nyní jsou patentově chráněny a distribuovány zákazníkům pod obchodními názvy „Sahara“ a „Panonie“.

Výsledky a diskuze

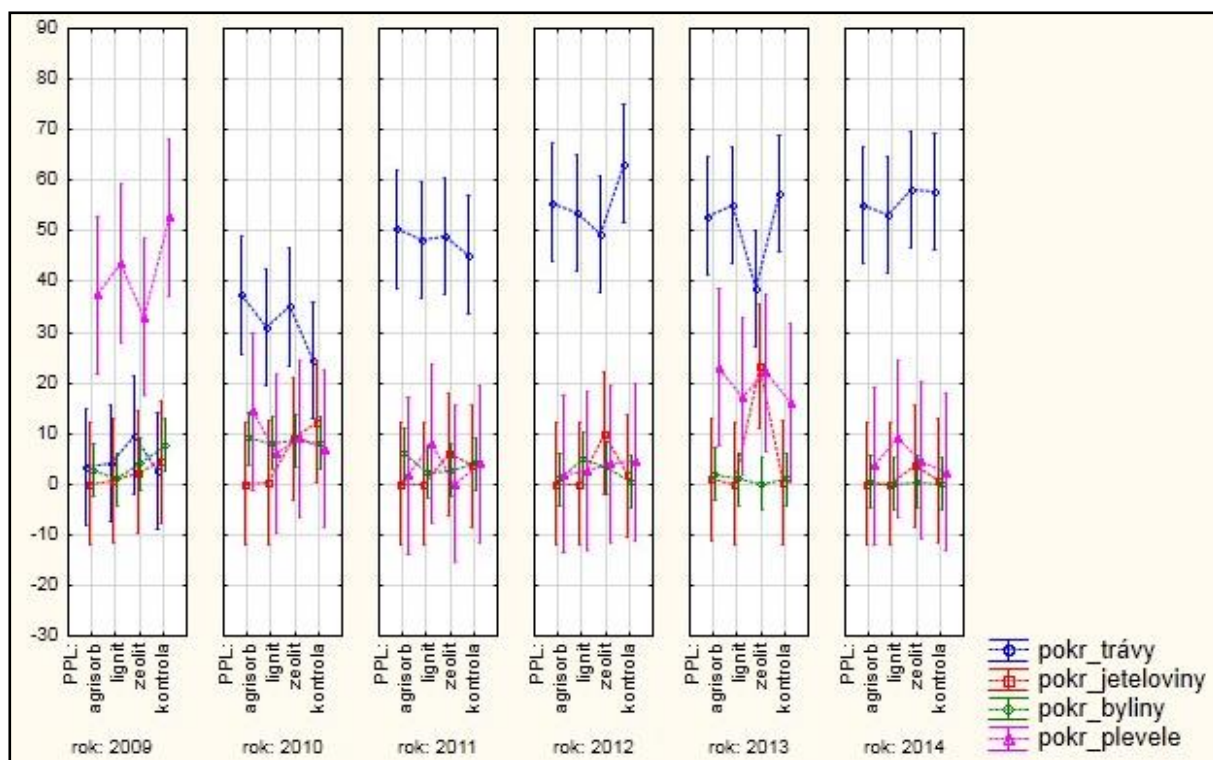
Do analýz bylo zařazeno celkem 534 fytoocenologických snímků, ve kterých bylo zaznamenáno celkem 165 druhů rostlin. Pro svou značnou velikost není tabulka fytoocenologických snímků prezentována. Průměrný počet druhů zaznamenaných na jedné ploše byl 9,9, což je na travinobylinnou vegetaci poměrně nízký počet. Druhy nejčastěji vyskytující se ve fytoocenologických snímcích byly *Festuca rubra* agg., *Trifolium repens*, *Conyza canadensis*, *Lolium multiflorum*, *Lotus corniculatus*, *Plantago lanceolata*, *Echinochloa crus-gallii*, *Agrostis capillaris* a *Stellaria media*. Kromě druhů *Conyza canadensis* a *Stellaria media* to jsou všechno druhy, které byly vyšetřeny jako komponenty směsí, a z tohoto hlediska lze směsi považovat za úspěšné. Obecně, kvůli suchému počasí na jaře v roce zásevu (2008), došlo k masivnějšímu klíčení vyšetřovaných druhů až na podzim a následující rok na jaře. Od druhého roku se uplatnily dobře jak krajinná, tak i regionální směs s tím, že pokryvnost bylinného patra rok od roku stoupala. Průměrné hodnoty pokryvností získané analýzou celého souboru dat byly následující: 2008 – 69,9%, 2009 – 75,8%, 2010 – 81,8%, 2011 – 85,3%, 2012 – 87,4%, 2013 – 89,2% a 2014 – 90,1%. Postupně se v porostu významně uplatňovaly trávy, zatímco nežádoucí druhy byly již od druhého roku na ústupu. Z hlediska druhové diverzity směsí byla nejlepší směs regionální, kterou lze doporučit pro rekultivaci aridních území. Je složena z většího počtu druhů, které se tak vhodně mohou doplňovat na základě různých podmínek v rámci mikrostanoviště.

Během celého období sledování porostu se u RS udržely druhy vysévané. V prvních letech po založení to byly druhy *Anthyllis vulneraria*, *Vicia villosa*, *Artemisia vulgaris*, *Plantago lanceolata*, *Trifolium repens*, *Anthoxanthum odoratum*, jejichž pokryvnost se pomalu snižovala a dominanci postupně převzaly druhy jako *Lathyrus sylvestris*, *Arrhenatherum elatius*, *Phleum phleoides*, *Koeleria macrantha*, *Achillea millefolium* agg., *Medicago falcata* a *Hypericum perforatum*. S postupem času narůstala pokryvnost trav a klesala pokryvnost jetelovin.

U KS v prvních dvou letech po založení převládaly většinou druhy jednoleté a ruderální. Jejich pokryvnost se však v následujících letech snižovala a dominanci v pokryvnosti získaly vysévané druhy – zejména trávy *Poa pratensis*, *Agrostis capillaris* a *Festuca rubra* agg., z jetelovin pak *Securigera varia*, *Lotus corniculatus* a *Onobrychis viciifolia*.

U JS se v prvních dvou letech udržely vysévané druhy *Lolium multiflorum*, *Phacelia tanacetifolia* a *Trifolium campestre*. U této směsi následně převzaly dominanci v pokryvnosti autochtonní druhy pro danou lokalitu. V následujících letech se z vysetých druhů hojněji vyskytoval pouze druh *Lolium multiflorum*, i ten však s postupujícím časem z ploch mizel.

Po vyhodnocení vegetačních dat v programu Statistica for Windows se RS ukázala jako nejvhodnější směs pro rekultivaci území v aridních podmínkách. Při výsevku 30 kg.ha⁻¹ a složení 69,5 % trav (12 druhů), 26,7 % jetelovin (15 druhů) a 3,3 % bylin (8 druhů) byly statisticky významné změny (p***) v pokryvnosti trav od roku 2011 až do roku 2014. Vliv PPL na druhové složení a pokryvnost porostu nebyl statisticky významný (Obrázek 1).



Obrázek 1: Změny pokryvností jednotlivých porostních skupin v závislosti na aplikované PPL v jednotlivých letech u RS.

Pro využití v praxi byly navrženy dvě rekultivační osivové směsi, „Sahara“ a „Panonie“, které jsou od roku 2015 patentově chráněné. Oba patenty jsou zapsané pod čísla 305285 a 305283 u Úřadu průmyslového vlastnictví ČR. Tyto směsi mají své druhové složení upravené na základě výsledků výzkumu tak, aby byly obě směsi univerzálně použitelné v teplých a suchých oblastech ČR, případně střední Evropy.

Tabulka 2: Složení osivové směsi „Sahara“

Složka	Název druhu	Zastoupení ve směsi [hmotnostní procenta]
Trávy (Poaceae)	<i>Agrostis capillaris</i>	3
	<i>Bromus inermis</i>	5
	<i>Festuca ovina</i> agg.	5
	<i>Festuca rubra</i> agg. - trsnatá	5
	<i>Festuca rubra</i> agg. - krátce výběžkatá	10
	<i>Festuca rubra</i> agg. - výběžkatá	15
	<i>Lolium multiflorum</i> var. <i>westerwoldicum</i>	15
	<i>Lolium perenne</i>	12

Složka	Název druhu	Zastoupení ve směsi [hmotnostní procenta]
	<i>Poa pratensis</i> agg.	10
Jeteloviny (<i>Fabaceae</i>)	<i>Lotus corniculatus</i>	4
	<i>Medicago lupulina</i>	3
	<i>Onobrychis viciifolia</i>	2
	<i>Securigera varia</i>	3
	<i>Trifolium repens</i>	3
Další byliny	<i>Achillea millefolium</i> agg.	0,8
	<i>Anthemis tinctoria</i>	0,6
	<i>Cichorium intybus</i>	0,5
	<i>Echium vulgare</i>	0,3
	<i>Plantago lanceolata</i>	1,8
	<i>Tanacetum vulgare</i>	0,6
	<i>Verbascum densiflorum</i>	0,4

Tabulka 3: Složení osivové směsi „Panonie“

Skupina	Název druhu	Zastoupení ve směsi [hmotnostní procenta]
Trávy (<i>Poaceae</i>)	<i>Agrostis capillaris</i>	1
	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	5
	<i>Bromus erectus</i>	2
	<i>Festuca ovina</i> agg.	15
	<i>Festuca rubra</i> agg. - trsnatá	5
	<i>Festuca rubra</i> agg. - krátce výběžkatá	10
	<i>Festuca rubra</i> agg. - výběžkatá	15
	<i>Festuca rupicola</i>	5
	<i>Festuca valesiaca</i>	3
	<i>Koeleria macrantha</i>	1,5
	<i>Koeleria pyramidata</i>	1,5
	<i>Phleum phleoides</i>	3
	<i>Poa compressa</i>	8
	<i>Poa pratensis</i> agg.	5
Jeteloviny (<i>Fabaceae</i>)	<i>Anthyllis vulneraria</i>	1,5
	<i>Lotus corniculatus</i>	1
	<i>Medicago lupulina</i>	0,5
	<i>Onobrychis viciifolia</i>	0,8

Skupina	Název druhu	Zastoupení ve směsi [hmotnostní procenta]
	<i>Securigera varia</i>	0,2
	<i>Trifolium campestre</i>	0,8
	<i>Trifolium repens</i>	0,2
Další byliny	<i>Agrimonia eupatoria</i>	0,5
	<i>Achillea millefolium</i> agg.	0,6
	<i>Anthemis tinctoria</i>	1
	<i>Centaurea jacea</i>	0,5
	<i>Centaurea scabiosa</i>	0,5
	<i>Cichorium intybus</i>	0,2
	<i>Dianthus armeria</i>	1
	<i>Dianthus carthusianorum</i>	1
	<i>Hypericum perforatum</i>	1,2
	<i>Leontodon hispidus</i>	0,8
	<i>Plantago lanceolata</i>	0,2
	<i>Plantago media</i>	0,4
	<i>Potentilla argentea</i>	0,6
	<i>Potentilla recta</i>	0,8
	<i>Salvia pratensis</i>	1,5
	<i>Salvia verticillata</i>	0,8
	<i>Sanguisorba minor</i>	0,6
	<i>Silene vulgaris</i>	1,2
<i>Stachys recta</i>	1	
<i>Tanacetum corymbosum</i>	0,6	

Závěry

V prvním roce po výsevu byla neúspěšnější jednoletá směs. Náš původní předpoklad, že se udrží na lokalitě samovysemeňováním, se nepotvrdil. Naopak, porostní díry byly vyplňovány nepůvodními a invazními druhy rostlin, jako např. *Coryza canadensis*, *Echinochloa crus-gallii*, *Digitaria sanguinalis*, *Setaria viridis*, a další. Od druhého roku po výsevu se začaly dobře uplatňovat regionální a krajinná směs. Z výsledků je viditelný postupný nárůst pokryvnosti vysetých druhů a snižování pokryvnosti nežádoucích druhů. Postupem času také narůstala pokryvnosti trav na úkor jetelovin.

Z hlediska druhové diverzity, zápoje, hustoty a produkce nadzemní biomasy se jeví jako nejvhodnější regionální směs, kterou je možné doporučit pro rekultivaci antropogenně

poškozených půd v aridních oblastech ČR. Na druhou stranu se nejhůře uplatnila jednoletá směs, která je využitelná jen pro jednoleté ozelenění.

Vliv pomocných půdních látek na druhové složení vegetace se během doby sledování neprojevil. Pro tento typ rekultivace nemá použití těchto látek význam a to i z hlediska jejich vysoké pořizovací ceny.

Pro využití v praxi byly navrhnuté dvě rekultivační osivové směsi „Sahara“ a „Panonie“, které jsou od roku 2015 patentově chráněné. Tyto směsi mají svoje druhové složení upravené na základě výsledků výzkumu tak, aby byly obě směsi univerzálně použitelné v teplých a suchých oblastech ČR, případně střední Evropy.

Literatura

- Dubrovský M., Nemešová I. & Kalvová J. (2005): Uncertainties in climate change scenarios for the Czech Republic. *Climate Res.* 29: 139–156
- Hennekens S. M. & Schaminée J. H. J. (2001): TURBOVEG, a comprehensive database management system for vegetation data.
- Hobbs R. J. & Harris J. A. (2001): Restoration Ecology: Repairing the Earth's Ecosystems in the New Millennium. – *Restoration Ecology* 9 (2): 239–246.
- Jongepierová I. & Poková H. [eds.] (2006): Obnova travních porostů regionální směsí. – ZO ČSOP Bílé Karpaty, Veselí nad Moravou, 102 s.
- Russell W. B. & La Roi G. H. (1986): Natural vegetation and ecology of abandoned coal-mined land, Rocky Mountain Foothills, Alberta, Canada. – *Can. J. Bot.* 64: 1286 – 1298.
- Statsoft, Inc. (2014): STATISTICA Cz [Software system for data analysis], version 12. www.statsoft.cz.
- Vašků Z. (2011): Půda je nenahraditelná. *Ekolist* [online]. 2008, č. 3, [cit. 2011-09-21]. Dostupný z WWW: <<http://ekolist.cz/cz/publicistika/rozhovory/zdenek-vasku-puda-je-nenahraditelna>>. ISSN 1802-9019.

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu MŠMT ČR, číslo 2B08020 – „Modelový projekt zamezení biologické degradace půd v podmínkách aridního klimatu“ a za částečné

institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace „Zemědělský výzkum, spol. s r. o.“.

Kontakt:

Mgr. Tomáš Vymyslický

Zemědělský výzkum, spol. s r. o.

Zahradní 1, 664 41 Troubsko

547 138 811, vymyslicky@vupt.cz

Vliv změny klimatu na vodní bilanci v povodích Jihomoravského kraje

Impact of climate change on water balance in the South Moravia region

Petr Vyskoč¹, Adam Vizina¹, Martin Hanel¹

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.¹

Abstrakt

Na území Jihomoravského kraje byly posouzeny možné dopady klimatické změny na dostupnost vodních zdrojů ve střednědobém výhledu. Aplikovány byly metody hydrologické a vodohospodářské bilance s využitím modelů BILAN resp. simulačního modelu zásobní funkce vodohospodářské soustavy. Identifikovány byly potenciálně rizikové lokality z hlediska dopadů klimatické změny na zajištění požadavků na minimální průtoky a odběry vody.

Klíčová slova: hydrologie, průtok, užívání vody, vodní nádrž

Abstract

At the South Moravia region were assessed potential impacts of climate change on water resources for the reference period 2050. In the study were applied methods of hydrological modelling by BILAN model and water balance modelling by reservoir simulation model. At the region were identified risk locations in the terms of climate change. As a boundary conditions for the modelling were used requirements for minimum discharges and water withdrawals.

Keywords: hydrology, discharge, water using, water reservoir

Úvod

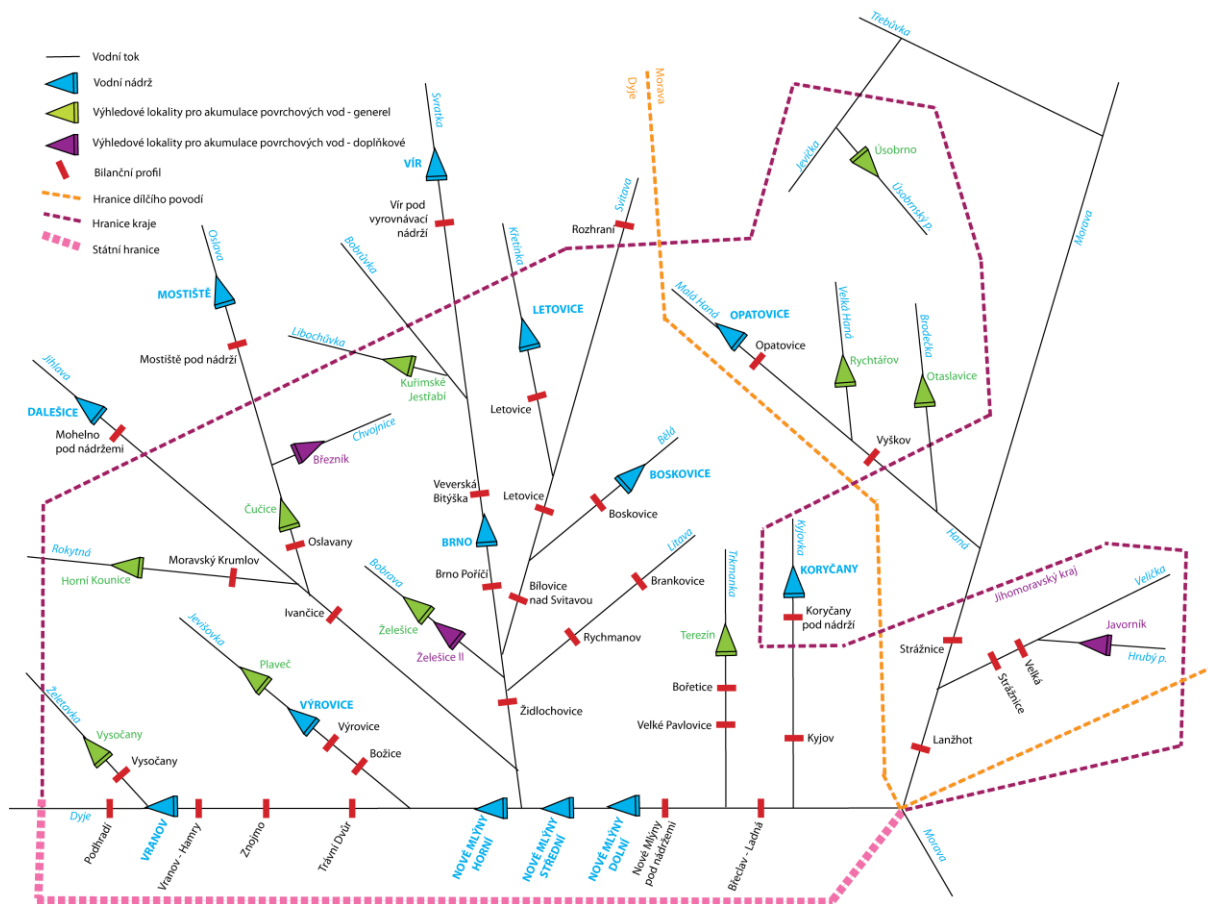
Zde prezentovaná studie je součástí projektu „Komplexní plánovací, monitorovací, informační a vzdělávací nástroje pro adaptaci území na dopady klimatické změny s hlavním zřetelem na zemědělské a lesnické hospodaření v krajině“, ve kterém bylo provedeno vyhodnocení trendu a stavu povrchových a podzemních vod ve střednědobém výhledu na území Jihomoravského kraje, zejména vyhodnocení dostupnosti vodních zdrojů vzhledem k požadavkům na jejich užívání při zohlednění možných dopadů klimatické změny. Řešení navázalo na studie zabývající se modelováním vodohospodářské bilance v podmínkách

klimatické změny. V dané lokalitě se jednalo především o studii „Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu v povodí Moravy“ z roku 2008 a na „Generel vodního hospodářství České republiky“ z roku 2015, který se zabývá hodnocením zdrojů vody s dopadem na zemědělství v současných a výhledových podmínkách. V rámci těchto studií byl Jihomoravský kraj identifikován, jako lokalita velmi ohrožená z hlediska dostupnosti vodních zdrojů i zemědělského a hydrologického sucha.

Materiál a metody

Řešené území a data

Území Jihomoravského kraje je situováno v povodí Moravy, jeho převážná část v dílčím povodí Dyje. Při řešení vodohospodářské bilance v tomto měřítku je nutné uvažovat vliv významných vodních nádrží (s objemem zásobního prostoru přesahujícím 1 mil. m³). Na území Jihomoravského kraje se jedná o vodní nádrže Vranov, Znojmo, Výrovce, Brno, Letovice, Boskovice, Nové Mlýny (horní, střední a dolní nádrž), Koryčany (všechny v dílčím povodí Dyje) a Opatovice (v dílčím povodí Moravy a ostatních přítoků Váhu). Kromě vodních nádrží nacházejících se na území Jihomoravského kraje jsou do bilančního řešení zahrnuty i vodní nádrže, které odtokové poměry v Jihomoravském kraji ovlivňují, tj vodní nádrže Dalešice, Mostišťe a Vír (všechny v dílčím povodí Dyje). Jedná se převážně o víceúčelové vodní nádrže. Pro závlahy jsou využívány vodní nádrže Vranov, Výrovce, Nové Mlýny a Brno. Mezi vodárenské vodní nádrže patří Opatovice, Vír, Boskovice a Koryčany. Bilanční stavy jsou hodnoceny v bilančních profilech situovaných na vodních tocích Dyje, Jevišovka Jihlava, Rokytňá, Oslava, Svitava, Svatka, Křetínka, Bělá, Litava, Trkmanka, Kyjovka (díličí povodí Dyje), Morava, Malá Haná, Haná a Velička (díličí povodí Moravy a přítoků Váhu). Vstupem pro řešení jsou měsíční časové řady teplot vzduchu, srážkových úhrnů a průtoků, a to jak pro bilanční profily (tabulka 1), tak i pro nádrže, které jsou zobrazeny na schématu vodohospodářské soustavy (viz. obrázek 1). V řešené oblasti se dále nachází 10 lokalit pro akumulaci povrchových vod (Generel LAPV, 2011), které se vyhodnocují v závěrečné etapě řešení projektu.



Obrázek 1 Schéma vodohospodářské soustavy

Modelování hydrologické bilance

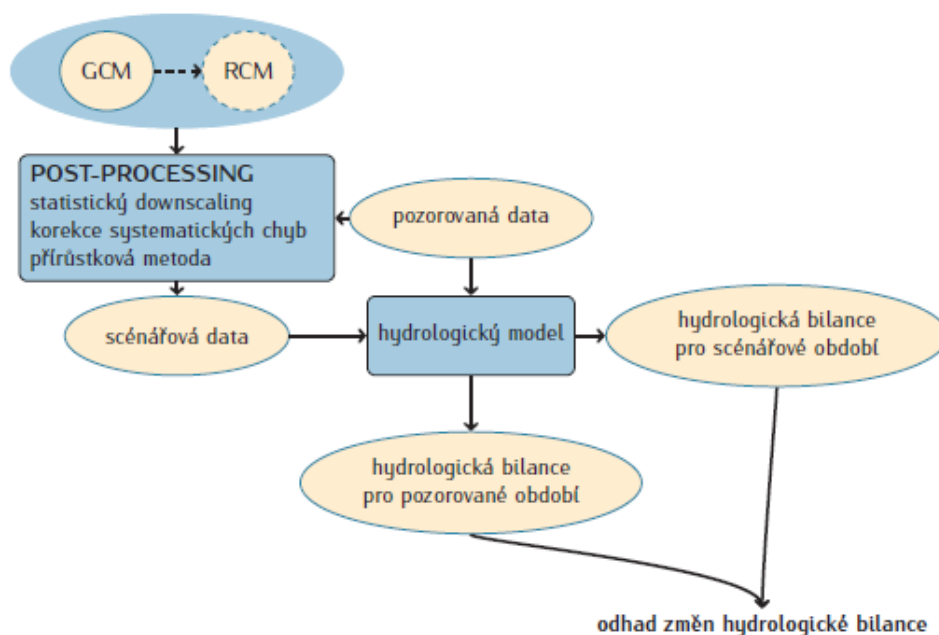
K modelování hydrologické bilance byl použit model Bilan, je vyvíjen více jak 15 let na oddělení hydrologie Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka. Model počítá v denním či měsíčním časovém kroku chronologickou hydrologickou bilanci povodí či území. Vyjadřuje základní bilanční vztahy na povrchu povodí, v zóně aerace, do níž je zahrnut i vegetační kryt povodí a v zóně podzemní vody. Jako ukazatel bilance energie, která hydrologickou bilanci významně ovlivňuje, je použita teplota vzduchu. Výpočtem se modeluje potenciální evapotranspirace, územní výpar, infiltrace do zóny aerace, průsak touto zónou, zásoba vody ve sněhu, zásoba vody v půdě a zásoba podzemní vody. Odtok je modelován jako součet tří složek: dvě složky přímého odtoku (zahrnující i hypodermický

odtok) a základní odtok (Tallaksen a van Lanen, 2004; Horáček et al., 2009; Vizina et al., 2010; Vizina a Hanel, 2011, Vizina et al., 2015). Pro modelování hydrologické bilance byla použita měsíční verze modelu.

Hydrologické modelování změn klimatu

Postup modelování dopadu změny klimatu na hydrologický režim (viz obrázek 2) lze stručně shrnout následovně:

1. Zvolený hydrologický model je pro vybrané povodí nakalibrován pomocí pozorovaných dat. Hydrologický model by měl být fyzikálně založen, aby bylo zaručeno, že i pro nepozorované podmínky bude poskytovat fyzikálně přijatelné výsledky.
2. Vstupní veličiny z globálního, popřípadě vnořeného regionálního klimatického modelu jsou převedeny na scénářové rady pro jednotlivá povodí, a to:
 - (a) statistickým downscalingem,
 - (b) „postprocessingem“ výstupu klimatického modelu, tj. využitím přírůstkové metody či korekce systematických chyb.Často je nutné pomocí prostorové interpolace vztáhnout data z výpočetních buněk klimatického modelu k těžišti daného povodí. Pro korektní využití všech metod (a–b) je nezbytné mít k dispozici pozorovaná data.
3. Pomocí nakalibrovaného hydrologického modelu a scénářových řad je provedena simulace hydrologické bilance pro scénářové období.
4. Modelované průtoky pro současnost a výhledová období jsou korigována v jednotlivých měsících pomocí kvantilové metody (Gudmundsson et al., 2012).



Obrázek 2 Schéma hydrologického modelování dopadů změny klimatu

Scénáře změny klimatu

Za účelem modelování dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci pro povodí byla odvozena řada scénářů změny klimatu. Tyto scénáře byly založeny na 15 simulacích regionálních klimatických modelů (RCM), které jsou výstupem projektu ENSEMBLES. Součástí tohoto souboru modelů jsou i referenční scénáře změny klimatu, které byly identifikovány v rámci projektu TA02020320 (ozn. rSCEN1, rSCEN2, rSCEN3) a TA01020508. Použity byly simulace řízené emisním scénářem SRES A1B (jiné emisní scénáře se v ENSEMBLES datech vyskytují velmi sporadicky) pokrývající období 1961-2099 s prostorovým rozlišením 25 km x 25 km. Uvažováno bylo 15 RCM simulací řízených 4 GCM modely. Nejvíce simulací bylo provedeno s modelem RCA (4). Pro korekci systematických chyb v simulacích regionálních klimatických modelů byly použity denní časové řady srážek a teploty pro období 1961-2010 z datasetu gridovaných srážek a teploty v rozlišení 25 km x 25 km (Štěpánek et al., 2011). Simulace regionálních klimatických modelů byly opraveny o systematické chyby pomocí tzv. kvantilové metody (Gudmundsson et al., 2012). Tato (široce užívaná) metoda byla zvolena mimo jiné proto, že simulace modelu ALADIN-CLIMATE/CZ byla dostupná již zkorigovaná touto metodou. Tato metoda spočívá v odvození transferové funkce, jež zaručuje, že hodnoty transformované řady odpovídají stejným kvantilům jako příslušné hodnoty řady původní. Období, vzhledem ke kterému byly simulace zkorigovány, bylo zvoleno stejné jako v případě ALADIN-CLIMATE/CZ, tj. 1961-

1990. Korigované simulace klimatických modelů byly dále využity pro tvorbu scénářů změny klimatu pomocí přírůstkové metody, která je pro modelování změn hydrologické bilance tradičně v ČR používána. Její podstatou je úprava pozorovaných řad o průměrné změny odvozené ze simulací klimatických modelů. Metoda se aplikuje pro jednotlivé měsíce, pro srážky je využívána multiplikativní transformace, pro teplotu aditivní. Scénářové změny srážek a teploty jsou využity jako vstupy do nakalibrovaného hydrologického modelu Bilan (Vizina et al., 2015).

Pro modelování byly tedy nakonec použity tři klimatické modely, které mají reprezentovat rozpětí změn (od pesimistického, přes průměrný po optimistický):

- 1) ALADIN-CLIMATE/CZ (rSCEN1)
- 2) CLM_Q0 (rSCEN2)
- 3) REMO_EH5 (rSCEN3)

Jako referenční rok pro posouzení dopadů klimatické změny na vodní zdroje a jejich dostupnost pro užívání vod byl – s ohledem na čas potřebný k realizaci případných zmírňujících opatření – zvolen rok 2050.

Vodohospodářská bilance

Vodohospodářská bilance je složkou vodní bilance, jejímž účelem je porovnání požadavků na odběry povrchové a podzemní vody a vypouštění odpadních vod s využitelnou kapacitou vodních zdrojů z hledisek množství a jakosti vody a jejich ekologického stavu. Pro účely zpracování vodohospodářské bilance výhledového stavu množství povrchových vod (Mze, 2002) je aplikována metoda simulačního modelování, konkrétně simulační model zásobní funkce vodohospodářské soustavy (Pícek a kol., 2008). Simulační model simuluje chování soustavy v diskretních časových krocích (měsících) na základě znalosti časových řad přirozených průtoků, požadavků užívání vody (odběry a vypouštění), technických parametrů prvků soustavy (kapacit vodních nádrží a převodů vody) a do modelu zavedených pravidel regulace odtoku (manipulačních pravidel). Vzhledem k zaměření úkolu především na posouzení možných dopadů klimatické změny při simulaci a posouzení vodohospodářské bilance v Jihomoravském kraji bylo jako prioritní uvažováno využití zásobního prostoru pro zajištění požadavků na odběry vody a minimální průtoky. Uvažovány nejsou případné další požadavky na užívání zasahující do zásobního prostoru (např. rekreace, chov ryb nebo výroba elektrické energie). Není rovněž uvažováno dispečerské řízení odtoku podle současných manipulačních řádů (např. omezování odběrů vody v závislosti na objemu vody v zásobním

prostoru), které vychází z vodohospodářských řešení vodních nádrží pro stávající hydrologické podmínky (a není tedy aplikovatelné pro posuzované scénáře dopadu klimatické změny s odlišnými hydrologickými charakteristikami). Kritéria pro hodnocení zabezpečení požadavků na užívání vody a zachování minimálních průtoků vycházejí z ČSN 75 2405. Vzhledem k pravděpodobnostnímu charakteru přirozeného hydrologického režimu je jako základní ukazatel pro určení bilančních stavů uvažována zabezpečenost podle trvání (délka období, po kterou jsou požadavky zajištěny, vyjádřená v procentech délky celého posuzovaného období). Doporučené hodnoty zabezpečení podle trvání dob závisí na třídě významnosti užívání (A až D) a jsou stanoveny v rozsahu 95,0 až 99,5 %.

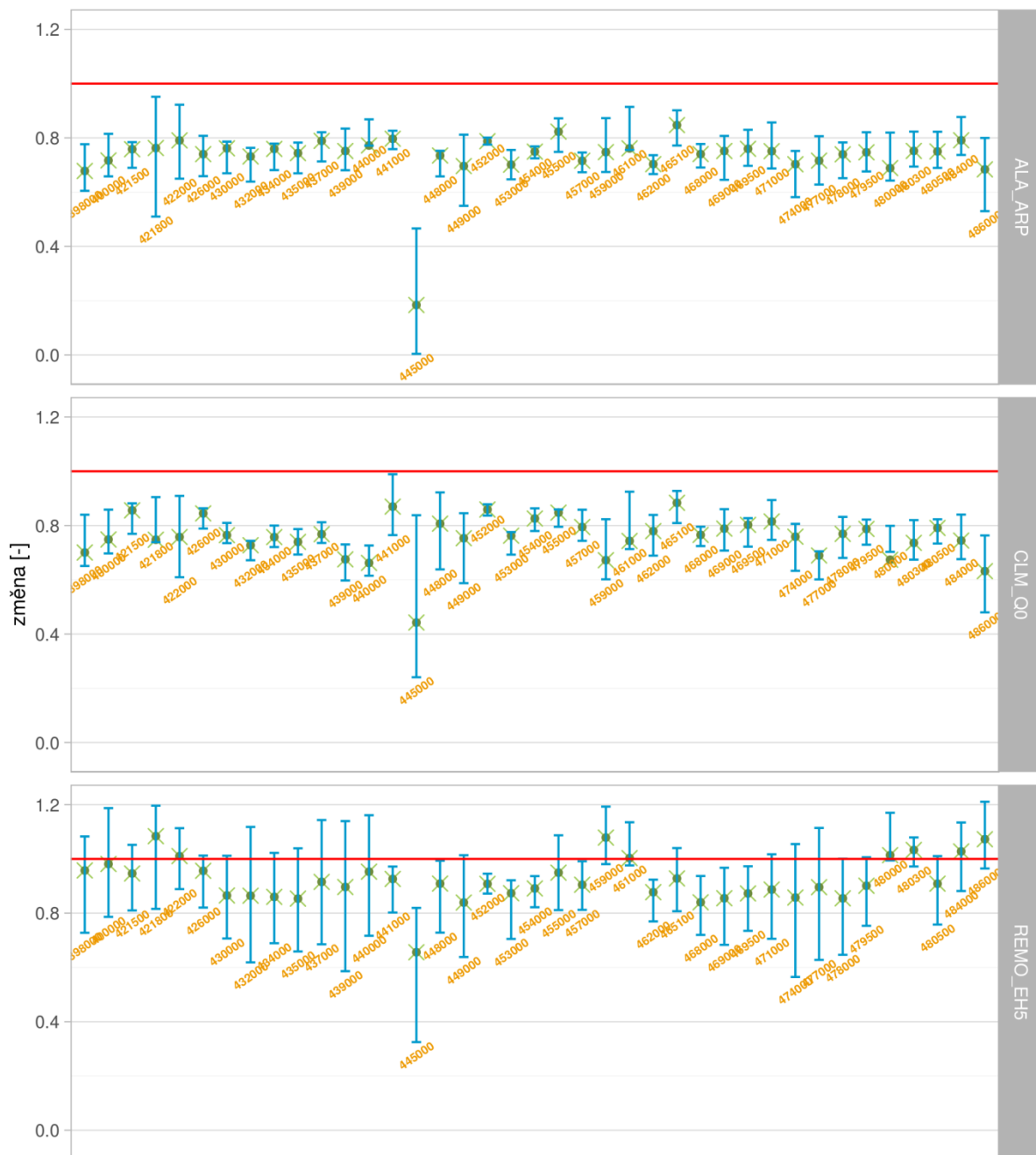
Požadavky na odběry a vypouštění vod odpovídají v současnosti skutečně realizovaným hodnotám evidovaným podle vyhlášky č. 431/2001 Sb. Tyto hodnoty jsou uvažovány i pro výhled k roku 2050. (Pro zpracování výhledu k roku 2050 nejsou k dispozici dostatečně podrobné údaje. Výstupy řešení jsou koncipovány tak, aby umožnily v bilančně „aktivních“ profilech orientačně vyhodnotit potenciál pro případnou potřebu zvýšení požadavků na odběry vody.) Hodnoty minimálních zůstatkových průtoků (MZP) v bilančních profilech jsou stanoveny podle příslušného metodického pokynu (MŽP, 1998). U bilančních profilů situovaných pod vodními nádržemi jsou posuzovány hodnoty požadovaných minimálních odtoků, pokud jsou jejich hodnoty vyšší než MZP.

Výsledky

Hydrologie

Pro zvolený časový horizont 2050 lze pozorovat průměrný nárůst teplot (scénář-současnost), který se v průměru pohybuje od 1,6 do 2,2 °C. Důležité je však zmínit, že změny nejsou rozloženy pravidelně v průběhu roku a k největším změnám na území České republiky dle většiny klimatických modelů dochází v letních měsících. U srážkových úhrnů je situace trochu jiná. Pozorované změny srážkových úhrnů se spíše zvyšují (většinou do cca 10 %), výjimkou je cca 5% snižování srážek v jarním (střední a severní Čechy) a letním (severní Morava) období. Pozorované změny srážek jsou nicméně pouze výjimečně statisticky významné - jde zejména o zvýšení zimních srážek pro několik povodí. Pro výhledová období jsou již změny pro řadu povodí významné, zejména pokles v letním období (cca do 20 %) dle

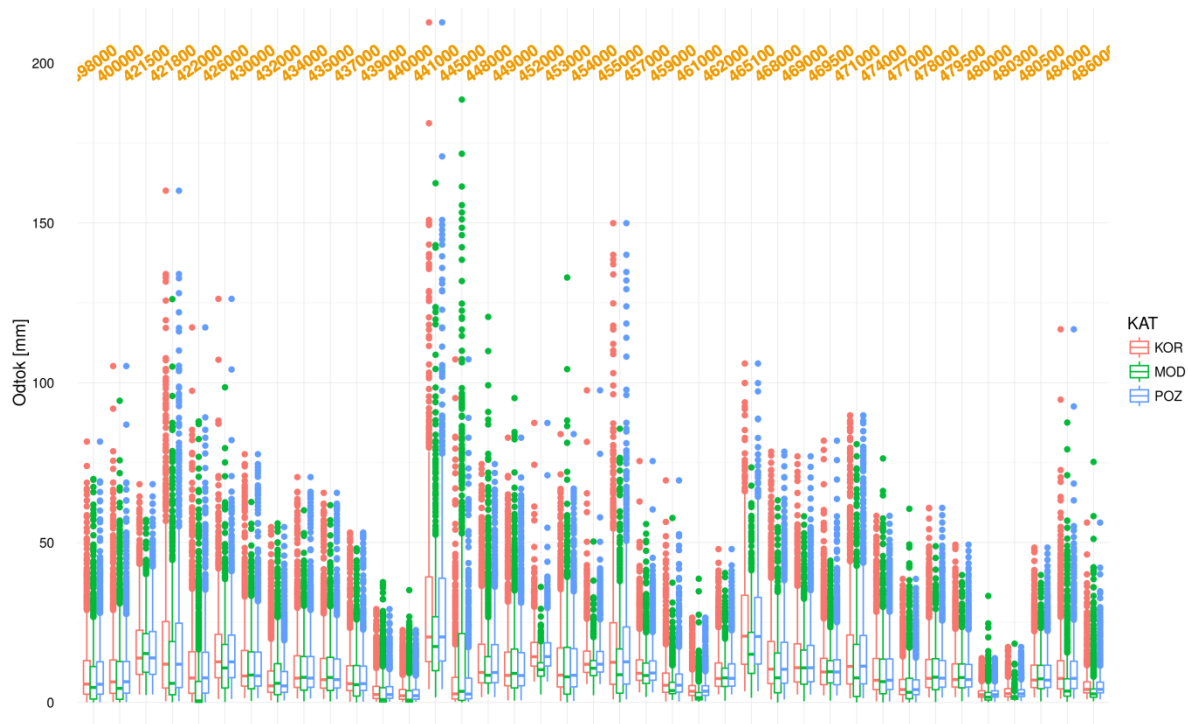
rSCEN1 a rSCEN2 a růst v zimním období (cca 10-20%) dle rSCEN2 a rSCEN3. Dominantní pozorovanou změnou je však zvyšování potenciální i skutečné evapotranspirace v zimním období, které souvisí s oteplováním a dobrou dostupností vody v zimním období. Zároveň evapotranspirace roste v jarním období i v roční bilanci, zejména v jižní polovině republiky. Značné zvýšení zimní evapotranspirace je typické i pro scénáře klimatické změny (referenční i ostatní scénáře ze souboru simulací). Ke zvyšování dochází i v ostatních ročních obdobích, kromě léta, kdy je výpar limitován dostupností vody. U pozorovaných změn celkového odtoku za období 1961-2010 dochází spíše ke stagnaci či mírnému růstu celkového odtoku. Pouze v letním období je pozorováno na větší části území ČR snížení odtoku. Pro projekce je možné konstatovat statisticky významné snížení odtoku v jarním období (cca 20 %) pro řadu povodí dle všech referenčních scénářů a zvýšení odtoku v zimním období dle rSCEN2 a rSCEN3. V letním období dochází k poklesu odtoků dle všech tří scénářů. Pro rSCEN1 a rSCEN2 lze konstatovat pokles pro jarní a podzimní období. Pro roční odtokové výšky platí, že dle rSCEN1 (ALA_ARP) dochází k významnému poklesu na celém území, dle rSCEN2 (CLM_Q0) na části území a dle rSCEN3 (REMO_EH5) nejsou změny výrazné. Relativní změny jsou uvedeny na obrázku 3.



Obrázek 3 Relativní změny odtokových výšek

Na obrázku 4 jsou zobrazeny boxploty odtokových výšek pro jednotlivé bilanční profily. Každý profil je reprezentován třemi řadami: modrá barva nám udává rozdělení průtoků za kalibrační období (převážně 1981-2008), zelená barva modelované odtoky za období 1961-2010 a červená barva poté korigované modelované odtoky. Korekce byla provedena z důvodu nadlepšení nízkých modelovaných odtoků, které neodpovídaly realitě, a následně byly vstupem do modelu vodohospodářské soustavy. Je možné pozorovat kvantilové sladění

korigovaných modelovaných odtoků s pozorováním. Modifikovanou metodou byly korigovány i odtokové výšky pro jednotlivé scénáře.



Obrázek 4 Porovnání odtoků korigovaných kvantilovou metodou pro současné podmínky

Vodohospodářská bilance

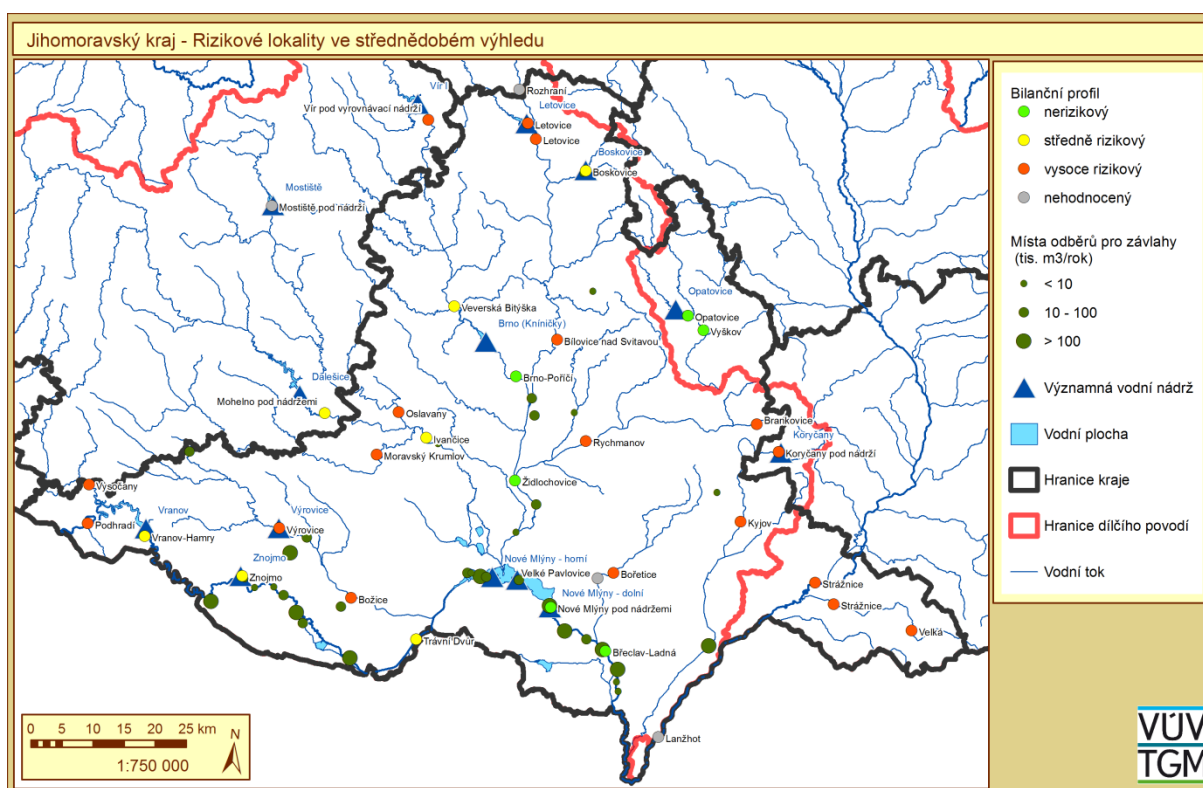
Z hlediska střednědobého výhledu k roku 2050 lze posuzované lokality (vodní nádrže, profily na vodních tocích případně vodní toky či jejich úseky) orientačně rozdělit na nerizikové, středně rizikové a vysoce rizikové. U nerizikových lokalit jsou pro všechny posuzované scénáře klimatické změny v příslušných bilančních profilech dosaženy zabezpečení doporučené ČSN 75 2405 a lokality tak poskytují určitý potenciál pro zajištění i případných zvýšených požadavků na užívání (odběry) vod. U vysoce rizikových lokalit není u žádného z posuzovaných scénářů dopadu klimatické změny dosažena nejnižší doporučená zabezpečení podle trvání 95 % a lokality tak budou ve střednědobém výhledu vzhledem k stávajícím požadavkům na užívání vod pravděpodobně deficitní. Mezi středně rizikové jsou zařazeny lokality, kde zabezpečení podle trvání 95 % není dosaženo u některého z posuzovaných scénářů nebo zabezpečení může být nedostatečné s ohledem na charakter užívání vod (např. vodárenské odběry nebo odběry pro jadernou elektrárnu). U těchto lokalit nelze předpokládat potenciál pro zajištění i případných zvýšených požadavků na odběry vody.

Jako vysoce rizikové byly identifikovány lokality dolní části Moravy, Velička, Rokytná, Litava, dolní úsek Oslavy, Želetavka, Dyje před vodní nádrží Vranov a úsek Svratky před vodní nádrží Brno včetně nádrže vodní Víř. Za středně rizikové lze považovat dolní úsek Jihlavy včetně vodního díla Dalešice-Mohelno, Bělou včetně vodní nádrže Boskovice a úsek Dyje před vodním dílem Nové Mlýny včetně vodní nádrže Vranov. Za nerizikové (resp. bilančně aktivní) lze naopak považovat vodní toky Malá Haná a Haná včetně vodní nádrže Opatovice, dolní úsek Svratky včetně vodní nádrže Brno a dolní úsek Dyje včetně vodního díla Nové Mlýny. Vyhodnocená zabezpečení minimálních průtoků v bilančních profilech je vedena v tabulce 1. Rizikové lokality jsou zobrazeny na obrázku 5.

Tabulka 1 Zabezpečení minimálních průtoků v bilančních profilech

Bilanční profil	Vodní tok	Minimální průtok [m ³ .s ⁻¹]	Současné podmínky	Scénář klimatické změny			
				rSCEN3	rSCEN2	rSCEN1	
				Zabezpečení podle trvání [%]			
Opatovice	Malá Haná	0,016	99,9	99,9	99,9	99,9	
Vyškov	Haná	0,063	99,9	99,9	99,9	99,9	
Strážnice	Morava	7,455	99,9	91,9	91,4	90,2	
Velká	Velička	0,068	85,2	76,4	66,9	67,4	
Strážnice	Velička	0,085	88,1	81,9	78,4	78,9	
Podhradí	Dyje	0,760	99,9	85,6	84,2	85,7	
Vysočany	Želetavka	0,135	97,7	76,7	75,7	74,6	
Vranov-Hamry	Dyje	1,000	99,9	96,7	96,7	95,2	
Znojmo	Dyje	1,832	99,9	96,2	95,9	94,6	
Trávní Dvůr	Dyje	2,280	99,9	96,7	96,4	95,6	
Výrovice	Jevišovka	0,050	99,9	92,9	93,6	94,1	
Božice	Jevišovka	0,120	99,9	92,6	94,7	93,7	
Víř pod vyrov. nádrží	Svratka	0,630	99,9	94,9	95,2	93,2	
Veverská Bitýška	Svratka	1,160	99,9	97,2	96,7	95,6	
Brno-Poříčí	Svratka	1,266	99,9	98,6	98,7	98,1	
Letovice	Křetínka	0,110	98,7	92,6	92,2	87,9	
Letovice	Svitava	0,850	95,7	90,9	87,4	80,2	
Boskovice	Bělá	0,034	99,9	98,1	97,6	96,9	
Bílovice nad Svitavou	Svitava	1,440	99,9	94,9	93,2	90,9	
Brankovice	Litava	0,031	94,1	92,9	73,4	77,6	
Rychmanov	Litava	0,189	98,4	88,7	83,7	84,2	
Židlochovice	Svratka	3,390	99,9	98,7	98,7	98,4	
Mohelno pod nádržími	Jihlava	0,968	99,9	97,7	96,7	96,2	
Oslavany	Oslava	0,573	95,1	76,6	75,9	75,1	

Bilanční profil	Vodní tok	Minimální průtok [m ³ .s ⁻¹]	Současné podmínky	Scénář klimatické změny			
				rSCEN3	rSCEN2	rSCEN1	
			Zabezpečení podle trvání [%]				
Moravský Krumlov	Rokytná	0,179	96,9	77,1	76,6	77,4	
Ivančice	Jihlava	1,650	99,9	97,2	97,1	96,6	
Bořetice	Trkmanka	0,080	96,1	85,4	78,4	79,7	
Nové Mlýny pod nádržími	Dyje	8,000	99,9	99,2	99,2	99,4	
Břeclav-Ladná	Dyje	7,582	99,9	99,2	99,6	99,4	
Koryčany pod nádrží	Kyjovka	0,030	99,9	99,1	89,4	92,1	
Kyjov	Kyjovka	0,064	99,9	99,4	91,6	94,4	



Obrázek 5 Rizikové lokality

Diskuze

Výsledky posouzení možných dopadů klimatické změny na dostupnost vodních zdrojů jsou přirozeně zatíženy jistou mírou nejistoty. Nejistota predikce dopadů klimatické změny na průtoky je reflektována volbou více možných scénářů, počátečními a okrajovými podmínkami klimatických modelů a jejich strukturou. Dalšími nejistotami je výběr korekce

systematických chyb klimatických modelů a struktura hydrologického modelu. Ze studií porovnávajících podíl jednotlivých zdrojů nejistot na celkovou nejistotu v hydrologickém modelování vyplývá, že nejistota pramenící z modelování budoucího klimatu (struktura modelu) značně převyšuje nejistotu svázanou s volbou emisního scénáře nebo nejistotu vyplývající z hydrologického modelování. Celková nejistota promítnutá do výsledku hydrologického modelování je značná.

Odběry vody jsou limitovány požadavkem na zachování ekologické funkce vodních toků. Tento požadavek je v současnosti zajištěn prostřednictvím tzv. minimálních zůstatkových průtoků. V současné době je připravováno nařízení vlády, které by mělo způsob stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků přiblížit požadavkům Rámcové směrnice pro vodní politiku EU a směrným dokumentům pro její implementaci (European Commission, 2015) a přispět k naplnění požadavků směrnice na dosažení dobrého ekologického stavu. V této oblasti lze tedy očekávat změny, které možnost využívání vodních zdrojů bez újmy na ekologický stav povrchových vod mohou ovlivnit. V současné době rovněž nejsou v dostatečné podrobnosti údaje o požadavcích na užívání vod ve střednědobém výhledu. To se týká nejen odběrů vod ale i zejména případného dalšího využití vodních nádrží (povodňová ochrana, hydroenergetika, rekreace apod.).

Závěr

Přes značnou nejistotu odhadů budoucích změn meteorologických veličin, která je ovlivněna nejistotami uvedenými v předchozí kapitole, je možno na modelovaných povodích Jižní Moravy ukázat negativní vliv změn klimatu na průtoky, a to v případě všech uvažovaných scénářů. Vlivem vyšších teplot v zimním období se redukuje zásoba vody ve sněhové pokrývce a zvyšuje se potenciální evapotranspirace, což má za důsledek nárůstu aktuálního výparu v zimním a v jarním období, v létě se aktuální výpar víceméně nemění (není dostupná voda).

Z výsledků studie dále vyplývá, že zatímco za současných podmínek jsou požadavky na užívání vody a zachování minimálních průtoků dostatečně zabezpečeny, pro varianty řad průtoků vycházející ze scénářů klimatických změn dojde k značnému vlivu na plnění zásobní funkce vodohospodářské soustavy. Požadavky na užívání vody a zachování minimálních průtoků nejsou dostatečně zajištěny u 65 % hodnocených profilů pro variantu rSCEN1, u 61 % profilů pro variantu rSCEN2 a u 54 % profilů pro variantu rSCEN3.

Důležitým aspektem může být rozdělení priorit užívání vody v období zemědělského a hydrologického sucha, zejména v této oblasti, kde se očekává nárůst odběrů pro závlahy. Této problematice by se měl věnovat následující výzkum.

Literatura

ČSN 75 2405 Vodohospodářské řešení vodních nádrží

European Commission. Common Implementation Strategy for The Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance document No. 31 Ecological flows in the implementation of the Water Framework, Luxembourg 2015, 106 p. ISBN 978-92-79-45758-6.

Generel LAPV (2011) Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území. Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo životního prostředí, Praha, září 2011.

Gudmundsson, L., Bremnes, J., Haugen, J., Engen-Skaugen, T. (2012) Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations—a comparison of methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3383–3390.

Horáček, S., Rakovec, O., Kašpárek, L., Vizina, A. (2009) Vývoj modelu hydrologické bilance BILAN. *VTEI*, 51(mimořádné číslo I), 2–5, příloha Vodního hospodářství 2009(11).

Metodický pokyn MZe ČR pro sestavení vodohospodářské bilance oblasti povodí čj. 250248/2002-6000 ze dne 28. 8. 2002.

Picek, J., Vyskoč, P., Zeman, V. (2008) Simulační model množství povrchových vod: zásobní funkce vodohospodářské soustavy. *VÚV TGM, v.v.i.*

Tallaksen, L. M., van Lanen, H. A. J. (2004) *Hydrological Drought. Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Elsevier, Amsterdam.

Štěpánek, P., Zahradníček, P., Huth, R. (2011) Interpolation techniques used for data quality control and calculation of technical series: an example of a Central European daily time series. *IDOJÁRÁS - Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 115(1–2), 87–98.

Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu v povodí Moravy (2008) *VÚV TGM, v.v.i., pobočka Brno.*

Věstník MŽP, Metodický pokyn OOV MŽP 9/1998 částka 5 ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích

Vizina, A., Hanel, M., Novický, O., Treml, P. (2010) Experience from Simulation of Climate Impacts on Water Regime in Monthly and Daily Time Step. BALWOIS Conference, Ohrid 2010.

Vizina, A., Hanel, M. (2011) Eliminace ovlivnění průtoků pomocí propojeného modelu hydrologické a vodohospodářské bilance. VTEI, 53(3), 20–22, příloha Vodního hospodářství 2011(11).

Vizina, A., Horáček, S., Hanel, M. (2015) Nové možnosti modelu BILAN. VTEI, 57, č.3.

Vyhláška MZe ČR č. 431/2001 Sb. o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci.

Poděkování

Podporováno grantem z Islandu, Lichtenštejnska a Norska v rámci projektu „Komplexní plánovací, monitorovací, informační a vzdělávací nástroje pro adaptaci území na dopady klimatické změny s hlavním zřetelem na zemědělské a lesnické hospodaření v krajině“ (číslo projektu EHP-CZ02-OV-01-039-2015).

Kontakt:

Ing. Petr Vyskoč

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.

Podbabská 30/2582, 160 00 Praha 6, Česká republika

+420 220 197 425, petr_vyskoc@vuv.cz

Vztah dešťových srážek a zaplevelení ozimé pšenice v podmínkách odlišných osevních postupů

Relationship between precipitation and weed infestation in winter wheat in conditions of different crop sequences

Jan Winkler¹, Helena Hanusová¹, Alexandr Neischl¹, Pavel Hledík²,

¹*Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav biologie rostlin*

²*Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha – Ruzyně*

Abstrakt

Tento příspěvek se věnuje vztahu srážek v měsících leden, únor a březen a zaplevelení ozimé pšenice. Polní pokus byl založen v roce 1989 na pozemcích polní pokusné stanice v Ivanovicích na Hané Výzkumným ústavem rostlinné výroby v Praze – Ruzyni (ČR). Plodiny jsou zde pěstovány ve třech osevních postupech s rozdílným podílem obilnin. Zaplevelení ozimé pšenice bylo hodnoceno v 7 letech (2001, 2002, 2004, 2008, 2009, 2010, 2011). Výsledky byly zpracovány mnohorozměrnými analýzami ekologických dat DCA (*Detrended Correspondence Analysis*), CCA (*Canonical Correspondence Analysis*). V průběhu sledování bylo nalezeno 26 druhů plevelů. Z výsledků a následně provedené statistické analýzy je zřejmý vztah mezi zaplevelením ozimé pšenice a rozdílech úhrnů srážek ve sledovaných letech.

Klíčová slova: plevel, ozimá pšenice, úhrny srážek, osevní postupy

Abstract

This paper focuses on the relationship between precipitation in January, February and March, and weed infestation in winter wheat. Field experiment was established on lands of field experimental station, managed by Crop Research Institute in Prague-Ruzyně, in Ivanovice na Hané, in 1989. Crops are grown in three sequences with different proportion of cereals. Weed infestation of winter wheat was evaluated for seven years (2001, 2002, 2004, 2008, 2009, 2010, 2011). The results were processed using multivariate analysis of ecological data DCA (*Detrended Correspondence Analysis*) and CCA (*Canonical Correspondence Analysis*). A total of 26 weed species were found within the monitored period. Link between weed

infestation of winter wheat and precipitation is obvious according to the results and conducted statistical analysis.

Keywords: weeds, winter wheat, precipitation, crop sequences

Úvod

Pšenice ozimá je nejvýznamnější polní plodinou pěstovanou v České republice, a to na přibližně čtvrtině orné půdy. Radíme ji mezi tzv. tržní komodity, které jsou pro většinu zemědělských podniků ekonomicky v naprosto zásadní pozici. V České republice je pěstována téměř na celém jejím území, což zajišťuje výraznou variabilitu půdně-klimatických podmínek a do značné míry ovlivňuje dosažení parametrů kvality požadovaných pro různé způsoby využití pšenice (potravinářské, krmivářské, technické, energetické), (Dukát, Modlitbová, 2007).

Pro efektivní hospodaření je potřeba správně kombinovat intenzitu vstupů (výši nákladů) s průběhem počasí, které ovlivňuje efektivnost vstupů. Důležitou nákladovou položkou jsou prostředky ochrany rostlin. Určení intenzity vstupů pro dané půdní a povětrnostní podmínky ve vztahu k možnostem zpeněžení produkce je z tohoto hlediska klíčové (Bečvářová, 2006).

Obilniny naprosto převažují v osevních postupech, tudíž je nemožné se vyhnout jejich pěstování těsně za sebou. To tvoří dobré podmínky pro rozvoj velkého množství plevelných druhů, a to činí použití herbicidů naprosto nevyhnutelné (Kazda et al., 2010).

Střídání plodin je zatím nejefektivnějším nalezeným způsobem k udržování nezaplevelených polních ploch. Žádná jiná metoda kontroly zaplevelení, mechanická, chemická, či biologická, není tak ekonomicky výhodná a snadno praktikovatelná jako dobře nastavený sled postupné kultivace půdy a pěstování plodin (Leighty, 1938).

Regulaci zaplevelení je nutné provádět efektivně a mít integrovaný přístup. V rámci Integrovaného řízení regulace zaplevelení (IWM-integrated weed management) se jedná o integraci efektivních, environmentálně bezpečných a sociálně akceptovatelných taktik, které redukuje zaplevelení pod ekonomicky škodlivou hranici (Thill et al., 1991) IWM zahrnuje šlechtění plodin, hnojení, osevní sledy, chemickou a biologickou kontrolu kvality půdy k snížení plevelné půdní zásoby a zvýšení vlastních výnosů (Swanton a Weise, 1991).

Součástí této koncepce je i objasnění vztahu meteorologických podmínek a zaplevelení ozimé pšenice. Především využití sledovaných veličin (srážek) k predikci zaplevelení. Tento

příspěvek se věnuje vztahu srážek v měsících leden, únor a březen a zaplevelení ozimé pšenice.

Materiál a metody

Pokusný pozemek se nachází v katastrálním území obce Ivanovice na Hané, které patří do geomorfologické oblasti Vyškovská brána. Terén je převážně rovinný až mírně svažité. Průměrná nadmořská výška je přibližně 230 metrů. Katastrální území Ivanovice na Hané patří do řepařské výrobní oblasti a do teplého a mírně suchého klimatického regionu. Údaje o srážkách a o teplotách byly použity z meteorologické stanice Ivanovice na Hané. Dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek činí 564 mm, dlouhodobý průměr teplot je 8,6 °C. Na pokusném pozemku se vyskytuje z půdních typů černozem silně smytá a z půdních druhů hlinitá půda.

Polní pokus byl založen v roce 1989 na pozemcích polní pokusné stanice v Ivanovicích na Hané Výzkumným ústavem rostlinné výroby v Praze – Ruzyni. Plodiny jsou zde pěstovány ve třech osevních postupech s rozdílným podílem obilnin:

První osevní postup má podíl obilnin 33,3 %, jsou zde pěstovány následující plodiny v tomto pořadí: vojtěška první užitkový rok, vojtěška druhý užitkový rok, **ozimá pšenice**, kukuřice na siláž, cukrovka a jarní ječmen.

Druhý osevní postup má podíl obilnin 50,0 % a jsou zde pěstovány plodiny v tomto pořadí: hrách, kukuřice na siláž, **ozimá pšenice**, ozimá pšenice, cukrovka, jarní ječmen.

Třetí osevní postup má podíl obilnin 66,6 %, jsou zde pěstovány tyto plodiny v tomto pořadí: ozimá pšenice, hrách, **ozimá pšenice**, jarní ječmen, cukrovka, jarní ječmen.

V rámci pokusu jsou porosty sledovaného jarního ječmene použity čtyři varianty základního zpracování půdy: *Orba do 0,22 m* (varianta s klasickou technologií a s orbou na hloubku 0,22 m ± 10 %), *Orba do 0,15 m* (varianta s orbou na hloubku 0,15 m ± 10 %), *Přímé setí* (varianta se setím do nezpracované půdy), *Diskování* (varianta se zpracováním půdy talířovým nářadím do hloubky 0,1 m ± 10 %).

Dlouhodobé průměry srážek za vybrané měsíce a měsíční úhrny srážek ve sledovaných letech jsou uvedeny v Tab. 1. Ke statistickému zpracování byly využity vypočtené rozdíly mezi měsíčními úhrny srážek a dlouhodobými průměry za jednotlivé.

Zaplevelení bylo hodnoceno v 7 letech (2001, 2002, 2004, 2008, 2009, 2010, 2011) v porostech ozimé pšenice. Byla použita početní metoda, počet jedinců byl zjišťován na plochách 1 m², v šesti opakováních pro každou variantu zpracování půdy, plodinu a rok. Vyhodnocování bylo prováděno vždy před aplikací herbicidů ve fázi odnožování jarního ječmene. Názvy nalezených druhů byly použity podle Kubáta et al. (2002).

Ke zjištění vlivu rozdílů v měsíčních úhrnech srážek na jednotlivé druhy plevelů, které se vyskytovaly na polních pokusech, byly použity mnohorozměrné analýzy ekologických dat. Výběr optimální analýzy se řídil délkou gradientu (*Lengths of Gradient*), zjištěného segmentovou analýzou DCA (*Detrended Correspondence Analysis*). Dále byla použita kanonická korespondeční analýza (*Canonical Correspondence Analysis, CCA*). Při testování průkaznosti pomocí Monte-Carlo testem bylo propočítáno 499 permutací. Data byla zpracována pomocí počítačového programu Canoco 4.0. (Ter Braak, 1998). Statistické zpracování bylo provedeno samostatně pro každou variantu osevního postupu, varianty zpracování půdy byly v do analýz zadány jako kovariáta, tím byl eliminován jejich vliv při zpracovávání dat.

Tab. 1. Úhrny srážek za vybrané měsíce ve sledovaných letech

Roky	Měsíční úhrny srážek vybraných měsíců (mm)			Rozdíl mezi měsíčním úhrnem srážek a dlouhodobým průměrem použitým v analýzách (mm)		
	leden	únor	březen	leden	únor	březen
2001	39	11	61	14	-16	28
2002	12	31	9	-13	4	-24
2004	32	31	46	7	4	13
2008	14	14	43	-11	-13	10
2009	29	59	85	4	32	52
2010	51	22	6	26	-5	-27
2011	13	2	35	-12	-25	2
Dlouhodobý průměr	25	27	33			

Výsledky

V průběhu sledování bylo nalezeno 26 druhů plevelů. Průměrné počty plevelů v porostech ozimé pšenice ve sledovaných letech jsou uvedeny v Tab. II. pro první osevní postup s 33,3% podílem obilnin, v Tab. III. pro druhý osevní postup s 50,0% podílem obilnin a v Tab. IV. pro třetí osevní postup s 66,6% podílem obilnin.

Výsledky vyhodnocení zaplevelení ozimé pšenice byly nejprve zpracovány pomocí analýzy DCA, která vypočetla délku gradientu (*Lengths of Gradient*). Na základě tohoto výpočtu byla k dalšímu zpracování zvolena a kanonická korespondenční analýza CCA. Analýza CCA vymezuje prostorové uspořádání jednotlivých druhů plevelů a rozdílů v úhrnech srážek za vybrané měsíce a to na základě dat, která byla o frekvenci výskytu plevelných druhů zjištěna. Toto je následně graficky vyjádřeno pomocí ordinačního diagramu. Druhy plevelů jsou zobrazeny body odlišného tvaru a barvy. Rozdíly v měsíčních úhrnech srážek za vybrané měsíce jsou zobrazeny pomocí vektorů, kdy délka vektoru znázorňuje hodnotu rozdílu úhrnů srážek.

Výsledkem hodnocení DCA zaplevelení porostů ozimé pšenice pěstované v prvním osevním postupu (33,3% podíl obilnin) je délku gradientu, která byla 3,643. Výsledky analýzy CCA, která hodnotila vliv rozdílu ve srážkách vybraných měsíců na výskyt plevelů v prvním osevním postupu, je signifikantní na hladině významnosti $\alpha = 0,002$. Na základě analýzy CCA (Obr. 1) je možné nalezené druhy plevelů rozdělit do 4 skupin.

První skupina je představovaná druhy, které v podmínkách osevních postupu s 33,3% podílem obilnin, se více vykytovaly za vyššího rozdílu srážek v měsíci lednu: *Capsella bursa-pastoris*, *Fallopia convolvulus*, *Geranium pusillum*, *Stellaria media*, *Thlaspi arvense*, *Veronica persica*.

Tab. II. Průměrný počet plevelů v ozimé pšenici pěstované v osevním postupu s 33,3% zastoupením obilnin v průběhu sledovaných let

Druhy	Zkratky	Rok						
		2001	2002	2004	2008	2009	2010	2011
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	<i>Cap burs</i>	0.67	0.27	1.98			1.06	0.02
<i>Cirsium arvense</i>	<i>Cir arve</i>					0.23		0.15
<i>Fallopia convolvulus</i>	<i>Fal conv</i>		0.06		0.17	0.10	4.00	0.13
<i>Fumaria officinalis</i>	<i>Fum offi</i>	0.25	0.08		0.06		0.50	0.63
<i>Galium aparine</i>	<i>Gal apar</i>	0.08	0.25	0.02		0.50	0.21	0.58
<i>Geranium pusillum</i>	<i>Ger pusi</i>	0.02					0.23	
<i>Chenopodium album</i>	<i>Che albu</i>			0.04		0.02		
<i>Lamium amplexicaule</i>	<i>Lam ampl</i>	3.88	3.23	11.15	1.96		6.81	12.48
<i>Lolium perenne</i>	<i>Lol pere</i>					1.29		
<i>Medicago sativa</i>	<i>Med sati</i>	8.35	9.79	9.48	19.06	10.08	0.85	2.56
<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Pap rhoe</i>	0.02	0.04					0.04

<i>Phacelia tanacetifolia</i>	<i>Pha tana</i>							0.02
<i>Persicaria lapathifolia</i>	<i>Per lapa</i>	0.02	0.29					
<i>Poa annua</i>	<i>Poa annu</i>	0.02			0.02	0.13		
<i>Polygonum aviculare</i>	<i>Pol avic</i>				0.02	0.13	0.02	0.13
<i>Silene noctiflora</i>	<i>Sil noct</i>							0.02
<i>Stellaria media</i>	<i>Ste medi</i>	0.79	0.46	0.15	0.02		1.67	0.10
<i>Taraxacum officinale</i>	<i>Tar Rude</i>					0.02		
<i>Thlaspi arvense</i>	<i>Thl arve</i>	0.33	0.54	0.06	0.15		0.38	
<i>Euphorbia helioscopia</i>	<i>Eup heli</i>							
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	<i>Tri inod</i>	0.04						
<i>Veronica hederifolia</i>	<i>Ver hede</i>							0.15
<i>Veronica persica</i>	<i>Ver pers</i>	0.06	0.15	2.13	1.15	0.10	1.92	0.08
<i>Veronica polita</i>	<i>Ver poli</i>	5.60	4.63	1.35	8.29	0.33	2.60	0.77
<i>Viola arvensis</i>	<i>Vio arve</i>	0.33	0.06	0.73	0.27		1.13	1.52
Počet druhů		4.73	4.31	4.58	3.44	2.15	6.06	3.73
Počet jedinců		20.48	19.85	27.08	31.17	12.94	21.38	19.38

Tab. III. Průměrný počet plevelů v ozimé pšenici pěstované v osevním postupu s 50,0% zastoupením obilnin v průběhu sledovaných let

Druhy	Zkratky	Rok						
		2001	2002	2004	2008	2009	2010	2011
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	<i>Cap burs</i>	0.08	0.06	0.06			0.13	
<i>Cirsium arvense</i>	<i>Cir arve</i>		0.02		0.42	0.38	0.50	
<i>Consolida orientalis</i>	<i>Cona orie</i>				0.02			
<i>Fallopia convolvulus</i>	<i>Fal conv</i>		0.08	0.21	0.06	0.21	0.02	0.13
<i>Fumaria officinalis</i>	<i>Fum offi</i>	0.17	0.04	0.17		0.04	0.71	0.10
<i>Galium aparine</i>	<i>Gal apar</i>	0.38	2.79	0.44		0.42	1.21	1.88
<i>Geranium pusillum</i>	<i>Ger pusi</i>	0.02		0.02				
<i>Chenopodium album</i>	<i>Che albu</i>						0.04	
<i>Lamium amplexicaule</i>	<i>Lam ampl</i>	0.90	0.52	1.35	0.04		0.40	1.29
<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Pap rhoe</i>	0.02	0.04	0.13			0.46	0.40
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	<i>Pha tana</i>							0.17
<i>Persicaria lapathifolia</i>	<i>Per lapa</i>		0.04					
<i>Poa annua</i>	<i>Poa annu</i>					0.06		
<i>Polygonum aviculare</i>	<i>Pol avic</i>					0.15		
<i>Stellaria media</i>	<i>Ste medi</i>	0.33	0.13	0.10			0.10	0.54
<i>Taraxacum officinale</i>	<i>Tar Rude</i>	0.02	0.02					
<i>Thlaspi arvense</i>	<i>Thl arve</i>	0.19	0.13	0.08				0.10
<i>Euphorbia helioscopia</i>	<i>Eup heli</i>						0.06	

<i>Tripleurospermum inodorum</i>	<i>Tri inod</i>	0.02						
<i>Veronica hederifolia</i>	<i>Ver hede</i>						0.02	0.04
<i>Veronica persica</i>	<i>Ver pers</i>		0.13	0.19	0.29	0.04	0.40	0.25
<i>Veronica polita</i>	<i>Ver poli</i>	2.50	1.75	0.04	2.00	0.19	0.75	0.54
<i>Viola arvensis</i>	<i>Vio arve</i>	3.21	0.17	0.31	0.69	0.35	0.85	0.85
Počet druhů		3.58	2.60	2.31	1.88	1.48	3.27	3.50
Počet jedinců		7.83	5.92	3.10	3.52	1.83	5.65	6.29

Do druhé skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 33,3% podílem obilnin, se více vykytovaly vyššího rozdílu srážek v měsíci únoru: *Cirsium arvense*, *Chenopodium album*, *Lolium perenne*, *Poa annua*, *Taraxacum Ruderalia*.

Do třetí skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 33,3% podílem obilnin, se více vykytovaly za vyššího rozdílu srážek v měsíci březnu: *Galium aparine*, *Medicago sativa*, *Polygonum aviculare*.

Druhy řazené do čtvrté skupiny jsou druhy, které v podmínkách osevních postupu s 33,3% podílem obilnin, byly více ovlivněny jinými faktory než rozdílem ve srážkách: *Fumaria officinalis*, *Lamium amplexicaule*, *Papaver rhoeas*, *Phacelia tanacetifolia*, *Persicaria lapathifolia*, *Silene noctiflora*, *Euphorbia helioscopia*, *Tripleurospermum inodorum*, *Veronica hederifolia*, *Veronica polita*, *Viola arvensis*.

Tab. IV. Průměrný počet plevelů v ozimé pšenici pěstované v osevním postupu s 66,6% zastoupením obilnin v průběhu sledovaných let

Druhy	Zkratky	Rok						
		2001	2002	2004	2008	2009	2010	2011
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	<i>Cap burs</i>	0.27		0.06				
<i>Cirsium arvense</i>	<i>Cir arve</i>		0.54		0.40	0.31	0.46	0.21
<i>Fallopia convolvulus</i>	<i>Fal conv</i>		0.13		0.15	0.10	0.02	0.06
<i>Fumaria officinalis</i>	<i>Fum offi</i>	0.23	0.06	0.13			0.42	
<i>Galium aparine</i>	<i>Gal apar</i>	0.38	5.42	3.54	0.02	0.29	3.94	2.90
<i>Geranium pusillum</i>	<i>Ger pusi</i>	0.04					0.02	
<i>Lamium amplexicaule</i>	<i>Lam ampl</i>	1.04	0.27	0.33			0.08	0.75
<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Pap rhoe</i>	0.02		0.38			1.25	0.23
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	<i>Pha tana</i>							0.19
<i>Persicaria lapathifolia</i>	<i>Per lapa</i>		0.02					
<i>Poa annua</i>	<i>Poa annu</i>					0.10		
<i>Polygonum aviculare</i>	<i>Pol avic</i>				0.02	0.33		0.08

<i>Silene noctiflora</i>	<i>Sil noct</i>	0.04						
<i>Stellaria media</i>	<i>Ste medi</i>	0.48	0.19	0.21			0.25	0.83
<i>Taraxacum officinale</i>	<i>Tar Rude</i>		0.02		0.04			0.02
<i>Thlaspi arvense</i>	<i>Thl arve</i>	0.10	0.02				0.04	0.02
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	<i>Tri inod</i>			0.02				0.10
<i>Veronica hederifolia</i>	<i>Ver hede</i>						0.02	0.06
<i>Veronica persica</i>	<i>Ver pers</i>		0.06	0.17	0.21		0.46	0.42
<i>Veronica polita</i>	<i>Ver poli</i>	2.21	0.25	0.17	0.65	0.27	1.54	1.58
<i>Viola arvensis</i>	<i>Vio arve</i>	0.77	0.04	0.10	0.77	0.21	1.60	2.25
Počet druhů		3.08	2.13	2.25	1.56	1.23	3.40	4.38
Počet jedinců		5.58	7.02	5.10	2.25	1.63	10.10	9.71

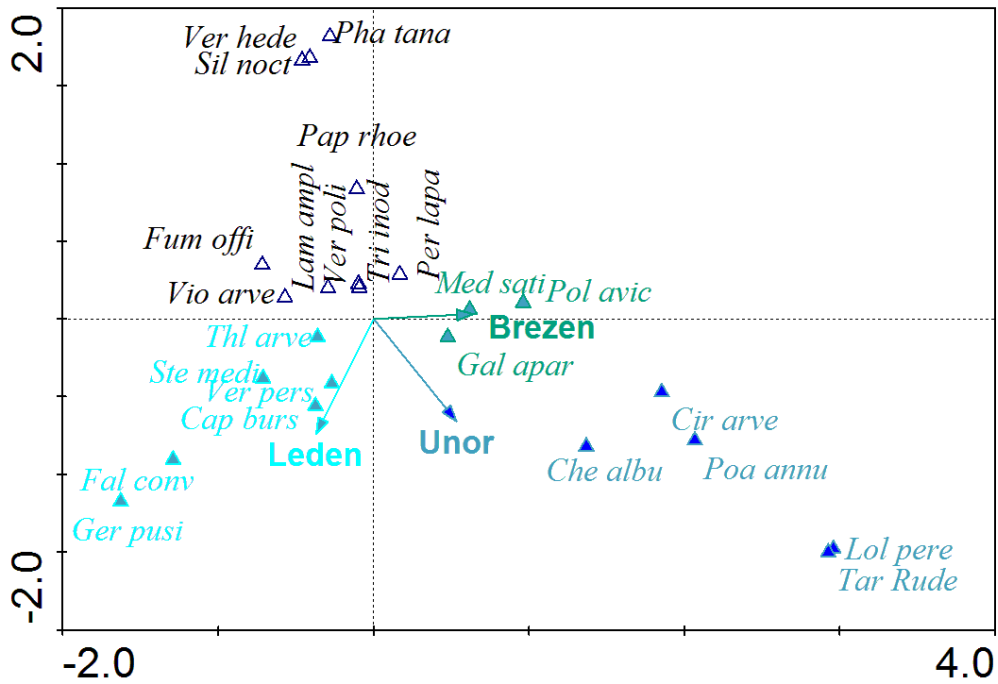
Výsledkem hodnocení DCA zaplevelení porostů ozimé pšenice pěstované ve druhém osevním postupu (50,0% podíl obilnin) je délka gradientu, která byla 5,301. Výsledky analýzy CCA, která hodnotila vliv rozdílu ve srážkách vybraných měsíců na výskyt plevelů v prvním osevním postupu, je signifikantní na hladině významnosti $\alpha = 0,002$. Na základě analýzy CCA (Obr. 2) je možné nalezené druhy plevelů rozdělit do 4 skupin.

První skupina je představovaná druhy, které v podmínkách osevních postupu s 50,0% podílem obilnin, se více vykytovaly za vyššího rozdílu srážek v měsíci lednu: *Capsella bursa-pastoris*, *Euphorbia helioscopia*, *Fumaria officinalis*, *Galium aparine*, *Chenopodium album*, *Papaver rhoeas*, *Persicaria lapathifolia*, *Taraxacum Ruderalia*, *Veronica persica*.

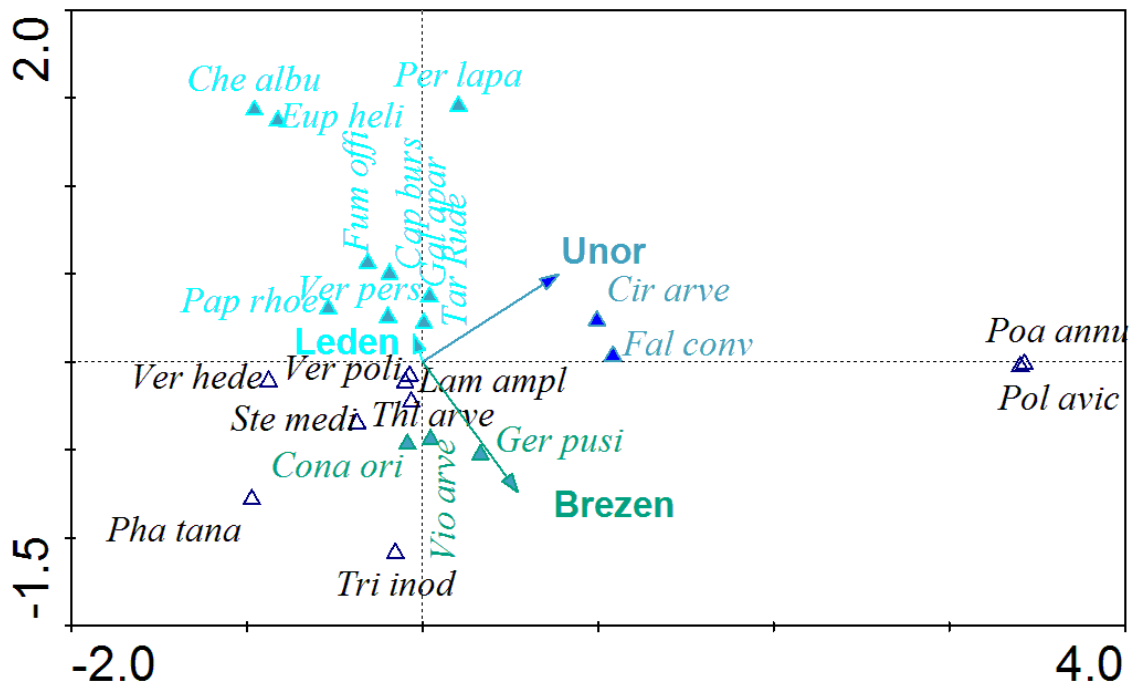
Do druhé skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 50,0% podílem obilnin, se více vykytovaly vyššího rozdílu srážek v měsíci únoru: *Cirsium arvense*, *Fallopia convolvulus*.

Do třetí skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 50,0% podílem obilnin, se více vykytovaly za vyššího rozdílu srážek v měsíci březnu: *Consolida orientalis*, *Geranium pusillum*, *Viola arvensis*.

Druhy řazené do čtvrté skupiny jsou druhy, které v podmínkách osevních postupu s 50,0% podílem obilnin, byly více ovlivněny jinými faktory než rozdílem ve srážkách: *Lamium amplexicaule* *Phacelia tanacetifolia* *Poa annua* *Polygonum aviculare* *Stellaria media* *Thlaspi arvense* *Tripleurospermum inodorum* *Veronica hederifolia* *Veronica polita*



Obr. 1 Ordinační diagram vyjadřující vztah výskytu nalezených druhů plevelů v prvním osevním postupu a rozdílů v úhrnech srážek vybraných měsíců ($Trace = 0,406$; $F\text{-ratio} = 14,195$; $P\text{-value} = 0,0020$)



Obr. 2 Ordinační diagram vyjadřující vztah výskytu nalezených druhů plevelů v druhém osevním postupu a rozdílů v úhrnech srážek vybraných měsíců ($Trace = 0,348$; $F\text{-ratio} = 5,534$; $P\text{-value} = 0,0020$)

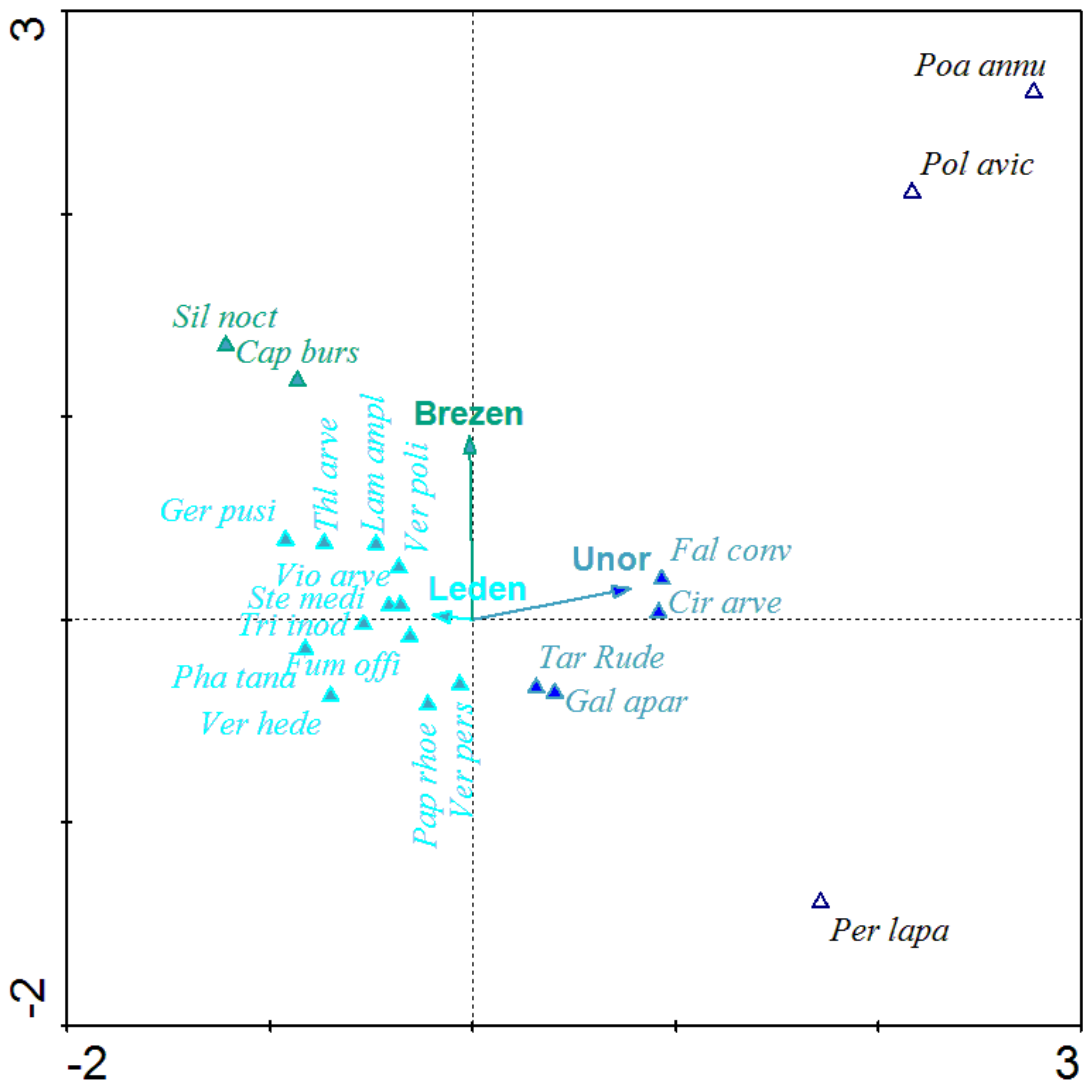
Výsledkem hodnocení DCA zaplevelení porostů ozimé pšenice pěstované ve třetím osevním postupu (66,6% podíl obilnin) je délka gradientu, která byla 5,112. Výsledky analýzy CCA, která hodnotila vliv rozdílů ve srážkách vybraných měsíců na výskyt plevelů v prvním osevním postupu, je signifikantní na hladině významnosti $\alpha = 0,002$. Na základě analýzy CCA (Obr. 3) je možné nalezené druhy plevelů rozdělit do 4 skupin.

První skupina je představovaná druhy, které v podmínkách osevních postupu s 66,6% podílem obilnin, se více vykytovaly za vyššího rozdílů srážek v měsíci lednu: *Fumaria officinalis*, *Geranium pusillum*, *Lamium amplexicaule*, *Papaver rhoeas*, *Phacelia tanacetifolia*, *Stellaria media*, *Thlaspi arvense*, *Tripleurospermum inodorum*, *Veronica hederifolia*, *Veronica persica*, *Veronica polita*, *Viola arvensis*.

Do druhé skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 66,6% podílem obilnin, se více vykytovaly vyššího rozdílů srážek v měsíci únoru: *Capsella bursa-pastoris*, *Silene noctiflora*.

Do třetí skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 66,6% podílem obilnin, se více vykytovaly za vyššího rozdílů srážek v měsíci březnu: *Cirsium arvense*, *Fallopia convolvulus*, *Galium aparine*, *Taraxacum Ruderalia*.

Druhy řazené do čtvrté skupiny jsou druhy, které v podmínkách osevních postupu s 66,6% podílem obilnin, byly více ovlivněny jinými faktory než rozdílem ve srážkách: *Persicaria lapathifolia*, *Poa annua*, *Polygonum aviculare*.



Obr. 3 Ordinační diagram vyjadřující vztah výskytu nalezených druhů plevelů ve třetím osevním postupu a rozdílů v úhrnech srážek vybraných měsíců ($Trace = 0,461$; $F\text{-ratio} = 8,322$; $P\text{-value} = 0,0020$)

Diskuze

Z výsledků a následně provedené statistické analýzy je zřejmý vztah mezi zaplevelením ozimé pšenice a rozdílech úhrnů srážek ve sledovaných měsících (rozdíl mezi měsíčním úhrnem a dlouhodobým měsíčním průměrem srážek).

Druhy *Medicago sativa* je pěstován jako předplodina v prvním osevním postupu, proto je jeho výskyt dominantní právě na této variantě. Ozimou pšenici častěji zapleveluje, pokud byl úhrn srážky v březnu vyšší, než je dlouhodobý průměr. To patrně vytváří to lepší podmínky obrůstání vojtěšky.

Druhy *Veronica polita* a *Lamium amplexicaule* se vykytovaly častěji, pokud byl úhrn srážky v lednu vyšší, než je dlouhodobý průměr, ale pouze na variantě s nejvyšší koncentrací obilnin (třetí osevní postup). Na ostatních variantách byl jejich výskyt více ovlivněn jinými faktory.

Druh *Stellaria media* se vykytoval častěji, pokud byl úhrn srážky v lednu vyšší, než je dlouhodobý průměr, a to na první a třetí variantě osevních postupů.

Vyšší srážky v lednu, než je dlouhodobý průměr podporoval výskyt druhu *Viola arvensis* a to na třetí variantě osevních postupů. Vyšší srážky v březnu, než je dlouhodobý průměr, podporoval výskyt tohoto druhu a to pouze na druhé variantě osevních postupů.

Vyšší srážky v březnu, než je dlouhodobý průměr podporoval výskyt druhu *Galium aparine* a to na první a třetí variantě osevních postupů. Vyšší srážky v lednu, než je dlouhodobý průměr, podporoval výskyt tohoto druhu a to pouze na druhé variantě osevních postupů.

Závěr

Ze sedmiletých výsledků a jejich analýzy je patrné, že existují velmi zajímavé souvislosti mezi úhrnem srážek a zaplevelení ozimé pšenice. Další studiem tohoto fenoménu nám umožní formulovat přesné závěry. Ty budou následně využity v prognóze zaplevelení ozimé pšenice na základě množství srážek v předcházejících měsících.

Literatura

DUKÁT, V., MODLITBOVÁ, E., 2007: *Kvalitní moření osiva snižuje pěstitelské riziko*. Brno. T. D. V. Dilhof, 32 s.

BEČVÁŘOVÁ, V., 2006: *Předpoklady konkurenceschopnosti zemědělských podniků v současném agrobyznysu*. In *Zborník príspevkov z medzinárodnej vedeckej konferencie Medzinárodné vedecké dni 2006*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 43-48 s. ISBN 80-8069-704-3.

KAZDA, J., et al., 2010: *Encyklopedie ochrany rostlin*. Profi Press, s. r. o., Praha, 399 s., ISBN 978-80-86726-34-2.

LEIGHTY C.E., 1938: Crop Rotation in Soils and Men. *U.S.D.A Yearbook of Agriculture*: 406-430.

THILL D.C., LISH J.M., CALLIHAN R.H. and BECHINSKI E.J., 1991: *Integrated weed management as a component of integrated pest management: A critical review*. *Weed Technol. Washington*, 5: 648-656.

SWANTON C.J., WEISE S.F., 1991: *Integrated weed management: The rationale and approach*. *Weed Technol. Washington*, 5: 657-663.

KUBÁT, K.; HROUDA, L.; CHRTEK, J. jun.; KAPLAN, Z.; KIRSCHNER, J. ŠTĚPÁNEK, J. [eds.] 2002: *Klíč ke květeně České republiky*. Academia. Praha. 928 s. ISBN 80-200-0836-5.

TER BRAAK C. J. F., 1998: CANOCO – A FORTRAN program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis (version 4.0.). Report LWA-88-02 Agricultural Mathematics Group. Wageningen.

Poděkování

Príspevek vznikl za finanční podpory projektu NAZV QJ1530373, s názvem: „Integrovaná ochrana obilnin proti patogenům, plevelům a škůdcům pro udržitelné produkce potravin, krmiv a surovin“.

Kontakt:

Ing. Jan Winkler, Ph.D.

Mendelova univerzita v Brně,

Agronomická fakulta,

Ústav biologie rostlin

Zemědělská 1,

613 00 Brno,

Česká republika,

winkler@mendelu.cz

Vztah dešťových srážek a zaplevelení jarního ječmene v podmínkách odlišných osevních postupů

Relationship between precipitation and weed infestation in spring barley in conditions if different crop sequences

Jan Winkler¹, Světlana Chovancová¹, Alexandr Neischl¹, Pavel Hledík²,

¹Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav biologie rostlin

²Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha – Ruzyně

Abstrakt

Tento příspěvek se věnuje vztahu srážek v měsících leden, únor, březen a duben a zaplevelení jarního ječmen. Polní pokus byl založen v roce 1989 na pozemcích polní pokusné stanice v Ivanovicích na Hané Výzkumným ústavem rostlinné výroby v Praze – Ruzyni (ČR). Plodiny jsou zde pěstovány ve třech osevních postupech s rozdílným podílem obilnin. Zaplevelení jarního ječmene bylo hodnoceno v 8 letech (2001, 2002, 2003, 2004, 2008, 2009, 2010, 2011). Výsledky byly zpracovány mnohorozměrnými analýzami ekologických dat DCA (*Detrended Correspondence Analysis*), CCA (*Canonical Correspondence Analysis*). V průběhu sledování bylo nalezeno 42 druhů plevelů. Výsledky a jejich analýzy ukazují na průkaznou souvislost mezi úhrnem srážek a výskytem některých druhů plevelů.

Klíčová slova: plevele, jarní ječmen, úhrny srážek, osevní postupy

Abstract

This paper focuses on the relationship between precipitation in January, February, March and April, and weed infestation in spring barley. Field experiment was established on lands of field experimental station, operated by Crop Research Institute in Prague-Ruzyně, in Ivanovice na Hané, in 1989. Crops are grown in three sequences with different proportion of cereals. Weed infestation of spring barley was evaluated for eight years (2001, 2002, 2003, 2004, 2008, 2009, 2010, 2011). The results were processed using multivariate analysis of ecological data DCA (*Detrended Correspondence Analysis*) and CCA (*Canonical Correspondence Analysis*). A total of 42 weed species were found during the monitoring. Results and analysis show a significant relationship between precipitation and incidence of some weed species.

Keywords: weeds, spring barely, precipitation, crop sequences

Úvod

Povětrnostní režim dané oblasti je vymezen nadmořskou výškou, zeměpisnou šířkou, rázem zemského povrchu a také vegetačním pokryvem (MORAVEC et al. 2004). K nejdůležitějším klimatickým podmínkám patří, vítr, srážky a sluneční záření (HRON a VODÁK 1959).

Množství srážek je na daném území jedním z určujících faktorů druhové pestrosti plevelů. Voda je významným činitelem a je důležitá pro růst, rozmnožování a přežití všech rostlin (WINKLER 2011). Srážky tedy udávají, zda na území budou růst druhy snášející více srážek (ježatka kuří noha, rdesno obojživelné), nebo druhy které snesou období sucha (pelyněk černobyly, mák vlčí), (WINKLER et al. 2001). Se zvyšující teplotou se v našich podmínkách bude vyskytovat větší množství invazivních druhů, které mají vyšší schopnost čelit stresovým podmínkám (KOCMÁNKOVÁ et al. 2009).

Na plevelná společenstva má vliv i zimní období. Zvláště výskyt vysokých nebo nízkých teplot a sněhová pokrývka ovlivňuje dormanci semen plevelných rostlin. Po chladnější zimě lze zaregistrovat vyšší výskyt ptačince prostředního. Naopak po teplejší zimě se zvyšuje výskyt svízele přítuly (WINKLER a ZIMOLKA 2011).

Nejvíce škodlivé plevele v porostech jarního ječmene jsou oves hluchý, pcháč rolní, heřmánkovité, svízel přítula aj. Konkurenční schopnost ovsa hluchého vůči jarnímu ječmeni je vysoká. Ječmen jarní se uplatňuje především jako sladovnický ječmen. Není vhodné ho pěstovat na zaplevelených pozemcích, především pýrem, ovsem hluchým a pcháčem. Velký význam má vliv předplodiny, která ovlivňuje výnos i sladovnickou hodnotu zrna (ZIMOLKA et al., 2006).

Pro velké zemědělské podniky, je dodržování pevného osevního postupu velmi těžké. Dochází tak k přetížení osevního sledu jednou často pěstovanou plodinou. Při působení střídání plodin na polní plevelné druhy se uplatňují vlivy vycházející z povahy rostliny a z charakteru zvoleného pěstování. Plodina, která v daném roce je vyseta na pozemek výrazně působí na agroekologickou situaci a na životní prostředí (KOHOUT a KOHOUTOVÁ 1993).

Při vyšším zastoupení obilnin nebo ozimých plodin v osevním klesá druhová diverzita plevelů. Současně však vzrůstá podíl plevelů, které jsou obtížně regulovatelné. Např. v porostech ozimé pšenice vzrostlo zastoupení violky rolní, svízele přítuly, pcháče osetu, atd. (WINKLER a ZIMOLKA 2011). Podle MIKULKY (2014) udržuje klasický střídavý osevní

postup rovnováhu mezi jarními a ozimými plevely a mezi jednoděložnými a dvouděložnými druhy.

Ječmen jarní má velmi krátký aplikační termín herbicidů, kdy je většina plevelů již vzešlá a neomezují odnožovací schopnost ječmene. Od začátku odnožování dochází většinou k plnému rozpouštění N hnojiv v povrchové vrstvě půdy, což zrychluje růst plevelů. Proto musí být ochrana včasná a přitom prováděná za vhodného počasí. Pozdní aplikace se odráží v poklesu počtu produktivních stébel, redukci počtu zrn v klase a tyto ztráty jsou jen obtížně kompenzované vyšší HTZ a jsou tedy nevratné (Cejtchaml, Poláková, Šilha, 2011).

Pro efektivní a udržitelnou regulaci zaplevelení je nutný integrovaný přístup. Integrované řízení regulace zaplevelení (IWM-integrated weed management). To je definováno jako integrace efektivních, environmentálně bezpečných a sociálně akceptovatelných taktik, které redukuje zaplevelení pod ekonomicky škodlivou hranici (Thill et al., 1991) IWM zahrnuje šlechtění plodin, hnojení, osevní sledy, chemickou a biologickou kontrolu kvality půdy k snížení plevelné půdní zásoby a zvýšení vlastních výnosů (Swanton a Weise, 1991).

Součástí této koncepce je i objasnění vztahu meteorologických podmínek a zaplevelení jarního ječmene. Především využití sledovaných veličin (srážek) k predikci zaplevelení. Tento příspěvek se věnuje vztahu srážek v měsících leden, únor, březen a duben a zaplevelení jarního ječmen.

Materiál a metody

Pokusný pozemek se nachází v katastrálním území obce Ivanovice na Hané, které patří do geomorfologické oblasti Vyškovská brána. Terén je převážně rovinný až mírně svažité. Průměrná nadmořská výška je přibližně 230 metrů. Katastrální území Ivanovice na Hané patří do řepařské výrobní oblasti a do teplého a mírně suchého klimatického regionu. Údaje o srážkách a o teplotách byly použity z meteorologické stanice Ivanovice na Hané. Dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek činí 564 mm, dlouhodobý průměr teplot je 8,6 °C. Na pokusném pozemku se vyskytuje z půdních typů černozem silně smytá a z půdních druhů hlinitá půda.

Polní pokus byl založen v roce 1989 na pozemcích polní pokusné stanice v Ivanovicích na Hané Výzkumným ústavem rostlinné výroby v Praze – Ruzyni. Plodiny jsou zde pěstovány ve třech osevních postupech s rozdílným podílem obilnin:

První osevní postup má podíl obilnin 33,3 %, jsou zde pěstovány následující plodiny v tomto pořadí: vojtěška první užitkový rok, vojtěška druhý užitkový rok, ozimá pšenice, kukuřice na siláž, cukrovka a **jarní ječmen**.

Druhý osevní postup má podíl obilnin 50,0 % a jsou zde pěstovány plodiny v tomto pořadí: hrách, kukuřice na siláž, ozimá pšenice, ozimá pšenice, cukrovka, **jarní ječmen**.

Třetí osevní postup má podíl obilnin 66,6 %, jsou zde pěstovány tyto plodiny v tomto pořadí: ozimá pšenice, hrách, ozimá pšenice, jarní ječmen, cukrovka, **jarní ječmen**.

V rámci pokusu jsou porosty sledovaného jarního ječmene použity čtyři varianty základního zpracování půdy: *Orba do 0,22 m* (varianta s klasickou technologií a s orbou na hloubku 0,22 m ± 10 %), *Orba do 0,15 m* (varianta s orbou na hloubku 0,15 m ± 10 %), *Přímé setí* (varianta se setím do nezpracované půdy), *Diskování* (varianta se zpracováním půdy talířovým nářadím do hloubky 0,1 m ± 10 %).

Dlouhodobé průměry srážek za vybrané měsíce a měsíční úhrny srážek ve sledovaných letech jsou uvedeny v Tab. 1. Ke statistickému zpracování byly využity vybrané měsíčními úhrny srážek.

Tab. 1. Úhrny srážek za vybrané měsíce ve sledovaných letech

Roky	Měsíční úhrny srážek			
	leden	únor	březen	duben
2001	39	11	61	48
2002	12	31	9	21
2003	31	3	4	27
2004	32	31	46	23
2008	14	14	43	43
2009	29	59	85	6
2010	51	22	6	36
2011	13	2	35	32
Dlouhodobý průměr	25	27	33	44

Zaplevelení bylo hodnoceno v 8 letech (2001, 2002, 2003, 2004, 2008, 2009, 2010, 2011) v porostech jarního ječmene. Byla použita početní metoda, počet jedinců byl zjišťován na plochách 1 m², v šesti opakováních pro každou variantu zpracování půdy, plodinu a rok. Vyhodnocování bylo prováděno vždy před aplikací herbicidů ve fázi odnožování jarního ječmene. Názvy nalezených druhů byly použity podle Kubáta et al. (2002).

Ke zjištění vlivu vybraných měsíčních úhrnů srážek na jednotlivé druhy plevelů, které se vyskytovaly na polních pokusech, byly použity mnohorozměrné analýzy ekologických dat. Výběr optimální analýzy se řídil délkou gradientu (*Lengths of Gradient*), zjištěného segmentovou analýzou DCA (*Detrended Correspondence Analysis*). Dále byla použita kanonickou korespondeční analýzou (*Canonical Correspondence Analysis*, CCA). Při testování průkaznosti pomocí Monte-Carlo testem bylo propočítáno 499 permutací. Data byla zpracována pomocí počítačového programu Canoco 4.0. (Ter Braak, 1998). Statistické zpracování bylo provedeno samostatně pro každou variantu osevního postupu, varianty zpracování půdy byly v do analýz zadány jako kovariáta, tím byl eliminován jejich vliv při zpracovávání dat.

Výsledky

V průběhu sledování bylo nalezeno 42 druhů plevelů. Průměrné počty plevelů v porostech jarního ječmene ve sledovaných letech jsou uvedeny v Tab. II. pro první osevní postup s 33,3% podílem obilnin, v Tab. III. pro druhý osevní postup s 50,0% podílem obilnin a v Tab. IV. pro třetí osevní postup s 66,6% podílem obilnin.

Tab. II. Průměrný počet plevelů v jarním ječmeni pěstováním v osevním postupu s 33,3% zastoupením obilnin v průběhu sledovaných let

Druhy	Zkratky	Sledované roky							
		2001	2002	2003	2004	2008	2009	2010	2011
<i>Amaranthus sp.</i>	<i>Ama ssp.</i>	7.38	0.77	0.15	0.63		0.04	4.73	
<i>Anagallis arvensis</i>	<i>Ana arve</i>	0.08							
<i>Arctium tomentosum</i>	<i>Arc tome</i>					0.02			
<i>Avena fatua</i>	<i>Ave fatu</i>							0.08	
<i>Beta vulgaris</i>	<i>Beta vulg</i>						0.02	0.10	
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	<i>Cap burs</i>	0.42		0.04	0.04		0.04	0.04	0.48
<i>Cirsium arvense</i>	<i>Cir arve</i>		0.19	0.04	0.19	0.06	0.98	0.94	0.04
<i>Echinochloa crus-galli</i>	<i>Echi crus</i>	0.04	0.48	0.21	0.50		0.38	13.77	
<i>Euphorbia helioscopia</i>	<i>Eup heli</i>	0.02							
<i>Fallopia convolvulus</i>	<i>Fal conv</i>	1.46	0.35	0.54	0.04	0.23	0.04	1.02	0.48
<i>Fumaria officinalis</i>	<i>Fum offi</i>	0.44	0.13	2.02	0.56	1.83	0.02	1.67	0.42
<i>Galium aparine</i>	<i>Gal apar</i>	0.44	2.96	0.63		0.04	0.02	0.04	0.04
<i>Chenopodium album</i>	<i>Che albu</i>	1.52	0.67	14.58	0.06	1.44	9.52	0.63	1.25
<i>Lamium amplexicaule</i>	<i>Lam ampl</i>	0.75	0.25	10.73	1.48	3.92	0.75	2.21	1.67
<i>Lamium purpureum</i>	<i>Lam purp</i>						0.46	1.92	
<i>Malva neglecta</i>	<i>Mal negl</i>		0.02	0.44			7.02	0.88	0.77

Druhy	Zkratky	Sledované roky							
		2001	2002	2003	2004	2008	2009	2010	2011
<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Pap rhoe</i>		0.02						
<i>Persicaria lapathifolia</i>	<i>Per lapa</i>		0.29	0.25	0.06		0.15	1.23	
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	<i>Pha tana</i>					49.85			0.02
<i>Polygonum aviculare</i>	<i>Pol avic</i>	0.02		0.02		0.02		0.15	0.33
<i>Silene noctiflora</i>	<i>Sil nocti</i>		3.44	0.04		0.17		0.04	0.02
<i>Sinapis arvensis</i>	<i>Sin arve</i>							0.02	
<i>Sonchus oleraceus</i>	<i>Son oler</i>							0.02	0.08
<i>Stellaria media</i>	<i>Ste medi</i>	0.13	0.06	0.60	0.06			0.19	1.96
<i>Thlaspi arvense</i>	<i>Thl arve</i>	0.06	0.06	0.35	0.13	0.10	0.13	0.65	2.21
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	<i>Tri inod</i>						0.04		
<i>Urtica urens</i>	<i>Urt uren</i>								0.02
<i>Veronica hederifolia</i>	<i>Ver hede</i>	0.02							
<i>Veronica persica</i>	<i>Ver pers</i>	0.25			1.46			2.02	0.85
<i>Veronica polita</i>	<i>Ver poli</i>	4.21	0.21	5.27	1.77	0.10	0.08	3.44	2.71
<i>Viola arvensis</i>	<i>Vio arve</i>	0.65	0.08	0.13	0.10	0.31		0.44	0.50
Počet druhů		4.10	3.67	5.52	3.54	3.81	2.98	7.42	5.83
Počet jedinců		17.88	9.98	36.04	7.08	58.10	19.69	36.21	13.85

Tab. III. Průměrný počet plevelů v jarním ječmeni pěstování v osevním postupu s 50,0% zastoupením obilnin v průběhu sledovaných let

Druhy	Zkratky	Sledované roky							
		2001	2002	2003	2004	2008	2009	2010	2011
<i>Amaranthus sp.</i>	<i>Ama ssp.</i>	8.44	0.79	0.48	0.85			6.19	0.02
<i>Anagallis arvensis</i>	<i>Ana arve</i>					0.02			
<i>Arctium tomentosum</i>	<i>Arc tome</i>					0.02			0.06
<i>Avena fatua</i>	<i>Ave fatu</i>				0.21		0.67	1.54	0.08
<i>Beta vulgaris</i>	<i>Beta vulg</i>		0.04			0.02		0.02	
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	<i>Cap burs</i>			0.06					
<i>Cirsium arvense</i>	<i>Cir arve</i>		0.44		0.08	0.17	0.46	0.79	0.10
<i>Descurainia sophia</i>	<i>Des soph</i>			0.04					
<i>Echinochloa crus-galli</i>	<i>Echi crus</i>	0.02	0.08	0.29	0.08		0.35	1.79	
<i>Euphorbia helioscopia</i>	<i>Eup heli</i>	0.02				0.02			
<i>Fallopia convolvulus</i>	<i>Fal conv</i>	1.23	0.08	0.38	0.19	0.42	0.06	1.04	2.92
<i>Fumaria officinalis</i>	<i>Fum offi</i>	0.94	0.58	0.54	0.04	0.29	0.02	0.15	0.08
<i>Galium aparine</i>	<i>Gal apar</i>	0.79	3.75	4.81	0.06	0.65	1.15	0.21	1.35
<i>Geranium pusillum</i>	<i>Ger pusi</i>			0.04	0.02				0.02
<i>Hyoscyomus niger</i>	<i>Hyo nige</i>	0.42							
<i>Chenopodium album</i>	<i>Che albu</i>	3.23	1.60	6.02	0.06	2.35	3.54	1.63	0.40
<i>Chenopodium hybridum</i>	<i>Che hybr</i>		0.02						
<i>Lactuca serriola</i>	<i>Lac serri</i>	0.02							
<i>Lamium amplexicaule</i>	<i>Lam ampl</i>	0.29	1.06	4.96	0.29	0.23	0.29	0.31	0.54
<i>Malva neglecta</i>	<i>Mal negl</i>			0.04			3.02	0.27	

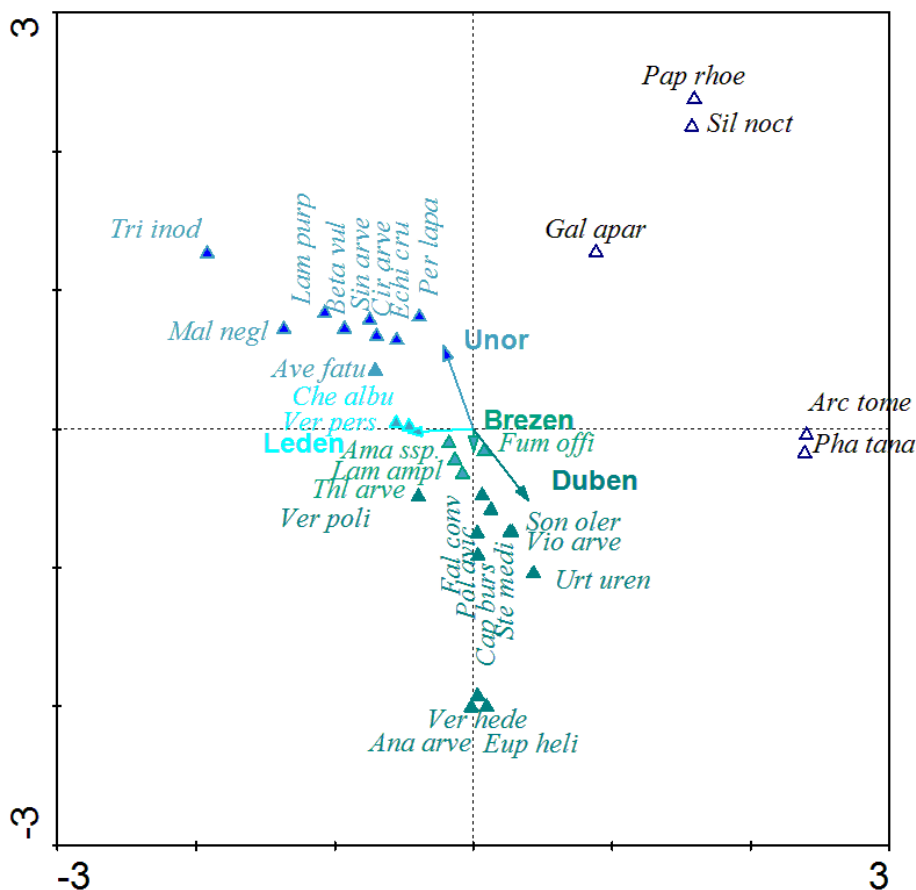
Druhy	Zkratky	Sledované roky							
		2001	2002	2003	2004	2008	2009	2010	2011
<i>Microrrhinum minus</i>	<i>Mic minu</i>							0.06	
<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Pap rhoe</i>	0.04							
<i>Persicaria lapathifolia</i>	<i>Per lapa</i>		0.04	0.44	0.06	0.08	0.21	0.04	
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	<i>Pha tana</i>					46.31			
<i>Polygonum aviculare</i>	<i>Pol avic</i>	0.02	0.02	0.06		0.19			0.31
<i>Senecio vulgaris</i>	<i>Sen vulg</i>						0.02		
<i>Silene noctiflora</i>	<i>Sil nocti</i>		0.33	0.08		0.44			0.33
<i>Solanum nigrum</i>	<i>Sol nigr</i>							0.42	
<i>Sonchus oleraceus</i>	<i>Son oler</i>	0.04							0.02
<i>Stellaria media</i>	<i>Ste medi</i>	0.13	0.04	3.10	0.25		0.02	0.08	2.15
<i>Taraxacum officinale</i>	<i>Tar Rude</i>	0.02						0.02	
<i>Thlaspi arvense</i>	<i>Thl arve</i>	0.02	0.10	0.25	0.04	0.25	0.06	0.15	0.04
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	<i>Tri inod</i>	0.02							
<i>Veronica persica</i>	<i>Ver pers</i>				0.44		0.08	1.54	0.25
<i>Veronica polita</i>	<i>Ver poli</i>	0.04	0.25	2.15	1.27	0.13	0.02	3.54	3.52
<i>Viola arvensis</i>	<i>Vio arve</i>	0.13	0.15	0.23	2.81	0.29	0.06	2.15	2.90
Počet druhů		3.67	3.35	5.92	3.21	3.71	2.71	5.52	5.06
Počet jedinců		15.85	9.40	23.98	6.77	51.88	10.04	21.94	15.10

Tab. IV. Průměrný počet plevelů v jarním ječmeni pěstovaném v osevním postupu s 66,6% zastoupením obilnin v průběhu sledovaných let

Druhy	Zkratky	Sledované roky							
		2001	2002	2003	2004	2008	2009	2010	2011
<i>Amaranthus sp.</i>	<i>Ama ssp.</i>	10.33	1.90	0.38	0.90		0.02	9.33	0.04
<i>Anagallis arvensis</i>	<i>Ana arve</i>							0.10	
<i>Avena fatua</i>	<i>Ave fatu</i>	0.04			0.08	0.17	0.46	0.31	0.17
<i>Brassica napus subsp. napus</i>	<i>Bra napu</i>							0.02	
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	<i>Cap burs</i>							0.10	
<i>Cirsium arvense</i>	<i>Cir arve</i>	0.04	0.35	0.04	0.02	0.27		0.63	0.04
<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Con arve</i>	0.02							
<i>Descurainia sophia</i>	<i>Des soph</i>								0.06
<i>Echinochloa crus-galli</i>	<i>Echi crus</i>	0.04	1.08	3.54	0.48			3.77	0.02
<i>Euphorbia helioscopia</i>	<i>Eup heli</i>	0.06							
<i>Fallopia convolvulus</i>	<i>Fal conv</i>	0.27	0.25	0.46	0.04	0.33		1.13	2.17
<i>Fumaria officinalis</i>	<i>Fum offi</i>	0.27	7.31	0.19	0.02	0.08	0.04	0.13	0.06
<i>Galium aparine</i>	<i>Gal apar</i>	3.31	0.10	1.65	0.02	0.44	3.54	0.27	1.31
<i>Geranium pusillum</i>	<i>Ger pusi</i>	0.02							0.06
<i>Hyoscyomus niger</i>	<i>Hyo nige</i>	0.04							
<i>Chenopodium album</i>	<i>Che albu</i>	1.81	1.65	2.38	0.04	2.08	0.81	0.40	0.02
<i>Lactuca serriola</i>	<i>Lac serri</i>						0.02		
<i>Lamium amplexicaule</i>	<i>Lam ampl</i>	0.02	6.13	0.15	0.08	0.08		0.79	0.08
<i>Malva neglecta</i>	<i>Mal negl</i>		0.04	0.04	0.06	0.35	0.29	0.04	0.02
<i>Papaver rhoeas</i>	<i>Pap rhoe</i>	0.23							
<i>Persicaria lapathifolia</i>	<i>Per lapa</i>			0.33			0.38	0.17	

Druhy	Zkratky	Sledované roky							
		2001	2002	2003	2004	2008	2009	2010	2011
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	<i>Pha tana</i>					45.63			
<i>Polygonum aviculare</i>	<i>Pol avic</i>	0.02	0.06	0.10		0.31	0.13	0.06	0.21
<i>Silene noctiflora</i>	<i>Sil nocti</i>		0.17		0.06	2.83	0.02		0.08
<i>Sinapis arvensis</i>	<i>Sin arve</i>					0.10			
<i>Solanum nigrum</i>	<i>Sol nigr</i>							0.08	
<i>Sonchus oleraceus</i>	<i>Son oler</i>					0.02		0.02	0.06
<i>Stellaria media</i>	<i>Ste medi</i>		0.10	0.17	0.02	0.04		0.13	0.04
<i>Taraxacum officinale</i>	<i>Tar Rude</i>								
<i>Thlaspi arvense</i>	<i>Thl arve</i>		0.06	0.02		0.06	0.06	0.27	0.04
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	<i>Tri inod</i>	0.27						0.02	
<i>Veronica hederifolia</i>	<i>Ver hede</i>		0.02						
<i>Veronica persica</i>	<i>Ver pers</i>				0.08			1.23	0.10
<i>Veronica polita</i>	<i>Ver poli</i>	0.06	0.38	0.29	0.38	0.29	0.10	1.31	0.48
<i>Viola arvensis</i>	<i>Vio arve</i>	0.04	0.25	0.92	0.13	0.29	0.10	1.77	0.54
Počet druhů		2.96	4.69	4.17	1.52	3.98	2.48	4.60	2.81
Počet jedinců		16.92	19.85	10.65	2.42	53.40	5.98	22.08	5.63

Výsledky vyhodnocení zaplevelení jarního ječmene byly nejprve zpracovány pomocí analýzy DCA, která vypočetla délku gradientu (*Lengths of Gradient*). Na základě tohoto výpočtu byla k dalšímu zpracování zvolena a kanonická korespondenční analýza CCA. Analýza CCA vymezuje prostorové uspořádání jednotlivých druhů plevelů a rozdílů v úhrnech srážek za vybrané měsíce a to na základě dat, která byla o frekvenci výskytu plevelných druhů zjištěna. Toto je následně graficky vyjádřeno pomocí ordinačního diagramu. Druhy plevelů, jsou zobrazeny body odlišného tvaru a barvy. Rozdíly v měsíčních úhrnech srážek za vybrané měsíce jsou zobrazeny pomocí vektorů, kdy délka vektoru znázorňuje hodnotu úhrnů srážek.



Obr. 1 Ordinační diagram vyjadřující vztah výskytu nalezených druhů plevelů v prvním osevním postupu a rozdílů v úhrnech srážek vybraných měsíců ($Trace = 1,085$; $F\text{-ratio} = 24,706$; $P\text{-value} = 0,0020$)

Výsledkem hodnocení DCA zaplevelení porostů jarního ječmene pěstovaného v prvním osevním postupu (33,3% podíl obilnin) je délka gradientu, která byla 4,392. Výsledky analýzy CCA, která hodnotila vliv úhrnů srážek vybraných měsíců na výskyt plevelů v prvním osevním postupu, je signifikantní na hladině významnosti $\alpha = 0,002$. Na základě analýzy CCA (Obr. 1) je možné nalezené druhy plevelů rozdělit do 5 skupin.

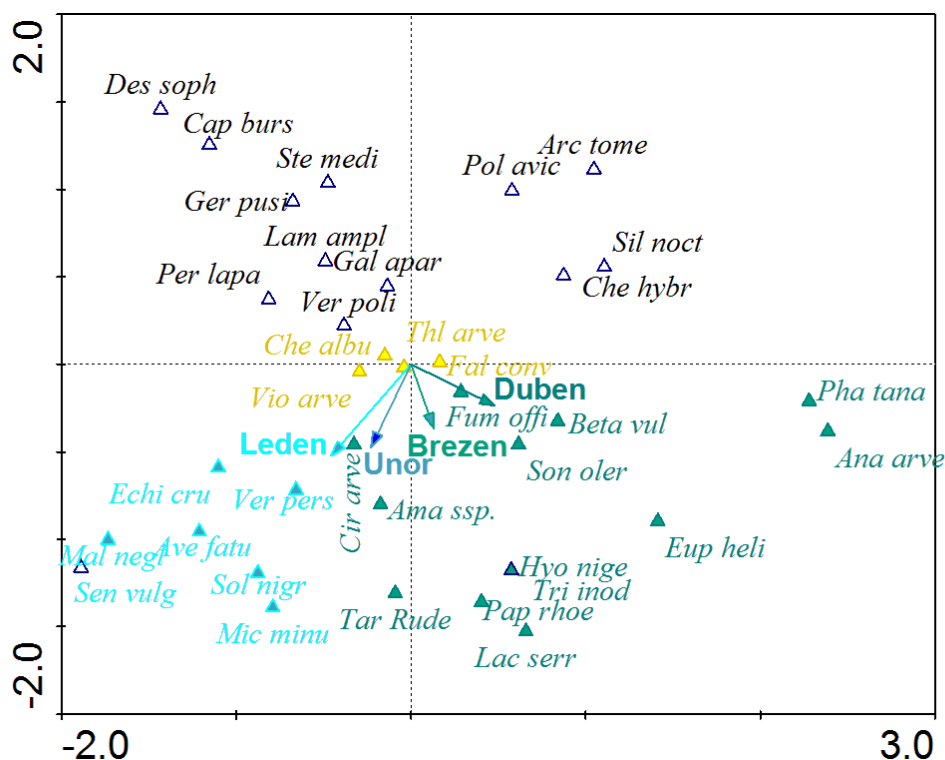
První skupina je představovaná druhy, které v podmínkách osevních postupu s 33,3% podílem obilnin, se více vykytovaly za vyššího úhrnu srážek v měsíci lednu: *Chenopodium album*, *Veronica persica*.

Do druhé skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 33,3% podílem obilnin, se více vykytovaly vyššího úhrnu srážek v měsíci únoru: *Avena fatua*, *Beta vulgaris*, *Cirsium arvense*, *Echinochloa crus-galli*, *Lamium purpureum*, *Malva neglecta*, *Persicaria lapathifolia*, *Sinapis arvensis* a *Tripleurospermum inodorum*.

Do třetí skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 33,3% podílem obilnin, se více vykytovaly za vyššího úhrnu srážek v měsíci březnu: *Amaranthus spp.*, *Fumaria officinalis*, *Lamium amplexicaule*, *Thlaspi arvense* a *Veronica polita*.

Do čtvrté skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 33,3% podílem obilnin, se více vykytovaly za vyššího úhrnu srážek v měsíci dubnu: *Anagallis arvensis*, *Capsella bursa-pastoris*, *Euphorbia helioscopia*, *Fallopia convolvulus*, *Polygonum aviculare*, *Sonchus oleraceus*, *Stellaria media*, *Urtica urens*, *Veronica hederifolia*, *Viola arvensis*.

Druhy řazené do páté skupiny jsou druhy, které v podmínkách osevních postupu s 33,3% podílem obilnin, byly více ovlivněny jinými faktory než rozdílem ve srážkách: *Arctium tomentosum*, *Galium aparine*, *Papaver rhoeas*, *Phacelia tanacetifolia*, *Silene noctiflora*.



Obr. 2 Ordinační diagram vyjadřující vztah výskytu nalezených druhů plevelů v druhém osevním postupu a rozdílů v úhrnech srážek vybraných měsíců ($Trace = 0,887$; $F\text{-ratio} = 14,930$; $P\text{-value} = 0,0020$)

Výsledkem hodnocení DCA zaplevelení porostů jarního ječmene pěstovaného ve druhém osevním postupu (50,0% podíl obilnin) je délka gradientu, která byla 4,670. Výsledky analýzy CCA, která hodnotila vliv úhrnu srážek vybraných měsíců na výskyt plevelů v prvním osevním postupu, je signifikantní na hladině významnosti $\alpha = 0,002$. Na základě analýzy CCA (Obr. 2) je možné nalezené druhy plevelů rozdělit do 7 skupin.

První skupina je představovaná druhy, které v podmínkách osevních postupu s 50,0% podílem obilnin, se více vykytovaly za vyššího úhrnu srážek v měsíci lednu: *Avena fatua*, *Echinochloa crus-galli*, *Malva neglecta*, *Microrrhinum minus*, *Senecio vulgaris*, *Solanum nigrum* *Veronica persica*.

Druhá skupina je představovaná druhy, které v podmínkách osevních postupu s 50,0% podílem obilnin, se více vykytovaly za nižšího úhrnu srážek v měsíci lednu: *Chenopodium album*, *Thlaspi arvense*, *Viola arvensis*.

Do třetí skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 50,0% podílem obilnin, se více vykytovaly za vyššího úhrnu srážek v měsíci únoru: *Amaranthus spp.*, *Cirsium arvense*, *Taraxacum Ruderalia*

Do čtvrté skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 50,0% podílem obilnin, se více vykytovaly za vyššího úhrnu srážek v měsíci březnu: *Hyoscyomus niger*, *Lactuca serriola*, *Papaver rhoeas*, *Tripleurospermum inodorum*.

Do páté skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 50,0% podílem obilnin, se více vykytovaly za vyššího úhrnu srážek v měsíci dubnu: *Anagallis arvensis*, *Beta vulgaris*, *Euphorbia helioscopia*, *Fumaria officinalis*, *Phacelia tanacetifolia*, *Sonchus oleraceus*.

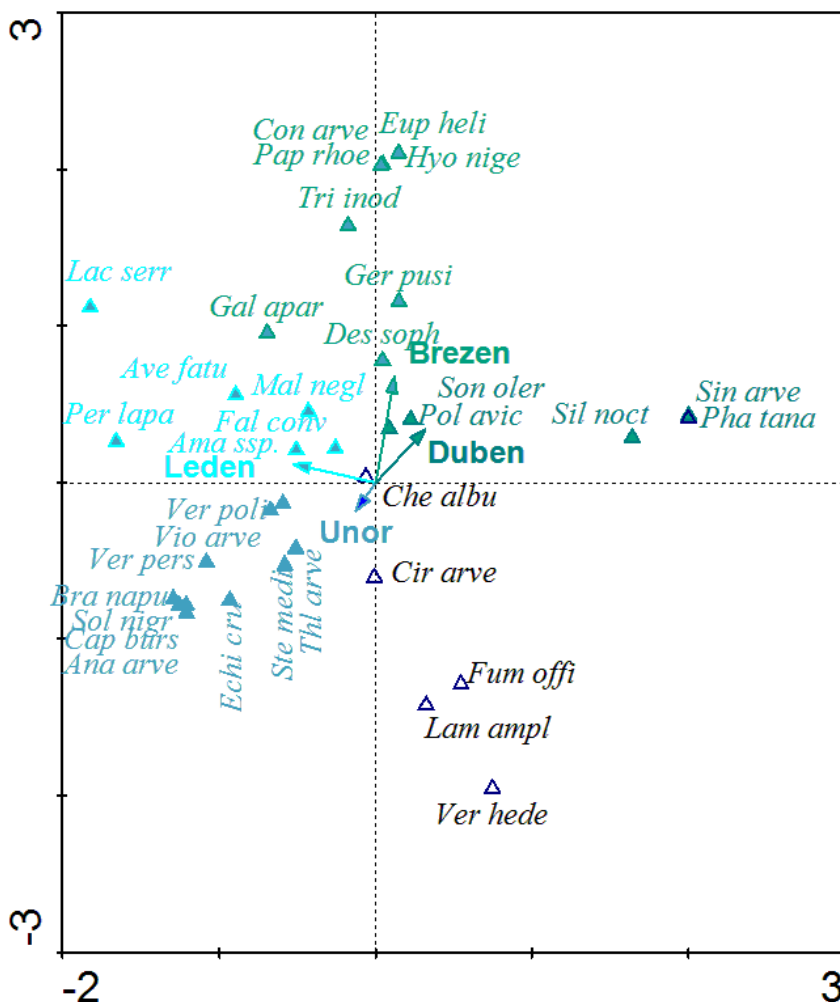
Do šesté skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 50,0% podílem obilnin, se více vykytovaly při nižší úhrnu srážek v měsíci dubnu: *Fallopia convolvulus*.

Druhy řazené do sedmé skupiny jsou druhy, které v podmínkách osevních postupu s 50,0% podílem obilnin, byly více ovlivněným jinými faktory než rozdílem ve srážkách: *Arctium tomentosum*, *Capsella bursa-pastoris*, *Descurainia Sophia*, *Galium aparine*, *Geranium pusillum*, *Chenopodium hybridum*, *Lamium amplexicaule*, *Persicaria lapathifolia*, *Polygonum aviculare*, *Silene noctiflora*, *Stellaria media*, *Veronica polita*.

Výsledkem hodnocení DCA zaplevelení porostů jarního ječmene pěstovaného ve třetím osevním postupu (66,6% podíl obilnin) je délku gradientu, která byla 4,360. Výsledky analýzy CCA, která hodnotila vliv úhrnů srážek vybraných měsíců na výskyt plevelů v prvním osevním postupu, je signifikantní na hladině významnosti $\alpha = 0,002$. Na základě analýzy CCA (Obr. 3) je možné nalezené druhy plevelů rozdělit do 5 skupin.

První skupina je představovaná druhy, které v podmínkách osevních postupu s 66,6% podílem obilnin, se více vykytovaly za vyššího úhrnu srážek v měsíci lednu: *Amaranthus spp.*, *Avena fatua*, *Fallopia convolvulus*, *Lactuca serriola*, *Malva neglecta*, *Persicaria lapathifolia*.

Do druhé skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 66,6% podílem obilnin, se více vykytovaly vyššího úhrnu srážek v měsíci únoru: *Anagallis arvensis*, *Brassica napus subsp. napus*, *Capsella bursa-pastoris*, *Echinochloa crus-galli*, *Stellaria media*, *Thlaspi arvense*, *Veronica persica*, *Veronica polita*, *Viola arvensis*.



Obr. 3 Ordinační diagram vyjadřující vztah výskytu nalezených druhů plevelů ve třetím osevním postupu a rozdílů v úhrnech srážek vybraných měsíců ($Trace = 1,085$; $F\text{-ratio} = 16,624$; $P\text{-value} = 0,0020$)

Do třetí skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 66,6% podílem obilnin, se více vykytovaly za vyššího úhrnu srážek v měsíci březnu: *Convolvulus arvensis*, *Descurainia sophia*, *Galium aparine*, *Geranium pusillum*, *Hyoscyomus niger*, *Papaver rhoeas*, *Tripleurospermum inodorum*.

Do páté skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 66,6% podílem obilnin, se více vykytovaly vyššího úhrnu srážek v měsíci dubnu: *Phacelia tanacetifolia*, *Polygonum aviculare*, *Silene noctiflora*, *Sinapis arvensis*.

Do šesté skupiny patří druhy, které v podmínkách osevních postupu s 66,6% podílem obilnin, se více vykytovaly nižší úhrnu srážek ve všech sledovaných měsících: *Chenopodium album*.

Druhy řazené do sedmé skupiny jsou druhy, které v podmínkách osevních postupu s 66,6% podílem obilnin, byly více ovlivněny jinými faktory než rozdílem ve srážkách: *Cirsium arvense*, *Euphorbia helioscopia*, *Fumaria officinalis*, *Lamium amplexicaule*, *Solanum nigrum*, *Sonchus oleraceus*, *Taraxacum Ruderalia*, *Veronica hederifolia*.

Diskuze

Vyšší úhrn srážek v měsíci lednu vytváří podmínky, které se projevují ve vyšším zaplevelení především u druhů *Avena fatua*, *Veronica persica*, *Malva neglecta*. Srážek v měsíci únoru a jejich vyšší úhrn podporoval zaplevelení u druhů *Cirsium arvense*, *Echinochloa crus-galli*.

Vyšší úhrn srážek v měsíci březnu vytváří podmínky, které se projevují ve vyšším zaplevelení především u druhů *Tripleurospermum inodorum*, *Hyoscyomus niger*. Měsíci dubnu a jeho vyšší úhrn srážek se projevil vyšším zaplevelení především u druhů *Polygonum aviculare*, *Sonchus oleraceus*, *Viola arvensis*.

Se stoupajícím podílem obilnin v osevním postupu se měnil i měsíc důležitý množství srážek pro klíčení některých druhů. U druhu *Amaranthus spp.* rostoucí na variantě s 66,6% podílem obilnin bylo významné množství srážek v lednu, u jedinců stejného druhu rostoucí na variantě 50,0% podílem obilnin bylo významné množství srážek v únoru a u jedinců stejného druhu, ale rostoucí na variantě 33,3% podílem obilnin bylo významné množství srážek v březnu. Podobný trend byl i u druhu *Avena fatua*. Jedinci rostoucí na variantách s 66,6% a 50,0% podílem v osevním postupu byly ovlivněny srážkami v lednu, ale pro jedince stejného druhu rostoucí na variantě s 33,3% podílem obilnin byl důležitý měsíc únor.

Naopak nižší srážky měsíci lednu pro vyšší zaplevelení u druhů *Chenopodium album*, *Thlaspi arvense*, *Viola arvensis*, především na variantě s 50,0% podílem obilnin. Nižší úhrnu srážek v měsíci dubnu na stejné variantě podpořilo výskyt druhu *Fallopia convolvulus*. Nižší srážky pravděpodobně oslabily konkurenci schopnost ječmene a to umožnilo některým druhům zvýšit zaplevelení.

Závěr

Výsledky a jejich analýzy ukazují na průkaznou souvislost mezi úhrnem srážek a některými druhy plevelů. Dále je zřejmé, že reakce všech druhů není stejná, pro některé druhy plevelů je důležité množství srážek v různém období. Dále na zaplevelení má výrazný vliv střídání plodin, které zásadně ovlivňuje chování některých druhů plevelů. Získané závěr budou využitelné pro prognózu zaplevelení jarního ječmene

Literatura

- KOHOUT V., KOHOUTOVÁ S., 1993: *Úsporné metody potlačování plevelů*, Praha: ÚZPI.
- KOCMÁNKOVÁ E., LAŠTŮVKA Z., ŠEFROVÁ H., TRNKA M., SEMERÁDOVÁ D., POKORNÝ R., ŽALUD Z., SMUTNÝ V., WINKLER J., 2009: *Dopady změny klimatu na šíření škodlivých činitelů*, s. 109 – 110, In: ŽALUD Z.: *Změna klimatu a české zemědělství – dopady a adaptace*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, ISBN: 1803-2109.
- HRON F., VODÁK A., 1959: *Polní plevelé a boj proti nim*. Praha, SZN – Praha, 380 s.
- MIKULKA J., 2014 : *Plevelé polních plodin*. Praha: Profi Press, 180 s.
- MORAVEC J., 2004: *Fytcenologie*. Vyd. 2., Praha:Academia, 403 s. ISBN 80-200-0457-X
- WINKLER J., 2011: *Vliv povodně a suchého jara na plevelé v provozních podmínkách*. *Úroda*, 59 (10), 674 – 685 s.
- WINKLER J., ZELENÁ V., ŠULAKOVÁ H., 2001: *Vliv suchého a teplého jara v roce 2000 na druhové spektrum plevelů v ječmenu jarním a v pšenici ozime*. In: Majerčák, J., Hurtalová, T. (ed.): IX posterový den s mezinárodní účastí „Transport vody, chemikálií a energie v systému poda-rastlina-atmosféra“, Bratislava, 29. 11. 2001, Sborník CD-ROM.
- WINKLER J., ZIMOLKA J. 2011: *Ovlivní sněhová pokrývka a mráz zaplevelení?* *Úroda*, LIX. – 2, s. 64 – 65., ISSN: 0139-6013.
- CEJTCHAML, J., POLÁKOVÁ, M., ŠILHA, J. (2011): *Ochrana proti plevelům = základ výnosu a kvality jarního sladovnického ječmene*. [cit. 2015-03-28]. Dostupné na: <http://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/ochrana-proti-plevelum-zaklad-vynosu-a-kvality-jarniho-sladovnickeho-jecmene.html>

THILL D.C., LISH J.M., CALLIHAN R.H. and BECHINSKI E.J., 1991: *Integrated weed management as a component of integrated pest management: A critical review*. Weed Technol. Washington, 5: 648-656.

SWANTON C.J., WEISE S.F., 1991: *Integrated weed management: The rationale and approach*. Weed Technol. Washington, 5: 657-663.

ZIMOLKA J., CERKAL R., DVOŘÁK J., EDLER S., EHRENBERGEROVÁ J., HŘIVNA L., KAMLER J., KLEM K., MILOTOVÁ J., MÍŠA P., PROCHÁZKOVÁ B., PSOTA V., RICHTER R., RYANT P., TICHÝ F., VACULOVÁ K., VÁŇOVÁ M., VEJRAŽKA K., 2006, *Ječmen – formy a užitkové směry*, Profi-Press, 1. Vydání, Praha, 200 s.

KUBÁT, K.; HROUDA, L.; CHRTEK, J. jun.; KAPLAN, Z.; KIRSCHNER, J. ŠTĚPÁNEK, J. [eds.] 2002: *Klíč ke květeně České republiky*. Academia. Praha. 928 s. ISBN 80-200-0836-5.

TER BRAAK C. J. F., 1998: CANOCO – A FORTRAN program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis (version 4.0.). Report LWA-88-02 Agricultural Mathematics Group. Wageningen.

Poděkování

Príspevek vznikl za finanční podpory projektu QJ1530373, s názvem: „Integrovaná ochrana obilnin proti patogenům, plevelům a škůdcům pro udržitelné produkce potravin, krmiv a surovin“.

Kontakt:

Ing. Jan Winkler, Ph.D.

Mendelova univerzita v Brně,

Agronomická fakulta,

Ústav biologie rostlin

Zemědělská 1,

613 00 Brno,

Česká republika,

winkler@mendelu.cz

Projevy změny klimatu na území České republiky

The Effects of Climate Change in the Czech Republic

Pavel Zahradníček^{1,2}, Petr Štěpánek^{1,2}, Mirek Trnka¹, Aleš Farda¹

CzechGlobe – Ústav výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 4a, Brno, 603 00¹

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, Brno, 616 00²

Abstrakt

Tato studie se zaměřuje na probíhající změny klimatu, které jsou na území České republiky za poslední desetiletí pozorovány. Nejde jen o výrazný nárůst teplot vzduchu, kdy poslední dva roky 2014 a 2015 byly nejteplejší za historii měření, ale také o významný nárůst počtu velmi horkých dní a nocí, které negativně působí na zdraví lidí, ale také na krajinu. V kombinaci se změnou srážkového režimu, kdy nám narůstají intenzivní srážky, ale zároveň počty dlouhých dnů bez významných srážek to vede k nárůstu hydrometeorologických extrémů na našem území, jako jsou povodně a období sucha. Za posledních 20 let postihlo Českou republiku 13 těchto událostí. Většina důsledků změny klimatu, které predikují modely je již pozorována v současné době.

Klíčová slova: změna klimatu, hydrometeorologické extrémy, teplota vzduchu, srážky, tepelný ostrov města

Abstract

This study focuses on the ongoing climate change, which are in the Czech Republic over the last decade observed. It is not only a significant increase in air temperature, the last two years 2014 and 2015 were the warmest measurement in the history, but also a significant increase in the number of very hot days and nights, which negatively affect human health, but also the nature. In combination with changing precipitation regime, when increase heavy rainfall and at the same time the number of long periods without significant precipitation this leads to an increase of observed hydrological extremes in our country, such as floods and droughts. Over the past 20 years was Czech Republic affected by 13 floods or droughts. Most of the effects of climate change predicted by models are already observed at present.

Keywords: climate change, Hydrometeorological extremes, air temperature, precipitation, urban heat island

Úvod

V posledních letech se stále častěji mluví o globální změně klimatu, která se dotýká širokého spektra aktivit probíhajících na Zemi. Globální změna klimatu postihuje jak přírodní podmínky, tak i lidskou činnost a je nutné se na případné změny připravit a adaptovat. Mezi její hlavní klimatické projevy je změna teplot vzduchu, rozložení srážek a nárůst počtu hydrometeorologických extrémů. Změna klimatu probíhala v celé historii planety Země a není tedy žádnou novinkou. V historii lidstva jsme zažili středověké teplotní optimum (950-1250 n.l.), které se vyznačovalo výrazným oteplením podnebí, především v oblasti Severního Atlantiku. Toto období postupně nahradila další klimatická anomálie, která se nazývá „Malá doba ledová“. Ta trvala zhruba od 14-19. století a její vrchol nastal v 17. století. Jednalo se o nejméně chladnější období za posledních 2000 let. Od 80. let 20. století je ale pozorován tak razantní a intenzivní nárůst teplot vzduchu, který nemá v zaznamenané historii lidstva obdobu. To způsobuje pozorovanou změnu v chování rostlin a zvířat a v důsledku toho mění i socioekonomické podmínky.

Materiál a metody

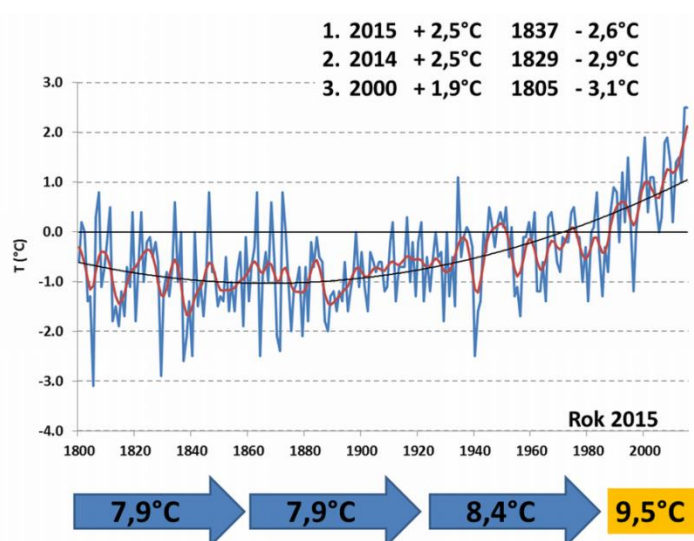
Tato studie je kompilace různých výstupů z mnoha projektů, proto použité metody a data nejsou konstantní pro danou práci. Data popisující současné klima jsou měřena na klimatologických a srážkoměrných stanicích ČHMU. Procházejí základní kontrolou v systému CLIDATA. Dále současné data byly zpracovány dalšími podrobnějšími kontrolami kvality dat. Poté data byla homogenizována a všechny chybějící hodnoty doplněny (Štěpánek a kol 2011, 2013, Brázdil a kol 2012).

Pro analýzu budoucího klimatu byly použity nejnovější výstupy z iniciativy EURO-CORDEX. Jde o analýzu 11 RCM modelů podle dvou emisních scénářů (Štěpánek a kol. 2016). RPC 4.5 představuje variantu zakonzervování růstu skleníkových plynů, naopak RCP 8.5 počítá se současným růstem skleníkových plynů bez jejich omezení. Dále je pracováno s 5 GCM modely snažící se popsat nejlépe nejistotu predikcí do budoucna. První z nich je model IPSL pocházející z Francie a reprezentující medián všech testovaných GCM. Dalším je HadGEM vytvořený ve Velké Británii. Reprezentuje výraznější změnu rozložení srážek v našem regionu (úbytek letních a podzimních srážek a nárůst jarních srážek). Předchozí verze tohoto modelu byly použity ve většině studií na našem území citovaných mezivládním panelem pro změnu klimatu. Třetím modelem je CNRM z Francie. Model s podobnou

změnou teplot jako HadGEM, ale nárůstem srážek ve všech měsících zejména na jaře a na podzim. BNU model byl vypočten v Číně a reprezentuje GCM modely předpovídající pro naše území relativně nižší nárůst teplot a redukci srážek ve všech měsících kromě léta. Posledním GCM modelem je MRI pocházející z Japonska a předpovídá pro naše území relativně nižší nárůst teplot a nárůst srážek s výjimkou konce léta a podzimu s porovnáním s dalšími GCM modely (www.klimatickazmena.cz).

Výsledky

Variabilita klimatu v ČR je značná, ale u teplot vzduchu lze pozorovat významný rostoucí trend (obr. 1). Vzestup teplot vzduchu je zde pozorovaný postupně od 60 let 20. století s tím, že k nejintenzivnějšímu oteplování dochází od 80 let 20. století. Vzestup teploty je větší (0,3°C/desetiletí) než v rámci celé Evropy a je patrný v celém období od roku 1961. Na druhou stranu je ovšem více rozkolísaný. Nejteplejšími roky za dobu měření na území České republiky byly poslední dva (2014 a 2015). Například v Brně byla teplota těchto dvou roků o 2,5°C vyšší než je dlouhodobý průměr 1961-2000. Většina nejteplejších roků zaznamenaných na území ČR byla v posledních 25 letech. Podle většiny klimatických modelů je předpoklad, že teplota vzduchu se zvýší i v budoucnosti. V blízké budoucnosti 2021-2050 je predikováno, že teplota vzduchu poroste na území ČR v rozmezí 1,2 až 1,5°C. Pro vzdálenější budoucnost 2071-2100 je počítáno s nárůstem teplot vzduchu o 3,2 resp. 3,3°C. Nejvyšší změnu oproti období 1961-2000 zaznamenávají horské oblasti. Většinou se počítá, že hlavní nárůst teplot vzduchu bude v letních a zimních měsících (Brázdil a kol., 2015). Obdobné změny budou jak u maximálních, tak i minimálních teplot vzduchu.

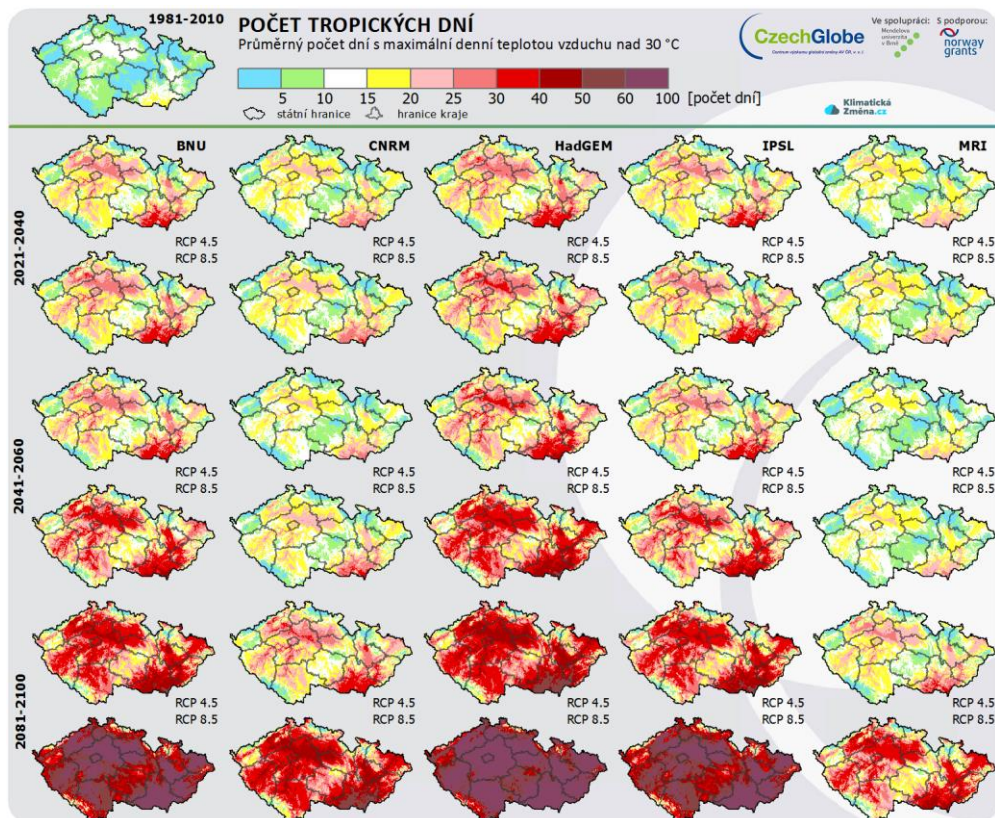


Obr. 1. Teplota vzduchu v Brně za období 1800-2015 (Brázdil a kol 2012, zdroj dat: ČHMU)

Srážky na území České republiky jsou jak prostorově, tak i časově variabilní. Ta je dána hlavně atmosférickou cirkulací, kdy množství srážek je závislé na daném typu synoptické situace. Prostorová proměnlivost je navíc zvýrazněna orografickými vlivy našeho území, mezi které patří růst množství srážek s rostoucí nadmořskou výškou a také vlivem expozice, kdy návětrné svahy mají vyšší úhrny než závětrné (Tolasz a kol., 2007). Dlouhodobé změny srážek nejsou zaznamenány, meziroční variabilita je zde silnější než trend. To se ale týká pouze průměrných hodnot. Výrazně roste rozdíl v rozložení srážek. V posledních letech dochází k nárůstu bezsrážkových dní a dokonce celých období a oproti tomu statisticky významně roste počet dní s intenzivní srážkou. Tedy dochází k pomyslnému rozevírání nůžek a buď neprší a nebo naopak dojde k intenzivnímu, ale krátkému dešti (hlavně při bouřkových situacích), který nedokáže účinně doplnit deficit srážek z předešlého bezsrážkového období a naopak se neblaze podílí na zvyšování erozního rizika na území České republiky. Jako dobrý příklad může sloužit rok 2014, kdy na území České republiky spadlo obvyklé množství srážek za celý rok, ale přesto jsme zde zaznamenaly dvě epizody sucha a dvě epizody povodní. Pro budoucí klima modely nepočítají příliš se změnou průměrných srážkových úhrnů, ale právě se změnou jejich rozložení. Modely naznačují, že by mělo dojít hlavně v poklesu zimních srážek a to jak v blízké budoucnosti 2021-2050, tak i ke konci století. Tento trend je již pozorován v současnosti, kdy v posledních letech jsme zaznamenaly suché zimy a i množství sněhové pokrývky výrazně klesá. Suché zimy bez velké sněhové pokrývky jsou většinou dobrým startem pro vývoj sucha v následujících měsících.

V průměrných hodnotách může být signál změny klimatu velice dobře maskovaný, a proto je dobré zkoumat různé indexy extremity. Jedním z nich je počet tropických dní. Ten nastává v momentu, kdy maximální teplota vzduchu dosáhne nebo překročí hranici 30°C. Počet tropických dnů se vyskytuje jen pár do roka, ale v posledních dvou dekádách dochází k jejímu prudšímu nárůstu. Tyto dny lze charakterizovat jako nekomfortní jak pro obyvatele, tak i přírodu. Dochází k zvýšené evapotranspiraci a rychlejšímu vysušování krajiny. Oproti 60. letům 20. století se v posledních letech 2003-2015 tento počet dnů zvýšil na dvojnásobek. Nejvíce tropických dnů přibýlo v oblasti moravských nížin a Polabí, tedy v místech důležitou

zemědělskou činností. Před 50 lety nebylo prakticky možné, aby tento den nastal v horských oblastech. V posledních letech byly tyto dny zaznamenány i zde. Díky tepelnému ostrovu města jsou horké dny velice nepříjemné hlavně ve městech. Počet těchto dní je zde vyšší a postihuje i větší množství lidí. V období 1981-2010 bylo ve velkých městech, jako je Praha, Brno a Plzeň, ročně zaznamenáno kolem 12 těchto tropických dní. V nejbližší budoucnosti nebude tento nárůst nijak dramatický a průměrně by se ročně mělo vyskytnout kolem 14-18 tropických dní. Výrazný nárůst je ale predikován pro konec tohoto století, kdy počet těchto dní bude od 20 do 40 podle emisního scénáře (obr 2). V roce 2015 jsme zažily z tohoto hlediska extrémní rok, kdy nás v létě zasáhla velká vlna veder a maximální teploty vzduchu se velice často dostávaly nad hranici 30°C a dokonce i nad 35°C. Například v Praze bylo zaznamenáno 35 tropických dní, což odpovídá predikci modelů pro konec 22. století. Na mnoha místech Jižní Moravy bylo i více než 40 tropických dní.



Obr. 2. Počet tropických dní predikovaných 5 GCM modely pro různá časová období podle dvou emisních scénářů (RCP 4.5 – umírněný a RCP 8.5 – alarmistický); www.klimatickazmena.cz

Mezi další nepříjemné dopady změny klimatu patří nárůst počtu tropických nocí, který se opět nejčastěji objevuje v centru velkých měst. Tropická noc nastává v momentu, kdy minimální teplota v noci neklesne pod 20°C. V současnosti se tento den objevoval většinou jednou za dva roky, ale v posledních letech tato frekvence začala růst. Do budoucna předpokládají modely, že bude pokračovat trend růstu těchto dní a v blízké budoucnosti by v průměru mohl tento den vyskytovat jednou až dvakrát do roka. Ke konci století podle alarmistického scénáře by mohlo být těchto dní i 16 do roka. Tropických nocí je více pozorováno v centru velkých měst, kde převládá beton nad zelení a dochází k výrazně horší ventilaci nahromaděného tepla během dne. Horké noci způsobují zdravotní komplikace, kvalita spánku jde rapidně dolů, což se může projevovat i po ekonomické stránce. Dále výrazně roste energetické zatížení měst. Největší rozdíl teplot vzduchu mezi centrem města a jeho okolím nastává právě od 22 hodiny po 2 hodinu ráno, kdy teplota vzduchu je i o 4°C vyšší.

Mezi projevy změny klimatu patří i nárůst počtu tzv. hydrometeorologických extrémů. Mezi ně nejčastěji řadíme povodně a sucha. Od roku 1997 postihlo Českou republiku celkem 13 těchto extrémů. V roce 1997, 2002, 2006, 2010, 2013 a 2014 zasáhly naše území povodně a v letech 2000, 2003, 2007, 2012, 2013, 2014 a 2015 suché periody. Například v letech 2014 se vyskytlo na našem území jak povodně, tak sucho. Od roku 2012 se zde kontinuálně objevují období sucha.

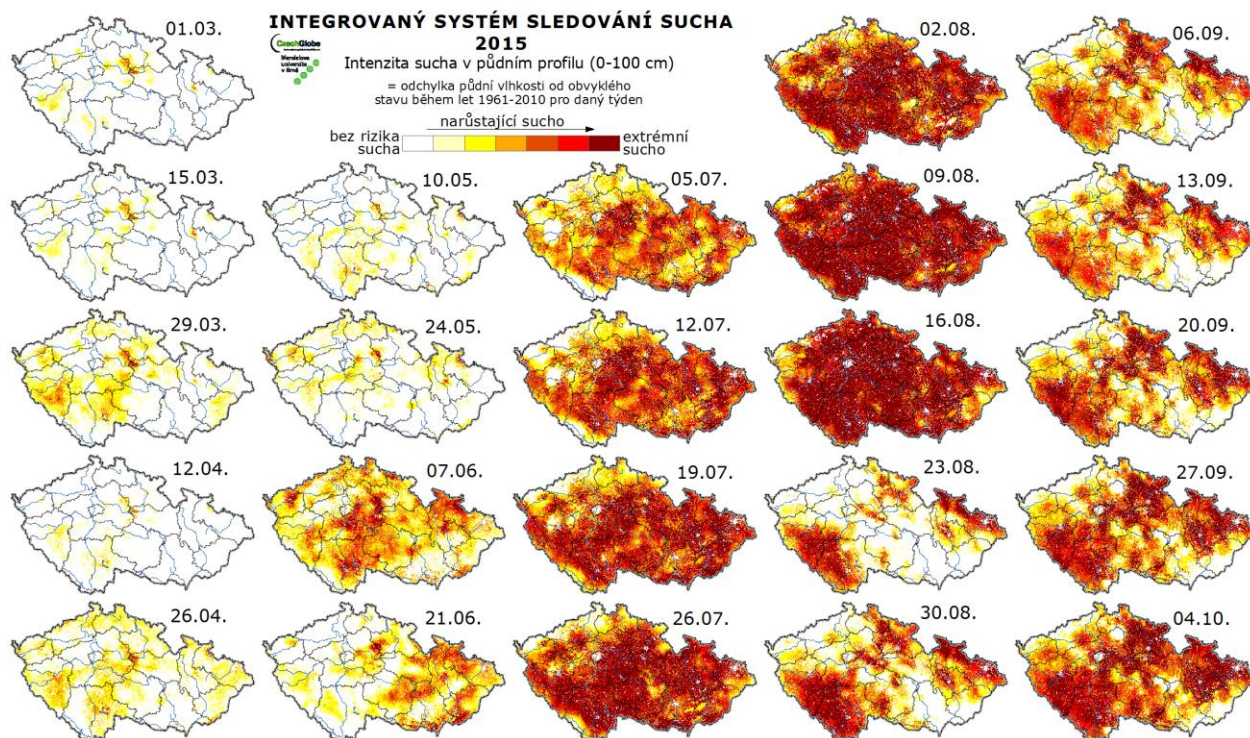
V České republice se sucho objevuje nepravidelně v obdobích několika dní až měsíců s podnormálním výskytem srážek. Ty jsou většinou ještě doprovázeny nadnormálně teplým počasím. Přestože neexistuje jednotná definice sucha, tak většina autorů ji dělí na čtyři skupiny a to meteorologické, zemědělské, hydrologické a socioekonomické (Heim, 2002). Jedno z nejhorších such co nás za poslední léta postihlo, bylo v letech 2011-2012 a samozřejmě v minulém roce. Povětrnostní situace druhé poloviny roku 2011 a první poloviny roku 2012 způsobilo extrémní sucho ve východní polovině republiky (Zahradníček a kol. 2015). Epizoda podprůměrných srážek začala v srpnu 2011 a skončila až v květnu 2012. Tedy neuvěřitelných 10 měsíců. To způsobilo významné dopady v zemědělství. Na Moravě v té době spadlo pouze 50-80 % srážek než je obvyklé. Dokonce na 8 % území České republiky se jednalo o více než 100 leté sucho (Tak nízký úhrn srážek by se měl objevit jednou za více než 100 let).

Velmi podprůměrné srážky a nadprůměrné teploty vzduchu měly své dopady v zemědělské produkci. Výnosy zimní pšenice v klíčových produkčních regionech (Brno, Břeclav, Prostějov a Přerov) byly nejnižší od 70 let 20. století. Výnosy v roce 2012 měly nejvyšší meziroční pokles za celou dobu existujících statistických záznamů, tedy za posledních 52 let. Dopady na jarní ječmen nebyly tak dramatické jako v případě zimního ječmene. Na jihovýchodě republiky šlo o druhý až třetí nejnižší zaznamenaný výnos.

Delší období trvajících sucha vyvolává značné riziko ve zvýšeném množství lesních požárů. To se potvrdilo i v roce 2012, kdy počet požárů oproti minulým letům vzrostl (Vonásek a kol., 2013). Dokonce v Bzenci byl zaznamenán největší požár za posledních 15 let (24-30 května 2012). To plně koresponduje s FDI indexem publikovaným ČHMU koncem května, kdy na většině území ČR se objevovala kategorie vysokého rizika požáru.

Sucho v letech 2011-2012 nebylo jediné významné, které se v posledních 20 letech na našem území objevilo. Každá suchá epizoda není svým průběhem a ani následky konzistentní. Sucho roku 2000 bylo charakteristické podnormálními srážkami a hlavně velmi vysokými teplotami vzduchu v období duben až červen. To způsobilo slabou sklizeň obilovin hlavně na jižní Moravě. Zemědělcům byly vyplaceny náhrady ve výši 200 mil Eur (Brázdil a kol., 2007). V porovnání se suchem roku 2011-2012 bylo toto podstatně kratší, ale doprovázeno extrémnějším počasím. Rok 2003 byl významný nižším množstvím srážek na většině území. Pod 80 % dlouhodobého průměru byla většina území a část území dokonce pod 60 % srážkových úhrnů. Sucho mělo dva významné vrcholy, první byl v červnu a druhý v srpnu. Oproti suchu 2011-2012 bylo sucho v roce 2003 prostorově více výrazné, kdy byla postižena i oblast Čech. Sucho v roce 2007 dominovalo během vegetační sezony, ale stejně jako u zkoumaného sucha byla příčina v předcházejícím delším období se sníženými úhrny srážek. Sucho v roce 2007 tedy trvalo od září 2006 do srpna 2007. Hlavně zima 2006/2007 byla charakteristická velmi vysokými teplotami vzduchu. Kombinace vysokých teplot a velmi variabilních srážek (suchý podzim 2006 a duben 2007) zapříčinila vysoký výpar. Společným ukazatelem se suchem v roce 2011-2012 je delší doba trvání a také že se objevila období s několika týdny bez deště. Dalším extrémně suchým rokem byl 2015. To bylo způsobeno dlouhodobým nedostatkem srážek, mírnou zimou a hlavně extrémně vysokými teplotami hlavně během letních měsíců, které výrazně zvýšily výpar vody v krajině. Došlo i k významnému poklesu hladin řek a nastalo hydrologické sucho na mnoha místech horší než extrémní rok 2003. V roce 2015 největší sucho nastalo v období od 12.7.2015 do 16.8.2015.

Poté se nad naše území dostal velký pás intenzivních srážek, který na přechodnou dobu ukončil velké období sucha. To se ale opět začalo prohlubovat během podzimních měsíců (obr. 3).

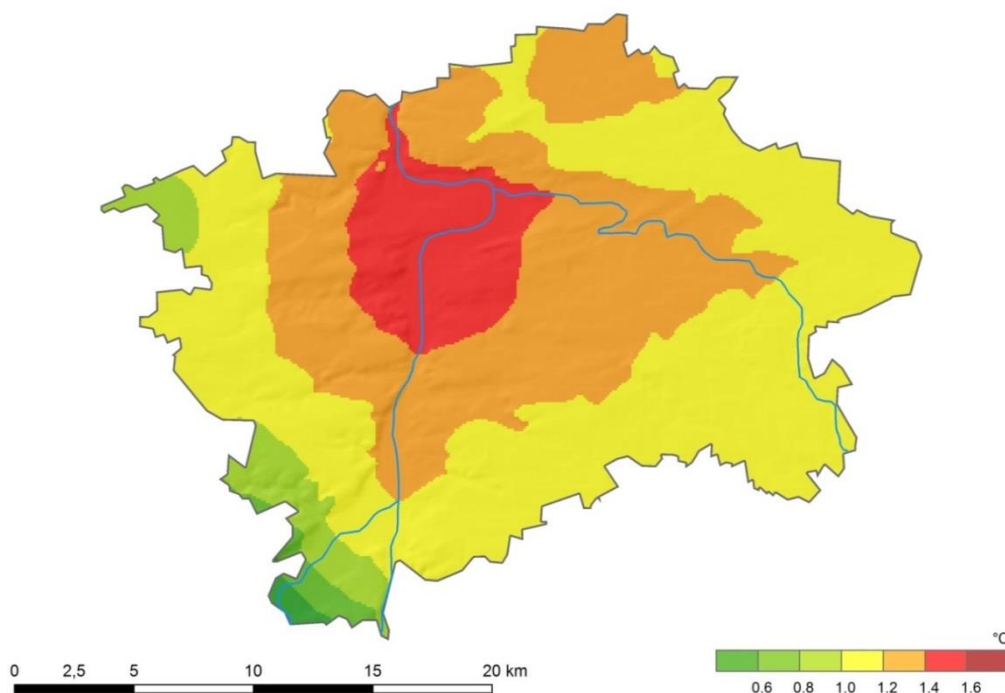


Obr. 3. Integrovaný systém sledování sucha v roce 2015 (www.intersucho.cz)

Studium klimatu města je v současné době velmi aktuální téma. Ve městech se soustřeďuje stále více obyvatel vyspělých i rozvojových zemích. Polovina obyvatel naší planety žila v roce 2007 ve městech, přičemž více než 70% této populace připadlo na rozvojové země. Odlišnost klimatických podmínek města od venkovského prostředí je známa již téměř 200 let. Jedním z nejznámějších projevů mikroklimatu až mezoklimatu města je městský tepelný ostrov (MTO), který lze v jednoduchosti popsat jako relativní oteplení města vůči okolnímu venkovu. Zesilování MTO ve velkých městech staví dnes tuto problematiku do popředí zájmu nejen u klimatologů, ale také architektů, urbanistů, odborníků na územní plánování nebo představitelů místních samospráv. Jejich úkolem je pomocí nejnovějších poznatků a technologií přispět k zmírnění negativních projevů MTO (a městského klimatu obecně) a zvýšení kvality života ve městě. V podmínkách České republiky se MTO nejsilněji projevuje v Praze.

Analýza dlouhých řad pozorování teploty vzduchu na stanicích v Praze odhalila oteplení, ke kterému v Praze za posledních 53 let dochází. Jeho míra se v průběhu roku mění, liší se pro teploty průměrné, maximální a minimální a je zejména v případě minimálních teplot závislá na konkrétní uvažované stanici. V letech 1991–2013 se na pražských stanicích zvýšila v některých měsících teplota až o 1,5 °C ve srovnání s obdobím 1961–1990. Tempo růstu teplot dosahuje až 0,6 °C/desetiletí a vypočtené lineární trendy jsou především na jaře a v létě statisticky významné. Z pohledu jednotlivých částí města se nejvíce otepluje střed města. Zde se také nejvíce zvyšují počty dní s extrémně vysokými teplotami vzduchu. V rámci pozorovaných změn lze ale v rámci vnímání tepelného komfortu lidmi příznivě hodnotit úbytek počtu mrazových a ledových dní (Skalák a kol., 2015).

V souladu s obecným popisem fenoménu MTO se pražský tepelný ostrov projevuje zejména v případě minimální teploty vzduchu (obr. 4). Jeho intenzita navíc zesiluje v průběhu celého roku s výjimkou ledna, kdy lze dokonce zaznamenat nepatrný pokles. Největší zesílení se děje v letní polovině roku (duben až září), o 0,5 až 0,7 °C, což z pohledu kvality života ve městě vnímáme jako negativní signál, zejména měl-li by tento trend pokračovat i do budoucna.



Obr. 4 Rozdíl ročního průměru denních minim teploty vzduchu (°C) v desetiletích 2001–2010 a 1961–1970 v Praze (Skalák a kol.,2015, zdroj dat: ČHMU)

Klasické klimatologické charakteristiky nejsou zcela ideálními ukazateli pro lidské vnímání tepelného komfortu v extrémních teplech či mrazech. Za tímto účelem se uvažuje celá řada bioklimatologických indexů, zahrnujících více meteorologických parametrů než samotnou teplotu vzduchu (např. vlhkost, rychlost větru, oblačnost atd.), vlastnosti lidského organismu či oděvu. Jednou z těchto charakteristik je tzv. „Potenciálně ekvivalentní teplota vzduchu“ (PET). Ta má stejný roční chod jako průměrná teplota vzduchu s tím, že její průměrné hodnoty jsou nižší. Hlavně v zimních měsících tento teplotní index klesá výrazně níže než klasická teplota vzduchu. Jiné chování je u maximálních hodnot obou charakteristik. PET má stejně jako u průměrných hodnot nižší hodnoty v zimě, ale v létě jsou maxima podstatně výše než u teploty vzduchu.

Nejvyšší hodnoty Potenciálně ekvivalentní teploty vzduchu v centru Prahy jsou dosahovány na přelomu července a srpna a to mezi 10-16 hodinou a průměr za období 2005-2013 přesahuje 30°C. Naopak nejnižší hodnoty PET jsou dosahovány na konci ledna od půlnoci až do 9 hodiny ranní a průměrné hodnoty za období 2005-2013 klesá i pod -10°C. Největší rozdíly mezi PET zjištěnou pro centrum města a jeho okraj jsou prakticky po západu slunce v letním půlroce. V této době je pocitová teplota v centru Prahy o více než 4°C vyšší než na periferii. To souvisí s horší ventilací města a noční komfort hlavně pro spánek je v centru velkých měst podstatně horší než na periferii nebo na venkově. Další dobou, kdy je větší rozdíl v PET mezi středem a okrajem města, je kolem poledne a po obědě opět v letním půlroce. Zde rozdíl ale není tak markantní. Nejmenší rozdíly jsou kolem východu slunce v letním půlroce a to zhruba do 1,5°C. Po zbytek roku a hodin je většinou rozdíl v pocitové teplotě mezi městskou a příměstskou oblastí 2-3°C.

V létě za horkých dní dochází k výraznému přehřátí centra města. Jelikož Praha je hojně navštěvovanou destinací a to hlavně v letních měsících, tak zhoršování teplotních podmínek může vést u turistů k přehodnocení své dovolené a tu zacílit na destinace, kde pocitová teplota je podstatně nižší. Příkladem může být 28. července 2013, kdy maximální teploty vzduchu byly na řadě míst Prahy vyšší než 35°C (Karlov 37°C). Fyziologicky ekvivalentní teplota vzduchu dokonce dosáhla 48,1°C (Karlov). U maximální teploty vzduchu byl rozdíl mezi Karlovem a Ruzyní 3°C, ale podle PET bylo na okraji až o 7°C méně než v centru (Zahradníček a kol., 2014).

Závěr

Projevy změny klimatu jsou na území České republiky patrné. Rok 2014 a 2015 patřil k nejteplejším za dobu měření a od roku 1997 jsme zažili 13 povodní nebo období such. Od roku 2012 včetně se každý rok na našem území objevilo sucho. V roce 2015 panovalo extrémní horko v letních měsících a počet tropických dní byl stejný, jak predikují modely na konci 22. století. Více let se na našem území začíná podobat svým chováním středomořskému typu klimatu (Zahradníček a kol. 2015b). Všechny tyto projevy zatím potvrzují to, co predikují klimatické modely pro budoucnost. Jelikož jde o vážné téma, vznikl za podpory Norských fondů (projekt CzechAdapt) unikátní web (www.klimatickazmena.cz), který formou mapového serveru zobrazuje současný stav klimatu a jejich predikce na území České republiky. Kromě toho se podává i informace o možných adaptacích. Koncentrují se zde informace z oblasti klimatu, zemědělství, lesnictví, rybářství, hydrologie, lidského zdraví a energetiky. Web slouží široké veřejnosti, novinářům a i odborníkům. Web se stále doplňuje a přidávají se neustále nové informace.

Literatura

Brázdil R, Kirchner K, Březina L, Dobrovolný P, Dubrovský M, Halásová O, Hostýnek J, Chromá K, Janderková J, Kaláb Z, Kepřtová K, Kotyza O, Krejčí O, Kunc J, Lacina J, Lepka Z, Létal A, Macková J, Máčka Z, Muliček O, Roštínský P, Řehánek T, Seidenglanz D, Semerádová D, Sokol Z, Soukalová E, Štekl J, Trnka M, Valášek H, Věžník A, Voženílek V, Žalud Z. 2007. Selected Natural Extremes and Their Impacts in Moravia and Silesia (in Czech). Masarykova univerzita: Brno.

Brázdil R, Trnka M, eds (2015) Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost (Drought in the Czech Lands: Past, Present, Future). Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno

Brázdil R, Zahradníček P, Pišoft P, Štěpánek P, Bělinová M, Dobrovolný P (2012) Temperature and precipitation fluctuations in the Czech Lands during the period of instrumental measurements. *Theoretical and Applied Climatology* 110:17–34.

Heim RR (2002) A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83:1149–1165

Skalák P., Žák M., Zahradníček P., Helman K.(2015): Příspěvek projektu UHI k poznání klimatu Prahy. Meteorologické zprávy, 68, 1, s.18-23

Štěpánek P, Zahradníček P, Brázdil R, Tolasz R. 2011. Methodology of Data Quality Control and Homogenisation of Time Series in Climatology (in Czech). Český hydrometeorologický ústav: Praha.

Štěpánek P, Zahradníček P, Farda A. 2013. Experiences with data quality control and homogenization of daily records of various meteorological elements in the Czech Republic in the period 1961–2010. Időjárás 117: 123–141.

Štěpánek, P., Zahradníček, P., Farda, A., Skalák, P., Trnka, M., Meitner, J., Rajdl, K. (2016). Projection of the drought in the Czech Republic for the future climate conditions according to the EURO-CORDEX models. Climate Research (submitted).

Zahradníček, P., Trnka, M., Brázdil, R., Možný, M., Štěpánek, P., Hlavinka, P., Žalud, Z., Malý, A., Semerádová, D., Dobrovolný, P., Dubrovský, M., Řezníčková, L. (2015): The extreme drought episode of August 2011/May 2012 in the Czech Republic. International Journal of Climatology, 35, 9, p. 3335-3352. DOI: 10.1002/joc.4211

Zahradníček, P., Farda, A., Szabó-Takács, B., Štěpánek, P., (2015b): Nástup mediteránního a subtropického typu počasí ve Střední Evropě z pohledu jak reálných, tak RCM dat v projekci do konce 21. století . In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): Závlahy a jejich perspektiva. Mikulov, 18-19.3. 2015. ISBN: 978-80-87577-47-9

Zahradníček, P., Žák M., Skalák P (2014): Physiological equivalent temperature as an indicator of the UHI effect with the city of Prague as an example. Rožnovský, J., Litschmann, T., (eds): Mendel a bioklimatologie. Brno, 3.–5.9. 2014,ISBN 978-80-210-6983-1

Poděkování

Tento kapitola byla vytvořena za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I, číslo projektu LO1415. Pavel Zahradníček byl podpořen projektem “Hydrometeorologické extrém

na Jižní Moravě odvozené z dokumentárních pramenů” (GAČR, no. 13-19831S). Petr Štěpánek by rád poděkoval projektu č. LD14043 “Validace a korekce výstupů regionálních klimatických modelů na území České republiky pro potřeby impaktových studií

Kontakt:

Mgr. Pavel Zahradníček, Ph.D.

CzechGlobe – Ústav výzkumu globální změny, AV ČR

Bělidla 4a, Brno, 603 00

+420775417215, zahradnicek.p@czechglobe.cz

Hodnocení dopadů sucha na kukuřici a trvalé travní porosty v roce 2015

Evaluation of drought impacts on maize and permanent grasslands in 2015

Zdeněk Žalud^{1,2}, Daniela Semerádová^{1,2}, Jan Klír³, Pavel Čermák³, Radko Loučka⁴, Petr Hlavinka^{1,2}, Lenka Bartošová^{1,2}, Jan Balek^{1,2}, Miroslav Trnka^{1,2}

¹*Mendelova univerzita v Brně (MENDELU)*

²*Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i. (CzechGlobe)*

³*Výzkumný ústav rostlinné výroby v.v.i. (VÚRV),*

⁴*Výzkumný ústav živočišné výroby v.v.i. (VÚŽV)*

Abstrakt

Sucho v roce 2015 silně zasáhlo v České republice polní produkci, ale i živočišnou výrobu. Ta byla postižena nepřímo tedy nedostatkem krmiv resp. jejich vyšší tržní cenou. Jejich největší podíl je tvořen kukuřicí pěstovanou na siláž (cca 0,2 mil ha) a trvalé travní porosty (cca 1 mil. ha). Pro posouzení dopadů sucha na obě komodity byl využit (i) rozsáhlý průzkum mezi pěstiteli pro zjištění procentické odchylky výnosů 2015 od období 2010-2014 (ii) Integrovaný systém sledování sucha (www.intersucho.cz) pro nalezení prediktoru sucha s nejvyšší vypovídající hodnotou (iii) statistický postup odvozený od geograficky vážené regrese pro vysvětlení podílu prediktoru sucha na odchylce výnosu. Pro kukuřici na siláž byla získána data ze 4500 katastrů, pro trvalé travní porosty z 1515 katastrů. Jako optimální prediktor dopadů sucha pro obě plodiny byla nalezena vlhkost v půdě 0,0 - 0,40 m za celý rok. Geograficky vážená regrese vysvětlila u kukuřice až 62 % procent podílu sucha na změně výnosu (obsah sušiny a škrobu) a 55 % procent změny výnosu u TTP.

Klíčová slova: výnos, zemědělské sucho, půdní vlhkost, monitoring sucha

Abstract

Drought 2015 in the Czech Republic severely affected not only field production but also livestock. This was indirectly affected by the scarcity of feed respectively their higher market price. Their largest proportion is made up of corn grown for silage and permanent grassland. To assess the impact of drought on both commodities were used (i) an extensive survey among growers to determine the percentage deviation of the yields in 2015 compared to 2010-2014 average (ii) Integrated system for drought monitoring (www.intersucho.cz) to find

predictor of drought with the highest inherent value (iii) the statistical procedure derived from geographically weighted regression to explain the impact of drought predictor on yield deviation. For silage maize, data was obtained from 4500 land cadasters for permanent grassland of 1515 land cadasters. As an optimal predictor of drought impacts for both plants was found water content in 0,0 - 0,40 m for the full year. Geographically Weighted Regression Analyses explained 62 % drought impact on the yield decrease for corn and 55 % percent for grassland.

Keywords: yield, agricultural drought, soil moisture, drought monitoring

Úvod

Jednoletých píceňin na orné půdě bylo v roce 2015 sklizeno 8 076,5 tis. tun zelené píce, tj. o 2 632,7 tis. tun méně než v roce 2014. Z toho bylo sklizeno 7 134,4 tis. tun kukuřice na zeleno a siláž, tj. o 2 443,5 tis. tun méně než v roce minulém. Extrémní zemědělské sucho v roce 2015 se vyskytlo v období od 5.7. – 15.8. (www.intersucho.cz) tedy ve fázi metání, kvetení a nalévání zrna kukuřice na zeleno a siláž (dále kukuřice), což jsou u této plodiny nejcitlivější fenologické fáze na nedostatek vody. Vztah sucha a kukuřice lze obecně posoudit pomocí ČSN 75 0434 (Potřeba vody pro doplňkovou závlahu), která je postavena na kvantifikaci potřeby vody pro polní plodiny včetně kukuřice. Pokud nejsou potřeby splněny, lze podle ní vypočítat optimální termín a potřebu reálné či hypotetické doplňkové závlahy (m^3/ha). Např. pro jižní Moravu se uvádí od 1. 5. do 31. 8. potřeba vody pro kukuřici $3100 \text{ m}^3/\text{ha}$ tj. dostupnost 310 mm vodního sloupce. Těchto 310 mm může být kryto ze zásoby vláh v půdě z předchozího (zimního) období v půdní vrstvě s dosahem kořenů plodiny, srážkovými úhrny v průběhu vegetace, či vzlínající vodou. To co chybí, se uvažuje jako orientační množství pro závlahy. Z časového pohledu významnosti optimálního obsahu vláh v půdě je nejvýznamnější období posledních 14 dní v červenci a následně perioda plus minus 14. Tedy období od 1. 7. do 15. 8. 2015. I přesto, že kukuřice patří mezi C4 rostliny, které jsou označovány jako tolerantní k suchu (např. Sato et al., 2004, Messina et al 2015, Talk et al. 2016,), extrémní nedostatek vody v půdě v roce 2015 postihl jak kvantitu, tedy množství vyprodukované biomasy, tak kvalitu, tedy produkci škrobu. U trvalých travních porostů (dále TTP), pěstovaných zhruba na 1 mil. ha, sucho na mnoha místech ČR ovlivnilo druhou a třetí seč TTP. Naopak první seč byla díky dobrému rozložení srážek, a dostatečnému nasycení půdního profilu po zimě spíše nadprůměrná. Právě fakt, že nebyla výrazněji zasažena první

seč, snížilo celoroční dopady sucha na výnos, a zejména značně zkomplikovalo interpretaci zjištěných škod. Navíc u dobře zapojených vícedruhových TTP je dobře popsána reakce na sucho změnou druhového složení (Sanderson, 2004; Liancourt et al, 2012, Zeiter et al, 2016,), která probíhá velmi rychle. V případě sucha na úkor trav (vyznačujících se mělkým kořenovým aparátem) profitují hlouběji kořenící druhy trav, některé byliny a leguminózy. To samozřejmě ovlivňuje kvalitu píce, nicméně pro její hodnocení neexistují plošně a operativně dostupná data. Obdobně se u TTP na rozdíl od jednoletých plodin projevuje celková vyšší mohutnost kořenového systému, která je zárukou vyšší odolnosti vůči nedostatku vláhy v půdě (Chaves et al. 2003, Hoekstra et al, 2015). Z tohoto důvodu nedošlo na mnoha místech k poklesu výnosu TTP, i když lze na základě monitoringu půdní vlhkosti konstatovat, že se sucho na většině území na produkci biomasy projevilo.

Materiál a metody

Metodika pro posouzení dopadů zemědělského sucha roku 2015 na kukuřici a TTP vycházela z odpovědí na tři otázky.

Kde (= katastry) se na území ČR pěstovala kukuřice a TTP v roce 2015 a jaká byla změna (nárůst, pokles) výnosu v roce 2015 z pohledu kvantity (o kolik %) a kvality u kukuřice a kvantity u TTP (o kolik %) oproti obvyklému stavu vyjádřenému průměrem z období 2010-2014?

Kdy a jak intenzivní (časoprostorová studie) bylo na těchto lokalitách sucho?

Jak se sucho podílelo na změně výnosu, resp. jestli a kolik procent snížení výnosu vysvětluje výskyt sucha?

Ad 1) Údaje byly zjištěny rozsáhlým průzkumem, který provedl v průběhu října až prosince 2015 VÚRV, kdy pro jednotlivé podniky a jejich katastry byly zjištěny odchylky produkce (průměrný výnos sušiny) od období 2010–2014. Celkově byly shromážděny údaje ze 4 500 pro kukuřici a 1 515 katastrů pro TTP. Pozn. ČR je rozdělena na 13 091 katastrů. U kukuřice byly zohledněna jak kvantita, tak i kvalita (produkce škrobu).

Ad 2) Pro území ČR se pro období od 1. 3. do 4. 10. 2015 a detailně od 1. 5. do 31.8. 2015 v týdenním či čtrnáctidenním kroku a v gridu 500x500 m zpracovaly pomocí systému ISSS (www.intersucho.cz) mapy zemědělského sucha, mapy půdní vlhkosti, mapy s procentem dní, kdy byla půdní vlhkost pod bodem snížené dostupnosti (= pod 50 % nasycením, kdy začíná suboptimální zásobování vodou) a počet dní s kriticky nízkou zásobou vody (= pod 30 %

nasyčením), a to vždy v povrchové vrstvě 0,0–0,40 m a v profilu 0,0–1,00 m. Mapy znázorňují pro každý grid jak odchylky sucha založené na obsahu půdní vláhý roku 2015 od průměru 1961–2010, tak odhadovanou intenzitu vodního stresu. Ve stejném gridu byla stanovena i aktuální evapotranspirace pro 1961–2000 a porovnána se suchým rokem 2015. Tím byl časoprostorově vymezen výskyt sucha na území ČR. Tyto podklady sloužily k hledání prediktoru (= měřitelná hodnota umožňující posouzení dopadů sucha) sucha za určité období, který by vysvětlil procento variability poklesu výnosu kukuřice a TTP.

Testováno bylo následujících osm prediktorů:

AWR 1 pod 30 % = procento dní za rok s množstvím vláhý ve vrstvě 0,0-0,40 m pod 30 %

AWR 1 pod 50 % = procento dní za rok s množstvím vláhý ve vrstvě 0,0-0,40 m pod 50 %

Počet dní s AWR 1 pod 30 % = stres suchem, tj. počet dní za rok s množstvím vláhý ve vrstvě 0,0-0,40 m pod 30 %

Počet dní s AWR 1 pod 50 % = nedostatek vláhý, tj. počet dní za rok s množstvím vláhý ve vrstvě 0,0-0,40 m pod 50 %

Podíl ETa/ETr (aktuální evapotranspirace/referenční evapotranspirace)

Hodnota Eta (aktuální evapotranspirace)

Hodnota EGR (effective global radiation) = efektivní globální radiace (= suma globální radiace ve dnech s průměrnou denní teplotou nad 5°C, s dostatečnou půdní vlhkostí, kdy ETa/ETr > 0,4, bez nočních mrazů a sněhové pokrývky)

Hodnota EGD (effective growing days) = efektivní délka vegetační doby (= počet dní s průměrnou denní teplotou nad 5°C, s dostatečnou půdní vlhkostí, kdy ETa/ETr > 0,4, bez nočních mrazů a bez sněhové pokrývky)

Ad 3) Z časoprostorové analýzy výskytu sucha a kombinací jeho termínů výskytu, různé stupně intenzity, různé hloubky v půdě, byla provedena korelace nedostatku vláhý a změny výnosu kukuřice a TTP s cílem najít prediktor, který vysvětlí nejvyšší podíl vlivu sucha na poklesu biomasy v roce 2015 na úrovni katastrů, resp. okresů ČR. K získání výsledků byly použity korelační vztahy a geograficky vážená regresní analýza (GWRA).

Výsledky

Získání dat

Dotazníkové šetření prováděl VÚRV a to v termínu prosinec až konec ledna. Dotazník (obr.

1) odpovídal mimo jiné na následující otázky

Uveďte zemědělský podnik – název a IČ.

Uved'te okres a číslo katastrálního/katastrálních území, na kterých hospodaříte.

Jakou máte výměru kukuřice a TTP?

Jakou jste měli výměru kukuřice a TTP pěstovanou v jednotlivých letech (2010 – 2015)?

Jaký byl průměrný výnos kukuřice a TTP v jednotlivých letech (2010 – 2015)?

	A	B	H	I	J	K	L	M	N	O
1	katastrální území		produkce: prům. výnos sušiny (t/ha)			nutriční hodnota: produkce škrobu (t/ha)				
2	číslo	název	2010-14	2015	rozdíl %	2010-14	2015	rozdíl (t/ha)	rozdíl %	
12	600679	Krakořice	16,1	9,8	-39%	4,8	1,7	-3,1	-64%	
13	600725	Bácovice	12,5	10,9	-13%	3,8	2,3	-1,5	-39%	
14	600733	Milotičky	12,5	10,9	-13%	3,8	2,3	-1,5	-39%	
15	600768	Bačice	11,5	6,3	-46%	3,5	1,3	-2,1	-61%	
16	600849	Baliny	11,2	8,6	-24%	3,4	1,8	-1,5	-46%	
17	600865	Bánov	11,3	10,4	-9%	3,4	2,4	-1,0	-29%	
18	600873	Báňovice	13,9	5,7	-59%	4,2	1,0	-3,1	-75%	
19	600911	Barchovice	14,9	13,3	-10%	4,5	2,3	-2,2	-48%	
20	600920	Hryzely	14,9	13,3	-10%	4,5	2,3	-2,2	-48%	
21	600938	Radlice u Barchovic	14,9	13,3	-10%	4,5	2,3	-2,2	-48%	
22	600971	Bartošovice	12,1	10,1	-17%	3,6	2,4	-1,2	-34%	
23	600989	Bartošovice v Orlických horách	11,0	7,4	-33%	3,3	1,7	-1,6	-50%	
24	601021	Vrchní Orlice	11,0	7,4	-33%	3,3	1,7	-1,6	-50%	
25	601047	Bařice	12,9	11,3	-12%	3,9	3,1	-0,8	-20%	
26	601055	Velké Těšany	12,9	11,3	-12%	3,9	3,1	-0,8	-20%	
27	601063	Baška	12,7	8,6	-32%	3,8	1,8	-2,0	-53%	
28	601080	Hodoňovice	12,7	8,6	-32%	3,8	1,8	-2,0	-53%	
29	601098	Kunčičky u Bašky	12,7	8,6	-32%	3,8	1,8	-2,0	-53%	
30	601101	Bašnice	12,0	9,9	-18%	3,6	1,7	-1,9	-54%	

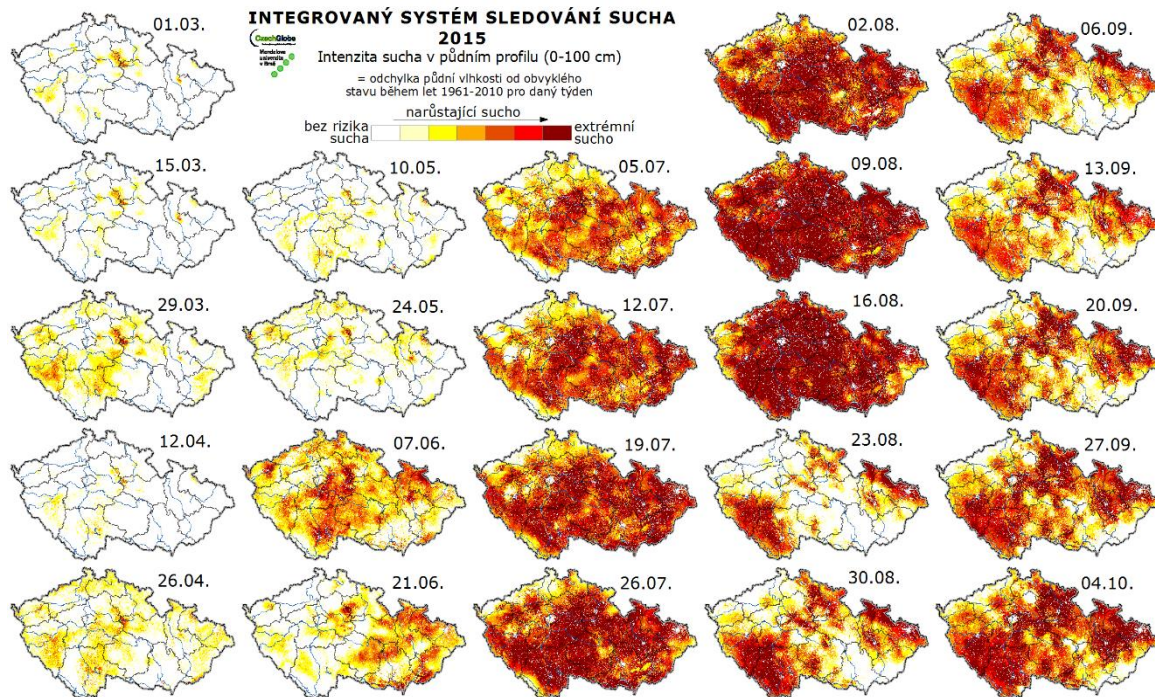
Obr. 1: Ukázka databáze změny výnosů kukuřice – sušiny pro jednotlivé katastry (zpracováno VÚRV) s úpravou na redukci produkce škrobu (zpracováno podle metodiky VÚŽV, 2015).

Data ze 4500 (kukuřice) resp. 1515 (TTP) katastrů byla následně sestavena do jednotné databáze pro korelaci s prediktory sucha.

Monitoring sucha v roce 2015

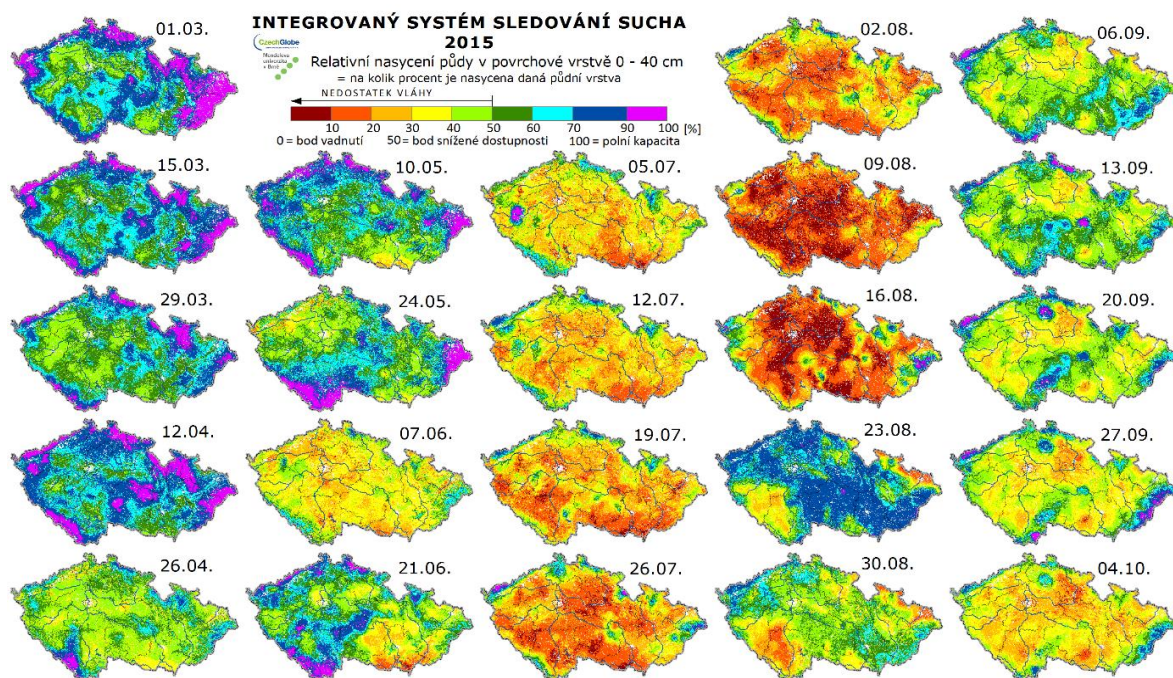
Sucho bylo v roce 2015 hodnoceno z pohledu trvání = doby výskytu a intenzity (obr. 2), obsahu vody v půdě ve dvou půdních profilech (obr. 3a a obr. 3b). Kromě toho za rok 2015 bylo vyhodnoceno trvání doby sníženého nasycení půdy pod 50 % (= začínající stres suchem) a 30 % (= intenzivní stres suchem). Všechny analýzy byly prováděny v prostorovém gridu 500 x 500 m (případně agregovány pro katastrální území a okresy pro celé území ČR) a sledovány byly dvě hloubky půdy 0,0 – 0,40 m resp. 0,0 – 1,00 m. Obr. 4a a 4b slouží jako metodické znázornění těchto analýz a vymezují kritickou část roku od 1.3.- 04.10. 2015 pro uvedené hloubky půdy. Veškeré detaily a mapy monitoringu sucha 2015 jsou archivovány na

www.intersucho.cz, případně na www.intersucho.cz/cz/mapy a je možné je stáhnout, pohlédnout či analyzovat v týdenním kroku.

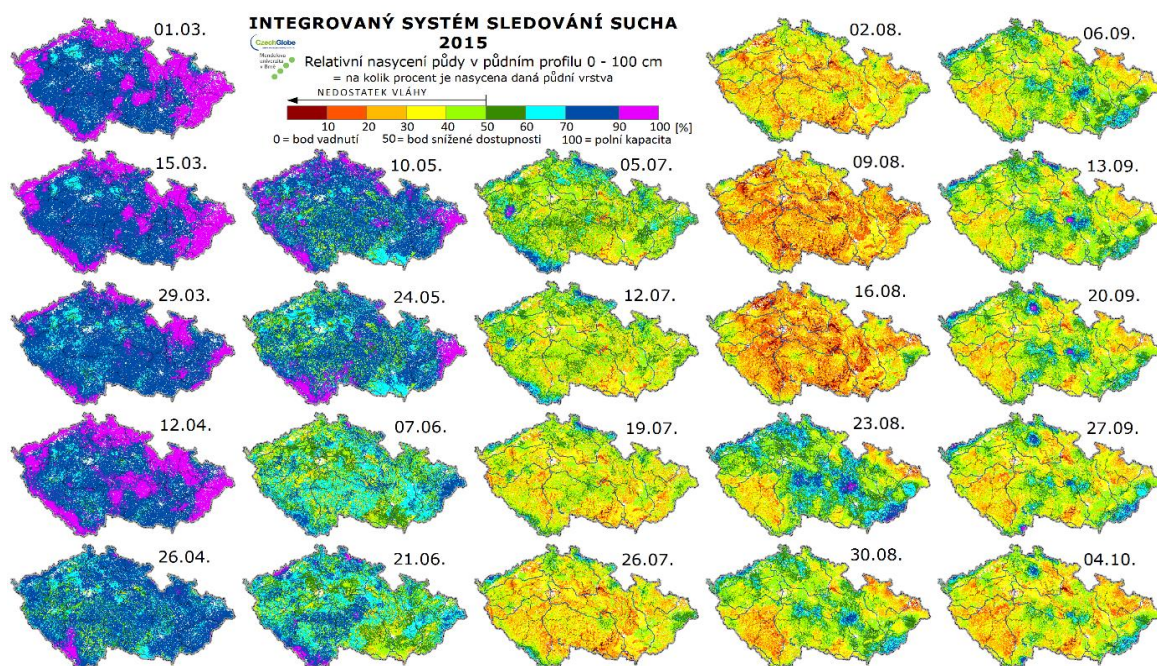


Obr. 2: Časový průběh sucha od 1. 3. do 4. 10. 2015 v čtrnáctidenním resp. týdenním kroku odrážející množství vody ve vrstvě 0 – 1,0 m

Obr. 2 dokumentuje průběh zemědělského sucha v roce 2015. V první část vegetačního období až do počátku sklizně pšenice, řepky a ječmene se až na výjimky sucho nevyskytovalo, což bylo základní příčinou dobrého výnosu i u TTP a to nejen její první seče, ale i založení seče druhé. U jmenovaných plodin, ale i dalších s kratší vegetační dobou, zajistilo nastupující sucho počátkem prázdnin velmi dobré podmínky pro dosažení fyziologické zralosti, a hlavně umožnilo i plynulý průběh sklizně, kdy jsou vlhčí podmínky výrazným hendikepem. Následovalo však velmi suché období s výraznými dopady na plodiny s delší vegetační dobou (např. kukuřice, brambory, jablka). Na většině území byla suchá perioda ukončena mezi 15.8. - 20.8., kdy se vyskytly srážky jdoucí od jižní Moravy, přes Vysočinu až po severní a západní Čechy. Zajímavé je, že zatímco na Šumavě suchá perioda v průběhu podzimu rovněž skončila, na území severní Moravy a Slezska trvá do dnes (= únor/2016).



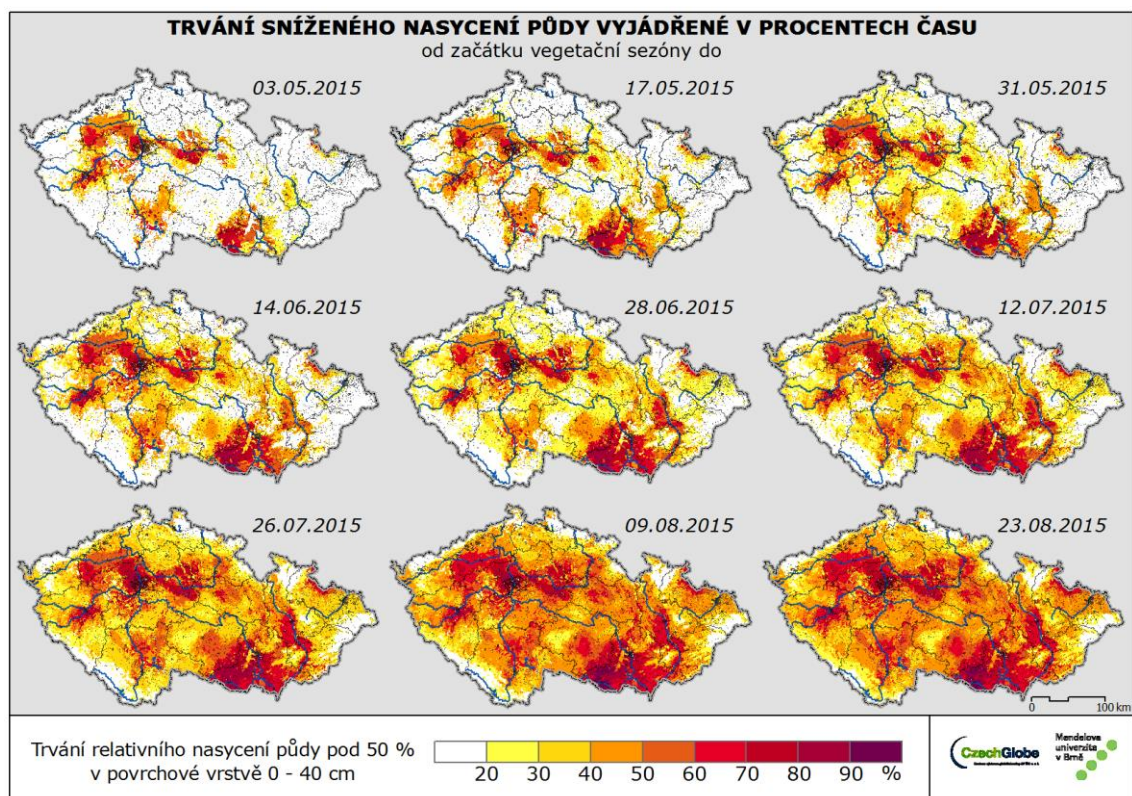
Obr. 3a: Obsah vody ve vrstvě 0–0,40 m (zpracováno pro okresy) v období 1.3. – 4. 10. 2015



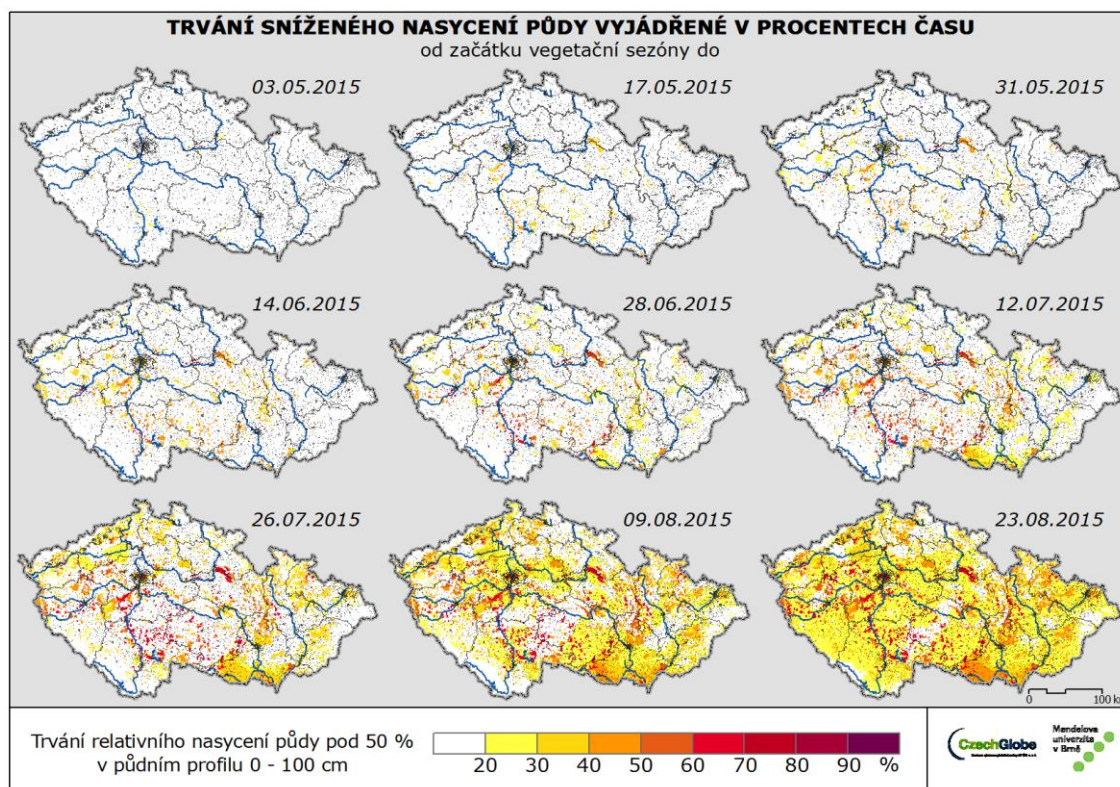
Obr. 3b: Obsah vody ve vrstvě 0–1,00 m (zpracováno pro okresy) v období 1.3. – 4. 10. 2015

Výpočet půdní vlhkosti uvedené na obr. 3a i 3b je základem pro výpočet stupňů sucha, neboť zemědělské sucho odráží v podstatě půdní vlhkost. Z časového chodu je zřejmé ubývání vody v půdě s nástupem bezesrážkové periody začínající počátkem července. Prakticky až na horské oblasti se nedostatek vláhy projevil po celém území ČR, i když výrazněji na jižní

Moravě, středních a jižních Čechách. Za zmínku stojí, jak území ČR zareagovalo na srážky v období 16.-20.8. v povrchové vrstvě (Obr. 3a) a v celém metrovém profilu (Obr. 3b).



Obr. 4a: Trvání sníženého nasycení půdy pod 50 % vyjádřené v procentech času pro vrstvu 0,0–0,40 m od 3.5. – 23.8.2015

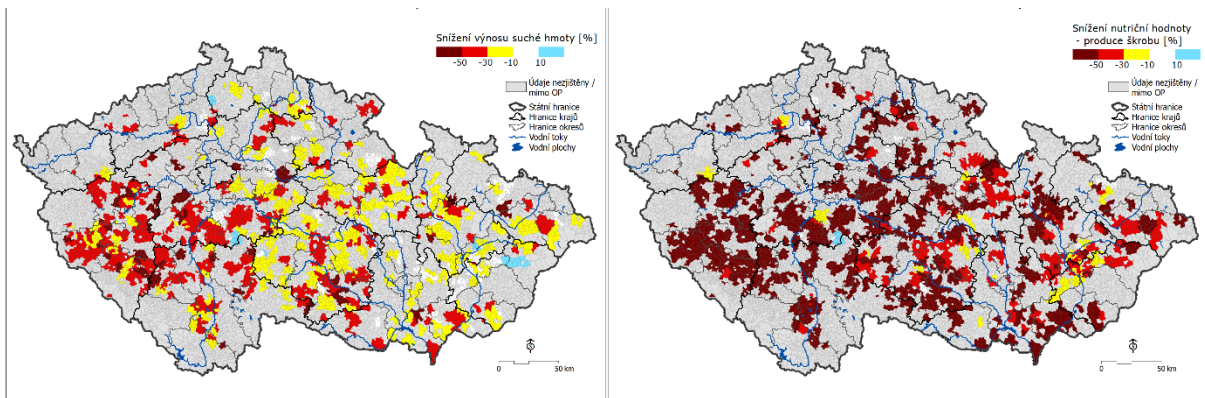


Obr. 4b: Trvání sníženého nasycení půdy pod 50 % vyjádřené v procentech času pro vrstvu 0,0–1,0 m od 3.5. – 23. 8. 2015

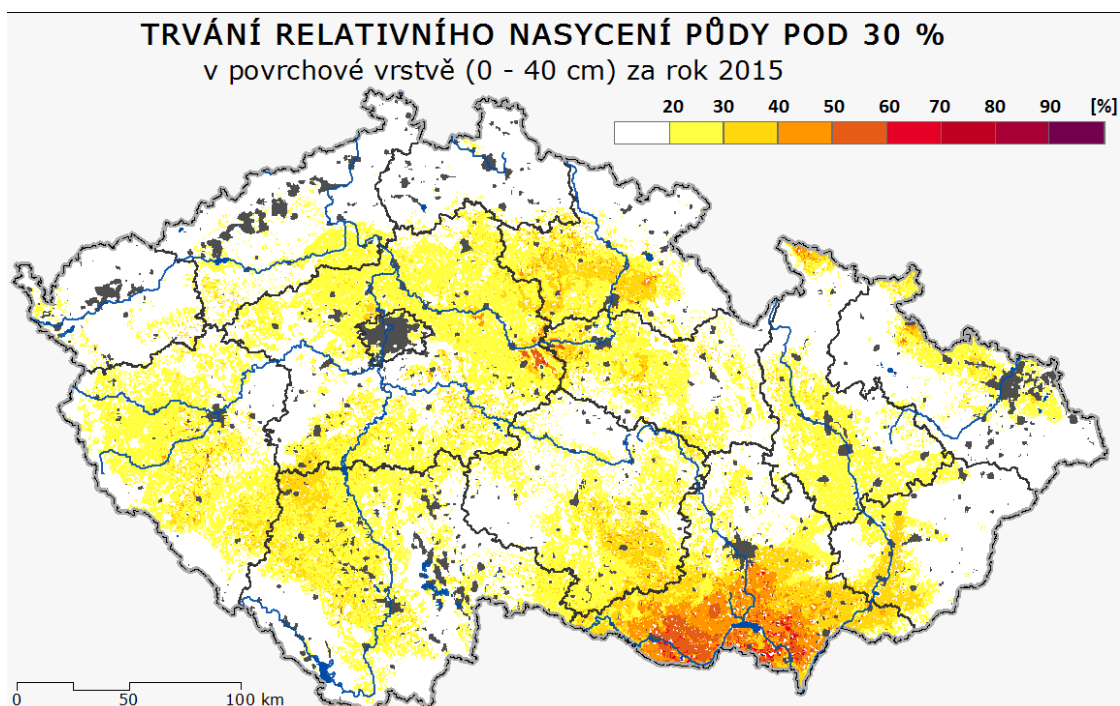
Dopady sucha

Dopady sucha na výnos kukuřice

Propojením databáze snížení výnosu VÚRV v katastrech (Obr. 5) s parametry sucha bylo provedeno pomocí GWRA (geograficky vážené regresní analýzy. GWRA je schopna vysvětlit jak se určitý měřitelný parametr (prediktor) podílí na snížení výnosu z prostorového pohledu. Z časového pohledu se jednalo půdní vlhkost resp. intenzitu sucha za celý červenec, druhou půlku července, první polovinu srpna celý srpen. Z pohledu obsahu vláhy v půdě byly testovány hloubky 0–0,40 m dále 0,40–1,00 m a 0,40–1,00 m Jako prediktor s nejvyšším dopadem je zpracován nedostatek vláhy za rok v hloubce 0,0–0,40 m (Obr. 6). Samotná analýza vazby mezi suchem a výnosy je pro tento prediktor zpracována na obr. 7.



Obr. 5: Přehledná mapa katastrů se změnou výnosů – sušiny (vlevo) a s úpravou na redukci produkce škrobu (vpravo) u kukuřice na siláž v roce 2015 s průměrem 2010-2014.

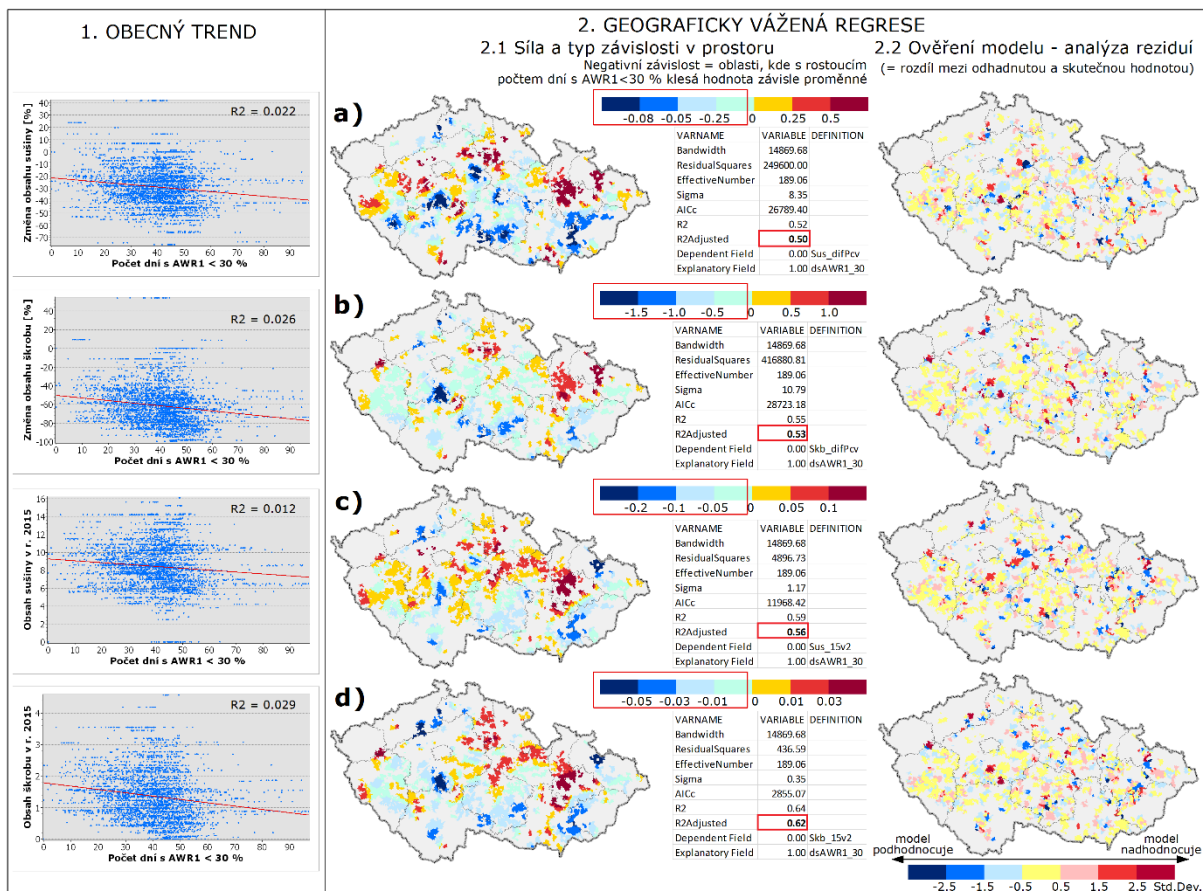


Obr. 6: Prediktor trvání relativního nasycení půdy pod 30 % za rok 2015 v hloubce 0,0 – 0,40 m.

KUKUŘICE 2015 - šetření VÚRV, v.v.i. - REGRESNÍ ANALÝZA

Nezávisle proměnná: Počet dní s AWR1 < 30 % = Počet dní s kriticky nízkou zásobou vody v povrchové vrstvě 0 - 40 cm

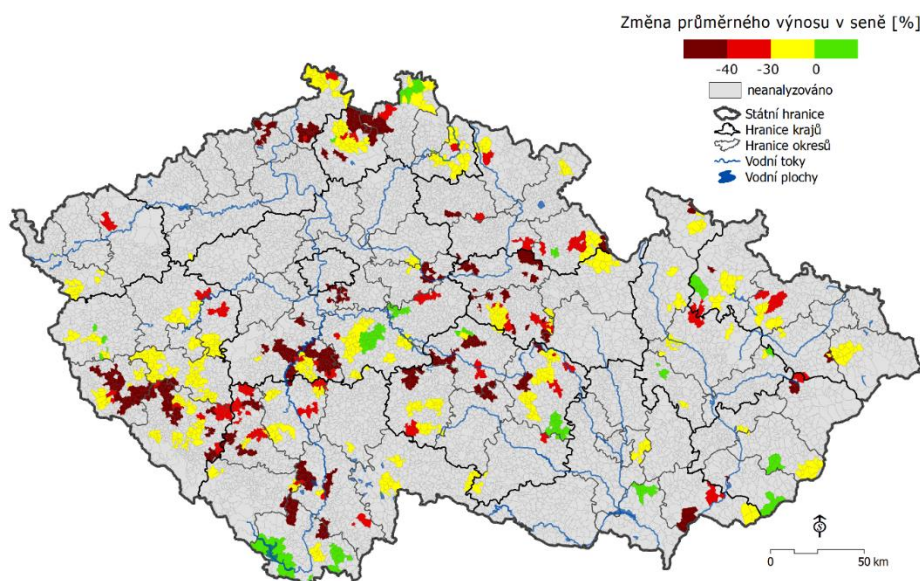
Závisle proměnná: a) Změna obsahu sušiny v zrnu [%], b) Změna obsahu škrobu v zrnu [%], c) Obsah sušiny v zrnu v r. 2015, d) Obsah škrobu v zrnu v r. 2015



Obr. 7. Výsledky Geograficky vážené regresní analýzy (GWR), která ukazuje, že prediktor „Počet dní s kriticky nízkou zásobou vody v půdě za rok 2015 v hloubce 0,0 – 0,40 m“ vysvětluje téměř 56 % variability snížení výnosů suché hmoty (červené rámečky) a dokonce 62 % variability rozložení výnosů škrobu za rok 2015.

Dopady sucha na výnos TPP

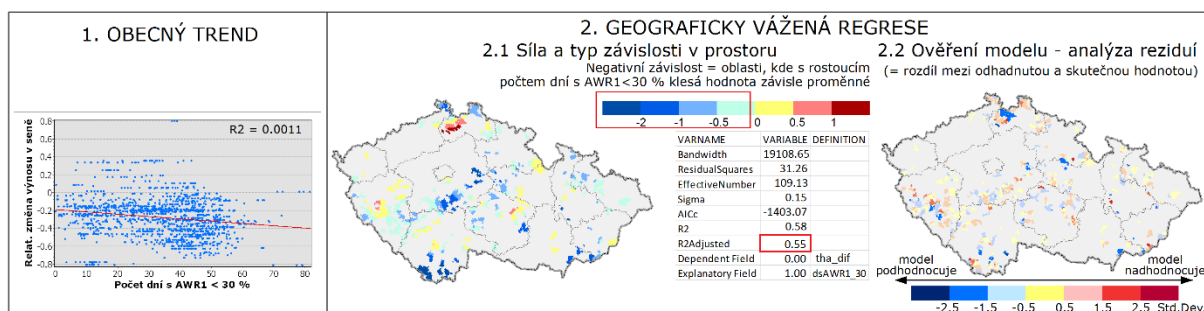
Obdobně jako u kukuřice vyznačení hodnot výnosů 2015 oproti pětiletému průměru 2010-2014 ukazuje obr.8 (katastry) a výsledky pro GWR pro prediktor počtu dní s kriticky nízkým obsahem vláhy v 0,0-0,40 m pro celý rok obr. 9.



Obr. 8: Katastry s procentickou odchylkou výnosu TTP 2015 od průměru 2010-2014

TTP 2015 - šetření VÚRV, v.v.i. - REGRESNÍ ANALÝZA

Nezávisle proměnná: Počet dní s AWR1<30 % = Počet dní s kriticky nízkou zásobou vody v povrchové vrstvě 0 - 40 cm
 Závisle proměnná: Relativní změna průměrného výnosu v seně v r. 2015 oproti průměru za období 2010-2014



Obr. 9: Výsledky Geograficky vážené regresní analýzy pro prediktor „Počet dnů s relativním nasycením povrchové vrstvy půdy pod 30 % za rok 2015 v hloubce 0,0 – 0,40 m vysvětluje téměř 55 % variability snížení výnosů suché hmoty TTP.

Diskuze a závěr

Kukuřice: V případě, že se do snížení výnosů zahrnula kvantita (biomasa) i kvalita (produkce škrobu) bylo z celkových 76 okresů ČR testováno 68 okresů a z toho 64 se snížením výnosů o 30 % a více; resp. 62 okresů o 40 % a více. Nejvýznamnějším časoprostorovým prediktorem sucha vysvětlení dopadů na výnos byl počet dní s kriticky nízkým obsahem vody v povrchové vrstvě půdy 0,0 – 0,40 m za rok. Ještě lépe zmíněný prediktor v roce 2015 vysvětluje snížení výnosu suché hmoty (z 56 %) a výnosu škrobu (dokonce z 62 %). Tento výsledek má oporu i v literatuře, neboť je např. v souladu s normou ČSN 75 0434 „Potřeba vody pro doplňkovou závlahu“, která uvádí jako kritické období pro tvorbu výnosu kukuřice srpen a obsah vody

v půdě do 0,50 m. Na základě literatury (např. Chaves et al., 2003) lze objektivně předpokládat, že další faktory, které se podílely na snížení výnosu, byly vysoká teplota vzduchu (např. na jižní Moravě se v roce 2015 vyskytlo 48 tropických dní, což i pro C4 plodiny a v současnosti u nás používané hybridy kukuřice je stresující stav), škůdci (zvláště zavíječ a bázlivec), nevhodně zvolené odrůdy, nedostatky v agrotechnice nebo i další např. agrometeorologické nepříznivé lokální jevy.

TTP: Jedná se opět o vazbu mezi výnosem a prediktorem vyjadřujícím kriticky malé (pod 30 %) nasycení půdy v povrchové vrstvě půdy do 40 cm za celý rok. Konkrétně ze 76 okresů ČR (vyjma hlavního města Prahy) byly dotazníkovým průzkumem vymezeny 4 okresy s lepšími výnosy v roce 2015, než byl průměr 2010-2014, 32 okresů s poklesem výnosů o 0-30 %, 6 okresů s poklesem výnosů mezi 30-40 % a 14 okresů pod 40 %. Z dalších 20 okresů se nepodařilo získat data. Je nutné mít na paměti relativní malé množství dat (získali jsme data z cca 90 tis. ha, přitom v ČR by mělo být 1 mil ha TTP a katastrální území, která jsme analyzovali, pokrývají necelých 13 % rozlohy ČR). Výraznou roli při hodnocení dopadů sucha na TTP hraje i fakt, že získané údaje jsou značně heterogenní, k čemuž mohla přispět i subjektivita hodnocení v rámci jednotlivých podniků. Dalším kritériem, které vždy u takovýchto studií s relativně malým množstvím dat musí být bráno v úvahu, je kvalita půdy a její schopnost udržet vláhu a odolávat suchu (Hoekstra et 2014). Hladina podzemní vody v naší studii nehrála roli, neboť gridy, kde byla extrémně vysoká, byly z analýzy vyloučeny. Celkově z 1515 katastrálních území mělo 127 nárůst výnosu. U 1388 katastrálních území byl vyhodnocen pokles výnosu a z nich u 958 v negativní závislosti s rostoucím počtem dní s kritickým množstvím půdní vláhy pod < 30 %. Na základě GWRA se podařilo prokázat, že změny výnosu je možné u těchto katastrů z 55 % vysvětlit suchem. Tedy pokles výnosu u 63 % z analyzovaných katastrálních území lze s poměrně vysokou pravděpodobností vysvětlit výskytem zemědělského sucha v roce 2015.

Literatura

ČSN 75 0434 „Potřeba vody pro doplňkovou závlahu“,

Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant, *Functional Plant Biology*, Vol.: 30, Issue: 3: 239-264, 2003

Gilgen, A. K.; Buchmann, N. Response temperate grasslands at different altitudes to simulated summer drought differed but scaled with annual precipitation, *Biogeosciences*, Vol.: 6. Issue: 11: 2525-2539, 2009

Hoekstra, N. J., Suter, M., Finn, J. A., Husse, S., Luescher, A. Do belowground vertical niche differences between deep- and shallow-rooted species enhance resource uptake and drought resistance in grassland mixtures? *Plant and Soil*, Vol.: 394, Issue: 1-2: 21-34 DOI: 10.1007/s11104-014-2352-x, 2015

Hoekstra, N. J.; Finn, J. A.; Her, D. et al. The effect drought and interspecific interactions on depth water uptake in deep- and shallow-rooting grassland species as determined by delta O-18 natural abundance, *Biogeosciences*, Vol.: 11, Issue: 16: 4493-4506, 2014

Liancourt, P., Spence, L.A., Boldgiv, B., et al. Vulnerability the northern Mongolian steppe to climate change: insights from flower production and phenology, *Ecology*, Vol.: 93, Issue: 4: 815-824, 2012

Messina, C.D., Sinclair, T. R., Hammer, G.L., Curan, D., Thompson, J., Oler, Z., Gho, C., Cooper, M., Limited-Transpiration Trait May increase Maize Drought Tolerance in the US Corn Belt, *Agronomy Journal*, Vol.: 107, Issue: 6: 1978-1986, DOI: 10.2134/agronj15.0016, 2015

Sanderson, M.A., Skinner, R.H., Barker, D.J. et al. Plant species diversity and management temperate forage and grazing land ecosystems, *Crop Science*, Vol.: 44, Issue: 4: 1132-1144, 2004

Sato, A., Kubota, F. Specific difference in photorespiration activity in C4 subtype plants and its relationship with drought tolerance leaf photosynthesis, *Journal of The Faculty of Agriculture Kyushu University*, Vol.: 49, Issue: 1: 25-32, 2004

Tolk, J.A., Evett, S. R., Xu, W., Schwartz, R.C. Constraints on water use efficiency drought tolerant maize grown in a semi-arid environment, *Field Crops Research*, Vol.: 186, Pages: 66-77 DOI: 10.1016/j.fcr.2015.11.012, 2016

Zeiter, M., Schaerrer, S., Zweifel, R., Newbery, D., Stampfli, A., .Timing extreme drought modifies reproductive output in semi-natural grassland, *Journal of Vegetation Science*, Vol.: 27, Issue: 2: 238-248, DOI: 10.1111/jvs.12362, 2016

Poděkování

Studie byla podpořena projektem Národní agentury pro zemědělský výzkum projekt č. QJ1610072 s názvem „Systém pro monitoring a předpověď dopadů zemědělského sucha“.

Kontakt:

prof. Ing. Zdeněk Žalud, Ph.D.

Mendelova univerzita v Brně, Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i.

Zemědělská 1, Brno

+420 545133083, zalud@mendelu.cz

Půdní a zemědělské sucho

Sborník abstraktů z mezinárodní konference, Kutná Hora 28. 4.–29. 4. 2016

J. Rožnovský, J. Vopravil, (eds)

Vydalo nakladatelství Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, 2016

1. vydání, 582 stran

Náklad 150 ks

Publikace neprošla jazykovou úpravou, za obsah příspěvků odpovídají autoři

ISBN 978-80-87361-55-9