

# Elektromagnetické pole a člověk

---

O FYZICE, BIOLOGII, MEDICÍNĚ,  
NORMÁCH A SÍTI 5G



Ministerstwo  
Cyfryzacji

 **INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI**  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

# Elektromagnetické pole a člověk

---

O FYZICE, BIOLOGII, MEDICÍNĚ,  
NORMÁCH A SÍTI 5G



Ministerstwo  
digitalizace

Předkládáme Vám publikaci, která srozumitelným způsobem přibližuje nejdůležitější témata spojená s elektromagnetickým polem v oblasti rádiových kmitočtů. Právě díky němu si můžeme vychutnávat oblíbené rozhlasové a televizní pořady nebo používat mobilní telefony. Jedná se tedy o základní předpoklad pro bezproblémový a rychlý tok informací, což je dnes pro naši civilizaci velmi podstatné.

Tato publikace je rozdělena do čtyř sekcí. První tři odpovídají na často kladené otázky ohledně elektromagnetických vln. Co jsou zač? Jaký mají vliv na lidský organizmus? Jak se dají měřit a jaká regulační opatření se na ně vztahují? Ve čtvrté části stručně vysvětlíme, jaký je vztah mezi elektromagnetickým polem a telekomunikací, a objasníme, co je 5G, tedy příští generace mobilních sítí.

Jsme si jisti, že tato publikace pomůže všem zájemcům pochopit, co je elektromagnetické pole a jak jej můžeme využít pro dobro Polska.

Zveme Vás ke čtení!

Ministerstwo digitalizace

**Koordinátor projektu**

Wojciech Hałka

**Hlavní redaktor**

Łukasz Lamża

**Pomocný redaktor**

Łukasz Kwiatek

**Korektury**

Maciej Szklarczyk

**Infografiky**

Lech Mazurczyk

**Další ilustrace**

Paweł Woźniak

**Grafický návrh a sazba**

Adrian Hajda

**Tisk**

ACAD, Mirosław Przywózki  
ul. Sosnowa 34a, 05-420 Józefów

**Vydavatel:**

Ústav spojů, veřejná výzkumná instituce

ul. Szachowa 1

04-894 Varšava, Polsko

tel. +48 22 5128 100

e-mail: [info@itl.waw.pl](mailto:info@itl.waw.pl)

[www.itl.waw.pl](http://www.itl.waw.pl)

ISBN 978-83-916146-5-5

© Copyright by Ministerstwo digitalizace, Varšava 2019

Projekt je financován z prostředků  
účelové dotace Ministerstva  
digitalizace

Zpracování a příprava: Ústav spojů,  
veřejná výzkumná instituce



Ministerstwo  
Cyfryzacji

**INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI**  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY



## I. Fyzika

- 6 Úvod
- 8 **I.1** Elektromagnetické pole, elektromagnetické vlny
- 14 **I.2** Od rádiových vln po gama paprsky: spektrum elektromagnetických vln
- 22 **I.3** Výkon, absorpce, rozptyl
- 28 **I.4** Přirozené zdroje elektromagnetického pole
- 32 **I.5** Umělé zdroje elektromagnetického pole
- 38 **INFOGRAFIKA:** Vybrané způsoby využití elektromagnetických vln
- 40 **I.6** Jak funguje mobilní telefon?



## II. Biologie i medicína

- 49 Úvod
- 50 **II.1** Interakce elektromagnetických polí v oblasti rádiových kmitočtů s biologickými systémy
- 58 **II.2** Působení mikrovlnného a rádiového záření na lidi
- 67 **INFOGRAFIKA:** Dominantní oblasti zkoumání zdravotních důsledků mikrovln a rádiových vln



## III. Normy a měření

- 71 Úvod
- 72 **III.1** Normy, standardy a bezpečnost
- 82 **III.2** Normy platné pro elektromagnetické pole
- 89 **III.3** Způsoby měření elektromagnetického pole
- 95 **III.4** Měření elektromagnetického pole v Polsku a na světě



## IV. Technologie 5G

- 105 Úvod
- 106 **IV.1** Generace mobilních technologií
- 110 **IV.2** Předpoklady a cíle, plánované parametry 5G
- 114 **IV.3** Uplatnění 5G
- 122 **INFOGRAFIKA:** Příklady využití 5G
- 124 **IV.4** Jaké výhody přináší 5G?
  
- 126 Slovník
- 129 Autoři a konzultanti



# *I. Fyzika*

# Úvod

---

- Elektromagnetické pole je jedním ze základních prvků světa přírody. Vyskytuje se v blízkosti všech elektricky nabitých částic, pohyblivých nábojů a permanentních magnetů.
- V elektromagnetickém poli se pohybují jeho excitace – elektromagnetické vlny. Tyto vlny přenášejí energii.
- Podle současného fyzikálního poznání bychom o takovéto vlně mohli hovořit jako o toku částic – fotonů.
  - Elektromagnetické vlny mohou mít různou délku – tj. vzdálenost mezi jednotlivými „vrcholy“ – z čehož vyplývá jejich frekvence – aneb míra toho, kolikrát za stanovenou jednotku času, obvykle 1 sekundu, daným bodem projde vrcholek vlny. Elektromagnetické vlny s různými délkami/kmitočty mají také různou energii. Čím je vlna delší (a tedy frekvence nižší), tím je energie jednoho fotonu menší.
  - Zde je důležité rozdělení na ionizující a neionizující záření. Souvisí to se schopností fotonu ionizovat, tj. vyvolat reakci, při které se z elektricky neutrálního atomu nebo molekuly stává elektricky nabitá částice čili iont. V praxi to znamená, že ionizující záření může vyvolat chemické reakce a ovlivnit tak částice, které se nacházejí v živých buňkách, např. DNA.
  - Elektromagnetické vlny z rádiového a mikrovlnného kmitočtového rozsahu jsou neionizující. K jejich nejvýznamnějším způsobům využití patří: rozhlasové vysílání AM, FM a DAB, pozemní digitální televizní vysílání, mobilní telefonie, Wi-Fi, Bluetooth nebo radar. Kdežto v medicíně se častěji používá ionizující záření, např. při rentgenografii nebo radioterapii v léčbě nádorů.

- Základní veličiny, jimiž lze kvantitativně charakterizovat elektromagnetické pole jsou: intenzita elektromagnetického pole  $E$ , intenzita magnetického pole  $H$  a plošná hustota výkonu/hustota zářivého toku  $S$  elektromagnetické vlny.
- Při šíření („propagaci“) vln prostorem vznikají různé interakce s předměty, které se v daném prostoru nacházejí. Dochází tak k: mnohonásobnému odrazu vlnění, lomu, ohybu, skládání (interferenci), tlumení a rozptylu.
- V důsledku těchto jevů je intenzita pole v daném bodu, zejména v městském prostředí, těžko předvídatelná a může se neustále měnit i při nehybném zdroji (anténě).
  - Existuje velké množství přirozených zdrojů elektromagnetického pole.
  - Země je zdrojem vlastního magnetického pole, které vzniká v tekutém jádru naší planety. Také v atmosféře dochází ke vzniku různých magnetických a elektrických polí, což se projevuje třeba přírodními elektrickými výboji (blesky).
  - Každé těleso, jehož teplota je vyšší než absolutní nula (tj. prakticky každé těleso ve vesmíru), je navíc zdrojem tzv. tepelného záření. V případě těles s pokojovou teplotou toto záření spadá do infračerveného rozsahu.
- Již téměř 150 let lidstvo stále více využívá přístroje a zařízení, které jsou zdrojem elektromagnetického pole.
- První rozhlasové vysílací stanice v Polsku vznikly ve dvacátých letech 20. století. V roce 1923 byla zřízena centrální stanice u Varšavy a v roce 1927 pak i vysílací stanice v Krakově, Poznani a Katovicích.
- Každé elektrické zařízení – jako např. televizor, fén, lednice, indukční varná deska, notebook nebo mobilní telefon – je zdrojem elektromagnetického pole.
  - Základní organizační složkou systému mobilní telefonie je „buňka“: oblast pokrytá jednou základnovou stanicí.
  - V základnové stanici jsou sektorové antény, které slouží ke komunikaci s uživateli, a antény radioreléového spoje, které slouží ke komunikaci s ostatními základnovými stanicemi nebo základnovou řídicí jednotkou.
  - Čím je vzdálenost koncového zařízení (tzn. každého zařízení, které používá celulární síť, např. mobilního telefonu) od základnové stanice větší, tím větší výkon musí toto zařízení, které je zároveň i vysílačem, vyzařovat. Výkon koncového zařízení je tudíž největší na hranici buňky a klesá s tím, jak se uživatel přibližuje k anténě základnové stanice.



## I.1

# Elektromagnetické pole, elektromagnetické vlny

---

RAFAŁ PAWLAK

Vesmír podle nejpravděpodobnějšího modelu evoluce, zvaného „Velký třesk“ (ang. *Big Bang*), vznikl asi před 14 miliardy let. Z velmi husté a horké počáteční singularity se vynořil prostor, čas, hmota, energie a jejich vzájemné interakce. Ve vesmíru vyvíjejícím se po další miliardy let hrají elektromagnetické jevy velkou roli. Patří totiž k četným, nesmírně důležitým a zásadním procesům, které od počátku vytvářely a stále formují přirozené elektromagnetické prostředí Země a tvoří jeho nedílnou součást. Energie doprovázející elektromagnetické jevy, která je jednou z nejstarších forem energie ve vesmíru, jako jeden z mnoha faktorů ovlivňovala vývoj naší planety a život, který se na ní objevuje.

Elektromagnetické pole nepochybně provází člověka nejen od „počátku věků“, ale také všude, v každé oblasti jeho života. Člověk, stejně jako celá naše planeta, se nachází v blízkosti obrovského zdroje elektromagnetických vln s velmi širokým spektrem, kterým je Slunce. Lidské tělo nejenže využívá elektromagnetické pole a v průběhu evoluce získalo imunitu vůči některým jeho formám, ale také se stalo zdrojem elektromagnetického pole – a to v poměrně širokém kmitočtovém rozsahu. Kromě toho už více než 100 let lidstvo vytváří umělé zdroje elektromagnetického pole.

## Čtyři interakce

Elektromagnetické pole je jednou ze čtyř objevených fundamentálních sil působících v přírodě, tzv. základních interakcí, které nelze převést na jiné interakce. Patří k nim:

- gravitační interakce (v klasickém pojetí, jedná se o univerzální gravitační sílu spojenou s existencí přitažlivosti mezi částicemi obdařenými hmotou),
- slabá jaderná interakce (zodpovědná za některé formy rozpadu atomových jader a elementárních částic),
- silná jaderná interakce (existuje v atomových jádrech a působí mezi elementárními částicemi, které je tvoří),
- elektromagnetická interakce (existuje mezi částicemi obdařenými elektrickým nábojem).

Lze dokonce najít určité paralely mezi elektromagnetickými a gravitačními interakcemi. Například dosah působení obou těchto interakcí je nekonečný, na rozdíl od dalších dvou interakcí, právem nazývaných „jadernými“, které jsou v praxi omezeny na bezprostřední okolí částic, jako jsou protony a neutrony. Každá interakce je však jiná, například gravitační interakce je nesrovnatně slabší než elektromagnetická:

povšimněme si třeba, že elektromagnetická síla, kterou působí malinký magnet na nějaký drobný kovový předmět, může snadno překonat gravitační sílu generovanou celou zeměkoulí.

### Záření nebo pole?

Termín „záření“ je ryze technický pojem, který se používá k popisu různých jevů spojených s přenosem energie ve formě vln nebo částic v prostoru nebo jiném médiu. Můžeme tedy hovořit nejen o záření elektromagnetickém (včetně záření světelného, tedy „viditelného“), ale také například i o záření zvukovém nebo tepelném. Některým lidem se při pojmu „záření“ jednoznačně vybaví jaderná energie a obavy spojené s riziky, které mohou s touto energií souviset – jedná se však o velmi nešťastné spojení. Vždyť i teplo, které cítíme v blízkosti topného tělesa, je formou záření – zcela neškodného, ba dokonce pro život nezbytného.

Ve fyzickém pojetí se **pole** obvykle rozumí jako **statické pole: elektrické a magnetické** (např. elektrostatické pole, které se projevuje tím, že zvedá vlasy, když k nim přiblížíte svetr, který byl předtím třený) a střídavé **elektromagnetické pole**. V nejobecnějším významu může být termín „**elektromagnetické záření**“ použit k označení jakékoli formy časově proměnného elektromagnetického pole – tedy těch situací, když se v poli vyskytují cestující **vlny**. Často se však předpokládá, že slovo „záření“ zahrnuje pouze ty vlny, jejichž kmitočet je větší než 300 GHz (viz infografika na straně 38). Podle této definice by tedy rádiové a mikrovlnné vlny neměly být označovány jako „radiační záření“ nebo „mikrovlnné záření“, i když se to někdy děje, což bohužel navozuje mylné negativní asociace se škodlivým ionizujícím zářením<sup>1</sup> nebo s radioaktivitou související s jadernými jevy. Takto se ničím neodůvodněným spojováním s tragickými událostmi, ke kterým došlo v Hirošimě, Nagasaki, Černobylu nebo Fukušimě, může vytvořit pocit ohrožení. Obecně je důležité si uvědomit, že slovo „záření“ nemá žádnou souvislost s otázkou bezpečnosti nebo škodlivosti pro zdraví – jedná se pouze o technický pojem pro popis časově proměnného elektromagnetického pole.

Pro správné pochopení problematiky spojené s elektromagnetickým polem jako fyzikálním jevem

je třeba se nejprve podívat na to, co je to ve skutečnosti elektromagnetické pole.

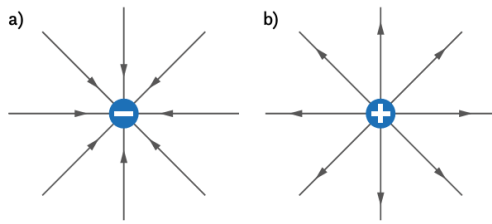
### Statické elektrické pole

Elektrické pole je určitý energetický stav prostoru související s existencí elektrických nábojů, které jsou jeho zdrojem. Rozlišujeme kladné a záporné náboje. Elektrický náboj je diskrétní veličina nebo, jinými slovy, je to kvantifikovatelná veličina. V praxi to znamená, že existuje určitá minimální „dávka“ náboje (tzv. elementární náboj), která činí  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C (coulombu), tedy náboj nesený nějakým tělesem musí být celočíselným násobkem minimální „dávky“ náboje.

Elektrické pole je kvantifikováno měřitelnou veličinou, která se nazývá intenzita elektrického pole  $E$  a je vyjádřena jednotkou [V/m] (volt na metr). Obraz elektrického pole lze pro lepší pochopení a vizualizaci samotného jevu graficky prezentovat pomocí tzv. siločar pole. Siločáry elektrického pole kolem bodového zdrojového náboje jsou prezentovány jako přímky směřující k zápornému náboji („vstupují“ do záporného náboje) nebo z kladného náboje („vycházejí“ z kladného náboje) a co je podstatné – nemohou se vzájemně protínat. Mohou být stanoveny experimentálně, například pomocí štětinových proužků, které se modelují podle směru působení vektoru elektrického pole  $E$ .

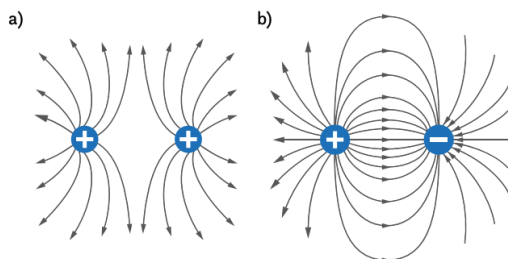
Skutečnost, že v přírodě existují elektrostatické interakce, byla známa již ve starověku. Jako první popsal jev statické elektřiny řecký filozof Thalés z Milétu v 6. století před našim letopočtem. Všiml si, že jantar, když je třen látkou, začíná přitahovat některé drobné, lehké předměty.

<sup>1</sup> Viz <http://ptze.pl/elektrofakty/?article=elektrosmog-w-pogoni-za-sensacyjnymi-naglowkami>



Obr. 1a, b. Siločáry elektrického pole kolem bodového záporného (a) a kladného zdrojového náboje (b). Autor: Paweł Woźniak

V novověké historii, na konci 16. století, první výzkum a pokusy související s jevem elektrizace materiálů a magnetizmu prováděl William Gilbert – osobní lékař královny Alžběty I. Italský matematik, fyzik a filozof Nicolo Cabeo na základě svých pozorování, která prováděl v roce 1629, zjistil, že zeлектроvaná tělesa mohou přitahovat nezeлектроvaná tělesa, zatímco dvě zeлектроvaná tělesa se mohou odpuzovat. Francouzský chemik a fyzik Charles François de Cisternay Du Fay v roce 1733 zavedl rozlišení mezi kladnou elektřinou (tehdy nazývanou „skelnou“) a zápornou elektřinou (tehdy nazývanou „jantarovou“). Americký vědec Benjamin Franklin studoval atmosférickou elektřinu (v roce 1752 postavil první bleskosvod), navrhl rozlišení mezi kladnými a zápornými elektrickými náboji a zjistil, že tělesa zeлектроvaná souhlasně (např. dva kladné náboje nebo dva záporné náboje) se navzájem odpuzují a tělesa zeлектроvaná nesouhlasně (např. jeden kladný náboj a jeden záporný náboj) se přitahují. Průlomový objev provedl francouzský fyzik Charles Augustin de Coulomb, který dokázal Franklinovu domněnku, že souhlasné náboje se odpuzují a opačné náboje se přitahují, a také v roce 1785 formuloval zákon popisující sílu vzájemné interakce mezi náboji, dnes Coulombův zákon.



Obr. 2a, b. Siločáry elektrického pole kolem souhlasných nábojů (a) a opačných nábojů (b). Autor: Paweł Woźniak

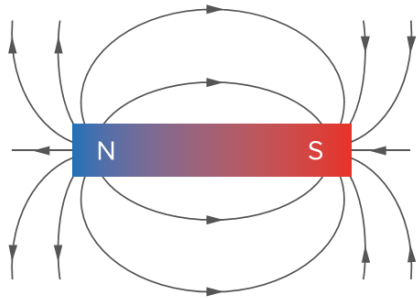
## Statické magnetické pole

Magnetické pole je určitý energetický stav prostoru vyvolaný buď pohybem elektrických nábojů nebo některými materiály, které jsou tzv. permanentními magnety. V prvním případě jsou zdrojem magnetického pole obvodu stejnosměrného elektrického proudu – kolem vodiče, kterým protéká proud, se vždy vytvoří magnetické pole, které jej „obklopuje“. Ve druhém případě existuje jev systematického uspořádání atomové struktury, kdy se každý atom chová jako mikroskopický „magnet“, což je dáno vlastností elektronů, která se nazývá „magnetický moment“: u magnetismu neexistuje jednoduchý ekvivalent elektrického náboje.

Magnetické pole je kvantifikováno měřitelnou veličinou, která se nazývá intenzita magnetického pole  $H$  a je vyjádřena jednotkou  $[A/m]$  (ampér na metr). Magnetické pole je často také charakterizováno hodnotou magnetické indukce  $B$ , vyjádřenou jednotkou  $[T]$  (tesla). Obraz magnetického pole lze pro lepší pochopení a vizualizaci samotného jevu graficky prezentovat pomocí siločar pole, stejně jako v případě elektrického pole. Siločáry magnetického pole jsou uzavřené křivky, které nemají začátek ani konec a vyznačují se určitým smyslem vektoru. Mohou být stanoveny experimentálně, například pomocí železných pilin, které se modelují podle směru působení vektoru magnetické indukce  $B$ .

Dobře víme, že každý permanentní magnet má dva póly, které se tradičně nazývají severní pól (N) a jižní pól (S). Siločáry magnetického pole takového magnetu „vystupují“ ze severního (N) pólu, vytvářejí smyčku a „vstupují“ do jižního (S) pólu čímž se křivky uzavírají. Uvnitř magnetu pak probíhají od jižního (S) pólu k severnímu (N) pólu.

Fenomén vzniku magnetického pole kolem vodiče s proudem objevil v roce 1820 Hans Christian Ørsted – dánský fyzik a chemik. Během jednoho experimentu si všiml, že v blízkosti vodiče, kterým prochází elektrický proud, se jehla kompasu odklání a že směr této výchylky závisí na směru toku proudu.

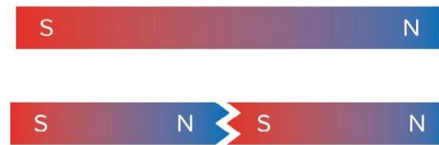


Obr. 3. Siločáry magnetického pole kolem tyčinkového permanentního magnetu. Autor: Paweł Woźniak

Francouzští fyzici, Jean-Baptiste Biot a Felix Savart, pokračovali ve výzkumu magnetizmu a v roce 1820 formulovali zákon, který umožnil v libovolném bodě v prostoru určit hodnotu magnetické indukce vytvářené nekonečně malým úsekem vodiče, kterým protéká elektrický proud.

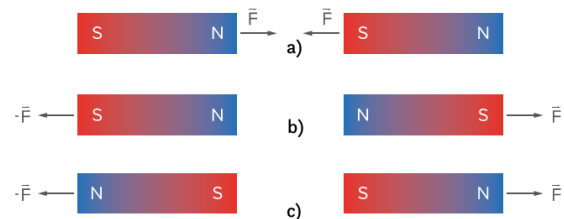
V roce 1826 André-Marie Ampère, taktéž francouzský fyzik, matematicky popsal kvantitativní vztahy mezi elektrickými a magnetickými jevy, včetně zákona propojujícího magnetickou indukcí kolem nekonečně dlouhého, přímého vodiče s intenzitou elektrického proudu protékajícího tímto vodičem. Vývoj vědy o elektromagnetických jevech byl stále dynamičtější. Anglický fyzik Michael Faraday představil pojem siločar pole a přišel s tvrzením, že elektrické náboje na sebe působí prostřednictvím pole. V roce 1831 pak objevil jev elektromagnetické indukce, který má uplatnění při výrobě elektrického proudu. Německý fyzik a matematik Carl Friedrich Gauss zase v roce 1839 zformuloval základy teorie potenciálu, které jsou odvozené z Coulombova zákona a propojují elektrické pole s jeho zdrojem (čili elektrickým nábojem), a prokázal, že souhlasné magnetické náboje, které by vytvářely magnetické pole, neexistují.

Jak vyplývá z objevu Gausse, magnetické póly vždy existují jako pár (N-S) a tvoří tzv. magnetické dipóly. Jelikož se v přírodě nevyskytují samostatné magnetické póly („monopóly“), není možné póly permanentního magnetu oddělit. Při rozlomení tyčinkového magnetu N-S nevznikne magnet N a magnet S, ale dva magnety N-S.

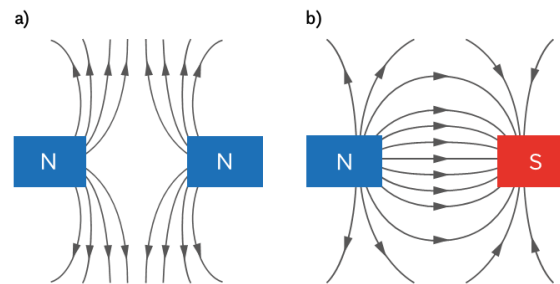


Obr. 4. Rozdělení tyčinkového magnetu. Autor: Paweł Woźniak

Obdobně, jako je tomu v případě elektrických nábojů, se opačné póly (N a S) magnetů přitahují (srov. Obr. 6a) a souhlasné póly (N a N nebo S a S) odpuzují (srov. Obr. 6b, c). V důsledku vzájemného působení dochází k zakřivení siločar pole.



Obr. 5a, b, c. Interakce opačných pólů (a) a souhlasných pólů (b, c). Autor: Paweł Woźniak



Obr. 6a, b. Siločáry magnetického pole kolem souhlasných pólů (a) a opačných pólů (b). Autor: Paweł Woźniak

Jev, který Ørsted objevil, byl svou povahou velmi jednoduchý a běžně se používá do dnešní doby, například u elektromagnetů. Elektromagnet se skládá z cívky, která je obvykle tvořena sadou mnoha vodičů, jejichž tvar je podobný kruhu, a z jádra umístěného uvnitř cívky pro zvýšení síly, se kterou je elektromagnet schopen přitahovat feromagnetické materiály.

Elektromagnetické pole nepochybně provází člověka nejen od počátku věků, ale také všude, v každé oblasti jeho života. Člověk, stejně jako celá naše planeta, se nachází v blízkosti obrovského zdroje elektromagnetických vln s velmi širokým spektrem, kterým je Slunce.



Obr. 7. James Clerk Maxwell (1831-1879)

Zdroj: Wikimedia Commons

Rovněž vliv magnetického pole na vodič, kterým protéká proud (k tomuto objevu dospěl na konci 19. století holandský fyzik Hendrik Antoon Lorentz), je široce využíván v moderní době, a to ve velkém měřítku – např. v elektromotorech. Působením magnetického pole na vodič s proudem, který rovněž vytváří magnetické pole, vzniká síla, která umožňuje elektromotoru pracovat.

### Elektromagnetické pole

Výše uvedené informace o statických elektrických i magnetických polích lze shrnout konstatováním, že tato pole zůstávají ve vztahu ke zdroji, který je vytváří. Hodnota intenzity statického pole se s časem nemění, ale mění se v prostoru, tzn. snižuje se s rostoucí vzdáleností od zdroje. A co v případě, že pole není statické povahy? Pak máme co do činění s elektromagnetickým polem, které je proměnné jak v čase, tak i prostoru.

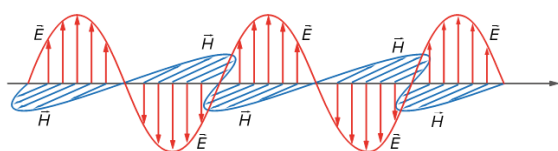
Vzájemné časové a prostorové vztahy mezi elektrickým polem  $E$  a magnetickým polem  $H$ , které vyčerpávajícím způsobem charakterizují vlastnosti těchto polí, byly popsány v roce 1861 britským fyzikem Jamesem Clerkem Maxwellem.

Maxwell teoreticky dokázal, že jak elektřina, tak magnetismus, jako fyzikální jevy, jsou součástí a dvěma druhy téhož jevu zvaného elektromagnetizmem. Sjednotil elektrické a magnetické interakce. Maxwellem navržený matematický popis elektromagnetického pole je nyní klasickou teorií elektromagnetizmu: Jeho odkaz lze popsat jednoduše takto:

- Magnetické pole, které časově proměnné, vytváří točivé elektrické pole. Jedná se o Faradayův zákon elektromagnetické indukce.
- Pohyblivé náboje (čili proud) a elektrické pole, které je časově proměnlivé, vytvářejí točivé magnetické pole. Jedná se o Ampèrův zákon zobecněný Maxwellem.
- Zdrojem elektrického pole jsou elektrické náboje. Jedná se o Gaussův zákon pro elektřinu.
- Neexistují žádné náboje, které by byly zdrojem magnetického pole (magnetické pole nemá žádné zdroje). Jedná se o Gaussův zákon pro magnetismus.

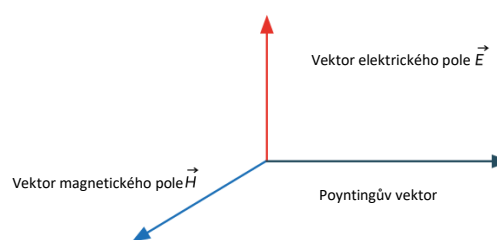
Složky elektromagnetického pole, tj. elektrické pole a magnetické pole, mohou existovat nezávisle na sobě, pod podmínkou, že se nemění v čase.

**Elektromagnetické pole** je tedy z fyzikálního hlediska určitým stavem prostoru, ve kterém síly elektromagnetické povahy působí na **fyzický objekt** s elektrickým nábojem a dochází k toku energie. V každém bodě tohoto prostoru jsou síly popsány dvěma vektory představujícími časově proměnná pole: elektrické  $E$  a magnetické  $H$ . Na základě principu vzájemné indukce vytváří časově proměnné elektrické pole  $E$  časově proměnné točivé magnetické pole  $H$ , které následně vytváří časově proměnné točivé elektrické pole  $E$  atd. V důsledku neustálých po sobě jdoucích změn elektrického pole a magnetického pole vzniká **elektromagnetická vlna**.



Obr. 8. Rozložení vektorů pole  $E$  a pole  $H$ .  
Autor: Paweł Woźniak

Elektromagnetická vlna, jako narušení elektromagnetického pole, je kombinací sinusoidálně proměnného elektrického pole (kde kmitá vektor pole  $E$ ) a sinusoidálně proměnného magnetického pole (kde kmitá vektor pole  $H$ ), přičemž kmitání vektorů pole  $E$  a pole  $H$  je plně synchronizované a fázově shodné. Vektory pole  $E$  a pole  $H$  jsou kolmé jak vůči sobě navzájem, tak vůči směru šíření vlny.



Obr. 9. Rozložení vektorů pole  $E$  a pole  $H$  vůči směru šíření.  
Autor: Paweł Woźniak

Matematický popis elektromagnetického pole, který navrhl Maxwell, byl ověřen a experimentálně potvrzen německým fyzikem Heinrichem Rudolfem Hertzem. V roce 1886 Hertz poprvé v praxi v laboratorních podmínkách vytvořil elektromagnetickou vlnu (použil k tomu elektrický oscilátor, který si sám sestavil). Provedením dalších experimentů potvrdil Maxwellovy teoretické úvahy. Zjistil také, že elektromagnetické pole, které je vytvářeno na jednom místě, lze zachytit a reprodukovat na jiném místě, čímž vytvořil základ pro rozvoj radiokomunikace. Prokázal, že povaha elektromagnetických vln, pokud jde o schopnost odrazu a lomu, je úplně stejná jako u světelných a tepelných vln. Ve výsledku pak nad veškerou pochybnost určil, že světlo není nic jiného než elektromagnetická vlna v určitém rozsahu vlnových délek.

Je zajímavé, že Hertz si patrně nebyl vědom důležitosti svých epochálních objevů. V roce 1890 konstatoval: „Nemyslím si, že bezdrátové vlny, které jsem objevil, budou mít nějaké praktické uplatnění“.<sup>2</sup> Jak hodně se však mýlil...

<sup>2</sup> Viz <https://www.famousscientists.org/heinrich-hertz>

## I.2

# Od rádiových vln po gama paprsky: spektrum elektromagnetických vln

RAFAŁ PAWLAK, AUGUSTYN WÓJCIK

## Délka, frekvence a rychlost elektromagnetických vln

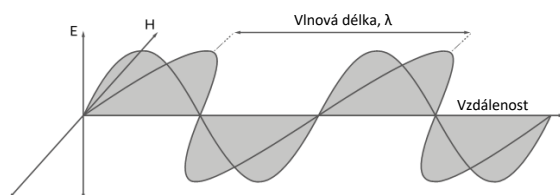
Elektromagnetické vlny lze stejně jako mechanické vlny popsat pomocí parametrů, které je jednoznačně charakterizují: délky, frekvence a rychlosti.

**Vlnová délka** se označuje písmenem  $\lambda$  a je definována jako vzdálenost mezi libovolnými dvěma po sobě jdoucími vlnovými vrcholy. Tento parametr umožňuje popsat vlnu v prostorovém rozměru. Vyjadřuje se jednoduše v metrech [m], ale v praxi se obvykle používají dílčí násobky:

- cm =  $10^{-2}$  m = 0,01 m,
- mm =  $10^{-3}$  m = 0,001 m,
- $\mu\text{m}$  =  $10^{-6}$  m = 0,000 001 m,
- nm =  $10^{-9}$  m = 0,000 000 001 m,
- pm =  $10^{-12}$  m = 0,000 000 000 001 m,

nebo vyšší násobky, zejména kilometr:

- km =  $10^3$  m = 1 000 m.



Obr. 1. Vlnová délka – prostorový rozměr.

Autor: Paweł Woźniak

Frekvence vlnění se označuje písmenem  $f$  a určuje počet vlnových délek, které procházejí vybraným bodem každou jednu sekundu, tj. kolikrát za sekundu dosahují elektrická a magnetická pole stejných hodnot. Díky frekvenci vlnění je možné popsat vlnu v časovém rozměru. Mezi frekvencí a periodou  $T$  vlny platí vztah:

$$f = \frac{1}{T}$$

Perioda se vyjadřuje v sekundách [s], zatímco frekvence – jednotkou [1/s], která se nazývá hertz [Hz]. Obvykle se používají vyšší násobky jednotek:

- kHz =  $10^3$  Hz = 1 000 Hz, tzn. tisíc opakování během jedné sekundy,
- MHz =  $10^6$  Hz = 1 000 000 Hz, tzn. milion opakování během jedné sekundy,
- GHz =  $10^9$  Hz = 1 000 000 000 Hz, tzn. miliarda opakování během jedné sekundy.

Mezi délkou  $\lambda$ , frekvencí  $f$  a rychlostí  $v$  vlnění platí následující vztah:

$$v = \lambda \cdot f$$

Na rozdíl od akustického vlnění, které je vlněním mechanickým, nepotřebuje elektromagnetické vlnění ke svému šíření materiální prostředí: může se šířit nejen ve vzduchu nebo vodě, ale také ve vakuu.

Jakou rychlostí se tedy elektromagnetické vlny pohybují ve vakuu? Jedná se o fyzikálně nejvyšší možnou rychlost, která se označuje písmenem  $c$  a činí přesně 299 792 458 m/s. Důležitým poznatkem pak je, že rychlost šíření elektromagnetické vlny je nezávislé na její frekvenci: rádiové vlny, viditelné světlo i rentgenové paprsky cestují vesmírem přesně stejnou rychlostí.

V případě vakua lze výše uvedené vztahy vyjádřit třemi ekvivalentními formami:

$$c = \lambda \cdot f \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (3)$$

Jelikož jsme však každý den obklopeni vzduchem, a ne vakuem, zamysleme se nad tím, jakou rychlostí elektromagnetické vlny cestují vzduchem. Ukazuje se totiž, že k tomu dochází při rychlosti asi 299 700 km/s, což je jen o něco (o 90 km/s) méně než  $c$ , rychlost světla ve vakuu.

Pro zjednodušení se rychlost světla obvykle uvádí zaokrouhleně (nahoru) jako 300 000 km/s. To znamená, že za jednu sekundu elektromagnetická vlna, která se pohybuje ve vakuu, urazí vzdálenost přibližně 300 000 km. Pro srovnání: během jedné sekundy zvuk urazí vzdálenost „pouze“ 340 m (rychlost zvuku ve vzduchu má hodnotu 340 m/s).

Rychlost elektromagnetického vlnění v různých látkových prostředích je vždy nižší než rychlost světla ve vakuu – záleží totiž na relativní elektrické a magnetické permeabilitě a vodivosti daného látkového prostředí.

Známe-li vztahy (2) a (3) mezi frekvencí vlnění  $f$  a jeho délkou  $\lambda$ , v souvislosti s rychlostí světla  $c$ , lze stanovit kvantitativní vztahy mezi těmito veličinami – viz infografika na straně 38.

### Energie elektromagnetické vlny

Důležitou vlastností elektromagnetických vln je jejich schopnost přenášet energii a předávat ji každému tělesu, s nímž se potká. Můžeme se o tom přesvědčit velmi snadno – stačí si vzpomenout, jak moc nás sluneční paprsky (čili elektromagnetické vlny vyzařované sluncem) zahřívají v letních dnech.

A jelikož je v případě elektromagnetického vlnění nosičem energie elektrické pole a současně i magnetické pole, je celková energie elektromagnetického vlnění součtem energií přenesených těmito poli. Energie uložená v elektrickém poli se rovná energii uložené v magnetickém poli. Energie přenášená elektromagnetickým vlněním je o to větší, o co vyšší je intenzita elektrického a magnetického pole. Přesněji: energie je úměrná druhé mocnině intenzity elektrického a magnetického pole.

Energie nesená vlnou pochází ze zdroje vlny. Lze tedy říci, že energie je jak v elektrickém poli, tak v magnetickém poli v určitém smyslu uskladněna. Při šíření může být část energie přenášené elektromagnetickou vlnou ztracena přeměnou na jinou formu, např. teplo. Kvůli ztrátě části energie intenzita elektrického a magnetického pole klesá a vlna pak při svém šíření přenáší méně energie, než získala ze zdroje.

Elektromagnetické vlny, které přenášejí energii, nás obklopují ze všech stran. Jsou generovány nejen přírodními zdroji, které nás obklopují, ale i každým zapnutým elektrickým či elektronickým zařízením. Tuto energii lze získat a přeměnit na elektřinu pomocí speciálně k tomu určených převodníků a poté ji použít například k napájení miniaturních elektronických zařízení, která se vyznačují nízkou energetickou náročností. Tato technologie získávání energie z okolního prostředí je známá jako „Energy Harvesting“.



Je samozřejmě možné využívat nejen energii elektromagnetických vln, ale i např. mechanickou energii zařízení, energii akustických vln nebo změny elektrostatických či magnetických sil. Využit lze také průtoky plynů a kapalin, změny tlaku a teplotní rozdíly.

### Ionizující a neionizující záření

Elektromagnetické záření lze rozdělit podle typu interakce elektromagnetických vln s látkou. Toto rozdělení umožňuje rozlišit dva základní typy elektromagnetického záření: **ionizující** i **neionizující**.

Ionizace je proces, v jehož důsledku se z elektricky neutrálního atomu nebo molekuly stává iont, tj. objekt s nenulovým elektrickým nábojem. Taková změna může spočívat v: odtržení elektronu od atomu nebo molekuly, vyražení jednoho nebo více elektronů z krystalické struktury nebo jejich připojení k atomu nebo molekule. Může k tomu docházet pod vlivem různých vnějších faktorů, například elektromagnetického záření. I když jsme doposud popisovali záření jako táhlou vlnu procházející vesmírem, je již více než sto let známo, že záření můžeme chápat i jako tok částic charakterizovaných určitou energií. V případě elektromagnetického záření se jedná o tok fotonů. Energie fotonu závisí na frekvenci  $f$  a platí pro ni tento vztah:

$$E = h \cdot f$$

Veličina označena ve vzorci písmenem  $h$  je tzv. Planckova konstanta:  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .

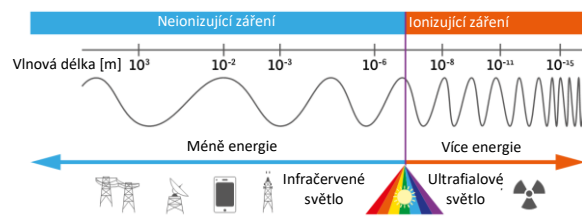
Schopnost fotonů vyvolávat ionizaci se zvyšuje s jejich energií, aneb, jak již bylo uvedeno výše, se zvyšující se frekvencí elektromagnetické vlny.

**Ionizující záření** zahrnuje všechny typy záření, které jsou schopny vyvolat ionizaci látkového prostředí. Ionizující elektromagnetické záření je takové záření, jehož fotony mají energii, která jim umožňuje odtrhnout i ty nejslabší elektrony v atomech.

V praxi to znamená, že jejich energie musí být větší, než je energie fotonů viditelného světla.

**Neionizující záření** zahrnuje všechny typy záření, které nejsou schopny vyvolat ionizaci látkového prostředí. Neionizující elektromagnetické záření je takové záření, jehož fotony mají energii menší nebo rovnou energii fotonů viditelného světla.

Obvyklá hranice mezi ionizujícím a neionizujícím zářením je tedy určena hranicí mezi viditelným a ultrafialovým světlem, tj. vlnovou délkou  $\lambda \approx 380 \text{ nm} = 380 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ , což odpovídá frekvenci  $f \approx 8 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = 800 \text{ 000 GHz}$ .



Obr. 2. Rozdělení elektromagnetického záření na ionizující a neionizující. Autor: Paweł Woźniak

Jelikož je horní limit mikrovlnného kmitočtového rozsahu elektromagnetických vln 300 GHz, nelze všechny mikrovlnné frekvence, a tedy i rádiové frekvence, zařadit k ionizujícímu záření. **Elektromagnetické pole v oblasti rádiových kmitočtů je neionizující, takže nezničí atomovou strukturu hmoty.**

V oblasti ionizujícího záření dochází k akumulaci dávek. Tento jev spočívá v tom, že účinky působení záření na hmotu se zvyšují společně s časem působení záření. U živých organismů jsou tyto účinky pozorovány i po skončení působení záření. V oblasti neionizujícího záření není kumulativní účinek pozorován a k působení na hmotu dochází pouze během její expozice na záření.

## Spektrum elektromagnetických vln

Některé vlastnosti elektromagnetických vln, zejména způsob jejich interakce s hmotou, závisí na délce  $\lambda$ , a tudíž i na frekvenci  $f$ . Možnosti technologického využití elektromagnetických vln jsou ovlivněny jejich vlastnostmi a proto se je nejčastěji dělí právě podle frekvence nebo vlnové délky. Elektromagnetické vlny lze tedy uspořádat nejen z hlediska frekvencí, ale i vlnových délek elektromagnetických vln. Tomuto uspořádání se říká elektromagnetické spektrum.

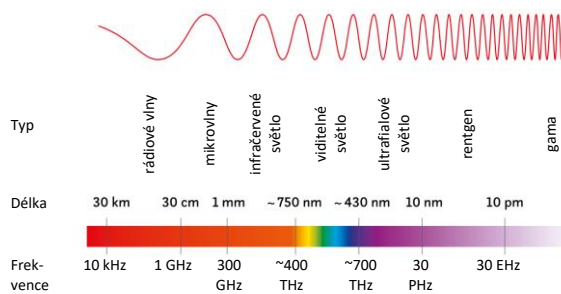
Většinu celého spektra elektromagnetických vln lidé nevnímají. Příroda obdařila lidi dvěma „detektory elektromagnetických vln“: okem a pokožkou. Oko nám umožňuje pozorovat elektromagnetické vlny v oblasti viditelného světla a díky různým frekvencím těchto vln můžeme například vnímat barvy předmětů kolem nás. Kdežto pokožka je citlivá na infračervené (tepelné) záření. Ostatní vlnové délky lidé nevidí ani necítí, ačkoli jsou stejně skutečné.

Ještě dodejme, že hranice jednotlivých typů elektromagnetických vln jsou konvenční a nejsou stanoveny zcela přesně. Představují jen určitý orientační rámec, avšak velmi usnadňují „pohyb“ po celém spektru elektromagnetických vln. Tradiční dělení je (viz Obr. 3 a infografika na straně 38):

- rádiové vlny,
- mikrovlny,
- infračervené záření,
- viditelné světlo,
- ultrafialové záření,
- rentgenové záření,
- záření gama.

### Rádiové vlny a mikrovlny

Obvyklý rozsah elektromagnetického pole v oblasti rádiových a mikrovlnných kmitočtů nejčastěji pokrývá vlnové délky od 1 mm do 100 km, tzn. frekvence v rozsahu od 3 kHz do 300 GHz.



Obr. 3. Spektrum elektromagnetických vln. Vlnové délky a frekvence jsou jen přibližné. Autor: Paweł Woźniak

V rádiové a mikrovlnné oblasti spektra se vlny tradičně dělí na velmi dlouhé, dlouhé, střední, krátké, velmi krátké, decimetrové, centimetrové a milimetrové. Používají se především pro radiokomunikace. Základním zdrojem těchto vln jsou rádiové **antény**. K neznámějším systémům používajícím rádiové vlny a mikrovlny patří:

- **Rozhlasové AM vysílání** (ang. *Amplitude Modulation*) využívá dlouhé, amplitudově modulované rádiové vlny (viz oddíl 1.5. na straně 32). Nejčastěji používaným frekvenčním rozsahem je 530 kHz až 1700 kHz. Kvůli nutnosti instalovat velmi velké antény a špatné kvalitě signálu se v současné době od rozhlasového AM vysílání ustupuje.
- **Rozhlasové FM vysílání** (ang. *Frequency Modulation*) nabízí mnohem lepší kvalitu zvuku díky vlastnostem použité frekvenční modulace. Využívá frekvence v pásmu 87,5 MHz až 108 MHz.
- **Rozhlasové DAB vysílání** (ang. *Digital Audio Broadcasting*) je další generace rozhlasového vysílání, která umožňuje přenos rozhlasových programů v digitální podobě s využitím frekvenčního rozsahu 174 MHz až 230 MHz.
- **Identifikační systémy RFID** (ang. *Radio-frequency Identification*) se používají například ke kontrole vstupu do prostor, kde mají přístup jen oprávněné osoby s příslušnými identifikačními kartami nebo k ochraně zboží proti krádeži, a to pomocí speciálních štítků nalepených na prodávané zboží. K přenosu informací se využívá magnetické pole generované čtečkou.

Podobný princip se používá v standardu pro komunikaci na krátkou vzdálenost NFC (ang. *Near-Field Communication*). Radiofrekvenční identifikační systémy obvykle pracují s frekvencemi 125 kHz a 13,56 MHz.

- DVB-T/DVB-T2 (ang. *Digital Video Broadcast – Terrestrial*) je široce používaný standard pro **pozemní digitální televizní vysílání**. Obrazová data, zvuková data a dodatečné informace jsou kódovány v digitální podobě. Přenos je uspořádán do tzv. multiplexů, tj. jednotlivých rádiových kanálů, v nichž je přenášen datový tok několika televizních programů. Frekvence, na nichž se televizní signál ve standardu DVB-T šíří, spadají do pásem 174-230 MHz a 470-790 MHz. Obdobným způsobem je uspořádán také signál **satelitní televize** ve standardu DVB-S/DVB-S2 (ang. *Digital Video Broadcast – Satellite*). Satelitní televizní signál je přenášen na frekvencích 10,7 GHz až 12,75 GHz pomocí satelitů umístěných na geostacionární oběžné dráze.
- Důležitým typem radiokomunikačních systémů jsou celulární (buňkové) systémy s kompletní telekomunikační infrastrukturou, která umožňuje účastníkům realizovat mobilní hlasová volání a přenášet data v oblastech označovaných jako buňky. Buňka je oblast obsluhovaná jednou základnovou stanicí (viz také oddíl I.6. na straně 40). Vzhledem k rostoucí popularitě mobilní komunikace jsou celulární systémy po dlouhá léta neustále vývíjeny. V současné době lze rozlišit tři digitální celulární telefonní systémy: GSM (2G), UMTS (3G) a LTE (4G). Síť 5G, které se v současné době řeší, je věnována samostatná část této publikace (viz strana 105).
- **Wi-Fi** je hovorový termín pro několik standardů určených k vytváření bezdrátových místních sítí. K zařízením, které využívají Wi-Fi sítě, patří mimo jiné: počítače, chytré telefony, tablety, herní konzole, tiskárny, chytré hodinky. Síť tohoto typu umožňuje přenos dat s kapacitou až několika stovek Mbit/s a dosahem asi 20 m ve vnitřním prostředí, podle použité verze. Wi-Fi sítě pracují ve frekvenčních pásmech 2400–2483,5 MHz, 5150–5350 MHz nebo 5470–5725 MHz.

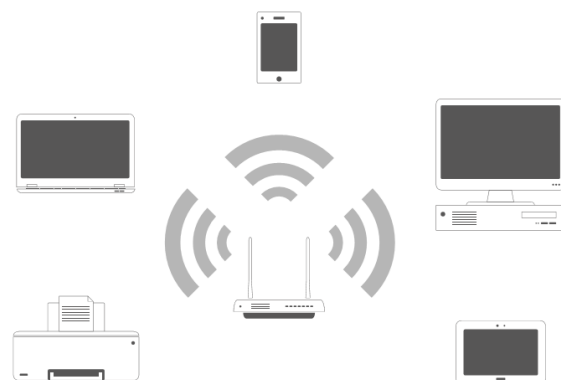


Obr. 4. Platba s využitím standardu NFC.

Zdroj: Wikimedia Commons

- Ve frekvenčním rozsahu 2400–2483,5 MHz, které se zkráceně označuje jako pásmo 2,4 GHz, funguje mnoho dalších systémů pro bezdrátový přenos dat. Nejznámější z nich jsou Bluetooth a ZigBee. Systém Bluetooth se odlišuje tím, že je schopen snadno „na vyžádání“ vytvořit síť mezi dvěma libovolnými zařízeními vybavenými tímto rozhraním. Z tohoto důvodu se Bluetooth používá např. v chytrých telefonech, chytrých hodinkách, tabletech a noteboocích. ZigBee se zase vyznačuje nízkou spotřebou energie, což je velmi žádoucí u malých bateriově napájených zařízení, například u přístrojů pro řízení inteligentní domácnosti nebo u telemetrických zařízení napájených z baterie.

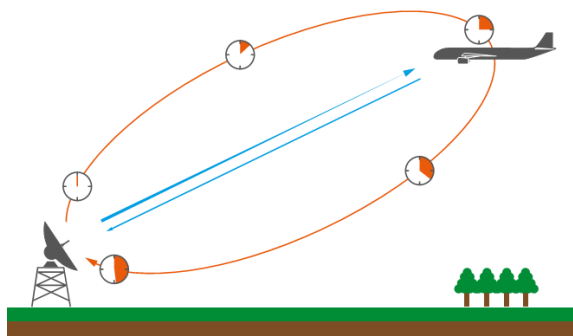
Vlny s vlnovou délkou od cca 1 mm do cca 30 cm se často označují jako **mikrovlny**.



Obr. 5. Příklad bezdrátové sítě Wi-Fi.

Autor: Paweł Woźniak

Mikrovlny se v atmosféře šíří relativně snadno, proto se používají v radarové technologii. Radar vysílá signál daným směrem a na základě signálu odrazeného od objektů v pozorované oblasti je možné určit vzdálenost sledovaného objektu od radaru.



Obr. 6. Princip činnosti radaru.

Autor: Paweł Woźniak

Mnoho dielektrik (elektrických izolantů) absorbuje mikrovlny, čímž dochází k jejich zahřívání. Tento jev, využívaný v přesně stanovených kmitočtových pásmech určených pro průmyslové, vědecké a lékařské účely, má uplatnění v mikrovlnných topných tělesech, průmyslových topných zařízeních a v medicíně. Mikrovlny s vysokým výkonem, např. při frekvenci 2,45 GHz, zvyšují rychlost kmitání molekul vody, která tyto mikrovlny absorbuje, což vede ke zvýšení teploty objektu obsahujícího tyto molekuly. To je však možné pouze u frekvence, která se současně nepoužívá v základnových stanicích celulárních systémů.

Zde je třeba připomenout, že se rádiové vlny kromě telekomunikačních systémů používají i v medicíně. V přístrojích magnetické rezonance působí vlny s frekvencí v řádu MHz na vodík obsažený v lidském těle, což umožňuje pořizovat přesné a neinvazivní snímky lidského těla.

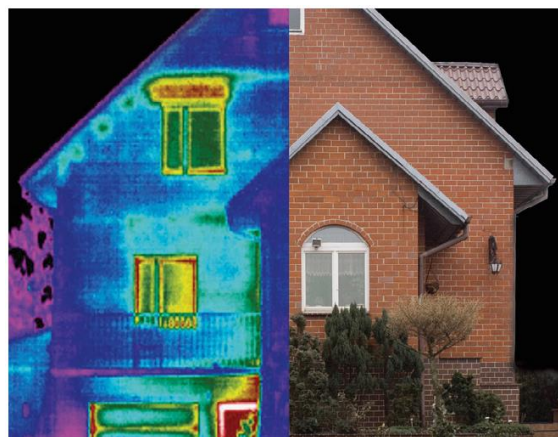
### Infračervené záření

Infračervené záření je záření s vlnovou délkou v rozsahu od cca 1  $\mu\text{m}$  do 1 mm.

Je rovněž označováno jako tepelné záření, protože jedním z jeho zdrojů jsou zahřátá tělesa. Každé těleso s **teplotou** vyšší než absolutní nula vyzařuje tepelné záření: pro typické teploty na zemském povrchu to bude infračervené záření, ovšem teplota slunce je už tak vysoká, že jeho tepelné záření spadá většinou do pásma viditelného, ale i ultrafialového světla (jak bude popsáno dále). V případě těles s pokojovou teplotou dochází k maximálnímu záření při vlnové délce cca 19  $\mu\text{m}$ .

Čím je tělesná teplota vyšší, tím je vlnová délka kratší. Díky těmto poznatkům lze provádět měření teploty na dálku a také pozorovat různé předměty pomocí přístrojů vybavených snímačem infračerveného záření. Technologie záznamu infračerveného záření vyzařovaného objekty se nazývá termovize. Díky termovizi je mimo jiné možné pozorovat objekty ve tmě.

Tyto vlastnosti infračerveného záření našly uplatnění mimo jiné v oblasti požární techniky, medicíny a mnoha průmyslových odvětví, kde je důležité dálkové měření teploty.



Obr. 7. Snímek pořízený v infračerveném spektru (nalevo) a viditelném spektru (napravo).

Zdroj: Wikimedia Commons

Ve spektru infračerveného záření jsou prováděna astronomická a meteorologická pozorování. Toto záření našlo uplatnění i v technologii vytápění. Používá se také v informačních technologiích – pro přenos dat optickými vlákny a systémy dálkového ovládání IrDA (ang. *Infrared Data Association*).

# Mýtus:

## Každé záření je pro tělo škodlivé

Termín „záření“ je ryze technický pojem, který se používá k popisu různých jevů spojených s přenosem energie ve formě vln nebo částic v prostoru nebo jiném médiu – např. sálání. Podle způsobu interakce elektromagnetických vln s látkou se elektromagnetické záření dělí na: ionizující a neionizující. Ionizující záření zahrnuje všechny typy záření, které jsou schopny vyvolat ionizaci látkového prostředí (např. záření vznikající v jaderných reaktorech). Připomeňme: ionizace je proces, při kterém se například elektricky neutrální částice stává částicí s nenulovým elektrickým nábojem. Neionizující záření není schopné vyvolat ionizaci látkového prostředí: jeho fotony mají příliš málo energie, aby vyvolaly ionizaci. Díky tomu nemá neionizující záření na lidské tělo negativní vliv. Nenarušuje buněčnou strukturu, nemodifikuje její součásti, jako například buněčnou membránu nebo jádro, a neovlivňuje jejich funkce. Nepoškozuje atomovou strukturu látky, protože neovlivňuje vazby mezi atomy, což by jinak mohlo vést k rozštěpení částic a změnám jejich chemických vlastností. Navíc nevyvolává kumulativní účinek, což znamená, že k působení na látku dochází pouze během expozice na záření. Elektromagnetické vlny z rádiového a mikrovlnného kmitočtového rozsahu jsou neionizující.

### Viditelné světlo

Elektromagnetické záření ve vlnových délkách od cca. 400 nm do 700 nm je označováno jako viditelné světlo. Právě na tento rozsah vlnových délek reaguje sítnice lidského oka.

### Ultrafialové záření

Ultrafialové (nadfialové) záření pokrývá vlnové délky od cca 10 nm do 400 nm. Zařazuje se do oblasti ionizujícího záření. Fotony ultrafialového záření mají vysokou energii, což znamená, že toto záření může mít významný vliv na fyzikální a chemické vlastnosti látek, vč. například přerušení chemických vazeb. Slunce je nejsilnější přírodní zdroj ultrafialového záření.

Většinu tohoto záření však pohlcují horní vrstvy zemské atmosféry, zejména ozonová vrstva, a na zemský povrch pak dopadá jen malý zlomek.

K umělým zdrojům ultrafialového záření patří především rtuťové výbojky. Ultrafialové světlo se používá v oblasti osvětlovací techniky, sterilizace, kriminalistiky a chemické analýzy. Ultrafialové světlo způsobuje fluorescenci některých látek. Tohoto jevu se využívá při zabezpečování bankovek.

### Rentgenové záření

Rentgenové záření je ionizující záření s vlnovou délkou v oblasti od cca 0,1 pm do 10 nm. Název je odvozen od jména objevitele tohoto záření - Wilhelma Conrada Röntgena.

Rentgenové záření se vyskytuje přirozeně. K jeho zdrojům patří mimo jiné hvězdy, zbytky vybuchlých supernov a některé pulsary. Jedním z nejčastějších umělých zdrojů rentgenového záření jsou pak rentgenové trubice. Rentgenové záření se používá v lékařské diagnostice k pořizování rentgenových snímků, při léčbě některých onemocnění formou rentgenoterapie a při zjišťování chemického složení látek.

### Záření gama

Záření gama je ionizující záření emitované radioaktivními nebo excitovanými atomovými jádry během jaderných přeměn, jako je střet částice a antičástice nebo rozpad elementárních částic. Jeho vlnové délky jsou nejčastěji kratší než 100 pm. Když záření gama prochází hmotou, je absorbováno v důsledku působení různých jevů.



Obr. 8. Rentgenový snímek ruky.

Zdroj: Wikimedia Commons

Paprsky gama se používají ke sterilizaci lékařského vybavení. Používají se také při protinádorovém ozařování a lékařské diagnostice. V průmyslu má záření gama uplatnění při zjišťování tloušťky materiálů, které jsou obtížně měřitelné jinými metodami, například horké ocelové plechy v ocelárnách nebo horké sklo ve sklárnách.

## I.3

# Výkon, absorpce, rozptyl

ARKADIUSZ KALINOWSKI, RAFAŁ PAWLAK

V předchozích oddílech (viz zejména oddíl I.1. na straně 8) bylo vysvětleno, že elektromagnetické pole vzniká vlivem působení dvou proměnných polí: elektrického a magnetického. Díky tomu lze pomocí popisu složek těchto polí a vztahů mezi nimi jednoznačně určit vlastnosti elektromagnetického pole jako fyzického jevu.

## Míry intenzity elektromagnetického pole

Základními veličinami, kromě již výše uvedených (vlnová délka, frekvence, rychlost), jimiž lze kvantitativně popsat elektromagnetické pole, jsou následující vektory:

- vektor intenzity elektromagnetického pole  $E$ ,
- vektor intenzity magnetického pole  $H$ ,
- vektor hustoty výkonu  $S$  neseného elektromagnetickou vlnou.

Stejně jako ve statickém případě se intenzita elektrického pole vyjadřuje jednotkou [V/m] (volt na metr) a intenzita magnetického pole jednotkou [A/m] (ampér na metr). Elektrická a magnetická pole, která spoluvytvářejí elektromagnetické pole, jsou vzájemně úzce propojena – totéž lze samozřejmě říci i o veličinách, které tato pole popisují. Zjednodušeně řečeno (pouze pro hodnoty těchto vektorů) platí zde následující vztah:

$$E = Z_0 \cdot H$$

Jak je patrné, hodnota intenzity elektrického pole  $E$  je přímo úměrná hodnotě intenzity magnetického pole  $H$ , přičemž koeficientem proporcionality je  $Z_0$ : vlnová impedance v otevřeném prostoru. Vlnovou impedanci lze považovat za měřítko toho, jak silně dané médium „odolává“ šíření vln v něm. Ve vakuu (a přibližně ve vzduchu) je to  $120 \pi \Omega \approx 377 \Omega$ .

Z této závislosti vyplývá, že pro jednoznačnou charakteristiku elektromagnetického pole z hlediska hodnoty stačí specifikovat intenzitu jednoho z těchto dvou polí (např. elektrického), přičemž intenzitu druhého pole lze pak vypočítat. Známe-li intenzity obou polí  $E$  a  $H$ , můžeme stanovit další veličinu popisující elektromagnetické pole, tj. vektor hustoty výkonu  $S$ . Pokud jsou pole vzájemně kolmá (což je pro elektromagnetické vlnění typické, viz oddíl I.1. na straně 8), může být hodnota vektoru hustoty výkonu stanovena podle následujícího vztahu:

$$S = E \cdot H$$

Z fyzikálního hlediska je plošná hustota výkonu/hustota zářivého toku  $S$  výkonem elektromagnetické vlny připadající na jednotku plochy. Proto se plošná hustota výkonu/hustota zářivého toku  $S$  vyjadřuje jednotkou [W/m<sup>2</sup>] (watt na metr čtvereční).

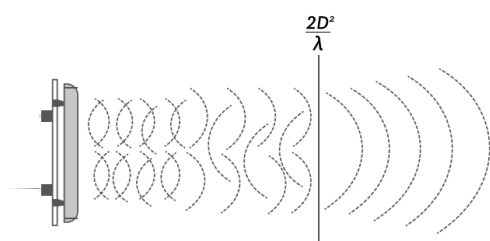
## Blízké pole a vzdálené pole

K vytváření elektromagnetického pole v rádiovém nebo mikrovlnném frekvenčním rozsahu dochází kolem prvku, ve kterém střídavý proud protéká v čase.

Tento vyzářovací prvek se nazývá anténa. Vlastnosti generovaného elektromagnetického pole se mění podle vzdálenosti od antény. Z hlediska jevů, k nimž dochází v různých vzdálenostech od antény, se elektromagnetické pole dělí na dva typy: blízké pole a vzdálené pole. Hranice mezi blízkým a vzdáleným polem závisí pouze na délce generované elektromagnetické vlny ( $\lambda$ ) a velikosti antény  $D$  – nezávisí tedy například na výkonu elektromagnetické vlny. Tato hranice se nachází ve vzdálenosti  $R$  od antény a je popsána následujícím vztahem:

$$R = \frac{2D^2}{\lambda}$$

Na Obr. 1 je znázorněna hranice mezi blízkým a vzdáleným polem (zónou).



Obr. 1. Znázornění blízké a vzdálené zóny.

Autor: Paweł Woźniak

Jak název napovídá, **blízké pole** je pozorováno v blízkosti antény. V této oblasti závisí pole na okamžitých hodnotách proudů a napětí v anténě a vztah mezi elektrickým a magnetickým polem může být velmi komplikovaný. Blízké pole vzniká ve vzdálenostech menší než  $R$  od antény. Intenzita elektromagnetického pole v této oblasti silně závisí na vzdálenosti od antény a s touto vzdáleností rychle klesá.

V zóně označované jako vzdálené pole lze elektrické pole  $E$  a magnetické pole  $H$  vyznačit pomocí jednoduchého vztahu popsaného výše ( $E = Z_0 \cdot H$ ). Vzdálené pole vzniká ve vzdálenosti větší než  $R$  od antény. Ve vzdálené zóně se intenzita pole snižuje úměrně vzdálenosti od antény a rozložení pole lze mnohem snadněji analyzovat.

Vezmeme-li v úvahu typické velikosti antén, které se v praxi používají, frekvence, na nichž fungují, a jejich umístění, snadno dojdeme k závěru, že v místech běžně přístupných veřejnosti máme co do činění se polem vzdáleným.

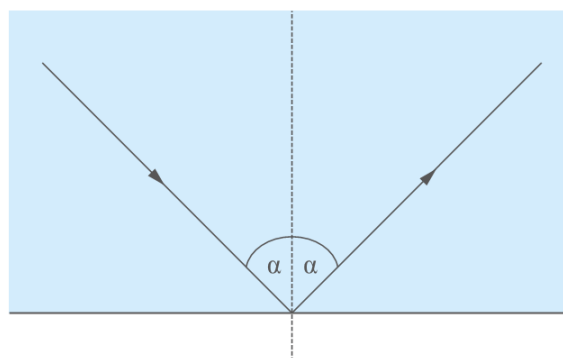
### Jevy šíření

K šíření každé vlny (bez ohledu na to, zda se jedná o vlnu elektromagnetickou, nebo mechanickou) vždy dochází v určitém prostředí. V případě elektromagnetických vln může být tímto prostředím i vakuum. Prostředí je prostor se stejnými fyzikálními vlastnostmi, které mají specifický vliv na šíření vlnění (např. směr šíření, hodnota útlumu). Hlavní prostředí, v nichž dochází k šíření elektromagnetických vln v rádiovém a mikrovlnném frekvenčním rozsahu, jsou tyto: vakuum, povrchová vrstva Země, mořská voda a zemská atmosféra.

A protože jsou jak rádiové vlny, mikrovlny, tak i světlo formou elektromagnetických vln, lze k popisu jevů vznikajících při šíření rádiových vln a mikrovln úspěšně použít přirovnání k jevům, které známe z optiky: odraz, lom, ohyb, skládání a tlumení.

### Odraz

Odraz je náhlá změna směru šíření vlnění na rozhraní dvou různých prostředí (srov. Obr. 2). Odraz vlnění se řídí zákonem odrazu, podle kterého je úhel dopadu roven úhlu odrazu.



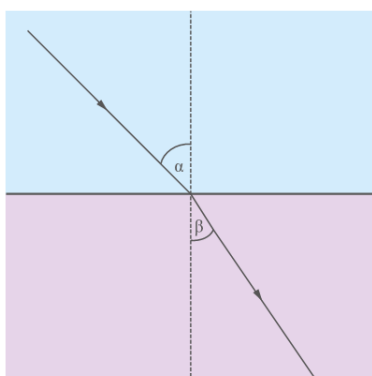
Obr. 2. Jev odrazu vlnění.

Autor: Paweł Woźniak



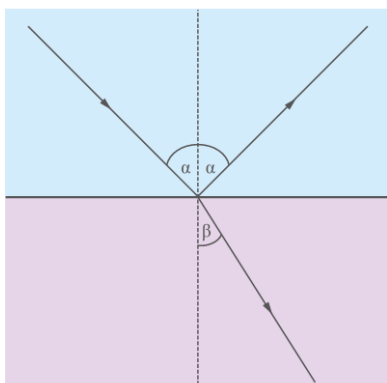
### Lom (refrakce)

Jedná se o jev, k němuž dochází na rozhraní dvou různých prostředí a který se projevuje náhlou změnou směru šíření vlnění (srov. Obr. 3). K refrakci může také docházet v prostředí, kde se fyzikální podmínky neustále mění. V takovém případě bude pozorováno zakřivení směru šíření vlnění. Příkladem takového prostředí je vzduch, který může mít proměnlivou vlhkost, teplotu nebo tlak. Jevev refrakce lze využít pro komunikaci mezi anténami, které nejsou v přímé viditelnosti.



Obr. 3. Jevev lomu vlnění (refrakce). Autor: Paweł Woźniak

V praxi obvykle dochází na rozhraní prostředí k odrazu a současně i lomu vlnění. Vlna dopadající na rozhraní dvou různých prostředí se částečně odráží a částečně lomí a po průniku do druhého prostředí pokračuje ve svém šíření. Jednoduchým názorným příkladem tohoto jevu je částečný odraz světla v okně: vidíme v něm jak svůj odraz, tak i to, co je za oknem.

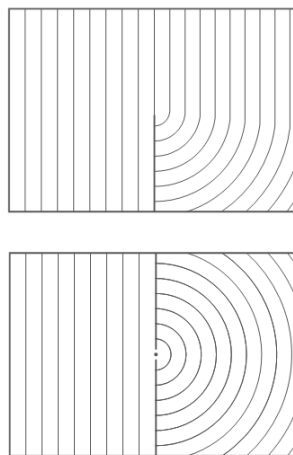


Obr. 4. Jevev částečného lomu a částečného odrazu vlnění. Autor: Paweł Woźniak

### Ohyb vlnění (difrakce)

Jedná se o odchylku průběhu vlnění od přímočarého směru, k níž dochází na okrajích úzkých štěrbin nebo okrajích překážek, které jsou v dráze šíření vlnění. Tento jev je označován také jako difrakce. Například vlnění, které se šíří jedním směrem, se po dosažení překážky s malým otvorem začne šířit všesměrově.

#### Ohyb vlnění na překážce a průchod štěrbinou



Obr. 5. Jevev ohybu vlnění. Autor: Paweł Woźniak

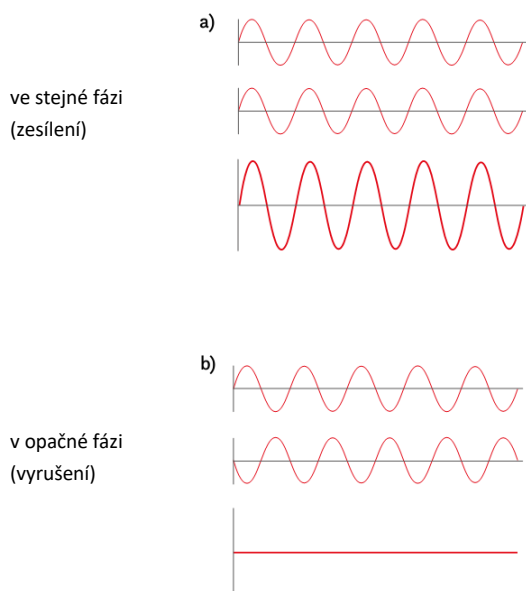
Jevev ohybu našel uplatnění v radiokomunikacích – umožňuje například vyslat signál do údolí, která jsou za kopci. Rádiové vlnění, které dospěje k vrcholu kopce, se ohýbá a efektivně šíří i za kopcem, v tzv. oblasti rádiového stínu. Díky tomu může mít vlnění mnohem větší dosah, než by se zdálo z jeho šíření po přímkách. Při ohybu vlnění navíc dochází k jeho útlumu, který je tím silnější, čím je úhel ohybu větší.

### Skládání vlnění (interference)

Elektromagnetické vlny, které dospěly do stejného bodu v prostoru, se skládají, což má za následek sčítání jejich amplitud. Sčítání amplitud může vést jak ke zvýšení, tak i snížení amplitudy výsledné elektromagnetické vlny.

Zvláštním případem je pak sčítání vln se stejnou frekvencí (vlnovou délkou) a amplitudou, ale s různou fází. V takovém případě může docházet ke vzájemnému zesílení nebo zeslabení vlnění, podle toho, ve které fázi jsou obě vlny vůči sobě.

**Interference vln, které jsou:**



Obr. 6. Jev skládání vln ve stejné fázi (a) a v odlišných fázích (b) – dole je výsledná elektromagnetická vlna. Autor: Paweł Woźniak

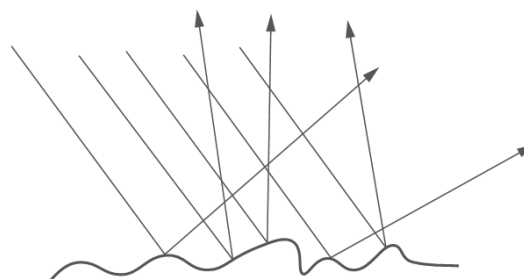
### Tlumení

Tlumením rozumíme ztrátu energie vlnění v daném látkovém prostředí, přičemž hodnota útlumu závisí na fyzické struktuře tohoto prostředí. Při tlumení je energie vlny vycházející z daného látkového prostředí menší než energie této vlny, v okamžiku jejího vstupu do daného prostředí – proto se často používá pojem „ztrátové prostředí“. Tlumení vlnění souvisí s absorpčním jevem, tj. absorpcí energie elektromagnetické vlny prostředím. Hodnota útlumu ve vzduchu bude ovlivněna složením částic, tj. vlhkostí, procentním podílem kyslíku, dusíku a také mírou znečištění jinými složkami. Dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje hodnotu útlumu, je vlnová frekvence.

Obvykle platí pravidlo, že čím vyšší je frekvence elektromagnetické vlny, tím větší je její útlum v prostředí. Útlum vlnění ve volném prostoru je značně ovlivněn také povětrnostními podmínkami (mlha, déšť, velká oblačnost).

### Rozptyl

Rozptyl vlnění je jev, ke kterému dochází při odrazu nebo ohybu vlnění na nerovném rozhraní dvou prostředí. Rozptyl má tedy podobný účinek jako tlumení – vlna s rostoucí vzdáleností postupně ztrácí svoji energii. Na rozdíl od tlumení však ke ztrátě energie dochází rozdělením dopadající vlny na řadu menších odražených vln, které se navíc rozptylují do různých směrů.



Obr. 7. Jev rozptylu vlnění. Autor: Paweł Woźniak

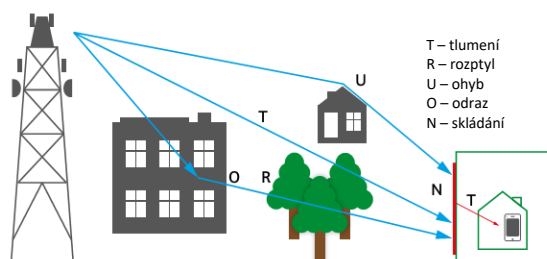
Všechny výše uvedené jevy lze pozorovat při šíření rádiových a mikrovlnných signálů. V závislosti na typu terénu, hustotě a výšce zástavby, typu materiálů, ze kterých je postavena, a na mnoha dalších faktorech, budou mít jednotlivé jevy šíření více či méně významný dopad na šíření rádiových vln a mikrovln. Dalším kritickým faktorem určujícím výskyt a intenzitu těchto jevů je vlnová délka  $\lambda$  (a tedy i frekvence  $f$ ) vztažená k fyzické velikosti překážky.

Jevy šíření budou mnohem výraznější, bude-li vlnová délka  $\lambda$  srovnatelná s rozměry překážek (např. velikostí rozhraní dvou prostředí nebo šířkou štěrbin). Pokud bude vlnová délka  $\lambda$  větší než velikost překážek, jevy šíření budou mnohem slabší.

Například dlouhé a velmi dlouhé vlny, jejichž délka se může pohybovat od 1 km do 100 km, mají mnohem větší dosah šíření než mikrovlny (např. s vlnovou délkou 10 cm), a to díky menšímu počtu překážek, s nimiž interagují. Například vlna s frekvencí 1 GHz a vlnovou délkou přibližně 30 cm snadno proniká tenkými zdmi budov, sklem, malými předměty denní potřeby, avšak silnější zdi, zemina nebo hustý les ji hodně tlumí. Na druhou stranu, u vlny s frekvencí 10 GHz a délkou přibližně 3 cm bude tlumení zdmi, stromy nebo předměty mnohem větší.

V současné době se v celulární telefonii využívají kmitočty od cca 800 MHz do cca 2,6 GHz – v tomto rozsahu jsou vlnové délky přibližně 33 cm až 10 cm. Tyto vlnové délky jsou nepatrné ve srovnání s velikostí objektů, které se v prostředí vyskytují, a tak zde prakticky vždy dochází k rozptylu, ohybu a odrazu vlnění.

Modelová situace vzniku propagačních jevů je uvedena na Obr. 8.



Obr. 8. Znázornění propagačních jevů.

Autor: Paweł Woźniak

Obr. 8 ukazuje, kolika různými dráhami, na nichž mohou vzniknout různé propagační jevy, může rádiový nebo mikrovlnný signál cestovat z vysílače do přijímače. Máme zde tedy jen přímou vlnu (T), která je tlumena pouze na dráze od vysílače k přijímači. Kromě přímé vlny se zde vyskytují: vlna odražená (O) od zástavby a vlna ohnutá (U) o hranu střechy budovy.

Každý z těchto propagačních jevů ovlivňuje energii elektromagnetické vlny odlišně. Odražená vlna může být navíc i částečně rozptýlená (R) podle toho, jak je daná odrazná plocha drsná a na jaké překážky cestou narazí (např. stromy). Stejně tak může svou energii částečně rozptýlit i ohnutá vlna.

Každá rádiová vlna nebo mikrovlna, bez ohledu na ohyb nebo odraz, je navíc tlumena (na Obr. 8 je z důvodu přehlednosti tlumení zakresleno pouze u přímé vlny). Protože ve skutečnosti rádiové vlny a mikrovlny cestují dráhami s různými délkami, dochází ke skládání (N) četných rádiových vln a mikrovln, které sice pocházejí ze stejného zdroje, ale mají zcela odlišné, nahodilé fáze. Tato interference může mít za následek částečné nebo úplné vyrušení signálu v přijímacím místě.

### Šíření elektromagnetické vlny – technické důsledky

Mnohými pokusy a pozorováními výše uvedených propagačních jevů jsme se je naučili předvídat a precizně popisovat. V důsledku toho je umíme správně využívat, tak aby byl zajištěn efektivní přenos rádiového a mikrovlnného signálu v odpovídající kvalitě mezi vysílačem a přijímačem.

V případě mobilní radiokomunikace se obvykle setkáváme s velmi složitou situací, protože anténa (nebo antény) základnové stanice je sice umístěna na konkrétním místě, které je vhodně zvoleno už během plánování sítě, ale antény účastnických terminálů (tj. v praxi mobilních telefonů) stále mění svoji polohu společně s pohybem jejich uživatelů. Za této situace se podmínky pro šíření nestále mění a to musí být zohledněno i ve způsobu, jakým je síť navržena (viz oddíl I.6. na straně 40).

Při projektování sítí se musí brát v úvahu mnoho faktorů souvisejících s rázům terénu, stávající zástavbou, umístěním a výškou budov či přítomností zalesněných oblastí.

V typických venkovských oblastech s malou hustotou budov je počet terénních překážek relativně malý. Výhodným řešením je proto umístit antény základnových stanic ve vysoké výšce a přizpůsobit úroveň rádiového signálu tak, aby bylo dosaženo správného pokrytí celé oblasti dané buňky. Rádiový signál tak nejenže pokrývá velkou oblast, ale i ztráty energie signálu způsobené výskytem nepříznivých propagačních jevů jsou malé.

Vzhledem k tomu, že se na trase obvykle nevyskytují významné terénní překážky, bývá dosaženo dobrého šíření přímých vln.

Zcela odlišně se jeví situace v městské oblasti. Zajištění dobrého šíření přímých vln je složitější, pokud je to vůbec možné. Výškové budovy účinně tlumí rozhlasový a mikrovlnný signál. Způsobují také rozptyl signálu, jeho ohyb a lom. Hustá zástavba a objekty, které se pohybují, jako např. autobusy, mohou vést k vícesměrnosti. Kdyby se v těchto podmínkách použilo uspořádání základnových stanic jako ve venkovské oblasti, bylo by to krajně

neefektivní. Aby bylo dosaženo nejlepší možné přímé viditelnosti mezi anténami základnové stanice a uživatelskými koncovými zařízení, je třeba umístit více základnových stanic na menší ploše. V tomto řešení lze díky relativně malým vzdálenostem mezi základnovou stanicí a uživatelskými koncovými zařízeními vyzařovat signál s výrazně nižším výkonem (ve srovnání se stanicemi provozovanými ve venkovských oblastech) a minimalizovat tak negativní dopady jevů šíření.

# Mýtus:

## **Anténa na střeše domu je nebezpečná pro jeho obyvatele**

Antény, které se používají v celulárních systémech mobilní telefonie se vyznačují přesně specifikovanou charakteristikou, která určuje hlavní a boční směry, v nichž je emitováno elektromagnetické pole. Většina energie elektromagnetického pole je vyzařována do prostoru před anténou a po stranách antény. Naproti tomu vyzařování energie směrem dolů, přímo pod anténu, je minimální. Je to srovnatelné s vyzařováním, které generuje domácí Wi-Fi router. Kromě toho existuje právní předpis (vyhláška polského Ministerstva životního prostředí ze dne 30. října 2003), který provozovatelům těchto zařízení ukládá povinnost ověřovat, zda není na místech přístupných veřejnosti překročena přípustná úroveň elektromagnetického pole. Toto ověřování spočívá v provádění širokopásmových měření intenzity elektromagnetického pole (viz oddíl III.3 na straně 89). Překročení přípustných úrovní je zakázáno. Pokud provozovatel zjistí, že došlo k překročení limitů, je povinen přiměřeně snížit vyzařování ze základnové stanice. Při měřeních prováděných Krajskými inspektoráty ochrany životního prostředí v rámci Celostátního monitorování životního prostředí a testech prováděných během ročních měřicích kampaní realizovaných Ústavem spojů, v.v.i. nebylo zjištěno žádné překročení přípustných limitů na místech přístupných veřejnosti, ani na měřicích místech v malé vzdálenosti od antén. Výjimkou je jeden případ v měřicí kampani Ústavu spojů, v.v.i. z roku 2017 (viz oddíl III.4. na straně 96).

## I.4

## Přirozené zdroje elektromagnetického pole

RAFAŁ PAWLAK

Přirozenými zdroji elektromagnetického pole, ve kterém člověk žije „od počátku věků“, jsou Země a atmosferické jevy, Slunce a kosmické jevy, a také každá hmota, jejíž teplota je větší než absolutní nula – tedy vlastně každá.

Ve všech bodech naší planety se setkáváme s jejím **přirozeným magnetickým polem**, tzv. geomagnetickým polem. V zásadě je považováno za stabilní pole, i když – jak se brzy ukáže – to není až tak úplně pravda. Existenci tohoto pole na zemském povrchu může pozorovat každý z nás, a to pomocí jednoduchého přístroje, jakým je kompas. Zajímavostí je, že pole, které nás obklopuje, ve skutečnosti vzniká propojením dvou složek: **vnitřního magnetického pole**, jež souvisí s jevy, k nimž dochází v jádru Země, a **vnějšího magnetického pole**, které je spojeno s jevy, k nimž dochází v ionosféře (tj. v horní vrstvě zemské atmosféry) a v magnetosféře (viz níže).

### Vnitřní magnetické pole Země

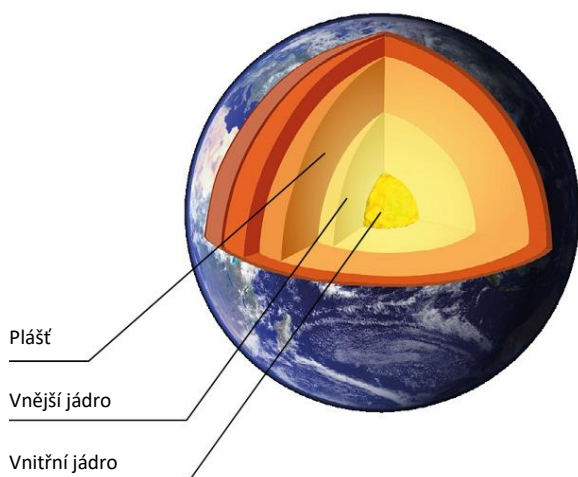
Historicky vzato odborníci až do konce 19. století pokládali, že hluboké vrstvy Země jsou sestaveny z velmi silně magnetizovaných sloučenin železa, které tímto způsobem vytvářejí magnetické pole. Ukázalo se však, že takové tvrzení je neopodstatněné. V roce 1895 francouzský fyzik Pierre Curie zjistil, že po překročení určité mezní teploty (tato teplota se dnes nazývá Curieova teplota) feromagnetické látky ztrácí své magnetické vlastnosti.

To znamená ty, které projevují svou vlastní spontánní silnou magnetizaci. Feromagnetity jsou i ledničkové magnety, které dobře známe z každodenního života.

Jelikož je však teplota uvnitř Země výrazně nad Curieovou teplotou látek, které lidstvo zná, nemůže geomagnetické pole pocházet z obřího permanentního magnetu skrytého ve středu naší planety.

Tak tedy co je tím zdrojem? V současné době se předpokládá, že v tekutém vnějším jádru Země vlivem konvekčních pohybů vnikají elektrické vířivé proudy, které vytvářejí magnetické pole. Jedná se o tzv. teorii samobudícího **magnetohydrodynamického dynama**, kterou v roce 1949 navrhl anglický geofyzik Edward Bullard. Podle této teorie je přirozené dynamo Země (geodynamo) poháněno právě konvekčními pohyby, které se vyskytují v oblasti kontaktu pláště s vnějším jádrem, zatímco víření je vytvářeno působením Coriolisovy síly související s rotací Země kolem vlastní osy.

Magnetické pole generované v zemském jádru má samozřejmě dva póly, stejně jako všechna magnetická pole v přírodě (viz oddíl I.1. na straně 8). Geomagnetické póly leží v blízkosti geografických pólů (tj. těch, které jsou určeny osou rotace naší planety), ale jsou vůči nim mírně posunuty. Magnetická osa Země je nakloněna asi o 11° vůči ose rotace a navíc se každoročně pohybuje o úhel odpovídající vzdálenosti několika kilometrů na zemském povrchu.



Obr. 1. Vnitřní struktura Země.  
Zdroj: Wikimedia Commons

Magnetické pole generované uvnitř Země na jeho povrchu nemizí, ale šíří se do prostoru, který obklopuje naši planetu. Oblast, kde dochází k působení magnetického pole Země, se nazývá **magnetosféra**.

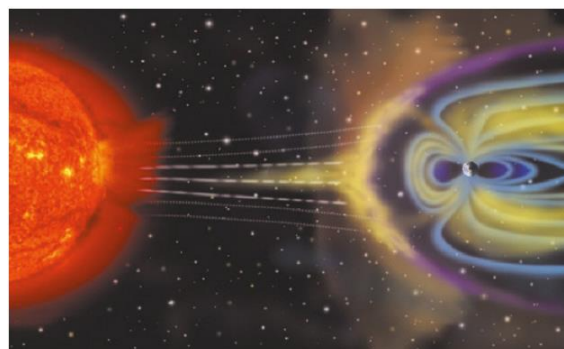
Teorie magnetohydrodynamického dynama vysvětluje existenci magnetického pole i u jiných nebeských těles. Podobným přirozeným dynamem je vybaveno například i Slunce, které má stejně jako naše planeta své vlastní magnetické pole. Jen je mnohem silnější a s mnohem větší dynamikou změn.

### Vnější magnetické pole Země

Zdrojem vnějšího magnetického pole Země jsou jevy, k nimž dochází v horních vrstvách atmosféry a magnetosféře a které souvisejí především se sluneční aktivitou (která způsobuje deformaci magnetosféry slunečním větrem) a se změnami, které vznikají v ionosféře v důsledku působení tzv. atmosférického dynama.

**Sluneční vítr** je vytvářen obrovským množstvím vysokoenergetických nabitých částic, které vychází z povrchu Slunce. Zemská magnetosféra vytváří „deštník“, který chrání naši planetu před slunečním větrem a způsobuje zakřivení směru pohybu tohoto proudu vysokoenergetických částic, čímž jej odráží směrem ven od Země.

Interakce magnetosféry se slunečním větrem se projevuje určitou deformací magnetického pole, která je časově proměnná. Deformací magnetického pole vznikají ve vodivých vrstvách zemské kůle tzv. telurické proudy, které se stávají zdrojem sekundárních magnetických polí.



Obr. 2. Sluneční vítr a magnetosféra Země.  
Zdroj: Wikimedia Commons

Některé odkloněné částice slunečního větru však pronikají do zemské atmosféry a způsobují jev polární záře.



Obr. 3. Polární záře. Autor: Karol Wójcicki

Ionosféra a magnetosféra však nepředstavují překážku pro záření v infračerveném až ultrafialovém rozsahu (včetně viditelného světla), jakož ani v rozsahu rádiových a mikrovlnných frekvencí mezi 30 MHz až 30 GHz (např. elektromagnetické vlny z extraterestriálních procesů, zejména ze Slunce, ale také kosmické mikrovlnné pozadí). Proto se začalo říkat, že v planetárním štítu jsou dvě frekvenční „okna“: optické a rádiové. Jako zajímavost lze dodat, že celková hustota energie, která za slunečního dne bez oblačnosti dosáhne povrchu Země, je přibližně 1000 W/m<sup>2</sup>.

**Atmosférické dynamo** je přirozený jev spočívající ve vytváření elektrického pole v oblasti ionosféry v důsledku konvekčních pohybů částečně ionizovaného vzduchu. Takto vytvořené elektrické pole je proměnné povahy a vyvolává tok elektrického proudu v atmosféře, a tak se stává zdrojem proměnného magnetického pole.

Magnetické pole, které pozorujeme na zemském povrchu, je především geomagnetické pole, které se v čase mění pomalu. Hodnota jeho intenzity závisí na zeměpisné šířce a pohybuje se v rozmezí od 24 A/m pro většinu oblastí v nízkých a středních zeměpisných šířkách až po 48 A/m v oblasti zemských pólů. Naproti tomu jsou změny ve vnějším magnetickém poli, pozorované na zemském povrchu, mnohem rychlejší, avšak hodnoty jeho intenzity ve vztahu k hodnotě intenzity geomagnetického pole jsou zanedbatelně malé. Protože je dominantní složkou magnetického pole Země složka, která pochází z vnitřního magnetického pole, lze s dobrou aproximací pokládat magnetické pole za konstantní.

#### Přirozené elektrické pole Země

Zdrojem elektrického pole Země jsou náboje rozdělené mezi negativně nabitý povrch Země a pozitivně nabitý povrch ionosféry. Takové uspořádání připomíná strukturu sférického kondenzátoru: zemský povrch a ionosféra plní funkci vodivých desek tohoto kondenzátoru, a dielektrikem, které je asi 50 km silné, je pak vzduch. Intenzita elektrického pole u zemského povrchu je v průměru 100–150 V/m, i když tato hodnota se v daném místě liší v závislosti na místním počasí. Rozdíl mezi potenciály zemského povrchu a ionosférické vrstvy je pak přibližně 400 kV.

Na rozdíl od magnetického pole je intenzita elektrického pole závislá na zeměpisné šířce jen nepatrně. Souvisí to se skutečností, že elektrické pole atmosféry je nepřetržitě udržováno stále probíhajícími bouřkami – i když je to těžko uvěřitelné, každou sekundu dochází na povrchu Země přibližně ke 100 úderům blesku.

Jelikož jsou horní vrstvy atmosféry velmi dobře vodivé, je potenciál ionosféry kolem celé Země rozložen stejnoměrně a tak je intenzita elektrického pole u zemského povrchu konstantní.



Obr. 4. Přirozené elektrické výboje.

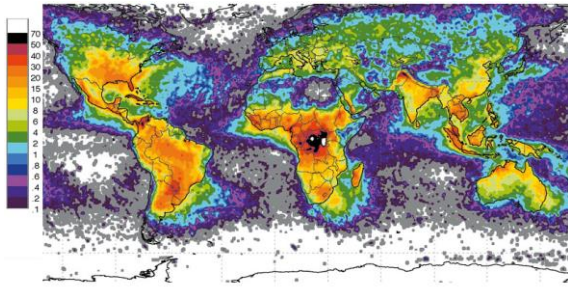
Zdroj: Wikimedia Commons

Bouřková mračna jsou výsledkem elektrizace, která vzniká, když při setkání chladných a teplých vzduchových hmot dochází ke střetu ledových krystalů s kapkami vody. V takto vytvořených oblacích, jejichž výška může dosahovat až několika kilometrů, se hromadí náboj: záporný ve spodních částech a kladný v horních částech. Rozdíl mezi potenciálem zemského povrchu a potenciálem nabitého bouřkového mraku může být až 100 MV. Je natolik velký, že má za následek rozpinání vzduchu, ionizaci a vznik atmosférického výboje: dochází k toku proudového impulsu s dobou trvání přibližně 10–50  $\mu\text{s}$  (mikrosekund) a intenzitou až 100 kA. Tímto způsobem vzniká elektromagnetický impulz širokopásmové povahy, přičemž hlavní část energie je obsažena v pásmu do 100 kHz. Špičková hodnota intenzity elektrického pole v krátké vzdálenosti od místa vzniku atmosférického výboje (do 1 km) dosahuje až **10 kV/m** a ve větší vzdálenosti (např. 30 km) pak dosahuje až **20 V/m**.

Na Obr. 5 je zobrazena intenzita výskytu bleskových výbojů na plochu 1 km<sup>2</sup> v průběhu roku.

S jiným elektrizačním jevem, který je v zásadě velmi podobný (výboj vede k vyrovnání potenciálů), se často setkáváme i ve všedním životě.

Stačí si vzpomenout na elektrizaci vlasů při česání nebo praskání, které někdy slyšíme při svlékání vlněného svetry.



Obr. 5. Četnost výskytu blesků na povrchu Země.  
Zdroj: Wikimedia Commons

Obdobně reaguje i kočičí srst, v níž se při hlazení může vytvořit potenciál až několik tisíc voltů.

### Tepelné záření

Tepelné záření je generováno spontánně jakoukoli hmotou, jejíž teplota je vyšší než absolutní nula (0 K), tedy  $-273,15^{\circ}\text{C}$ . Zdrojem tohoto typu záření jsou elektricky nabitě částice, které se přemisťují uvnitř hmoty vlivem tepelného pohybu. U tepelné záření se tedy jedná o určitý druh přirozeného elektromagnetického záření, jehož vlnová délka závisí pouze na teplotě. S rostoucí teplotou je délka emitované elektromagnetické vlny kratší a frekvence vyšší.

Tělesa při extrémně nízkých teplotách generují elektromagnetické vlny v mikrovlnném frekvenčním rozsahu. Tělesa, jejichž teplota je blízká pokojové teplotě (to platí i pro lidi), generují hlavně elektromagnetické vlny v infračerveném pásmu, avšak část vlnění je i v rádiovém rozsahu. Hustota energie tepelného záření, které vyzářuje člověk při  $37^{\circ}\text{C}$ , je přibližně  $2,5 \text{ mW/m}^2$ . Na druhou stranu, tělesa, jejichž teplota je větší než  $600^{\circ}\text{C}$ , vyzářují elektromagnetické vlny, které jsou viditelné lidským okem, jednoduše světlo. Barva žáru se mění podle teploty: z tmavě červené (přibližně  $650^{\circ}\text{C}$ ), přes oranžovou (přibližně  $1100^{\circ}\text{C}$ ) až do bílé (nad  $1400^{\circ}\text{C}$ ).

# Mýtus:

## Elektromagnetické záření, které nás obklopuje, je umělým lidským výtvořem

Člověk žije v prostředí, v němž vždy existovalo elektromagnetické záření pocházející z přirozených zdrojů. Přirozené zdroje nejsou produktem lidské činnosti. Patří k nim: Země (vytvářející magnetické pole ve svém jádru), Slunce (generující záření v infračerveném až ultrafialovém spektru, včetně viditelného světla a slunečního větru), atmosférické jevy (související s bleskovými výboji), kosmické jevy a doslova každá hmota s teplotou nad absolutní nulou. Člověk při svém civilizačním vývoji začal zhruba před 150 lety vytvářet umělé zdroje elektromagnetického pole. Tyto zdroje zapadají do existujícího spektra přirozeného elektromagnetického pole.

Až donedávna byly v každé domácnosti zdroje tepelného záření s extrémně vysokými teplotami. Jaké zdroje to jsou? Běžné žárovky, v nichž se wolframové vlákno vlivem elektrického proudu zahřívá na teplotu řádu  $2500^{\circ}\text{C}$ .



Obr. 6. Tepelné záření.  
Zdroj: Wikimedia Commons



## I.5

## Umělé zdroje elektromagnetického pole

---

RAFAŁ PAWLAK

S rozvojem civilizace se do elektromagnetického prostředí zařadily i jiné než přirozené zdroje, tzv. umělé zdroje elektromagnetického pole. První zdroje tohoto typu byly do prostředí zavedeny relativně nedávno, jen něco málo před 100 lety.

### Historický přehled

Lze si troufnout tvrzení, že současný stav technického vývoje, jenž de facto utváří hladinu elektromagnetického pole v prostředí, je přímo odvozen od prací, které na přelomu 19. a 20. století prováděl Nikola Tesla (1856–1943) v oblasti střídavého proudu. V této oblasti byl samozřejmě již dříve vybudován silný vědecký základ.

Začalo to vlastně tím, že na konci 16. století William Gilbert, osobní lékař královny Alžběty I, jako první v Evropě zahájil výzkum a pokusy související s jevem magnetizmu a elektrizace materiálů. V roce 1600 publikoval Gilbert své dílo „O magnetu, magnetických tělesech a velkém magnetu Zemi“, které obsahuje tezi, že naše planeta je zmagnetizovaná, a proto střílka kompasu ukazuje na sever (později se ukázalo, že to není pravda – viz oddíl I.4. na straně 28). Definoval nové a na svou dobu revoluční pojmy: pól, sílu a magnetickou přitažlivost. Pokusy, které Gilbert dělal, byly právě oním kamenem, který za nějakou dobu způsobil lavinu práce na magnetismu a elektřině. Těmito otázkami se začala zabývat řada přírodovědců, matematiků a fyziků 17. a 18. století. Vyvrcholením těchto prací bylo pojednání „Elektřina

a magnetismus“, publikované v roce 1873, ve kterém James Clerk Maxwell popsal svou vlastní jednotnou teorii elektromagnetismu, v níž dokázal, že elektřina a magnetismus jsou dvěma druhy téhož jevu.

Pokud lze říci, že Maxwell uzavřel éru objevů klasického elektromagnetismu, pak Heinrich Rudolf Hertz objevem elektromagnetického vlnění v roce 1886 začal éru zcela novou – éru využívání umělého elektromagnetického pole, mimo jiné v oblasti radiokomunikací. Brzy se tento nový vědní obor začal efektivně využívat v praxi.

Poté, co v roce 1837 postavil Samuel Morse jednoduchý dvoudrátový telegraf, bylo možné bleskurychle přenášet jednoduché informace na značné vzdálenosti. S vynálezem a patentováním telefonu v roce 1876 Alexandrem Grahamem Bellem přišla možnost, jak efektivně realizovat hlasovou komunikaci na dálku – překážka komunikace na velké vzdálenosti padla. Brzy byla smazána i hranice mezi dnem a nocí. V roce 1879 se objevilo elektrické osvětlení pomocí žárovky patentované Thomasem Alvou Edisonem. O tři roky později, v roce 1882, byla New Yorku postavena první velká městská elektrárna na světě a systém elektrického osvětlení stejnosměrného proudu s napětím 110 V, který byl na tu dobu masivní – pro padesát devět zákazníků na dolním Manhattanu. Tím bylo vytvořeno jádro elektroenergetiky. Začaly se používat stejnosměrné motory a generátory.

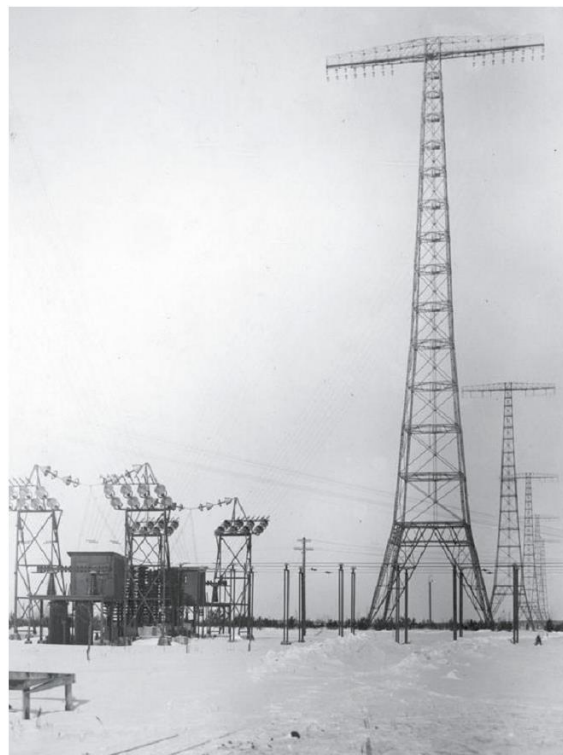
Brzy se však ukázalo, že způsoby výroby a přenosu stejnosměrného proudu jsou málo účinné a nejsou dostačující k uspokojení stále rostoucích potřeb a čím dál tím náročnějších očekávání. Tím pravým řešením se stal střídavý proud, který se dal relativně snadno vyrábět, ale co je nejdůležitější, také efektivně přenášet na velké vzdálenosti – díky možnosti transformovat napětí a snížit tak intenzitu proudu a tím i energetické ztráty.

Se střídavým proudem je úzce spojen Nikola Tesla, který si v roce 1887 podal patentové přihlášky týkající se distribuce energie formou střídavého proudu. Mezi Edisonem a Teslou začala tvrdá rivalita, známá jako „válka proudů“. Vyhrál ji Tesla a brzy se proslavil jako konstruktér mnoha zařízení pro výrobu a spotřebu střídavého proudu. Na svém kontě má: elektromotor a generátor střídavého proudu, autotransformátor, cyklistické dynamo, rádio, vodní elektrárnu (na Niagarských vodopádech), solární baterii, turbínu a transformátor vysokého napětí. Tesla byl také tvůrcem prvních dálkově ovládaných zařízení pomocí rádia.

### Vývoj rádiových komunikací v Polsku

Dějiny vývoje rádiových komunikací na území Polska sahají až do meziválečného období. V říjnu roku 1923 byla na území obce Boernerowo u Varšavy (dnešní městská část Bemowo) zprovozněna radiotelegrafní, dlouhohlinná Transatlantická centrální vysílací stanice. Byla sestavena ze dvou vysílačů (každý s výkonem 200 kW) a antény instalované na 10 ocelových věžích vysokých 127 m, umístěných v délce cca 3,2 km. Stanice zajišťovala komunikaci na vzdálenost přibližně 6400 km a generovala elektromagnetické pole s frekvencemi cca 14 kHz a cca 16 kHz (což odpovídá vlnové délce řádu několika kilometrů – viz oddíl I.1. na straně 8).

Začátek rozhlasového vysílání v Polsku je datován ke dni 18. dubna 1926, kdy bylo oficiálně zahájeno pravidelné vysílání stanice Polského rozhlasu. Od 2. ledna 1927 pak Polský rozhlas používal již vlastní vysílač o výkonu 10 kW na frekvenci 269 kHz. Na 75 metrů vysoké ocelové věži byla instalována 130 metrů dlouhá anténa, která pro tehdy dostupné přijímače zajišťovala dosah přibližně 90 km.

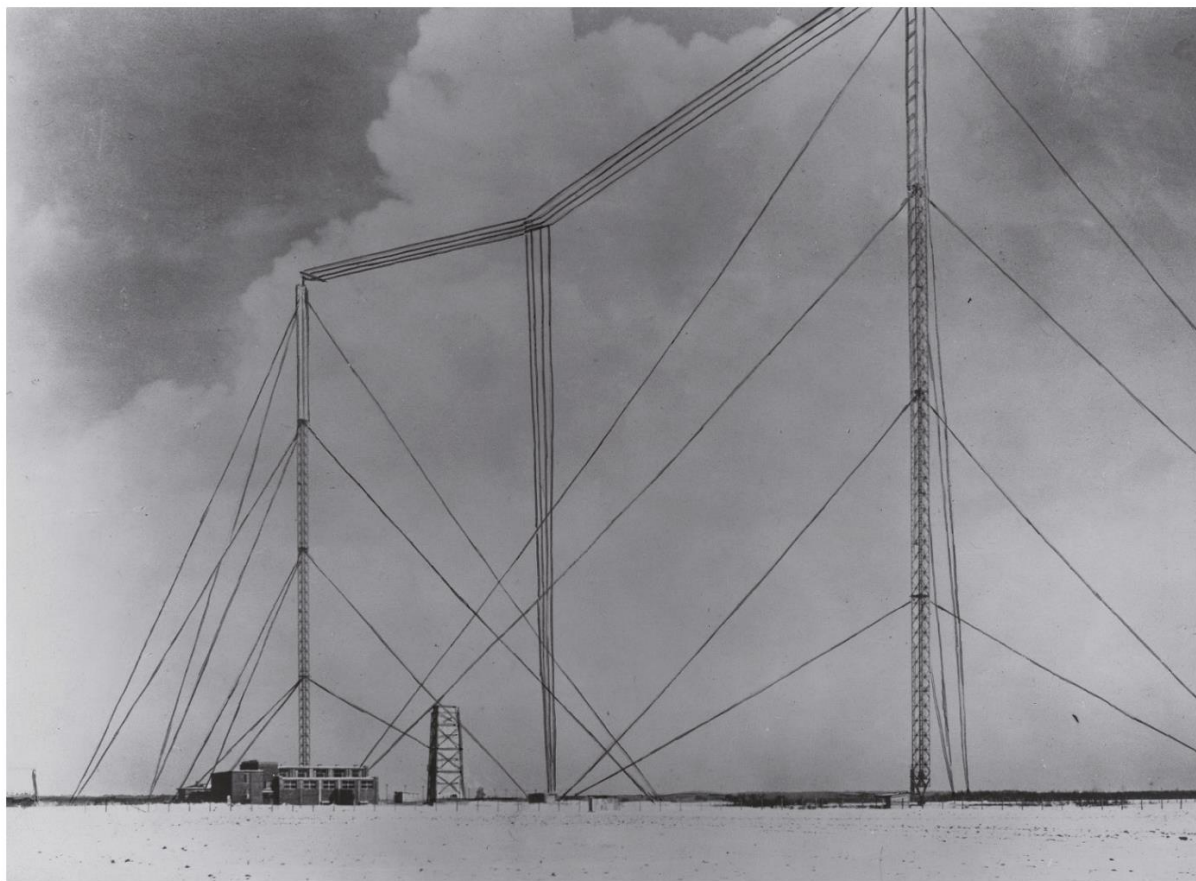


Obr. 1. Transatlantická centrální vysílací radiostanice.

Zdroj: Wikimedia Commons

Jelikož se rozhlas stával čím dál tím populárnější, a počet předplatitelů v roce 1927 narostl už na 50 tisíc, bylo rozhodnuto o výstavbě regionálních vysílacích zařízení. Ještě v roce 1927 byly zprovozněny stanice v Krakově, Poznani a Katovicích, v roce 1928 pak ve Vilniusu a v roce 1930 ve Lvově a Lodži. V roce 1929 Polský rozhlas přijal usnesení o výstavbě vysokovýkonného vysílače v obci Łazy u Raszyna. Provoz stanice na kmitočtu 224 kHz s výkonem 120 kW byl zahájen 24. května 1931. Jednalo se o tehdy nejsilnější rozhlasovou stanici v Evropě. Její anténa byla zavěšena na dvou 280m stožárech, což bylo vůbec nejvyšší umístění rozhlasové antény na světě. Vzhledem k výkonu a výšce antény reklamoval Polský rozhlas stanici v Raszynu u Varšavy jako „NEJSILNĚJŠÍ ROZHLASOVÁ VYSÍLACÍ STANICE NA SVĚTĚ“.

Souběžně s rozvojem rozhlasového vysílání se už od roku 1935 pracovalo na spuštění televizní stanice. Vysílací zařízení byla umístěna ve varšavské výškové budově Prudential a samotná vysílací anténa pak na speciální nosné konstrukci na střeše této budovy.



Obr. 2. Centrální rozhlasová vysílací stanice Polského rozhlasu „Raszyn“ v obci Łazy.

Zdroj: Fotografie ze sbírky Národního digitálního archivu

Zkušební vysílání proběhlo 5. října 1938 a 26. srpna 1939. Další výzkumné práce však byly pozastaveny z důvodu vypuknutí druhé světové války.

### Elektromagnetická pole kolem nás

Elektrickou energii používáme každý den, ať jsme si toho vědomi nebo ne. Uvědomme si, že každé zařízení napájené elektrickou energií, ať už z energetické sítě nebo z baterie, vytváří elektromagnetické pole.

Umělé elektromagnetické pole proto může být záměrným nebo vedlejším účinkem provozu.

Se záměrně generovaným elektromagnetickým polem se setkáváme u všech rádiových nebo mikrovlnných zařízení. Patří sem nejen velké objekty, jako jsou rozhlasové a televizní vysílací stanice, základnové stanice mobilních sítí, radiolokační a navigační stanice, ale i mnohem

menší přístroje jako např. CB rádio, mobilní vysílačky používané např. záchrannými službami, mobilní telefony, dálkové ovladače (např. centrální zamykání vozidla nebo ovládání garážových vrat), přístroje pro rádiovou identifikaci RFID, přístupové body Wi-Fi sítí, bezdrátové telefony DECT, zařízení vybavená rozhraním Bluetooth a mnoho dalších (více viz infografika na straně 38). Speciálním typem zařízení, která záměrně generují elektromagnetické pole, jsou zařízení používaná v medicíně: diagnostické přístroje, přístroje pro fyzikální terapii a rehabilitaci.

S elektromagnetickým polem, které se vytváří jako vedlejší účinek, se setkáváme u ostatních zařízení, jako jsou běžné elektrické spotřebiče v domácnosti, např. vysavač, televizor, počítač, vrtačka, lednička nebo dokonce noční lampička.

Rozsáhlá síť 50Hz nadzemního vedení vysokého a velmi vysokého napětí spolu s transformátorovými stanicemi, nízkonapěťovými sítěmi a elektrickými rozvody, které se používají k dodávce elektřiny ke koncovým odběratelům, a také stejnosměrná trakční soustava, rovněž představují zdroje umělého elektromagnetického pole.

Vezmeme-li v úvahu počet a rozmístění zdrojů elektromagnetického pole, rozsahy používaných frekvencí a výkonů, vznikající jevy šíření (lom, odraz, difrakce a interference elektromagnetického vlnění – viz oddíl I.3. na straně 22), a také náhodné faktory spojené s používáním některých zdrojů, lze dojít k závěru, že souhrnná intenzita umělého elektromagnetického pole v globálním měřítku bude obecně spíše náhodná než deterministická. Nicméně intenzitu pole, které vzniká v těsné blízkosti jednotlivých zdrojů elektromagnetického pole, je obvykle možné odhadnout. Zde je několik příkladů:

- elektrické vedení 220 kV/50 Hz, hodnoty pro minimální zákonem povolenou výšku zavěšení vodičů nad terénem 6,7 m:
  - elektrické pole přímo pod vedením: cca 4,5 kV/m,
  - elektrické pole ve vzdálenosti asi 20 m od vedení: cca 1 kV/m,
  - magnetické pole přímo pod vedením: cca 26 A/m,
  - magnetické pole ve vzdálenosti asi 20 m od vedení: cca 6 A/m,
- televizor, rádiový přijímač, lednička, kávovar: < 0,05 V/m,
- mikrovlnná trouba: cca 3 V/m ve vzdálenosti 0,5 m,
- akumulátorový šroubovák: cca 0,5 V/m ve vzdálenosti 0,5 m,
- úsporná žárovka: cca 3,5 V/m ve vzdálenosti 0,5 m,
- tablet s Wi-Fi: cca 1,5 V/m ve vzdálenosti 0,5 m,
- Bluetooth reproduktor: cca 0,3 V/m ve vzdálenosti 0,5 m,
- notebook: cca 0,5 V/m ve vzdálenosti 0,5 m.

Ze širokopásmových monitorovacích měření, která byla prováděna Krajskými inspektoráty ochrany životního prostředí v roce 2017 (více viz. oddíl III.4. na straně 95), pak vyplývá, že:

- na území měst s počtem obyvatel nad 50 tis. nepřekračuje průměrná intenzita elektromagnetického pole hodnotu 0,55 V/m,
- na území ostatních měst nepřekračuje průměrná intenzita elektromagnetického pole hodnotu 0,39 V/m,
- na venkovských územích nepřekračuje průměrná intenzita elektromagnetického pole hodnotu 0,21 V/m.

### Mechanismy vzniku umělého elektromagnetického pole

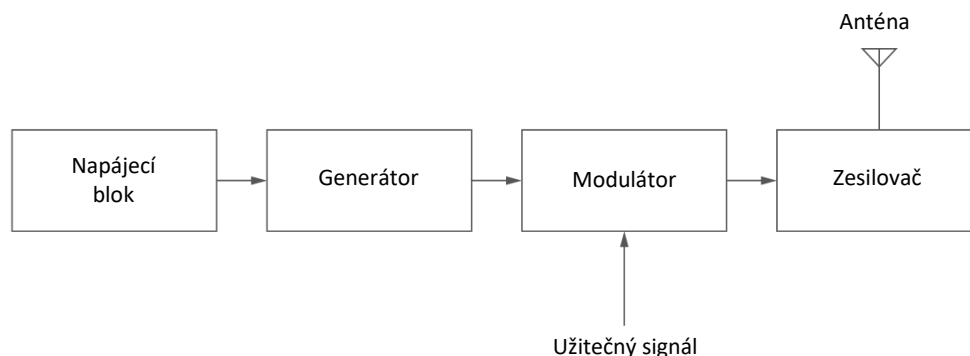
V případě zařízení, jejichž úkolem není záměrně generovat elektromagnetické pole, se setkáváme s jevy, které přímo souvisejí s fyzikou a jsou popsány Maxwellovými zákony (viz oddíl I.1. na straně 8). Představme si lampičku, která je zapojená do elektrické zásuvky, ale je vypnutá, žárovka nesvítí – proud sice neteče, ale lampička je pod napětím. Ve vodiči lampičky se vlivem rozdílu potenciálů shromažďují náboje generující elektrické pole. Po zapnutí lampičky se její žárovka rozsvítí – obvod se uzavře a vytvoří nepřerušenu dráhu pro tok proudu, lampička je stále pod napětím. Kolem vodiče lampičky se následkem pohybu nábojů vytvoří magnetické pole.

Lampička je samozřejmě velmi jednoduchý příklad. Ve skutečnosti každý vodič, který je součástí elektrické soustavy daného zařízení, představuje zdroj elektromagnetického pole – tedy nejen přívodní kabel, ale i interní propojovací kabeláž či vnější přípojovací signálové kabely (např. USB nebo HDMI). K dalším zdrojům elektromagnetického pole patří vodivé cesty na deskách plošných spojů, které často přenášejí vysokofrekvenční signály (např. hodinový signál pro taktování procesoru).

Ve skutečnosti tak zařízení generují elektromagnetické pole celou svou strukturou.

V případě zařízení, jejichž záměrem je vytvářet elektromagnetické pole, vzniká elektromagnetická vlna taktéž podle zásad popsaných Maxwellovými zákony, avšak ne náhodně, ale zcela kontrolovaným způsobem, pomocí elektronických obvodů, které jsou navrženy speciálně pro tento účel. Elektromagnetická vlna, která vzniká ve vysílači, tak nepředstavuje vedlejší účinek, ale je vytvořena záměrně – vyznačuje se přesně definovanou frekvencí a výkonem.

**Rádiový vysílač** je tvořen řadou vzájemně spolupracujících elektronických součástí, jejichž konečným úkolem je vygenerovat a vyzářit rádiové vlny nesoucí užitečnou informaci, jako například zvukový signál nebo digitální data. Konstrukčně lze vysílač zjednodušeně rozdělit na pět vzájemně spojených bloků.



Obr. 3. Zjednodušené blokové schéma vysílače.

Autor: Paweł Woźniak

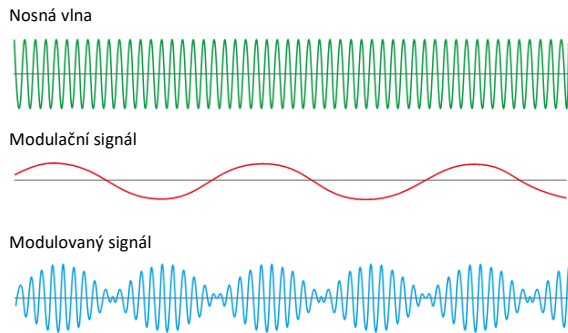
- Blok napájení:** jedná se o zdroj elektrické energie, která je zapotřebí pro správnou funkci vysílače.
- Generátor:** je srdcem vysílače, vytváří periodický, kmitavý elektrický signál střídavého proudu v podobě sinusoidy s určitou vyšší frekvencí (nosná vlna), na které vysílač funguje.
- Modulátor:** zkombinuje signál nesoucí užitečnou informaci (tak zvaný modulační signál) s nižším kmitočtem na signál nosné vlny s vyšším

kmitočtem. Ve výsledku se určitý parametr vysokofrekvenčního signálu mění podle změn modulačního signálu. Jelikož je nosná vlna popsána třemi modulačně ovlivnitelnými parametry (amplituda, kmitočet a fáze), můžeme hovořit o třech typech modulace: amplitudy, frekvence a fáze. Například amplitudová modulace (AM, ang. *Amplitude Modulation*) znamená, že amplituda nosného signálu se mění úměrně okamžité hodnotě modulačního signálu. Laicky řečeno, vlna se stává střídavě „silnější“ nebo „slabší“ a právě posloupnost těchto „silnějších“ a „slabších“ period v sobě zahrnuje užitečnou informaci.

Výše uvedený příklad platí pro analogovou modulaci. V moderních zařízeních se používá digitální modulace, která využívá nikoliv spojitou informaci jako u analogové modulace, nýbrž informace binární ve formě bitů (logických stavů). Takto vzniká signál určený pro

komunikaci s počítačem: přenos není spojitou „vlnitou krajinou“, ale posloupností nul a jedniček.

I v tomto případě modulace spočívá ve změně amplitudy, frekvence nebo fáze nosného signálu, ovšem děje se tak skokovým způsobem, což se označuje jako „klíčování“. Tím se získají nejjednodušší digitální modulace: ASK (ang. *Amplitude Shift Keying*), FSK (ang. *Frequency Shift Keying*) nebo PSK (ang. *Phase Shift Keying*).

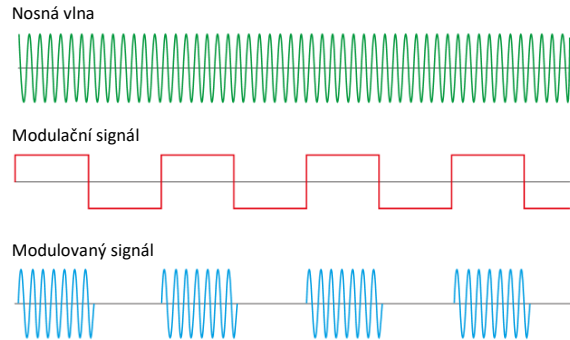


Obr. 4. Analogová amplitudová modulace.  
Autor: Paweł Woźniak

U modulace ASK klíčování probíhá tak, že určitá amplituda nosného signálu je přiřazena stavu logické „1“ a jiná amplituda nosného signálu je pak přiřazena stavu logické „0“.

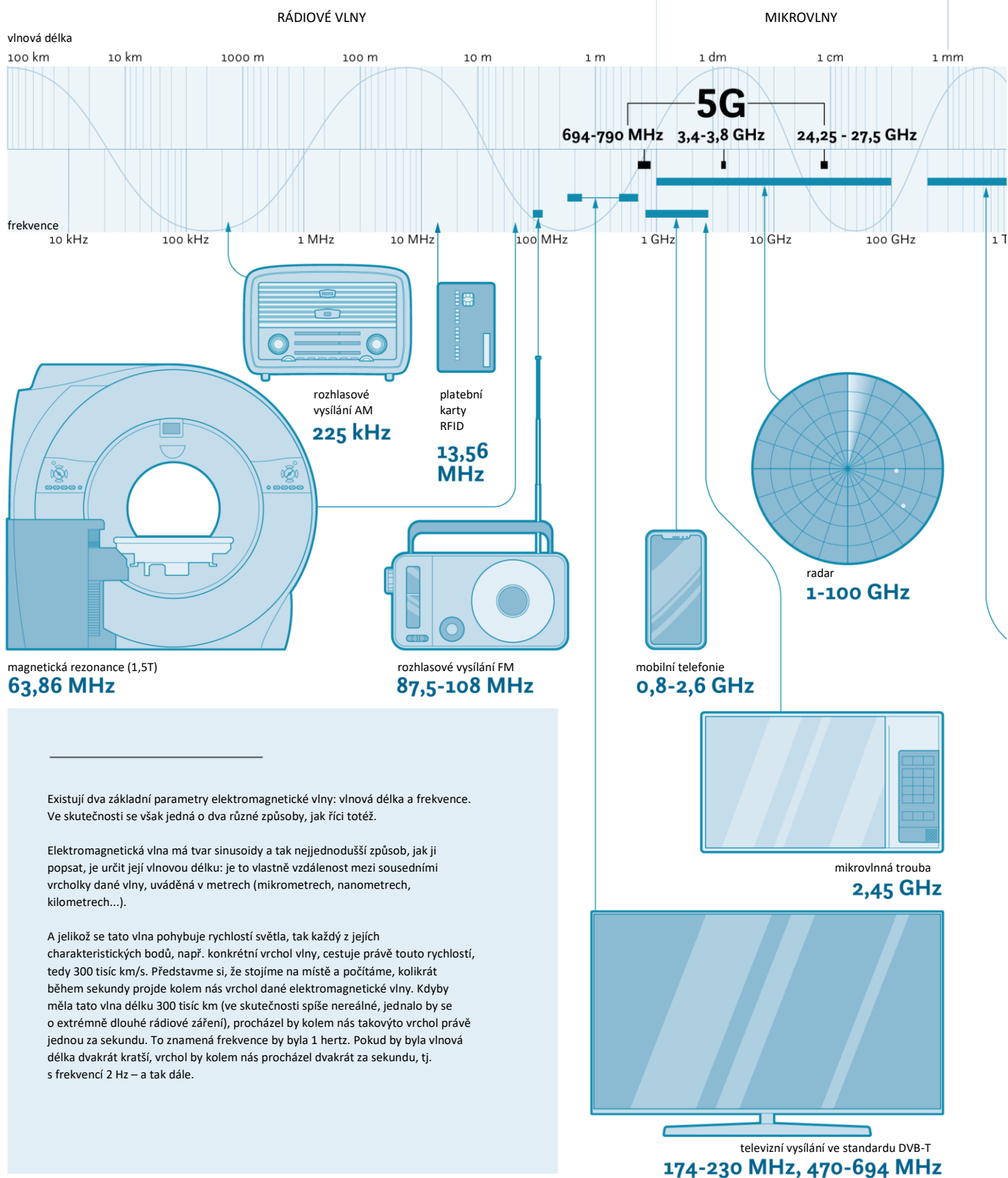
Modulace, které se používají v moderních radiokomunikačních systémech, např. mobilních sítích, představují mnohem složitější kombinace nebo varianty výše uvedených základních principů transformace signálu.

4. **Zesilovač:** zvyšuje výkon modulované nosné vlny, umožňuje nastavit odpovídající úroveň vysílaného signálu.
5. **Anténa:** převádí modulovanou a zesílenou nosnou vlnu na elektromagnetickou vlnu, kterou vyzařuje do prostoru. Je tedy nezbytná pro radiový přenos.



Obr. 5. Digitální amplitudová modulace.  
Autor: Paweł Woźniak

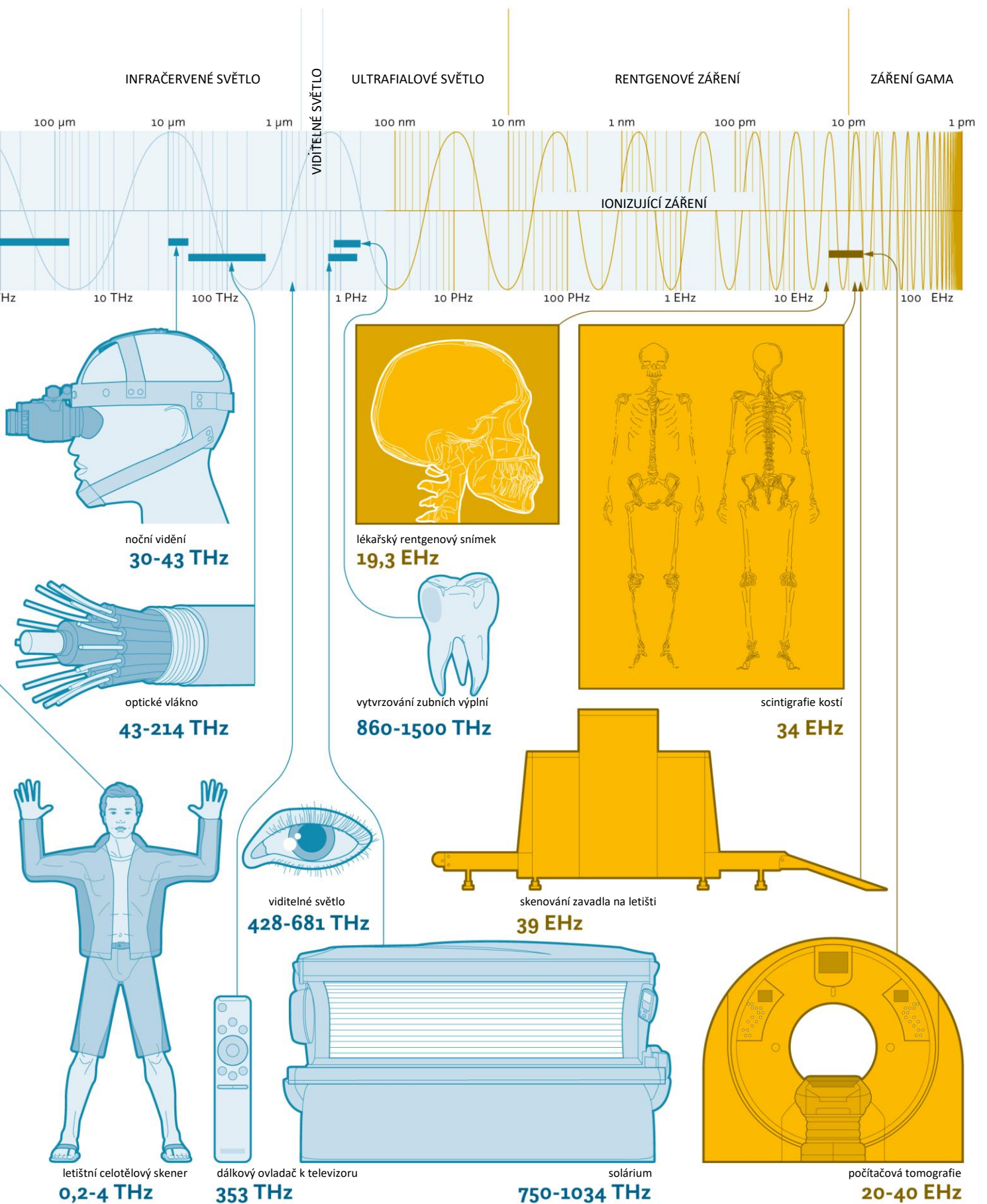
# VYBRANÉ ZPŮSOBY VYUŽITÍ ELEKTROMAGNETICKÝCH VLN



Existují dva základní parametry elektromagnetické vlny: vlnová délka a frekvence. Ve skutečnosti se však jedná o dva různé způsoby, jak říci totéž.

Elektromagnetická vlna má tvar sinusoidy a tak nejjednodušší způsob, jak ji popsat, je určit její vlnovou délku: je to vlastně vzdálenost mezi sousedními vrcholky dané vlny, uváděná v metrech (mikrometrech, nanometrech, kilometrech...).

A jelikož se tato vlna pohybuje rychlostí světla, tak každý z jejích charakteristických bodů, např. konkrétní vrchol vlny, cestuje právě touto rychlostí, tedy 300 tisíc km/s. Představme si, že stojíme na místě a počítáme, kolikrát během sekundy projde kolem nás vrchol dané elektromagnetické vlny. Kdyby měla tato vlna délku 300 tisíc km (ve skutečnosti spíše nereálné, jednalo by se o extrémně dlouhé rádiové záření), procházel by kolem nás takovýto vrchol právě jednou za sekundu. To znamená frekvence by byla 1 hertz. Pokud by byla vlnová délka dvakrát kratší, vrchol by kolem nás procházel dvakrát za sekundu, tj. s frekvencí 2 Hz – a tak dále.





## I.6

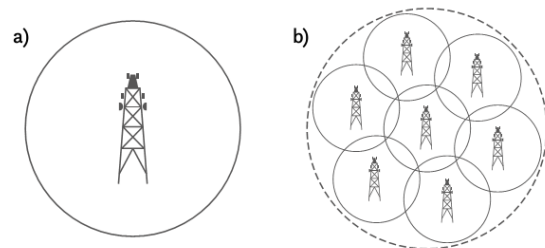
# Jak funguje mobilní telefon?

JAKUB KWIECIEŃ, RAFAŁ PAWLAK

Mobilní celulární telefonie je jedním z mobilních radiokomunikačních systémů. Jedná se jedno z nejdynamičtěji se rozvíjejících odvětví komunikace probíhající pomocí rádiových vln. Tento způsob komunikace využívají nejen uživatelé z řad soukromých osob, ale komerční a veřejné subjekty. V současné době používá mobilní telefony více než 92 % Poláků (stav pro červenec 2017 – zpráva Centra pro výzkum veřejného mínění CBOS), přičemž u více než poloviny se jedná o zařízení typu chytrý telefon a jejich podíl stále dynamicky roste. Rostoucí počet zařízení a možností jejich využití představuje výzvu vzhledem k omezenému množství rádiových kmitočtů. Tím vzniká neustálá potřeba rozvoje technologie, která umožní zajistit navýšení kapacity a přenosové rychlosti v síti. Mobilní telefon se stal nejen základním prostředkem kontaktu, ale také nástrojem pro práci a zábavu. Málokdy se však pozastavíme nad tím, jak vlastně tento přístroj funguje?

## Proč je mobilní telefon „celulární“?

Myšlenka celulárního (buňkového) systému se zrodila ve 40. letech 20. století v amerických laboratořích společnosti Bell. Do té doby byla poptávka po komunikačním systému v určité oblasti uspokojována použitím pouze jednoho vysílacího a přijímacího zařízení, které pracovalo s vysokým výkonem a pokrývalo svým rozsahem celou oblast provozovaného systému. Inovace spočívala v rozdělení velké oblasti na mnohem menší oblasti, tak zvané buňky (ang. *cell*). Uprostřed každé buňky pak bylo zařízení s nižším výkonem.

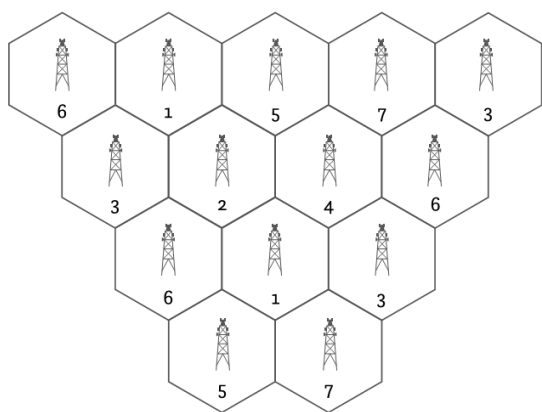


Obr. 1. Realizace rádiového systému za použití:

a) jedné základnové stanice s velkým výkonem, b) více základnových stanic s menším výkonem. Autor: Paweł Woźniak

Základním důvodem pro rozdělení oblasti na jednotlivé buňky je nedostatečná kapacita systému (kapacita je maximální počet připojených koncových zařízení, jako je například mobilní telefon), provozovaného v rámci jedné základnové stanice s velkým výkonem. Velikost buňky pokryté základnovou stanicí je několikanásobně menší než velikost oblasti celého systému, proto může pracovat s mnohem menším výkonem. Zásadní je, že násobným navýšením vysílacího výkonu nedochází úměrně ke zvětšení oblasti pokrytí rádiovým signálem. A protože je výkon koncového zařízení podstatně nižší než výkon základnové stanice, nebylo by možné efektivně udržovat rádiové spojení směrem k základnové stanici.

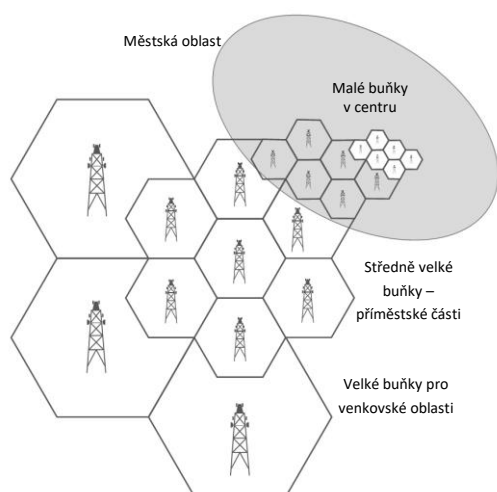
V celulárním systému sousední základnové stanice pracují na různých frekvencích. Jak je patrné z Obr. 2, stejné kmitočty (symbolicky označeny číslicemi 1-7) lze v rámci jednoho celulárního systému použít vícekrát. Způsob přidělování kmitočtů konkrétním základnovým stanicím minimalizuje riziko vzniku rušení mezi sousedními základnovými stanicemi.



Obr. 2. Rozdělení radiotelefonního systému na buňky.

Autor: Paweł Woźniak

Celulární struktura navíc umožňuje flexibilní navrhování systému se zohledněním charakteristiky dané oblasti z hlediska předpokládané hustoty uživatelů a intenzity provozu v síti.



Obr. 3. Pokrytí systému buňkami podle charakteristiky oblasti.

Autor: Paweł Woźniak

Další podstatnou vlastností celulárních systémů, která je odlišuje od rozhlasových nebo televizních systémů, je způsob, jakým je realizován přenos typu bod–bod. V celulárních systémech se koncové zařízení může pohybovat nejen uvnitř své buňky, ale i po celém systému. Z toho vyplývá, že je nutné zajistit nějaký mechanismus, kterým by bylo možné automaticky předat komunikační provoz nové základnové stanici, když účastník opustí oblast

dosavadní buňky a přejde do buňky sousední. Tento mechanismus se označuje pojmem „handover“, tj. předání spojení.

## Princip fungování mobilního telefonu

### Modulace

Prvním jevem, k němuž dochází během přenosu hlasu prostřednictvím rádiových vln, je přeměna vibrací vzduchu přes membránu mikrofону na vibrace elektrického proudu (velmi zjednodušeně). U mobilních sítí 1G (systém NMT) byl tento signál směřován do analogového frekvenčního modulátoru (FM). Další generace mobilních sítí 2G (systém GSM), 3G (systém UMTS) a 4G (systém LTE) – viz oddíl IV.1. na straně 106 – používají digitální přenos a různé typy digitální modulace.

### Přenos signálu

Další fází je přenos signálu pomocí rádiových vln. Některá rádiová zařízení, jako například CB rádio, komunikují mezi sebou pomocí rádiových vln napřímo – ke své funkčnosti síťovou infrastrukturu nepotřebují. Jinak je tomu v případě mobilních telefonů, které ke svému fungování potřebují dedikovanou síťovou infrastrukturu, protože se mezi sebou nikdy přímo nespojují.

Významným prvkem celého široce pojetého celulárního systému, který je vždy nejbližší uživateli, je **koncové zařízení** (ang. *terminal*). Koncové zařízení je každé zařízení, které používá mobilní síť. Koncovými zařízeními mohou být datové modemy připojené k počítači, které umožňují používat internet, a dále zařízení typu IoT (ang. *Internet of Things*), která odesílají data ze senzorů na své centrální servery. Většinou však koncová zařízení tvoří přístroje uživatelů, jako je mobilní telefon nebo chytrý telefon. Moderní vícesystémová koncová zařízení jsou kompatibilní s většinou standardů, které operátoři nabízejí. Mezi jednotlivými systémy se přepínají automaticky, aniž by si toho uživatel všiml nebo musel jakkoli zasahovat.

Koncové zařízení volajícího uživatele vysílá na předem stanovené frekvenci a připojuje se k nejbližší základnové stanici, která přijímá signál právě na této frekvenci. Základnové stanice jsou neviditelnější součástí komplexní sítě infrastruktury celulárních systémů – více informací naleznete v další části tohoto oddílu. Základnové stanice mají názvy, které se liší podle systému – pro GSM je to BTS (ang. *Base Transceiver Station*), pro UMTS – NodeB a pro LTE – eNodeB.

Prostřednictvím mnoha různých modulů a zařízení, které tvoří tzv. **rádiovou přístupovou síť** RAN (ang. *Radio Access Network*) a **páteřní síť**, se vytvoří spojení do konkrétní základnové stanice, v jejímž dosahu se nachází koncové zařízení volaného účastníka. Nyní tato základnová stanice vysílá signál na určené frekvenci a spojuje se s vybraným koncovým zařízením, které přijímá signál právě na této frekvenci. Následuje navázaní spojení. Spojení od volaného účastníka k volajícímu účastníku probíhá stejnou cestou, ale opačným směrem.

Součástí páteřní sítě jsou mimo jiné:

- ústředna pro komutovaná spojení/pakety – odpovídá za přenos spojení nebo datových paketů ve stanovené relaci;
- registr zařízení – seznam registrovaných telefonů na základě identifikačních čísel IMEI;
- registr vlastních účastníků – zde se uchovávají údaje, na jejichž základě se určují uživatelé systému (podle SIM karty);
- další prvky odpovídající za správné fungování systému, vytváření spojení, provoz zařízení a zajišťující spolupráci s ostatními systémy (rozhraní do jiných sítí).

### Identifikace uživatele v síti

Uživatel telefonu v síti je identifikován prostřednictvím SIM karty (ang. *Subscriber Identity Module*). Kompletní funkční koncové zařízení se skládá z fyzického přístroje a SIM karty, která je v něm vložena. Jedná se o malou mikroprocesorovou kartu, jejíž rozměry se spolu

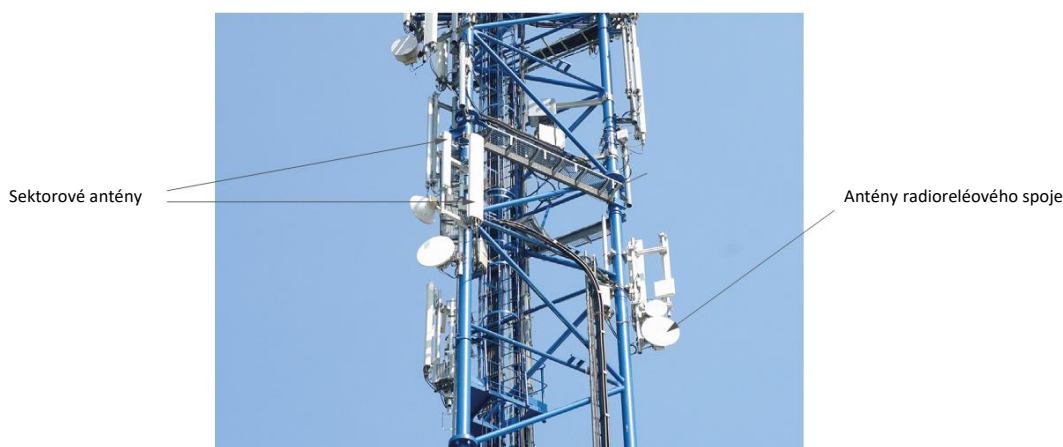
s technologickým vývojem stále zmenšují – z původní velikosti kreditní karty až na nanoSIM o rozměrech cca 12 mm x 8 mm. SIM karta použitá k identifikaci účastníka prostřednictvím sítě tedy hraje roli přístupového klíče. Kromě toho může uchovávat menší množství dat, např. kontakty nebo textové zprávy.

V současné době si uživatelé často pořizují nová koncová zařízení. Díky oddělení identifikační funkce prostřednictvím SIM si změna koncového zařízení nevynucuje změnu telefonního čísla – stačí vložit SIM kartu do nového přístroje. Samotný telefon bez SIM karty má omezenou funkčnost, pokud jde o využívání služeb mobilní telefonní sítě. V souladu se specifikací je s takovým zařízením možné volat na čísla tísňového volání – v Polsku je číslo 112 (volání na tísňové linky mají vyšší prioritu, takže jim je v případě nadměrného zatížení sítě přidělována radiová kapacita rychleji). SIM karta může být navíc zabezpečena PIN kódem (ang. *Personal Identification Number*). Tím je zajištěno, že se neoprávněný uživatel nemůže připojit k síti pomocí této karty.

### Základnová stanice

Základnová stanice celulárního telefonního systému je vybavena sadou antén instalovaných na stožárových nebo věžových nosných konstrukcích, které jsou ukotveny v zemi nebo na střeše budovy, příp. vestavěny do konstrukce kostelní věže apod. Antény, které se používají v řešeních mobilní telefonie, jsou obvykle umístěny na stožáru ve třech sadách. Každá sada je zodpovědná za pokrytí sektoru o úhlu cca 120 ° (právě proto se antény tohoto typu nazývají sektorové) v přesně definovaném směru označovaném jako azimut. Vzhledem k potřebě pokrytí signálem větší oblasti, zejména v menší vzdálenosti od povrchu země, se sektorové antény umísťují s mírným sklonem od vertikální osy směrem k zemi, tj. tam, kde se pohybují uživatelé.

Antény jsou připojeny k vysílacím a přijímacím zařízením pomocí anténních kabelů.



Obr. 4. Typy antén v základnové stanici mobilní sítě. Zdroj: vlastní, Ústav spojů, v.v.i.

Pole generované koncovým zařízením (tedy například mobilním telefonem daného uživatele) je často lokálně větší než pole generované základnovou stanicí.

Tradičně byla tato zařízení obvykle umísťována do kontejneru v patě objektu nebo do prostoru, který byl pro ně určen. Antény se pak propojovaly pomocí dlouhých, těžkých, silných a neohebných kabelů (tzv. „feederů“). V moderních řešeních se používají miniaturizovaná vysílací a přijímací zařízení instalovaná přímo na stožáru nebo věži v blízkosti antén. Díky tomu lze používat anténní kabely (tzv. „jumpery“), které jsou krátké, tenké, lehké a flexibilní. Následně je rádiový signál převeden do digitalizované podoby a předán dále do páteřní sítě, a to buď prostřednictvím optických vláken, nebo s využitím radioreléového spoje.

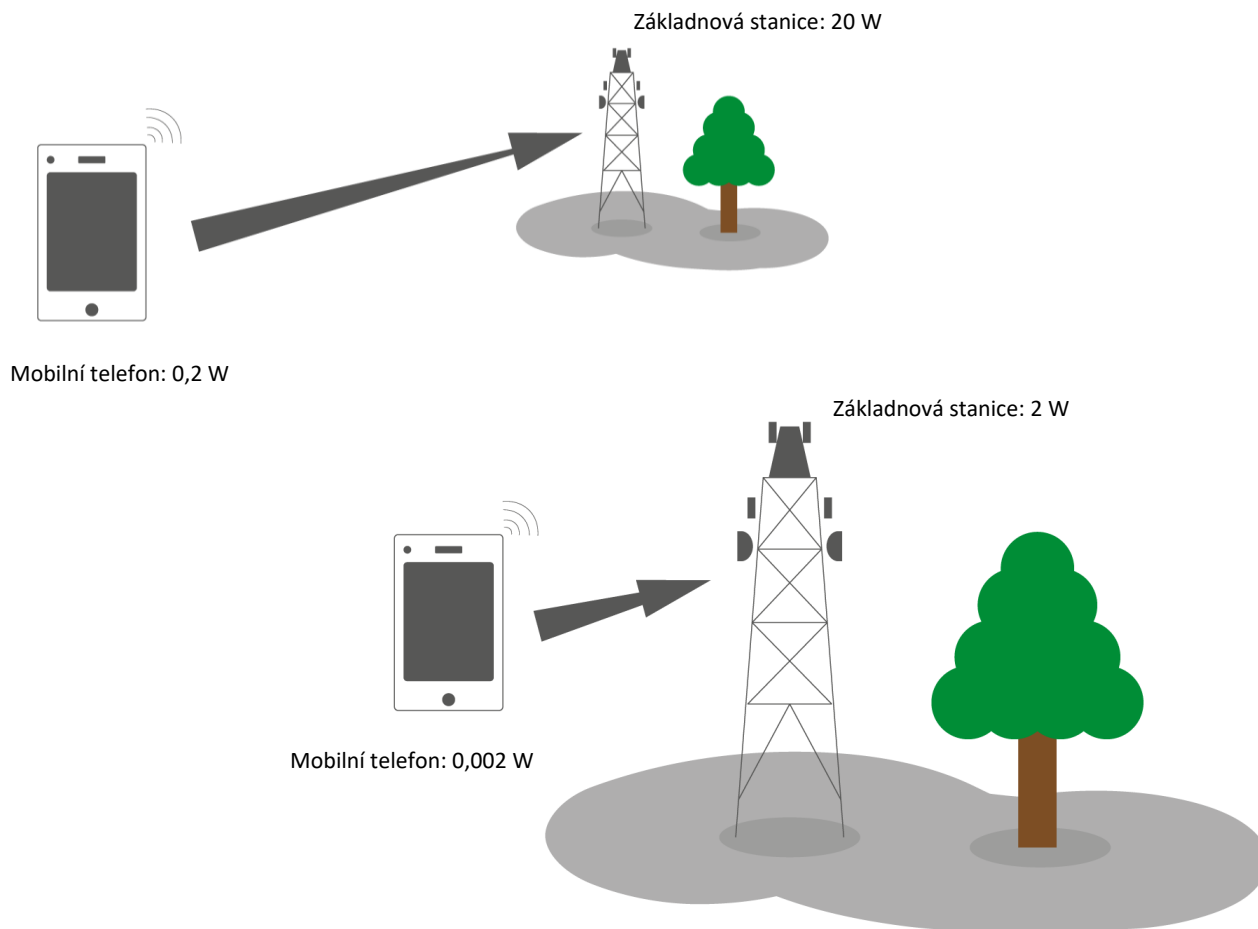
Antény radioreléového spoje, které se instalují v určité vzdálenosti od sektorových antén, pracují na mikrovlnných frekvencích (několik až několik desítek GHz) a vyzářují signál pouze v úzkém paprsku, který je přesně zacílen na jinou anténu radioreléového spoje. Antény radioreléového spoje nejsou určeny k navázání spojení s účastníky

v oblasti dané buňky, takže nejsou nakloněny směrem k zemi.

#### Řízení výkonu

Současné digitální systémy mobilní telefonie používají mechanismy řízení výkonu, jejichž primární funkcí je udržovat vyzářování rádiového signálu na takové minimální úrovni, která je dostatečná pro udržení služeb (např. spojení) na požadované úrovni kvality (ang. *Quality of Service*). Jinými slovy, koncové zařízení pracuje s nejnižším možným výkonem, který stále ještě zjišťuje požadovanou úroveň kvality.

Proces řízení výkonu v systému GSM (2G, viz také oddíl IV.1. na straně 106) probíhá tak, že se během spojení provádí měření kvality přenosu na základě chybovosti signálu, který základnová stanice přijímá z koncového zařízení. Výsledky tohoto měření se poté předávají řídicí jednotce základnové stanice, která dvakrát za sekundu dává příkaz ke změně nebo udržení úrovně signálu vysílaného koncovým zařízením. Díky tomu, když se koncové zařízení postupně přibližuje k základnové stanici, snižuje se výkon jeho vysílače. Z hlediska efektivity provozu je zde snaha snížit pravděpodobnost vzniku rušení v systému a omezit spotřebu energie z baterie.



Obr. 5. Vliv vzdálenosti od základnové stanice na vysílací výkon mobilního telefonu.

Autor: Paweł Woźniak

Například koncové zařízení, které se nachází na okraji velké buňky, např. v příměstské oblasti, vysílá na maximální výkon. Pokud se však přemístí do menší buňky v urbanizované oblasti, vzdálenost mezi koncovým zařízením a základnovou stanicí se zkrátí. Výkon koncového zařízení je tak možné snížit.

Dalším významným účinkem regulace výkonu je snížení expozice elektromagnetickému poli v blízkosti koncového zařízení. Zde je třeba podotknout, že pole vytvářené koncovým zařízením je často lokálně větší než pole generované základnovou stanicí. Uvědomme si, že radiový signál vyzářovaný jak základnovou stanicí, tak koncovým zařízením rychle zeslabuje se zvyšující se vzdáleností. Čím dál je tedy koncové zařízení od základnové stanice, tím je intenzita elektromagnetického pole přicházejícího ze základnové stanice skutečně nižší. Nicméně koncové zařízení musí pro zajištění služeb na požadované úrovni kvality QoS zároveň vysílat s vyšším výkonem a tedy lokálně, v bezprostřední

blízkosti uživatele, generovat elektromagnetické pole s vyšší intenzitou.

Novější generace vyžadují stále nižší výkony koncových zařízení. Pro 1G se byl tento výkon v rozmezí 6-15 W, pro 2G se vešel již do limitu 1-2 W. Typický vysílací výkon koncových zařízení v 3G a 4G sítích je pouze 0,25 W, respektive 0,20 W. Současně s tím se objevují čím dál tím vyspělejší mechanismy řízení výkonu – například v systému UMTS se řízení výkonu provádí 1500krát za sekundu a uplatňuje se nejen na koncové zařízení, ale i na základnovou stanicí. Důvodem je pokračování v základním přístupu, který spočívá v omezování výkonu signálů vyzářovaných základnovými stanicemi mobilní sítě a mobilními koncovými zařízeními, a to na takovou minimální úroveň, která je nezbytná pro poskytování služby s očekávanou úrovní kvality.

S vývojem technologie má zavádění pokročilých mechanismů řízení výkonu signálu stále větší význam.

### Rekapitulace

Systémy mobilní telefonie v současné době poskytují mnohem širší škálu služeb. Původně se jednalo pouze o přenos hlasového signálu pro účastníky, kteří se pohybovali po velké oblasti. Od standardu GSM je telefonní služba poskytována prostřednictvím přenosu dat, které obsahují digitální reprezentaci řečového signálu. Pojem

„mobilní telefonní síť“ je pevně zakořeněná v naší mysli. Když se podíváme na stožár s anténami, řekneme si, že je to základnová stanice mobilní telefonní sítě. Ve skutečnosti se však jedná o základnovou stanici mnoha mobilních komunikačních systémů, v nichž má telefonní služba čím dál tím menší podíl. Dynamicky roste objem datových služeb pro potřeby přístupu k internetu, televizního a rozhlasového vysílání a provozu stále se zvyšujícího počtu uživatelských aplikací.

# Mýtus:

## Více základnových stanic znamená větší intenzitu elektromagnetického pole

Základní princip celulárního systému spočívá v tom, že se rozdělí oblast s velkou plochou na více oblastí, označovaných jako buňky, jejichž plochy jsou mnohem menší. Ve středu každé buňky je základnová stanice, jejíž vysílací výkon je mnohem menší než výkon jediné stanice, která by musela pokrýt celou velkou oblast. Čím více základnových stanic, tím menší je oblast každé jednotlivé buňky, která vyžaduje pokrytí rádiovým signálem, takže menší je i výkon vyzařovaný každou jednotlivou základnovou stanicí. Kdyby tyto stanice vysílaly s příliš velkým výkonem, docházelo by k jejich vzájemnému rušení a systém by nemohl fungovat správně. Od počtu základnových stanic se odvíjí také výkon, s nímž pracují jednotlivá účastnická koncová zařízení (např. mobilní telefony). Při větším počtu základnových stanic jsou vzdálenosti k účastnickým koncovým zařízením kratší a tato zařízení pak mohou pracovat s nižším výkonem. Snížení vyzařovacího výkonu základnových stanic a účastnických koncových zařízení vede ke snížení intenzity elektromagnetického pole.



## *II. Biologie a medicina*





# Úvod

---

- Elektromagnetické vlny jsou pohlcovány hmotou různými způsoby. Stejné množství energie může vyvolat různé účinky. Například po ozáření dostatečně velkou dávkou rentgenového záření v krátkém čase může nastat smrt, zatímco stejná zátěž, dávkovaná v delším časovém úseku formou infračerveného záření může být zcela neškodná.
- Neionizující záření způsobuje hlavně tzv. tepelný účinek, tedy jednoduše zahřívání těla, nejvíce pak kůže a povrchových vrstev. Lidské tělo řídí tělesnou teplotu a reaguje na její lokální zvýšení, např. zvýšením průtoku krve, což má za následek rychlejší odvádění tepla ze zahřáté tkáně.
  - Zdravotní účinky elektromagnetických vln jsou intenzivně studovány po mnoho desetiletí. Kromě probíhajících studií na zvířatech se shromažďují a analyzují i údaje o lidských populacích.
  - Navzdory velkému počtu vysoce kvalitních studií rizika vzniku nádorových onemocnění, zejména mozku, hlavy a krční oblasti v důsledku zvýšené expozice elektromagnetické pole, nebyl nalezen žádný důkaz o zvýšení tohoto rizika.
  - Elektromagnetická hypersenzitivita může být psychologickým jevem. Potvrzují to studie, které poukazují na to, že intenzita symptomů souvisí spíše se subjektivně vnímanou intenzitou elektromagnetického pole než s jeho skutečnou intenzitou.

## II.1

# Interakce elektromagnetických polí v oblasti rádiových kmitočetů s biologickými systémy

EUGENIUSZ ROKITA, GRZEGORZ TATOŃ

V prostředí, které nás obklopuje, vznikají elektromagnetické vlny (EM), jakožto poruchy elektromagnetického pole (EMP), které se šíří prostorem a vznikají přirozeným způsobem nebo pomocí zdrojů, které jsou speciálně pro tento účel navrženy. Zdroje (emitory) EM vln se vyznačují obrovskou škálou velikostí (jádro atomu má průměr přibližně  $10^{-15}$  m, velikost rádiových vysílačů se oproti tomu měří v metrech). Z toho pak vyplývá, že v přírodě existují EM vlny s velmi malými, ale i velmi velkými vlnovými délkami. Elektromagnetické vlny všech možných vlnových délek jsou souhrnně označovány jako EM vlnové spektrum. Obsahuje mnoho rozsahů se samostatnými názvy které se obvykle pojí se způsobem generování nebo detekce vlnění v daném rozsahu. Zde je potřeba zdůraznit, že i povrch lidského těla vyzařuje elektromagnetické vlny, jejichž maximální intenzita připadá na vlnovou délku asi 10  $\mu$ m.

Šíření elektromagnetických vln je doprovázeno přenosem energie, což si lze lépe představit, pokud si tyto vlny vybavíme jako proud částic – fotonů. Každý foton má určitou energii a celková energie EM vlny se rovná součtu energií jednotlivých fotonů. Tok fotonů je také někdy označován jako elektromagnetické záření. Základní jednotkou, která se používá pro popis energie fotonů, je eV – elektronvolt. Přepočteme-li ji na standardní jednotku energie používanou ve fyzice, tj. joule,  $1 \text{ eV} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ , zjistíme, že se jedná o velmi

malou jednotku, která se hodí k vyjádření energií, s nimiž se v mikrosvětě setkáváme.

Pro rychlou orientaci: fotony viditelného světla vyzařované např. sluncem nebo žárovkou mají energii v rozmezí 1,5–3,0 eV, zatímco fotony vyzařované povrchem lidského těla se pohybují kolem hodnoty 0,12 eV (jak je patrné, chladnější zdroj vyzařuje fotony s nižší energií). Energetické hladiny fotonů, které se používají v radiologii, jsou 20–160 keV. V této publikaci se zbýváme hlavně rádiovými vlnami a mikrovlnami, ve frekvenčním rozsahu 0,5–5,0 GHz, což odpovídá energii fotonů  $2 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-5}$ , která je asi milionkrát menší než energie neustále vyzařovaná lidskou kůží.

## Interakce elektromagnetického pole s látkou

Při popisu působení EMP na libovolný biologický systém nejprve musíme na základě Maxwellových rovnic (viz oddíl I.1. na straně 8) provést výpočet rozložení elektromagnetického pole uvnitř objektu. Protože zde řešíme elektromagnetickou interakci, musíme znát parametry určující jak elektrické vlastnosti (měrná elektrická vodivost, relativní permitivita), tak magnetické vlastnosti (magnetická permeabilita) daného objektu. Pak musíme rozlišit a kvantifikovat všechny fyzické účinky, které hrají významnou roli v procesu přenosu energie.

U většiny biologických systémů se magnetická permeabilita příliš neliší od magnetické permeability vakua, což znamená, že interakce s magnetickou složkou EM vlny je velmi slabá a navíc nezávisí na frekvenci použitého vnějšího pole. Díky tomu můžeme například umístit pacienta do velmi silného pole supravodivého magnetu a provést vyšetření magnetickou rezonancí. Dále je vhodné zdůraznit, že ve frekvenčním rozsahu 0,5-5 GHz nejsou biologické látky ani velmi dobrými elektrickými vodiči ani velmi dobrými izolátory.

V případě lidského organismu již ve fázi stanovení rozložení EMP a výpočtu přenosu energie vyvstávají problémy s přesným určením geometrie a chemického složení – lidské tělo není homogenní kovová destička, v níž lze rozložení pole stanovit pomocí jednoho vzorce. A co víc, tělo neustále reaguje na procesy, které v něm probíhají, například tím, že průběžně odvádí tepelnou energii, která je do něj přivedena. Z lékařského hlediska není fyzický popis elektromagnetického pole sám o sobě až tak důležitý. Zásadní je především to, jaké jsou biologické účinky elektromagnetického pole, včetně generování patologických stavů.

Problém při hodnocení biologických účinků spočívá v tom, že vznik biologického účinku někdy nelze jednoduše propojit s množstvím energie přenesené do systému. Vyjděme z předpokladu, že sluneční záření dodává na povrch těla opalujícího se člověka energii 300 J. Dodání podobného množství energie formou rentgenového záření s fotonovou energií 60 keV by nejspíše způsobilo tomuto člověku smrt. Pro srovnání, energetická hodnota malé lžičky cukru (5 g) je asi 80 kJ. Tento diametrální rozdíl v biologických účincích při stejné hodnotě dodávané energie souvisí s odlišnými mechanismy působení elektromagnetického záření s různou vlnovou délkou na organismus. Sluneční záření je téměř celé zadrženo kůží a vyvolává především tepelný účinek: jednoduše řečeno, zahřívá kůži. Rentgenové záření (tedy záření používané v radiologii) proniká hlouběji do těla a navíc je energie každého jednotlivého fotonu natolik velká, že je schopna způsobit nevratné změny ve struktuře chemických molekul, včetně DNA, což ve svém důsledku vede ke smrti organismu.

Ke kvantitativnímu popisu energie absorbované organismem se používá tzv. měrný absorbovaný výkon (SAR). Matematicky má tento parametr poměrně jednoduchou podobu:  $SAR = c_w \Delta T / \Delta t$ .

V tomto vzorci  $\Delta T$  označuje nárůst teploty a  $\Delta t$  je doba, během níž se  $\Delta T$  stanovuje. Koeficient  $c_w$  je pak měrná tepelná kapacita tkáně [J / (kg · K)], tedy neformálně řečeno, kolik tepla se „vejde“ do jednotky hmotnosti daného materiálu.

Stanovení SAR je mnohem složitější v případě lidského organismu než v případě hmotného předmětu. Komplexní biologické systémy totiž mají schopnost termoregulace. V důsledku toho se při výpočtu SAR pro organismus musí zohlednit mnohem větší počet parametrů (perfuze krve, metabolismus) než v případě hmotných předmětů<sup>3</sup>.

Samostatným problémem je pak určení maximálního množství energie, kterou lze dodat do biologického systému, tak aby nebylo narušeno jeho správné fungování. Pro lidský organismus to znamená stanovit určité limity (normy), jejichž překročení může být pro zdraví nebezpečné. V případě elektromagnetického záření lze tento problém vyřešit dvěma způsoby: nepřímým a přímým. Nepřímý způsob spočívá v určení maximální hustoty výkonu záření, které působí na systém. Přímý způsob se zakládá na stanovení množství energie absorbované systémem. Koeficient SAR odpovídá výkonu absorbované dávky (absorbovaná dávka za určitou časovou jednotku), která se používá v dozimetrii ionizujícího záření.

### Vliv elektromagnetického pole na lidský organismus

V první řadě je třeba připomenout, že lidský organismus je zdrojem EMP a vytváří energii prostřednictvím biochemických přeměn s využitím látek obsažených v jídle a pití.

<sup>3</sup> S. Kodera, J. Gomez-Tames, A. Hirata. „Temperature elevation in the human brain and skin with thermoregulation during exposure to RF energy“. *Biomed Eng Online. BioMed Central*; 2018; 17: 1–17.

## Vnitřní (endogenní) elektrická pole v organismu mají intenzitu řádu 10-100 V/m.

Vnitřní (endogenní) elektrická pole v organismu mají intenzitu řádu 10–100 V/m (popis této a dalších jednotek je uveden v oddíle I.3. na straně 22). V některých místech organismu (buněčné membrány) lze pozorovat elektrická pole mnohem větší intenzity. Lidské srdce vytváří elektrické potenciály, jejichž měření se provádí na povrchu kůže jako běžně používaná diagnostická metoda (elektrokardiografie – EKG). Měření proměnných proudů v mozkových nervových buňkách tvoří základ elektroencefalografie (EEG).

Množství energie potřebné k udržení základních fyziologických funkcí v lidském těle je označováno jako základní látková výměna (bazální metabolismus – BMR). K odhadu bazálního metabolismu se používají empirické rovnice Harrise a Benedicta. Pro 25letého muže s tělesnou hmotností 70 kg a výškou 180 cm je BMR 1760 kcal/d, což odpovídá průměrnému výkonu 85 W (velká žárovka). V lidském těle produkce energie kolísá po celý den, stejně tak kolísá i teplota. Typické denní teplotní výkyvy u zdravého člověka mají amplitudu cca 1° C. Teplota je obvykle nejnižší v časných ranních hodinách a nejvyšší v odpoledních hodinách kolem 17:00.

Dalším jevem, s nímž je třeba při rozebírání vlivu EMP na lidské tělo počítat, je stínící kapacita různých biologických struktur. Z fyzikálního hlediska se pak elektromagnetické záření, které dopadá na povrch kůže, dostává na hranici dvou prostředí, která se liší svými elektrickými vlastnostmi (vodivost, relativní permitivita). Podobná situace nastává na každé hranici dvou tkáňových struktur. Dochází zde k různým jevům, které se vyskytují na všech hranicích tohoto typu – jejich popis je uveden v oddíle I.3. na straně 22.

Podrobné výpočty vztahu EMP mimo a uvnitř jakéhokoli biologického systému jsou uvedeny v učebnicích pro vysokoškolské studium biofyziky<sup>4</sup>. Je možné například odhadnout, že elektrické pole uvnitř buňky je asi o pět řádů ( $10^5$ ) slabší než mimo

ni. Předpoklad, že takto slabé externí elektromagnetické pole může mít vliv na průběh procesů uvnitř buňky, se jeví jako iracionální. Naproti tomu elektromagnetické pole uvnitř buněčné membrány podléhá zesílení.

Dále je třeba upozornit na skutečnost, že parametry charakterizující každý biologický systém (teplota, koncentrace látek, intenzita endogenních elektrických polí) nejsou časově konstantní. Odchytky od průměrných hodnot (šum) jsou fyziologickým jevem a nenarušují fungování organismu – chvilkové zvýšení intenzity elektromagnetického pole proto musí být vždy hned škodlivé. Pro dosažení biologických účinků musí tedy vlivem působení EMP dojít k takové změně parametrů, která je větší než tyto fyziologické výkyvy.

Poslední důležitá otázka k působení EMP na lidské tělo souvisí s tím, že lidský organismus je vybaven různými mechanismy pro vnímání velmi slabých signálů z prostředí. Jako příklad můžeme uvést zrak. Člověk zaregistruje záblesk světla, když se k jeho vnějšímu povrchu oka (rohovky) dostane cca 100 fotonů EM záření v rozsahu viditelného světla. Uvažujeme-li, že energie jednoho fotonu je 2,5 eV, můžeme vypočítat, že celková energie záblesku je  $4,0 \cdot 10^{-17}$  J. Jedná se o nepředstavitelně nízkou energii, kterou nelze srovnávat s žádnou energií, s níž se setkáváme v makrosvětě. Přesto je vnímání takto slabých signálů možné, protože sítnice lidského oka obsahuje chemické sloučeniny, které velmi citlivě a selektivně reagují právě na viditelné světlo. Lidské tělo má kromě zrakového orgánu, který reaguje na viditelné světlo, také termoreceptory (umožňující vnímat chlad a teplo), které reagují na infračervené záření dopadající kůži. Kromě těchto dvou smyslových receptorů člověk nemá žádné další receptory, které by byly schopné detekovat přítomnost EM záření.

<sup>4</sup> R.K. Hobie, B.J. Roth. „Intermediate Physics for Medicine and Biology“. Springer, New York, 2007.

# Mýtus:

## **Mikrovlny, které se používají pro radiokomunikaci, fungují jako mikrovlnná trouba**

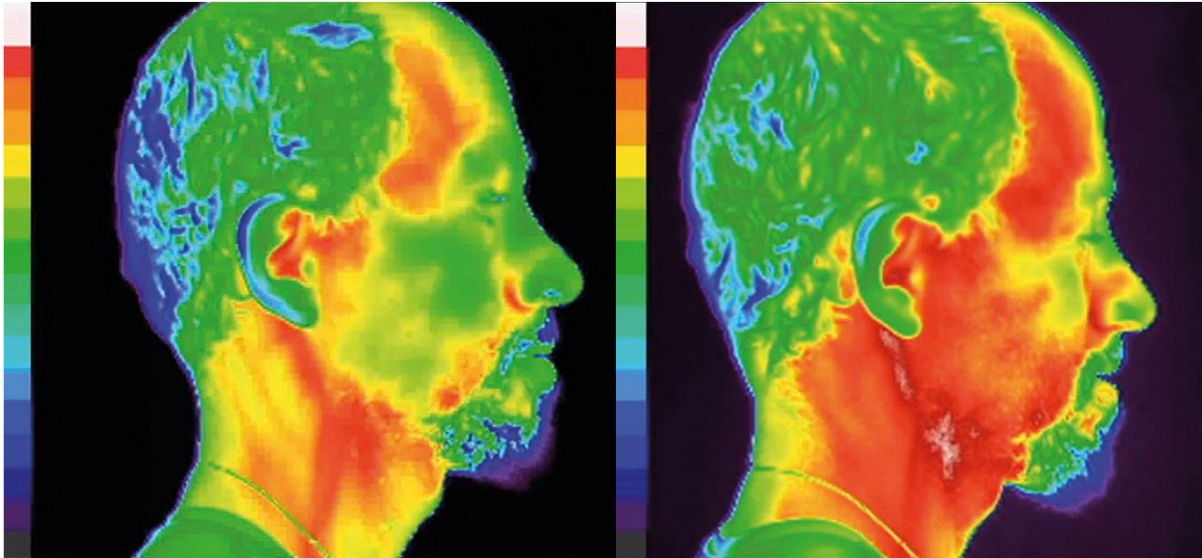
V mikrovlnné troubě dochází k ohřevu vlivem působení mikrovln, které excitují vibrace molekul vody, které jsou obsaženy v ohřivaném produktu. Energie excitovaných molekul vody se pak přenáší na další molekuly a tím se zvyšuje teplota celého objektu. Aby nastala excitace molekul vody, musí být správně zvolena mikrovlnná frekvence – nejčastěji se používá hodnota 2,45 GHz. Kromě vhodně zvolené frekvence musí mít elektromagnetické vlnění také dostatečně vysoký výkon (přesahující i 1000 W), tak aby mohlo látku účinně ohřát poté, co do ní pronikne. Frekvence 2,45 GHz, která spadá do pásma 2,4–2,4835 GHz, určeného pro průmyslové, vědecké a lékařské účely, se v základnových stanicích mobilních sítí nepoužívá. K zařízením, které pracují v tomto frekvenčním pásmu, patří například zařízení s rozhraním WiFi nebo Bluetooth, ale výkon jejich vysílačů je ve srovnání s výkonem mikrovlnné trouby mikroskopicky malý. Například typický výkon zařízení s rozhraním Bluetooth je asi 0,001 W – což je milionkrát méně než výkon typické mikrovlnné trouby. Tato zařízení jsou proto zcela bezpečná a ani jejich každodenním používáním nedochází k zahřívání tkáně, které by bylo nebezpečné pro zdraví.

### **Absorpce elektromagnetické energie v lidském těle**

Interakci EM záření s jakýmkoli objektem lze nejjednodušeji popsat pomocí principu absorpce. Absorpční vlastnosti prostředí jsou někdy charakterizovány tzv. penetrační hloubkou  $\delta$  (delta). Tento faktor je definován tak, že prostředí o tloušťce rovnající se  $\delta$  snižuje hustotu výkonu EM záření na 13,5% své původní hodnoty. Například hloubka penetrace záření s frekvencí 2,45 GHz (mikrovlnná trouba) do svalové tkáně je 1,67 cm. To

znamená, že v hloubce 1,67 cm pod povrchem tkáně zůstává pouze 13,5% (tedy přibližně 1/7) původního výkonu elektromagnetického pole a pouze zbytek proniká hlouběji do těla. Většina energie (86,5%, tedy cca. 6/7) byla absorbována svaalem.

Zde je třeba poznamenat, že rychlost tvorby tepla v tkání je nepřímo úměrná druhé mocnině penetrační hloubky.



Obr. 1. Tepelný účinek, tj. ohřev tkáně, je nejlépe prozkoumaným účinkem používání mobilního telefonu. Dva výše uvedené snímky byly pořízeny termokamerou, která zachycuje infračervené záření odrážející teplotu tkáně: barvy v horní části stupnice odpovídají vyšším teplotám. Snímek napravo ukazuje účinky 15minutového telefonního rozhovoru, během něhož byl telefon přímo u těla. Obdobný účinek by vyvolal jakýkoli teplý předmět přidržený na tomto místě. Zahřívání tkání je dočasné a nezpůsobuje žádné dlouhodobé škodlivé zdravotní následky. Tělesná teplota se rychle vrací k normálu.

Tkáň s nízkou penetrační hloubkou se tak vzhledem k vysokému obsahu vody (např. svalová tkáň) bude vlivem expozice EMP zahřívát rychleji než tkáň, u níž je penetrační hloubka kvůli nízkému obsahu vody vysoká (např. pro tukovou tkáň je faktor  $\delta$  8,1 cm při frekvenci 2,45 GHz). Z toho vyplývá, že rychlost zahřívání svalové tkáně je asi 25krát vyšší než tukové tkáně.

V současné době se ke kvantifikaci dopadu EM záření na jakýkoli objekt používá mnohem pokročilejší přístup. Nejprve se vypočte rozložení EMP uvnitř objektu a potom rozložení koeficientu SAR. Nakonec se provede výpočet rozložení teploty, přičemž SAR se považuje za dodatečný zdroj energie. Pro lidský organizmus je nutné při výpočtu rozložení teploty zohlednit mechanismy tepelných ztrát a tepelného přenosu. K provádění výpočtů se používají komerčně dostupné počítačové programy.

### Tepelné účinky

Biologické účinky EMP související přímo nebo nepřímo se zvyšováním teploty se nazývají tepelné účinky. V situaci, kdy případné biologické účinky nelze propojit se zahříváním tkáně, mluvíme o netepelných účincích.

Lze odhadovat, že kdyby lidský organizmus neodváděl teplo, zvyšovala by se tělesná teplota rychlostí přibližně  $1,2^{\circ}\text{C}/\text{h}$ . Takže už asi po 4 hodinách by nastalo smrtelné nebezpečí z přehřátí. Ve skutečnosti však organizmus při zvýšení tělesné teploty aktivuje mechanismy odvádění tepla. Při úvahách nad zahříváním lidského těla vlivem působení elektromagnetického pole je třeba mít na paměti fyziologická fakta.

V lidském těle existují mechanismy přenosu tepla, které kompenzují místní zvýšení teploty. Je třeba poznamenat, že EMP vytváří v tkáni nerovnoměrné rozložení teploty. K absorpčním účinkům dochází nejintenzivněji v povrchových vrstvách. Konečná teplota tkáně je výslednou funkcí množství energie uložené elektromagnetickým polem, intenzity toku krve a tepelné vodivosti tkání.

## Přestože teoreticky může nárůst teploty vyvolávat v lidském těle mnoho nepřímých účinků, v praxi pro to neexistuje žádný důkaz.

Je třeba zdůraznit, že hypertermický účinek vyvolaný ozářením organismu elektromagnetickým polem je jediným účinkem, který lze kvantifikovat na základě fyzikálních úvah.

Přestože teoreticky může nárůst teploty vyvolávat v lidském těle mnoho nepřímých účinků, v praxi pro to neexistuje žádný důkaz. Ve vědecké literatuře se můžeme setkat s tezemi, že vyšší teplota může změnit rychlost biochemických reakcí. Nárůst teploty může být také spojen se změnou syntézy proteinu a vazbou proteinu na buněčnou membránu. Je dobře doloženo, že každá buňka reaguje na zvýšenou teplotu produkcí tzv. proteinů tepelného šoku (HSP – *heat shock protein*). Zvýšení teploty způsobuje také změny hodnot mnoha parametrů důležitých pro homeostázi celého biologického systému. K příkladům parametrů ovlivňovaných teplotou patří viskozita tělních tekutin, rozpustnost plynů v tělních tekutinách, měrné teplo tkání, difúzní koeficienty či elektrická vodivost tkání. Tyto změny jsou pozorovány i při zvýšení tělesné teploty při fyzické námaze.

Vlivu těchto faktorů na fungování lidského organismu je znám nejen na základě teoretických analýz, ale i laboratorních experimentů. Ani přes obrovské množství výzkumných prací na toto téma není snadné prokázat, že by zvýšení teploty způsobené expozicí elektromagnetickému poli při intenzitě typické pro telekomunikační aplikace vyvolávalo nějaké významné účinky na lidský organismus. Nejpravděpodobněji dochází k tomu, že malé (maximálně o 2–3°C) lokální zvýšení teploty vlivem expozice EMP je v organismu kompenzováno termoregulačními mechanismy. Jedná se o hodnoty, které jsou jen nepatrně větší než fyziologické výkyvy tělesné teploty: při koupání se každý den setkáváme s mnohem většími změnami tělesné teploty.

## Netepelné účinky

Čistě hypoteticky může elektromagnetické pole vyvolat celou řadu účinků, a to i při nepatrném zvýšení teploty. Aby bylo možné daný účinek jednoznačně určit jako tepelný nebo netepelný, musí být stanovena prahová hodnota nárůstu teploty  $\Delta T$ , pod kterou bude účinek klasifikován jako netepelný. Obvykle se používá hodnota  $\Delta T = 1^\circ \text{C}$ .

Je třeba silně zdůraznit, že kmitočtový rozsah elektromagnetického záření, o kterém se hovoří v této knize, se vyznačuje příliš nízkou fotonovou energií na to, aby mohlo dojít k vyvolání ionizace nebo destrukce chemických vazeb. Jak již bylo řečeno, energie fotonů záření používaného pro telekomunikace je řádově  $10^{-6}$  eV, což je jedna miliontina elektronvltu. Pro srovnání: typická chemická vazba má energii řádu několika eV. Například, abychom dokázali rozbit vazbu O-H, která je přítomna třeba v molekule vody, museli bychom dodat přibližně 5,15 eV. Dokonce i energie mnohem slabších vazeb, tzv. van der Waalsových sil, které pomáhají udržovat tvar velkých molekul v živých buňkách (biomolekul), jako jsou například proteiny, mají hodnoty mezi 0,08 a 0,4 eV.

Chemické molekuly je možné excitovat i jemnějším způsobem, aniž by bylo nutné ničit jejich vazby. Stačí jim navodit vibrace nebo rotační pohyb. V případě elektromagnetických polí v oblasti rádiových kmitočtů je to však málo pravděpodobné. K excitaci rotačních stavů diatomické molekuly je nutné použít EM záření s frekvencí vyšší než 30 GHz. Pro vyvolání vibrace diatomické molekuly by bylo zapotřebí energie 0,04 eV (IR rozsah). Typické frekvence vibrací v systému s vodíkovými vazbami jsou řádově 300 GHz, což je o dva řády větší než uvažovaný rozsah EMP. Uvedená čísla jednoznačně dokazují, že elektromagnetické pole ve výše uvedeném kmitočtovém rozsahu nemůže kvůli příliš nízké fotonové energii vyvolat změny ve struktuře ani způsobit excitaci biomolekul.

Pokud tedy existuje netepelný vliv EMP na biologické systémy, může spočívat pouze v existenci komplexních účinků.



# Mýtus:

## Záření související s mobilními sítěmi je stejně nebezpečné jako radioaktivní záření

Hlavní rozdíl mezi elektromagnetickým zářením, které se používá v celulárních systémech mobilních sítí, a zářením, které vyzařují radionuklidy nebo generuje rentgenová trubice, spočívá v energii fotonů. V prvním případě se pohybuje v rozmezí  $2 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-5}$  eV, ve druhém je miliardkrát větší (rentgenová trubice: 20-160 keV, izotop kobaltu využívaný v radioterapii  $^{60}\text{Co}$ : 1,17 MeV a 1,33 MeV). Z toho vyplývá, že záření telefonu je velmi silně absorbováno povrchovými vrstvami lidského těla, zatímco záření související s radioaktivitou proniká do těla bez jakýchkoli překážek. Poté co záření telefonu pronikne do lidského těla, může vyvolat jediné tepelné účinky (nepatrný ohřev tkání), protože energie fotonů je příliš nízká na to, aby excitovala nebo zničila biomolekuly. Radioaktivní záření (ionizující záření) má dostatečně vysokou fotonovou energii ke zničení biomolekulární struktury (např. rozpojení obou vláken DNA), což vyvolává mnoho negativních účinků v organismu.

Jejich popis vychází z teoretických úvah nebo laboratorních experimentů. Seznam možných komplexních účinků se vykrystalizoval asi před deseti lety<sup>5</sup>. Od té doby však stále ještě neexistují všeobecně uznávané důkazy o jejich existenci, ačkoli je hledání netepelných účinků vznikajících při působení elektromagnetického pole na lidský organismus předmětem výzkumu mnoha laboratoří. V současné době se výzkum zaměřuje na dva typy problémů. První se týká potenciálních lékařských

účinků, tj. makro účinků, které jsou zjistitelné různými diagnostickými metodami. Tyto studie se týkají vybraných orgánů nebo určitých aspektů fungování celého biologického systému. Výsledky jsou nejednoznačné a to se automaticky odráží i v odlišné interpretaci výsledků.

<sup>5</sup> A.R. Sheppard, M.L. Swicord, Q. Balzano. „Quantitative evaluations of mechanisms of radiofrequency interactions with biological molecules and processes”. *Health Phys.* 2008; 95: 365–96.

Pro některé autory jsou výsledky důkazem škodlivosti účinků elektromagnetického pole na lidský organismus, kdežto pro jiné jsou závěry o škodlivosti EMP dezinterpretací a tato problematika si vyžaduje dalšího bádání<sup>6</sup>. Druhým typem výzkumu jsou pokusy na zvířatech, jejichž výsledky jsou extrapolovány na lidský organismus. Tento přístup má svá zjevná omezení, zejména při použití malých laboratorních zvířat.

### Rekapitulace

K popisu působení elektromagnetického pole s kmitočty 0,5-5 GHz na lidské tělo doposud nebyla zpracovaná žádná všeobecně uznávaná teorie. Výsledky experimentů jsou interpretovány na základě různých biofyzikálních modelů. Je třeba zdůraznit, že tento kmitočtový rozsah EMP se dnes široce používá v různých oblastech vědy a techniky (telekomunikace, radiolokace, satelitní navigace, medicína, radioastronomie, mikrovlnný ohřev). Účinky vyvolané v lidském organismu jsou korelovány s hustotou výkonu elektromagnetického pole. Obecně známé jsou účinky spojené s používáním vysokovýkonného EMP, k nimž dochází v mikrovlnné troubě. Lokální vysoké hustoty výkonu EMP se používají v lékařství například k ničení nádorových buněk (technologie *NanoKnife*).

Je známo, že EMP vyvolává v lidském těle tepelné účinky. Jsou-li v daném prostředí přítomny toky výkonu EMP, generují v organismu vznik dodatečných zdrojů energie, které způsobují nárůst teploty.

Energie předávaná elektromagnetickým polem představuje malé procento energie, která je generována uvnitř organismu vlivem bazální látkové výměny, a jen stěží ji lze považovat za příčinu patologie. Lidské tělo je vybaveno termoregulačními mechanismy, s nimiž se setkáváme každý den a které kompenzují mnohem větší změny teploty.

Dalším, dosud nevyřešeným problémem jsou netepelné účinky vyvolávané EMP v lidském organismu, a to jak z krátkodobého, tak dlouhodobého hlediska. Interakce prostřednictvím elementárních fyzikálních procesů je spíše vyloučena – jednotlivé fotony rádiového záření nemají tolik energie, aby mohly například rozbít chemickou vazbu. Nanejvýš lze uvažovat o tom, že by mohlo docházet k jemnějším komplexním účinkům. Rozsáhlá literatura věnovaná této problematice však neposkytuje jednoznačnou odpověď na to, zda k tomuto typu účinku v lidském těle vůbec dochází.

Každý fyzikálně-chemický faktor, který působí na organismus, může podle výše aplikovaných dávek (koncentrace, intenzity, toku) vyvolat jak negativní, tak pozitivní účinky na organismus (hormetický efekt). Jako příklad lze uvést sluneční záření. Příliš vysoká intenzita vyvolává patologické kožní změny. Nicméně člověk nemůže existovat v prostředí, které je tohoto záření zbaveno. Lze definovat určitý rozsah intenzity slunečního záření, který je optimální pro fungování lidského těla. Hormetický efekt pravděpodobně nastává i u dalších rozsahů EMP.

Účelem norem platných v jednotlivých zemích, a samozřejmě i v Polsku, je přesně definovat bezpečný rozsah, a to i v rámci elektromagnetického pole používaného pro telekomunikace (viz oddíly v kapitole III., od strany 71).

<sup>6</sup> Srov. M.L. Pall. „Wi-Fi is an important threat to human health”. *Environ Res.* 2018; 164: 405–16. T. Saliev, D. Begimbetova, A.R. Masoud, B. Matkarimov. „Biological effects of non-ionizing electromagnetic fields: Two sides of a coin”. *Prog Biophys Mol Biol.* 2019; 141: 25–36.

## II.2

## *Působení mikrovlnného a rádiového záření na lidi*

---

GRZEGORZ TATOŃ, EUGENIUSZ ROKITA

### Úvod

Výzkum vlivu elektromagnetického záření (EMZ) na zdraví je nesmírně obtížný. Hlavním důvodem je skutečnost, že z etických důvodů není možné vystavit lidi vlivům testovaných faktorů za kontrolovaných podmínek v plném rozsahu výkonu a v odpovídajícím časovém měřítku. Ačkoli si lze představit experimenty s vysokou intenzitou pole, které vedou k téměř okamžitému vzniku tepelných účinků u lidí, kteří se těchto experimentů účastní, studie netepelných účinků za kontrolovaných podmínek prakticky není možné provádět (rozdíl mezi tepelnými a netepelnými účinky je popsán v oddíle II.1. na straně 50). Očekávané zdravotní účinky netepelných interakcí jsou subtilní a pokud k nim skutečně dojde, projeví se ve velmi dlouhém časovém horizontu. Udržování skupin testovaných lidí po dobu několika nebo několika desítek let za kontrolovaných podmínek je nemožné.

V této situaci mohou být závěry o pozitivním nebo negativním dopadu pole založeny pouze na pokusech na zvířatech, na tzv. buněčných kulturách (izolovaných buňkách) nebo populačních studiích. Každé z těchto řešení podléhá omezením a má značné nevýhody. V případě pokusů na zvířatech není zřejmé, zda jsou výsledky přenositelné přímo na lidi kvůli přílišné odlišnosti různých organizmů.

Závěry ze studií s použitím buněčných kultur také mohou vzbuzovat pochybnosti, a to z toho důvodu, že buňky se v podmínkách kultury chovají jinak než v organismu. Například nejsou u nich aktivovány složité obranné mechanismy. Naproti tomu jsou výsledky populačních studií zatíženy chybami souvisejícími se skutečností, že u sledované skupiny osob nelze spolehlivě kontrolovat expozici EMZ a navíc nelze vyloučit ani vliv tisíců jiných environmentálních faktorů.

Z těchto a dalších důvodů jsou pak výsledky vědeckých studií účinků EMZ na zdraví v mnoha případech protichůdné. V současné době není možné jednoznačně potvrdit negativní nebo pozitivní dopad EMZ na člověka. Ve vědecké komunitě panují velmi rozdílné názory, pokud jde o závěry plynoucí z výsledků výzkumu prováděného v této oblasti<sup>7</sup>.

Hlavním zdrojem EMZ, který může mít negativní vliv na zdraví pro velkou část společnosti, jsou emise související s bezdrátovými telekomunikacemi. Při telefonování prostřednictvím bezdrátového nebo mobilního telefonu je nejvíce exponovaným místem oblast hlavy.

---

<sup>7</sup> S.A.R. Mortazavi, A. Tavakkoli-Golpayegani, M. Haghani, S.M.J. Mortazavi. „Looking at the other side of the coin: the search for possible biopositive cognitive effects of the exposure to 900 MHz GSM mobile phone radiofrequency radiation”. *J. Environ. Heal. Sci. Eng.* 2014; 12: 75.

Mnoho vědců studuje možný škodlivý vliv EMZ na centrální nervový systém. Obzvláště zranitelný se zdá být mozek, sluchový a zrakový nerv, stejně jako štítná žláza, slinné žlázy a oči.

Výzkum probíhá také v oblasti vlivu EMZ na jiné systémy, tkáně a procesy v našem těle, z nichž můžeme vyjmenovat např. oběhový, hematopoetický, imunitní a reprodukční systém. Zkoumá se vliv EMZ na cirkadiánní rytmus, hojivé procesy a na hormonální a genovou rovnováhu. Odborná literatura zabývající se touto problematikou je velmi rozsáhlá a různorodá. V krátké studii nelze postihnout všechny uváděné interakce elektromagnetického pole. Z tohoto důvodu budou stručně popsány jen ty otázky, které se zdají být nejčastěji kladeny, a to: nádorová onemocnění, elektromagnetická hypersenzitivita, poškození funkce nervové soustavy a nebezpečnost pro rozmnožovací soustavu.

Než se budeme věnovat možným negativním vlivům mikrovln a rádiových vln na zdraví, je třeba upozornit na skutečnost, že se elektromagnetické pole na různých frekvencích používá pro diagnostické a léčebné účely. Používané metody jsou obecně považovány za zcela bezpečné pro pacienta. Nejběžnějším známým příkladem je tomografie magnetickou rezonancí. Toto zobrazovací vyšetření je proveditelné právě díky použití elektromagnetického vlnění s rádiovou frekvencí. Neustále jsou testovány a implementovány nové diagnostické a léčebné metody založené na používání EMZ. Příkladem diagnostických aplikací je mikrovlnné zobrazování nádorů prsu, zatímco příkladem léčebných aplikací může být podpora léčebných procesů při kostních onemocněních.

### Nádorová onemocnění

Přestože byly prováděny rozsáhlé epidemiologické studie, nebyl prokázán nárůst rizika vzniku nádorů v oblasti mozku, hlavy a krku v důsledku zvýšené expozice EMZ.

## Vybrané organizace zabývající se problematikou vlivu EMZ na zdraví lidí

### WHO – World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)

Organizace působící v rámci Organizace spojených národů. Zabývá se ochranou zdraví. Jednou z otázek, které leží v zájmové oblasti WHO, je vliv environmentálních faktorů na lidské zdraví, včetně působení EMZ.

### IARC – International Agency for Research on Cancer (Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny)

Tato agentura je součástí WHO a jejím posláním je koordinovat mezinárodní výzkum maligních nádorů. IARC se mimo jiné zabývá klasifikací environmentálních faktorů z hlediska pravděpodobnosti jejich karcinogenního vlivu na člověka. IARC zařadila EMZ v rozsahu rádiových frekvencí do skupiny faktorů, které mohou mít karcinogenní účinek, ale vědecké důkazy potvrzující jejich karcinogenitu nebyly uznány za dostačující.

### ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (Mezinárodní komise pro ochranu před neionizujícími zářeními)

ICNIRP je organizace nezávislých vědců zabývajících se studiem možných účinků neionizujícího záření na lidské zdraví. ICNIRP mimo jiné vydává směrnice doporučující úroveň intenzity elektromagnetického pole, které zajišťují bezpečné používání technologií založených na využívání EMZ.

# Mýtus:

## Agentura IARC považuje rádiové záření za karcinogenní faktor

V roce 2011 společnost IARC zařadila elektromagnetické pole v oblasti rádiových kmitočtů do kategorie karcinogenních faktorů skupiny 2B. Toto tvrzení se velmi často objevuje ve vědeckých publikacích, ale také v hromadných sdělovacích prostředcích a je předkládáno veřejnosti bez jakéhokoli vysvětlení nebo komentáře. To vede k mnoha nedorozuměním a vyvolává zbytečné obavy. Pro lidi bez odborných znalostí je toto sdělení jednoznačné: „EMZ způsobuje rakovinu“. Takto jednoduché to však není.

Možná bychom mohli začít tím, že uvedeme jiné, mnohem známější faktory, které IARC rovněž zařadila do skupiny 2B. V současné době existuje 311 těchto faktorů a patří k nim mimo jiné: extrakt z listů aloe vera, kyselina kávová, chloroform, nafta, implantované cizí předměty obsahující nikl (např. náušnice), naftalen, nakládaná zelenina nebo zásypový pudr na bázi mastku. Každý z nás se s většinou těchto faktorů denně setkává či setkává.

Zde stručně vysvětlíme, v čem spočívá klasifikace karcinogenních faktorů dle IARC. Tyto faktory byly rozděleny do pěti skupin:

- skupina 1: prokázané karcinogeny pro člověka;
- skupina 2A: pravděpodobně (orig. „probably“) karcinogenní pro člověka;
- skupina 2B: podezřelé karcinogeny (orig. „possibly“) pro člověka;
- skupina 3: faktory, které nelze klasifikovat jako karcinogenní pro člověka;
- skupina 4: pravděpodobně nejsou karcinogenní pro člověka.

K jistému nedorozumění dochází kvůli potížím s překladem dvou anglických slov použitých k definování skupiny 2A a 2B. Dalo by se říci, že anglické „possibly“ znamená spíše nízkou a „probably“ spíše vysokou pravděpodobnost. Definici skupiny 2B by tedy bylo možné přeložit i takto: „skupina 2B: faktory, jejichž karcinogenita je málo pravděpodobná“. Citujme podrobnou definici skupiny 2B: „Kategorie 2B se používá ve vztahu k faktorům, u nichž je důkaz rakovinnosti u lidí omezený a existuje méně než dostatečný důkaz rakovinnosti u experimentálních zvířat. [...] Faktor může být zařazen do této kategorie také na základě silných mechanistických předpokladů a dalších relevantních údajů.“ (dle překladu autorů této publikace)<sup>8</sup>. Pod pojmem „mechanistické předpoklady“ chápeme ty předpoklady, které vyplývají přímo ze zákonů základních vědeckých disciplín, například fyziky, chemie, biologie atd. Stručně řečeno, nemůžeme **vyloučit** karcinogenitu elektromagnetického záření s ohledem na základní zákony fyziky, chemie a biologie (protože neznáme všechny zákony, jimiž se svět řídí), ale neexistují ani vědecké důkazy, které by potvrdily **skutečnou** karcinogenitu tohoto záření.

Souvisí to s výše uvedenými potížemi při interpretaci výsledků studií<sup>9</sup>. Vztah mezi rakovinou štítné žlázy a expozicí elektromagnetickému záření je skvělým příkladem toho, jak zásadní je eliminovat jiné zásadní environmentální faktory než EMZ.

Vědci sledovali nárůst případů onemocnění rakovinou štítné žlázy ve Švédsku v letech 1970–2013. Ve sledovaném období se expozice EMZ výrazně zvýšila, přičemž rostla také incidence rakoviny štítné žlázy. Nicméně tato samotná statistická závislost (korelace) neznamená, že zde existuje příčinná souvislost.

<sup>8</sup> IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, World Health Organization, International Agency for Research on Cancer. „Non-ionizing radiation. Part 2, Radiofrequency electromagnetic fields“.

<sup>9</sup> Tamtéž.

Ukázalo se, že ve stejném období došlo také k nárůstu ionizujícího záření. Důvodem byla větší dostupnost diagnostických metod využívajících ionizující záření (např. počítačová tomografie nebo stomatologická radiologie). Je všeobecně známo, že incidence rakoviny štítné žlázy úzce souvisí s expozicí ionizujícímu záření.

Existuje však ještě jeden, dosti neintuitivní efekt, který je nutno vzít v úvahu. Hodně případů onemocnění může totiž vyplývat z technologického pokroku v medicíně. Na jedné straně dochází ke zlepšení kvality lékařské péče, což vede k prodloužení střední délky života, přičemž většina případů nádorových onemocnění se vyskytuje u starších osob. Na druhé straně existují efektivnější diagnostické metody a tato onemocnění jsou jednoduše nalezena častěji. V minulosti lidé umíralo z blíže neurčených důvodů, dnes lze většinu úmrtí přičíst konkrétním onemocněním, jako je například rakovina štítné žlázy. Bohužel neexistuje žádný snadný způsob, jak odhadnout relevanci těchto faktorů.

V posledních letech bylo provedeno mnoho experimentů, jejichž účelem bylo prokázat karcinogenitu expozice elektromagnetickému záření. Velké naděje na jednoznačnou odpověď byly vkládány do dvou široce pojatých dlouhodobých studií. I když se přímo netýkají působení na lidské zdraví, neboť byly prováděny na zvířatech, stojí za to je zde připomenout.

Jedním z těchto projektů je studie dlouhodobého vlivu elektromagnetického záření na potkany, kterou od roku 2005 provádí Institut Bernadina Ramazziniho<sup>10</sup>. Druhým projektem je výzkum vlivu záření vyzařovaného celulárními mobilními zařízeními, taktéž za využití zvířecích modelů (myši a potkani), prováděný v rámci programu Národního toxikologického programu (*National Toxicology Program* – NTP). NTP je program, jehož cílem je identifikovat environmentální rizika pro lidské zdraví. V roce 2016 byla zveřejněna vstupní zpráva o průběhu a výsledcích projektu NTP.

V obou studiích byly použity velmi početné skupiny zvířat (Ramazzini – asi 2500, NTP – asi 360). Bylo studováno elektromagnetické záření při frekvencích používaných pro mobilní komunikace. Nejvyšší použité hustoty výkonu byly větší než hodnoty, které se používají v praxi a s nimiž se lze setkat v okolním prostředí. Zvířata byla exponována po velkou část dne (Ramazzini – 19 hodin, NTP – 18 hodin) a po celý jejich život od okamžiku početí. Byla sledována incidence onemocnění exponovaných zvířat různými druhy rakoviny a výsledky byly porovnávány s kontrolními skupinami. V obou studiích vědci pozorovali zvýšený výskyt některých vzácných neoplastických změn, neurinomu (jinak: „schwannomu“) srdce a mozkového gliomu.

Bohužel u obou výzkumných projektů mohou výsledky, a zejména jejich interpretace, vyvolávat určité pochybnosti. Například v těchto studiích často vůbec nebyly pozorovány případy sledovaných typů nádorů v kontrolních skupinách (ačkoli historické údaje, jimiž Ramazziniho institut a NTP disponují, naznačují, že by se měly očekávat). Za těchto okolností i nepatrné procento onemocnění ve skupinách exponovaných polí představuje významný nárůst ve srovnání s kontrolní skupinou, kde nebyly žádné případy onemocnění. Stávalo se i to, že v silném poli bylo případů onemocnění méně než v kontrolní skupině. Navíc má kontrolní skupina ve studii NTP nižší míru přežití než skupina zvířat vystavená účinkům pole, což může naznačovat, že pole způsobuje zvýšení střední délky života. Autoři si uvědomují, že výsledky, k nimž dospěli, jsou málo přesvědčivé, ale dochází k závěru, že jejich důkazy by měly přimět IARC k revizi klasifikace EMZ.

Kritické hodnocení výsledků obou studií pravděpodobně nepovede ke změně zařazení EMZ do jiné skupiny karcinogenů, než je tomu v nyní. Stejný názor zastává ICNIRP v dokumentu zveřejněném v roce 2018<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> „ICNIRP Note On Recent Animal Carcinogenesis Studies”, Munich, Germany. 2018; September: 1–8.

<sup>11</sup> Tamtéž.

Jsou tam dopodrobna vysvětleny informace, proč jsou výsledky výzkumu provedeného NTP a Ramazziniho institutem nepoužitelné pro revizi doporučení maximálních úrovní expozice elektromagnetickému záření v rádiových pásmech. Dokument poukazuje na četné metodické chyby, k nimž došlo v obou případech, a upozorňuje, že existuje nekonzistentnost výsledků, k nimž obě skupiny dospěly.

Výsledky některých studií mohou naznačovat, že expozice EMZ zvyšuje riziko vzniku rakoviny a v kombinaci s expozicí jiným známým karcinogenům umocňuje jejich nárůst. Nelze vyloučit, že tepelné účinky v tomto případě představují hlavní nebo jediný biologický mechanismus. Jelikož nejsou známy žádné nesporně potvrzené mechanismy přímého netepelného vlivu elektromagnetického záření na vývoj nádorového onemocnění, lze tuto závislost zpochybnit<sup>12</sup>. V této souvislosti WHO zastává názor, že pokud jde o mechanismy vlivu EMZ na člověka, jsou všechny zdravotní účinky s tím spojené, včetně rakoviny, důsledkem zvýšení teploty. A protože jsou mechanismy tepelné interakce známé a jejich účinky snadno měřitelné, mohou být na jejich základě stanoveny normy pro bezpečné úrovně intenzity MEZ.

### Elektromagnetická hypersenzitivita

Elektromagnetická hypersenzitivita (EHS – *Electromagnetic HyperSensitivity*, někdy také: „elektrosenzitivita“) je považována za idiopatické onemocnění, tj. takové onemocnění, jehož příčiny nejsou známy a je vyvoláno blíže neurčenými faktory. EHS je spojena s celou řadou nespécifických symptomů, které je někdy obtížné objektivně posoudit: např. zvýšená únava, slabost, bolest hlavy, tinnitus, nespavost, poruchy paměti, bolesti v různých částech těla, kardiologické dysfunkce, pocit tepla, nevolnost, závratě atd.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> A. Schoeni, K. Roser, M. Rössli. „Symptoms and the use of wireless communication devices: A prospective cohort study in Swiss adolescents“. *Environ. Res.* 2017; 154: 275–283.

<sup>13</sup> M.J. Gruber, E. Palmquist, S. Nordin. „Characteristics of perceived electromagnetic hypersensitivity in the general population“. *Scand. J. Psychol.* 2018; 59(4): 422–427.

## Nejsou známy žádné nesporně potvrzené mechanismy přímého netepelného vlivu mikrovln na vývoj nádorového onemocnění.

Lidé uvádějící příznaky související s působením elektromagnetického pole jsou v odborné literatuře často označováni jako „lidé, kteří sami sebe určují jako hypersenzitivní“<sup>14</sup>.

V mnoha studiích byla prokázána neexistence spojitosti mezi příznaky udávanými hypersenzitivními lidmi a skutečnou expozicí poli.<sup>15</sup> Například v jedné z výzkumných studií<sup>16</sup> nebyl prokázán častější výskyt příznaků souvisejících s EHS u uživatelů mobilních telefonů. Zdá se, že povědomí testovaných osob o tom, že je používáno pole, má vliv a výsledky tohoto typu výzkumu. Z tohoto důvodu by se u provokačních testů (kdy se zjišťuje reakci testovaných osob na přítomnost EMZ) měla použít dvojité zaslepená studie.

Jedná se o výzkumnou metodu, kdy ani testovaná osoba, ani osoba, která test provádí, neví, zda se v daném vzorku testovaný faktor vyskytuje, nebo nikoliv. Díky tomu není přítomen prvek autosugesce (tj. situace, kdy testovaný subjekt negativní účinky očekává a tím si je může sám navodit) ani prvek sugesce ze strany testujícího (přestože testovaný subjekt neví, zda je v daném případě EMZ přítomno či nikoliv, testující mu může, ať už vědomě, či nevědomky, tuto informaci poskytnout).

<sup>14</sup> Mortazavi et al., op. cit.; Gruber et al., op. cit.

<sup>15</sup> Mortazavi et al., op. cit.; C. Boehmert, A. Verrender, M. Pauli, P. Wiedemann. „Does precautionary information about electromagnetic fields trigger nocebo responses? An experimental risk communication study“. *Environ. Heal. A Glob. Access Sci. Source.* 2018; 17(1): 1–15; A. Klaps, I. Ponocny, R. Winker, M. Kundi, F. Auersperg, A. Barth. „Mobile phone base stations and well-being – A meta-analysis“. *Sci. Total Environ.* 2016; 544: 24–30.

<sup>16</sup> Mortazavi et al., op. cit.

## U pokusů na zvířatech není jasné, zda jsou s ohledem na zásadní odlišnosti různých organismů výsledky přenositelné přímo na lidi.

Tato metoda se zdá být zvláště důležitá v případě výzkumu EHS. Určité shrnutí této problematiky představuje tzv. metaanalýza sedmnácti článků o zdravotních dopadech elektromagnetického pole vyzařovaného základnovými stanicemi mobilních sítí<sup>17</sup>. Analyzovány byly mimo jiné rozdíly mezi výsledky dvojité zaslepených studií a výsledky pokusů, v nichž byli účastníci o přítomnosti pole informováni. Když testovaní věděli, že jsou vystaveni působení elektromagnetického pole, symptomy se objevovaly častěji, ale když byly testy dvojité zaslepené, neexistovala žádná souvislost mezi expozicí (vystavením EMZ) a symptomy. Stručně řečeno, pocitově negativní účinky se objevovaly spíše tehdy, když je testované subjekty očekávaly, a nikoliv tehdy, když byly skutečně vystaveny EMZ. To naznačuje, že alespoň některé z pozorovaných účinků lze vysvětlit psychologickými faktory, ale zároveň zpochybňuje skutečný fyzický vliv pole na pocitové vnímání testovaných subjektů.

Rozsáhlá epidemiologická studie související s EHS dokončená v roce 2015 zahrnovala téměř 6000 účastníků<sup>18</sup>. Cílem projektu bylo zjistit souvislosti mezi expozicí elektromagnetickému poli a kvalitou spánku a EHS. Analýza patientských údajů o hypersenzitivitě, obsažených v oficiálních lékařských záznamech, neodhalila žádnou významnou korelaci mezi expozicí poli a pozorovanými zdravotními účinky.

Výsledky naznačují, že výskyt EHS je určen vnímáním rizika expozice EMZ. Ukázalo se také, že expozice vnímaná testovanými subjekty nemá nic společného se skutečnou expozicí – testovaní nebyli schopni realisticky posoudit intenzitu EMZ v místě jejich bydliště. To jasně naznačuje vliv psychologických faktorů v případě EHS. Tyto závěry jen doplňují obraz, který se rýsuje z rešerší literatury. Zdá se, že neexistuje souvislost mezi subjektivním pocitovým vnímáním a expozicí EMZ, a to bez ohledu na to, zda se testované subjekty považují za EHS, nebo ne. Navíc se nepotvrdilo, že by elektrosenzitivní lidé byli schopni vnímat působení elektromagnetického pole.

Výzkum pokračuje i v tom, jak rozšířeným jevem EHS je. Rozsah tohoto jevu lze určit na základě zkušeností zdravotnických pracovníků, kteří ve své praxi přicházejí do styku s hypersenzitivními lidmi. Odhaduje se, že 68-75 % těchto pracovníků v Evropě se setkala s pacienty, kteří spojují své obtíže s působením EMZ. Například výsledky průzkumů provedených mezi nizozemskými hygieniky a lékaři ukázaly, že přibližně 1/3 z nich se ve své praxi setkala s EHS. Mnoho respondentů považuje do jisté míry za pravděpodobné, že existuje příčinná souvislost mezi symptomy udávanými pacienty a expozicí elektromagnetickému poli, a proto někdy doporučují pacientům tuto expozici snížit. Stává se tedy, že pacienti od svých lékařů slyší, že za jejich potíže skutečně může být odpovědné elektromagnetické pole.

Populační studie umožňují určit frekvenci výskytu EHS, a také definovat profil elektrosenzitivních osob<sup>19</sup>. Nejčastěji si na EHS stěžují ženy středního věku, které uvádějí, že jejich zdravotní stav není nejlepší. Elektrosenzitivita je nejčastěji následkem jednorázové expozice poli s vysokou hustotou výkonu nebo dlouhodobé expozice.

<sup>17</sup> Klaps et al., op. cit.

<sup>18</sup> C. Baliatsas, J. Bolte, J. Yzermans, G. Kelfkens, M. Hooiveld, E. Lebret, I. van Kamp. „Actual and perceived exposure to electromagnetic fields and non-specific physical symptoms: an epidemiological study based on self-reported data and electronic medical records”. *Int. J. Hyg. Environ. Health*. 2015; 218(3): 331-44.

<sup>19</sup> Gruber et al., op. cit.



Tyto závěry byly učiněny po provedení dotazníkových šetření u náhodně vybraných lidí. 91 z 3341 respondentů se pokládalo za elektrosenzitivní osoby. To může naznačovat, že přibližně 3 % společnosti spojuje zhoršení jejich pocitové pohody s vlivem EMZ.

Vzhledem k tomu, že neexistují věrohodné důkazy o netepelných účincích EMZ na fyzické úrovni, zdá se, že by neměly být očekávány ani biologické účinky. Lidské tělo je však tak složitý systém, že biologické účinky mohou nastat i bez přítomnosti fyzického podnětu. V medicíně jsou dobře známé a široce popsány efekty placebo a noceba. Spočívají ve skutečnosti, že sugesce pozitivního (placebo) nebo negativního (nocebo) účinku fyzikálně-chemického faktoru může skrze vliv na psychiku způsobit zdravotní účinky.

Efekt nocebo je jednou z navrhovaných hypotéz vysvětlujících vliv elektromagnetického pole na člověka. Pokud je efekt nocebo odpovědný mimo jiné za výskyt EHS, je snadné dojít k závěru, že správný a férový způsob komunikace o rizicích spojených s působením pole, nebo o neexistenci těchto rizik, je klíčem k boji s touto nemocí. Na druhé straně nesprávná informovanost a udržování atmosféry rizika mohou mnohým způsobit konkrétní zdravotní škody.

Výzkum efektu nocebo v kontextu EMZ ukazuje, že i doporučení k zachování obezřetnosti při používání bezdrátových komunikačních zařízení (často vyžadovaná právními předpisy) mohou u průměrného příjemce tohoto doporučení vést k přesvědčení, že používání dané technologie je nebezpečné. Ukázalo se například, že počet a intenzita pozorovaných příznaků souvisí více s parametry popisujícími používání mobilního telefonu (např. počet odeslaných a přijatých SMS zpráv) než se skutečnou, naměřenou expozicí poli generovanému těmito zařízeními<sup>20</sup>. Jinými slovy, příznaky elektrosenzitivity souvisejí spíše se subjektivním přesvědčením o intenzitě používání mobilního telefonu než se skutečnou intenzitou EM záření.

Tato studie tedy ukazuje, že neexistuje žádná souvislost mezi příznaky a skutečnou expozicí – obtíže vyvolává již samotný pocit nebezpečí.

Potvrzují to výsledky uvedené nizozemskými vědci<sup>21</sup>, kteří kromě vlivu EMZ zohlednili také další škodlivé environmentální faktory. Když je faktor snadno pozorovatelný – například znečištění ovzduší či hluk – účastníci studie hodnotili skutečnou expozici mnohem lépe. Negativní příznaky, které se u účastníků vyskytly, těsněji souvisely se skutečným znečištěním ovzduší a hlukem, kdežto v případě působení EMZ, které, jak je známo, nemůžeme zaregistrovat svými smysly, žádná taková souvislost neexistovala.

### Vliv na nervovou soustavu

Kromě rizika vzniku nádorových onemocnění nervového systému vlivem expozice EMZ existuje také celá řada poruch, které jsou přisuzovány vlivu tohoto typu vln. Patří zde mimo jiné: poruchy spánku a nespavost, bolesti hlavy, depresivní poruchy a deprese, únava, poruchy citlivosti, poruchy pozornosti, kognitivních funkcí a paměti, podrážděnost a hyperaktivita, ztráta chuti k jídlu, neklid, úzkost, nevolnost, závratě, svědění kůže a nakonec i změny na EEG záznamu. Kromě posledního z těchto příznaků, je většina subjektivní povahy a překrývá se s nespecifickými příznaky, které uvádějí také lidé s EHS.

Mozek je v tomto ohledu studován zvláště intenzivně, a to nejméně ze dvou důvodů. Za prvé, mobilní telefon se během rozhovoru drží u hlavy – proto se tepelné účinky projeví samozřejmě především na této části těla.

<sup>20</sup> Schoeni et al., op. cit.

<sup>21</sup> A.L. Martens, M. Reedijk, T. Smid, A. Huss, D. Timmermans, M. Strak, W. Swart, V. Lenters, H. Kromhout, R. Verheij, P. Slottje, R.C.H. Vermeulen. „Modeled and perceived RF-EMF, noise and air pollution and symptoms in a population cohort. Is perception key in predicting symptoms?“ *Sci. Total Environ.* 2018; 639: 75-83.

Za druhé, existuje několik hypotéz týkajících se netepelných účinků, které by mohly mít velký význam právě v případě mozku. Potenciální negativní účinky na centrální nervovou soustavu mohou souviset se zvýšením propustnosti hematoencefalické bariéry, snížením počtu neuronů a gliových buněk a poruchami ve fungování neurotransmiterů<sup>22</sup>. Nebylo to však potvrzeno.

Jedním z nejčastěji předkládaných biochemických mechanismů vlivu EMZ na lidské tělo je oxidační stres. Tento mechanismus je popisován hlavně ve vztahu k centrální nervové soustavě, protože může vést k neurodegenerativním procesům<sup>23</sup>. Pokud by EMZ mělo reálnou souvislost s výskytem oxidačního stresu, byl by to silný argument pro existenci souvislosti mezi expozicí a rizikem onemocnění závažnými chorobami centrálního nervového systému, jako jsou nádorová onemocnění, Alzheimerova choroba a Parkinsonova choroba<sup>24</sup>. Dosud nebyly nalezeny žádné důkazy, které by to potvrdily.

Druhým nejčastěji předkládaným mechanismem interakce předmětného pole s organismem je poškození funkce vápníkových kanálů. Tyto kanály se nacházejí v buněčných membránách a pomáhají udržovat iontovou rovnováhu v buňkách. Dalším prvkem souvisejícím s fungováním nervové soustavy je synapse. Má se za to, že zhoršení procesu učení a zapamatování může být způsobeno dysfunkcí synapsí. Byly zveřejněny výsledky studií, v nichž byly tyto účinky zjištěny po expozici elektromagnetickému poli<sup>25</sup>. Mnoho vědců je však zpochybňuje.

Stejně jako u ostatních aspektů působení EMZ na zdraví bývají výsledky výzkumu protichůdné i v případě nervové soustavy.

**Příznaky elektrosenzitivity souvisejí spíše se subjektivním přesvědčením o intenzitě používání mobilního telefonu než se skutečnou intenzitou záření. Zdravotní potíže vyvolává již samotný pocit nebezpečí.**

---

Dvě skupiny korejských vědců zkoumaly vliv pole ve frekvenčních rozsazích používaných v celulárních mobilních sítích s využitím myší<sup>26</sup>. Zatímco v jednom z projektů bylo pozorováno mnoho negativních účinků, ve druhém projektu nebyly tyto účinky zjištěny. Jedna skupina popsala hyperaktivitu testovaných zvířat, zatímco druhá skupina nezjistila žádné poruchy chování ani paměti, což nasvědčuje tomu, že pole má u některých neurodegenerativních onemocnění příznivý účinek.

### Vliv na reprodukční systém

Rozmnožovací soustava je velmi citlivá na environmentální faktory a důsledky jeho dysfunkce mohou negativně ovlivňovat fertilitu. Konstrukční a funkční změny mobilních zařízení způsobily, že je uživatelé nosí v blízkosti těla po mnoho hodin denně a také je umísťují do kapes u kalhot. Expozice pohlavních žláz se tím dramaticky zvýšila. Proto zde vyvstává naprosto odůvodněná otázka, mohou-li potenciální problémy s plodností souviset s vlivem EMZ.

---

<sup>22</sup> Mortazavi et al., op. cit.; B.Z. Altunkaynak, G. Altun, A. Yahyazadeh, A.A. Kaplan, O.G. Deniz, A.P. Türkmén, M.E. Önger, S. Kaplan. „Different methods for evaluating the effects of microwave radiation exposure on the nervous system”. *J. Chem. Neuroanat.* 2015; 75: 62-69.

<sup>23</sup> Tamtéž.

<sup>24</sup> Mortazavi et al., op. cit.

<sup>25</sup> Altunkaynak et al., op. cit.

---

<sup>26</sup> J.H. Kim, D.H. Yu, Y.H. Huh, E.H. Lee, H.G. Kim, H.R. Kim. „Long-term exposure to 835 MHz RF-EMF induces hyperactivity, autophagy and demyelination in the cortical neurons of mice”. *Sci. Rep.* 2017; 7: 1–12; Y. Son, Y.J. Jeong, J.H. Kwon, H. Do Choi, J.K. Park, N. Kim, Y.S. Lee, H.J. Lee. „1950 MHz radiofrequency electromagnetic fields do not aggravate memory deficits in 5xFAD mice”. *Bioelectromagnetics.* 2016; 37(6): 391-399.

Nejlepší shrnutí studií vlivu elektromagnetického záření na reprodukční systém představují dvě metaanalýzy dostupných zpráv o jeho vlivu na kvalitu spermií, které byly provedeny před několika lety<sup>27</sup>. Bylo zjištěno, že expozice poli vyzařovanému mobilním telefonem má negativní vliv na pohyblivost a životaschopnost spermií, ale nesnižuje jejich počet<sup>28</sup>, přičemž autoři spojují pozorované snížení kvality spermií se zvýšením teploty varlat. Domnívají se však, že nárůst teploty je způsoben zahřátím telefonu a nevyplývá přímo z vlivu EMZ na tkáň.

### Rekapitulace

Jak vyplývá z této kapitoly, ve vědecké komunitě panují velmi rozdílné názory, pokud jde o vliv EMZ na lidský organizmus. Dostupné výsledky studií jsou v mnoha případech protichůdné. Negativní vliv expozice tímto typem záření na lidské tělo nelze jednoznačně potvrdit.

Vzhledem k potenciálnímu riziku negativních účinků EMZ by se zdálo rozumné formulovat určité optimalizační pravidlo – obdobné principu ALARA, který se používá v případě ionizujícího záření. Pravidlo ALARA („As Low As Reasonably Achievable“) uvádí, že je třeba se vyhnout zbytečné expozici. To je u ionizujícího záření snadno dosažitelné, protože umělých zdrojů tohoto záření není v našem prostředí hodně. U elektromagnetického záření by se musely vypnout všechny zdroje tohoto záření, tj. prakticky všechna elektrická, elektronická a komunikační zařízení, což je v takto extrémní míře samozřejmě neproveditelné, ne-li absurdní.

Je proto nezbytné stanovit civilizační, ale i zdravotní dopady takové operace ve vztahu k riziku, které není plně potvrzeno, jako je tomu v případě ionizujícího záření.

Dále je třeba vzít v úvahu i to, že i ve vědeckých publikacích jsou někdy výsledky interpretovány neobjektivně nebo jsou zveřejňovány výsledky studií prováděných za použití nesprávných metod. Kdybychom vycházeli z tendenčně zvolených studií, mohli bychom prokázat negativní dopady působení rádiových vln na lidský organizmus, což by v kombinaci s nízkou úrovní znalostí o tomto typu interakce u široké veřejnosti mohlo přinášet vážné negativní sociální důsledky.

<sup>27</sup> J.A. Adams, T.S. Galloway, D. Mondal, S.C. Esteves, F. Mathews. „Effect of mobile telephones on sperm quality: A systematic review and meta-analysis“. *Environ. Int.* 2014; 70: 106–112; K. Liu, Y. Li, G. Zhang, J. Liu, J. Cao, L. Ao, S. Zhang. „Association between mobile phone use and semen quality: A systemic review and meta-analysis“. *Andrology*. 2014; 2(4): 491-501.

<sup>28</sup> Adams et al., op. cit.

# DOMINANTNÍ OBLASTI ZKOUMÁNÍ ZDRAVOTNÍCH DŮSLEDKŮ MIKROVLN A RÁDIOVÝCH VLN

Elektromagnetické záření ovlivňuje lidské organizmy různými způsoby v závislosti na vlnové délce záření. U rádiových vln a mikrovln je tento vliv především tepelný, tedy jednoduše řečeno, lokální zvýšení teploty v povrchových vrstvách těla. Jsou vedeny úvahy i o jiných formách vlivu, ale věda nenašla přesvědčivé důkazy o jejich výskytu.

## Elektromagnetická hypersenzitivita?

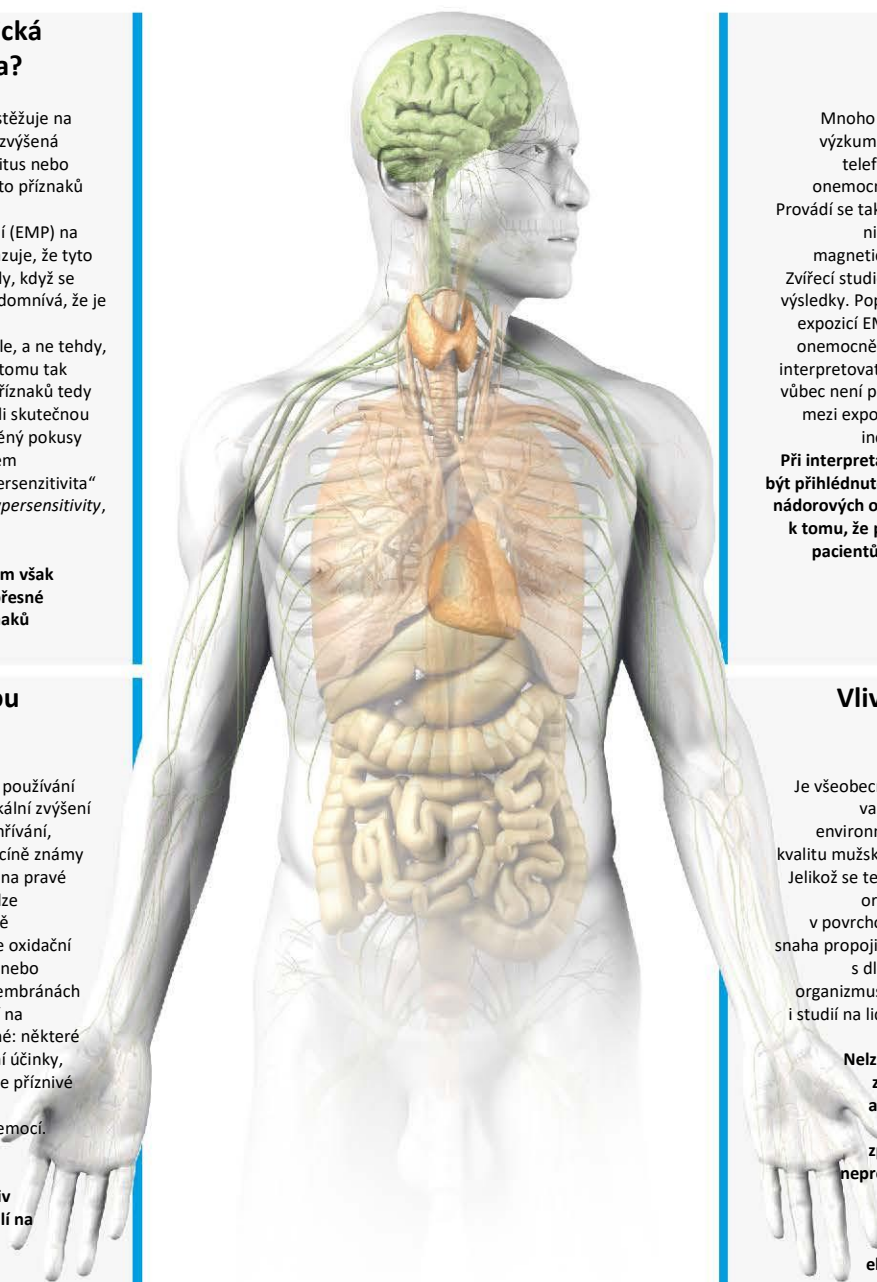
Několik procentní lidí si stěžuje na zdravotní potíže, jako je zvýšená únava, bolest hlavy, tinnitus nebo nespavost, a výskyt těchto příznaků spojuje s působením elektromagnetických polí (EMP) na organismus. Výzkum ukazuje, že tyto příznaky se objevují tehdy, když se daná osoba subjektivně domnívá, že je silně vystavena účinkům elektromagnetického pole, a ne tehdy, když měření ukazuje, že tomu tak skutečně je – intenzita příznaků tedy souvisí s vnímanou, nikoli skutečnou intenzitou pole. Jsou činěny pokusy definovat nemoc s názvem „elektromagnetická hypersenzitivita“ (ang. *electromagnetic hypersensitivity*, EHS), někdy také jako „elektrosenzitivita“.

**Nevyřešeným problémem však zůstává určení příčin a přesné stanovení souboru příznaků elektrosenzitivity.**

## Vliv na nervovou soustavu?

Nejvýraznějším účinkem používání mobilního telefonu je lokální zvýšení teploty tkáně. Kromě zahřívání, jehož účinky jsou v medicíně známy (viz oddíl II.2. a rámečky na pravé straně této infografiky), lze předpokládat i jiné, méně prokázané účinky, jako je oxidační stres, dysfunkce synapsí nebo vápníkových kanálů v membránách neuronů. Výsledky studií na zvířatech jsou neprůkazné: některé studie potvrzují negativní účinky, z jiných vyplývají dokonce příznivé účinky pole u některých neurodegenerativních nemocí.

**Na základě dostupných výsledků studií nelze jednoznačně potvrdit vliv elektromagnetických polí na nervový systém.**



## Nádorová onemocnění?

Mnoho vědeckých center provádí výzkum vlivu používání mobilního telefonu na výskyt nádorových onemocnění v oblasti hlavy a krku. Provádí se také pokusy na zvířatech, při nichž se zjišťuje vliv elektromagnetického pole na jiné orgány. Zvířecí studie přinášejí nejednoznačné výsledky. Populační studie vztahů mezi expozicí EMZ a incidencí nádorových onemocnění u lidí jsou velmi obtížné interpretovatelné: v některých studiích vůbec není pozorována žádná korelace mezi expozicí a incidencí, v jiných se incidence zvyšuje s expozicí.

**Při interpretaci výsledků by však mělo být přihlédnuto k pokroku v diagnostice nádorových onemocnění. Dochází totiž k tomu, že přes stále stejné procento pacientů se zvyšuje zachytitelnost patologických stavů.**

## Vliv na reprodukční systém?

Je všeobecně známo, že vyšší teplota varlat, jakož i mnoho dalších environmentálních faktorů, má na kvalitu mužských spermií negativní vliv. Jelikož se tepelné účinky vlivu EMZ na organismus projevují hlavně v povrchové vrstvě těla (šourek), je snaha propojit dysfunkci tvorby spermií s dlouholetým vlivem EMZ na organismus. Výsledky zvířecích studií i studií na lidském spermatu jsou však neprůkazné.

**Nelze definitivně rozhodnout, zda je snížení pohyblivosti a životaschopnosti spermií způsobeno sedavým způsobem života, nošením neprodyšného prádla, častými horkými koupelemi či pobytem v sauně anebo působením elektromagnetického pole.**



## *IV. Technologie 5G*



# Úvod

---

- Rostoucí poptávka po telekomunikačních službách stimuluje vývoj nových technologií pro realizaci telekomunikačních spojení.
- Zavedením každé nové generace mobilní technologie došlo k navýšení rychlosti přenosu dat o řádové velikosti, zlepšení kvality hovorů a vzniku nových funkcionalit.
- Dnes používaná technologie 4G je provozována po celém světě od roku 2009.
  - Síť 5G umožní řadu nových služeb, mimo jiné v oblasti „internetu věcí“ a chytrého města.
  - Tato nová technologie bude využívat nízko-, středně- a vysokofrekvenční pásma, z nichž všechna mají své výhody a omezení.
  - K rozšíření 5G sítí je nutná příprava anténní infrastruktury a zavedení nových technologických řešení.
- Technologie 5G najde široké uplatnění v mnoha oblastech hospodářství: průmyslu čtvrté generace, moderním zemědělství a sektoru služeb.
- Rychlejší a mnohem spolehlivější technologie mobilní komunikace umožní revoluci mimo jiné ve zdravotní péči (e-zdravotnictví), podpora osob se zdravotním postižením nebo správa městské infrastruktury.
- Nové interakční možnosti a rychlý přístup k velkým datovým zdrojům budou využívány i v oblasti zábavy a vzdělávání. Nově bude možné například soupeřit na dálku nebo používat mnohem personalizovanější vzdálené průvodce a překladáče.
  - Nové služby, nové profese, vyšší kvalita připojení a úspory – to jsou jen některé z výhod 5G pro běžného občana.
  - Podnikatelé získají více příležitostí k automatizaci a využití vzdálených řešení. Snížením počtu služebních cest a zrušením nepotřebných pracovních míst ušetří finanční prostředky.
  - Odhaduje se, že díky novým technologiím a službám se světové HDP zvýší až o cca 7 %.



## IV.1

# Generace mobilních technologií – úvod

MARIUSZ GAJEWSKI

Na analýzy popisované v této publikaci byla poskytnuta dotační podpora Národního centra pro výzkum a vývoj v rámci projektu: "Zavádění sítě 5G do polského hospodářství 5G@PL" (Program Gospostrateg)

Současné mobilní sítě (4G LTE) prošly dlouhou cestou vývoje, aby splnily rostoucí očekávání účastníků telekomunikačního trhu. Nové standardy mobilní technologie byly implementovány zhruba každých deset let. Připomněme si ve zkratce tento vývoj.

## 1G: mobily

První rádiové sítě, k jejichž provozu bylo dané území rozděleno na buňky, neboli oblasti pokryté jednotlivými základnovými stanicemi, vznikly začátkem 80. let minulého století. Jako první vznikly tyto sítě v USA, založené na systému nazvaném AMPS (ang. *Advanced Mobile Phone System*), v Japonsku (systém 1NTT) a ve skandinávských zemích, které společně vypracovaly systém NMT (ang. *Nordic Mobile Telephone*). Jednalo se o první celulární systém v Evropě a jediný, který poskytoval pokrytí několika států (mobilní systémy 1G nebyly vzájemně kompatibilní). Zpočátku tento systém využíval pásmo 450 MHz, ale po dosažení maximální kapacity byla spuštěna jeho modernizovaná verze s využitím pásma 900 MHz. V roce 1992 společnost Polska Telefonía Komórkowa zprovoznila polskou mobilní síť 1G s názvem „Centertel“. Tato síť byla založena na systému NM-T450i – modernizované verzi systému NMT450.

Pásmo 450 MHz poskytovalo dobré rádiové pokrytí velké oblasti v rámci jedné buňky. Pro zajištění služeb mobilních sítí podél pobřeží, dálnic nebo ve velkých venkovských oblastech tak stačil

menší počet buněk než v případě sítí provozovaných ve vyšších pásmech rádiových kmitočtů. Na druhou stranu byla kapacita buňky měřená počtem současně připojených účastníků stále stejná, což při rostoucím počtu účastníků v hustě obydlených oblastech vedlo k nedostatečnému přístupu ke službám. Z tohoto důvodu operátoři začali zavádět i verzi využívající pásmo 900 MHz a vytvářeli tak buňky menších velikostí.

Sítě 1G využívaly principu vícenásobného přístupu s frekvenčním dělením – FDMA (ang. *Frequency Division Multiple Access*). To znamenalo, že terminálu (koncovému zařízení) byl po celou dobu spojení přidělen jeho vlastní rádiový kanál ve formě určitého úseku frekvenčního pásma, obvykle 25 nebo 30 kHz. Tento způsob použití rádiového kanálu byl však neefektivní, protože kanál byl obsazen po celou dobu spojení, bez ohledu na to, zda uživatel hovoří nebo mlčí. S rostoucím počtem telefonních hovorů iniciovaných dalšími účastníky se kapacita základnové stanice rychle vyčerpávala, protože počet rádiových kanálů připadajících na danou základnovou stanici byl stále stejný.

## 90. léta: 2G a roaming

Základním cílem při vývoji druhé generace mobilní sítě (2G), tj. systému GSM (ang. *Global System of Mobile Communications*), bylo to, aby služby této mobilní sítě mohly být poskytovány mnohem většímu počtu účastníků, než tomu bylo doposud.

Nový standard měl být navíc založen na digitálním přenosu hovorů, čímž byla zaručena mnohem lepší ochrana proti odposlechu a lepší kvalita spojení. K významným zlepšením patřila také vzájemná kompatibilita 2G sítí vybudovaných různými operátory, díky níž měli účastníci možnost používat roaming, tzn. telekomunikační služby poskytované mimo síť domácího operátora.

Norma popisující fungování systému GSM byla definitivně vypracována Evropským ústavem pro telekomunikační normy ETSI (ang. *European Telecommunications Standards Institute*) v roce 1991. Ačkoli byl původně systém GSM uvažován pro provoz v Evropě pouze v pásmu 900 MHz, bylo později zavedeno také pásmo 1800 MHz. Naproti tomu byla pro USA vyvinuta jiná verze systému, která se měla provozovat v pásmu 1900 MHz.

Na rozdíl od sítě 1G se přenášená informace v systému 2G nejprve převáděla do digitální podoby. Tím bylo umožněno použití mechanismů, které snížily objem informací a upravily způsob, jakým je uživatel přenášel na rádiovém kanálu. Prvním mechanismem je hlasová komprese, díky níž se digitální záznam hovoru přenáší rádiovým kanálem za použití menšího objemu dat než v případě nekomprimovaného signálu. Tento postup výrazně snižuje zatížení rádiového kanálu, ačkoli vede ke snížení kvality telefonního spojení, které je uživateli vnímáno.

Druhý mechanismus spočívá v rozdělení digitálního signálu vysílaného uživateli na fragmenty s jejich následným cyklickým přenosem po rádiovém kanálu. Děje se tak v časových úsecích (ang. *timeslot*), což jsou periodicky se opakující přenosová okna, ve nichž daný uživatel odesílá nebo přijímá data. Použití této přístupové metody, známé jako TDMA (ang. *Time Division Multiple Access*), umožnilo výrazně zvýšit počet uživatelů využívajících rádiový přístup v daném frekvenčním pásmu.

Další práce na vývoji standardu 2G vyústily v roce 1997 specifikací systému GSM s názvem Phase 2+, která zahrnovala technologie přenosu dat HSCSD (ang. *High Speed Circuit Switched Data*), GPRS (ang. *General Packet Radio Service*) a EDGE (ang. *Enhanced Data rates for GSM Evolution*). První z těchto technologií používala stejné rádiové kanály, které se v systému GSM používaly pro přenos hlasu. To znamenalo, že tyto kanály byly obsazeny po celou dobu trvání spojení, a to i tehdy, když se žádná data nepřenášela. Novější technologie: GPRS a EDGE, často označované jako 2.5G síť, přinesly do 2G sítě přenos s přepínáním paketů, tzn. že uživatelé odesílají a přijímají paketová data se vzájemným sdílením fyzických kanálů. Použitím tohoto typu přenosu se změnil také princip zpoplatnění, založený na objemu přenášených dat, a nikoli na době připojení, kdy byla data přenášena, jak tomu bylo v případě technologie HSCSD.

### 3G: multimediální služby

Třetí generaci mobilních systémů operátoři zaváděli v prvních letech tohoto století. Používala koncepci 2.5G sítě v oblasti paketového přenosu dat a na rozdíl od systému GSM měl systém 3G od počátku umožňovat poskytování různých služeb (přenos zvuku a videa a paketových přenos dat). V důsledku toho bylo nutné rozšířit páteřní síť spojující základnové stanice. Avšak největších změn oproti síti 2G doznala rádiová část. Mezinárodní telekomunikační unie (ITU, ang. *International Telecommunication Union*), jako organizace založená za účelem standardizace a regulace telekomunikačního a radiokomunikačního trhu na světě, přidělila pro použití v sítích 3G kmitočtová pásma: 790-960 MHz, 1710-2025 MHz, 2110-2200 MHz, 2300-2400 MHz a 2500-2600 MHz, z nichž některá již byla používána systémy GSM. V 3G sítích byla použita jiná metoda rádiového přístupu než u GSM. Tato metoda umožňovala připojení ještě více účastníků a nabízela vyšší přenosovou rychlost dat.

# Mýtus:

## Čím je základnová stanice vzdálenější, tím je to lepší, protože záření je slabší

Čím dále jsme od základnové stanice, tím menšímu záření jsme vystaveni, což vyplývá přímo z jevu, kterému říkáme tlumení elektromagnetického vlnění. K zaručení dostupnosti rádiových služeb je však nutné zajistit minimální úroveň výkonu rádiového signálu po celé oblasti. Toho lze dosáhnout dvěma způsoby: použitím jedné výkonné základnové stanice nebo pomocí několika mnohem méně výkonných základnových stanic. Expozice záření ve stejné vzdálenosti od základnové stanice tak může být zcela odlišná.

Je potřeba si také uvědomit, že vysílací antény jsou nejčastěji instalovány ve větší výšce, a radiový paprsek je vytvarován tak, aby se rádiové vlny šířily v horizontální rovině, přičemž ve směru dolů je signál antény velmi utlumen. To znamená, že lidé, kteří se nacházejí v malé vzdálenosti pod anténou, nejsou vystaveni vysokým hodnotám EMP.

Za zmínku stojí, že koncová zařízení (např. mobilní telefony) mnohdy mohou způsobovat větší expozici elektromagnetickému polí než základnové stanice: přestože mají mnohonásobně menší výkon rádiového záření, jsou v přímém kontaktu s uživatelem. V důsledku toho je expozice EMP ze strany koncového zařízení větší než ze strany základnové stanice. Koncová zařízení navíc využívají algoritmy, které mění výkon vysílaného rádiového signálu podle síly signálu přijímaného od základnové stanice: čím slabší je přijímaný signál, tím větší výkon signálu vyzařuje koncové zařízení. Pro uživatele mobilních sítí tedy velká vzdálenost od základnové stanice paradoxně znamená větší expozici elektromagnetickému záření.

Ačkoliv se nepovedlo vytvořit globálně jednotný 3G systém, byla definována rodina systémů s názvem IMT-2000, které mohly spolupracovat a nabízet podobné funkcionality. Patří k nim také standard UMTS (ang. *Universal Mobile Telecommunications System*), navržený Evropským ústavem pro telekomunikační normy a zavedený většinou operátorů na světě. Záštitu nad vývojem tohoto a dalších standardů mobilních sítí převzala dohoda

3GPP (ang. *3G Partnership Project*), která sdružuje největší standardizační organizace ve světě telekomunikací.

### 4G: doba chytrých telefonů

Pokračující rozvoj internetových služeb byl čím dál tím náročnější na efektivitu datových přenosů.

Proto se další vývoj mobilních technologií zaměřil na vytvoření standardu, který by zajistil zlepšení přenosových rychlosti a spolehlivosti datových přenosů na stávající 3G síťové infrastrukturu. V závěru roku 2008 konsorcium 3GPP zveřejnilo první verzi standardu sítě 4G LTE, která byla původně provozována v pásmu 1800 MHz s kanálovými šířkami od 1,4 MHz do 20 MHz. Zároveň tento standard specifikoval zdokonalené kódování, optimalizované přenosové rychlosti a větší kapacitu. Kromě zvýšené přenosové kapacity se standard 4G LTE vyznačuje také nízkým výskytem přenosových ztrát a chyb a mnohem nižší dobou odezvy ve srovnání s 3G.

Přenos v síti 4G dosahuje rychlosti až 150 Mb/s při předávání dat směrem ke koncovému uživateli, odesílání paketů pak probíhá rychlostí až 50 Mb/s.

Díky tomu síť 4G LTE nabízí uživatelům rychlý rádiový přístup k internetu, individualizované telefonní služby a poskytuje možnost využití mobilních vysokorychlostních aplikací prostřednictvím mobilních telefonů, notebooků a ostatních elektronických zařízení. Mnoho zahraničních a domácích operátorů implementovalo do svých sítí mechanismy rozšiřující možnosti technologie LTE. Technologie LTE-Advanced, která využívá tzv. agregaci pásma, čili sloučení několika nosných frekvencí do jednoho kanálu o větší šířce, umožňuje dosahovat rychlostí stahování dat až 1 Gb/s a rychlostí odesílání až 500 Mb/s.

## IV.2

# Předpoklady a cíle, plánované parametry 5G

WALDEMAR LATOSZEK, KONRAD SIENKIEWICZ

Díky použití nových technických řešení vychází síť 5G naproti rostoucím požadavkům uživatelů, k nimž patří mimo jiné rostoucí počet zařízení, jakož i požadavky na kvalitu vyžadovanou aplikacemi. Jedná se o rozšíření dnešní 4G sítě s řešeními, která umožňují nejen zvládnout rychle rostoucí objemy datových přenosů, ale i uspokojit potřebu datové výměny mezi rostoucím počtem zařízení „internetu věcí“.

Stejně jako u každé další nově implementované generace sítě se i zde předpokládá, že dokud nebude zajištěno pokrytí a možnosti nabízené dosavadní mobilní sítí, bude síť 5G zpočátku provozována společně se stávajícími sítěmi.

### Tři oblasti použití

Kromě současných oblastí využívání mobilních sítí se v případě nově vznikající sítě 5G předpokládají tři aplikační scénáře, které budou pro uživatele významné a současně budou tuto síť odlišovat od sítí předchozích generací.

Rozšířené mobilní širokopásmové připojení **eMBB** (ang. *enhanced Mobile Broadband*), které zajišťuje vysokorychlostní přístup k internetu (řádu 1 Gb/s), bude hlavní funkcí odlišující tuto generaci sítí od předchozích, zejména v počáteční fázi jejího zavádění.

Využitím této výhody 5G dojde ke zvýšení kapacity a kvality komunikace ve společnosti. Vládkový příklad využití 5G bude zahrnovat mimo jiné služby založené na poskytování multimediálního obsahu s vysokým rozlišením, atraktivní formy komunikace (např. videohovory a rozšířená a virtuální realita) a také služby chytrého města (např. přenos záznamů z kamer s vysokým rozlišením).

Druhá oblast je založena na masivní komunikaci mezi stroji **mMTC** (ang. *massive Machine Type Communications*). V této oblasti 5G nabídne možnost připojit k mobilní síti velmi velký počet zařízení s nízkou spotřebou energie, označovaných jako zařízení „internetu věcí“ (IoT). Tato zařízení si prostřednictvím mobilní sítě vyměňují data asynchronním způsobem. V tomto scénáři se předpokládá, že bude možné připojit mnoho typů zařízení, jejichž společnou vlastností je to, že budou mobilní síť využívat jen příležitostně k výměně malých objemů dat.

Vysoce spolehlivá komunikace s nízkým zpožděním **URLLC** (ang. *Ultra-Reliable Low Latency Communications*) bude technologie zajišťující minimální latenci na úrovni 1 milisekundy, čímž bude umožněna datová výměna prostřednictvím mobilní sítě pro kritické aplikace (např. ovládání dronů). V předchozích generacích mobilních sítí byly hodnoty zpoždění delší a činily přibližně 100 milisekund u 3G sítě a přibližně 30 milisekund u 4G sítě (LTE).

### Páteřní síť a rádiová přístupová síť

Pro zajištění výše uvedených síťových parametrů budou použita nová technická řešení i nová kmitočtová pásma. Obdobně jako v případě předchozích generací mobilních sítí bude síť 5G sestávat ze dvou základních komponent: páteřní síť a rádiové přístupové síť. Zatímco v předchozích generacích mobilních sítí se technologické změny týkaly hlavně rádiové přístupové sítě, v případě 5G prošly zásadními změnami oba tyto segmenty sítě.

Se zavedením sítě 5G je spojena řada nových technologických řešení, která ve značné míře změní současný model využívání telekomunikační sítě. K těmto technologiím nepochybně patří technologie související s virtualizací a programovatelností sítě, které umožní zajistit vysokou úroveň flexibility sítě 5G a implementovat segmentaci sítě. Tyto technologie spočívají v tom, že se v jedné fyzické síti rozlišuje několik vrstev/oblastí, z nichž každá má svůj vlastní soubor nastavení přizpůsobený konkrétní službě. Segmentace se provádí pomocí technologie virtualizace síťových funkcí NFV (ang. *Network Functions Virtualisation*) a softwarově definovaných sítí SDN (ang. *Software Defined Network*). Zde je potřeba zdůraznit, že použití technologie SDN v sítích 5G, tzn. implementace programovatelnosti a koncept síťové abstrakce, mění současné paradigma výstavby a údržby sítě a zavádí jasné rozdělení na řídicí rovinu a datovou rovinu, které lze škálovat nezávisle na sobě, což zjednodušuje správu sítě a umožňuje lepší organizaci zdrojů a služeb. Technologie NFV pak nabízí možnost, aby síťové funkce, které byly dosud realizovány pomocí specializovaných zařízení, byly prováděny pomocí softwarových modulů nainstalovaných na standardních komerčně dostupných serverech. Díky této technologii lze navíc dynamicky přidělovat síťové zdroje podle potřeb aplikací, a tím zvyšovat provozní flexibilitu a zjednodušovat implementaci služeb.

Stejně jako u každé další nově implementované generace sítě, bude síť 5G zpočátku provozována společně se stávajícími sítěmi.

---

Jedním z nejdůležitějších nových technologických řešení sítě 5G v segmentu páteřní sítě je technologie MEC (ang. *Multi-access Edge Computing*), která počítá s možností zpracovávat a uchovávat uživatelská aplikační data v základnové stanici sítě 5G. Tato technologie byla vyvinuta za účelem vyřešení řady problémů, jimiž trpí mobilní síť, především pak příliš velkého zpoždění souvisejícího s centrálním zpracováním dat a geograficky vzdálenou distribucí systémů pro jejich zpracování od uživatelů. Technologie MEC vytváří nové příležitosti pro poskytovatele aplikací a operátory. Mohou přicházet s inovativními službami, které dosud nebyly k dispozici kvůli omezením telekomunikační sítě. Jmenujme například služby typu *Tactile Internet* (dotykový internet), které zahrnují takové scénáře použití, kdy člověk vzdáleně ovládá nejen skutečné, ale i virtuální objekty, a to na základě senzorického signálu a dalších obrazových a zvukových informací poskytovaných formou zpětné vazby.

Pokud jde o segment rádiové přístupové sítě, je přístupová síť 5G, stejně jako síť předchozích generací, tvořena infrastrukturou, která zajišťuje koncovým zařízením přístup k celulární síti (např. základnové stanice, antény, stožáry apod.). Podobně, tedy na buňky, je rozdělena oblast, která má být pokryta rádiovým signálem z jednotlivých základnových stanic. Nicméně v síti 5G budou buňky menší velikosti mnohem významnější než ve stávajících mobilních sítích.

V závislosti na místních podmínkách (např. hustota uživatelů) se předpokládá, že budou použity mikrobuněk (pokrytí do 2 km) v centrech měst a pikobuněk, u nichž bude dosah od několika do několika desítek metrů a které budou použity jako místní přístupové body např. na stadionech.

### Tři kmitočtová pásma

Podle současného stavu standardizace sítě 5G se očekává, že bude provozována s využitím tří kmitočtových pásem: nízkého, středního a vysokého.

Účel použití konkrétního pásma závisí na jeho charakteristikách, zejména pak na těchto dvou faktorech: způsobu šíření signálu (rádiového šíření) a kapacitě spektra. První faktor souvisí s fyzikálními vlastnostmi elektromagnetických vln a předurčuje dosažitelné rozsahy rádiového přenosu za proměnlivých povětrnostních podmínek a pokrytí rádiovým signálem těžko dostupných oblastí (např. uvnitř budov). Druhý faktor je definován jako dostupná kapacita rádiového pásma v daném frekvenčním rozsahu, které je použitelné v sítích 5G. Je třeba mít na paměti, že k vysokým přenosovým rychlostem je zapotřebí širokého rádiového pásma, které je omezeným zdrojem a proto je na příděl. Navíc se musí při provozování sítí 5G respektovat i jiné aplikace rádiové komunikace, jako jsou např. televizní vysílání, rádiová komunikace domácích automatizačních zařízení atd.

Při nasazení systému 5G sítě se předpokládá, že nejprve budou použity následující tři kmitočtové rozsahy:

- 694–790 MHz (pásmo 700 MHz),
- 3400–3800 MHz (pásmo 3,4–3,8 GHz),
- 24,25–27,5 GHz (pásmo 26 GHz).

**Pásmo 700 MHz** se vyznačuje dobrým šířením signálu a relativně nízkým útlumem (absorpcí signálu různými překážkami), což poskytuje možnost pokrýt rozlehlé oblasti. Díky tomu lze toto pásmo použít k poskytování služeb typu mMTC, tj. pro masivní komunikaci mezi stroji.

Více antén a větší počet buněk znamená, že k vysílání signálů bude potřebný přiměřeně menší výkon, a to i v případech koncových zařízení, např. chytrých telefonů.

Jelikož u tohoto pásma nelze použít technologii mMIMO, která by umožnila zvýšit kapacitu buňky, nebylo by možné poskytnout uživatelům vysokorychlostní přístup k internetu prostřednictvím mobilních zařízení (služba eMBB). Ovšem toto pásmo lze použít společně s níže uvedenými pásmy, které poskytují vyšší kapacitu spektra. U tohoto postupu dochází ke zlepšení kvality přenosu směrem od uživatele k základnové stanici (tzn. „uplink“).

**Pásmo 3,4–3,8 GHz** použití mMIMO umožňuje a zároveň představuje kompromis mezi šířením a kapacitou, která je dána možnostmi spektra, zejména v kombinaci s pásmem 700 MHz, jimž lze dosáhnout lepšího přenosu ve směru „uplink“. Toto pásmo by sloužilo k vytvoření překryvné vrstvy pro služby typu eMBB pro několik největších měst v Polsku, včetně komunikačních tras mezi nimi. Toto pásmo lze také použít k implementaci služeb, k jejichž provozu je zapotřebí spolehlivého připojení a velmi nízké latence (URLLC) pro aplikace vyžadující přenos velmi velkých datových objemů, například obrazu s vysokým rozlišením pro lékařské nebo navigační účely (viz infografika na straně 126).

**Pásmo 26 GHz** má svoje omezení, co se oblasti použití týče, zejména s ohledem na požadavky na přenos ve směru od uživatele k základnové stanici („uplink“ spojení). Lze jej použít mimo jiné pro širokopásmové internetové hotspoty a pikobuněkové aplikace mMTC/URLLC. Vzhledem k velké kapacitě a velkým možnostem přidělu spektra lze s tímto pásmem počítat také pro zajištění přístupu k internetu v rámci služby Fixed Wireless Access.

### Nové technologie

Mezi nejdůležitějšími novými technologickými řešeními 5G v rámci rádiové sítě je třeba zmínit následující technologie: 1) Massive MIMO (ang. *Massive Multiple Input, Multiple Output*), 2) tvarování rádiového paprsku (ang. *beam forming*), 3) Multi-RAT (ang. *Multi-Radio Access Technology*).

Zatímco v současných řešeních se nejčastěji používají sektorové antény, v sítích 5G se budou používat antény s technologií Massive MIMO. Jedná se o rozšíření technologie MIMO, která se v současné době používá mimo jiné v síti LTE-Advanced. V technologii MIMO se každá anténa skládá z několika prvků, které zajišťují stabilnější přenos a umožňují dosáhnout vyšší přenosové rychlosti, a zároveň jsou schopny pokrýt více uživatelů v oblasti dané buňky. Naproti tomu Massive MIMO počítá s použitím antén s mnohem větším počtem komponent (např.  $64 \times 64$ ), což výrazně zvýší efektivitu komunikace v dané oblasti pokryté signálem.

Dalším prvkem, který umožňuje zvýšit účinnost rádiového přenosu v sítích 5G, je použití technologie tvarování rádiového paprsku. Tvarování paprsku je technologie, díky níž lze pomocí antén

typu Massive MIMO směřovat rádiový signál pouze ke konkrétnímu přijímacímu zařízení a nerozptylovat jej do všech směrů. Tato technologie používá pokročilé algoritmy zpracování signálu k určení té nejlepší dráhy, kterou se má rádiový signál dostat k uživateli. Tím dochází ke zvýšení přenosové kapacity, neboť se snižuje náchylnost signálu na rušení vyvolaná např. jevem interference, neboli skládání rádiových vln.

Použitím technologie Multi-RAT, tj. vícenásobného rádiového přístupu, bude uživatelům umožněno, aby se podle jejich požadavků a aktuálního vytížení sítě mohli automaticky připojovat pomocí takového/takových rozhraní, které je/jsou v daném okamžiku pro ně optimální (např. Wi-Fi, 4G, 3G).

Použití nových technologických řešení v rádiové síti 5G je spojeno s nutností rozšíření anténní infrastruktury a výstavbou nových anténních systémů. Budou totiž používat nová, vyšší kmitočtová pásma a pokrývat buňky, které budou menší než doposud. Výkon potřebný pro vysílání signálů prostřednictvím těchto zařízení pak bude o to nižší a totéž platí i pro koncová zařízení (např. chytré telefony).



## IV.3

## Uplatnění 5G

ANNA STOLARCZYK, MAREK SYLWESTRZAK

Potenciální aplikace sítě 5G vyplývají především z možnosti připojení velmi velkého počtu zařízení s nízkou spotřebou energie (mMTC) a zavedení tzv. ultra spolehlivého přenosu s nízkou latencí (URLLC – viz oddíl IV.2. výše). Tyto dvě vlastnosti 5G otevírají dveře novým aplikacím mobilní sítě a významnému rozvoji těch stávajících.

### Průmysl 4.0

Průmysl čtvrté generace – označovaný také jako Průmysl 4.0 (jeho charakteristickým rysem je používání internetu a umělé inteligence – předchozí generace byly založeny na přístupu k počítačům, elektrickým zařízením a parním strojům) – může mít z přístupu k technologii 5G obrovský prospěch. Uplatnění této technologie v Průmyslu 4.0 se zaměřuje na čtyři základní oblasti: robotizace (malé autonomní roboty spolupracující s ostatními prvky výrobního procesu), automatizace výrobních procesů, rozšířená realita (během činností, jako jsou školení, údržba strojů, vizualizace a analýza dat, a také při navrhování) a řízení logistiky (od objednávek po distribuci, např. autonomní překládková vozidla).

Již dnes probíhají pilotní akce v této oblasti.

Ve švédské společnosti na výrobu ložisek se síť 5G používá k personalizaci výrobku a současně i maximalizaci efektivity výroby – aniž by byla ohrožena flexibilita, sledovatelnost, udržitelnost nebo bezpečnost. Řešení je založeno na vytvoření sítě propojených strojů, které výrobcům umožňují shromažďovat, analyzovat a distribuovat data v reálném čase<sup>29</sup>.

Jedna továrna v Talinu použila rozšířenou realitu pro řešení problémů, plánování údržby, diagnostiku poruch a školení, čímž se jí snížily náklady na poruchy (dodatečné komponenty, materiály a práce) a zkrátily prostoje ve výrobě. Časové úspory dosahují až 50 procent<sup>30</sup>.

5G se dostává také do důlního průmyslu. Nová technologie slouží ke zvýšení bezpečnosti a efektivity práce v dolech, mimo jiné umožněním dálkového ovládní strojů a inteligentního větrání. Díky nízké latenci a velmi rychlé konektivitě se používají aplikace, které jsou propojeny s více zdroji informací (zvuk, obraz, dotykové technologie) a pomáhají lidem vyhnout se nejnebezpečnější oblasti. Kotevní šrouby jsou navíc vybaveny systémem speciálních senzorů, které přenášejí informace o vibracích, aby byla zajištěna maximální bezpečnost při práci v podzemí<sup>31</sup>.

V čínském závodě v Nanjing se používají digitální šroubováky vybavené mobilní technologií založenou na „internetu věcí“ (IoT). V továrně je přibližně 1 000 přesných šroubováků, které je třeba pravidelně kalibrovat a mazat podle doby jejich používání. Až dosud se to provádělo ručně ve stanovených intervalech se záznamem do papírových deníků.

<sup>29</sup> <https://www.ericsson.com/en/cases/2017/skf>

<sup>30</sup> <https://www.ericsson.com/en/news/2018/1/5g-manufacturing-tallinn>

<sup>31</sup> <https://www.ericsson.com/en/cases/2017/boliden>

Přesné nástroje byly vybaveny senzory, které sledují pohyby v reálném čase. Shromážděná data jsou odesílána přes mobilní síť IoT v soukromém cloudu a systémech typu *back-end*, které umožňují jejich zpracování a analýzu. S digitálními šroubováky bude továrna schopna nahradit manuální sledování dat o používání nástrojů automatizovaným řešením – sníží přitom podíl manuální práce o 50 procent. Protože jsou náklady na zařízení nízké, továrna plánuje zcela zrušit ruční monitorování a údržbu<sup>32</sup>.

Pro průmyslové aplikace jsou vyvíjeny také roboti, kteří se pohybují samostatně a lze je ovládat odkudkoli na světě. Tito „chytřejší“ roboti budou schopni reagovat na okolí podobně jako člověk – budou v reálném čase identifikovat překážky a vyhýbat se jim. K tomu je však zapotřebí okamžitý přenos obrovského množství informací. Aby to bylo možné, musí být funkce ovládání robotů přesunuta do cloudu, který jim zajistí svůj obrovský výpočetní výkon. Pro tento úkol je nezbytná nižší latence a vyšší přenosová kapacita ve srovnání s jinými formami bezdrátové komunikace – tyto parametry zaručí právě technologie 5G.

### Vertikální integrace (vertical market)

Technologii 5G lze také použít ve vertikálně integrovaných průmyslových odvětvích. Vertikální integrace spočívá v technologickém propojení oddělených fází výroby, distribuce, prodeje nebo jiných ekonomických procesů v jednom subjektu. Vertikální integrace se týká podniků, které jsou vzájemně propojeny v rámci stejného výrobního řetězce.

Zvýšení významu vertikální integrace bude výsledkem rozvoje Průmyslu 4.0, spočívajícího v digitální integraci všech průmyslových systémů a robotizaci ve spojení s velmi nízkou účastí lidí na procesech uvnitř podniku. Síť 5G má zajistit další krok k této integraci – úplnou transformaci průmyslu. Podniky budoucnosti budou vyrábět celé sestavy výrobků společně a budou vzájemně úzce spolupracovat při sdílení svých technologických kapacit. Díky tomu budou moci přímo jednotlivé stroje uzavírat smlouvy<sup>33</sup>.

Síť 5G bude podporovat širší portfolio aplikací s různými požadavky, od vysoké spolehlivosti po velmi nízkou latenci s vysokou přenosovou kapacitou a mobilitou. Výše uvedené vlastnosti urychlí vertikální integraci v několika oblastech: automobilový průmysl, zábava, e-zdravotnictví, e-průmysl, telekomunikace.

Inženýři již nyní pracují na konkrétních aplikacích.

V oblasti automobilového průmyslu k nim mimo jiné patří: sběr a nepřetržitá analýza údajů o stavu vozidla, které budou použity pro tvorbu scénářů provozování vozidla. Na jejich základě pak výrobci automobilů budou moci vytvářet lepší návrhy vozidel a také lépe vyvíjet a řídit jejich výrobu a prodej. Výrobci automobilů se ve svých aktivitách zaměřují na nabízení čím dál tím kvalitnějších výrobků a zvyšování spokojenosti zákazníků. Statistiky používání společně s větším množstvím informací o poruchách mohou přispět k zamezení jejich vzniku v budoucnu. Se shromažďováním informací o potřebách a návycích řidičů využívajících dostupné služby navíc vznikne možnost nabízet personalizovanější obsah a služby. Síť 5G umožní provádět efektivnější diagnostiku elektronických součástek, jejichž životnost je mnohem kratší než životnost celého vozidla.

V dopravě a logistice může síť 5G podporovat integraci společností podporou správy vozového parku (financování, údržba, sledování a diagnostika, monitorování rychlosti, stavu paliva) a řidičů (zajišťování bezpečnosti a hygieny práce). Vertikální integrace s využitím sítě 5G umožní identifikovat „špatné řidiče“ a usnadní jim zbavit se jejich nebezpečných návyků, čímž bude zvýšena bezpečnost vozového parku. Díky trvalému sledování trasy vozidla bude navíc možné zajistit zvýšený dohled na bezpečnost svěženého zboží.

<sup>32</sup>

<https://www.ericsson.com/en/networks/trending/insights-and-reports/5g-for-manufacturing>

<sup>33</sup>

<https://businessinsider.com.pl/firmy/zarzadzanie/przemysl-40-na-fg-time-2018-jaroslav-tworog/3qjr07k>

V oděvním průmyslu se díky síti 5G může uplatnit Fashion Tech, tedy technologie, jako jsou elektronické štítky, chytré zkušební kabinky nebo progresivní systémy osvětlení a klimatizace, díky nimž bude možné lépe poznat potenciální preference zákazníků. Patří zde také investice do inteligentních prodejen. Speciální kamery, které průběžně zaznamenávají obraz a vytvářejí tepelné mapy a dráhy, kudy se kupující nejčastěji pohybují, mají umožnit nejen pohodlný prodej co největšího množství zboží, ale i zjistit preference potenciálního zákazníka. Shromážděná data by pak sloužila k výběru nejlepšího místa na prodejně, kde budou vystaveny vlajkové modely dané kolekce<sup>34</sup>. Použití technologie 5G může oděvnímu průmyslu pomoci vytvořit a implementovat nové systémy pro překlenutí mezery mezi výrobcí, velkoobchodem a maloobchodem.

### Smart cities (chytrá města)

Služby *smart cities* jsou obvykle založeny na prostorových informacích zpracovávaných v reálném čase a týkají se mnoha oblastí života obyvatel. Většina služeb založených na technologii 5G spadá do následujících oblastí: inteligentní řízení dopravy (městská hromadná doprava a silniční provoz, reakce v reálném čase na každodenní události, např. dopravní zácpy), optimalizace a sledování spotřeby a přenosu energií, monitorování znečištění ovzduší, kvality vody, odpadové hospodářství, správa městské infrastruktury, ochrana zdraví, bezpečnost.

Níže jsou uvedeny příklady konkrétních služeb s nimiž se počítá v rámci *smart cities*.

**Inteligentní řízení dopravy** bude založeno na údajích ze zařízení pro řízení a měření silničního provozu (např. senzorů, kamer, zastávkových informačních panelů) a z městské hromadné dopravy. Bude možné upravit nastavení světelných signalizačních zařízení pro zajištění optimální plynulosti silničního provozu.

Informační panely poskytnou cestujícím informace o příjezdech autobusů a tramvají v reálném čase. Integrovaná operační střediska a datové platformy mohou na základě shromážděných údajů o počtu uživatelů, kteří používají městskou hromadnou dopravu, a těch, kteří v daném čase hodlají nastoupit do autobusů nebo tramvají, efektivněji využívat vozový park MHD. To by se pak mělo promítnout do kratších čekacích dob pro cestující ve veřejné dopravě.

**Chytré veřejné osvětlení** bude sledovat dopravní tok pomocí sítě senzorů a kamer. Předpokládá se, že bude propojeno s autobusy a bude dostávat informace nejen o poloze vozidel na trase a jejich zpoždění, ale i o počtu cestujících, které v daný okamžik přepravují. Systém bude mít možnost prodloužit nebo zkrátit zelenou na semaforu. Optimalizace světelné signalizace v reálném čase zajistí efektivnější tok vozidel.

**Chytré parkování** umožní významně zkrátit dobu parkování a snížit kongesci na parkovištích, a to pro všechny řidiče. Díky informacím o volných parkovacích místech, dostupným v reálném čase, se řidiči dostanou přímo na místo, které je identifikované jako volné pomocí senzorů 5G instalovaných na lampách veřejného osvětlení nebo v silnicích.

**Autonomní vozidla** mohou být doplňkem veřejné dopravy a vyřešit problém prvního/posledního úseku při dojíždění do práce. Předpokládá se, že automatizovaná vozidla zvýší mobilitu seniorů a osob se zdravotním postižením. Technologie pro komunikaci autonomních vozidel mezi sebou – V2V (Vehicle-to-Vehicle) – a mezi vozidly a okolím, tzn. dopravními značkami nebo světelnými signalizačními zařízeními, autobusovými zastávkami a dokonce i samotnou silnicí – V2I (Vehicle-to-Infrastructure) – se promítnou do zvýšené bezpečnosti silničního provozu. Počet dopravních nehod ve městech by se měl snížit tím, že budou eliminovány lidské chyby, které jsou nyní nejčastější příčinou nehod. Vozidla si budou moci trasu předem vyhodnotit, naplánovat alternativní trasu cesty a vyhnout se tak přeplněným oblastem.

<sup>34</sup> <https://www.newsweek.pl/biznes/fashion-tech-nowoczesne-technologie-w-swiecie-mody/0pxr2qh>

Navíc budou moci cestujícím nabídnout alternativní dopravní spojení tím, že v reálném čase ověří aktuální časy autobusů nebo vlaků a naleznou nejrychlejší způsob cestování. Díky schopnosti autonomních vozidel pohybovat se s minimálními rozestupy (tzv. jízda v konvoji), použití pokročilých systémů řízení dopravy (např. dynamické mýtné) a využití infrastruktury vyčleněním jízdnic pruhů pro autonomní vozidla se výrazně zvýší kapacita silniční infrastruktury.

Navíc by používání autonomních vozidel mělo přispět k: minimalizaci problému kongesce ve městech (autonomní vozidla mohou být zaparkována těsněji u sebe než stávající automobily, protože řidič musí mít dostatek prostoru, aby mohl vystoupit a opustit parkoviště), snížení spotřeby paliva, což se zároveň projeví v menším znečištění ovzduší.

**Chytrá správa energie** bude založena na systému elektronických senzorů propojených prostřednictvím sítě, která bude napojena na speciální software. Úkolem systému bude provádět měření, monitorovat, řídit a optimalizovat energetické toky v síti. Chytrá síť umožní uživatelům lépe pochopit jejich dosavadní spotřebu, předvídat jejich budoucí spotřebu a ušetřit na účtech za energie. Naproti tomu budou dodavatelé energií schopni předvídat zvýšení poptávky, pomáhat vyrovnávat zatížení sítě a omezit plýtvání, což jim umožní zlepšit distribuci energií a v konečném důsledku povede ke snížení nákladů pro spotřebitele. Při výpadku proudu bude provedena diagnostika v reálném čase s případným přepojením uživatelů na jiný transformátor nebo zařízení. Součástí správy energií jsou **inteligentní elektroměry**, které budou se zavedením technologie 5G mnohem přesnější než dnes (např. umožní uživatelům sledovat, která zařízení v domácnosti spotřebovávají nejvíce elektřiny a v jakou denní dobu jim vznikají nejvyšší náklady), a **vzdálené monitorování energetických zařízení** (jako jsou větrné a solární elektrárny). Inteligentní elektroměry ani dálkové monitorování nepředstavují žádná nová řešení, nicméně se zavedením služeb 5G bude zajištěna vyšší přenosová rychlost a mnohem nižší latence, čímž bude možné shromažďovat informace v mnohem větším detailu.

Díky **inteligentním systémům veřejného osvětlení** se bude intenzita osvětlení přizpůsobovat intenzitě provozu a denní době. Data z pohybových a povětrnostních senzorů instalovaných v pouličních lampách zajistí, že bude možné veřejné osvětlení automaticky řídit podle povětrnostních podmínek, pouličního provozu a dostupnosti přirozeného světla, což povede ke snížení spotřeby energie, prodloužení životnosti lamp a snížení nákladů na jejich výměnu. Stejně tak budou i jednotlivé žárovky vybaveny senzory, takže se bude úroveň osvětlení automaticky měnit podle toho, zda je zataženo, příp. při nízké intenzitě provozu. Informace, které se ze senzorů odesílají do řídicího systému, budou po zpracování k dispozici obyvatelům. Pokud dojde k výpadku proudu, inteligentní technologie provede přesnou diagnostiku v reálném čase a identifikuje dotčený transformátor, čímž se urychlí oprava a zkrátí prostoje. Obdobně jako pouliční osvětlení bude fungovat i osvětlení na parkovištích, to znamená, že bude ztlumeno, nebude-li registrován žádný provoz. Když pak přijede vozidlo a je detekováno, zapne se osvětlení příslušných sektorů.

**Inteligentní budovy** budou používat různé systémy k zajištění bezpečnosti, udržování zdrojů a zajištění zdravotně nezávadného prostředí. V rámci inteligentních budov jsou nasazovány: **bezpečnostní systémy** (dálkové monitorování, biometrie, bezdrátové alarmy), **inteligentní vytápění a větrání** (monitorování různých parametrů, jako například teplota, tlak, vibrace, vlhkost uvnitř budov), **inteligentní řízení spotřeby vody** (díky mobilním aplikacím si budou spotřebitelé hlídat využívání vodních zdrojů ve svých domácnostech).

V oblasti **bezpečnosti** mohou nová řešení zahrnovat například **bezpečnostní kamerové systémy** (CCTV) s přenosem několika záběrů v rozlišení HD a 360° v reálném čase. Monitorování může zahrnovat veřejné prostory nebo kritickou infrastrukturu. Může být propojeno se systémy pro rozpoznávání tváře, duhovky nebo otisků prstu, což umožňuje efektivní identifikaci pohřešovaných osob nebo osob podezřelých ze spáchání trestného činu.

Systém by měl vést ke zvýšení bezpečnosti, protože bude schopen automaticky zasílat příslušným orgánům informace o zaznamenaných trestných činech. Stejný cíl bude mít **system automatické detekce nebezpečí**, který bude schopen detekovat podezřelé předměty, anomálie nebo poruchy na veřejných místech, jakož i nebezpečné meteorologické události.

### E-zdravotnictví

Technologie 5G umožní revoluci v oblasti zdravotnictví a poskytování lékařské péče. Podívejme se na nejdůležitější plánované služby a technologie.

**Telepéče a telemedicína**, aneb dálkový přenos informací mezi pacientem s lékařem prostřednictvím mobilních zařízení. Implementací technologie 5G bude umožněno širší využití vysoce kvalitních videokonferencí, díky nimž budou moci pacienti konzultovat svůj zdravotní stav pomocí chytrých telefonů, tabletů atd. Tato technologie se bude vyvíjet s využitím akcelerometrů, jimiž je většina chytrých telefonů vybavena. Proměny je v zařízení, která upozorní příslušné zdravotnické služby (např. na to, že pacient upadl) nebo pošlou lékaři informace o zdravotním stavu pacienta tak, aby mohl určit správnou diagnózu. Díky videohovorům bude pacient moci nejen získat lékařské poradenství, ale i aktivně se účastnit rehabilitačních cvičení.

**Monitorování zdravotního stavu** a aktivity pacienta (včetně například užívání léků) bude prováděno pomocí mobilních zařízení (chytrých telefonů, chytrých brýlí apod.). Tato zařízení, spadající do skupiny IoMT („internet lékařských věcí“), budou podporovat plně prediktivní analýzu, což výrazně zkrátí čas potřebný k odhalení zdravotních problémů a značně zvýší přesnost diagnózy stanovené lékařem. Díky aplikaci, která bude pro monitorování životních funkcí používat kamery a senzory, budou lékaři vědět, v jaké fázi léčby jsou jejich pacienti, což pomůže při výběru správné léčby.

**Inteligentní léky** umožní snížit náklady na léčbu a vyvarovat se vedlejším účinkům. Cílem sběru osobních údajů o zdraví v reálném čase bude osobní farmaceutický přístup. Uvažovaný systém může například měřit hladinu protilátek v krvi a na tomto základě rozhodovat, zda je potřeba podat další dávku léčiva.

Do fáze realizace se dostane také **telechirurgie**, tj. zákroky prováděné s využitím vysoce kvalitních 360° kamer a chirurgických robotů. V telechirurgii najdou své uplatnění speciální taktilní zařízení, jako například rukavice, které umožní chirurgovi vzdálený pohyb prstů a přenášejí „pocit“ dotyku pacienta, jenž bude operován z jiného místa.

**Kombinovaná záchranná služba** bude založena na komunikaci v reálném čase mezi nemocnicí a sanitkou, která jede z místa události. Cílem je sdílení dat pro konzultaci. Technologie 5G může také zjistit, kdy osoba závislá na péči druhé osoby opustí svůj domov a vzniká nebezpečí, že se ztratí, nebo detekovat, že se jí něco stalo, když se po delší dobu nepohybuje.

**Mobilní roboty** budou pomáhat starším lidem nebo osobám se zdravotním postižením. V Singapuru se již dnes testuje řešení, které díky použití pohybových senzorů v bytech umožňuje pracujícím Singapurčanům mít kontrolu nad tím, zda jsou jejich příbuzní, kteří zůstali doma, v bezpečí. Nebude-li v bytě po delší dobu detekován pohyb, systém prostřednictvím chytrého telefonu okamžitě informuje pečující osobu, která může ihned reagovat, kontaktovat svého blízkého a dozvědět se, zda je vše v pořádku. Toto řešení umožňuje pečujícím osobám věnovat se své práci, aniž by museli volit mezi rodinnými a pracovními povinnostmi.

### Ochrana životního prostředí

Potenciální možnosti využití technologie 5G k ochraně životního prostředí do značné míry vyplývají z vývoje služeb IoT a *smart cities*, které jsou založeny na různých druzích bezdrátových senzorů. Síť 5G může ve své nejširší podobě usnadnit dosažení budoucnosti, která bude čistší, ekologičtější a mnohem šetrnější vůči životnímu, a to že dojde ke zvýšení efektivity mnoha procesů.

K příkladům konkrétních aplikací, které nebyly neuvedeny výše, ale budou nasazovány společně s 5G a provozně vyspělejšími senzory IoT, patří:

sledování vibrací a stavu materiálů v budovách, mostech nebo památkách; monitorování hladin hluku ve městech a jejich okrajových částech v reálném čase; měření energie vyzařované stanicemi mobilních sítí a Wi-Fi routery; efektivnější odpadové hospodářství a recyklace – zjišťování množství odpadu v kontejnerech, vývoj služeb pro trasování a recyklaci výrobků, které jsou hodnotnější nebo velmi škodlivé pro životní prostředí (elektronická zařízení, baterie, nábytek atd.); monitorování lesů a chráněných oblastí z hlediska vzniku požárů; monitorování stavu ovzduší a jeho znečištění, stavu vod, úrovně srážek; přesnější předpovědi zemětřesení; účinnější kontrola nebezpečných úniků; a také kontrola růstových podmínek ohrožených rostlinných a živočišných druhů pro zajištění jejich přežití a zdraví<sup>35</sup>.

Efektivnější ovládání – v reálném čase – a větší počet přesnějších senzorů se promítne do schopnosti rychlejší reakce na hrozby a živelní události, což má často klíčový význam pro záchranu ohrožených osob a životního prostředí.

### Zemědělství

Zemědělství je odvětví ekonomiky s vysokou mírou podnikatelského rizika a nízkými zisky, proto je zde zvyšování cílené a produktivní výroby klíčové. Technologie 5G nabízí nové možnosti pro monitorování, sledování a automatizaci zemědělství. IoT bude poskytovat informace o půdní vlhkosti, hnojení a nutričních hodnotách půdy i průběžné zprávy o předpovědi počasí pro lepší řízení procesů pěstování rostlin a chovu hospodářských zvířat. Umožní také sledovat zralost hospodářských zvířat a jejich výživových parametrů, což by mělo zemědělci pomoci přesně určit, kdy mohou být prodána. Technologie 5G zajistí možnost sledování obrovského množství různých environmentálních faktorů, které ovlivňují zemědělství. Bude tak možné optimalizovat činnost i v oblastech, které nejsou vysokorychlostním přístupem pokryty<sup>36</sup>. Takzvané inteligentní zemědělství, založené mimo jiné na automatizaci a robotice, používající umělou inteligenci v každé fázi výroby, jakož i přesná měření a aktivity na

základě shromážděných dat, je naprosto nezbytnou technologickou inovací, která má přispět k užití stále rostoucí populace, která se potýká s problémy klimatických změn. Kromě toho může 5G podporovat monitorování plodin pomocí dronů vybavených standardními a infračervenými kamerami, což by umožnilo rychlejší detekci nemocných, zraněných nebo ztracených zvířat či kontrolu zemědělských kultur, aniž by zemědělec musel opustit svůj dům<sup>37</sup>. Síť 5G by měla zajistit dovybavení zemědělské techniky pro optimalizaci a zefektivnění tradičních zemědělských operací, a také poskytnout zpětnou vazbu o podmínkách prostředí nebo provozním stavu techniky s ohledem na efektivitu, údržbu a potřebné náhradní díly.

Technologie 5G může zemědělcům poskytovat v reálném čase nejen samotné údaje, ale i jejich analýzy, například: o spotřebě vody a energii, pohybu hospodářských zvířat, stavu strojů či tržních cenách. Díky tomu může technologie 5G podpořit tuzemskou i mezinárodní konkurenceschopnost regionálních společností, pobízet k investicím a povzbuzovat další zavádění nových technologií.

### Technické pomůcky pro osoby se zdravotním postižením

5G to nejsou jen autonomní auta, inteligentní města, rozvoj vzdělávání nebo zvýšení bezpečnosti, ale také nové příležitosti pro starší občany a osoby se zdravotním postižením, zejména v kontextu prevence vyloučení těchto lidí ze společnosti.

Síť 5G bude podporovat služby pro osoby se všemi typy zdravotního postižení: pohybového aparátu, zrakového, sluchového nebo řečového, a také pro chronicky nemocné lidi, u nichž je nutné neustále sledovat životně důležité funkce.

<sup>35</sup> Libelium, 50 Sensor Applications for a Smarter World, [http://www.libelium.com/resources/top\\_50\\_iiot\\_sensor\\_applications\\_ranking/](http://www.libelium.com/resources/top_50_iiot_sensor_applications_ranking/)

<sup>36</sup> <http://www.carriotech.com/news/5g-use-cases-sensor-networks-farming-agriculture/>

<sup>37</sup> <https://disruptive.asia/5g-smart-farming-green-revolution/>

**Síť 5G bude podporovat služby pro každý druh zdravotního postižení: pohybového aparátu, zrakového, sluchového nebo řečového, a také pro chronicky nemocné lidi, kteří vyžadují neustálé sledování životně důležitých funkcí.**

Díky trvalému monitorování a analyzování dopravní situace pomocí sítě 5G se budou autonomní vozidla řídit automaticky, což zvýší mobilitu osob se zdravotním postižením<sup>38</sup>. Sensory ve vozidlech a nízká latence datových přenosů pomocí technologie 5G zajistí, že bude možné vyrobit automobily určené přímo pro nevidomé, kteří je budou řídit sami<sup>39</sup>.

Lokalizační a navigační služby pomohou nevidomým a slabozrakým dosáhnout jejich cíle při pohybu po městě. Současná řešení, která usnadňují nevidomým pohyb po obchodech nebo v zastavěných oblastech, se spoléhají na pomoc druhé osoby<sup>40</sup>. Naproti tomu technologii 5G lze využít k vytvoření inteligentních sluchátek, která v reálném čase poskytují vysoce přesné informace o aktuální poloze, směru k určenému cíli a překážkách. Toto řešení má nabídnout i celou řadu dalších funkcí, jako jsou mimo jiné: rozpoznávání obličeje, identifikace situace, rozpoznávání předmětů a jejich kategorizace. To vše může pomoci zrakově postiženým překonávat jejich každodenní překážky<sup>41</sup>. Další výhodou je, že díky rychlejšímu datovému (a tedy i obrazovému) přenosu se neslyšící budou moci účastnit videokonferencí ve znakové řeči<sup>42</sup>.

Propojení technologie 5G s „internetem věcí“ může zajistit lepší zdravotní péči o osoby se zdravotním postižením a propojení této technologie s inteligentními budovami pak usnadnit život v domácnosti<sup>43</sup>. Díky instalaci senzorů a technologie 5G budou moci pacienti s chronickým onemocněním či různými dysfunkcemi moci ovládat domácí spotřebiče, zvýšit svojí bezpečnost, odesílat zdravotnická data zdravotníkům nebo rozvíjet svou profesionální kariéru pomocí práce na dálku. Tato technologie umožní vytvářet schémata pro detekci mimořádných situací a rychle na ně reagovat.

### Vzdělávání a hry

Použití 5G pro e-learning a hry se zaměřuje na několik oblastí. První oblastí je dálkový e-learning, který nahrazuje tradiční metody výuky, a to díky použití nástrojů pro streamování videa s dosud nebývalou kvalitou a rychlostí. Další oblastí je rozšířené vzdělávání, které umožňuje učení pomocí tzv. „rozšířené reality“, která kvůli přenosu velkých datových objemů vyžaduje vysokorychlostní síť. Rozšířená realita (ang. *Augmented Reality*) je systém, který spojuje skutečný svět s obsahem, který je generován počítačem. Obvykle se k tomu používá obraz z kamery, který je v reálném čase doplněn obrazovými a zvukovými objekty, a v některých aplikacích i hmatovými nebo čichovými podněty. Díky rozšířené realitě je možné uživateli poskytnout doplňující informace nad skutečný prostor, který jej obklopuje. V oblasti zábavy se objeví mimo jiné hry využívající „rozšířenou realitu“, které přidají stávajícím hrám pro velký počet hráčů nový rozměr a navíc umožní hraní přímo v terénu.

S rozšířením 5G je pro oblast vzdělávání plánováno mnoho moderních služeb. Například bude možné uskutečňovat interaktivní videokonference nebo vzdálené vyučování – vše bude dostupné na mobilním telefonu.

<sup>38</sup> [https://5gmf.jp/wp/wp-content/uploads/2016/09/5GMF\\_WP101\\_12\\_Network\\_Tech\\_for\\_5G.pdf](https://5gmf.jp/wp/wp-content/uploads/2016/09/5GMF_WP101_12_Network_Tech_for_5G.pdf)

<sup>39</sup> <https://about.att.com/innovationblog/blindcaptain>

<sup>40</sup> [https://about.att.com/innovationblog/aira\\_wearables](https://about.att.com/innovationblog/aira_wearables)

<sup>41</sup> <https://www.huawei.com/minisite/giv/en/era.html>

<sup>42</sup> <https://www.ctia.org/news/5g-will-spur-new-opportunities-for-americans-with-disabilities>

<sup>43</sup> <https://www.rcrwireless.com/20150602/internet-of-things/iot-enabling-the-elderly-and-disabled>

Cestování do zahraničí usnadní průvodce s geolokací, které na mobilním zařízení zobrazí půdorys daného objektu, bližší informace o budově nebo nějakém předmětu, turistických atrakcích nebo personalizované nabídky ubytování nebo restaurací. Svě uplatnění najdou i interaktivní překladače, které budou fungovat v reálném čase na základě informací z kamery nebo zvukového záznamu.

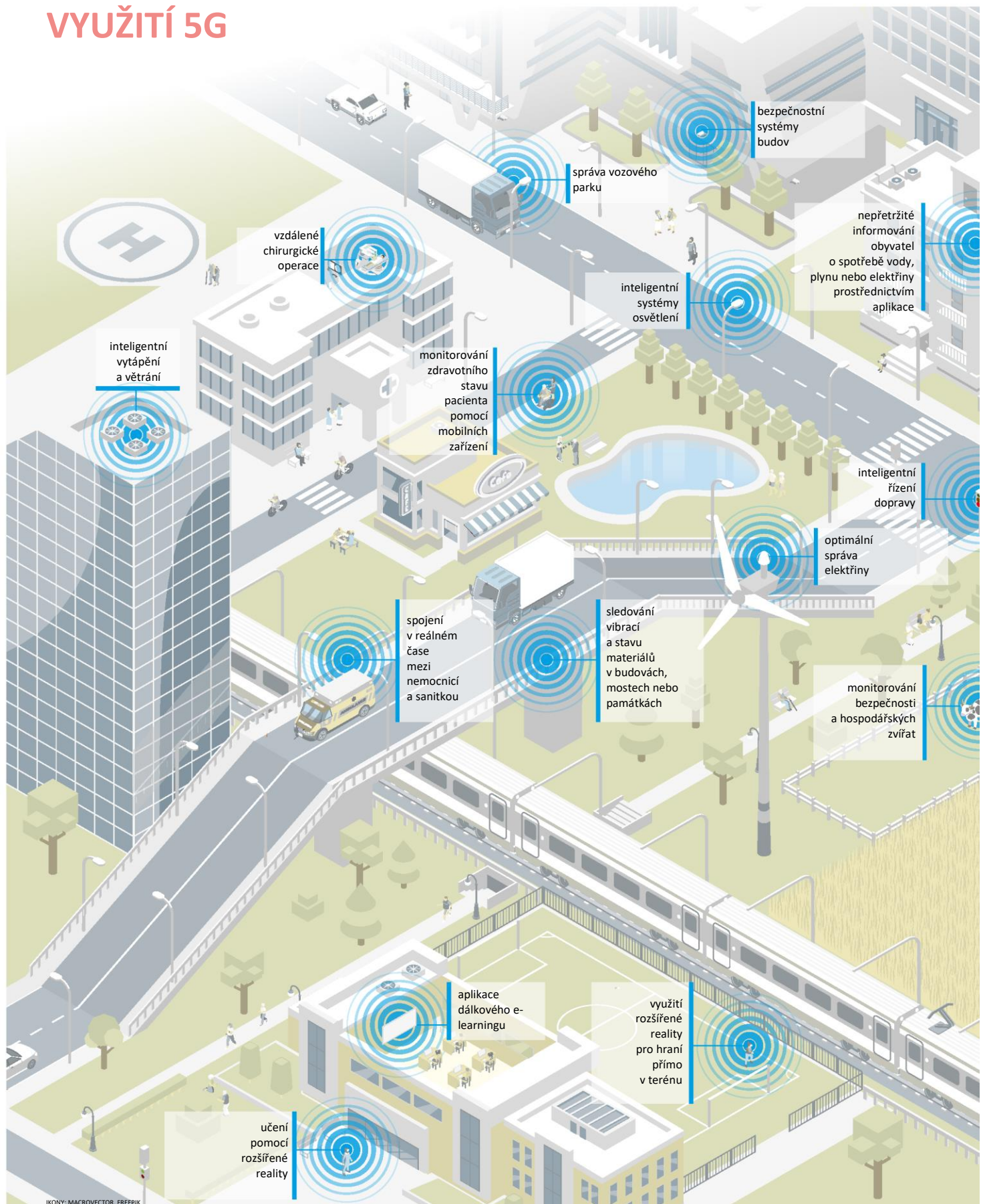
Zvýší se také možnosti identifikace pořízeného obrazového nebo zvukového vzorku automatickým prohledáním internetových zdrojů – tím lze rozpoznat známý obraz nebo hudební skladbu. Hodiny biologie bude možné obohatit identifikací zvířete, které vydává specifický zvuk (např. cvrlikání určitého druhu ptactva). Tento způsob prezentace látky a interakce s výukovými materiály může vzbudit zájem a urychlit učení dětí ve srovnání s učebními materiály z běžné knihy. Rovněž umožňuje individuálně přizpůsobit rozsah, formu, způsob a rychlost předávání informací ve vzdělávacím procesu schopnostem, predispozicím a potřebám žáka.

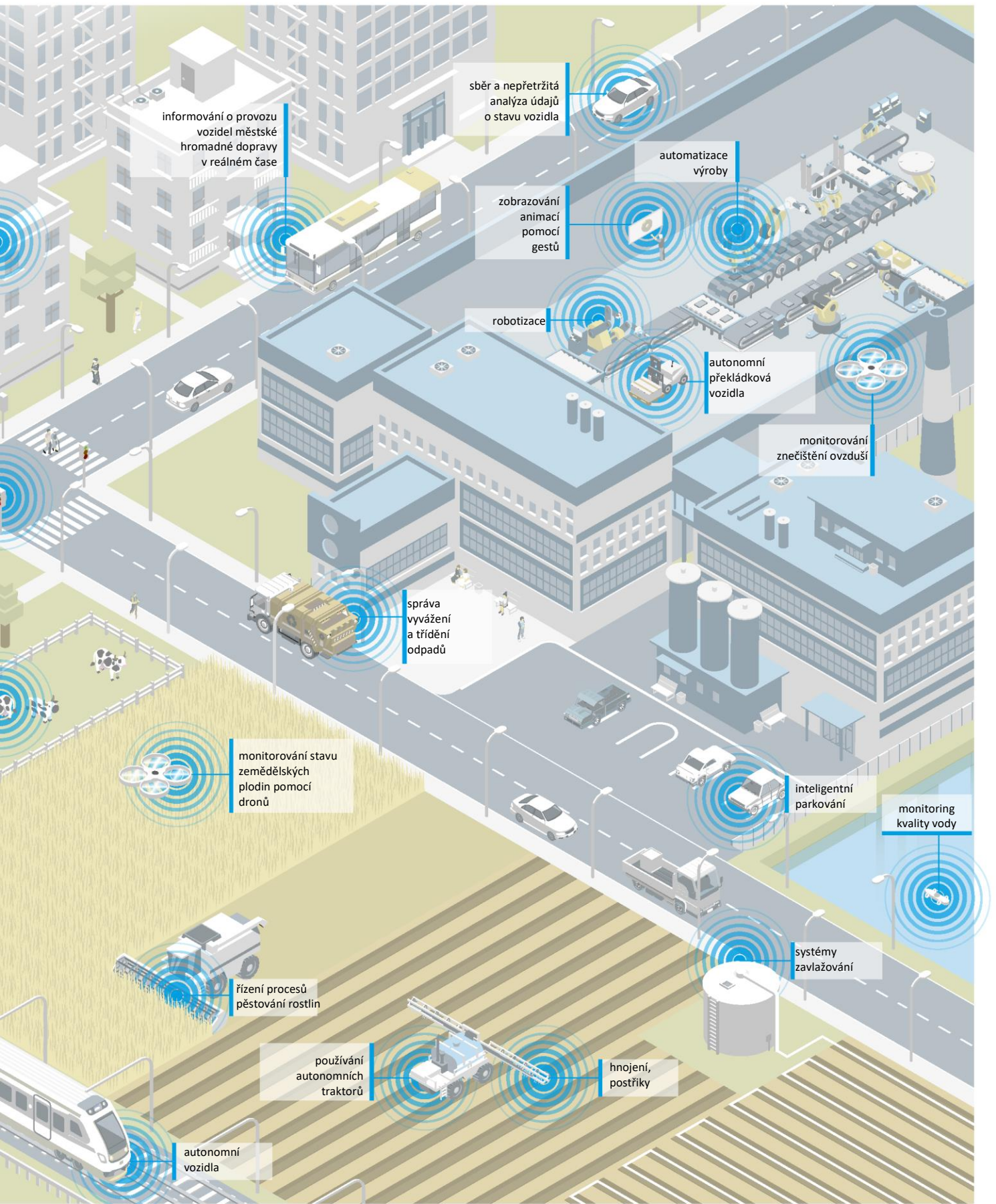
Objeví se geolokační hry s „rozšířenou realitou“, které pomocí chytrého telefonu zjistí, kde se hráč aktuálně nachází a zobrazí mu informace, které se pojí se skutečným světem. Taková hra reaguje na pohyb hráče nebo jeho pootočení konkrétním směrem a na to, zda se nachází v blízkosti určité budovy. Hra může také odeslat polohu hráče dalším účastníkům a tím umožnit vznik dalších interakcí. Další druh zábavy budou poskytovat hry na dálku nebo sport na dálku – např. půjde závodit pěšky nebo na kole se soupeřem, který je v jiném městě (budou se porovnávat výsledky hráčů, kteří budou závodit ve stejnou dobu, nebo se ostatní hráči virtualizují).

Nejedná se samozřejmě o všechny možné aplikace sítě 5G, ale pouze o ty, které již nyní můžeme předvídat. Lidská tvořivost však nezná mezí, a tak můžeme očekávat, že nás inovátoři, vizionáři a vynálezci mnohokrát překvapí. Můžeme si být také jistí tím, že se během příštího desetiletí naše životy v inteligentních městech s přístupem k řadě nových služeb, včetně e-zdravotnictví, stanou pohodlnější a bezpečnější a z výhod technologického rozvoje budou těžit stále větší skupiny lidí, včetně těch nejvíce znevýhodněných.



# PŘÍKLADY VYUŽITÍ 5G





informování o provozu vozidel městské hromadné dopravy v reálném čase

sběr a nepřetržitá analýza údajů o stavu vozidla

automatizace výroby

zobrazování animací pomocí gestů

robotizace

autonomní překládková vozidla

monitorování znečištění ovzduší

správa vyvážení a třídění odpadů

monitorování stavu zemědělských plodin pomocí dronů

inteligentní parkování

monitoring kvality vody

řízení procesů pěstování rostlin

systémy zavlažování

používání autonomních traktorů

hnojení, postřiky

autonomní vozidla

## IV.4

## Jaké výhody přináší 5G?

BARBARA BARTOSZEWSKA , MAGDALENA OLENDER-SKOREK

Rozvoj 5G pomáhá dosáhnout celé řady výhod jak pro společnost (občany i podnikatele), tak pro celou ekonomiku.

### Pro občany

Z pohledu jednotlivého občana bude největším přínosem dostupnost nově vzniklých služeb, které budou lépe vyhovovat potřebám každého individuálního uživatele, budou personalizované a pokročilejší, a především budou poskytovány rychleji a efektivněji. Občan bude (v reálném čase!) využívat interaktivní e-slужby: pokročilé diagnostické metody v e-zdravotnictví, znalosti a možnosti poskytované e-zemědělstvím, výhody služeb *smart city* nebo třeba efektivnější vyřizování na úřadech. Tím ušetří čas a peníze, které by musel vynaložit na provedení těchto činností v offline režimu.

Výhody pro občana jsou patrné i v oblasti zábavy – např. možnost účastnit se hromadných kulturních akcí prostřednictvím vysoce kvalitních digitálních médií (bude možný přenos 4K a 8K na chytrých telefonech). 5G bude mít zásadní význam pro vývoj nových technologií podporujících budoucí digitální společnost, do níž bude převedena velká část obchodních transakcí.

Díky 5G bude možné zvýšit využití dronů při záchranných akcích (např. při živelní události), kdy je nezbytné použití vysoce kvalitních HD kamer, připojených k vysokorychlostnímu mobilnímu internetu s nízkou latencí a vysokou dostupností. Tím bude možné zajistit spolehlivé a bezpečné ovládání těchto zařízení.

Záchranáři se tak budou moci dostat všude tam, kde se jinak bezpečně dostat nelze, aniž by to ohrozilo životy ostatních lidí. 5G také zlepší bezpečnost každodenního života tím, že od základu změní způsob zprovoznování a údržby inteligentních domů. Předpokládá se, že 5G pomůže vyřešit stávající základní problémy uživatelů, jako jsou například potíže s konfigurací zařízení, jejich nespolehlivost či vysoká latence připojení. Použití mobilního připojení pomocí technologie 5G namísto nastavování domácí sítě WLAN a brány firewall umožní zvýšit aktivitu uživatelů a pomůže lépe zabezpečit jejich zařízení.

Technologie 5G také přinese změnu v rámci struktury zaměstnanosti. Objeví se nová povolání. Mnoho stávajících povolání bude technologicky podpořeno, nebo bude zcela nahrazeno stroji. Pro občany je tato změna přínosná v tom, že již nyní na trhu chybí nekvalifikovaní pracovníci pro provádění rutinních a opakujících se pracovních úkonů.

S technologií 5G bude pro domácnosti snazší spravovat jejich výdaje. Odhaduje se, že samotná spotřeba energie klesne o 20 %<sup>44</sup>, což při pohledu na současnou strukturu výdajů průměrné domácnosti<sup>45</sup> přináší úspory ve výši cca 45 PLN měsíčně. K tomu lze přidat racionalizované nákupy potravin (méně plýtvání a vyhazování jídla díky tzv. chytrým policím v ledničkách).

<sup>44</sup> „The value of 5G for cities and communities“, Juniper Research, 02, <http://www.mobileuk.org/cms-assets/O2%20Smart%20Cities.pdf>.

<sup>45</sup> GUS, „Budžety gospodarstw domowych w 2017 r.“, <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/warunki-zycia/dochody-wydatki-i-warunki-zycia-ludnosci/budzety-gospodarstw-domowych-w-2017-r-,9,12.html>.

Budeme-li předpokládat, že domácnosti vyhodí polovinu toho co v současné době, mohly by měsíční úspory dosahovat až 100 PLN. Nadto, s autonomními elektrickými vozidly bude možné ušetřit na pohonných hmotách v průměru 200 až 300 PLN měsíčně (to jsou nejčastější výdaje domácností na pohonné hmoty<sup>46</sup>).

### Pro podnikatele

Podnikatelům umožní 5G zpracovávat a uchovávat větší objemy dat, aniž by museli rozšiřovat své stávající hardwarové zdroje. Minimalizace latence datových přenosů jim ještě více usnadní vzdálený přístup k zařízením v automatizovaných podnicích. Díky tomu nebude nutné udržovat pracovní místa s nízkou produktivitou práce, na které je v současné době velmi obtížné najít zaměstnance. Kromě toho dojde ke zvýšení nabízené rychlosti připojení k internetu, a to až na stonásobek stávající rychlosti. Společnosti tak budou ve spojení se svými obchodními partnery nebo vzdálenými pobočkami v reálném čase a mohou jim prezentovat data a vést s nimi videokonference v rozlišení 4K nebo 8K (i prostřednictvím chytrých telefonů). Tím se sníží časová a finanční náročnost z důvodu absolvování služebních cest (odhaduje se, že alespoň o 75 %). Zároveň budou podniky prostřednictvím systému senzorů schopny snížit spotřebu elektřiny až o 20 %.

Dalšími, kdo bude čerpat z výhod vzniku 5G, budou samotné telekomunikační společnosti, které budou efektivněji využívat svou infrastrukturu k poskytování kvalitnějších služeb. Podle odhadů GSMA<sup>47</sup> se v důsledku zavedení 5G zvýší ukazatel hodnoty telekomunikačních společností (tzv. složená roční míra růstu, z ang. CAGR) v průměru o dalších 2,5 % až 5 % ročně (hodnota telekomunikačních společností začne růst rychleji).

### Výhody pro ekonomiku

Pro ekonomiku je největším přínosem 5G růst HDP, který se celosvětově odhaduje na cca 7 %. Vztáhneme-li toto číslo k současné výši HDP v Polsku (téměř 2 biliony PLN v roce 2017), dojdeme k výsledku, že by HDP mělo vzrůst o 138,8 miliard PLN. Velký podíl na tom (až 48 %) mají příjmy generované nově vzniklými službami<sup>48</sup>.

5G pozitivně ovlivní hospodářský růst prostřednictvím investic do kapitálu, zvýšení výrobních kapacit a zkvalitnění pracovní síly. Efektivnější správa zdrojů povede ke zvýšení životní úrovně společnosti. Čím dříve se na HDP projeví přidaná hodnota generovaná technologií 5G, tím rychleji se Polsko vydá na cestu budoucího rozvoje. Autoři studie zadané Evropskou komisí<sup>49</sup> odhadli, že v jen samotném průmyslu zvýší technologie 5G přidanou hodnotu o 1 % (s výjimkou automobilového průmyslu, který byl analyzován samostatně). Podle údajů Polského statistického úřadu (GUS) činila přidaná hodnota průmyslu v Polsku v roce 2016 téměř 336 miliard zlotých. Zvýšení produktivity o 1 procentní bod se tak promítne do národních účtů ve výši 3,3 miliardy PLN ročně.

Rozvoj jednotlivých odvětví pak představuje další úspory, které se odhaduje na několik, až dvacet procent ročně. Samotný pokles nákladů na dopravu umožní vznik úspor ve výši cca 2 % ze současných nákladů, což v kombinaci s údaji GUS (o nákladech na dopravní služby v Polsku) činí 1,8 miliard PLN. Vývoj e-zdravotnictví pak přinese státu roční úspory na úrovni 150 milionů PLN (0,13-0,2 % ze současných výdajů na zdravotnictví).

Vzhledem k tomu, že technologie 5G ovlivňuje téměř všechny oblasti socioekonomického života, přispěje nepřímo i ke **zlepšení konkurenceschopnosti ekonomiky** na mezinárodní scéně.

<sup>46</sup> Tamtéž.

<sup>47</sup> „The 5G era: Age of boundless connectivity and intelligent automation“, GSMA, 2017.

<sup>48</sup> „The 5G business potential“, Arthur D. Little and Ericsson, 2017.

<sup>49</sup> „Identification and quantification of key socio-economic data to support strategic planning for the introduction of 5G in Europe“, Závěrečná zpráva ze studie zadané Evropskou komisí, 2016.

# Slovník

---

**ALARA** – bezpečnostní pravidlo, pochází z anglické zkratky *As Low As Reasonably Achievable*: tak nízká (expozice), jak je to rozumně dosažitelné; používá se například u ionizujícího záření

**anténa** – zařízení pro vysílání a příjem elektromagnetické vlny s užitečným signálem

**anténa radioreléového spoje** – v mobilní síti: anténa určená pro komunikaci s jinou základnovou stanicí nebo základnovou řídicí jednotkou

**blízké pole** – elektromagnetické pole, které je pozorováno poměrně blízko u antény; pole v této zóně závisí na okamžitých hodnotách proudů a napětí v anténě, přičemž vztah mezi elektrickým a magnetickým polem může být velmi komplikovaný

**buňka** – oblast obsluhovaná jednou základnovou stanicí

**dozimetr** – zařízení k měření dávek ionizujícího záření a radioaktivity látek

**elektrické pole** – stav prostoru související s přítomností elektrických nábojů; je kvantifikováno intenzitou elektrického pole  $E$

**elektromagnetická hypersenzitivita** (ang. EHS) – určitou skupinou lidí (dle některých výzkumů cca 3 % společnosti) udávaná výjimečně silná tendence k vnímání specifických negativních příznaků (únava, slabost, tinnitus, nespavost aj.) z důvodu přítomnosti elektromagnetického pole; příčiny EHS nejsou dnes známy, ačkoliv některé studie uvádějí, že mohou být psychogenní a částečně nebo zcela vysvětlitelné efektem nocebo

**elektromagnetická vlna** – forma elektromagnetického pole, v němž dochází k pravidelné, vzájemně provázané změně parametrů elektrického a magnetického pole; formálně řečeno, vektory elektrického a magnetického pole se mění v sinusoidě; obrazně řečeno, jedná se o jev podobný vlnění na povrchu vody; elektromagnetická vlna je charakterizována frekvencí nebo vlnovou délkou

**elektromagnetické pole (EMP)** – jednotný způsob popisu elektrického a magnetického pole, který v 19. století navrhl J. C. Maxwell

**elektromagnetické záření (EMZ)** – v nejobecnějším významu se tímto pojmem označují veškeré formy časově proměnného elektromagnetického pole; v praxi se obvykle o EMZ hovoří pouze ve vztahu k vysokofrekvenční formě pole, např. jako o rentgenovém záření, ale už nikoliv o rádiovém záření

**elektrosenzitivita**, viz elektromagnetická hypersenzitivita

**foton** – elementární částice elektromagnetického záření

**frekvence** – jeden z parametrů elektromagnetické vlny, který popisuje to, jak často (kolikrát za danou časovou jednotku) se vrací ke stejnému stavu elektromagnetického pole v daném bodu; obrazně řečeno: kolikrát za sekundu se na daném místě objeví „vrchol“ vlny; jednotkou frekvence je hertz [Hz]

**plošná hustota výkonu/hustota zářivého toku** – radiometrická veličina elektromagnetického pole; její jednotkou je watt na metr čtvereční [ $W/m^2$ ]

**intenzita elektromagnetického pole** – fyzikální veličina elektromagnetického pole; obvykle se udává zvlášť intenzitu elektrické složky (E), ve voltech na metr [V/m] a zvlášť intenzitu magnetické složky (H), v ampérech na metr [A/m]

**ionizující záření** – takové záření, které je schopno vyvolat ionizaci, tzn. z elektricky neutrálního atomu nebo molekuly vytvořit iont, čili nabitou částici: nejjednodušším způsobem ionizace je vyrazení elektronu z daného atomu/molekuly; teprve záření s dostatečně velkou frekvencí (a tedy s dostatečně velkou energií jednotlivých fotonů), např. rentgenové nebo ultrafialové, je ionizující

**kmitočet**, viz. frekvence

**koncové zařízení**, viz terminál

**magnetické pole** – stav prostoru vyvolaný pohybem elektrických nábojů nebo některými materiály, tzv. permanentními magnety; je kvantifikováno intenzitou magnetického pole H

**měřič elektromagnetického pole** – zařízení k měření expozice elektromagnetickému pole; díky němu lze provést individuální měření v libovolném prostředí, např. v místě bydliště

**modulace signálu** – zkombinování užitečné informace se signálem („surový“ signál před modulací, který ještě tuto informaci neobsahuje, se označuje jako „nosný signál“); díky modulaci je možné přenášet informace např. pomocí elektromagnetických vln; ke příkladům modulace patří amplitudová modulace (AM), kdy je informace obsažena ve změnách amplitudy nosného signálu, a frekvenční modulace (FM), kdy je informace obsažena ve změnách frekvence nosného signálu

**neionizující záření** – takové záření, jehož energie není dostačující k vyvolání ionizace, a tak interakce tohoto typu záření s látkou nemá chemickou povahu, ale maximálně povahu tepelnou: nezpůsobuje vznik ani zánik chemických vazeb, ale může způsobit ohřev látky, včetně lidského těla; rádiové vlny a mikrovlny jsou právě neionizující povahy

**nejistota měření** – parametr, který vždy souvisí s výsledkem měření a charakterizuje rozsah hodnot vyplývající ze skutečnosti, že každé měření je prováděno pouze s omezenou přesností

**nocebo** – psychologický efekt, který spočívá ve vzniku nežádoucích zdravotních příznaků v důsledku negativních očekávání (např. vůči nějaké léčbě, nějakému fyzikálnímu jevu apod.); opak placebo efektu, který spočívá v tom, že v důsledku pozitivního psychického nastavení dochází ke zlepšení zdravotního stavu, a to i přesto, že není přítomno žádné fyzikální léčebné působení

**páteřní síť** – soubor prvků celulární sítě, které vzájemně propojují základnové stanice; patří k ní mimo jiné přenosový systém, jehož součástí jsou radioreléové spoje, optická vlákna, zařízení pro paketový přenos dat aj.

**penetrační hloubka** – míra interakce elektromagnetického záření s látkou; jedná se o takovou hloubku od povrchu daného tělesa, v níž došlo k pohlcení 86,5 % počáteční hustoty výkonu; její jednotkou je metr [m]

**sektorová anténa** – v mobilní síti: anténa určená pro komunikaci základnové stanice s účastnickými koncovými zařízeními, která svým záběrem pokrývá určitý sektor, obvykle 120 stupňů; na jedné základnové stanici je proto těchto antén více a společně pokrývají všechny směry, tedy 360 stupňů

**selektivní měření** – měření, které umožňuje posoudit úroveň elektromagnetického pole ve specifikovaném frekvenčním rozsahu, lze pomocí něj identifikovat jednotlivé frekvenční složky měřeného elektromagnetického pole

**měrný absorbovaný výkon (SAR)** – míra rychlosti absorpce elektromagnetického záření, které se v tkáních lidského organismu promění na teplo, jinými slovy: výkon absorbovaný jednotkou tělesné hmotnosti; její jednotkou je watt na kilogram [W/kg]

**širokopásmové měření** – měření, jehož výstupem je souhrnná hodnota elektromagnetického pole z měřicího rozsahu přístroje, bez možnosti identifikace jednotlivých frekvenčních složek; bez dalších měření a výpočtů není použitelné pro posouzení maximální úrovně tohoto pole

**šíření** – technický termín, jenž popisuje pohyb („cestování“) vln, například elektromagnetických, mechanických nebo akustických, prostorem; vlnění se může např. rozptylovat, lomit nebo odrážet; výzkum šíření elektromagnetických vln má velký význam pro navrhování telekomunikačních sítí

**tepelné záření** – elektromagnetické záření vyzařované plochou každého tělesa výhradně z důvodu jeho teploty; v případě těles s pokojovou teplotou toto záření spadá do infračerveného spektra a je pouhým okem neviditelné, na druhou stranu například sluneční světlo, které je pouhým okem viditelné, je vlastně tepelným zářením Slunce, jehož povrch má teplotu přibližně 5500° C

**terminál** – koncové vysílací a přijímací zařízení; v případě komunikace prostřednictvím mobilní sítě jsou typickými terminály mobilní telefon a modem

**vlnová délka** – vzdálenost mezi libovolnými dvěma vlnovými vrcholy, např. u elektromagnetické, ale i akustické nebo mechanické vlny; její jednotkou je metr [m]

**vzdálené pole** – elektromagnetické pole, které je pozorováno poměrně daleko od antény; v této zóně se okamžité změny proudů a napětí v anténě průměrují a charakter pole je relativně „hladký“; měření pole by mělo být prováděno ve vzdáleném poli

**základnová stanice** – rádiové vysílací a přijímací zařízení umístěné na nosné konstrukci (stožáru nebo věži) a vybavené anténami, které jsou základní součástí systému mobilní telefonie; všechna koncová zařízení („přijímače“) v dané oblasti, která je označována jako buňka, se spojují s danou základnovou stanicí; antény na základnové stanici jsou zdrojem signálu přijímaného mimo jiné všemi mobilními telefony, které se právě nacházejí v této buňce

## Autoři a konzultanti

---


### Mgr Barbara Bartoszewska

je hlavní specialistkou v Ústavu spojů, veřejné výzkumné instituci. Má dlouholeté zkušenosti v oblasti analýz telekomunikačního trhu. Je autorkou a spoluautorkou mnoha článků v odborném tisku.

### Mgr Grzegorz Czwordon

je pracovníkem Oddělení telekomunikace na Ministerstvu digitalizace. Zabývá se regulačními opatřeními týkajícími se investičního procesu pro telekomunikační infrastrukturu, otázkami elektromagnetického pole (PEM) a sítěmi 5G. Člen Meziresortní komise pro přípustné expoziční limity a intenzity zdraví škodlivých faktorů v pracovním prostředí.

### Mgr inž. Mariusz Gajewski


 <https://orcid.org/0000-0002-8084-6537>

je pracovníkem Ústavu spojů, v.v.i. a doktorandem na Varšavském vysokém učení technickém. Provádí vědeckou a výzkumnou práci v oblasti telekomunikačních sítí a „internetu věcí“.

### Inž. Arkadiusz Kalinowski

je pracovníkem Ústavu spojů, v.v.i., nyní na pozici juniorního specialisty. Zabývá se navrhováním měřicích systémů, ve Zkušebně telekomunikačních zařízení provádí zkoušky rádiových zařízení a systémů z hlediska rádiových parametrů, elektromagnetické kompatibility, ochrany zdraví uživatele a měření EMP. Aktivně se účastní měření EMP v okolí anténních systémů základnových stanic.


### Dr hab. inž. Piotr Kowalczyk

 <https://orcid.org/0000-0003-1655-7666>

od roku 2007 je pracovníkem Gdaňského vysokého učení technického. Jeho výzkumné zájmy se

soustřeďují na modelování elektromagnetických jevů (zejména rozptylu, vedení a vyzařování elektromagnetických vln) a sestavování numerických algoritmů umožňujících jejich analýzu. Je autorem a spoluautorem mnoha vědeckých publikací a spoluautorem knih „Základy elektromagnetizmu v úlohách“ a „Elektromagnetické pole a vlny v úlohách“ (Nakladatelství Gdaňského vysokého učení technického).

### Inž. Jakub Kwiecień


 <https://orcid.org/0000-0002-6977-9185>

je pracovníkem Ústavu spojů, v.v.i., nyní na pozici specialisty. Aktivně se účastní měření EMP v okolí anténových instalací základnových stanic. Od roku 2016 je jedním ze spoluautorů každoročních zpráv o realizovaných měřicích kampaních EMP.

### Mgr inž. Waldemar Latoszek

je pracovníkem Ústavu spojů, v.v.i. od roku 2005. Realizuje výzkumné projekty v těchto oblastech: „internet věcí“, 5G, kontrola a řízení síťového provozu, technologie *blockchain*. Autor a spoluautor mnoha publikací ve vědeckých časopisech.


### Dr hab. inž. Rafał Lech

 <https://orcid.org/0000-0002-5384-6830>

je pracovníkem Gdaňského vysokého učení technického. Specializuje se na výzkum jevů rozptylu, vedení a vyzařování elektromagnetických vln a navrhování filtračních systémů a antén. Autor a spoluautor mnoha článků v odborném tisku a spoluautor knih „Základy elektromagnetizmu v úlohách“ a „Elektromagnetické pole a vlny v úlohách“ (Nakladatelství Gdaňského vysokého učení technického).




**Dr hab. inž. Jordi Mongay Batalla**

 <https://orcid.org/0000-0002-1489-5138>


pracuje v Ústavu spojů, v.v.i. na pozici zástupce ředitele pro vědu. Byl koordinátorem více než 10 tuzemských a mezinárodních výzkumných projektů. Jeho vědecké zájmy se soustřeďují na následujících oblastech: síť další generace (5G, 6G), inovativní síťové architektury podporující myšlenku „internetu budoucnosti“ (včetně mj. *Content Aware Networks*, *Information Centric Networks*) a aplikovaného internetu, včetně mj. „internetu věcí“, chytrých měst a distribučních sítí pro multimédia. Je autorem nebo spoluautorem více než 130 publikací v knihách a mezinárodních a tuzemských časopisech. Dále je spoluautorem dvou patentů (polského a evropského).

**Dr Magdalena Olender-Skorek**

 <https://orcid.org/0000-0002-4831-6122>

je doktorkou ekonomických věd, odbornou asistentkou v Ústavu spojů, v.v.i., kde řídí Útvar analýz a vývoje trhu ICT. Pracuje také jako odborná asistentka a přednášející na Varšavské univerzitě, kde je členkou Centra antimonopolních a regulačních studií (CARS) a vedoucí Laboratoře elektronických komunikací. Zabývá se analýzami trhu elektronických komunikací, sestavuje zprávy pro Ministerstvo digitalizace, pojednávající mimo jiné o nových technologiích a jejich vlivu na ekonomiku a společnost, a také připravuje znalecké posudky pro komerční subjekty. Autorka a spoluautorka odborných článků a kapitol v knihách souvisejících s trhem informačních a komunikačních technologií (ICT).


**Mgr inž. Rafał Pawlak**

 <https://orcid.org/0000-0001-8334-0550>

pracuje v Ústavu spojů, v.v.i. od roku 2001, nyní je hlavním specialistou a zástupcem vedoucího Zkušebny telekomunikačních zařízení pro technické záležitosti. Od začátku své profesní kariéry se věnuje výzkumu rádiových zařízení a měřením elektromagnetického pole, člen Technické komise č.

183 v Polském normalizačním institutu a znalec spolupracující s Polským akreditačním centrem. Spoluautor článků týkajících se problematiky měření elektromagnetického pole. Od roku 2016 je jedním ze spoluautorů každoročních zpráv o realizovaných měřicích kampaních EMP, zahrnujících mimo jiné měření elektromagnetického pole v okolí anténních systémů základnových stanic.

**Mgr inž. Barbara Regulska**

 <https://orcid.org/0000-0002-6635-6961>


pracuje v Ústavu spojů, v.v.i. od roku 1984, nyní na pozici hlavní specialistky. Podílela se na četných vědeckých pracích týkajících se hodnocení a zkoumání technické kvality telekomunikačních sítí a služeb. Od roku 2016 se podílí na přípravě a dokumentaci měření EMP v okolí anténních systémů základnových stanic. Je jednou ze spoluautorek každoročních zpráv o realizovaných měřicích kampaních EMP, a také „Programu pro zjišťování úrovně elektromagnetických polí“ a Zprávy s názvem „Analýza způsobů monitorování EMP ve vybraných evropských zemích“.

**Prof. dr hab. Eugeniusz Rokita**

 <https://orcid.org/0000-0002-0320-8515>


je vedoucím Ústavu biofyziky Collegium Medicum Jagellonské univerzity. Autor více než 150 publikací týkajících se vlivu fyzikálně-chemických faktorů na lidský organizmus a biofyzikálního popisu vybraných patologických stavů.

**Mgr inž. Konrad Sienkiewicz**

 <https://orcid.org/0000-0003-0223-0099>


je pracovníkem Ústavu spojů, v.v.i. od roku 1997. Je spoluautorem zpráv a vědeckých článků, mimo jiné v oblasti sítí 5G, služeb poskytovaných prostřednictvím internetu, „internetu věcí“, telekomunikačních protokolů a služeb.

**Mgr Anna Stolarczyk**

 <https://orcid.org/0000-0002-6273-9236>


je seniorní vědeckotechnickou specialistkou v Ústavu spojů, v.v.i. Specializuje se na výzkum mnohoaspektového vývoje trhu elektronických komunikací. Je autorkou a spoluautorkou mnoha článků ve vědeckých časopisech.

**Dr Marek Sylwestrzak**

 <https://orcid.org/0000-0001-8962-8168>

je asistentem v Ústavu spojů, v.v.i. Specializuje se na výzkum vývoje trhu a služeb elektronických komunikací. Autor mnoha článků ve vědeckých časopisech.

**Dr hab. Grzegorz Tatoń**


 <https://orcid.org/0000-0001-7777-6892>

je vědecko-pedagogickým pracovníkem v Ústavu biofyziky Collegium Medicum Jagellonské univerzity. Je autorem několika desítek publikací v oblasti aplikace biofyzikálních metod v diagnostice a léčbě.

**Mgr inž. Augustyn Wójcik**

pracuje v Ústavu spojů, v.v.i., nyní na pozici specialisty. Ve Zkušebně telekomunikačních zařízení provádí zkoušky rádiových zařízení a systémů z hlediska rádiových parametrů, elektromagnetické kompatibility, ochrany zdraví uživatele a měření EMP.

**Dr inž. Jerzy Żurek**

 <https://orcid.org/0000-0003-3913-5941>

je ředitelem Ústavu spojů, v.v.i. od roku 2014, absolventem a přednášejícím na Katedře telekomunikací Námořní univerzity v Gdyni. Doktorát získal na Fakultě elektroniky, telekomunikace a informatiky Gdaňského vysokého učení technického s odborností: digitální radiokomunikace. K jeho vědeckým zájmům patří: systémy s rozptýleným spektrem, zejména využívající *Frequency Hopping*, a to jak terestriální, tak satelitní, celulární systémy, *software defined radio* (SDR), bezpečnost radiokomunikačních systémů, *embedded systems*, lokalizační systémy v rádiových sítích, bezdrátové sítě, bezdrátové senzorické sítě ad-hoc (ad-hoc WSN), *cognitive radio*, sítě 5G aj. Je autorem a spoluautorem více než 110 vědeckých prací z oboru radiokomunikací, publikovaných v časopisech, na tuzemských a mezinárodních konferencích a zpráv pro polskou státní správu. Je mimo jiné členem Komise pro elektroniku a telekomunikaci Polské akademie věd, Komise pro kosmický a satelitní výzkum Polské akademie věd, členem Rady Polské kosmické agentury, členem Komise G URSI, expertem ITU a IMO, členem Vědecké rady NASK-PIB, předsedou Vědecké rady Institutu EMAG a expertem Telekomunikační sekce Komise pro elektroniku a telekomunikaci Polské akademie věd.

