

MASARYKOVA UNIVERZITA

Lékařská fakulta

**POROVNÁNÍ KERATOMETRIE  
JAVALOVÝM KERATOMETREM A ROHOVKOVOU TOPOGRAFÍÍ**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

MUDr. Petr Kus

Autorka:

Bc. Lucie Glogarová

studijní obor Zdravotní vědy

směr Pedagogická specializace optometrie

Brno, duben 2010

MASARYKOVA UNIVERZITA

Lékařská fakulta



Katedra optometrie a ortoptiky

---

### ANOTACE

JMÉNO: Bc. Lucie Glogarová  
OBOR: Zdravotní vědy  
NÁZEV PRÁCE: Porovnání keratometrie Javalovým keratometrem  
a rohovkovou topografií  
VEDOUCÍ PRÁCE: MUDr. Petr Kus

Diplomová práce navzájem srovnává dvě různé metody měření rohovky: keratometrii Javal –Schiötzovým keratometrem a rohovkovou topografií.

Část práce je věnována popisu předního segmentu oka. Dále práce poskytuje přehled patologií rohovky manifestujících se v keratometrii. Patologie jsou rozčleněny na vrozené anomálie rohovky, ektázie rohovky a jiné patologie rohovky. Kromě toho je charakterizován astigmatismus a základní rohovkové parametry (tvar, zakřivení, excentricita, optická mohutnost rohovky a rohovkový astigmatismus). Vysvětlen je princip keratometrie, obsažen je i historický pohled na vývoj keratometrie, popis Javal - Schiötzova keratometru a rohovkového topografu a konečně jejich obecné porovnání.

Závěr náleží experimentální části zahrnující výzkum specializovaný na praktické porovnání Javal – Schiötz keratometru a rohovkového topografu, přičemž komparace se týká poloměru zakřivení přední plochy rohovky v hlavních meridiánech, odpovídající optické mohutnosti, polohy hlavních meridiánů a velikosti rohovkového astigmatismu.

#### **Klíčová slova:**

rohovka, poloměr zakřivení, astigmatismus, keratometrie, Javal – Schiötzův keratometr, rohovková topografie

MASARYK UNIVERSITY

Faculty of Medicine



Department of Optometry and Orthoptics

---

### ANNOTATION

NAME: Bc. Lucie Glogarová  
SPECIALIZATION: Health Sciences  
THEME OF THE WORK: Keratometry Comparison by the Javal Keratometer  
and Corneal Topography  
LEADER OF THE WORK: MUDr. Petr Kus

Diploma thesis compares two different methods of measuring the cornea: keratometry by the Javal –Schiötz keratometer and by corneal topography.

A part of the thesis is devoted to the description of anterior segment of an eye. Next, this work provides a review of corneal pathology manifesting in the keratometry. Pathologies are splitted into congenital corneal anomalies, corneal ectasias and other corneal pathologies. In addition, the astigmatism and basic corneal parametres (shape, curvature, excentricity, optical power of cornea and corneal astigmatism) are characterised there. A principle of keratometry is explained, a historical view of the progress of keratometry is also included, so the description of Javal – Schiötz keratometer and corneal topography and their general comparison.

A final section of the thesis belongs to the experimental part. It comprises the research specialized on practical comparison Javal – Schiötz keratometer and corneal topography, whereas the comparison is related to radius of curvature anterior corneal surface in main meridians, corresponding optical power, location of main meridians and a size of the corneal astigmatism.

**Keywords:**

cornea, radius of curvature, astigmatism, keratometry, Javal – Schiötz keratometer, corneal topography

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně za použití literatury uvedené v závěru práce.

Souhlasím, aby práce byla uložena v knihovně Lékařské fakulty a zpřístupněna ke studijním účelům.

V Brně 27. 4. 2010

.....

Lucie Glogarová

## Poděkování

Tímto děkuji MUDr. Petru Kusovi za udělené rady a vedení mé diplomové práce. Děkuji Katedře optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého za umožnění realizace experimentální části.

## Seznam použitých zkratek a symbolů

aj.	a jiné
atd.	a tak dále
ast.	astigmatismus
CCD	Charge-Coupled Device
D	dioptrie
$d$	vzdálenost předmětu a obrazu
$D_h$	optická mohutnost rohovky v horizontálním směru
$D_v$	optická mohutnost rohovky ve vertikálním směru
$f$	ohnisková vzdálenost
J-S	Javal – Schiötz keratometr
konst	konstanta
LASIK	laser in situ keratomileusis, laserová refrakční operace
$m$	zvětšení
$M_h$	meridián zakřivení přední plochy rohovky v horizontálním směru
$M_v$	meridián zakřivení přední plochy rohovky ve vertikálním směru
mg	miligram
mm	milimetr
$\mu\text{m}$	mikrometr
$n$	index lomu
např.	například
obr.	obrázek
OD	oculus dexter, pravé oko
OS	oculus sinister, levé oko
popř.	popřípadě
PRK	photorefractive keratectomy, laserová refrakční operace
resp.	respektive
$r_0$	centrální zakřivení přední plochy rohovky
$r_A$	axiální (sagitální) zakřivení
$r_T$	tangenciální zakřivení
$R_H$	poloměr zakřivení přední plochy rohovky v horizontálním směru
$R_V$	poloměr zakřivení přední plochy rohovky ve vertikálním směru
RT	rohovkový topograf

tj.	to je
tzv.	tak zvaný
tzn.	to znamená
$x$	vzdálenost mezi předmětovým bodem a ohniskem
$y$	velikost předmětu
$y'$	velikost obrazu předmětu
$y''$	velikost obrazu předmětu po průchodu pozorovacím dalekohledem
$\Delta$	rozdíl
$\varepsilon$	excentricita
$\sigma$	směrodatná odchylka
$\varphi$	optická mohutnost
3D	trojrozměrný
°	stupeň

## Seznam obrázků, grafů, tabulek a příloh

- Obr. 1:** Tvar rohovky
- Obr. 2:** Schéma průřezu rohovkou
- Obr. 3:** Průměr rohovky ve vertikálním a horizontálním směru
- Obr. 4:** Astigmatismus
- Obr. 5:** Dělení astigmatismu podle polohy fokál
- Obr. 6:** Rohovkový astigmatismus
- Obr. 7:** Horizontální a vertikální zakřivení
- Obr. 8:** Tangenciální zakřivení
- Obr. 9:** Axiální (sagitální) zakřivení
- Obr. 10:** Excentricita a tvar řezů v meridiánech
- Obr. 11:** Princip keratometrie
- Obr. 12:** Princip zdvojení značek keratometru
- Obr. 13:** Louis Émile Javal
- Obr. 14:** Hjalmar August Schiötz
- Obr. 15:** Placidovy kroužky
- Obr. 16:** Javal – Schiötz keratometr – historický model
- Obr. 17:** Měření zakřivení rohovky Javalovým oftalmometrem (historický model)
- Obr. 18:** Značky Javal – Schiötz keratometru
- Obr. 19:** Princip Javal – Schiötz keratometru
- Obr. 20:** Princip rohovkového topografu
- Obr. 21:** Příklad přehledu zobrazení dat rohovkového topografu (Keratograf OCULUS)
- Obr. 22:** Normální rohovka s nízkým astigmatismem podle pravidla
- Obr. 23:** Rohovka s astigmatismem podle pravidla
- Obr. 24:** Rohovka s astigmatismem proti pravidlu
- Obr. 25a:** Keratoplastika
- Obr. 25b:** Keratoplastika - 3D zobrazení
- Obr. 26a:** Keratokonus, stupeň 3
- Obr. 26b:** Keratokonus, stupeň 3 – 3D zobrazení
- Obr. 27:** Rohovka po laserové refrakční operaci - PRK
- Obr. 28:** Rohovka po laserové refrakční operaci - LASIK
- Obr. 29a:** Javal – Schiötz keratometr – celkový pohled
- Obr. 29b:** Javal – Schiötz keratometr – hlava keratometru ze strany vyšetřujícího



**Obr. 29c:** Javal – Schiötz keratometr – hlava keratometru ze strany vyšetřovaného

**Obr. 30a:** Rohovkový topograf (Keratograf 3) – celkový pohled včetně monitoru počítače

**Obr. 30b:** Rohovkový topograf (Keratograf 3)

**Obr. 30c:** Keratograf 3 – ze strany vyšetřovaného

**Obr. 30d:** Keratograf 3 – ze strany vyšetřujícího

**Obr. 30e:** Keratograf 3 – detail kaloty

**Histogram 1:** Rozdíly v poloměru zakřivení přední plochy rohovky  
odděleně pro pravé a levé oko v horizontálním směru

**Histogram 2:** Rozdíly v poloměru zakřivení přední plochy rohovky  
odděleně pro pravé a levé oko ve vertikálním směru

**Histogram 3:** Rozdíly v optické mohutnosti přední plochy rohovky  
odděleně pro pravé a levé oko v horizontálním směru

**Histogram 4:** Rozdíly v optické mohutnosti přední plochy rohovky  
odděleně pro pravé a levé oko ve vertikálním směru

**Histogram 5:** Rozdíly v poloze hlavních meridiánů přední plochy rohovky  
odděleně pro pravé a levé oko

**Histogram 6:** Rozdíly ve velikosti astigmatismu přední plochy rohovky  
odděleně pro pravé a levé oko

**Histogram 7:** Četnost výskytu úhlů rohovkového astigmatismu u pravého oka

**Histogram 8:** Četnost výskytu úhlů rohovkového astigmatismu u levého oka

**Graf 1:** Závislost rozdílů os na velikosti astigmatismu

**Tab. 1:** Průměrné rozdíly Javal – Schiötz keratometru a rohovkového topografu  
pro poloměr zakřivení, dioptrickou hodnotu a meridián zakřivení přední plochy  
rohovky ve vertikálním a horizontálním směru, pro pravé a levé oko

**Tab. 2:** Průměrné rozdíly Javal – Schiötz keratometru a rohovkového topografu  
pro rohovkový astigmatismus a osu rohovkového astigmatismu, pro pravé a levé oko

**Příloha 1:** Protokol k měření zakřivení rohovky

**Příloha 2:** Tabulka informující o věku a pohlaví vyšetřovaných

**Příloha 3:** Tabulka poloměrů zakřivení přední plochy rohovky pravého oka  
v horizontálním a vertikálním směru

**Příloha 4:** Tabulka poloměrů zakřivení přední plochy rohovky levého oka  
v horizontálním a vertikálním směru

**Příloha 5:** Tabulka optické mohutnosti přední plochy rohovky pravého oka  
v horizontálním a vertikálním směru

**Příloha 6:** Tabulka optické mohutnosti přední plochy rohovky levého oka  
v horizontálním a vertikálním směru

**Příloha 7:** Tabulka meridiánu zakřivení přední plochy rohovky pravého oka  
v horizontálním a vertikálním směru

**Příloha 8:** Tabulka meridiánu zakřivení přední plochy rohovky levého oka  
v horizontálním a vertikálním směru

**Příloha 9:** Tabulka rohovkového astigmatismu přední plochy rohovky pravého oka

**Příloha 10:** Tabulka rohovkového astigmatismu přední plochy rohovky levého oka

# Obsah

Úvod.....	12
1. Přední segment oka.....	13
1.1. Bělima – SCLERA.....	13
1.2. Spojivka – CONJUNCTIVA.....	13
1.3. Oční víčka – PALPEBRAE.....	13
1.4. Slzný aparát.....	14
1.5. Rohovka - CORNEA.....	14
2. Patologie rohovky.....	17
2.1. Vrozené anomálie rohovky.....	17
2.2. Ektázie rohovky.....	18
2.3. Jiné patologie rohovky.....	18
3. Astigmatismus.....	20
4. Základní parametry rohovky.....	23
4.1. Přiblížení tvaru rohovky.....	23
4.2. Zakřivení rohovky.....	23
4.3. Excentricita rohovky.....	24
4.4. Optická mohutnost rohovky.....	25
4.5. Rohovkový astigmatismus.....	25
5. Keratometrie.....	27
5.1. Historie a metody měření přední plochy rohovky.....	29
5.2. Javalův - Schiötzův keratometr.....	30
5.3. Rohovkový topograf.....	33
5.4. Porovnání Javalova keratometru a rohovkového topografu.....	40
6. Experimentální část.....	41
6.1. Cíl výzkumu a pracovní hypotéza.....	41
6.2. Metodika výzkumu.....	42
6.2.1. Vyšetřované osoby.....	42
6.2.2. Použité zařízení.....	42
6.2.2.1. Javal - Schiötz keratometr.....	42
6.2.2.2. Keratograf.....	46
6.2.3. Metodika experimentu.....	50
6.3. Výsledky.....	51
6.4. Zhodnocení.....	55
6.5. Shrnutí a diskuze.....	58
Závěr.....	59
Seznam použité literatury.....	60
Přílohy.....	62

## Úvod

Rohovka je jednou ze základních částí optického systému oka. Říká se, že každý člověk je jedinečný a platí to i v případě rohovky. Nenalezneme dvě stejně velké či totožně zakřivené rohovky. Měření rohovky se obecně nazývá keratometrie. Vraťme se nyní do 19. století, kdy byl vynalezen první nám známý keratometr (tj. přístroj k měření rohovky, resp. měření poloměru zakřivení rohovky). S rozvojem vědy, tedy i oftalmologie, docházelo k vývoji různých metod a přístrojů určených k měření poloměru (rádiusu) zakřivení rohovky. Zde může vyvstat otázka, zda se různé metody měření na identickém vyšetřovaném materiálu (na rohovce) ve svých výsledcích liší? Název této diplomové práce napovídá, že stěžejním tématem je srovnání dvou keratometrických způsobů, resp. dvou přístrojů: Javalova keratometru (nebo lépe řečeno Javal – Schiötzova keratometru, někdy též uváděný jako oftalmometr) a rohovkové topografie. Snad právě toto porovnání alespoň částečně na výše uvedenou otázku odpoví.

Teoretický oddíl této diplomové práce je nejprve zaměřen na popis předního segmentu oka. Z velké části se popis věnuje rohovce. Dále se práce zabývá patologiemi rohovky, kde se zmiňuje o vrozených a získaných anomáliích rohovky. Mezi anomálie se dá započítat i astigmatismus, jemuž je věnována celá následující kapitola. Čtvrtá kapitola popisuje základní charakteristiky rohovky. Pátá kapitola se orientuje na stěžejní téma diplomové práce, tj. keratometrii. V oddílu je vysvětlen princip keratometrie, historický pohled na vývoj keratometrů, podrobnější popis Javalova keratometru a rohovkového topografu a jejich obecné porovnání. Experimentální část zahrnuje výzkum zaměřený na praktické srovnání Javal – Schiötz keratometru a rohovkového topografu.

## 1. Přední segment oka

Přední část očního bulbu tvoří bělima (sclera), rohovka (cornea) a přechod mezi bělimou a rohovkou, tzv. limbus. Do předního segmentu oka můžeme také zařadit spojivku, oční víčka a slzný aparát. Vzhledem k zaměření práce bude podrobněji popsána zejména rohovka.

### 1.1. Bělima – SCLERA

Bělima je vazivový obal oka o tloušťce asi 1 mm. Zabírá 5/6 plochy pevného obalu oka. Skléra se považuje za skelet oka, neboť se na ni upínají okoohybné svaly. Mezi její další funkce patří udržování tvaru bulbu a ochrana nitroočních struktur. Skrze skléru procházejí cévy a nervy zásobující vnitřní části oka. Jak je patrné z českého názvu, bělima bývá v normálním stavu sytě bílá a neprůhledná. Obsahuje vysoké procento vody. V přední části se nachází limbus, kterým bělima přechází v rohovku. V zadní části, kde vychází zrakový nerv je bělima perforovaná – toto místo se nazývá lamina cribrosa sclerae. V místech úponů očních svalů se bělima ztenčuje. [2, 5, 6, 9]

### 1.2. Spojivka – CONJUNCTIVA

Spojivka je tenká, lesklá blanka. Pokrývá vnitřní stranu víček (tj. tarzální spojivka), přechází přes bulbus (tj. bulbární spojivka) a končí u rohovky. Jako celek vytváří spojivkový vak. Conjunktiva obsahuje lymfocyty a účastní se tvorby slzného filmu, resp. vytváření smáčivého povrchu rohovky. Plní tedy funkci ochrannou a sekreční. [5]

### 1.3. Oční víčka – PALPEBRAE

Víčka patří mezi pomocné orgány oka. Tyto zploštělé útvary chrání přední část oka před vnějšími vlivy, účastní se udržování fyziologického prostředí spojivkového vaku a mrkáním obstarávají pravidelné svlažování rohovky. Víčka dělíme na palpebra superior a palpebra inferior neboli horní a dolní víčko. Jejich základní stavba je stejná. Anatomicky můžeme rozlišit povrchovou vrstvu, střední vrstvu a vnitřní vrstvu. Povrchovou vrstvu víček tvoří jemná kůže a řídké podkožní vazivo. Z víčka vyrůstají řasy, které se po několika měsících obnovují. Vedle řas ústí Zeisovy mazové žlázy. Střední vrstvu víček představuje

příčně pruhovaný mimický sval musculus orbicularis oculi, který je odpovědný za svírání víček a mrkání. Ve vnitřní vrstvě víček se nachází vazivová chrupavka (tarsus), jež vytváří kostru víček. Tarsální ploténky jsou sféricky prohnuté dle zakřivení oční koule. Uvnitř ploténky se nachází dlouhé mazové žlázy, tzv. Meibomovy žlázy, které produkují sekrety snižující odpařování a tím i vysychání slz. K vnitřní straně víček je přirostlá tarsální spojivka. [2, 5, 6]

#### 1.4. Slzný aparát

Slzný aparát sestává ze slzné žlázy, přídatných slzných žláz a odvodného aparátu. Slzná žláza složená z lalůčků, z nichž vystupují drobné vývody, je uložena temporálně v horním kvadrantu očnice. Rozlišujeme dvě části: horní větší orbitální část a dolní menší palpebrální část, kterou lze částečně spatřit po nadzvednutí horního víčka. Vývody obou částí žlázy ústí do spojivky, kde jsou také umístěny drobné přídatné slzné žlázy. Vodnatý sekret slzných žláz společně s mucinosním produktem buněk spojivky a mazem ze žláz mazových tvoří slzný film, jenž je mrkáním roztírán po víčkové a bulbární spojivce a po rohovce. Slzný film se zčásti vypaří, ostatní část se dostává do vnitřního koutku oka, v němž vytváří tzv. slzné jezírko. Z jezírka jsou slzy odváděny do hrbolkovitých vyvýšení okraje horního a dolního víčka – do slzných bodů. Zde začínají odvodné slzné cesty. Malými otvory slzných bodů slzy pokračují horním a dolním slzným kanálkem do slzného vaku. Oba slzné kanálky se před vstupem do slzného vaku sloučí. Dolní část slzného vaku plynule přechází do nosního slzovodu, který končí pod dolní nosní skořepou. [2, 5, 6, 7]

Slzný aparát produkuje slzy a ovlivňuje metabolismus rohovky. Slzy navlhčují povrch spojivkového vaku a rohovku, čistí povrch oka od bakterií, mají výživnou funkci pro rohovku a přispívají k průhlednosti rohovky.

#### 1.5. Rohovka - CORNEA

Rohovka je průhledná, bezbarvá a bezcévná tkáň. Vyživují ji slzy a komorová voda. Rohovka zaujímá 1/6 povrchu oka. Tloušťka rohovky se liší ve středu (550  $\mu\text{m}$ ) a v periférii (650 - 1000  $\mu\text{m}$ ). Cornea má tedy tvar záporného menisku (viz obr. 1) a přirovnává se ke tvaru „hodinkového sklíčka“. [5]

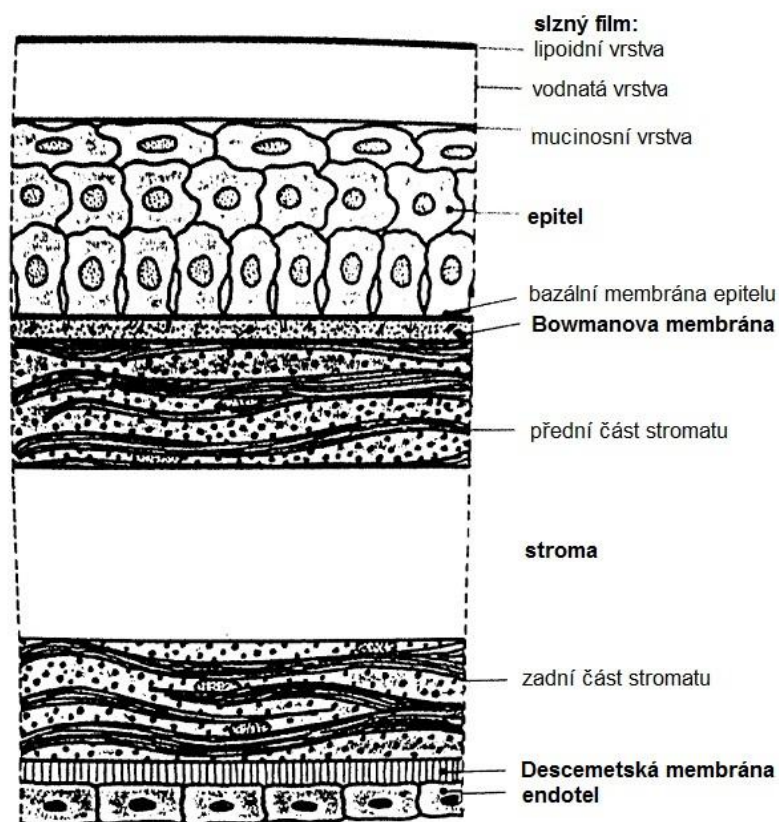


Obr. 1: Tvar rohovky

Tvar rohovky ovlivňují dynamické faktory, tzn. pohyb víček, mrkání, tvar oční štěrbinu aj. Dále na tvar rohovky působí kvalita a kvantita slzného filmu.

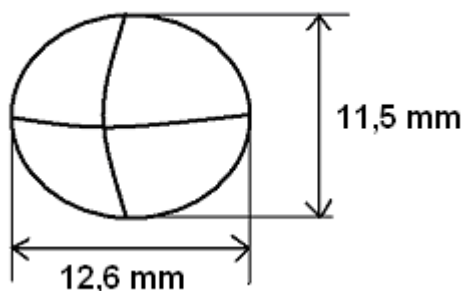
Rohovka je složena ze 78 % vody, dále obsahuje 16 % proteinů, 4 % sacharidů, 1 % lipidů a 1 % minerálních solí. Rohovka váží asi 180 mg. [9]

Rohovka má 5 vrstev: epitel, Bowmanova membrána, stroma, Descemetova membrána a endotel. Epitel rohovky se skládá z pěti až sedmi vrstev buněk, rychle regeneruje a společně se slzným filmem chrání oko před vnikem infekce. Bowmanova membrána (neboli lamina limitans anterior) odděluje epitel od stromatu rohovky. Stroma (substantia propria corneae) představuje 90 % tloušťky rohovky. Tvoří jej kolagenní vlákna uspořádaná v lamelách a stromální buňky, tzv. keratocyty. Mezi nejdůležitější vlastnosti stromatu patří vysoká transparence, ochranná funkce a dále například stanovuje zakřivení rohovky. Descemetova membrána (lamina limitans posterior) odděluje stroma a endotel rohovky a má vysokou schopnost regenerace. Jednovrstevný endotel rohovky zodpovídá za transparenční (a tím i stálou optickou mohutnost) rohovky a také se podílí na metabolismu rohovky tím, že přináší živiny z přední komory a zplodiny do zadní komory. [2, 5]



Obr. 2: Schéma průřezu rohovkou [9]

Rohovka zaujímá velmi důležitou roli v optickém systému oka. Její optická mohutnost je přibližně 42 dioptrií. Index lomu dle Gullstrandova schematického modelu oka čítá 1,376. Cornea není stejnoměrně zakřivená: vertikální průměr činí 11,5 mm a horizontální průměr činí 12,6 mm. [5] Viz obr. 3.



Obr. 3: Průměr rohovky ve vertikálním a horizontálním směru

Vertikální meridián je tedy menší (a silněji zakřiven) než horizontální a vzniká tzv. fyziologický astigmatismus – ideální sférická plocha se mění na mírně cylindrickou. Tento astigmatismus je pravděpodobně způsoben tlakem horního víčka, avšak většinou je kompenzován mozkovými centry. [2, 6]

Na rohovce lze rozlišit přední plochu (*facies anterior cornae*) a zadní plochu (*facies posterior cornae*). Zadní plocha rohovky má průměrný poloměr zakřivení 6,6 mm. Průměrný radius zakřivení přední plochy se uvádí 7,7 mm. Avšak přední plocha rohovky má sférické zakřivení pouze v malé středové části, směrem k periferii se radius zvětšuje (rohovka se oplošťuje) a zakřivení se v různých meridiánech liší. Anteriorní plocha rohovky tvoří 83 % celkové refrakce oka. [2, 7, 10]

Rohovka je nejcitlivější tkáň v těle, neboť má vysoký počet nervových zakončení. Tato zakončení jsou umístěna především v předních vrstvách a v centrální části rohovky. Nervová vlákna se nenacházejí v Descemetově membráně a endotelu. Inervace rohovky vychází senzitivně z první větve trojklanného nervu a vegetativně cestou ganglion cervicale superior. Jestliže se naruší či podráždí epitel rohovky, dojde k prudké bolesti s následným reflexním slzením a sevřením víček. [5, 6, 9]

Rohovka nemá cévy. Její výživu proto zajišťují jednak kapiláry limbu, dále získává glukózu prostřednictvím komorové vody a jednak přijímá kyslík ze slzného filmu. Metabolismus rohovky je pomalý, proto se rohovka i pomaleji hojí. Produkty metabolismu jsou odváděny do komorové vody. [5, 6]



## 2. Patologie rohovky

Ideální rohovka je zdravá, bez žádných anomálií. Ovšem na rohovku působí během života různé faktory. Pakliže onemocnění či vady nejsou dány dědičností, změny rohovky mohou zapříčinit kupříkladu záněty, systémová onemocnění, stárnutí, úrazy, operace či následky nošení kontaktních čoček. Popsány budou patologie rohovky zjistitelné či viditelné keratometrickými metodami.

### 2.1. Vrozené anomálie rohovky

Vady, jež jsou přítomny již při narození, mohou mít příčinu v genetické informaci předků nebo mohou vzniknout mutací genů, chromozomálními aberacemi či působením patologické noxy, tzn. mechanické, fyzikální, chemické vlivy v těhotenství, intrauterinní infekce, poruchy výživy a metabolismu matky atd. Vrozená postižení rohovky vznikají do 4. měsíce embryonálního života, kdy je ukončen vývoj přední oční komory. [5, 9]

Do anomálií velikosti rohovky patří megalocornea a microcornea. Megalocornea znamená zvětšený průměr rohovky nad 13 mm. Na rozdíl od zvětšeného průměru u oka při zvýšeném nitroočním tlaku (u glaukomu) je zvětšená celá přední část oční koule, přední komora je hluboká a většinou se objevuje na obou očích. Zajímavé je, že častěji postihuje muže. Průměr rohovky menší než 10 mm vystihuje microcorneou. Tato vada velmi často vede ke vzniku glaukomu uzavřeného úhlu. [5, 6]

Anomálie se vyskytují také u zakřivení rohovky. Vrozená odlišnost horizontálního či vertikálního zakřivení od fyziologických hodnot se nazývá cornea ovalia. Oploštění rohovky až na zakřivení kolem 20 - 30 D označujeme cornea plana. Velmi často splyne se sklerou, proto se někdy toto onemocnění popisuje jako sclerocornea. Mnohdy dochází k vaskularizaci rohovky. Vývojová vada s protenčenou rohovkou s půlkulovitým vyklenutím neboli kulovitým zakřivením nese jméno keratoglobus. Optická mohutnost keratoglobní rohovky se pohybuje mezi 60 – 70 D. Keratoglobus se většinou vyskytuje oboustranně. Protenčení se týká stromatu a Descemetové membrány. [5, 9]

Rohovka také může trpět vrozenými zákaly, tyto však z hlediska keratometrie nemají velký význam.

## 2.2. Ektázie rohovky

Slovo ektázie pochází z řečtiny a v překladu znamená „rozšíření“. Ektatické rohovkové onemocnění se vztahuje k vyklenutí rohovky. Jedná se o keratokonus, keratoglobus a pelucidní degeneraci.

Keratoglobus je popsán v předchozí podkapitole.

Keratokonuse je definován jako kuželovité vyklenutí rohovky se současným protenčením stromatu. Vyklenutí se vyskytuje zpravidla v centrální části rohovky. Onemocnění vzniká v důsledku degenerace kolagenových vláken rohovky. Většinou se projevuje během puberty. Jedním z příznaků keratokonuse je myopizace optického systému oka se silným nepravidelným astigmatismem. Zraková ostrost výrazně klesá a jen obtížně se dá korigovat brýlemi. Trvá-li tento stav delší dobu, může dojít k akutnímu keratokonu. V místě největšího vyklenutí rohovky vznikají trhliny Descemetovy membrány, skrz které proniká komorový mok a vzniká edém stromatu rohovky. Zároveň se centrum rohovky zkalí a zhrubne. Úplná perforace rohovky je vzácná. V diagnostice keratokonuse se hojně využívá rohovková topografie. Keratokonus se v topografii projeví deformací koncentrických kruhů. V případě keratomtru mohou být deformovány značky keratomtru. Keratokonus se v počátečních stádiích koriguje brýlemi, pro terapeutický účinek lze použít pevné kontaktní čočky a pokročilejší stavy se řeší operačním zásahem – keratoplastikou. Novou metodou terapie u počínajících a mírně pokročilých keratokonů je tzv. cross-linking. Jedná se o fotodynamickou terapii s využitím kombinace UVA záření a riboflavinu (vitamin B<sub>2</sub>). Vzniklá chemická reakce spouští buněčné „zesíťování“ kolagenových vláken rohovky, tím se rohovka zpevňuje. [5, 9, 10]

Pelucidní marginální degenerace je vyklenování periferní oblasti rohovky, nejčastěji v dolních kvadrantech. Podobá se keratokonu, neboť se také projevuje nepravidelným astigmatismem, který nelze korigovat. Rozdíly jsou však viditelné v zobrazení mapy rohovkového topografu. [5]

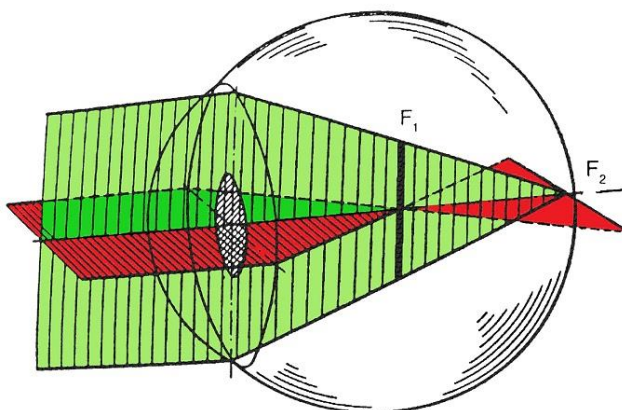
## 2.3. Jiné patologie rohovky

Z dalších faktorů, které mohou mít vliv na tvar rohovky a které mohou ovlivnit měření rohovky jmenujme eroze, vředy či jizvy (např. zánětlivé etiologie - keratitidy). Nicméně jejich diagnostika náleží spíše biomikroskopii. Dále by měly být zmíněny nádory rohovky, z nichž nejčastěji se vyskytuje dermoid či spinocelulární karcinom. Nádory rohovky jsou však celkem vzácné, spíš přerůstají z jiných tkání. Rohovka také může být poškozena nedodržením

správného režimu nošení kontaktních čoček, což může mít za následek změnu metabolismu rohovky. Defekt rohovky může také nastat při nesprávné aplikaci či manipulaci, které například způsobí poškození epitelu. Nakonec bychom se měli zmínit o rohovkových operacích, do nichž započítáváme refrakční chirurgii a léčebné zásahy. Obě metody nepochybně změni tvar rohovky, přičemž současně dosáhnou změny optické mohutnosti rohovky.

### 3. Astigmatismus

Astigmatismus je asférická refrakční vada, při níž má oko v různých meridiánech neboli řezech odlišné optické mohutnosti čili různé polohy ohnisek. Bod se pak nezobrazí v oku jako bod, ale jinak – nebodově (astigmaticky), například typicky jako dvojice navzájem kolmých úseček ležících v různých rovinách (tzv. pravidelný astigmatismus, viz níže). Rovnoběžné paprsky přicházející do oka se potom promítají do dvou fokálních úseček - linií ( $F_1$ ,  $F_2$ ), viz obr. 4.



Obr. 4: Astigmatismus [9; upraveno]

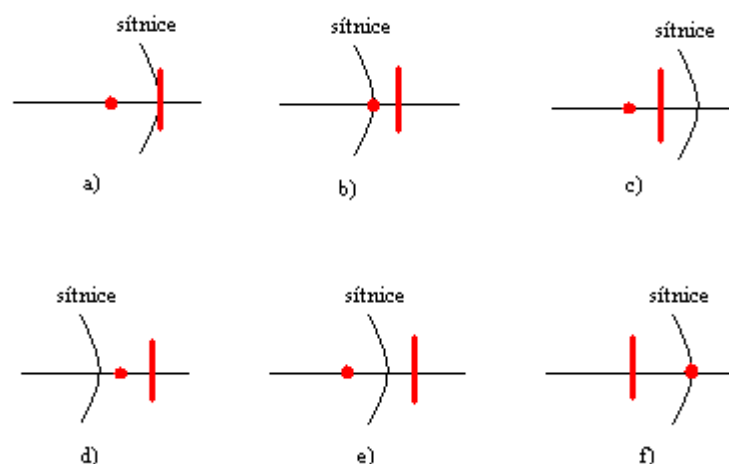
Symptomem astigmatismu je rozmazané vidění, které nelze úplně vykorigovat sférickou korekcí. Může převažovat rozmazání v určitém směru, např. člověk s astigmatismem vidí stíny u písmenek nebo mohou být viděna dvojité.

Celkový astigmatismus oka je způsoben nepravidelnostmi rohovky nebo čočky. Obecně lze říci, že je výsledkem vzájemného působení astigmatismu rohovkového, čočkového a tzv. zbytkového. Dříve se tradoval názor, že hodnota rohovkového astigmatismu se téměř rovná hodnotě celkového astigmatismu. Ve skutečnosti astigmatismus čočky silně ovlivňuje výslednou velikost astigmatismu. [12] Rohovkový astigmatismus je způsoben asférickým (nekulovým) zakřivením rohovky, které může být vrozené či zapříčiněné tlakem horního víčka. Čočkový astigmatismus má původ v asférickém zakřivení čočky, v decentraci čočky či jej přivodí změna indexu lomu při začínající kataraktě. Zbytkový astigmatismus je obvykle zanedbatelný a jeho příčinou jsou např. nepravidelnosti očního pozadí.

Dle polohy fokál rozdělujeme astigmatismus na astigmatismus regularis (pravidelný) a astigmatismus irregularis (nepravidelný). Při pravidelném astigmatismu se pozorovaný bod zobrazí na dvě navzájem kolmé úsečky ležící v různých rovinách. Tento stav je dán asférickým, ale symetrickým, zakřivením optických ploch oka. Existují tedy dva na sebe kolmé meridiány, jeden s největší a druhý s nejmenší lomivostí, jejichž osy se nejčastěji vyskytují v horizontální a vertikální rovině. Tyto meridiány též označujeme jako hlavní řezy astigmatismu. V případě nepravidelného astigmatismu se bod nezobrazí na dvě navzájem kolmé úsečky. Jeho příčinou je nepravidelné zakřivení optických ploch (obvykle rohovky).

Velikost pravidelného astigmatismu můžeme popsat pomocí tzv. astigmatické diference. Tou se rozumí rozdíl lomivosti v obou hlavních meridiánech. Za fyziologický stav považujeme hodnoty o velikosti od 0,25 D do 0,5 D. Astigmatismus regularis se dále dělí na ast. simplex (jednoduchý), ast. compositus (složený) a ast. mixtus (smíšený). V případě jednoduchého astigmatismu je vždy jeden meridián emetropický, druhý ametropický. Při složeném astigmatismu jsou oba meridiány ametropické se stejnou refrakční vadou, u smíšeného astigmatismu má refrakční vada v hlavních meridiánech navzájem odlišná znaménka. [1, 3]

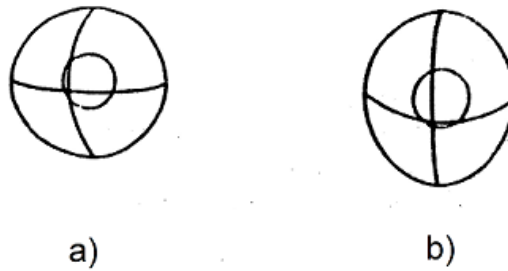
Různé možnosti umístění fokál v oku u jednotlivých typů astigmatismu znázorňuje obr. 5.



Obr. 5: Dělení astigmatismu podle polohy fokál:

- a) astigmatismus simplex myopicus, b) ast. simplex hypermetropicus, c) ast. compositus myopicus,  
d) ast. compositus hypermetropicus, e) ast. mixtus, f) ast. proti pravidlu; [3]

Dále můžeme rozlišovat astigmatismus podle pravidla (též označován jako přímý), při kterém je menší poloměr zakřivení v rovině vertikální než horizontální. Tj. lomivější meridián je ve vertikálním směru. V opačném případě se jedná o astigmatismus proti pravidlu (nepřímý ast.). Za fyziologický astigmatismus se pokládá astigmatismus podle pravidla. Jestliže nemůžeme odlišit, zda má astigmatická rohovka větší lomivost horizontálně či vertikálně, jedná se o astigmatismus obliquus (šikmý). [1]



Obr. 6: Rohovkový astigmatismus: a) podle pravidla, b) proti pravidlu [7]

Astigmatismus se nejčastěji koriguje cylindrickými či tórickými čočkami. Oba typy těchto čoček se vyznačují nekulovou plochou jedné či obou opticky účinných ploch.

## 4. Základní parametry rohovky

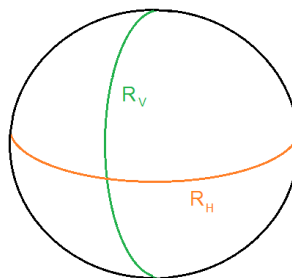
### 4.1. Přiblížení tvaru rohovky

Z hlediska popisu nás obvykle zajímá pření plocha rohovky, jejíž tvar je podstatný například pro vhodnou volbu (zejména pevných) kontaktních čoček. Můžeme ji zjednodušeně charakterizovat buď jako rotační plochu nebo jako obecnou plochu druhého stupně. Rotační plochou rozumíme plochu, ve které je v každém řezu stejná křivka. Tato plocha má pouze jedno centrální zakřivení (zakřivení v periférii se však mohou od centrálního obecně lišit). Chápeme-li tvar rohovky jako obecnou plochu druhého stupně, centrální poloměry křivosti se v různých meridiánech liší. Tento popis odpovídá rohovce s pravidelným astigmatismem. Obdobně jako u celkového astigmatismu pak existují dva hlavní řezy (řez s maximálním a řez s minimálním poloměrem zakřivení), které jsou navzájem kolmé. Řezy v jednotlivých meridiánech mohou mít tvar kružnice, elipsy, paraboly a hyperboly.

### 4.2. Zakřivení rohovky

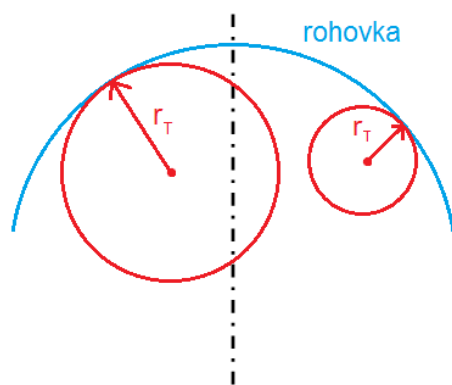
Jak bylo výše popsáno, zakřivení rohovky obvykle není ve všech místech stejné, tzn. že v různých meridiánech jsou různé hodnoty zakřivení. Tento fakt značí astigmatickou rohovku.

Rohovku lze považovat za sférickou v oblasti o průměru 3 – 4 mm ve středu. Zakřivení ve středové oblasti popisujeme centrálním zakřivením  $r_0$ . Hlavní meridiány jsou většinou orientovány horizontálně a vertikálně, popř. se jejich poloha velmi blíží těmto pozicím. Zakřivení v odpovídajících směrech pak nazýváme horizontálním  $R_H$  a vertikálním zakřivením  $R_V$ .

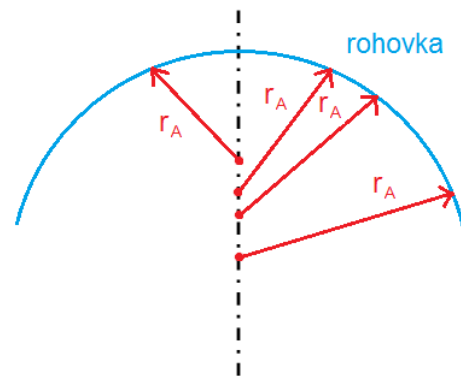


Obr. 7: Horizontální a vertikální zakřivení

Od středové oblasti se rohovka oplošťuje až splyne se sklérou. Zároveň se mění poloměr zakřivení. V tomto ohledu je možné rohovku charakterizovat necentrálním zakřivením - tangenciálním či axiálním (sagitálním). Tangenciální zakřivení  $r_T$  popisuje skutečné zakřivení v daném bodě, tj. daným bodem proložíme kružnici, která v tomto místě povrch rohovky nejlépe kopíruje. Axiální zakřivení  $r_A$  je takové zakřivení, v němž plochu v daném bodě aproximujeme kulovou plochou se středem na ose. Oba případy názorně zachycují obr. 8 a 9.



Obr. 8: Tangenciální zakřivení



Obr. 9: Axiální (sagitální) zakřivení

### 4.3. Excentricita rohovky

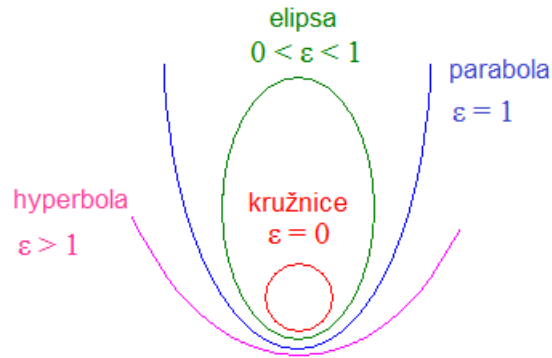
Excentricita  $\varepsilon$  určuje oploštění rohovky směrem do periferie. Čím je rohovka na okraji plošší, tím větší bude excentricita. Průměrná excentricita je dána druhou odmocninou rozdílu průměrných hodnot sagitálního zakřivení  $\bar{r}_s$  a průměrných hodnot centrálního zakřivení  $\bar{r}_0$ :

$$\bar{\varepsilon} = \sqrt{\bar{r}_s - \bar{r}_0}.$$

Průměrná excentricita obvykle nabývá hodnot od 0,2 do 0,5. Je-li hodnota nižší, rohovka se považuje za strmou. Vyšší hodnoty značí plochou rohovku.



Excentricita rovněž vystihuje typ křivky v řezu daných meridiánů. Typy křivek s příslušnými excentricitami popisuje obrázek 10.



Obr. 10: Excentricita  $\varepsilon$  a tvar řezů v meridiánech [19; upraveno]

#### 4.4. Optická mohutnost rohovky

Dle publikace [9] je lomivost (optická mohutnost) rohovky v průměru + 43,053 D. U skutečného oka se může v různých meridiánech navzájem lišit. Optická mohutnost rohovky  $\varphi$  v daném bodě úzce souvisí s poloměrem zakřivení  $r$  vztahem

$$\varphi = \frac{n-1}{r},$$

kde  $n = 1,3375$  reprezentuje index lomu rohovky. Uvedený vztah má obecnou platnost pro výpočet optické mohutnosti kulové plochy o poloměru  $r$ , přičemž prostředí před, respektive za kulovou plochou má index lomu 1, respektive  $n$ .

#### 4.5. Rohovkový astigmatismus

Velikost pravidelného rohovkového astigmatismu, tj. astigmatickou diferencí, lze vypočítat podobně jako pro celkový oční astigmatismus odečtením optické mohutnosti více horizontálního meridiánu od optické mohutnosti vertikálního meridiánu. V případě záporného výsledku se jedná o astigmatismus podle pravidla, při kladném výsledku jde o astigmatismus proti pravidlu.

Rohovka má ze všech částí oka největší optickou lomivost. Odtud lze usuzovat, že rohovkový astigmatismus bude významně ovlivňovat hodnoty astigmatismu celkového. Souvislost mezi velikostí astigmatismu rohovkového  $Ast_R$  a celkového  $Ast_C$  je dána přibližně platnou Javalovou podmínkou (viz např. [13,14])

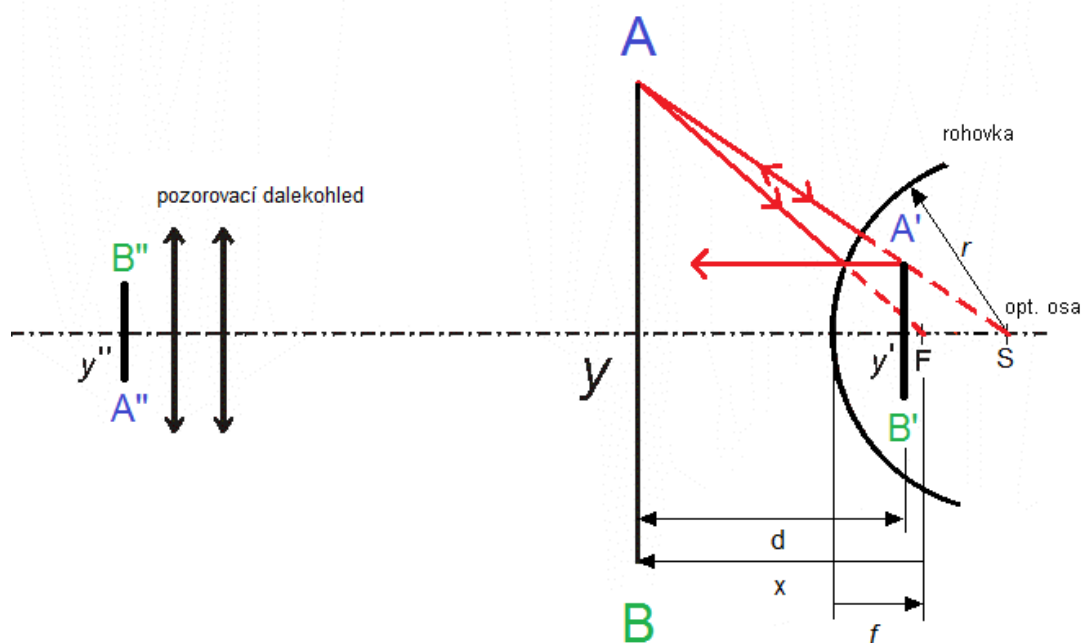
$$Ast_C = 1,25 Ast_R + 0,5.$$

Prezentovaný konkrétní tvar Javalovy podmínky předpokládá dosazování astigmatických diferencí včetně příslušného znaménka astigmatické difference u astigmatismu podle a proti pravidlu dle výše uvedené úmluvy. Číselný člen 0,5 vystihuje ve vzorci vliv čočkového astigmatismu, který je běžně orientován proti pravidlu. Odtud vyplývá, že při obvyklém rohovkovém astigmatismu podle pravidla bude finální astigmatismus v absolutní hodnotě menší, naopak u astigmatismu proti pravidlu jeho hodnota vždy vzroste.

## 5. Keratometrie

Termín keratometrie obecně znamená měření rohovky. Ve skutečnosti je to metoda měření poloměru zakřivení rohovky, resp. přední plochy rohovky. Využívá faktu, že se rohovka chová jako konvexní zrcadlo. To znamená, že část paprsků vycházejících z předmětu se od rohovky odrazí a jestliže se jedná o vypuklé zrcadlo, obraz předmětu se zobrazí za plochu optického prvku – v případě keratometrických metod se bude obraz předmětu vytvářet za rohovkou. Pozorovatel pak sleduje zdánlivý, přímý a zmenšený obraz předmětu. Velikost obrazu stanovuje zakřivení přední plochy rohovky. Za předmět považujeme promítané značky keratometru (tj. přístroje pro měření zakřivení rohovky). [12, 14]

Obecný princip keratometrie znázorňuje obr. 11.



Obr. 11: Princip keratometrie

$y$ ... velikost předmětu

$y'$ ... velikost virtuálního obrazu předmětu

$y''$  ... velikost obrazu vytvořený po odrazu na rohovce – vidí vyšetřující

Považujeme-li rohovku za sférické vypuklé zrcadlo s poloměrem zakřivení  $r$ , pak předmět o výšce  $y$  bude zobrazen s výškou  $y'$ , jak je uvedeno v obrázku 11. Vzdálenost mezi předmětovým bodem  $B$  a ohniskem  $F$  je označena jako  $x$ . Tato vzdálenost má zápornou

hodnotu. Předmět a obraz předmětu se nachází ve vzdálenosti  $d$ . Příčné zvětšení vypočítáme dle zvětšovací rovnice

$$m = \frac{y'}{y} = -\frac{f}{x},$$

ale protože je ohnisková vzdálenost kulového zrcadla rovna polovině radiusu zakřivení ( $f = r/2$ ), můžeme vztah upravit takto

$$\frac{y'}{y} = -\frac{r}{2x}.$$

Z této rovnice již lze odvodit vzorec pro poloměr zakřivení rohovky

$$r = -2\frac{y'}{y}x.$$

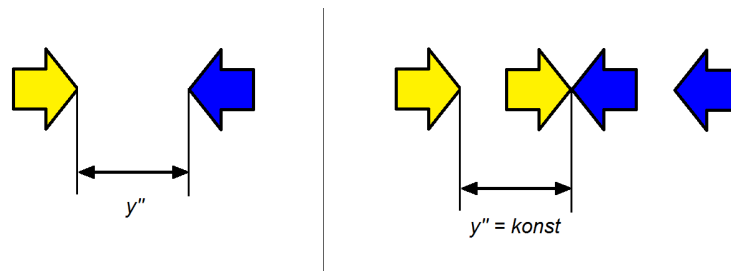
V keratometrii se prakticky vzdálenost předmětového bodu k ohnisku ( $-x$ ) téměř rovná vzdálenosti předmětu a obrazu ( $d$ ). Poloměr rohovky je tedy možno vypočítat vztahem

$$r = 2\frac{y'}{y}d$$

a tento vztah se označuje jako tzv. keratometrická rovnice. Sledujeme-li obraz předmětu pozorovacím dalekohledem, po průchodu objektivu se výška obrazu předmětu vytvořeného odrazem na rohovce změní na velikost  $y''$ . Jestliže je předmět (resp. značky keratometru) zabudován na pozorovacím dalekohledu ve vzdálenosti  $d$ , lze považovat tuto vzdálenost za konstantní. V případě, že pozorovací dalekohled není ve správné vzdálenosti od obrazu předmětu, jeví se tento obraz rozostřený. Jakmile je pohybem pozorovacího dalekohledu obraz zaostřen, keratometr je ve správné vzdálenosti od oka a je možné určit velikost  $y''$ . Poté lze ze zvětšovací rovnice objektivu získat velikost  $y'$ , dosadit ji do keratometrické rovnice a určit poloměr zakřivení rohovky. Konečná rovnice nese tvar

$$r \approx konst \frac{y''}{y}.$$

Při měření se však vyskytl problém související s fyziologickým třesem oka. Neschopnost udržet oko nehybné způsobí nestálost zobrazených značek a z tohoto důvodu není možné změřit  $y''$ . Problém lze vyřešit dvěma způsoby: statickým záznamem obrazu či zdvojením obrazu  $y''$ . Statický záznam (fotografie) obraz zachytí a následně zhodnotí. Zdvojení obrazu se dosahuje například dvojlomným hranolem. Když se zdvojené pozorované obrazy značek uvedou do koincidence např. pohybem původních značek (viz obr. 12), bude vždy dosaženo konstantní vzdálenosti původních nezdvojených obrazů a odpadne tak nutnost jejího určování.



Obr. 12: Princip zdvojení značek keratometru

Keratometrie má praktický význam při aplikaci kontaktních čoček, při diagnostice keratokonu, v refrakční chirurgii a jiných výkonech na rohovce.

### 5.1. Historie a metody měření přední plochy rohovky

První keratometr (někdy též označován jako oftalmometr), který je znám, vynalezl Hermann von Helmholtz v roce 1856. Testové značky Helmholtzova keratometru byly umístěny ve vzdálenosti 5 m. Měřily se dva meridiány v centrální oblasti rohovky o průměru 3 mm. Tento přístroj německého fyzika a lékaře byl však značně nepraktický a hodil se spíše na laboratorní měření. [8, 13]

Roku 1881 se objevil další přístroj, který vynalezli francouzský oftalmolog Émile Javal a norský lékař Hjalmar Schiötz, obr. 13 a 14.



Obr. 13: Louis Émile Javal (1839 – 1907) [17]



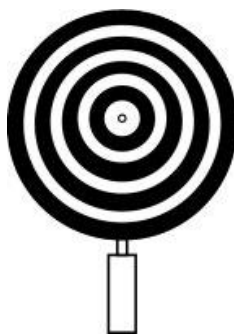
Obr. 14: Hjalmar August Schiötz (1850 – 1927) [18]

Toto zařízení využívá dvou testovacích značek, které se promítají na rohovku, umístěných v relativně malé vzdálenosti od pacienta a celé zařízení je kompaktní. Obvyklým

výstupem z měření jsou stanovené polohy hlavních řezů a odpovídající zakřivení, resp. optické mohutnosti, v nejstrmějším a nejplošším meridiánu rohovky.

Z dalších metod keratometrie jmenujme Hartingerův keratometr, který funguje na podobném principu jako Javal – Schiötzův keratometr. Za nejdokonalejší mechanický přístroj k měření přední plochy rohovky se považuje Littmanův keratometr. Testové značky mají tvar plného a dutého kříže a jejich obrazy se při měření pře sebe navzájem překládají (navozuje se koincidence). [10]

Nepravidelnost zakřivení rohovky lze lépe sledovat tzv. metodami keratoskopickými. [4] Zde se jedná o metody využívající Placidových prstenců – systém bílých a černých kroužků s otvorem pro pozorování – viz obr. 15.



Obr. 15: Placidovy kroužky [15]

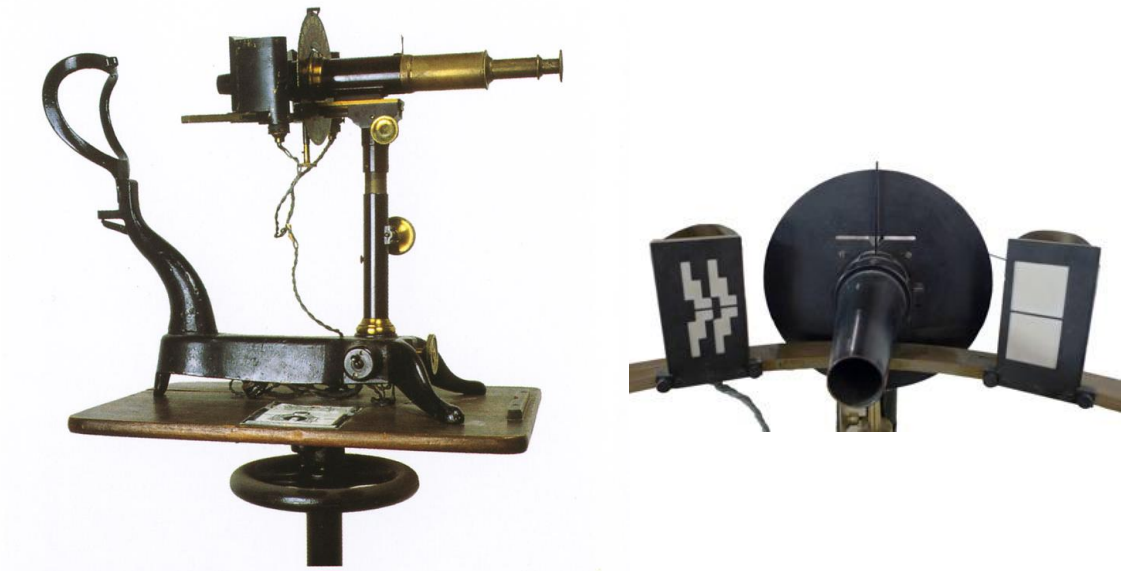
Kroužky se promítají na rohovku a následně se vyhodnocuje její zakřivení. S rozvojem počítačové technologie se tento princip aplikuje u rohovkové topografie, kde se jedná o počítačové zpracování promítnutých Placidových prstenců na rohovku.

Jednou z nejnovějších metod je tzv. wavefront analýza. Jedná se o měření odchylek skutečné vlnoplochy optických prvků (u oka rohovka a oční čočka) od ideální vlnoplochy. Zařízení se nazývá WASCA (Wave Aberration System Computer Analyser). Lze jí změřit jak celkové, tak rohovkové aberace vyšších řádů. V případě rohovky plní funkci rohovkové topografu s měřením aberací.

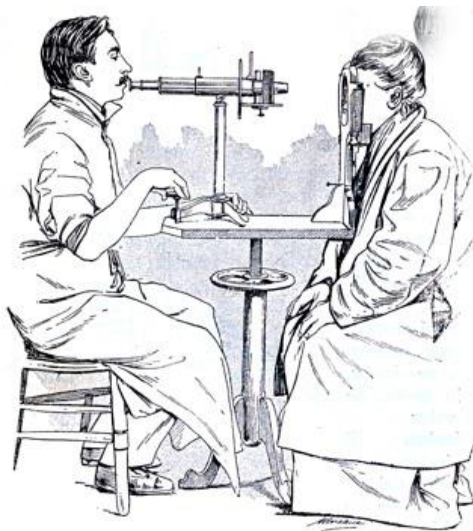
## 5.2. Javalův - Schiötzův keratometr

Keratometr vynalezený lékaři L. É. Javalem a H. A. Schiötzem byl donedávna jedním z nejrozšířenějších přístrojů určených k měření zakřivení rohovky. Původní zařízení je vyobrazeno na obrázcích 16 a 17. Měření Javal – Schiötzovým keratometrem umožňuje

provést přímé zjištění velikosti poloměru křivosti přední plochy rohovky v milimetrech, odpovídající optické mohutnosti v dioptriích, orientace hlavních meridiánů ve stupních a stanovení hodnoty rohovkového astigmatismu z velikosti překryvu značek při změně jejich pozice z jednoho do druhého meridiánu, resp. nepřímou následným výpočtem. Měření probíhá v centrální oblasti rohovky o průměru cca 3,6 – 4,2 mm. V této středové části se totiž jinak asférická rohovka blíží sférickému tvaru.

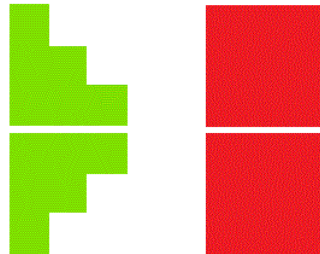


Obr. 16: Javal – Schiötz keratometr – historický model [16]



Obr. 17: Měření zakřivení rohovky Javalovým oftalmometrem (historický model) [16]

Javal - Schiötzův keratometr využívá dvou testovacích značek ve tvaru červeného obdélníku a zelené dvojité schodovité pyramidy, viz obr. 18. Červená a zelená barva daných značek se při vzájemném překrytí mění ve žlutou. Vyšetřující pak lépe rozpozná správnou koincidence značek.



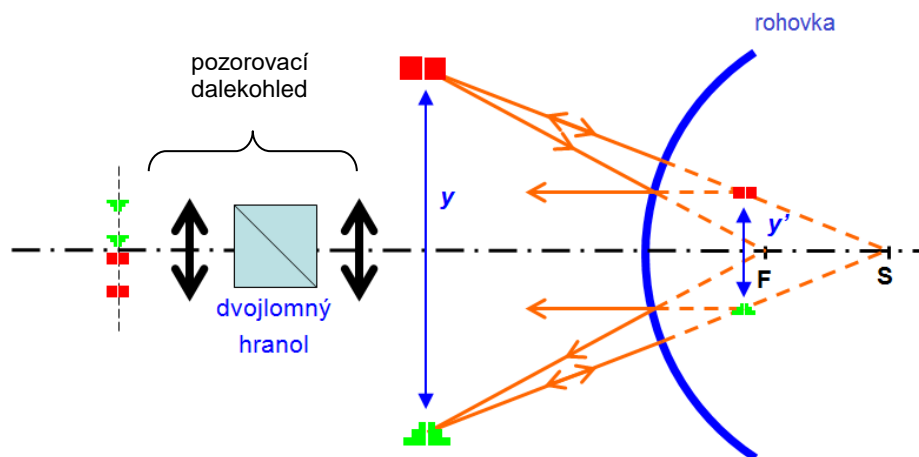
Obr. 18: Značky Javal – Schiötz keratometru

Vnitřně osvětlené značky, které jsou instalovány po stranách pozorovacího dalekohledu v oblouku přibližně koncentrickém s měřenou rohovkou, představují krajní body předmětu y zobrazovaného na rohovku (viz obr. 19). Velikost předmětu je nastavitelná. Vyšetřující osoba vidí v pozorovacím dalekohledu zdvojené značky keratometru, jejichž vzdálenost musí nastavit tak, aby se obrazy značek navzájem dotkly. Zdvojení obrazů u Javal – Schiötzova keratometru je dosaženo dvojlomným Wollastonovým hranolem, vzdálenost mezi značkami (tzn. velikost předmětu) je upravena otočnou ovládací rukojetí, zaostření obrazu se uskutečňuje pohybem keratometru vpřed a vzad, stanovení hlavních meridiánů otáčením oblouku se značkami. Po uvedení značek do koincidence je možné na kalibrované stupnici přístroje přímo odečíst zakřivení rohovky ve sledovaném řezu, popř. přepočítanou dioptrickou hodnotu. Pro správnou funkci zařízení je nutné dodržet požadovanou pozorovací vzdálenost. Pro tento účel je třeba správně nastavit okulár pozorovacího dalekohledu vzhledem k refrakci osoby provádějící měření. Při správném nastavení dojde k zaostření značek v potřebné vzdálenosti. [14]

Případný astigmatismus se v pozorovacím dalekohledu manifestuje vzájemným posuvem značek při změně jejich pozice z jednoho meridiánu do druhého. Přitom v hlavních řezech dojde ke koincidence středových úseček obou značek. Na míru astigmatismu lze usuzovat ze změny vzájemného překryvu značek při otočení z jednoho do druhého meridiánu. Užitečnou pomůckou při jeho odhadu je skutečnost, že změna překryvu o jeden stupínek na pyramidě odpovídá 1 dioptrii. Přesnou hodnotu získáme standardně odečtením dioptrických hodnot v hlavních řezech.

Detailně je popsáno nastavení a manipulace s tímto přístrojem v kapitole 6.2.2.1.



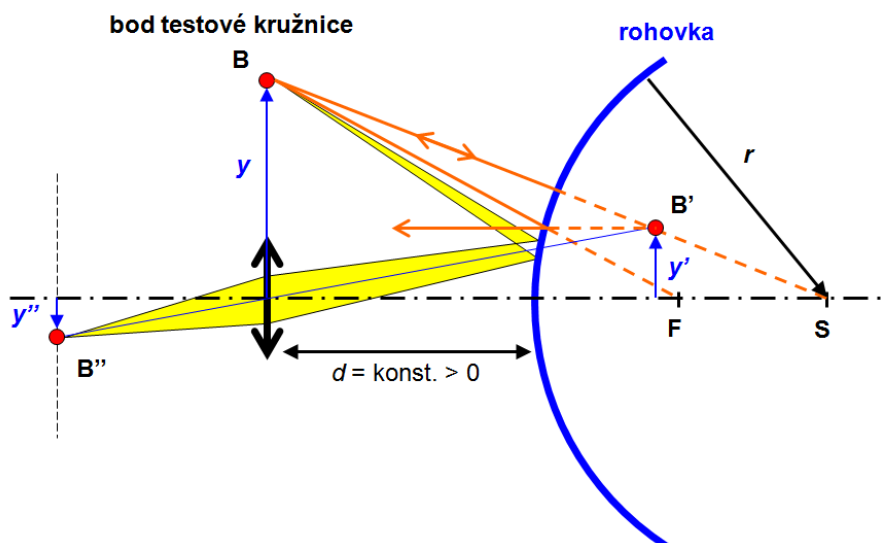


Obr. 19: Princip Javal – Schiötz keratometru [11]

Prakticky se Javal – Schiötzův keratometr využíval v kontaktologii, k rozpoznávání keratokonu a vyjíměčně v korekci afakických očí (zejm. astigmatická korekce). [12]

### 5.3. Rohovkový topograf

Rohovkový topograf spojuje keratometrickou metodu měření s topografickou metodou měření. Základem měření povrchu rohovky jsou odražené Placidovy prstence, které následně vyhodnocuje počítač.

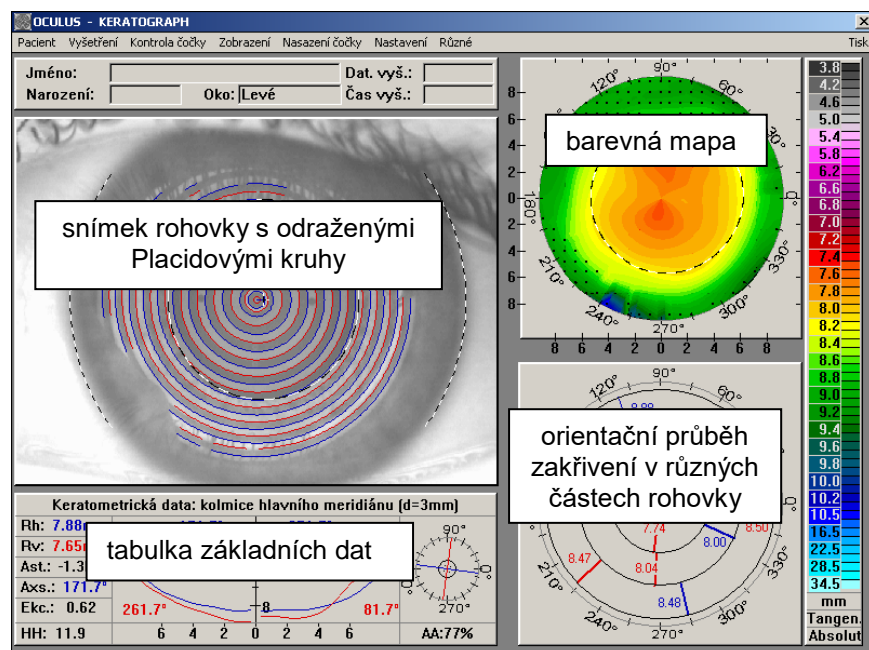


Obr. 20: Princip rohovkového topografu [11]

Placidovy kruhy zevnitř osvětlené se promítají na rohovku. Jsou-li Placidovy kruhy umístěny na polokouli, měření vykazuje přesnější hodnoty. Důvodem je žádoucí zajištění stejné nebo alespoň přibližně stejné vzdálenosti testových kruhů od měřené plochy a tím minimální chyby měření. Jednotlivý bod každé kružnice reprezentuje krajní bod předmětu  $y$  y zobrazovaného na rohovku. Druhý krajní bod se nachází ve středu čočky objektivu zobrazovacího členu, resp. snímací kamery. Kamera umístěná ve středu Placidových prstenců snímá obraz předmětu  $y'$  a dále je zaznamenáván CCD čipem jako obraz předmětu o velikosti  $y''$ . Z této velikosti je matematickými algoritmy a srovnáním s kalibračním obrazcem vypočítán poloměr zakřivení  $r$  přední plochy rohovky v daném bodě rohovky. K vlastnímu měření je tak využito až několik tisíc bodů v různých oblastech rohovky a je tedy možné zmapovat celou její plochu. Nežádoucí fyziologický třes oka je vyřešen fotografickým záznamem s následným vyhodnocením již statického snímku. Nalezení konstantní vzdálenosti  $d$  a současně zaostření obrazu se realizuje pohybem tělesa topografu vpřed a vzad.

Podrobnější popis a manipulaci s přístrojem poskytuje kapitola 6.2.2.2.

Naměřené parametry se většinou zobrazí na monitoru počítače v přehledu zobrazení, kde je shrnuto několik vyhodnocovacích vyšetření. Příklad přehledu zobrazení prezentuje obr. 21. Přehled by měl obsahovat kamerový snímek rohovky s odraženými Placidovými kruhy, základní topografická data a barevnou mapu topografie rohovky, ve které různé lokální poloměry zakřivení odpovídají různým barvám. Někdy též přehled poskytuje číselné zachycení přibližného průběhu zakřivení v různých částech rohovky.

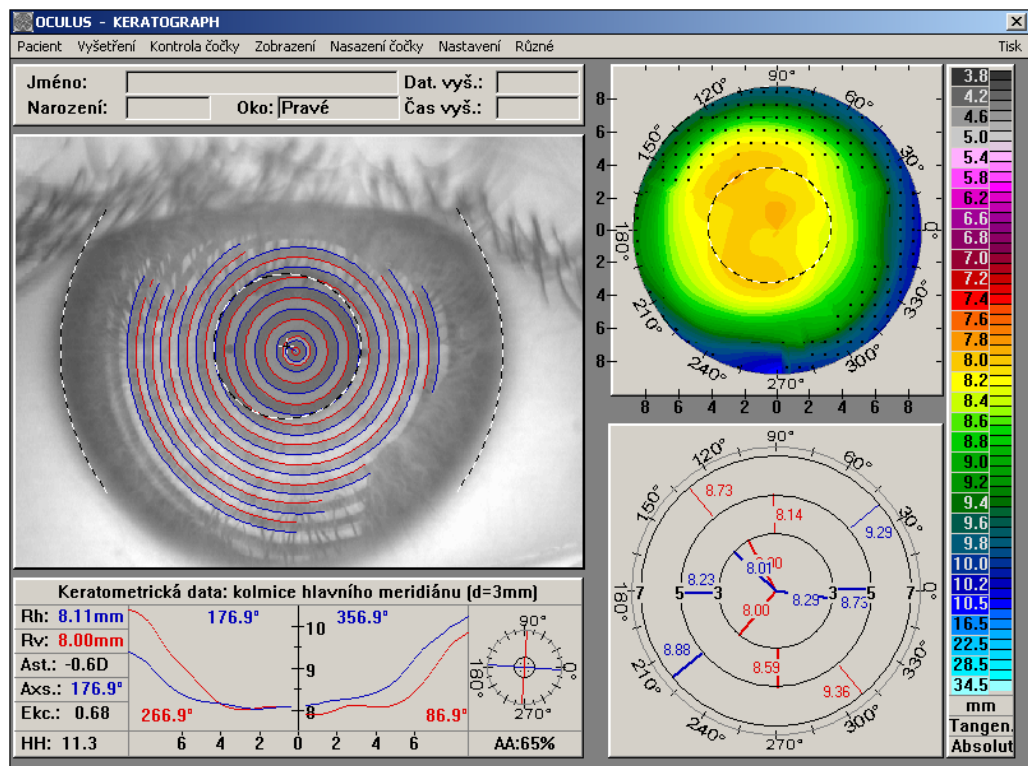


Obr. 21: Příklad přehledu zobrazení dat rohovkového topografu (Keratograf OCULUS)

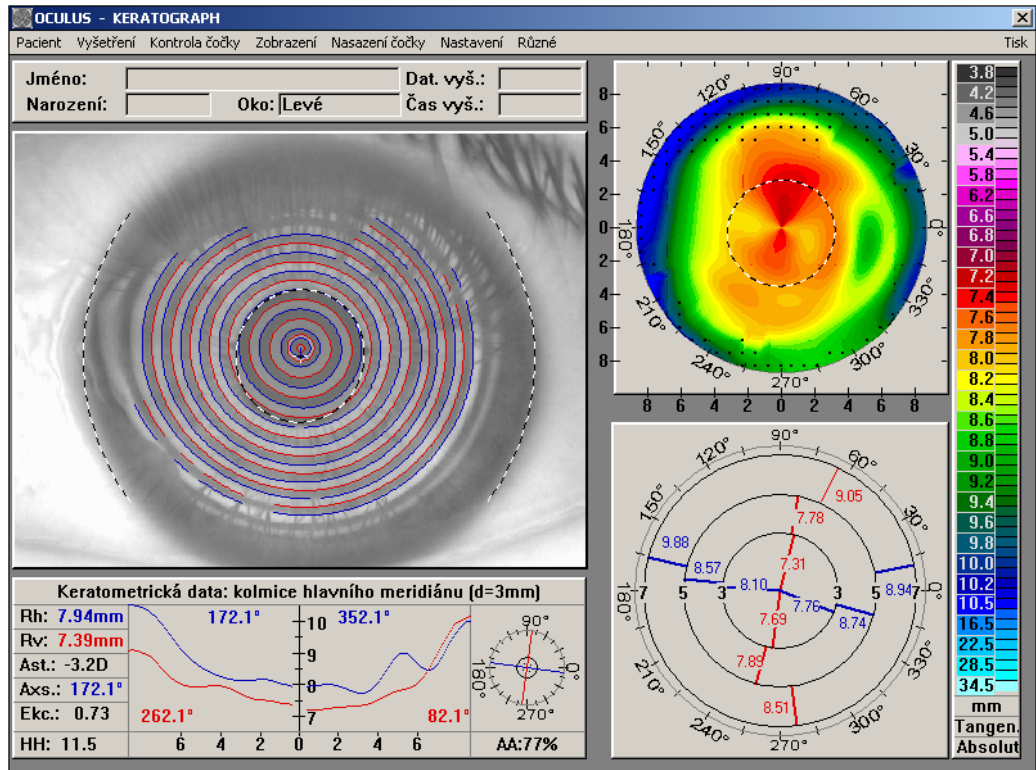
Dále lze povrch rohovky znázornit v trojrozměrném zobrazení, které vystihuje průběh zakřivení měřené rohovky. 3D zobrazení zachycuje přibližný geometrický tvar povrchu rohovky a tak vzniká prostorový dojem.

Další možností zobrazení dat je možné pomocí Fourierovy analýzy či Zernikeho polynomů.

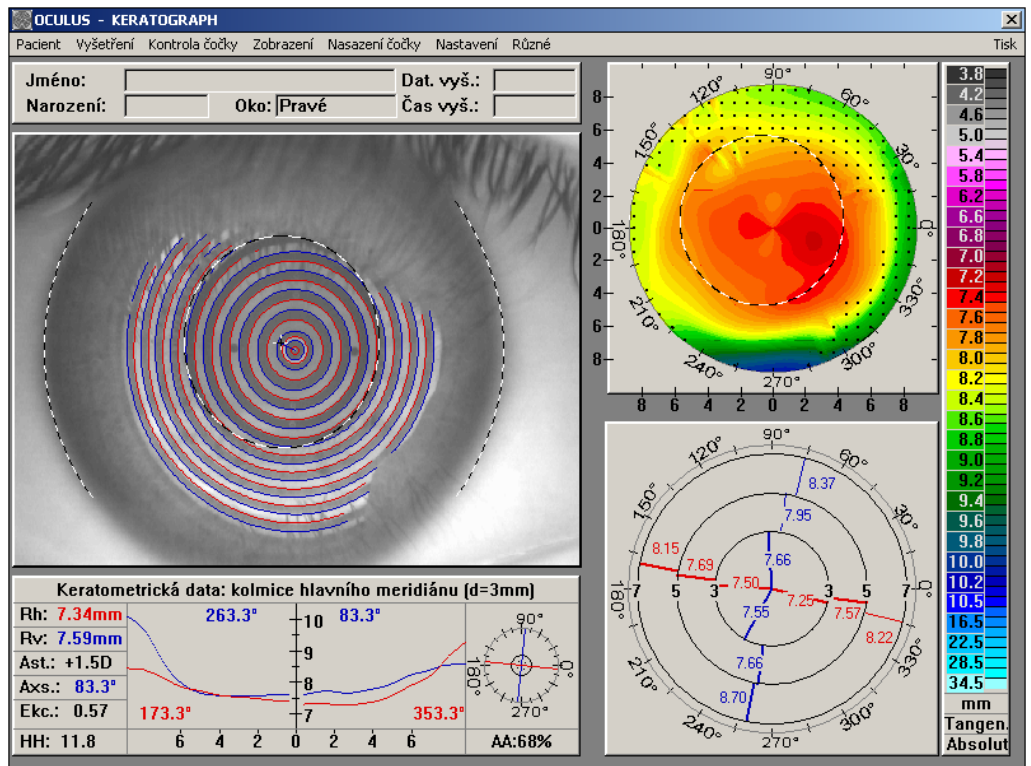
Rohovková topografie se prakticky využívá především v refrakční chirurgii, ačkoliv s rostoucím vývojem novějších metod je pomalu vytlačována novější technikou. Hojně se topograf používá v diagnostice keratokonu a pro aplikaci kontaktních čoček, zejména pevných a speciálních. Zobrazení jednotlivých vyšetření vystihují obrázky 22 – 28.



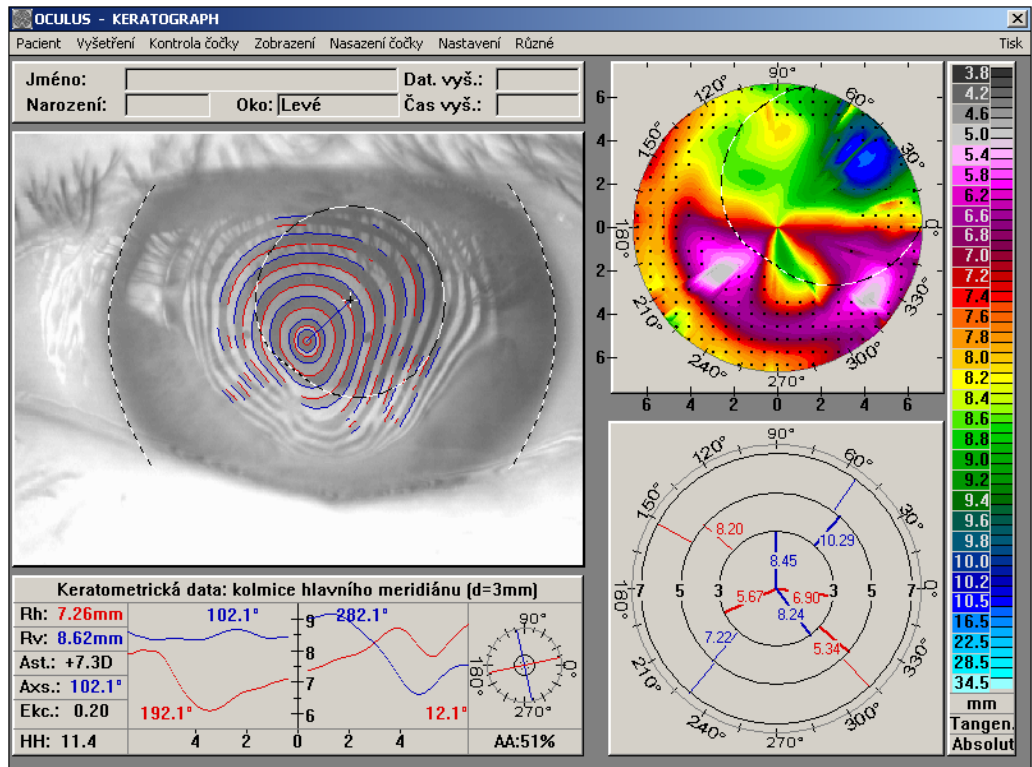
Obr. 22: Normální rohovka s nízkým astigmatismem podle pravidla



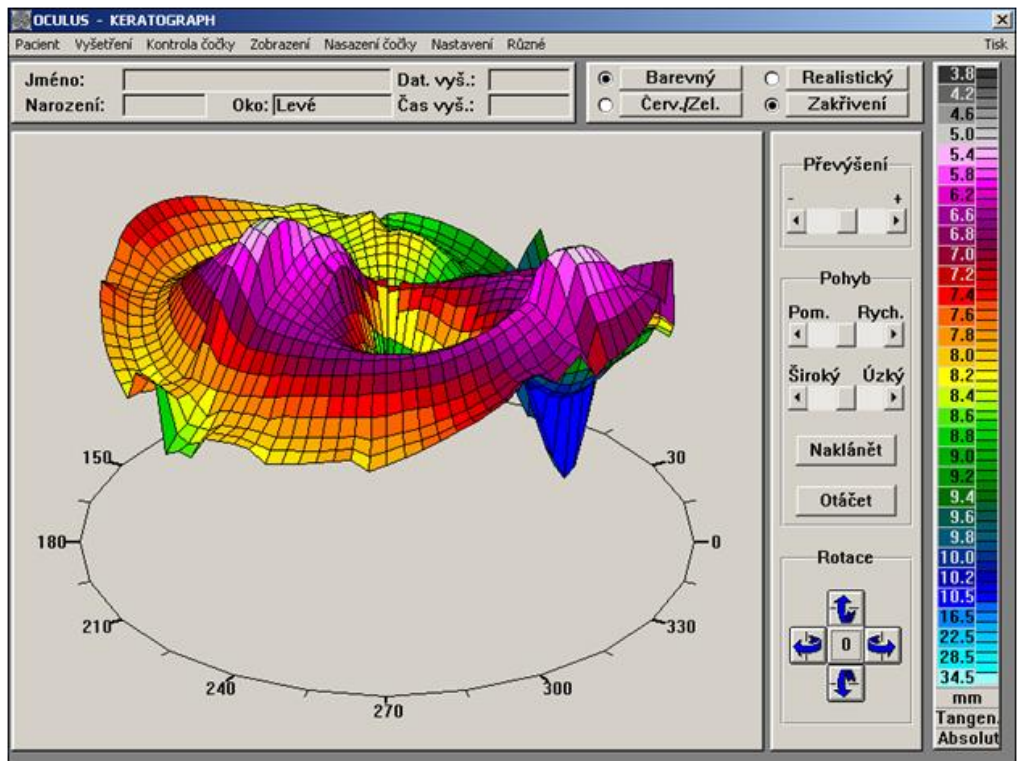
Obr. 23: Rohovka s astigmatismem podle pravidla



Obr. 24: Rohovka s astigmatismem proti pravidlu

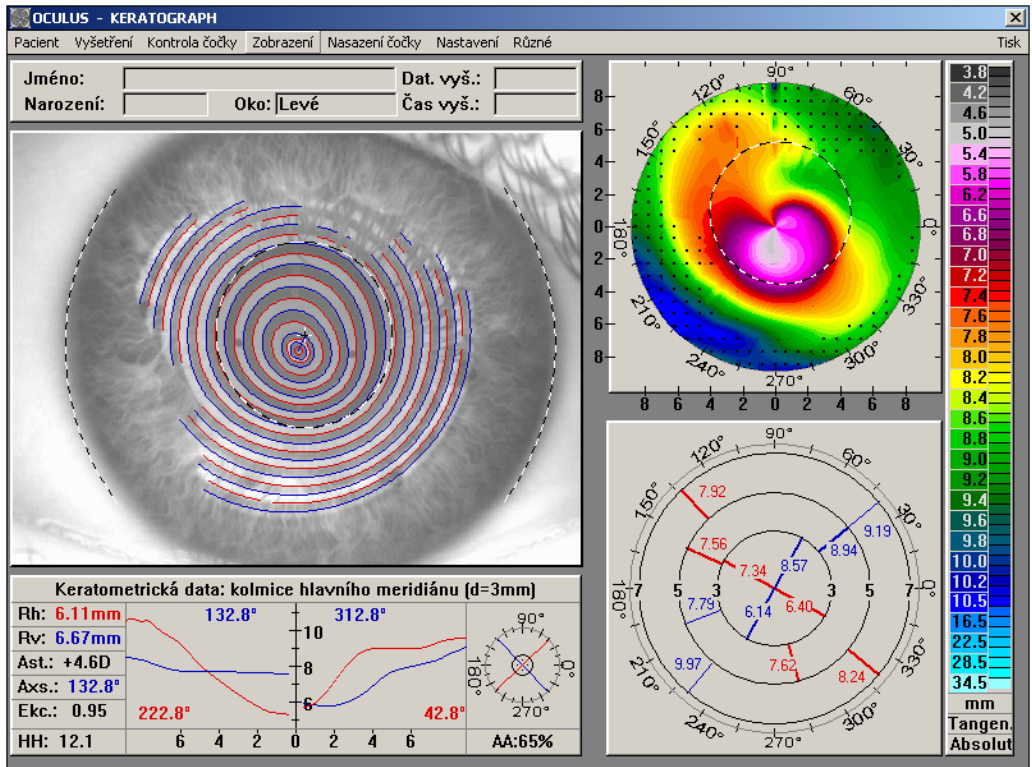


Obr. 25a: Keratoplastika

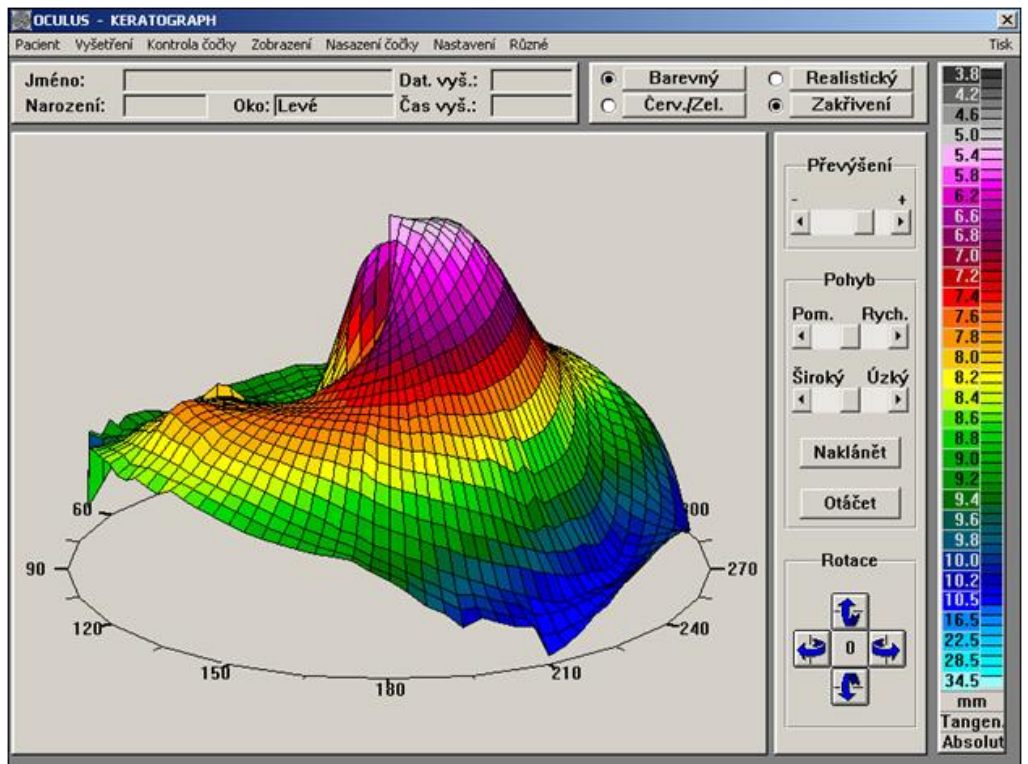


Obr. 25b: Keratoplastika - 3D zobrazení

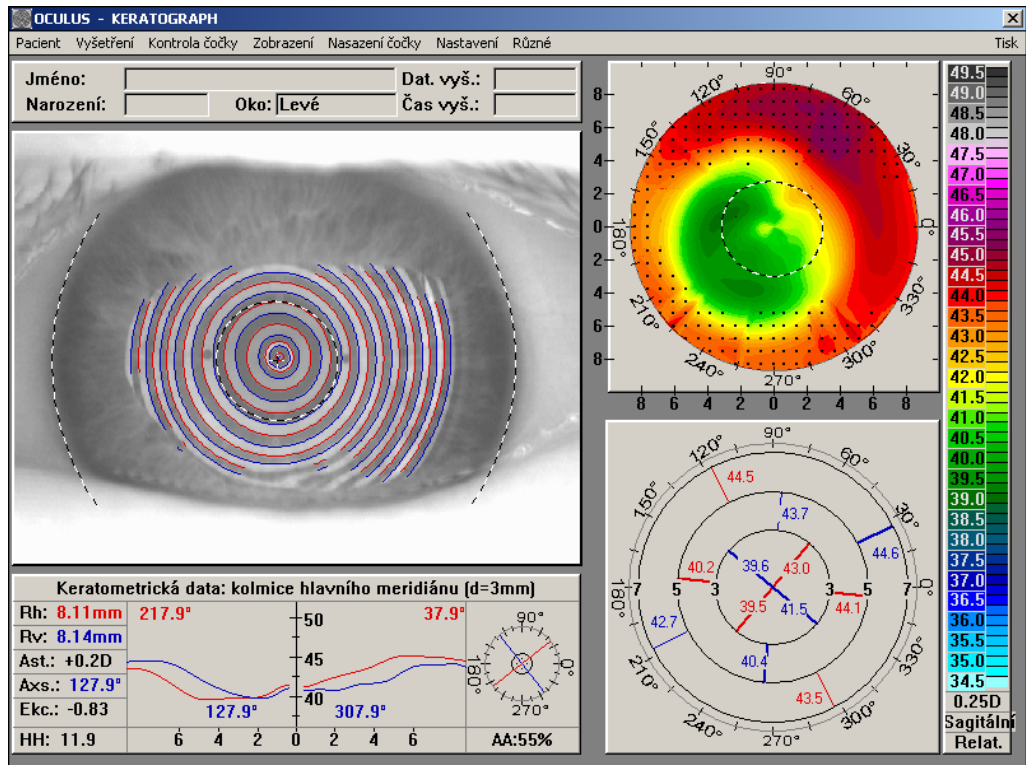




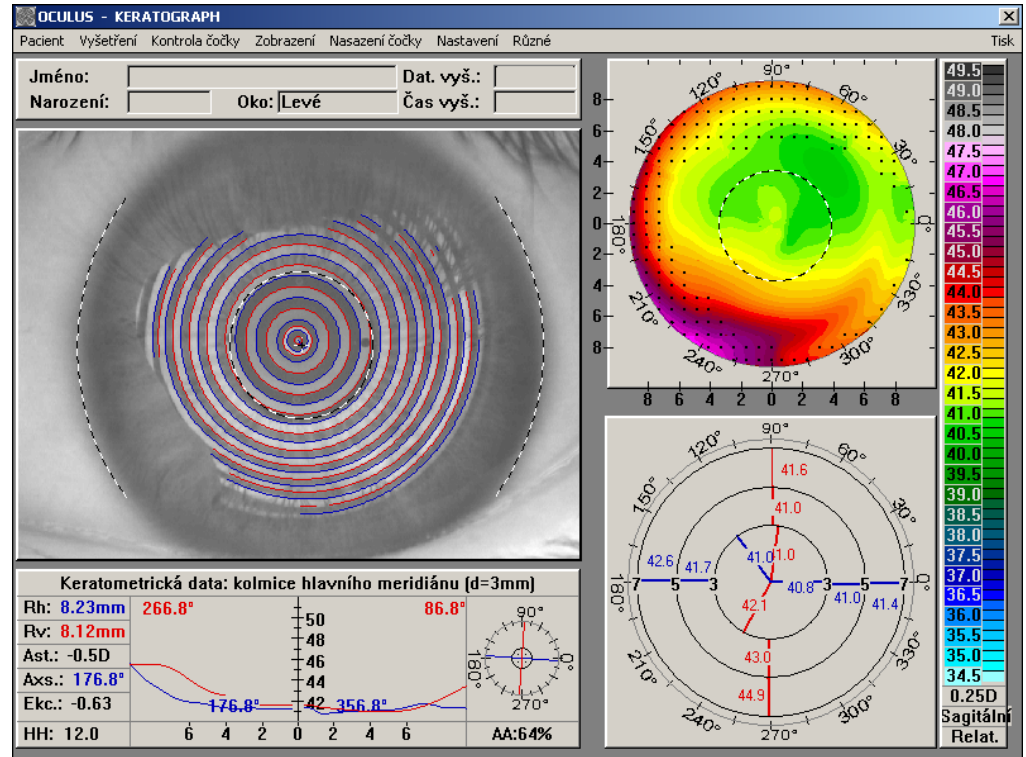
Obr. 26a: Keratokonus, stupeň 3



Obr. 26b: Keratokonus, stupeň 3 – 3D zobrazení



Obr. 27: Rohovka po laserové refrakční operaci – PRK (přibližně z – 10 D)



Obr. 28: Rohovka po laserové refrakční operaci – LASIK (přibližně z - 5 D)

## 5.4. Porovnání Javalova keratometru a rohovkového topografu

Na úvod si shrneme, co mají Javal - Schiötzův keratometr a rohovkový topograf shodné. Oba přístroje jsou určeny k měření rohovky. Fungují na principu keratometrie, tzn. využívají odrazivost rohovky. Oba přístroje podávají informace o poloměru zakřivení přední plochy rohovky, její optické mohutnosti, poloze hlavních meridiánů a o hodnotě rohovkového astigmatismu. U obou zařízení je nutné manuálně zaměřit vzdálenost  $d$  (vzdálenost předmětu a obrazu předmětu) neboli podobným způsobem zaostřit obrazy značek.

Nicméně se liší svým provedením, tvarem měrných značek, způsobem zpracování dat aj. Základní rozdíl vystihuje název metody. Zatímco Javal – Schiötz keratometr se připisuje k metodám keratometrickým, topograf spíše náleží metodám keratoskopickým, tzn. lépe rozliší nerovnosti rohovky a nepravidelnosti zakřivení rohovky. Velký rozdíl také nalezneme v rozsahu měřené oblasti rohovky. Zatímco Javalův keratometr měří poloměr zakřivení pouze ve dvou bodech přibližně 3-4 mm od středu rohovky, rohovkový topograf umožňuje stanovit parametry v rozsáhlé oblasti rohovky – jak v centru, tak i v periférii. Získaná data pak dokáže zobrazit ve formě vhodných map.

Na rozdíl od Javalova keratometru má topograf tu výhodu, že měření probíhá zároveň v horizontálním i vertikálním směru. Patrně by tedy měření mělo vykazovat přesnější hodnoty, protože není ovlivněno pohybem hlavy vyšetřovaného mezi zaměřením jednotlivých meridiánů.

Přístroje se různí i v manipulaci a obsluze. Pro stanovení výsledných hodnot podstatnou vzájemnou pozici značek u Javalova keratometru subjektivně hodnotí osoba experimentátora, výsledky měření proto mohou být ovlivněny subjektivní chybou vyšetřujícího. U topografu odpadá subjektivní vyhodnocení pozice značek, což prakticky eliminuje možnou chybu v měření vnesenou subjektivním pozorováním. Navíc se data uchovávají v paměti počítače, tudíž je možné pohodlně ukládat a následně zpětně srovnat několik měření provedených v různých časech.

Srovnáme-li dobu měření, delší časový úsek nepochybně převládá u Javalova keratometru. Svou velikostí se přístroje příliš neliší, ačkoli k topografu je nutné připojení počítače a monitoru či podobného zobrazovacího zařízení, které mohou vyžadovat více prostoru.



## 6. Experimentální část

Tato část se zabývá praktickým srovnáním keratometrických údajů získaných Javalovým – Schiötzovým keratometrem a rohovkovým topografem. Hodnocenými veličinami jsou poloměr zakřivení přední plochy rohovky v hlavních meridiánech, odpovídající dioptrická hodnota a poloha hlavních meridiánů. Dále je hodnocena velikost rohovkového astigmatismu v dioptriích. Pravé i levé oko je posuzováno samostatně.

Měření se uskutečnilo v únoru 2010 (pro každého vyšetřovaného vždy v blízkém časovém rozestupu) v laboratořích optometrie na Katedře optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

### 6.1. Cíl výzkumu a pracovní hypotéza

Cílem výzkumu je zjistit rozdíly měření parametrů přední plochy rohovky Javal – Schiötz keratometrem a rohovkovým topografem. Získané výsledky jsou hodnoceny a navzájem komparovány.

Experiment předpokládá odlišné hodnoty naměřené Javal - Schiötz keratometrem a rohovkovým topografem. Avšak vzhledem k identitě měřeného vzorku by rozdíly neměly narůstat do vysokých hodnot. Domnívám se, že výraznější rozdíly nalezneme především v poloze hlavních meridiánů, tedy i u os rohovkového astigmatismu.

Dalším cílem je zjištění souvislosti rozdílu úhlů naměřených oběma přístroji a velikosti rohovkového astigmatismu. Předpokládám, že čím menší astigmatismus, tím větší budou rozdíly. Při měření Javal - Schiötzovým keratometrem lze u slabých astigmatismů při subjektivním hodnocení vzájemné polohy testových značek obtížněji rozpoznat jejich pozici.

Získané údaje budou také využity pro sledování četnosti výskytu poloh os astigmatismu. Předpokládám, že úhly by měly být nejvíce frekventované kolem  $0^\circ$  a  $180^\circ$  (tj. horizontální rovina).

## 6.2. Metodika výzkumu

K realizaci praktické části byl použit Javal - Schiötz keratometr (výrobce OCULUS) a Keratograf 3 (výrobce OCULUS). Prodleva mezi měřeními jednotlivými přístroji byla maximálně 1 hodina pro jednu vyšetřovanou osobu. Hodnoty měření byly zaznamenávány do protokolu, který je uveden v Příloze 1 na konci této práce.

### 6.2.1. Vyšetřované osoby

Skupina vyšetřovaných čítala 62 osob (19 mužů a 43 žen) ve věkovém rozpětí 19 až 57 let. Průměrný věk byl 24 let. Měření jedinci netrpěli žádnými závažnými patologiemi rohovky, které by mohly ovlivnit průběh a výsledky měření. Podrobné údaje věku a pohlaví u každého vyšetřovaného podává tabulka v Příloze 2.

### 6.2.2. Použité zařízení

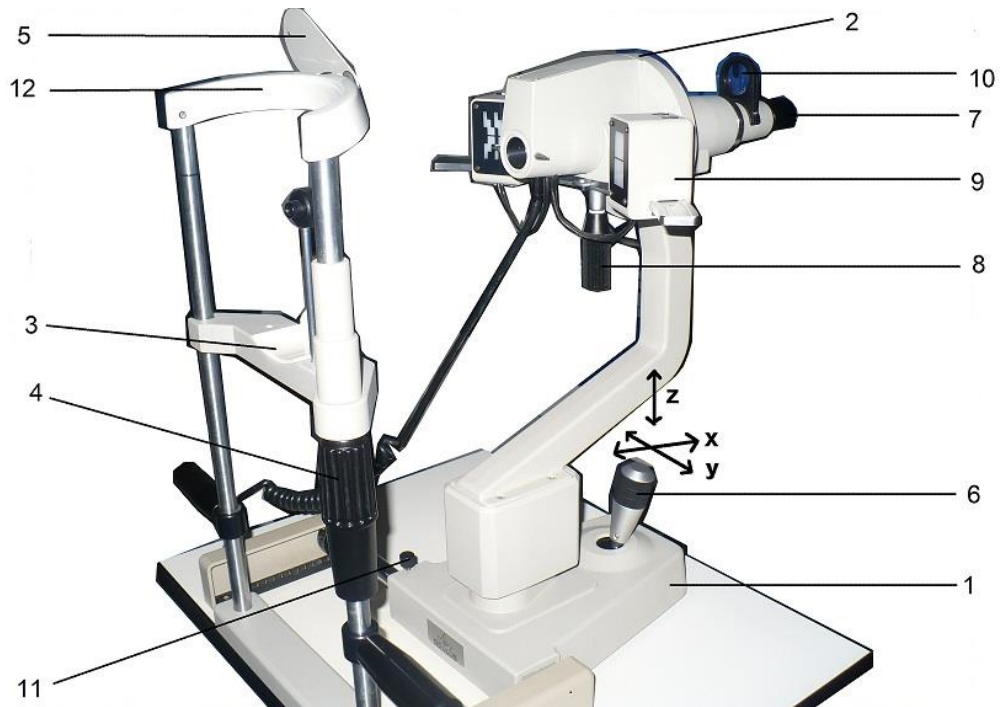
#### 6.2.2.1. Javal - Schiötz keratometr

Javal - Schiötz keratometr OCULUS umožňuje stanovit poloměr zakřivení rohovky, odpovídající optickou mohutnost rohovky, rohovkový astigmatismu a směr os dvou měřených meridiánů. Zaměřovací systém je podle Javala. Dále jej charakterizuje měřicí rozsah od 30 – 60 D, tj. 5,6 – 11,3 mm. Rozsah povrchu rohovky použitelný pro měření čítá průměr 3,4 mm, tj. 9 mm<sup>2</sup> plochy rohovky. Stupnice určující osy meridiánů je cejchována v režimu TABO a INTERNATIONAL.

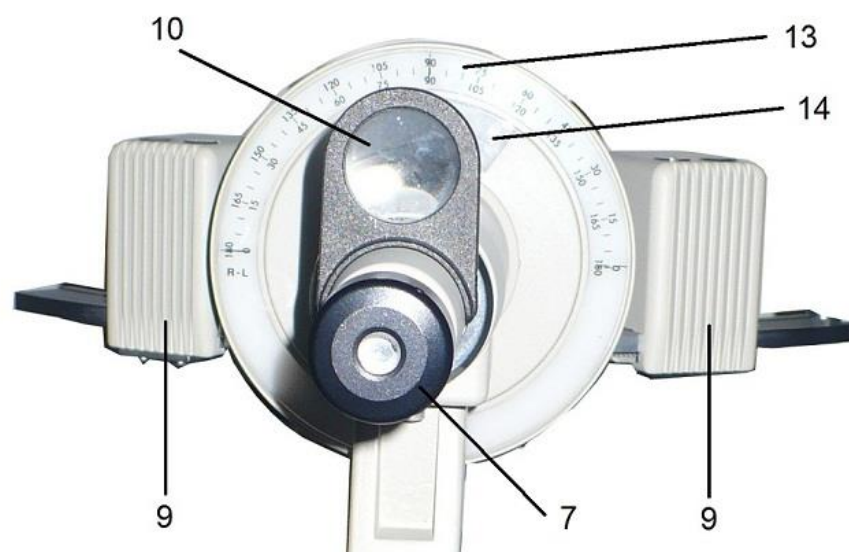
#### Popis přístroje

Keratometr je vyobrazen na obr. 29a, 29b, 29c, přičemž čísla v závorkách v následujícím textu korespondují s popisovými čísly na uvedených vyobrazeních. Keratometr se skládá ze základny (1), která umožňuje pohyby dopředu, dozadu, vpravo a vlevo. Základna je vybavena pákovým ovladačem (6), kterým lze současně provádět všechny pohyby přístroje. Důležitou částí je hlava (2), jež obsahuje okulár dalekohledu (7), záměry zaměřovacího systému podle Javala (9) a ovládací rukojeť pro posuv záměrů zaměřovacího systému (8). Na hlavě zařízení kromě toho nalezneme stupnice meridiánového hodnocení (13)

a stupnici zakřivení rohovky a její dioptrické hodnoty (14). Pro usnadnění práce je na keratometru zřízena muška (15) a zářezy (16) pro nastavení úrovně očí vyšetřovaného. Pro lepší čitelnost stupnic lze využít zvětšovací čočky (10) a pro fixaci přístroje se na něm nachází upevňovací svorka pro blokování pohybů (11). V části vyhrazené pro tvář vyšetřované osoby se nachází podpěrka brady (3), opěrka čela (12), rukojeť pro zvedání opěrky brady (4) a clona pro nevyšetřované oko (5).



Obr. 29a: Javal – Schiötz keratometr – celkový pohled



Obr. 29b: Javal – Schiötz keratometr – hlava keratometru ze strany vyšetřujícího



Obr. 29c: Javal – Schiötz keratometr – hlava keratometru ze strany vyšetřovaného

Legenda:

- 1/ Základna s ortogonálními pohyby
- 2/ Hlava keratometru
- 3/ Podpěrka brady
- 4/ Rukojeť pro zvedání opěrky brady
- 5/ Clona pro nevyšetřované oko
- 6/ Páka pro ortogonální posuv a zvedání základny (x, y, z)
- 7/ Okulár dalekohledu
- 8/ Ovládací rukojeť pro posuv záměrů zaměřovacího systému
- 9/ Záměry zaměřovacího systému podle Javala, projektory zaměřovacích obrazců
- 10/ Zvětšovací čočky pro stupnice
- 11/ Upevňovací svorka pro blokování pohybů x – y
- 12/ Opěrka čela
- 13/ Stupnice meridiánového (osového) hodnocení
- 14/ Stupnice a rozsah ohybové kapacity rohovky
- 15/ Muška pro zaměření teleskopu
- 16/ Zářezy pro vyrovnání úrovně očí pacienta

## Postup měření

Před začátkem měření musí vyšetřující nastavit okulár na svoji vlastní refrakci. Tento proces se provádí buď orientačně zaostřením šikmé pomocné čáry v zorném poli okuláru nebo přesněji pomocí zkušební rohovky o optické mohutnosti 50 D dodávané s keratometrem. Zkušební rohovka se umístí na místo pro ni určené. Poté osoba provádějící měření nastaví oblouk záměrů zaměřovacího systému na 180° a otáčením proti směru hodinových ručiček maximálně vysune okulár (7). Dalekohled se vycentruje na zkušební rohovku zaměřením skrz zářez na okraji měřícího disku (16) a mušku (15). Pohybem páky pro ortogonální pohyby základny a zvedání (6) se zaostří a vycentrují obrazy testovacích značek na zkušební rohovce. Podobné obrazy musí být na stejné polovině pole. Posléze se pomocí ovládací rukojeti pro posuv záměrů zaměřovacího systému (8) nastaví hodnota 50 D na dioptrické stupnici (14). Při pohledu přes okulár dalekohledového systému se obrazy jeví mírně od sebe vzdálené. Prostřednictvím páky (6) se dosáhne přesné koincidence dvou centrálních obrazů. Po této operaci již obrazy záměrů nebudou v ohnisku zkušební rohovky. Otáčením okuláru (7) ve směru hodinových ručiček se obrazy záměrů zaostří. Hodnota, kterou ukazuje konvenční stupnice na okuláru, je stálý faktor přístroje pro vyšetřujícího. Pro kontrolu je třeba tento postup zopakovat.

Vlastní měření začíná pohodlným usazením vyšetřovaného, který položí bradu na opěrku brady (3) a přiloží čelo k opěrce čela (12). Oči vyšetřovaného by měly být na úrovni speciálních zářezů na stojánku opěrky brady a čela. Vyšetřovaná osoba sleduje svítící bod v dalekohledu keratometru. Nevyšetřované oko se zakryje clonkou (5). Po zapnutí přístroje se rozsvítí záměry zaměřovacího systému (9). Oblouk záměrů zaměřovacího systému se nastaví na 180°. Dalekohled se vycentruje stejně jako v procesu zkušební rohovky. Pákou (6) se zaostřují obrazy testovacích značek dokud nejsou jasné a stejně vzdálené od krajů. Posouváním záměrů zaměřovacího systémů pomocí rukojeti (8) se obrazy dostanou do stejné poloviny vizuálního pole a střední čáry obrazů do jejich dotykového bodu. Po dosažení koincidence všech obrazů se odečte hodnota na stupnici (13, 14).

Jestliže jsou dva centrální obrazy posunuté tak, že jejich střední čáry nejsou situovány na stejné ose, je nutné otáčet oblouk záměrů zaměřovacího systému, dokud není dosažena koincidence středních čar. Tímto způsobem byla určena poloha jednoho ze dvou meridiánů. Druhý meridián nalezneme otočením oblouku o 90°. V případě, že je vyšetřované oko astigmatické, budou se dva centrální obrazy překrývat (astigmatismus podle pravidla) nebo rozbíhat (astigmatismus proti pravidlu). Obrazy je třeba opět spojit do koincidence. Následně je možné určit hodnotu na stupnicích. Rozdíl mezi hodnotami odečtenými v případě prvního

a druhého meridiánu představuje hodnotu rohovkového astigmatismu. U astigmatismu dle pravidla lze hodnotu přímo určit podle počtu překrývajících se vrubů, přičemž každý vrub odpovídá jedné dioptrii.

#### 6.2.2.2. Keratograf

Keratograf je přístroj určený k měření topografie rohovky a také může být používán při přizpůsobení kontaktních čoček, zejména pevných. Měření povrchu rohovky se koná pomocí odraženého systému Placidových prstenců, jejichž počet u Keratografu 3 je 22. Data jsou vyhodnocovány počítačem.

Princip je následující: Osvětlovací systém se speciálním reflektorem zezadu osvětluje transparentní polokouli neboli kalotu opatřenou koncentrickými kruhy. Obraz této kaloty odráží naproti umístěná rohovka. Virtuální obraz snímá přesný objektiv a CCD kamera. Na nasnímaném digitalizovaném obraze jsou detekovány a následně softwarem vyhodnoceny obrazy Placidových prstenců. Výsledkem provedené analýzy těchto dat jsou údaje o zakřivení rohovky v jednotlivých jejích bodech, popř. následně spočítané odpovídající optické mohutnosti. Uvedené parametry je možné zobrazit ve formě barevné mapy, kde různé barvy odpovídají daným hodnotám sledovaných parametrů, nebo jako projekci trojrozměrného obrazu. Přístroj umožňuje také další zpracování dat, např. užitím Fourierovy analýzy či metodou Zernikeho polynomů.

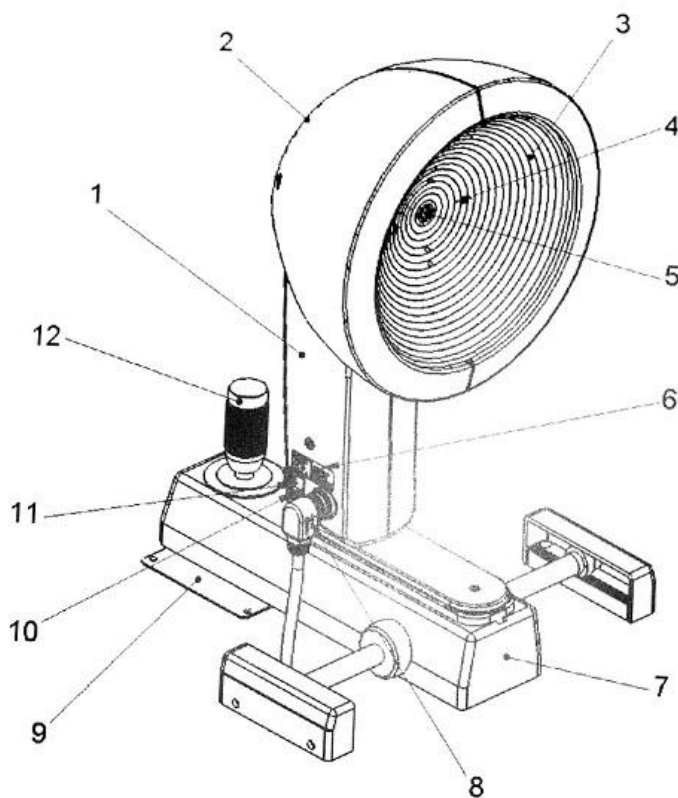
Keratograf 3 má měřicí rozsah od 3 do 38 mm, tj. od 9 do 99 D. Pro základní charakteristiku rohovky jsou použity hodnoty zakřivení, respektive optické mohutnosti, stanovené na kružnici o poloměru 3 mm v centrální části rohovky a odpovídající příslušným hlavním meridiánům. Důležitým parametrem, charakterizujícím kvalitu snímání rohovky, je procentuální podíl části skutečně poměřeného povrchu oproti maximálnímu možnému rozsahu.

#### Popis přístroje

Přístroj je popsán a vyobrazen na obr. 30a, b, c, d, e. Základní součástí keratografu je kalota s Placidovými prstenci (3). V kopuli se nachází zaměřovací cíle (4). Ve středu kopule je umístěna kamera a dioda (5), jíž vyšetřovaný fixuje. Kalotou lze pohybovat směrem doprava, doleva, dopředu a dozadu pomocí posuvného stolu (7) a posuvného kotouče pro posuvný stůl (9). Joystick (12) umožňuje posuv kaloty nahoru a dolů.



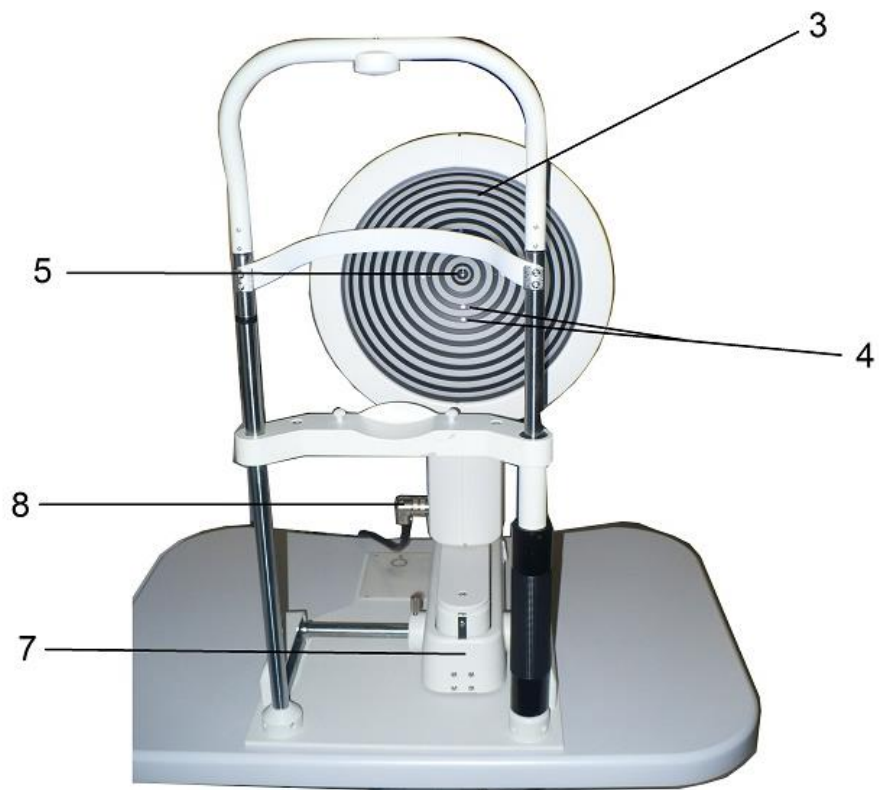
Obr. 30a: Rohovkový topograf (Keratograf 3) – celkový pohled včetně monitoru počítače



Obr. 30b: Rohovkový topograf (Keratograf 3)

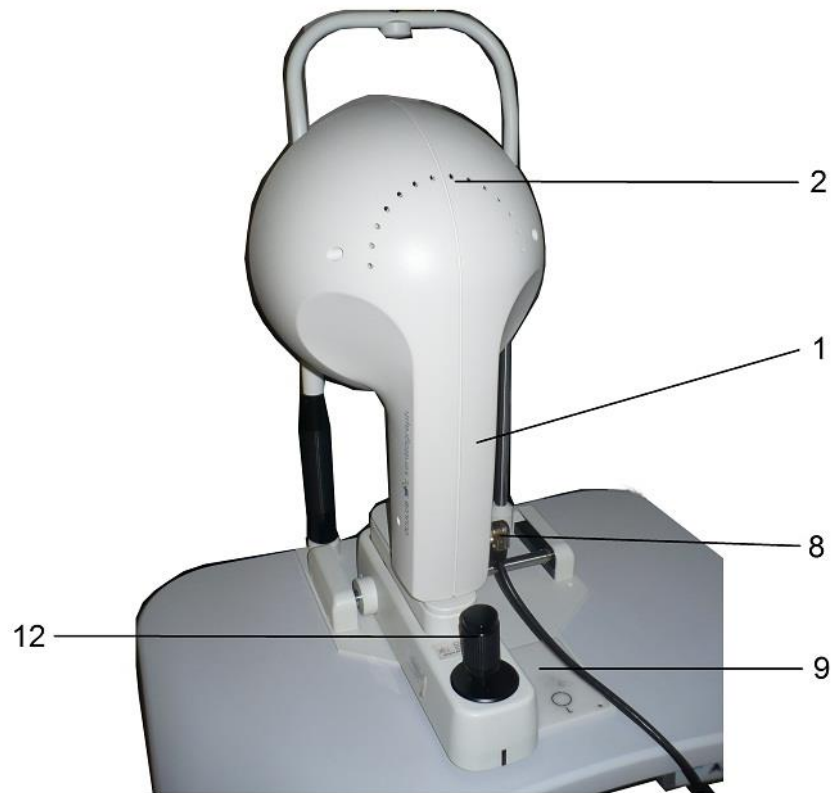
Legenda:

- 1/ Keratograf
- 2/ Větrací otvory
- 3/ Kalota s Placidovými kroužky
- 4/ Zaměřovací cíle
- 5/ Kamera a fixační dioda
- 6/ Firemní štítek
- 7/ Posuvný stůl s pohyby X/Y
- 8/ Konektor
- 9/ Posuvný kotouč pro posuvný stůl
- 10/ Kontrolka
- 11/ Vypínač
- 12/ Joystick pro pohyb posuvného stolu



Obr. 30c: Keratograf 3 – ze strany vyšetřovaného





Obr. 30d: Keratograf 3 – ze strany vyšetřujícího



Obr. 30e: Keratograf 3 – detail kaloty

### Postup měření

Nejprve je potřeba zapnout počítač napojený na keratograf, poté se vypínačem (11) nastartuje keratograf. Rozsvítí se kontrolka (10). Po aktivaci operačního systému počítače je třeba spustit příslušný program. Po vstupu do programu je nutné zvolit pacienta či zadat nového. Pokud je zadán pacient, je možné přejít k vlastnímu měření.

Vyšetřovaná osoba se usadí a opře hlavu na opěrku hlavy. Opěrka je nastavena tak, aby oči vyšetřovaného byly přibližně ve výšce černého pruhu na opěrce. Vyšetřovaný sleduje žlutou fixační diodu ve středu systému Placidových kroužků na keratografu (5). V nabídce vyšetřovacího programu se zvolí nové vyšetření. Pro start měření je třeba vybrat, zda chceme vyšetřovat pravé či levé oko. Na monitoru počítače se objeví aktuální obrázek rohovky přenesený z kamerového systému. Posuvem joysticku (12) se keratograf nastaví tak, aby vyšetřované oko bylo ve středu obrázku kamery a upravením vzdálenosti keratografu k oku se obrázek zaostřuje. Na obrazovce počítače je dodatečně znázorněn pohled keratografu z boku, pohled shora a směr, kterým se musí přístroj posunout, aby došlo k automatickému spuštění měření. Tento proces proběhne, pokud je měření předtím manuálně uvolněno. Kromě automatického spuštění měření lze měření zahájit také ručně. Po aktivaci měření se obraz digitálně přenese do počítače, ve kterém se obrázek dále zpracovává.

### 6.2.3. Metodika experimentu

Výzkum byl prováděn individuálně na každé vyšetřované osobě pro pravé a levé oko. Zkoumaný figurant byl proměřen jak na Javal – Schiötz keratometru, tak na keratografu. Prodleva mezi jednotlivými měřeními na obou přístrojích pro jednoho vyšetřovaného nebyla delší než 1 hodina. Hodnoty měření byly zapisovány do protokolu (viz Příloha 1 v závěru této diplomové práce), který obsahoval obecné údaje jako jméno, příjmení a věk vyšetřovaného, datum měření a dále zahrnoval specifické údaje o měření. Tj. radiusy zakřivení přední plochy rohovky v hlavních meridiánech, odpovídající dioptrické hodnoty přední plochy rohovky a příslušná osa hlavních meridiánů, pro každý použitý přístroj vždy samostatně pro pravé a levé oko. V protokolu byla dále obsažena informace o rohovkovém astigmatismu. Velikost rohovkového astigmatismu byla v případě Javalova keratometru počítána manuálně odečtením dioptrických hodnot v horizontálním a vertikálním směru, v případě Keratografu pouze přepsána z dat počítače.

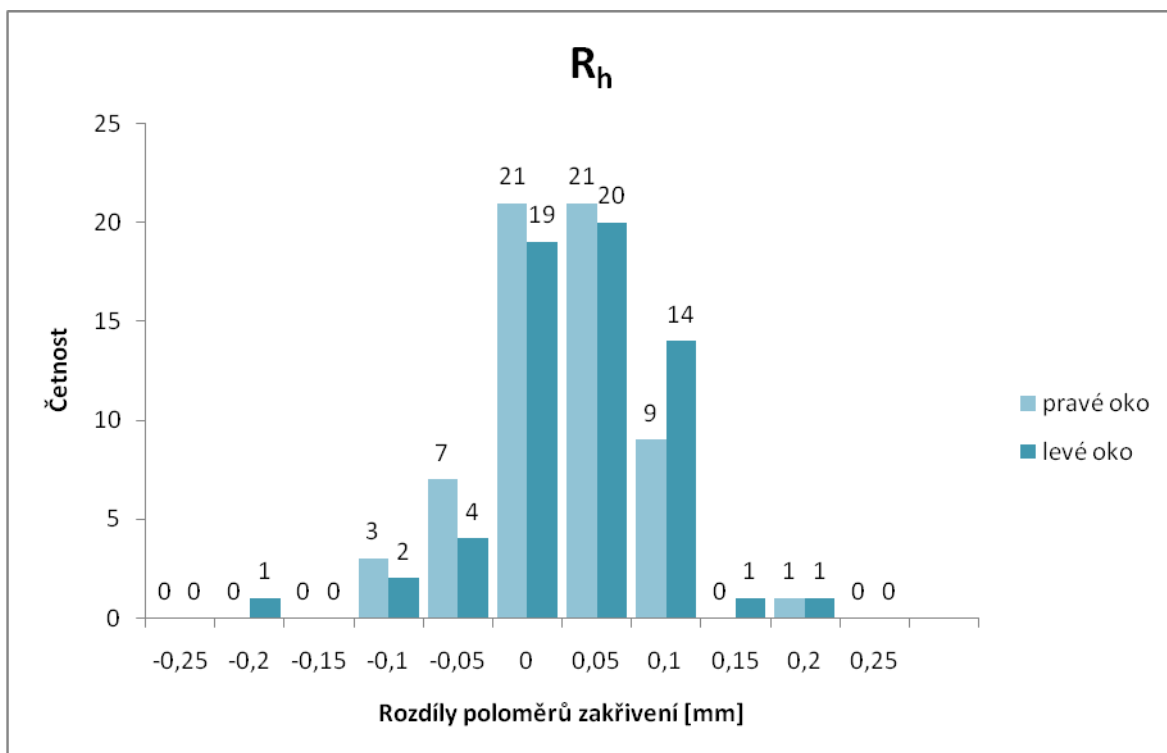
Ve výzkumu byly hodnoceny tyto veličiny: radius zakřivení přední plochy rohovky v hlavních meridiánech, odpovídající dioptrická hodnota, pozice hlavních meridiánů zakřivení

a rohovkový astigmatismus. Pro přehlednější orientaci jsou hodnoty naměřené v meridiánu více horizontálním označeny jako horizontální a hodnoty naměřené ve více vertikálním meridiánu jako hodnoty vertikální. Jednotka poloměru zakřivení se udává v milimetrech, dioptrická hodnota v dioptriích a poloha hlavních meridiánů zakřivení je dána ve stupních. Rohovkový astigmatismus je v dioptriích.

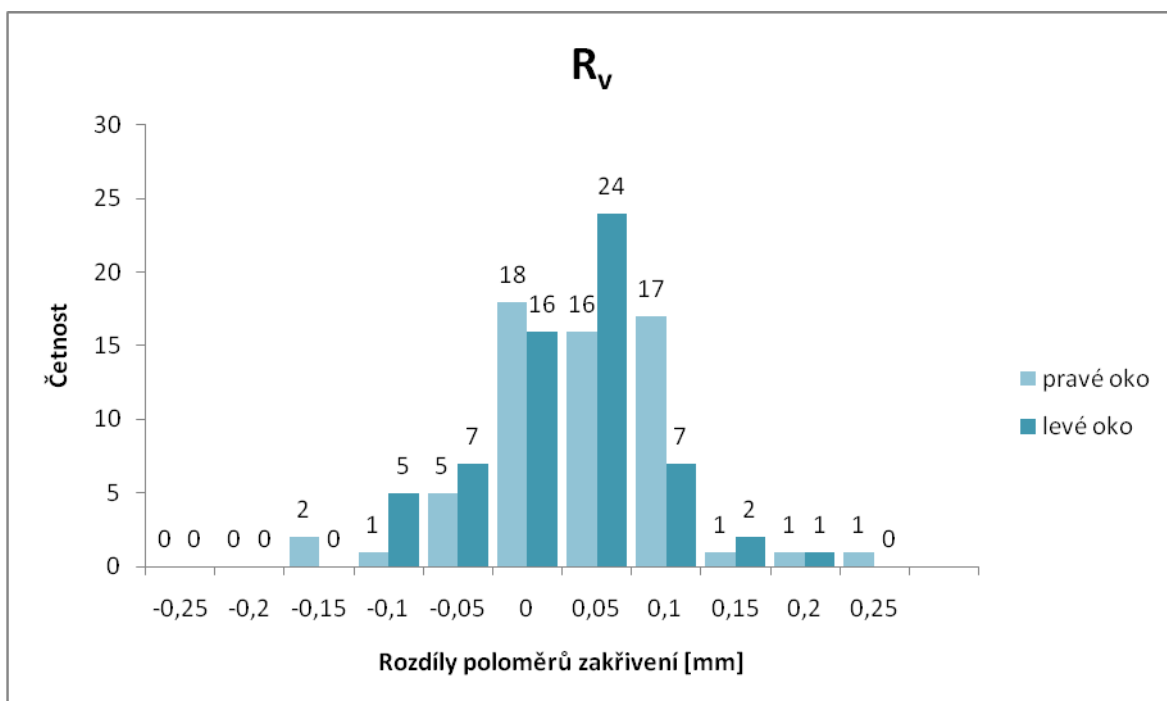
### 6.3. Výsledky

U každého figuranta byl pro jednotlivé hodnocené veličiny stanoven rozdíl hodnoty z Javal – Schiötz keratometru od hodnoty z rohovkového topografu. Kladná hodnota rozdílu znamená, že veličiny z rohovkového topografu jsou nižší než veličiny z Javal – Schiötz keratometru. Naopak záporná hodnota rozdílu značí nižší naměřené hodnoty u Javalova keratometru. Pro výsledky rozdílů rohovkového astigmatismu platí tato podmínka v opačném významu, protože zápis astigmatismu je v minusových hodnotách. Výsledky všech měření včetně příslušných rozdílů u každé osoby zaznamenávají tabulky v příloze této práce.

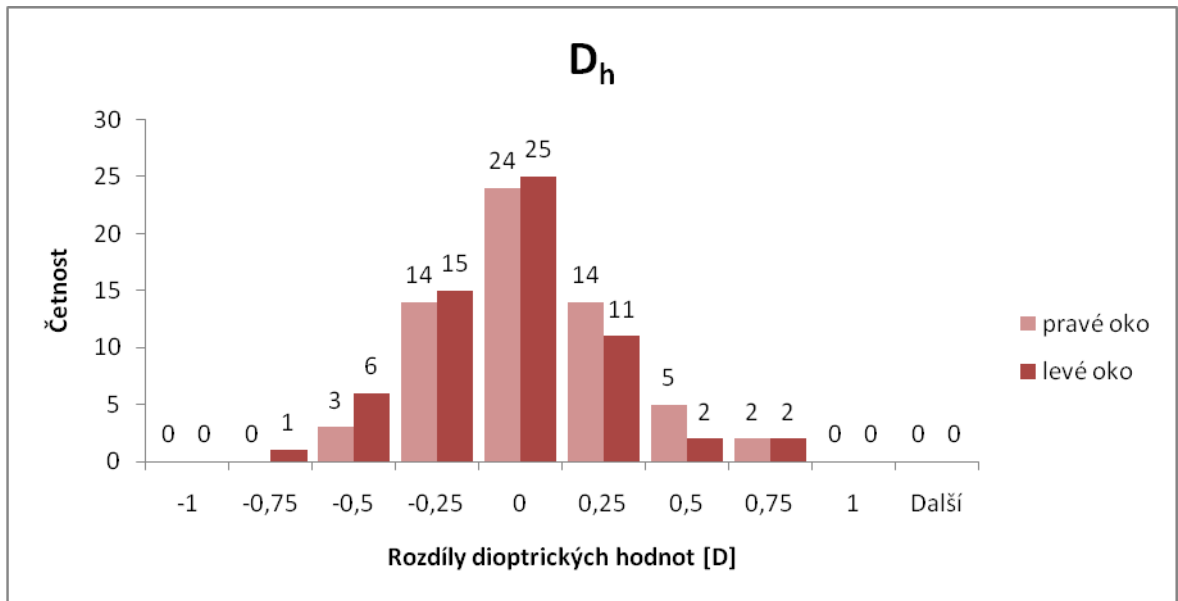
Z naměřených hodnot získaná statistická rozdělení jednotlivých studovaných rozdílů lze komplexně graficky vystihnout ve formě histogramů (viz histogram 1 – 6).



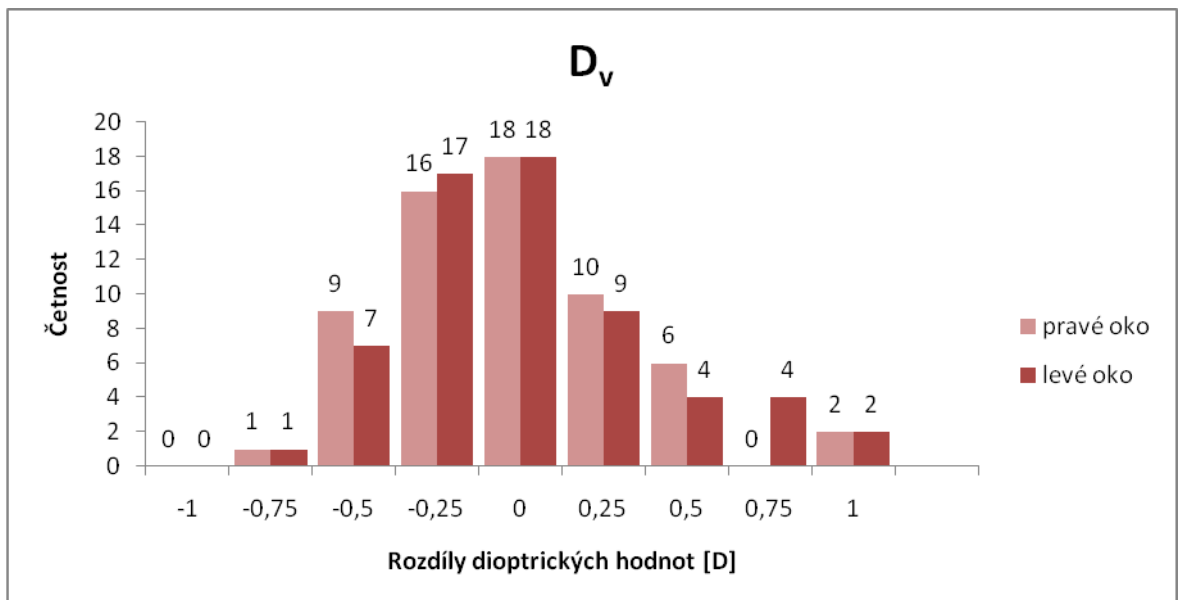
Histogram 1: Rozdíly v poloměru zakřivení přední plochy rohovky odděleně pro pravé a levé oko v horizontálním směru



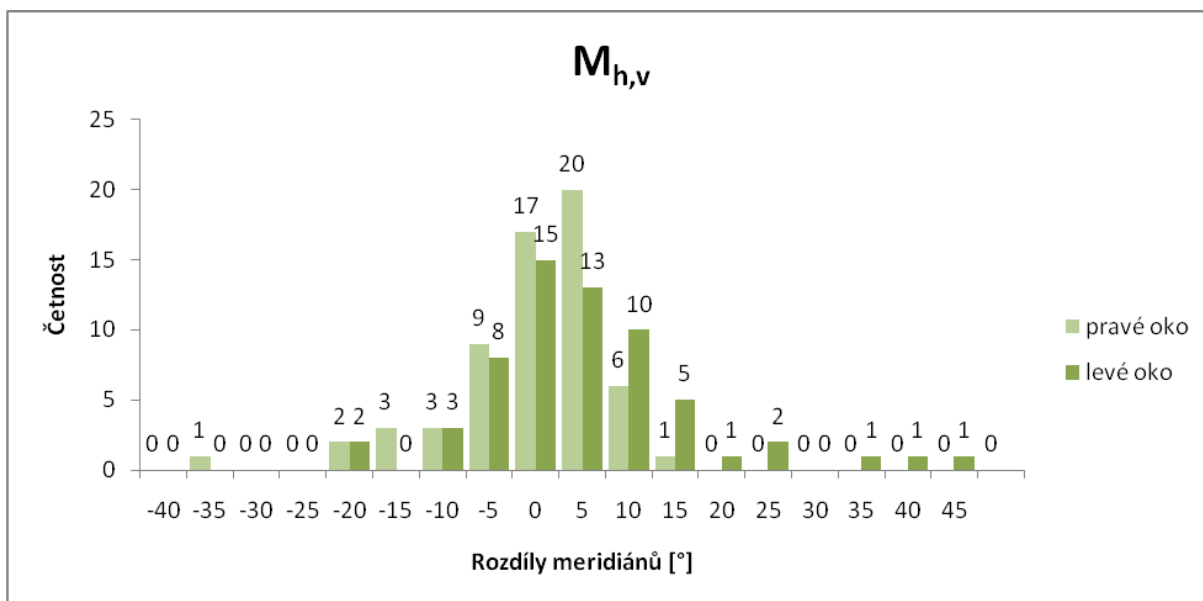
Histogram 2: Rozdíly v poloměru zakřivení přední plochy rohovky odděleně pro pravé a levé oko ve vertikálním směru



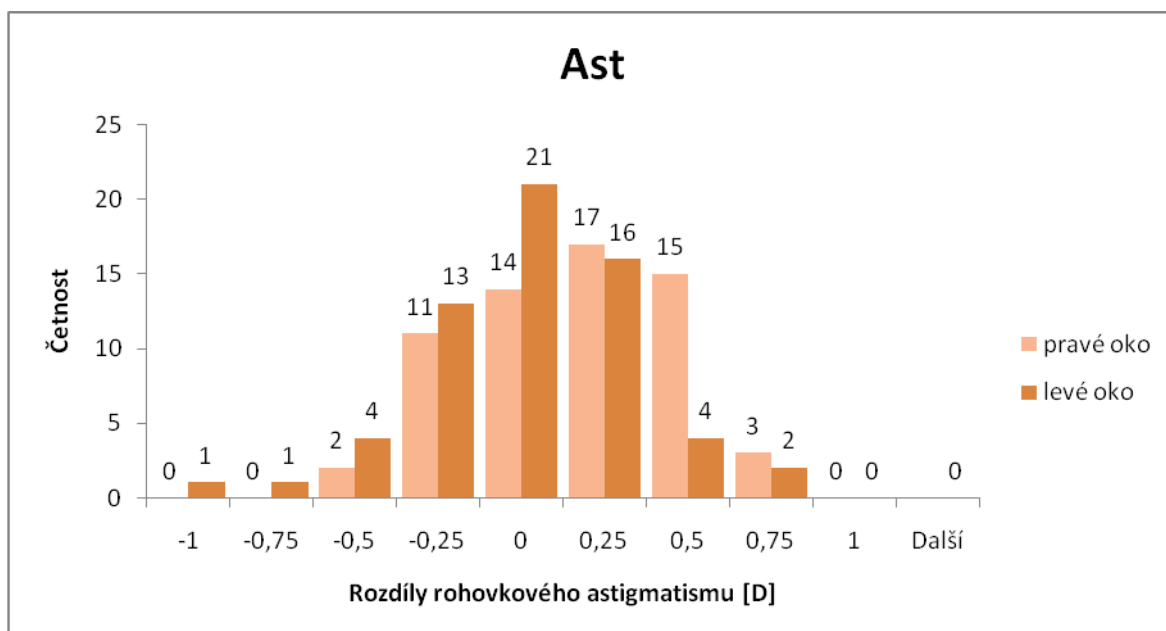
Histogram 3: Rozdíly v optické mohutnosti přední plochy rohovky odděleně pro pravé a levé oko v horizontálním směru



Histogram 4: Rozdíly v optické mohutnosti přední plochy rohovky odděleně pro pravé a levé oko ve vertikálním směru



Histogram 5: Rozdíly v poloze hlavních meridiánů přední plochy rohovky odděleně pro pravé a levé oko. Zobrazená data odpovídají horizontálnímu meridiánu, histogram pro vertikální meridián je totožný, pouze na vodorovné ose posunutý o 90°.



Histogram 6: Rozdíly ve velikosti astigmatismu přední plochy rohovky odděleně pro pravé a levé oko

## 6.4. Zhodnocení

Srovnání jednotlivých hodnocených veličin bylo provedeno na základě průměrných hodnot rozdílů poloměrů zakřivení stanovených oběma přístroji v horizontálním směru  $\overline{\Delta R}_h$ , rozdílů poloměrů zakřivení ve vertikálním směru  $\overline{\Delta R}_v$ , rozdílů dioptrických hodnot v horizontálním směru  $\overline{\Delta D}_h$ , ve vertikálním směru  $\overline{\Delta D}_v$  a meridiánů zakřivení v horizontálním a vertikálním směru  $\overline{\Delta M}_{h,v}$  (hodnoty pro horizontální i vertikální směr jsou logicky totožné a proto jsou vyhodnoceny pomocí společného parametru). Dále bylo zpracováno srovnání z průměrných rozdílů rohovkového astigmatismu  $\overline{\Delta ast}$ . Stanovené průměrné hodnoty jsou spolu s odpovídajícími směrodatnými odchylkami  $\sigma_{\Delta R_h}$ ,  $\sigma_{\Delta R_v}$ ,  $\sigma_{\Delta D_h}$ ,  $\sigma_{\Delta D_v}$ ,  $\sigma_{\Delta M_h}$ ,  $\sigma_{\Delta M_v}$ ,  $\sigma_{\Delta ast}$  statistických rozdělení sledovaných veličin shrnuty v níže uvedené tabulce 1 a 2.

	$\overline{\Delta R}_h$	$\sigma_{\Delta R_h}$	$\overline{\Delta R}_v$	$\sigma_{\Delta R_v}$
OD	0,002	0,054	0,016	0,070
OS	0,015	0,062	0,001	0,065
	$\overline{\Delta D}_h$	$\sigma_{\Delta D_h}$	$\overline{\Delta D}_v$	$\sigma_{\Delta D_v}$
OD	- 0,07	0,25	- 0,13	0,36
OS	- 0,16	0,28	- 0,07	0,37
	$\overline{\Delta M}_{h,v}$		$\sigma_{\Delta M_{h,v}}$	
OD	- 3		8	
OS	2		12	

Tab. 1: Průměrné rozdíly Javal – Schiötz keratometru a rohovkového topografu pro poloměr zakřivení, dioptrickou hodnotu a meridián zakřivení přední plochy rohovky ve vertikálním a horizontálním směru, pro pravé a levé oko (OD, OS)

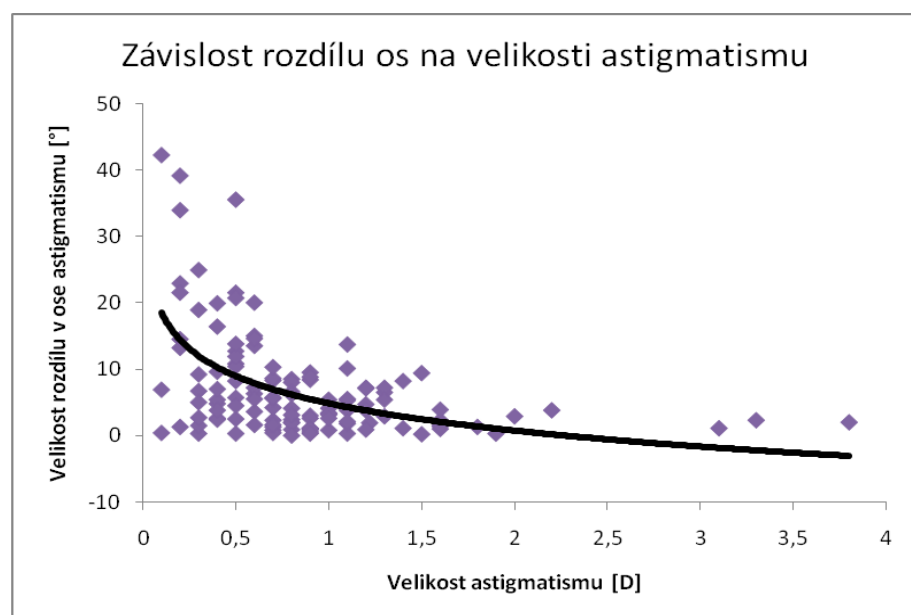
	$\overline{\Delta ast}$	$\sigma_{\Delta ast}$
OD	0,06	0,31
OS	- 0,08	0,31

Tab. 2: Průměrné rozdíly Javal – Schiötz keratometru a rohovkového topografu pro rohovkový astigmatismus a osu rohovkového astigmatismu, pro pravé a levé oko (OD, OS)

Z téměř nulových průměrných hodnot a nízkých směrodatných odchylek v tabulce je vidět, že rozdíly mezi měřeními poloměřů zakřivení Javalovým keratometrem a rohovkovým topografem jsou minimální. Vzhledem ke kladné hodnotě rozdílů lze u Javalova keratometru očekávat mírně vyšší naměřené hodnoty. U proměřeného souboru nalezneme vyšší rozdíly zejména ve směru vertikálním, nejvíce se odlišují naměřená data ve svislém směru levého oka. S uvedenou skutečností logicky korespondují minimální hodnoty rozdílů odpovídajících hodnot optické mohutnosti rohovky. Z nepatrně zvýšeného výskytu záporných hodnot vyplývá, že topograf vykazuje mírně vyšší dioptrické hodnoty než Javalův keratometr. Poměrně velké difference mezi daty z Javalova keratometru a topografu nalezneme u stanovených poloh hlavních meridiánů, u nichž se vyskytují směrodatné odchylky kolem  $8^\circ$  a  $12^\circ$ .

Rohovkový astigmatismus naměřený Javal – Schiötz keratometrem a Keratografem se liší v průměrných rozdílech jen velmi málo. Také variabilita, daná směrodatnou odchylkou, není příliš vysoká.

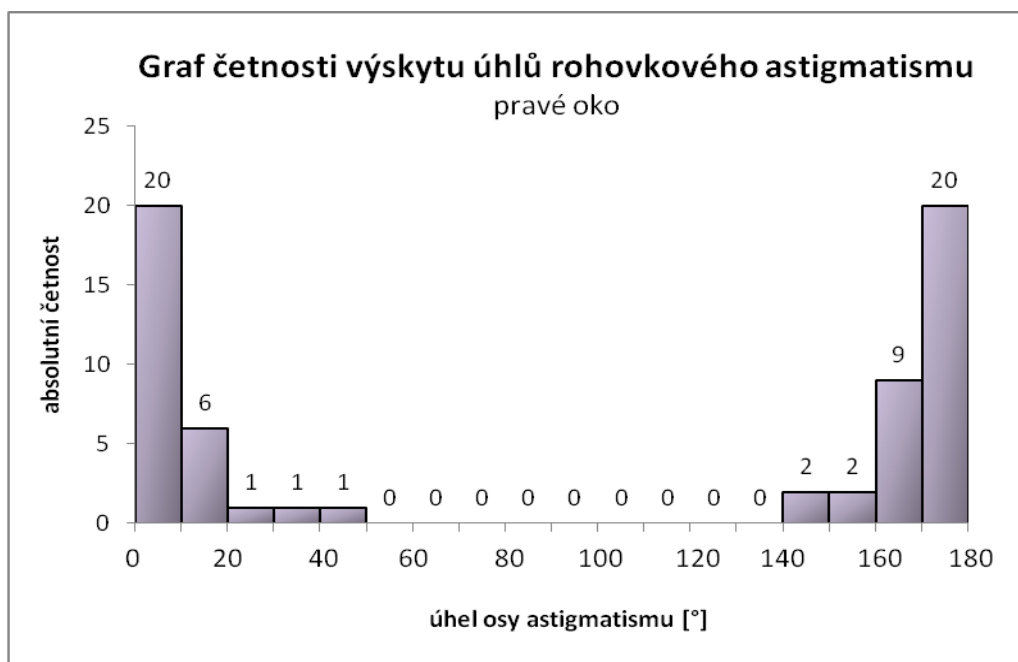
Dále byla sledována závislost velikosti rozdílu naměřených úhlů na velikosti rohovkového astigmatismu. Tato závislost je graficky zachycena na grafu 1. Jednotlivá experimentální data jsou reprezentována samostatnými body, velikost astigmatismu se vztahuje k údajům z rohovkového topografu. V grafu jsou společně zaznamenány hodnoty pro levé i pravé oči. Pro vystižení závislosti je hodnotami metodou regrese proložena hladká křivka. Z grafu lze usuzovat, že čím vyšší astigmatismus, tím méně se jednotlivé metody rozcházejí. Vyvození obecného závěru je však limitováno zejména malým počtem měření při vysokém astigmatismu.



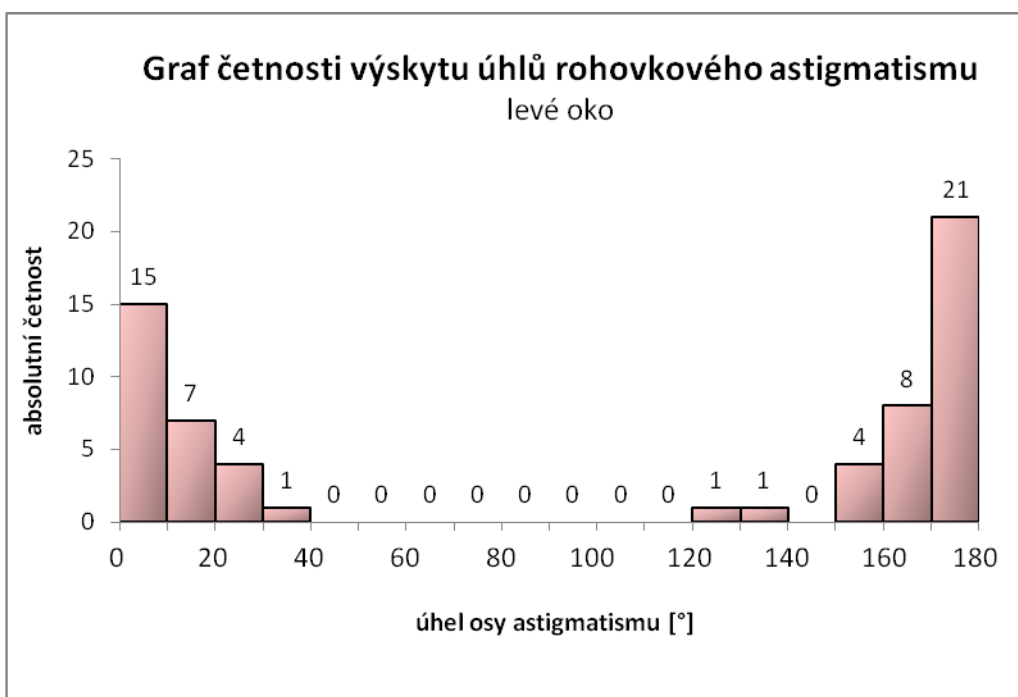
Graf 1: Závislost rozdílu os na velikosti astigmatismu



Nakonec byla hodnocena četnost výskytu jednotlivých úhlů os rohovkového astigmatismu. Průběh příslušného statistického rozdělení prezentuje histogram 7 a 8. Výsledky jsou uvedeny zvlášť pro pravé i levé oko. Z histogramu je patrné, že nejčastěji se úhly rohovkového astigmatismu vyskytují v rozmezí 0 - 10° a 170 - 180°. Rozložení os u levého a pravého oka se podstatně neliší.



Histogram 7: Četnost výskytu úhlů rohovkového astigmatismu u pravého oka



Histogram 8: Četnost výskytu úhlů rohovkového astigmatismu u levého oka

## 6.5. Shrnutí a diskuze

Výzkum byl zaměřen na vyhodnocení rozdílů v měření poloměru zakřivení, optické mohutnosti, pozice hlavních meridiánů a velikosti astigmatismu mezi Javal - Schiötz keratometrem a rohovkovým topografem. V průměru jsou stanovené rozdíly relativně malé. Také variabilita měření jednotlivých veličin, charakterizovaná směrodatnými odchylkami souborů získaných rozdílových dat, je většinou akceptovatelně malá. Významnějších hodnot je dosaženo především při stanovení polohy hlavních meridiánů. Zde směrodatná odchylka nežádoucně dosahuje hodnot  $8^\circ$  a  $12^\circ$ . Tento rozdíl je nejspíš zapříčiněn tím, že stanovení polohy meridiánů při měření Javal - Schiötz keratometrem je zejména ovlivněno nepřesným subjektivním hodnocením vzájemné pozice testových značek. Významnou roli také může hrát nežádoucí pootočení hlavy vyšetřovaného mezi jednotlivými vyšetřeními a odchylky jednotlivých měření tak nemusí být nutně ovlivněny odlišností obou srovnávaných metod.

Velikost rohovkového astigmatismu se mezi keratometrem a rohovkovým topografem velmi neliší. Diference mají rozsah přibližně do  $\pm 0,5$  D. Výzkum také zjistil, že čím je nižší rohovkový astigmatismus, tím vyšší jsou rozdíly naměřených os, ale vzhledem k malému počtu vysokých astigmatismů ve vzorku se to nemusí jevit jako příliš prokazatelné.

Úhly rohovkového astigmatismu jsou nejčastěji v osách  $0-10^\circ$  a  $170-180^\circ$ . Maxima v těchto osách reprezentují astigmatismus podle pravidla, který je v souladu s literaturou na rohovce očekávaný.

Závěrem lze říci, že výsledky získané při použití obou metod jsou poměrně dobře srovnatelné. Získaná data poukazují na skutečnost, že menší hodnoty astigmatismu mohou vést k větší variabilitě dat při použití obou metod. Největší odchylky vykazuje především stanovení polohy hlavních meridiánů.

## Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo srovnání keratometrie Javalovým keratometrem a rohovkovým topografem. Stěžejním úkolem obou vyšetřovacích technik je proměření poloměrů zakřivení rohovky a stanovení jejich hlavních řezů. V práci byl nejprve vytvořen potřebný teoretický základ, zahrnující základní stavbu rohovky a její možné patologie zjistitelné mapováním jejího povrchu. Těžiště teoretické části práce leží v uvedení charakteristik rohovky a především v popisu základních technik jejího vyšetřování. Jsou shrnuty obecné principy keratometrie a prezentovány základní vztahy. Podrobněji je rozebrána funkce Javalova keratometru, rohovkového topografu a jsou vystiženy podstatné rozdíly mezi oběma technikami. Mezi výhody topografu patří mimo možnost vyšetření prakticky celého povrchu rohovky také podstatně větší objektivita vlastního měření, neboť celý proces je velkou měrou automatizovaný.

Na tuto část přímo navazuje prezentace výsledků provedeného experimentu. Cílem bylo srovnání hodnot vybraných parametrů, stanovených pomocí obou vyšetřovacích technik. Hodnoceny byly rozdíly ve stanovení poloměru zakřivení obou hlavních meridiánů, rozdíly ve stanovení jejich pozice a ve velikosti naměřeného rohovkového astigmatismu. Výzkum ukázal, že rozdíly v naměřených hodnotách jsou minimální. Nejvyšších diferencí nalezneme při stanovení polohy hlavních meridiánů, zejména při nižších hodnotách astigmatismu, kdy je při měření na Javalovu keratometru obtížnější subjektivně vyhodnotit vzájemnou pozici testových značek. Mimo vlastní srovnání obou přístrojů byla též hodnocena četnost výskytu jednotlivých pozic osy rohovkového astigmatismu. Výsledek potvrdil předpoklad nejvyšší četnosti výskytu kolem pozice  $0^\circ$ , resp.  $180^\circ$ , což koresponduje s převládajícím rohovkovým astigmatismem podle pravidla.

Z hlediska praktického použití tedy můžeme shrnout několik faktů. Javalův keratometr i po více než sto letech od svého vzniku stále vykazuje relativně přesná data poloměru zakřivení rohovky, nicméně k určení rohovkového astigmatismu, resp. osy astigmatismu je lépe použít rohovkového topografu či jiného zařízení. Navíc měření rohovkovým topografem probíhá rychleji, což má, jak se zdá, v dnešní době rozhodující prvek. Připočítáme-li k tomu využití počítačové technologie, Javalův keratometr nejspíš nemůže rohovkovému topografu konkurovat. Nutno však podotknout, že i rohovkový topograf je dnes pomalu odsouván na druhou kolej novějšími metodami a zařízeními. Toto téma bychom tedy mohli uzavřít větou: přístroje se mění, keratometrie zůstává.

## Seznam použité literatury

- [1] AUTRATA, R. - ČERNÁ, J. *Nauka o zraku*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně, 2006. ISBN 80-7013-362-7.
- [2] ČIHÁK, R. *Anatomie 3*. Praha: GRADA Publishing, 2004. ISBN 80-247-1132-X.
- [3] GLOGAROVÁ, L. *Korekce kontaktními čočkami a brýlemi: bakalářská práce*. Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 2008
- [4] KRAUS, H. *Kompendium očního lékařství*. Praha: GRADA Publishing, 1997. ISBN 80-7169-079-1.
- [5] KUČYHNKA, P. a kol. *Oční lékařství*. Praha: GRADA Publishing, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [6] KVAPILÍKOVÁ, K. *Anatomie a embryologie oka*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2000. ISBN 80-7013-313-9.
- [7] KVAPILÍKOVÁ, K. *Vyšetřování oka*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví BRNO, 1995. ISBN 80-7013-195-0.
- [8] MRKVICOVÁ, A. *Topografie rohovky: bakalářská práce*. Brno: Masarykova univerzita, Fakulta lékařská, 2008
- [9] OLÁH, Z. a kol. *Očné lékařství*. Martin: Vydavatelství Osveta, 1998. ISBN 80-88824-74-5.
- [10] PETROVÁ S., MAŠKOVÁ Z., JUREČKA T. *Základy aplikace kontaktních čoček*. Brno: NCO NZO, 2008. ISBN 978-80-7013-470-2.
- [11] PLUHÁČEK, F.: *Oftalmologické a optometrické přístroje – podpůrné materiály k přednášce*. Katedra optiky PřF Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2007
- [12] POLÁŠEK, J. *Technický sborník oční optiky*. Praha: Oční optika, 1975.
- [13] RUTRLE, M. *Přístrojová optika*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2000. ISBN 80-7013-301-5.
- [14] TUNNACLIFFE, A. H. *Introduction to visual optics*. London: The Gresham press, 1993. ISBN 978-0-900099-28-1.
- [15] <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/Placido+disc>
- [16] [http://hicido.uv.es/Expo\\_medicina/Cirugia/oftalmologia.html](http://hicido.uv.es/Expo_medicina/Cirugia/oftalmologia.html)
- [17] <http://de.wikipedia.org>
- [18] <http://www.tidsskriftet.no>
- [19] <http://www.uwsp.edu>



## Přílohy

### Záznam o měření zakřivení rohovky

Jméno a příjmení:	
Věk:	
Datum měření:	

<i>Javal – Schiötz keratometr</i>				<i>Rohovkový topograf</i>			
OD	H	V		OD	H	V	
Radius			mm	Radius			mm
Dioptr. hodnota			D	Dioptr. Hodnota			D
Osa			°	Osa			°
Ast				Ast			
OS	H	V		OS	H	V	
Radius			mm	Radius			mm
Dioptr. hodnota			D	Dioptr. Hodnota			D
Osa			°	Osa			°
Ast				Ast			

Příloha 1: Protokol k měření zakřivení rohovky

1	pohlaví	věk	17	pohlaví	věk	33	pohlaví	věk	49	pohlaví	Věk
2	M	23	18	Ž	50	34	Ž	22	50	Ž	19
3	Ž	23	19	M	24	35	Ž	23	51	Ž	19
4	Ž	21	20	M	46	36	Ž	21	52	Ž	20
5	Ž	22	21	M	34	37	Ž	22	53	M	21
6	M	25	22	M	25	38	Ž	23	54	Ž	20
7	M	24	23	M	24	39	Ž	19	55	M	20
8	Ž	21	24	M	23	40	Ž	24	56	Ž	20
9	Ž	23	25	Ž	22	41	Ž	21	57	Ž	21
10	Ž	22	26	M	21	42	Ž	19	58	M	19
11	Ž	22	27	Ž	23	43	Ž	19	59	Ž	20
12	Ž	22	28	M	57	44	Ž	21	60	Ž	19
13	Ž	23	29	M	28	45	Ž	21	61	M	20
14	Ž	22	30	Ž	19	46	M	22	62	M	21
15	Ž	23	31	Ž	23	47	Ž	21			
16	Ž	24	32	M	33	48	Ž	19			
	Ž	44		Ž	20		Ž	19			

Příloha 2: Tabulka informující o věku a pohlaví vyšetřovaných

M ... muž, Ž ... žena

OD	J-S	RT		J-S	RT	
	R <sub>n</sub> /mm	R <sub>n</sub> /mm	ROZDÍL	R <sub>n</sub> /mm	R <sub>n</sub> /mm	ROZDÍL
1	7,95	7,99	-0,04	7,95	7,90	0,05
2	7,40	7,38	0,02	7,32	7,31	0,01
3	7,51	7,52	-0,01	7,38	7,33	0,05
4	7,65	7,66	-0,01	7,50	7,51	-0,01
5	7,85	7,83	0,02	7,53	7,52	0,01
6	8,25	8,18	0,07	8,25	8,01	0,24
7	8,35	8,37	-0,02	8,30	8,23	0,07
8	7,75	7,86	-0,11	7,60	7,79	-0,19
9	7,65	7,73	-0,08	7,60	7,60	0,00
10	7,75	7,81	-0,06	7,60	7,65	-0,05
11	8,60	8,44	0,16	8,30	8,35	-0,05
12	7,70	7,76	-0,06	7,60	7,63	-0,03
13	7,75	7,76	-0,01	7,70	7,73	-0,03
14	7,70	7,71	-0,01	7,60	7,64	-0,04
15	7,62	7,60	0,02	7,55	7,51	0,04
16	7,90	7,96	-0,06	7,70	7,77	-0,07
17	7,70	7,79	-0,09	7,65	7,65	0,00
18	7,25	7,24	0,01	7,15	7,10	0,05
19	7,70	7,82	-0,12	7,65	7,64	0,01
20	7,38	7,38	0,00	7,20	7,14	0,06
21	7,90	7,91	-0,01	7,90	7,85	0,05
22	8,00	7,98	0,02	7,70	7,70	0,00
23	8,10	8,18	-0,08	8,10	8,04	0,06
24	7,85	7,83	0,02	7,73	7,71	0,02
25	7,75	7,79	-0,04	7,50	7,58	-0,08
26	7,50	7,51	-0,01	7,40	7,33	0,07
27	7,80	7,81	-0,01	7,75	7,76	-0,01
28	8,20	8,19	0,01	8,10	8,04	0,06
29	8,05	8,03	0,02	7,90	7,87	0,03
30	7,80	7,82	-0,02	7,60	7,57	0,03
31	8,10	8,06	0,04	7,40	7,39	0,01
32	8,50	8,50	0,00	8,45	8,43	0,02
33	8,40	8,32	0,08	8,30	8,29	0,01
34	8,50	8,50	0,00	7,78	7,89	-0,11
35	7,70	7,69	0,01	7,50	7,50	0,00
36	7,85	7,81	0,04	7,70	7,78	-0,08
37	7,50	7,51	-0,01	7,30	7,31	-0,01
38	7,40	7,42	-0,02	7,25	7,22	0,03
39	7,64	7,73	-0,09	7,50	7,50	0,00
40	7,55	7,51	0,04	7,55	7,45	0,10
41	7,55	7,50	0,05	7,35	7,24	0,11
42	7,45	7,42	0,03	7,25	7,16	0,09
43	7,60	7,59	0,01	7,50	7,50	0,00
44	7,40	7,38	0,02	7,30	7,33	-0,03



	J-S	RT		J-S	RT	
	R <sub>H</sub> /mm	R <sub>H</sub> /mm	ROZDÍL	R <sub>V</sub> /mm	R <sub>V</sub> /mm	ROZDÍL
45	8,05	8,19	-0,14	7,88	8,07	-0,19
46	8,30	8,32	-0,02	8,05	8,13	-0,08
47	7,70	7,67	0,03	7,55	7,54	0,01
48	7,70	7,70	0,00	7,60	7,50	0,10
49	8,50	8,40	0,10	8,30	8,22	0,08
50	7,90	7,85	0,05	7,80	7,81	-0,01
51	7,55	7,48	0,07	7,50	7,41	0,09
52	8,40	8,32	0,08	8,10	8,14	-0,04
53	8,05	8,04	0,01	7,90	7,90	0,00
54	8,06	8,00	0,06	7,95	7,88	0,07
55	7,95	7,95	0,00	7,80	7,80	0,00
56	8,50	8,51	-0,01	8,30	8,29	0,01
57	7,43	7,40	0,03	7,45	7,30	0,15
58	8,05	8,01	0,04	7,95	7,92	0,03
59	8,05	7,99	0,06	8,00	7,94	0,06
60	7,95	7,88	0,07	7,75	7,68	0,07
61	7,55	7,54	0,01	7,55	7,47	0,08
62	8,15	8,18	-0,03	8,10	8,04	0,06

Příloha 3: Tabulka poloměrů zakřivení přední plochy rohovky pravého oka v horizontálním a vertikálním směru

OS	J-S	RT		J-S	RT	
	R <sub>H</sub> /mm	R <sub>H</sub> /mm	ROZDÍL	R <sub>V</sub> /mm	R <sub>V</sub> /mm	ROZDÍL
1	8,00	8,06	-0,06	7,95	7,98	-0,03
2	7,35	7,35	0,00	7,25	7,29	-0,04
3	7,55	7,55	0,00	7,40	7,38	0,02
4	7,70	7,70	0,00	7,45	7,54	-0,09
5	7,90	7,87	0,03	7,55	7,54	0,01
6	8,20	8,12	0,08	8,00	7,92	0,08
7	8,30	8,28	0,02	8,20	8,17	0,03
8	7,63	7,84	-0,21	7,51	7,60	-0,09
9	7,80	7,81	-0,01	7,70	7,70	0,00
10	7,70	7,73	-0,03	7,40	7,50	-0,10
11	8,60	8,42	0,18	8,38	8,38	0,00
12	7,75	7,71	0,04	7,65	7,56	0,09
13	7,75	7,76	-0,01	7,60	7,68	-0,08
14	7,60	7,63	-0,03	7,60	7,60	0,00
15	7,67	7,66	0,01	7,50	7,53	-0,03
16	7,90	7,91	-0,01	7,85	7,79	0,06
17	7,70	7,84	-0,14	7,60	7,74	-0,14
18	7,20	7,17	0,03	7,15	7,11	0,04
19	7,85	7,81	0,04	7,65	7,65	0,00
20	7,35	7,36	-0,01	7,15	7,16	-0,01

OS	J-S	RT	ROZDÍL	J-S	RT	ROZDÍL
	R <sub>H</sub> /mm	R <sub>H</sub> /mm		R <sub>V</sub> /mm	R <sub>V</sub> /mm	
21	7,90	7,91	-0,01	7,90	7,86	0,04
22	7,92	7,90	0,02	7,75	7,76	-0,01
23	8,15	8,16	-0,01	8,00	7,99	0,01
24	7,90	7,89	0,01	7,75	7,74	0,01
25	7,70	7,78	-0,08	7,65	7,57	0,08
26	7,50	7,51	-0,01	7,35	7,35	0,00
27	7,80	7,89	-0,09	7,65	7,79	-0,14
28	8,20	8,19	0,01	8,19	8,04	0,15
29	7,80	7,87	-0,07	7,40	7,52	-0,12
30	7,80	7,76	0,04	7,50	7,49	0,01
31	7,95	7,94	0,01	7,40	7,36	0,04
32	8,55	8,50	0,05	8,40	8,36	0,04
33	8,45	8,46	-0,01	8,30	8,35	-0,05
34	8,40	8,39	0,01	7,91	7,95	-0,04
35	7,75	7,72	0,03	7,55	7,54	0,01
36	7,85	7,78	0,07	7,70	7,70	0,00
37	7,60	7,61	-0,01	7,38	7,34	0,04
38	7,45	7,45	0,00	7,25	7,23	0,02
39	7,63	7,57	0,06	7,40	7,40	0,00
40	7,60	7,51	0,09	7,50	7,45	0,05
41	7,60	7,61	-0,01	7,30	7,36	-0,06
42	7,50	7,45	0,05	7,20	7,28	-0,08
43	7,60	7,52	0,08	7,56	7,54	0,02
44	7,30	7,27	0,03	7,25	7,24	0,01
45	8,10	8,21	-0,11	7,90	8,03	-0,13
46	8,25	8,17	0,08	8,10	8,09	0,01
47	7,60	7,59	0,01	7,60	7,51	0,09
48	7,70	7,67	0,03	7,55	7,50	0,05
49	8,50	8,54	-0,04	8,35	8,42	-0,07
50	7,90	7,83	0,07	7,80	7,80	0,00
51	7,50	7,45	0,05	7,45	7,35	0,10
52	8,30	8,25	0,05	8,05	8,19	-0,14
53	8,15	8,04	0,11	7,90	7,87	0,03
54	8,05	7,97	0,08	7,80	7,83	-0,03
55	7,85	7,76	0,09	7,65	7,62	0,03
56	8,50	8,41	0,09	8,30	8,20	0,10
57	7,50	7,42	0,08	7,40	7,32	0,08
58	8,05	8,03	0,02	7,90	7,88	0,02
59	8,05	8,01	0,04	7,95	7,91	0,04
60	7,90	7,82	0,08	7,75	7,70	0,05
61	7,52	7,52	0,00	7,50	7,44	0,06
62	8,20	8,21	-0,01	8,14	8,11	0,03

Příloha 4: Tabulka poloměrů zakřivení přední plochy rohovky levého oka v horizontálním a vertikálním směru

OD	J-S	RT		J-S	RT	
	D <sub>h</sub> /D	D <sub>h</sub> /D	ROZDÍL	D <sub>v</sub> /D	D <sub>v</sub> /D	ROZDÍL
1	42,40	42,30	0,10	42,40	42,70	-0,30
2	45,50	45,70	-0,20	46,00	46,20	-0,20
3	44,75	44,90	-0,15	45,75	46,00	-0,25
4	44,00	44,10	-0,10	45,00	44,90	0,10
5	43,00	43,10	-0,10	44,75	44,90	-0,15
6	41,00	41,30	-0,30	41,50	42,10	-0,60
7	40,50	40,30	0,20	40,50	41,00	-0,50
8	43,50	42,90	0,60	44,25	43,30	0,95
9	43,50	43,60	-0,10	44,50	44,40	0,10
10	43,50	43,20	0,30	44,50	44,10	0,40
11	40,00	40,00	0,00	40,50	40,40	0,10
12	43,25	43,50	-0,25	44,25	44,20	0,05
13	43,30	43,50	-0,20	43,75	43,70	0,05
14	43,75	43,80	-0,05	44,25	44,20	0,05
15	44,25	44,40	-0,15	44,75	44,90	-0,15
16	42,50	42,40	0,10	43,25	43,50	-0,25
17	43,75	43,30	0,45	44,00	44,10	-0,10
18	46,50	46,60	-0,10	47,25	47,50	-0,25
19	43,25	43,20	0,05	44,00	44,20	-0,20
20	45,75	45,70	0,05	47,00	47,30	-0,30
21	42,50	42,70	-0,20	42,65	43,00	-0,35
22	42,00	42,30	-0,30	43,75	43,90	-0,15
23	41,50	41,20	0,30	41,75	42,00	-0,25
24	43,00	43,10	-0,10	43,50	43,80	-0,30
25	43,50	43,30	0,20	45,00	44,50	0,50
26	45,00	44,90	0,10	45,75	46,00	-0,25
27	43,25	43,20	0,05	43,50	43,50	0,00
28	41,00	41,20	-0,20	41,75	42,00	-0,25
29	42,00	42,00	0,00	42,50	42,90	-0,40
30	43,25	43,20	0,05	44,50	44,60	-0,10
31	41,75	41,90	-0,15	45,50	45,60	-0,10
32	40,00	39,70	0,30	40,00	40,00	0,00
33	40,00	40,60	-0,60	40,50	40,70	-0,20
34	39,75	39,70	0,05	43,25	42,80	0,45
35	43,75	43,90	-0,15	45,00	45,00	0,00
36	43,00	43,20	-0,20	43,78	43,40	0,38
37	45,00	44,90	0,10	46,25	46,20	0,05
38	45,50	45,50	0,00	46,50	46,70	-0,20
39	44,00	43,70	0,30	45,00	45,00	0,00
40	44,50	44,90	-0,40	44,60	45,30	-0,70
41	44,75	45,00	-0,25	46,00	46,60	-0,60
42	45,25	45,50	-0,25	46,50	47,20	-0,70
43	44,50	44,50	0,00	45,00	45,00	0,00
44	45,50	45,70	-0,20	46,00	46,10	-0,10

OD	J-S			RT		
	D <sub>h</sub> /D	D <sub>h</sub> /D	ROZDÍL	D <sub>v</sub> /D	D <sub>v</sub> /D	ROZDÍL
45	41,75	41,20	0,55	42,75	41,80	0,95
46	40,50	40,60	-0,10	41,90	41,50	0,40
47	43,50	44,00	-0,50	44,60	44,80	-0,20
48	43,75	43,80	-0,05	44,50	45,00	-0,50
49	39,75	40,20	-0,45	40,60	41,00	-0,40
50	42,75	43,00	-0,25	43,25	43,20	0,05
51	44,75	45,10	-0,35	45,00	45,60	-0,60
52	40,25	40,60	-0,35	41,75	41,40	0,35
53	42,00	42,00	0,00	42,75	42,70	0,05
54	41,75	42,20	-0,45	42,50	42,80	-0,30
55	42,50	42,50	0,00	43,25	43,20	0,05
56	39,75	39,60	0,15	40,60	40,70	-0,10
57	45,25	45,60	-0,35	45,25	46,20	-0,95
58	41,90	42,20	-0,30	42,30	42,60	-0,30
59	41,75	42,30	-0,55	42,00	42,50	-0,50
60	42,50	42,80	-0,30	43,40	43,90	-0,50
61	44,75	44,70	0,05	44,75	45,20	-0,45
62	41,50	41,30	0,20	41,75	42,00	-0,25

Příloha 5: Tabulka optické mohutnosti přední plochy rohovky pravého oka v horizontálním a vertikálním směru

OS	J-S			RT		
	D <sub>h</sub> /D	D <sub>h</sub> /D	ROZDÍL	D <sub>v</sub> /D	D <sub>v</sub> /D	ROZDÍL
1	42,00	41,90	0,10	42,25	42,30	-0,05
2	46,00	45,90	0,10	46,50	46,30	0,20
3	44,50	44,70	-0,20	45,50	45,80	-0,30
4	43,75	43,80	-0,05	45,25	44,70	0,55
5	42,75	42,90	-0,15	44,75	44,80	-0,05
6	41,25	41,60	-0,35	42,25	42,60	-0,35
7	40,60	40,70	-0,10	41,25	41,30	-0,05
8	43,50	43,00	0,50	44,75	44,40	0,35
9	43,00	43,20	-0,20	43,75	43,80	-0,05
10	44,25	43,70	0,55	45,50	45,00	0,50
11	40,00	40,10	-0,10	40,25	40,30	-0,05
12	43,50	43,80	-0,30	44,25	44,60	-0,35
13	43,30	43,50	-0,20	44,30	43,90	0,40
14	44,25	44,20	0,05	44,50	44,40	0,10
15	44,15	44,10	0,05	45,00	44,80	0,20
16	42,75	42,60	0,15	42,75	43,30	-0,55
17	43,75	43,00	0,75	44,50	43,60	0,90
18	47,00	47,10	-0,10	47,00	47,50	-0,50
19	43,00	43,20	-0,20	44,25	44,10	0,15
20	46,00	45,90	0,10	47,25	47,20	0,05

OS	J-S	RT	ROZDÍL	J-S	RT	ROZDÍL
	D <sub>h</sub> /D	D <sub>h</sub> /D		D <sub>v</sub> /D	D <sub>v</sub> /D	
21	42,50	42,70	-0,20	42,75	42,90	-0,15
22	42,50	42,70	-0,20	43,50	43,50	0,00
23	41,25	41,40	-0,15	42,15	42,20	-0,05
24	42,50	42,80	-0,30	43,50	43,60	-0,10
25	43,00	43,40	-0,40	44,00	44,60	-0,60
26	45,00	44,90	0,10	46,00	45,90	0,10
27	43,00	42,80	0,20	44,00	43,30	0,70
28	41,00	41,20	-0,20	41,25	42,00	-0,75
29	42,75	42,90	-0,15	45,75	44,90	0,85
30	43,00	43,50	-0,50	45,00	45,00	0,00
31	42,30	42,50	-0,20	45,50	45,90	-0,40
32	39,50	39,70	-0,20	40,00	40,40	-0,40
33	40,00	39,90	0,10	40,50	40,40	0,10
34	40,25	40,20	0,05	42,50	42,50	0,00
35	43,50	43,70	-0,20	44,50	44,80	-0,30
36	43,00	43,40	-0,40	43,50	43,80	-0,30
37	44,25	44,40	-0,15	45,75	46,00	-0,25
38	45,25	45,30	-0,05	46,50	46,70	-0,20
39	44,15	44,60	-0,45	45,50	45,60	-0,10
40	44,50	44,90	-0,40	44,80	45,30	-0,50
41	44,25	44,40	-0,15	46,00	45,90	0,10
42	45,00	45,30	-0,30	46,75	46,40	0,35
43	44,50	44,90	-0,40	44,50	44,80	-0,30
44	46,00	46,40	-0,40	46,50	46,60	-0,10
45	41,58	41,10	0,48	42,75	42,00	0,75
46	40,90	41,30	-0,40	41,60	41,70	-0,10
47	44,30	44,40	-0,10	44,30	44,90	-0,60
48	43,50	44,00	-0,50	44,75	45,00	-0,25
49	39,51	39,50	0,01	40,25	40,10	0,15
50	42,50	43,10	-0,60	43,25	43,30	-0,05
51	45,00	45,30	-0,30	45,25	45,90	-0,65
52	40,75	40,90	-0,15	41,75	41,20	0,55
53	41,25	42,00	-0,75	42,60	42,90	-0,30
54	41,75	42,40	-0,65	43,00	43,10	-0,10
55	43,00	43,50	-0,50	44,00	44,30	-0,30
56	39,75	40,10	-0,35	40,75	41,20	-0,45
57	45,00	45,50	-0,50	45,50	46,10	-0,60
58	42,00	42,10	-0,10	42,50	42,80	-0,30
59	41,75	42,10	-0,35	42,40	42,70	-0,30
60	42,75	43,20	-0,45	43,50	43,80	-0,30
61	44,75	44,90	-0,15	45,00	45,40	-0,40
62	41,00	41,10	-0,10	41,50	41,60	-0,10

Příloha 6: Tabulka optické mohutnosti přední plochy rohovky levého oka v horizontálním a vertikálním směru

OD	J-S	RT		J-S	RT	
	M <sub>n</sub> /°	M <sub>n</sub> /°	ROZDÍL	M <sub>n</sub> /°	M <sub>n</sub> /°	ROZDÍL
1	0	5,7	-5,7	90	95,7	-5,7
2	40	42,6	-2,6	130	132,6	-2,6
3	175	179,7	-4,7	85	89,7	-4,7
4	27	18,5	8,5	117	108,5	8,5
5	10	8,7	1,3	100	98,7	1,3
6	170	169,3	0,7	80	79,3	0,7
7	1	0,2	0,8	91	90,2	0,8
8	175	172,6	2,4	85	82,6	2,4
9	0	1,3	-1,3	90	91,3	-1,3
10	173	171,9	1,1	83	81,9	1,1
11	150	145,2	4,8	60	55,2	4,8
12	180	177,7	2,3	90	87,7	2,3
13	0	22,9	-22,9	90	112,9	-22,9
14	0	9,6	-9,6	90	99,6	-9,6
15	5	172,3	12,7	95	82,3	12,7
16	170	170,3	-0,3	80	80,3	-0,3
17	165	167	-2	75	77	-2
18	137	140,4	-3,4	47	50,4	-3,4
19	5	5,8	-0,8	95	95,8	-0,8
20	175	174,8	0,2	85	84,8	0,2
21	10	16,7	-6,7	100	106,7	-6,7
22	0	1,5	-1,5	90	91,5	-1,5
23	165	160,8	4,2	75	70,8	4,2
24	163	163,4	-0,4	73	73,4	-0,4
25	180	172,8	7,2	90	82,8	7,2
26	167	177,1	-10,1	77	87,1	-10,1
27	163	162,7	0,3	73	72,7	0,3
28	10	9,1	0,9	100	99,1	0,9
29	0	0,4	-0,4	90	90,4	-0,4
30	5	6,1	-1,1	95	96,1	-1,1
31	10	8	2	100	98	2
32	167	165,5	1,5	77	75,5	1,5
33	180	173,1	6,9	90	83,1	6,9
34	12	13,1	-1,1	102	103,1	-1,1
35	0	1,8	-1,8	90	91,8	-1,8
36	176	175,6	0,4	86	85,6	0,4
37	10	6,2	3,8	100	96,2	3,8
38	2	3,9	-1,9	92	93,9	-1,9
39	0	6,5	-6,5	90	96,5	-6,5
40	135	154,9	-19,9	45	64,9	-19,9
41	165	167,3	-2,3	75	77,3	-2,3
42	175	174	1	85	84	1
43	0	10,8	-10,8	90	100,8	-10,8
44	0	5	-5	90	95	-5

OD	J-S	RT	ROZDÍL	J-S	RT	ROZDÍL
	M <sub>h</sub> /°	M <sub>h</sub> /°		M <sub>v</sub> /°	M <sub>v</sub> /°	
45	163	178	-15	73	88	-15
46	168	159,6	8,4	78	69,6	8,4
47	180	172	8	90	82	8
48	175	174,1	0,9	85	84,1	0,9
49	177	6,5	-9,5	87	96,5	-9,5
50	177	175,7	1,3	87	85,7	1,3
51	0	16,4	-16,4	90	106,4	-16,4
52	180	177	3	90	87	3
53	10	15,6	-5,6	100	105,6	-5,6
54	170	176,3	-6,3	80	86,3	-6,3
55	0	4,1	-4,1	90	94,1	-4,1
56	13	7,7	5,3	103	97,7	5,3
57	145	165	-20	55	75	-20
58	172	171,7	0,3	82	81,7	0,3
59	165	179,5	-14,5	75	89,5	-14,5
60	158	161,8	-3,8	68	71,8	-3,8
61	0	35,5	-35,5	90	125,5	-35,5
62	0	8,3	-8,3	90	98,3	-8,3

Příloha 7: Tabulka meridiánu zakřivení přední plochy rohovky pravého oka v horizontálním a vertikálním směru

OS	J-S	RT	ROZDÍL	J-S	RT	ROZDÍL
	M <sub>h</sub> /°	M <sub>h</sub> /°		M <sub>v</sub> /°	M <sub>v</sub> /°	
1	180	169,6	10,4	90	79,6	10,4
2	5	7,7	-2,7	95	97,7	-2,7
3	170	175,5	-5,5	80	85,5	-5,5
4	180	177,4	2,6	90	87,4	2,6
5	180	179,7	0,3	90	89,7	0,3
6	10	7,9	2,1	100	97,9	2,1
7	180	176,4	3,6	90	86,4	3,6
8	25	33,2	-8,2	115	123,2	-8,2
9	13	11,4	1,6	103	101,4	1,6
10	175	2,2	-7,2	85	92,2	-7,2
11	60	26,1	33,9	150	116,1	33,9
12	180	179	1	90	89	1
13	180	168,1	11,9	90	78,1	11,9
14	0	21,5	-21,5	90	111,5	-21,5
15	0	2,4	-2,4	90	92,4	-2,4
16	180	171,4	8,6	90	81,4	8,6
17	5	13,2	-8,2	95	103,2	-8,2
18	0	5,4	-5,4	90	95,4	-5,4
19	170	171,1	-1,1	80	81,1	-1,1
20	0	2,9	-2,9	90	92,9	-2,9

OS	J-S	RT	ROZDÍL	J-S	RT	ROZDÍL
	M <sub>h</sub> /°	M <sub>h</sub> /°		M <sub>v</sub> /°	M <sub>v</sub> /°	
21	180	170,8	9,2	90	80,8	9,2
22	180	169,7	10,3	90	79,7	10,3
23	13	12	1	103	102	1
24	13	11,1	1,9	103	101,1	1,9
25	180	172,9	7,1	90	82,9	7,1
26	0	3,2	-3,2	90	93,2	-3,2
27	175	176,6	-1,6	85	86,6	-1,6
28	180	173,4	6,6	90	83,4	6,6
29	135	137,9	-2,9	45	47,9	-2,9
30	170	171,4	-1,4	80	81,4	-1,4
31	172	169,7	2,3	82	79,7	2,3
32	0	5,7	-5,7	90	95,7	-5,7
33	180	158,5	21,5	90	68,5	21,5
34	165	161,2	3,8	75	71,2	3,8
35	6	172,3	13,7	96	82,3	13,7
36	0	7	-7	90	97	-7
37	162	165,9	-3,9	72	75,9	-3,9
38	180	174,6	5,4	90	84,6	5,4
39	0	4,1	-4,1	90	94,1	-4,1
40	130	154,9	-24,9	40	64,9	-24,9
41	23	13,6	9,4	113	103,6	9,4
42	180	174,6	5,4	90	84,6	5,4
43	170	127,8	42,2	80	37,8	42,2
44	5	18,2	-13,2	95	108,2	-13,2
45	180	179,7	0,3	90	89,7	0,3
46	19	22,8	-3,8	109	112,8	-3,8
47	165	178,8	-13,8	75	88,8	-13,8
48	0	3,2	-3,2	90	93,2	-3,2
49	30	16,5	13,5	120	106,5	13,5
50	62	22,9	39,1	152	112,9	39,1
51	165	179,6	-14,6	75	89,6	-14,6
52	180	161,1	18,9	90	71,1	18,9
53	175	166,2	8,8	85	76,2	8,8
54	4	7,1	-3,1	94	97,1	-3,1
55	180	173,8	6,2	90	83,8	6,2
56	180	177,4	2,6	90	87,4	2,6
57	0	7,2	-7,2	90	97,2	-7,2
58	0	0	0	90	90	0
59	180	177,5	2,5	90	87,5	2,5
60	8	2,5	5,5	98	92,5	5,5
61	153	157,5	-4,5	63	67,5	-4,5
62	180	159,3	20,7	90	69,3	20,7

Příloha 8: Tabulka meridiánu zakřivení přední plochy rohovky levého oka v horizontálním a vertikálním směru



OD	J-S		RT		ROZDÍL astigmatismu	ROZDÍL axis
	Ast/D	Axis/°	Ast/D	Axis/°		
1	0	0	-0,5	5,7	0,50	-5,7
2	-0,5	40	-0,4	42,6	-0,10	-2,6
3	-1	175	-1,2	179,7	0,20	-4,7
4	-1	27	-0,8	18,5	-0,20	8,5
5	-1,75	10	-1,8	8,7	0,05	1,3
6	-0,5	170	-0,9	169,3	0,40	0,7
7	0	1	-0,7	0,2	0,70	0,8
8	-0,75	175	-0,4	172,6	-0,35	2,4
9	-1	0	-0,7	1,3	-0,30	-1,3
10	-1	173	-0,9	171,9	-0,10	1,1
11	-0,5	150	-0,4	145,2	-0,10	4,8
12	-1	180	-0,7	177,7	-0,30	2,3
13	-0,45	0	-0,2	22,9	-0,25	-22,9
14	-0,5	0	-0,4	9,6	-0,10	-9,6
15	-0,5	5	-0,5	172,3	0,00	12,7
16	-0,75	170	-1,1	170,3	0,35	-0,3
17	-0,25	165	-0,8	167	0,55	-2
18	-0,75	137	-1	140,4	0,25	-3,4
19	-0,75	5	-1	5,8	0,25	-0,8
20	-1,25	175	-1,5	174,8	0,25	0,2
21	-0,15	10	-0,3	16,7	0,15	-6,7
22	-1,75	0	-1,6	1,5	-0,15	-1,5
23	-0,25	165	-0,7	160,8	0,45	4,2
24	-0,5	163	-0,7	163,4	0,20	-0,4
25	-1,5	180	-1,2	172,8	-0,30	7,2
26	-0,75	167	-1,1	177,1	0,35	-10,1
27	-0,25	163	-0,3	162,7	0,05	0,3
28	-0,75	10	-0,8	9,1	0,05	0,9
29	-0,5	0	-0,9	0,4	0,40	-0,4
30	-1,25	5	-1,4	6,1	0,15	-1,1
31	-3,75	10	-3,8	8	0,05	2
32	0	167	-0,3	165,5	0,30	1,5
33	-0,5	180	-0,1	173,1	-0,40	6,9
34	-3,5	12	-3,1	13,1	-0,40	-1,1
35	-1,25	0	-1,1	1,8	-0,15	-1,8
36	-0,78	176	-0,1	175,6	-0,68	0,4
37	-1,25	10	-1,2	6,2	-0,05	3,8
38	-1	2	-1,22	3,9	0,22	-1,9
39	-1	0	-1,3	6,5	0,30	-6,5
40	-0,1	135	-0,4	154,9	0,30	-19,9
41	-1,25	165	-1,6	167,3	0,35	-2,3
42	-1,25	175	-1,6	174	0,35	1
43	-0,5	0	-0,5	10,8	0,00	-10,8
44	-0,5	0	-0,3	5	-0,20	-5

OD	J-S		RT		ROZDÍL astigmatismu	ROZDÍL axis
	Ast/D	Axis/°	Ast/D	Axis/°		
45	-1	163	-0,6	178	-0,40	-15
46	-1,4	168	-0,9	159,6	-0,50	8,4
47	-1,1	180	-0,8	172	-0,30	8
48	-0,75	175	-1,2	174,1	0,45	0,9
49	-0,85	177	-0,9	6,5	0,05	-9,5
50	-0,5	177	-0,2	175,7	-0,30	1,3
51	-0,25	0	-0,4	16,4	0,15	-16,4
52	-1,5	180	-0,9	177	-0,60	3
53	-0,75	10	-0,7	15,6	-0,05	-5,6
54	-0,75	170	-0,6	176,3	-0,15	-6,3
55	-0,75	0	-0,8	4,1	0,05	-4,1
56	-0,85	13	-1,1	7,7	0,25	5,3
57	0	145	-0,6	165	0,60	-20
58	-0,4	172	-0,5	171,7	0,10	0,3
59	-0,25	165	-0,2	179,5	-0,05	-14,5
60	-0,9	158	-1,1	161,8	0,20	-3,8
61	0	0	-0,5	35,5	0,50	-35,5
62	-0,25	0	-0,7	8,3	0,45	-8,3

Příloha 9: Tabulka rohovkového astigmatismu přední plochy rohovky pravého oka

OS	J-S		RT		ROZDÍL ast	ROZDÍL axis
	Ast/D	Axis/°	Ast/D	Axis/°		
1	-0,25	180	-0,5	169,6	0,25	10,4
2	-0,5	5	-0,3	7,7	-0,20	-2,7
3	-1	170	-1,1	175,5	0,10	-5,5
4	-1,5	180	-0,9	177,4	-0,60	2,6
5	-2	180	-1,9	179,7	-0,10	0,3
6	-1	10	-1,1	7,9	0,10	2,1
7	-0,65	180	-0,6	176,4	-0,05	3,6
8	-1,25	25	-1,4	33,2	0,15	-8,2
9	-0,75	13	-0,7	11,4	-0,05	1,6
10	-1,25	175	-1,3	2,2	0,05	-7,2
11	-0,25	60	-0,2	26,1	-0,05	33,9
12	-0,75	180	-0,9	179	0,15	1
13	-1	180	-0,5	168,1	-0,50	11,9
14	-0,25	0	-0,2	21,5	-0,05	-21,5
15	-0,85	0	-0,8	2,4	-0,05	-2,4
16	0	180	-0,7	171,4	0,70	8,6
17	-0,75	5	-0,5	13,2	-0,25	-8,2
18	0	0	-0,4	5,4	0,40	-5,4
19	-1,25	170	-0,9	171,1	-0,35	-1,1

OS	J-S		RT		ROZDÍL ast	ROZDÍL axis
	Ast/D	Axis/°	Ast/D	Axis/°		
20	-1,25	0	-1,3	2,9	0,05	-2,9
21	-0,25	180	-0,3	170,8	0,05	9,2
22	-1	180	-0,7	169,7	-0,30	10,3
23	-0,9	13	-0,9	12	0,00	1
24	-1	13	-0,8	11,1	-0,20	1,9
25	-1	180	-1,2	172,9	0,20	7,1
26	-1	0	-1	3,2	0,00	-3,2
27	-1	175	-0,6	176,6	-0,40	-1,6
28	-0,25	180	-0,8	173,4	0,55	6,6
29	-3	135	-2	137,9	-1,00	-2,9
30	-2	170	-1,6	171,4	-0,40	-1,4
31	-3,2	172	-3,3	169,7	0,10	2,3
32	-0,5	0	-0,7	5,7	0,20	-5,7
33	-0,5	180	-0,5	158,5	0,00	21,5
34	-2,25	165	-2,2	161,2	-0,05	3,8
35	-1	6	-1,1	172,3	0,10	13,7
36	-0,5	0	-0,4	7	-0,10	-7
37	-1,5	162	-1,6	165,9	0,10	-3,9
38	-1,25	180	-1,3	174,6	0,05	5,4
39	-1,35	0	-1	4,1	-0,35	-4,1
40	-0,3	130	-0,3	154,9	0,00	-24,9
41	-1,75	23	-1,5	13,6	-0,25	9,4
42	-1,75	180	-1	174,6	-0,75	5,4
43	0	170	0,1	127,8	-0,10	42,2
44	-0,5	5	-0,2	18,2	-0,30	-13,2
45	-1,17	180	-0,9	179,7	-0,27	0,3
46	-0,7	19	-0,4	22,8	-0,30	-3,8
47	0	165	-0,5	178,8	0,50	-13,8
48	-1,25	0	-1	3,2	-0,25	-3,2
49	-0,74	30	-0,6	16,5	-0,14	13,5
50	-0,75	62	-0,2	22,9	-0,55	39,1
51	-0,25	165	-0,6	179,6	0,35	-14,6
52	-1	180	-0,3	161,1	-0,70	18,9
53	-1,35	175	-0,9	166,2	-0,45	8,8
54	-1,25	4	-0,8	7,1	-0,45	-3,1
55	-1	180	-0,8	173,8	-0,20	6,2
56	-1	180	-1	177,4	0,00	2,6
57	-0,5	0	-0,6	7,2	0,10	-7,2
58	-0,5	0	-0,8	0	0,30	0
59	-0,65	180	-0,5	177,5	-0,15	2,5
60	-0,75	8	-0,6	2,5	-0,15	5,5
61	-0,25	153	-0,5	157,5	0,25	-4,5
62	-0,5	180	-0,5	159,3	0,00	20,7

Příloha 10: Tabulka rohovkového astigmatismu přední plochy rohovky levého oka