

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

ABERACE KORIGOVANÉHO OKA

Bakalářská práce

VYPRACOVAL:

Vladimír_Bolek

Obor 5345R008 OPTOMETRIE

Studijní rok 2009/2010

VEDOUĆÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

RNDr. Jaroslav Wagner, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval/a samostatně pod vedením RNDr. Jaroslava Wagnera, Ph.D. za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci 27. 01. 2011

Osnova

1.	Úvod	5
2.	Bulbus oculi jako optický systém	6
2.1	Optické modely lidského oka	6
2.1.1	Gullstrandovo schematické oko	7
2.1.2	Emsleyova-Graffova modifikace	9
2.1.3	Standardní redukované oko	10
3.	Proces vidění	12
3.1	Zraková dráha	14
4.	Refrakční vady	15
4.1	Hypermetropie	16
4.2	Myopie	18
4.3	Astigmatismus	20
5.	Presbyopie	23
6.	Brýlové čočky	25
6.1	Materiály na výrobu brýlových čoček	26
6.1.1	Sklo	27
6.1.2	Plast	28
7.	Kontaktní čočky	30
8.	Vady optického zobrazování (Aberace)	34
8.1	Otvorová vada	35
8.2	Astigmatismus a zklenutí	37
8.3	Koma	39
8.4	Barevná vada	40
8.4.1	Barevná vada polohy	40
8.4.2	Barevná vada velikosti	41
8.5	Zkreslení	41
9.	OSLO edu	43
9.1	Grafická analýza	44
10.	Úvod do praktické části	48

10.1	Oko bez korekce	49
10.2	Vykorigované ametropické oko	54
10.3	Změna polohy brýlové čočky před okem	55
10.3.1	DCX	55
10.3.2	DCY	56
10.3.3	DCZ	57
10.3.4	TLA	58
10.3.5	TLB	59
10.3.6	TLC	60
11.	Závěr	61
12.	Citace	62

1. Úvod

Rád bych vás v mé bakalářské práci seznámil s často opomíjenou problematikou aberací brýlových čoček ve spojení s korekcí refrakčních vad. Velmi malá informovanost o této problematice je dána neustálým vývojem nových materiálů a konstrukcí brýlových čoček, kterým se firmy snaží o zprostředkování čočky spotřebiteli s co nejdokonalším optickým zobrazením bez jakýchkoliv patrných vad. I tak se ale dá říci, že žádná optická soustava není naprosto dokonalá. Avšak vady vznikající zobrazováním skrze brýlové čočky jsou výrobcem eliminovány na přijatelnou míru, při které by je lidské oko nemělo vnímat. Praktická část se zakládá na práci s počítačovým programem Oslo edu. Tento software pro tvorbu optických prvků a soustav má osvětlit, jakým způsobem se mění hodnoty aberací v různých modelových situacích a v jakém případě mohou být při korekci vnímatelné. K zápisu jednotlivých parametrů oka využívám hodnoty Gullstrandova schematického modelu oka, které demonstrují hodnoty průměrného lidského oka dospělého jedince. Vzhledem k tomuto faktu a k dokonalosti programu můžeme jím vypočítané hodnoty aberací ztotožnit s aberacemi skutečnými.

2. Bulbus Oculi jako optický systém ^[1]

Z optického hlediska představuje lidské oko konvergentní optický systém, který zobrazuje vnější předměty na vnitřní vrstvu receptorů citlivých na světlo – sítnici. Pro popis jeho zobrazovacích vlastností slouží geometrické modely oka. Optická soustava oka se skládá z rohovky, komorové vody, čočky a sklivce. Důležitou roli v optickém zobrazování oka hraje duhovka, která izoluje oko od nežádoucího vnějšího osvětlení. Téměř ve středu duhovky se nachází zornice nebo-li pupila. Kruhovitý útvar měnící svůj průměr v závislosti na intenzitě světla směřujícího do oka. V tomto směru funguje duhovka, jako clona. Vytvoření ostrého sítnicového obrazu pozorovaného předmětu umístěného v různých vzdálenostech před okem je umožněno změnou optické mohutnosti uvedeného dioptrického systému oka (akomodací). Optická mohutnost rohovky činí přibližně +42 dioptrií (D) a optická mohutnost oční čočky při uvolněné akomodaci (tj. při minimální optické mohutnosti oka) je asi +20 D. Předozadní (osová, axiální) délka oka, měřená od vrcholu přední plochy rohovky k foveole, činí u dospělých jedinců přibližně 24 mm. Optická osa oka neprotíná sítnici přesně ve foveole (centrální jamka žluté skvrny), ale obvykle mírně nazálně. Úhel osy vidění α (nebo též uzlové osy), tj. paprsku vedeného přes uzlové body do foveoly, je průměrně 5°. Vedle zrakové osy se také zavádí osa fixace, která spojuje fixovaný bod s bodem otáčení oka. Bodem otáčení rozumíme bod v oku, jehož poloha vzhledem k hlavě se při pohybech oka nemění. Nachází se asi 14,43 mm za vrcholem rohovky, přibližně 1 až 1,5 mm od optické osy směrem ke spánkům. Obvykle malý úhel, sevřený osou fixace a optickou osou, bývá označován γ .

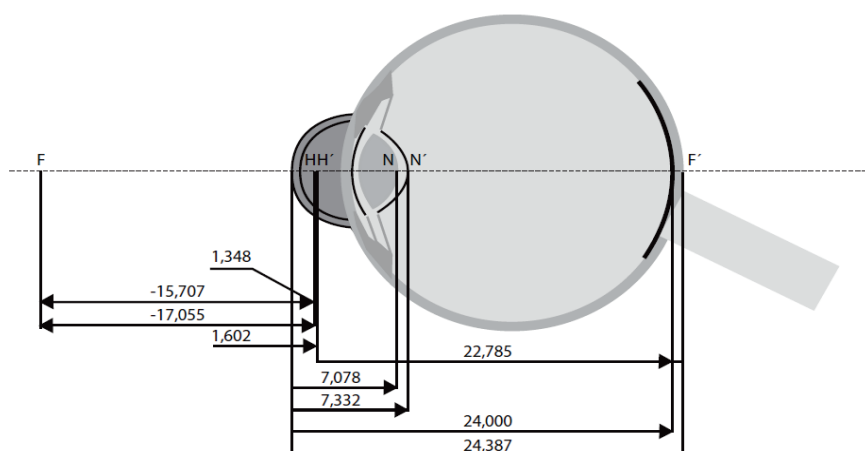
2.1 Optické modely lidského oka

Geometrické modely slouží k podrobnému popisu zobrazovacích vlastností oka a k jejich teoretickým výpočtům. Jedná se tedy o modely, které zahrnují veškeré optické parametry, jejichž hodnoty s maximální přesností reprezentují průměrné hodnoty skutečných lidských očí. Existuje řada optických modelů oka, přičemž každý model vykazuje určitý stupeň zjednodušení a to vzhledem k oblasti jeho využití. V dalším textu budou popsány 3 nejběžněji používané modely: Gullstrandovo schematické oko, Emsleyova - Graffova modifikace zjednodušeného Gullstrandova

schematického oka a standardní redukované oko. Znaménková konvence je u těchto modelů vyznačována od vrcholu lámavé plochy, přičemž za kladný směr je považován chod světelných paprsků (volený obvykle zleva doprava). Vzdálenosti se vyznačují od vztažné lomivé plochy nebo od hlavních bodů.

2.1.1 Gullstrandovo schematické oko

Tento nejpodrobnější a dosud užívaný optický model oka sestavil švédský oftalmolog A. Gullstrand. Jako předmětové prostředí je uvažován vzduch o indexu lomu 1. Rohovku schematického oka vymezuje její přední a zadní lomivá plocha. Čočka je zde zobrazena pomocí 4 lomivých ploch: přední plocha obalu čočky, přední plocha jádra čočky, zadní plocha jádra čočky a zadní plocha čočkového obalu (kortexu). Komorová voda a sklivec mají v modelu shodný index lomu. Veškeré pro výpočty důležité optické parametry, vzdálenosti ohnisek F a F' , dále pak hlavních bodů H, H' a uzlových bodů N a N' spolu s odpovídajícími indexy lomu a polohou sítnice. Celková optická mohutnost tohoto modelu v neakomodovaném stavu činí + 58,64 D a ve stavu maximální akomodace + 70,57 D. Tato soustava v relaxovaném stavu (bez zapojení akomodace) uvažuje s předmětovou a obrazovou ohniskovou vzdáleností – 17,055 mm a + 22,785 mm. Naopak při maximální akci akomodace činí hodnoty předmětové a obrazové ohniskové vzdálenosti – 14,169 mm a + 18,030 mm. Jemná neostrost obrazu vytvořeného na sítnici (předmět v nekonečnu) je zapříčiněna mírnou odlišností polohy obrazového ohniska a sítnice. Gullstrandův schematický model oka se využívá pro vysoce přesné optické výpočty.



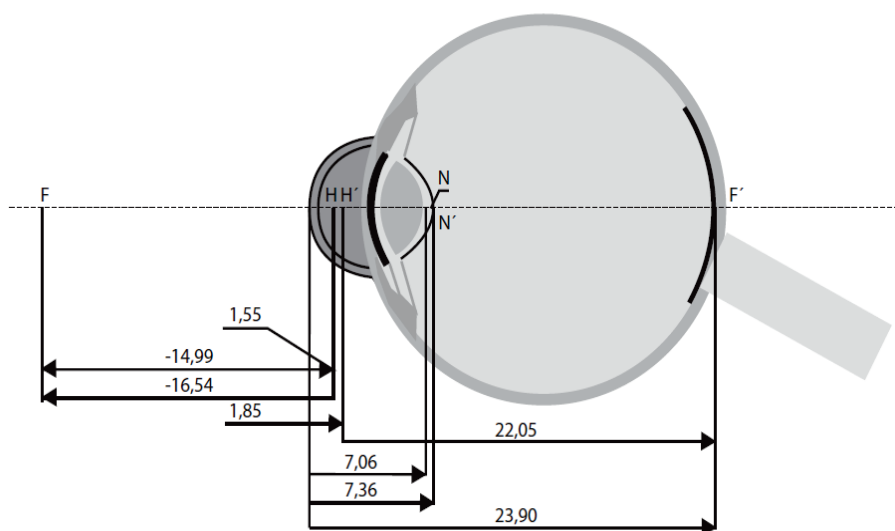
Obr.1 Gullstrandův schematický model oka

	Vzdálenost od vrcholu rohovky (mm)	Poloměr zakřivení (mm)	Index lomu
Přední plocha rohovky	0,000	7,700	-
rohovka	-	-	1,376
Zadní plocha rohovky	0,500	6,800	-
Komorová voda	-	-	1,336
Přední plocha čočky	3,6 (3,2)	1,00 (5,33)	-
Periferie čočky	-	-	1,386
Přední plocha jádra čočky	4,146 (3,8725)	7,911 (2,655)	-
Jádro čočky	-	-	1,406
Zadní plocha jádra čočky	6,655 (6,5275)	- 5,760 (- 2,655)	-
Zadní plocha čočky	7,200	- 6,000 (- 5,33)	-
sklivec	-	-	1,336
Předmětové ohnisko	- 15,707 (- 12,397)	-	-
Obrazové ohnisko	24,387 (21,016)	-	-
Předmětový hlavní bod	1,348 (1,722)	-	-
Obrazový hlavní bod	1,602 (2,086)	-	-
Předmětový uzlový bod	7,078 (5,633)	-	-
Obrazový uzlový bod	7,332 (5,997)	-	-
sítnice	24,000	-	-

Tab.1 Parametry Gullstrandova schematického oka – hodnoty v závorkách odpovídají maximální akomodaci. V ostatních případech se jedná o neakomodovaný stav. Chybí-li hodnota v závorce, parametr se v závislosti na akomodaci nemění.

2.1.2 Emsleyova-Graffova modifikace zjednodušeného Gullstrandova schematického oka

Klasické Gullstrandovo schematické oko bylo pány Emsleyem a Grafem modifikováno a vytvořen zjednodušený model Gullstrandova oka. Tato modifikace spočívá v eliminování počtu lomivých ploch. Rohovka je zde prezentována jen jednou lomivou plochou a čočka dvěma. Hodnoty poloměrů křivosti všech 3 lámavých ploch, stejně jako polohy předmětového a obrazového ohniska F a F' , dále pak polohy předmětového a obrazového hlavního bodu H a H' a předmětového a obrazového uzlového bodu N a N' a odpovídající indexy lomu poskytuje tab.2. Z uvedených vzdáleností vyplývá, že obrazové ohnisko koresponduje s polohou sítnice. Tato modifikace Gullstrandova schematického oka je pouze modelem neakomodovaného optického aparátu oka s celkovou optickou mohutností + 60,48 D. Předmětová a obrazová ohnisková vzdálenost činí – 16,54 mm a + 22,05 mm. I přes nižší počet lomivých ploch plně dostačuje pro většinu teoretických optických výpočtů.



Obr.2 Emsleyova-Graffova modifikace Gullstrandova modelu oka

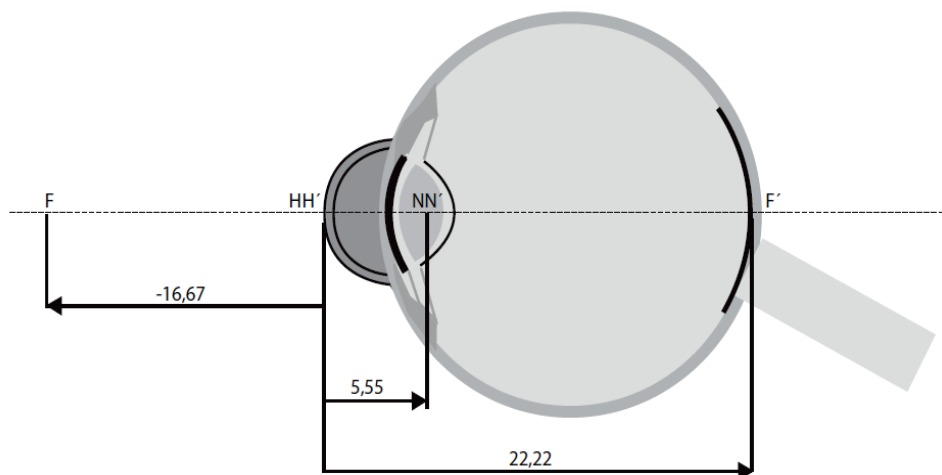
	Vzdálenost od vrcholu rohovky (mm)	Poloměr zakřivení (mm)	Index lomu
Rohovka	0,000	7,8	-
Komorová voda	-	-	4/3
Přední plocha čočky	3,6	10	-
Čočka	-	-	1,416
Zadní plocha čočky	7,2	- 6,0	-
Sklivec	-	-	4/3
Předmětové ohnisko	- 14,99	-	-
Obrazové ohnisko	23,90	-	-
Předmětový hlavní bod	1,55	-	-
Obrazový hlavní bod	1,85	-	-
Předmětový uzlový bod	7,06	-	-
Obrazový uzlový bod	7,36	-	-
sítnice	23,90	-	-

Tab.2 Parametry Emsleyovy-Graffovy modifikace zjednodušeného Gullstrandova schematického oka

2.1.3 Standardní redukované oko

Pro maximální zjednodušení teoretických a ilustračních výpočtů vznikl model standardního redukovaného oka. Kde je počet lomivých ploch redukován pouze na jednu ekvivalentní plochu, jejíž poloměr křivosti $r = + 5,55 \text{ mm}$, index lomu $n = 4/3$ a axiální délka $a' = + 22,22 \text{ mm}$. Hlavní body H a H' splývají a leží ve vrcholu optické plochy, taktéž splývající uzlové body N a N' korespondují se středem křivosti této plochy. Celková optická mohutnost $\phi = (1-n)/-r \approx + 60 \text{ D}$ a předmětová a obrazová ohnisková vzdálenost f, f' činí $- 16,67 \text{ mm}$ a $+ 22,22 \text{ mm}$, což je dáno polohou obrazového hlavního bodu ve vrcholu lomivé plochy a polohou obrazového ohniska ve foveole sítnice. Znázornění geometrických konstrukcí a výpočtů ametropického aparátu lze docílit

změnou hodnot (např. axiální délky) standardního redukovaného oka (emetropická optická soustava). Takto pozměněnému modelu říkáme nestandardní redukované oko.



Obr.3 Standardní redukované oko

	Vzdálenost od vrcholu přední plochy modelu (mm)	Poloměr zakřivení	Index lomu
Přední plocha modelu	0,0	+ 5,55	
Vnitřní prostředí			3/4
Předmětové ohnisko	- 16,67		
Obrazové ohnisko	+ 22,22		
Hlavní bod	0,0		
Uzlový bod	+ 5,55		
sítnice	+ 22,22		

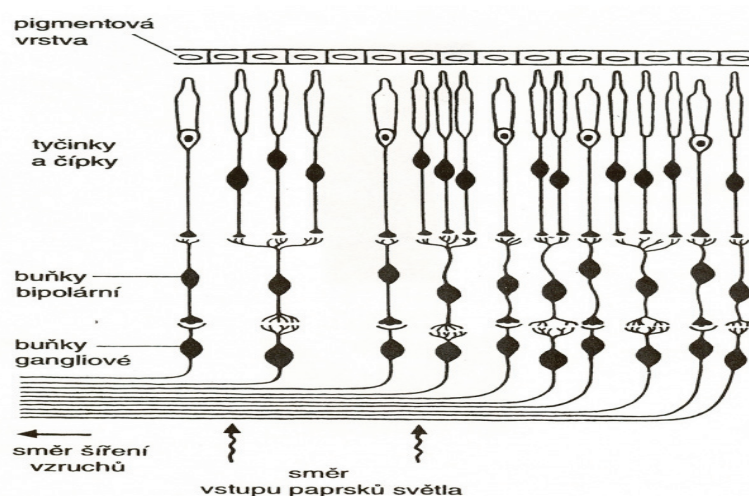
Tab.3 Parametry standardního redukovaného oka při relaxované akomodaci

3. Proces vidění [2, 3]

Zpozorujeme – li jakýkoliv předmět, světlo z něj přichází nejprve na rohovku – první část optického systému oka. Zde dochází k prvnímu lomu světelného paprsku a jeho centraci do středu oka. Světlo následně prochází přední komorou (camera bulbi oculi anterior), která je vyplněna stejně jako zadní komora (camera bulbi oculi posterior) komorovou tekutinou (humor aqueus). Obě komory jsou odděleny duhovkou (iris) v jejímž středu se nachází zornice (pupilla), kudy světlo prochází hlouběji do vnitřních struktur oka. Duhovka plní funkci clony. Pod povrchovým vazivem s cévami je vrstva hladké svaloviny: musculus sphincter pupillae (rozvěrač) umožňuje mydriázu a musculus dilatator pupillae (svěrač) svou činností dělá oko myotické. Oba tyto svaly regulují množství světelných paprsků dopadajících na sítnici (retina). Nadměrným osvětlením dochází k podráždění nervových zakončení svěrače zornice a tím zapříčiněné myóze. Naopak za zhoršených světelných podmínek (nízká intenzita osvětlení) musculus sphincter pupillae uvede zornici do mydriatického stavu. Duhovka má mimo jiné vliv i na aberace oka! Světelné paprsky po průchodu zornicí dopadají na čočku (lens cristallina). Ta je tvořena dvěma částmi a to obalem čočky a jejím jádrem. Každá z jejích vrstev přispívá k lomu světelného paprsku svým dílem, což dohromady vytváří jemný stupňovitý efekt. Zadní část čočky je lokalizována přibližně na 1/3 cesty paprsku na sítnici, kam se dále dostává přes sklivec (corpus vitreum). Což je průhledná, bezbuněčná hmota tvořená z 98 % vodou.

Sítnice je nejhlubší strukturou oka, obsahuje více než 10 fotoreceptorů (tyčinky a čípky), které jsou přes neurony sítnice spojeny s asi 10 sítnicových gangliových buněk, jejichž axony tvoří nervus opticus. Chemickým procesem dochází k přeměně světelné energie na elektrické nervové impulsy. Důležitou látkou pro neporušenou funkci světločivých elementů je vitamin A. Je obsažen v řadě potravin a do těla se dostává trávicím traktem. Tyčinky a čípky absorbují jeho molekuly z krve proudící cévnatkou. V tyčinkách se jeho modifikovaná podoba kombinuje s bílkovinou opsinem a dohromady tvoří rhodopsin. Je to bílkovina spojená s nosičem barev. Při osvětlení změní svoji barvu ve světle žlutou a dále se pak změní v bezbarvou látku. Jakmile dopadne na fotoreceptor foton, okamžitě se rozloží jedna molekula rhodopsinu a generuje tak v buňce elektrický impuls, čili nervový signál. Čím větší koncentrace rhodopsinu, tím citlivější jsou oči. Retina obsahuje asi 6 – 7 milionů čípků, ty umožňují vidění ve dne a zprostředkovávají tzv. *fotopické* vidění (barevné). Nejvíce jsou nahromaděny v místě nejostřejšího vidění tzv. žluté skvrně (macula lutea) a směrem do periferie jich ubývá. Obsahují 3 pigmenty: Chlorolabe – pro zelenou barvu; Erytrolabe – pro

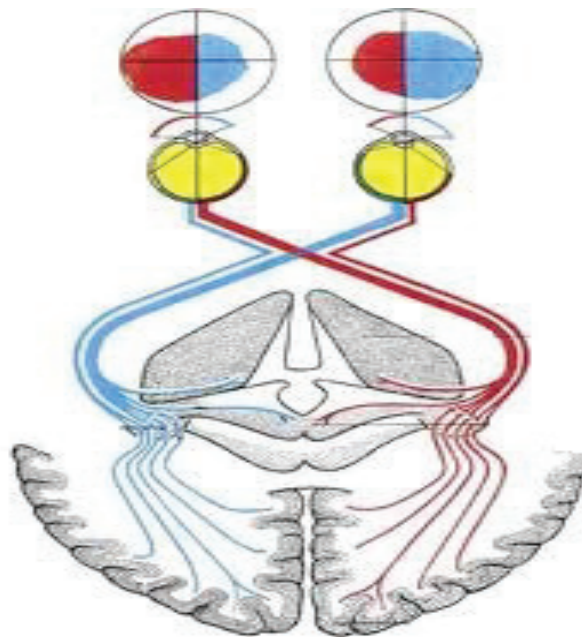
červenou barvu; Cyanolabe – pro modrou barvu. Tyto tři pigmenty nám umožňují vnímat všechny barvy, protože mícháním těchto základních barev je možné docílit jakéhokoliv barevného tónu. Tyčinek je v sítnici asi 120 milionů, směrem od periferie jich ubývá. Zprostředkovávají vidění za šera. Při podráždění těchto buněk vidíme černobíle (*skotopické* vidění). Vidění současně pomocí tyčinek i čípků se nazývá *mezopeické*. Sítnice obsahuje mimo jiné také 3 typy gangliových buněk: 10 % jsou velké α -(Y) buňky (magnocelulární systém) s rychle vedoucími axony pro vidění pohybu, 80% zaujímají malé β -(X-) buňky (parvocelulární systém) s tenčími axony slouží k analýze předlohy i barev. Třetí typ, γ -(W-) buňky (konioceleulární systém) s ještě tenčími axony, slouží k řízení průměru pupilárního otvoru.



Obr.4 Buněčná struktura sítnice.

3.1 Zraková dráha

Na sítnici začíná tzv. **zraková dráha** (obr.5), která je tříneuronová. Elektrický impuls se skrze axony světločivých elementů šíří do bipolárních buněk. Dále se axony bipolárních bb. napojují na dendrity multipolárních bb.. Výběžky těchto buněk se spojují ve fasciculus opticus a jako optický nerv (nervus opticus) opouští sítnici. Ten směřuje do hrotu očnice (orbita) a po průchodu optickým kanálem (canalis opticus) dochází k semidekuzaci (částečné překřížení) zrakové dráhy. Vlákná z nazálních polovin sítnic obou očí (60%) se zde kříží a přecházejí do druhostranného traktu, zatímco vlákna z temporálních polovin (40 %) jdou nezkřížena do traktu stejnostranného. Toto překřížení se označuje jako chiasma. Neurity dále pokračují v tractus opticus a končí v primárních zrakových centrech corpus geniculatum laterale v diencephalu. Tato centra obsahují buňky, jejichž neurity tvoří tzv. zrakovou radiaci či Gratioletův svazek a končí v buňkách korového centra ve fissura calcarina na vnitřní ploše okcipitálního laloku. Zde dochází k uvědomění toho, co vidíme.



Obr.5 Zraková dráha – prezentace průběhu zrakového nervu a barevné rozlišení jeho částí.

4. Refrakční vady

Na refrakčním stavu se podílejí lomivost optických prostředí a délka oka. Fixuje-li oko předmět ležící v nekonečnu (při relaxované akomodaci), obraz je za normálních podmínek a správném poměru výše uvedených veličin vytvořen na sítnici. Tento stav se nazývá emetropie. Pokud ale uvedená podmínka není splněna, mluvíme o tzv. ametropii.

Bereme-li v úvahu, že všechny lomivé plochy mají sférické zakřivení, pak se jedná o ametropie sférické. Přičemž tyto vady můžeme podle příčiny rozdělit na:

- Osové (axiální) – nejčastěji se vyskytující sférické ametropie, způsobené nesprávnou délkou oka
- Lomivostní (kurvatorní) – způsobené nesprávnými hodnotami zakřivení lomivých ploch
- Indexová – velmi vzácná, příčinou je nesprávný index lomu optických prostředí oka

Refrakční vady jsou z 90 % osové (jiná předozadní délka oka) a z 10 % indexové (jiná hustota prostředí + vady křivkové)!

Vady refrakce oka nabývají různých hodnot a z hlediska jejich velikosti dělíme tyto vady na:

- ❖ Malé – pacient je dokáže vykorigovat bezděčně vynucenou činností oka; korekce je vhodná především v případě tzv. astenopických potíží (zrakové – mlhavé nebo dvojité vidění; oční – slzení, pocit cizího tělíska v oku, řezání, pálení, zčervenání; přídavné – bolesti hlavy, za krkem,..)
- ❖ Velké – Pacient již není schopen vadu vykorigovat zvýšeným úsilím oka, což vede ke snížení zrakové ostroty (vízu). Astenopické potíže nastávají pouze v případě nesprávné korekce, kdy se velká vada změní na malou!

4.1 Hypermetropie

Hypermetropické nebo též dalekozraké oko je tzv. krátké oko. Rovnoběžné paprsky vstupující do oka se protnou za sítnicí v obrazovém ohnisku F' . Po průchodu optickým prostředím oka jsou světelné paprsky divergentní. Obraz vytvořený na sítnici dalekozrakého oka je zmenšený. Daleký bod R (punctum remotum), ležící u emetropického oka před okem v nekonečnu, je v tomto případě lokalizován v konečné vzdálenosti za okem. Blízký bod P (punctum proximum) leží v konečné vzdálenosti před okem nebo za okem. Oko zatížené hypermetropií není schopné vidět ostře do dálky i do blízka bez dodatečné konvergentní optické síly. Tento stav je buď vykorigován vlastní akomodací či zevně pomocí korekční pomůcky.

Etiologie:

- ❖ *Axiální hypermetropie* – z důvodu menšího předozadního průměru oka. Zkrácení o 1mm navodí vadu o hodnotě + 3 D. Většinou nepřesahuje + 6 D. Pouze u patologických stavů (mikroftalmus, menší předozadní délka bulbu tlakem retrobulbárního nádoru či zánětu, nebo při posunutí sítnice vpřed nitroočním nádorem nebo edémem) může dosáhnout až + 20 D!
- ❖ *Kurvatorní hypermetropie* – nejčastěji způsobena zploštělou rohovkou. Zploštění (zvětšení poloměru zakřivení) může být vrozené (cornea plana) nebo posttraumatické. V ojedinělém případě i jako důsledek plošší čočky.
- ❖ *Indexová hypermetropie* – s postupujícím věkem se fyziologicky snižuje index lomu čočky z důvodu strukturálních změn. Patologicky nastává u nově zaléčeného Diabetu (DM). Zvláštním typem je tzv. afasie, kdy v oku chybí lomivá síla celé čočky. Tento stav má za následek hypermetropii + 10 až + 12 D.

Celkovou skutečnou míru hypermetropie, nebo-li tzv. totální hypermetropii, můžeme rozdělit na:

- *Latentní* – fyziologický tonus ciliárního svalu způsobí to, že se vada navenek neprojeví; eliminovatelná atropinovými preparáty
- *Manifestní* – zbývající část totální hypermetropie; Tu dělíme dále na fakultativní, která může být překonána aktivní kontrakcí ciliárního svalu (akomodací). Při velké vadě ale ani maximální akomodační úsilí není schopno korigovat plně manifestní hypermetropii. Tento nekorigovatelný zbytek se nazývá absolutní hypermetropie.

Klinická patologie

Hypermetropické oko je malé ve všech směrech. Klasickým znamením při pohledu přes štěrbinovou lampu je mělká přední komora, která je jedním z možných faktorů vedoucím ke vzniku glaukomu s uzavřeným iridokorneálním úhlem. Při pohledu na oční pozadí je zrakový terč zastřen gliovou tkání, která dává papile tmavě šedočervené zabarvení s nepřesně ohraničenými a nepravidelnými okraji. Dalším klinickým projevem je větší vzdálenost makuly od zrakového terče a hedvábně lesklá sítnice.

Korekce brýlemi

Malá hypermetropická vada se vyznačuje normální zrakovou ostrostí bez příznaků porušené svalové rovnováhy a nevyvolává astenopické potíže. Nevyžaduje tudíž nutnou brýlovou korekci. Při případných obtížích a snížené zrakové ostrosti použijeme korekční pomůcku. Korigujeme nejsilnější spojkou, se kterou pacient ještě vidí ostře.

Vada se s věkem snižuje (po narození je každé oko hypermetropické), ale je samozřejmě nutná pravidelná kontrola u oftalmologa alespoň jednou do roka. U dětí v předškolním věku se brýle rutinně doporučují u vad vyšších než + 3 D a při nižších dioptriích dle míry obtíží a zrakové ostrosti. Mladí dospělí s vadou nižší než + 3 D většinou korekci odmítají. U těchto pacientů většinou předepisujeme po 30. roce života brýle na čtení či trvalé nošení. Platí, že čím mladší pacient, tím lépe snáší podkorigování, ale při spasmu akomodace a při latentním strabismu předepisujeme plnou korekci a její stálé nošení. Pravidlem je, že jedinec s hypermetropií nemá astenopické potíže, jestliže není nucen zapojovat více jak 2/3 akomodační šíře. S narůstajícím věkem klesá schopnost akomodace, latentní a fakultativní hypermetropie se mění na absolutní a pacient tak lépe snáší korekci.

4.2 Myopie

Refrakční vada zvaná též krátkozrakost se vyznačuje zhoršeným viděním do dálky. Rozměrově je myopické oko celkově větší než emetropické. Větší předozadní (axiální) délka bulbu způsobuje, že rovnoběžné světelné paprsky vstupující do oka se po průchodu relaxovaným optickým aparátem protínají před sítnicí v obrazovém ohnisku F' . Daleký bod R, jež se zobrazí ostře na sítnici bez zapojení akomodace, je v tomto případě posunut blíže k oku – leží v konečné vzdálenosti před okem. Převrácená hodnota vzdálenosti dalekého bodu od oka udává dioptrickou hodnotu vady – čím blíže je k oku, tím je vada větší. Blízký bod P, jež se zobrazí na sítnici při maximální akomodaci, se u myopa nachází v konečné vzdálenosti před okem a je lehce posunut blíže k oku.

Rozdělení:

1) Podle příčiny

- *Axiální myopie* – dána zvýšeným předozadním průměrem oka
- *Kurvatorní (rádiusová) myopie* – vzniká v důsledku zmenšení poloměru zakřivení rohovky a v mála případech i čočky. Zvýšené zakřivení čočky (lentikonus) bývá způsobeno jejím zbobtnáním při vysokých koncentracích glukózy v krvi. Změna zakřivení rohovky o 1 mm vyvolá myopizaci o cca – 6 D.
- *Indexová myopie* – klasifikována u počínajících nukleárních katarakt.

2) Podle počtu dioptrií

- *Myopia simplex* do -3,0 D
- *Myopii modla* od -3,25 D do -6,0 D
- *Myopia gravis* nad -6,0 D (s případnými patologickými změnami na sítnici = *myopia gravis degenerativa*)

3) Podle průběhu

- *Myopia physiologica* – začíná u jedinců v pozdním školním věku či v adolescenci. Narůst je pomalý a po 20. roce většinou dále nepostupuje. Konečný stav dosahuje relativně nízkých hodnot bez degenerativních změn.
- *Myopia intermedialis* – tzv. střední myopie, začíná ve školním věku a po 20. roce, kdy vada obvykle dosahuje -5 až -10 D, končí.
- *Myopia progressiva* – vzniká z nejasných příčin. Průběh této myopie je velmi progresivní (až 4 D / rok) a bývá spojen s chorioretinálními změnami a kolikvací sklivce. Mezi 20. a 30. rokem, kdy dosahuje -10 až -30 D, dochází obvykle ke stabilizaci vady.
- *Myopia congenitalis* – vrozená myopie o velikosti -10 D a více. Tento typ zpravidla neprogreduje.

Klinická patologie

Větší rozměry oka mají za následek ztenčení skléry. Při pohledu do oka přes štěrbinovou lampu je patrná hlubší přední komora. Oko narůstá především v oblasti zadního pólu, kde v případě těžké degenerativní myopie dochází k chorioretinálním změnám, které vedou k výraznému poklesu zrakové ostrosti. Může skončit až praktickou slepotou.

Korekce brýlemi

Myopii korigujeme nejslabší rozptylkou, se kterou pacient již vidí ostře. Překorigovaný krátkozraký pacient trpí astenopickými potížemi vlivem zapojení akomodace do dálky, což je pro myopa absolutně nepřírozené.

U nízké a střední myopie používáme plnou korekci a doporučujeme stále nošení a to i do blízka, pro udržení ciliárního svalu v akceschopném stavu. Naopak u vysoké myopie není plná korekce většinou tolerována. Z tohoto důvodu volíme kompromis mezi zrakovou ostrostí a subjektivní snášenlivostí. U dětí volíme plnou korekci a to včetně cylindrů a vzhledem k časté progresi myopie je nutná kontrola refrakce každého půl roku.

4.3 Astigmatismus

Stav oka, při kterém nemá optický aparát oka ve všech směrech stejnou optickou mohutnost. Astigmatismus oka bývá nejčastěji způsoben nesouměrností rohovky, ale může vzniknout i díky asymetrii lámavých ploch čočky nebo tím, že čočka není uložena centricky. Astigmatismus tedy postihuje především rohovku a v malé míře i čočku:

- *Rohovkový astigmatismus*

Dochází k charakteristickému deformování rohovky vlivem tlaku víček na její přední plochu. Tato skutečnost má za následek zvýšení vertikálního zakřivení rohovky a vznik přímého astigmatismu o hodnotě asi 0,5 D.

- *Čočkový astigmatismus*

Vytváří se jako součást autokompenzačních pochodů v oku, aby neutralizoval již působící rohovkový astigmatismus. Z důvodu kompenzace je orientován opačně a jedná se tedy o astigmatismus nepřímý. Dojde-li takto k vzájemnému vyrušení, astigmatismus se nemusí projevit. K problémům však může dojít při aplikaci kontaktních čoček. Kdy slzy mezi zadní plochou čočky a přední plochou rohovky vyhladí rohovkový astigmatismus a začne převažovat astigmatismus čočkový, který před tím nerušil. Další rušivým faktorem je postupující věk, kdy ubývá tuková výstelka v zadní části oční, oční bulbus zapadá a vertikální tlak na rohovku se zmenšuje. Vlivem tohoto procesu dochází ke snížení rohovkového astigmatismu, ale opět se zvětšuje pravděpodobnost manifestace astigmatismu čočky.

Podle příčiny dělíme astigmatismus na:

➤ *Kurvatorní* (nejčastěji rohovkový)

Způsoben nepravidelným zakřivením (asfericitou) lomivých ploch. Malý stupeň (fyziologický astigmatismus) postihuje prakticky všechny jedince a je většinou kompenzován astigmatismem čočky. Větší stupeň může být buď vrozený (nejčastější) nebo získaný (vlivem onemocnění, po zánětech, traumatu, keratoplastice,...)

➤ *Astigmatismus z decentrace*

U traumatické subluxace čočky nebo fyziologicky v důsledku asymetrického vyklenutí čočkového pouzdra nebo při decentraci nitrooční čočky (IOL).

➤ *Indexový astigmatismus*

Vzniká u počínajícího stádia kalení čočky (katarakty), což se v mnoha případech projeví monokulární diplopií či polyplópií.

I přes řadu faktorů navozující oční astg. je stále nejčastější příčinou asféricity (nekulovost) lomivých ploch rohovky a oční čočky. Tento aspekt zapříčiní, že předmětový bod v nekonečnu se nezobrazí jako bod, ale jako neprotínající se dvojice ohniskových úseček (fokál). Existují-li dva navzájem kolmé směry (hlavní řezy) o maximální a minimální optické mohutnosti a optická mohutnost se mezi nimi mění monotónně, symetricky vzhledem k optické ose, hovoříme o tzv. pravidelném astigmatismu (*astigmatismus regularis*). Rozdíl hodnot optických mohutností hlavních řezů se označuje jako astigmatický rozdíl (diference). Pokud však nelze nalézt hlavní řezy a hodnoty lomivosti se nemění symetricky (jizvy, keratokonus,...), jedná se o *astg. nepravidelný (irregularis)*.

Pravidelný astigmatismus

Je-li jeden z hlavních řezů v poloze kolem 180° a druhý v 90° a vertikální směr je lomivější (menší poloměr zakřivení) než horizontální, pak mluvíme o tzv. přímém astg. (podle pravidla). V opačném případě se jedná o astg. nepřímý (proti pravidlu). Astigmatismus s hlavními řezy v osách přibližně 45° a 135° se nazývá šikmý (astigmatismus obliquus). Také může nastat situace, že meridiány s extrémními mohutnostmi jsou symetrické, ale nejsou na sebe kolmé = astigmatismus biobliquus.

Dále můžeme pravidelný astigmatismus rozdělit na:

- Jednoduchý (*astigmatismus simplex*) – jeden z hlavních řezů je emetropický a druhý nabývá buď kladných (*hypermetropie*) či záporných (*myopie*) hodnot
- Složený (*astigmatismus compositus*) – oba hlavní řezy jsou hypermetropické nebo myopické
- Smíšený (*astigmatismus mixtus*) – jeden řez je myopický a druhý hypermetropický

5. Presbyopie

Presbyopie je fyziologický refrakční stav oka vznikající na základě oslabování akomodace. Tento fyziologický proces, nazývaný též vetchozrakost, je přímo závislý na postupujícím věku jedince, a tudíž není řazen mezi refrakční vady. Akomodace je schopnost oka měnit zakřivení lomivých ploch oční čočky a tak umožnit vidění předmětů ostře na různou vzdálenost.

Mechanismus akomodace – ciliární sval, jež je součástí řasnatého tělíska (corpus ciliare), tvoří cirkulární vlákna (Müllerův sval) a meridionální vlákna (Brückeův sval). Při pohledu do blízka dochází ke kontrakci cirkulárních vláken. Toto následně umožní uvolnění vláken závěsného aparátu čočky (zonulární aparát) a čočka se vyklene (sníží poloměr zakřivení přední plochy z 10 na 6 mm).

Na akomodaci se podílejí 2 složky:

- *Fyzikální* dána elasticitou čočkového pouzdra a plasticitou obsahu
- *Fyziologická* představuje kontrakční sílu ciliárního svalu

Presbyopie (vetchozrakost) vzniká především na základě narušení fyzikální akomodace. S přibývajícím věkem postupně klesá elasticita pouzdra a plasticita čočkového obsahu. Důležitým ukazatelem je zde tzv. akomodační šíře. Tento parametr udává v dioptriích o kolik je čočka schopna zvýšit svoji lomivost a s věkem klesá. Presbyopické potíže se neprojeví, jestliže je alespoň 1/3 akomodační šíře nevyužita (tzv. akomodační rezerva). Projevy se objevují rozostřeným viděním do blízka již po 45. roce.

U pacienta s hypermetropií nastávají potíže dříve, jelikož spotřebovává část akomodace ke korekci zrakové ostrosti na dálku.

Příznaky:

- prodlužování čtecí vzdálenosti
- pokles vízu do blízka při nedokonalém osvětlení
- neschopnost zaostřit na krátkou vzdálenost
- zpočátku únava očí, bolest očí, bolest hlavy, ..

Jako terapii volíme presbyopickou korekci. Cílem korekce je posílení refrakčního aparátu oka tak, aby byla zachována alespoň 1/3 akomodační šíře jako akomodační rezerva. Rozdíl mezi korekcí do dálky a do blízka označujeme jako adici.

Průměrné hodnoty adice při pracovní vzdálenosti dle věkových kategorií:

40letý emetrop + 1 D

50letý emetrop + 2 D

60letý emetrop + 3 D

V případě ametropie nesmíme opomenout hodnotu stávající refrakční vady!

Všechny hodnoty jsou samozřejmě jen orientační. Pro práci na jinou vzdálenost korekci upravíme. Pro kratší vzdálenost korekci zesílíme a naopak pro delší vzdálenost musíme dioptrickou hodnotu snížit.

Vidění s finální korekcí musí být pacientem hodnocené jako příjemné a pohodlné!

6. Brýlové čočky [4]

Brýlové čočky jsou základem optického korekčního prostředku – brýlí. Prostřednictvím čoček je korigována refrakční oční vada nositele brýlí. V souvislosti s brýlovými čočkami hovoříme o optickém středu, optické ose, přední (konvexní) a zadní (konkávní) lámavé ploše, vrcholové lámavosti, indexu lomu, Abbeově čísle, pohltivosti záření (absorpci), středové a okrajové tloušťce.

Brýlové čočky dělíme podle optických hledisek na *spojné* a *rozptylné*. Některé čočky (torické, bifokální) mohou vykazovat oba lámavé účinky. *Sférické* čočky mají obě lámavé plochy kulové, *torické* mají jednu z nich torickou. Nejběžnější jsou *jednoohniskové* čočky, na kterých naměříme jen jeden korekční účinek, a to buď sférický nebo torický. U *bifokálních* (dvouohniskových) čoček naměříme tyto lámavé účinky dva, u *trifokálních* tři. Tyto dva druhy čoček se nazývají též společným názvem *víceohniskové*. Vrcholem jsou v tomto směru čočky *progresivní (multifokální)*, u nichž se mění jejich korekční vrcholová lámavost plynule v závislosti na výškové poloze průsečíku pohledové osy oka uživatele s lámavými plochami čočky. *Asférické* brýlové čočky mají alespoň jednu z ploch rotačně sférickou v tom smyslu, že se poloměr křivosti této plochy od optického středu čočky všemi směry stejně plynule zvětšuje. *Atorické* čočky mají alespoň jednu plochu atorickou, což znamená, že se jedná o podobně upravenou plochu torickou s plynule se k okraji čočky zvětšujícími poloměry křivosti v obou hlavních řezech čočky. Zavedením rotačně asférické nebo atorické plochy se tyto čočky dostávají na vyšší kvalitativní úroveň z hlediska zobrazovacího i estetického. Získávají plošší, tenčí tvar a zobrazení okrajem čočky je při dodržení pokynů pro centraci bez zkreslení a astigmatismu šikmých paprsků.

Rozdělení brýlové korekce

1) Podle účelu

- Korekční do blízka
 do dálky

 do dálky i do blízka
- Ochranné sluneční
 pracovní

2) Rozdělení korekčních z hlediska opticko – konstrukčního

- Sférické
- Asférické rotačně symetrické
Torické
- Speciální lentikulární
prizmatické

3) Podle materiálu

- Minerální
- Organické (plastové)
- Polykarbonátové

4) Z hlediska optického účinku

- Monofokální (unifokální)
- Bifokální
- Trifokální
- Multifokální

5) Podle indexu lomu

- Základní (plast – 1,49, minerál – 1,523)
- Vysokoindexové (plast – 1,74, minerál – 1,9)

6.1 Materiály na výrobu brýlových čoček [5]

Brýlové čočky se vyrábějí ze skla nebo umělých hmot. Skleněné označujeme též jako minerální, silikátové či anorganické. Umělé hmoty pak jako plasty či organické čočky. Oba typy vyžadují, vzhledem k odlišným mechanickým vlastnostem, rozdílnou technologii výroby a také povrchových úprav. Cílem výroby brýlových čoček je dosáhnout naprosto dokonalé optické čistoty. Každý z materiálů vyžaduje taktéž rozdílný postup očního optika při zhotovování korekční pomůcky.

6.1.1 Sklo

Sklo je ztuhlá tavenina silotvorných oxidů s příměsí taviv a stabilizátorů. Vlastní surovinou je tedy tavenina sklotvorných oxidů (nejčastěji oxid křemičitý). Taviva (především oxid sodný nebo draselný) ovlivňují výrobní proces na základě snižování teploty tavení oxidu křemičitého (1800°C). Stabilizátory (např. oxid vápenatý či oxid olovnatý) zvyšují chemickou stálost skla a ovlivňují především pro nás důležité optické vlastnosti. K rozšíření výroby optického skla došlo na přelomu 19. a 20.století v Jeně v Německu. Tento rozvoj se pojí se třemi jmény – O. Schott, E. Abbé, K. Weiss. Vlivem výběru a pečlivého mísení jednotlivých složek materiálu vznikla postupně široká škála optických skel s různými hodnotami optických veličin. Dělí se do skupin podle složení a optických parametrů. Jejich označování se dosti různí, ale nejznámější je klasické značení podle Schotta.

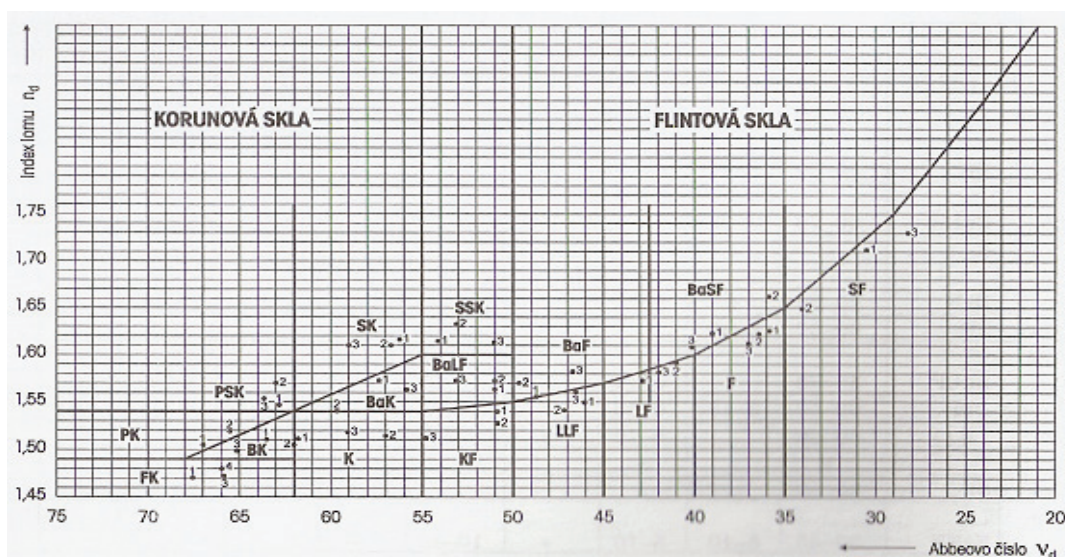
Druh skla	Zkratka	SiO ₂	B ₂ O ₃	Na ₂ O	CaO K ₂ O	BaO	Al ₂ O ₃	F	ZnO	TiO ₂	PbO
Korunové fluorosilikátové	FK	40–60	10–30	10–20			5–20	5–10			
Korunové borosilikátové	BK	50–70	10–20	10–20	+	+	+				
Korunové lehké barnaté	BaLK	60–70	10–20	+		5–15			+		
Korunové	K	+	+	+	+				+		
Korunové barnaté	BaK	40–60	+	5–10		15–30			5–15		
Těžké korunové	SK	30–50	5–20	+	+	30–40	+		+	+	
Lehké barnaté flintové	BaLF	45–60		5–15		10–25			5–15		5–15
Flintové barnaté	BaF	30–50	5–10	0–10	+	10–40	+		+	+	5–20
Lehké flintové	LF	50–60		5–15	+	+					30–40
Flintové	F	+		+							+
Těžké flintové	SF	25–50		+			+				50–70
Těžké barnaté flintové	BaSF	30–45	5–10	5–10	+	10–40	+		+	+	10–40

Tab.4 Chemické složení a zkratky některých jenských skel (zkratky jsou odvozeny od německých názvů) – plus značí obsah složky v materiálu

Na vlastnostech optického zobrazování brýlových čoček se podílejí 3 základní fyzikální veličiny. Hlavní určující veličinou je index lomu, jehož základní hodnota činí 1,523. Postupný vývoj dal vzniknout čočkám s indexem lomu až 1,9 (vysokoindexové č.). V závislosti na jeho hodnotě se mění i rozdíl zakřivení přední a zadní lomivé plochy. Čím větší je index lomu, tím menší je rozdíl zakřivení lomivých ploch a tím se i snižuje samotná tloušťka čočky, aniž by došlo ke změně vrcholové lámavosti.

Druhou hlavní veličinou je Abbeovo číslo, které určuje stupeň disperze. S klesajícím Abbeovým číslem roste disperze, což je pro pohodlné vidění nežádoucí. Při stranovém pohledu přes periferii čočky a při hodnotě Abbeova čísla kolem 30 již většina lidí vnímá nežádoucí „duhové lemy“.

Nezanedbatelná je také hustota (měrná hmotnost) použité skloviny. Podle katalogu firmy Weiss se u minerálních brýlových čoček pohybuje v rozmezí od 2,55 g/cm do 4,02 g/cm. Hodnota hustoty je však v našem případě dosti zavádějící, bereme-li v úvahu celkový objem zabroušené čočky v oční obrubě.



Graf.1 Závislost Abbeova čísla na indexu lomu.

6.1.2 Plastové materiály

Nejrozšířenější surovinou ve výrobě brýlových čoček jsou allylové estery, které jsou mezi optiky vedeny pod názvem CR 39 nebo ORMA 1000. Méně rozšířeným materiálem s dosti odlišnými vlastnostmi je tzv. polykarbonát.

1. Pryskyřice CR 39 (Columbia Resin 39), ORMA 1000

Jedná se o speciální čiré pryskyřičné plastické hmoty ze skupiny allylových esterů – alyldiglykolkarbonátu. Materiál byl vyvinut v roce 1939 v USA a nejprve sloužil pro vojenské účely. Později byl díky svým optickým a mechanickým vlastnostem začleněn mezi materiály brýlové optiky. Základní index lomu je asi 1,5 s Abbeovým číslem 58. Dostupné jsou rovněž plasty s vyšším

indexem lomu až 1,6 a s Abbeovým číslem 36. Materiál je pružný a odolný vůči nárazu. Jeho velikou předností je také nízká hustota – 1,32 g/cm

II. Polykarbonát

Tento organický materiál je oproti CR 39 termoplastická hmota, která se vyznačuje sníženou tvrdostí, zvýšenou houževnatostí a je také odolnější vůči nárazu. Z těchto důvodů byl polykarbonát zaveden jako materiál pro výrobu brýlových čoček. Díky svým vlastnostem se využívá u rizikových zaměstnání a sportů. Polykarbonátové brýlové čočky začala roku 1978 vyrábět firma Gentex Corporation (dnes patří koncernu Essilor). Kvůli nízké odolnosti povrchu proti poškrábání jsou všechny čočky opatřeny tvrdící vrstvou. Nevýhodami oproti CR 39 je špatná barvitelnost (do 30%) a nízká chemická odolnost.

	Jednoohnisk. minerál	Jednoohnisk. plast.	Bifo minerál	Bifo plast	Progres minerál	Progres plast
ZEISS	Punktal	Clarlet	Duopal	Clarlet Duopal	Gradal Top	Clarlet Gradal
ESSILOR	Stigmal	Orma	Bifo Telarc	Bifo Stigmal	Varilux	Varilux
RODENSTOCK	Punktuell Perfa UV	Punktulit Perfalit	Standard C25 Grandasin Grandalux	Bifolit	Progressiv Multigresiv	Progressiv -Perfalit Multigres- Perfalit
R + H	Ultra	Hellaplast	Telepal	Hellaplast Telepal	Selectal	Hellaplast Selective

Tab.5 Přehled názvů některých brýlových čoček.

	CR 39	Polykarbonát	Korunové sklo
Index lomu	1,498	1,586	1,523
Abbeovo číslo	58	32	58
Hustota	1,32	1,20	2,55
UV absorpce do	340 nm	385 nm	300 nm
Barvení	možné	omezené (30 %)	ve sklovině nebo povrchově
Tepelná odolnost	130 °C	222 °C	600 °C
AR vrstva	možná	možná	možná
Tvrzení	možné	možné	možné
Nárazuvzdornost	dobrá	výborná	nízká
Způsob výroby čoček	litím, obráběním, kombinací lití a obrábění	vstřikováním	obráběním

Tab.6 Porovnání vlastností materiálů na výrobu brýlových čoček

7. Kontaktní čočky

Způsobů korekce refrakčních vad je v dnešní době několik. Historicky první a v současnosti stále nepoužívanější metodu zaujímají brýlové čočky a v těsném závěsu následují čočky kontaktní. Další stále se rozšiřující metodou je tzv. refrakční chirurgie. Jedná se buď o laserový zákrok na přední ploše rohovky nebo o nitrooční refraktivní operaci. Vzhledem k možnosti nenavození dokonale emetropického stavu se používá kombinace chirurgického zákroku a korekční pomůcky. Jako spokojený uživatel a z hlediska širokého spektra použití se chci v této kapitole ve stručnosti zaměřit na informaci o kontaktních čočkách a jejich rozdělení. První myšlenky korekce zraku kontaktními čočkami se datují do doby na počátku 16. Století, kdy roku 1508 vytvořil Leonardo da Vinci náčrt oka s předřazenou skleněnou čočkou. Prostor mezi okem a čočkou byl vyplněn tekutinou. Od této doby vývoj čoček, aplikovaných přímo na přední segment oka, značně pokročil. Od čoček z lehkého foukaného skla, přes materiály plastové (PMMA,..) se vývoj dostal až k čočkám, které v minimální míře zasahují do „života“ oka (zejména předního segmentu). O velký skok ve vývoji kontaktních čoček se zasloužil ak. Otto Wichterle a prof. Drahoš Lím, když roku 1961 objevili hydrofilní gel: polymer HEMA. Ten se vyznačuje dobrou flexibilitou, hydrofilií při zachování kvalitních optických vlastností, biologickou inertností a nedráždivostí. Díky těmto vlastnostem byly hydrogelní čočky pozitivně přijímány. K jejich rozšíření ještě napomohl prodej licence americké společnosti Bausch & Lomb. Za cílem zlepšení již tak kvalitních vlastností hydrogelu vznikají stále nové a nové materiály. Z toho důvodu je materiál jedním z kritérií dělení kontaktních čoček.

Paleta výběru kontaktních čoček je velice pestrá a v závislosti na potřebách a možnostech uživatelů se stále rozšiřuje. Z hlediska sortimentu dělíme kontaktní čočky podle:

- Materiálu
- Tvaru
- Velikosti
- Způsobu výroby
- Účelu
- Způsobu výměny
- Způsobu nošení
- Elektronegativity
- Chemického složení

Podle materiálu dělíme kontaktní čočky na:

- Měkké – Hema, hydrogely, silikonové pryže, silikon-hydrogely
- Tvrdé - pevné RGP kontaktní čočky

Podle tvaru:

1. Přední plochy
 - Jednozónová
 - Lentikulární
 - Torická
 - Bifokální
 - Multifokální
2. Zadní plochy
 - Jednozónová
 - Vícezónová
 - Asférická

Podle velikosti:

- Sklerální – s průměrem 15 – 24 mm
- Sklero-korneální – průměr 12 – 15 mm
- Korneální – do 12 mm

Podle způsobu výroby:

1. Tvrdé
 - Soustružení
 - Lisování
2. Měkké
 - Odstředivé lití
 - Soustružení
 - Kombinace těchto metod
 - Lisování

Podle účelu:

- Korekční – korekce refrakčních vad
- Terapeutické – mohou sloužit jako nosič léčiv
- Kosmetické – krycí prostředek, např. při aniridii
- Diagnostické – součástí léčebných procesů
- Preventivní

Podle způsobu výměny:

1. Konvenční
 - Roční
2. Pro plánovanou výměnu
 - 14-denní
 - Měsíční
 - Čtvrtletní
3. Jednorázové
 - Jednodenní

Podle způsobu nošení:

1. Denní – pouze přes den, na noc vyjmout
2. Flexibilní – pro občasné přespání
3. Pro prodloužené nošení – 7 dní a 6 nocí
4. Kontinuální – 30 dní a 29 nocí

Podle elektronegativity:

1. Skupina – nízký obsah vody – neionizované polymery (hefilcon, tefilcon)
2. Skupina – vysoký obsah vody – neionizované polymery (surfilcon, ..)
3. Skupina – nízký obsah vody – ionizované polymery (etafilcon, bufilcon A)
4. Skupina – vysoký obsah vody – ionizované polymery (perfilcon, vifilcon A)

Podle chemického složení:

Dělení závisí na chemických látkách a sloučeninách, které čočka obsahuje. Název je tvořen předponou, určující materiál a výrobce, a slovním základem:

- –focon – pevná kontaktní čočka
- –filcon – měkká kontaktní čočka

Vzhledem k rozdílným specifickým vlastnostem každé kontaktní čočky je nutné dodržovat pokynů předepsaných výrobcem a informací zprostředkovaných uživateli optometristou či očním lékařem. Akceptovat a dodržovat způsob nošení a výměny a při aplikaci dbát na správnou hygienu a zacházení s kontaktní čočkou. Dodržováním pokynů aplikátora se spotřebitel vyhne možným komplikacím spojeným s nošením kontaktních čoček. Které v nejvážnějších případech mohou končit poruchou zraku.

8. Vady optického zobrazování (Aberace)

Optické zobrazování brýlových čoček není z objektivního hlediska téměř nikdy naprosto ideální. Jediným optickým prvkem, kde nedochází k aberacím, je rovinné zrcadlo. Brýlové čočky, vlivem vlastní optické soustavy, nevytvářejí ideální obraz. Z předmětového bodu X vzniká obraz X' . Ale světelné paprsky se na rozdíl od rovinného zrcadla neprotínají v jediném bodě. Následkem této skutečnosti je manifestace porušení ideálního optického zobrazení – vznik aberací. Bod se v tomto případě nezobrazí jako rozostřená ploška, přímka jako křivka a rovina jako zakřivená plocha.

Základní rozdělení závisí na typu světla:

- ❖ Monochromatické vady k zobrazení dochází jednoduchým jednobarevným světlem
- ❖ Barevné vady zobrazení se děje složeným (bílým) světlem

Skupina monochromatických vad zahrnuje:

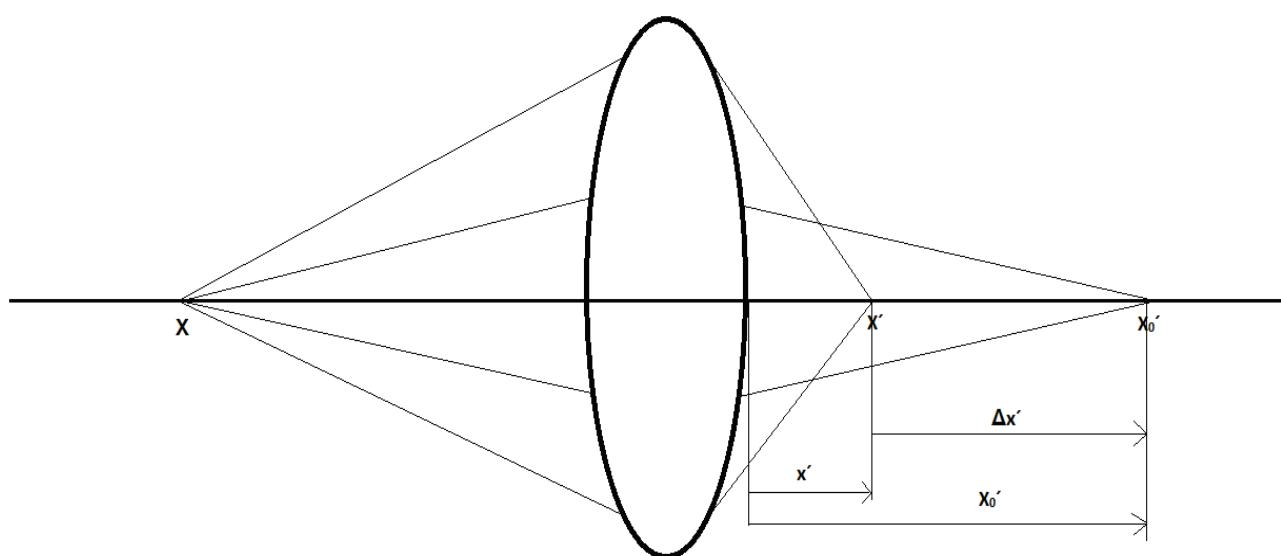
- Otvorová (sférická) vada předmětový bod leží na optické ose a zobrazuje se širokým svazkem paprsků
- Zkreslení předmětový bod se nachází mimo optickou osu a zobrazuje se jedním paprskem
- Astigmatismus zobrazení mimosového předmětového bodu úzkým svazkem paprsků
- Zklenutí stejný princip zobrazování jako u astigmatismu
- Koma mimosový předmětový bod je zobrazován širokým svazkem paprsků

Dělení vad barevných:

- Barevná vada polohy předmětový bod na optické ose
- Barevná vada velikosti předmětový bod mimo optickou osu

8.1 Otvorová (sférická, kulová) vada

Jedna z nejčastějších vad optického zobrazování, jejíž hodnota je přímo závislá na dopadové výšce světelných paprsků. Čím výše paprsek dopadá na optickou soustavu, tím více se láme a naopak. Otvorová vada je definována jako vzdálenost od ideálního obrazu X_0' v paraxiálním prostoru ke skutečnému obrazu X' . U spojných čoček nabývá sférická vada záporných hodnot a u rozptylných je tato vada naopak kladná.



Obr.6 : Znáznornění průběhu sférické vady a ozřejmění níže uvedeného vztahu. Paprsky dopadající na čočku pod větší dopadovou výškou se lámou více a protínají se v bodě X' . Naopak svírají-li dopadající paprsky s optickou osou menší úhel, lámou se méně a protínají se v bodě X_0' . Vzdálenost těchto bodů poté určuje hodnotu otvorové vady.

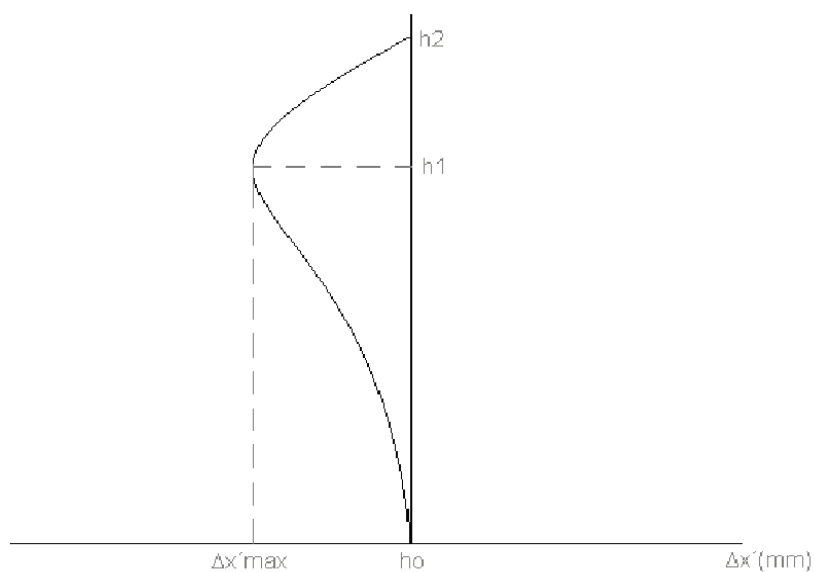
$$\Delta x' = x' - x_0'$$

Průběh otvorové vady můžeme popsat pomocí tzv. kaustiky – obalová křivka lomených paprsků, jejíž tvar se u spojné a rozptylné čočky liší.

Průběh otvorové vady s korekcí

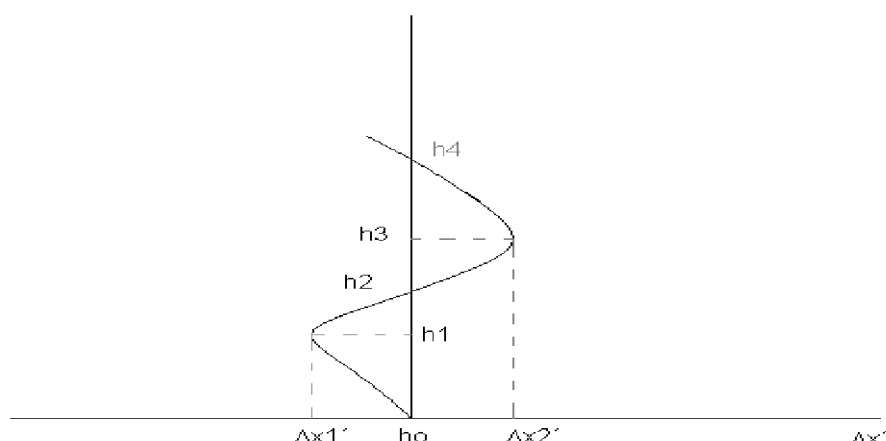
Vhodnou kombinací spojné a rozptylné čočky je možné sférickou vadu snížit. Pro všechny dopadové výšky se však potlačit nedá.

- *Jednoduchá korekce*



Obr.7 popisuje, jakým způsobem se mění otvorová vada v závislosti na dopadové výšce při průchodu světelných paprsků jednou brýlovou čočkou. Při dopadových výškách h_2 a h_0 je vada nulová a při dopadové výšce h_1 nabývá maximální hodnoty ($\Delta x'_{max}$)

- Dvojnásobná korekce



Obr.8 Průběh otvorové vady při použití páru brýlových čoček. Tento graf počítá se třemi dopadovými výškami h_0 , h_2 a h_4 , při kterých je vada nulová. Dopadá-li paprsek pod dopadovou výškou h_1 , nabývá sférická vada záporné hodnoty a pod h_3 kladné hodnoty.

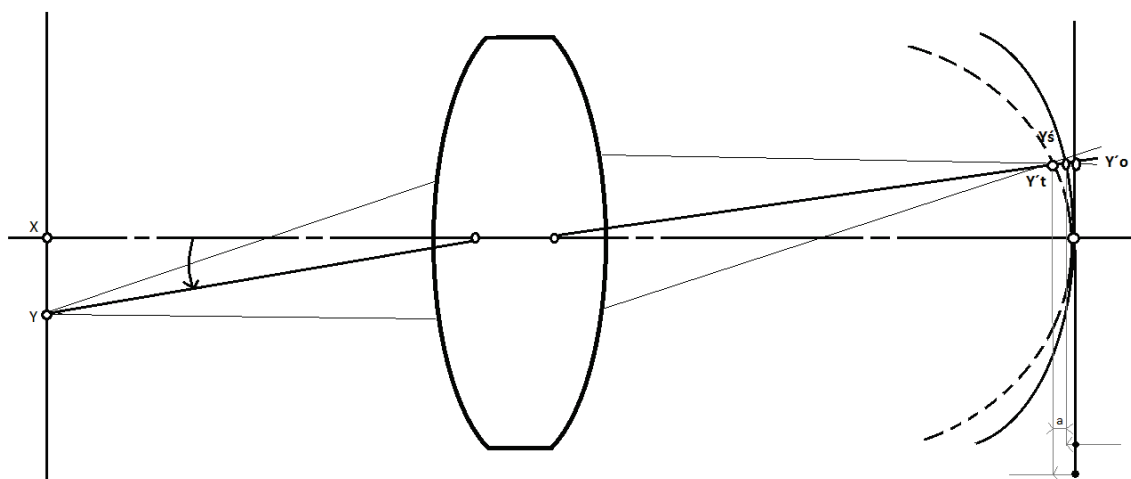
Úplné odstranění sférické vady není obvykle možné. Z tohoto důvodu se volí kompromis mezi jednoduchostí optické soustavy a přijatelnou mírou vady. Užití clony je nejjednodušším způsobem snížení velikosti otvorové vady. Clona zamezí přístupu okrajových paprsků do optického systému a tím odstraní jimi navozenou sférickou vadu. Důležité je stanovení optimální clony u soustavy s jednoduchou a dvojnásobnou korekcí.

8.2 Astigmatismus a zklenutí

Astigmatismus je jednou z nejčastějších vad, jež se projevuje při zobrazování mimoosového bodu úzkým svazkem paprsků. Úzký svazek je určen středovým paprskem a paprsky ve dvou rovinách – tangenciální a sagitální. Tangenciální rovina (poledníková) prochází předmětovým bodem, hlavním paprskem a optickou osou. Sagitální rovina prochází pouze hlavním paprskem a je kolmá k rovině tangenciální. Obě roviny protínají čočku ve dvou řezech, jejichž poloměry křivosti se liší.

Po průchodu brýlovou čočkou se mění kruhový průřez svazku světelných paprsků z kruhového na eliptický. Paprsky svazku v tangenciální rovině se po průchodu čočkou protínají v bodě Y'_T , (tangenciální obraz bodu Y). Naopak paprsky svazku v sagitální rovině protínají po průchodu čočkou hlavní paprsek v bodě Y'_S (sagitální obraz bodu Y). V jednom místě mezi oběma obrazy má svazek opět kruhový průřez. Vzdálenost obrazu Y'_T a Y'_S , měřená ve směru optické osy, se nazývá astigmatický rozdíl nebo též astigmatická difference (a).

Jestliže se zobrazí všechny body předmětové roviny ξ , vytvoří odpovídající obrazy těchto bodů rotační plochu ξ'_T (tangenciální plocha) a rotační plochu ξ'_S (sagitální plocha). Obě rotační plochy společně s ideální obrazovou rovinou ξ'_0 , jež je kolmá k optické ose, se vzájemně dotýkají v průsečíku s osou.



Obr.9 Astigmatismus

Zklenutí - jestliže zobrazení optickou soustavou nevykazuje astigmatickou poruchu, samotné zklenutí se neprojeví. Oba zmíněné typy aberací spolu úzce souvisí. Zklenutí je způsoben tím, že obraz předmětové roviny, kolmé k optické ose, tvoří obecně zakřivená plocha v obrazové rovině, taktéž kolmé k optické ose. Z tohoto důvodu nelze získat obraz, jež by byl ostrý v celém svém rozsahu. Obraz zachycený na rovinné ploše je ostrý buď v centru nebo v periférii.

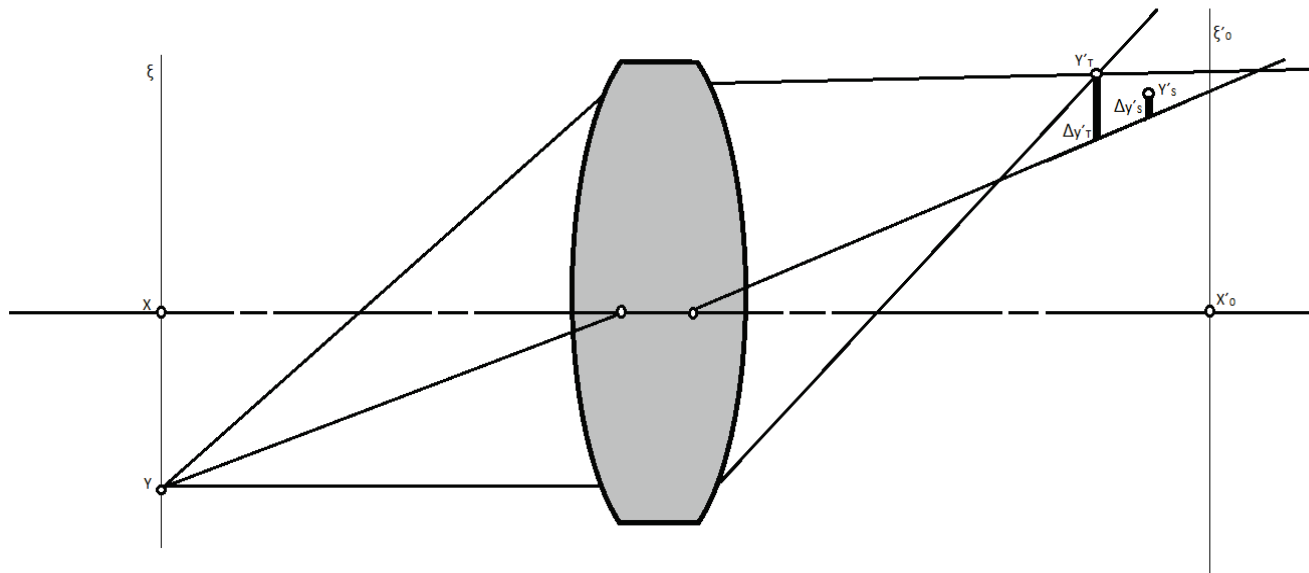
Korekce – provádí se vhodnou volbou čoček. Soustava, která koriguje astigmatismus se nazývá anastigmat. Současně s astigmatismem se odstraní také zklenutí. Cílem korekce je splynutí obrazů Y'_T a Y'_S v jediný bod, který leží v paraxiální rovině nebo v její blízkosti. Nejmenší přijatelnou míru astigmatismu vykazují čočky bodově zobrazující a to v důsledku vhodně zvolených poloměrů křivostí.

8.3 Koma

Dalším zastupitelem řady aberací brýlových čoček, která vzniká při zobrazení mimoosového bodu širokým svazkem paprsků. Světelné paprsky zde, stejně jako u astigmatismu, tvoří tangenciální a sagitální svazek. Vrchní a spodní paprsek tangenciálního svazku se protnou v bodě Y'_T a vrchní a spodní paprsek svazku sagitálního v bodě Y'_S . Průsečíky okrajových paprsků obou rovin leží mimo hlavní paprsek. Obraz předmětového bodu připomíná tvarem kometu, což je dáno rozdílnou vzdáleností obrazů od ideální obrazové roviny a jejich polohou mimo hlavní paprsek. Míra komy závisí na šířce zobrazovacího svazku a na vzdálenosti předmětového bodu od optické osy.

Na obrázku č.9 nás nejvíce zajímají především průsečíky krajních paprsků svazku v tangenciální rovině Y'_T a průsečík okrajových paprsků v rovině sagitální Y'_S a jejich vzdálenosti od hlavního paprsku $\Delta y'_T$ (tangenciální koma) a $\Delta y'_S$ (sagitální koma).

Korekce – provádí se vhodnou volbou čoček, přičemž plné odstranění není možné. Cílem je, aby oba obrazy ležely na hlavním paprsku nebo v jeho blízkosti. Dále pak jejich splynutí v jednotný bod, korespondující s ideální obrazovou rovinou.



Obr.10 Koma

8.4 Barevné vady (chromatické aberace)

Aberace vznikající při zobrazování bílým světlem, složeného z několika monochromatických světél. Každá barva se vyznačuje jinou vlnovou délkou, přičemž každé vlnové délce náleží jiný index lomu n . Při normální disperzi platí, že čím je kratší vlnová délka, tím index lomu nabývá vyšších hodnot. Vzhledem k této skutečnosti se po průchodu rozhraním čočky každý paprsek odlišné barvy láme pod jiným úhlem. Obrazem bodu je bod určité barvy, obklopen mezikružemi jiných barev. Rozlišujeme dva typy barevných vad:

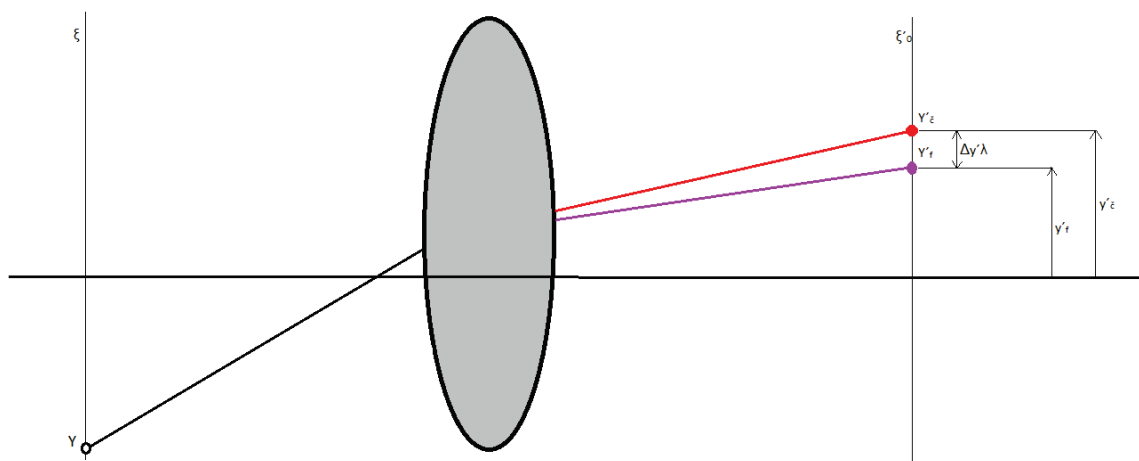
8.4.1 Barevná vada polohy ($\Delta x'_\lambda$)

Předmětový bod leží na optické ose. Na rozhraních optické soustavy čočky se bílé světlo rozkládá na barevné paprsky, které vlivem rozdílného úhlu lomu protínají optickou osu v různých polohách.

Korekce se uskutečňuje vhodnou volbou čoček. Barevná vada lze alespoň částečně odstranit vhodnou kombinací spojných a rozptylných čoček. Proces korekce chromatické aberace je označován jako tzv. achromatizace. Soustava čoček, která má vykorigovanou barevnou vadu pro dvě vlnové délky se nazývá achromát a pro 3 vlnové délky apochromát.

8.4.2 Barevná vada velikosti ($\Delta y'_\lambda$)

Stejně jako u barevné vady polohy dochází k disperzi bílého světla na optických rozhraních čočky. Jedinou odlišností je poloha předmětového bodu, který neleží na optické ose nýbrž mimo ni.



Obr.11 Znáznornění příčné barevné vady

8.5 Zkreslení (distorze)

Aberace vznikající zobrazením mimosového bodu. Vyznačuje se rozdílným příčným zvětšením v blízkosti optické osy a v periférii zorného pole. Jestliže zvětšení, s rostoucí vzdáleností předmětu od optické osy, roste, hovoříme o tzv. poduškovitém zkreslení. Naopak klesající zvětšení má za následek soudkové zkreslení. Tímto způsobem dochází ke zdeformování obrazu. Obrazem čtverce není dokonalý čtverec, ale jeho strany jsou prohnuté dovnitř (poduškovité zk.) nebo ven (soudkové zk.).

9. OSLO [6]

Původní program OSLO (Optics Software for LAYOUT and optimization) byl vyvinut na univerzitě v Rochesteru v roce 1970. První komerční verzi vyrobila firma Sinclair Optics v roce 1976. Pokrok výpočetní techniky se odrazil i ve vývoji tohoto softwaru. Za poměrně krátkou dobu své existence byl již několikrát přepracován. Roku 1993 získala firma Sinclair Optics program Genii zabývající se optickým designem. A mnoho rysů tohoto nového softwaru zahrnula i do programu OSLO.

Software Oslo je používán vědci i inženýry pro návrhy designů čoček, reflektorů, optických přístrojů, laserových kolimátorů a osvětlovacích systémů. Rovněž se používá k simulaci a analýze optických systémů s využitím geometrické i fyzikální optiky.

OSLO poskytuje integrované softwarové prostředí, které napomáhá dokončit současný optický design. Více ale než design běžné brýlové čočky poskytuje OSLO pokročilé nástroje pro navrhování lékařských přístrojů, iluminačních systémů a telekomunikačních zařízení.

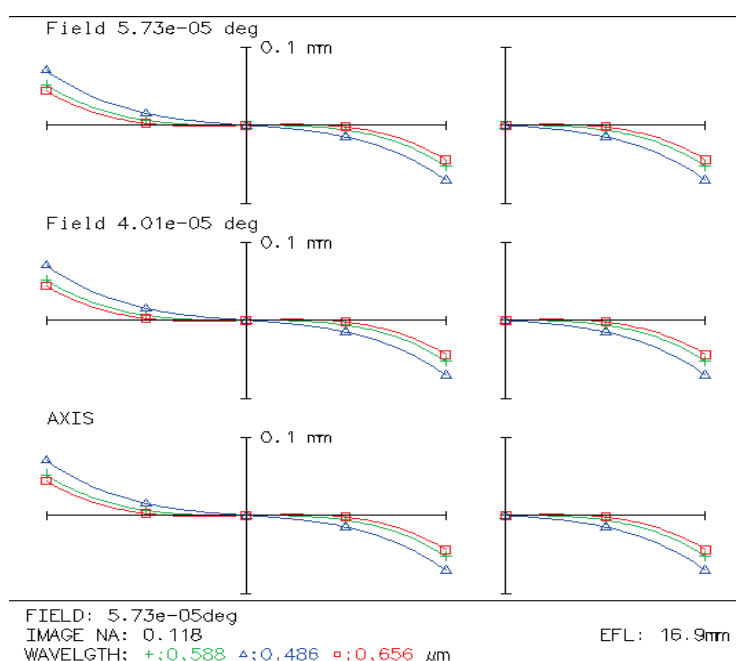
Software je primárně využíván k modelování optických soustav. Na základě diagnostiky aberací dokáže program určit optimální velikost a tvary jednotlivých prvků optického systému. OSLO má schopnost modelování celé řady reflexních, refrakčních a difrakčních prvků. Kromě toho se OSLO používá k simulaci a analýze zobrazení vytvořených danou optickou soustavou. OSLO zahrnuje řadu specializovaných optických (např. radius vstupního paprskového kuželu, zorný úhel, vlnovou délku světla,...) a čočkových (poloměr křivosti, tloušťka, index lomu, efektivní ohnisková vzdálenost,...) nástrojů, pomocí nichž lze čočku jakkoliv tvarovat a modelovat. Návrháři je takto umožněno testovat optické soustavy v odlišných situacích a zároveň také nabízí možnosti optimalizace nežádoucích výsledků.

Program OSLO je k dispozici v jednotlivých vzdělávacích (OSLO edu,...) a 3 komerčních verzích. Komerčními produkty jsou :

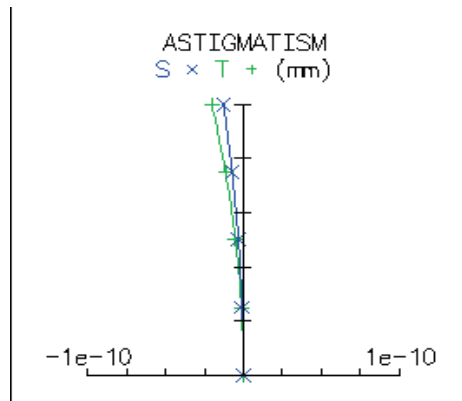
- OSLO Light
- OSLO Standard
- OSLO Premium

9.1 Grafická analýza vad optického zobrazování [7]

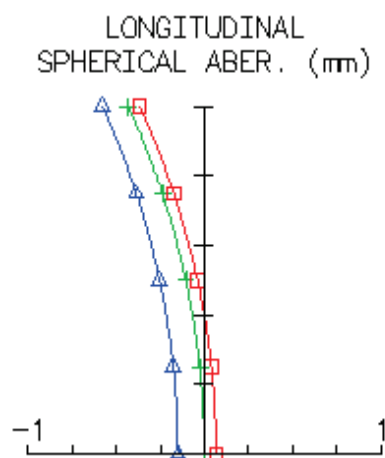
Po spuštění programu OSLO nám software nabídne možnosti vytvoření vlastní čočky, práci s již rozpracovanou optickou soustavou, otevření souboru s uloženými návrhy a otevření souboru s již v programu zabudovanými optickými systémy. Vybereme-li si jakoukoliv z možností, dostaneme se na hlavní pracovní plochu programu. Kde se na levé straně monitoru zobrazí tabulka s optickými parametry a parametry čočky, kde můžeme téměř všechny parametry měnit. Naopak tabulka na straně pravé disponuje panelem nástrojů pro jednotlivé grafické analýzy. V mé bakalářské práci jsem se zaměřil na grafickou analýzu aberací, kterou otevřeme pomocí výše vyobrazené ikony. Analýza obsahuje 6 grafů pro popis jednotlivých aberací a v pravém spodním rohu a 2D náčrtek navržené optické soustavy.



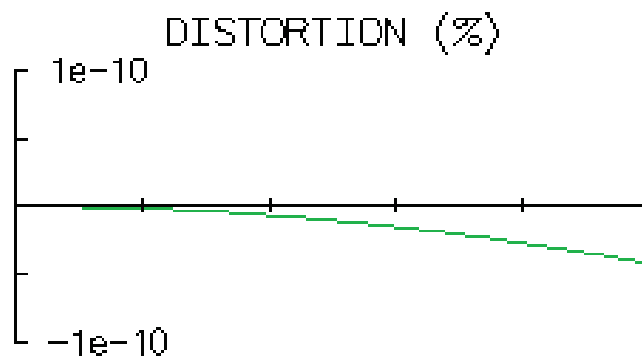
- *Obr.13 Skupina vyobrazených křivek udává souvislost mezi vadami zobrazování a radiálním postavením paprsků na pupile. Při specifikaci více jak 3 vlnových délek, bude v tabulce vykresleno až 12 křivek rozdílného označení. Tyto grafy podají většinu informací o průběhu aberací a tím poskytují i informace pro jejich vhodnou korekci. Nicméně i tyto grafy jsou limitovány. Například neumožňují indikovat aberace paprsků ve 4 kvadrantech mezi dvěma navzájem kolmými polohami.*



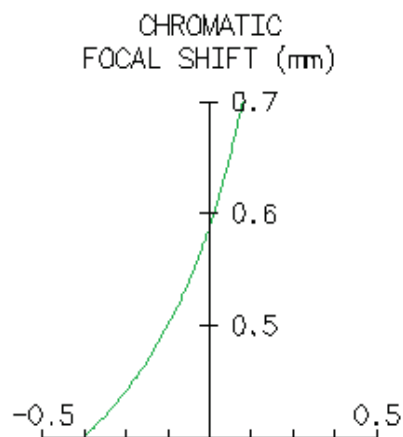
- *Obr.14 Astigmatismus (Astigmatism) – astigmatické křivky určují varianty polohy parciálního ohniska skrze tangenciální (sekce YZ; na obrázku označeno T) a sagitální rovinu (sekce XZ; označeno S). Graf je popsán pouze pro 3 vlnové délky. Přičemž každou křivku můžeme zakreslit samostatně.*



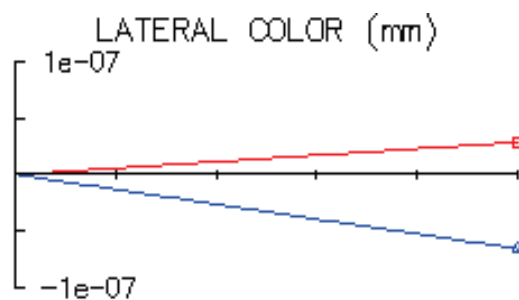
- *Obr.15 Podélná otvorová vada (Longitudinal spheric aberration)– 3 křivky udávají posun obrazového ohniska na ose, vzhledem k rozdílnému rádiusu vstupní pupily, pouze pro axiální obrazový bod korespondující se 3 vlnovými délkami. Program umožňuje zobrazení grafu jako samostatné figury.*



- *Obr.16 Zkreslení (Distortion) – křivka zkreslení prezentuje odklon od parciálního zvětšení obrazu v závislosti na vzdálenosti od optické osy. Graf je možné oddělit a zobrazit samostatně.*



- *Obr.17 Barevná vada polohy (Chromatic focal shift) – Křivky pro chromatický ohniskový posun představují axiální paprsek paraxiální ohniskové podélné variace o vlnové délce nad rozmezí 0,4 – 0,7 μm . Nebo na základě jiného rozsahu, pokud jsou určeny jiné vlnové délky.*



- *Obr.18 Barevná vada velikosti (Lateral color) – Křivka laterální barevné vady zobrazuje rozdíl mezi výškou červeného a zeleného světelného paprsku a mezi modrým a zeleným paprskem v závislosti na výšce vstupní pupily. Na rozdíl od předešlých aberací není možné graf vady separovat.*

Program OSLO rovněž umožňuje měnit hodnoty stupnic grafů jednotlivých aberací a tím i měnit tvar a průběh jednotlivých křivek!

10. Úvod do Praktické části

Praktická část mé bakalářské práce o aberacích korigovaného oka se zakládá na práci s počítačovým programem Oslo Edu. Jedná se o vzdělávací verzi optického softwaru, jež v sobě skýtá nespočet funkcí pro tvorbu jednoduchých i složitějších optických soustav. Hlavním omezením této verze je možnost tvorby soustav o maximálním počtu 8 lomivých ploch. U námi sestrojené soustavy optických rozhraní můžeme sledovat, jakým způsobem se šíří světelné paprsky jednotlivými optickými médii a jak se chovají na přechodech mezi nimi. Dokonalost tohoto programu tkví v možnosti uživatele pracovat s veškerými optickými i čočkovými nástroji. Při tvorbě a modelaci čočkového systému zapisujeme jednotlivé hodnoty parametrů čoček (poloměry křivosti, tloušťky, indexy lomu, efektivní ohniskovou vzdálenost,...) a parametry optické (rádius vstupního svazku paprsků, zorný úhel, vlnovou délku světla,...). Výše zmíněné parametry se přímo nabízejí v tabulce s označením surface data. Práce s tímto softwarem je velice náročná. Pochopení a ovládání co nejvíce v něm obsažených funkcí vyžaduje dlouhodobou a soustavnou praxi.

Po uvedení programu Oslo edu do provozu nám software nabídne 4 možnosti operací:

- Vytvoření nové čočky (soustavy)
- Otevření aktuální čočky (soustavy)
- Otevření souboru s již vytvořenými čočkami (soustavami)
- Prohlížení knihovny s optickými soustavami, jež jsou přímou součástí programu

Ve vzdělávací volně dostupné verzi Oslo edu soubor s existujícími (v programu uloženými) příklady čoček či soustav obsahuje pouze takové konstrukce, které sami vytvoříme. V dalším kroku musíme určit, s kolika plochami chceme v naší práci zacházet. Plochy je také možné přidávat kliknutím pravého tlačítka myši na pořadové číslo rozhraní a poté zvolit buď přidat před nebo přidat za. Následně můžeme podle svého rozhodnutí soustavu všelijak přetvářet a modelovat.

Má práce s programem Oslo spočívá v osvětlení problematiky aberací u oka nezatíženého primárními aberacemi (myopie, hypermetropie, astigmatismus), oka ametropického bez korekce a s korekcí a z toho vyplývající vztah mezi primárními aberacemi a aberacemi vyšších řádů. Převážně jsem se však ubíral směrem decentrací a náklonů brýlové čočky před okem – do jaké míry dochází ke zkreslení obrazu na sítnici a jakým způsobem se při určité decentraci deformuje. K tomuto účelu

mi posloužila funkce softwaru v podobě spot-diagramu, kde sítnicový obraz u jednotlivých specifických situací vykazuje naprosto zřetelné změny. Spot-diagram, jenž prezentuje obraz vznikající na sítnici, je programem vykreslen v 15 provedeních. 5 obrazců vytvořených světelnými paprsky svírajícími námi nastavený úhel (v mém případě 10°). U dalších pěti je úhel omezen na $0,7$ celkové šíře ($7,04^\circ$) a zbývající spot-diagramy vznikají paprsky na optické ose (0°). Jednotlivý obraz z jakékoliv pětice dále představuje ohniskový posun o $-0,2$, $-0,1$, 0 , $0,1$ a $0,2$ mm. K zobrazení předmětového bodu jsem využil světelných paprsků o 3 vlnových délkách (486, 588 a 656 nm) odpovídajících modrému, zelenému a červenému světlu. Pro vytvoření modelové situace oko – brýlová čočka jsem jako pomyslné oko zvolil Emsleyovu-Graffeho modifikaci Gullstrandova zjednodušeného oka. V teoretické části již zmíněný model sestává z 3 lomivých rozhraní, 3 optických medií, sítnice a z hlediska přesnosti výpočtů je pro náš účel dostačující. Uvedený model znázorňuje průměrné emetropické lidské oko s minimálními hodnotami aberací.

Pro srovnávání a vyhodnocování odlišností obrazů vytvořených na sítnici jsem zvolil tyto konkrétní modelové situace:

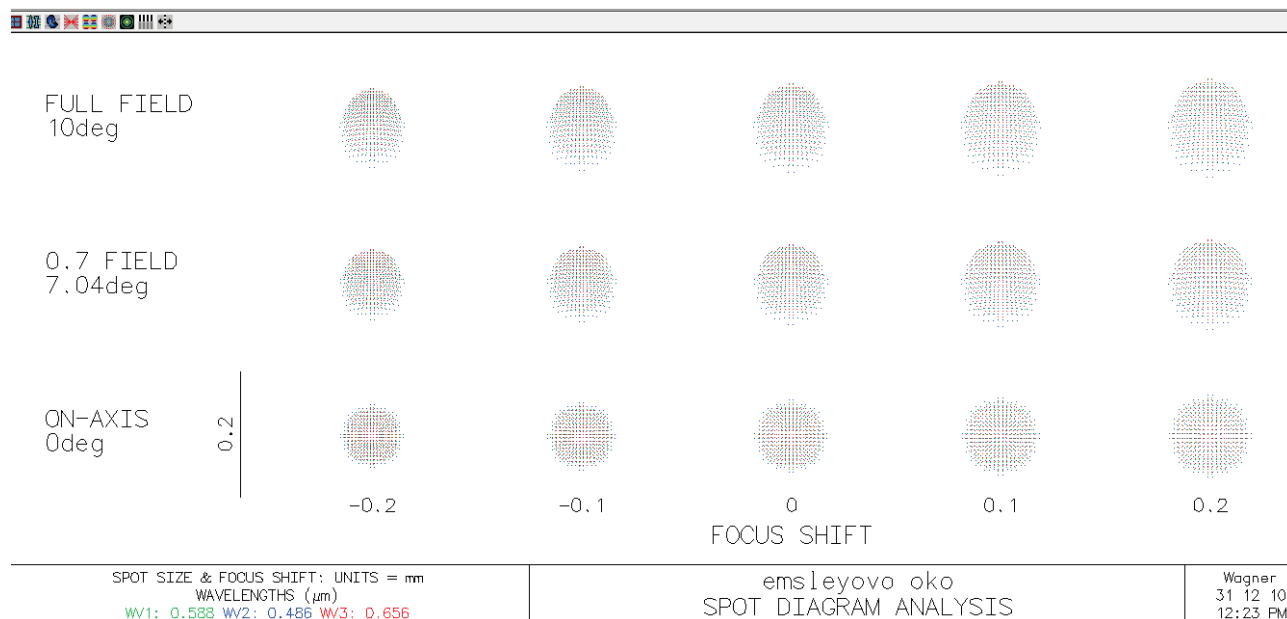
1. Oko bez korekce
2. Vykorigované ametropické oko
3. Změna polohy brýlové čočky před okem - decentrace brýlové čočky před okem podél osy x (DCX), y (DCY) a z (DCZ); Pootočení korekční brýlové čočky podél osy x (TLA), y (TLB)

10.1 Oko bez korekce

V tomto případě můžeme vidět, jakým způsobem se mění hodnota aberací vyšších řádů a spot-diagram u nekorigované myopie -3 , -5 a -7 D a hypermetropie $+3$, $+5$ a $+7$ D. Navození jednotlivých refrakčních vad bylo po přepočtech docíleno změnou délky sklivcového prostoru a v některých případech i poloměrem křivosti rohovky.

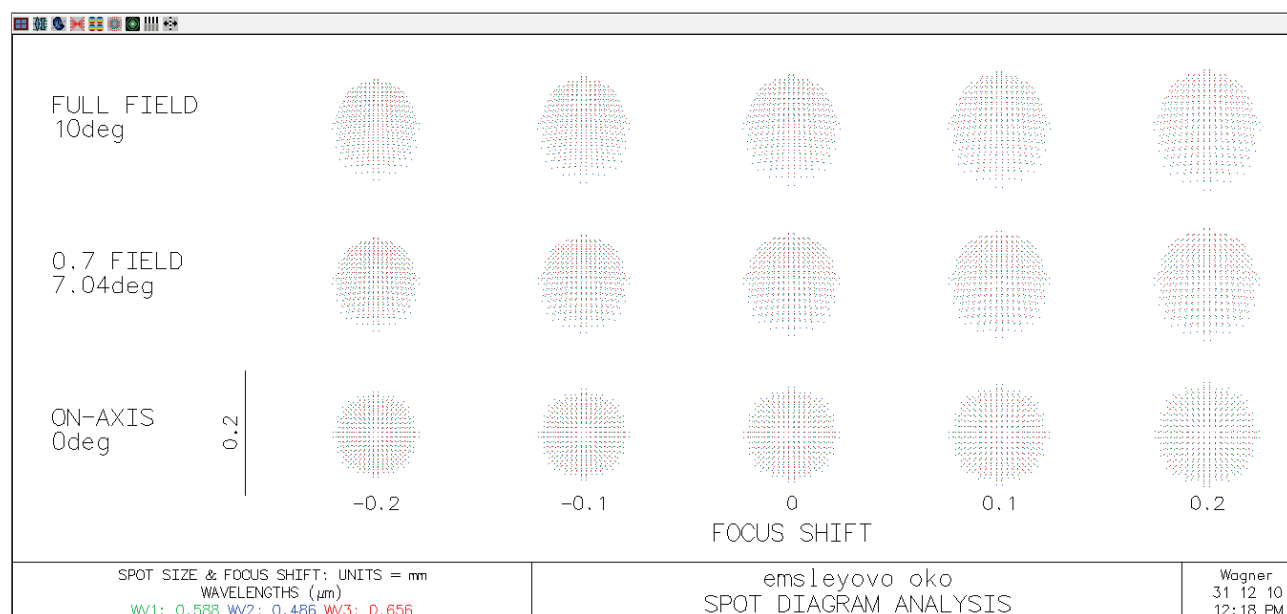
Uvedené obrázky spot-diagramů nám představují do jaké míry je sítnicový obraz rozmazán vzhledem k typu refrakční vady a její velikosti. Hodnoty aberací vyšších řádů jsou při absenci korekční pomůcky zanedbatelné a rušivým, silně vnímaným, elementem vidění je zde snížený zrková ostrost. Ideální stav pro optickou soustavu bez vad by představoval jediný bod (3 dokonale se navzájem překrývající body použitých vlnových délek).

- Myopie -3 D



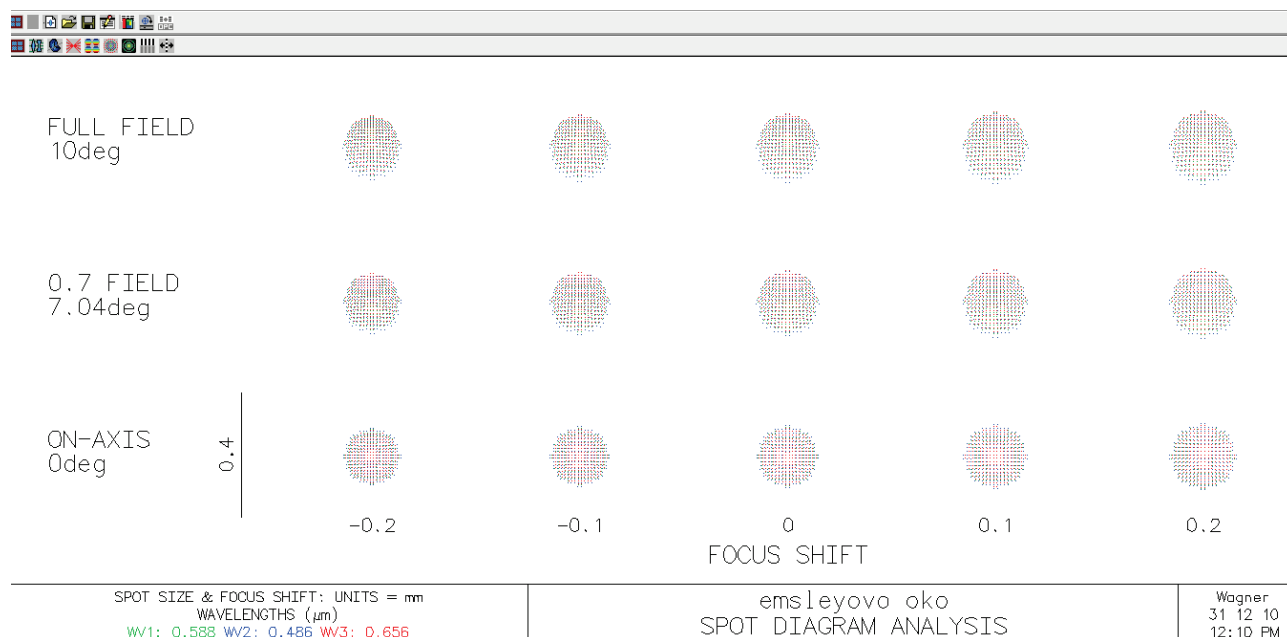
Obr.19 Spot-diagram myopického oka -3 D – refrakční stav navozen změnou vzdálenosti čočka-sítnice z 16,7 mm na 17,8 mm.

- Myopie -5 D



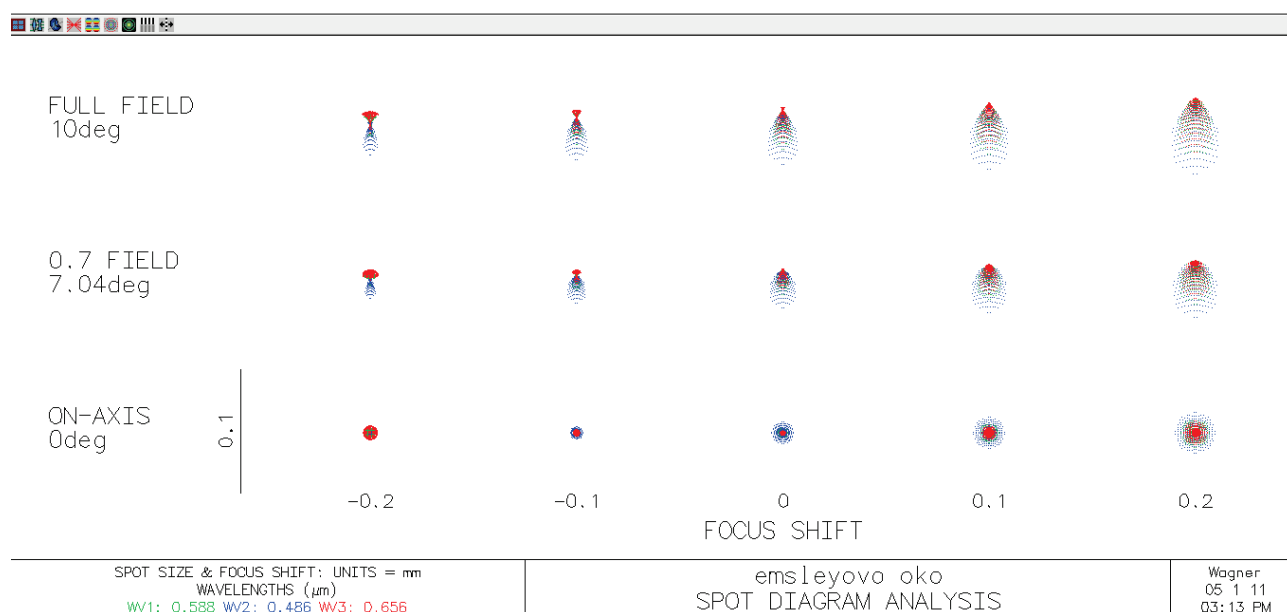
Obr.20 Spot-diagram myopického oka -5 D – vada způsobena strmější rohovkou (7,8 mm → 7,7 mm) a hlubším sklivcovým prostorem (16,7 mm → 18,3 mm)

- Myopie -7 D



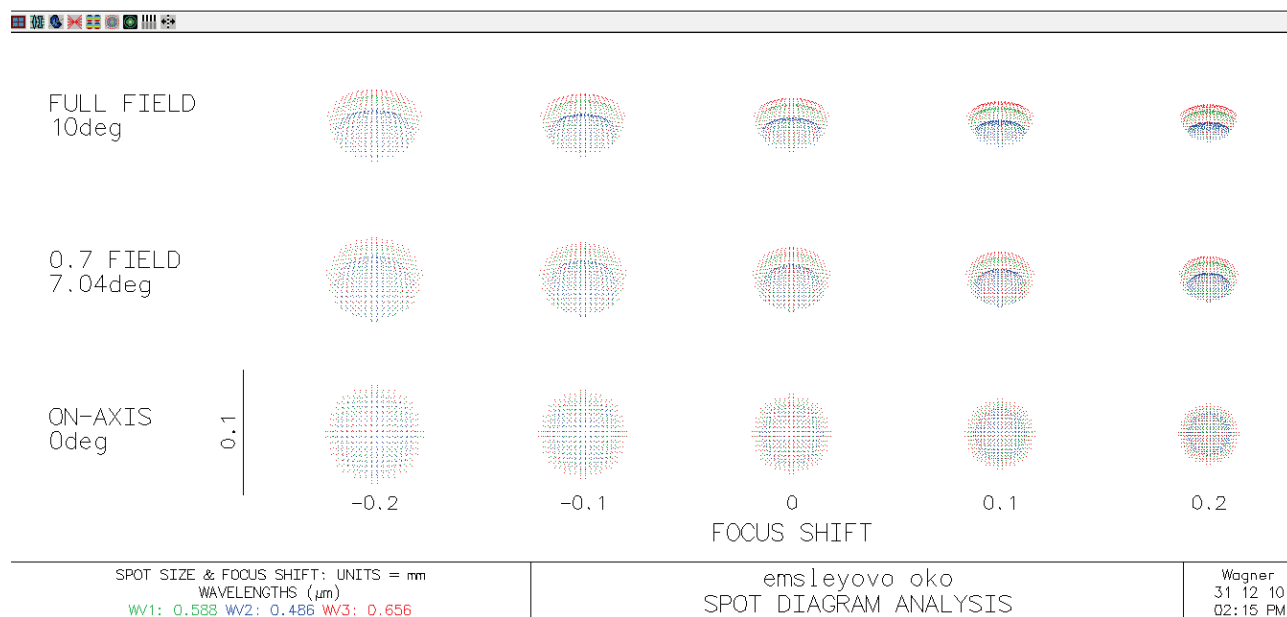
Obr.21 Spot-diagram myopického oka -7 D – poloměr křivosti rohovky 7,4 mm a prodloužení axiální délky o 1,6 mm.

- Emetropické oko



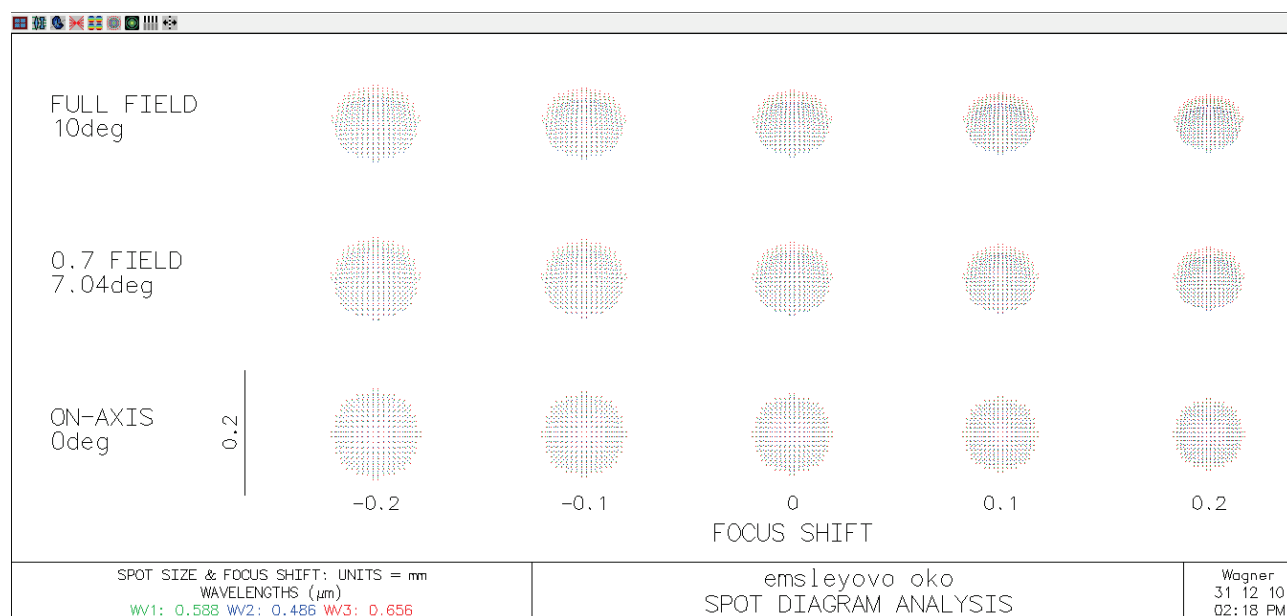
Obr.22 Spot-diagram oka nezatíženého refrakční vadou.

- Hypermetropie +3 D



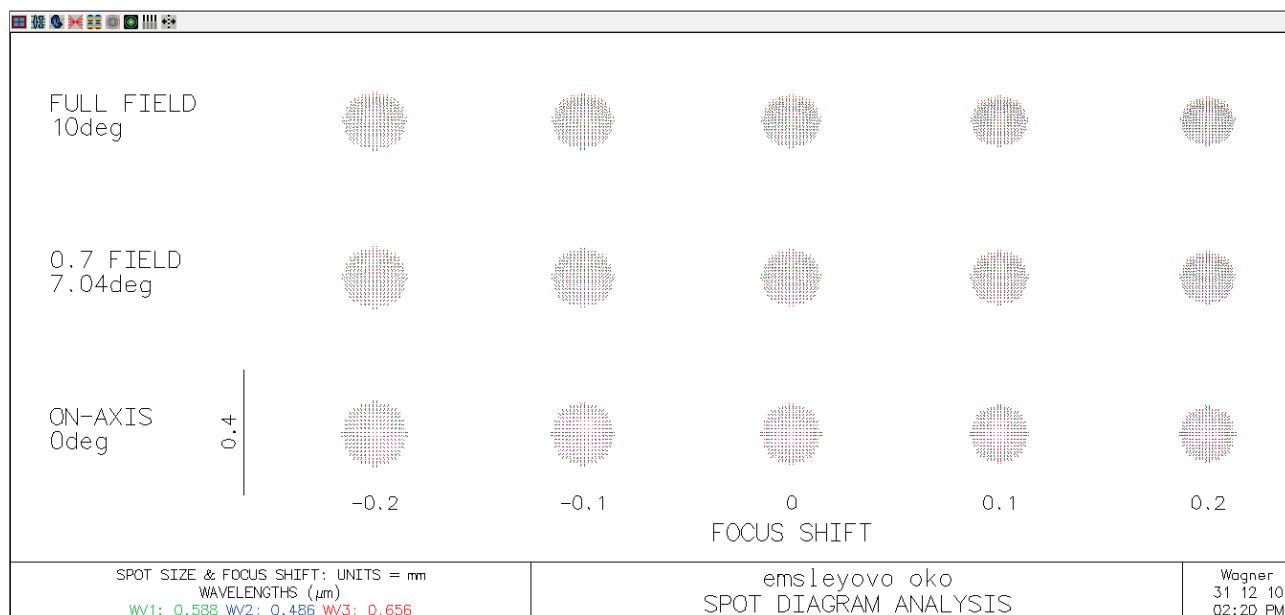
Obr.23 Spot-diagram dalekozrakého oka +3 D – předozadní délka oka zkrácena o 1,1 mm.

- Hypermetropie +5 D



Obr.24 Spot-diagram hypermetropického oka + 5 D – požadovaného stavu docíleno zploštěním rohovky ze 7,8 mm na 8 mm a mělčím sklivcovým prostorem (15,3 mm).

- Hypermetropie +7 D



Obr.25 Spot-diagram – hypermetropie +7 D navozena změnou poloměru křivosti rohovky (8,3 mm) a zkrácením délky oka o 1,7 mm.

Pro kvalitnější náhled jsou jednotlivé spot-diagramy součástí příloh na volně vloženém disku!

10.2 Vykorigované ametropické oko

Ke korekci mnou navozených ametropií jsem zvolil čočky o optické mohutnosti odpovídající hodnotě navozené refrakční vady a umístil je 13 mm před vrchol rohovky. Pro konstrukci brýlových čoček jsem využil v programu zabudované nabídky materiálů, konkrétně od firmy Schott. Rozdílný způsob vzniku jednotlivých aberací daný jim specifickými podmínkami vede k odlišným změnám hodnot daných aberací. I přes tuto skutečnost se z výsledků dá konstatovat, že při korekci malých refrakčních vad se aberace vyšších řádů formou rušivých elementů neprojeví. Pozor si musíme dát především na světelnou disperzi vyvolanou nízkým Abbeovým číslem. Program vzhledem k možnosti konstrukce mnoha optických prvků a soustav v sobě obsahuje i materiály s indexem lomu až kolem 1,9 a Abbeovým číslem kolem 20, jež jsem pro zřejmý projev vad použil také.

K posuzování výsledných spot-diagramů se zaměřuji především na hodnocení sítnicových obrazců vytvořených světelnými paprsky svírajícími s optickou osou úhel 0° . Na oněch nákresech je zřejmě patrná především změna velikosti obrazů vlivem hodnoty optické mohutnosti brýlové korekce. I přes použití některých materiálů s vysokým indexem lomu se barevná vada znatelně projevuje až tehdy, překročí-li úhel sevřený paprskem a optickou osou výše zmíněných 0° . Čím větší úhel, tím zjevnější projev barevné vady i ostatních aberací vyšších řádů.

Spot-diagramy prezentující vzhled sítnicových obrazů zahrnuté v přílohách na volně vloženém kompaktním disku!

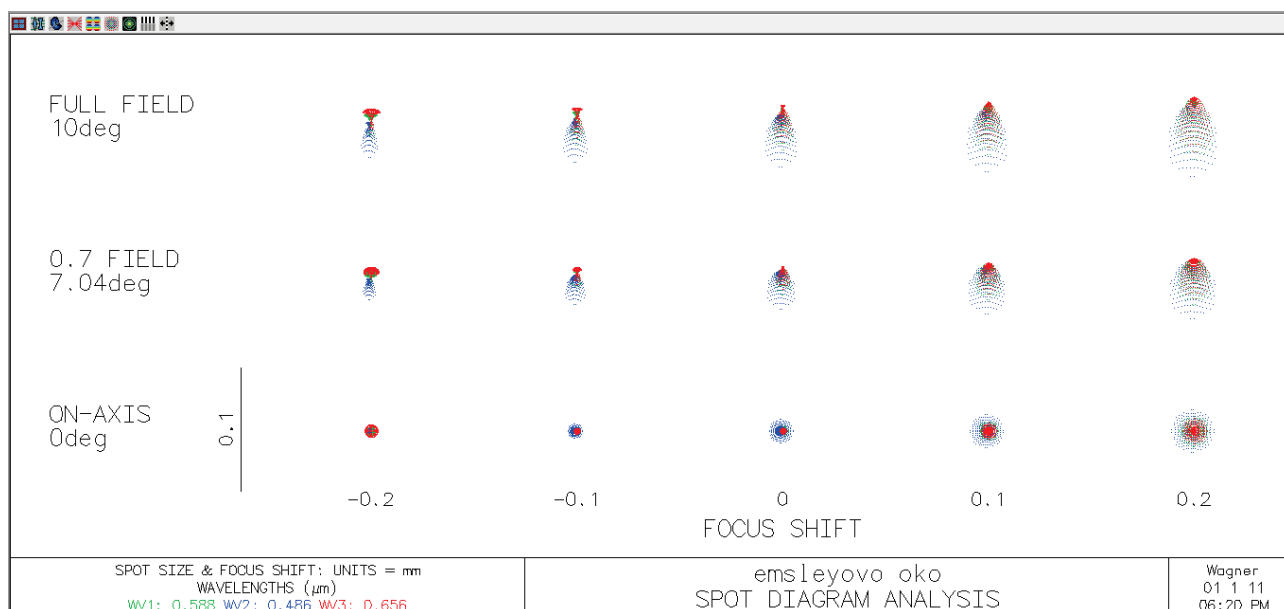
10.3 Změna polohy brýlové čočky před okem:

Správná pozice čočky před okem (optický střed čočky musí korespondovat se středem zornice) má zásadní vliv na kvalitu vidění. Pro jistotu eliminování jakýchkoliv astenopických potíží, vyvolaných korekční pomůckou, je zapotřebí čočky správně vycentrovat. Samozřejmě, že nastávají i situace, kdy je optický střed čočky záměrně nebo chybně decentrován. Nebo vlivem chyb ve tvaru a usazení brýlové obruby na obličej mohou být čočky vůči očím nesprávným způsobem nakloněny. Z tohoto důvodu jsem pomocí programu vytvořil modelové situace decentrací a naklonění.

10.3.1 DCX – decentrace čočky podél osy x (mm)

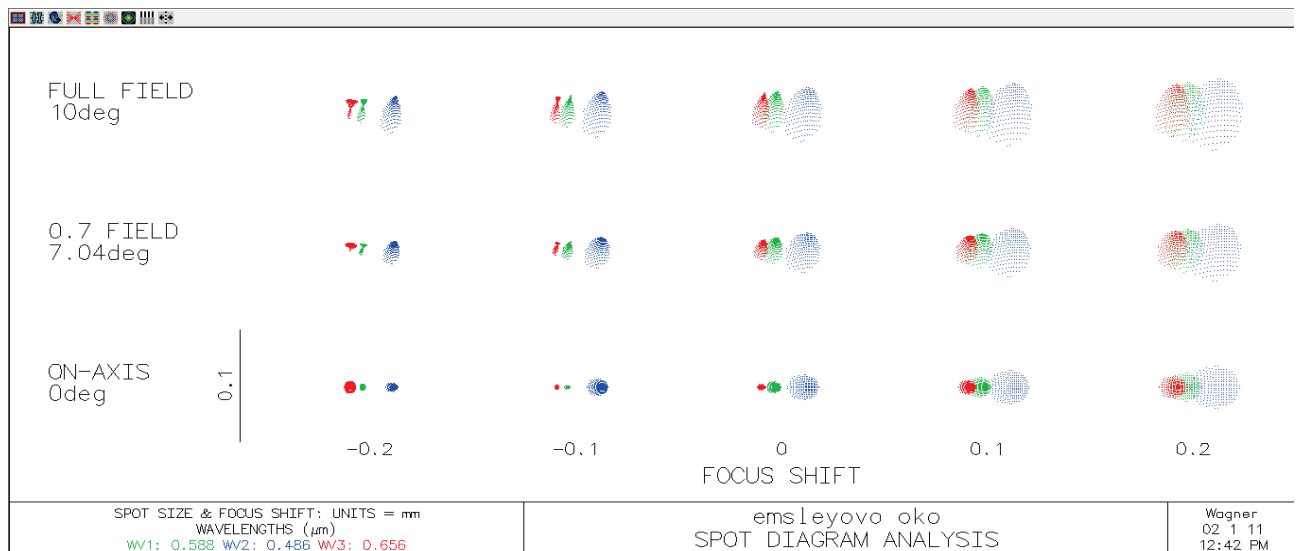
Jedná se o horizontální změnu polohy čočky před okem. Pro tento typ decentrace jsem zvolil posun o 3, 6 a 9 mm. Přičemž ještě v případě změny očníkového rozestupu o 3 mm u brýlové korekce +3 a -3 D je možné tvrdit, že se zmíněná decentrace nemusí projevit zrakovým nepohodlím. V ostatních situacích, tzn. od DCX=6 mm u korigované ametropie +3 a -3D a u jakéhokoliv v práci použitého posunu podél osy x se aberace vyšších řádů, zejména pak astigmatismus, distorze a barevná vada, projeví viditelnými rušivými efekty a deformacemi obrazu.

- DCX=3 (Myopie -3 D)



Obr.26 Spot-diagram decentrované brýlové čočky o 3 mm temporálně u krátkozrakého oka -3 D.

- DCX=9 (Hypermetropie +5 D)

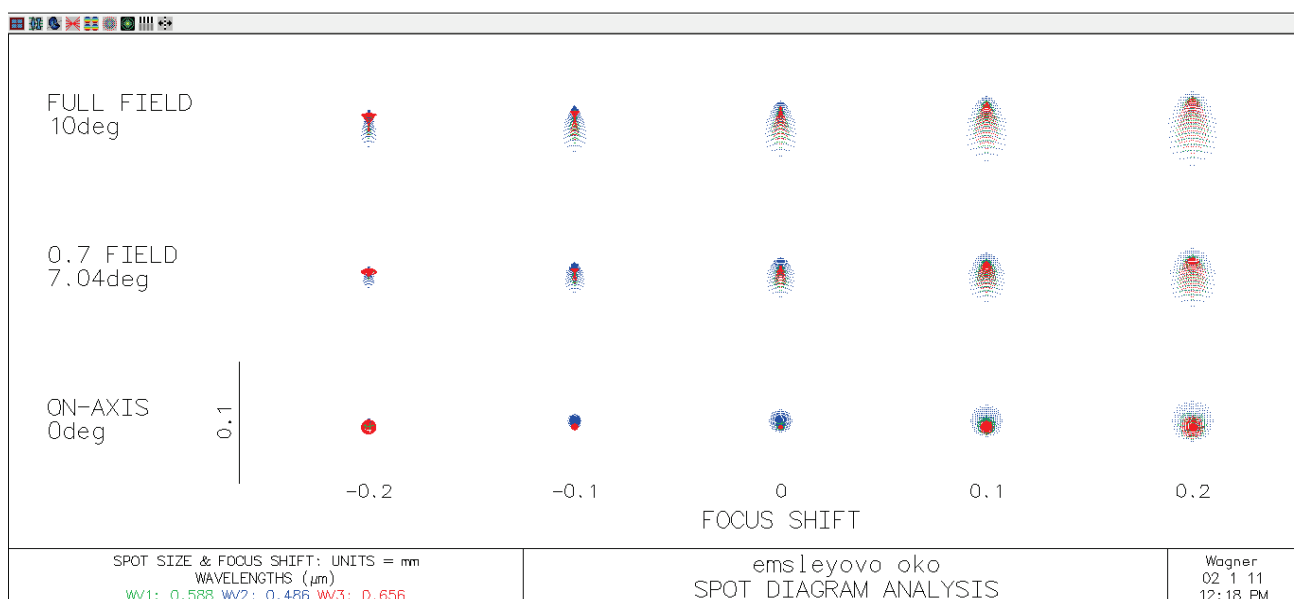


Obr.27 Sítinový obraz při posunu brýlové korekce o 9 mm směrem ke spánku u hypermetropického oka +5 D.

10.3.2 DCY – decentrace čočky podél osy y (mm)

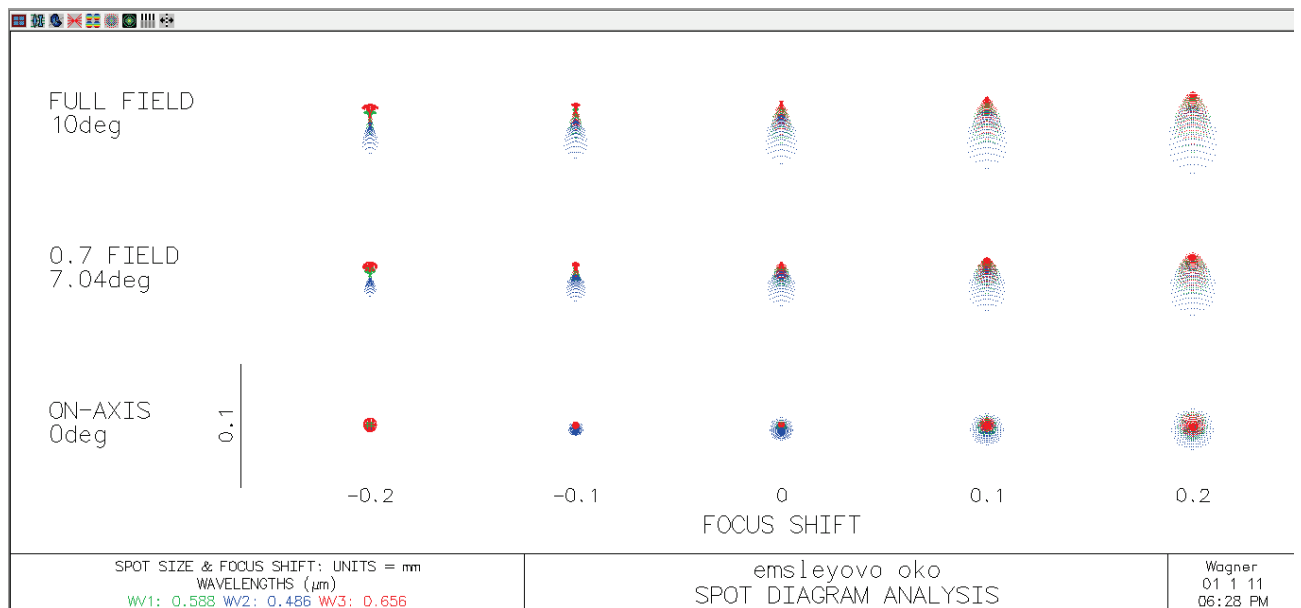
Stejně jako u posunu čočky v horizontálním směru, i zde dochází ke změnám hodnot distorze a astigmatismu, jejichž nárůst je ale v tomto případě pomalejší. Decentrace o 3 mm u použité nejnižší optické mohutnosti brýlové čočky je v tomto případě hraniční.

- DCY=3 (Hypermetropie +3 D)



Obr. 28 Spot-diagram decentrované brýlové čočky o 3 mm před dalekozrakým okem +3 D.

- DCY=6 (Myopie -3 D)

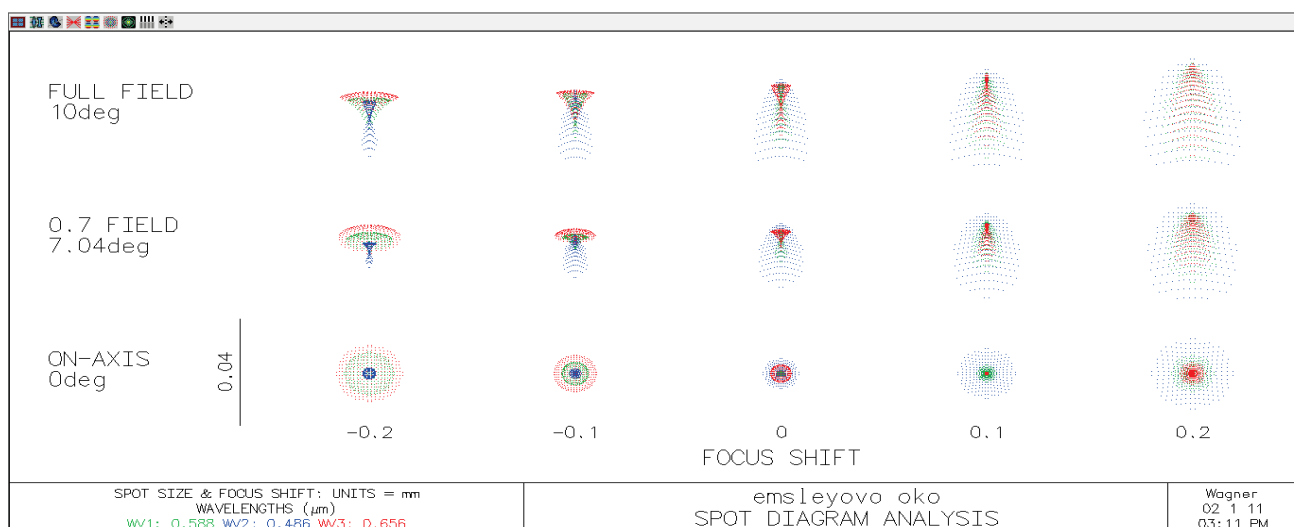


Obr.29 Spot-diagram brýlové čočky posunuté o 6 mm směrem nahoru před myopickým okem -3 D.

10.3.3 DCZ – decentrace podél osy z (mm)

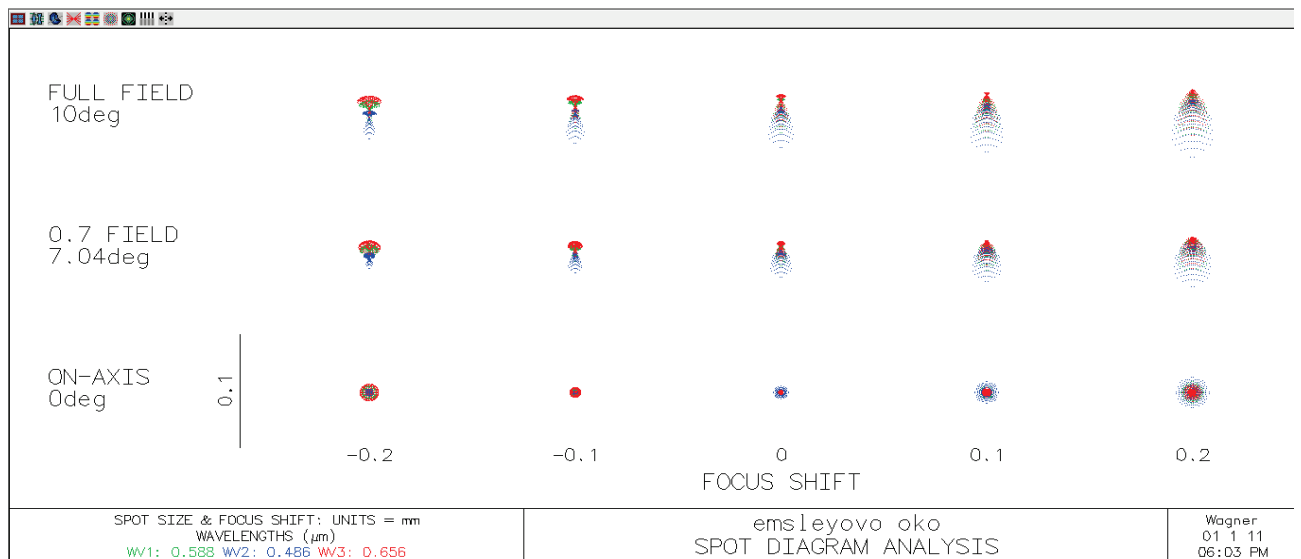
Posun čočky směrem od oka má za následek, v porovnání s předešlými případy, rapidní nárůst distorze, která se při větší decentraci čočky s vyšší optickou mohutností může jistě projevit zkreslením obrazu. Astigmatismus v sagitální a tangenciální rovině zde nabývá podobných hodnot.

- DCZ= 6 (Hypermetropie +7 D)



Obr.30 Spot-diagram brýlové čočky +7 D o 6 mm směrem od oka.

- DCZ= 9 (Myopie -5 D)

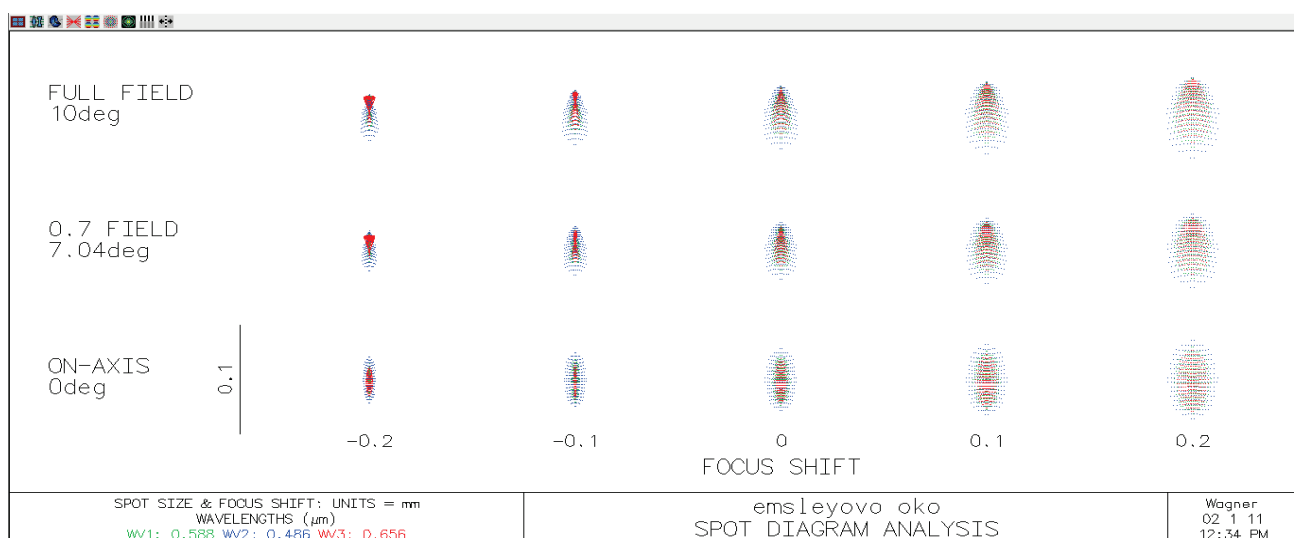


Obr.31 Spot-diagram posunuté čočky -5 D o 9 mm podél osy z.

10.3.4 TLA – náklon čočky podél osy x (°)

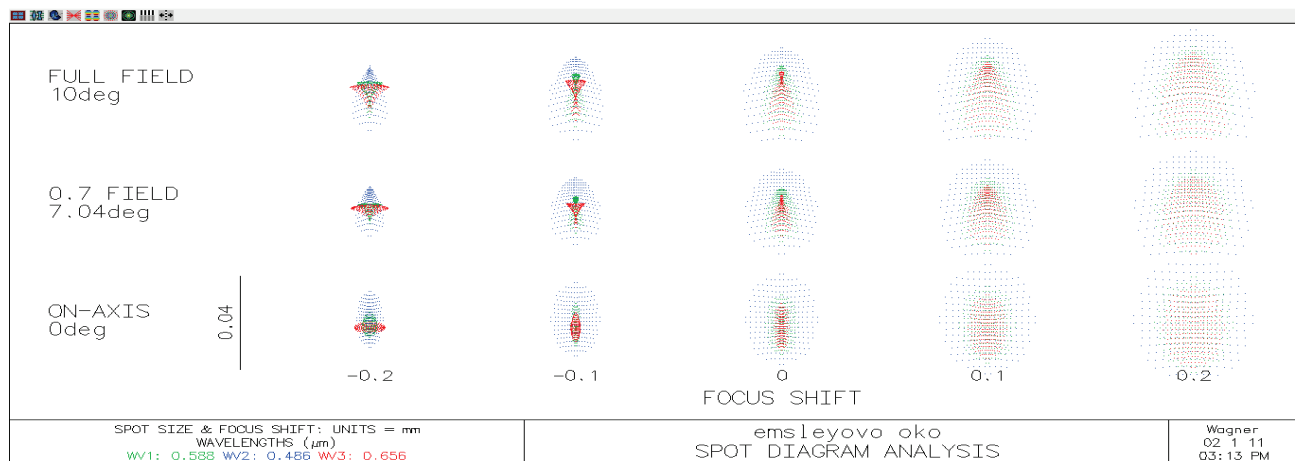
Náklon čočky v mnou vykonstruovaných příkladech, kdy jsem čočku převrátil o 15°, 30° a 340° podél osy x, narostl astigmatismus do jistě, lidským okem, vnímatelného rozměru. Stejně tak došlo k posunu křivek sférické (otvorové) vady. Dále pak zaznamenala jistou změnu příčná barevná vada a distorze.

- TLA=30 (Hypermetropie +3 D)



Obr.32 Spot-diagram brýlové čočky +3 D naklonené o 30° podél osy x (změna inklinace).

- TLA=15 (hypermetropie +7 D)

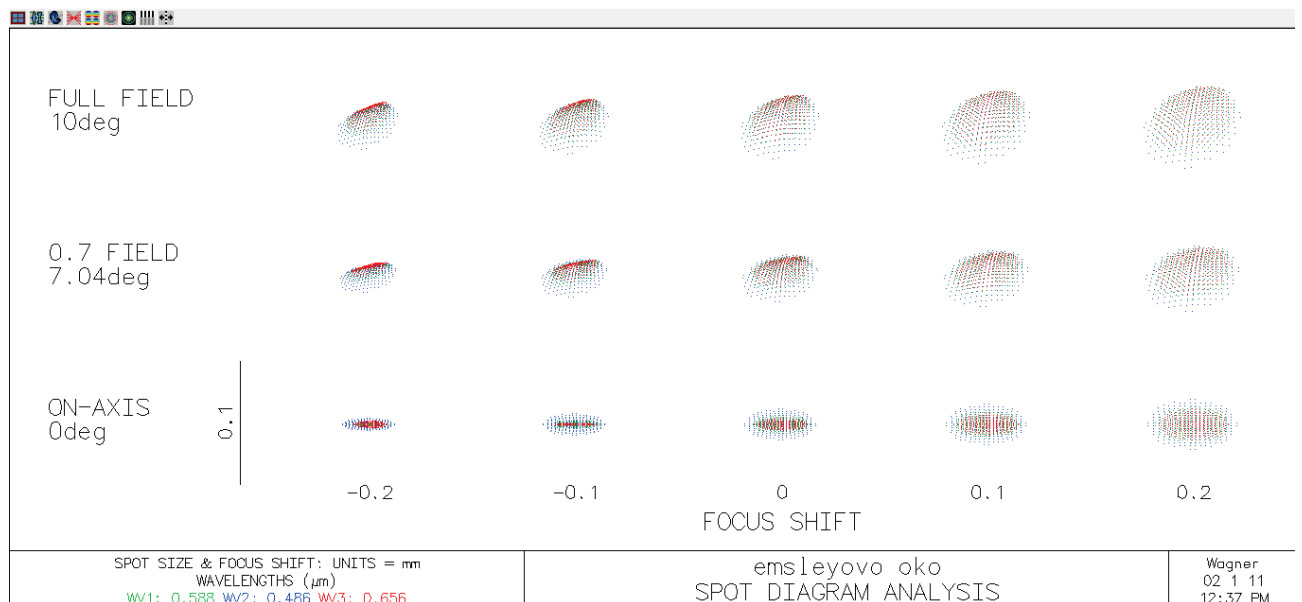


Obr.33 Spot-diagram čočky nakloněné o 15° podél osy x u hypermetropického oka +7 D.

10.3.5 TLB – náklon čočky podél osy y (°)

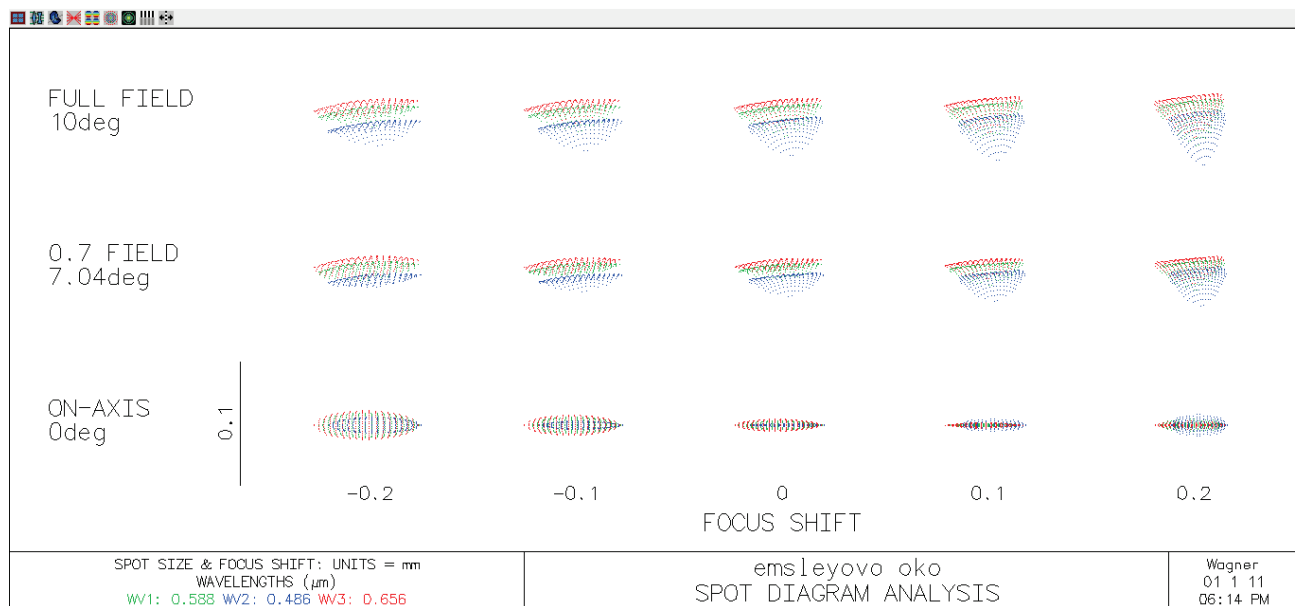
Pootočení čočky ve směru osy y se naprosto zjevně projevuje změnami astigmatismu a disperze. Míra deformace sítnicových obrazů, ve všech mnou namodelovaných situacích, je natolik patrná, že ovlivní zrakovou pohodu téměř každého jedince.

- TLB=30 (Hypermetropie +3 D)



Obr.34 Spot-diagram při náklonu čočky o 30° podél osy y u dalekozrakého oka +3 D.

- TLB=30 (Myopie -5 D)



Obr.35 Spot-diagram naklonění brýlové čočky o 30° při korekci myopického oka -5 D.

10.3.6 TLC – náklon čočky podél osy z (°)

Během mé práce jsem navozoval pouze sférické vady, kterým náleží sférická korekce. Pootočení sférické čočky kolem osy z nemůže tudíž vyvolat žádné změny, jelikož se jedná o jakousi rotaci čočky kolem optické osy.

S rostoucí optickou mohutností čočky a rostoucí decentrací se zvyšuje i projev samotných aberací. Zaznamenání aberací okem jedince je závislé na míře citlivosti sítnicových buněk a dalších aspektech. I tak si ale podle počítačem vyobrazených spot-diagramů dovoluji tvrdit, že v mnou nasimulovaných situacích se až na decentraci 3 mm podél osy x projeví téměř veškeré změny poloh brýlové čočky před okem. Avšak jakou míru rušivých elementů v podobě aberací vyšších řádů dokáže člověk snést, nemohu s přesností říci. Individualita každé osoby i zde hraje svou důležitou roli.

V práci zaznamenané spot-diagramy a mnoho dalších k nahlédnutí na volně vloženém disku s označením *Přílohy!*

11. Závěr

Stejně jako vypracování jakékoliv jiného tématu, i to mé v sobě skýtalo určitou „základnost“, a to v podobě počítačového programu Oslo edu. Práce s tímto softwarem pro mne byla ze začátku velice náročná a krkolomná. I když můj úkol není zdaleka tak složitý a nevyžaduje ovládání velkého počtu funkcí jako v jiných případech, které software umožňuje. I přes tuto skutečnost mohu říci, že jsem si, po dlouhodobé práci s tímto vsutku zajímavým a po technické stránce dokonalým programem, několik funkcí „osvojil“ a naučil se s nimi zacházet. Během práce s optickými a čočkovými nástroji tohoto softwaru jsem se shledával s různými komplikacemi. Ale i přes to jsem vždy určitého výsledku docílil. Z důvodu oněch zmíněných potíží mi k některým vyhodnocením aberací musela postačit programem nabízena grafická analýza sestávající se z grafů jednotlivých aberací (astigmatismus, distorze, podélná sférická vada, chromatický posun a příčná barevná vada). O deformaci a celkovém vzhledu sítnicového obrazu však více vypovídá funkce spot-diagramu, který naprosto přesně znázorňuje jakým způsobem se obraz bodu, při průchodu světelných paprsků optickým systémem, mění. Z výsledků vypočítaných tímto programem se dá určit, jakým způsobem se aberace se zvyšováním optické mohutnosti čočky a její decentrací mění. Míra aberace, kdy je daná vada jedincem postřehnutelná rušivým defektem, závisí na mnoha aspektech. Avšak společenstvo optiků a optometristů stanovilo určitou toleranci decentrace vzhledem k optické mohutnosti brýlové čočky a výsledky spot-diagramů tyto normy utvrzují v jejich oprávněnosti. Ve své praktické části jsem se zaměřil na korekci primárních aberací pouze sférickými čočkami, tudíž nárůst aberací vyšších řádů při decentracích a pootočeních čočky oproti složitějším konstrukcím brýlových čoček (asférické, multifokální, lentikulární,..) není tak patrný.

12. Citace

Použitá literatura:

- [1] Oční lékařství, Pavel Kuchyňka a kolektiv, nakladatelství Grada Publishing, 2007, ISBN – 13: 978 – 80 – 247 – 1163 – 8 , str. 106 – 110
- [2] Nauka o zraku, MUDr. Rudolf Autrata, CSc. a MUDr. Jana Vančurová, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2002, ISBN 80 – 7013 – 362 – 7, str. 30
- [3] Atlas fyziologie člověka, prof. MUDr. Stefan Silbernagl, Agamemnon Despopoulos, nakl. Grada Publishing, 2004, ISBN 80 – 247 – 0630 – X, str. 358
- [4] Dílenská praxe očního optika, Bc. Ladislav Najman, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2001, ISBN 80 – 7013 – 328 – 7, str. 40 - 44
- [5] Dílenská praxe očního optika, Bc. Ladislav Najman, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2001, ISBN 80 – 7013 – 328 – 7, str. 40 - 44
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Optics_Software_for_Layout_and_Optimization
- [7] <http://optics.upol.cz/cs/vyuka-studijni-materialy>

Použité obrázky, tabulky a grafy:

Obr.1 Oční lékařství, Pavel Kuchyňka a kolektiv, nakladatelství Grada Publishing, 2007, ISBN – 13: 978 – 80 – 247 – 1163 – 8 , str. 108

Obr.2 Oční lékařství, Pavel Kuchyňka a kolektiv, nakladatelství Grada Publishing, 2007, ISBN – 13: 978 – 80 – 247 – 1163 – 8 , str. 109

Obr.3 Oční lékařství, Pavel Kuchyňka a kolektiv, nakladatelství Grada Publishing, 2007, ISBN – 13: 978 – 80 – 247 – 1163 – 8 , str. 110

Obr.4

http://www.gymspgs.cz:5050/bio/sources/Photogallery_Detail.php?intSource=1&intImageId=280

Obr.5 www.google.cz/imgresimgurl

Tab.1 Oční lékařství, Pavel Kuchyňka a kolektiv, nakladatelství Grada Publishing, 2007, ISBN – 13: 978 – 80 – 247 – 1163 – 8 , str. 107

Tab.2 Oční lékařství, Pavel Kuchyňka a kolektiv, nakladatelství Grada Publishing, 2007, ISBN – 13: 978 – 80 – 247 – 1163 – 8 , str. 109

Tab.3 Oční lékařství, Pavel Kuchyňka a kolektiv, nakladatelství Grada Publishing, 2007, ISBN – 13: 978 – 80 – 247 – 1163 – 8 , str. 110

Tab.4 Dílenská praxe očního optika, Bc. Ladislav Najman, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2001, ISBN 80 – 7013 – 328 – 7, str. 41

Tab.5 Dílenská praxe očního optika, Bc. Ladislav Najman, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2001, ISBN 80 – 7013 – 328 – 7, str. 43

Tab.6 Dílenská praxe očního optika, Bc. Ladislav Najman, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2001, ISBN 80 – 7013 – 328 – 7, str. 43

Graf.1 Dílenská praxe očního optika, Bc. Ladislav Najman, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2001, ISBN 80 – 7013 – 328 – 7, str. 42