

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
BIOMEDICÍNSKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE  
2020**

**ADÉLA  
VYSUŠILOVÁ**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

Fakulta biomedicínského inženýrství  
Katedra přírodovědných oborů

**Vliv změny individuálních parametrů progresivní čočky  
na vidění**

**Influence of change of individual parameters of progressive  
lens on vision**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

**Autor bakalářské práce: Adéla Vysušilová**

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jakub Král

---

**Kladno 2020**



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vysušilová** Jméno: **Adéla** Osobní číslo: **469306**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínské inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra přírodovědných oborů**  
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**  
Studijní obor: **Optika a optometrie**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Vliv změny individuálních parametrů progresivní čočky na vidění**

Název bakalářské práce anglicky:

**Influence of change of individual parameters of progressive lens on vision**

Pokyny pro vypracování:

Studentka zpracuje problematiku konstrukce optických ploch progresivní brýlové korekce. Popíše výhody rozdílných designů tvrdého a měkkého kanálu. Popíše výhody a nevýhody moderní Free-Form technologie oproti konvenční technologii. V úvodních kapitolách rozdělí různé druhy progresivních brýlových čoček dle technologického provedení a účelu. V praktické části studentka porovná teoretické mapy progresivních čoček vytvořené programem LensWare s reálným obrazem progresivních čoček na LensMasteru na akademické půdě FBMI ČVUT. Dále studentka zjistí vliv změny individuálních parametrů progresivních čoček na optickou mohutnost čočky a tím i vidění klienta.

Seznam doporučené literatury:

- [1] NAJMAN, L., Dílenská praxe oční optika, ed. 2, Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotních oborů, Brno, 2010, ISBN 978-807-0135-297
- [2] VESELÝ, P., ŠIMOVIČ, P., PETROVÁ, S., Konvenční a Free-Form technologie výroby brýlových čoček, ed. 1., NCONZO Brno, 2014, 141 s., ISBN 978-80-7013-566-2
- [3] KUCHYNKA, P., Oční lékařství, ed. 2., Praha: Grada Publishing, 2016, ISBN 978-80-247-5079-8

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Mgr. Jakub Král**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **17.05.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.09.2021**

doc. Ing. Lenka Lhotská, CSc.  
podpis vedoucí(ho) katedry

prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## **Název bakalářské práce: Vliv změny individuálních parametrů progresivní čočky na vidění**

### **Abstrakt:**

Práce pojednává o konstrukci a výrobě progresivních brýlových čoček. Popisuje výhody a nevýhody měkkého, tvrdého, symetrického a asymetrického designu. Porovnává konvenční a Free-form technologii výroby, která se dnes nejčastěji uplatňuje při výrobě progresivních čoček. Experimentální část byla provedena ve firmě Omega-optix v softwaru pro výrobu brýlových čoček LensWare, kterému je věnována samostatná kapitola. Práce se zabývá vlivem pantoskopického úhlu, wrapu a vertex distance na vidění u progresivních brýlových čoček a možností využití zákonitostí změny individuálních parametrů brýlové korekce v praxi. Dále jsou porovnány teoretické mapy progresivních čoček z programu LensWare a mapy vyrobených čoček analyzované přístrojem Visionix pro zhodnocení přesnosti výroby.

### **Klíčová slova:**

Progresivní čočky, Individuální parametry progresivní korekce, LensWare

## **Bachelor's Thesis title: Influence of change of individual parameters of progressive lens on vision**

### **Abstract:**

The thesis deals with the construction and production of progressive addition spectacle lenses. It describes both the advantages and disadvantages of soft, hard, symmetrical and asymmetrical design. This work compares conventional and Free-form technology of production which is most frequently applied in progressive lenses production. The experimental part was performed in the Omega-optix company in the software programme for production of spectacle lenses LensWare, to which a separate chapter is devoted. This thesis deals with the influence of pantoscopic angle, wrap and vertex distance on vision in progressive spectacle lenses and the possibility of using the laws of changing individual parameters of spectacle correction in practice. Furthermore, theoretical maps of progressive lenses from the LensWare program and maps of manufactured lenses analyzed by the Visionix device are compared to evaluate the accuracy of production.

### **Key words:**

Progressive addition lenses, Individual parameters of progressive addition spectacles, LensWare

**PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce Mgr. Jakubovi Královi za trpělivost, cenné rady a materiály. Dále děkuji Markétě Kopecké ze společnosti Omega-optix za ochotu a poskytnutí potřebných informací a dat z programu LensWare.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Vliv změny individuálních parametrů progresivní čočky na vidění*“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne .....

.....

podpis

# Obsah

---

1	Úvod.....	1
2	Oční vady korigovatelné progresivními čočkami .....	2
2.1	Presbyopie .....	2
2.1.1	Vznik presbyopie .....	2
2.1.2	Symptomy presbyopie .....	3
2.1.3	Možnosti korekce presbyopie .....	3
2.2	Akomodativní esotropie .....	4
3	Progresivní brýlové čočky .....	6
3.1	Vývoj.....	6
3.2	Zóny progresivních čoček.....	9
3.3	Design progresivních čoček .....	10
3.3.1	Měkký design.....	10
3.3.2	Tvrdý design .....	11
3.3.3	Mono-design a multi-design.....	12
3.3.4	Symetrický design .....	12
3.3.5	Asymetrický design.....	13
3.4	Individuální parametry .....	14
3.4.1	Inklinace .....	14
3.4.2	Prohnutí obruby .....	14
3.4.3	Vertex distance.....	15
4	Výroba progresivních čoček.....	16
4.1	Konvenční technologie .....	16
4.1.1	Lití (Casting) .....	16
4.1.2	Lisování (Molding) .....	17
4.1.3	Třískové obrábění (Surfacing) .....	17
4.2	Free-form technologie .....	18
4.3	Porovnání konvenční a free-form technologie .....	19
5	LensWare.....	20
5.1	Vytvoření objednávky .....	20
5.2	Výpočet povrchu progresivních čoček.....	21
5.3	Broušení technologií Free-form .....	23



---

6	Experimentální část .....	24
6.1	Úvod experimentální části .....	24
6.2	Metodika .....	24
6.3	Cíle .....	25
6.4	Hypotézy .....	25
6.5	Výsledky .....	25
6.5.1	Inklinace .....	25
6.5.2	Wrap .....	27
6.5.3	Vertex distance .....	29
6.5.4	Porovnání teoretické a reálné mapy čočky .....	30
7	Diskuse .....	33
8	Závěr .....	35
	Seznam použité literatury .....	37
	Seznam symbolů a zkratk .....	40
	Seznam obrázků a grafů .....	41
	Seznam tabulek .....	42
	Příloha A: Naměřená data .....	43

# 1 Úvod

V dnešní době moderních technologií je zrak velmi namáhaným smyslem. Časté střídání vzdáleností, na které je třeba zaostřit, může být pro akomodační aparát oka náročné, na blízké vzdálenosti u osob s presbyopií nemožné. Presbyopie neboli věchozrakost je způsobená degenerací oční čočky, která postupně ztrácí schopnost akomodace. Je to fyziologický proces, který se začíná obvykle projevovat okolo 40. roku života.

Vzhledem k rychlému zvyšování průměrného věku světové populace lze očekávat nárůst počtu presbyopů, a tím i poptávky po progresivních čočkách. Jejich výroba prošla dlouhým vývojem, od ručního broušení po automatizovanou výrobu pomocí CNC (Computer numerically controlled) strojů.

Nejmodernějším způsobem výroby brýlových čoček je Free-form technologie, kterou využívá i firma Omega-optix. V té jsem měla možnost pracovat a nahlédnout tak přímo do prostředí výroby. Jejich výroba se opírá o softwarový program LensWare, kterému věnuji kapitolu ve své práci a v němž byla provedena experimentální část.

Častým problémem u progresivních čoček je adaptace klienta na progresivní korekci. Vzhledem k finanční náročnosti progresivních čoček pro klienta a samozřejmě snahu optometristy o komfortní a přesnou korekci, je žádoucí, aby byl klient s progresivními čočkami spokojen a poskytly mu co nejvyšší zrakovou ostrost na všechny vzdálenosti. Nejčastějšími důvody špatné adaptace na progresivní čočky jsou chyby měření, chyba centrace a zanedbání individuálních parametrů. I malá chyba měření může klientovi působit velké potíže s adaptací na novou korekci. Drobné odchylky však v určitých případech lze korigovat přizpůsobením obruby ve třech individuálních parametrech – inklinaci (pantoskopickém úhlu), prohnutí obruby (wrap) a vrcholové vzdálenosti (vertex distanc).

Cílem práce je popsat zákonitosti mezi změnou individuálních parametrů a sférickým účinkem korekce do dálky, do blízka a jejich rozdílem, tzv. adice. Dále možnosti, jak tyto znalosti lze uplatnit v praxi. Ve druhé části je cílem porovnat teoretické mapy progresivních čoček s tvrdým a měkkým designem z programu LensWare a mapy vyrobených čoček z analyzátoru Visionix.

## 2 Oční vady korigovatelné progresivními čočkami

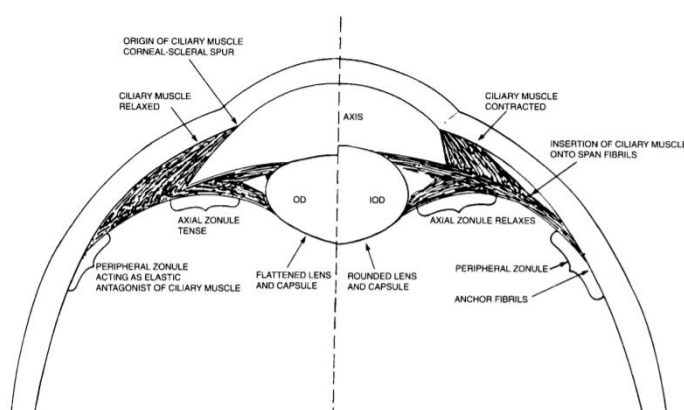
Hlavním účelem progresivních brýlových čoček je korekce presbyopie. Její vznik, symptomy a další možnosti korekce budou popsány v následující kapitole. Progresivní čočky ovšem mají i další využití, a to u korekce akomodativní esotropie u dětí. Dalším uplatněním je experiment, kde byla snaha pomocí progresivních brýlových čoček zpomalit nárůst refrakční vady u asijských dětí s progresivní myopií, účinek však nebyl plně prokázán. [1]

### 2.1 Presbyopie

Presbyopie (vetchozrakost) je věkem podmíněný fyziologický proces, při kterém oko postupně ztrácí schopnost akomodace. Začíná se projevovat úbytkem akomodační šíře okolo 40. roku věku. V závislosti na předchozí refrakční vadě je pak v 60-65 letech ztráta akomodace kompletní. [2] [3] [4] [5] [6]

#### 2.1.1 Vznik presbyopie

Mechanismus akomodace spočívá ve změně zakřivení přední i zadní plochy oční čočky pomocí stahu ciliárního svalu, který uvolní vlákna závěsného aparátu čočky (Obr. 2.1).



Obrázek 2.1 - Schéma akomodace [7]

V počátečním stadiu presbyopie nastávají změny tkání umožňující akomodaci. Pouzdro oční čočky tuhne a čočka tak ztrácí svou elasticitu. Jádro čočky nabývá na objemu, proto je pro zonulární systém čočku obtížnější tvarovat. Vlákna závěsného

aparátu se díky zvětšení objemu čočky uvolňují, čímž ztrácí svou sílu v tahu, která je potřeba pro vyklenutí čočky. S přibývajícím věkem klesá počet zonulárních vláken, která jsou postupně křehčí, a proto dochází i k jejich přetržení. Následkem vnitřních změn akomodačního aparátu oka je úbytek akomodační amplitudy. Akomodační amplituda (akomodační šíře) je rozdíl převrácených hodnot blízkého a dalekého bodu oka, kde blízký bod je vzdálenost, na kterou je oko schopné zaostřit při maximální akomodaci a daleký bod je naopak vzdálenost, na kterou je člověk schopný vidět ostře bez zapojení akomodace. Výsledná hodnota v dioptriích  $D [m^{-1}]$  udává, do jaké míry je čočka schopna změnit svou optickou mohutnost. Akomodační šíře u dětí předškolního věku je přibližně 14 D a lineárně klesá průměrně o 0,3 D za rok. Ve 30 letech je na hodnotě 6 D, v 60 letech zbývá 1 D. Vzhledem k nutnosti rezervy alespoň 1/3 akomodační šíře k pohodlnému čtení bez astenopických obtíží, ve věku vyšším než 60 let je možnost akomodace téměř nulová. [2] [3] [4] [5] [7] [8] [9]

### 2.1.2 Symptomy presbyopie

Prvním příznakem presbyopie je oddalování čteného textu kvůli zhoršené schopnosti zaostření na krátkou vzdálenost. Zraková ostrost do blízka klesá zejména při strobém osvětlení v místnosti. Vidění může být rozmazané při pohledu z blízka do dálky v důsledku ciliárního spasmu, který je způsoben celkově zvýšeným akomodačním úsilím. Objevují se i astenopické potíže, tj. bolesti hlavy, očí a pocit únavy. [3] [4] [5]

### 2.1.3 Možnosti korekce presbyopie

Nejméně invazivní a neohrožující zdraví zraku je brýlová korekce. Brýlová korekce presbyopie se provádí spojnými čočkami, které nahrazují chybějící akomodační šíři a umožňují ostré vidění do blízka, ovšem u korekce jednoohniskovými čočkami znemožňují vidění na střední a delší vzdálenosti. Bifokální čočky poskytují ostré vidění na daleké a blízké vzdálenosti, ale problémem je skok obrazu způsobený ostrým ohraničením segmentu do blízka a absence korekce na střední vzdálenost. Trifokální čočky tuto vlastnost mají, ale stále je přítomen skok obrazu. Výhodným řešením jsou tedy čočky progresivní, které umožňují korekci na všechny vzdálenosti a plynulý přechod mezi nimi. [10]

Další variantou korekce jsou kontaktní čočky. Multifokální čočky fungují na principu difrakce nebo koncentricky se střídajících zón na blízko a dálku. Vliv na vidění mají světelné podmínky a zároveň jimi ovlivněná velikost zornice. [11]

Možností korekce presbyopie je i tzv. monovision, kdy je jedno oko korigováno do dálky a druhé oko do blízka. Senzoricky dominantní oko se vždy koriguje do dálky. Tento způsob korekce může vyhovovat zejména pacientům s alternujícím strabismem. Člověku bez binokulárních problémů může narušit binokulární vidění. Tato metoda je finančně výhodnější než progresivní čočky, ovšem za cenu porušení spolupráce obou očí a omezení periferního vidění. Existuje také metoda modifikovaný monovision, kde se nedominantní oko koriguje bifokální nebo progresivní čočkou. Tím zůstane částečně zachována stereopse. [7]

Presbyopii lze korigovat i refrakční operací. Nejčastěji se presbyopie koriguje při operaci šedého zákalu, kdy se z oka vyjme zkalená čočka a nahradí se čočkou umělou. V případě korekce presbyopie se jedná o umělou čočku multifokální. Ta jedinci nahradí chybějící akomodační šíři a zároveň umožní ostré vidění i do dálky. Problémem po těchto operacích může být „halo“ efekt a „glare“, který je pacientovi nepříjemný a může ovlivnit zrakovou ostrost u řízení motorových vozidel, zejména pak za šera a ve tmě. Další komplikací bývá špatná adaptace pacienta na novou čočku, přičemž jediné řešení je absolvování další operace a výměna čočky za jednoohniskovou. [7]

## 2.2 Akomodativní esotropie

Akomodativní esotropie se objevuje u hypermetropických dětí kolem tří let věku. Pro ostřejší vidění zapojí oči dítěte akomodaci, která zároveň spustí i příliš velkou konvergenci. V tomto případě se doporučuje předepisovat plnou cykloplegickou korekci. Děti s nízkou hypermetropií, ale s excesivní konvergencí při akomodaci, se nejčastěji korigují bifokálními čočkami s širokým segmentem. Centrují se tak, aby předěl segmentu byl na spodním okraji pupily. To přinutí pacienta koukat do blízka přes adici a tím se esotropie při pohledu do blízka neprojeví (Obr. 2.2). Komplikací pak může být posun brýlí na nose, kdy dítě při koukání na blízkou vzdálenost používá pouze horní segment, protože pohled přes adici je mu nepříjemný kvůli skoku obrazu způsobenému předělem mezi zónou do dálky a na blízko. [7] [12] [13]

Alternativou korekce mohou být progresivní brýlové čočky. Jsou pro pacienta pohodlnější na pohled, díky plynulému přechodu, a proto se nevyhýbá používání zóny do blízka. Další výhodou je, že progresivní čočky jsou více estetické a dětmi jsou tak lépe psychicky přijímány. Velkou nevýhodou zůstává pouze vysoká cena, přičemž je v dětském věku frekvence výměny brýlí obvykle vyšší, díky častým ztrátám či poškozením. [7]



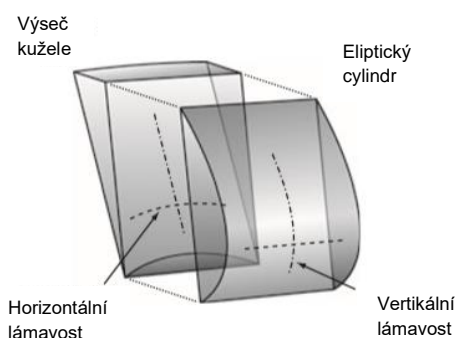
Obrázek 2.2 – Akomodativní esotropie před a po korekci [28]

## 3 Progresivní brýlové čočky

Historie a vývoj progresivních čoček sahá již na začátek minulého století. Od jejich počátku až po současnost prošly dlouhým vývojem. Konstrukteři přicházeli s novými nápady na nové designy a postupně tak přišly na svět novodobé progresivní čočky, které si rychle našly své příznivce. Díky vhodným inovacím jsou vhodné pro mladé presbyopy i pro zkušené nositele progresivních čoček.

### 3.1 Vývoj

První patent na čočku s plynulým přechodem optické mohutnosti byl podán Owenem Avesem v roce 1907. Jeho model měl dva asférické povrchy. První plochu tvořila výseč kužele, čímž byl zajištěn plynulý nárůst adice v horizontálním meridiánu. Druhá plocha, tvořena eliptickým cylindrem, obstarávala progresivní lámavost ve vertikálním meridiánu (Obr. 3.1). Výroba Avesových čoček ovšem byla na svou dobu technicky a finančně náročná, proto se čočky na trhu neosvědčily. [14]

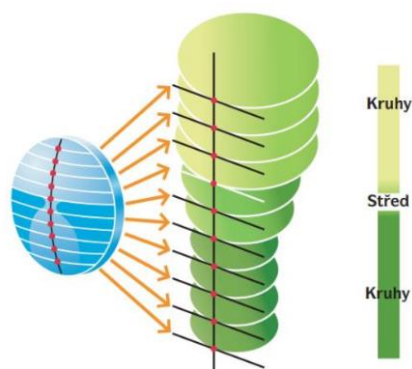


Obrázek 3.1 - Design progresivní čočky podle Owena Avese [14]

Krátce na to, v roce 1909, Henry Orford Gowlland vynalezl čočku s asférickou, přesněji s parabolickou plochou na zadní straně. Avšak kvůli tehdejší nevyspělosti techniky, složitým výrobním postupům a výrazným okrajovým aberacím progresivní brýlové čočky dalších 50 let nenašly své uplatnění. [14]

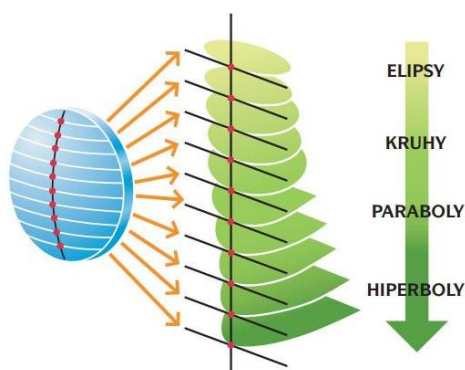
První komerčně úspěšné progresivní čočky uvedla na trh firma Essilor v roce 1959. Čočky Varilux byly konstruovány tak, aby v horní a spodní části čočky byla optická mohutnost stabilní (Obr. 3.2). Tím se zvětšila zóna pro vidění do dálky a zároveň se umožnilo měření fokometrem v zóně na blízko. Od 60. let produkce

progresivních čoček rapidně stoupla s vynálezem CNC strojů (z anglického Computer Numerically Controlled – počítačem řízený obráběcí stroj). [14] [15]



Obrázek 3.2 - Design progresivní čočky Varilux [15]

V roce 1964 se na trhu objevily první asymetrické čočky, které umožňovaly lepší postranní vidění. Do té doby byl design pouze symetrický, pravá a levá čočka byly vůči sobě pootočený o 10° nasálně. Následně v roce 1972 firma Essilor představila čočky Varilux 2. Při jejich konstrukci byla použita horizontální „optická modulace“, která pomohla zmírnit zkreslení způsobené periferními aberacemi (Obr. 3.3). [15]



Obrázek 3.3 - Design progresivní čočky Varilux 2 [15]

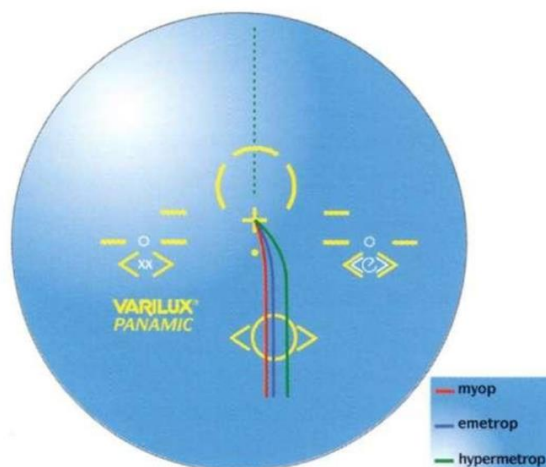
Na konci 80. let se progresivní čočky začaly vyrábět s odlišnou konstrukcí pro různé hodnoty adice. Konstrukteři si uvědomili, že potřeby mladých presbyopů, tedy prvonositelů progresivních čoček jsou odlišné od těch zkušených. Tak byl poprvé zaveden „měkký“ a „tvrdý“ design. Měkký design se vyznačoval nízkými aberacemi rozloženými po celé čočce a dlouhým kanálem progresie, který je vhodný pro nízké adice, tzn. pro mladé presbyopy. Naopak tvrdý design s krátkou progresí



a vyššími aberacemi lokalizovanými pouze v malých částech čočky je vhodný pro vyšší adice zkušených presbyopů. [15]

V roce 1993 přišla na trh nová generace čoček, která zkombinovala výhody tvrdého a měkkého designu – pohodlnou pozici hlavy při čtení a zároveň pohodlnost při periferním vidění. Toho bylo docíleno umístěním až 85% adice blíže k zóně na dálku o 2-3 mm. Profil progresivního kanálu se začal řídit reálnou dráhou očí při pohledu do blízka místo rovné lineární dráhy. Co se týče periferního vidění, zjistilo se, že pacienti jsou více než na celkovou hodnotu změny optické mohutnosti citlivější na prizmatický efekt způsobený rychlostí přechodu této optické mohutnosti. Proto byly vyvinuty plynulejší přechody i v periferních částech čočky. Nositelům progresivních čoček tak tato generace přinesla pohodlnější periferní vidění a tím i snížila nutnost horizontálních pohybů hlavy. [15]

V roce 2000 firma Essilor uvedla na trh generaci čoček Varilux Panamic. Ta se snažila vyhovět začínajícím i pokročilým nositelům progresivní korekce. Pro prvositele to znamenalo redukci plovoucího efektu, dále pak omezení prizmatických efektů na okraji čočky a zvýšení ostrosti na střední vzdálenost. Těmito úpravami se usnadnila a urychlila adaptace na presbyopickou korekci. Pro zkušené nositele bylo zásadní výhodou celkové rozšíření zorného pole ve všech třech zónách vidění. Multi-design nabyl nových rozměrů, když se konstrukce čočky přestala řídit pouze adicí, ale začal se zohledňovat i předpis dioptrií na dálku (Obr. 3.4). Prizmatické efekty jsou totiž rozdílné u myopické a hypermetropické korekce. [15]



Obrázek 3.4 - Vložení oblasti na blízko podle korekce na dálku [15]

Nová generace z roku 2006 s sebou přinesla další pokrok v konstrukci progresivních čoček. Konstruktoři se omezili pouze na svazky paprsků, které reálně projdou skrz čočku a zornici do oka. Pomocí Wavefront analýzy zkoumali změny vlnoploch světelných svazků po průchodu čočkou. Tyto změny jsou způsobeny aberacemi, které snižují kvalitu vidění. Optimalizací čočky tak, aby změna vlnoplochy byla minimální, dosáhli konstruktéři u čoček Varilux Physio od firmy Essilor maximální zrakovou ostrost do dálky, rozšíření pole ostrého vidění, a tím zvýšení možného rozsahu pohybu očí a usnadnění vertikálního vidění u akomodace na střední vzdálenost. [15]

### 3.2 Zóny progresivních čoček

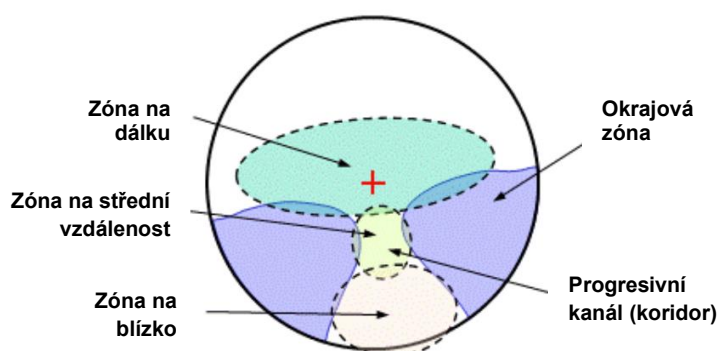
Progresivní čočky mají čtyři základní zóny. Každá z nich je soustředěna na určitou vzdálenost, kromě okrajové oblasti.

**Zóna na dálku** – Stabilizovaná zóna v horní polovině čočky poskytující nutnou korekci do dálky.

**Zóna na blízko** – Stabilizovaná zóna ve spodní polovině čočky poskytující adici, tj. přídavek do blízka.

**Progresivní koridor** – Koridor mezi zónou na dálku a na blízko poskytující plynulý přechod s pozvolným nárůstem adice, čímž umožňuje ostré vidění i na střední vzdálenosti.

**Okrajová zóna** – Periferní část čočky, kde je koncentrován nežádoucí astigmatismus a distorze. Vidění je v této části neostře (Obr. 3.5). [16] [17]



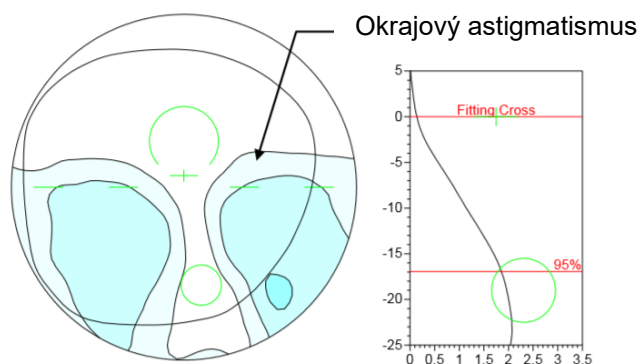
Obrázek 3.5 - Zóny progresivní čočky [17]

### 3.3 Design progresivních čoček

U progresivních čoček rozlišujeme dva základní designy – měkký a tvrdý. Čtyřmi faktory, na kterých rozdělení závisí, jsou délka progresivního koridoru, stupeň sféricity či asféricity v horní polovině čočky, symetrie designu ve spodní polovině čočky a počet lišících se designů na přední ploše pro různé adice. [7]

#### 3.3.1 Měkký design

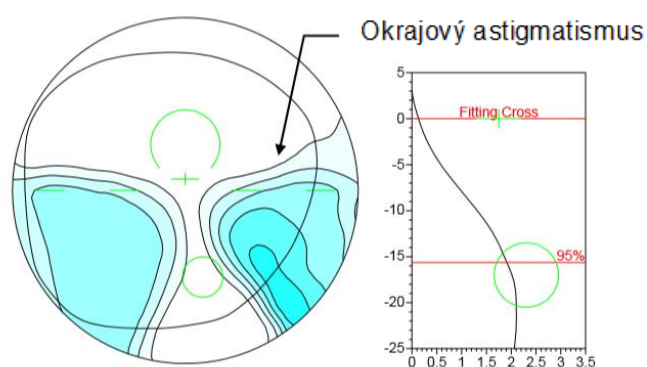
Pokud je čočka konstruována tak, že nežádoucí astigmatismus je rovnoměrně rozložen na postranních částech celé čočky a je redukován především ve čtecí zóně, jedná se o měkký design (Obr. 3.6). Měkký design se vyznačuje delším koridorem s pozvolným nárůstem adice, což vyžaduje větší pohyb očí nositele při pohledu do blízka oproti tvrdému designu. V zóně na dálku se upřednostňuje asférická plocha čočky, která snižuje nežádoucí astigmatismus a distorzi obrazu. Tento design je vhodný pro začínající nositele progresivních čoček s nižší adicí. Takovým nositelům umožňují čočky s měkkým designem rychlou adaptaci na progresivní korekci. [7] [16] [17] [18]



Obrázek 3.6 - Rozložení nežádoucího astigmatismu u měkkého designu progresivní čočky [16]

### 3.3.2 Tvrdý design

Čočky s tvrdým designem se vyznačují širokým zorným polem do dálky i na blízko a jsou vhodnější pro zkušené nositele progresivní brýlové korekce. Mají totiž relativně strmý přechod ze zóny na dálku do zóny na blízko a mezi periferní a centrální zónou. Nežádoucí astigmatismus a distorze jsou koncentrovány zejména do spodní poloviny čočky po stranách (Obr. 3.7). Nárůst astigmatismu je rychlý, čímž je více rušivý při periferním pohledu. Progresivní kanál je krátký s rychlým nárůstem adice a vyžaduje nižší pohyb očí při pohledu do blízka. Porovnání měkkého a tvrdého designu je popsáno v tabulce 1. [7] [18] [17] [16]



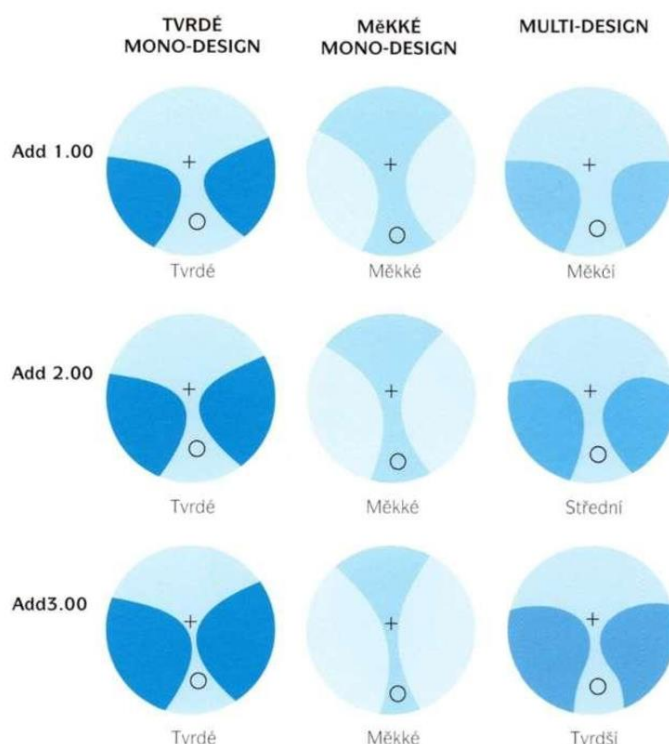
Obrázek 3.7 – Rozložení nežádoucího astigmatismu u tvrdého designu progresivní čočky [16]

Tabulka 1 - Porovnání tvrdého a měkkého designu [19]

<b>Tvrdý design</b>	<b>Měkký design</b>
Zóna na dálku sférická	Zóna na dálku asférická
Širší zóna na dálku a blízko	Užší zóna na dálku a blízko
Užší zóna na střední vzdálenost a kratší progresivní kanál	Širší zóna na střední vzdálenost a delší progresivní kanál
Strmý nárůst nechtěného astigmatismu	Pozvolný nárůst nechtěného astigmatismu

### 3.3.3 Mono-design a multi-design

Čočkám s výhradně měkkým nebo tvrdým designem se říká tzv. mono-design. Někteří výrobci nabízejí řady čoček, které kombinují tvrdý i měkký design v závislosti na výši adice. Tyto čočky mají tzv. multi-design. S nižší adicí je design měkčí a koridor delší. Se zvyšující se adicí se koridor prodlužuje a design se stává tvrdším. Tak výrobci jednou řadou čoček vyhoví zkušeným i nezkušeným nositelům s různou hodnotou adice. Porovnání mono a multi-designů je vidět na obrázku 3.8. [18]

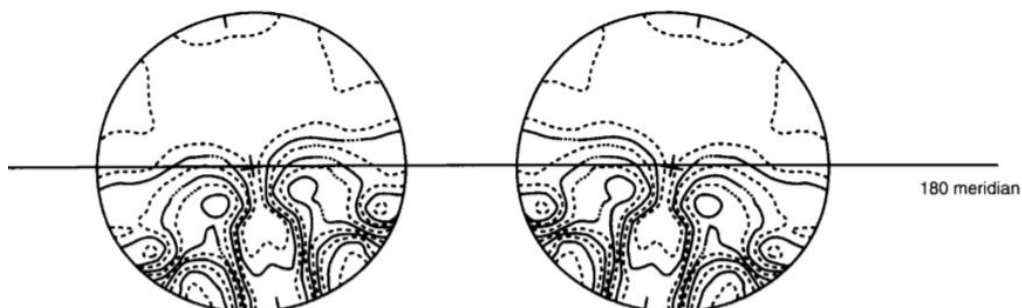


Obrázek 3.8 – Porovnání mono-design a multi-design čoček s různými hodnotami adice [15]

### 3.3.4 Symetrický design

Konvenční progresivní čočky se vyznačují symetrickým designem. Znamená to, že pravá a levá čočka má identický design a aby vyhověly konvergenci očí při pohledu do blízka, čočky jsou vůči sobě pootočené o 9-11°. Při rychlé změně pohledu nositele progresivních čoček se symetrickým designem, pohledové osy pravého a levého oka neprocházejí stejným bodem na čočce (Obr. 3.9). Například při pohledu doleva levé oko kouká temporální částí čočky, kde distorze a astigmatismus nejsou tak výrazné. Pravé oko kouká nasální částí, která se vyznačuje strmějším nárůstem astigmatismu a tvoří tak zkreslený obraz. Proto tyto čočky způsobují obtíže při binokulární fúzi, jelikož

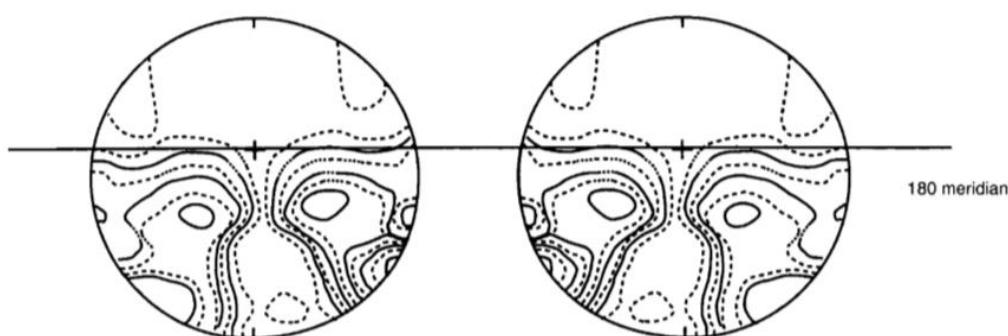
odpovídající obrazy na sítnici jsou zobrazovány s rozdílným zvětšením a vzájemně odlišnými aberacemi, navíc je zúženo zorné pole. [7] [19]



Obrázek 3.9 – Izo-astigmatická mapa dvou symetrických čoček [7]

### 3.3.5 Asymetrický design

U asymetrického designu, jak již název napovídá, se konstrukce pravé a levé čočky liší. Čočka je konstruována tak, aby hodnoty okrajového astigmatismu a prizmatického efektu při pohledu do strany byly pro obě oči v odpovídajících místech čočky stejné (Obr. 3.10). Tím napomáhá lepšímu binokulárnímu vidění. Čočky se vůči sobě nenatáčejí, jsou již vyrobeny s progresivním kanálem přizpůsobeným konvergenci očí do blízka. Větší důraz na nižší hodnoty astigmatismu je kladen na temporální stranu čočky, protože aberace byly prokázány více rušivými na temporální straně čočky než na straně nasální. [7] [19]



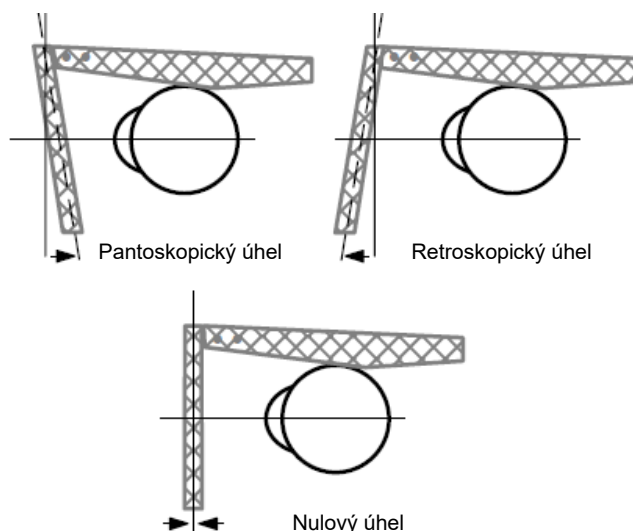
Obrázek 3.10 – Izo-astigmatická mapa dvou asymetrických čoček [7]

### 3.4 Individuální parametry

Obzvlášť u progresivních brýlových čoček je velmi důležité být precizní s přizpůsobením obruby klientovi a zohledněním individuálních parametrů. Je třeba nastavit obrubu tak, aby klientovi byla pohodlná a v jeho přirozeném postavení změřit individuální parametry, které je vhodné zohlednit při výrobě progresivních čoček.

#### 3.4.1 Inklinace

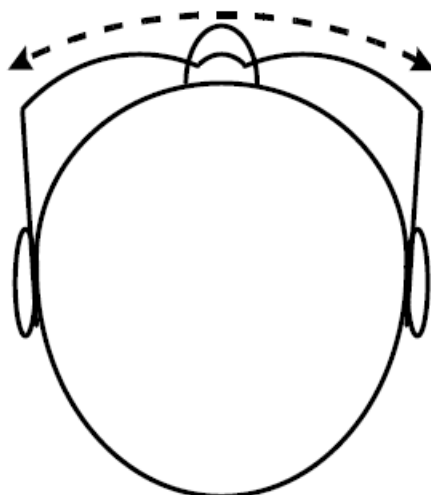
Inklinace neboli pantoskopický úhel je náklon čočky v brýlové obrubě od kolmice na osu vidění při pohledu na klienta z profilu. Obvykle je pantoskopický úhel u standartní brýlové obruby 8-12°, tzn. horní část čočky je od obličeje vzdálenější než spodní část čočky. V opačném případě se úhel píše se záporným znaménkem a nazývá se úhlem retroskopickým. Úhel též může být nulový (Obr. 3.11). [16] [20] [21] [22] [23]



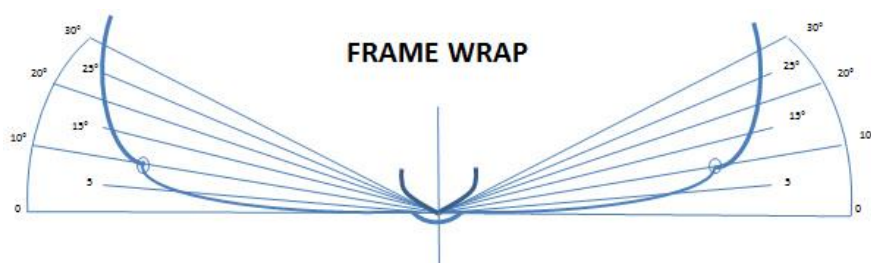
Obrázek 3.11 Pantoskopický, retroskopický a nulový úhel inklinace [16]

#### 3.4.2 Prohnutí obruby

Prohnutí obruby, označované jako wrap nebo face-form angle, je prohnutí nosníku ve stupních. Obruba tak lépe kopíruje klientův obličej (Obr. 3.12). Měří se ve stupních pomocí k tomu určené šablony, ke které se brýle přiloží (Obr. 3.13).



Obrázek 3.12 - Prohnutí obruby [16]



Obrázek 3.13 - Měřicí tabulka pro prohnutí obruby [30]

### 3.4.3 Vertex distance

Vertex distance (vrcholová vzdálenost  $d$  [mm]) je vzdálenost mezi zadní plochou brýlové čočky a apexem rohovky. Při vyšetření zraku je potřeba brát ohled na  $d$  zkušební obruby a obzvlášť u vysokých ametropií přepočítat předepsanou korekci podle  $d$  obruby vybrané klientem podle rovnice (1), která vyjadřuje výslednou vrcholovou lámavost v závislosti na vertex distance

$$\varphi = \frac{\varphi_s}{1 - (\Delta d) \cdot \varphi_s} [D] \quad (1)$$

kde  $\varphi$  je výsledná vrcholová lámavost [D],  $\varphi_s$  je vrcholová lámavost čočky [D] a  $\Delta d$  vyjadřuje změnu vertex distance [m]. [16]



## 4 Výroba progresivních čoček

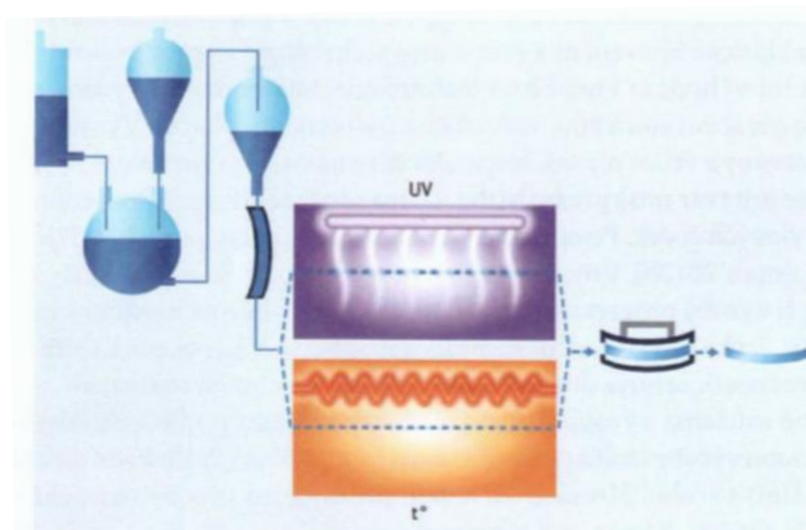
Výroba brýlových čoček prošla dlouhým vývojem od ručního broušení po postupnou automatizaci. Ruční brusy nahradily automatické stroje, které poskytují vyšší rychlost, a především větší přesnost výroby. Nejpřesnější metodou je Free-form technologie, která přináší nespočet výhod oproti konvenční výrobě.

### 4.1 Konvenční technologie

Konvenční výrobu čoček lze rozdělit na sériovou, malosériovou a kusovou (individuální) výrobu. Sériovou (hromadnou) výrobou se zhotovují tzv. skladové čočky. U malosériové výroby se obvykle opracovává zadní plocha polotovarů (semifinišů). Individuální výroba se týká čoček s individuálními parametry zákazníka. [24]

#### 4.1.1 Lití (Casting)

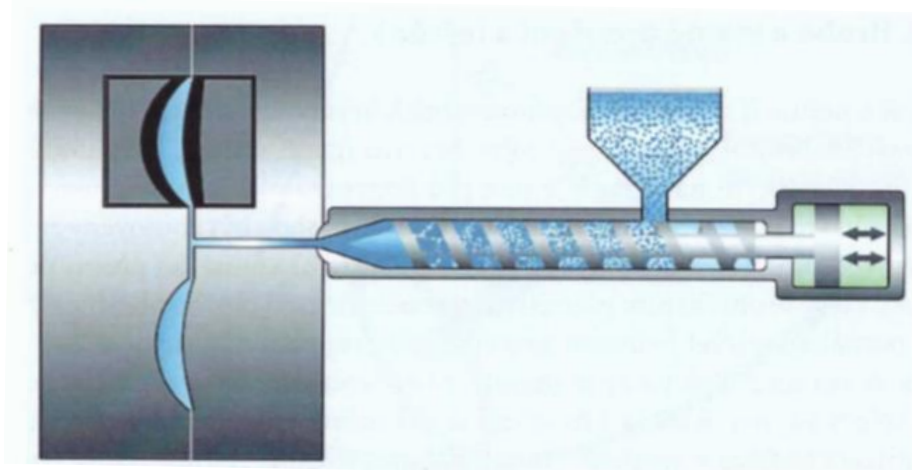
Litím se může vyrábět polotovar nebo již finální čočka. Výroba začíná přípravou monomeru, který prochází filtrací, odplyněním a následně jsou do něj přidány katalyzátory. Monomer se poté odlévá do skleněných či kovových forem spojených speciálním plastovým kroužkem. Polymerizace je iniciována tepelně, u materiálů s vyšším indexem lomu UV zářením (Obr. 4.1). Čočka se zároveň vytvrdí a materiál se kontrahuje o 14 %, proto musí být těsnění flexibilní. [24]



Obrázek 4.1 – Výroba čoček litím [24]

### 4.1.2 Lisování (Molding)

Stejně jako u lití, i u lisování se dá vyrobit polotovar i finální čočka. Lisování se týká čoček z termoplastů, tzn. z polykarbonátů. Za zvýšené teploty a tlaku je polykarbonát vtlačován do formy. Po vychladnutí se výrobek vyjme z formy a je dále zpracován (Obr. 4.2.). [24]



Obrázek 4.2 – Výroba čoček lisováním [24]

### 4.1.3 Třískové obrábění (Surfacing)

Výroba pomocí třískového obrábění se používá při výrobě čoček ze semifinišů a je nejčastější metodou výroby. Čočka projde třemi fázemi – frézování, broušení a leštění. Existují tři postupy třískového obrábění.

#### 4.1.3.1 Hrubé a jemné broušení, leštění

Nejstarší z metod výroby je hrubé a jemné broušení a leštění. Prvním krokem je tzv. hrubování – hrubé broušení. K tomu se používá volné brusivo např. smírek nebo korund. Nástroje na hrubování jsou brusné hříby pro konkávní plochu a brusné misky pro konvexní plochu. Při výrobě sférické plochy se upevněný polotovar otáčí kolem své osy po brusné ploše s drážkami, ve kterých se udržuje brusná suspenze. Torická plocha astigmatických čoček se vyrábí kývavým pohybem bez otáčení polotovaru. Následuje jemné broušení, tzv. lapování a leštění polyuretanovou podložkou a lešticí suspenzí. [24]

#### 4.1.3.2 Generalizované frézování, broušení a leštění

Pro tento způsob se používá tzv. menisková fréza s diamantovými řeznými destičkami. Umožňuje vyrobit jak sférické, tak torické povrchy. Frézy generují

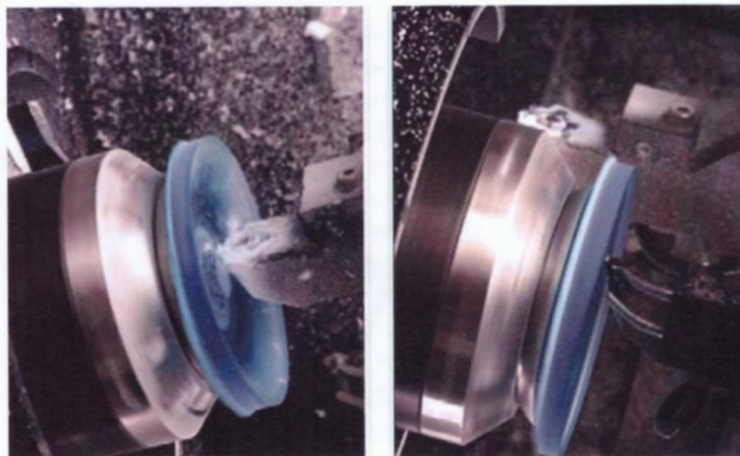
eliptickou chybu kompenzovanou následným broušením. Broušení a leštění probíhá tzv. šalami, na které se lepí brusné a leštící podložky. [24]

#### 4.1.3.3 Soustružení hrubé a jemné, broušení a leštění

Soustružení se provádí za pomoci speciálního soustruhu s diamantovým nožem, který na rozdíl od generalizovaného frézování nevytváří eliptickou chybu. Pro jemné a hrubé soustružení se používají různé typy soustruhu. Výsledné čočky se leští polyuretanovými houbičkami nebo gumovými nástroji. [24]

## 4.2 Free-form technologie

Free-form metoda výroby je moderní a velice přesná. Díky ní je možné vyrábět sférické, asférické, atorické, progresivní i asymetrické plochy. Výroba začíná vložením dat ohledně požadované čočky do softwaru. Oproti konvenční technologii je možné u designu čočky zohlednit mnohem více individuálních parametrů zákazníka včetně vertex distance, inklinace brýlové obruby a pantoskopického úhlu. Software vypočítá povrch čočky a odešle data obvykle do CNC stroje. Ten pomocí jednoho, či více diamantových hrotů vysoustruží povrch do požadovaného tvaru. Pokud se jedná o technologii cut-to-polish, vynechá se krok broušení speciálním hrotovým nástrojem SPC (single point cutter), kterým se obvykle dobrušuje povrch čočky do požadované hladkosti (Obr.4.3). Následuje leštění speciálními gumovými houbičkami (Obr.4.4). [24] [25]



Obrázek 4.3 – Free-form broušení pomocí SPC [24]



Obrázek 4.4 – Gumový nástroj pro broušení u free-form technologie [24]

### 4.3 Porovnání konvenční a free-form technologie

Hlavní výhodou Free-form technologie je její vysoká přesnost, která má vliv na kvalitu zobrazení. Progresivní čočky vyrobené technologií free-form poskytují nositelům širší zorné pole než konvenční čočky. Důvodem je umístění progresivní plochy na zadní ploše čočky. Free-form umožňuje i zohlednění individuálních parametrů klienta. Nositelé free-form progresivních čoček pociťují menší distorzi obrazu ve čtecí zóně a širší zorné pole. Protože se každá čočka musí vyrábět jednotlivě, výroba je časově náročnější, s vyššími náklady na nástroje a na obsluhu. Nemusí se ovšem používat nástroje zvané „šaly“. Jsou nahrazeny SPC hroty a brusnými gumovými nástroji. Přehledné porovnání lze vidět v tabulce 2. [24] [26]

Tabulka 2 - Porovnání konvenční a Free-form technologie [24]

	<b>Klasická (konvenční) výroba</b>	<b>Free-form technologie</b>
	třístupňové obrábění	převážně dvoustupňové obrábění
hrubý odběr	frézování, soustružení	soustružení
střední odběr	broušení nebo lapování	
jemný odběr	leštění pomocí šaly	Leštění pomocí leštících kotoučků
základ plochy	tvarový nástroj (šala)	plocha budoucí čočky

## 5 LensWare

LensWare je software pro firmy vyrábějící brýlové čočky, využívaný firmou Omega-optix. Software slouží jak k mapování objednávek a pohybu skladových zásob ve firmě, tak k modelování ploch brýlových čoček.

### 5.1 Vytvoření objednávky

Každý zákazník, tzn. každá oční optika objedávající čočky od Omega-optix, má přidělené své jedinečné zákaznické číslo. Oční optika má možnost vytvořit novou objednávku více způsoby. Objednat brýlové čočky lze telefonicky, e-mailem, přes objednávkový systém po přihlášení na webové stránce nebo zasláním vyplněného zakázkového listu společně s brýlovou obrubou, do které se čočky objednávají.

U všech způsobů je potřeba zadat následující údaje a parametry – zákaznické číslo optiky a její název, datum, jméno klienta, požadované dioptrie pro sféru, případně cylindr, osu, prizma, zákaznickou pupilární distanci a požadovanou výšku optického středu čočky. Při objednávce progresivních čoček, případně individualizovaných čoček, lze zadat i pantoskopický úhel, zakřivení obruby (tzv. wrap) a vrcholovou vzdálenost. Dále je u všech objednávek nutné definovat typ čočky, její index lomu a druh povrchové úpravy. Požadovaný průměr v případě, že si optika čočku zabrousí sama. Pokud optika požaduje čočky zabrousit, je třeba zaslat objednávku i s obrubou. Jestliže má optika k dispozici tzv. tracer (Obr. 5.1) – přístroj, který je schopen oskenovat tvar čočky nebo obruby, může zákazník vytvořit objednávku v online objednávkovém systému.

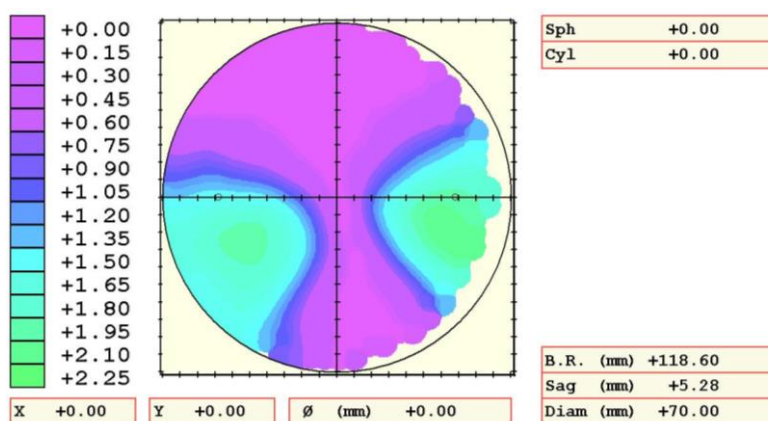


Obrázek 5.1 – Tracer NIDEK LT980 [29]

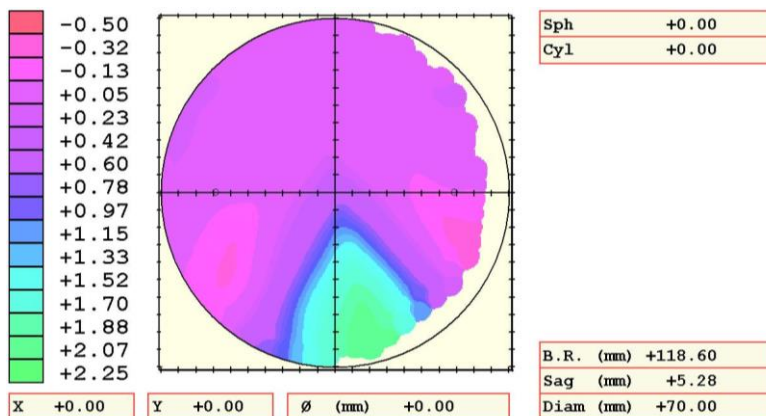
Poslední potřebný údaj je materiál a typ obruby, do které se čočka bude brousit. Po zadání objednávky zákazníkem nebo zaměstnancem firmy, se zakázka objeví v systému LensWare. Každé zakázce je přiřazeno unikátní číslo.

## 5.2 Výpočet povrchu progresivních čoček

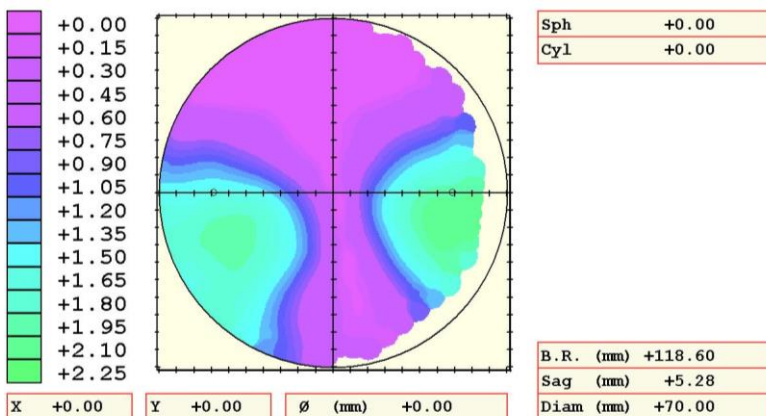
Pokud si zákazník objedná čočku, která není skladová, tzn. vyrobena předem, systém vybere tzv. semifiniš (blank) s požadovaným designem podle objednaného typu čočky, indexu lomu a délky koridoru. Na výběr je ze tří možností, Regular – dlouhý koridor, Short – krátký koridor a Extra short – velmi krátký koridor. Blank je polotovar, který má přední či zadní plochu již zabroušenou a podle požadavků zákazníka LensWare vypočítá, jak je potřeba vybrousit druhou plochu. Stěžejní jsou dioptrie, hodnota adice a pokud zákazník žádá, individuální parametry klienta. Dále pak báze vybraného blanku. Systém vyhodnotí nejvhodnější bázi pro určené dioptrie. V programu proběhne kaskáda matematických výpočtů a systém navrhne progresivní plochu (Obr. 5.2, 5.3, 5.4, 5.5). Ve výrobní hale se vytiskne zakázka na výrobní list obsahující veškeré informace o objednávce a čárový kód. V něm jsou zakódované i souřadnice pro CNC stroj.



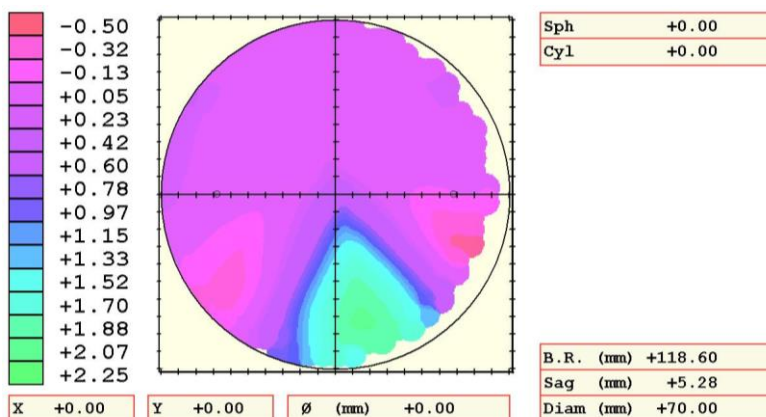
Obrázek 5.2 - Astigmatická mapa čočky Exact DS Hard 1,5, koridor Regular, adice 2,0



Obrázek 5.3 - Sférická mapa čočky Exact DS Hard 1,5,  
koridor Regular, adice 2,0



Obrázek 5.4 - Astigmatická mapa čočky Exact DS Soft 1,5,  
koridor Regular, adice 2,0



Obrázek 5.5 - Sférická mapa čočky Exact DS Soft 1,5,  
koridor Regular, adice 2,0

### **5.3 Broušení technologií Free-form**

Ve výrobním listu s čárovým kódem jsou uloženy veškeré informace o souřadnicích pro CNC stroj. Jak je již popsáno v kapitole 4.2 Free-form technologie, CNC stroj pomocí diamantových nástrojů přesně obrobí povrch čočky do požadovaného tvaru. Následně se odbrousí další 0,3 mm materiálu SPC nástrojem pro hladší povrch. Posledním krokem je leštění, při kterém se odebere další 0,03 mm materiálu.



## 6 Experimentální část

Experimentální část se zabývá porovnáváním dat z výrobního programu čoček LensWare od firmy Omega-optix, kterému je věnována samostatná kapitola 5 LensWare. Data se týkají individuálních parametrů progresivních čoček. Pozorována byla změna korekce a adice při různé inklinaci, wrapu a vertex distance. Ve druhé části jsou porovnány teoretické dioptrické mapy progresivních čoček s tvrdým a měkkým designem s mapami z fokometru Visionix na akademické půdě FBMI ČVUT.

### 6.1 Úvod experimentální části

V praxi v očních optikách se poměrně často můžeme setkat s klienty, kteří mají problém s adaptací na progresivní korekci. Důvodem může být chyba ve vyšetření zraku (špatné stanovení sféry, cylindru nebo adice, chybné nastavení zkušební obruby, lidský faktor), v klientovi (např. únava při vyšetření, vliv farmak, nesoustředěnost) či v podmínkách vyšetření (světelné podmínky, hluk). Výzkum zjistí, zda se drobná odchylka v korekci dá upravit pomocí změny individuálních parametrů brýlové obruby a tím by klientům poskytla snadnější adaptaci na progresivní korekci. Dále se zhodnotí přesnost výroby progresivních brýlových čoček díky porovnání teoretické a reálné mapy čočky.

### 6.2 Metodika

Experimentální část byla provedena ve firmě Omega-optix, která poskytla data z programu LensWare i čočky pro měření ve druhé části. Pro první část byly použity čočky Exact DS Hard Individual, index lomu 1,5, koridor Regular tzn. výška koridoru je 18 mm. Ve druhé části jsou použity k měření čočky Exact DS Hard 1,5 a Exact DS Soft 1,5, taktéž s koridorem Regular.

První měření proběhlo pro čočky pěti různých dioptrií (-6,0 D; -3,0 D; plan; +3,0 D; +6,0 D) a pro tři různé adice (1,0; 2,0; 3,0). Ve druhé části jsou změřeny čočky -3,0 D s adicemi 1,5 a 3,0.

Ve druhé části jsou čočky měřeny ve fokometru Visionix na akademické půdě FBMI ČVUT.

### 6.3 Cíle

Cílem této práce je zhodnocení vlivů třech individuálních parametrů progresivních čoček na změnu korekce v zóně na dálku a v zóně do blízka. Dále určení zákonitostí změny těchto parametrů, které lze využít v praxi. Dalším cílem je zjistit přesnost výroby měkkého a tvrdého designu pomocí grafické mapy z programu LensWare a výsledné čočky změřené ve fokometru Visionix. Mapy budou porovnány a vyhodnotí se rozdíl mezi jednotlivými designy.

### 6.4 Hypotézy

Předpoklad pro změnu zobrazení progresivní brýlovou čočkou je při změně náklonu čočky o  $10^\circ$  v inklinaci či wrapu nebo při změně vertex distance o 5 mm u dioptrií vyšších než 3,0.

Drobné nedokorekce zraku u progresivní korekce lze ovlivnit úpravou obruby tzn. změnou individuálních parametrů.

### 6.5 Výsledky

Tato kapitola se věnuje praktickému výzkumu, kdy se při využití změny údajů v programu LensWare generovaly údaje o přepočtu progresivní plochy pro výrobu progresivní čočky. Zjišťované údaje byly změna pantoskopického úhlu neboli inklinace, vzdálenost brýlové čočky od oka neboli vertex distance a prohnutí obruby tzv. wrap na hodnotu korekce na dálku, hodnoty adice a změny cylindru.

#### 6.5.1 Inklinace

Pantoskopický úhel je sklon obruby vzhledem k primárnímu směru pohledu, jak již bylo popsáno v kapitole 3.4.1 Inklinace. [27] Změna korekce v zóně na dálku a změna adice progresivní čočky byla pozorována pro 5 hodnot pantoskopického úhlu ( $0^\circ$ ;  $5^\circ$ ;  $10^\circ$ ;  $15^\circ$ ;  $20^\circ$ ), pro 5 sférických hodnot čoček (-6,0 D; -3,0 D; plan; +3,0 D; +6,0 D)

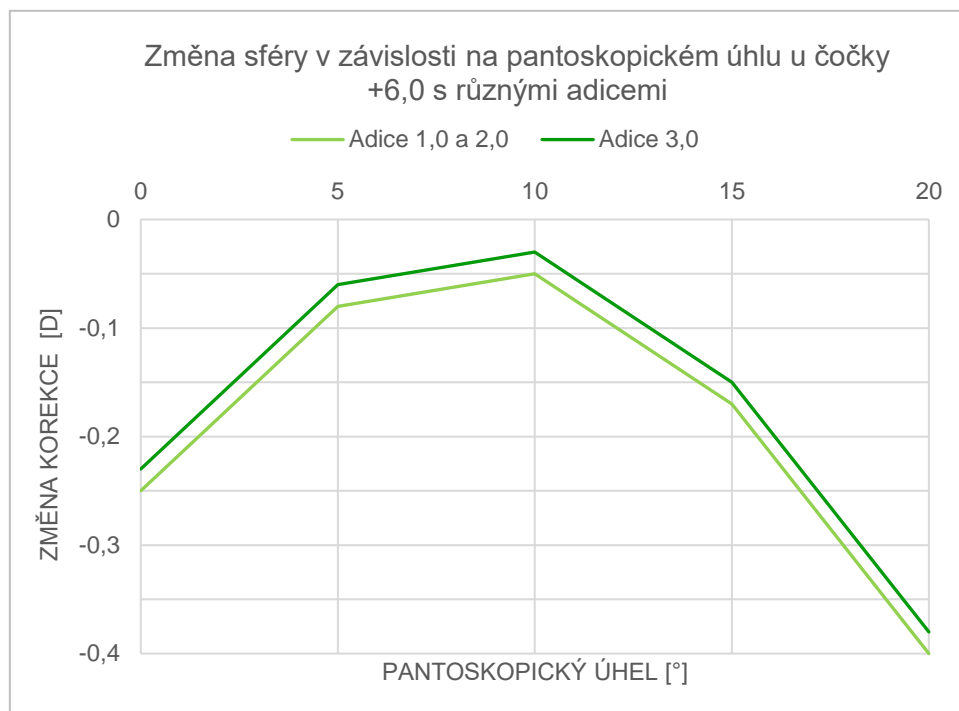
a pro tři různé adice (1,0; 2,0; 3,0). Kompletní naměřené hodnoty lze pozorovat v tabulkách v příloze A.

Tabulka 3 – Změna korekce a adice při různé inklinaci

		Panto 0°		Panto 5°		Panto 10°		Panto 15°		Panto 20°	
Sph [D]	Add [D]	$\Delta$ Sph	$\Delta$ Add	$\Delta$ Sph	$\Delta$ Add	$\Delta$ Sph	$\Delta$ Add	$\Delta$ Sph	$\Delta$ Add	$\Delta$ Sph	$\Delta$ Add
-6,0	1,0	0,07	-0,03	0,04	-0,02	0,03	0,00	0,05	-0,01	0,11	-0,02
-6,0	2,0	0,07	-0,02	0,04	-0,01	0,03	0,01	0,05	-0,01	0,11	-0,02
-6,0	3,0	0,07	-0,01	0,04	0,00	0,03	0,01	0,05	0,00	0,11	-0,01
-3,0	1,0	0,04	-0,01	0,02	-0,01	0,02	0,00	0,03	-0,01	0,05	0,00
-3,0	2,0	0,04	0,01	0,02	0,00	0,02	-0,01	0,03	-0,01	0,06	0,00
-3,0	3,0	0,04	0,02	0,02	-0,02	0,02	-0,04	0,02	-0,01	0,05	0,01
0,0	1,0	0,00	-0,03	0,00	-0,03	0,00	-0,03	0,00	-0,03	0,00	-0,03
0,0	2,0	0,00	-0,06	0,00	-0,06	0,00	-0,06	0,00	-0,06	0,00	-0,06
0,0	3,0	0,00	-0,12	0,00	-0,12	0,00	-0,12	0,00	-0,12	0,00	-0,12
3,0	1,0	-0,12	-0,10	-0,05	-0,10	-0,03	-0,10	-0,08	-0,09	-0,20	-0,07
3,0	2,0	-0,12	-0,13	-0,05	-0,13	-0,02	-0,14	-0,08	-0,12	-0,20	-0,10
3,0	3,0	-0,11	-0,16	-0,04	-0,16	-0,01	-0,17	-0,07	-0,15	-0,18	-0,14
6,0	1,0	-0,25	-0,11	-0,08	-0,12	-0,05	-0,11	-0,17	-0,08	-0,40	-0,07
6,0	2,0	-0,25	-0,17	-0,08	-0,16	-0,05	-0,15	-0,17	-0,12	-0,40	-0,12
6,0	3,0	-0,23	-0,18	-0,06	-0,18	-0,03	-0,17	-0,15	-0,14	-0,38	-0,13

V tabulce 3 můžeme vidět vypočtenou změnu korekce v zóně na dálku a adice pro jednotlivé progresivní čočky. Při rovnání obruby z inklinace 10° na 0° se sníží dioptrický účinek o 0,20 D, aniž by se změnila adice. To však platí pouze u sférické korekce +6,0 D. U nižších a minusových dioptrií je změna sférické korekce zanedbatelná.

Jak vyplývá z grafu 1, pokud u vysoké hypermetropie došlo k překorigování a je třeba snížit dioptrickou hodnotu o -0,2 D, lze nastavit pantoskopický úhel z polohy 10° na 0°. Pokud je třeba snížit až o -0,4 D, lze nastavit pantoskopický úhel z polohy 10° na 20°.



Graf 1 – Změna sféry v závislosti na pantoskopickém úhlu u čočky +6,0 D s různými adicemi

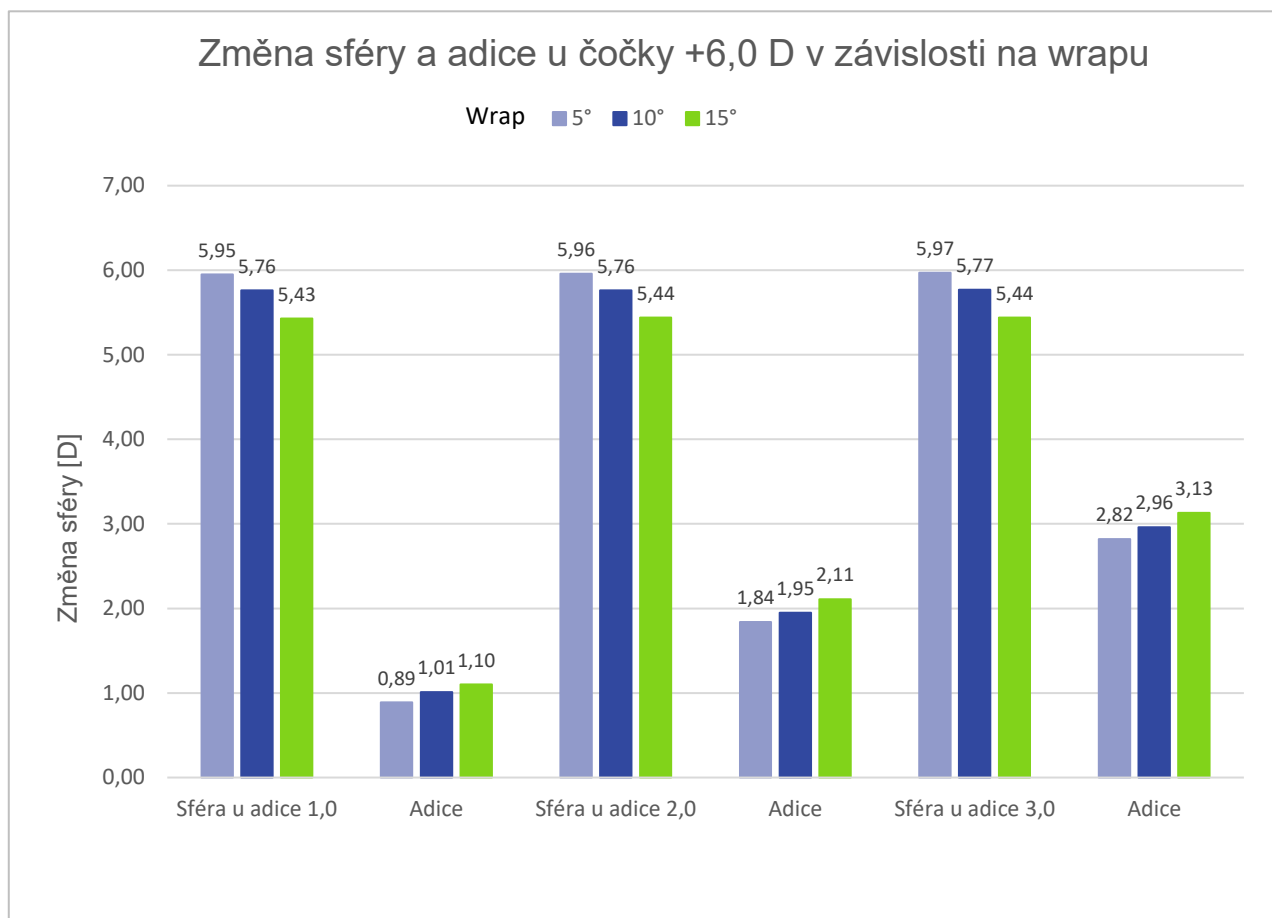
### 6.5.2 Wrap

Prohnutí obruby v nosníku též nazývaný jako wrap je udáván ve stupních. Více je popsán v kapitole 3.4.2 Prohnutí obruby. Změna korekce v zóně na dálku a změna adice progresivní čočky byla pozorována pro 3 hodnoty wrapu (5°; 10°; 15°), pro 5 sférických hodnot čoček (-6,0 D; -3,0 D; plan; +3,0 D; +6,0 D) a pro tři různé adice (1,0; 2,0; 3,0). Kompletní naměřené hodnoty lze pozorovat v příloze v tabulkách v příloze A.

Z tabulky 4 vyplývá, že při nedokorekci do dálky u plusových čoček, konkrétně +6,0 D, lze zvýšit účinek sférické korekce tím, že se narovná brýlový střed o 10° a tím se zvýší korekce o 0,50 D za cenu úbytku adice o 0,21 D u adice 1,0, o 0,27 D u adice 2,0 a o 0,3 D u adice 3,0. Narovnáním brýlového středu o 5° se korekce zvýší o 0,33 D. Výsledky jsou vyneseny v grafu 2.

To stejné lze udělat s čočkou +3,0 D, kde se narovnáním brýlového středu o 10° zvýší dioptrický účinek o 0,25 D.

U ostatních dioptrií nelze pozorovat klinicky významné změny sféry ani adice.



Graf 2 – Změna sféry a adice u čočky +6,0 D v závislosti na wrapu

Tabulka 4 - Změna korekce a adice při různém wrapu

		Wrap 5°		Wrap 10°		Wrap 15°	
Sph [D]	Add [D]	Δ Sféry	Δ Adice	Δ Sféry	Δ Adice	Δ Sféry	Δ Adice
-6,0	1,0	0,03	0	0,08	0,03	0,16	0,03
-6,0	2,0	0,03	0,01	0,08	0,02	0,16	0,02
-6,0	3,0	0,03	0,01	0,08	0,01	0,16	0,01
-3,0	1,0	0,02	0	0,04	0,01	0,08	0,01
-3,0	2,0	0,02	-0,01	0,05	-0,01	0,09	-0,01
-3,0	3,0	0,02	-0,04	0,05	-0,04	0,09	-0,04
0,0	1,0	0	-0,03	0	-0,03	0	-0,03
0,0	2,0	0	-0,06	0	-0,06	0	-0,06
0,0	3,0	0	-0,12	0	-0,12	0	-0,12
3,0	1,0	-0,02	-0,11	-0,11	-0,05	-0,26	0,04
3,0	2,0	-0,02	-0,15	-0,11	-0,08	-0,26	0,01
3,0	3,0	-0,02	-0,16	-0,1	-0,11	-0,26	0
6,0	1,0	-0,05	-0,11	-0,24	0,01	-0,57	0,1
6,0	2,0	-0,04	-0,16	-0,24	-0,05	-0,56	0,11
6,0	3,0	-0,03	-0,18	-0,23	-0,04	-0,56	0,13

### 6.5.3 Vertex distance

Vrcholová vzdálenost nebo také vertex distance je blíže popsána v kapitole 3.4.3 Vertex distance. Změna vrcholové lámavosti v zóně na dálku a změna adice progresivní čočky byla pozorována pro 3 hodnoty VD (7 mm; 12 mm; 15 mm), pro 5 sférických hodnot čoček (-6,0 D; -3,0 D; plan; +3,0 D; +6,0 D) a pro tři různé adice (1,0; 2,0; 3,0). Kompletní naměřené hodnoty lze pozorovat v příloze v tabulkách v příloze A.

Podle tabulky 5 při přiblížení brýlí o 5 mm z vertex distanc 12 mm na 7 mm se zvýší hodnota korekce na dálku o 0,2 D. Výchozí dioptrie jsou -6,0 D a adice hodnotu sférické korekce do dálky nemění.

Při přiblížení brýlí o 5 mm z vertex distanc z 12 mm na 7 mm se zvýší účinnost adice o 0,14 pokud byla původní adice 3,0 a výchozí dioptrie jsou +6,0 D. U stejné dioptrie a adice 1,0 a 2,0 se účinek zvýší o 0,1 D.

Při vyšší adici nemají zákazníci problém, protože si svojí danou korekci najdou v místě nad vztažným dílem do blízka. Pokud však změříme menší adici, než zákazník potřebuje, můžeme drobnou nedokorekci spravit přiblížením brýlí směrem k oku.

Tabulka 5 – Změna korekce a adice při různé vertex distance.

Sph [D]	Add [D]	VD 7 mm		VD 12 mm		VD 17 mm	
		$\Delta$ Sféry	$\Delta$ Adice	$\Delta$ Sféry	$\Delta$ Adice	$\Delta$ Sféry	$\Delta$ Adice
-6,0	1,0	0,31	-0,1	0,12	-0,03	-0,08	0,02
-6,0	2,0	0,32	-0,08	0,13	-0,03	-0,07	0
-6,0	3,0	0,32	-0,05	0,13	-0,01	-0,08	0,01
-3,0	1,0	0,1	-0,04	0,05	-0,02	-0,01	0
-3,0	2,0	0,1	0	0,05	-0,01	-0,01	-0,01
-3,0	3,0	0,1	-0,03	0,05	-0,04	-0,01	-0,03
0,0	1,0	0	-0,05	0	-0,03	0	-0,02
0,0	2,0	0	-0,12	0	-0,08	0	-0,05
0,0	3,0	0	-0,2	0	-0,14	0	-0,1
3,0	1,0	0	-0,2	-0,01	-0,13	-0,04	-0,09
3,0	2,0	0	-0,25	-0,01	-0,17	-0,04	-0,12
3,0	3,0	0,01	-0,29	0	-0,2	-0,04	-0,14
6,0	1,0	0,16	-0,25	0,03	-0,15	-0,14	-0,08
6,0	2,0	0,16	-0,29	0,03	-0,19	-0,13	-0,15
6,0	3,0	0,19	-0,36	0,05	-0,22	-0,12	-0,14

### 6.5.4 Porovnání teoretické a reálné mapy čočky

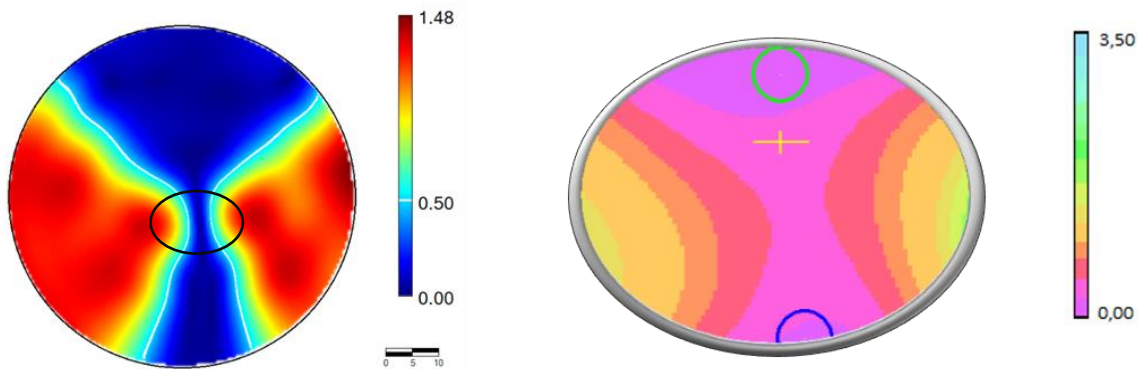
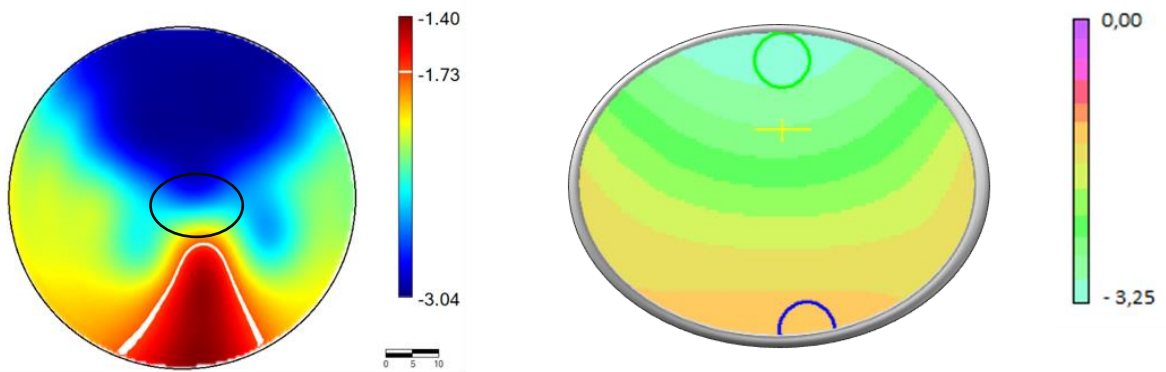
Veškeré teoretické vědomosti je vždy potřeba ověřit v praxi. Proto se tato kapitola věnuje porovnání teoretické mapy vytvořené programem LensWare a skutečné plochy brýlové čočky analyzované přístrojem Visionix na akademické půdě ČVUT FBMI.

Porovnává se vždy mapa sférická a mapa okrajového astigmatismu. Porovnávanými čočkami jsou Exact DS Hard a Exact DS Soft s koridorem Regular (18 mm), index lomu 1,5 v dioptriích -3 s adicemi 1,5 a 3,0.

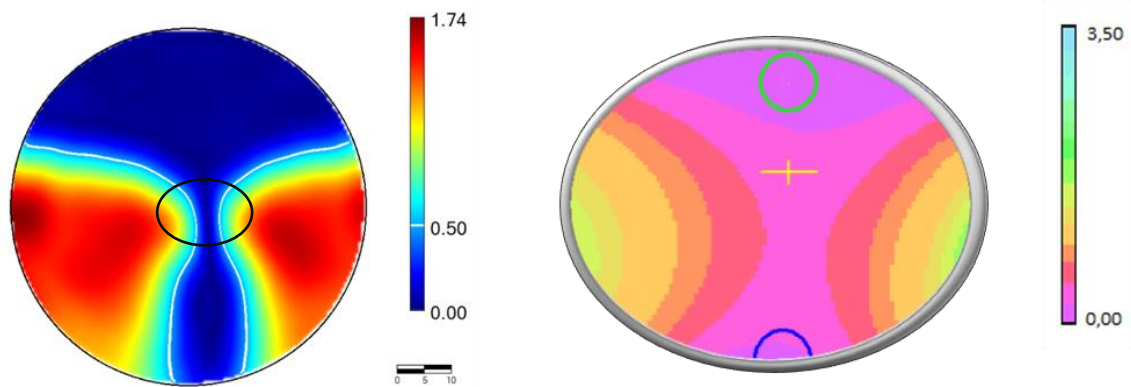
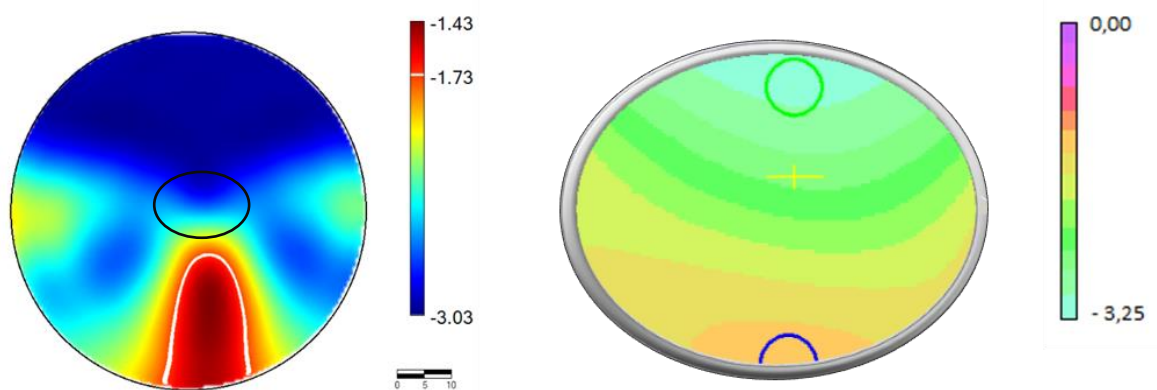
Na obrázku 6.1 jsou v horní části sférické mapy a v dolní části mapy astigmatismu čočky Exact DS Soft s adicí 1,5. Mapy z fokometru Visionix zobrazují pouze centrální část čočky, pro přehlednost je zobrazená oblast na mapě z LensWare vyznačena. Pokud porovnáme teoretickou a reálnou mapu sférického účinku, vidíme, že mapa je odpovídající. Stejně tak u map v dolní části obrázku znázorňující astigmatismus.

Pokud tyto mapy měkkého designu čočky porovnáme s obrázkem 6.2, kde vidíme čočku Exact DS Hard, tedy s tvrdým designem, můžeme pozorovat tři hlavní rozdíly. Šířka zóny na dálku a na blízko je vyšší u měkkého designu. Dále lze říct, že koridor u měkkého designu je pozvolnější, podle tyrkysové barvy značící přibližně polovinu adice. Pak si lze všimnout rozložení okrajového astigmatismu, kde u měkkého designu je rovnoměrnější.

Na obrázku 6.3 a 6.4 jsou vyobrazeny mapy progresivních čoček Exact DS Soft a Hard o dioptrii -3, obdobně jako u předchozích obrázků, ale s adicí 3,0. Platí zde stejné rozdíly mezi měkkým a tvrdým designem, ovšem oproti adici 1,5 je zde znatelně užší koridor. Zúžila se i zóna do blízka u obou designů. Se strmějším nárůstem adice se zvýšila i strmost nárůstu astigmatismu na okrajích čočky.

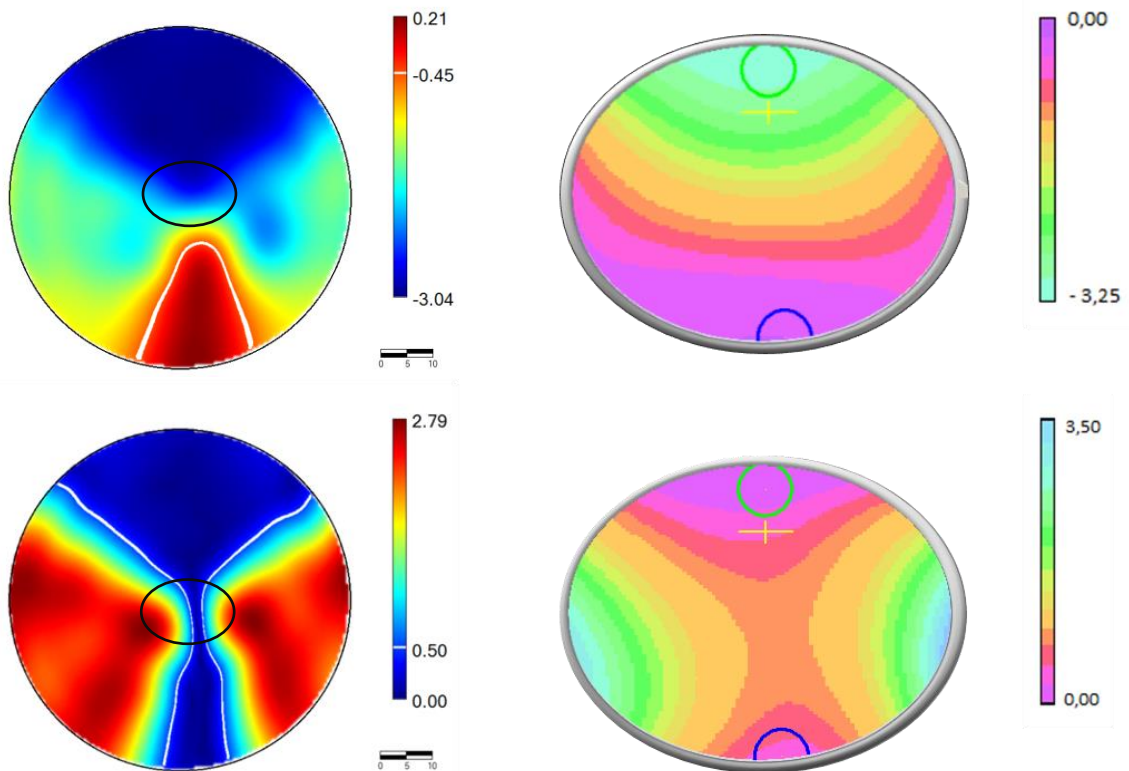


Obrázek 6.1 – Exact DS Soft R 1,5 -3,0 D add 1,5, vlevo teoretické mapy z LensWare, vpravo reálné mapy z Visionix

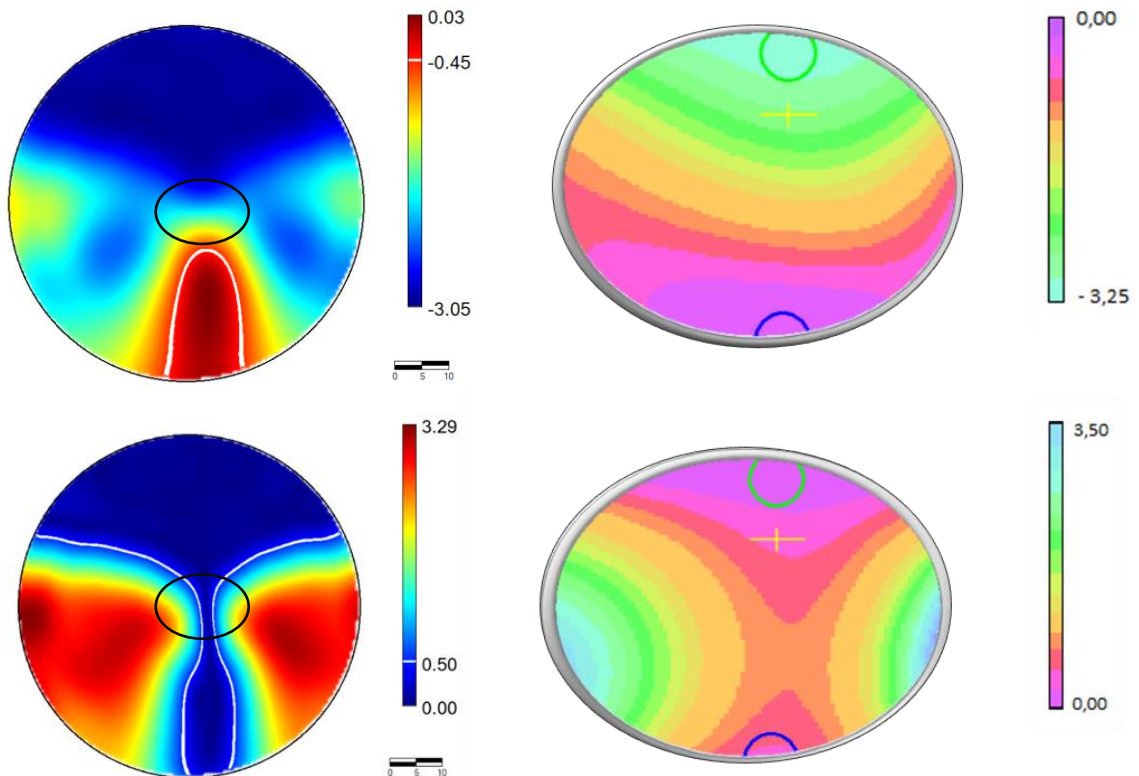


Obrázek 6.2 – Exact DS Hard R 1,5 -3,0 D add 1,5, vlevo teoretické mapy z LensWare, vpravo reálné mapy z Visionix





Obrázek 6.3 – Exact DS Soft R 1,5 -3,0 D add 3,0, vlevo teoretické mapy z Lensware, vpravo reálné mapy z Visionix



Obrázek 6.4 - Exact DS Hard R 1,5 -3,0 D add 3,0, vlevo teoretické mapy z LensWare, vpravo reálné mapy z Visionix

## 7 Diskuse

Cílem práce bylo určení zákonitostí při změně individuálních parametrů progresivní čočky. Z výsledků vyplývá, že u dioptrií od -5,0 D do + 2,0 D vliv změny jednotlivých parametrů není klinicky významný.

U progresivní čočky +3,0 D lze narovnáním brýlového středu o 10° (snížením wrapu o 10°) zvýšit korekci do dálky o 0,25 D u libovolné adice.

U dioptrie -6,0 s libovolnou adicí lze korekci snížit na -5,8 D přiblížením brýlí z vertex distance 12 mm na 7 mm.

Největší vliv změny individuálních parametrů byl zjištěn u čoček +6,0 D. Přehledně jsou naměřená data shrnuta v tabulce 6.

Tabulka 6 – Vliv změny individuálních parametrů na progresivní čočku +6,0 D

	Sféra do dálky	Adice
Změna inklinace 10° na 20°	-0,4 D	Beze změny
Změna inklinace 10° na 0°	-0,2 D	Beze změny
Změna wrapu o -5°	+0,3 D	Beze změny
Změna wrapu o -10°	+0,5 D	-0,3 D u adice 2,0 a 3,0 -0,2 D u adice 1,0
VD z 12 mm na 7 mm	Beze změny	+0,1 D u adice 1,0 a 2,0 +0,14 D u adice 3,0

Výsledky první experimentální části jsou překvapivé, vliv individuálních parametrů byl očekáván vyšší. Obě hypotézy však byly potvrzeny. Aby byl výzkum proveden plně, bylo by nutné zjistit změnu hodnot i pro progresivní čočky s cylindry pro různé změny vertex distance, pantoskopického úhlu a změnu zakřivení obruby. Zajímavý by mohl být i obdobný experiment pro více designů čoček např. Exact DS Soft Individual a také pro vyšší indexy lomu 1,6, 1,67 a 1,74.

Bohužel, kvůli nouzovému stavu v České republice vyvolanému nemocí Covid-19 nešlo z důvodu bezpečnostních opatření získat všechna potřebná data.

U druhé experimentální části bylo cílem porovnat mapy generované v systému LensWare před samotnou výrobou čočky a mapy již vyrobené čočky z fokometru Visionix.

Visionix umožňuje měřit pouze centrální, ovšem nejdůležitější, část progresivní čočky v oblasti progresivního kanálu. Oproti minulosti, kdy se často stávalo, že finální čočka neodpovídala návrhu, lze říct, že nynější výroba je velice přesná. Mapy jsou identické a díky tomu lze odhadnout chování čočky a zvolit tak nejvhodnější design progresivní čočky pro konkrétního klienta.

## 8 Závěr

Progresivní brýlové čočky jsou nejlepší možností korekce presbyopie. Umožňují vidění na všechny vzdálenosti a oproti ostatním možnostem korekce jsou nejméně invazivní. Cílem dalšího vývoje konstrukce progresivních brýlových čoček je co největší redukce aberací nižších i vyšších řádů, zejména v okrajových částech čočky. V zónách ostrého vidění byly aberace, díky novým designům a inovacím, ve velké míře potlačeny. Tomu přispěla i možnost výroby brýlových čoček pomocí Free-form technologie, která umožnila softwarem modelované nové designy vyrobit s přesností na 0,01 D.

Jedním z takových softwarů je LensWare od firmy Omega-optix. Je mu věnována samostatná kapitola 5 a za jeho pomoci byla provedena experimentální část. Oproti minulosti jsou mapy návrhu a finální vyrobené čočky takřka identické.

Cíle práce byly splněny, vliv individuálních parametrů na chování progresivní čočky byl zjištěn v menší míře, než bylo očekáváno. Největší vliv inklinace, wrapu a vertex distance byl zjištěn u čočky +6,0 D nezávisle na velikosti adice. Porovnání map z LensWare a z Visionix potvrdilo, že Free-form technologie je velice přesným způsobem výroby progresivních čoček na rozdíl od starší konvenční výroby.

Do budoucna by bylo vhodné rozšířit experimentální část práce o vliv individuálních parametrů na progresivní čočky s cylindry korigující astigmatismus, případně i progresivní čočky s korekcí heteroforie prizmaty.

## Seznam použité literatury

- [1] YANG, Zhikuan, Weizhong LAN, Jian GE, Wen LIU, Xiang CHEN, Linxin CHEN a Minbin YU. The effectiveness of progressive addition lenses on the progression of myopia in Chinese children. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 2009, **29**(1), 41-48. DOI: 10.1111/j.1475-1313.2008.00608.x. ISSN 02755408. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1475-1313.2008.00608.x>
- [2] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-802-4739-922.
- [3] AUTRATA, Rudolf a Jana VANČUROVÁ. *Nauka o zraku*. 1. vydání. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-701-3362-7.
- [4] HEISSIGEROVÁ, Jarmila. *Oftalmologie: pro pregraduální i postgraduální přípravu*. Praha: Maxdorf, 2018. Jessenius. ISBN 978-807-3455-804.
- [5] ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. Třetí přepracované. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, Brno, 2004. ISBN 80-7013-402-X.
- [6] KRAUS, Hanuš. *Kompendium očního lékařství*. Vyd. 1. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-079-1.
- [7] BENJAMIN, William. *Borish's clinical refraction*. 2nd edition. Philadelphia: Elsevier Inc., 2006. ISBN 978-0-7506-7524-6.
- [8] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8.
- [9] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Druhé, přepracované vydání. Praha: Galén, 2017. ISBN 978-80-7492-316-6.
- [10] POLÁŠEK, Jaroslav a J. BALÍK. *Technický sborník oční optiky*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1975.
- [11] PETROVÁ, Sylvie, Zdeňka MAŠKOVÁ a Tomáš JUREČKA. *Základy aplikace kontaktních čoček*. Vyd. 2., přeprac. a dopl. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně, 2008. ISBN 978-807-0134-702.
- [12] HROMÁDKOVÁ, Lada. *Šilhání*. Vyd. 2., dopl. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1995. ISBN 80-701-3207-8.

- [13] VLKOVÁ, Eva, Šárka PITROVÁ a František VLK. *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2008. ISBN 978-80-239-8906-9.
- [14] MEISTER, Darryl a Scott FISHER. Progress in the spectacle correction of presbyopia. Part 1: Design and development of progressive lenses. *Clinical and Experimental Optometry* [online]. 2008, **91**(3), 240-250 [cit. 2019-11-05]. DOI: 10.1111/j.1444-0938.2007.00245.x. ISSN 0816-4622. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1444-0938.2007.00245.x>
- [15] ESSILOR. *Progresivní čočky*. Varilux University, 2007. Listy očních optiků.
- [16] MEISTER, Darryl a James SHEEDY. *Introduction to ophthalmic optics*. 3rd ed. San Diego: Carl Zeiss Vision, 2000.
- [17] MEISTER, Darryl. *Optics of Progressive Lenses* [online]. [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: [http://64.50.176.246/cecourse.php?url=progressive\\_lenses/](http://64.50.176.246/cecourse.php?url=progressive_lenses/)
- [18] JALIE, M. *Ophthalmic lenses and dispensing*. 3rd ed. New York: Elsevier/Butterworth Heinemann, 2008. ISBN 978-0-7506-8894-9.
- [19] *Progressive addition lenses - optics, designs and performances* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/sabinapaudel/progressive-addition-lenses-optics-designs-and-performances>
- [20] NAJMAN, Ladislav. *Dílenská praxe očního optika*. Vyd. 2., přeprac. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2010. ISBN 978-80-7013-529-7.
- [21] KHURANA, Ak. *Theory and practice of Optics and Refraction*. 2nd edition. Elsevier Inc., 2008. ISBN 978-81-312-1132-8.
- [22] BAŠTECKÝ, Richard. *Praktická brýlová optika*. Praha: R.H. Optik, 1997.
- [23] The possibilities of wraps. *Eyecare Business* [online]. [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.eyecarebusiness.com/issues/2012/april-2012/lens-tips>
- [24] VESELÝ, Petr, Peter ŠIMOVIČ a Sylvie PETROVÁ. *Konvenční a free-form technologie výroby brýlových čoček*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2014. ISBN 978-807-0135-662.
- [25] FANG, F.Z., X.D. ZHANG, A. WECKENMANN, G.X. ZHANG a C. EVANS. Manufacturing and measurement of freeform optics. *CIRP Annals*. 2013, **62**(2), 823-846. DOI: 10.1016/j.cirp.2013.05.003. ISSN 00078506. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0007850613001935>

- [26] HAN, Susan C., Andrew D. GRAHAM a Meng C. LIN. Clinical Assessment of a Customized Free-Form Progressive Add Lens Spectacle. *Optometry and Vision Science* [online]. 2011, **88**(2), 234-243 [cit. 2020-05-15]. DOI: 10.1097/OPX.0b013e31820846ac. ISSN 1040-5488. Dostupné z: <http://journals.lww.com/00006324-201102000-00009>
- [27] Varilux: Návod a tipy na přizpůsobení progresivních čoček pro odborníky. *Www.essiloracademy.eu* [online]. Essilor Academy [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: [https://www.essiloracademy.eu/pdf\\_server.php?file=/sites/default/files/GAV-czech-2015.pdf](https://www.essiloracademy.eu/pdf_server.php?file=/sites/default/files/GAV-czech-2015.pdf)
- [28] *Accommodative Esotropia* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <http://www.pedseye.com/treatment/accommodative-esotropia/>
- [29] *BOC instruments* [online]. [cit. 2020-01-09]. Dostupné z: <https://www.bocinstruments.com.au/shop/item/nidek-lt-980-satellite-tracer>
- [30] Product overview. *Starvision optical* [online]. [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <http://www.starvisionoptical.ca/products/>

## Seznam symbolů a zkratk

### Seznam symbolů

D – dioptrie [ $m^{-1}$ ]

$\Delta$  – změna hodnoty [ $D$ ]

$\varphi$  – výsledná vrcholová lámavost [ $D$ ]

$\varphi_s$  – vrcholová lámavost čočky [ $D$ ]

$\Delta d$  – změna vertex distance [ $m$ ]

Sph – sféra [ $D$ ]

Add – adice [ $D$ ]

VD - vertex distance [ $mm$ ]

### Seznam zkratk

CNC – computer numerically controlled

SPC – single point cutter

Panto – pantoskopický úhel, inklinace [ $^\circ$ ]

Wrap – prohnutí obruby v nosníku [ $^\circ$ ]

Sphd – sféra do dálky

Cyld – cylindr do dálky

Axd – osa cylindru do dálky

Sphb – sféra do blízka

Cyld – cylindr do blízka

Axb – osa cylindru do blízka



## Seznam obrázků a grafů

Obrázek 2.1 - Schéma akomodace [7] .....	2
Obrázek 2.2 – Akomodativní esotropie před a po korekci [28] .....	5
Obrázek 3.1 - Design progresivní čočky podle Owena Avese [14].....	6
Obrázek 3.2 - Design progresivní čočky Varilux [15].....	7
Obrázek 3.3 - Design progresivní čočky Varilux 2 [15].....	7
Obrázek 3.4 - Vložení oblasti na blízko podle korekce na dálku [15] .....	8
Obrázek 3.5 - Zóny progresivní čočky [17].....	9
Obrázek 3.6 - Rozložení nežádoucího astigmatismu u měkkého designu progresivní čočky [16] .....	10
Obrázek 3.7 – Rozložení nežádoucího astigmatismu u tvrdého designu progresivní čočky [16] .....	11
Obrázek 3.8 – Porovnání mono-design a multi-design čoček s různými hodnotami adice [15].....	12
Obrázek 3.9 – Izo-astigmatická mapa dvou symetrických čoček [7] .....	13
Obrázek 3.10 – Izo-astigmatická mapa dvou asymetrických čoček [7] .....	13
Obrázek 3.11 Pantoskopický, retroskopický a nulový úhel inklinace [16].....	14
Obrázek 3.12 - Prohnutí obruby [16] .....	15
Obrázek 3.13 - Měřicí tabulka pro prohnutí obruby [30] .....	15
Obrázek 4.1 – Výroba čoček litím [24].....	16
Obrázek 4.2 – Výroba čoček lisováním [24] .....	17
Obrázek 4.3 – Free-form broušení pomocí SPC [24] .....	18
Obrázek 4.4 – Gumový nástroj pro broušení u free-form technologie [24] .....	19
Obrázek 5.1 – Tracer NIDEK LT980 [29] .....	20
Obrázek 5.2 - Astigmatická mapa čočky Exact DS Hard 1,5, koridor Regular, adice 2,0 .....	21
Obrázek 5.3 - Sférická mapa čočky Exact DS Hard 1,5, koridor Regular, adice 2,0 .....	22
Obrázek 5.4 - Astigmatická mapa čočky Exact DS Soft 1,5, koridor Regular, adice 2,0 .....	22
Obrázek 5.5 - Sférická mapa čočky Exact DS Soft 1,5, koridor Regular, adice 2,0.....	22
Obrázek 6.1 – Exact DS Soft R 1,5 -3,0 D add 1,5, vlevo teoretické mapy z LensWare, vpravo reálné mapy z Visionix.....	31
Obrázek 6.2 – Exact DS Hard R 1,5 -3,0 D add 1,5, vlevo teoretické mapy z LensWare, vpravo reálné mapy z Visionix.....	31
Obrázek 6.3 - Exact DS Soft R 1,5 -3,0 D add 3,0, vlevo teoretické mapy z LensWare, vpravo reálné mapy z Visionix.....	32
Obrázek 6.4 – Exact DS Hard R 1,5 -3,0 D add 3,0, vlevo teoretické mapy z Lensware, vpravo reálné mapy z Visionix.....	32
Graf 1 – Změna sféry v závislosti na pantoskopickém úhlu u čočky +6,0 D s různými adicemi .....	27
Graf 2 – Změna sféry a adice u čočky +6,0 D v závislosti na wrapu .....	28

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Porovnání tvrdého a měkkého designu [19] .....	11
Tabulka 2 - Porovnání konvenční a Free-form technologie [24].....	19
Tabulka 3 – Změna korekce a adice při různé inklinaci.....	26
Tabulka 4 - Změna korekce a adice při různém wrapu.....	28
Tabulka 5 – Změna korekce a adice při různé vertex distance.....	29
Tabulka 6 – Vliv změny individuálních parametrů na progresivní čočku +6,0 D.....	33

## Příloha A: Naměřená data

Panto 0°

Sféra	Adice	Sphd	Cyld	Axd	Sphb	Cylb	Axb
-6,0	1,0	-5,93	0,18	28	-4,96	0,24	23
-6,0	2,0	-5,93	0,18	28	-3,95	0,22	24
-6,0	3,0	-5,93	0,18	27	-2,94	0,2	25
-3,0	1,0	-2,96	0,09	27	-1,97	0,11	24
-3,0	2,0	-2,96	0,09	27	-0,95	0,07	30
-3,0	3,0	-2,96	0,09	26	0,06	0,04	57
0,0	1,0	0	0	148	0,97	0,06	102
0,0	2,0	0	0	145	1,94	0,14	102
0,0	3,0	0	0,01	144	2,88	0,24	101
3,0	1,0	2,88	0,09	116	3,78	0,29	105
3,0	2,0	2,88	0,09	116	4,75	0,36	105
3,0	3,0	2,89	0,09	118	5,73	0,41	104
6,0	1,0	5,75	0,19	117	6,64	0,41	108
6,0	2,0	5,75	0,2	117	7,58	0,54	106
6,0	3,0	5,77	0,2	119	8,59	0,55	106

Panto 5°

Sféra	Adice	Sphd	Cyld	Axd	Sphb	Cylb	Axb
-6,0	1,0	-5,96	0,06	49	-4,98	0,1	30
-6,0	2,0	-5,96	0,06	49	-3,97	0,08	31
-6,0	3,0	-5,96	0,06	49	-2,96	0,07	38
-3,0	1,0	-2,98	0,03	46	-1,99	0,04	30
-3,0	2,0	-2,98	0,03	45	-0,98	0,02	68
-3,0	3,0	-2,98	0,02	44	0	0,07	92
0,0	1,0	0	0	148	0,97	0,06	102
0,0	2,0	0	0	145	1,94	0,14	102
0,0	3,0	0	0,01	144	2,88	0,24	101
3,0	1,0	2,95	0,03	127	3,85	0,23	104
3,0	2,0	2,95	0,03	127	4,82	0,31	103
3,0	3,0	2,96	0,03	134	5,8	0,36	103
6,0	1,0	5,92	0,06	133	6,8	0,28	106
6,0	2,0	5,92	0,06	133	7,76	0,38	105
6,0	3,0	5,94	0,07	139	8,76	0,43	105

## Panto 10°

Sféra	Adice	Sphd	Cyld	Axd	Sphb	Cylb	Axb
-6,0	1,0	-5,97	0,04	114	-4,97	0,03	175
-6,0	2,0	-5,97	0,04	115	-3,96	0,03	163
-6,0	3,0	-5,97	0,04	117	-2,96	0,03	134
-3,0	1,0	-2,98	0,02	118	-1,98	0,01	161
-3,0	2,0	-2,98	0,02	121	-0,99	0,04	112
-3,0	3,0	-2,98	0,02	123	-0,02	0,09	105
0,0	1,0	0	0	148	0,97	0,06	102
0,0	2,0	0	0	145	1,94	0,14	102
0,0	3,0	0	0,01	144	2,88	0,24	101
3,0	1,0	2,97	0,01	66	3,87	0,22	100
3,0	2,0	2,98	0,01	72	4,84	0,29	100
3,0	3,0	2,99	0	28	5,82	0,34	101
6,0	1,0	5,95	0,03	30	6,84	0,24	99
6,0	2,0	5,95	0,02	30	7,8	0,33	100
6,0	3,0	5,97	0,03	19	8,8	0,38	100

## Panto 15°

Sféra	Adice	Sphd	Cyld	Axd	Sphb	Cylb	Axb
-6,0	1,0	-5,95	0,13	146	-4,96	0,15	159
-6,0	2,0	-5,95	0,13	146	-3,96	0,14	156
-6,0	3,0	-5,95	0,13	146	-2,95	0,14	151
-3,0	1,0	-2,97	0,06	147	-1,98	0,07	156
-3,0	2,0	-2,97	0,06	147	-0,98	0,07	138
-3,0	3,0	-2,98	0,06	147	0,01	0,1	121
0,0	1,0	0	0	148	0,97	0,06	102
0,0	2,0	0	0	145	1,94	0,14	102
0,0	3,0	0	0,01	144	2,88	0,24	101
3,0	1,0	2,92	0,06	62	3,83	0,23	94
3,0	2,0	2,92	0,06	62	4,8	0,3	96
3,0	3,0	2,93	0,05	59	5,78	0,35	97
6,0	1,0	5,83	0,13	58	6,75	0,28	88
6,0	2,0	5,83	0,13	58	7,71	0,38	92
6,0	3,0	5,85	0,13	56	8,71	0,42	92

## Panto 20°

Sféra	Adice	Sphd	Cyld	Axd	Sphb	Cylb	Axb
-6,0	1,0	-5,89	0,3	158	-4,91	0,34	164
-6,0	2,0	-5,89	0,3	158	-3,91	0,33	162
-6,0	3,0	-5,89	0,31	160	-2,9	0,32	160
-3,0	1,0	-2,95	0,15	158	-1,95	0,16	162
-3,0	2,0	-2,94	0,15	158	-0,94	0,15	154
-3,0	3,0	-2,95	0,15	158	0,06	0,14	142
0,0	1,0	0	0	148	0,97	0,06	102
0,0	2,0	0	0	145	1,94	0,14	102
0,0	3,0	0	0,01	144	2,88	0,24	101
3,0	1,0	2,8	0,15	70	3,73	0,3	88
3,0	2,0	2,8	0,15	70	4,7	0,37	91
3,0	3,0	2,82	0,14	69	5,68	0,41	92
6,0	1,0	5,6	0,3	68	6,53	0,44	83
6,0	2,0	5,6	0,3	69	7,48	0,56	87
6,0	3,0	5,62	0,3	68	8,49	0,56	87

## Wrap 5°

Sféra	Adice	Sphd	Cyld	Axd	Sphb	Cylb	Axb
-6,0	1,0	-5,97	0,03	83	-4,97	0,04	22
-6,0	2,0	-5,97	0,03	85	-3,96	0,03	24
-6,0	3,0	-5,97	0,03	87	-2,96	0,01	60
-3,0	1,0	-2,98	0,01	84	-1,98	0,01	24
-3,0	2,0	-2,98	0,01	88	-0,99	0,03	98
-3,0	3,0	-2,98	0,01	94	-0,02	0,09	100
0,0	1,0	0	0	148	0,97	0,06	102
0,0	2,0	0	0	145	1,94	0,14	102
0,0	3,0	0	0,01	144	2,88	0,24	101
3,0	1,0	2,98	0,01	113	3,87	0,22	101
3,0	2,0	2,98	0,01	117	4,83	0,29	102
3,0	3,0	2,98	0,01	144	5,82	0,34	101
6,0	1,0	5,95	0,02	164	6,84	0,25	103
6,0	2,0	5,96	0,02	160	7,8	0,34	102
6,0	3,0	5,97	0,03	166	8,79	0,39	102

## Wrap 10°

Sféra	Adice	Sphd	Cyld	Axd	Sphb	Cylb	Axb
-6,0	1,0	-5,92	0,17	87	-4,89	0,12	80
-6,0	2,0	-5,92	0,17	88	-3,9	0,13	83
-6,0	3,0	-5,92	0,17	88	-2,91	0,15	86
-3,0	1,0	-2,96	0,08	87	-1,95	0,06	84
-3,0	2,0	-2,95	0,08	88	-0,96	0,1	91
-3,0	3,0	-2,95	0,08	89	0,01	0,15	95
0,0	1,0	0	0	149	0,97	0,06	103
0,0	2,0	0	0	145	1,94	0,14	102
0,0	3,0	0	0,01	144	2,88	0,24	101
3,0	1,0	2,89	0,06	175	3,84	0,16	107
3,0	2,0	2,89	0,06	174	4,81	0,24	105
3,0	3,0	2,9	0,07	174	5,79	0,29	104
6,0	1,0	5,76	0,16	176	6,77	0,14	118
6,0	2,0	5,76	0,16	176	7,71	0,27	109
6,0	3,0	5,77	0,18	176	8,73	0,26	109

## Wrap 15°

Sféra	Adice	Sphd	Cyld	Axd	Sphb	Cylb	Axb
-6,0	1,0	-5,84	0,4	88	-4,81	0,35	85
-6,0	2,0	-5,84	0,4	88	-3,82	0,36	86
-6,0	3,0	-5,84	0,4	89	-2,83	0,38	87
-3,0	1,0	-2,92	0,19	88	-1,91	0,18	87
-3,0	2,0	-2,91	0,19	89	-0,92	0,21	90
-3,0	3,0	-2,91	0,19	89	0,05	0,26	92
0,0	1,0	0	0	149	0,97	0,06	103
0,0	2,0	0	0	146	1,94	0,14	102
0,0	3,0	0	0,01	145	2,88	0,24	101
3,0	1,0	2,74	0,18	178	3,78	0,09	129
3,0	2,0	2,74	0,18	177	4,75	0,15	117
3,0	3,0	2,74	0,19	177	5,74	0,2	113
6,0	1,0	5,43	0,4	178	6,53	0,2	163
6,0	2,0	5,44	0,4	178	7,55	0,17	141
6,0	3,0	5,44	0,42	178	8,57	0,17	143

## VD 7 mm

Sféra	Adice	Sphd	Cyld	Axd	Sphb	Cylb	Axb
-6,0	1,0	-5,69	0,07	32	-4,79	0,28	16
-6,0	2,0	-5,68	0,07	30	-3,76	0,23	18
-6,0	3,0	-5,68	0,07	28	-2,73	0,16	21
-3,0	1,0	-2,9	0,03	27	-1,94	0,11	17
-3,0	2,0	-2,9	0,03	24	-0,9	0,03	38
-3,0	3,0	-2,9	0,03	20	0,07	0,1	92
0,0	1,0	0	0	163	0,95	0,11	101
0,0	2,0	0	0,01	161	1,88	0,24	100
0,0	3,0	0	0,01	160	2,8	0,41	100
3,0	1,0	3	0,04	113	3,8	0,43	102
3,0	2,0	3	0,04	114	4,75	0,53	102
3,0	3,0	3,01	0,04	123	5,72	0,62	102
6,0	1,0	6,16	0,07	120	6,91	0,57	103
6,0	2,0	6,16	0,08	121	7,87	0,66	103
6,0	3,0	6,19	0,07	130	8,83	0,79	102

## VD 12 mm

Sféra	Adice	Sphd	Cyld	Axd	Sphb	Cylb	Axb
-6,0	1,0	-5,88	0,02	70	-4,91	0,09	18
-6,0	2,0	-5,87	0,02	71	-3,9	0,07	19
-6,0	3,0	-5,87	0,02	71	-2,88	0,04	25
-3,0	1,0	-2,95	0,01	67	-1,97	0,03	19
-3,0	2,0	-2,95	0,01	67	-0,96	0,02	91
-3,0	3,0	-2,95	0	69	0,01	0,09	99
0,0	1,0	0	0	153	0,97	0,07	102
0,0	2,0	0	0	150	1,92	0,16	101
0,0	3,0	0	0,01	149	2,86	0,28	101
3,0	1,0	2,99	0,01	110	3,86	0,27	101
3,0	2,0	2,99	0,01	113	4,82	0,35	101
3,0	3,0	3	0,01	134	5,8	0,41	101
6,0	1,0	6,03	0,02	147	6,88	0,32	103
6,0	2,0	6,03	0,02	144	7,84	0,41	102
6,0	3,0	6,05	0,03	158	8,83	0,48	102

VD 17 mm

Sféra	Adice	Sphd	Cyld	Axd	Sphb	Cylb	Axb
-6,0	1,0	-6,08	0,04	98	-5,06	0,01	99
-6,0	2,0	-6,07	0,04	99	-4,07	0,02	107
-6,0	3,0	-6,08	0,04	101	-3,07	0,04	107
-3,0	1,0	-3,01	0,02	101	-2,01	0,01	109
-3,0	2,0	-3,01	0,02	104	-1,02	0,04	105
-3,0	3,0	-3,01	0,02	107	-0,04	0,08	103
0,0	1,0	0	0	143	0,98	0,05	103
0,0	2,0	0	0	140	1,95	0,11	102
0,0	3,0	0	0,01	139	2,9	0,2	101
3,0	1,0	2,96	0	67	3,87	0,17	101
3,0	2,0	2,96	0	111	4,84	0,24	101
3,0	3,0	2,96	0,01	165	5,82	0,29	101
6,0	1,0	5,86	0,02	8	6,78	0,18	102
6,0	2,0	5,87	0,02	6	7,72	0,31	101
6,0	3,0	5,88	0,03	2	8,74	0,31	101