

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2022

**JAKUB
VRZAL**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů**

Parametry brýlové čočky

Spectacle lenses parameters

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor bakalářské práce: Jakub Vrzal

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jakub Král

Kladno 2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vrzal** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **483404**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského 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:

Parametry brýlové čočky

Název bakalářské práce anglicky:

Spectacle lenses parameters

Pokyny pro vypracování:

Student popíše v úvodních kapitolách konstrukci brýlových čoček běžně se prodávající na českém trhu. Popíše konstrukci a parametry na kterých záleží při konstrukci nejen z fyzikálního pohledu, ale i praktického pohledu pro vhodný zábřus do různých typů brýlových obrouček. Popíše jednotlivé materiály pro výrobu čoček. V rámci praktické části se zaměří na praktické měření a kontroly parametrů hotově vyrobených brýlových čoček, dle požadavků klientů a parametrů brýlové obroučky. Parametry se zejména myslí zakřivení přední a zadní plochy brýlové čočky, středová tloušťka a průměr u sférických a asférických jednoohniskových brýlových čoček.

Seznam doporučené literatury:

- [1] KUCHYNKA, P., Oční lékařství, ed. 2., Praha: Grada Publishing, 2016, ISBN 978-80-247-5079-8
- [2] RUTRLE, M., Brýlová optika, ed. 2., Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1993, Učební text pro střední zdravotnické školy, ISBN 80-7013-145-4
- [3] TUNNAcliffe, A. H., Introduction to visual optics, ed. 1, London: The Gresham press, 1993, ISBN 978-0-900099-28-1

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

Mgr. Jakub Král

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **14.02.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2023**

prof. RNDr. MUDr. Petr Maršálek, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
děkan

Název bakalářské práce: Parametry brýlové čočky

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá měřením parametrů brýlové čočky. Nejprve jsou popsány základní vlastnosti brýlové čočky, materiál, z kterého jsou vyráběny a jeho povrchové úpravy. Pak jsou uvedeny refrakční vady oka a jejich korekce, následně typy brýlových obrub a čoček. Dále jsou představeny přístroje, kterými budeme v praktické části měřit. V experimentální části je zjišťována míra difference mezi hodnotami udávanými výrobcem a hodnotami naměřenými provedeným výzkumem.

Zjištěné průměrné hodnoty se od hodnot udávaných výrobcem liší jen minimálně nejmenší rozdíl byl u měření středové tloušťky $-0,012$ a směrodatná odchylka odpovídá $\pm 0,075$. Největší naopak u zakřivení přední plochy $-0,003$ a směrodatná odchylka $\pm 0,162$.

Klíčová slova:

parametry brýlové čočky, materiál brýlové čočky, index lomu čočky, středová tloušťka

Bachelor's Thesis title: Parametrs of spectacle lenses.

Abstract:

This thesis deals with the measurement of the parameters of spectacle lens. First, the basic properties of spectacle lenses, the material from which they are made and the material's surface treatment are described, Secondly, refractive errors of the eye and their corrections are described and thirdly, the types of spactacle frames and lenses. Lastly, the devices used for measuring in the practiacal part are listed and explained. In the experimental part, degree of defference between the values find by the measuring only slightly differ from the values given by the manufactures. The smallest difference is $-0,012$ for the measurement of the center thickness and the standard deviation corresponds to $\pm 0,075$. On the other hand, the biggest difference is at curvature of the anterior surface: $-0,003$ with the standard deviation $\pm 0,162$.

Key words:

Spectalce lenses parameters, Spectalce lens material, Lens refractive index, Central thickness,

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu Mgr. Jakubu Královi, za vedení práce, ochotu, rady a připomínky.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Parametry brýlové čočky“ vypracoval samostatně a použil 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	Geometrická a brýlová optika.....	2
2.1	Základní vlastnosti brýlové čočky	2
2.1.1	Index lomu.....	2
2.1.2	Abbeovo číslo	2
2.1.3	Odrazivost.....	3
2.1.4	Absorpce.....	3
2.1.5	Propustnost	3
2.1.6	Disperze	4
2.2	Parametry brýlové čočky	4
2.3	Závislost středové tloušťky na průměru	6
3	Brýlové čočky.....	7
3.1	Materiály brýlových čoček	7
3.1.1	Cr-39.....	7
3.1.2	Trivex	8
3.1.3	Polykarbonát.....	8
3.1.4	Minerál	9
3.2	Povrchové úpravy brýlové čočky	11
3.2.1	Antireflexní úprava.....	11
3.2.2	Hydrofobní úprava.....	11
3.2.3	Tvrdící úprava.....	12
4	Refrakční vady oka.....	17
4.1	Myopie	17
4.2	Hypermetropie	18
4.3	Astigmatismus	19
5	Typy brýlových obrub	21

5.1	Brylové obruby s očnicemi	21
5.2	Poloobruby	22
5.3	Brýle bez očí	22
6	Typy brylových čoček	24
6.1	Jednoohniskové brylové čočky	24
6.2	Bifokální brylové čočky	24
6.3	Progresivní brylové čočky	25
6.4	Degresivní brylové čočky	25
7	Kontrola parametrů brylových čoček	26
7.1	Tloušťkoměr	26
7.2	Hodinkový sférometr	26
7.3	Digitální posuvné měřidlo	27
7.4	Fokometr	27
8	Experimentální část	28
8.1	Metodika	28
9	Výsledky	33
10	Diskuse	38
11	Závěr	39
	Seznam použité literatury	40
	Seznam obrázků	43
	Seznam tabulek	44

1 Úvod

Brýlové čočky jsou nedílnou součástí pro korekci refrakční vady oka. Jsou vyráběny z různých materiálů, mohou mít různé povrchové úpravy. Případně jejich parametry závisí na stavbě čočky z hlediska geometrické optiky.

V bakalářské práci je teoreticky popsáno, jaké materiály, povrchové úpravy jsou u čoček dostupné a jaké mají vlastnosti. Dále jsou zmíněny refrakční vady a jejich vhodné korekce brýlovou čočkou. V následujících kapitolách je představeno, jaké brýlové obroučky se vyrábí a jaké jsou typy brýlových čoček.

V této práci se budu zabývat měřením parametrů brýlových čoček. Cílem této bakalářské práce bude potvrdit, případně vyvrátit to, že se v poslední době brýlové čočky vyrábí s vyšší křivkou přední plochy a také popsat rozdíl mezi hodnotami udávanými výrobcem a námi naměřenými daty. Bude brána v potaz středová tloušťka, zakřivení přední plochy čočky i okrajová tloušťka, kterou budeme měřit dvěma metodami.

Motivace této bakalářské práce je taková, že se podle nových informací z praxe očního optika nyní vyrábějí čočky s přední křivkou daleko strmější. To může být způsobeno změnou módy, kdy se v optikách nabízí daleko větší obroučky, které jsou více zakřivené. V neposlední řadě vzrůstá zájem i o sportovní obruby, které jsou také více prohnuté. Dá se předpokládat, že dodavatelé brýlových čoček pružně zareagovali na tuto změnu v nošení brýlí a upravili portfolio svých produktů.

2 Geometrická a brýlová optika

2.1 Základní vlastnosti brýlové čočky

Tyto základní vlastnosti udávají, jak se čočka chová. Vlastnosti jsou na sobě závislé, pokud dojde k změně jedné vlastnosti jsou tím přímo úměrně ovlivněny i ostatní.

2.1.1 Index lomu

Index lomu materiálu je hodnota, která udává, jak moc bude světlo procházejícím konkrétním materiálem lámat nebo ohýbat. Světlo do materiálu vstupuje ze vzduchu. S rostoucí hodnotou indexu lomu úměrně roste lámaní světla na vstupu do materiálu. Index lomu má rozsah od 1,45 do 1,90. Index lomu se značí jako n a je definován jako poměr rychlosti světla c ve vakuu a rychlosti světla v v látce. [1] [2] [3]

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

2.1.2 Abbeovo číslo

Bílé světlo je složeno z viditelného spektra o určitých vlnových délkách. Každá vlnová délka odpovídá určité barvě. Při vstupu do hranolu je světlo ohnuto směrem k bázi hranolu. Podle délky vlnových délek se světlo ohýbá pod určitým úhlem k bázi hranolu, kratší vlnové délky se ohýbají pod větším úhlem, delší vlnové délky pod menším úhlem. Čočka je složena ze dvou hranolů v závislosti na tom, zda je rozptylka (vrchol k vrcholu), nebo spojka (báze k bázi). Světlo, které prochází čočkou má vůli se rozdělovat do příslušných barev, jelikož jeho různé vlnové délky jsou zaměřeny na různé body. Schopnost materiálu dělit světlo tímto způsobem, je známa pod názvem chromatická aberace a měří se jeho Abbeovým číslem. Velikost Abbeova čísla materiálu je přímo závislá na indexu lomu materiálu, čím vyšší index lomu materiálu tím úměrně vyšší chromatická aberace a tím nižší hodnota Abbeova čísla. Rozsah hodnot Abbeova čísla je od 20 do 70. [1] [2] [4]

Abbeovo číslo lze vypočítat pomocí vzorce

$$v = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C} \quad (2)$$

Indexy lomných medií materiálů n_D , n_F a n_C na vlnových délkách odpovídají Freunhoferovým čarám D ($\lambda=589$ nm), F ($\lambda=486,1$ nm) a C ($\lambda=656,3$ nm). [5]

2.1.3 Odrazivost

Odrazivost je jev, ke kterému dochází na povrchu každé čočky. Udává se v procentech a je to poměr světla dopadajícího a světla odraženého. V důsledku tohoto jevu dochází k nežádoucím odrazům případně ztrátě průhlednosti čočky. Úměrně se stoupající hodnotou indexu lomu roste podíl odraženého světla od povrchu. Díky aplikaci antireflexní vrstvy může dojít k celkové eliminaci nežádoucích reflexů. Ze vzorce lze vyvodit že se jedná o poměr výkonu záření odraženého od tělesa a výkonu záření které dopadá na těleso. [1] [6]

$$R = \frac{P_t}{P_0} \quad (3)$$

2.1.4 Absorpce

Dochází k ní, pokud záření prochází určitým prostředím a dojde k jeho pohlcení. Absorpce souvisí s disperzí. Množství absorbovaného záření přímo souvisí na tloušťce prostředí, kterým záření prochází. Pokud je prostředí tlusté dojde k velké míře absorpce. Absorpce dochází podle Lambertova zákona. [4] [6]

$$I = I_0 e^{-\alpha l} \quad (4)$$

Z vzorce vyplývá že I je intenzita světla prošlého prostředím o tloušťce l . I_0 je intenzita světla, které projde nulovou tloušťkou a e je konstanta která představuje absorpční koeficient. [2]

2.1.5 Propustnost

Propustnost udává, jak velké množství světla v závislosti na konkrétní vlnové délce projde daným materiálem. Propustnost je označována koeficientem T a jeho definice se udává jako poměr výkonu vystupujícího záření k vstupujícímu. [3]

$$T = \frac{P_{tr}}{P_0} \quad (5)$$

Jestliže nedojde k absorpci nebo rozptylu, musí být zachováním energie být součet propustnosti a odrazivosti roven jedné [6]

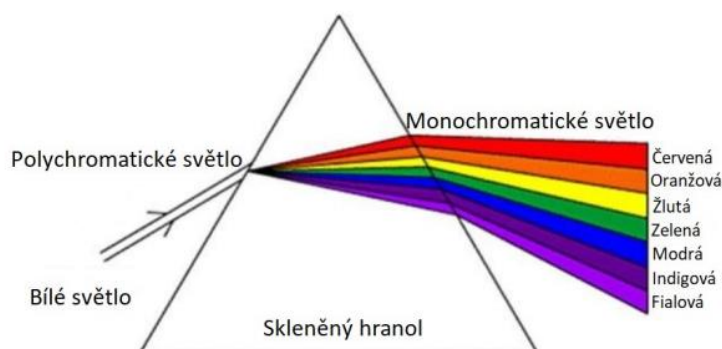
$$R + T = 1 \quad (6)$$

Míru absorpce lze vyjádřit ze vzorce kde intenzita paprsku světla je vyčíslena číslem jedna. Součet odrazivosti R , absorpce A a propustnosti T musí být tedy roven jedné. [6]

$$R + A + T = 1 \quad (7)$$

2.1.6 Disperze

Je to lom bílého polychromatického světla, které prochází prostředím, dochází k rozkladu na monochromatické složky. Index lomu látky je závislý na vlnové délce, frekvenci nebo barvě světla. K částečné disperzi dochází, pokud jsou rozdíly mezi indexy lomu pro jiné vlnové délky. Pro vzájemný vztah mezi chromatickými aberacemi je velmi důležité Abbeovo číslo pro určitý typ skla. [3]



Obrázek 1: Disperze bílého světla [7]

2.2 Parametry brýlové čočky

Parametry brýlové čočky jsou udávány podle průměru brýlové čočky, středové nebo okrajové tloušťky. Dále to jsou optická mohutnost přední a zadní plochy brýlové čočky, přední a zadní poloměr křivosti, a sagita přední a zadní plochy.

Při výrobě jsou to prefabrikáty většinou s již udělanou přední plochou čočky, která se vytvoří podle požadovaných vlastností čočky. Poté se již dodělá vnitřní plocha čočky a čočka tak získá své požadované vlastnosti. Čočky rozptylné jsou vyráběny z polotovarů, které mají optickou mohutnost přední plochy (báze) o hodnotách 0,5, 1, 2, a 4 D. Čočky spojné jsou vyráběny z polotovarů s optickou mohutností přední plochy (báze) o hodnotách 5,6,7 až do 14 D. Obecně se dá vzít v potaz že čím vyšší optická mohutnost přední plochy (báze), tím je menší poloměr křivosti přední plochy čočky. [8]

Pro index lomu 1,5 platí tento vzorec pro výpočet optické mohutnosti přední plochy:

$$F1 = \frac{\frac{sph + cyl}{2}}{2} + 6 \quad (8)$$

Při výpočtu tloušťky závisí na tom, do jaké brýlové obruby budeme zabroušenou čočku vsazovat, dále také na tom, zda se jedná o spojku či rozptylku. Pro bezoočnicové obruby a vrtané obruby je minimální doporučená okrajová tloušťka čočky udávána výrobcem. Optimální okrajová tloušťka se pohybuje přibližně kolem 1,5mm pro zábrus vrtaných nebo bezoočnicových obrub. [8]

Pro výpočet středové tloušťky čočky použijeme tento vzorec:

$$t = s_1 - s_2 + e \quad (9)$$

Kde s_1 je sagita přední plocha čočky, s_2 je sagita zadní plocha čočky, hodnota e je pro spojné čočky 0,5 mm, pokud není uvedeno jinak a znamená to okrajovou tloušťku čočky.

Pro výpočet okrajové tloušťky čočky použijeme vzorec:

$$e = s_1 - s_2 + t \quad (10)$$

Kde s_1 je sagita přední plocha čočky, s_2 je sagita zadní plocha čočky, hodnota t je pro rozptylné čočky 1,7 mm, pokud není uvedeno jinak a znamená to středovou tloušťku čočky.

Sagitu přední plochy čočky poté vypočteme vzorcem:

$$s_1 = r_1 - \sqrt{r_1^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad (11)$$

Kde r_1 je poloměr křivosti přední plochy, d značí průměr čočky.

Sagitu zadní plochy čočky spočítáme vzorcem:

$$s_2 = r_2 - \sqrt{r_2^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad (12)$$

Kde r_2 je poloměr křivosti zadní plochy, d značí průměr čočky.

Abychom ale mohli dosadit do vzorce musíme znát ještě přední a zadní poloměr křivosti brýlové čočky. Poloměr křivosti přední plochy čočky zjistíme ze vzorce:

$$r_1 = \frac{(n - 1)1000}{F_1} \quad (13)$$

Kde n je index lomu čočky a F_1 je optická mohutnost přední plochy čočky.

$$r_2 = \frac{(1 - n)1000}{F_2} \quad (14)$$

Kde n je index lomu čočky a F_2 je optická mohutnost zadní plochy čočky.

Nyní nám stačí už jen získat hodnotu optické mohutnosti přední plochy která je již uvedena výše a dále také optickou mohutnost zadní plochy čočky jež získáme ze vzorce:

$$F_2 = \frac{n(F - F_1)}{n - d(F_1)} \quad (15)$$

Kde n je index lomu čočky, F_1 je optická mohutnost přední plochy čočky, F je celková optická mohutnost a d je tloušťka čočky (pro rozptylky 1,7 mm a pro spojky 0,5 mm, pokud není uvedeno jinak). [8]

2.3 Závislost středové tloušťky na průměru

Středová tloušťka je důležitá při zábrusu a kompletaci brýlí. Z estetického i hmotnostního hlediska je tento faktor důležitý při správném výběru průměru čočky. U sférických čoček je tloušťka rovnoměrná ve všech směrech. Závislost středové tloušťky se přímo odvíjí na průměru, optické mohutnosti a indexu lomu pro konkrétní brýlovou čočku. U spojných čoček sférických, bifokálních i trifokálních obecně platí pravidlo zvolit co nejmenší možný průměr neopracované čočky. Středová tloušťka se tak sníží nezávisle na indexu lomu. U torických čoček je kvůli rozdílně hodnotě v hlavních řezech středová tloušťka závislá na silnější hodnotě v hlavním řezu čočky. U rozptylných čoček se středová tloušťka tolik nezvětšuje proto není jejich průměr tolik podstatný zvětšuje se jen okrajová tloušťka, která ale nezpůsobí větší problém, protože se při zábrusu okraje obrousí. [5]

3 Brýlové čočky

Brýlové čočky jsou základní korekční pomůckou pro refrakční vady oka. Mohou mít různé fyzikální i zobrazovací vlastnosti, jsou vyráběny ze mnoha různých materiálů, na které se mohou aplikovat různé povrchové úpravy. Vše tedy závisí na potřebách a přáních zákazníka.

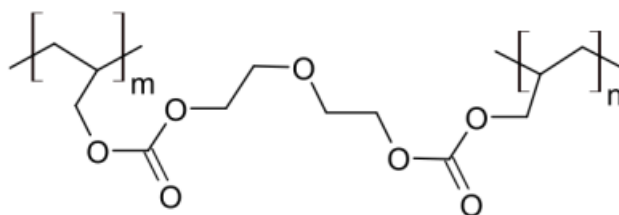
3.1 Materiály brýlových čoček

Pro výrobu brýlových čoček lze použít hned několik druhů materiálů. Především závisí na typu brýlových obrub do kterých, má být požadovaná čočka zabrušována. Dále také na preferencích klienta a vlastnostech čočky jako jsou například různé povrchové úpravy. Závisí i na ceně která se může rapidně lišit podle druhu vybírané čočky. Různé materiály mají jiné pevnostní vlastnosti to platí také i pro povrchovou úpravu. Výběr materiálu pro brýlovou čočku by měl být individualizován podle potřeb klienta, případně podle norem pro zábrus určitého materiálu.

3.1.1 Cr-39

Neboli allyldiglykokarbonát je plastový monomer, v nynější době nejpoužívanějším materiálem při výrobě brýlových čoček, které jdou na evropský trh. K jeho objevení došlo v roce 1940. Zkratka znamená „Columbia Resin #39“ a byl to 39 vzorec termosetového plastu vyvinutého v rámci projektu Columbia Resins. Jeho první komerční využití bylo za druhé světové války, kdy se používal jako vyztužení palivové nádrže pro letouny. K výrobě brýlových čoček se začal využívat již mezi roky 1955-1960. [9] [10]

Materiál CR-39 se v základním stavu vyskytuje jako kapalina, která se polymerizací tvrdí za přítomnosti tepla a katalyzátorů. Tento získaný polymer je síťovaně strukturovaný (trojrozměrný). Je odolný vůči rozpouštědlům, rozměrově stálý a nedá se tavit. [9]



Obrázek 2: Vzorec CR-39 [11]

Technické vlastnosti a parametry materiálu CR-39. Index lomu 1,5 je velmi blízko hodnotě minerálního skla. Abbeovo číslo odpovídá hodnotě 58. Měrná hustota $1,32\text{g/cm}^3$ je poloviční v kontextu ve srovnání se sklem. Materiál CR-39 má vynikající průhlednost, široké možnosti barvení i povrchových úprav. Taktéž má vysokou odolnost proti nárazům. Nevýhodou je v porovnání se sklem nízká odolnost vůči abrazi neboli mechanickému obrušování. [9]

3.1.2 Trivex

Materiál, který byl původně vyvinut pro vojenské účely. Vznikl v USA v devadesátých letech a využívá se v optice od roku 2001. Dnes je celosvětově rozšířený a využívá ho celá řada firem zabývajících se výrobou brýlových čoček. Chemická struktura trivexu je polyuretan a molekuly jsou zpevněny dusíkem.

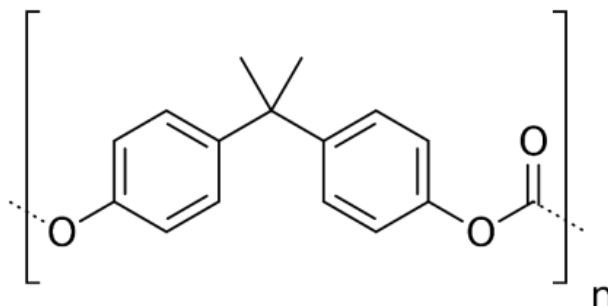
Technické vlastnosti a parametry materiálu Trivex. Index lomu 1,53. Abbeovo číslo odpovídá hodnotě 43. Měrná hustota je $1,1\text{g/cm}^3$. Absorpce UV téměř 100 %. Výhody trivexu jsou velmi vysoká odolnost proti nárazu a nízká hmotnost, také vysoká odolnost proti chemikáliím. Nabývá mnohem lepších optických vlastností než polykarbonát. V praxi se používá pro vrtané brýle. Dále se dá také využívat do ochranných brýlí pro riziková povolání případně na brýle dětem či sportovcům. Pokud smícháme trivex a vysokoindexový materiál vytvoříme materiál nazývaný HIVEX. Tento materiál má index lomu 1,57 Abbeovo číslo 46 a hustotu $1,23\text{g/cm}^3$. [8] [12] [13]

3.1.3 Polykarbonát

Materiál vynalezla firma Gentex Comporation. Polykarbonát je termoplastická hmota, v porovnání s CR 39 je měkčí, ale mnohem více odolnější proti nárazu. To je jeden z důvodů, proč byl polykarbonát zařazen pro výrobu brýlových čoček. Díky těmto vlastnostem je

vhodný pro riziková povolání a sporty kde by mohlo dojít k poškození brýlové čočky. Při výrobě je velmi důležité, aby byla čočka vytvrzena speciálním polymerujícím lakem, jinak by mohlo dojít k poškrábání povrchu čočky. [8] [10] [14]

Technické parametry polykarbonátu jsou index lomu o hodnotě 1,586, dále také malá hustota materiálu 1,20 g/cm³. Vysoký index lomu a nízká hmotnost mají za výsledek to, že materiál je například oproti CR 39 či sklu tenčí a lehčí. Polykarbonát dobře absorbuje UV záření, nepropustí světlo o vlnové délce menší než 385 nm. Nevýhodou je barvení, jelikož nelze dosáhnout většího zabarvení, než je 30 %. Dále také není tolik chemicky odolný jako například CR 39. Při označování skel bez povrchových úprav určených pro zábrus se nedoporučuje používat lihové popisovače ale vodou smyvatelné popisovače. [8] [14]



Obrázek 3: Vzorec Polykarbonátu [15]

3.1.4 Minerál

Historie skla:

Sklo v minulosti mělo velké zastoupení při použití brýlových čoček, až po druhé světové válce začaly převládat výrazněji plasty. Sklo se dá popsat jako ztuhlá tavenina sklotvorných oxidů s příměsí taviv a stabilizátorů. [14]

Výroba skla:

Nejčastěji je jako ztuhlá tavenina sklotvorných oxidů použit oxid křemičitý. Taviva jsou převážně oxid draselný nebo oxid sodný, mají za úkol snižovat příliš vysokou a energetickou náročnost teplotu tavení oxidu křemičitého, která je přibližně 1800 °C. Stabilizátory jsou oxid vápenatý a oxid olovnatý, podílí se na zvyšování chemické stálosti skla a ovlivňují výsledné vlastnosti skla. Postupným vývojem sklářství vytvořena celá řada skel s nejrůznějšími

vlastnostmi. Při tomto vývoji vznikala celá řada skel s různými optickými hodnotami, a to jen díky pečlivému výběru a poměrem mísení jednotlivých složek surovin. [10] [14]

Vlastnosti skla:

Dělíme do skupin dle podobného složení a optických vlastností. Základní veličinou, kterou porovnáváme je index lomu. Běžné korunkové sklo má index lomu 1,523 (jinde se uvádí 1,525). Čočky s vysokým indexem se vyrábějí ze skla o indexu lomu až 1,9. Rostoucí index lomu má ale za důsledek, že klesá rozdíl zakřivení mezi přední a zadní plochou čočky. To vede k tomu, že se čočka o stejné vrcholové lámavosti je postupně plošší a tenčí, tento efekt je dobrý hlavně z estetického hlediska. Další veličinou je Abbeovo číslo, které udává stupeň disperze. Pokud Abbeovo číslo klesá roste hodnota disperze, která je u optického skla nežádoucí, má za následek zhoršenou kvalitu zobrazení čočkami. S rostoucím index lomu klesá tato hodnota z přibližně 58 až na hodnoty kolem 30. Při hodnotě Abbeova čísla kolem 30 většina lidí vnímá při stranovém pohledu „duhové lemy“ zejména na rozhraní pozorovaných předmětu bílo černé barvy. Další důležitou je hustota neboli měrná hmotnost, skloviny použité na výrobu čoček. Ideálně by měla být co nejnižší. U minerálních čoček se nejčastěji pohybuje v rozmezí mezi $2,5\text{g/cm}^3$ – $4,1\text{g/cm}^3$. Převážně ale závisí na velikosti zkoušené obruby, do které by mělo být sklo osazené, protože čím větší objem čočky tím větší hodnota hustoty materiálu. Vysokoindexové čočky mají vysokou hustotu, ale mají malý objem, protože jsou tenčí než běžné čočky ze skloviny. Jejich celková hmotnost může být po zabroušení nižší, než hmotnost stejné čočky s nižším indexem, která je však objemnější. Brýlové čočky ze skla se v současné době již tolik nevyužívají. Jejich hlavní nevýhodou je křehkost, váha a pracnější zábrus. Využit lze jen pro určité profese, kde by brýlové čočky z jiných materiálu měly výrazně omezené funkce a životnost. [3] [9] [14] [16]

3.2 Povrchové úpravy brýlové čočky

Povrchové úpravy u brýlových čoček mají za úkol zlepšení optických i mechanických vlastností. Postupným vývojem materiálů a možností aplikací a nanášení nových vrstev došlo k velkému posunu ve vývoji a vlastnostech povrchových vrstev.

3.2.1 Antireflexní úprava

Snižují nejen rušivé reflexy u brýlových čoček, ale zvyšují i propustnost pro světlo. Tato úprava je velmi choulostivá na udržování v čistotě a mechanické poškození. Veškeré nečistoty jsou výrazně viditelné na nelesklém povrchu čočky. Mohou být jednovrstevné nebo vícevrstevné. Podle množství vrstev redukuje vlastní reflexy brýlové čočky od 1,35% (jednovrstevné) do 0,2% (vícevrstevné – superantireflex). Antireflexní vrstvy jsou napařovány ve vakuu a o tloušťce cca 100nm z materiálu o nižším indexu lomu. Na brýlové čočce může vzniknout několik druhů reflexů, vnitřní reflexy, rohovkové reflexy a vnější reflexy. Vnitřní reflexy vznikají při šikmém dopadu světla na pupilu. Světelné zdroje se na ní odrážejí a za určitých podmínek vzniká dvojí zobrazení. Rohovkové reflexy jsou vícenásobné reflexy mezi rohovkou a brýlovou čočkou. Jsou sice méně rušivé ale pokud má pacient vyšší dioptrii mohou způsobit dvojitý obraz. Vnější reflexy nejsou sami o sobě tak rušivé, ale mohou omezovat pohled z očí do očí. [5] [17]



Obrázek 4: Grafické znázornění reflexů [5]

3.2.2 Hydrofobní úprava

Také nazývána jako vodoodpudivá vrstva. Brýlové čočky musí být čisté jinak uživatel přijde o komfortní vidění v důsledku mastnými nebo zaprášenými vrstvičkami na povrchu čoček. To má za výsledek ztrátu kontrastu a propustnosti. Pokud na povrch běžné brýlové čočky dopadnou kapičky tak se rozlévají a tvoří opticky nedokonalou plochu, což vede k snížení kvality zobrazení. Hydrofobní úprava má za úkol vytvořit hladkou tenkou vrstvu na

povrchu čočky, která by zvětšila kontaktní úhel mezi vrstvou a kapkou. Při mikroskopovém pozorování vidíme že antireflexní vrstva a absorpční vrstva mají sloupcovitou strukturu s ostrými vrcholky. Tato struktura není vhodná pro udržování čistoty, jelikož nečistoty a vlhkost snadno zapadnou do prohlubní. Nečistoty lze odstranit nanášením organické „zahlazovací“ vrstvy. Povrch se tak stane hladším tedy i lépe čistitelným a zároveň hydrofobním. Před zábrusem takto zušlechtěných čoček se setkáváme s problémem označení čoček, jelikož lihové popisovače na čočce nezanechají žádnou značku. Barva se okamžitě sráží v drobné kapičky. [5]



Obrázek 5: Porovnání velikosti kontaktního úhlu [18]

3.2.3 Tvrdicí úprava

Tvrzení minerálních brýlových čoček

Tvrzení brýlových čoček je zušlechťovací metoda. Jde zde převážně o to, aby se v čočce vyvolalo vysoké vnitřní nebo povrchové pnutí, které způsobí i desetinásobné zpevnění a tím i zvýšení odolnosti proti rozbití úderem. Čočky se mohou tvrdit dvěma způsoby, a to tepelným nebo chemickým způsobem. [5] [14]

Tepelné tvrzení brýlových čoček

Čočka projde cíleným zahřátím v menší peci na teplotu blízko měknutí brýlové skloviny 620–650 °C. Poté se rychle ochladí proudem vzduchu případně v lázni s kapalinou. Tento postup má za následek to, že vnější povrch čočky rychlým ochlazením ztuhne a postupným ochlazováním se čočka uvnitř smršťuje, na povrchu vzniká napětí tlakové a uvnitř čočky tahové. Takto zpracované čočky mají velmi vysokou pevnost. Tlakové napětí v zpevněné povrchové vrstvě čočky může být až 140 MPa. Rychlost vytvrzování závisí na hmotnosti brýlové čočky, která bývá obvykle velmi rozdílná. U čoček s velkými rozdíly mezi středovou a okrajovou tloušťkou může docházet k deformacím optických ploch a takto

vznikají nepoužitelné čočky, další nevýhodou je obtížné stanovení kvality vrstvy, a také to že chladicí zařízení může způsobovat velký hluk. Výhodou je rychlost vytvrzování. Není doporučeno takto vytvrzovat čočky nad ± 10 D, bifokální čočky. Pokud tento způsob použijeme u samozabarvovacích čoček může dojít ke změně barvy čočky a případně to může narušit i rychlost zabarvování. [5] [14]

Chemické tvrzení brýlových čoček

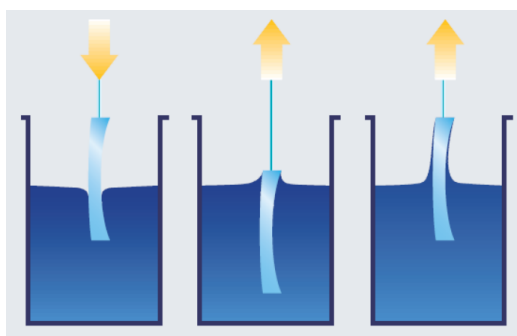
Používá se nižší teplota než u tepelné metody kolem 450°C . Tato teplota je výrazně pod bodem měknutí skloviny tudíž nevznikají deformace čoček. Na chemickém vytvrzování se podílí iontová výměna draslíkových iontů za ionty sodíku v povrchové vrstvě brýlové čočky. Vytvrzování se provádí v solné lázni o teplotě 460°C . V lázni se nachází lehce tavitelný dusičnan draselný. Brýlové čočky musí být zabroušené do tvaru brýlové obruby, poté jsou vloženy do kovového koše, který je ponořen do roztavené draselné soli. Vytvrzujeme po dobu 12-16 hodin. Povrchová vrstvička již vytvrzené čočky je silná přibližně asi 0,07 mm. Je přítomno velmi vysoké tlakové napětí až 700 MPa. Toto napětí dodá čočce potřebnou pevnost a odolnost proti poškození, poškrábání povrchu. Čočky se po vyjmutí z lázně nechají vychladnout a poté se opláchnou teplou vodou která smyje zbytky solné lázně. Správné vytvrzení čočky se dá těžko ověřit bez zásahu do čočky. Nevýhody tohoto procesu je dlouhá doba tvrzení a ekonomicky náročnější proces tvrzení. To má za následek snížení efektivity tohoto způsobu tvrzení. [5] [14]

Tvrzení organických brýlových čoček

Tvrzení ponořením do tvrdícího laku – Dip coating

Brýlová čočka musí být dokonale čistá, proto je očištěna v ultrazvukovém přístroji. Čistota má zajistit, aby docházelo k dokonalé adhezi mezi čočkou a lakem. Pro čočky s vyššími indexy lomu se používá tzv. primer. Primer je mezivrstva mezi čočkou a lakem, která způsobuje větší adhezi. Čočky se ponoří do roztoku, který obsahuje tvrdící lak. Poté se čočka vyjme a na rychlosti vytažení závisí tloušťka vrstvy laku na čočce, dále také na tloušťka závisí na viskozitě laku. Rychlejší vytažení z laku zajistí že výsledná vytvrzená vrstva bude sinější. Dalším krokem je proces polymerizace, který se provádí za teploty $100-120^{\circ}\text{C}$ po dobu 2-3 hodin. Ztvrdlá vrstva na povrchu čočky zajišťuje povrchovou odolnost proti poškrábání. Tloušťka vrstvy je 1,5-2,5 mikrometru. Nejideálnější tloušťka odpovídá přibližně 2 mikrometrům, pokud je vrstva moc tlustá snižuje se odolnost proti ořezu, pokud je naopak tenká, dochází k snížení povrchové tvrdosti. Kvalitu vrstvy kontrolujeme pomocí testů QUV

a Bayer, případně pomocí koupele v ledové a vroucí vodě. U QUV testu stimulujeme dvouletý životní cyklus čočky za 3 týdny. Při Bayer testu pohybujeme abrazivem po povrchu čočky v 600 cyklech, poté vyhodnotíme způsobené poškození. Při výrobě by se měl používat lak o indexu lomu, který je velmi podobný indexu lomu čočky, na kterou je nanášen. Obsah laku je většinou oxid křemičitý a oxid titaničitý. Složkou primeru je destilovaná voda. Laky se mohou používat barvitelné i nebarvitelné. Z větší části se používají laky nebarvitelné, protože mají větší tvrdost. Index matching znamená že pro čočku o indexu lomu 1,5 by se měl použít lak o stejném indexu lomu tedy 1,5 to stejné platí o čočku o indexu lomu 1,6 a na ni použitým laku, též o indexu lomu 1,6 apod. Důvodem je eliminace nerovností na povrchu čočky. Při výrobě je velmi důležité kontrolovat koncentraci laků a primerů, pokud by totiž došlo k změně dojde k negativnímu vlivu na vlastnosti brýlových čoček. Čočky jsou zavěšeny na držáky, a robot je poté dle programu přesouvá od prvního do posledního kroku výrobního procesu. Délka procesu je přibližně 45 minut, poté dojde ke kontrole kvality povrchu čočky, pokud jsou přítomny nečistoty, dá se tato vrstva smýt pomocí hydroxidu draselného a čočka může jít do procesu lakování od začátku, když nejsou přítomny nečistoty putuje čočka do externí pece, kde stráví 2-3 hodiny. Celý tento postup lakování čoček je velmi náročný na čistotu. V místnosti, kde se tento proces provádí musí být klimatizace, která zajistí konstantní teplotu a vlhkost. [8]



Obrázek 6: Dip metoda [8]

Tvrzení rotačním nanášením tvrdícího laku – Spin coating

Brýlová čočka je očištěna methanolem a isopropylalkoholem. Poté dojde k jejímu uchycení na rotující zařízení, které kontroluje rychlost rotace. Na střed čočky se aplikuje proud laku, pomocí rotace se lak rovnoměrně rozprostře po celé ploše čočky. Při technologii Spin coating se většinou používá lak o indexu lomu 1,5, to he vhodné na menší sérii brýlových čoček. Během několika minut působením UV-zářením je dosaženo polymerizace.

Zalakování jedné strany brýlové čočky trvá přibližně 5 minut, tloušťka vrstvy odpovídá hodnotě řádově 3-5 mikronů. Výhody jednoduchost, rychlost, savost a dobrá barvitelnost, využití u čoček s vyšším indexem lomu. Je méně náročná na čistotu než technologie DIP, v přístrojích má vlastní mikroklima. Nevýhody menší odolnost proti poškrábání. Lak je měkčí v porovnání s DIP metodou. [8]



Obrázek 7: Spin metoda [8]

Tvrzení ve formě – In mold coating

Provádí se přímo ve formě při formování čočky. Postup tvrzení spočívá v zahřátí formy a otevření, následné vložení silikonového vaku, který obsahuje zahřátý roztok (0,2–0,5 ml) aktivovaný termoset s iniciátorem a metalickou sůl. Poté dojde k zvýšení tlaku uvnitř silikonového vaku. Zvýšení tlaku je přibližně 30-130 kPa po dobu 1,5-5 minut. Dojde k vytvoření tenké vrstvy laku, která přiléhá na vnitřní stranu formy. Vstříknutím termoplastické hmoty se zformuje výsledná brýlová čočka. Výhoda tvrzená vrstva k materiálu velmi dobře přilne. Nevýhoda takto upravené čočky nejde následně barvit. [8]

Vakuové tvrzení – PVD, LP – CVD, PECVD

Vakuové nanášení tenké vrstvy (většinou molekuly oxidu křemičitého) na povrch brýlové čočky. Základní metody jsou PVD (physical vapor deposition) LP – CVD (low pressure chemical vapor deposition) a PECVD (plasma-enhanced CVD). Metoda PVD využívá oparování nanášených atomů z pevného povrchu zdrojového materiálu. Metoda CVD využívá chemickou evaporaci základního materiálu, tento materiál je rozkládán chemicky nebo teplem. U nanášení je přítomna reakce nanášených atomů s atomy plynů, jako je kyslík, oxid křemíku nebo dusík. Tvrdost vrstvy lze regulovat přívodem plynů. Pokud se nanáší plazmou je možné snížit teplotu potřebnou k nanášení. Obvykle se nanáší HMDS

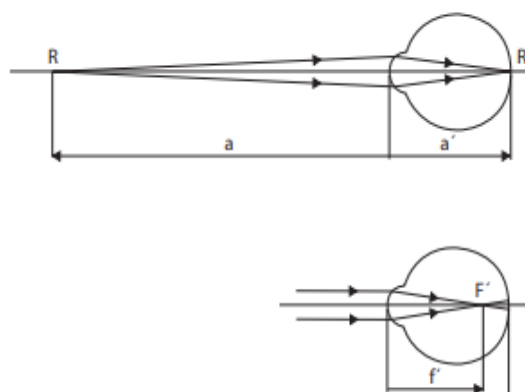
(hexamethyldisiloxane) nebo TEOS (tetra-ethyl orto silicate). Technologie PECVD se může používat na jedné výrobní lince s procesem nanášení antireflexní vrstvy. [8]

4 Refrakční vady oka

Emetropické oko je ideální oko pro vidění jeho délka a zakřivení lomných médií a jejich optické mohutnosti jsou v rovnováze. Daleký bod se nachází v nekonečnu to znamená, že ohnisko při uvolněné akomodaci leží přímo na sítnici oka. Ametropické oko je oko kde tomu tak není a oko má refrakční vadu. Refrakční vada může být způsobena kratší nebo delší axiální délkou oka (axiální ametropie). Změna osové délky oka o 1 mm změní refrakci o 3 D. Další změny mohou být na změna zkrivení rohovky případně čočky. [19] [20]

4.1 Myopie

Myopické oko je krátkozraké. Pozorovaný objekt v nekonečné vzdálenosti se objeví před sítnicí oka. Oko je axiálně delší než oko emetropické. Předměty v nekonečné vzdálenosti zobrazuje myopické oko na sítnici neostře. Když myop pozoruje předmět, který leží mezi dalekým bodem a okem potřebuje nižší akomodaci než emetrop. Nekorigovaný myop tedy používá akomodaci v porovnání s emetropem méně. [19] [21]



Obrázek 8: Grafické zobrazení myopie [21]

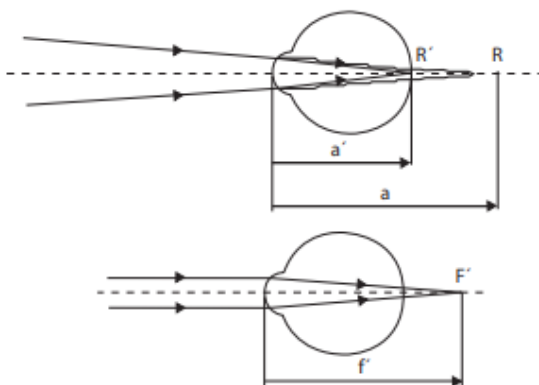
Rozdělení myopie podle počtu dioptrií:

- Lehká myopie od -0,25 D do -3 D
- Střední myopie od -3,25 D do -6 D
- Vysoká myopie od -6,25 D do -10 D
- Těžká, progresivní myopie nad -10 D

Korekce myopie se provádí brýlovou čočkou s minusovou hodnotou dioptrie. Korekce je prováděna na dálku. Je dosaženo posunutí pozorovaného obrazu na sítnici oka. Pro korekci je použita nejslabší minusová hodnota, se kterou je dosaženo ostrého vidění. Pokud dojde k překorigování hrozí astenopické potíže. Výše uvedené formy myopie se ukončením vývoje jedince prakticky nemění. Hodnoty nad -10 D označují myopii těžkou, případně progresivní, mohou zde být patologické změny na sítnici a ve sklivci, případně vrozené formy myopie. [19] [21]

4.2 Hypermetropie

Hypermetropické oko je dalekozraké. Pozorovaný objekt v nekonečné vzdálenosti se objeví za sítnicí oka. Oko je axiálně kratší, než oko emetropické. Paprsky jdou přes neakomodované hypermetropické oko tak, že, se objekt promítne na sítnici oka.



Obrázek 9: Grafické znázornění hypermetropie [21]

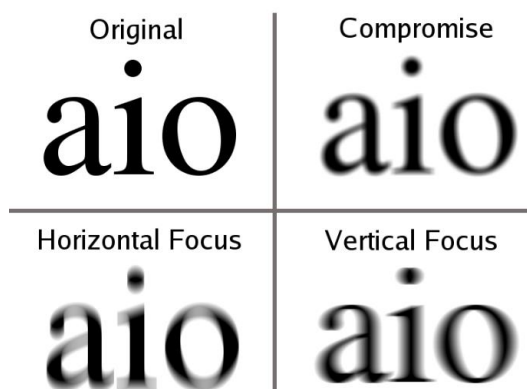
Kompenzace hypermetropie je možná zvýšením optické mohutnosti dioptrického systému oka. Latentní hypermetropie je stav, kdy je část vady odstraněna akomodací. Manifestní hypermetropie je stav, kdy je část vady odstraněna korekčními skly. Totální hypermetropie je stav pro zjištění celkové velikosti hypermetropie, je zapotřebí vyřadit funkci akomodačního aparátu, k tomu dochází v cykloplegii. [19] [21]

Korekce hypermetropie se provádí brýlovou čočkou s plusovou hodnotou dioptrie. Korekce je prováděna na blízko. Je dosaženo posunutí pozorovaného obrazu na sítnici oka. Hypermetropie je po narození zcela normální vada, v průběhu života s růstem oka klesá. Akomodace se v průběhu stárnutí snižuje. Obvykle první potíže vznikají v závislosti na velikosti vady ve 30. až 40. roce, a jsou způsobeny dlouhodobou prací na blízkou vzdálenost.

Korekce není zapotřebí, pokud má pacient normální zrakovou ostrost netrpí astenopickými obtížemi nebo příznaky strabismu a velikost vady není velká. U pacientů starších 30 let je doporučeno předepsat korekci na blízko, případně i pro trvalé nošení. Pokud dojde k překorigování sníží se zraková ostrost, u podkorigování hypermetrop stále využívá část adice. Pro korekci je použita nejsilnější plusová hodnota, se kterou je dosaženo ostrého vidění. [19] [21]

4.3 Astigmatismus

Astigmatismus je nejčastěji způsoben asferičností lomivých ploch oční rohovky a čočky. Nejčastější je astigmatismus rohovkový. Lomivost rohovky je fyziologicky až o 0,5 D větší ve vertikální ose než ose horizontální. Změny zakřivení rohovky mohou vzniknout po úrazech, operacích či jako následek prodělaného zánětu. Pokud dojde k subluxaci čočky pozorujeme astigmatismus zapříčiněný decentrací čočky, může být zapříčiněn i decentrací implantátu nitrooční čočky. [19] [21]



Obrázek 10: Grafické znázornění astigmatismu [22]

Astigmatismus má několik druhů. Astigmatismus s vzájemně kolmými osami největší a nejmenší lomivosti označujeme jako pravidelný (regularis). Pokud symetrické osy nelze nalézt označujeme tento astigmatismus jako nepravidelný (irregularis). Pravidelný astigmatismus se dělí na prostý (simplex), jedna jeho osa je emetropická a druhá myopická nebo hypermetropická. Astigmatismus složený (compositus) má osy buď myopické nebo hypermetropické. Astigmatismus smíšený (mixtus) jedna osa je myopická a druhá hypermetropická. Pokud u astigmatismu pravidelného je vertikální osa více lomivá jedná se

o astigmatismus podle pravidla, je-li stejný efekt navozen u opačné osy jedná se o astigmatismus proti pravidlu. Nekorigovaná vada vzniká na spojnici dvou fokálních linií. Nekorigovaný pacient může uvádět astenopické obtíže, bolest hlavy, očí, rozmazané vidění. U šikmého astigmatismu může docházet ke kompenzačnímu postavení hlavy. [19] [21]

Korekce malého astigmatismu do 0,5 D není nutná. Při korekci vyššího astigmatismu vzniká meridionální aniseikonie. Pacient obvykle snáší lépe korekci ve vertikále či horizontále než u šikmých os. Při předpisu korekce astigmatismu by mělo být bráno v potaz, jestli je to pacientova první korekce astigmatismu, dále také zohlednit binokulární snášenlivost. Výsledná korekce by měla být kompromisem mezi zrakovou ostrostí a binokulární snášenlivostí. Korekce malého astigmatismu do 1 D lze provést měkkými kontaktními čočkami. Korekce vyššího astigmatismu lze provést speciální torickou čočkou. Nepravidelný astigmatismus lze obtížně korigovat brýlemi proto je vhodnější použít sférický ekvivalent oční vady. Lepších výsledků lze dosáhnout použitím tvrdých kontaktních čoček s individuální výrobou. Pro korekci astigmatismu se používají brýlové torické čočky. Tyto čočky mohou mít sférickou i cylindrickou úpravu dle potřeb pacienta. [19] [21] [23]

5 Typy brýlových obrub

Na trhu se vyskytuje nespočet brýlových obrub. Mohou mít různý tvar a být i z různého materiálu. Mezi nejčastěji používané materiály patří kov a plast, ale mohou se také nabízet brýlové obruby z titanu, dřeva, či recyklovaných materiálů. Z historického hlediska brýle tvořily spíše korekční pomůcku. Dnes se z brýlí stává módní doplněk.

5.1 Brýlové obruby s očnicemi

Patří mezi nejrozmanitější druh brýlové obruby. Hlavní výhodou je kompaktnost, pevnost, komplexní ochrana skel, která jsou do nich vsazována. Očnice je zcela uzavřena kolem dokola, případně uzavřena skrz zámek očnice u kovových obrub. Po celém vnitřním obvodu očnice je fazeta typu „V“. Brýlová čočka vkládaná do obruby zapadne přímo do fazety. Brýlová čočka má nejčastěji použitý typ fazety „střechovitou,“ „sedlovou či břitvovou“. Při vkládání skleněné brýlové korekce do plastové obruby je doporučeno obrubu nahřát a následně ochladit, aby nedocházelo k vyštípnutí skla. U kovových obrub je doporučeno dělat v místě zámku očnice ochranou fazetu na brýlové čočce jinak by mohlo dojít též k jejímu vyštípnutí. U plastových obrub je sedlo přímo zabudováno do očnice. U kovových obrub je sedlo naletováno na očnici přes držák sedla. Vhodné obruby pro zábrus veškerých materiálů, které se používají pro brýlové čočky. [24]



Obrázek 11: Brýlové obruby s očnicemi [25]

5.2 Poloobrubby

Od brýlových obrub s očnicemi je zásadně odděluje, to že přišly o část očnice. Toto odstranění můžeme považovat za výhodu. V dolní a zevní části zorného pole nebude žádné viditelné omezení, nebo výpadek způsobený přítomností kompletních očnic. Očnice se skládá z obočnice a silonového vlákna. Brýlové čočky zasazované do této obruby mají buďto rovnou fazetu, která se později drážkuje nebo rovnou drážkovou fazetu. Silonové vlákno je přichyceno v obočnici, kde se nachází na každé straně dva otvory, kterými vlákno prochází. Skrz tyto otvory se dá opravovat síla upevnění brýlové čočky v obrubě a současně brání vypadení čočky. Vhodné obruby pro zábrus nerozbitného materiálu případně plastu [24]



Obrázek 12: Poloobrubby [25]

5.3 Brýle bez očnic

Tento typ brýlí se v porovnání s poloobrubbami zbavil i obočnice. Brýlové čočky slouží jako opora pro nosník i stranice. Do brýlových skel se dle typu bez očnicových obrub vyvrtaří otvory. Používá se „čtyřdírkový“ nebo „dvoudírkový“ patent. Pomocí šroubků a matice se poté přichytí stranice i nosník do již vyvrtaných otvorů v brýlové čočce. Z počátku bylo toto složitější na výrobu a mechanickou odolnost proti poškození, ale s nástupem moderních materiálů tento problém odpadl. Bez očnicové brýle nabízí volný pohled mimo brýlovou korekci. Do tohoto typu brýlí se zabrušují brýlové čočky s plochou fazetou, která se většinou ještě dodatečně leští. Působí na obličejí vzdušně, lehce. Dříve byly častěji používané, dnes již tolik ne. Vhodné obruby pro zábrus nerozbitného materiálu. [24]



Obrázek 13: Brýle bez očnic [25]

6 Typy brýlových čoček

Z optického hlediska je nejjednodušší čočka jednoohnisková. Vývojem materiálů a technologií došlo z optického hlediska k dosažení čoček s různou zobrazovací možností. Tyto čočky mohou být určeny pro různé vzdálenosti dle individuálních požadavků klienta.

6.1 Jednoohniskové brýlové čočky

Patří mezi základní brýlové čočky pro svoji jednoduchost a minimální zkreslení. Spadají sem všechny sférické a tórické, případně i asférické čočky které mají jedno ohnisko. Hlavní rozdíl v těchto čočkách je přední a zadní plocha.

Sférické čočky

Mají přední i zadní plochu čočky sférickou. Tato plocha má stejný poloměr po celé ploše. Po obvodu čočky je i stejná okrajová tloušťka. Plocha přední i zadní jsou rovnoběžné a optická osa prochází středem obou ploch. [26]

Tórické čočky

Jsou tvořeny sférickou přední plochou a ze dvou na sebe kolmých sférických ploch které jsou na zadní ploše čočky. Okrajová tloušťka není po celém obvodu čočky stejná. To, jak bude čočka tlustá, udává nejsilnější hodnota v jednom z hlavních řezů na zadní ploše čočky. Cylinder je přídavek k sférické hodnotě a orientuje se podle osy cylindru která se udává ve stupních. Osa odpovídá astigmatické ose tudíž tak dojde ke kompenzaci astigmatismu. Hodnoty cylindru se udávají kladné a záporné. [26]

Asférické čočky

Na první pohled rozeznatelné od ostatních jednoohniskových čoček, mají alespoň jednu plochu asférickou (plochou), nejedná se tedy o plochu kulovou. To má za výsledek to, že čočky jsou tenčí, lehčí, plošší a neztrácí dobré optické vlastnosti ani v periférii. Spojná asférická čočka má oploštěnou přední plochu a rozptylná čočka plochu zadní. [26]

6.2 Bifokální brýlové čočky

Dříve více využívané dnes je již spíše nahradili multifokální čočky. Brýlová čočka je rozdělena na dvě části, vrchní část je určena pro vzdálenost do dálky a spodní část je určena pro pohled do blízka. Hranice přechodu mezi blízkou a dálkou není nijak postupná a jedná se zde o skok mezi vzdálenostmi. [14] [26] [27]

6.3 Progresivní brýlové čočky

Čočky pro zobrazení blízka a dálky a plynulým přechodem. Často nabízeno jako jedny brýle, co dokážou vyřešit vše. Optické vlastnosti ale nejsou dokonalé. Může docházet k tzv. plavoucímu efektu, kdy člověk při přechodu z dálky do blízka může pozorovat různé vlnění a nestabilní povrch např. chůze ze schodů. Tento efekt se dá kompenzovat nakloněním hlavy. Většina lidí si na tento efekt dokáže zvyknout, ale část lidí bude raději preferovat například jednoohniskové čočky, případně bifokální korekci. [14] [26]

Čočky mají progresivní desing buď na přední nebo na zadní ploše čočky na opačné straně. Kde není progresivní desing je buď sférická, asférická, tórická nebo atórická plocha. Existuje i kombinace progresivní kombinace na obou stranách čočky. Progresivní design není rotačně symetrický, tloušťka čočky je po celém obvodu rozdílná. [8] [28]

6.4 Degresivní brýlové čočky

Nazývané pracovní, kancelářské, Office. Používané nejčastěji pro práci s počítačem a prací do blízka. Dioptrické hodnoty jsou udávány pro střední a blízkou vzdálenost. Jejich konstrukce je velmi podobná progresivním čočkám mají také neviditelný přechod pro více vzdáleností. Horní část čočky se používá k pohledu na střední vzdálenost (počítač), spodní část pro pohled do blízka (papíry, dokumenty, klávesnice). [14]

7 Kontrola parametrů brýlových čoček

Níže popsané přístroje a jejich funkce nám poslouží v praktické části bakalářské práce.

7.1 Tloušťkoměr

Tloušťkoměr slouží pro měření středové tloušťky brýlové čočky. Skládá se z dvou ramen osazených na konci kulovými hroty, které jsou zároveň z kvalitního kovového materiálu, aby nedocházelo při opotřebením materiálu k chybám měření. Hroty se přiloží na střed čočky. A na stupnici se odečte výsledná tloušťka čočky. Přesnost v řádech setin mm. Digitální měřáky mají větší přesnost měření. [9]

7.2 Hodinkový sférometr

Zjišťuje se jím optická mohutnost čočky. Středová tloušťka se zanedbává, pouze se sečtou naměřené hodnoty optické mohutnosti přední a zadní plochy čočky. Pokud dojde k měření tlusté spojné čočky, měli bychom změřit i středovou tloušťku. Poté už nám stačí vědět pouze index lomu materiálu čočky a můžeme dosadit do Gullstrandovy rovnice pro výpočet celkové optické mohutnosti [14]

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 - \frac{(d\phi_1\phi_2)}{n} \quad (16)$$

Kde ϕ je celková optická mohutnost, ϕ_1 a ϕ_2 jsou optické mohutnosti přední a zadní plochy čočky, d je středová tloušťka čočky a n je index lomu materiálu čočky.

Přístroj se skládá ze středového kolíku, který se přiloží kolmo na lámavou plochu čočky, tím se dostane do předozadní polohy vůči úrovni dvou krajních opěrných kolíků nebo prstence. Dochází k reakci na výšku kulového vrchlíku plochy čočky, kterou měříme, jeho základní průměr je dán průměrem dosedacího prstence nebo vzdáleností dvou krajních kolíků. Převodní mechanismus spojuje kolík s ručičkou, jež na stupnici ukazuje přímo přepočtenou hodnotu optické mohutnosti zakřivené optické plochy v dioptriích. Na ciferníku se může vyskytovat hned několik stupnic pro různé indexy lomu materiálu.

Pro lepší přesnost měření před začátkem zkontrolujeme, zda je přístroj měří přesně tak, že ho přiložíme na rovinou plochu, ručička by pak na stupnici měla ukazovat nulovou hodnotu. Konce kolíků jsou vyrobeny z tvrdých materiálů jako je safír nebo tvrdokov, to má důvodem je to, aby nedocházelo k opotřebením kolíků používáním, a tím také k ztrátě přesnosti měření. [14]

7.3 Digitální posuvné měřidlo

Digitální posuvné měřítko neboli šuplera slouží k měření okrajové tloušťky brýlové čočky. Šuplera je na konci osazena kovovými zobáčky, které se přikládají na povrch měřeného předmětu. Na druhém konci jsou taktéž dva zobáčky, ty slouží pro měření průměru měřeného předmětu. Nejčastěji se tento přístroj využívá ve strojírenství a zámečnictví. [29]

7.4 Fokometr

Fokometr je přístroj měřící vrcholovou lámavost brýlových čoček v dioptriích. Na fokometru se dají měřit sférické, torické i prizmatické brýlové čočky. Používají se primárně manuální a automatické (digitální) fokometry.

Optický systém manuálního fokometru se skládá z Keplerova dalekohledu, kolimátoru, zeleného filtru a testové značky. Mezi další části patří opěrný kroužek pro měřenou čočku, opěrná lišta pro měřené brýle, značkovací zařízení, objektiv a okulár. Při měření se používá jen jedno oko. Před zahájením měření je nutné zaostřit okulár podle vlastní refrakce. Přesnost měření manuálním fokometrem je 0,25 dpt. Měření čoček probíhá tak, že fokometr nastavíme na nulovou hodnotu, poté vložíme čočku a makro šroubem hledáme její dioptrickou hodnotu. Pokud je čočka torická zaostříme makro šroubem v jednom řezu a najdeme nižší sférickou hodnotu, poté otáčíme dál makro šroubem, až se nám zaostří druhá osa čočky, která musí být oproti první o devadesát stupňů posunutá. Rozdíl těchto hodnot je velikost torické hodnoty. [30]

Automatický fokometr plně zvládá měření a vyhodnocování co nepřesnějších hodnot. Hlavní výhodou je možnost měření víceohniskových čoček. Dokáže zobrazit průběh progresivního kanálu. Lze měřit i tvrdé kontaktní čočky. Měřící rozsah běžných fokometrů $\pm 25,0$ dpt. Některé typy mohou mít zabudovaný spektrofokometr pro měření propustnosti UV záření. Současné fokometry jsou často založené na Shack-Hartmannově principu vzorkování. Značnou výhodou je též přesnost měření, které automatické fokometry dosahují. [30]

8 Experimentální část

Experimentální část se zabývá poměřováním velikostních a optických vlastností brýlových čoček. Svě měření jsem prováděl na půdě Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT v dílnách brýlové optiky, a následně část měření proběhla na detašovaném pracovišti.

Experimentální část tvoří měření parametrů brýlových čoček jako jsou středová tloušťka, okrajová tloušťka, průměr a zakřivení přední křivky.

Pro experiment byly komerčně použité brýlové čočky (od firmy Omega Optix,s.r.o.), Tyto čočky se liší svými povrchovými úpravami, optickou mohutností a indexy lomu. Čočky byly poskytnuty soukromou oční optikou Remi optic s.r.o.

8.1 Metodika

Studie se zabývá měřením brýlových čoček o různých optických a dioptrických vlastnostech. Měřené brýlové čočky byly v rozpětí -5 až + 6 dioptrií. Rozmezí indexu lomu materiálu bylo 1,5 dále 1,6 a 1,67. Výše indexové čočky byly dále opatřeny povrchovou úpravou, kterou byla antireflexní vrstva, nebo pouze tvrdící úpravou. Vrstvy byly tlusté v řádu mikrometrů, a tak docházelo k zanedbatelnému zkreslení výsledků. Čočky byly poskytnuty ze skladových zásob, kde standartně lze objednat čočky s indexem lomu 1,5 bez povrchových úprav a vysokoindexové čočky pouze bez povrchových úprav. Čočky byly vybírány na základě ceny, protože, kdyby došlo k jejich znehodnocení při měření, nebude následná ztráta tolik znatelná.

Přesný postup měření uveden dále. Nejdříve byly čočky umístěny do digitálního fokometru typu Huvitz HLM-7000P.

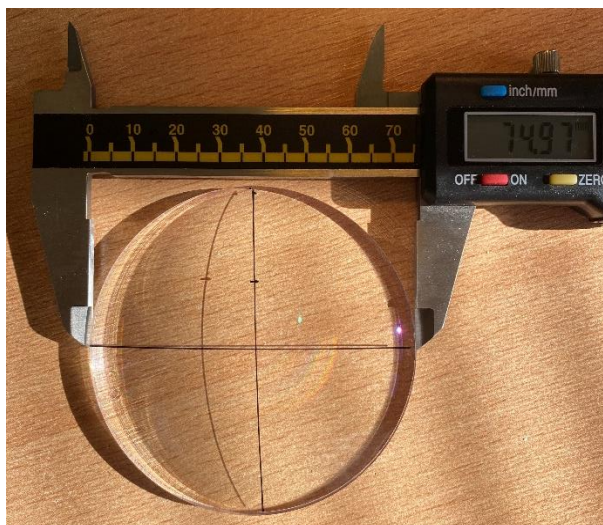


Obrázek 14: Fokometr Huvitz HLM-7000P

Byla změřena jejich přesná dioptrický hodnota na setiny dioptrie. Byl také označen optický střed čočky, který byl zvýrazněn lihovým popisovačem.

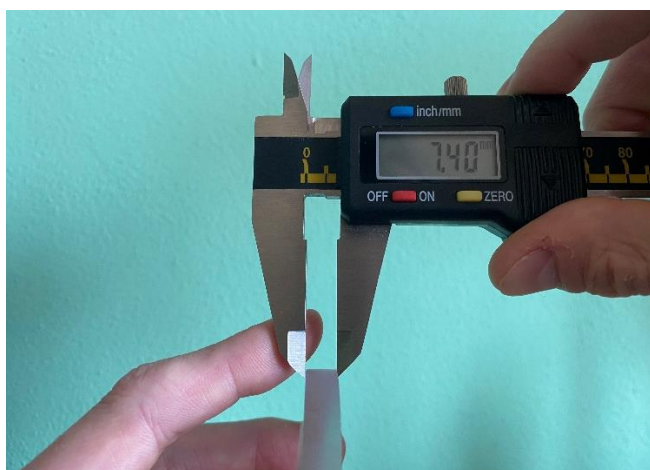
Okraje brýlových čoček budou měřeny dvěma metodami. První metoda bude probíhat posuvným digitálním měřidlem (šuplerou). Následující druhá metoda bude probíhat měřením manuálním (mechanickým) tloušťkoměrem.

V následujícím kroku byla čočka položena na rovný povrch. Digitálním posuvným měřítkem byl změřen její průměr. Průměr byl měřen v hodnotách na setiny milimetru. Posuvné měřítko má přesnost 0,01 mm a je vyrobeno společností Breitfeld & Schliekert. Názornou ukázkou měření můžeme vidět na obr. 15.



Obrázek 15: Zobrazení měření digitálním posuvným měřítkem

Tímto měřítkem byla také naměřena okrajová tloušťka čoček, a to tak že jsme na úplný okraj čočky přiložili měřítko a opatrně sevřeli. Poté jsme jen odečetli výsledné hodnoty. Tyto hodnoty byly s přesností na 0,01mm.



Obrázek 16: Měření okrajů digitálním měřidlem

Poté se na brýlovou čočku přikládá sférometr a měřilo se přední a zadní zakřivení. Toto zakřivení se měřilo ve středu a poté na kraji, a to ze přední tak i ze zadní strany čočky. Na sférometru byly dvě stupnice jedna pro hodnoty indexu lomu 1,49 a druhá pro index lomu 1,6. Sférometr byl k čočce přikládán v kolmém směru na čočku jinak by mohlo dojít k chybám při

měření. Po přiložení k čočce a stabilizaci sférometru byly odečteny naměřené hodnoty z ciferníku. Výrobce sférometru je firma Breitfeld & Schliekert

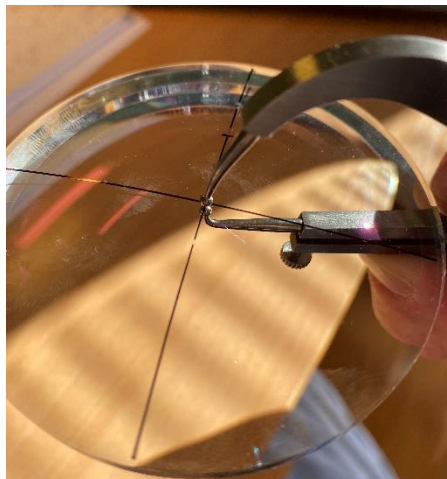


Obrázek 17: Sférometr-měření přední křivky a ukázka polohy sférometru z boku



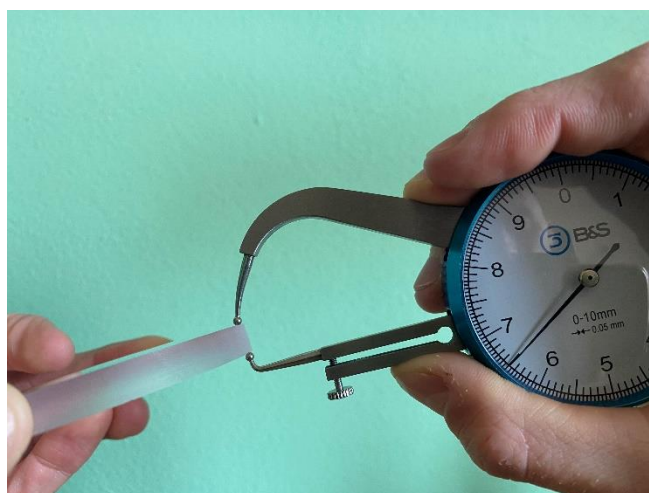
Obrázek 18: Měření zadní křivky sférometrem

Následně byla naměřena ve středu brýlové čočky tloušťka. Manuálním tloušťkoměrem, který má odchylku 0,05mm a jehož výrobcem je firma Breitfeld & Schliekert. Tento tloušťkoměr byl přiložen do středu čočky a poté na ciferníku byly odečteny naměřené hodnoty. Pro přesnost měření byla provedena kalibrace přístroje otočným kolečkem dole, aby rafička po stlačení ukazovala nulovou hodnotu.



Obrázek 19: Měření středové tloušťky tloušťkoměrem

Stejným manuálním tloušťkoměrem jsme měřili i okrajovou tloušťku čoček. Tento způsob měření byl prováděn aby následně mohlo být porovnáno s měřením digitálním.



Obrázek 20: Měření okrajů manuálním tloušťkoměrem

9 Výsledky

Následující tabulky (1, 2, 3, 4) udávají hodnoty pro výrobcem udávanou středovou tloušťku v porovnání s naměřenou středovou tloušťkou. Průměr naměřených hodnot je -0,012 a směrodatná odchylka je rovna $\pm 0,075$. Průměr naměřených hodnot pro plusový čočky odpovídá 0,018 a směrodatná odchylka je rovna $\pm 0,066$.

Tabulka 1: Porovnání udávané a naměřené hodnoty středové tloušťky pro index lomu 1,5

Čočky	Sph (D)	Výrobcem udávaná tl. (mm)	Naměřená středová tl.(mm)	Rozdíl hodnot (mm)
CR-39 1.5	1,00	2,49	2,40	-0,09
CR-39 1.5	2,00	3,28	3,25	-0,03
CR-39 1.5	3,00	4,28	4,20	-0,08
CR-39 1.5	4,00	5,28	5,40	0,12
CR-39 1.5	5,00	6,47	6,45	-0,02
CR-39 1.5	-1,00	1,80	1,70	-0,10
CR-39 1.5	-2,00	1,81	1,70	-0,11
CR-39 1.5	-3,00	1,81	1,70	-0,11
CR-39 1.5	-4,00	1,82	1,70	-0,12
CR-39 1.5	-5,00	1,83	1,80	-0,03

Tabulka 2: Porovnání udávané a naměřené hodnoty středové tloušťky pro index lomu 1,6

Čočky	Sph (D)	Výrobcem udávaná tl. (mm)	Naměřená středová tl.(mm)	Rozdíl hodnot (mm)
CR-39 1.6 HMC	1,00	2,39	2,50	0,11
CR-39 1.6 HMC	2,00	2,99	3,10	0,11
CR-39 1.6 HMC	3,00	3,79	3,80	0,01
CR-39 1.6 HMC	4,00	4,68	4,70	0,02
CR-39 1.6 HMC	5,00	5,58	5,60	0,02
CR-39 1.6 HMC	-1,00	1,61	1,50	-0,11
CR-39 1.6 HMC	-2,00	1,21	1,20	-0,01
CR-39 1.6 HMC	-3,00	1,22	1,20	-0,02
CR-39 1.6 HMC	-4,00	1,22	1,20	-0,02

Tabulka 3: Porovnání udávané a naměřené hodnoty středové tloušťky pro index lomu 1,6 AS

Čočky	Sph (D)	Výrobcem udávaná tl. (mm)	Naměřená středová tl.(mm)	Rozdíl hodnot (mm)
CR-39 1.6 AS HMC	1,00	2,30	2,35	0,05
CR-39 1.6 AS HMC	3,00	3,49	3,50	0,01
CR-39 1.6 AS HMC	4,00	4,29	4,30	0,01
CR-39 1.6 AS HMC	5,00	5,08	5,10	0,02

Tabulka 4: Porovnání udávané a naměřené hodnoty středové tloušťky pro index lomu 1,67 AS

Čočky	Sph (D)	Výrobce udávaná tl. (mm)	Naměřená středová tl.(mm)	Rozdíl hodnot (mm)
CR-39 1.67 AS HMC	4,00	4,29	4,20	-0,09
CR-39 1.67 AS HMC	5,00	4,78	4,80	0,02
CR-39 1.67 AS HMC	6,00	5,58	5,70	0,12
CR-39 1.67 AS HMC	-1,00	1,40	1,40	0,00
CR-39 1.67 AS HMC	-2,00	1,20	1,10	-0,10
CR-39 1.67 AS HMC	-3,00	1,22	1,10	-0,12
CR-39 1.67 AS HMC	-4,00	1,22	1,30	0,08
CR-39 1.67 AS HMC	-5,00	1,22	1,30	0,08

Tabulky (5, 6, 7, 8) udávají hodnoty pro výrobcem udávanou okrajovou tloušťku v porovnání s naměřenými hodnotami metodou 1 (digitálním měřidlem) a metodou 2 (mechanickým měřidlem). Průměr naměřených hodnot pro metodu 1 je 0,059 a směrodatná odchylka je rovna $\pm 0,124$. Průměr okrajové tloušťky pro minusové čočky u metody 1 je 0,043 a směrodatná odchylka je rovna $\pm 0,114$. Průměr hodnot naměřených metodou 2 je 0,041 a směrodatná odchylka je rovna $\pm 0,156$. Pro minusové čočky u metody 2 odpovídá průměr hodnot -0,02 a směrodatná odchylka je rovna $\pm 0,152$.

Tabulka 5: Porovnání udávané a naměřené hodnoty okrajové tloušťky pro index lomu 1,5

Čočky	Sph (D)	Okrajová tl. Výrobce (mm)	První metoda okrajová tl. (mm)	Rozdíl hodnot výrobce/metoda 1 (mm)	Druhá metoda okrajová tl. (mm)	Rozdíl hodnot výrobce/metoda 2 (mm)
CR-39 1.5	1,00	1,10	1,20	0,10	1,30	0,20
CR-39 1.5	2,00	1,10	1,17	0,07	1,10	0,00
CR-39 1.5	3,00	1,04	1,07	0,03	1,20	0,16
CR-39 1.5	4,00	0,92	1,09	0,17	1,20	0,28
CR-39 1.5	5,00	1,05	1,05	0,00	1,10	0,05
CR-39 1.5	-1,00	3,18	3,19	0,01	3,30	0,12
CR-39 1.5	-2,00	4,49	4,72	0,23	4,70	0,21
CR-39 1.5	-3,00	5,75	5,68	-0,07	5,60	-0,15
CR-39 1.5	-4,00	6,99	7,17	0,18	6,80	-0,19
CR-39 1.5	-5,00	8,37	8,57	0,20	8,50	0,13

Tabulka 6: Porovnání udávané a naměřené hodnoty okrajové tloušťky pro index lomu 1,6

Čočky	Sph (D)	Okrajová tl. Výrobce (mm)	První metoda okrajová tl. (mm)	Rozdíl hodnot výrobce/metoda 1 (mm)	Druhá metoda okrajová tl. (mm)	Rozdíl hodnot výrobce/metoda 2 (mm)
CR-39 1.6 HMC	1,00	1,52	1,82	0,30	1,80	0,28
CR-39 1.6 HMC	2,00	1,23	1,53	0,30	1,50	0,27
CR-39 1.6 HMC	3,00	1,15	1,29	0,14	1,30	0,15
CR-39 1.6 HMC	4,00	1,15	1,34	0,19	1,20	0,05
CR-39 1.6 HMC	5,00	1,13	1,24	0,11	1,40	0,27
CR-39 1.6 HMC	-1,00	2,86	2,81	-0,05	2,90	0,04
CR-39 1.6 HMC	-2,00	3,70	3,73	0,03	3,70	0,00
CR-39 1.6 HMC	-3,00	4,94	5,02	0,08	5,00	0,06
CR-39 1.6 HMC	-4,00	6,18	6,06	-0,12	6,10	-0,08

Tabulka 7: Porovnání udávané a naměřené hodnoty okrajové tloušťky pro index lomu 1,6 AS

Čočky	Sph (D)	Okrajová tl. Výrobce (mm)	První metoda okrajová tl. (mm)	Rozdíl hodnot výrobce/metoda 1 (mm)	Druhá metoda okrajová tl. (mm)	Rozdíl hodnot výrobce/metoda 2 (mm)
CR-39 1.6 AS HMC	1,00	1,77	1,71	-0,06	1,70	-0,07
CR-39 1.6 AS HMC	3,00	1,24	1,27	0,03	1,30	0,06
CR-39 1.6 AS HMC	4,00	1,20	1,08	-0,12	1,10	-0,10
CR-39 1.6 AS HMC	5,00	1,14	1,02	-0,12	1,00	-0,14

Tabulka 8: Porovnání udávané a naměřené hodnoty okrajové tloušťky pro index lomu 1,67 AS

Čočky	Sph (D)	Okrajová tl. Výrobce (mm)	První metoda okrajová tl. (mm)	Rozdíl hodnot výrobce/metoda 1 (mm)	Druhá metoda okrajová tl. (mm)	Rozdíl hodnot výrobce/metoda 2 (mm)
CR-39 1.67 AS HMC	4,00	1,50	1,35	-0,15	1,30	-0,20
CR-39 1.67 AS HMC	5,00	1,23	1,32	0,09	1,30	0,07
CR-39 1.67 AS HMC	6,00	1,26	1,42	0,16	1,50	0,24
CR-39 1.67 AS HMC	-1,00	2,20	2,37	0,17	2,30	0,10
CR-39 1.67 AS HMC	-2,00	3,17	3,22	0,05	3,10	-0,07
CR-39 1.67 AS HMC	-3,00	4,32	4,26	-0,06	4,10	-0,22
CR-39 1.67 AS HMC	-4,00	5,48	5,56	0,08	5,50	0,02
CR-39 1.67 AS HMC	-5,00	6,65	6,53	-0,12	6,40	-0,25

Tabulky (9, 10, 11, 12) udávají hodnoty pro výrobcem udávanou přední křivku v porovnání s naměřenými hodnotami. Průměr naměřených hodnot je -0,003 a směrodatná odchylka je rovna $\pm 0,162$.

Tabulka 9: Porovnání udávané a naměřené hodnoty přední křivky pro index lomu 1,5

Čočky	Sph (D)	Výrobce udávaná přední křivka (D)	Naměřené hodnoty přední křivky (D)	Rozdíl hodnot (D)
CR-39 1.5	1,00	4,91	4,75	-0,16
CR-39 1.5	2,00	5,95	5,75	-0,20
CR-39 1.5	3,00	5,62	5,75	0,13
CR-39 1.5	4,00	6,66	6,67	0,01
CR-39 1.5	5,00	7,05	6,87	-0,18
CR-39 1.5	-1,00	4,58	4,25	-0,33
CR-39 1.5	-2,00	3,77	3,67	-0,10
CR-39 1.5	-3,00	2,67	2,67	0,00
CR-39 1.5	-4,00	1,57	1,75	0,18
CR-39 1.5	-5,00	1,36	1,50	0,14

Tabulka 10: Porovnání udávané a naměřené hodnoty přední křivky pro index lomu 1,6

Čočky	Sph (D)	Výrobce udávaná přední křivka (D)	Naměřené hodnoty přední křivky (D)	Rozdíl hodnot (D)
CR-39 1.6 HMC	1,00	2,80	2,75	-0,05
CR-39 1.6 HMC	2,00	3,80	4,00	0,20
CR-39 1.6 HMC	3,00	3,90	3,75	-0,15
CR-39 1.6 HMC	4,00	4,90	5,00	0,10
CR-39 1.6 HMC	5,00	5,90	5,87	-0,03
CR-39 1.6 HMC	-1,00	3,50	3,50	0,00
CR-39 1.6 HMC	-2,00	3,00	2,87	-0,13
CR-39 1.6 HMC	-3,00	2,50	2,75	0,25
CR-39 1.6 HMC	-4,00	2,00	2,25	0,25

Tabulka 11: Porovnání udávané a naměřené hodnoty přední křivky pro index lomu 1,6 AS

Čočky	Sph (D)	Výrobce udávaná přední křivka (D)	Naměřené hodnoty přední křivky (D)	Rozdíl hodnot (D)
CR-39 1.6 AS HMC	1,00	4,50	4,50	0,00
CR-39 1.6 AS HMC	3,00	5,40	5,37	-0,03
CR-39 1.6 AS HMC	4,00	6,40	6,25	-0,15
CR-39 1.6 AS HMC	5,00	7,40	7,25	-0,15

Tabulka 12: Porovnání udávané a naměřené hodnoty přední křivky pro index lomu 1,67 AS

Čočky	Sph (D)	Výrobce udávaná přední křivka (D)	Naměřené hodnoty přední křivky (D)	Rozdíl hodnot (D)
CR-39 1.67 AS HMC	4,00	5,75	5,58	-0,17
CR-39 1.67 AS HMC	5,00	6,50	6,55	0,05
CR-39 1.67 AS HMC	6,00	7,50	7,53	0,03
CR-39 1.67 AS HMC	-1,00	3,00	3,00	0,00
CR-39 1.67 AS HMC	-2,00	2,50	2,36	-0,14
CR-39 1.67 AS HMC	-3,00	2,00	2,36	0,36
CR-39 1.67 AS HMC	-4,00	1,50	1,80	0,30
CR-39 1.67 AS HMC	-5,00	1,00	1,25	0,25

10 Diskuse

Experimentální část této bakalářské práce se zabývá měřením parametrů brýlových čoček, které mají různé povrchové úpravy a indexy lomu, případně jsou sférické či asférické. Tato diskuse bude porovnávat výsledky našeho měření s hodnotami udávanými výrobcem.

Jako první byla změřena středová tloušťka čočky. Průměr naměřených hodnot byl $-0,012$ a směrodatná odchylka byla rovna $\pm 0,075$. Z těchto naměřených výsledků se dá vzít v potaz, že měření bylo přesné, jelikož se od hodnot udávaných výrobcem tolik neliší a směrodatná odchylka je velmi malá, a to i když měření probíhalo manuálním tloušťkoměrem, kde by se dalo předpokládat větší velikost odchylky. Dále byly změřeny hodnoty pro plusové čočky, jelikož je zde středová tloušťka podstatnější, průměr naměřených hodnot je $0,018$ a směrodatná odchylka odpovídá $\pm 0,066$. I toto měření se dá považovat za přesné.

V další části byla měřena okrajová tloušťka, která byla měřena dvěma odlišnými metodami. Při první měření byla průměrná hodnota $0,059$ a směrodatná odchylka je rovna $\pm 0,124$. Průměrné hodnoty pro minusové čočky jsou $0,043$ a směrodatná odchylka je rovna $\pm 0,114$. Tato metoda byla prováděna digitální posuvnou šuplerou a počítalo se s dobrou přesností pro měření, které jsme také dosáhli. Pouze u některých čoček nám vycházely větší hodnoty odlišných od hodnot výrobce. Tyto odlišnější hodnoty mohou být způsobeny i snahou nepoškodit čočky tudíž mohlo být měřidlo umístěno nepřesně. Druhá metoda měla průměr hodnot $0,041$ a směrodatná odchylka je rovna $\pm 0,156$. Pro minusové čočky je průměr pro metodu dva $-0,02$ a směrodatná odchylka je rovna $\pm 0,152$. Tato metoda byla měřena manuálním tloušťkoměrem a předpokládalo se, že přesnost této metody nebude tak velká. V porovnání s metodou jedna se směrodatná odchylka zvětšuje, tudíž ukazuje, nepřesnost této metody tak, jak jsme předpokládali. Toto tvrzení platí i pro minusové čočky, kde se směrodatná odchylka též zvětšuje.

Jako poslední bylo měřeno zakřivení přední křivky, jehož průměr hodnot byl $-0,003$ a směrodatná odchylka je rovna $\pm 0,162$. Průměr hodnot je hluboko pod odchylkou, kterou by člověk zaznamenal. Hodnota směrodatné odchylky je větší, než je udávána normou ČSN EN ISO 8980-2 a ČSN EN ISO 8980-2, což odpovídá $\pm 0,12$. Toto měření bylo prováděno sférometrem, a proto je možné, že je větší chyba způsobena právě tímto faktorem. Sféroметр jako manuální měřidlo, které musí být přesně umístěno na střed čočky, a ještě na ni být i kolmý. Bylo měřeno s přesností na $0,12 D$, čímž může být výsledná chyba též způsobena.

11 Závěr

V teoretické části své bakalářské práce jsem provedl rešerši základních vlastností brýlových čoček. Následně jsem popsal, z jakých materiálů se brýlové čočky vyrábí a jaké jsou jejich fyzikální a chemické vlastnosti. Dále jsem uvedl povrchové úpravy pro brýlové čočky, které se běžně používají. Byly také představeny vady oka a jejich korekce. V neposlední řadě jsem vylíčil také typy brýlových obrub a brýlových čoček. V poslední části byly popsány přístroje, kterými probíhalo měření.

Experimentální část této bakalářské práce se zabývá parametry brýlových čoček. Cílem bylo změřit tyto hodnoty a porovnat je s hodnotami udávanými výrobcem (případně, jak se liší od povolených norem dle ČSN). Středová tloušťka byla měřena mechanickým tloušťkoměrem, okrajová tloušťka byla měřena mechanickým tloušťkoměrem a také digitální posuvnou šuplerou. Přední křivka byla měřena manuálním sférometrem. Po naměření čoček byla tyto data vynesena do tabulek a porovnána s hodnotami od výrobce.

Z mého experimentu vyplynulo, že odchylky při měření jsou velmi malé. Nejmenší odchylku mělo měření středové tloušťky, následovalo měření okrajové tloušťky první metodou poté, druhou metodou. Jako nejméně přesné měření se nám jeví měření zakřivení přední křivky. Obecně se dá vzít v potaz, že odchylky těchto měření jsou natolik malé, že se celkové měření dá považovat za přesné a nedokazuje žádnou větší odchylku od hodnot udávaných výrobcem. Parametry brýlových čoček se tedy od hodnot udávaných výrobcem natolik neliší, a mohou se brát za přesné.

Seznam použité literatury

Citovaná literatura

- [1] *Lens materials: Laramy-K Optical Lab* [online]. -: -, 2010 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.laramyk.com/resources/education/lens-options-and-materials/lens-materials/>
- [2] FUKA, Josef a Bedřich HAVELKA. *Optika a atomová fyzika*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1961. Učebnice pro vysoké školy (Státní pedagogické nakladatelství).
- [3] ZEISS, Carl. *Handbook of Ophthalmic Optics*. 2. 1991.
- [4] NAYAN, S a I OKE. *Lens Material Properties: EyeWiki* [online]. -: -, 2020 [cit. 2021-12-29]. Dostupné z: https://eyewiki.aao.org/Lens_Material_Properties
- [5] BAŠTECKÝ, Richard. *Praktická brýlová optika*. Praha: R H Optik, 1997.
- [6] BHOOTRA, Ayay Kumar. *Ophthalmic lenses*. Jaypee Brothers. Medical Publishers Pvt: Limited, 2009. ISBN 8184486049, 9788184486049.
- [7] Development and implementation of creative, solutive and smart teaching (CS2T) to improve 21 st century capability on wave and optics. In: : *In: ResearchGate* [online]. 2019 [cit. 2022-01-03].
- [8] VESELÝ, Petr, Peter ŠIMOVIČ a Sylvie PETROVÁ. *Konvenční a free-form technologie výroby brýlových čoček*. Vyd. 1. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2014. ISBN 978-80-7013-566-2.
- [9] NAJMAN, Ladislav. *Dílenská praxe očního optika*. Vyd. 1. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2001. ISBN 80-7013-328-7.
- [10] MEISTER, Darryl a James SHEEDY. *Introduction to Ophthalmic Optics*. 5. Carl Zeiss Vision, 2004.
- [11] MATTERN, Roland. *Struktur von Polyallyldiglycolcarbonat (PADC)*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2022-01-03].
- [12] KEAY, L. a D. S. FRIEDMAN. *Correcting refractive error in low income countries*.

- BMJ* [online]. 2011, **343**(092), 4793-4793 [cit. 2021-11-22]. ISSN 1756-1833. Dostupné z: doi:10.1136/bmj.d4793
- [13] *Materiály brýlových čoček* [online]. In: . HOYA, 2022 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.hoyavision.com/cz/objevit-produkty/pro-optiky/materialy-cocek/>
- [14] NAJMAN, Ladislav. *Dílenská praxe očního optika*. Vyd. 2., přeprac. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2010. ISBN 9788070135297.
- [15] Chemical structure of Lexan polycarbonate. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Lexan.svg>
- [16] *Plastové nebo skleněné čočky* [online]. In: . Zeiss, 2022 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/vision-care/lepsivideni/pochopeni-zraku/plastove-nebo-sklenene-cocky.html>
- [17] HEITING, Gary. *Lens coatings: Anti-reflective, scratch resistant, anti fog, UV.: All about vision* [online]. In: . 2020 [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: <https://www.allaboutvision.com/lenses/coatings.htm>
- [18] ŠIMOVIČ, P. *Antireflexní úpravy a kontrola kvality*. Česká oční optika, 2012. ISSN 1211 233X.
- [19] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Druhé, přepracované vydání. Praha: Galén, 2017. ISBN 978-80-7492-316-6.
- [20] LENS, Al, Sheila Coyne NEMETH a Janice K. LEDFORD. *Ocular anatomy and physiology*. 2nd edition. Thorofare: SLACK Incorporated, 2008. ISBN 978-1-55642-792-3.
- [21] KUČHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. 2., přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8.
- [22] Astigmatismus. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/42/Astigmatism_text_blur.png

- [23] *Management of Refractive Errors & Prescription of Spectacles*. Jaypee Brothers. Medical Publishers, 2015. ISBN 978-9351528845.
- [24] RUTRLE, Miloš. *Břýlová technika, estetika a přizpůsobování brýlí: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology*. Vyd. 1. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2001. ISBN 80-7013-347-3.
- [25] *Jak brýle vybrat: Druhy brýlových obrub a materiál* [online]. In: . [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.optika-richter.cz/dioptricke-bryle/jake-bryle-vybrat/>
- [26] RUTRLE, Miloš. *Břýlová optika*. 1. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1993. ISBN 8070131454.
- [27] *Bifokální brýlové čočky* [online]. In: . Zeiss, 2022 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/vision-care/pro-lekare-ci-optometristy/produkty/brylove-cocky/multifokalni-cocky/bifokalni-brylove-cocky-ct-25-ct-28.html>
- [28] *Progresivní brýlové čočky* [online]. In: . Zeiss, 2022 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/vision-care/zeiss-vyrobky/progresivni-bryove-cocky.html>
- [29] *Digitální posuvné měřítko* [online]. In: . Breitfeld & Schliekert, 2022 [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <https://www.bsoptik.cz/posuvna-meritka-merky/>
- [30] BENEŠ, Pavel. *Optická praktika* [online]. In: . Lékařská fakulta Masarykovy univerzity, 2010 [cit. 2022-02-10].

Seznam obrázků

Obrázek 1: Disperze bílého světla [7].....	4
Obrázek 2: Vzorec CR-39 [11].....	8
Obrázek 3: Vzorec Polykarbonátu [14]	9
Obrázek 4: Grafické znázornění reflexů [5]	11
Obrázek 5: Porovnání velikosti kontaktního úhlu [15].....	12
Obrázek 6: Dip metoda [8]	14
Obrázek 7: Spin metoda [8]	15
Obrázek 8: Grafické zobrazení myopie [17].....	17
Obrázek 9: Grafické znázornění hypermetropie [17]	18
Obrázek 10: Grafické znázornění astigmatismu [18]	19
Obrázek 11: Brýlové obruby s očnicemi [20]	21
Obrázek 12: Poloobraby [20].....	22
Obrázek 13: Brýle bez očnic [20]	23
Obrázek 14: Fokometr Huvitz HLM-7000P	29
Obrázek 15: Zobrazení měření digitálním posuvným měřítkem	30
Obrázek 16: Měření okrajů digitálním měřidlem	30
Obrázek 17: Sférometr-měření přední křivky a ukázka polohy sférometru z boku.....	31
Obrázek 18: Měření zadní křivky sférometrem	31
Obrázek 19: Měření středové tloušťky tloušťkoměrem.....	32
Obrázek 20: Měření okrajů manuálním tloušťkoměrem.....	32

Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání udávané a naměřené hodnoty středové tloušťky pro index lomu 1,5.....	33
Tabulka 2: Porovnání udávané a naměřené hodnoty středové tloušťky pro index lomu 1,6.....	33
Tabulka 3: Porovnání udávané a naměřené hodnoty středové tloušťky pro index lomu 1,6 AS.....	33
Tabulka 4: Porovnání udávané a naměřené hodnoty středové tloušťky pro index lomu 1,67 AS.....	34
Tabulka 5: Porovnání udávané a naměřené hodnoty okrajové tloušťky pro index lomu 1,5	34
Tabulka 6: Porovnání udávané a naměřené hodnoty okrajové tloušťky pro index lomu 1,6	35
Tabulka 7: Porovnání udávané a naměřené hodnoty okrajové tloušťky pro index lomu 1,6 AS	35
Tabulka 8: Porovnání udávané a naměřené hodnoty okrajové tloušťky pro index lomu 1,67 AS	35
Tabulka 9: Porovnání udávané a naměřené hodnoty přední křivky pro index lomu 1,5	36
Tabulka 10: Porovnání udávané a naměřené hodnoty přední křivky pro index lomu 1,6	36
Tabulka 11: Porovnání udávané a naměřené hodnoty přední křivky pro index lomu 1,6 AS	36
Tabulka 12: Porovnání udávané a naměřené hodnoty přední křivky pro index lomu 1,67 AS	37