

**PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLMOUCI
KATEDRA OPTIKY**

Sportovní brýle a dioptrická korekce

Bakalářská práce

VYPRACOVAL:
Jaroslav Urbanec
Obor Optometrie
Studijní rok 2015/2016

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:
RNDr. Jaroslav Wagner, Ph.D.

Čestné prohlášení

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

V Olomouci dne 25. 4. 2016

.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu RNDr. Jaroslavu Wagnerovi, Ph.D. za jeho vstřícný přístup a rady. Zároveň chci poděkovat přítelkyni za pomoc s korekturou a psychickou podporu. Tato práce byla vytvořena za podpory projektu IGA PřF UP v Olomouci s názvem "Optometrie a její aplikace", č. IGA_PrF_2016_015.

OBSAH

1. Úvod	6
2. Popis brýlové obruby	7
3. Materiály na výrobu obrub	7
3.1 Požadavky na materiál obrub	8
3.2 Materiály na výrobu kovových brýlových obrub	9
3.3 Materiály na výrobu nekovových brýlových obrub	9
4. Brýlové čočky	10
4.1 Základní optické vlastnosti brýlových čoček	10
4.2 Tolerance odchylek u vyrobených čoček	12
4.3 Materiály na výrobu minerálních brýlových čoček	13
4.4 Materiály na výrobu plastových brýlových čoček	13
4.5 Výrobní postup brýlových čoček	15
4.6 Povrchové úpravy brýlových čoček	17
5. Chod paprsku okem	27
5.1 Optická osa oka	27
5.2 Osa vidění	27
5.3 Střed otáčení oka	27
6. Požadavky na centrování brýlových čoček	27
6.1 Tolerance pro centrování brýlových čoček	29
6.2 Prohýbání brýlového středu	30
7. Parametry potřebné pro výrobu sportovních brýlí	30
7.1 Pupilární distance (PD)	31
7.2 Výška	31
7.3 Inklinace	31
7.4 Vrcholová vzdálenost	32
7.5 Prohnutí brýlového středu	33
7.6 Báze	34
7.7 Prizmatická decentrace	35
7.8 Astigmatismus šikmých svazků	35
8. Způsoby korekce pro sportovce	36
8.1 Kontaktní čočky	36
8.2 Dioptrické sportovní brýle s klipem	36
8.3 Dioptrické sportovní brýle s přímo zabroušenými skly	37
8.4 Speciální sportovní dioptrické brýle	37

8.5	Specifika jednotlivých sportů.....	38
9.	Vlastní měření.....	41
10.	Závěr.....	43
11.	Zdroje.....	44

1. Úvod

Tato práce je zaměřena na oblast sportovních brýlí a zejména na korekci těmito brýlemi. Důvodem volby tohoto tématu byla jednak stránka praktická, kdy s velkou popularitou sportu se optometristé budou muset touto oblastí zabývat, a měli by mít tudíž alespoň nějaký základní přehled. Druhým faktorem ovlivňujícím volbu tématu byly osobní preference vycházející z kladného vztahu ke sportovní aktivitě. Bakalářská práce byla napsána ve snaze, aby přinesla potřebné informace odborníkům (optometristům, očním optikům), ale zároveň aby byla srozumitelná i pro laiky. Cíle práce jsou dva základní. Prvním je popsat faktory ovlivňující správnou korekci sportovními obrubami a potřebu komplexního přístupu k této oblasti. Druhým cílem této bakalářské práce je shrnout poznatky v oblasti korekce sportovními brýlemi, a poskytnout tak postup či radu, jak správně zvolit sportovní brýle. Práci tvoří zejména rešerše různých zdrojů, je zde ovšem i část věnována vlastnímu měření a interpretaci výsledků tohoto měření. Práce začíná základním popisem materiálů sloužících k výrobě brýlových obrub a stejně tak brýlových čoček. U brýlových čoček jsou rozebrány mimo jiné povrchové úpravy a speciální pozornost je věnována barvení brýlových čoček. Jsou zde nastíněny požadavky dle norem jak na brýlové obruby, tak na brýlová skla a jejich případné povolené odchylky. Kratší kapitola je věnována obecně problematice centrování, které je zásadní u dioptrických sportovních brýlí. Následně je již problematika přímo orientována na sportovní brýle, počínaje parametry potřebnými k jejich zhotovení až po možné způsoby korekce sportovců a rozdíly mezi jednotlivými sporty.

2. Popis brýlové obruby

Brýlové obruby se dělí do 3 skupin: obruby s očnicemi, obruby bez očnic a poloobruba.

Brýlové obruby s očnicemi se skládají z brýlového středu a k němu pomocí stěžejek připojených dvou straníc. Brýlový střed je tvořen dvěma očnicemi, které navzájem spojuje nosník. Vnitřní obvod očnic je tvořen drážkou, v níž jsou vsazena brýlová skla. Styk obruby s nosem uživatele zajišťují sedla, která jsou připevněna k očnicím nebo vyztužujícím dílům nosníku. Na stranici se nachází koncovka, která zase kryje styk brýlí s ušima. [1, 5]

Skladba poloobruba je fakticky stejná, jen část očnice chybí a bývá nahrazena silonem. Výhodou je zvětšení zorného pole v místě, kde je očnice nahrazena silonem. Nevýhodou zase menší ochrana čočky proti poškození. Rozdíl je i v zábrusu čoček, kdy u brýlí s očnicemi se nachází střežovitá řáza po celém obvodu čočky, naopak u poloobruba je střežovitá řáza jen v místě očnice a v místě silonu je řáza plochá. [1, 5]

Brýle bez očnic, jak název napovídá, nemají žádné očnice. K uchycení čoček k obrubě pak slouží přímo plocha těchto čoček. Do plochy čoček jsou vyvrtány otvory a v nich je připevněna obruba. Čočky do těchto obrub mají plochou řázu. [1, 5]

3. Materiály na výrobu obrub

Brýlové obruby se po dobu jejich existence vyráběly z mnoha různorodých materiálů, z nichž vyrobené obruby lze členit na kovové nebo nekovové brýlové obruby. Mezi materiály na výrobu nekovových obrub patří materiály přírodní, které se ve velké míře používaly před objevem celuloidu. Patří sem například dřevo, rohovina, želvovina a některé další. Kromě přírodních materiálů sem patří umělé hmoty, které jsou v současné době velmi využívány. [2, 5]

3.1 Požadavky na materiál obrub

Materiál brýlových obrub musí mít určité vlastnosti, aby mohly obruby plnit svou funkci. Mezi vlastnosti jež by měl materiál mít, řadíme:

- přiměřená tvrdost a houževnatost
- tvarovatelnost za tepla
- tvarovou stálost
- pružnost
- dobrou opracovatelnost a leštitelnost
- možnost estetických úprav
- odolnost proti chemickým vlivům a stárnutí
- nehořlavost
- nízkou hustotu
- nevyvolávání alergenních reakcí
- hospodárnost výrobních technologií

Dále je nutno dodržovat normy dle ČSN (konkrétně ČSN EN ISO 12870) týkající se požadavků na brýlové obruby. Podle této normy se hodnotí několik základních faktorů. Zprvce se zde kontroluje dodržení parametrů brýlové obruby, které se nacházejí na obrubě. Hodnota těchto rozměrů se nesmí lišit o víc jak $\pm 0,5$ mm (horizontální velikost čočky, vzdálenost mezi čočkami, šířka nosníku), u délky straníc je tolerance ± 2 mm. Dále se sleduje biologická snášenlivost materiálu, což z výroby vylučuje materiály vyvolávající alergickou či toxickou reakci. Dalšími důležitými faktory jsou mechanická stálost, trvanlivost, odolnost proti potu a záření a nehořlavost. V rámci mechanické stálosti se testuje trvalá deformace nosníku vznikající vlivem působení síly 5 N po dobu 5 s. Trvanlivost se testuje mnohonásobným ohýbáním obruby do všech stran, kde se následně kontroluje vznik trhlin či deformací. K ověření odolnosti proti potu slouží roztok kyseliny mléčné, chloridu sodného a vody. Obruba je uložena na vatě tohoto roztoku a vložena do pece nahřáté na teplotu 55 °C na dobu 8 hodin. Po kontrole se nesmí projevit změna zbarvení či skvrny ani oddělení povrchové vrstvy. Následně se tento proces opakuje na dobu 16 hodin. Xenonové světlo slouží ke kontrole odolnosti vůči záření. Nesmí zde dojít ke změně zbarvení či ztrátě lesku. Nehořlavost se testuje 5s působením tyčky zahřáté na 650 °C. Materiál nesmí hořet po oddálení tyčky. [2]

3.2 Materiály na výrobu kovových brýlových obrub

K výrobě kovových obrub se používají slitiny kovů, jelikož čisté kovy nemají optimální vlastnosti na výrobu brýlí. K tomu se ještě pro zlepšení vlastností nanáší povrchové úpravy. Původně se používaly na výrobu obrub kovy jako železo, měď, nikl, stříbro či zlato. Později se začaly používat slitiny mědi, niklu a zinku zvané nové stříbro. Postupně se začala používat i ušlechtilá ocel, titan a beryliový bronz. Povrchové úpravy mají několik důležitých funkcí. Jednak zvyšují chemickou odolnost obruby, upravují estetický vzhled a u obrub obsahujících nikl zabraňují jeho dotyku s pokožkou. Tyto vrstvy se nanáší buď lakováním, mechanickým nanášením, elektrolytickým pokovováním či vytvářením plastových vrstev. Kovové obruby se vyrábí ze slitin kovů jako je měď, nikl, železo, zlato a další. Typická je aplikace ušlechtilých kovů na povrch obruby vedoucí ke zvýšení chemické odolnosti. Využití kovových obrub je však ve sportu minimální. [2]

3.3 Materiály na výrobu nekovových brýlových obrub

Celuloid

K jeho výrobě slouží přírodní celulóza. Celuloid byl využíván jako imitace přírodních materiálů za pomoci barevných pigmentů. Tento materiál se přestal používat na výrobu brýlových obrub z důvodu jeho vysoké hořlavosti. Již při 100 °C tvoří bublinky a při 140 °C explozivně hoří. [2]

Acetát celulózy

Patří k historicky velmi starým materiálům používaným k výrobě obrub. Pro jeho výrobu se používá rovněž celulóza. Oproti celuloиду má horší mechanické vlastnosti. Jeho výhodami oproti celuloиду je nižší hořlavost, větší odolnost proti stárnutí materiálu a možnost levnější technologie výroby. [2]

Aceto-propionát celulózy

Klíčovou surovinou je opět celulóza. Tento materiál je tužší než acetát celulózy a je odolnější proti stárnutí. Další výhodou je jeho špatná hořlavost. Je lehčí než acetát a méně alergenní. [2]

Aceto-butyrát celulózy

Je typický svým zápachem, díky kterému jeho využití nebylo nikterak četné. Výhodou je kromě dobrých mechanických vlastností odolnost vůči chladu. Díky tomu našel uplatnění při výrobě brýlí pro zimní sporty. [2]

Polymetylmetakrylát

Polymetylmetakrylát neboli PMMA je křehčí než předchozí materiály a jeho odolnost vůči nárazu je rovněž menší. [2]

Polyamid

Tvoří několik modifikací, mezi něž patří například grilamid. Mezi výhody patří vysoká pevnost, odolnost proti chemickým prostředkům a potu, nealergičnost a lehkost. [2]

Optyl

Patří do skupiny epoxidových pryskyřic. Mezi výhody patří nízká hmotnost, odolnost proti poškrábání, odolnost proti vysokým teplotám a tvarová paměť. Nevýhodou je naopak vyšší křehkost a s tím spojená náchylnost k prasknutí. [2]

4. Brýlové čočky

Mezi materiály na výrobu brýlových čoček patří sklo a umělé hmoty. Podle toho se čočky dělí na minerální (skleněné) a plastové. [2]

4.1 Základní optické vlastnosti brýlových čoček

Brýlové čočky jsou charakterizované několika optickými parametry, které udávají optické vlastnosti čočky a průchod paprsku touto čočkou. Jedná se o vrcholovou lámavost, index lomu, disperzi udávanou Abbeovým číslem a absorpci.

Index lomu

Rozlišuje se absolutní index lomu n , který je roven poměru rychlosti světla ve vakuu k rychlosti světla v daném prostředí:

$$n = \frac{c}{v},$$

kde c je rychlost světla ve vakuu a v rychlost světla v daném prostředí.

Výše uvedená definice je obecně platnou rovnicí, nicméně pro praxi se spíše využívá relativní index lomu vzhledem ke vzduchu n_{12} . Relativní index lomu bývá většinou uváděn pro žluté sodíkové světlo o $\lambda = 589,5$ nm.

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2},$$

kde v_1 značí rychlost světla ve vzduchu a v_2 rychlost světla v uvažovaném prostředí.

Právě tento relativní index lomu bývá uváděn v katalozích pro jednotlivé čočky. [5, 23]

Disperze

Jde o jev, kdy dochází k rozkladu bílého světla na barevné složky. Děje se tak v důsledku závislosti indexu lomu na vlnové délce. Disperze je udávána Abbeovým číslem, kde platí nepřímá úměra. To znamená, že se zvyšujícím se Abbeovým číslem se disperze snižuje a naopak. Abbeovo číslo je charakterizováno vztahem:

$$v = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C},$$

kde n_D, n_F, n_C jsou indexy lomu odpovídající Fraunhoferovým čárám. [23]

Absorpce

Jedná se pohlcení energie fotonu, která je poté opět vyzářena nebo dochází k její přeměně na jiný typ energie. [23]

Vrcholová lámavost

Je veličina, která nám udává dioptrickou hodnotu brýlové čočky. V praxi je odstupňována po 0,25 D. Matematicky je definována jako převrácená hodnota sečné ohniskové vzdálenosti v metrech. Hodnota vrcholové lámavosti se od optické mohutnosti liší tím více, čím více je čočka prohnuta. Platí, že zadní vrcholová lámavost S'_B je závislá na axiální refrakci a na vzdálenosti zadní lochy čočky od předmětového bodu oka. Platí zde vztah $S'_B = \frac{A_R}{(1+d \cdot A_R)}$, kde A_R je axiální refrakce oka a d je vzdálenost zadního vrcholu čočky od předmětového bodu oka. [14, 21]

4.2 Tolerance odchylek u vyrobených čoček

Odchytky jednotlivých parametrů čoček od jejich požadovaných hodnot se měří v rámci kontrolní fáze po dokončeném výrobním cyklu. Tyto odchylky se řídí normami ČSN EN ISO 8980-1 a ČSN EN ISO 8980-2. [23]

Tabulka 1: Povolené odchylky vyrobených čoček

Lámavost meridiánu s největší hodnotou	Tolerance lámavosti	Tolerance cylindrické lámavosti	
		Pro cylindr 0,00–0,75	Pro cylindr 0,75–4,00
0,00–3,00	±0,12	±0,09	±0,12
3,00–6,00	±0,12	±0,12	±0,12
6,00–9,00	±0,12	±0,12	±0,18
9,00–12,00	±0,18	±0,12	±0,18
12,00–20,00	±0,25	±0,18	±0,25
20≤	±0,37	±0,25	±0,25

Hodnoty v dioptriích (D)

Lámavost meridiánu s největší hodnotou	Tolerance lámavosti	Tolerance cylindrické lámavosti	
		Pro cylindr 4,00–6,00	Pro cylindr 6,00<
0,00–3,00	±0,12	±0,18	±0,25
3,00–6,00	±0,12	±0,18	±0,25
6,00–9,00	±0,12	±0,18	±0,25
9,00–12,00	±0,18	±0,25	±0,25
12,00–20,00	±0,25	±0,25	±0,25
20≤	±0,37	±0,25	±0,37

Hodnoty v dioptriích (D)

Lámavost cylindru (D)	0–0,5	0,5–0,75	0,75–1,5	≥1,5
Tolerance směru osy (°)	±7	±5	±3	±2

Hranolový účinek (Δ)	Tolerance pro jednoohniskové čočky		Tolerance pro víceohniskové čočky		
	Prizma (Δ)	Poloměr kružnice (mm)	Prizma (Δ)	Horizontálně (mm)	Vertikálně (mm)
0–2,0	$\pm 0,25$	1	$\pm 0,25$	1	0,5
2,0–10,0	$\pm 0,37$		$\pm 0,37$		
>10,0	$\pm 0,50$		$\pm 0,50$		

4.3 Materiály na výrobu minerálních brýlových čoček

Sklo bylo dříve výhradním materiálem na výrobu brýlových čoček, avšak dnes je vytlačováno plastovými materiály. Existuje celá řada optických skel s rozdílným chemickým složením a odlišnými optickými vlastnostmi. Patří sem například sklo korunové či flintové. Klasické korunové sklo má index lomu 1,523, Abbeovo číslo 58,3 a hustota se pohybuje mezi $2,55 \text{ g/cm}^3$ a $4,02 \text{ g/cm}^3$. [2]

4.4 Materiály na výrobu plastových brýlových čoček

Plastové materiály můžeme rozdělit na termosety a termoplasty. Mezi termosety patří materiál CR39, který patří mezi allylové estery. Pro termosety je charakteristické, že tvrdnou působením tepla bez následné možnosti změny tvaru. K termoplastům se řadí polykarbonát a polymethylmetakrylát. Termoplasty naopak působením tepla měknou. [7]

CR 39

Materiál označený CR 39 se k výrobě brýlových čoček začal používat v 50. letech 20. století. Konkrétně se jedná o allyldiglykolkarbonátu. Tento materiál byl původně vyvinut pro vojenské účely. Index lomu je standardně 1,5 s Abbeovým číslem 58, ale vyrábí se i s indexem lomu 1,6 a Abbeovým číslem 36. Výhodami je vysoká odolnost proti vysokým teplotám a vlivu rozpouštědel. Rovněž je to pevnost a nízká hustota $1,32 \text{ g/cm}^3$, vysoká propustnost pro světlo a snadné barvení. [2, 7]

Polymethylmetakrylát (PMMA)

Ke komerčnímu užívání tohoto materiálu došlo ve 30. letech 20. století. Byl využíván k výrobě levnější optiky a v dnešní době už se nepoužívá. Jeho index lomu je 1,49, hustota asi 1,19 g/cm³. Velkou nevýhodou je malá odolnost proti otěru. Abbeovo číslo je rovněž kolem hodnoty 58 jako u CR 39. [2,7]

Polykarbonát

Jedná se o materiál s indexem lomu 1,59 a hustotě 1,20 g/cm³. Je velmi odolný vůči nárazu a vysokým teplotám. V optickém průmyslu je využíván od 70. let 20. století. Tento materiál je velmi náchylný na oděr, a proto musí být vytvrzen lakem. Nevýhodou je nižší odolnost proti chemikáliím, zejména chemikálie na bázi acetonu. Rovněž je problémové barvení. Abbeovo číslo polykarbonátu je 32. [2, 7]

Trivex

Jedná se o velmi nový materiál, který se v optice začal uplatňovat až po roce 2000. Jeho index lomu je 1,53, Abbeovo číslo 45 a hustota je 1,11 g/cm³. Je velmi odolný vůči vlivu chemikálií. Má velkou pevnost a pružnost. Vyrábí se v několika modifikacích jako je Hivex (index lomu 1,57, Abbeovo číslo 46) nebo Tribid (index lomu 1,6, Abbeovo číslo 41). [7, 12]

Future-X

Jde o materiál firmy ILT. Jde o poměrně odolný materiál s Abbeovým číslem 43. V současnosti není dostupný na českém trhu. Index lomu tohoto materiálu je 1,57 a hustota 1,16 g/cm³. [23]

Tabulka 2: Přehled plastových materiálů pro výrobu čoček

Materiál	Index lomu	Abbeovo číslo	Hustota (g/cm³)
CR39	1,5	58	1,32
PMMA	1,49	58	1,19
Polykarbonát	1,59	32	1,20
Trivex	1,53	45	1,11
Future-X	1,57	43	1,16

4.5 Výrobní postup brýlových čoček

Z technologického hlediska existují 3 generační způsoby výroby brýlových čoček. Charakteristické pro všechny 3 generace je výroba z polotovarů. [7, 23]

Do I. generace patří mechanické obrábění, které patří mezi nejpoužívanější postup u nás. Po obrábění následují procesy broušení a leštění obrobků s hotovou přední plochou. Výhodou této generace je schopnost opracovávat minerální čočky. [7, 23]

II. generace je zastoupena procesem tzv. HD obrábění, což je obrábění s vysokou přesností. Pro tuto metodu je používán rovněž anglický výraz „cut to polish“. V rámci této metody je vynecháno broušení a postup se tak sestává ze soustružení a leštění. Broušení je možno vynechat díky kvalitnějšímu a přesnějšímu obrábění. [7, 23]

III. generace je známa pod názvem FreeForm technologie. Postup obrábění je v podstatě stejný jako u druhé generace, ovšem ještě s větší přesností. Pro realizaci obrábění touto metodou je pro každou čočku zvlášť potřeba zadání specifických parametrů. Po obrábění následuje proces leštění na jednom ze dvou možných typů leštících zařízení. Leštící zařízení se dělí na přehledová a improvizovaná. Přehledová zařízení jsou podstatně větší a nákladnější. U těchto zařízení dochází k leštění polotovaru za pomoci speciálního programu dle přesně načtených parametrů. Budoucí tvar čočky je dán třemi soubory vztažných bodů. Improvizovaná zařízení jsou naopak menší a fungují na odlišném principu. K leštění je zde využívána programovatelná hlavička, nikoliv systém vztažných bodů. Leštění je v případě improvizovaných zařízení delší. [7, 23]

Výhodou FreeForm technologie je, že může opracovávat jak přední, tak zadní plochu čočky. Dalším kladem oproti druhé generaci je možnost průběžně měnit kontaktní bod mezi nástrojem a obrobkem. Mezi další výhody obrábění FreeForm metodou oproti předchozím generacím patří: [7, 23]

- větší přesnost v cylindrických hodnotách a požadované tloušťce čočky
- nižší výrobní náklady (není třeba odlévat čočky s přední progresivní plochou) a nižší skladovací náklady (k vybroušení progresivní plochy dochází až v optických laboratořích)
- zvětšení výrobního rozsahu čoček

Typické pro individualizované čočky broušené metodou FreeForm je, že jsou optimalizované pro uživatele, ale nikoliv pro fokometr. To znamená, že například uživatel s $-2,0$ D bude mít zabroušenou čočku, která bude odpovídat jeho vadě, ale ve fokometru se nám bude ukazovat jiná hodnota. [7, 23]

Praktický příklad individualizace čoček

V dnešní době všechny propočty pro individualizované čočky dělá specializovaný software. Po zadání potřebných dat nám přístroj přepočte příslušné hodnoty, které je potřeba zhotovit. [22]

Data zadávaná do systému [22]

Úhel prohnutí obruby:	24 °	Šířka očnice:	59 mm
Inklnační úhel:	12 °	Výška očnice:	40 mm
Vrcholová vzdálenost:	13 mm	Nosník:	19 mm
R PD:	31 mm	L PD:	30 mm
R výška:	20 mm	L výška:	20 mm
R zakřivení:	6 mm	L zakřivení:	6 mm

Tabulka 3: Původní předpis refrakce

Čočka	Sféra	Cylindr	Osa	Prisma
Pravá	$-2,25$ D	$-0,75$ D	90 °	–
Levá	$-1,25$ D	$-0,75$ D	90 °	–

Tabulka 4: Přepočet individualizovaných hodnot

Čočka	Sféra	Cylindr	Osa	Prisma
Pravá	$-2,00$ D	$-0,62$ D	73 °	0,43 pD
Levá	$-1,12$ D	$-0,62$ D	99 °	0,38 pD

Jak je vidět, tak po výpočtu hodnot pro individualizaci čočky se mění její parametry. Na základě výše zadaných parametrů (zejména prohnutí obruby a inklnační úhel) dochází

k přepočtu, který kompenzuje vzniklé vady. Dochází k navození prizmatické decentrace, pootočení os cylindrických hodnot a ke změně dioptrických hodnot, jak u sféry, tak u cylindru.

4.6 Povrchové úpravy brýlových čoček

Na povrch čoček se nanáší velká řada vrstev, které slouží ke zlepšení vlastností čočky. Tyto vrstvy plní řadu různých funkcí od zlepšení mechanických vlastností čočky přes zlepšení optických vlastností až po zkvalitnění čištění povrchu čočky.

Antireflexní vrstvy

Jedná se o velmi rozšířenou úpravu brýlových čoček, používanou dnes téměř u všech plastových čoček. Potřeba této vrstvy se zvyšuje se zvyšujícím se indexem lomu čoček. Při vyšším indexu lomu čočky dochází k vyšší odrazivosti. To má za následek tvorbu tzv. parazitních paprsků. Na sítnici oka se pak bod nezobrazuje jako bod, ale jako skvrna. Ta následně způsobuje snížení kontrastní citlivosti oka. K odstranění parazitních paprsků se využívá jevu interference světla. Podmínkou je, že velikost amplitud vln, musí být stejná. Aby došlo k eliminaci, tak musí být vlny posunuty o polovinu vlnové délky. Z těchto jevů plynou základní funkce těchto vrstev, kam patří snížení odrazivosti, zvýšení kontrastu a propustnosti světla. Nositeli brýlí s touto vrstvou může být pozitivně vnímána zbytková barva, která vytváří zajímavý vzhled čočky. Antireflex se nanáší ve více vrstvách, kde každá vrstva snižuje odraz světla pro konkrétní vlnovou délku. [2, 7]

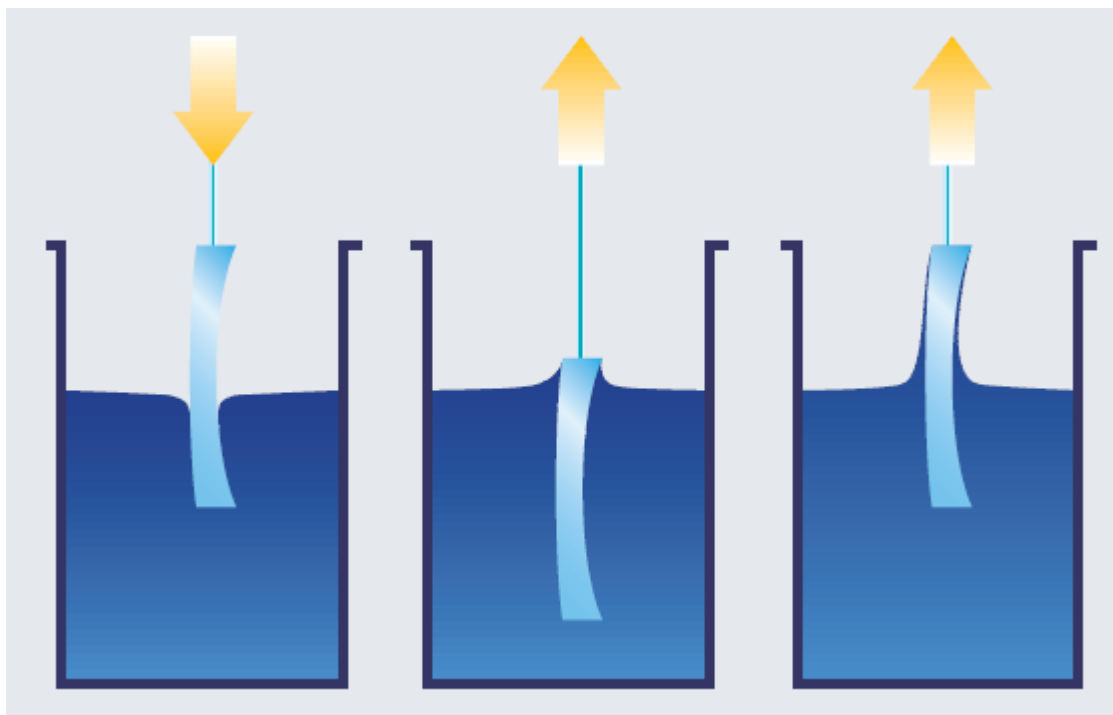
Tvrzené vrstvy plastových čoček

Plastové čočky jsou poměrně měkké zejména ve srovnání s minerálními, a dochází tak snadno k poškrábání. Ve snaze odstranit tento problém vznikly vrstvy určené k vytvrzení čočky. Využívá se k tomu 3 metod, které nanesou lak na povrch čočky. [7]

Dip coating

Nejprve je čočka vyčištěna ultrazvukem. Dokonalé vyčištění je nezbytné pro správnou adhezi vrstvy k čočce. U čoček o vyšším indexu se používá ještě tzv. primer, což je mezivrstva zvyšující adhezi. Poté je čočka ponořena do nádoby s lakem o konkrétní viskozitě. Poté dochází k vynořování určitou rychlostí, která určí tloušťku vrstvy. Vrstva bude tím tlustší, čím rychleji se čočka bude vynořovat z nádoby. Následuje

proces polymerace 2–3 hodiny. Optimální tloušťka vrstvy se pohybuje kolem 2 μm . Při menší tloušťce je tvrdost čočky nižší, při větší tloušťce je snížena odolnost proti otěru. Následně dochází ke kontrole kvality vrstvy pomocí některého ze tří používaných testů (QUV, Bayer test, koupel v ledové a vroucí vodě). Používají se laky o různých indexech lomu a laky barvitelné a nebarvitelné. Index lomu by se měl blížit indexu lomu materiálu čočky. Častější bývá užití nebarvitelných laků pro jejich větší tvrdost. [7]



Obrázek 1: Metoda dip coating

Spin coating

K čištění čočky se u této metody používá methanol a isopropylalkohol. Čočka je poté upevněna na zařízení s kontrolovatelnou rychlostí rotace. Rotace rozprostírá lak, který je nanesen doprostřed čočky, po celé ploše. K polymeraci dochází během několika minut vlivem UV záření. Tloušťka takto nanesené vrstvy je 3–5 μm . Lak není tak tvrdý a kvalitní jako u metody dip coating, jeho výhodou je barvitelnost. Nejčastěji se tato metoda používá pro lakování zadních stran čoček. [7]



Obrázek 2: Metoda spin coating

Vakuové tvrzení

Na povrch brýlové čočky jsou zde nanášeny atomy křemíku, které se buď odpařují z pevného povrchu zdrojového materiálu, nebo se chemicky evaporují. K evaporaci dochází za působení tepla nebo chemikálií. Tvrdost vrstvy se reguluje přívodem plynu. Lze zde využít i plasmu, která umožňuje použít nižší teploty při nanášení. [7]

Tvrzení minerálních čoček

Dle normy EN ISO 14889 musí tvrzená minerální čočka vydržet tlak kuličky o průměru 22 mm působící silou 100 N po dobu 10 s. Tvrzení minerálních čoček je možné dvěma způsoby. [2, 7]

Tepelné tvrzení

Tento proces začíná zahřáním čočky na 650 °C po dobu 50–200 s dle tloušťky čočky. Poté dojde k prudkému ochlazení čočky za pomoci vzduchu. To vytvoří na povrchu čočky vrstvu o jiném indexu lomu, než jaký je index lomu čočky. Jedná se o velmi rychlý a levný způsob tvrzení minerálních brýlových čoček. [2, 7]

Chemické tvrzení

Čočka je při tomto postupu tvrzení vložena do nádoby obsahující kyselinu křemičitou, dusičnan draselný a dusičnan sodný. V této nádobě poté čočka setrvá po dobu asi 16 hodin při teplotě 400 °C. Zde se naopak jedná o nákladnější a zdlouhavější proces, který se ovšem dá použít i u čoček bifokálních a čoček s hodnotou větší než ± 10 D, pro něž je tepelné tvrzení nevhodné. [2, 7]

Hydrofobní vrstvy

Jedná se o velmi tenkou vrstvu v řádu nm. Nanáší se na antireflexní vrstvy a vyhlazuje jejich nerovný povrch. Má hydrofobní, olejofobní a antistatický účinek. Nanášení této vrstvy probíhá metodou dip coating, vakuově nebo plasmatickou polymerací. Hydrofobní vrstva zvětšuje kontaktní úhel, díky čemuž se na povrchu čočky tvoří kapičky. Ty se následně snáze odstraňují, ideálně samy stékají z povrchu. Antistatická schopnost této vrstvy odpuzuje prachové částice, a zabraňuje tak jejich usazování na povrchu čočky. [7]

Kontaktní úhel – jde o úhel vznikající při styku kapaliny a pevné látky. V podstatě nám určuje, jak se bude kapalina chovat na povrchu pevné látky. Pokud je úhel 0 ° je povrch smáčivý tzv. látka se po povrchu dokonale rozprostře. Naopak při úhlu 180 ° je povrch nesmáčivý a na povrchu se tvoří dokonalá kapka. [13]

Zrcadlové vrstvy

Tyto vrstvy zvyšují odrazivost a snižují propustnost světla. Obvykle se dosahuje 25–35% odrazivosti. Používají se materiály s vyšším indexem lomu, než je materiál čočky. Nanáší se vakuovým napařováním. Často se tato vrstva používá v kombinaci s barvením. [7]

Optifog

Jedná se o hydrofilní povrchovou úpravu, která zajišťuje lepší vidění při mlžení brýlí. Kondenzovaná voda na povrchu čočky se díky této úpravě spojí do jednolitě vrstvy, a tak netvoří kapičky. U plastových čoček je menší tepelná vodivost než u minerálních, což zpomaluje odpařování kapaliny z povrchu čočky. Na povrch čočky se nanáší polyetylen, který snižuje kontaktní úhel a zvyšuje povrchové napětí. [7]

Polarizační úprava

Účelem této úpravy je redukovat polarizované světlo vznikající odrazem světla od povrchu. Tato filtrace probíhá v některém ze zvolených směrů. Tento směr zohledňuje polarizaci odrazu světla od horizontálních povrchů. Polarizované čočky se obvykle vyrábí v zabarvení šedém, zeleném či hnědém. U dioptrických brýlových čoček se vkládá tenká vrstva polarizačního materiálu buď na povrch, nebo do hmoty čočky. K tomuto účelu se používá polyvinylacetát. U materiálu CR39 se používá tzv. „zapuštění“, kdy se vrstva vkládá přímo do formy ještě před polymerací. Jako druhá se používá „plátková“ technika, kdy se vrstvička vkládá pod poslední vrstvu čočky před jejím vytlačněním. Tato druhá technika je používána u polykarbonátu či vysokoindexových čoček. [2, 7]

Barvení brýlových čoček

Barvu na čočky lze nanášet dvěma způsoby. Prvním způsobem je přidání barvy ještě před polymerací, jedná se tedy o pevné barvení. Druhou možností je nanášení barvy na povrch čočky. Barva se obvykle nanáší před a po aplikaci tvrzení. U trivexu je čočku možné obarvit pouze po nanesení speciálního barvitelného laku. Intenzitu barvy nám udává koncentrace barvy a také doba, po kterou je čočka v barvě ponořena. Tato doba se pohybuje řádově od desítek sekund až po několik hodin. Standardně se používá buď barvení na celou plochu, nebo gradální barvení. U „gradálu“ se mění odstín zabarvení, kde nejtmavší zabarvení je na horním okraji čočky, a nejsvětlejší naopak na spodním okraji čočky. Nejčastěji se čočky barví do šedé nebo hnědé barvy. [2, 7, 15]

Pro barvení čoček platí norma ČSN a STN EN 1836 – Osobní prostředky pro ochranu očí. Tyto normy nám udávají jednotlivé tolerance: [7]

- odchyłka od barvy vzoru
- stálost zabarvení
- rovnoměrnost nanesení barvy po celém povrchu

Tabulka 5: Dělení čoček podle intenzity zbarvení

Charakteristika	Propustnost pro světlo (%)
Čirá a velmi světlá	80–100
Světlá	43–80
Středně barevná	18–43
Tmavá	8–18
Velmi tmavá	3–8

Různé barevné alternativy mají různé využití ve sportu. Barevné čočky se tak mohou dělit i dle využití v jednotlivých sportech.

Tabulka 6: Barvy filtrů dle sportu

Sport	Zabarvení
Tenis	Žluté
Střelba	Oranžová
Rybaření	Polarizační úprava
Golf	Zelená
Kriket	Oranžová/červená
Cyklistika	Hnědá
Lyžování	Oranžová/žlutá
Plavání	Modrá
Řízení	Hnědá

V případě potřeby je možné do čoček ještě přidat látku pohlcující UV záření. Tato úprava je zejména vhodná u materiálu CR39, který standardně absorbuje záření do vlnové délky 380 nm. Tato látka zvyšuje absorpci až do rozsahu 400 nm. Tuto úpravu je potřeba provést ještě před případným barvením. [7]



Obrázek 3: Ukázka barevných filtrů

Efekt jednotlivých barevných filtrů

Žlutohnědý filtr

Tento filtr působí tak, že zeslabuje krátkovlnné světlo v oblasti modré barvy a snižuje chromatickou aberaci dlouhých a středních vlnových délek. Toto snížení chromatických aberací vede ke zvýšení čistoty obrazu. Dále tento filtr zlepšuje vnímání hloubky, rozeznávání obrysů a reakční dobu sportovce. Tyto filtry jsou vhodné zejména za snížených světelných podmínek jako například stmívání, déšť či mlha. Naopak nepohodlné tyto filtry mohou být pro sportovce citlivé na světlo. Žluté filtry zvyšují viditelnost obrazů s nízkým kontrastem. Mohou však snižovat rozpoznatelnost světelné dopravní signalizace. Žluté filtry jsou také vhodné pro sporty, kde se sportovec dívá proti modrému pozadí, jako je například obloha. [4]

Zelený filtr

Tento barevný filtr zlepšuje vnímání zelené barvy útlumem barev ostatních. Bývá používán ve sportech, kde je potřeba zvýšit kontrast zeleného podkladu vůči jinému objektu. [4]

Červený filtr

Filtr propouští světlo z konce viditelného světelného spektra. Naopak absorbuje krátkovlnné světlo, což vede ke snížení vlivu chromatické aberace na kvalitu vidění. Tento filtr je preferován ve sportech, kde je nezbytný ostrý obraz zejména v oblačném a mlhavém počasí. [4]

Modrý filtr

Tento typ filtru není pro sport nikterak vhodný, jelikož nemá pro sportovce žádný zásadní přínos. Světlo z krátkovlnného viditelného spektra netlumí osvětlení a ani nezvyšuje kontrast. [4]

Fialový filtr

Fialový filtr je velmi specifický a ne příliš využívaný. Způsob využití v praxi je například takový, že tento filtr zvýrazňuje golfový míček s předem naneseným fluoreskujícím činidlem. [4]

Šedý filtr

Zachovává přirozené vnímání barev, jelikož absorbuje všechny vlnové délky viditelného světelného spektra přibližně stejně. Filtr je preferován sportovci, kteří preferují toto přirozené rozpoložení barev. [4]

Polarizovaný filtr

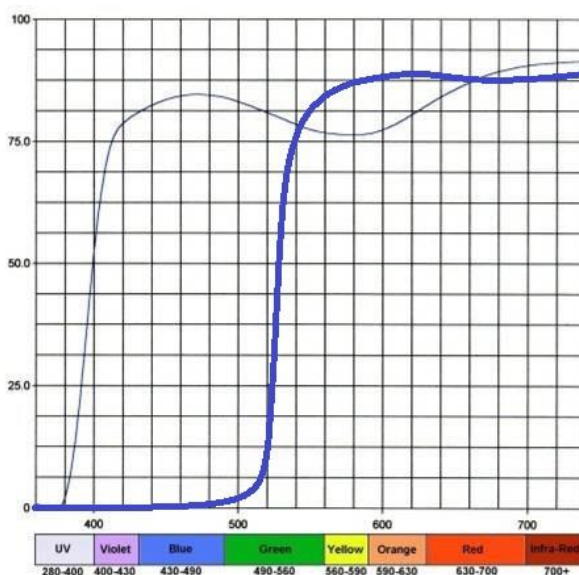
Jde o filtr, který redukuje světlo odražené od horizontálních povrchů, jakými jsou voda, sněh či chodník. Nevýhodou je, že může odstraňovat v některých sportech důležité detaily. [4]

Využití těchto barevných filtrů je ovšem mnohem širší, než jen pro sportovní účely. Filtry lze používat také k terapeutickým účelům. Typicky sem patří filtry hranové eliminující modré světlo a chromagen filtry pro pacienty trpící poruchou barvocitu.

Filtry bývají označeny číslem, které udává, do jaké vlnové délky tento filtr nepropouští světlo. [20]

Hranové filtry

Pojmenování těchto filtrů pochází z grafu spektrální propustnosti, který tvoří hranu neboli ostrý předěl mezi nulovou propustností kratších vlnových délek a až 90% propustností delších vlnových délek. Tyto filtry mohou být využívány jako sluneční chránící uživatele před UV zářením. Ty jsou vhodné zejména pro osoby, kterým chybí některá z tkání absorbující UV záření (afakie, aniridie, kolobom duhovky). Další možnost použití je jako tzv. blueblockery. Ty blokují fialové a modré světlo. Důvodem blokace modrého světla je jeho vyšší energie, která může dříve způsobovat degenerativní změny na sítnici.



Graf 1: Propustnost hranových filtrů

V grafu vidíme dvě křivky. První tenčí křivka znázorňuje propustnost čiré čočky s UV filtrem, silnější čára odpovídá propustnosti hranových filtrů. [20]

Chromagen filtry

Tyto filtry jsou používány za účelem pomoci lidem s poruchou barvocitu a dyslexií. Nejedná se o přesně exaktní metodu a není znám ani přesný princip účinku. Nicméně velká část uživatelů vnímá zlepšení při použití těchto filtrů. Výběr probíhá subjektivní metodou, kdy je pacientovi předkládáno několik různých filtrů při pohledu na barevnou

plochu a pacient si sám určuje, který filtr mu nejvíce vyhovuje. Takto dochází k omezení deformit textu či pohybu písmenek. Tyto filtry lze také aplikovat v podobě kontaktních čoček. [20]

Fototropní úprava

Jedná se o úpravu, která vlivem UV záření mění svou strukturu a zvyšuje absorpci. Aplikuje se buď smícháním s monomerem ještě před procesem polymerace, nebo se včleňují do povrchu čočky po polymeraci. Pro výrobu se používá polymer CR-307 a aktivní látkou způsobující ztmavnutí čočky je spiro-oxazin. [7]

Transition

K výrobě těchto čoček se používá materiál CR-307. Transitiony nabízí možnost zabarvení do hněda či šeda podle typu použitých molekul. Nevýhodou těchto čoček je, že se nezabarví v autě či v místnosti a tak byly vyvinuty čočky Transition XTRActive. Tyto čočky reagují nejen na UV záření, ale rovněž na krátkovlnné viditelné světlo, což jim umožňuje zabarvení za sklem, které absorbuje asi 99 % UV záření. Úroveň zabarvení je v tomto případě ovlivněna i teplotou. Tato varianta je dodávána pouze v šedém zabarvení. [7, 17]

Sunsensor

K aplikaci barviva smícháním s monomerem dochází před polymerací. Tato čočka se vyrábí s indexem lomu 1,55, Abbeovým číslem 40 a hustotou 1,19 g/cm³. Je dostupná v hnědém a šedém provedení. Zbytková barva u těchto čoček je asi 14 %. Propustnost této čočky je 86 % v čirém stavu. [7, 16]

Acclimates

U těchto čoček se nachází fytochrom na povrchu čočky, nikoliv uvnitř. Čočky se dodávají buď s hnědým, nebo šedým zabarvením. Index lomu je 1,5, Abbeovo číslo 57 a hustota 1,32 g/cm³. Propustnost světla je 86 %, s antireflexní úpravou až 92 %. [7, 18]

ColorMatic IQ

Propustnost této čočky je 92 %. Barví se do hnědé, šedé či zelené. Vyrábí se s indexem lomu 1,54, 1,6 a 1,67. Abbeovo číslo pro index lomu 1,54 je 43 a hustota 1,19 g/cm³.

Pro index lomu 1,6 je Abbeovo číslo 40,5 a hustota $1,30 \text{ g/cm}^3$. Pro čočky s indexem lomu 1,67 je Abbeovo číslo 31,4 a hustota $1,37 \text{ g/cm}^3$. [7]

Transition Vantage

Jedná se o první samozabarvovací čočky svého druhu. Jsou unikátní v tom, že jako první samozabarvovací čočky mají navíc proměnnou polarizaci. Tato čočka se venku standardně zabarvuje, uvnitř je čirá a mění svou polarizaci a snižuje propustnost. Tyto čočky se nabízejí v mnoha materiálech od CR39 až po trivex. [6]

5. Chod paprsku okem

5.1 Optická osa oka

Tato osa prochází středem rohovky a středem zornice až k zadnímu pólu oka. Leží na ní oba uzlové body i předmětové a obrazové ohnisko. Pokud oko sleduje předmět, tak paprsek neprochází přímo touto osou, ale odchyluje se od ní asi o $4\text{--}7^\circ$. Tato osa se nazývá osou vidění. [1]

5.2 Osa vidění

Tato osa spojuje bod fixace a foveolu daného oka. [1]

5.3 Střed otáčení oka

Jedná se o bod, který při otáčení oka nemění svou pozici, tedy o pomyslné těžiště oka. Tento bod leží na optické ose, nikoliv však na ose vidění. Proto se definuje optický střed oka ležící na ose vidění. V praxi se však celá situace aproximuje a spojuje tyto dva body v jeden a nazývá jej skutečný střed otáčení oka. Je lokalizován přibližně 13,5 mm za vrcholem rohovky. Při zobrazovací vadě oka (myopie, hypermetropie) se jeho pozice mění. [5]

6. Požadavky na centrování brýlových čoček

Jako první faktor při centrování čoček je potřeba zohlednit postavení očí. Standardně se vychází ze základního postavení očí, kdy se oči při navyklém držení těla dívají přímo před sebe do dálky. Rozteč středů zornic se v tomto případě rovná pupilární vzdálenosti do dálky. Je však potřeba zohledňovat i specifické postavení očí. Jde v podstatě o to,

jak a na jakou vzdálenost je zrakový aparát používán při jednotlivých činnostech s ohledem na velikost využívaného zorného pole a na držení těla. Pro tvorbu optimální korekce jsou určeny 3 podmínky vztažené k centrování brýlových čoček. Jde o požadavek na respektování: [1]

- polohy skutečného středu otáčení oka
- polohy vztaženého bodu brýlové čočky
- přiměřené velikosti zorného pole

U respektování polohy skutečného středu otáčení oka se jedná o monokulární požadavek, který se váže k bodovému zobrazení a odvozuje se od něj požadavky na horizontální a vertikální centrování brýlových čoček. Zvolením vhodného zakřivení čočky, jejího indexu lomu a typu asférických ploch lze vyrobit čočku s odpovídajícím bodovým zobrazením. K vycentrování brýlové čočky bez prizmatického účinku vůči oku tedy dochází, když optická osa čočky prochází skutečným středem otáčení oka. [1] *„Horizontální poloha středu optické centrace závisí na pozici průsečíku fixační osy oka v rovině očníce brýlového středu.“* (Rutrlé, 2001, str. 46)

„Vertikální poloha středu optické centrace závisí na inklinaci brýlí a vzdálenosti zadní plochy korekční čočky od vrcholu rohovky.“ (Rutrlé, 2001, str. 46)

Obecně lze říci, že 1° inklinace vyžaduje posunutí optického středu o 0,5 mm dolů vůči základní pozici středu zorničky. V případě chybné centrace může docházet ke vzniku klínového účinku, který má negativní dopad na zrakovou pohodu. Platí zde obecná podmínka: *„Pár brýlových čoček je centrován vůči oku tehdy, když se kryjí oba průsečíky fixačních os očí ve specifickém postavení se vztažnými body obou korekčních čoček.“* (Rutrlé, 2001, str. 46) [1]

Přiměřeného zorného pole je dosaženo tehdy, pokud se při obvyklém držení těla zorná pole překrývají v požadované vzdálenosti. Mezi velikostí zorného pole a vzdáleností korekční čočky před okem platí nepřímá úměra. Platí, že rozptylky rozšiřují zorné pole a spojky jej naopak zužují. Změní-li se vrcholová lámavost čočky o 1 D, dojde ke změně velikosti zorného pole o 2,5 %. [1]

Ke správnému dodržování všech požadavků je nezbytné správně změřit hodnotu pupilární vzdálenosti při pohledu do dálky. Při měření je potřeba dbát na potlačování paralaxy. Ta bývá zanedbatelná při standardně používaných metodách měření PD

(řádově setiny milimetru). Obvykle se uvádí tolerance měření s přesností na 0,5 mm za postačující. [1]

Podmínky pro centrování a jejich dodržování úzce souvisí se zakřivením čočky. Čím jsou asférické čočky plošší, tím striktnější musí být dodržování těchto podmínek. [1]

6.1 Tolerance pro centrování brýlových čoček

V případě chybně centrace se oko nedívá skrze optický střed a je tak navozen klínový účinek. Ke zjištění hodnoty tohoto klínového účinku slouží Prenticeho rovnice, kde v praxi se používá její upravená podoba, která uvažuje decentraci v mm. [24]

Modifikovaná Prenticeho rovnice:

$$\Delta = \frac{dec|S'|}{10}$$

Kde Δ udává dosažený klínový účinek, dec vzdálenost uvažované decentrace čočky v cm a S' vrcholová lámavost korekční čočky v dioptriích.

V případě nepřesné centrace dochází tedy ke vzniku klínového účinku, který dále navozuje kompenzační změnu polohy za účelem fixace do foveoly. Platí, že kompenzační postavení jde proti bázi klínového účinku. V závislosti na velikosti navozené vady a na fúzních rezervách může docházet k asthenopickým potížím a v případě překročení těchto rezerv až k diplopii. [24]

Tabulka 7: Tolerance odchylek centrování v milimetrech

S' (D)	Horizontálně		Vertikálně
	BO	BI	
1	10	5	2,5
2	5	2,5	1,25
3	3	1,5	1
4	2,5	1,25	0,5
5	2	1	0,5
10	1	0,5	0,5
>10	0,5	0,5	0,5

Prenticeho rovnice není ovšem zcela přesná, jelikož nerespektuje polohu čočky vůči skutečnému středu otáčení oka. Proto byl tento vzorec rozšířen Weinholdem:

$$\Delta = \frac{x \cdot |S'|}{1 - d \cdot S'}$$

x – odchylka centrování (cm)

d – vzdálenost brýlové čočky

Δ – dosažený klínový účinek

S' - vrcholová lámavost korekční čočky v dioptriích

6.2 Prohýbání brýlového středu

Je velmi důležitou vlastností zejména u větších brýlových obrub. U těchto obrub dochází k tomu, že je očníkový rozestup větší než pupilární vzdálenost. Na základě toho dochází k narušení podmínky bodového zobrazení. Pro její dodržení je poté vhodné kladné prohnutí brýlového středu. To rovněž zajistí průchod optické osy skrze skutečné středy otáčení oka. Pro stanovení optimální velikosti prohnutí slouží vzorec:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{c - p_D}{2(d + 13)}$$

δ – úhel kladného prohnutí brýlového středu ve stupních

c – očníkový rozestup v mm

p_D – pupilární vzdálenost do dálky v mm

d – vzdálenost korekční čočky od rohovky v mm

Standardně se tento úhel pohybuje kolem 9 °. [1]

7. Parametry potřebné pro výrobu sportovních brýlí

Jak již bylo zmíněno výše, pro výrobu skel do sportovních brýlí je potřeba zadat několik specifických parametrů. Je potřeba, při výběru obruby u zákazníka, změřit inklinaci, pupilární vzdálenost, výšku a vrcholovou vzdálenost. Při zhotovování skel je potom potřeba ještě dbát na další parametry jako prohnutí brýlového středu, báze, prizmatická decentrace a astigmatismus šikmých svazků.

7.1 Pupilární distance (PD)

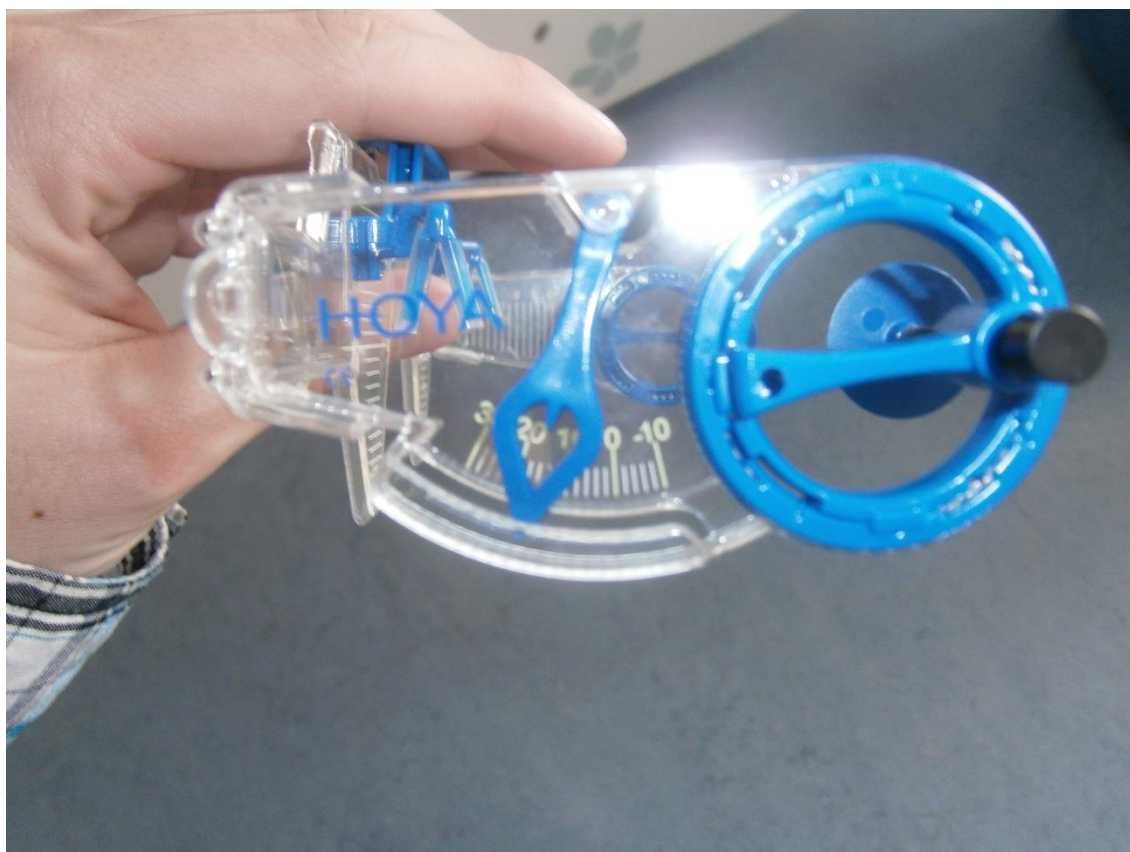
Jedná se o jeden z parametrů udávajících vzájemnou polohu čočky vůči oku. Tato hodnota se měří v mm a to pro každé oko zvlášť. Před měřením je potřeba mít obruby již uzpůsobené pro zákazníka. Tento parametr spolu s výškou nám udává, kde bude umístěn optický střed čočky. Z hodnoty PD, výšky a vrcholové vzdálenosti je také možno vypočítat velikost zorného pole čočky. Znalost velikosti PD je nezbytná také pro případné navození klínového účinku. Měření PD probíhá standardně jako u jiných brýlí, tedy například digitálním pupilometrem nebo zakreslením zornic na fólie. [2, 6]

7.2 Výška

Jde o další údaj stanovující polohu čočky před okem. V současnosti je možný způsob měření na střed otáčení oka nebo na střed zornice. Centrování na střed otáčení oka splňuje podmínku bodového zobrazení. Osa vidění v tomto případě právě prochází středem otáčení oka. Nevýhodou tohoto způsobu měření je, že může docházet k navození klínového účinku při pohledu přímo vpřed. Při měření na střed zornice sice není dodržena podmínka bodového zobrazení, ale naopak nenavozuje klínový účinek při pohledu přímo vpřed. [2, 6]

7.3 Inklinace

Jedná se o úhel, který svírá hlava klienta při jeho přirozeném držení těla s osou brýlových čoček v obrubě. Velikost inklinace má vliv na centrování, se zvětšující se inklinací se zvětšuje decentrace brýlového středu vzhledem k poloze zornice. To může vést ke vzniku astigmatismu šikmých svazků. Úhel inklinace jde měřit několika způsoby. Je možno využít speciální měřítko určené pro měření právě tohoto úhlu. Inklinaci lze také vypočítat ze vztahu $\operatorname{tg} \alpha = \frac{y_v}{d}$. Pro výpočet z tohoto vztahu je potřeba změřit hodnotu y_v , což je vzdálenost bodů, které vyznačíme na fólii obruby a d je vzdálenost čočky brýlí od oka. První bod zaznačený na fólii získáme tak, že označíme polohu zornice při přirozeném držení těla zákazníka. Druhý bod se získá znovu zaznačením zornice, ale tentokrát při pozici zákazníka, kdy osa brýlového středu je kolmá k podlaze. Tato vzdálenost je pak požadovanou vzdáleností y_v . Hodnotu d získáme tak, že změříme vzdálenost rohovky od zadní plochy čočky +13 mm. [2, 6]



Obrázek 4: Měřítka inklinace

7.4 Vrcholová vzdálenost

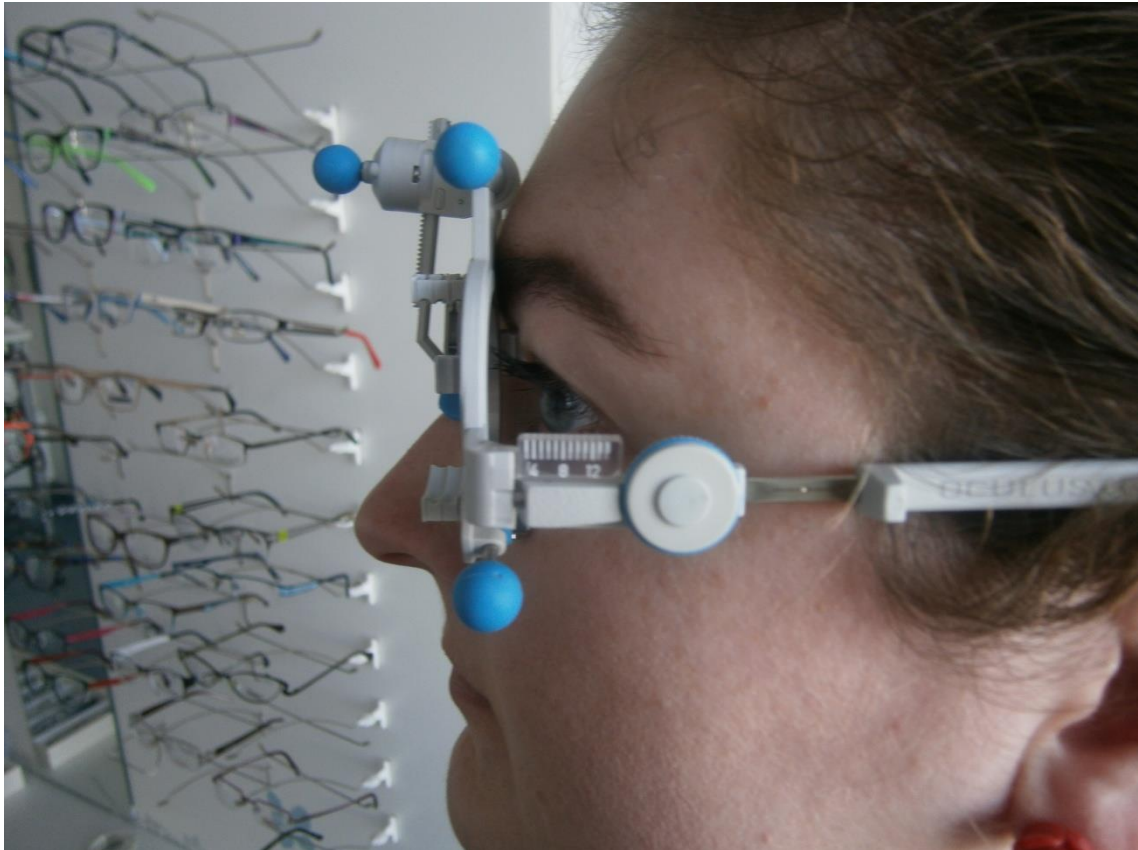
Jedná se o vzdálenost vrcholu rohovky a zadní plochy čočky. Tato hodnota je velmi důležitá, jelikož se používá v několika výše uvedených výpočtech a navíc ovlivňuje změna této vzdálenosti přímo hodnotu dioptrické korekce v brýlích. Tato hodnota bývá zpravidla vyšší ve zkušební obrubě oproti obrubě následně zakoupené. Vrcholovou vzdálenost lze měřit buď pravítkem, nebo speciálním prizmatickým měřítkem, u zkušební obruby zpravidla bývá stupnice pro měření této hodnoty již zabudovaná. S tímto musíme počítat a upravit potřebné hodnoty, aby byla dodržena korekční podmínka. Tato podmínka nám říká, že se obrazové ohnisko musí nacházet v dalekém bodu oka. Vzhledem ke změně této vzdálenosti je potřeba přepočítat výslednou hodnotu vrcholové lámavosti podle rovnice: [5, 6]

$$S'b_2 = \frac{S'b_1}{1 - (\Delta d \cdot S'b_1)}$$

$S'b_1$ – vrcholová lámavost ve zkušební obrubě

$S'b_2$ – vrcholová lámavost v nové obrubě

Δd – změna vrcholové vzdálenosti v metrech

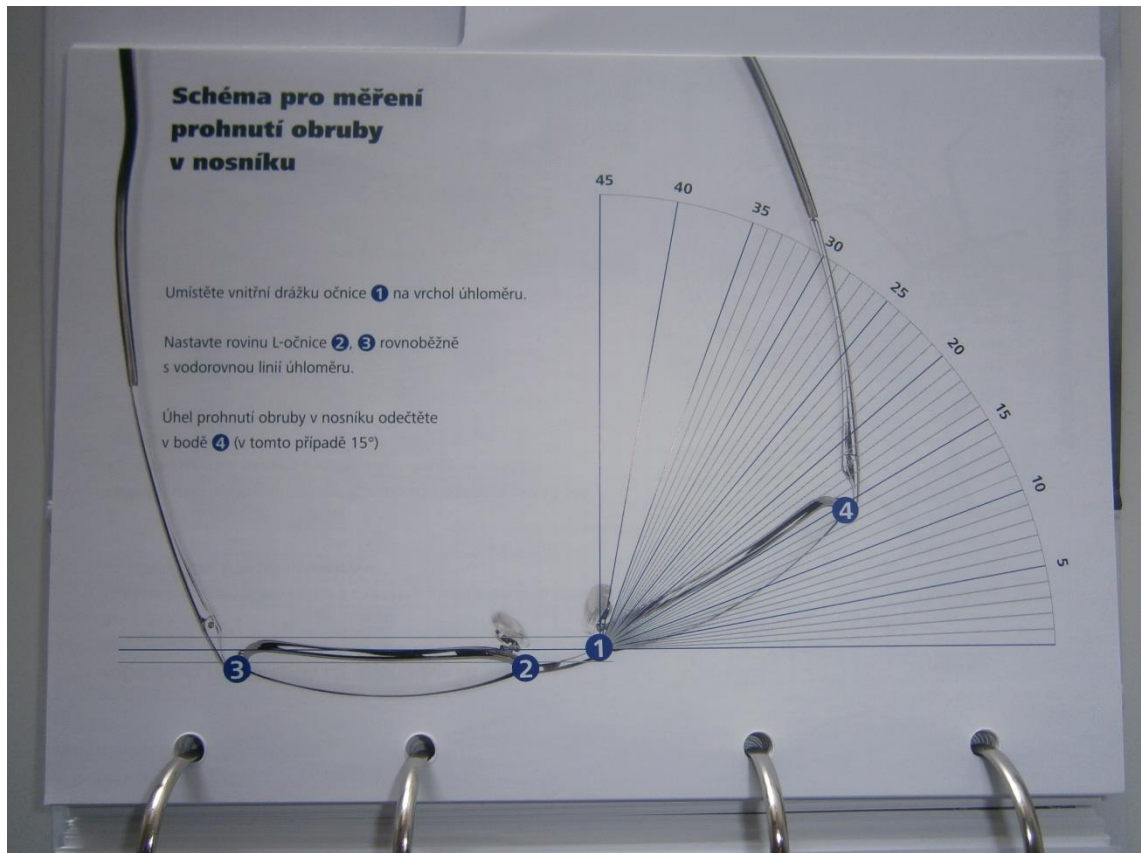


Obrázek 5: Zkušební obruba s měřítkem vrcholové vzdálenosti

7.5 Prohnutí brýlového středu

Prohnutí brýlového středu je u sportovních brýlí vyšší než u standardních brýlí, a to z důvodu požadavků, které jsou na tyto brýle kladeny. Prvním je ochrana očního aparátu, což vede k tomu, že brýle musí obepisovat tvar hlavy. Dalším požadavkem je co nejširší zorné pole, což rovněž vede k prohnutému tvaru brýlí. Jde vlastně o úhel odklonu očnice od tečny středu nosníku měřený ve stupních. K měření tohoto prohnutí lze použít několik metod. První metodou jsou papírové šablony často dodávané jako součást ceníku jednotlivých firem. Druhou je posuvné měřítko, které dodává například firma Rodenstock. Další možností mohou být videosystémy, které jsou schopné změřit

prohnutí brýlové obruby při nasazených brýlích. Vliv na prohnutí obruby má i hlava uživatele. [6]



Obrázek 6: Šablona pro měření prohnutí brýlového středu

7.6 Báze

Pojem báze nám charakterizuje prohnutí přední plochy čočky. K popisu prohnutí této přední plochy nám slouží čísla báze, které se zjišťují pomocí speciálních šablon. Tyto čísla se pohybují od 1 do 10, kde jednička představuje čočku téměř plochou a směrem k desítce se zvyšuje prohnutí čočky. Obecně lze říci, že čím vyšší je toto číslo, tím menší dioptrický rozsah čoček lze vyrobit. [6]



Obrázek 7: Šablona pro měření báze

7.7 Prizmatická decentrace

Důvodem prizmatické decentrace je prohnutí sportovních brýlí. V důsledku tohoto prohnutí paprsky nedopadají kolmo na přední plochu čočky při pohledu přímo vpřed. Poté je čočku potřeba decentrovat tak, aby paprsek dopadal do vztažného bodu čočky. [5]

7.8 Astigmatismus šikmých svazků

Tato vada optického zobrazení je rovněž způsobena prohnutím brýlí. Při zobrazení mimoosového bodu dojde k tomu, že paprsky v sagitální a tangenciální rovině protínají kulovou plochu ve dvou místech. To vede ke vzniku tzv. fokály, což následně zapříčiní neostrý obraz. Tento astigmatismus se dá snížit použitím asférických čoček. V případě úplného odstranění této vady je potřeba hodnotu tohoto astigmatismu spočítat a zhotovit čočku, která bude mít opačně orientovanou hodnotu astigmatismu, a tuto vadu tak odstraní. [6]

8. Způsoby korekce pro sportovce

V dnešní době, kdy jde veškerá technologie dopředu, má člověk s refrakční vadou řadu možností ve výběru korekce pro sport.

8.1 Kontaktní čočky

Jednou z možností jsou kontaktní čočky, které lze v případě potřeby kombinovat například s nedioptrickými sportovními brýlemi. Mezi výhody kontaktních čoček patří neomezování zorného pole, které je totožné se zorným polem bez korekce. Nevýhodou je naopak nulová ochrana před zraněním. Stejně tak je tak potřeba čočky kombinovat s brýlemi v případě ochrany před sluncem nebo barevnými filtry. [3, 4]

8.2 Dioptrické sportovní brýle s klipem

Druhou z možností jsou brýle s tzv. klipem, které se ještě dále dělí na brýle vsádkové a předsádkové. U vsádkových sportovních brýlí je klip vložen za ochrannými zorníky. Většinou tento klip bývá odnímatelný, nicméně může být i neodnímatelný. Výhodou těchto vsádkových brýlí je to, že ochranné zorníky bývají velmi často vyměnitelné, a sportovec si tak může brýle uzpůsobit různým světelným podmínkám. Další výhodou je, že klip nebývá téměř prohnutý, což vede k mnohem snazšímu zábrusu než u dioptrických sportovních brýlí bez klipu s přímo zabroušenými dioptrickými skly. To má pro zákazníka efekt zejména v nižší ceně těchto brýlí. Nevýhodou je horší estetický vzhled (klip jde vidět přes zorníky) a menší zorné pole. Předsádkové brýle jsou obdobou brýlí vsádkových. Rozdílem je to, že dioptrické čočky jsou vsazeny přímo v rámečku tvořícím brýlový střed. Stejně jako u vsádkových brýlí se před dioptrickými čočkami nachází zorníky. [8, 10]



Obrázek 8: Obruba s dioptrickým klipem

8.3 Dioptrické sportovní brýle s přímo zabroušenými skly

Jde o sportovní brýle, kde je místo klasického nedioptického zorníku zabroušena dioptrická čočka. Tento typ korekce pro sportovce je náročný na výrobu, což se odráží v jeho vyšší ceně. Výhodou je oproti klipu větší zorné pole a lepší estetický vzhled. [8, 10]

8.4 Speciální sportovní dioptrické brýle

Jedná se o sportovní brýle, které jsou přímo určeny ke konkrétnímu sportu a nelze je využívat ve sportech dalších. Patří sem typicky brýle plavecké, lyžařské či střelecké. [8]



Obrázek 9: Dioptrické brýle pro střelbu

8.5 Specifika jednotlivých sportů

Jak je z praxe zřejmé, každý sport má svá specifika a na základě toho se také liší způsoby korekce. Důležitým aspektem je prostředí, kde se sport vykonává. Vliv má taky dynamika sportu a riziko poranění. Požadavky na optické vlastnosti jsou zpravidla tím větší, na čím větší úrovni je sport provozován. Vliv na kvalitu vidění mají i barevné filtry, které jsou specifické pro různé sporty. Například pro halové sporty se nedoporučuje filtr žádný či žlutý, protože tam jsou vhodné světelné podmínky. Naopak u halových sportů je doporučena antireflexní úprava. [3, 4]

Raketové sporty

Sem patří sporty jako házená, squash, badminton či tenis. Tyto sporty patří mezi nejnebezpečnější z hlediska očních poranění. Míček či badmintonový košíček se zde pohybují rychlostmi až 100 či 200 km/h. Dalším důvodem proč jsou úrazy očí v těchto sportech tak závažné, je velikost míčku. Zejména u squashového míčku a badmintonového košíčku hraje velkou roli velikost, která je menší než orbita,

a tak případný náraz není brzděn kostmi očníce. Z toho je zřejmé, že ochranná funkce sportovních brýlí je zde extrémně důležitá. Proto je vhodné volit velmi pevné materiály. Pro brýlové obruby se doporučuje grilamid TR90 či polykarbonát. Do brýlových skel se doporučuje polykarbonát nebo ještě lépe trivex. Důraz je kladen i na co nejširší zorné pole. V případě těchto sportů je potřeba rozlišit, zda probíhají uvnitř nebo venku a případně na jakém povrchu. Od toho se odvíjí volba barevného filtru. Jak je uvedeno výše, sporty prováděné uvnitř nepotřebují barevné filtry. U venkovních sportů záleží na tom, proti jakému podkladu se sport provozuje. Například u tenisu se doporučuje filtr žlutý, který zvýrazní míček oproti povrchu. [3, 4, 9, 11]

Lední hokej

Nejčastější oční zranění v hokeji je od hokejek, následně od puku a nakonec od kontaktu se soupeřem. Hokej je specifický tím, že ochrana obličeje a očí je zabudována přímo v helmě formou plexiskla či mřížky. V případě korekce refrakční vady jsou proto optimální kontaktní čočky. [3]

Lyžování

U tohoto sportu není oční zranění až tak pravděpodobné a tak jsou nároky kladeny jiným směrem. Zejména je vysoký požadavek na ochranu proti UV záření, protože sníh odráží až 85 % tohoto záření. Další vhodnou úpravou jsou polarizační filtry proti odleskům. Obruby na lyžování mají specifický tvar s výjimkou běhu na lyžích, kde je tvar brýlí podobný klasickým sportovním brýlím. Vhodným barevným filtrem je v tomto případě žluto-hnědý filtr, který zvyšuje viditelnost některých detailů či filtr šedý, který napomáhá snížit intenzitu dopadajícího světla do oka. [3, 9]

Plavání

Pro plavání se vyrábí dioptrická skla přímo do plaveckých brýlí. Riziko poranění u plavání není nikterak vysoké. Brýle musí zejména dobře těsnit a často obsahují antifogovou úpravu pro lepší vidění. Samozřejmostí jsou i UV filtry. Významnou roli při výrobě těchto brýlí hraje hydrodynamika, které se přizpůsobuje tvar těchto brýlí. [19]

Cyklistika

Venkovní sport, který je navíc provozován ve značné rychlosti. Nebezpečí pro oči zde představují zejména kamínky či hmyz, v případě jízdy v lese větve. Proto je důležité, aby tyto brýle dokonale kryly oči. Rovněž zejména ve vrcholové cyklistice se klade důraz na aerodynamiku, čemuž se přizpůsobuje tvar. Pro cyklisty jsou vhodné sportovní brýle s možností měnit barevné filtry, aby se mohly přizpůsobit měnícím se venkovním podmínkám. Vhodný je polarizační filtr, který je velmi důležitý zejména při jízdě po mokré vozovce. Samozřejmostí je rovněž maximální ochrana proti UV záření. Pro světelné podmínky je vhodný zejména hnědý filtr, který kromě ztlumení světla zároveň zvýrazní i detaily. V případě horších světelných podmínek je naopak optimální filtr žlutý. Je potřeba také dbát na to, že cyklisté mají na hlavách ještě helmy, proto bývají vhodnější stranice s rovnou koncovkou, které dobře sedí pod helmou. [3, 4]

Golf

Golf patří mezi sporty provozované venku, proto je potřeba dbát na UV filtr. Co se týče barvy filtru, doporučuje se zelená, která zvýrazňuje míček vůči greenu i obloze. Je možno také použít filtr šedý, který zaručí přirozené vnímání barev. Polarizované čočky se u tohoto sportu nedoporučují z důvodu snížení vnímání některých detailů na hrací ploše. [3, 4]

Rybaření

Pro rybaření nejsou kladeny vysoké nároky, co se týče ochrany očí, protože pravděpodobnost poranění zde není příliš vysoká. Kvalita čoček by ovšem měla být vysoká, slaná voda totiž nemá pozitivní vliv na povrch čočky. Důležitý je opět UV filtr, jelikož jde o sport provozovaný na slunci. Velmi vhodnou volbou je zde polarizační filtr, který eliminuje nepříjemné odlesky od vodní hladiny. A protože v tomto sportu nejde o přesnost, tak není potřeba žádný barevný filtr zvýrazňující detaily. [4]

Střelba

Střelba je sportem velmi nebezpečným, a to zejména pro zrakový aparát. Může zde jednoduše dojít k poranění. Proto je potřeba mít brýle z velmi kvalitního materiálu stejně jako u raketových sportů. Dle toho, jestli střelba probíhá uvnitř nebo venku je potřeba dbát na ochranu proti UV. V rámci volby barevných filtrů je třeba jednotlivé

druhy střelby rozlišovat. Pro střelbu na nepohyblivý terč jsou vhodné filtry žluto-hnědé, které zvýrazňují potřebné detaily. V případě střelby v lese je potom vhodný filtr zelený zvýrazňující hnědé zvíře vůči zeleni. Červený filtr je naopak vhodný pro tzv. skeet střelbu a střelbu na trap. Jedná se o střelení na pohyblivý terč vůči obloze. Pro některé druhy střelby jsou navíc speciální brýle, které mají přes jedno oko krytku místo skla. [4]

9. Vlastní měření

V rámci komplexnosti celé tematiky ještě proběhlo vlastní měření, které mělo za účel potvrdit vztah prohnutí obruby a s tím související jiná poloha čoček před okem se změnou parametrů. Nejde zde o dodání přesných hodnot, jak se který parametr mění při určitém stupni prohnutí, ale spíše celkově poukázat na vztah mezi těmito změnami. Měření probíhalo na přístroji NIDEK LM-1200. Jedná se o digitální fokometr s přesností měření v setinách dioptrií. Čočky byly pod tímto přístrojem měřeny v poloze přímé a poté při nahnutí o $7,5^\circ$ a 15° a to v náklonu předozadním a levo-pravém. Hodnoty měřených čoček uvedené výrobcem jsou:

č. 1 sph +1,75 D cyl -1,50 D

č. 2 sph +3,00 D cyl -1,75 D

č. 3 sph +5,50 D cyl -2,00 D

Měření pro čočku č. 1

Směr nahnutí	Náklon	Sférická hodnota (D)	Cylindr (D)	Osa
Levo-pravý	$7,5^\circ$	+1,68	-1,40	90°
Levo-pravý	$7,5^\circ$	+1,70	-1,45	45°
Levo-pravý	15°	+1,74	-1,44	90°
Levo-pravý	15°	+1,79	-1,51	45°
Předozadní	$7,5^\circ$	+1,73	-1,51	90°
Předozadní	$7,5^\circ$	+1,70	-1,46	45°
Předozadní	15°	+1,92	-1,67	90°
Předozadní	15°	+1,80	-1,51	45°

Měření pro čočku č. 2

Směr nahnutí	Náklon	Sférická hodnota (D)	Cylindr (D)	Osa
Levo-pravý	7,5 °	+3,08	-1,78	90 °
Levo-pravý	7,5 °	+3,09	-1,80	45 °
Levo-pravý	15 °	+3,16	-1,80	90 °
Levo-pravý	15 °	+3,25	-1,90	45 °
Předo-zadní	7,5 °	+3,14	-1,88	90 °
Předo-zadní	7,5 °	+3,08	-1,81	45 °
Předo-zadní	15 °	+3,43	-2,15	90 °
Předo-zadní	15 °	+3,25	-1,90	45 °

Měření pro čočku č. 3

Směr nahnutí	Náklon	Sférická hodnota (D)	Cylindr (D)	Osa
Levo-pravý	7,5 °	+5,76	-2,07	90 °
Levo-pravý	7,5 °	+5,78	-2,11	45 °
Levo-pravý	15 °	+6,01	-1,99	90 °
Levo-pravý	15 °	+6,11	-2,15	45 °
Předo-zadní	7,5 °	+5,88	-2,28	90 °
Předo-zadní	7,5 °	+5,78	-2,13	45 °
Předo-zadní	15 °	+6,55	-2,82	90 °
Předo-zadní	15 °	+6,25	-2,37	45 °

Jak je z výše uvedených hodnot patrné, náklon čoček způsobený prohnutím brýlového středu a inklinací má tím větší vliv, čím je větší prohnutí a čím je větší refrakční vada, kterou kompenzujeme. Z měření vyplývá, že kromě směru, ve kterém je čočka nakloněna, má vliv na změnu parametrů i osa, v níž je orientována.

10. Závěr

V dnešní době jsou od zákazníků v optikách kladeny čím dál větší požadavky na kvalitu vidění a materiálu brýlí, což platí u sportovních brýlí dvojnásob. Přitom žádný jednoduchý způsob, jak správně vybrat vhodné sportovní brýle, které budou splňovat všechny požadavky, není vůbec jednoduché. Optik či optometrista musí mít na paměti spoustu faktorů, které musí brát v úvahu, a je potřeba výběru každých sportovních brýlí věnovat individuální přístup. Jako materiál na výrobu obrub se nejčastěji volí grilamid případně polykarbonát. Jako materiál na výrobu čoček do sportovních brýlí je doporučován převážně trivex, alternativou může být polykarbonát. Tímto ovšem výběr teprve začíná. Je potřeba zvolit vhodné povrchové úpravy čoček a barvení, které se volí na podkladě toho, pro jaký sport budou brýle sloužit. Navíc si zákazník může zvolit mezi brýlemi s klipem nebo rovnou zabroušenými skly ve sportovních obrubách. Jakmile je všechno vybráno, je ještě potřeba zjistit několik nezbytných parametrů pro zhotovení korekce. Nakonec je potřeba rozhodnout, zda bude potřebná individualizace čoček, a ty technologií FreeForm zhotovit. Všechny tyto potřebné informace jsou obsahem této bakalářské práce spolu s některými dalšími. Jsou zde obsaženy normy, které je nutno dodržovat ať už při výrobě čoček či brýlové obruby. Obsahem této práce je i vlastní velmi jednoduché měření, které je zaměřeno na změnu dioptrických hodnot brýlové čočky, která vzniká u sportovních brýlí. Toto měření potvrdilo vliv prohnutí brýlí na změnu těchto parametrů.

11. Zdroje

- [1] RUTRLE, Miloš. *Brýlová 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.
- [2] NAJMAN, Ladislav. *Dílenská praxe očního optika*. Vyd. 1. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2001. ISBN 80-7013-328-7.
- [3] EDITED BY DONALD F.C. LORAN AND CAROLINE J. MACEWEN. *Sports vision*. Paperback ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997. ISBN 0750636165.
- [4] ERICKSON, Graham B. *Sports vision: vision care for the enhancement of sports performance*. Oxford: Butterworth-Heinemann, c2007. ISBN 978-0-7506-7577-2.
- [5] POLÁŠEK, Jaroslav (ed.). *Technický sborník oční optiky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1974.
- [6] RUSSNÁKOVÁ, Lucie. *SPORTOVNÍ BRÝLOVÉ ČOČKY A BAREVNÉ FILTRY* [online]. Brno, 2013 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/381533/lf_b/sportovni_brylove_cocky_a_barevne_filtry_BAKALA_RSKA_PRACE.txt. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita. Vedoucí práce Mgr. Pavel Kříž.
- [7] Konvenční a Free-Form technologie výroby brýlových čoček. *Konvenční a Free-Form technologie výroby brýlových čoček* [online]. Brno: Masarykova Univerzita, 2012 [cit. 25. 4. 2016]. Dostupné z: http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js12/vyroba_cocek/web/index.html
- [8] Jak si vybrat správné brýle na sport. *Brýle&Móda* [online]. [cit. 25. 4. 2016]. Dostupné z: http://www.brýle-moda.cz/UserFiles/casopis/052014/54_55_skrbkova.pdf
- [9] Lepší vidění pro sportovce. *Zeiss* [online]. [cit. 25. 4. 2016]. Dostupné z: http://www.zeiss.cz/vision-care/cs_cz/better-vision/porozumneni-videni/brylove-cocky-a-reseni-vaseho-videni/lepsi-videni-pro-sporto-vce.html
- [10] Sportovní brýle. *Optik Trnka* [online]. [cit. 25. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.optik-trnka.cz/bryle-a-cocky-sportovni-bryle>

- [11] Sportovní dioptrické brýle. *SportOptik* [online]. [cit. 25. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.sport-optik.cz/sporto-vni-dioptricke-bryle>
- [12] Trivex. *Jai Kudo* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.jaikudo.cz/cocky-pro-ty-nejmladsi/trivex>
- [13] Kontaktní úhel - úhel smáčivosti. *Optikarium* [online]. [cit. 25. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.optikarium.cz/kontaktni-cocky-a-roztoky/kontaktni-uhel-smacivost>
- [14] Brýlová optika. *Diplomovaný oční technik* [online]. [cit. 25. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.dot2.webz.cz/download/optika.pdf>
- [15] Lens color adjustment. *Optochemicals* [online]. [cit. 25. 4. 2016]. Dostupné z: http://optochemicals.com/troubleshoot_tintingproblemsr.htm
- [16] Sunsenors. *Jai Kudo* [online]. [cit. 25. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.jaikudo.cz/ochrana-pred-sluncem/sunsensors>
- [17] *Transitions* [online]. 2013 [cit. 25. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.transitions.com/cs-cz/vyroby/>
- [18] Acclimates. *Jai Kudo* [online]. [cit. 25. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.jaikudo.cz/ochrana-pred-sluncem/acclimates>
- [19] Plavecké dioptrické brýle Emme Dioptric. *Sportex* [online]. [cit. 25. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.sportex.cz/plavecke-bryle-emme-dioptric/>
- [20] Léčebné filtry, hranové filtry, blue blockery. *Optik Skrbková* [online]. 2008 [cit. 25. 4. 2016]. Dostupné z: <http://www.optikskrbkova.cz/cz/optik-skrbkova/uzitecne-informace/slovnicek-odbornych-vyrazu/lecebne-filtry-hranove-filtry-blue-blockery/r193>
- [21] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. 1.vyd. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [22] Výpočetní software firmy Optika Čivice pro individualizaci čoček
- [23] VRUBEL, Martin. *Technologie výroby brýlových čoček*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita. Vedoucí práce Mgr. Sylvie Petrová.

[24] HAJDOVÁ, Iveta. *Centrování brýlových čoček*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Masarykova Univerzita. Vedoucí práce Mgr. Sylvie Petrová.

Obrázky a grafy

Obrázek 1: AUTOR NEZNÁMÝ. *is.muni.cz* [online]. [cit. 25. 4. 2016]. Dostupný na: http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js12/vyroba_cocek/web/pages/03-2-02_tvrzeni.html

Obrázek 2: AUTOR NEZNÁMÝ. *is.muni.cz* [online]. [cit. 25. 4. 2016]. Dostupný na: http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js12/vyroba_cocek/web/pages/03-2-02_tvrzeni.html

Obrázek 3: Vlastní fotografie

Obrázek 4: Vlastní fotografie

Obrázek 5: Vlastní fotografie

Obrázek 6: Vlastní fotografie

Obrázek 7: Vlastní fotografie

Obrázek 8: Vlastní fotografie

Obrázek 9: AUTOR NEZNÁMÝ. *dioptra.cz* [online]. [cit. 25. 4. 2016]. Dostupný na: http://www.dioptra.cz/editor/image/eshop_products/D%20516%20-%20OR%20683L25_m.jpg

Graf 1: AUTOR NEZNÁMÝ. *optikskrbkova.cz* [online]. [cit. 25. 4. 2016]. Dostupný na: <http://www.optikskrbkova.cz/cz/optik-skrbkova/uzitecne-informace/slovnicek-odbornych-vyrazu/lecebne-filtry-hrano-ve-filtry-blue-blockery/r193>