

brýlová optika **brýlová optika** brýlo-
brýlová optika brýlová optika **brýlo**
optika **brýlová optika** brýlová optik;
brýlová optika **brýlová optika** brýlo-
brýlová optika brýlová optika **brýlo**
optika **brýlová optika** brýlová optik;
brýlová optika **brýlová optika** brýlo-

Základy brýlové optiky

6. část

Brýlové čočky

Korekci refrakčních vad lze dnes provádět několika způsoby – brýlemi, kontaktními čočkami, refrakčními operacemi. My se zabýváme pouze nejstarší a stále nejrozšířenější variantou – brýlovou korekcí.

První doložené zmínky o brýlích máme ze 13. století z Itálie. Nebyly to brýle v našem slova smyslu se stranicemi upevněnými za ušima, ale vznikly zřejmě ze dvou lup, jejichž držátka se spojila na konci nýtem – odtud název „nýtové brýle“. V tehdejší době a dlouho potom se vybrušovaly čočky dvojevypuklé (bikonvexní), případně ploskovypuklé (plankonvexní) a sloužily převážně ke čtení. Teprve později se objevují čočky dvojduté (bikonkávni) a ploskoduté (plankonkávni) ke korekci krátkozrakosti, tedy do dálky. Až do 19. století se do obrub zabrušovaly čočky pouze tohoto designu s lámavými plochami kulovými (sférickými).

Teprve na začátku 19. století se Wolleston v Anglii pokoušel napravit neostré vidění přes tento typ čoček v brýlích při pohledu do stran **miskovitou úpravou** čoček. Brýle s čočkami totiž sedí před očima v pevné pozici, oči se však otáčejí do všech stran. Nejlepší zobrazení je samozřejmě při pohledu přes optický střed ve směru optické osy. Co však s pohledem do stran a dolů? Nelze přece do všech

stran při každé změně směru pohledu otáčet celou hlavou. Tehdy se ještě nevědělo o zobrazovací vadě čoček – **astigmatismu šikmých paprsků**. Přesto vznikly první **periskopické** čočky se základními plochami $\pm 1,25$ D. Koncem 19. století se touto problematikou zabýval francouzský lékař Ostwalt a dánský lékař Tscherning, který v té době také působil v Paříži. Jejich poznatky a výsledky výpočtů se však výrobci brýlových čoček příliš neřídili a stále dodávali na trh čočky tradičního designu. Teprve švédskému očnímu lékaři A. Gullstrandovi se na začátku 20. století podařilo prosadit výrobu miskovitě prohnutých **bodově zobrazujících** brýlových čoček. Díky kombinacím poloměrů křivosti přední a zadní plochy pro každou hodnotu celkové lámavosti (*obr. 4*) je i při šikmém pohledu okrajem čočky **bod zobrazen jako bod** a nedochází k rozostření obrazu. **Podmínkou však je, že optická osa čočky musí směřovat do středu otáčení oka.** Samozřejmostí je, že dutá plocha čočky je otočena v brýlích k oku.

Dnes se vyrábí brýlové čočky v nespočetných tvarových variantách s kombinacemi ploch sférických, asférických, torických, atorických a jiných speciálních. Cílem je jednak dokonalé vidění přes celou plochu brýlové čočky v brýlích, jednak i lehkost, tenkost, estetický vzhled a ochrana zraku před nepříjemným nebo dokonce škodlivým zářením – hlavně ultrafialovým.

Parametry brýlových čoček

K základním údajům, které se uvádějí v katalogích brýlových čoček, patří:

- vrcholová lámavost,
- průměr čočky,
- index lomu,
- Abbeovo číslo,
- hustota.

Pro korekci zraku je nejdůležitějším údajem o čočce její **vrcholová lámavost (S')**, která se měří na fokometru. Tento údaj se nachází i na sáčku čočky. U čočky nacházející se ve vzduchu je to převrácená hodnota vzdálenosti jejího obrazového ohniska od jejího zadního vrcholu (sečná ohnisková vzdálenost s'). Vzdálenost se měří v metrech a vrcholová lámavost v dioptriích [D]. Z toho plyne, že 1 dioptrie je matematicky 1/1 m, tedy čočka se sečnou ohniskovou vzdáleností 1 m má vrcholovou lámavost 1 D.

V dioptriích se udává i **optická mohutnost (φ)** čočky, ta se však u korekce zraku neuvádí. Dostaneme ji u čočky ve vzduchu jako převrácenou hodnotu vzdálenosti ohniska od hlavní roviny čočky (ohniskové vzdálenosti f). Dá se také spočítat, jestliže si změříme poloměry křivosti obou lámavých ploch čočky, její středovou tloušťku a známe indexy lomu prostředí, v němž se čočka nachází. Vzduch má index lomu roven jedné. Pokud porovnáme přesné hodnoty vrcholové lámavosti a optické mohutnosti, zjistíme, že jsou odlišné. Je to způsobeno tím, že zadní vrchol čočky neleží přesně v její obrazové hlavní rovině. Velkou roli hraje tloušťka a tvar čočky (obr. 1).

Optickou mohutnost jedné lámavé kulové plochy vypočítáme podle vzorce:

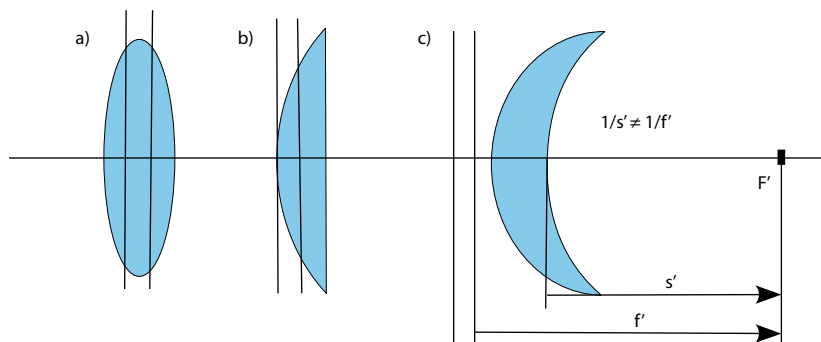
$$\varphi = (n' - n)/r,$$

kde n' je index lomu prostředí za plochou (ve směru chodu paprsků),

n je index lomu prostředí před plochou,

r je poloměr křivosti lámavé plochy v metrech (řídíme se znaménkovou dohodou).

Prostým součtem optické mohutnosti přední a zadní plochy získáme u tenké



čočky při zanedbání její středové tloušťky celkovou optickou mohutnost. Pro započítání tloušťky čočky d do konečného výsledku musíme použít Gullstrandovu rovnici:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 - \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot d/n,$$

kde φ_1 je optická mohutnost první plochy,

φ_2 je optická mohutnost druhé plochy,

d je středová tloušťka čočky v metrech,

n je index lomu materiálu čočky,

d/n je redukovaná tloušťka čočky.

Optickou mohutnost kulových ploch čočky můžeme velmi snadno změřit hodinkovým sférometrem, tloušťku tloušťkoměrem. Torické plochy měříme torometrem, který má tři dotykové kolíky v jedné přímce.

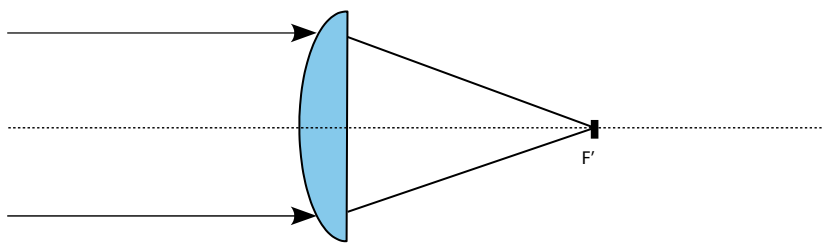
Dalším údajem, pro optika velmi důležitým, je **průměr čočky**. Ten je důležitý zvláště u spojných čoček, protože snahou optika je, aby zabroušená čočka v brýlích byla co nejtenčí, což znamená, že je třeba objednat čočku o nejmenším možném průměru. S rostoucím průměrem spojné čočky totiž roste i její středová

obr. 1 Vliv polohy hlavních rovin na optickou mohutnost a vrcholovou lámavost, a) čočka bikonvexní, b) plankonvexní, c) menisková

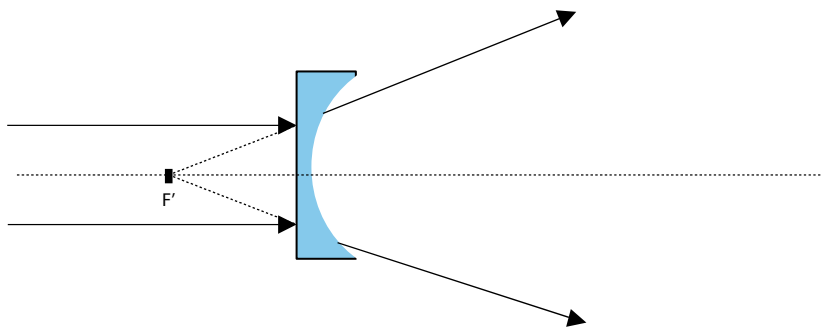
tloušťka. Průměry běžně vyráběných brýlových čoček se pohybují v rozmezí od 55 do 75 mm. S rostoucí vrcholovou lámavostí se dodávané průměry zmenšují.

Optická osa je přímka, která prochází oběma středy křivosti čočky a protíná přední plochu čočky v **optickém středu**. Optický střed čočky se měří a označuje na fokometru.





obr. 2 Lom paprsků spojkou



obr. 3 Lom paprsků rozptylkou

Index lomu a Abbeovo číslo jsou údaje popisující optické vlastnosti materiálu čočky. Index lomu se vyjadřuje číslem vyšším než jedna. Je to podíl rychlosti světla ve vakuu (vzduchu) ku rychlosti světla v optickém materiálu, z něhož je čočka vyrobena. Udává tedy míru zpomalení šíření záření při přechodu ze vzduchu do tohoto optického prostředí. Pro každou vlnovou délku je index lomu jiný, pro kratší vlnové délky vyšší. Proto se index lomu uvádí pro střed slunečního spektra, na jehož žlutou barvu je lidské oko za dne nejcitlivější. Běžné minerální čočky mají index lomu 1,523. Materiál CR-39 na výrobu plastových čoček má index lomu přibližně 1,5. Minerální brýlové čočky se dodávají do indexu lomu 1,9; plastové do indexu lomu 1,74.

Z indexů lomu vychází i druhý údaj – **Abbeovo číslo**. Udává míru disperze op-

tického materiálu. Čím větší je rozdíl mezi indexy lomu záření o vlnových délkách 486,1 nm a 656,3 nm, tím větší je disperze. Abbeovo číslo je, stejně jako index lomu, bezrozměrné:

$$v = (n_d - 1) / (n_f - n_c)$$

Čím je Abbeovo číslo vyšší, tím je materiál po stránce optické pro výrobu čoček vhodnější. S rostoucím indexem lomu skla Abbeovo číslo klesá. To se projevuje u vysokoindexových čoček duhovými lemy při pohledu mimo jejich optický střed. Povrchovou úpravou, například antireflexní, nelze snížit disperzi optického materiálu.

Hustota je fyzikální veličina, která nijak neovlivňuje optické vlastnosti čoček, významně se však podílí na snášenlivosti brýlí. S nástupem plastových čoček na konci 20. století a s módou malých tvarů očních se vyřešil dřívější problém bolestivých otlaků od sedel brýlí na nose. Snahou optiků je zhotovovat co nejlehčí brýle. To má vliv i na plošší tvar čoček.

Lom paprsků spojkou a rozptylkou

Jestliže dopadá svazek rovnoběžných paprsků ve směru optické osy na **spojnou čočku**, dochází po průchodu čočkou k jejich sbíhavému soustředění do jednoho bodu na optické ose (při zanedbání vad optického zobrazování). Tento bod nazýváme obrazovým ohniskem (obr. 2).

Při průchodu stejného svazku **rozptylnou čočkou** dochází ke kuželovitému rozbíhavému odklonění paprsků. Při zpětném protažení proti směru šíření paprsků před čočkou se spojí v jednom bodě před čočkou – obrazovém ohnisku rozptylky (obr. 3).

Tvary čoček

Jak jsme uvedli již na začátku, tvar čoček používaných v brýlích se hlavně v posledních 100 letech vyvíjel od bikonvexních a bikonkávních přes různě prohnuté čočky s kulovými (sférickými) plochami až po nejmodernější individuálně navržené asférické a atorické čočky.

U klasické hromadné výroby brýlových čoček se rozlišovala na čochce **plocha základní** a plocha doplňková. Základní plocha se zhotovovala pro určitý rozsah celkových lámavostí nástrojem ve tvaru misky nebo hříbku stejného poloměru

křivosti a druhá plocha se pak dokončovala s potřebným poloměrem křivosti, aby se dosáhlo požadované celkové lámavosti čočky. U spojek byla základní plochou zadní (dutá) plocha, u rozptylek přední (vypuklá).

Podle poloměru křivosti základní plochy se čočky dělily na:

- rovinné se základní plochou 0 D,
- periskopické $\pm 1,25$ D,
- polomušlové (meniskové) $\pm 6,0$ D,
- mušlové $\pm 8,0$ D.

V současné době se v **laboratorní výrobě** velmi využívají na základě přímé kusové objednávky optika speciální polotovary čoček, které se hromadně vyrábějí s přední plochou již hotovou. Tato plocha je tedy základní („base curve“) a dutá plocha čočky se opracovává individuálně podle objednané hodnoty lámavosti čočky.

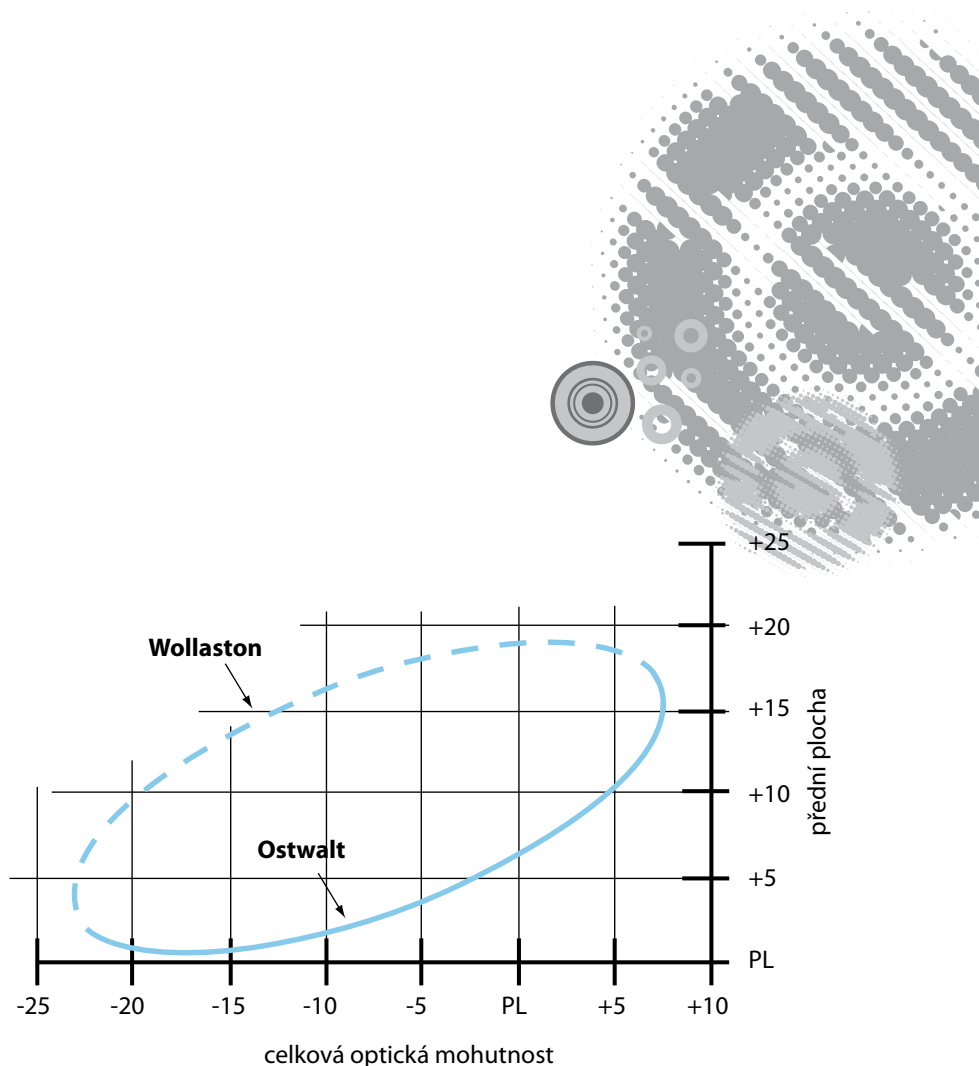
Tvar čoček ovlivňuje vzhled brýlí svou tloušťkou, má vliv na celkovou hmotnost brýlí a zobrazovací vlastnosti, hlavně astigmatismus šikmých paprsků při pohledech mimo optickou osu čočky. Bi-čočky, rovinné a periskopické čočky byly nejtěsnější a nejlhčí, miskovitě prohnuté meniskové a mušlové čočky zase dobře korigovaly astigmatismus šikmých paprsků, vyráběly se však v malých průměrech a pro své velké prohnutí špatně držely v očníchicích.

Cílem konstruktérů současných čoček je dosáhnout co možná nejlepších výsledků ve všech ukazatelích kvality čoček.

Optické plochy čoček

Ke korekci běžných refrakčních vad se vyrábějí čočky s oběma plochami kulovými – **sférické čočky**. Oční astigmatismus se koriguje čočkami, jejichž jedna plocha je **torická**. Torická plocha má ve dvou na sebe kolmých meridiánech rozdílné poloměry křivosti. Tyto meridiány také vykazují rozdílné optické mohutnosti, což je nutné pro korekci astigmatického oka.

Už na začátku 20. století se snažil Tscherning docílit co možná nejlepšího bodového zobrazení bez zjevného vlivu astigmatismu šikmých paprsků. Toho je možné dosáhnout vhodnou kombinací sférických ploch čočky. Těmto čočkám se říkalo **bodově zobrazující**. Tscherningův graf kombinací optických mohutností



ukazuje, že toho lze dosáhnout u korekci do dálky v rozsahu přibližně -23 D až $+8$ D (obr. 4). Tyto čočky jsou však příliš prohnuté. Proto se zvláště v poslední době využívá nových technologií ve výrobě čoček, které umožňují zhotovení asférických a atorických ploch na čočkách.

Asférická plocha má ve všech meridiánech čočky plynule se měnící poloměr křivosti od středu k okraji čočky. Přestože je asférická čočka plošší, splňuje i požadavek bodového zobrazení. Místo torické plochy se u astigmatických čoček zavádí plocha **atorická**. Ta má v meridiánech, jež jsou na sebe kolmé, místo rozdílných kružnic různé kuželosečky, jejichž poloměr křivosti se také plynule mění. Výsledkem je také plošší a tenčí čočka.

obr. 4 Tscherningova elipsa

Ladislav Najman
SZŠ a VOŠZ, Brno, Merhautova 15
najman@szsmerh.cz

Pokračování příště.