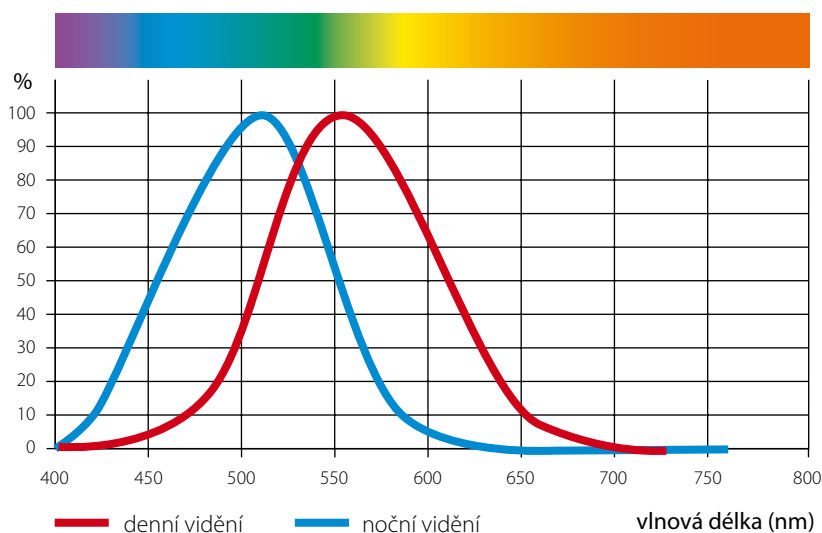


brýlová optika **brýlová optika** brýlo-  
**brýlová optika** brýlová optika **brýlo**  
 optika **brýlová optika** brýlová optik;  
 brýlová optika **brýlová optika** brýlo-  
**brýlová optika** brýlová optika **brýlo**  
 optika **brýlová optika** brýlová optik;  
 brýlová optika **brýlová optika**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

# Základy

# brýlové optiky

## 1. část



obr. 1 Spektrum a citlivost lidského oka

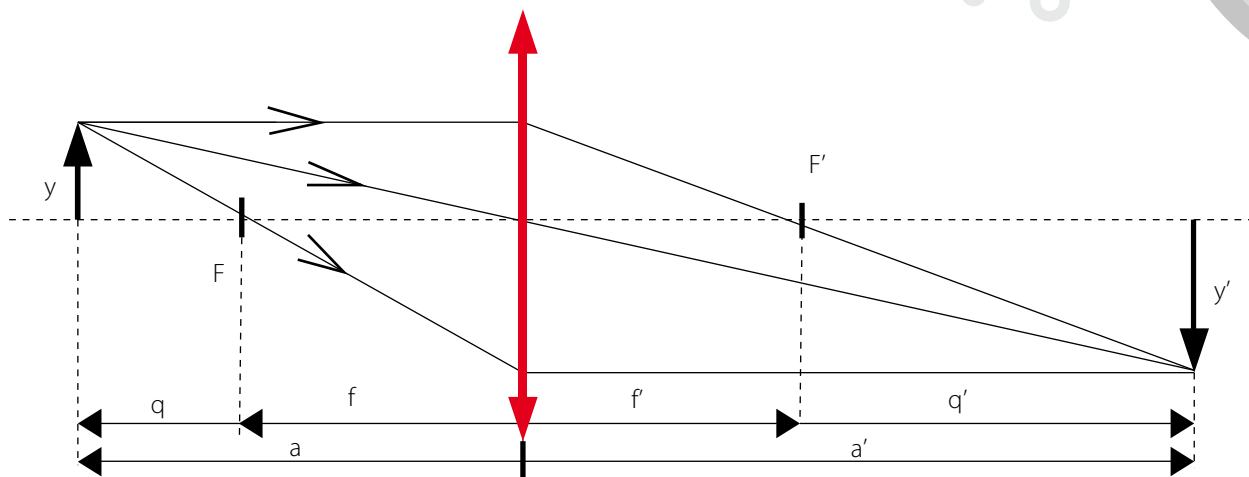
V nové rubrice Základy brýlové optiky bychom postupně chtěli shrnout jednoduchou a srozumitelnou formou základní poznatky o brýlové korekci. Toto shrnutí může posloužit nejen studujícím, začínajícím optikům, ale i jako pomůcka pro opakování dříve nabytých odborných vědomostí pro již zkušené oční optiky a optometristy.

V první části si připomeneme základní pojmy a souvislosti z geometrické optiky, jejichž pochopení je nezbytné pro pochopení celé problematiky korekce refrakčních vad optického systému oka.

### Základní pojmy z optiky

Viditelné světlo je určitý úsek elektromagnetického vlnění, který vyvolává v lidském oku určité fotochemické reakce, díky nimž dochází vlivem elektrických potenciálů k přenosu zaznamenaných obrazových informací zrakovým nervem ze sítnice do mozku.

Elektromagnetické vlnění je charakterizováno **vlnovou délkou** a **frekvencí**. Pro lidské oko je viditelné elektromagnetické vlnění v rozsahu vlnových délek asi 390 až 760 nm, což odpovídá frekvenci  $7,7 \cdot 10^{14}$  až  $3,9 \cdot 10^{14}$  Hz. Tuto část vlnění nazýváme **světlem**. Hlavním přirozeným zdrojem světla je Slunce. Sluneční bílé světlo se dá rozložit optickým hranolem na spektrum, od krátkovlnné fialové oblasti, přes střední žlutozelenou, po dlouhovlnnou červenou oblast (obr. 1). Rychlost světla ve vakuu, tedy nehmotném prostředí, je asi 300 000 km/s. Téměř stejně rychle se šíří světlo i ve vzduchu, ale v jiných, tzv. opticky hustších prostředích, se jeho rychlost zmenšuje. O tom, kolikrát se po vstupu ze vzduchu do daného optického prostředí rychlost světla zmenší, nás informuje **index lomu** (absolutní). Přechodem paprsků světla přes rozhraní dvou rozdílných optických prostředí dochází k lomu paprsků. Toho se využívá v konstrukci optických čoček, které mají lámavé plochy nejčastěji kulového (sfé-



rického) tvaru, nebo se kombinuje rovinná plocha s kulovou. V grafické konstrukci zobrazení na obr. 2 bylo pro zjednodušení použito tzv. **tenké** spojné čočky.

Čočky dělíme na dvě základní skupiny: **spojky (konvexní)** a **rozptylky (konkávní)**. U spojek dochází po průchodu rovnoběžného svazku paprsků za čočkou k jejich soustředění do jednoho bodu – obrazového ohniska. U rozptylek naopak dochází k rozbíhavému lomu paprsků, kdy ve zpětném prodloužení směřují do bodu před čočkou – obrazové ohnisko. Blíže se čočkám budeme věnovat později.

Pro využití v optickém zobrazování mají význam pouze dokonale průhledná optická prostředí. Mohou být bezbarvá čirá, nebo i zbarvená (sluneční brýle). Nemělo by v nich docházet k rozptylu světla vlivem nežádoucích drobných částic, jako například v kalné vodě.

#### Zásady značení při grafické konstrukci zobrazení v geometrické optice:

- malá písmena řecké abecedy – úhly,
- malá písmena latinské abecedy – vzdálenosti,
- velká písmena latinské abecedy – body,
- písmena s čárkou – po zobrazení optickým prvkem.

#### Znaménková dohoda (jenská) pro výpočty (obr. 2):

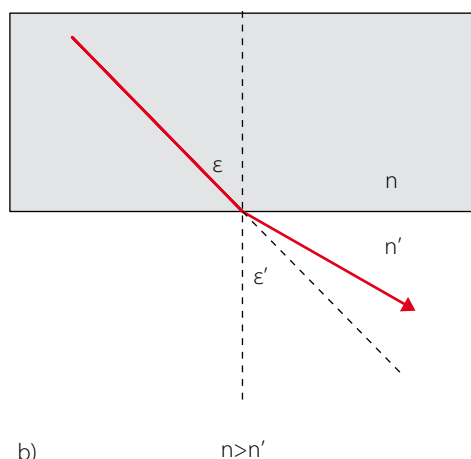
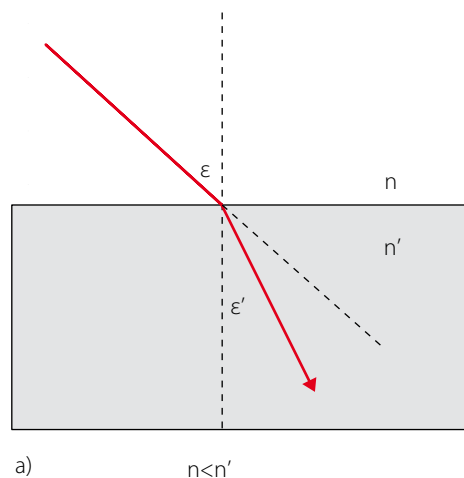
- světlo se šíří zleva doprava,
- vzdálenosti od vrcholu lámavé plochy vlevo jsou záporné,
- vzdálenosti od vrcholu lámavé plochy vpravo jsou kladné,
- výšky nad optickou osou jsou kladné, pod optickou osou záporné,
- úhly paprsků dopadajících na optické rozhraní měřené od optické osy k paprsku, od paprsku ke kolmici dopadu ve směru hodinových ručiček jsou kladné,
- poloměr křivosti kulové lámavé plochy je kladný, leží-li střed křivosti vpravo od vrcholu plochy.

#### Příklady značení:

- n** ..... index lomu
- r** ..... poloměr křivosti
- $\epsilon$**  ..... úhel dopadu
- $\epsilon'$**  ..... úhel lomu
- a, a'** .... vzdálenost předmětu, obrazu od čočky
- q** ..... vzdálenost předmětu od předmětového ohniska
- q'** ..... vzdálenost obrazu od obrazového ohniska

obr. 2 Geometrická konstrukce zobrazení předmětu  $y$  v spojné tenké čočce za použití 3 význačných paprsků. Prostor před a za čočkou je stejný, proto jsou obě ohniskové vzdálenosti stejně velké.

- f, f'** ..... ohnisková vzdálenost předmětová, obrazová
- s, s'** .... sečná ohnisková vzdálenost předmětová, obrazová
- F, F'** .... ohnisko předmětové, obrazové
- H, H'** ... hlavní bod optické soustavy předmětový, obrazový
- N, N'** .. uzlový bod optické soustavy předmětový, obrazový
- y** ..... předmět
- y'** ..... obraz



obr. 3 Zákon lomu a) lom ke kolmici, b) lom od kolmice

## Přehled optických pojmů

**Paprsek** – přímka znázorňující směr šíření světla, kolmá na vlnoplochu.

**Vlnoplocha** – množina bodů, do nichž dospěje vlnění ze zdroje za stejnou dobu (čelní vlnoplocha); je v každém bodě kolmá na směr šíření vlnění.

**Index lomu:**  $n = c/v$  ( $c$  = rychlost světla ve vakuu,  $v$  = rychlost světla v optickém prostředí). Běžné brýlové čočky mají index lomu přibližně 1,5.

**Zákon lomu Snellův** (obr. 3) na rozhraní dvou prostředí s indexy lomu  $n$  a  $n'$ :  
 $n \sin \epsilon = n' \sin \epsilon'$

**Zákon odrazu:** velikost úhlu odrazu se rovná velikosti úhlu dopadu.

**Optická lámavá plocha** (optický prvek) – rozhraní dvou různých optických

prostředí definované středem křivosti a poloměrem křivosti.

**Soustava lámavých ploch** (prvků) – optická soustava (optický systém) – čočka.

**Čočka** – optická soustava složená ze dvou lámavých ploch.

**Centrovaná optická soustava** víceprvková – soustava (systém) několika optických prvků (ploch), jejichž středy křivosti leží na společné ose – optické ose (rovinná optická plocha v soustavě je kolmá k optické ose); zobrazovací systém lidského oka je optická soustava složená ze dvou částí – rohovky a čočky.

**Optická osa** – přímka procházející středy křivosti lámavých ploch soustavy.

**Optický střed** čočky  $O$  – průsečík optické osy s lámavou plochou čočky.

**Ohnisko** předmětové  $F$ , obrazové  $F'$  – bod na optické ose, do kterého se soustředí paprsky dopadající rovnoběžně s optickou osou na optický člen nebo soustavu (čočku, zrcadlo) po průchodu (čočkou) nebo po odrazu (od zrcadla); je to obraz bodu, který se nachází na optické ose v nekonečné vzdálenosti od optické soustavy.

**Ohnisková vzdálenost**  $f, f'$  (obr. 4) – vzdálenost předmětového nebo obrazového ohniska od hlavního bodu předmětového  $H$ , obrazového  $H'$  čočky (soustavy).

**Sečná ohnisková vzdálenost** předmětová  $s$ , obrazová  $s'$  (obr. 4) – vzdálenost předmětového, obrazového ohniska od vrcholu předmětové, obrazové plochy čočky.

**Optická mohutnost** lámavé plochy:

$$\varphi = (n' - n)/r \text{ [m]}$$

**Celková optická mohutnost** dvou lámavých ploch (Gullstrandova rovnice):

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

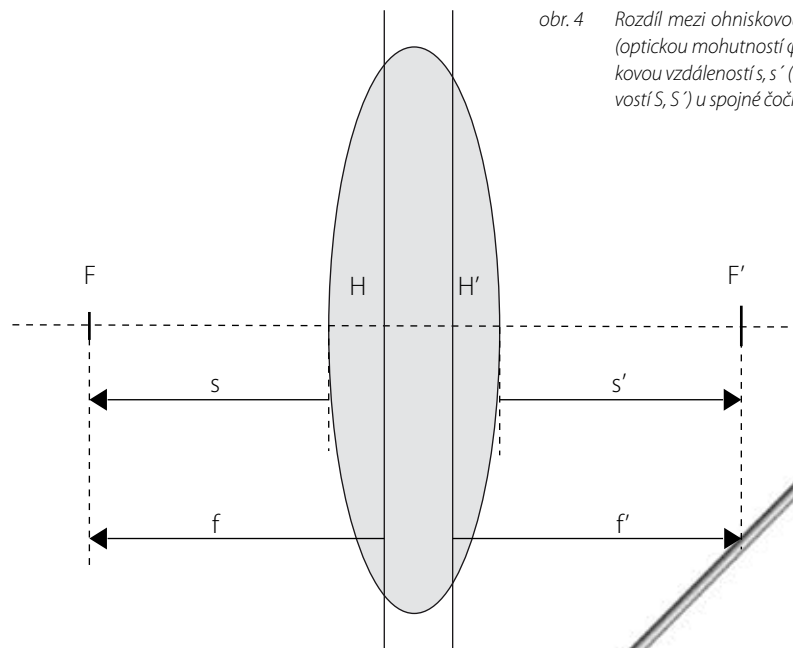
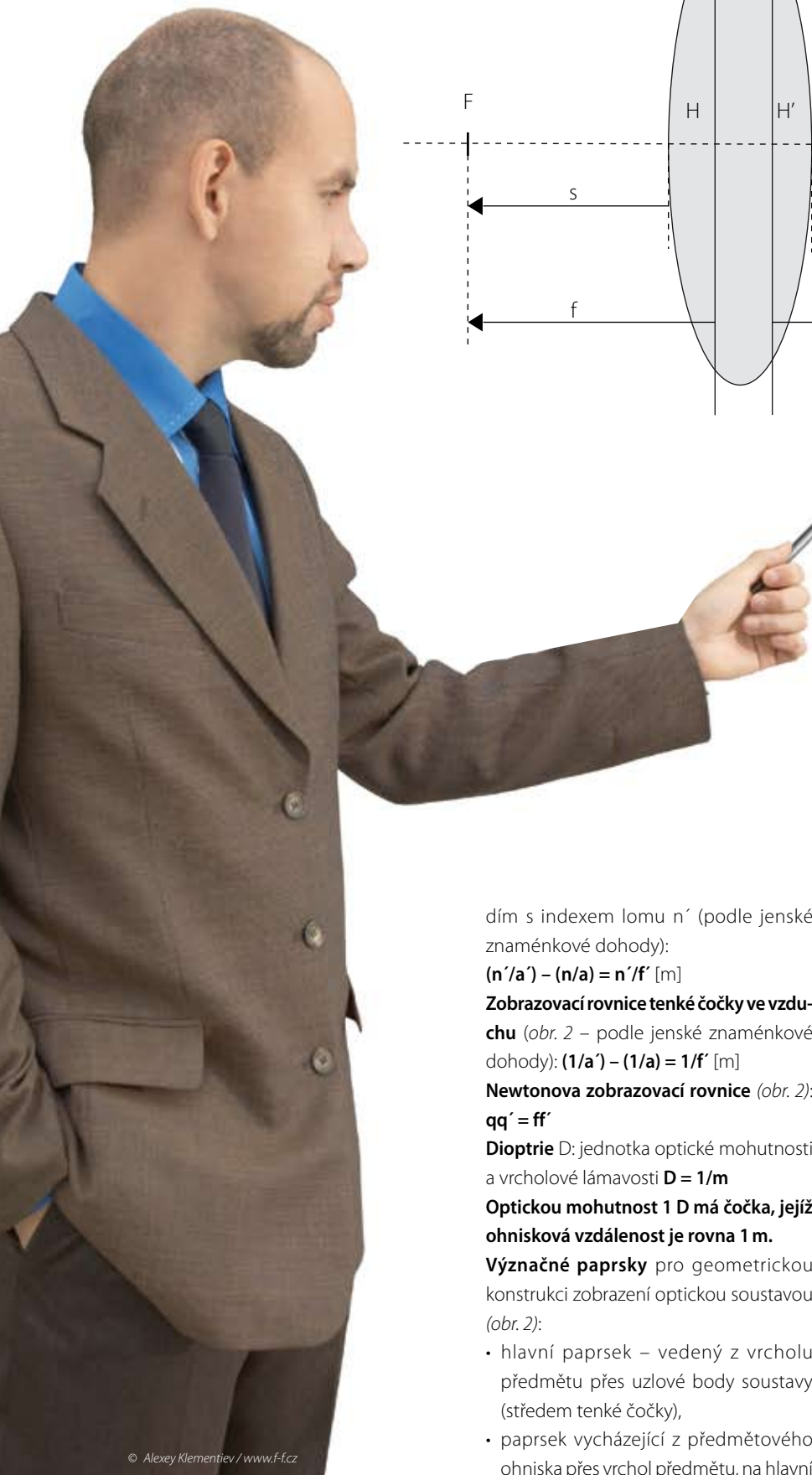
$d$  ... vzdálenost lámavých ploch

**Optická mohutnost** čočky ve vzduchu,  $\varphi$  = převrácená hodnota ohniskové vzdálenosti v metrech:  $\varphi = 1/f'$  [m]

**Optická mohutnost** čočky v prostředí s indexem lomu  $n'$ :  $\varphi = n'/f'$  [m]

**Vrcholová lámavost**  $S, S'$  – převrácená hodnota sečné ohniskové vzdálenosti v metrech (měří se na fokometru).

**Zobrazovací rovnice Gaussova** lámavé kulové plochy nebo tenké čočky obklopené předmětovým prostředím s indexem lomu  $n$  a obrazovým prostře-



obr. 4 Rozdíl mezi ohniskovou vzdáleností  $f, f'$  (optickou mohutností  $\varphi$ ) a sečnou ohniskovou vzdáleností  $s, s'$  (vrcholovou lámavostí  $S, S'$ ) u spojné čočky ve vzduchu.

dím s indexem lomu  $n'$  (podle jenské znaménkové dohody):

$$(n'/a') - (n/a) = n'/f' \text{ [m]}$$

**Zobrazovací rovnice tenké čočky ve vzduchu** (obr. 2 – podle jenské znaménkové dohody):  $(1/a') - (1/a) = 1/f'$  [m]

**Newtonova zobrazovací rovnice** (obr. 2):  $qq' = ff'$

**Dioptrie** D: jednotka optické mohutnosti a vrcholové lámavosti  $D = 1/m$

**Optickou mohutnost 1 D má čočka, jejíž ohnisková vzdálenost je rovna 1 m.**

**Význačné paprsky** pro geometrickou konstrukci zobrazení optickou soustavou (obr. 2):

- hlavní paprsek – vedený z vrcholu předmětu přes uzlové body soustavy (středem tenké čočky),
- paprsek vycházející z předmětového ohniska přes vrchol předmětu, na hlavní

rovině předmětové se láme rovnoběžně s optickou osou,

- paprsek vedený rovnoběžně s optickou osou přes vrchol předmětu na hlavní rovinu, na hlavní rovině obrazové se láme do obrazového ohniska soustavy.

**Hlavní body** soustavy (předmětový  $H'$ , obrazový H) – opticky sdružené body na optické ose, jimiž prochází **hlavní roviny** a příčné zvětšení je rovno 1.

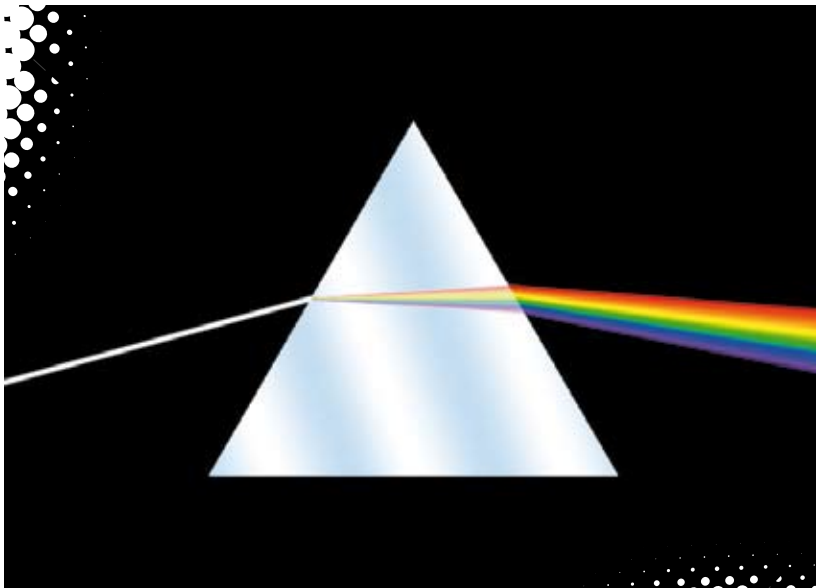
**Uzlové body** (předmětový N, obrazový  $N'$ ): opticky sdružené body na optické ose, ve kterých je úhlové zvětšení rovno 1; paprsky směřující do uzlového bodu opouštějí optickou soustavu nezměněným směrem – nelámou se (hlavní paprsky).

**Opticky sdružené body** soustavy – jeden je obrazem druhého.

**Skutečný (reálný) obraz** – obraz předmětu vytvořený optickou soustavou, který lze zachytit na stínítku, vytvořený průchodem soustavou sbíhavým svazkem paprsků (kamera).

**Zdánlivý (neskutečný, virtuální) obraz:** nelze zachytit na stínítku, vytvořený ve zpětném prodloužení rozbíhavým svazkem paprsků.





obr. 5 Optický hranol a disperze

Obraz může být **přímý** nebo **převrácený** a dále **stejně veliký** jako předmět, **zvětšený** nebo **zmenšený**.

**Paraxiální paprsky** – jdoucí blízko optické osy, svírají s optickou osou minimální úhel.

**Paraxiální prostor** – bez vad optického zobrazování, uváděné rovnice pro optické výpočty se vztahují pouze na paraxiální prostor.

**Zobrazovací vady** – způsobují neostrost a deformaci obrazu, případně duhové lemy obrazu; snahou konstruktérů je

vytvořit optické soustavy, které zobrazí bod jako bod.

**Prizmatická dioptrie**, pD – jednotka pro stupeň hranolového účinku optické soustavy.

Definice 1 pD: hranolový účinek 1 pD má soustava, která odchyluje dopadající paprsek po průchodu ve vzdálenosti 1 m o 1 cm z původního směru.

**Disperze** (obr. 5) – rozklad bílého světla lomem na barevné složky (nejvíce se láme fialová); nežádoucí vlastnost optických systémů, způsobuje neostrý obraz a duhové lemy obrazu; v optických soustavách se snižuje kombinací čoček z různých skel.

**Abbeovo číslo** – číslo udávající míru disperze optického prostředí (materiálu čočky); čím vyšší číslo, tím lepší; optický materiál brýlové čočky by měl mít Abbeovo číslo větší než 30.

**Zorný úhel** – úhel, který svírají krajní paprsky zobrazovacího svazku optické soustavy; úhel, pod kterým se jeví předmět.

**Reflexe** – odrazivost optické plochy – závisí na indexu lomu materiálu čočky, snižuje se antireflexními vrstvami na čočkách.

Uvedený zjednodušený slovník základních pojmů z oblasti geometrické optiky nám pomůže orientovat se ve stále se opakujících pojmech, které se budou v následujících částech vyskytovat.

Ladislav Najman

SZŠ a VOŠZ, Brno, Merhautova 15

najman@szsmerh.cz

placená inzerce