

# prismatický účinek bifokální a progresivní čočky



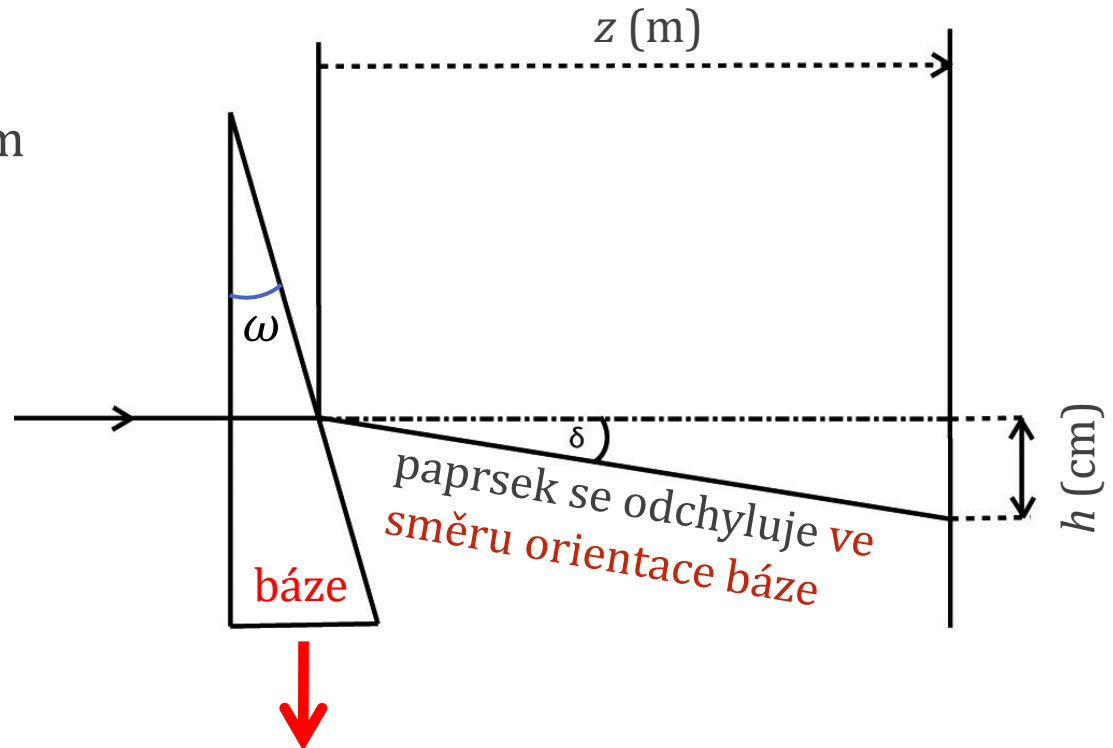
# prizmatický účinek

změna směru paprsku při průchodu optickým klínem

deviace paprsku

$$\delta \approx (n - 1)\omega$$

↑  
lámavý  
úhel klínu



velikost prizmatického účinku

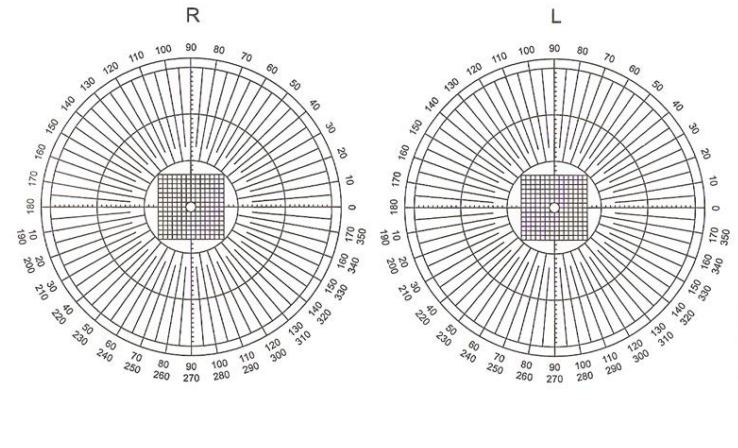
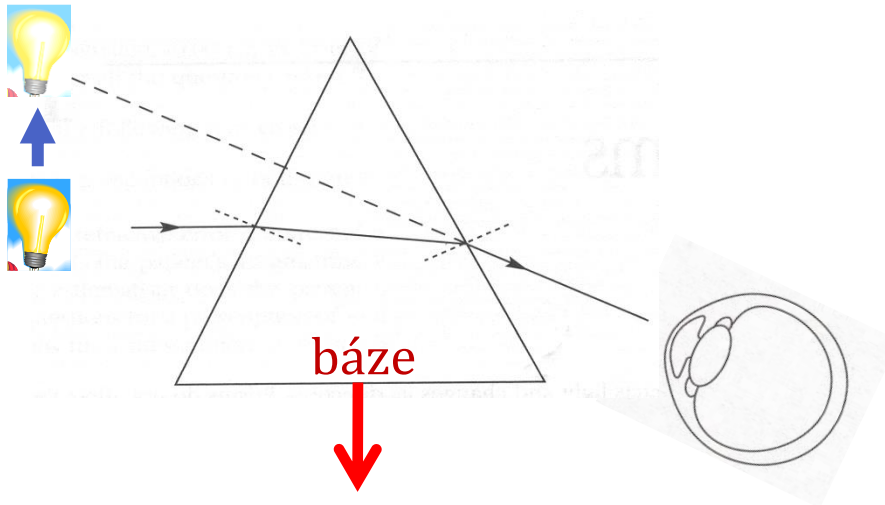
$$\Delta(\text{pD}) = \frac{h(\text{cm})}{z(\text{m})} = 100 \frac{h(\text{m})}{z(\text{m})} = 100 \text{ tg } \delta$$

↑  
prizmatická  
dioptrie

↑ prizmatický účinek 1 pD odpovídá odchylce paprsku 1 cm na vzdálenosti 1 m

# prizmatický účinek – orientace báze

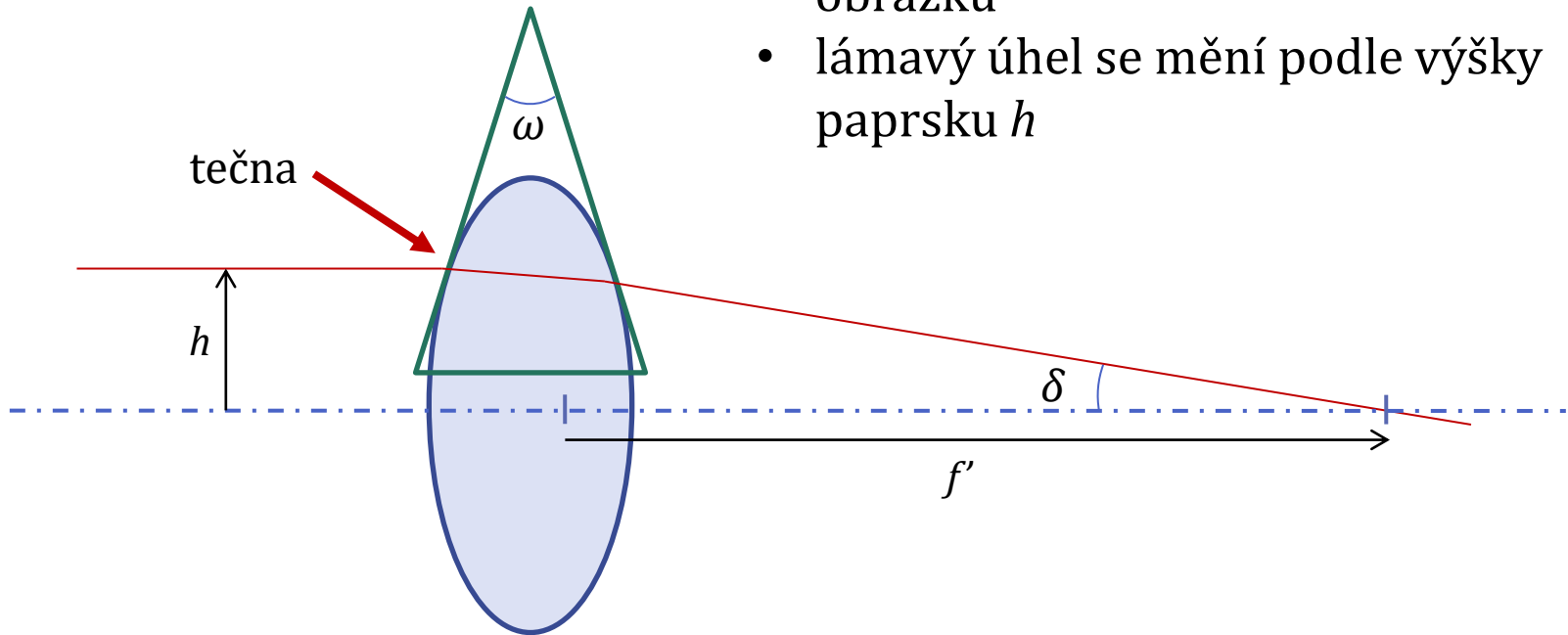
- při pohledu přes prizma je obraz posunut směrem **od báze prizmatu**
- toho se využívá pro odstranění obtíží spojených s heteroforiemi (odstranění astenopických obtíží) a strabismem (překonání diplopie, získání jednoduchého binokulárního vidění)



orientace báze korekčních prizmat vzhledem k oku se udává směrem:  
**dovnitř x ven/nasálně x temporálně, nahoru x dolů**  
nebo pomocí TABO schématu

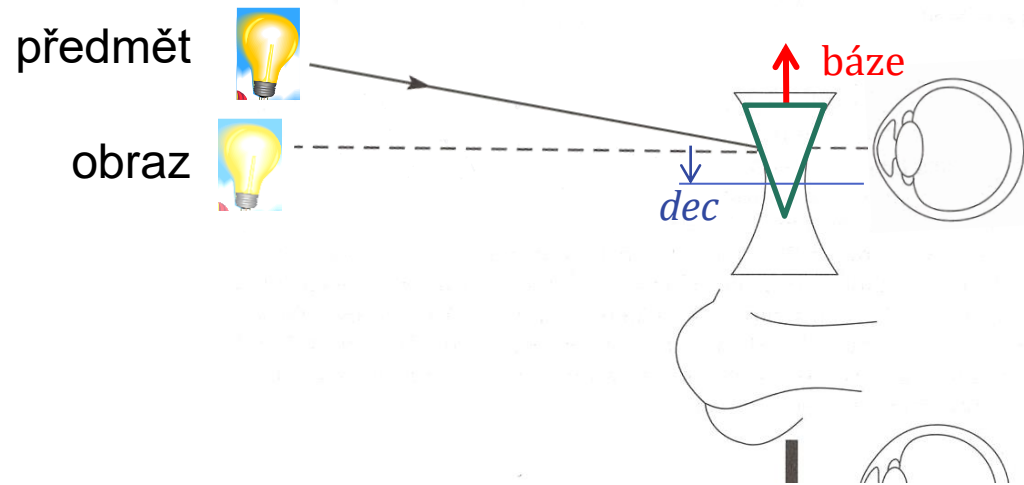
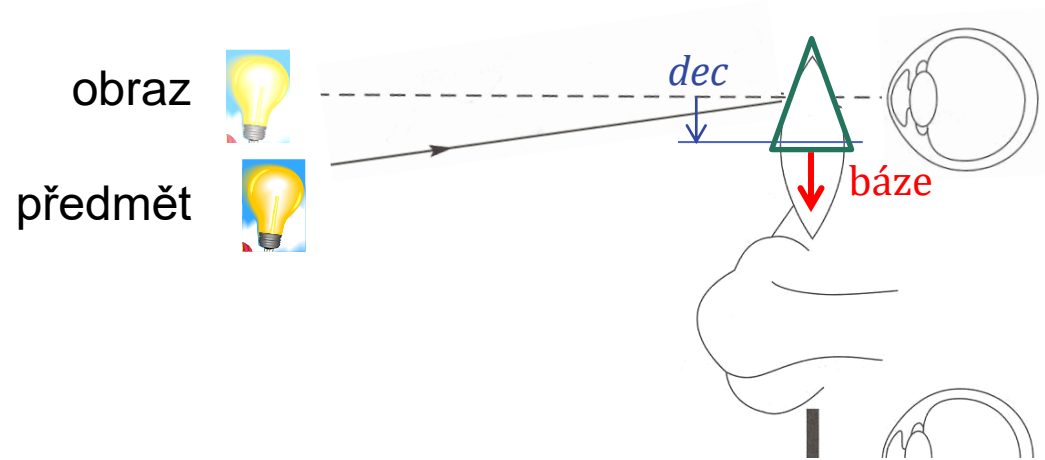
# prizmatický účinek čočky

- účinek čočky lze v každém místě nahradit účinkem prizmatu podle obrázku
- lámavý úhel se mění podle výšky paprsku  $h$



$$\Delta(\text{pD}) = 100 \operatorname{tg} \delta = 100 \frac{h(\text{m})}{f'(\text{m})} = 100 h(\text{m}) \varphi'(D) = \frac{1}{10} h(\text{mm}) \varphi'(D)$$

# prizmatický účinek decentrované čočky



decentrovaná čočka  
má prizmatický účinek  
(Prenticeho pravidlo):

$$\Delta(\text{pD}) = \frac{1}{10} \text{dec}(\text{mm}) \varphi'(D)$$

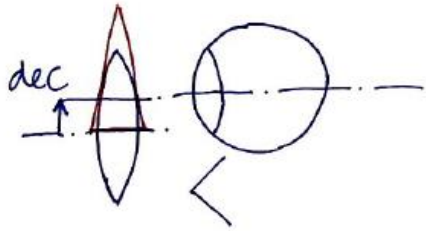
(Prentice's rule, Charles F. Prentice)

## Příklad

Pacientova pravá brýlová čočka je decentrována tak, že se pacient dívá přes bod 2,0 mm temporálně vzhledem k optickému středu čočky.

Vrcholová lámavost čočky je +6D.

a) Jaký je její prismatický účinek? Orientace báze?



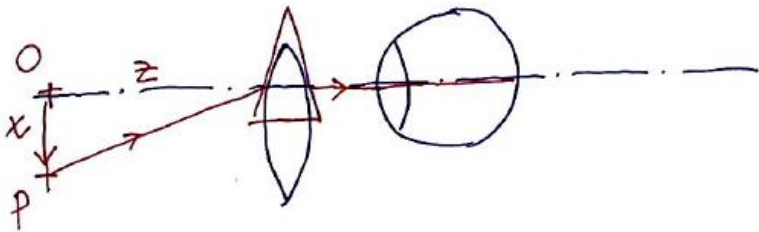
$$dec = 2,0 \text{ mm} \quad \varphi_c' \approx +6 \text{ D}$$

$$\Rightarrow \Delta(\text{PD}) = \frac{1}{10} dec(\text{mm}) \varphi_c'(\text{D}) = \underline{1,2 \text{ PD}}$$

Báze nazálně.

b) Znázorněte polohu nějakého bodu P, který oko pozoruje přes decentrovanou čočku, a jeho obraz O ležící na zorné ose oka. O jakou vzdálenost x je tento bod P odchýlen od zorné osy ve vzdálenosti 4 m před brýlovou čočkou?

$$\Delta(\text{PD}) = \frac{h(\text{cm})}{z(\text{m})}$$

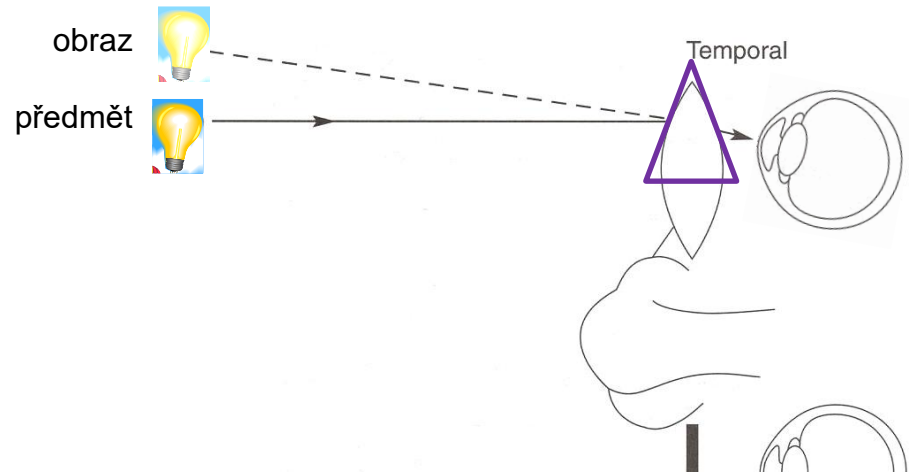


$$\Rightarrow x(\text{cm}) = \Delta(\text{PD}) \cdot z(\text{m}) = 1,2 \text{ PD} \cdot 4 \text{ m} = \underline{4,8 \text{ cm}}$$

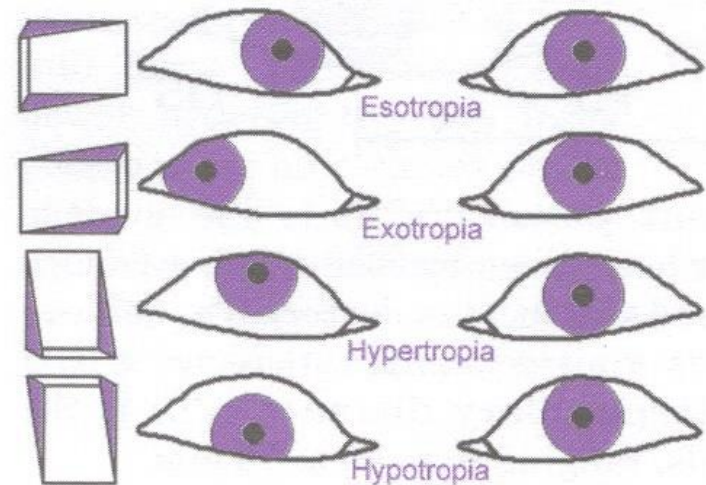
# prizmatický účinek decentrované čočky

prizmatický účinek  
decentrované čočky:

$$\Delta(pD) = \frac{1}{10} dec(mm) \varphi'(D)$$



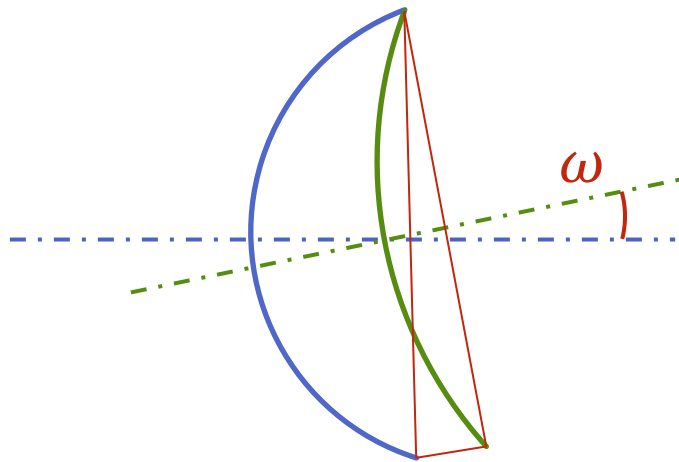
Prizmatické korekce získané decentrací lze využít pro odstranění obtíží spojených s heteroforiemi a strabismem.



# prizmatický účinek decentrované čočky

Nestačí-li prizmatický účinek dosažitelný decentrací celé čočky, decentruje se první nebo druhá plocha.

Tím vzniká **prismatická čočka**, jejíž prismatický účinek je dán úhlem os prvé a druhé plochy.

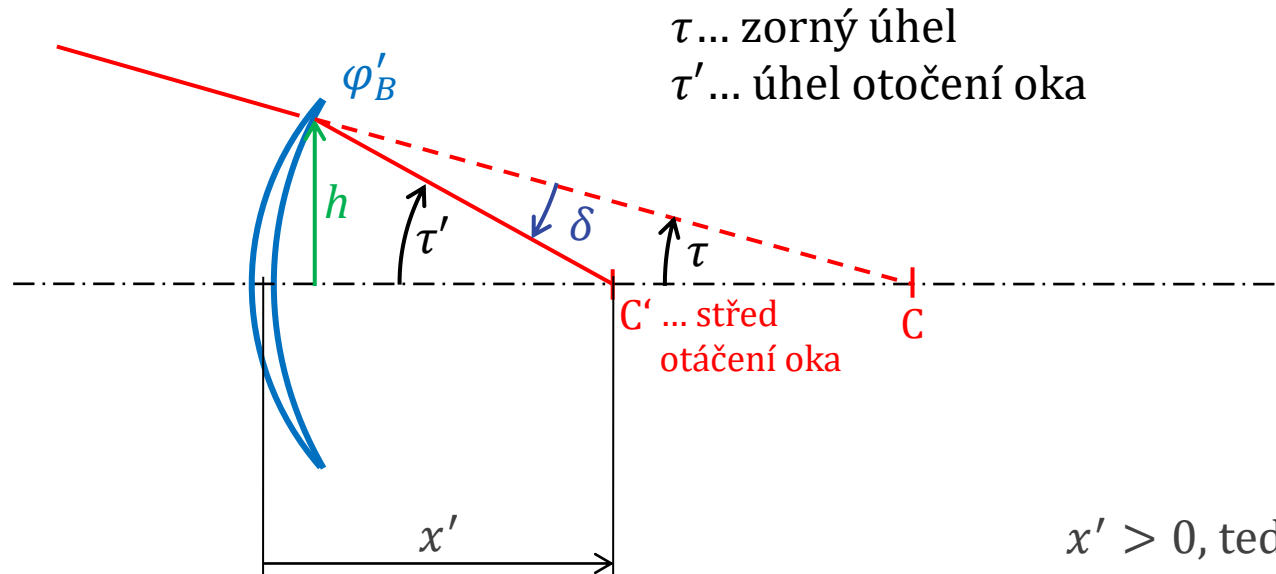


$$\delta \approx (n - 1)\omega$$

$$\Delta(\text{pD}) = 100 \text{ tg } \delta$$



# prizmatický účinek a zorné pole



Z geometrie:

$$\tau = \tau' - \delta$$

Z Prenticeho pravidla:

$$\delta \approx h\phi'_B \approx x'\tau'\phi'_B$$

$$\frac{\tau}{\tau'} \approx 1 - x'\phi'_B$$

$x' > 0$ , tedy pro **spojku** je zorný úhel **menší** než příslušný úhel otočení oka, pro **rozptylku** **větší**.

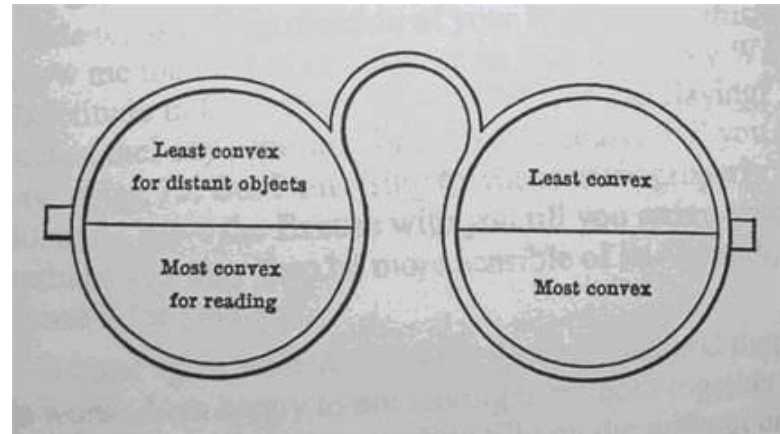
Rozptylka tedy poskytuje větší zorné pole, než spojka stejných příčných rozměrů.

# vynález bifokálních čoček

Benjamin Franklin



A handwritten signature of Benjamin Franklin in cursive script, written in black ink.

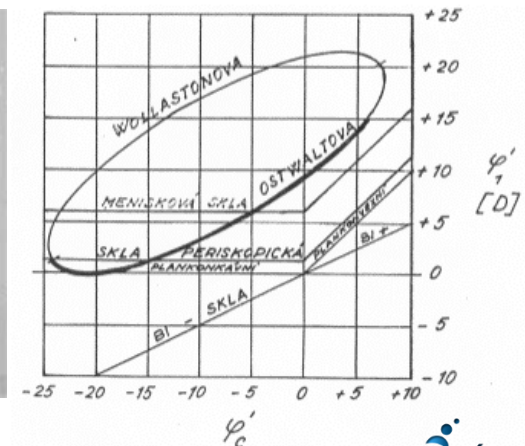
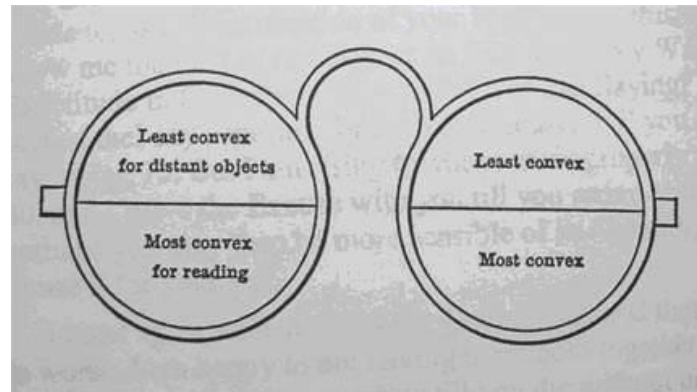
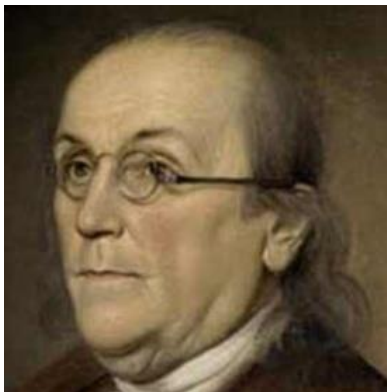


nákres z dopisu – knihovna kongresu

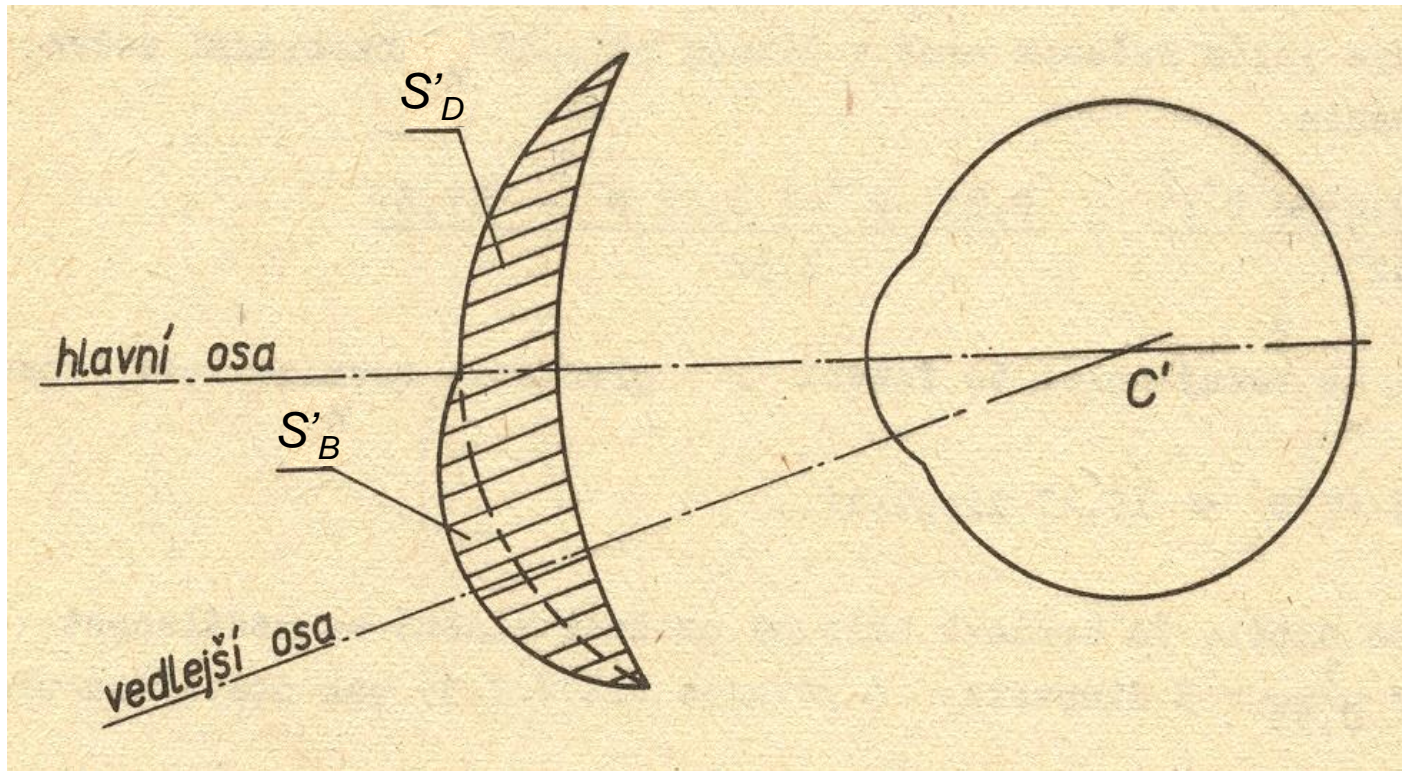


# požadavky na bifokální čočky

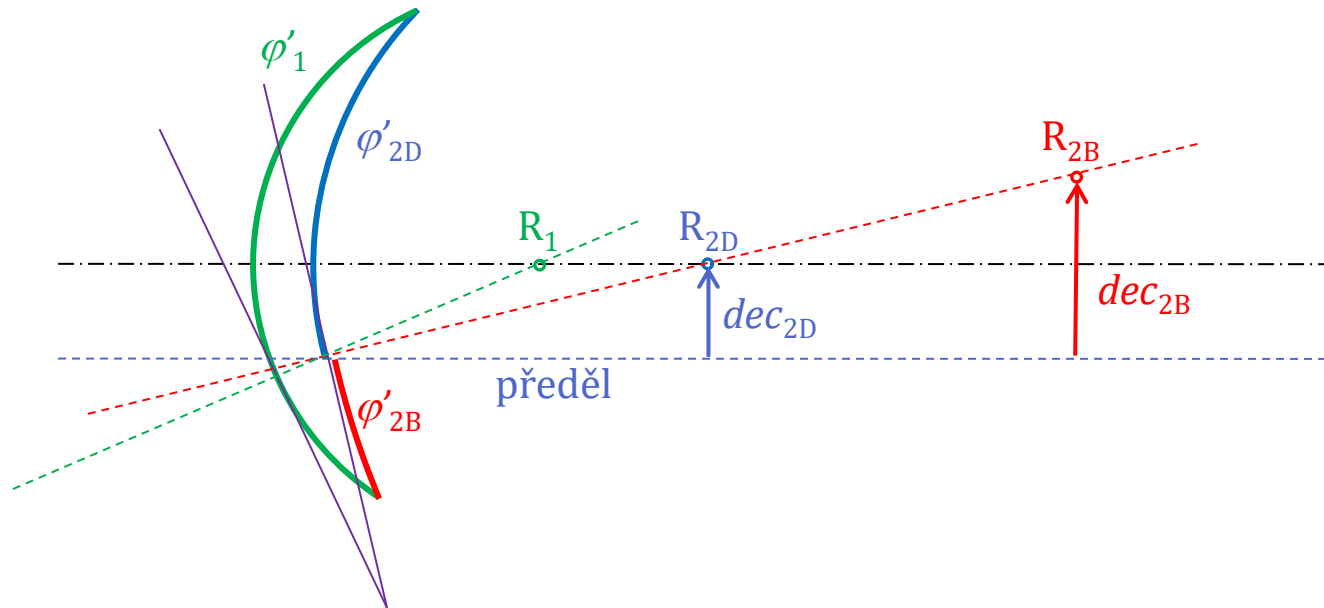
- řádné centrování obou dílů vůči oku (optické osy procházejí skutečným středem otáčení oka)
- korekce periferního astigmatismu obou dílů (bodově zobrazující čočky)
- odstranění „skoku obrazu“ na předělu (shodný prizmatický účinek na předělu co do hodnoty i orientace báze)
- vhodné provedení z hygienického a estetického hlediska (pokud možno bez vroubku na předělu)



# centrování dílů bifokální čočky



# skok obrazu u vybrušované bifokální čočky



Podmínka odstranění skoku  
obrazu na předělu:

$$dec_{2D} \varphi'_{2D} = dec_{2B} \varphi'_{2B}$$

# skok obrazu u vybrušované bifokální čočky

odvození vztahů:

prizmatický účinek na předělu:

$$\Delta_D = \text{dec}_1 \varphi_1' + \text{dec}_{2D} \varphi_{2D}'$$

$$\Delta_B = \text{dec}_1 \varphi_1' + \text{dec}_{2B} \varphi_{2B}'$$

chceme shodný, tedy

$$\Delta_D = \Delta_B, \text{ což nastává, pokud}$$

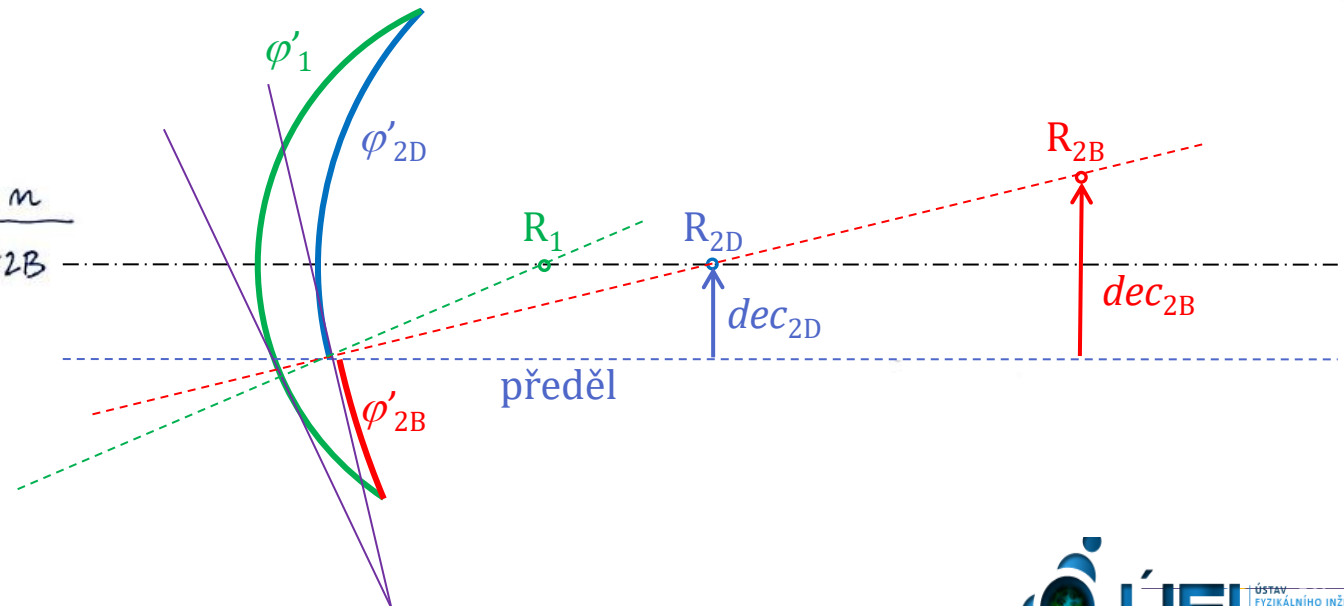
$$\text{dec}_{2D} \varphi_{2D}' = \text{dec}_{2B} \varphi_{2B}'$$

... podmínka odstranění skoku obrazu pro zabrušované bifokály

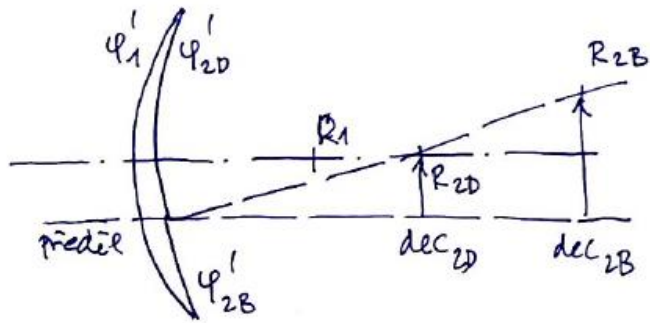
geometricky:

$$\text{dec}_{2D} \frac{1-n}{r_{2D}} = \text{dec}_{2B} \frac{1-n}{r_{2B}}$$

$$\frac{\text{dec}_{2D}}{r_{2D}} = \frac{\text{dec}_{2B}}{r_{2B}}$$



# Příklad 1



$$S_D' = +5D \quad \varphi_{2D}' = -6D \quad \text{dec}_{2D} = 2\text{mm} \quad d_D = 6\text{mm}$$

$$\text{Add} = 3D \quad d_B = 7\text{mm}$$

$$n = 1,523$$

$$r_1, r_{2D}, r_{2B}, \text{dec}_{2B} = ? \quad (\text{bez skoku obrazu na p\u0159ed\u011blu})$$

a) mohutnost 1. plochy (stejn\u00e1 do d\u00e1lky i do bl\u00edzka):  $\varphi_1'$

$$S_D' = \varphi_{1,t\u011b,D}' + \varphi_{2D}' \Rightarrow \varphi_{1,t\u011b,D}' = +11D \quad \varphi_1' = \frac{\varphi_{1,t\u011b,D}'}{1 + \frac{d_D}{n} \varphi_{1,t\u011b,D}'} = 10,54D \quad r_1 = \frac{n-1}{\varphi_1'} = \underline{\underline{49,6\text{mm}}}$$

b) r\u00e1dius 2. plochy do d\u00e1lky:

$$r_{2D} = \frac{1-n}{\varphi_{2D}'} = \underline{\underline{87,2\text{mm}}}$$

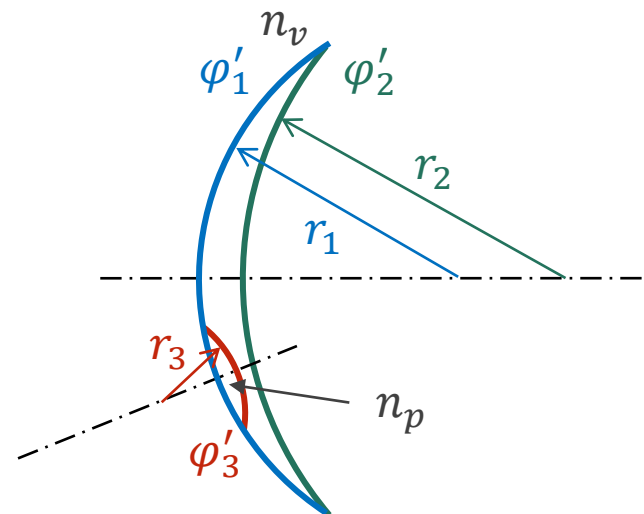
c) mohutnost 2. plochy do bl\u00edzka:

$$S_B' = S_D' + \text{Add} = +8D \quad S_B' = \varphi_{1,t\u011b,B}' + \varphi_{2B}' \quad \varphi_{1,t\u011b,B}' = \frac{\varphi_1'}{1 - \frac{d_B}{n} \varphi_1'} = 11,08D$$

$$\varphi_{2B}' = -3,08D \quad r_{2B} = \frac{1-n}{\varphi_{2B}'} = \underline{\underline{170,0\text{mm}}}$$

$$d) \text{dec}_{2D} \varphi_{2D}' = \text{dec}_{2B} \varphi_{2B}' \Rightarrow \text{dec}_{2B} = \text{dec}_{2D} \frac{\varphi_{2D}'}{\varphi_{2B}'} = \underline{\underline{3,9\text{mm}}}$$

# zatařované bifokální čočky



odvození:

- zanedbáme tloušťku čoček (tenké čočky)

$$\text{Add} = \phi'_{CP} - \phi'_{CV}$$

$$\phi'_{CV} \approx \phi'_{1V} + \phi'_{2V} \quad (\text{vybroušeno})$$

$$\phi'_{CV} \approx \frac{n_v - 1}{r_1} + \frac{1 - n_v}{r_2}$$

$$\phi'_{CP} \approx \phi'_{1P} + \phi'_{3P} \quad (\text{přidáno})$$

$$\phi'_{CP} \approx \frac{n_p - 1}{r_1} + \frac{1 - n_p}{r_3}$$

po dosazení:

$$\text{Add} \approx \frac{n_p - 1}{r_1} + \frac{1 - n_p}{r_3} - \frac{n_v - 1}{r_1} - \frac{1 - n_v}{r_2} = \frac{n_p - n_v}{r_1} + \frac{n_v - n_p}{r_3} = (n_p - n_v) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_3} \right)$$

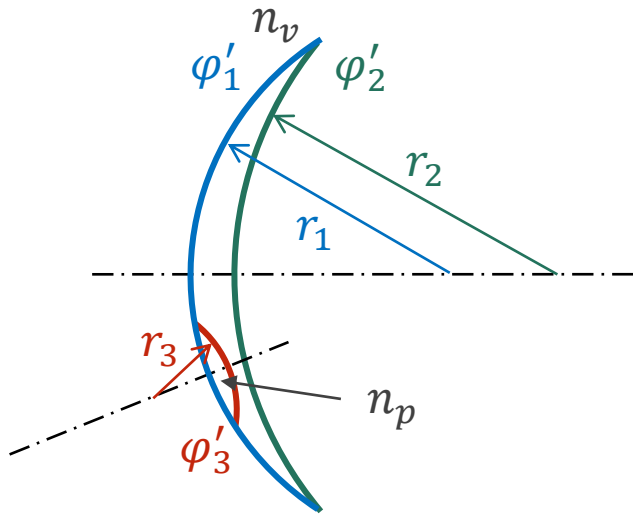
finální úpravou:

$$r_3 = \frac{n_v - n_p}{\text{Add} - \frac{n_p - n_v}{r_1}}$$

$$n_p = n_v + \text{Add} \frac{r_1 r_3}{r_3 - r_1}$$



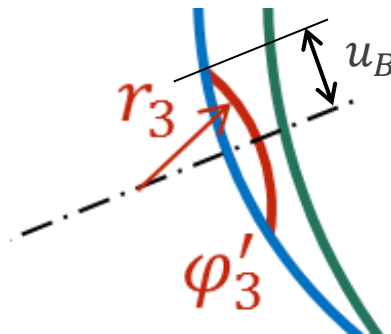
# zatavované bifokální čočky



$$r_3 = \frac{n_v - n_p}{Add - \frac{n_p - n_v}{r_1}}$$

$$n_p = n_v + Add \frac{r_1 r_3}{r_3 - r_1}$$

rozdíl prismatických účinků na předělu:



$$\Delta = Add \cdot u_B$$

příklad 2

$Add = 3D$ ,  $n_v = 1,523$ ,  $r_1 = 86,7 \text{ mm}$ ,  $r_3 = -70,9 \text{ mm}$ ,  $n_p = ?$   
 $n_p = 1,64$  (flint)

# Intervaly ostrého vidění

## Díl do dálky

$$a_{RD} \rightarrow \infty \quad a_{PD} = -\frac{1}{A_{\check{s}}}$$

## Díl do blízka

$$a_{RB} = -\frac{1}{Add} \quad a_{PB} = -\frac{1}{Add + A_{\check{s}}}$$

**Interval bez ostrého vidění** (mrtvá zóna) vzniká, pokud:

$$a_{PD} < a_{RB}, \text{ tj. } -\frac{1}{A_{\check{s}}} < -\frac{1}{Add}, \text{ tj. pokud } Add > A_{\check{s}}$$

$Add < A_{\check{s}}$  ... intervaly ostrého vidění se překrývají

$Add = A_{\check{s}}$  ... intervaly ostrého vidění právě navazují

### Příklad 3 (bitokální čočka)

$$S_D^I = +2D$$

$$h = -30 \text{ cm (poloha hl. prac. bodu)}$$

$$A_S = 2D$$

- Navrhněte bitokální brýlovou čočku.
- Určete intervaly ostrého vidění (akomodační intervaly) do blízka a do dálky.

$$A_{add} = -\frac{1}{h} - \frac{2}{3} A_S^V = \frac{-1}{-0,3} D - \frac{4}{3} D = \frac{10-4}{3} D = 2D$$

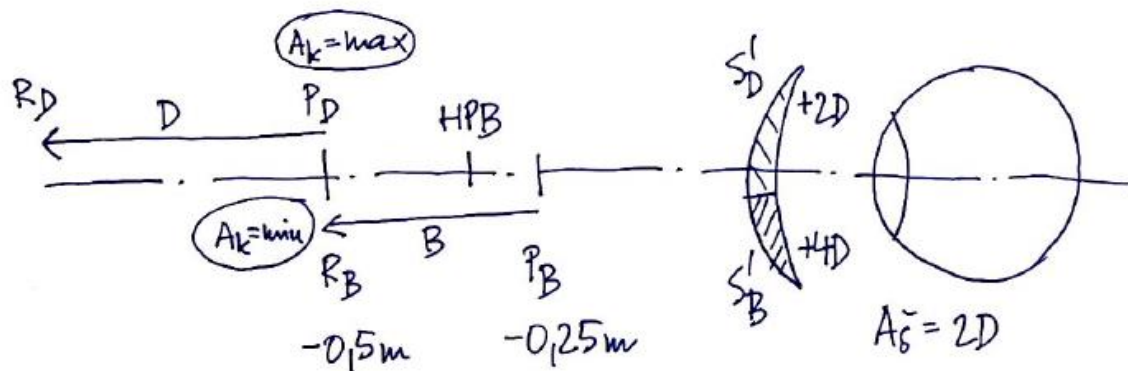
$$S_B^I = +4D$$

$$z_{RD} \rightarrow \infty$$

$$z_{PD} = -\frac{1}{A_S^V} = -0,5 \text{ m}$$

$$z_{RB} = -\frac{1}{A_{add}} = -0,5 \text{ m}$$

$$z_{PB} = -\frac{1}{A_{add} + A_S^V} = -0,25 \text{ m}$$



# Příklad 4 (trifokální čočka)

$$S_D^I = +2D$$

$$h = -30 \text{ cm (HPB)}$$

$$A_S^V = 2D$$

- Navrhněte trifokální brýlovou čočku
- Určete intervaly ostrého vidění pro každý díl brýlové čočky

$$Add = -\frac{1}{h} - \frac{2}{3}A_S^V = 2D$$

$$Add_M = Add/2 = 1D$$

$$S_B^I = +4D \quad (\text{díle do blízka})$$

$$S_M^I = +3D \quad (\text{mezídíle})$$

$$a_{RD} \rightarrow \infty$$

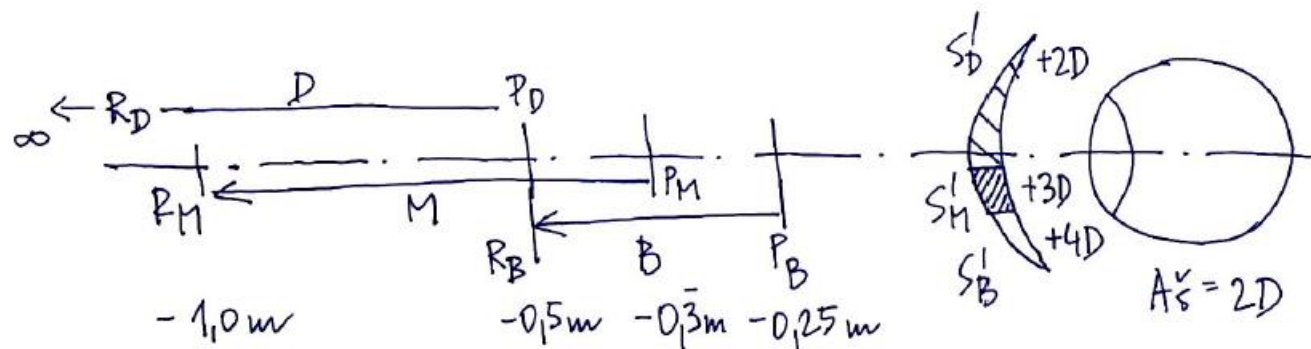
$$a_{PD} = -1/A_S^V = -0,5 \text{ m}$$

$$a_{RB} = -\frac{1}{Add} = -0,5 \text{ m}$$

$$a_{PB} = -\frac{1}{Add + A_S^V} = -0,25 \text{ m}$$

$$a_{RM} = -\frac{1}{Add_M} = -1 \text{ m}$$

$$a_{PM} = -\frac{1}{Add_M + A_S^V} = -0,33 \text{ m}$$



### Příklad 5

Navrhnete bifokální čočku a určete intervaly ostrého vidění.

$$S_D' = +1D \quad h = -25 \text{ cm} \quad A_S = 1D$$

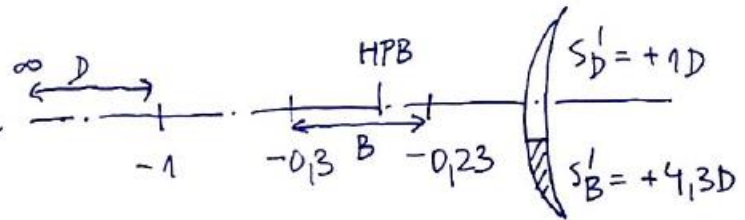
$$A_{add} = -1/h - \frac{2}{3} A_S = 4D - \frac{2}{3} D = 3,33D \quad S_B' = S_D' + A_{add} = 4,33D$$

$$a_{RD} \rightarrow \infty$$

$$a_{PD} = -1/A_S = -1 \text{ m}$$

$$a_{PB} = -1/A_{add} = -0,3 \text{ m}$$

$$a_{PB} = \frac{-1}{A_{add} + A_S} = -0,23 \text{ m}$$



### Příklad 6

Navrhnete trifokální čočku a určete intervaly ostrého vidění

$$S_D' = +1D \quad h_1 = -0,75 \text{ m} \quad h_2 = -0,25 \text{ m} \quad A_S = 1D \quad (2 \text{ hlavním prac. body})$$

$$A_{add_1} = 0,67D$$

$$A_{add_2} = 3,33D$$

$$a_{RD} \rightarrow \infty$$

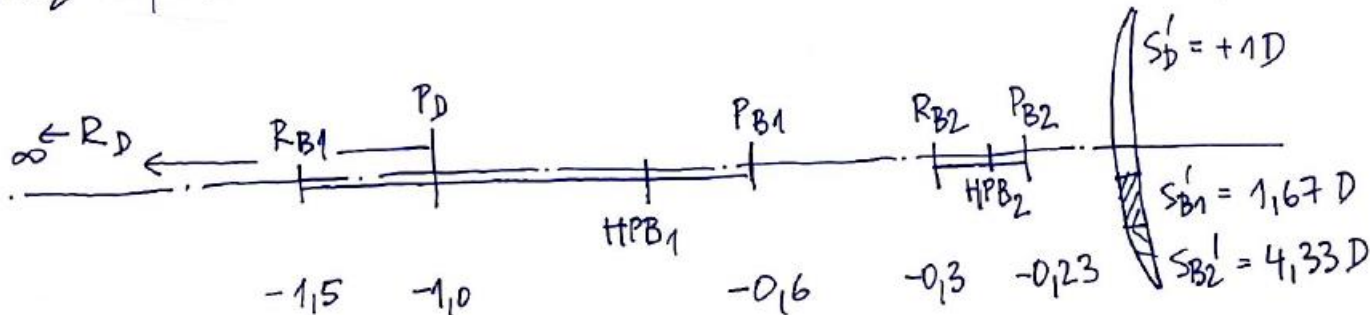
$$a_{PD} = -1 \text{ m}$$

$$a_{RB1} = -1,5 \text{ m}$$

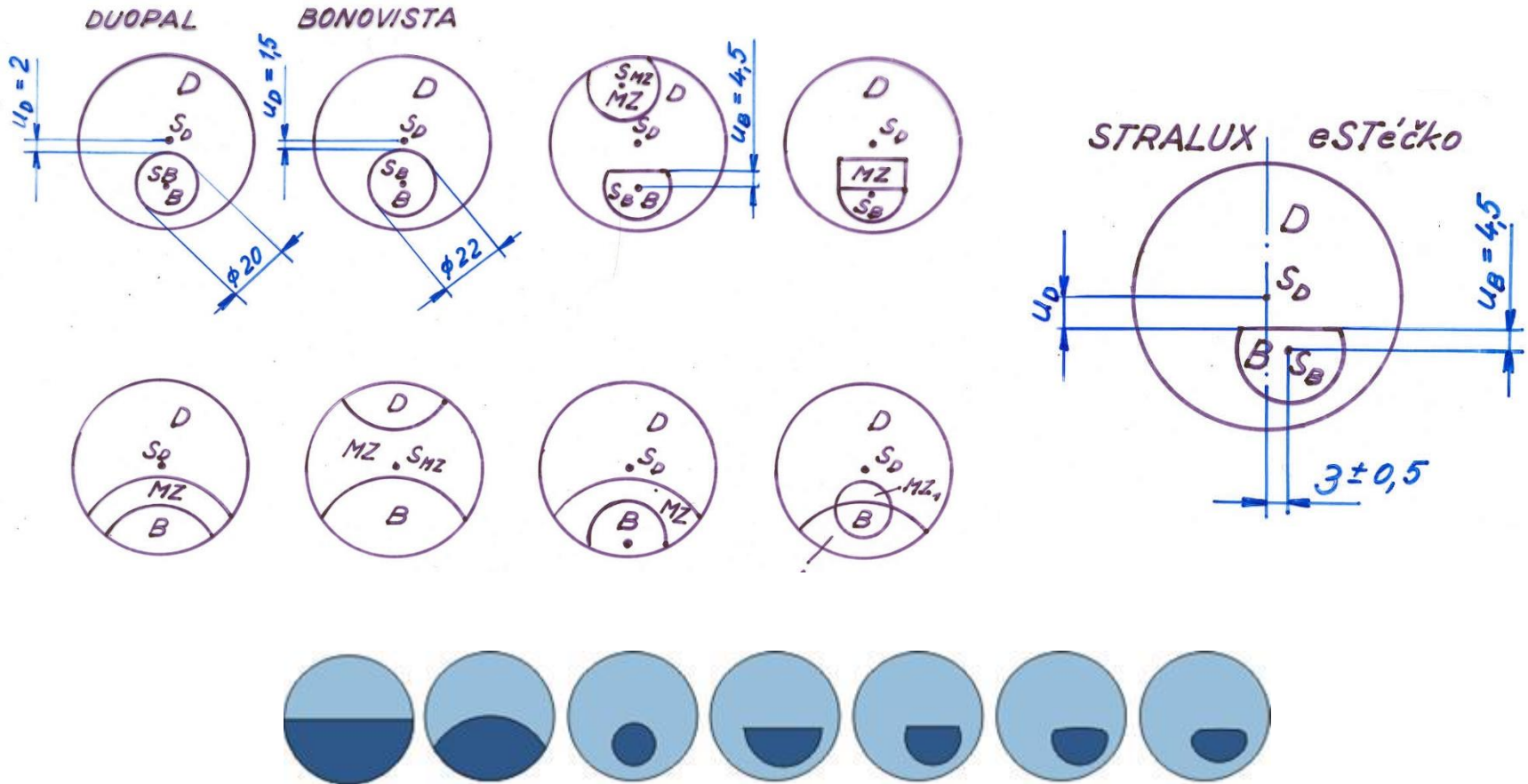
$$a_{PB1} = -0,6 \text{ m}$$

$$a_{RB2} = -0,3 \text{ m}$$

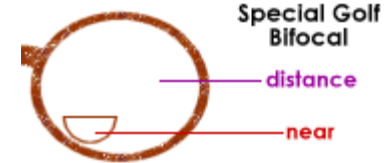
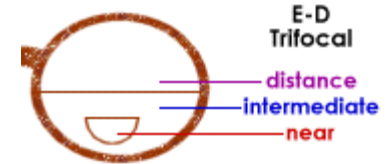
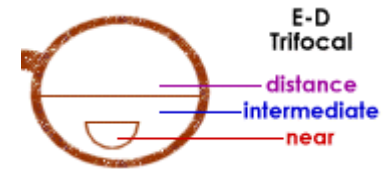
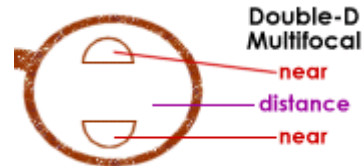
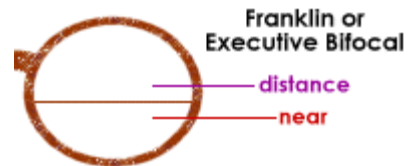
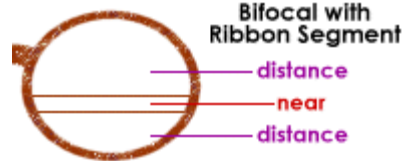
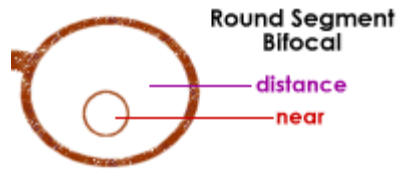
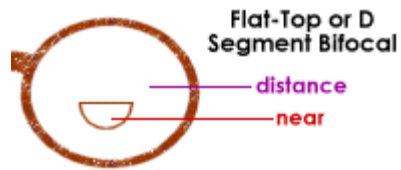
$$a_{PB2} = -0,23 \text{ m}$$



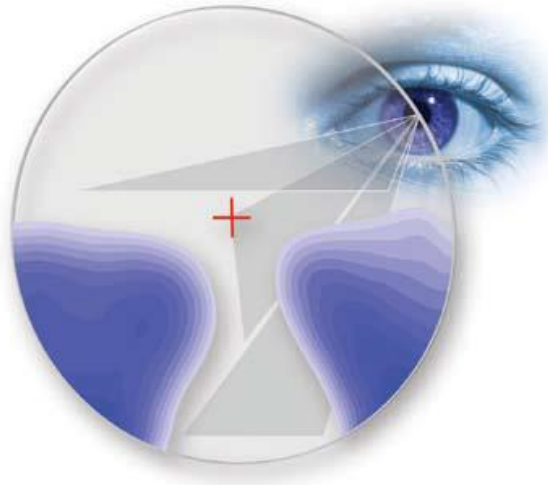
# provedení bifokálních čoček



# další příklady provedení bifokálních čoček



# progressivní čočky



zorné pole do dálky  
od 5 m dál



progressivní kanál -  
zorné pole na pracovní  
vzdálenost 40 cm - 5 m



zorné pole do blízka  
do 40 cm

Na rozdíl od bifokální čočky roste mohutnost progresivní čočky (čočky s progresivní adicí) postupně, mezi oblastí pro vidění do dálky (horní část) a do blízka (dolní část). Tyto části jsou propojeny tzv. progresivním kanálem.

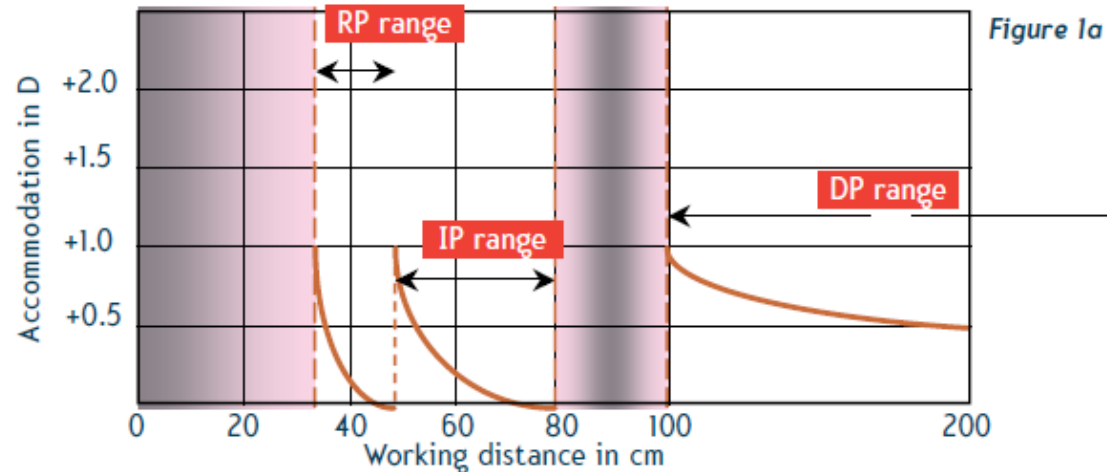
- + Není žádný viditelný předěl segmentů, čočky mají vzhled monofokálních, esteticky na vysoké úrovni, není zde skok obrazu a skoková změna akomodace.
- Oblasti s významnou hodnotou astigmatismu, obtížná adaptace („obraz tancuje“) po špatně předvídatelnou dobu, úzká oblast pro čtení ve srovnání s bifokály.

(Další části prezentace připraveny dle textu

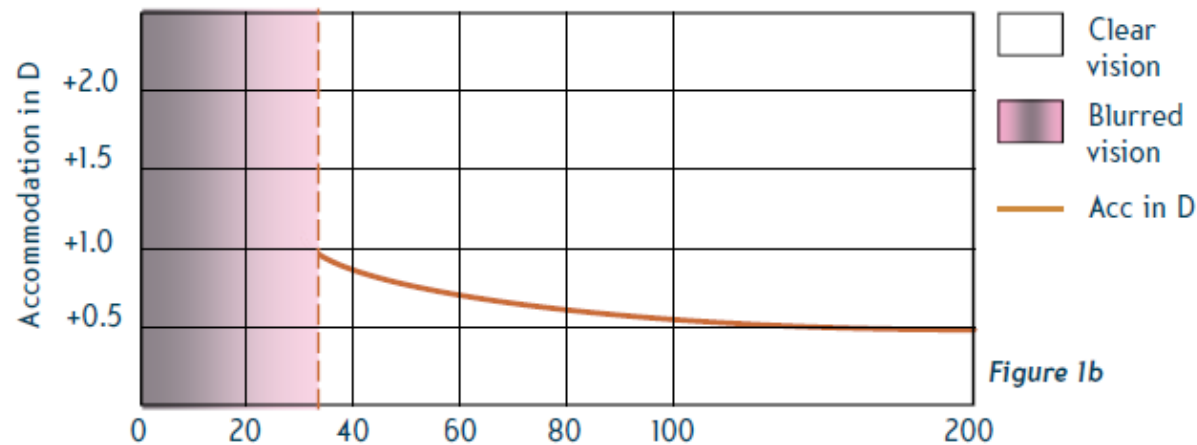
Mo Jalie: Progressive lenses, Part 1, Continuing Education and Training)



# progresivní vs. trifokální čočky



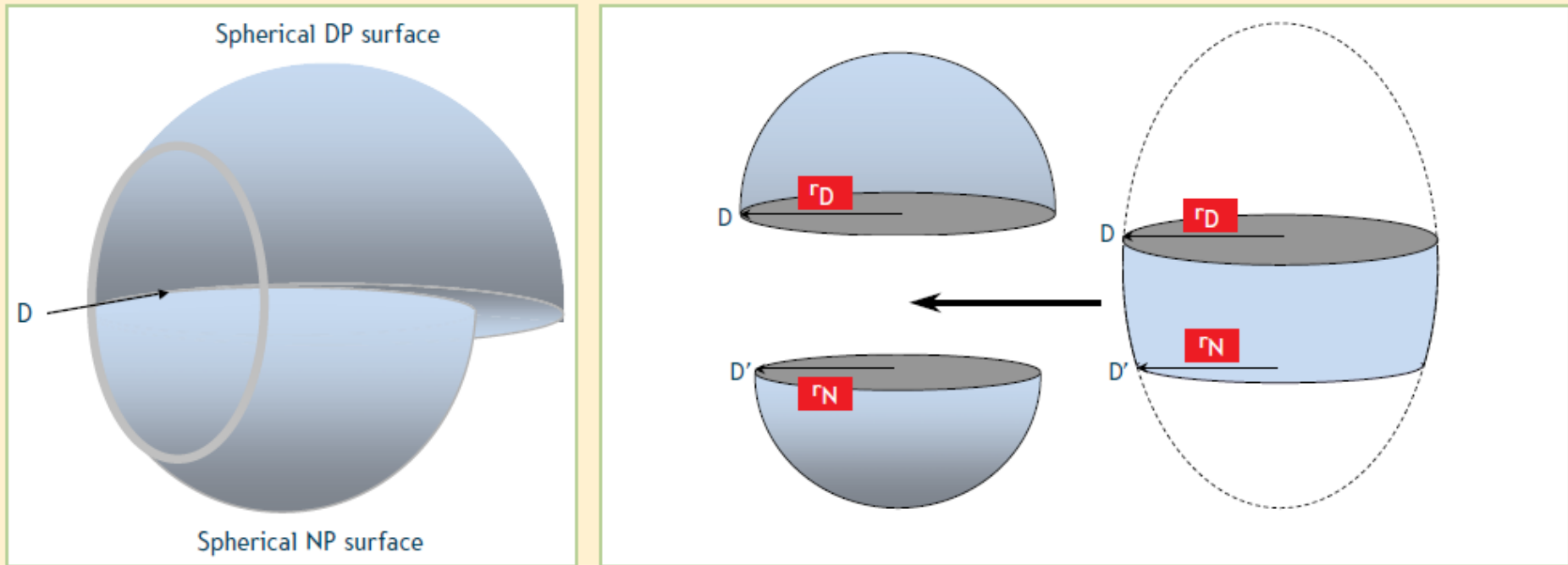
trifokální čočka



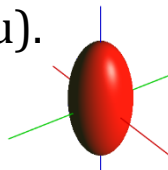
progresivní  
čočka

Průběh akomodace oka při změně pracovní vzdálenosti s trifokální čočkou (skokové změny) a progresivní čočkou (plynulá změna). Fialově jsou vyznačeny oblasti bez možnosti ostrého vidění.

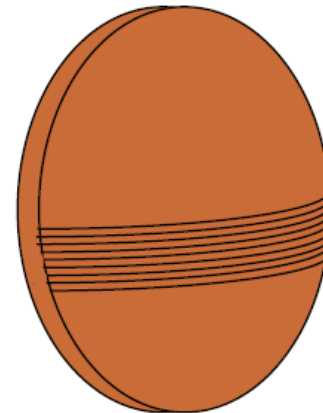
# progresivní čočky



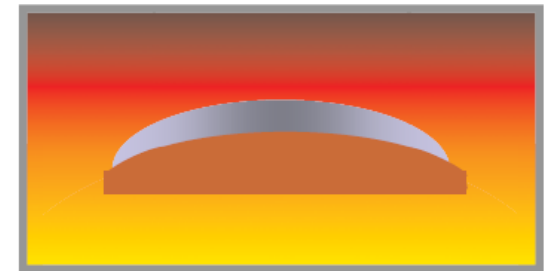
Bifokální čočka (vlevo) může vzniknout složením dvou sférických předních ploch – větší poloměr křivosti  $r_D$  horní části odpovídá menší mohutnosti a představuje díl do dálky, menší poloměr křivosti  $r_N$  odpovídá vyšší mohutnosti dolního dílu do blízka. Nejjednodušší progresivní čočku (vpravo) z ní vytvoříme tak, že horní a dolní sférický díl propojíme plochou, jejíž poloměr křivosti se spojitě mění. Může jít třeba o povrch rotačního elipsoidu (sféroidu).



# progresivní čočky – výroba



a) Ceramic mould



b) Slumping a glass blank (forming)

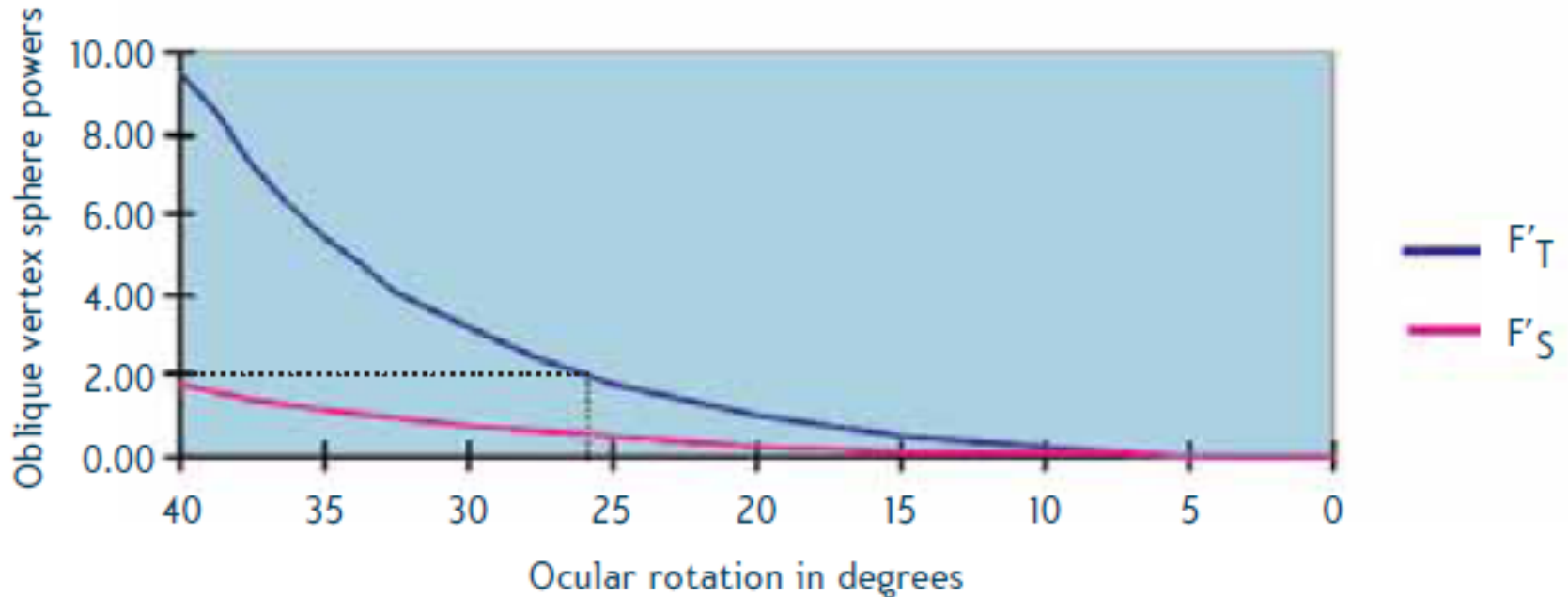
Možnost tvarování povrchu progresivní čočky, a tím vytváření příznivého průběhu astigmatismu je dán technologickými možnostmi.

- Důležitá je technologie CNC broušení a leštění (vlevo CNC stroj Schneider).
- Jiným postupem je „slumping“ (stékání, vpravo): konvexní, původně sférická čočka je umístěna na keramickou formu („mould“) požadovaného tvaru a za vysoké teploty se této formě tvarově přizpůsobí

# progresivní čočky

Field diagrams for spectacle lenses  
Tangential and sagittal oblique vertex sphere powers

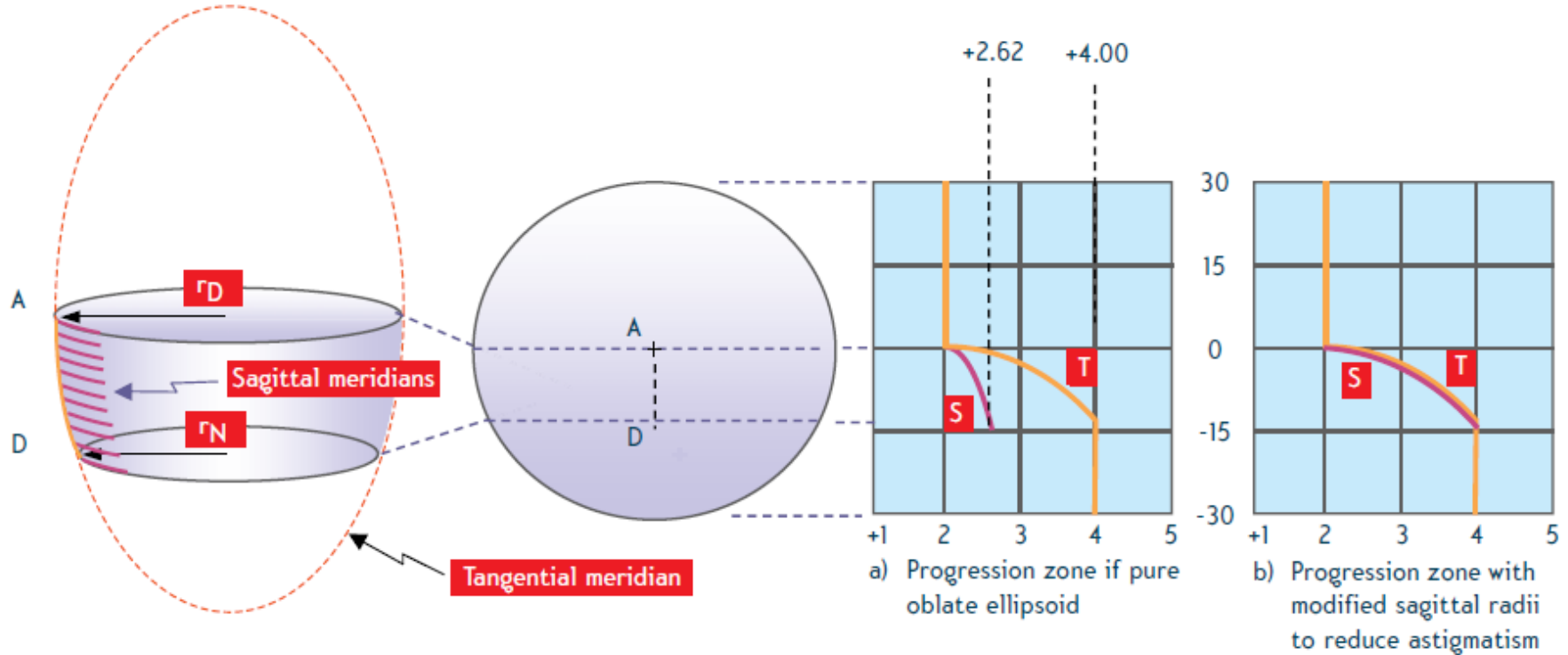
... vergence svazku měřené na sféře jdoucí vrcholem plochy na optické ose (vertex sphere)



Příklad astigmatismu lomeného svazku, který vzniká v segmentu s progresivní adicí, který je tvořen rotačním elipsoidem (navrženo pro adici 2,00 D při 25°). Je zřejmé, že pro rotaci oka 25° (cca 14 mm pod vrcholem čočky) je tangenciální vergence svazku 2,00 D, jak je požadováno, avšak sagitální je o cca 1,50 D menší (to je velikost astigmatismu svazku).

Je třeba navrhnout plochu s větší sagitální křivostí.

# progresivní čočky

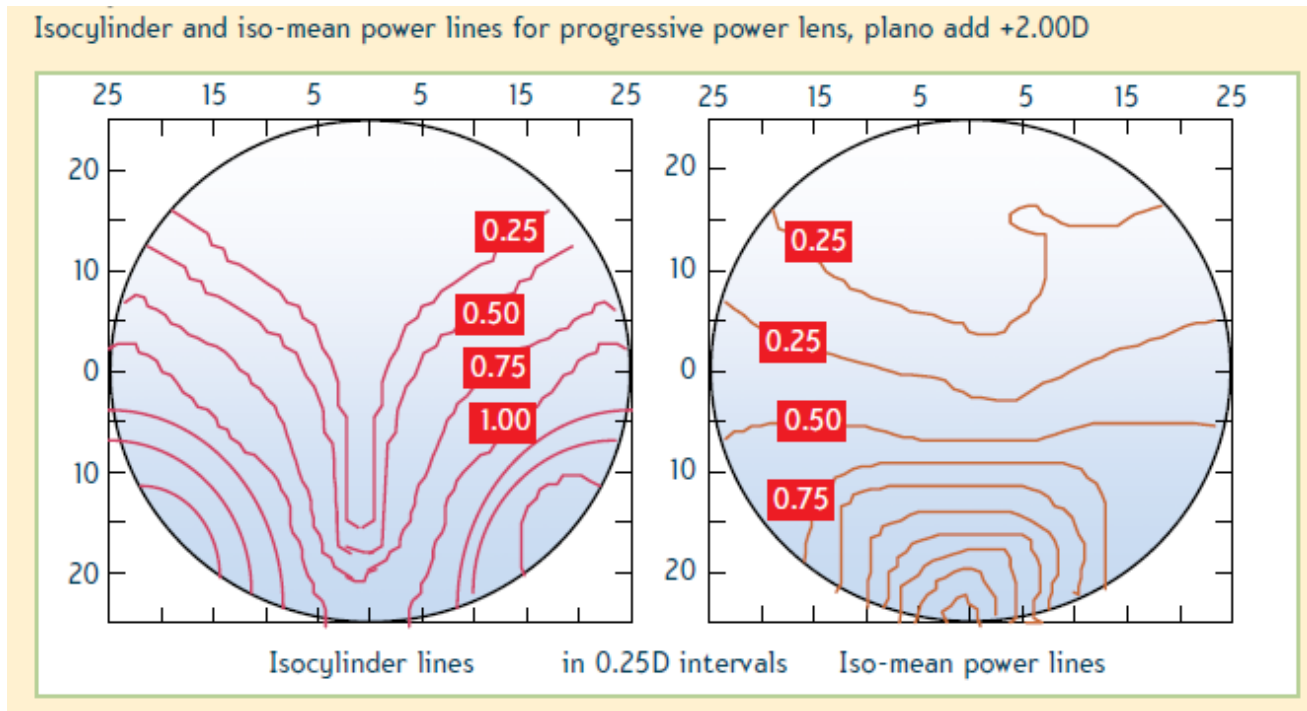


Povrch rotačního elipsoidu má nevhodnou křivost v sagitálním řezu, a proto přechodová část trpí silným astigmatismem a) (optické mohutnosti).

Tvar přechodové části je možno změnit a zvýšit sagitální křivosti podél tangenciálního řezu tak, aby byl redukován astigmatismus b).

To je však možné udělat jen podél samotného meridiánu, v úzké oblasti, která tvoří tzv. progresivní kanál.

# progresivní čočky – isolinie



Vlastnosti progresivní čočky lze charakterizovat dvěma diagramy:

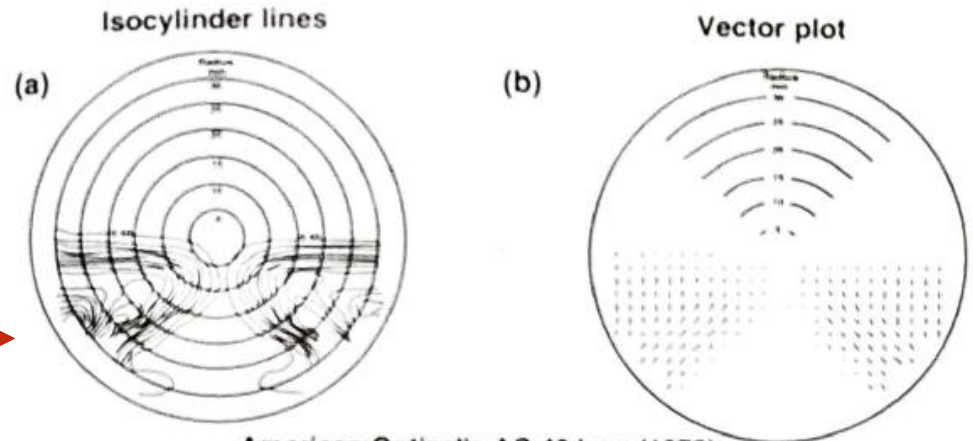
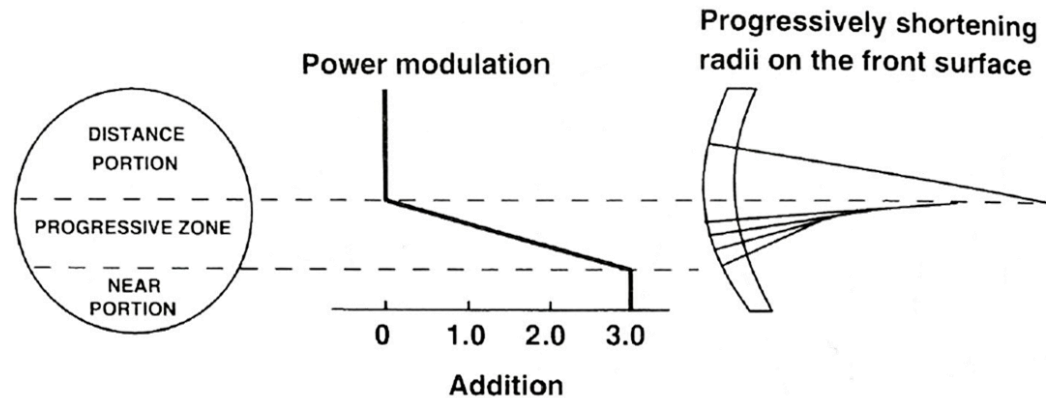
- „isocylinder lines“ (vlevo) jsou pomyslné čáry spojující na povrchu čočky místa se stejným astigmatismem; za progresivní kanál se považuje oblast s astigmatismem pod 1 D
- „iso-mean power lines“ (vpravo) jsou čáry stejné optické mohutnosti

# První generace progresivních čoček

1959

První komerčně úspěšné čočky (**Varilux 1** firmy Essel) byly skleněné, měly sférické části do dálky a do blízka a spojovala je oblast vzniklá tak, že CNC nůž opisoval horizontální kružnice, jejichž poloměr se postupně měnil mezi poloměrem křivosti horní a dolní části. Díl do dálky byl prakticky bez astigmatismu.

Jde o tzv. „Hard“ design, který mají například také čočky **AO 40** (American Optical, 1973).



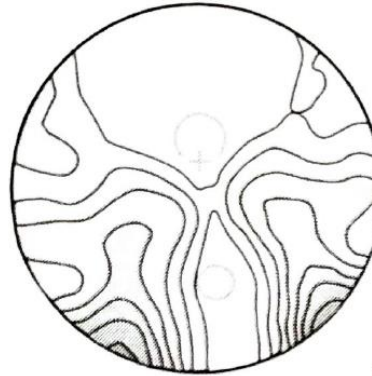
American Optical's AO 40 lens (1973)  
An example of what is now referred to as a First Generation Design

# Druhá generace progresivních čoček

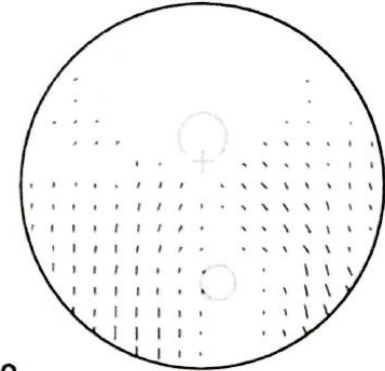
1973

Čočky **Varilux 2** (nyní známé jen jako **Varilux**) byly založeny na myšlence rozšířit astigmatismus i do dílu pro vidění do dálky, tím zředit isocylindrické linie, a tak snížit hodnotu i rychlost růstu astigmatismu v aberovaných oblastech, tzv. „Soft“ design. Členy do dálky a do blízka jsou asférické a pro jejich propojení je využita série kónických řezů s proměnnou asféricitou. Podobně čočky **Truvision**.

(a) Isocylinder lines

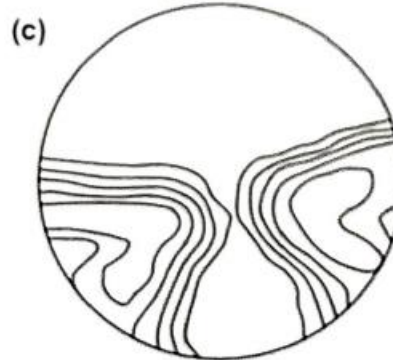


(b) Vector plot

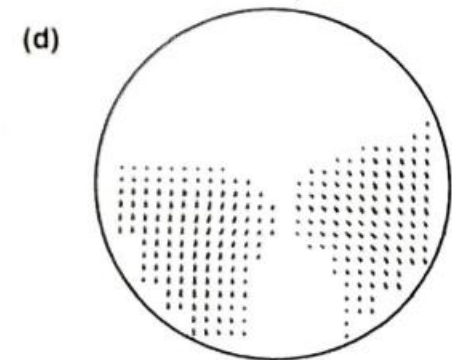


Add 2.00

(c) Isocylinder lines



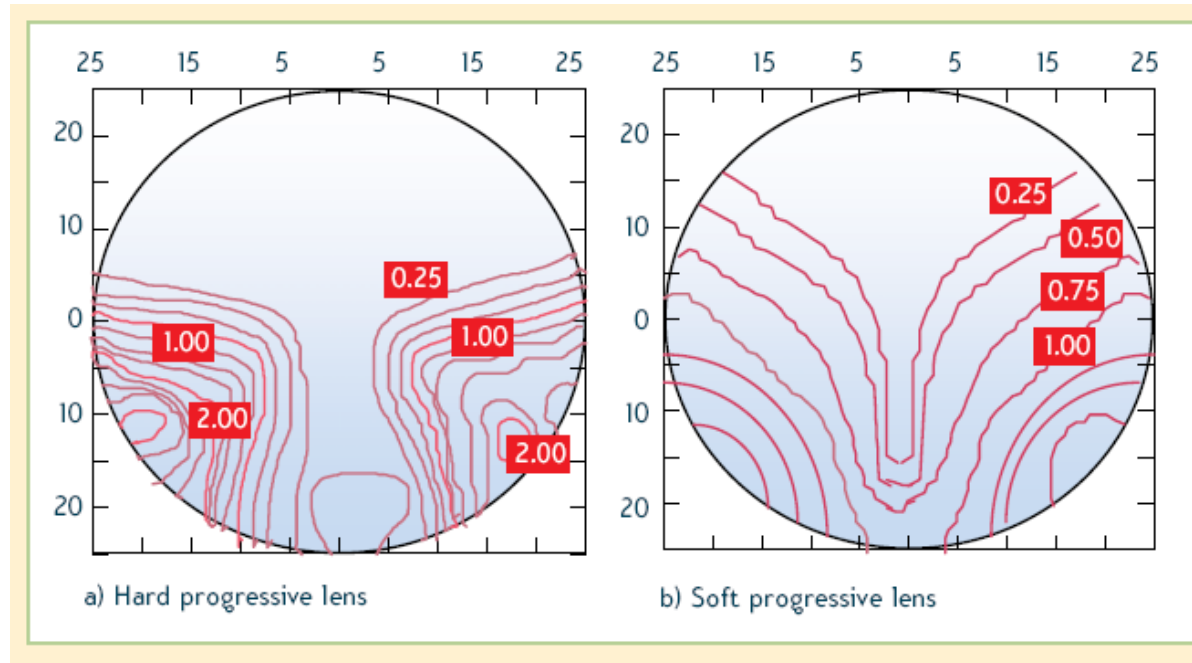
(d) Vector plot



Truvision PAL with +2.00 Add and plano distance  
An example of what is now known as a Second Generation Design.



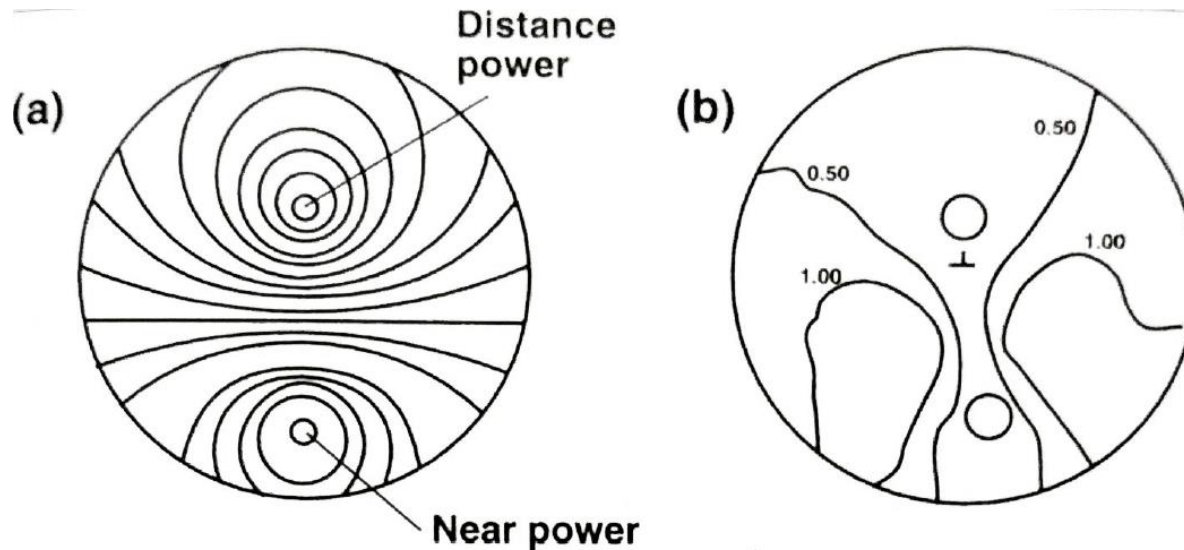
# Hard a Soft design progresivních čoček



- **HARD design:** pokud designér zamýšlí získat velkou část pro vidění do dálky a vyšší hodnoty astigmatismu omezit pouze na dolní část čočky (odpovídá starší generaci čoček), je výsledkem tzv. „hard design“ (na obrázku vlevo); tyto čočky mívají úzký koridor, rychlý přírůstek astigmatismu v aberovaných zónách a poměrně širokou část do blízka
- **SOFT design:** (vpravo) má malý nenulový astigmatismus i v okrajových částech dílu do dálky, tím se sníží jeho velikost i spád v dolní části čočky, rozšíří se koridor, část do blízka je relativně úzká – úspěšný design zejména pro nižší adice, urychluje adaptaci klienta na progresivní čočky

# Bipolární princip návrhu

Design třetí generace využívá „bipolární princip“. Minimum, resp. maximum hodnoty lomivosti do dálky, resp. do blízka jsou soustředěny v malých kruhových oblastech, „pólech“, obklopených soustředně liniemi stejné lomivosti. Jde například o čočky **Truvision OMNI**). Přechodová oblast opět více zasahuje do části do dálky, tj. fakticky je přechodová oblast prodloužena. Tím je dále „změkčeno“ vymezení oblasti do dálky, a současně je významně snížen astigmatismus stranových částí čočky. Patří mezi soft design čočky.

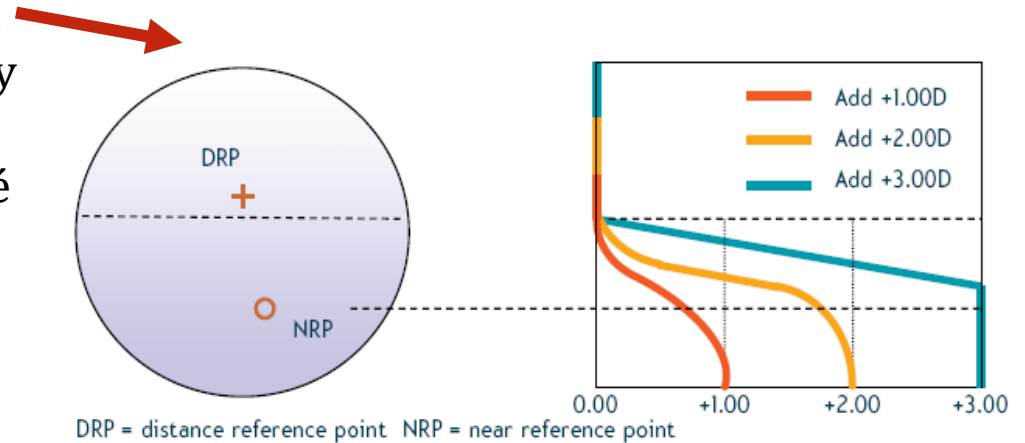


Truvision OMNI, +2.00 D Add

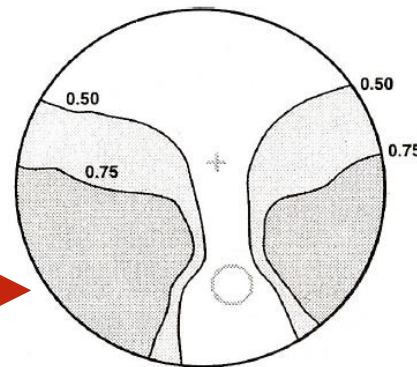
# Moderní progresivní čočky

Poslední generace využívá různých průběhů změny mohutnosti a různých designů pro různé hodnoty adice (například soft design pro nízké adice, hard design pro vysoké adice). Využívá maximálně asférických ploch pro dosažení dobrých vlastností čoček v preferované oblasti vidění. To vede na tenčí čočky s menší křivostí a s nízkým astigmatismem. Tento design se může nazývat „ultrasoft“.

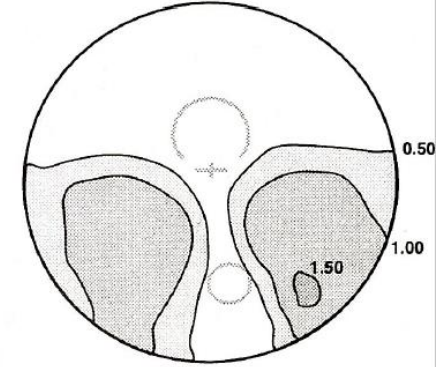
**1994, OPALs:** Zeiss a Rodenstock zavedli čočky, které mají pouze díl do blízka a mezidíl: „Occupational Progressive Addition Lenses“. Čočky mají 30 mm dlouhý koridor a jsou určeny pro vnitřní použití („pokoje vzdálenosti“: RD).



Gradal RD OPAL

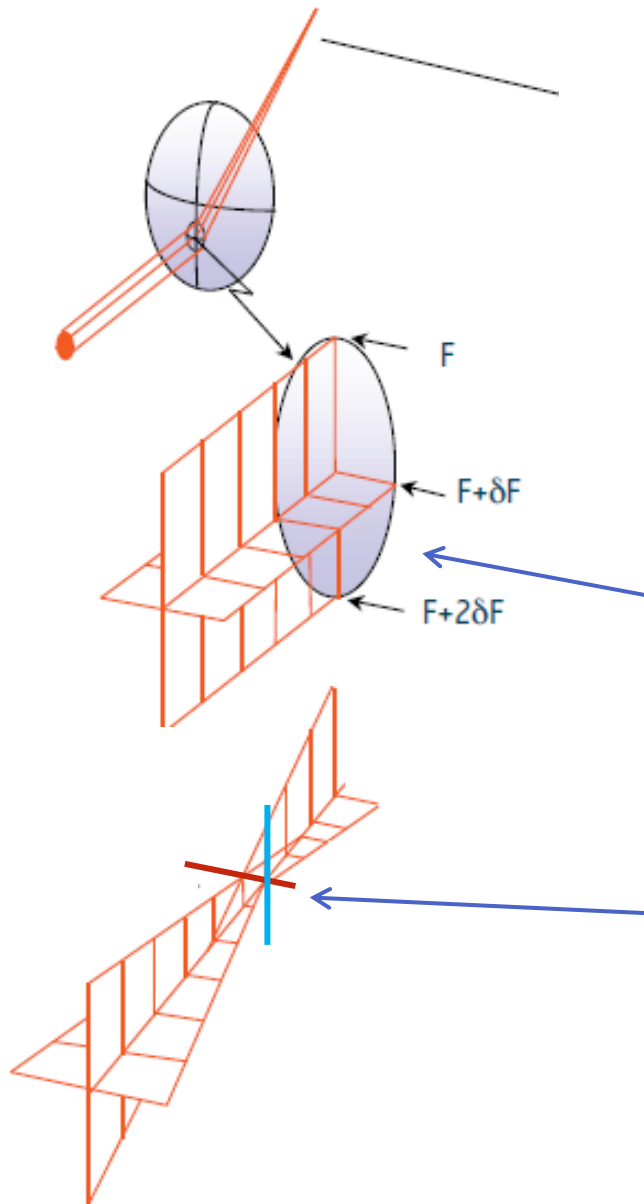


XL Gold PAL



Isocylinder lines with a 2.00 Add

# Astigmatismus progresivních čoček



Ani optimální návrh progresivního kanálu nemůže zcela odstranit astigmatismus v této části čočky.

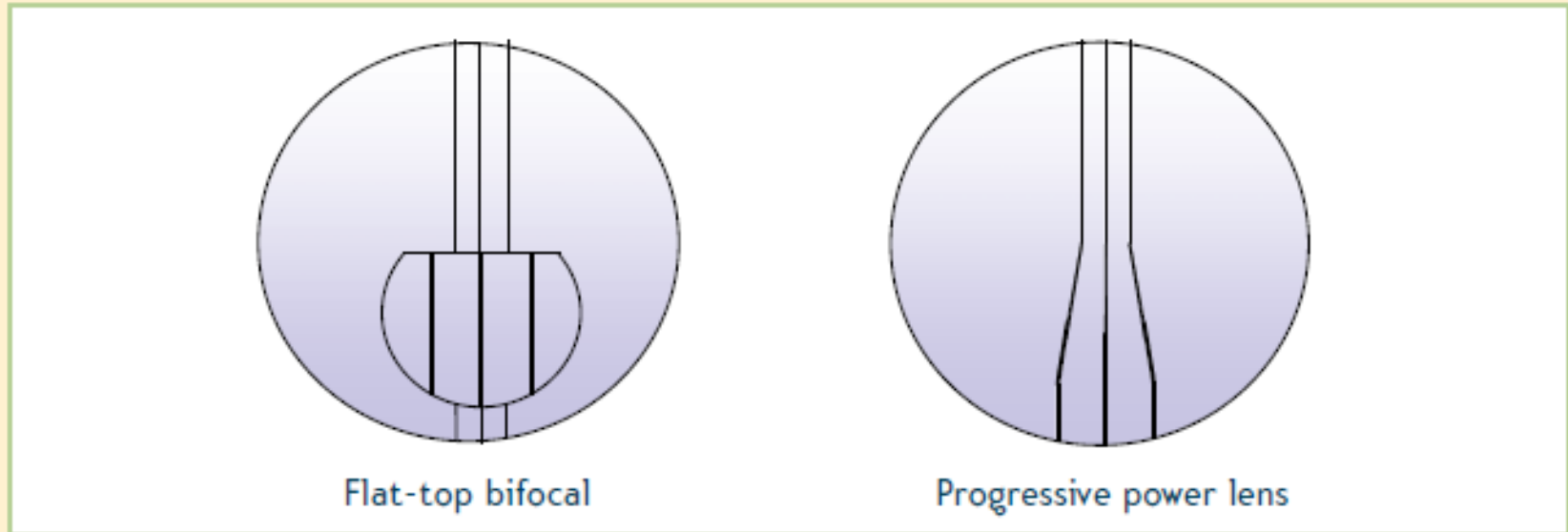
Tím, že v progresivním kanálu mohutnost (v obrázku označena  $F$ ) spojitě roste, vzniká tzv. „zkosený, kosý“ (skew) astigmatismus.

Svazek (vymezený pupilou oka) zde vždy prochází oblastí, která má v dolní části vyšší mohutnost ( $F + 2\delta F$ ), nežli v části horní ( $F$ ).

Paprsky v dolní části svazku jsou lomeny více, než paprsky v horní části. Paprsky celého svazku se proto neprotínají v jediném bodě (ohnisku), ale opět **ve dvou fokálách**.

# Distorze u progresivních čoček

Skew distortion in a progressive power lens



S optickou mohutností souvisí také zvětšení obrazu.

Proto je u progresivních čoček nutno počítat s distorzí vznikající při spojitě rostoucí mohutnosti čočky