

Prismatický účinek Bifokální a progresivní čočky



Prizmatický účinek

změna směru paprsku při průchodu optickým klínem

deviace paprsku:

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

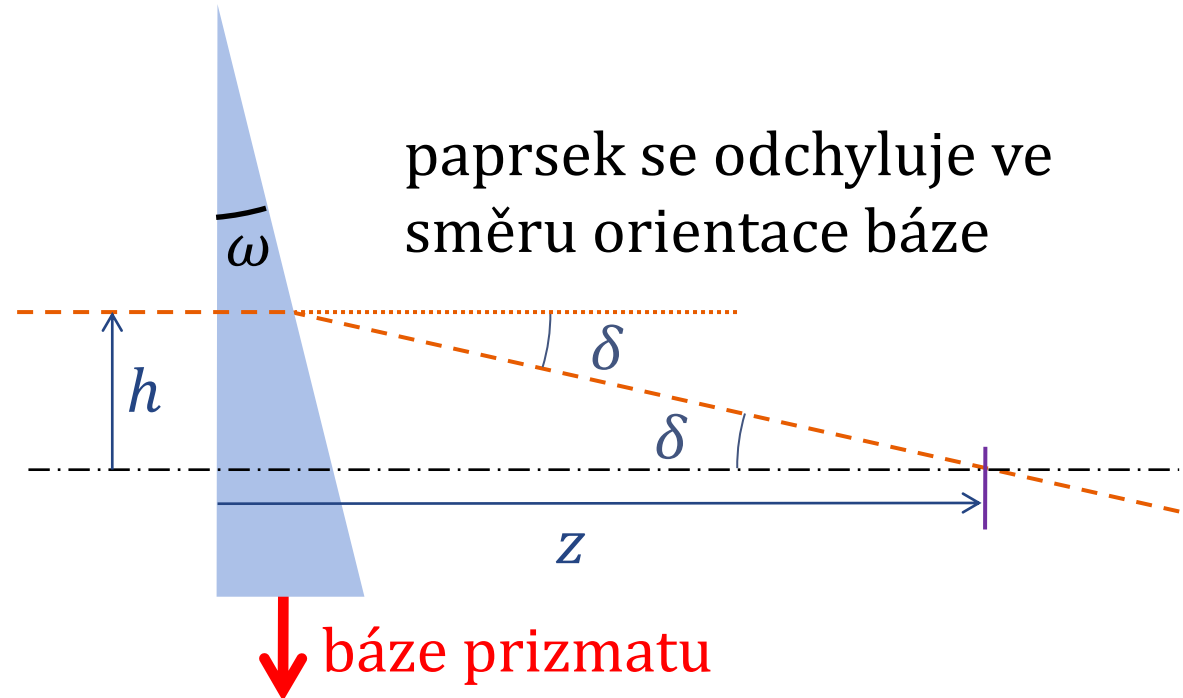
↑
lámavý úhel klínu

velikost prizmatického účinku:

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

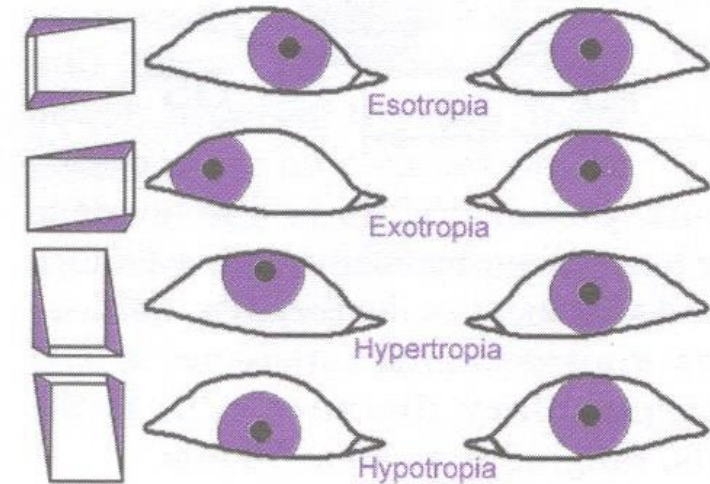
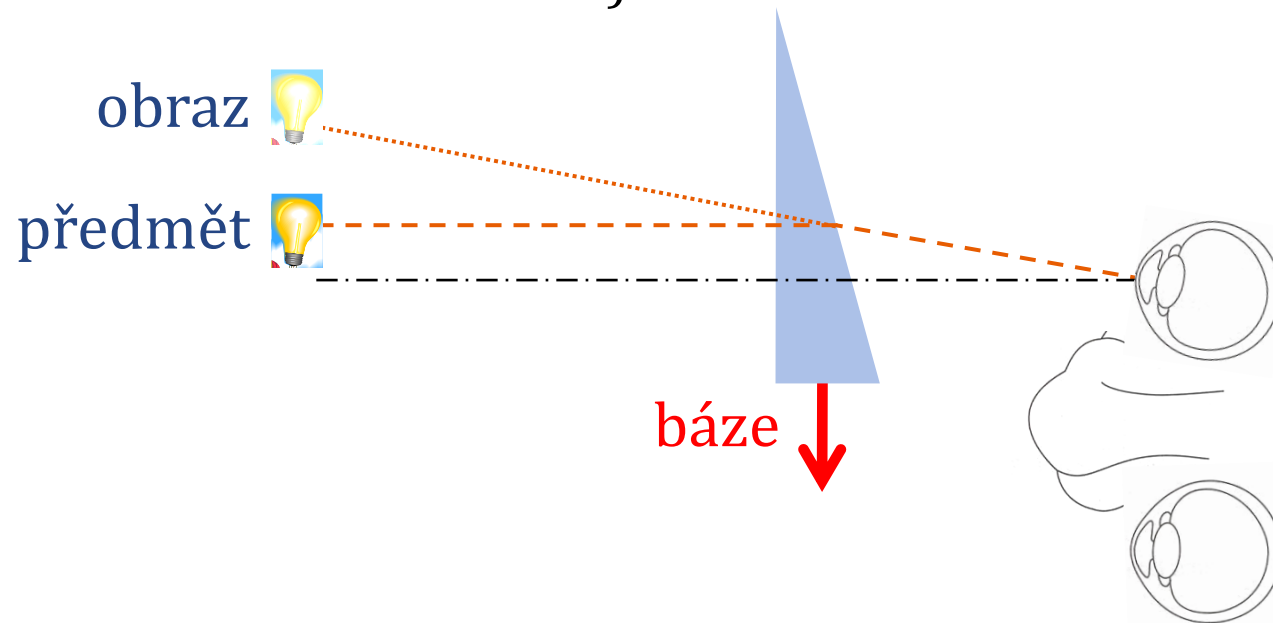
↑
prizmatická dioptrie

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



Prizmatický účinek – orientace báze

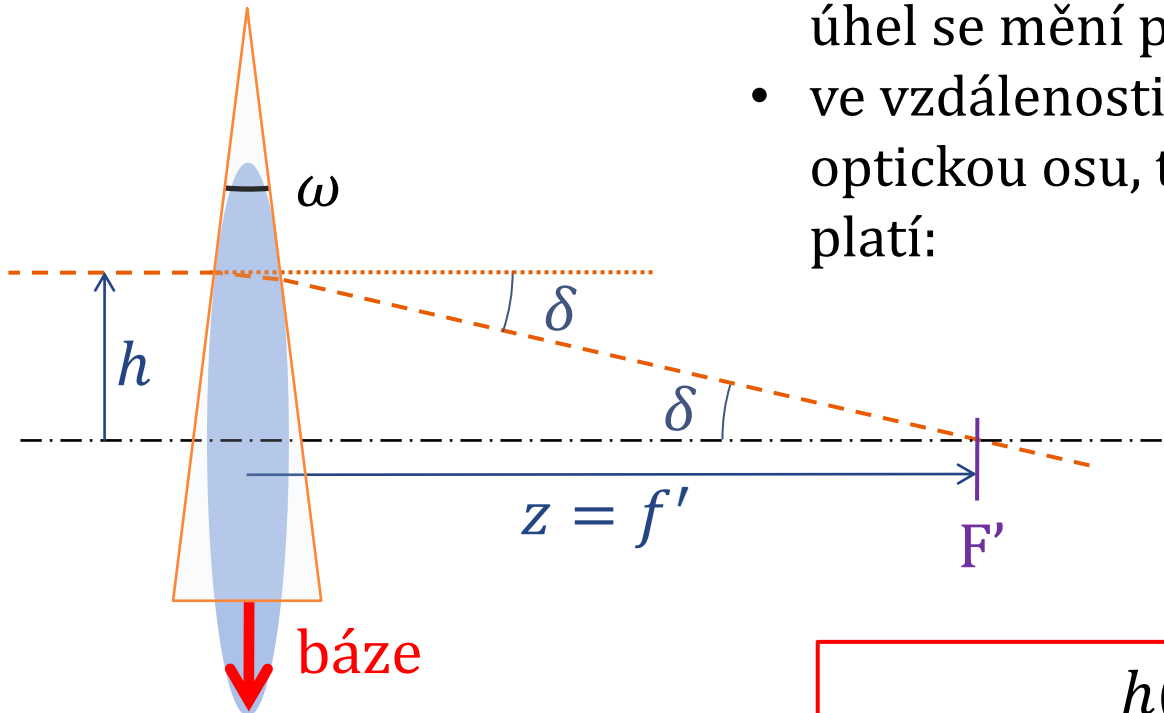
- při pohledu přes prizma je obraz posunut směrem **od báze prizmatu**
- toho se využívá pro odstranění obtíží spojených s **heteroforiemi** (odstranění astenopických obtíží) a **strabismem** (překonání diplopie, získání jednoduchého binokulárního vidění)



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

Prizmatický účinek čočky

- účinek čočky lze v místě průchodu paprsku nahradit účinkem vhodného prizmatu (podle obrázku), jehož lámavý úhel se mění podle dopadové výšky paprsku h
- ve vzdálenosti f' paprsek s dopadovou výškou h protne optickou osu, tedy jeho stranová odchylka je právě rovna h a platí:



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

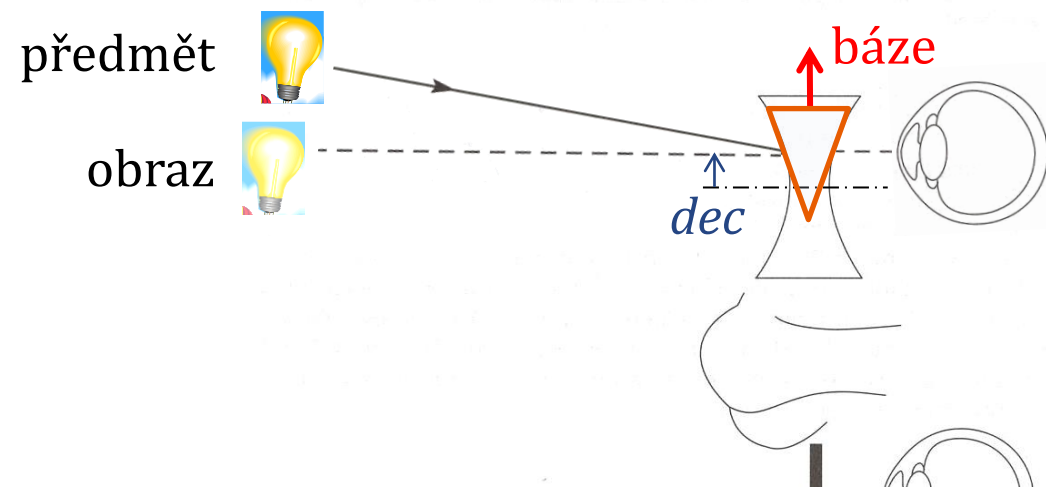
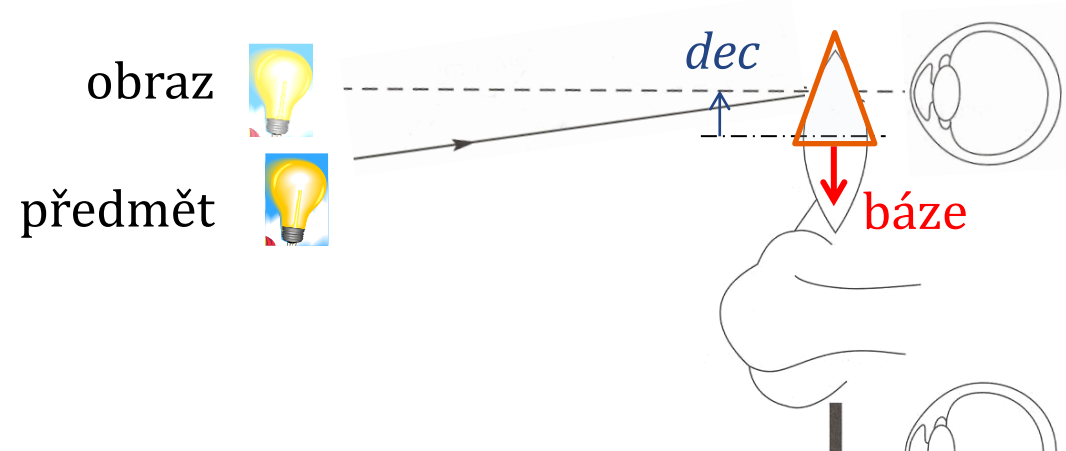
Prizmatický účinek decentrované čočky

Paprsek vstupující do oka má výšku (vůči optické ose korekční čočky) shodnou s decentrací *dec* čočky.

Pro tuto výšku má decentrovaná čočka prizmatický účinek (Prenticeho pravidlo):

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

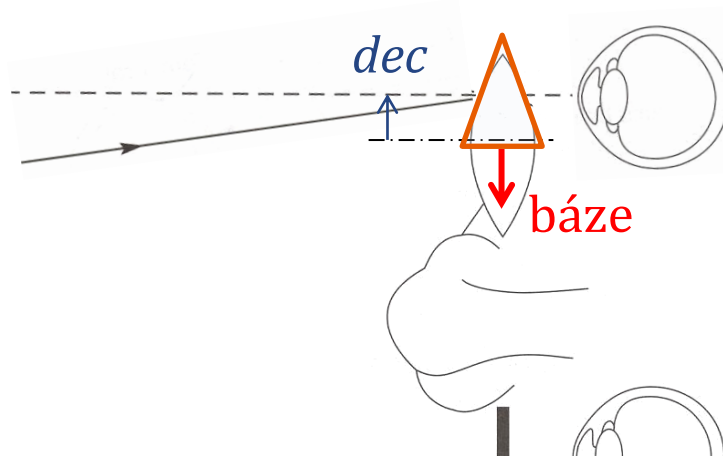
(Prentice's rule, Charles F. Prentice)



Cvičení

Klientova pravá brýlová čočka je decentrována tak, že se klient dívá přes bod vychýlený o 2,0 mm temporálně vzhledem k optické ose čočky, jejíž vrcholová lámavost je +6,0 D.

Jaký nastává prismatický účinek (určete velikost a směr báze)? O jakou vzdálenost a v jakém směru je odchylen obraz předmětu ležícího ve vzdálenosti 4 m před okem? Jak by tomu bylo v případě rozptylky?



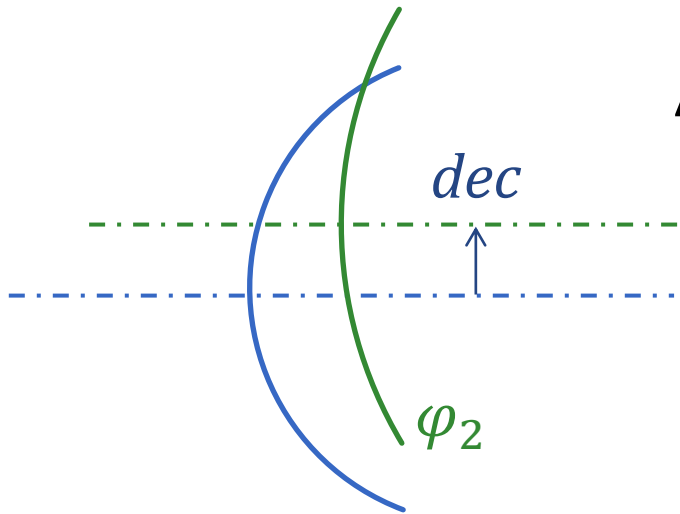
$$\Delta(\text{pD}) = \frac{1}{10} \text{dec}(\text{mm})\varphi'(\text{D})$$

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

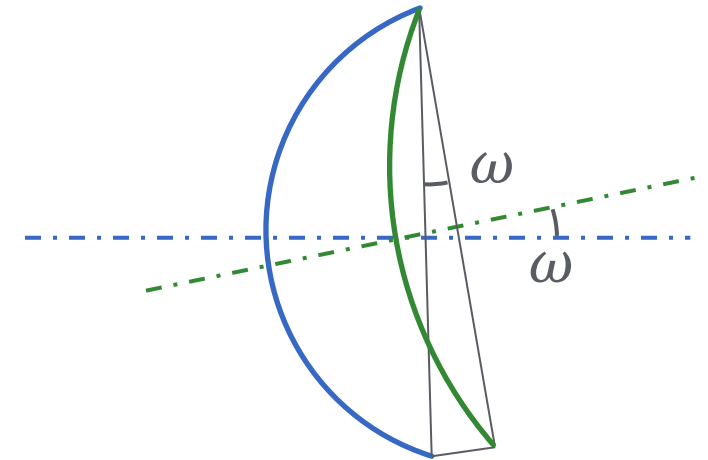
Prizmatický účinek decentrované čočky

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

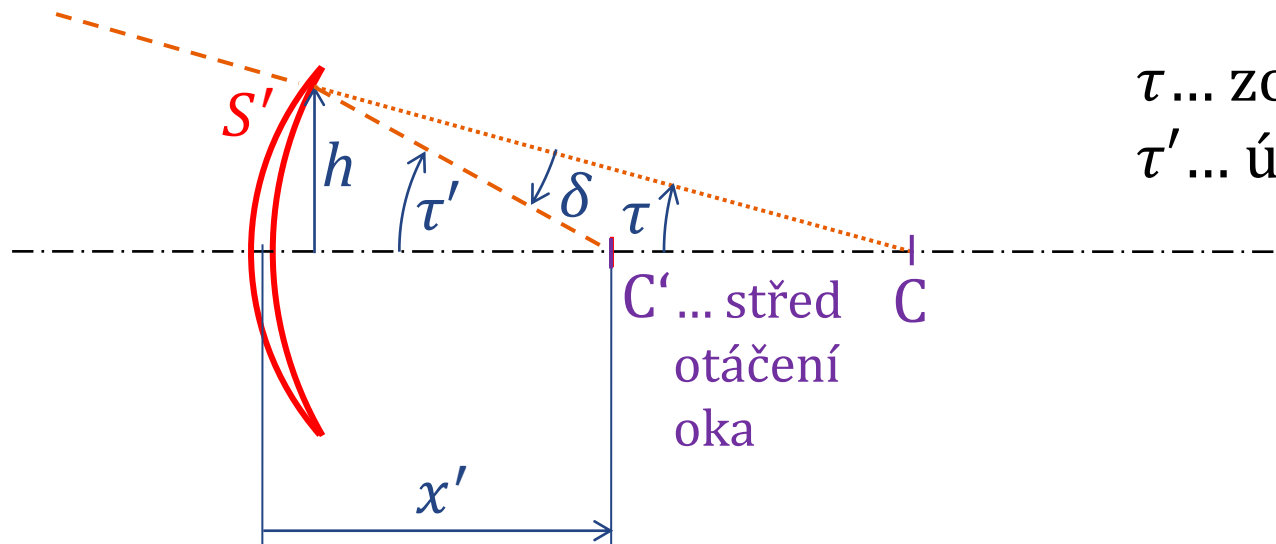
Tím vzniká **prizmatická čočka**, jejíž prizmatický účinek je dán úhlem os prvé a druhé plochy.



$$\begin{aligned}\Delta(\text{pD}) &= \frac{dec(\text{mm})}{10} |\varphi_2| \\ &= 100 dec(\text{m}) \frac{n-1}{r_2(\text{m})} \\ &= 100(n-1) \frac{dec(\text{m})}{r_2(\text{m})} \\ &\approx 100(n-1)\omega \\ &\approx 100 \text{tg } \delta\end{aligned}$$



Prizmatický účinek a zorné pole



τ ... zorný úhel

τ' ... úhel otočení oka

C' ... střed
otáčení
oka

Prenticeho pravidlo [rad, pD, m, D]:

$$\delta \approx \frac{\Delta}{100} \approx hS' \approx x'\tau'S'$$

geometrie [rad]:

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

$$\Rightarrow \frac{\tau}{\tau'} \approx 1 - x'S'$$

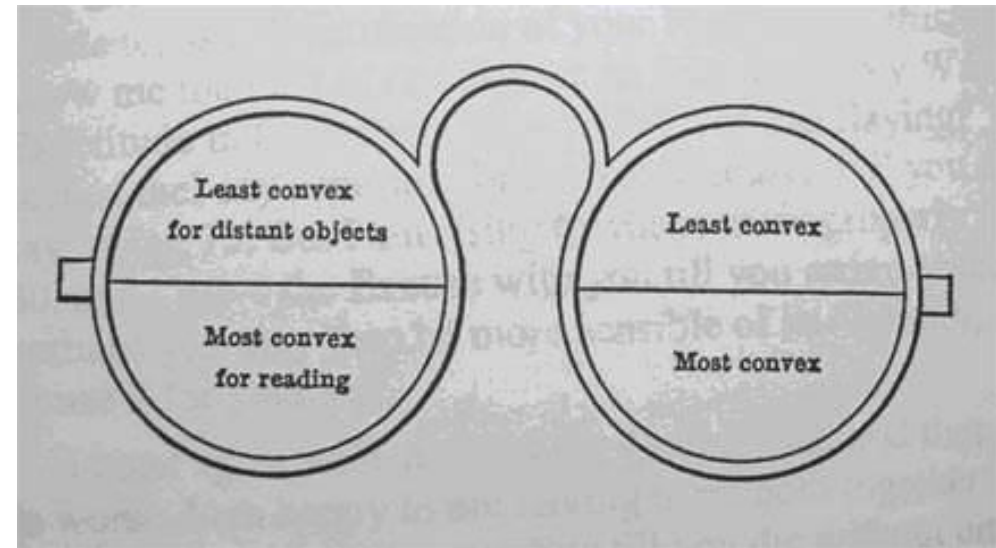
$x' > 0$, tedy pro spojku je zorný úhel menší než příslušný úhel otočení oka, pro **rozptylku větší**. Rozptylka tedy poskytuje větší zorné pole, než spojka stejných příčných rozměrů.

Vynález bifokálních čoček

Benjamin Franklin



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

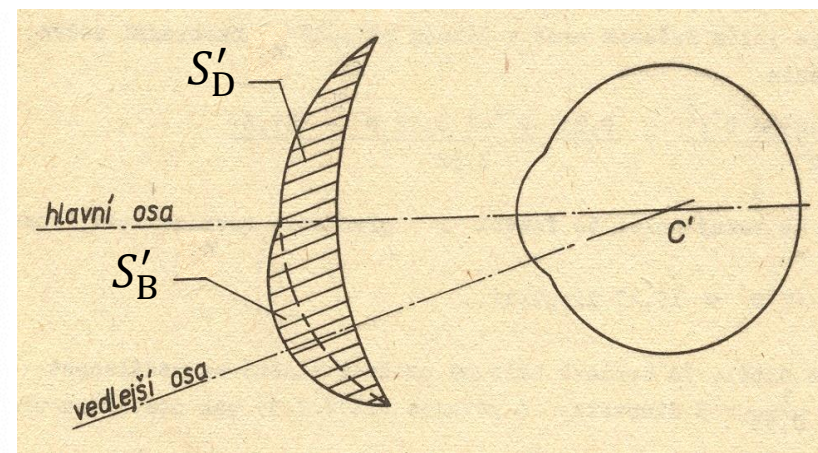
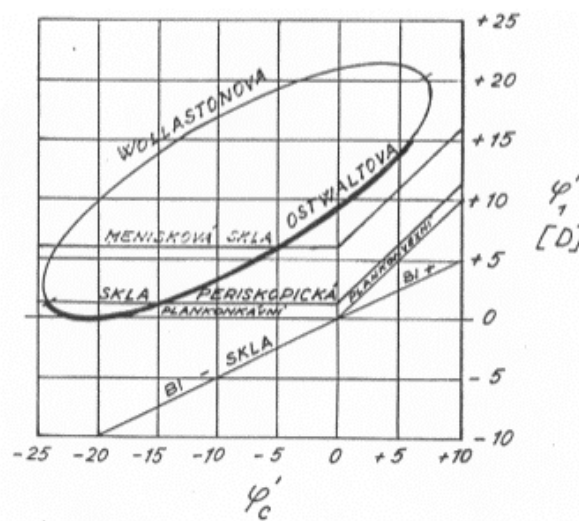
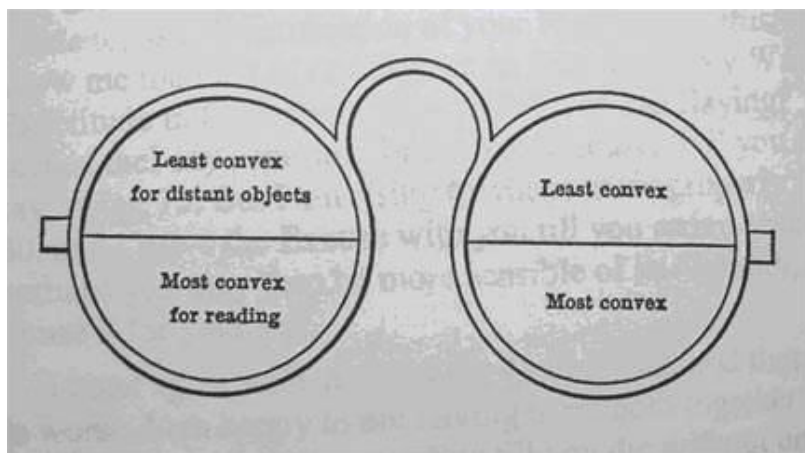


nákres z dopisu – knihovna kongresu

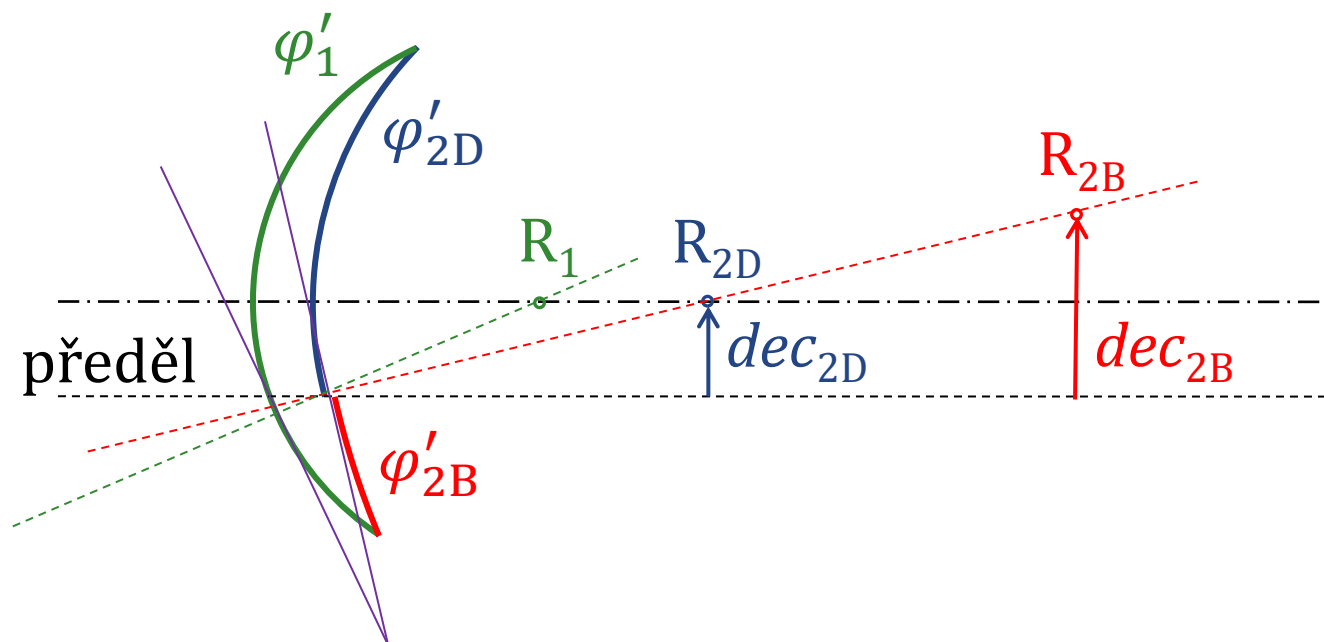


Požadavky na bifokální čočky

- řádné centrování obou dílů vůči oku (optické osy procházejí skutečným středem otáčení oka)
- korekce periferních vad (astigmatismus, sklenutí) obou dílů
- 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)



Skok obrazu u vybrušované bifokální čočky



Prizmatický účinek v těsné blízkosti předělu:

$$\Delta_D = dec_1 \varphi'_1 + dec_{2D} \varphi'_{2D}$$

$$\Delta_B = dec_1 \varphi'_1 + dec_{2B} \varphi'_{2B}$$

Bez skoku obrazu pokud:

$$\Delta_D = \Delta_B \Leftrightarrow$$

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

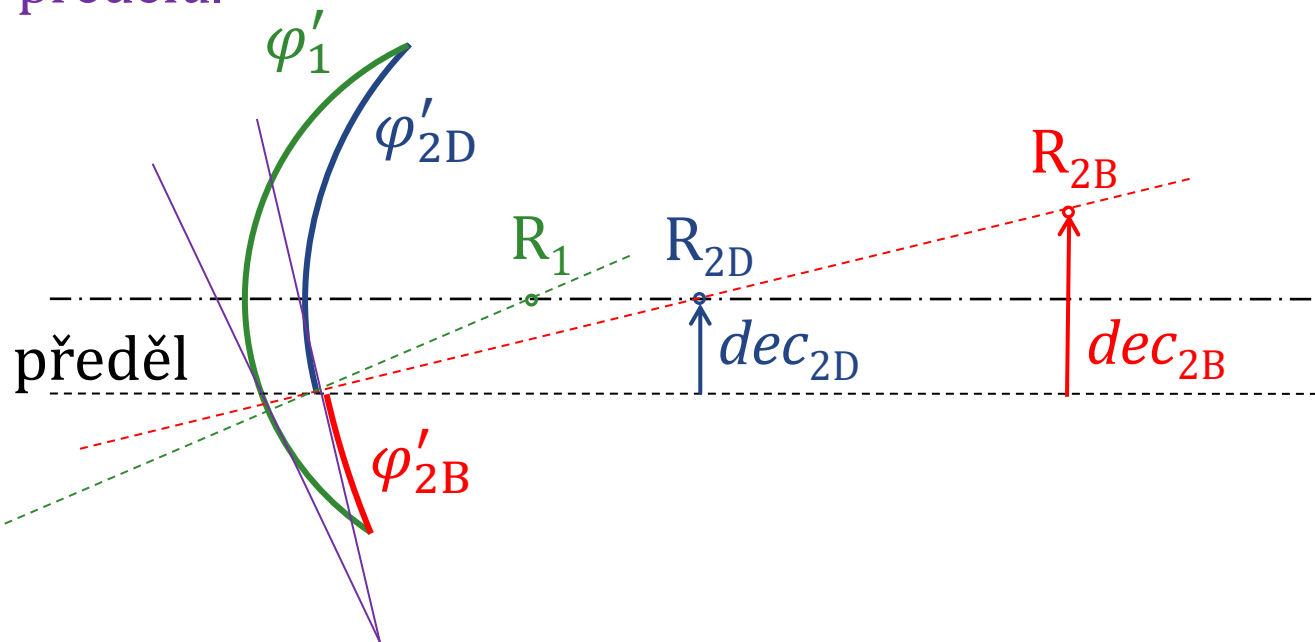
Geometricky:

$$dec_{2D} \frac{1-n}{r_{2D}} = dec_{2B} \frac{1-n}{r_{2B}} \Leftrightarrow \frac{dec_{2D}}{r_{2D}} = \frac{dec_{2B}}{r_{2B}}$$

Cvičení

Bifokální brýlová čočka má vrcholovou lámavost dílu do dálky $S'_D = +5$ D, mohutnost zadní plochy dílu do dálky $\varphi'_{2D} = -6$ D a přídavek do blízka $Add = 3$ D. Vrcholová tloušťka dílu do dálky je $d_D = 6$ mm, do blízka $d_B = 7$ mm. Střed křivosti zadní plochy dílu do dálky je vychýlen vůči předělu o vzdálenost $dec_{2D} = 2$ mm.

Vypočtěte poloměry křivosti ploch r_1, r_{2D}, r_{2B} . Dále určete potřebné vychýlení středu křivosti zadní plochy dílu do blízka dec_{2B} vůči předělu, aby nenastával skok obrazu na předělu.



$$S'_{B,D} = \frac{\varphi'_1}{1 - \delta\varphi'_1} + \varphi'_{2B,D}$$

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

Zatavované bifokální čočky

Aproximace tenkých čoček:

$$Add = \varphi'_{cp} - \varphi'_{cv}$$

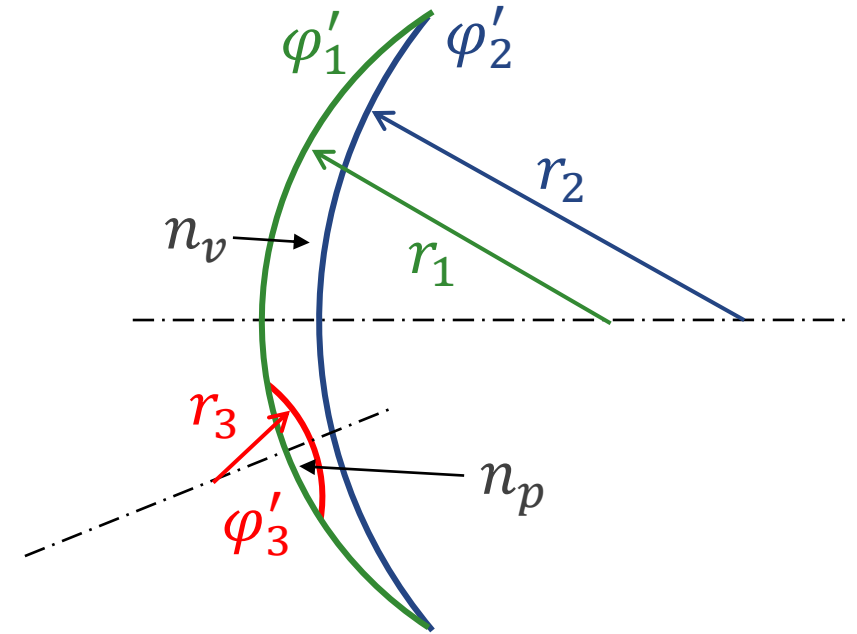
$$\varphi'_{cv} = \varphi'_{1v} = \frac{n_v - 1}{r_1}$$

$$\varphi'_{cp} \approx \varphi'_{1p} + \varphi'_{3p} = \frac{n_p - 1}{r_1} + \frac{n_v - n_p}{r_3}$$

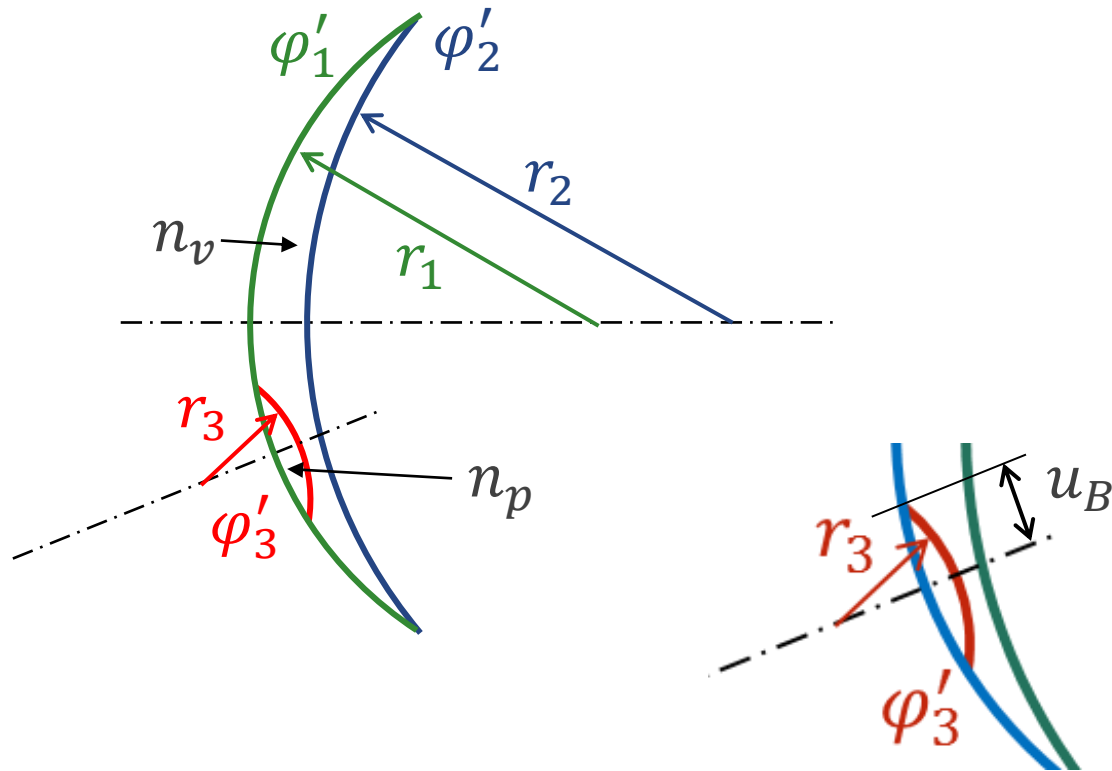
$$Add = (n_p - n_v) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_3} \right)$$

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

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



Zatavované bifokální čočky – skok obrazu



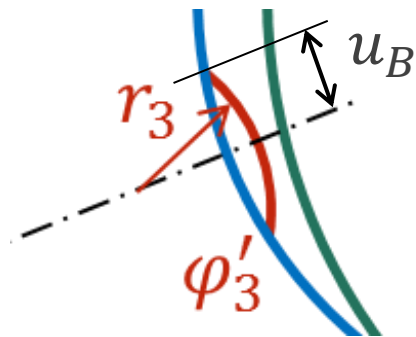
K původní čočce jako by byla přidána nová čočka s mohutností Add , jejíž prismatický účinek na předělu vytváří skok obrazu. Předěl je vůči ose přidané čočky vychýlen o vzdálenost u_B . Prismatický účinek na předělu má tedy velikost (Prenticeho pravidlo):

$$\Delta(\text{pD}) = \frac{1}{10} u_B(\text{mm}) Add(\text{D})$$

Cvičení

Bifokální brýlová čočka se zataveným dílem do blízka má mít přídavek do blízka $Add = 3$ D. Poloměr křivosti přední plochy je $r_1 = 86,7$ mm, poloměr křivosti vybroušeného vrchlíku $r_3 = -70,9$ mm a index lomu materiálu původní čočky $n_v = 1,523$.

Určete potřebný index lomu n_p vložky.



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

$$\Delta(\text{pD}) = \frac{1}{10} u_B (\text{mm}) Add (\text{D})$$

Intervaly ostrého vidění

Díl do dálky

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

Díl do blízka

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

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

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

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

$Add = A_{\xi}$... 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.

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

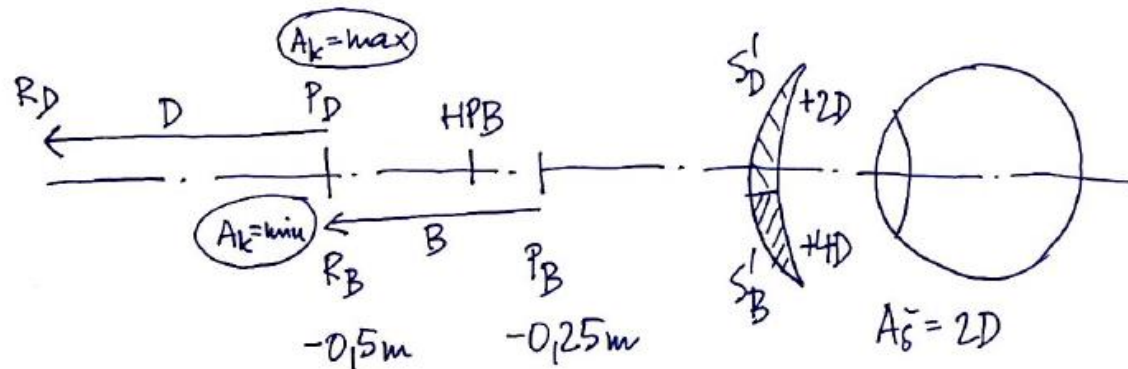
$$S_B^i = +4D$$

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

$$z_{PD} = -\frac{1}{A_S^v} = -0,15 \text{ m}$$

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

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



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

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

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

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

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

$$a_{PD} \rightarrow \infty$$

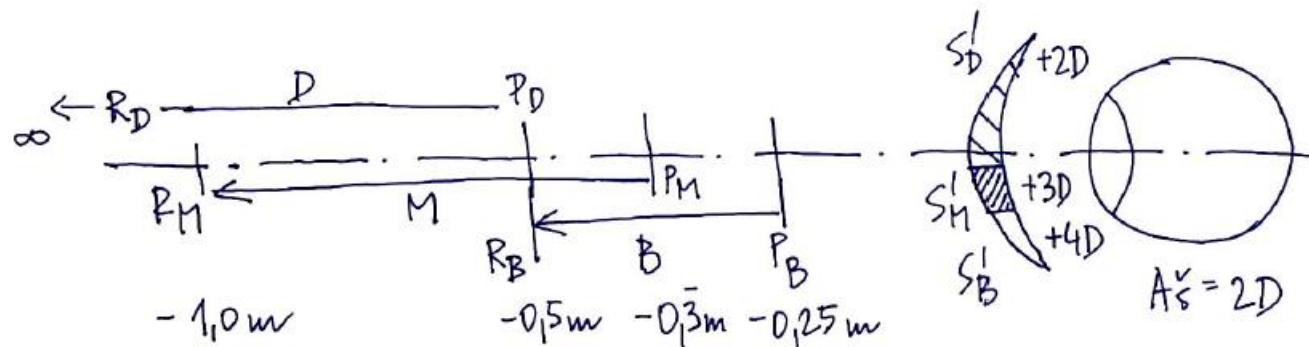
$$a_{PB} = -1/A_S^V = -0,5 \text{ m}$$

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

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

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

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



Příklad 5

Navrhnete bifokální čočku a určete intervaly ostrého vidění.

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

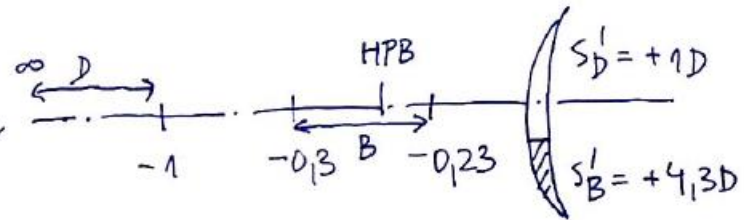
$$A_{add} = -1/h - \frac{2}{3} A_S = 4D - \frac{2}{3} D \doteq 3,33D \quad S_B' = S_D' + A_{add} = 4,33D$$

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

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

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

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



Příklad 6

Navrhnete trifokální čočku a určete intervaly ostrého vidění

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

$$A_{add1} = 0,67D$$

$$A_{add2} = 3,33D$$

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

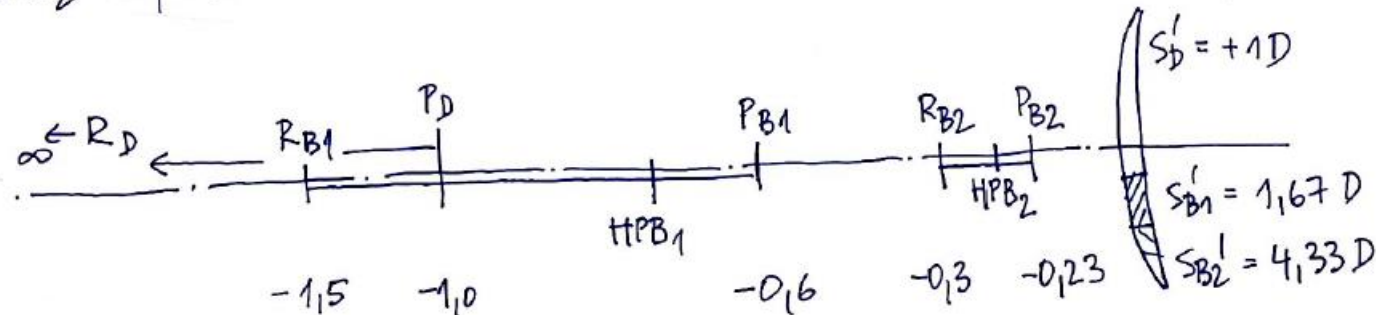
$$a_{PD} = -1 \text{ m}$$

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

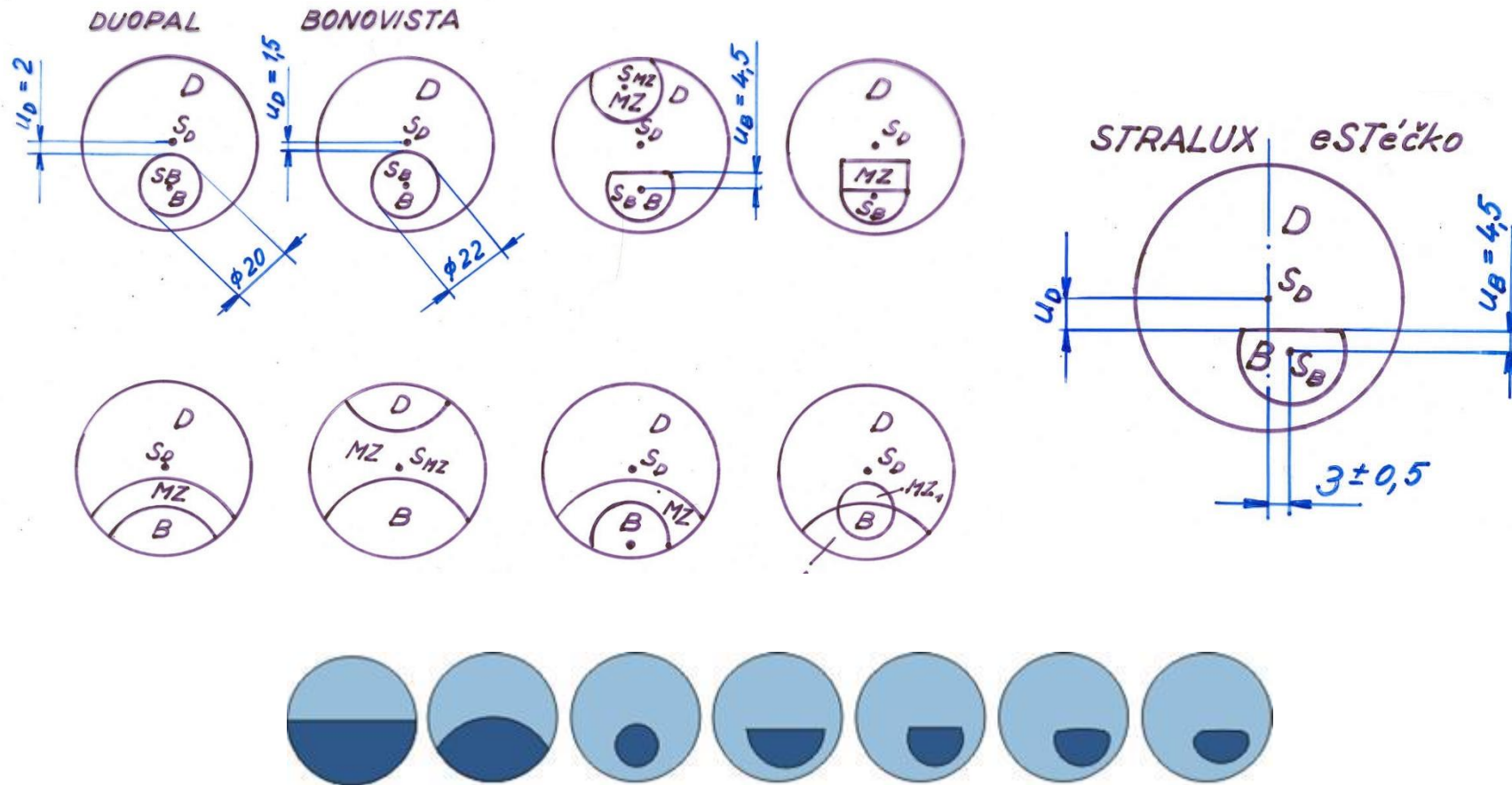
$$a_{PB1} = -0,6 \text{ m}$$

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

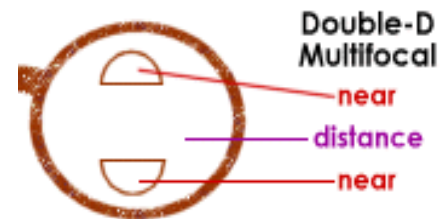
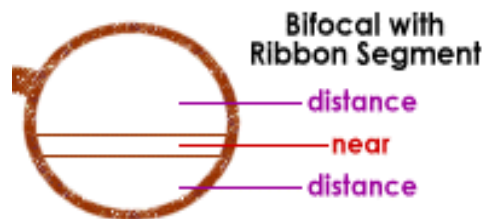
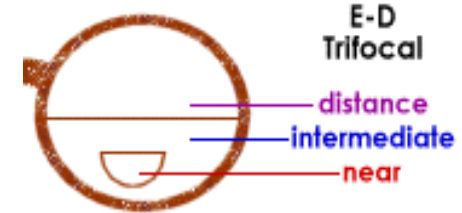
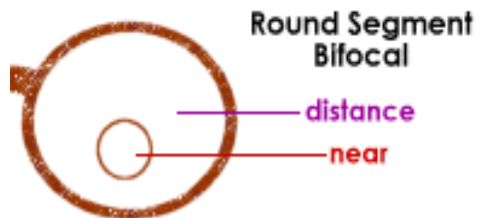
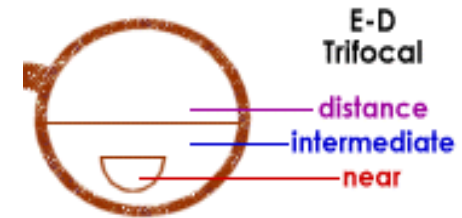
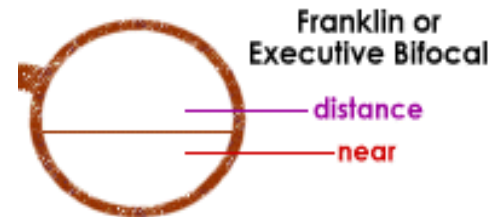
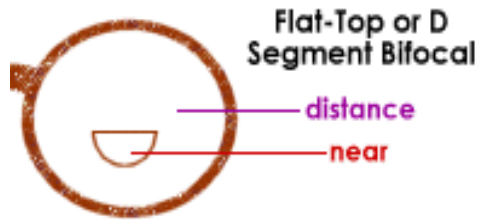
$$a_{PB2} = -0,23 \text{ m}$$



provedení bifokálních čoček



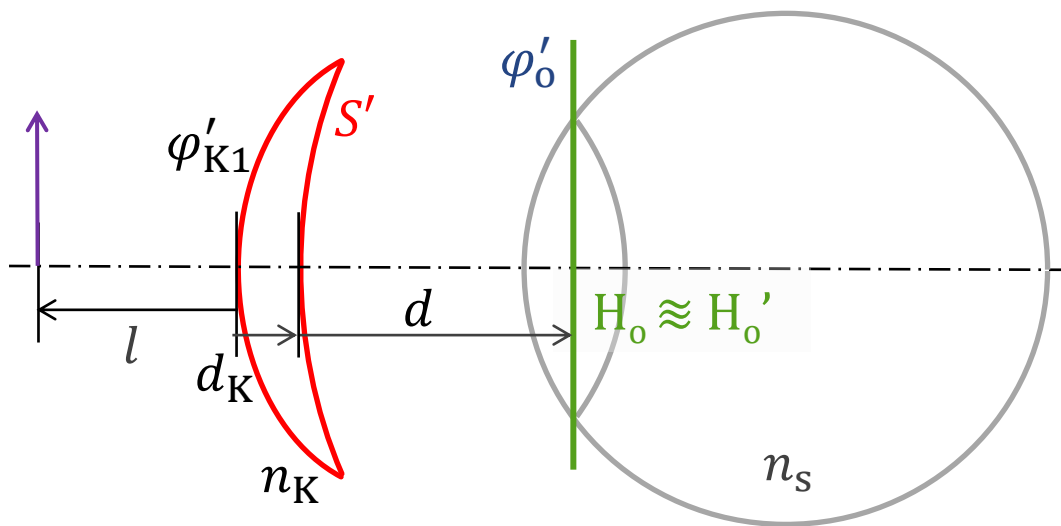
další příklady provedení bifokálních čoček



Velikost obrazu při korekci do blízka

Zvětšení korekční
čočky:

$$M_K = \frac{1}{(1 - d^2 S' L)} \frac{1}{(1 - d S')} \frac{1}{(1 - \bar{d}_K \varphi'_{K1})} = F_N \times F_P \times F_T$$



“Blízkostní” (Nearness) faktor:

$$F_N = 1/(1 - d^2 S' L)$$

... závisí na vergenci svazku jdoucího z
předmětového bodu, na přední ploše čočky:
 $L = 1/l$; obvykle má hodnoty blízké jedné a
zanedbává se

“Mohutnostní” (Power) faktor:

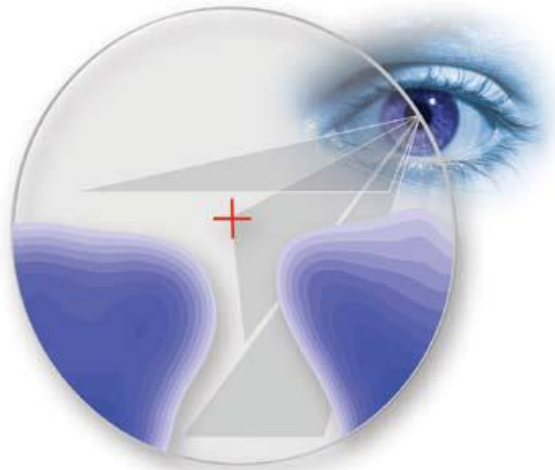
$$F_P = 1/(1 - d S')$$

... zásadní vliv na zvětšení korekční čočky

Tvarový faktor: $F_T = 1/(1 - \bar{d}_K \varphi'_{K1})$

... u spojek je tvarový faktor obvykle nutno
vzít v úvahu

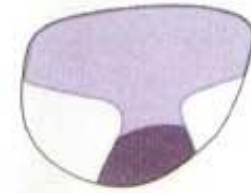
Progresivní čočky



zorné pole do dálky
od 5 m dál



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



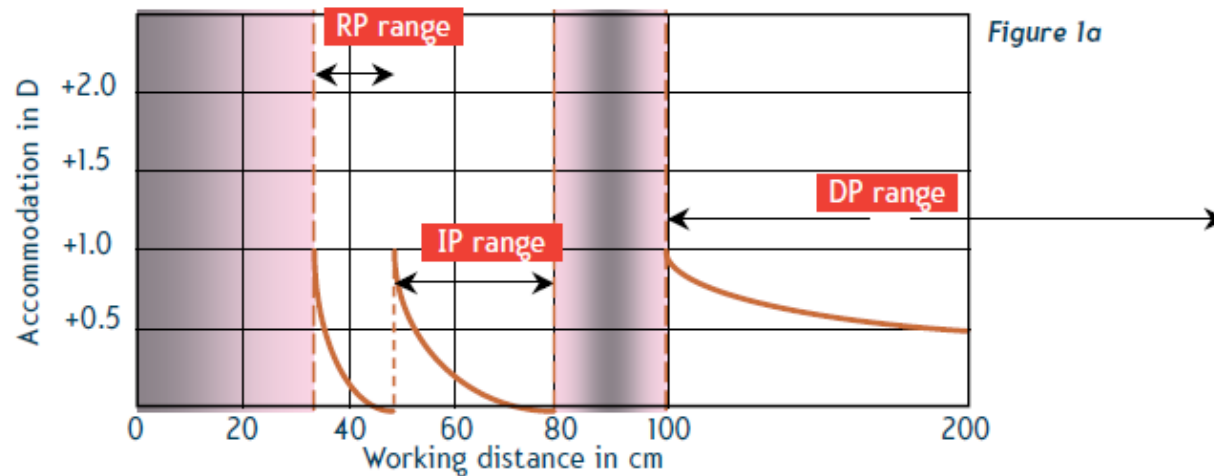
zorné pole do blízka
do 40 cm

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

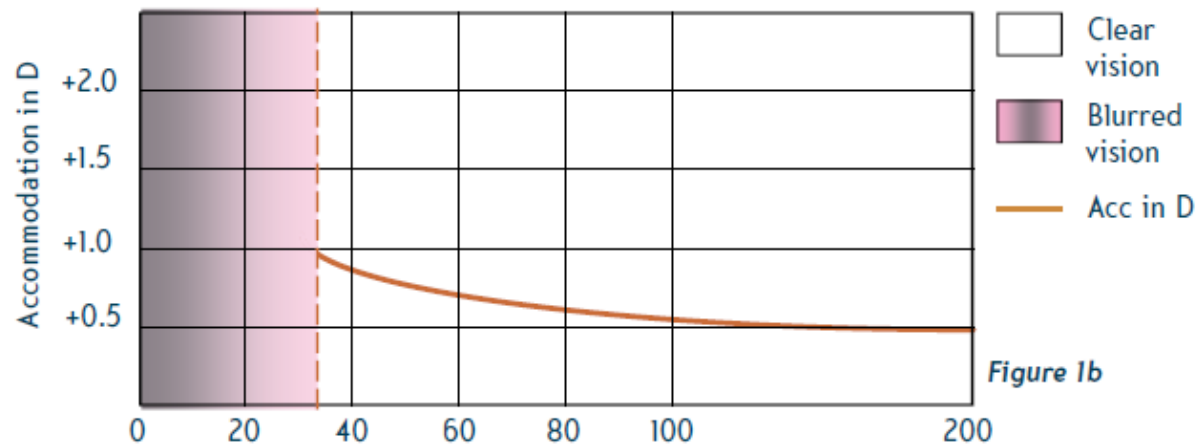
- + Čočky mají vzhled monofokálních, esteticky jsou na vysoké úrovni, není žádný viditelný předěl segmentů, skok obrazu, ani skoková změna akomodace jako u bifokálních čoček.
- Oblasti s významnou hodnotou astigmatismu, obtížnější adaptace („obraz tancuje“) po špatně předvídatelnou dobu, úzká oblast do blízka ve srovnání s bifokálními čočkami, cena.

(Další části prezentace připraveny dle textu Mo Jalie: Progressive lenses, Part 1, Continuing Education and Training)

Progresivní vs. trifokální čočky



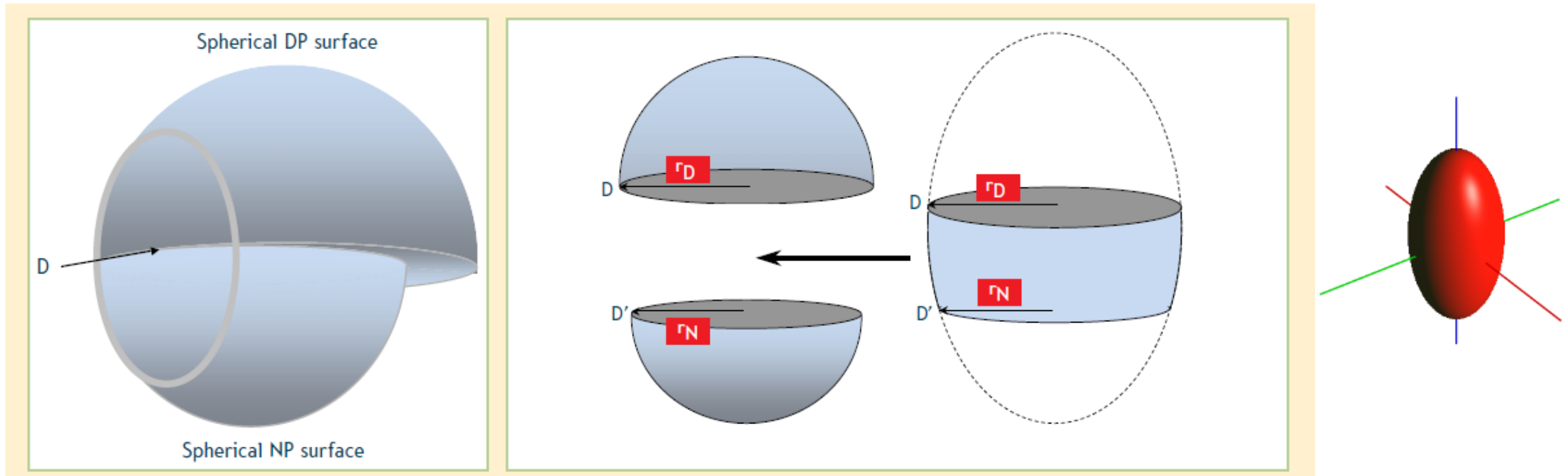
trifokální čočka



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.

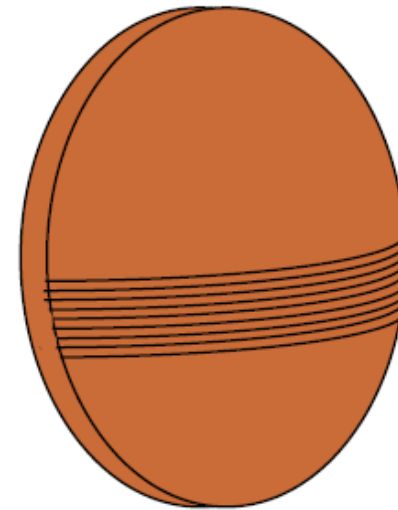
Princip designu progresivní čočky



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 od r_D do r_N . Může jít třeba o povrch rotačního elipsoidu (sféroidu).

Výroba progresivní čočky



a) Ceramic mould

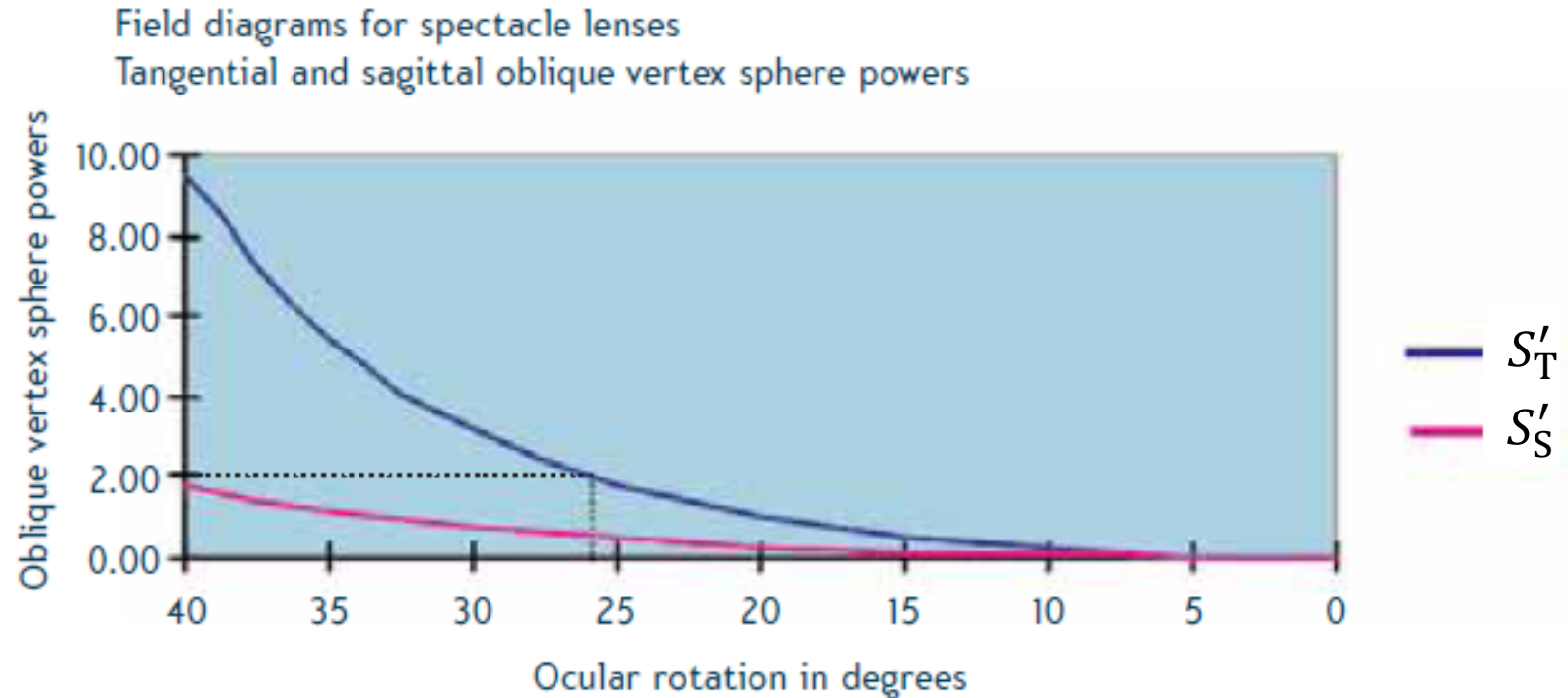
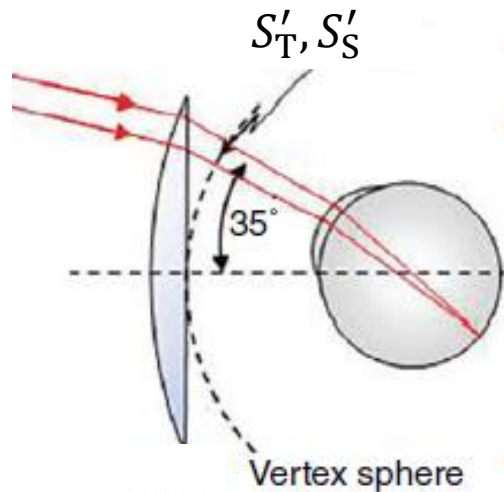


b) Slumping a glass blank (forming)

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

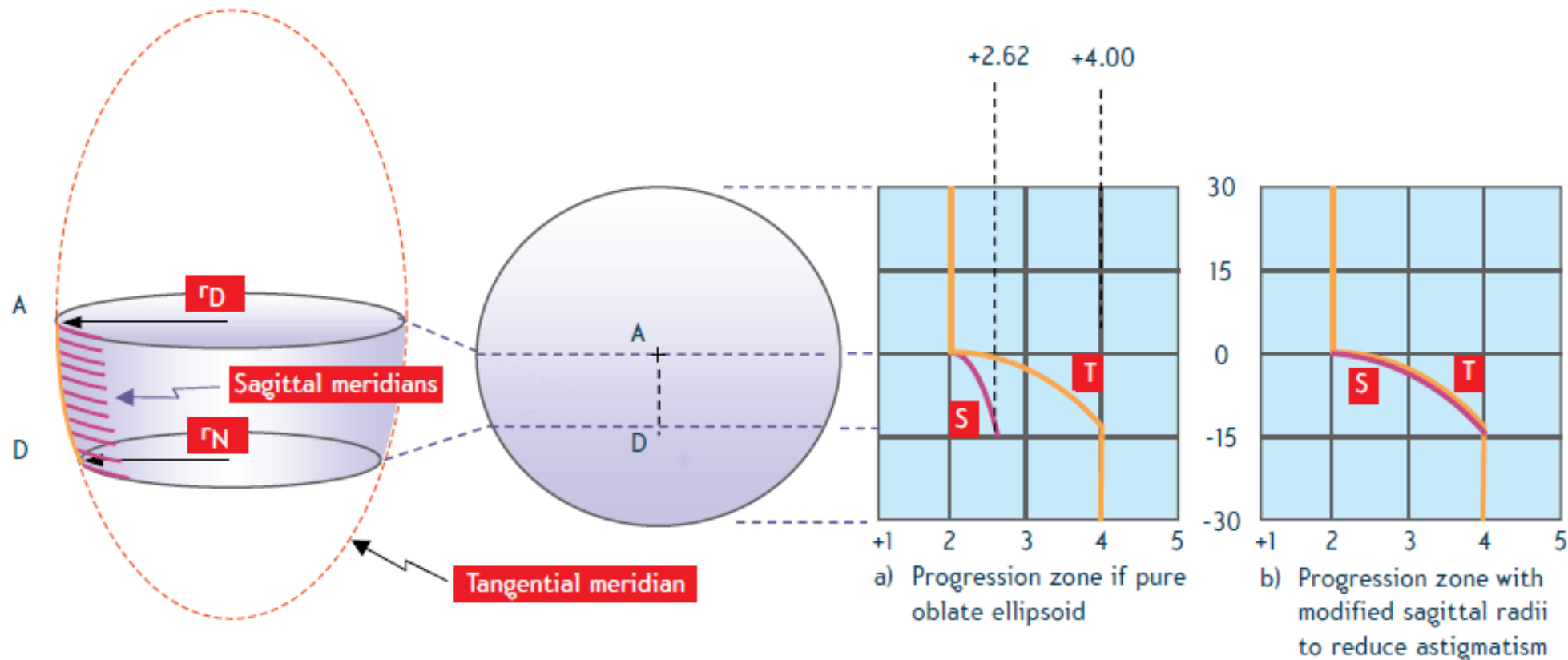
- Důležitá je technologie CNC broušení a leštění (FFT, vlevo CNC stroj Schneider).
- Jiným postupem je „slumping“ (stékání, vpravo): konvexní, původně sférická čočka je umístěna na keramickou formu požadovaného tvaru a za vysoké teploty se formě tvarově přizpůsobí

Progresivní čočka s využitím rotačního elipsoidu



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 lámavost na vertex sféře 2,00 D, jak je požadováno, avšak sagitální je o cca 1,50 D menší (to je také velikost astigmatismu svazku přicházejícího z nekonečna po průchodu čočkou v tomto místě). Je třeba navrhnout plochu s **větší sagitální křivostí**.

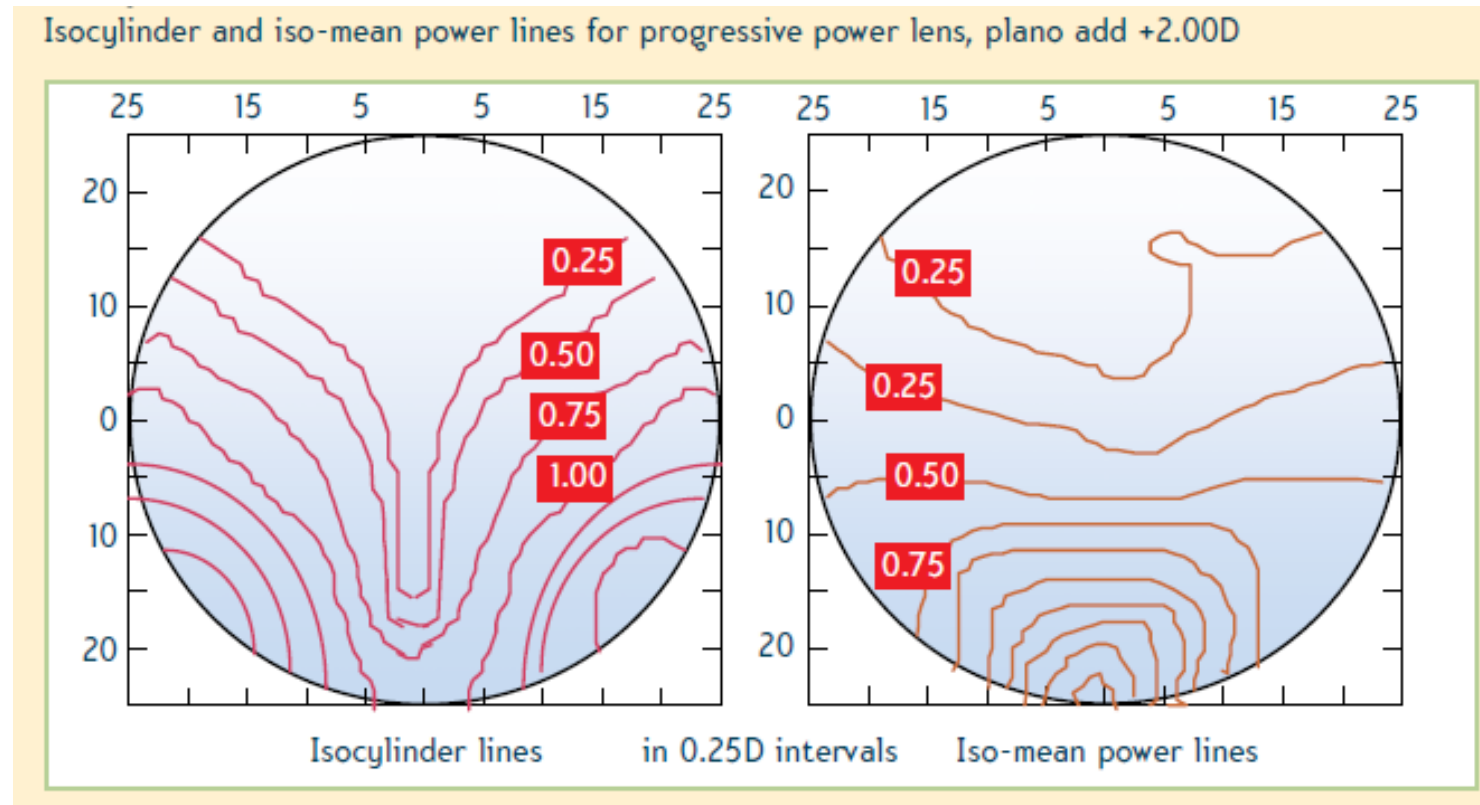
Zvětšení sagitální křivosti



Povrch rotačního elipsoidu má nevhodnou křivost v sagitálním řezu, a proto přechodová část trpí silným astigmatismem a). Tvar přechodové části je možno změnit a zvýšit sagitální křivosti podél tangenciálního řezu tak, aby byl redukován astigmatismus b).

To lze jen podél tangenciálního meridiánu, v úzké oblasti, která tvoří tzv. **progressivní kanál**.

Isolinie, izočáry



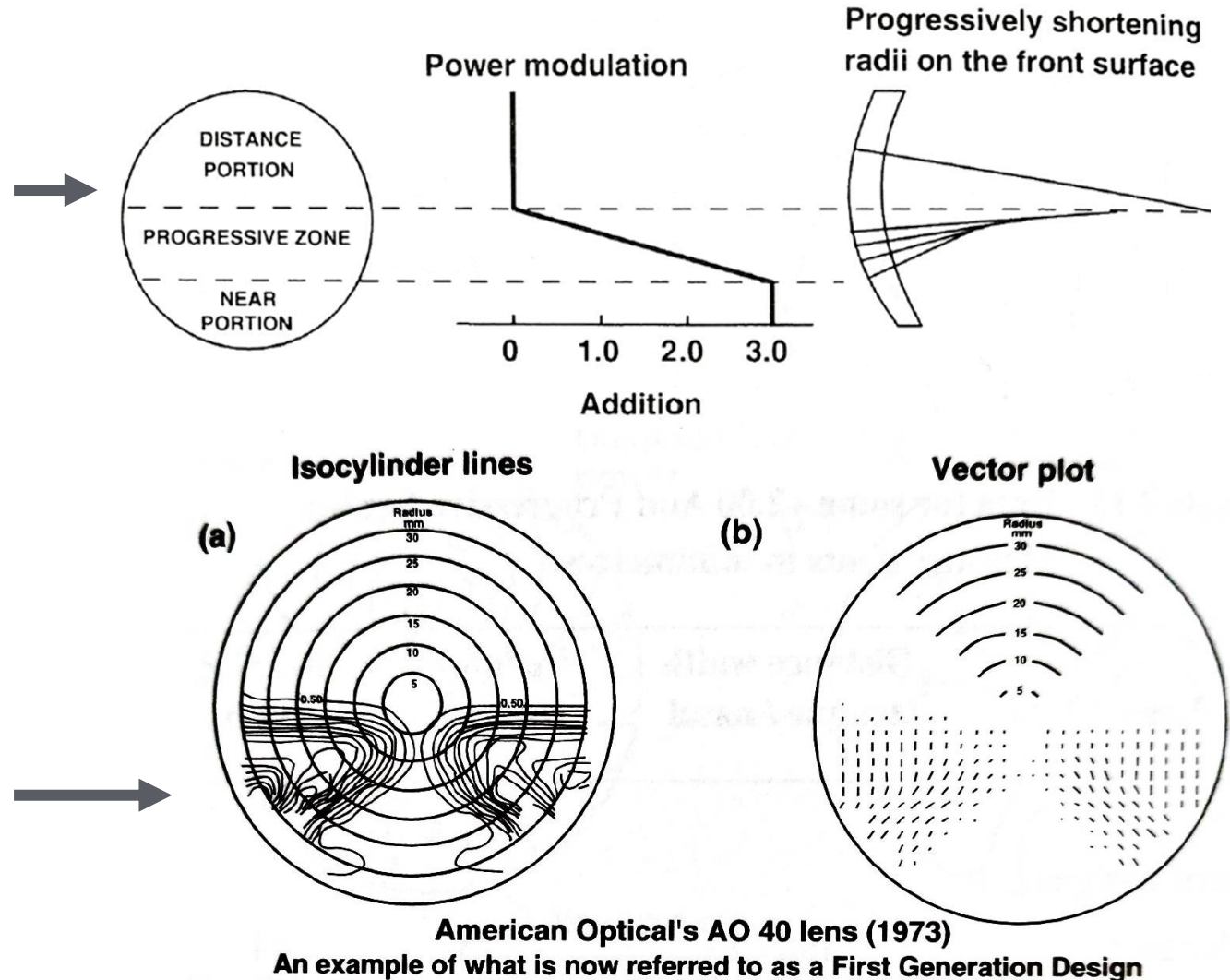
Vlastnosti progresivní čočky lze charakterizovat dvěma diagramy:

- „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 střední lámavosti

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 (rychlý nárůst astigmatismu), který mají například také čočky **AO 40** (American Optical, **1973**).

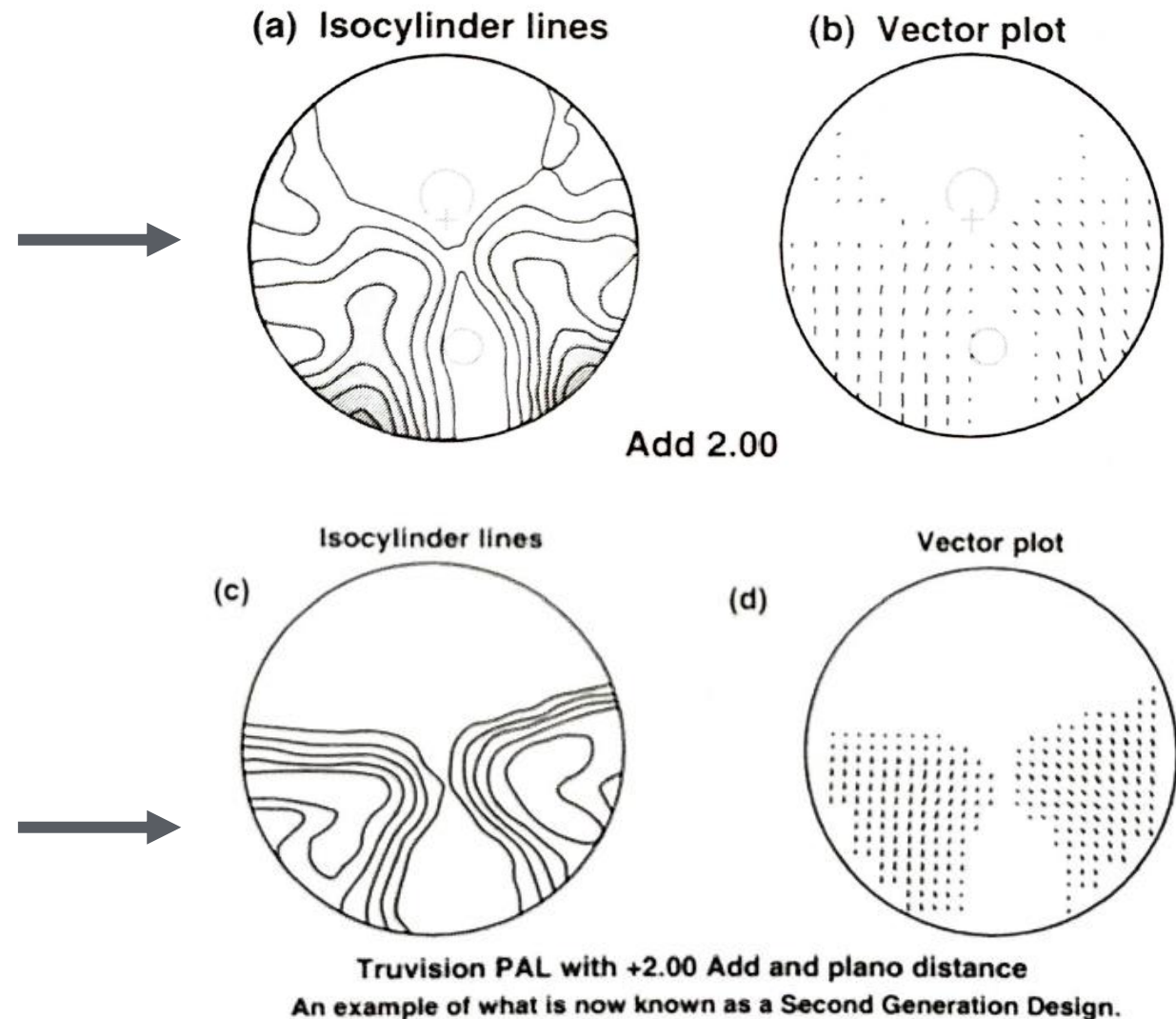


Druhá generace progresivních čoček

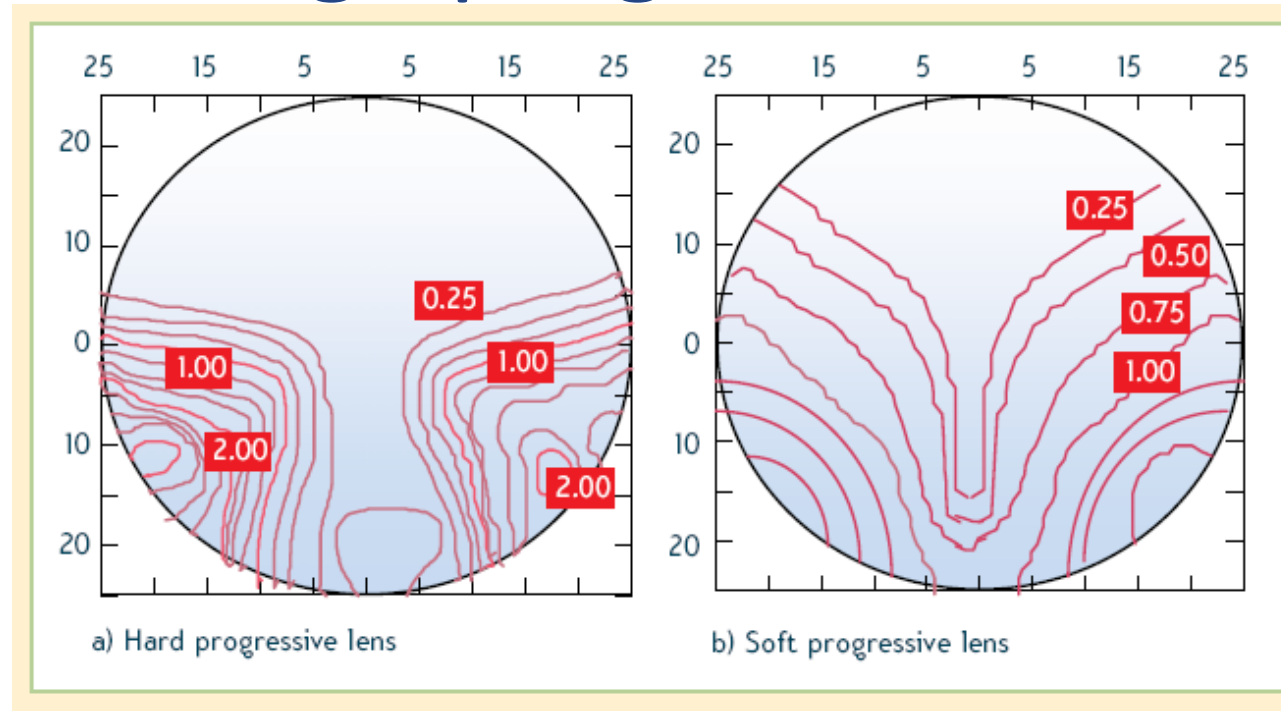
1973

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**.



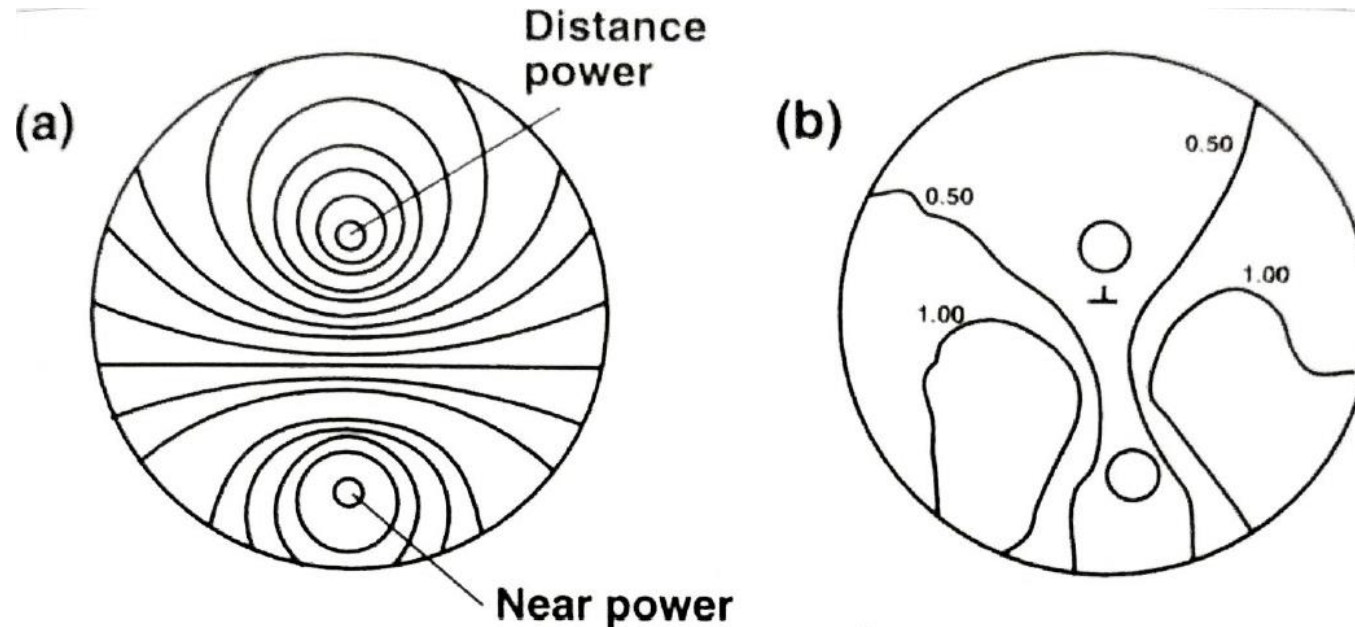
Hard a Soft design progresivních čoček



- **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 design (třetí generace)

Design třetí generace využívá „bipolární princip“. Minimum, resp. maximum hodnoty lámavo do dálky, resp. do blízka jsou soustředěny v malých kruhových oblastech, „pólech“, obklopených soustředně liniemi stejné lámavosti. 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.

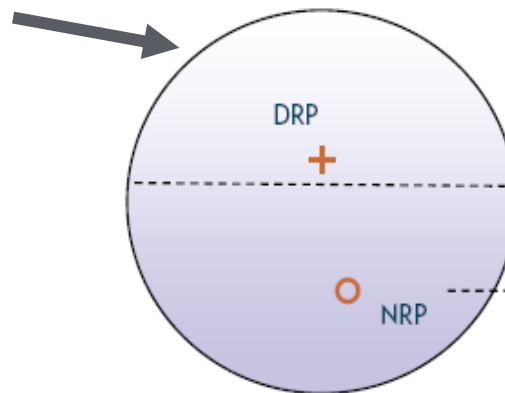


Truvision OMNI, +2.00 D Add

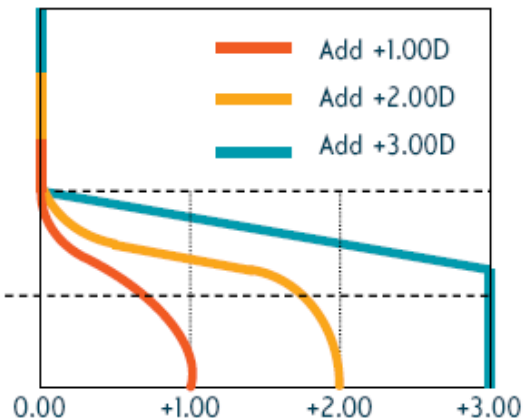
Moderní progresivní čočky

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“.

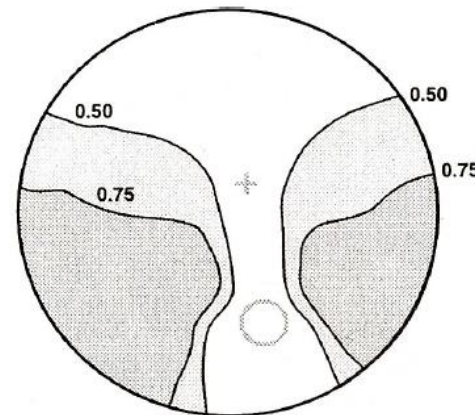
1994, OPALs: Zeiss a Rodenstock zavedly čočky, které mají pouze díl do blízka a mezidíl: „Occupational Progressive Addition Lenses“. Čočky mají 30 mm dlouhý koridor a jsou určeny pro vnitřní použití („pokoje vzdálenosti“: RD).



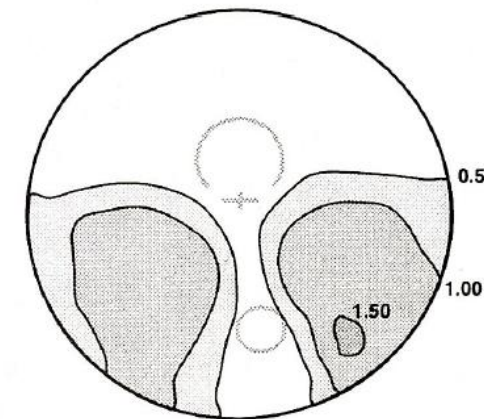
DRP = distance reference point NRP = near reference point



Gradal RD OPAL

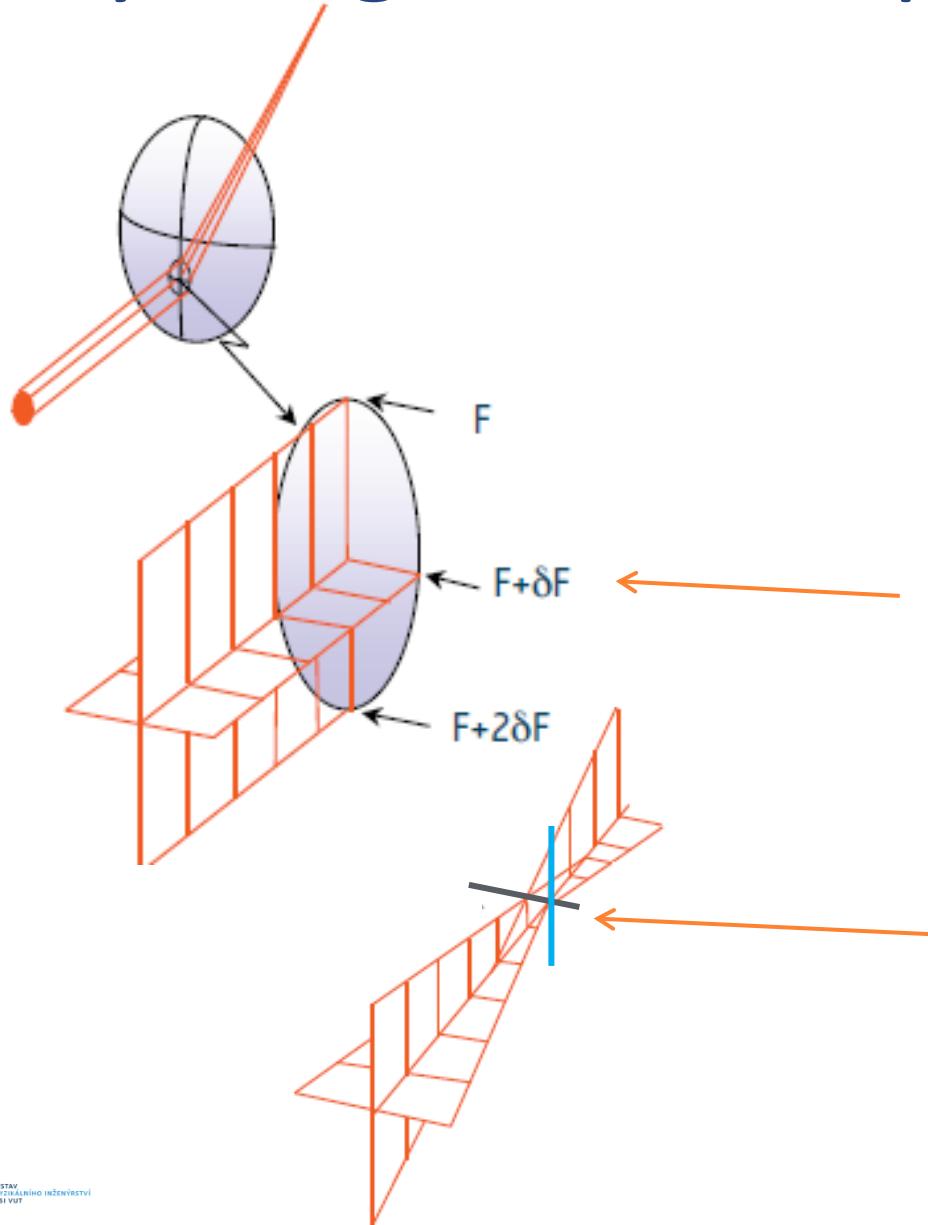


XL Gold PAL



Isocylinder lines with a 2.00 Add

Kosý astigmatismus progresivních čoček



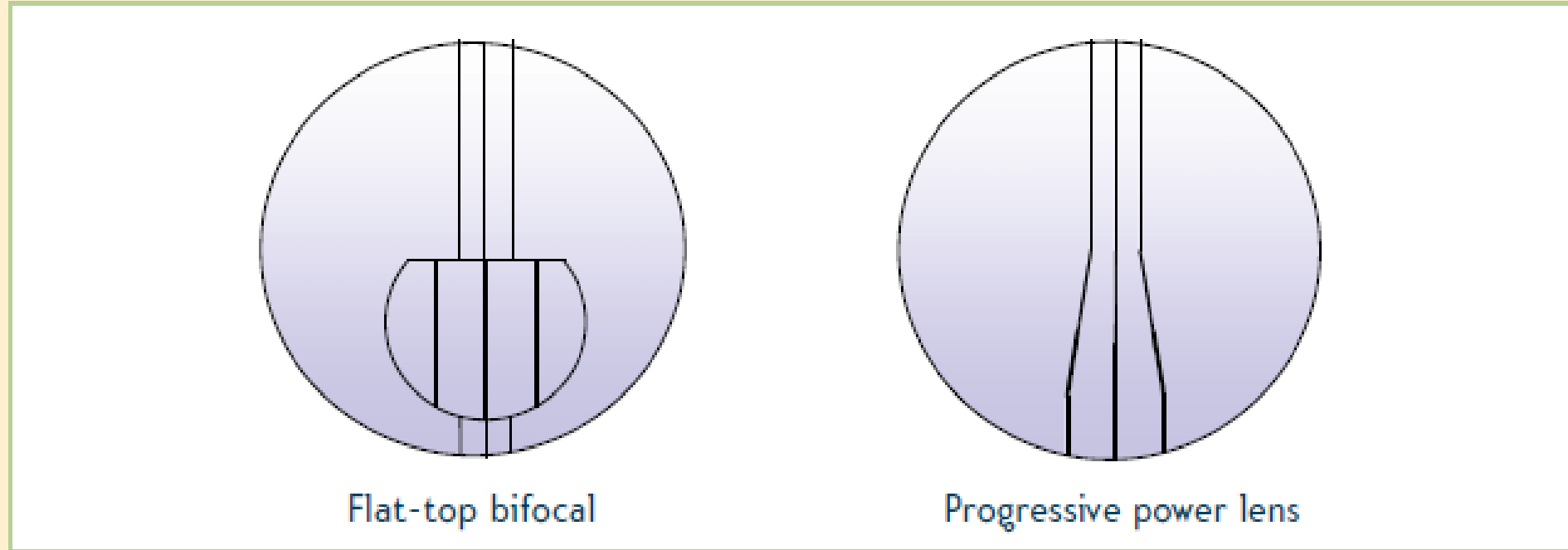
Ani optimální návrh progresivního kanálu nemůže zcela odstranit astigmatismus v této oblasti čočky. Tím, že v progresivním kanálu lámavost (v obrázku označena F) spojitě roste, vzniká tzv. „zkosený, kosý“ (skew) astigmatismus.

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: $F_p = 1/(1 - dS')$

Proto je u progresivních čoček nutno počítat s distorzí vznikající při spojitě rostoucí lámavosti.