

# brýlové čočky



# Drobnosti z historie



středověký čtecí kámen

- „zvětšení“ zmíněno hieroglyfy (800 BC)
- „zvětšení pomocí skla naplněného vodou“ písemně zmíněno r. 100 (AD)
- čtecí kameny (čisté sklo ve tvaru oblázků) v 9. století
- v Evropě brýle od cca 13. století, nejprve spojné čočky
- od cca 16. století také rozptylky pro myopy
- první brýle neměly ručky
- „skrářové brýle“ (s ručkami) až od začátku 18. století



1690: brýle Norimberského stylu se zelenými čočkami



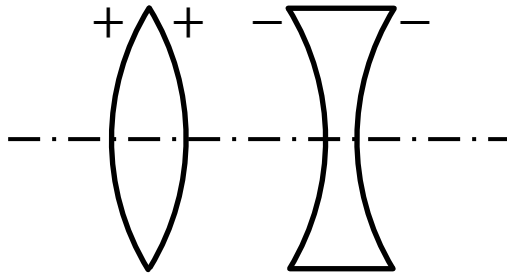
1780: stříbrné brýle



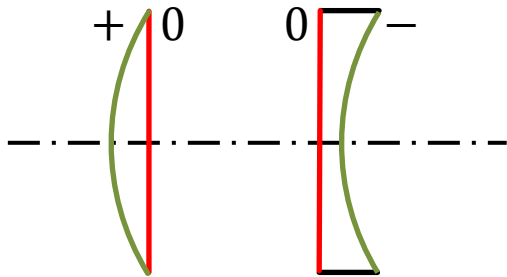
konec 18. století: mosazné obruby, kruhové čočky

# Tvar čočky

$$\varphi'_1 = \frac{n_B - 1}{r_1} > 0 \quad \varphi'_2 = \frac{1 - n_B}{r_2} < 0$$

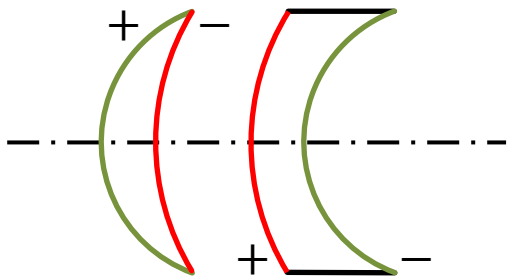


bikonvexní, bikonkávní čočka  
(nepříznivý průběh optických vad)



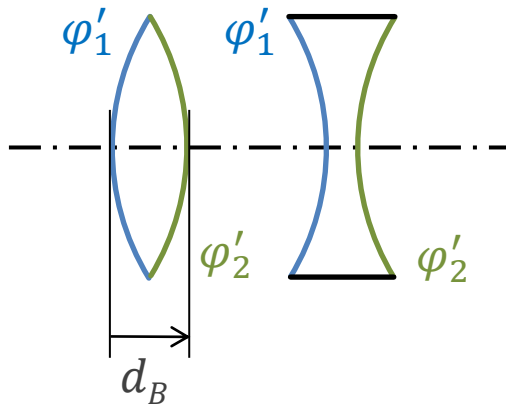
plankonvexní, plankonkávní čočka

- červeně vyznačeny základní plochy (báze)
- zeleně doplňkové plochy



periskopická čočka (základní plocha  $\pm 1,25$  D)  
menisková (polomušlová) čočka ( $\pm 6$  D, příp.  $\pm 3$  D)  
mušlová čočka ( $\pm 8$  D)

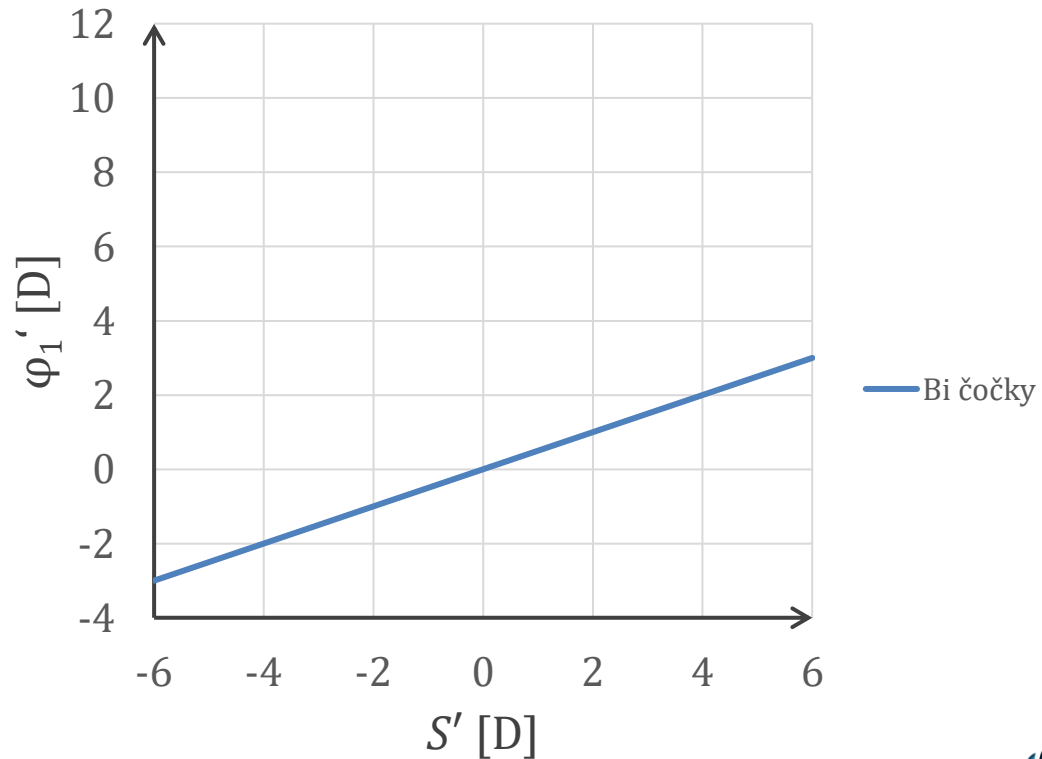
# Aproximace tenké čočky



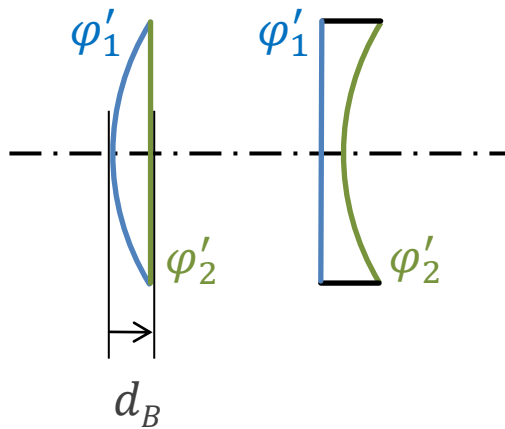
bikonvexní, bikonkávní čočka

$$d_B \rightarrow 0$$

$$S' \approx \varphi'_c \approx \varphi'_1 + \varphi'_2 = 2\varphi'_1$$



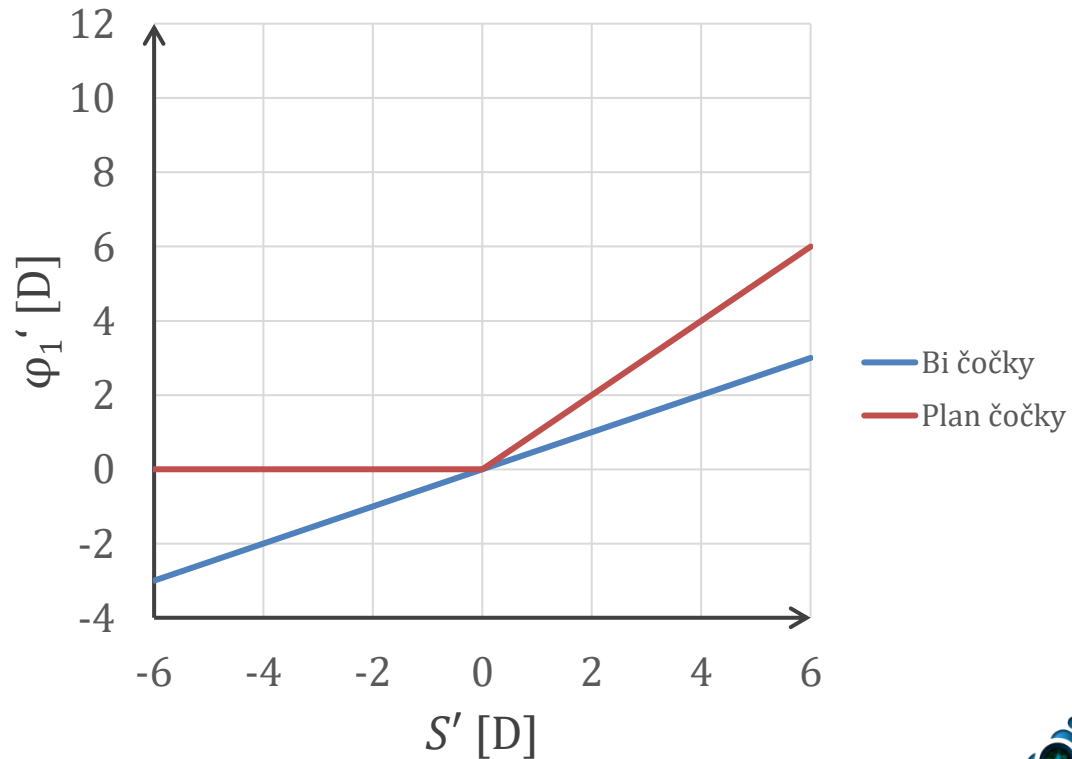
# Aproximace tenké čočky



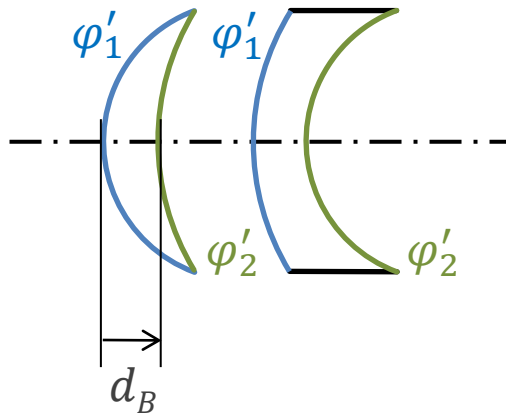
plankonvexní, plankonkávní čočka

$$d_B \rightarrow 0$$

$$S' \approx \varphi'_c \approx \begin{cases} \varphi'_1 & \text{(spojka)} \\ \varphi'_2 & \text{(rozptylka)} \end{cases}$$



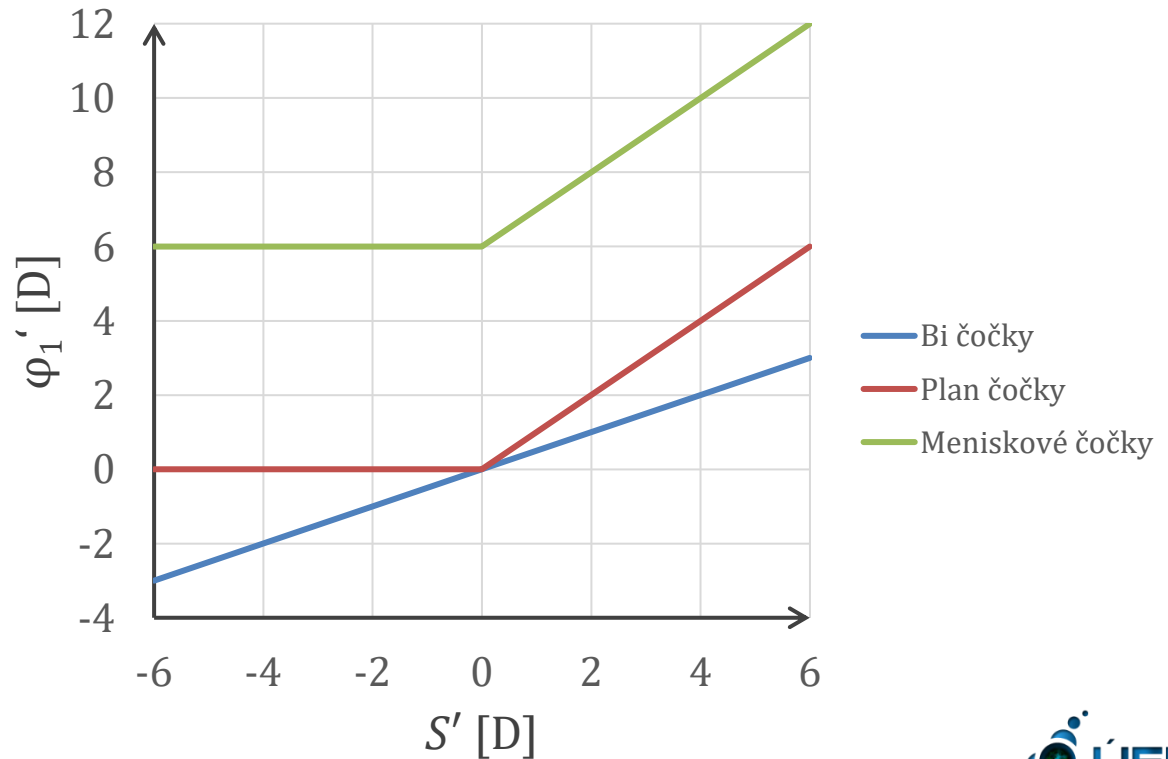
# Aproximace tenké čočky



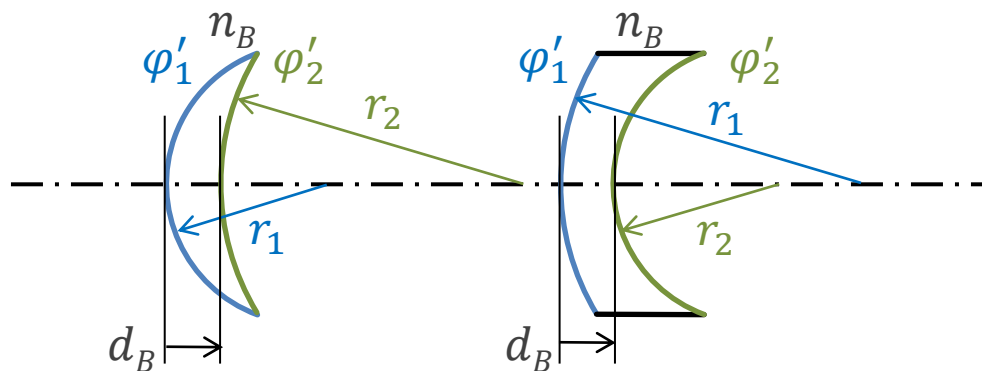
menisková (polomušlová) čočka ( $\pm 6 D$ )

$$d_B \rightarrow 0$$

$$S' \approx \varphi'_c \approx \begin{cases} \varphi'_1 - 6 D & \text{(spojka)} \\ 6 D + \varphi'_2 & \text{(rozptylka)} \end{cases}$$



# Přesné výpočty



$$\varphi'_1 = \frac{n_B - 1}{r_1} > 0$$

$$\varphi'_2 = \frac{1 - n_B}{r_2} < 0$$

vrcholová lámavost brýlové čočky:

$$S' = \Gamma' \varphi'_c = \frac{\varphi'_1}{1 - \delta \varphi'_1} + \varphi'_2 = \varphi'_{1,tč} + \varphi'_2 \quad \delta = \frac{d_B}{n_B}$$

známe  $S', \varphi'_1$ :  $\varphi'_{1,tč} = \frac{\varphi'_1}{1 - \delta \varphi'_1}$   $\varphi'_2 = S' - \varphi'_{1,tč}$

známe  $S', \varphi'_2$ :  $\varphi'_{1,tč} = S' - \varphi'_2$   $\varphi'_1 = \frac{\varphi'_{1,tč}}{1 + \delta \varphi'_{1,tč}}$

# Příklady

## Příklad 1

$$\underline{S' = -5D, \varphi_1' = +6D, d_B = 5 \text{ mm}, n_B = 1,523, \varphi_2' = ? ; \delta = \frac{0,005 \text{ m}}{1,523} \approx 0,0033 \text{ m}}$$

$$\underline{\varphi_2' \approx S' - \varphi_1' = -11D \text{ (odhad)}}$$

$$\underline{\varphi_{1,t\varepsilon}' = \frac{\varphi_1'}{1 - \delta \varphi_1'} = \frac{6D}{1 - 0,0033 \cdot 6} = 6,121 D ; \varphi_2' = S' - \varphi_{1,t\varepsilon}' = \underline{\underline{-11,12 D}} \text{ (přesněji)}}$$

## Příklad 2

$$\underline{S' = +6D, \varphi_2' = -6D, d_B = 5 \text{ mm}, n_B = 1,523, \varphi_1' = ? ; \delta \approx 0,0033 \text{ m}}$$

$$\underline{\varphi_1' \approx S' - \varphi_2' = +12D}$$

$$\underline{\varphi_{1,t\varepsilon}' = +12D ; \varphi_1' = \frac{\varphi_{1,t\varepsilon}'}{1 + \delta \varphi_{1,t\varepsilon}'} = \frac{+12D}{1 + 0,0033 \cdot 12} = \underline{\underline{11,54 D}}}$$

$$\underline{r_1 = \frac{n_B - 1}{\varphi_1'} = \frac{0,523}{11,54 D} \approx \underline{\underline{45 \text{ mm}}} ; r_2 = \frac{1 - n_B}{\varphi_2'} = \frac{-0,523}{-6D} \approx \underline{\underline{87 \text{ mm}}}}$$



# Příklady

## Příklad 3

$$S' = -5D; \quad n = 1,523; \quad d = 1,0 \text{ mm}; \quad \varphi_1' = +6D; \quad \varphi_2' = ?; \quad r_1 = ?; \quad r_2 = ?$$

$$\varphi_2' \approx S' - \varphi_1' = -5D - 6D = -11D$$

$$\varphi_2' = S' - \varphi_{1,t\bar{e}}' = S' - \frac{\varphi_1'}{1 - \delta\varphi_1'} = \underline{-11,023D}$$

$$r_1 = \frac{n-1}{\varphi_1'} = \frac{0,523}{6} \text{ m} = \underline{87,2 \text{ mm}}$$

$$r_2 = \frac{1-n}{\varphi_2'} = \underline{47,5 \text{ mm}}$$

## Příklad 4

$$S' = +8D; \quad n = 1,523; \quad r_2 = 87,0 \text{ mm}; \quad r_1 = ?; \quad d = 5 \text{ mm}$$

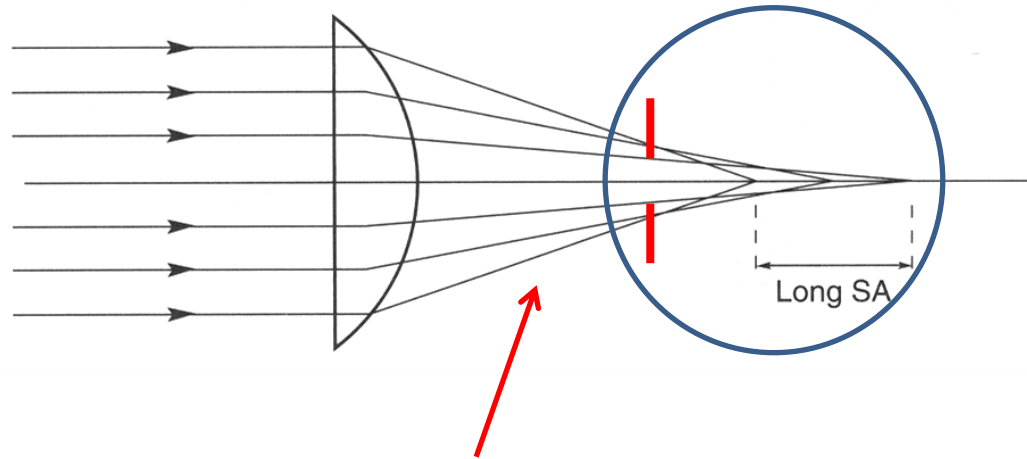
$$\varphi_2' = \frac{1-n}{r_2} = \frac{-0,523}{0,087 \text{ m}} = -6,012 D$$

$$\varphi_{1,t\bar{e}}' = S' - \varphi_2' = +14,012 D$$

$$\varphi_1' = \frac{\varphi_{1,t\bar{e}}'}{1 + \delta\varphi_{1,t\bar{e}}'} = +13,396 D$$

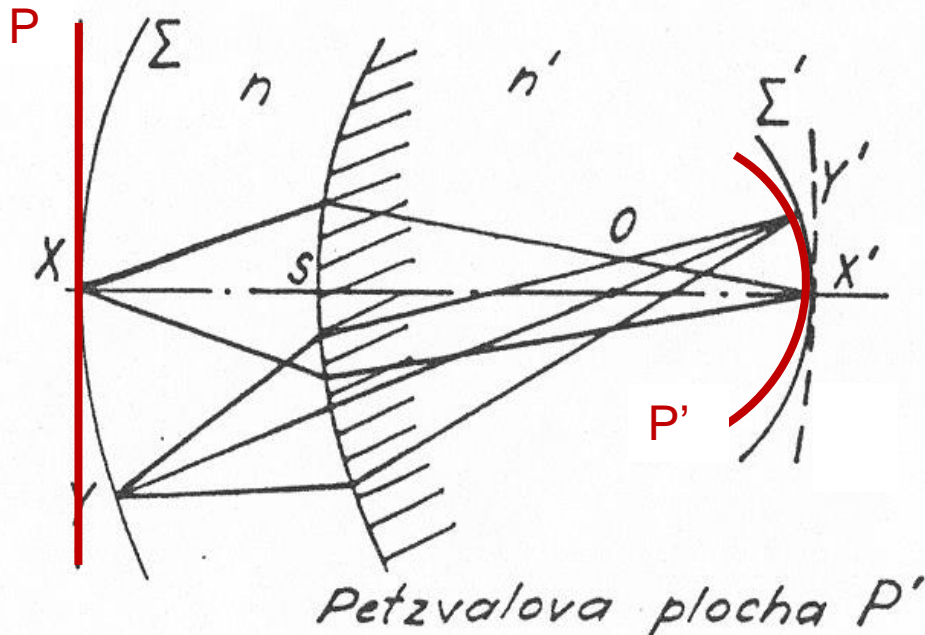
$$r_1 = \frac{n-1}{\varphi_1'} = \underline{39,0 \text{ mm}}$$

# Vady brýlové čočky



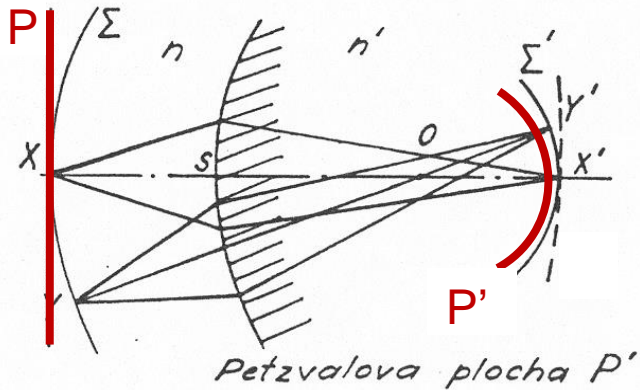
- **Otvorová vada a koma** se projevují málo, protože svazek je omezen relativně malou pupilou oka – zornicí.
- **Barevná vada** může být omezena vhodným výběrem materiálu čočky.
- **Zkreslení** je dobře korigováno mozkiem.
- **Periferní astigmatismus a sklenutí pole** jsou **podstatné**, jejich správná korekce zaručuje bodové zobrazování.

# Petzvalovo sklenutí pole



- Při sklenutí pole jsou body rovinné předmětové plochy P ostře zobrazeny na sférickou (kulovou) plochu P', což je tzv. **Petzvalova plocha**.

# Poloměr Petzvalovy plochy



1807 - 1891

jedna lámavá plocha:      tenká čočka:

$$R_P = \frac{nr}{n - n'}$$

$$R_P = -nf'$$

Petzvalova suma pro  
soustavu tenkých čoček:

$$\frac{1}{R_P} = - \sum \frac{1}{n_i f_i'} = - \sum \frac{\varphi_i'}{n_i}$$

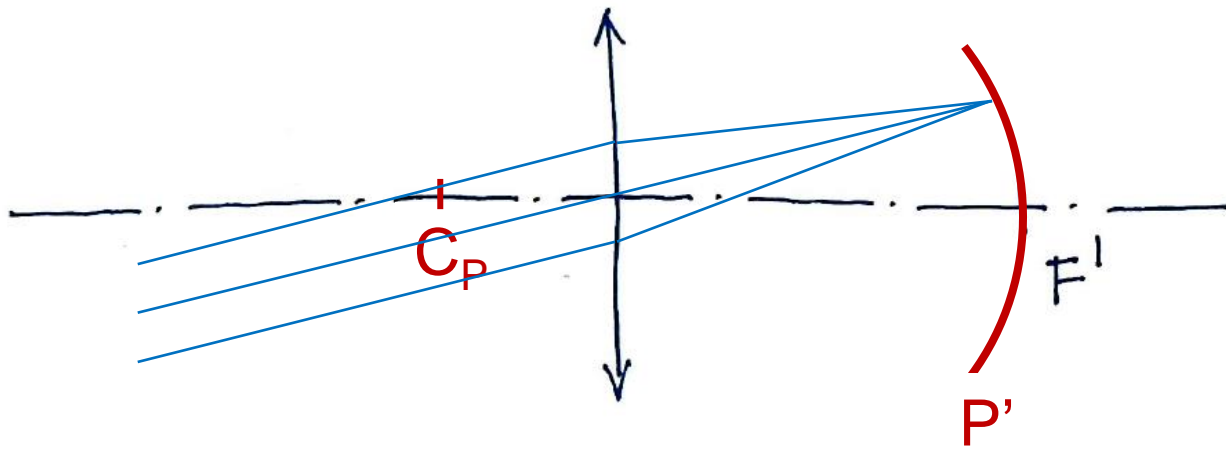
Petzvalova-Coddingtonova podmínka pro rovinné pole soustavy čoček:

$$\frac{1}{R_P} = - \sum \frac{1}{n_i f_i'} = - \sum \frac{\varphi_i'}{n_i} = 0$$

# Príklad

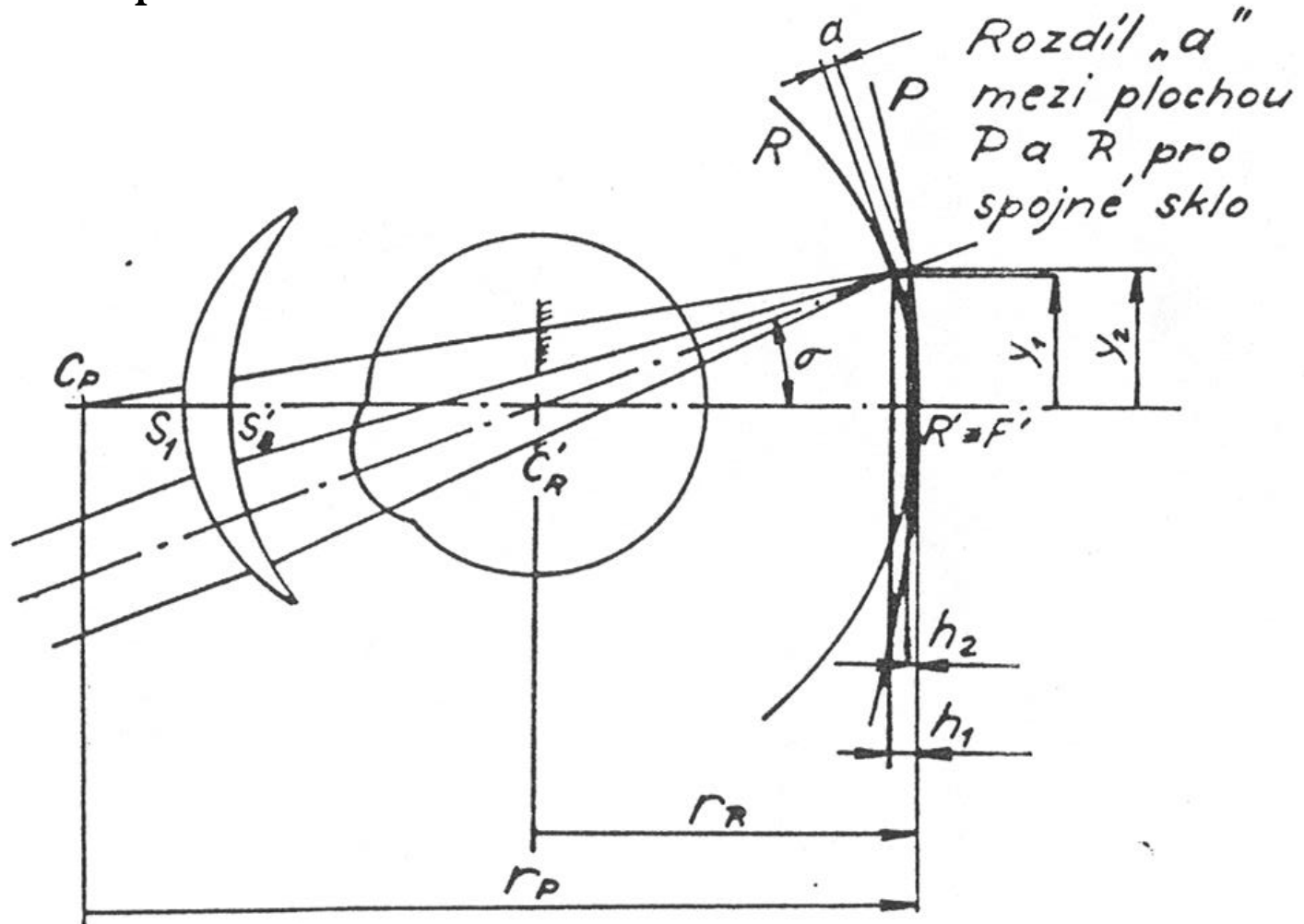
$$\varphi' = +5D$$
$$n = 1,5$$

$$f' = \frac{1}{5} m = +20 \text{ cm}$$
$$R_p = -n f' = -30 \text{ cm}$$



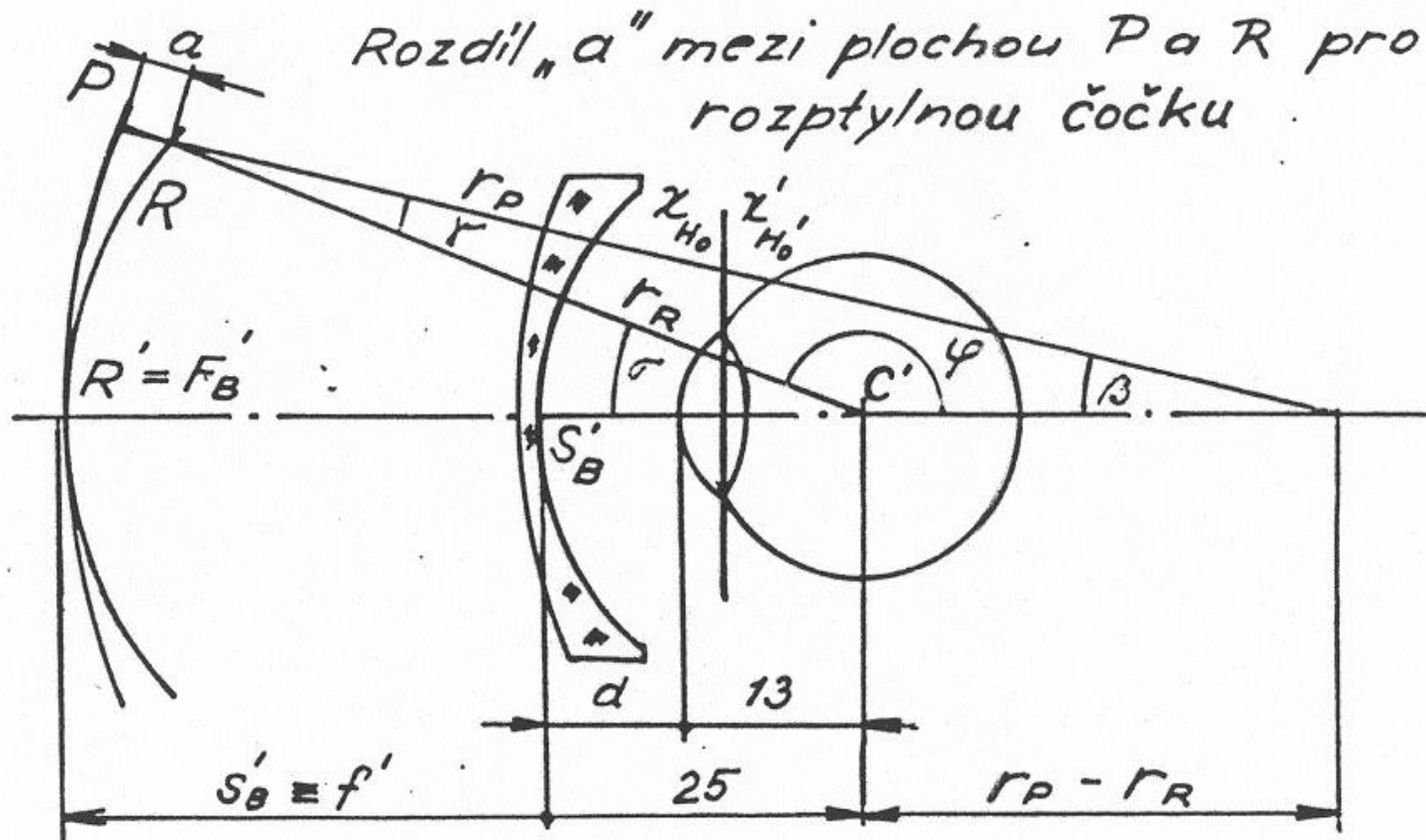
# Sklenutí pole a otáčení oka

hypermetrop



# Sklenutí pole a otáčení oka

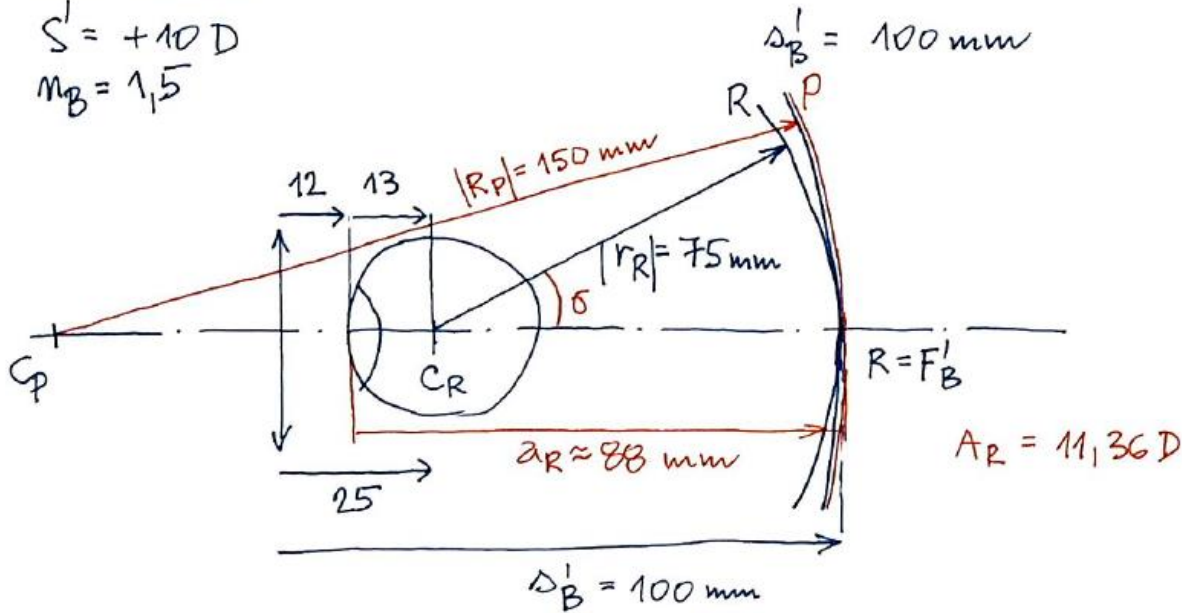
myop



# Príklad

$$S' = +10 D$$

$$m_B = 1,5$$



polomer sféry ďalekého bodu (R) ...  $r_R = -\Delta_B' + 25 \text{ mm} = -75 \text{ mm}$

polomer Petzvalovy sféry (P) ...  $R_P = -\frac{m_B f_B'}{\varphi_B'} = -\frac{m_B}{S'} = -m_B \Delta_B' = -150 \text{ mm}$

pro  $\sigma = 20^\circ$  vzniká odchylka osi 2,4 mm

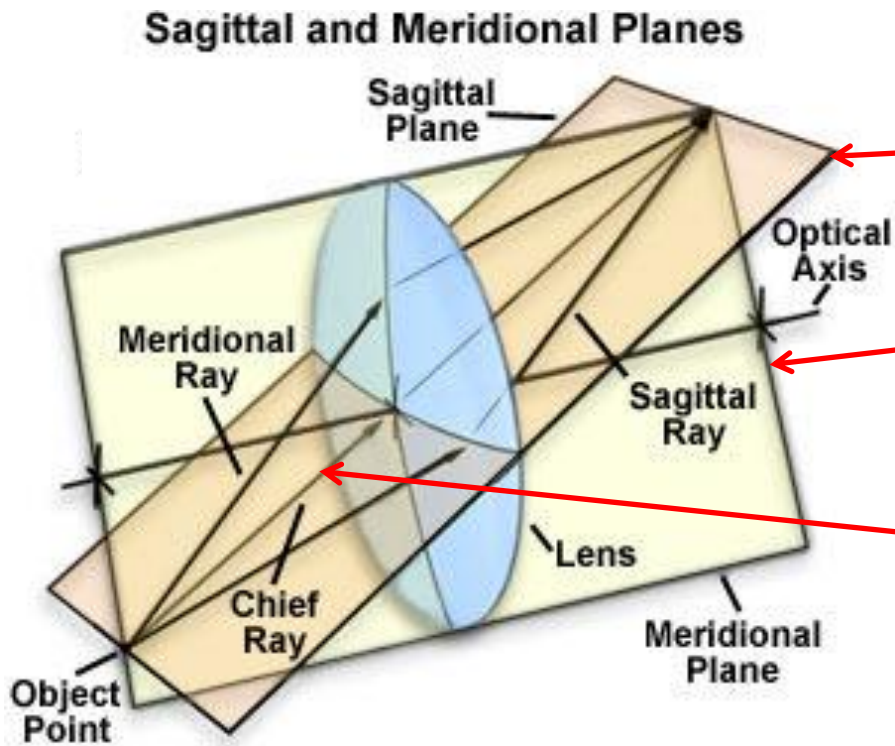
tj. brylová čočka vytráří zobrazení bodu v nekonečnu o 2,4 mm ďalej, než leží ďaleký bod oka při otočení  $20^\circ$

vergence svazku vytrářeného  $B\bar{C}$  na hl. rovině oka je tedy

osí  $\frac{1}{0,0904 \text{ m}} = \underline{11,06 D}$ , má být rovna  $A_R = \underline{11,36 D}$ .



# Tangenciální a sagitální rovina



sagitální rovina

obsahuje hlavní paprsek, je kolmá na tangenciální rovinu

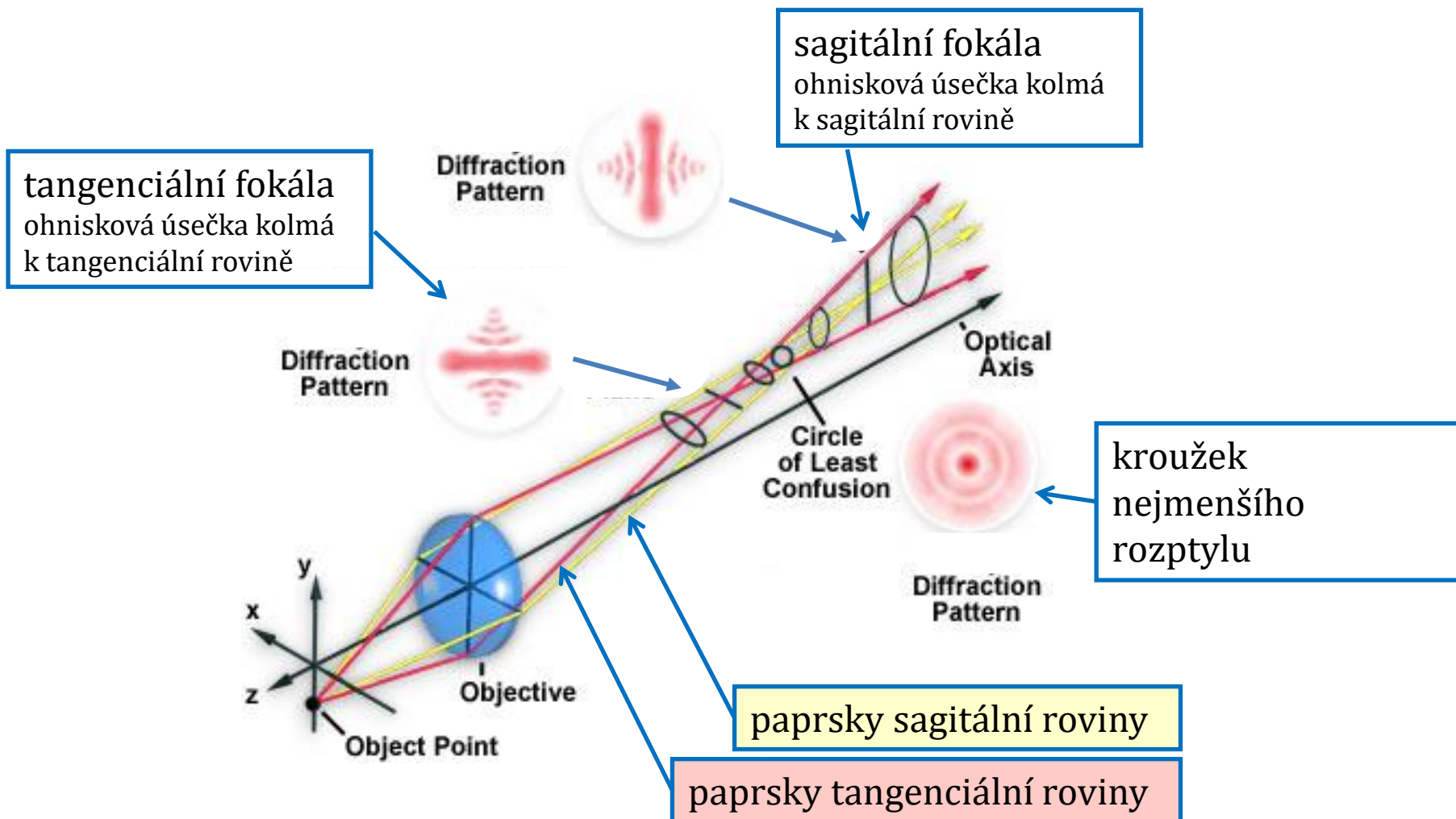
tangenciální (meridionální) rovina

obsahuje hlavní paprsek (tj. také předmětový bod) a optickou osu

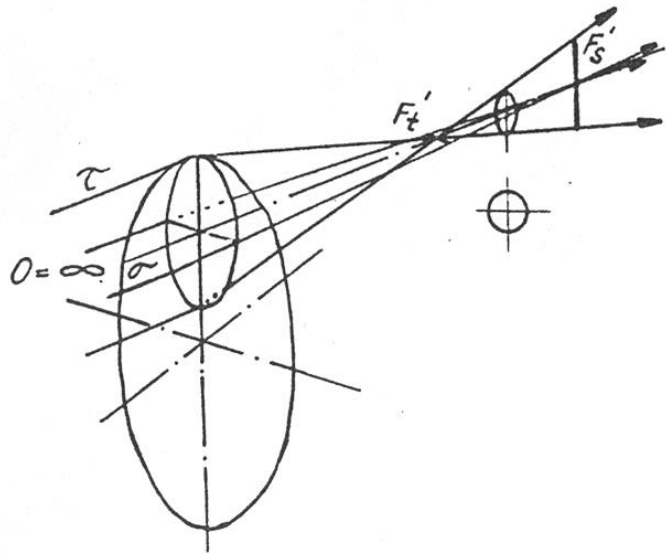
hlavní paprsek

prochází předmětovým bodem a středem pupily

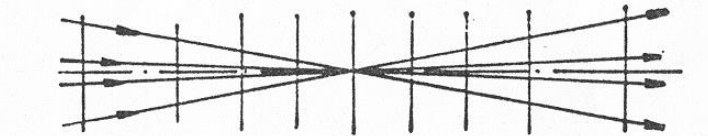
# Astigmatický svazek



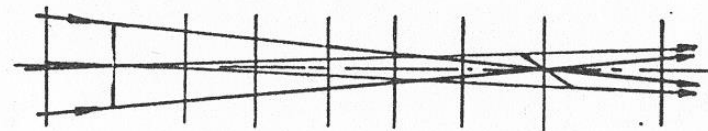
# Astigmatický svazek



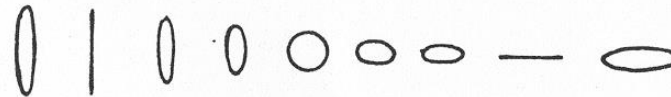
Fokály astigmatického svazku



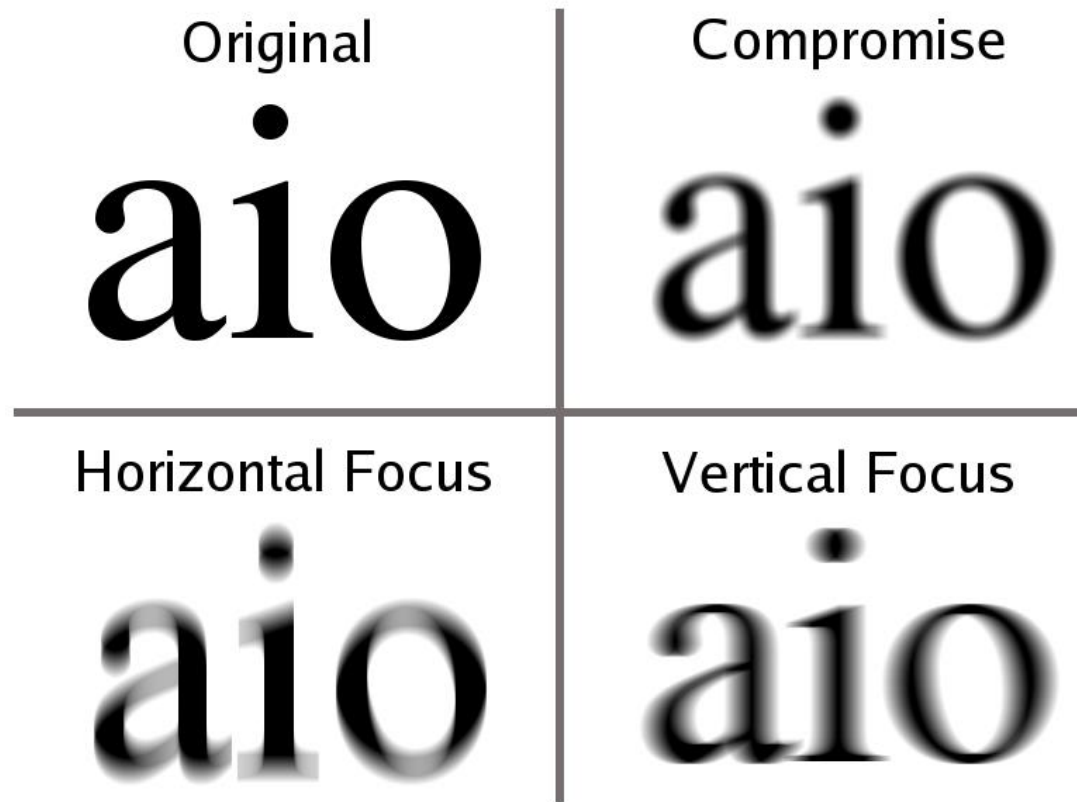
Ideální svazek paprsků



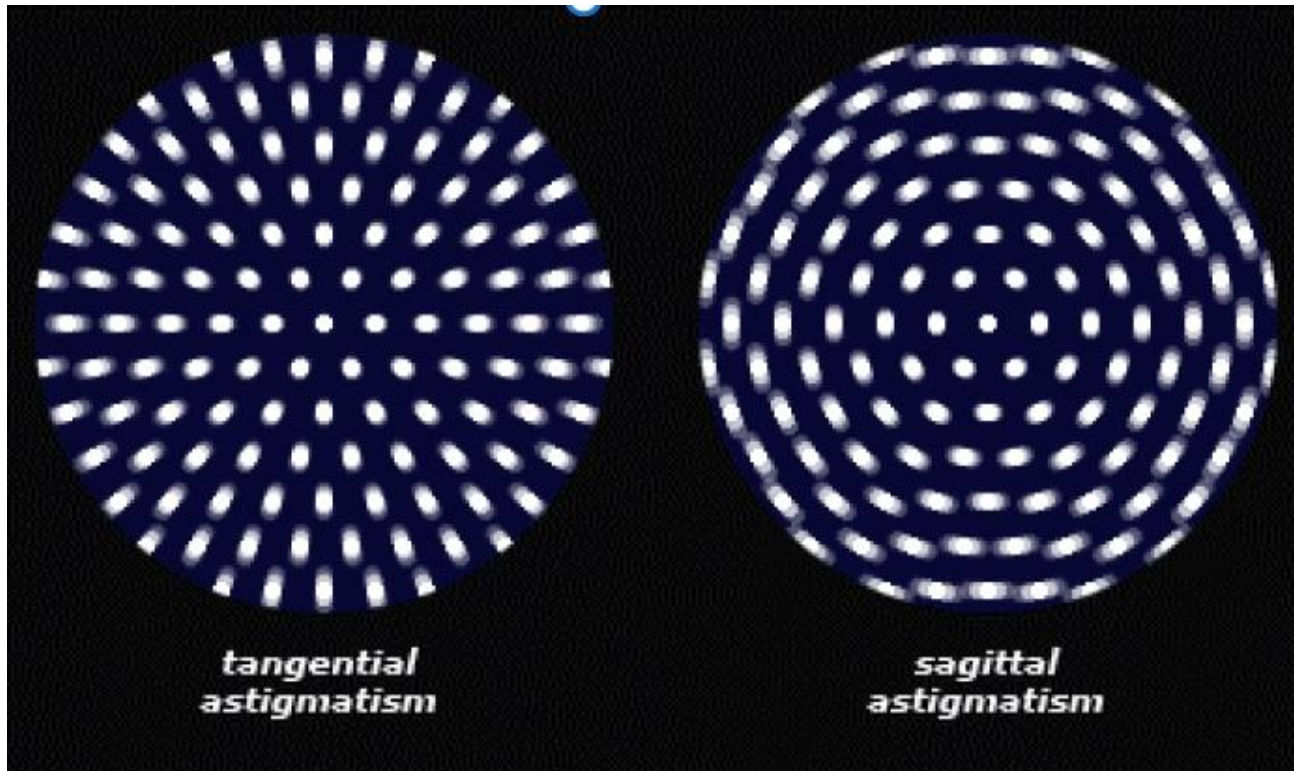
Astigmatický svazek paprsků



# Zobrazení astigmatickým svazkem

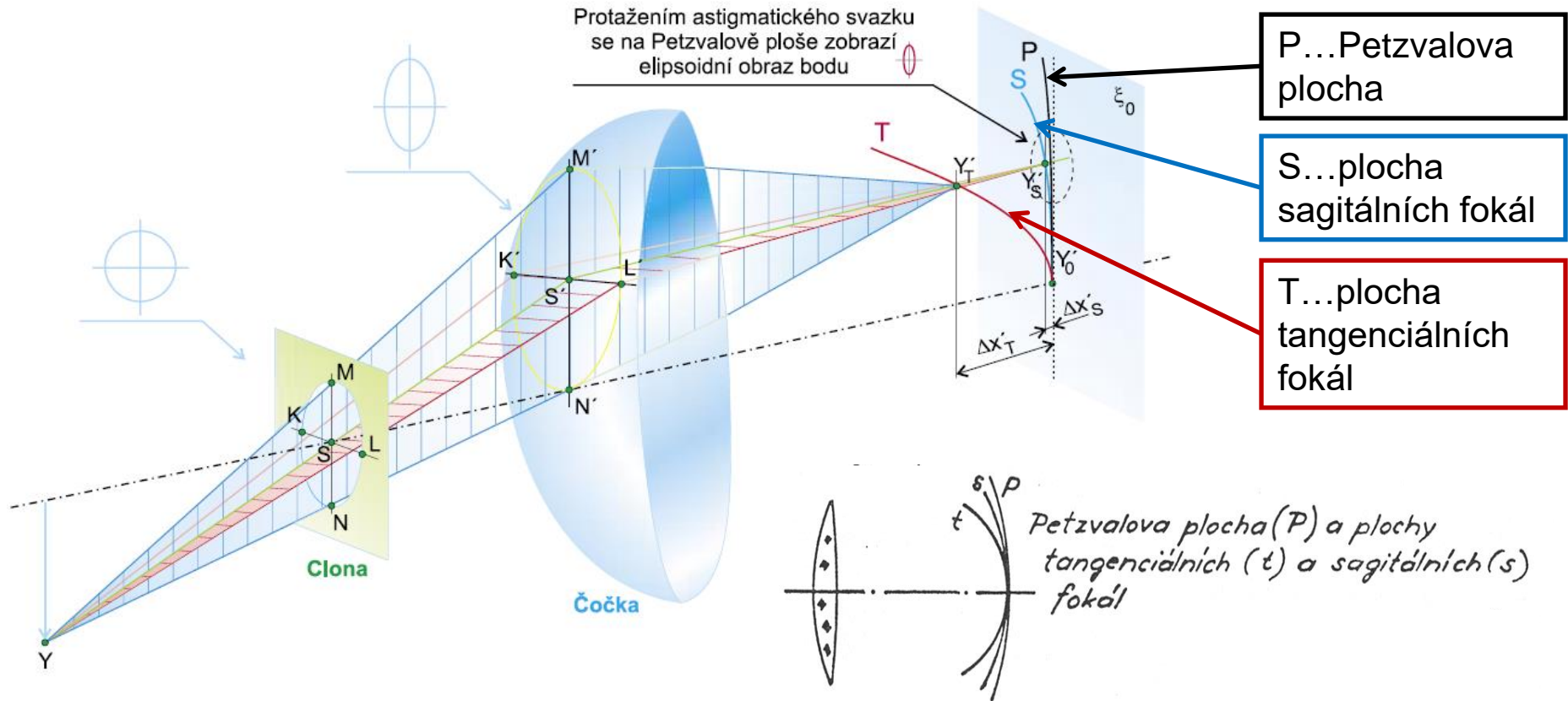


# Zobrazení astigmatickým svazkem

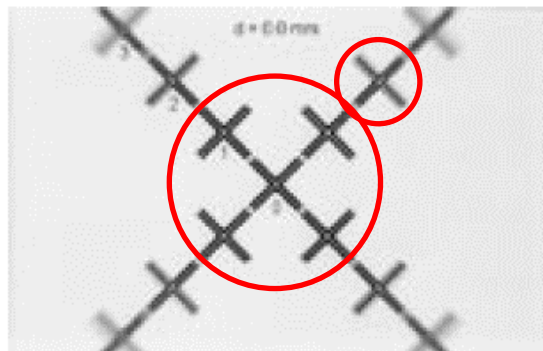


(zobrazení sagitální fokálou) (zobrazení tangenciální fokálou)

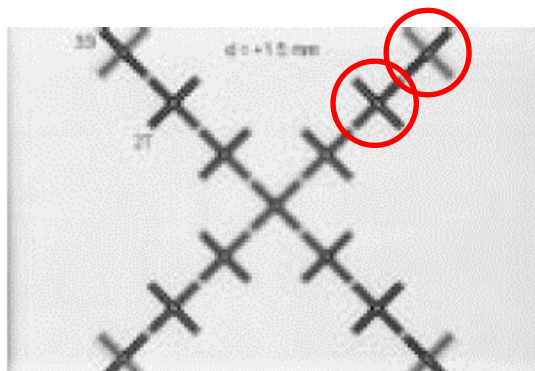
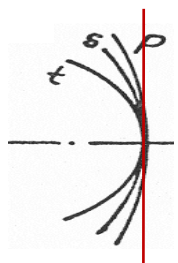
# Periferní astigmatismus čočky



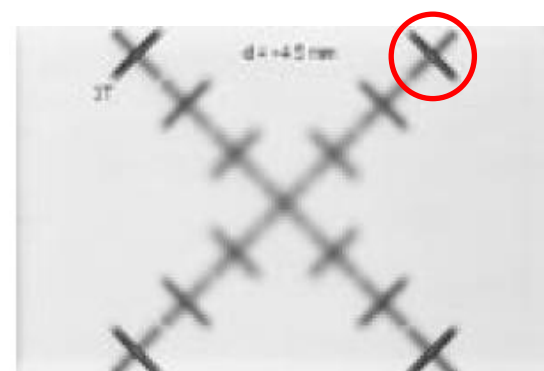
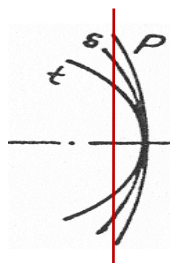
# Zobrazení astigmatickým svazkem



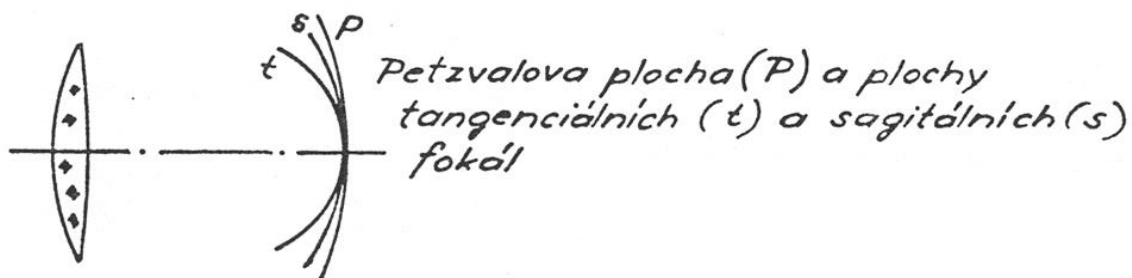
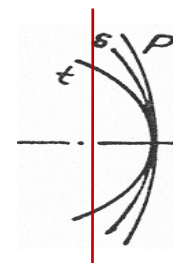
$d = 0$  mm  
(od ohniska k čočce)  
zaostřena centrální  
část a 2S čáry



$d = -1,5$  mm  
(od ohniska k čočce)  
centrální část rozostřena,  
zaostřeny 2T a 3S čáry



$d = -4,5$  mm  
(od ohniska k čočce)  
centrální část rozostřena,  
zaostřeny 3T čáry



# Korekce periferního astigmatismu



**William Hyde Wollaston** (1766-1828 ←) v roce 1804 prokázal, že zraková ostrost pozorovatele **klesá**, když se dívá přes **periferii** bikonvexních brýlových čoček. Současně zaznamenal, že skla ve tvaru menisku poskytují vyšší kvalitu vidění a navrhl sérii čoček s velkou křivostí, které zlepšovaly periferní vidění díky korekci periferního astigmatismu.

**Franz Ostwalt\*** (1862-1937, ) v roce 1898 navrhl sadu meniskových čoček s menšími křivostmi, které rovněž zmenšovaly periferní astigmatismus.

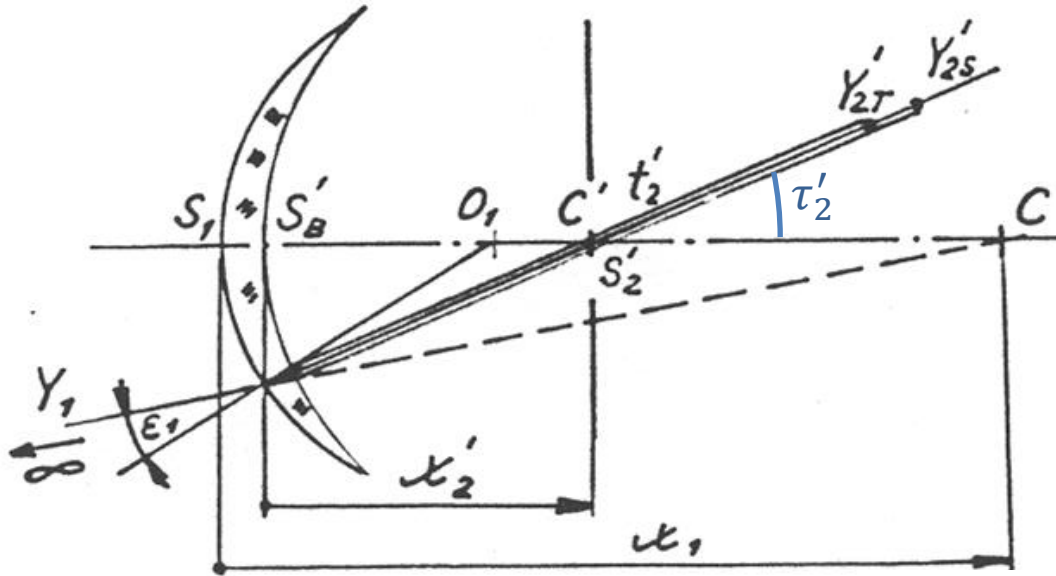
Návrhem čoček meniskového tvaru s korigovaným periferním astigmatismem se významně zabýval také **Marius Hans Erik Tscherning** (1854-1939, dánský optalmologista →).



\*Bývá zaměňován s Friedrichem Wilhelmem Ostwaldem, 1853-1932, slavným fyzikálním chemikem.



# Výpočet poloh fokál 1 (situace)

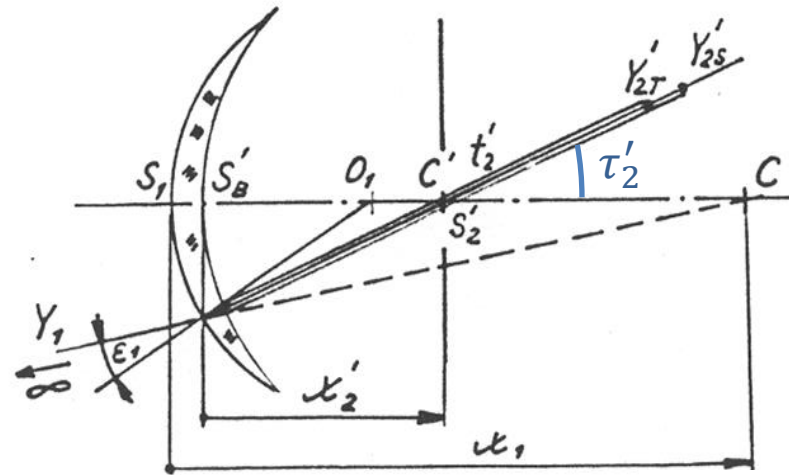


- $Y_1$  ... mimoosový předmětový bod v nekonečnu
- $Y'_{2T,S}$  ... jeho zobrazení paprsky v tangenciální, sagitální rovině (fokály)
- $t'_2 s'_2$  ... vzdálenosti fokál
- $C'$  ... střed otáčení oka s myšlenou clonou,  
jejímž středem prochází hlavní paprsek
- $x'_2$  ... vzdálenost  $C'$  od vrcholu zadní plochy brýlové čočky
- $\tau'_2$  ... úhel otočení oka

# Výpočet poloh fokál 2 (postup)

1. počítáme vzdálenosti fokál  $Y'_{2T,S}$  brýlové čočky
2. podmínka nulového periferního astigmatismu:  

$$Ast = \frac{1}{t'_2} - \frac{1}{s'_2} = 0$$
3. svazek omezen zornicí, která rotuje s okem, proto ji nahradíme myšlenou pevnou clonou umístěnou do středu  $C'$  otáčení oka
4. hlavní paprsek tudíž prochází bodem  $C'$ ; průběh paprsku odvodíme zpětným trasováním
5. vzdálenosti fokál vypočteme použitím **Coddingtonových rovnic** postupně pro první a druhou plochy čočky



**Coddingtonovy rovnice** jsou obdobou Gaussovy zobrazovací rovnice. Platí pro úzký svazek v okolí hlavního paprsku a mají odlišný tvar pro **tangenciální** a **sagitální** rovinu. Pro jednu plochu mají tvar:

$$\frac{n' \cos^2 \varepsilon'}{t'} = \frac{n \cos^2 \varepsilon}{t} + \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{r}$$

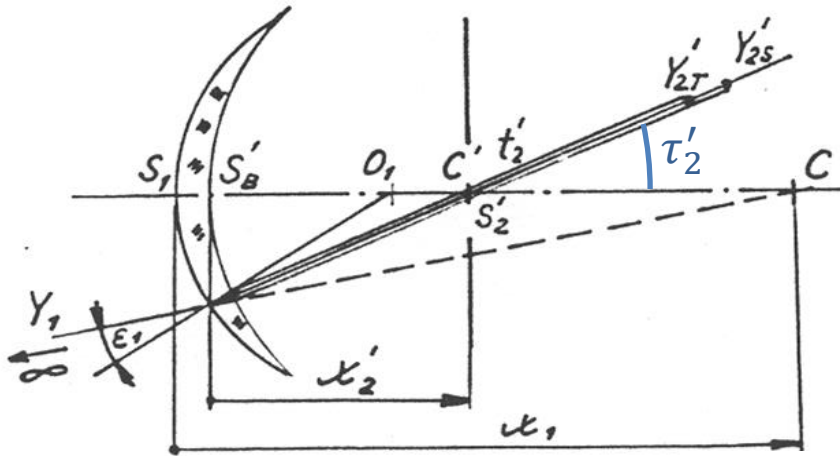
$$\frac{n'}{s'} = \frac{n}{s} + \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{r}$$

Gaussova zobrazovací rovnice (pro srovnání):

$$\frac{n'}{x'} = \frac{n}{x} + \frac{n' - n}{r}$$

( $\varepsilon, \varepsilon'$  ... úhel dopadu, resp. lomu hlavního paprsku)

# Podmínka nulového astigmatismu



$Y_1$	... předmětový bod v $\infty$
$Y'_{2T,S}$	... fokály
$t'_2 s'_2$	... vzdálenosti fokál
$C'$	... střed otáčení oka
$\tau'_2$	... úhel otočení oka

1. podmínka  $Ast = \frac{1}{t'_2} - \frac{1}{s'_2} = 0$  je splněna, právě když platí (aproximace tenké čočky):

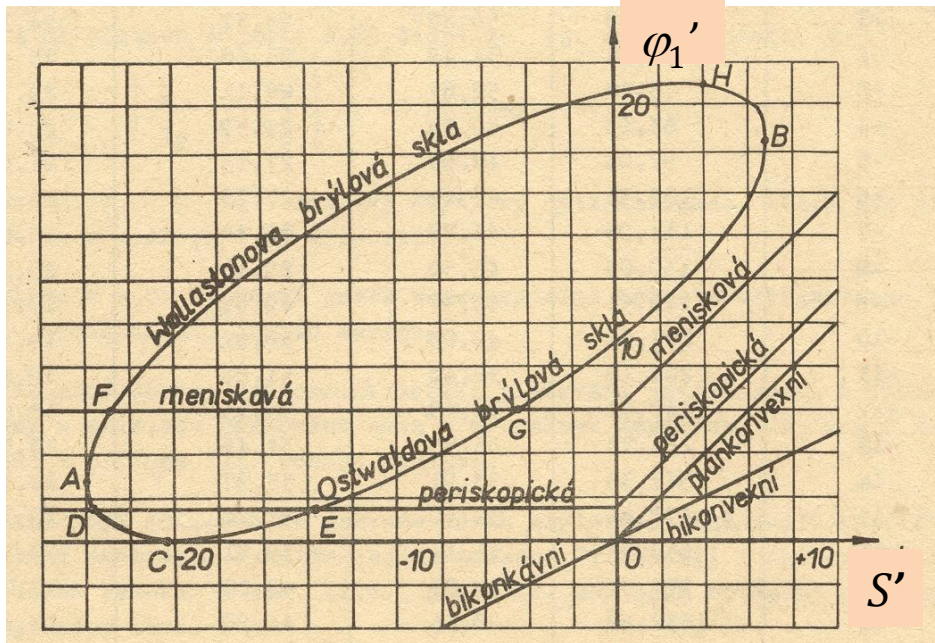
$$\varphi_1'^2(n+2) - \varphi_1' \left[ \varphi_C'(n+2) + \frac{2}{x'_2}(n^2-1) \right] + n \left( \varphi_C' + \frac{n-1}{x'_2} \right)^2 = 0$$

2. řešení této kvadratické rovnice pro  $n = 1,523$ ,  $x'_2 = 25$  mm má tvar:

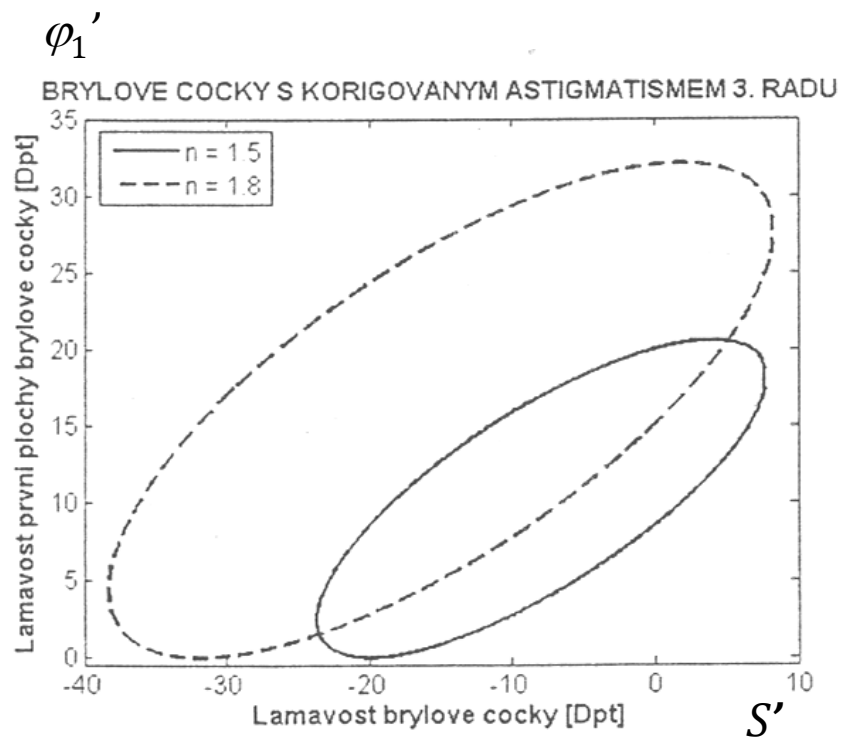
$$\varphi_1' = \frac{\varphi_C' + 29,78}{2} \pm \sqrt{\left( \frac{\varphi_C' + 29,78}{2} \right)^2 - 0,4318\varphi_C'^2 - 17,96\varphi_C' - 186,8}$$

3. Graficky je výsledek vyjádřen pomocí tzv. Tscheringovy elipsy →

# Tscherningova elipsa

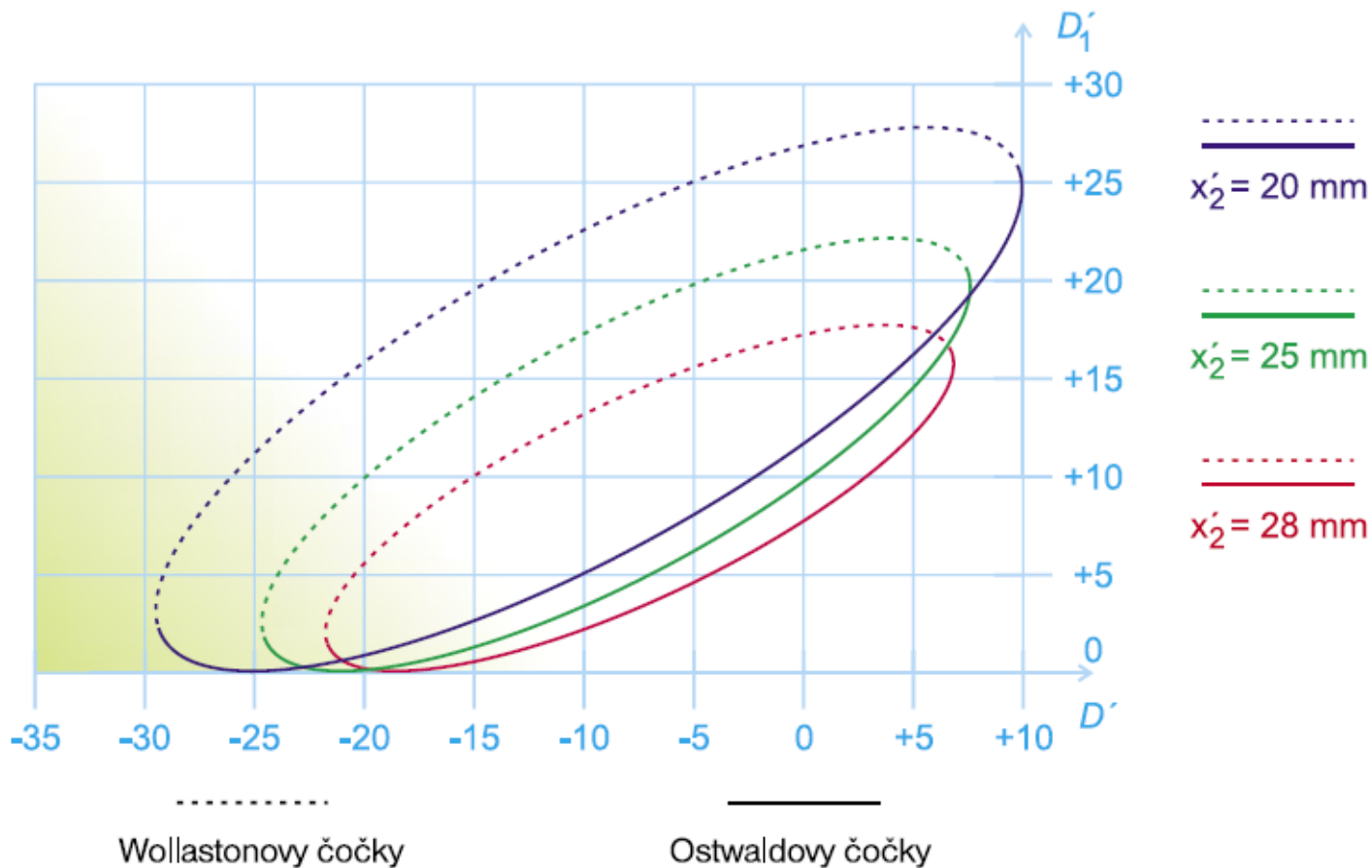


$$n = 1,523, x'_2 = 25 \text{ mm}$$



$$n = 1,5 / n = 1,8, x'_2 = 25 \text{ mm}$$

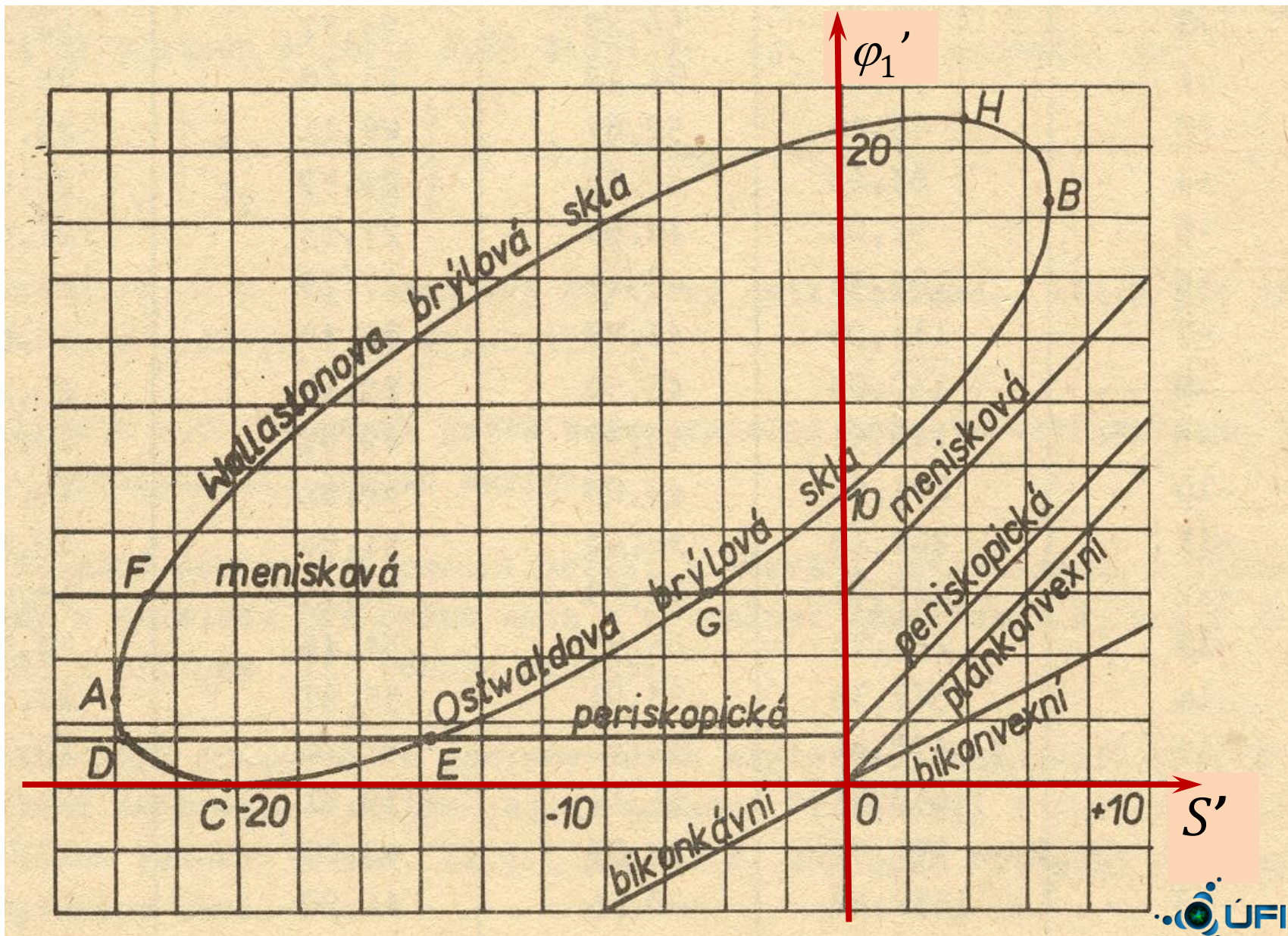
# Tscherningova elipsa



vzdálenost BČ od  
středu otáčení oka

# Oblasti řešení

$$n = 1,523, x'_2 = 25 \text{ mm}$$



# Poloměry křivosti ploch

S' [D]	Ostwalt		Wollaston	
	1. řešení		2. řešení	
	r <sub>1</sub> mm	r <sub>2</sub> mm	r <sub>1</sub> mm	r <sub>2</sub> mm
7	32,01	55,99	25,36	38,39
6	35,32	59,37	24,72	34,61
5	38,49	60,89	24,47	31,94
4	41,78	61,29	24,39	29,98
3	45,27	61,16	24,43	28,41
2	49,06	60,39	24,52	27,09
1	53,22	59,25	24,74	25,97
0	57,83	57,83	24,99	24,99
-1	62,93	56,22	25,31	24,15
-2	68,84	54,49	25,68	23,38
-3	75,48	52,67	26,11	22,71
-4	83,13	50,82	26,59	22,09
-5	92,04	48,96	27,13	21,54
-6	102,51	47,11	27,73	21,04
-7	114,98	45,29	28,40	20,58
-8	130,03	43,50	29,15	20,17
-9	148,51	41,77	29,99	19,78
-10	171,63	40,09	30,92	19,43
-11	201,18	38,46	31,96	19,11
-12	240,01	36,89	33,13	18,82
-13	294,73	35,37	34,46	18,57
-14	367,35	33,91	35,97	18,33
-15	478,84	32,50	37,70	18,12
-16	658,21	31,14	39,71	17,93
-17	978,67	29,83	42,08	17,77
-18	1652,92	28,55	44,90	17,64
-19	3552,02	27,32	48,35	17,54
-20	14223,55	26,10	52,69	17,48
-21	261500,00	24,90	58,35	17,46
-22	8211,65	23,70	66,20	17,49
-23	1869,99	22,47	78,25	17,62
-24	664,41	21,10	86,07	17,99

Platí pro tenké brýlové čočky  
vzdálené 25 mm od bodu otáčení oka  
při pozorování vzdálených předmětů  
a pro malé úhly.

# Bodově zobrazující čočky (Carl Zeiss 1912)



Moritz von Rohr (1868-1940)

V roce 1912 propočítal design bodově zobrazujících čoček pro Carl Zeiss (Jena).

Tak začala výroba čoček (skel) „Punktal“.

## ZEISS PUNKTAL-GLÄSER

Durch das  
**alte bikonvexe Brillenglas**

sieht man von der Mitte nach dem  
Rande zunehmend schlechter

Durch das  
**ZEISS-Punktalglas**

sieht man von der Mitte bis zum  
Rande gleich gut

Druckschrift „Opto 55“ kostenlos

BERLIN HAMBURG WIEN Buenos Aires

# ZEISS PUNKTAL-GLÄSER

Punktuell abbildende Brillengläser  
für Kurz- u. Weitsichtigkeit u. Astigmatismus.

Altes bikonvexes Brillenglas	Neues Punktalglas von CARL ZEISS, Jena
0°	0°
10°	10°
20°	20°
30°	30°

Diese Bilder werden wahrgenommen bei einer Ablenkung der Blickrichtung um 10°, 20°, 30° von der Achse

**Deutliche Abbildung**  
bei jeder Blickrichtung von der Mitte bis zum Rande des Glases.

**Ausnutzung der natürlichen Beweglichkeit des Auges.**

Brillen mit Zeiss-Punktalgläsern sind ohne Mechanismus als Schiessbrillen verwendbar.

Nur durch Optiker zu beziehen.

Prospekt Opto 17 kostenfrei.

BERLIN · HAMBURG · WIEN · BUENOS AIRES



# Korekce astigmatismu pro tlusté brýlové čočky

Podmínka pro korekci periferního astigmatismu vyjádřená Tscherningovou elipsou byla odvozena pro:

- tenkou čočku
- předmět v nekonečnu
- malé úhly

$$Ast = \frac{1}{t'_2} - \frac{1}{s'_2} = 0$$

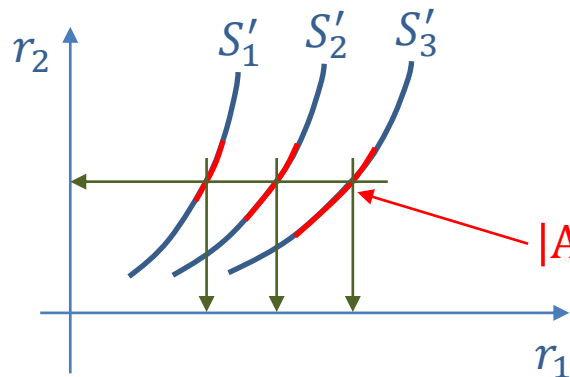
Postup návrhu **tlustých bodově zobrazujících čoček**:

1. výchozí poloměry křivosti  $r_1, r_2$  se vypočtou pro tenkou čočku
2. numerickým trasováním paprsků se sleduje astigmatismus šikmých svazků pro navrhovanou tlustou čočku, požadovaný úhel  $\tau'_2$  natočení oka (například  $30^\circ$ ) a požadovanou polohu předmětu
3. poloměry křivosti se mírně upravují s cílem dosáhnout hodnoty astigmatismu  $|Ast| = \left| \frac{1}{t'_2} - \frac{1}{s'_2} \right| \leq 0,05 D$  – pro tuto hodnotu má rozptylová elipsa na sítnici úhlovou velikost pod  $1'$ , tj. vidíme ji jako bod

# Princip návrhu **tlustých** bodově zobrazujících čoček

Prakticky se sjednocují mohutnosti první či druhé plochy pro několik sousedních hodnot  $S'$ :

1. pro zadané  $S'$  se numericky stanoví **oblast** (hodnoty  $r_1, r_2$ ), na které platí  $|Ast| \leq 0,05 D$



$$r_2 = r_2(r_1, S', n_B, d_B, \dots) \approx \frac{r_1}{1 - S' \frac{r_1}{n_B - 1}}$$

2. pak se zvolí hodnota jednoho z poloměrů křivosti (například  $r_2$ ), která protíná všechny zvolené toleranční oblasti a pro tuto hodnotu se dopočítají potřebné hodnoty  $r_1$  odpovídající požadované  $S'$

# Příklad českých čoček – „skupinová skla“

Charakteristické parametry skupinových skel čs. výroby

Vrcholová lámavost $A'$ [dpt]	Optická mohutnost základní plochy $D_2$ , resp. $D_1$ [dpt]	Optická mohutnost doplnkové (tvořící) plochy [dpt]	Středová tloušťka $d$ [mm]
$S_B^I$ 0,00	$\varphi_2^I$	$\varphi_1^I$ +5,95	$d$ 1,8
+0,25		+6,20	1,8
+0,50		+6,44	2,0
+0,75		+6,58	2,1
+1,00		+6,93	2,2
+1,25		+7,17	2,3
+1,50		+7,41	2,4
+1,75		+7,65	2,5
+2,00		+7,89	2,6
+2,25		+8,13	2,7
+2,50		+8,36	2,8
+2,75		+8,60	2,9
+3,00		+8,84	3,0
+3,25		+9,07	3,1
+3,50		+9,20	3,3
+3,75		+9,54	3,4
+4,00		+9,67	3,6
+4,50		+10,23	3,8
+5,00		+10,69	4,0
+5,50		+11,13	4,4
+6,00		+11,57	4,7
+6,50		+12,04	4,6
+7,00		+12,46	5,0
+7,50		+12,89	5,3
+8,00		+13,31	5,6
+8,50	+13,77	5,5	
+9,00	$D_1 = -6,00$ dpt	+12,40	5,6
+9,50		+12,82	5,9
+10,00		+13,24	6,2
+10,50		+13,66	6,4
+11,00		+14,15	6,3
+11,50		+14,54	6,4
+12,00		+14,92	6,8
+12,50		+15,30	7,2
+13,00		+15,60	7,6
+13,50		+16,03	8,0
+14,00	+16,38	8,3	
+14,50	+16,72	8,8	
+15,00	$D_1 = -4,00$ dpt	+16,38	8,3
+15,50		+16,72	8,8
+16,00		+17,05	9,1
+17,00		+17,72	9,8
+18,00		+18,50	9,8
+19,00	$D_1 = -3,00$ dpt	+17,55	10,6
+20,00		+18,18	11,2

(pokračování)

Vrcholová lámavost $A'$ [dpt]	Optická mohutnost základní plochy $D_2$ , resp. $D_1$ [dpt]	Optická mohutnost doplnkové (tvořící) plochy [dpt]	Středová tloušťka $d$ [mm]
$S_B^I$ -0,25	$\varphi_1^I$	$\varphi_2^I$ -6,29	$d$ 1,7
-0,50		-6,53	1,6
-0,75		-6,78	1,5
-1,00		-7,03	1,4
-1,25		-7,28	1,3
-1,50		-7,52	1,2
-1,75		-7,77	1,2
-2,00		-8,02	1,1
-2,25		-8,27	1,1
-2,50		-8,52	1,1
-2,75		-8,77	1,0
-3,00		-9,02	0,9
-3,25		-9,26	0,8
-3,50		-9,51	0,8
-3,75		-9,76	0,8
-4,00	$D_1 = +6,00$ dpt	-8,51	0,8
-4,50		-9,01	0,8
-5,00		-9,51	0,8
-5,50		-10,00	0,7
-6,00		-10,50	0,7
-6,50	$D_1 = +4,50$ dpt	-9,52	0,7
-7,00		-10,02	0,7
-7,50		-10,52	0,6
-8,00		-11,02	0,6
-8,50		-11,52	0,5
-9,00	-12,02	0,5	
-9,50	$D_1 = +3,00$ dpt	-11,52	0,5
-10,00		-12,02	0,5
-10,50		-12,51	0,5
-11,00		-13,02	0,5
-11,50		-13,52	0,5
-12,00	$D_1 = +2,00$ dpt	-13,02	0,5
-12,50		-13,51	0,5
-13,00		-14,01	0,5
-13,50		-14,50	0,5
-14,00		-15,00	0,5
-14,50	$D_1 = +1,00$ dpt	-15,50	0,5
-15,00		-16,00	0,5
-15,50		-16,50	0,5
-16,00		-17,00	0,5
-17,00		-18,00	0,5
-18,00	$D_1 = 0,00$ dpt	-19,00	0,5
-19,00		-20,00	0,5
-20,00		-20,00	0,5
-20,00		-20,00	0,5

# Příklad českých čoček – Diosfer, Punktur

autoři využili počítačacích strojů a podrobně zhodnotili vliv tloušťky i křivosti skel s ohledem na optimální návrh při pozorování různě vzdálených předmětů. Kompromisem mezi konvenční vzdáleností do blízka (250 mm) a do dálky ( $\infty$ ) dospěli k brýlovým sklům s minimálním astigmatismem. Tato skla vyrábí n. p. Dioptra – Turnov pod názvem DIOSFER (tabulka 1.13).

Skutečnost, že jde o bodově zobrazující brýlová skla, zdůrazňují někteří výrobci, v jejich názvu (C. Zeiss: PUNCTAL, Dioptra: PUNKTUR; punctum (lat.) = bod). Některé parametry skel zn. PUNKTUR jsou uvedeny v tabulce 1.14.

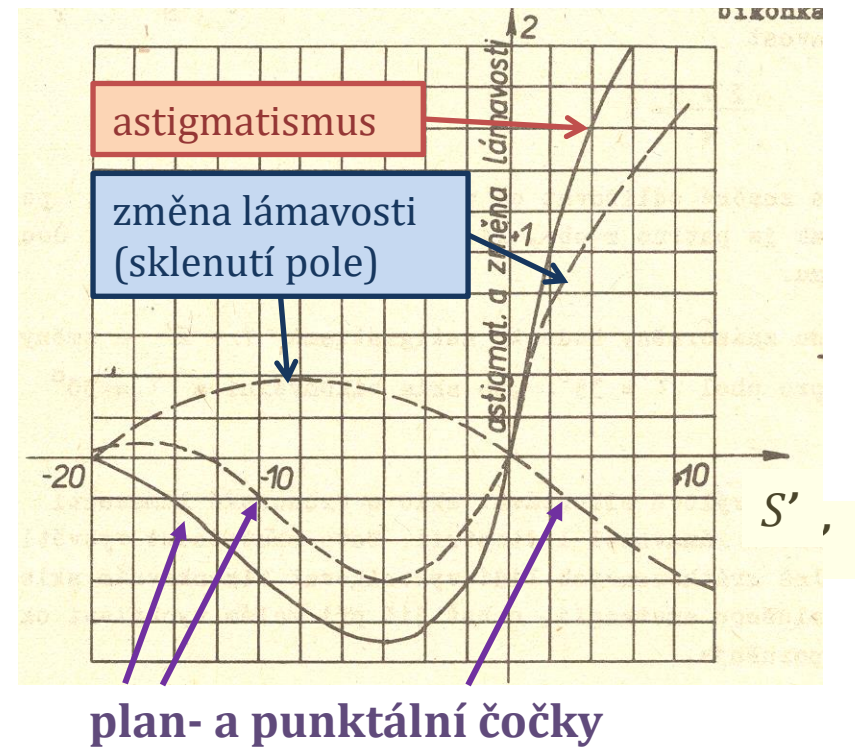
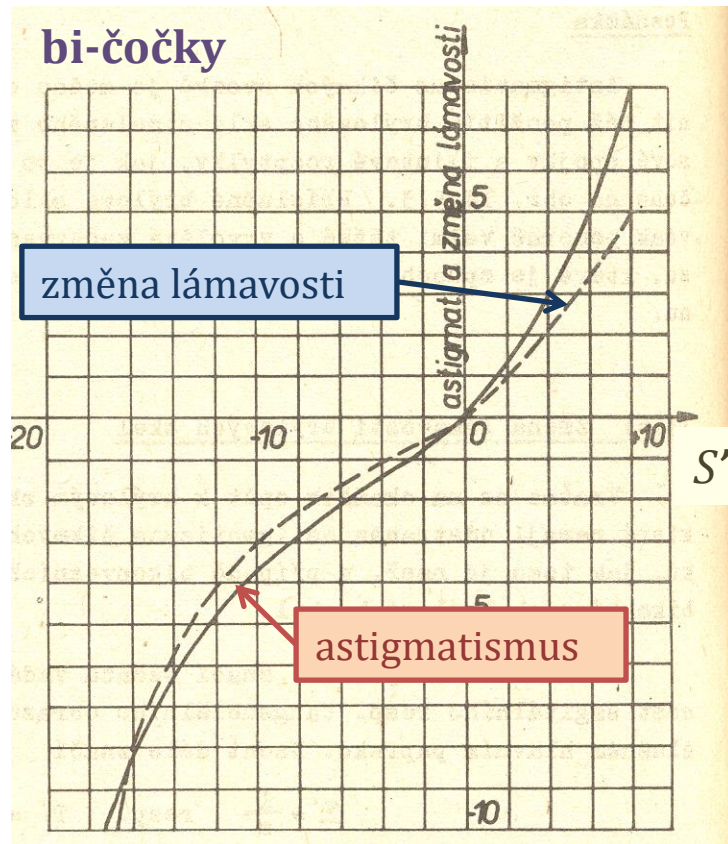
Charakteristické parametry čs. brýlových skel DIOSFER

Vrcholová lámavost $A'$ [dpt]	Optická mohutnost vypuklé plochy $D_1$ [dpt]	Optická mohutnost duté plochy $D_2$ [dpt]	Sředová tloušťka $d$ [mm]
$S_B^I$ 0,00	$\varphi_1$ +5,95	$\varphi_2$	$d$ 2,0
+0,25	+6,20	-6,00	2,1
+0,50	+6,45		2,2
+0,75	+6,70		2,3
+1,00	+6,95		2,4
+1,25	+7,19		2,6
+1,50	+7,44		2,7
+1,75	+7,65		2,8
+2,00	+7,92		2,9
+2,25	+8,13		3,0
+2,50	+8,38		3,2
+2,75	+8,63	3,3	
+3,00	+8,86	3,4	
+3,25	+9,10	3,5	
+3,50	+9,34	3,7	
+3,75	+9,57	3,8	
+4,00	+9,81	4,0	
-0,25	+6,00	-6,30	1,7
-0,50		-6,55	1,6
-0,75		-6,80	1,5
-1,00		-7,05	1,5
-1,25	+5,50	-6,80	1,4
-1,50		-7,05	1,3
-1,75		-7,30	1,3
-2,00		-7,55	1,2
-2,25	+5,00	-7,30	1,2
-2,50		-7,55	1,1
-2,75		-7,79	1,0
-3,00		-8,04	1,0
-3,25	+4,50	-7,79	1,0
-3,50		-8,04	1,0
-3,75		-8,28	1,0
-4,00		-8,53	1,0

Charakteristické parametry čs. bodově zobrazujících skel PUNKTUR

Vrcholová lámavost $A'$ [dpt]	Optická mohutnost vypuklé plochy $D_1$ [dpt]	Optická mohutnost duté plochy $D_2$ [dpt]	Sředová tloušťka $d$ [mm]
$S_B^I$ +0,25	$\varphi_1$ +6,355	$\varphi_2$	$d$ 1,8
+0,50	+6,601	-6,153	1,8
+0,75	+6,844		1,9
+1,00	+7,077		2,0
+1,25	+7,327		2,1
+1,50	+7,569		2,2
+1,75	+7,809		2,3
+2,00	+8,059		2,4
+2,25	+8,297	-6,882	2,5
+2,50	+8,524		2,6
+2,75	+8,744		2,8
+3,00	+8,957		3,1
+3,25	+9,164		3,1
+3,50	+9,364		3,2
+3,75	+9,559		3,3
+4,00	+9,747		3,5
+4,50	+11,308	-7,164	4,1
+5,00	+11,472		4,5
+5,50	+12,168		4,9
+6,00	+12,599	5,2	
-0,25	+6,173	-7,449	1,6
-0,50		-7,736	1,5
-0,75		-7,990	1,4
-1,00		-8,232	1,3
-1,25		-8,444	1,1
-1,50		-8,699	1,0
-1,75		-8,963	0,9
-2,00		-9,214	0,9
-2,25		-8,444	0,9
-2,50		-8,699	0,9
-2,75		-8,963	0,9
-3,00		-9,214	0,9
-3,25		-9,473	0,9
-3,50		-9,694	0,8
-3,75		+5,451	-9,214
-4,00	-9,473		0,7
-4,50	-9,966		0,7
-5,00	+4,705	-9,694	0,6
-5,50		-10,197	0,6
-6,00		-10,728	0,6

# Astigmatismus a sklenutí pole



$Ast = \frac{1}{t'_2} - \frac{1}{s'_2} \dots$  **astigmatismus** (rozdíl vergencí vzdáleností tangenciální a sagitální fokály)

$PE = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{t'_2} + \frac{1}{s'_2} \right) - S' \dots$  **změna (odchylka) lámavosti** (rozdíl vergence vzdálenosti kroužku nejmenšího rozptylu a vrcholové lámavosti)

uvažován úhel otočení oka  $35^\circ$  pro spojné čočky,  $30^\circ$  pro rozptylné čočky

# Další filozofie designu brýlových čoček

## Percivalovo řešení

Archibald Stanley Percival (anglický ophthalmologista) navrhl roku 1901 jiné řešení pro periferní vady brýlové čočky – nekorigoval periferní astigmatismus, ale navrhl čočky, které **vytvářely kroužek nejmenšího rozptylu (KNR) na sféře dalekého bodu oka.**

- vznikly čočky s periferním astigmatismem, ale bez odchylky lámavosti
- nevýhody:
  - nerovnoměrné osvětlení KNR
  - Percivalova podmínka je podstatně přísnější na dodržení konstrukčních parametrů (vzdálenost plochy od oka, předmětová vergence)
  - akomodace oka vede ke ztrátě rotační symetrie stopy
- proto ve 20. století navrhovány zejména punktální čočky

## Čočky s minimální tangenciální vadou

Čočka, jejíž plocha tangenciálních fokál koinciduje se sférou dalekého bodu:

- poměrně malý astigmatismus
- stabilní vzhledem k předmětové vergenci a ke vzdálenosti brýlové čočky od oka (při vzdalování se chová jako punktální, při přibližování jako Percivalova)

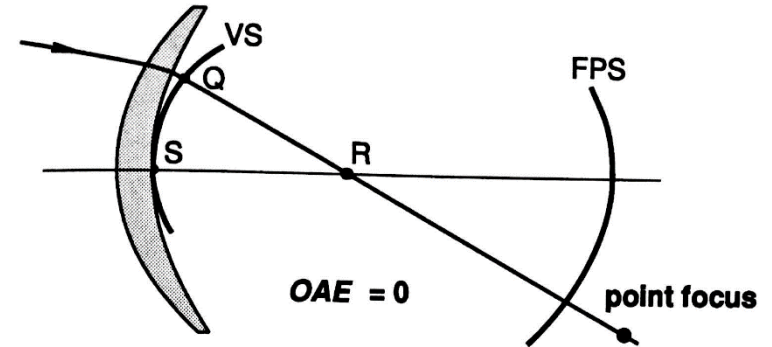
# Moderní design

Moderní čočky jsou navrhovány jako kompromis z hlediska:

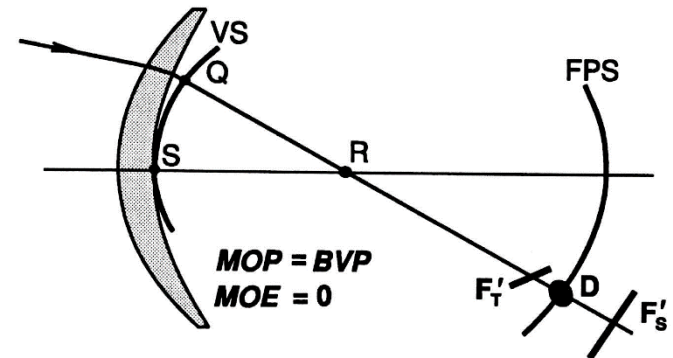
- korekce astigmatismu a sklenutí
- vidění do dálky a do blízka
- rozsahu korigovaného pole
- výrobní tolerance indexu lomu
- váhy a vzhledu čoček

Požaduje se rovněž korekce **zkreslení** a **příčné barevné vady**.

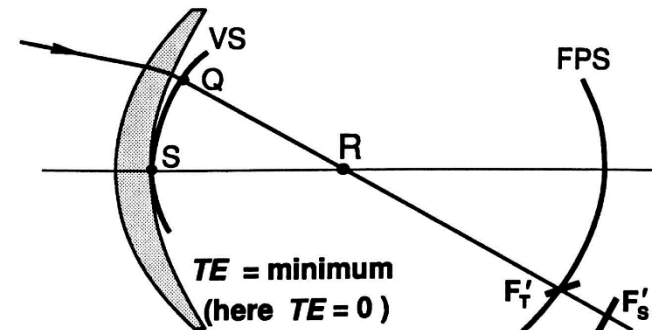
(a) Point Focal Form



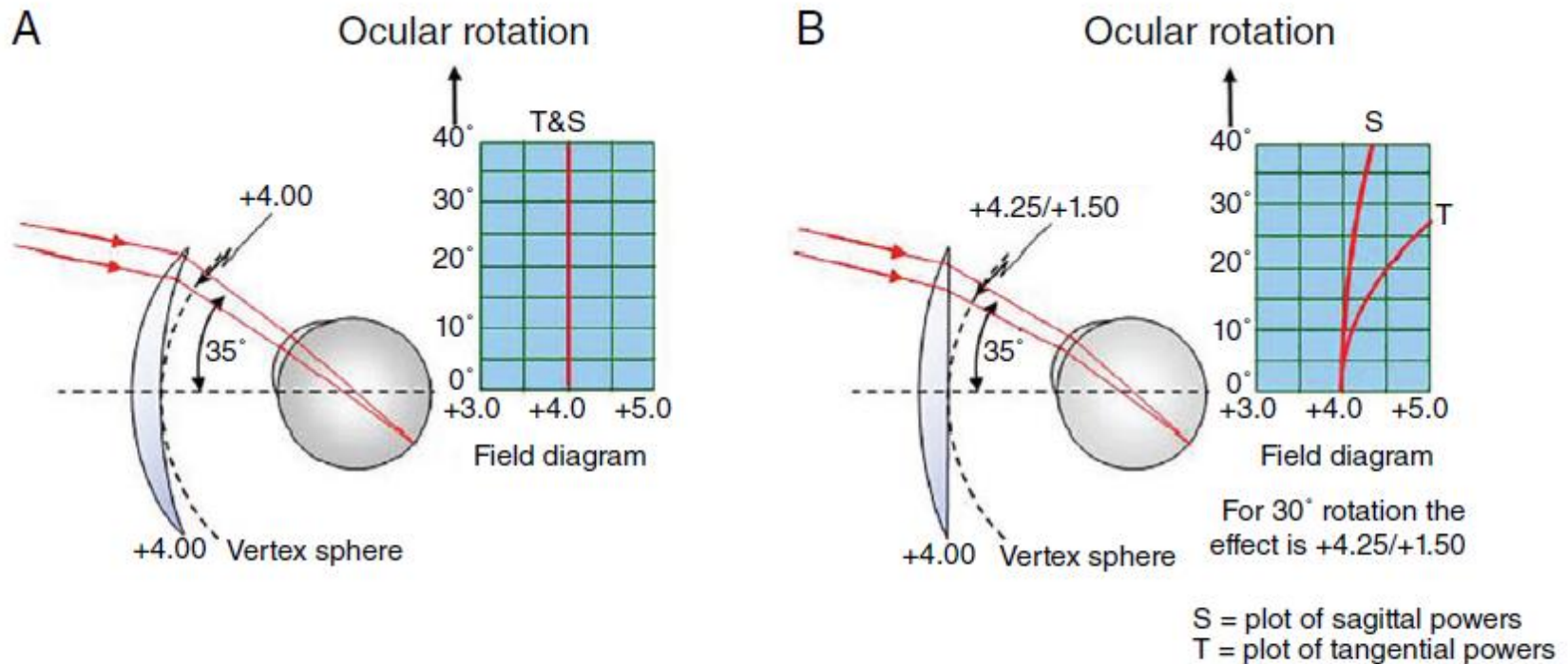
(b) Periclival Form



(c) Minimum Tangential Error Form



# Znázornění pomocí polního (field) diagramu



**Figure 1. A: Field diagram for an ideal +4.00 D lens. The graph indicates that the tangential (T) and sagittal (S) oblique vertex sphere powers remain +4.00 D for all directions of gaze. B: Field diagram for +4.00 D lens made in plano-convex form. The graph shows that the lens is afflicted with aberrational astigmatism which increases as the eye rotates away from the optical axis of the lens.**



# Optimální tvar brýlových čoček

bodově  
zobrazující čočka  
 $\varphi'_1 = +9,62 \text{ D}$

minimální  
tangenciální vada  
 $\varphi'_1 = +8,12 \text{ D}$

Percivalovo  
řešení  
 $\varphi'_1 = +7,62 \text{ D}$

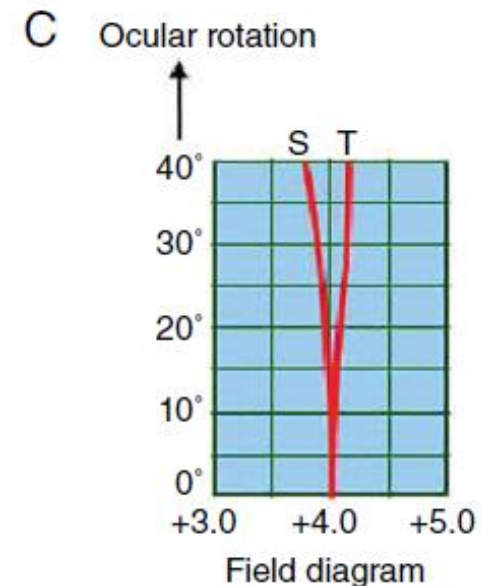
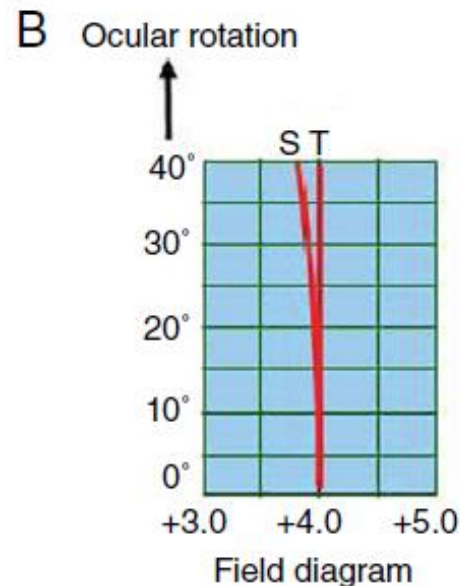
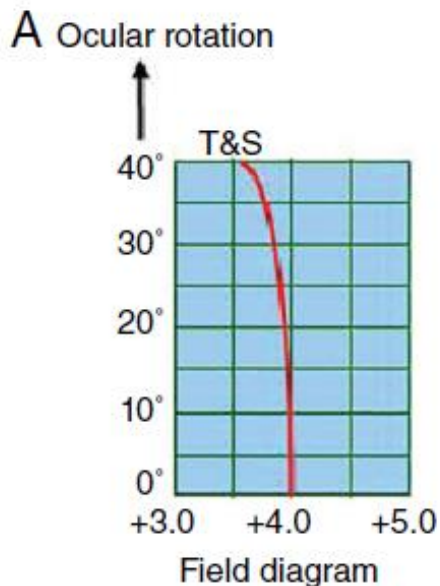


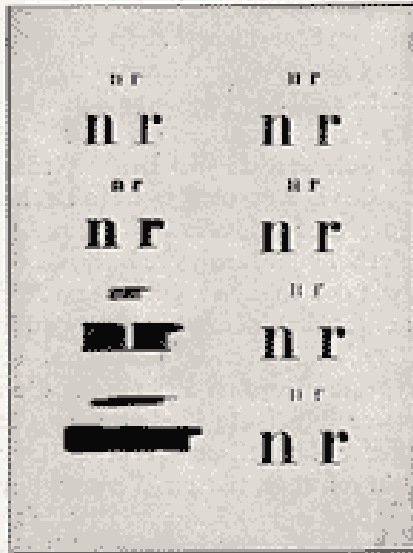
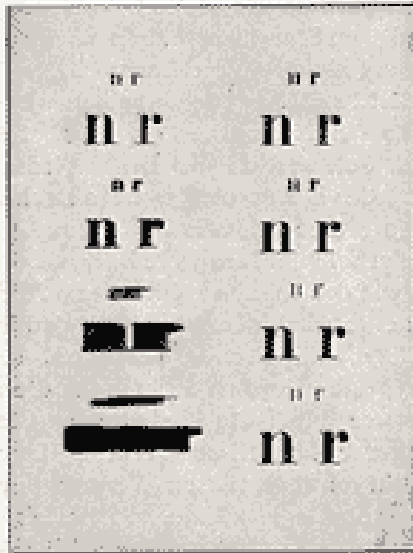
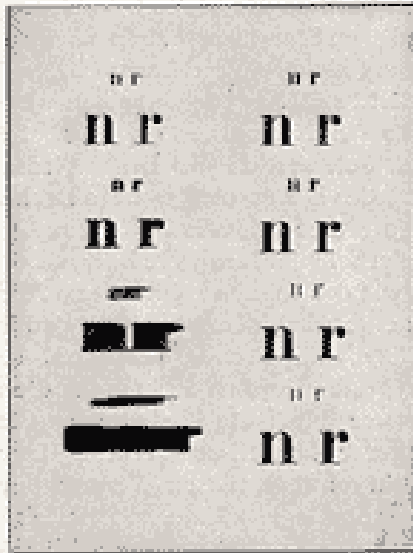
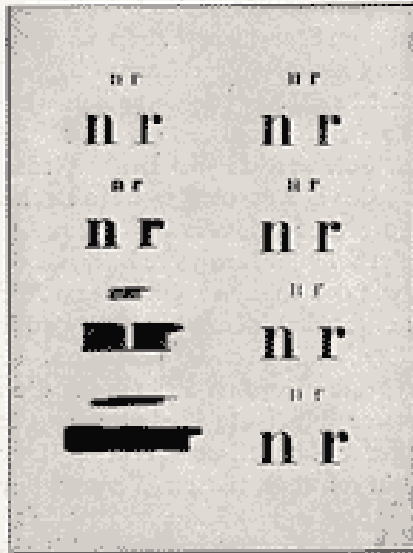
Figure 2. Field diagrams for +4.00 D lens designs made in various best forms. A: Point-focal form, where oblique astigmatic error = 0. B: Minimum tangential error form, where  $F'_T = F'_V$ . C: Percival-form, where mean oblique power =  $F'_V$  and hence mean oblique error = 0.

# Asférické plochy

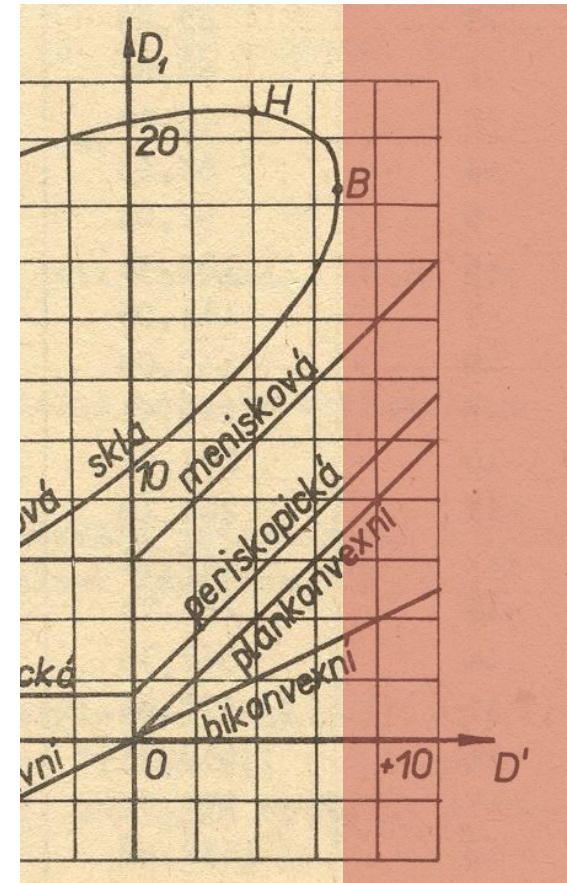
CARL ZEISS  
JENA

## ZEISS KATRALGLÄSER

— für Star-Operierte —

Blick- richtung		Blick- richtung
0°		0°
10°		10°
20°		20°
30°		30°

Schriftproben, gesehen durch  
ein gleichseitiges Starglas    ein Katralglas  
von + 13 dptr                    von + 13 dptr  
in den angegebenen Blickrichtungen zur optischen Achse  
des Glases



# Asférické plochy

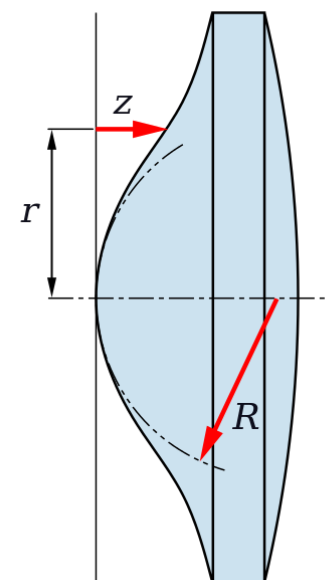
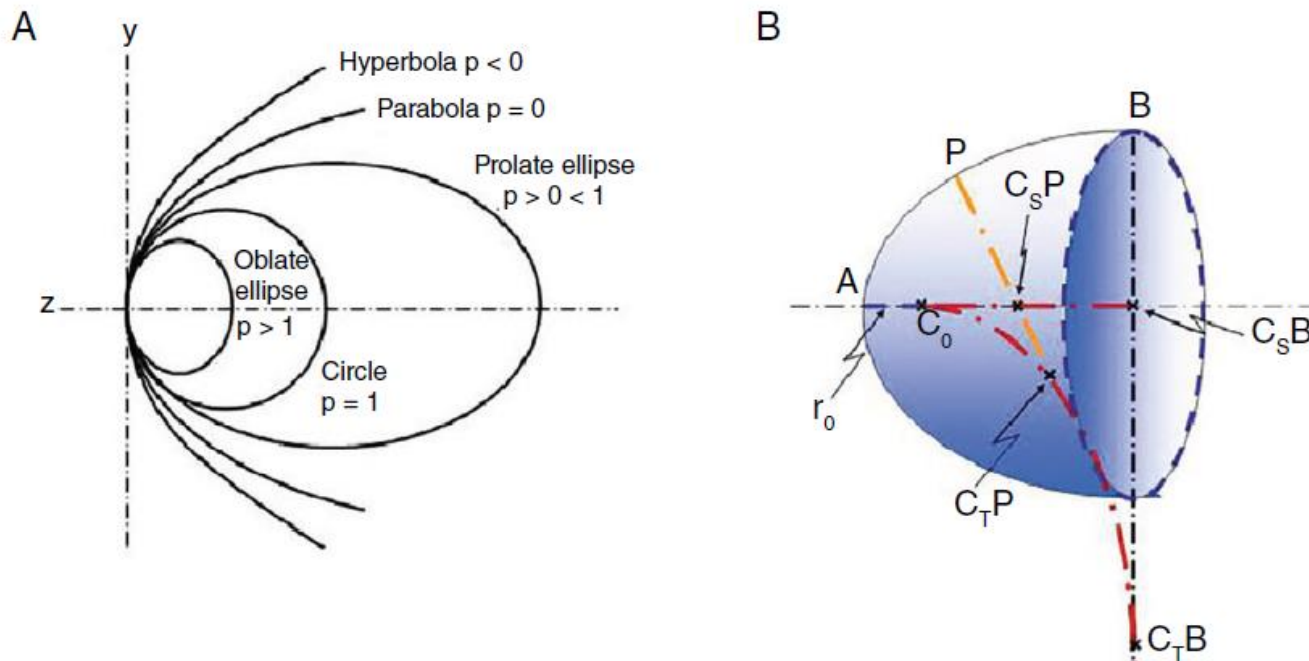
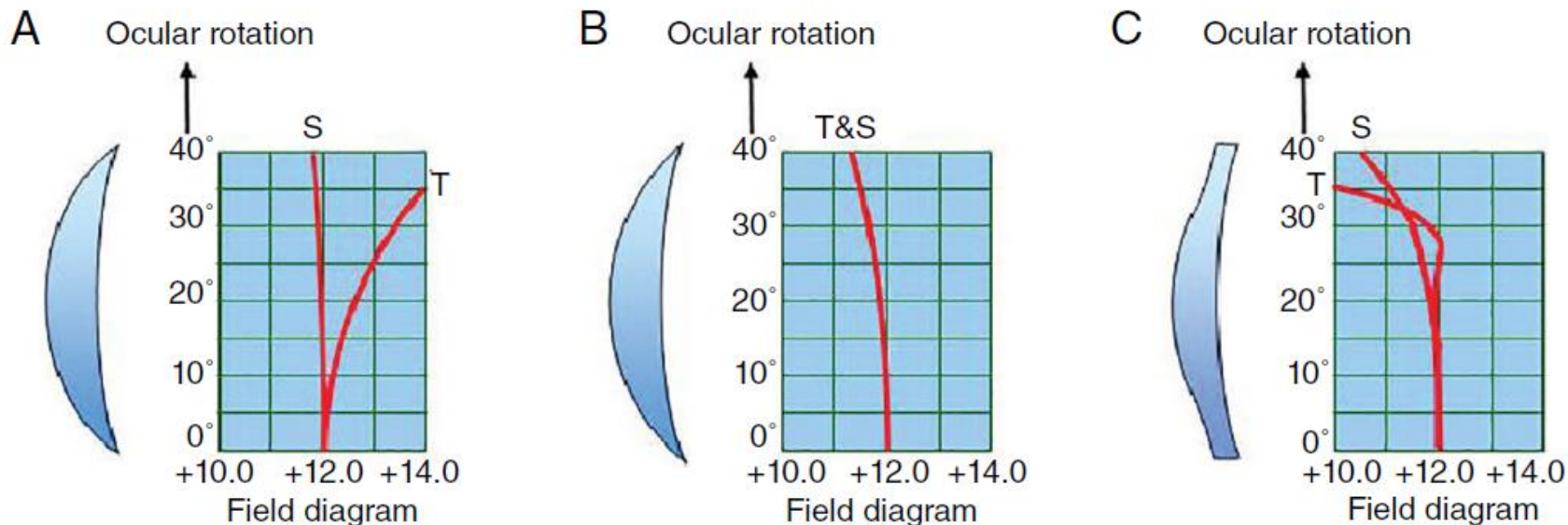


Figure 3. A: The conic sections. B: How an ellipsoidal surface corrects aberrational astigmatism. A is the vertex of the curve.  $C_0$  is the centre of curvature of the surface at the vertex.  $AC_0$  is the radius of curvature of the surface at the vertex,  $r_0$ . P is a point on the curve.  $PC_T P$  is the radius of curvature of the surface at point P in the tangential meridian, which is the plane of the diagram.  $C_T P$  lies on the evolute,  $C_0 C_T B$ , which is the locus of the tangential centres of curvature of the surface between points A and B.  $PC_S P$  is the radius of curvature of the surface at point P in the sagittal meridian, which lies at right angles to the plane of the diagram.  $C_S P$  lies on the evolute,  $C_0 C_S B$ , which is the locus of the sagittal centres of curvature of the surface between points A and B.

# Asférické plochy



**Figure 4. Field diagrams for +12.00 D lenses made in various forms. A: +12.00 D lens made with spherical surfaces. Note that for a 20° rotation of the eye, the effective prescription is +12.00/+0.56 and at 30°, the effective prescription is +11.93/+1.37. B: +12.00 D lens made with convex prolate ellipsoidal surface. At 30° the effective prescription is +11.33 DS. C: +12.00 D lens made with convex polynomial surface. At 30° the effective prescription is +11.55/+0.09.**

# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- index lomu
- Abbeovo číslo
- hustota
- UV mezní bod
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost

**index lomu**

$n_d$  ... pro čáru d

$n_e$  ... pro čáru e

Medium	$n_d$	$n_e$	CVF	Density	UV cut-off	Abbe	$\rho(\%)$
<b>Glasses</b>							
White Crown	1.523	1.525	1.0	2.5	320	59	4.3
Light flint	1.600	1.604	0.87	2.6	334	42	5.3
1.7 glasses	1.700	1.705	0.75	3.2	340	35	6.7
	1.701	1.706	0.75	3.2	320	42	6.7
1.8 glasses	1.802	1.807	0.65	3.7	332	35	8.2
	1.830	1.838	0.63	3.6	340	32	8.6
1.9 glasses	1.885	1.893	0.59	4.0	340	31	9.4
<b>Plastics</b>							
CR39	1.498	1.500	1.0	1.3	355	58	4.0
INDO Superfin	1.523	1.525	0.95	1.3	350	48	4.3
Trivex®	1.532	1.535	0.94	1.1	380	46	4.4
Sola Spectralite	1.537	1.540	0.93	1.2	385	47	4.5
Corning SunSensors®	1.555	1.558	0.90	1.2	380	38	4.7
PPG HIP	1.560	1.563	0.89	1.2	370	38	4.8
AO Alphalite 16XT	1.582	1.585	0.86	1.3	380	34	5.1
Polycarbonate	1.586	1.589	0.85	1.2	385	30	5.2
Hoya Eyas 1.6	1.600	1.603	0.83	1.3	380	42	5.3
Polyurethanes	1.600	1.603	0.83	1.3	380	36	5.3
	1.609	1.612	0.82	1.4	380	32	5.4
	1.660	1.664	0.75	1.4	375	32	6.2
	1.670	1.674	0.74	1.4	395	32	6.3
Hoya Eyry 1.7	1.695	1.710	0.72	1.4	380	36	6.7
High index 1.71	1.710	1.715	0.70	1.4	380	36	6.9
Very high index	1.740	1.746	0.67	1.5	400	33	7.3

# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- **index lomu**

- Abbeovo číslo

- hustota

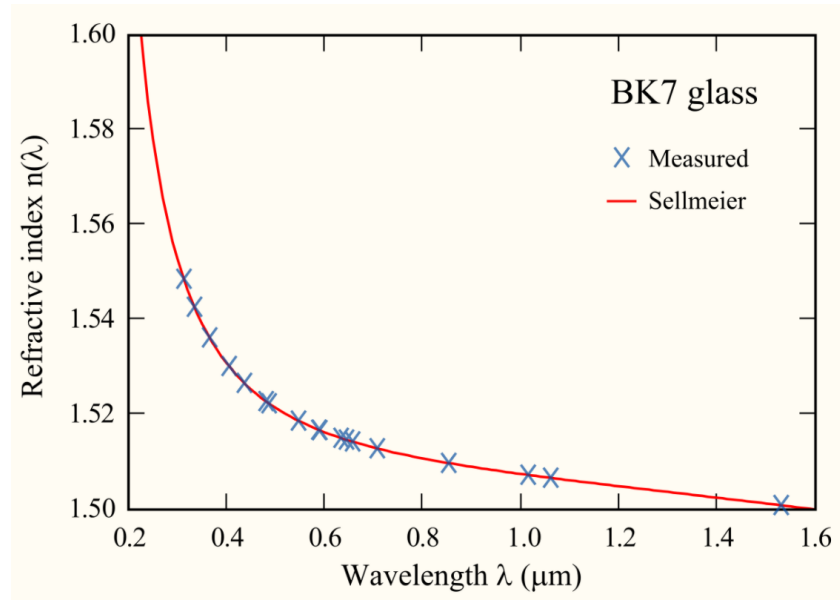
- UV mezní bod

- curve variation factor (CVF)

- odrazivost

normal index	$n \geq 1.48$ but $< 1.54$
mid index	$n \geq 1.54$ but $< 1.64$
high index	$n \geq 1.64$ but $< 1.74$
very high index	$n \geq 1.74$

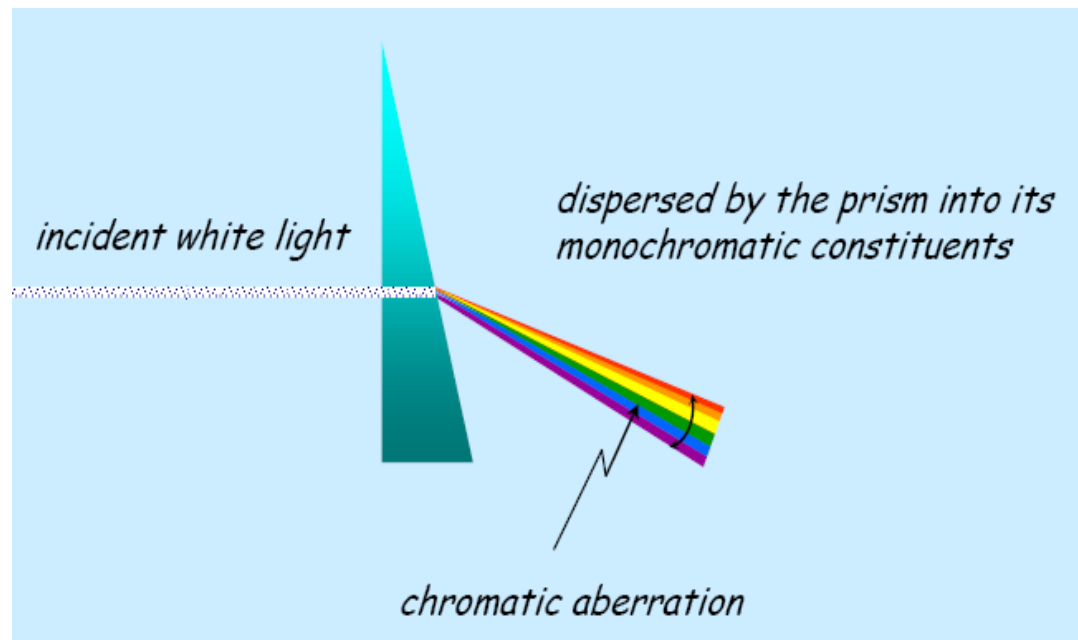
příklad závislosti indexu lomu na vlnové délce pro BK7



# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- index lomu
- **Abbeovo číslo**
- hustota
- UV mezní bod
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost



$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

kde  $n_D$ ,  $n_F$  a  $n_C$  je index lomu příslušného materiálu na vlnových délkách odpovídajících Fraunhoferovým čárám D, F a C (tj. 589,2 nm, 486,1 nm a 656,3 nm).

# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- index lomu
- **Abbeovo číslo**
- hustota
- UV mezní bod
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost

$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

Designation	Element	Wavelength (nm)	Designation	Element	Wavelength (nm)
y	O <sub>2</sub>	898.765	c	Fe	495.761
Z	O <sub>2</sub>	822.696	F	H $\beta$	486.134
A	O <sub>2</sub>	759.370	d	Fe	466.814
B	O <sub>2</sub>	686.719	e	Fe	438.355
C	H $\alpha$	656.281	G'	H $\gamma$	434.047
a	O <sub>2</sub>	627.661	G	Fe	430.790
D <sub>1</sub>	Na	589.592	G	Ca	430.774
D <sub>2</sub>	Na	588.995	h	H $\delta$	410.175
D <sub>3</sub> or d	He	587.5618	H	Ca <sup>+</sup>	396.847
e	Hg	546.073	K	Ca <sup>+</sup>	393.368
E <sub>2</sub>	Fe	527.039	L	Fe	382.044
b <sub>1</sub>	Mg	518.362	N	Fe	358.121
b <sub>2</sub>	Mg	517.270	P	Ti <sup>+</sup>	336.112
b <sub>3</sub>	Fe	516.891	T	Fe	302.108
b <sub>4</sub>	Fe	516.891	t	Ni	299.444
b <sub>4</sub>	Mg	516.733			

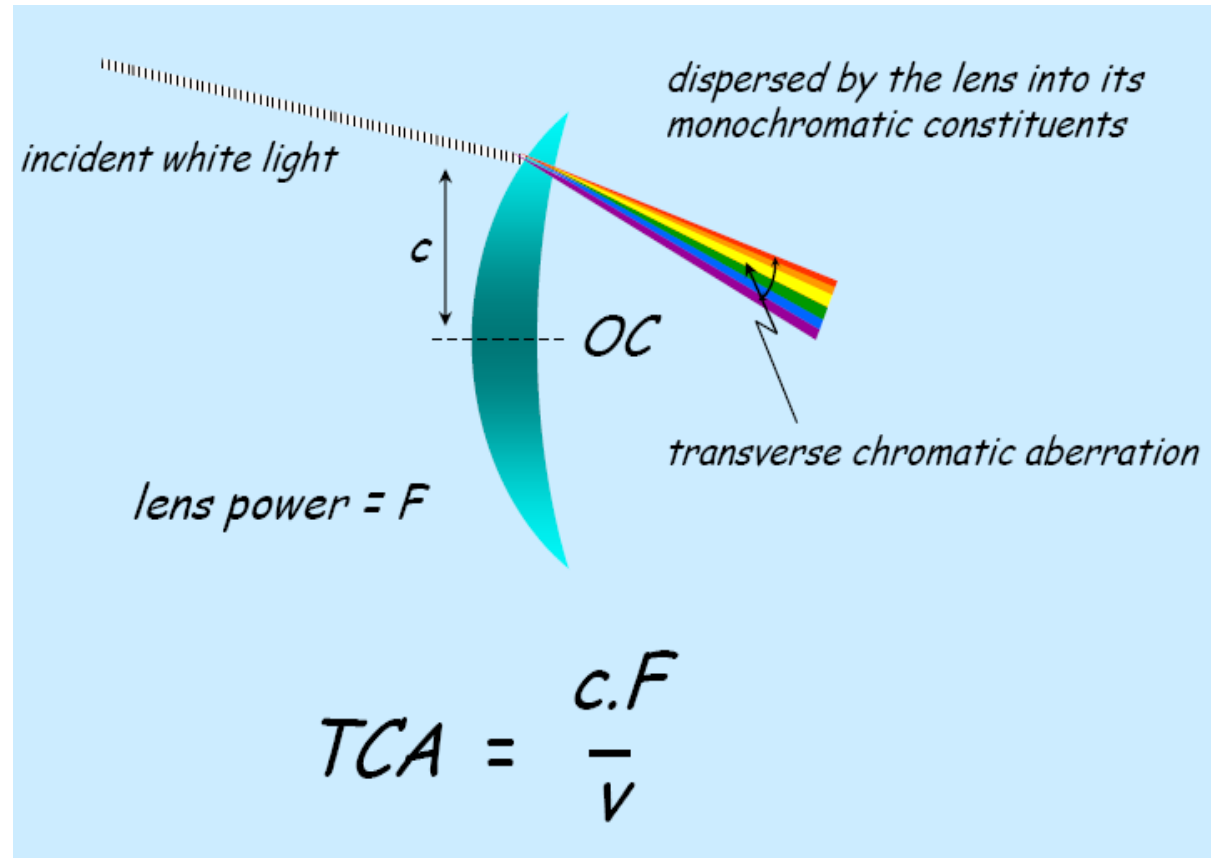


# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- index lomu
- **Abbeovo číslo**
- hustota
- UV mezní bod
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost

$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

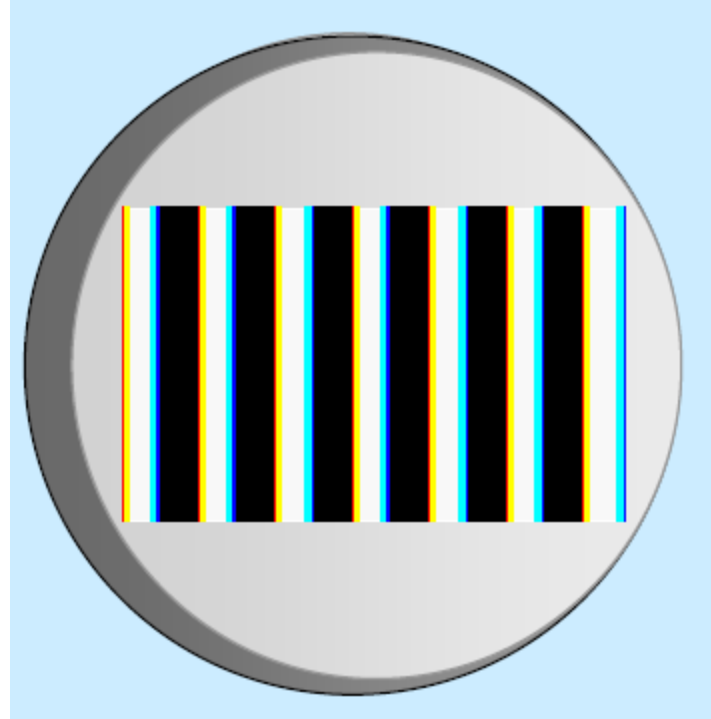


# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- index lomu
- **Abbeovo číslo**
- hustota
- UV mezní bod
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost

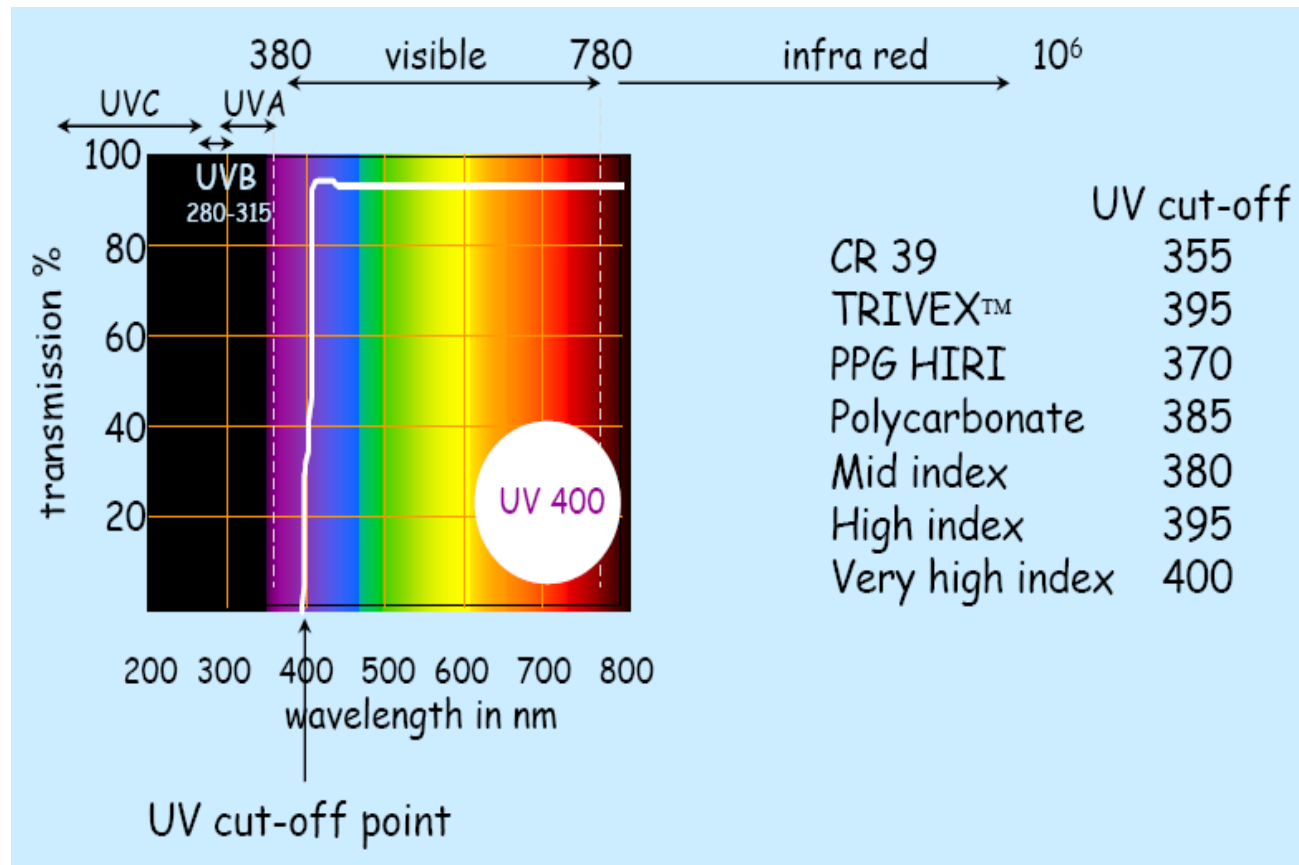
$$V = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$



# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

## důležité parametry:

- index lomu
- Abbeovo číslo
- hustota
- **UV mezní bod**
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost



# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

## důležité parametry:

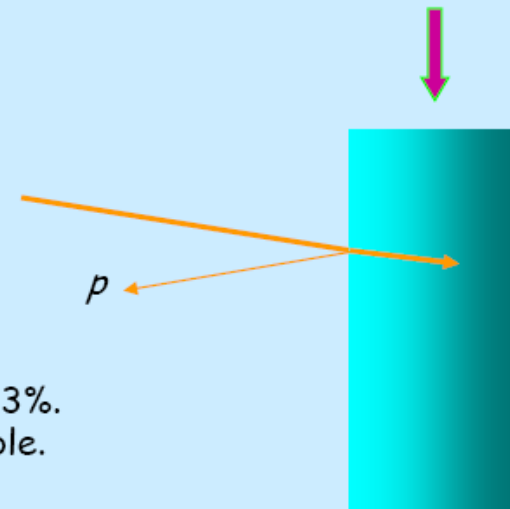
- index lomu
- Abbeovo číslo
- hustota
- UV mezní bod
- CVF
- **odrazivost** (kolmý dopad)

Glass type	index	CVF	Abbe No	density	reflectance	T%
crown	1.525	1.0	59	2.5	4.3%	91.6
mid-index	1.604	0.87	42	2.6	5.4%	89.5
high index	1.705	0.75	42	3.2	6.8%	86.9
very high index	1.807	0.65	35	3.7	8.3%	84.2
very high index	1.892	0.59	31	4.0	9.5%	81.9

Fresnel's fraction.

$$p = \left[ \frac{n - 1}{n + 1} \right]^2 \times 100\%$$

For  $n = 1.525$ , the fraction turns out to be 4.3%.  
Values for other indices are given in the table.



# Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- index lomu
- Abbeovo číslo
- hustota
- UV mezní bod
- **curve variation factor (CVF)**
- odrazivost

$$CVF = \frac{(n_{\text{base}} - 1)}{(n_{\text{mat}} - 1)}$$

$n_{\text{base}}$  is the refractive index of the base material

$n_{\text{mat}}$  is the refractive index of the material being compared

vystihuje odchylku objemu a tloušťky ve srovnání s korunovým sklem, např.

1,0 ... plný objem

0,75 ... o 25 % menší objem