brýlové čočky

Drobnosti z historie

středověký čtecí kámen

- „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
- „skráňové brýle“ (s ručkami) až od začátku 18. století

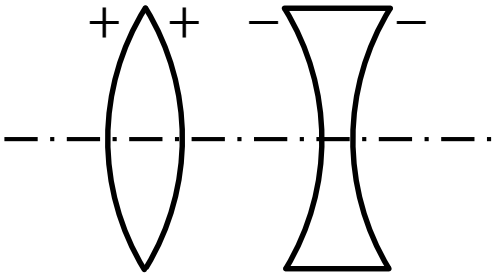
1690: brýle Norimberského stylu se zelenými čočkami

1780: stříbrné brýle

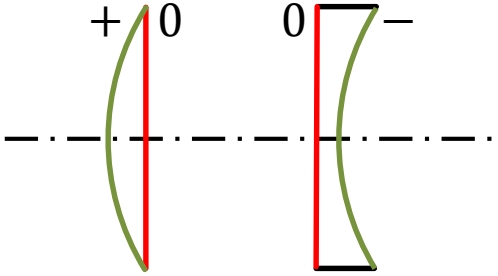
konec 18. století: mosazné obruby, kruhové čočky

Tvar čočky

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

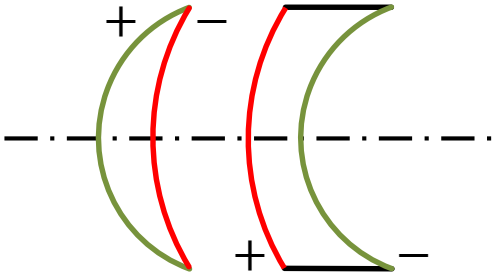


bikonvexní, bikonkávní čočka
(nepříznivý průběh optických vad)



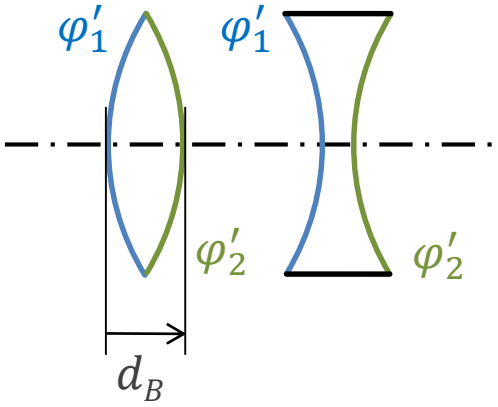
plankonvexní, plankonkávní čočka

- červeně vyznačeny základní plochy
- zeleně doplňkové plochy



periskopická čočka (základní plocha, báze ±1,25 D)
menisková (polomušlová) čočka (±6 D, příp. ±3 D)
mušlová čočka (±8 D)

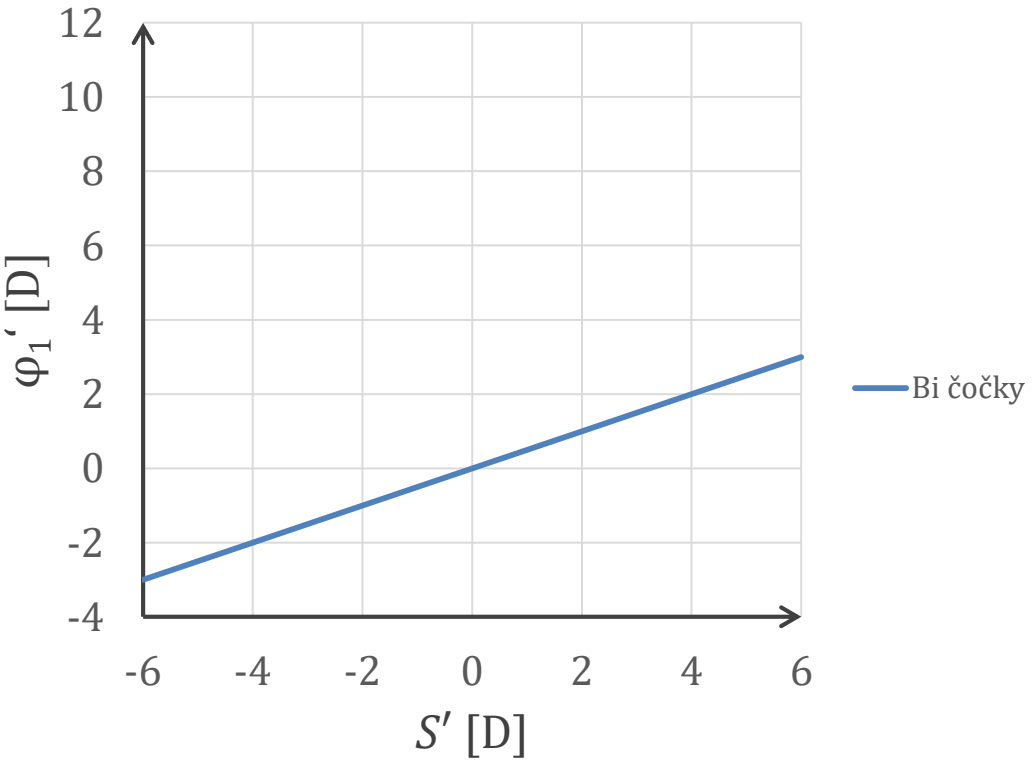
Aproximace tenké čočky



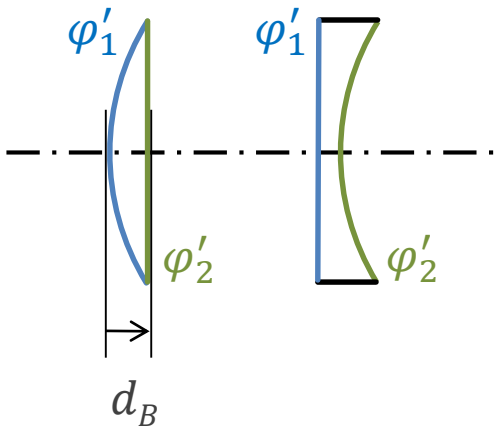
bikonvexní, bikonkávní čočka

$d_B \to 0$

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



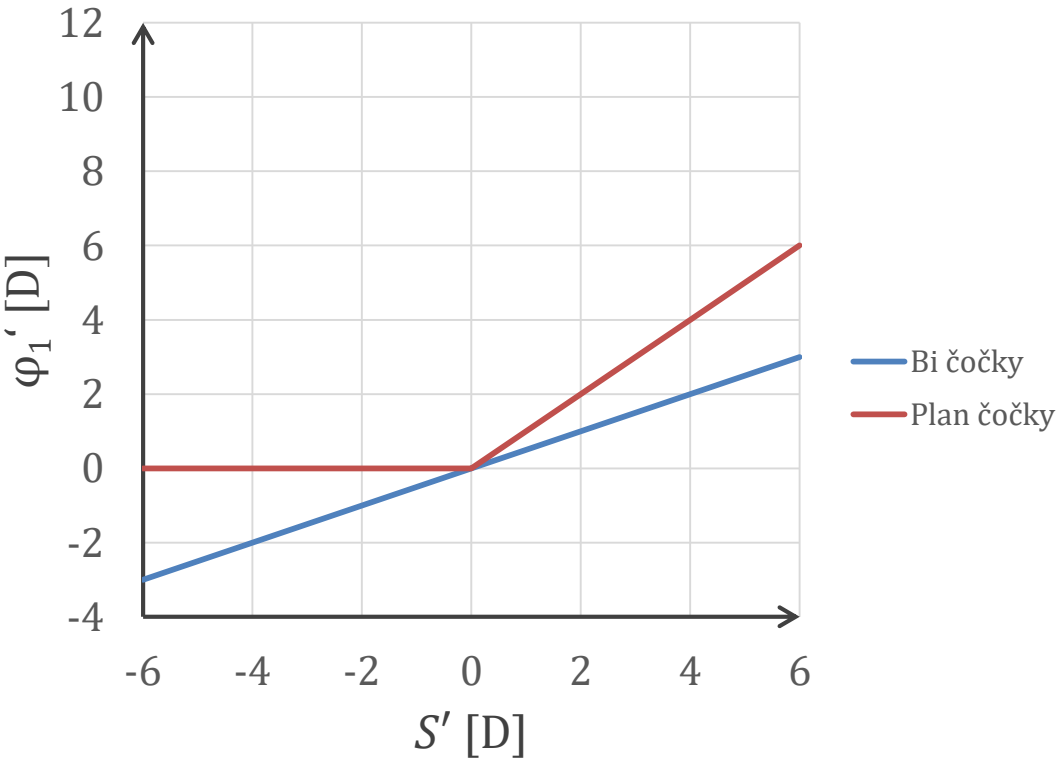
Aproximace tenké čočky



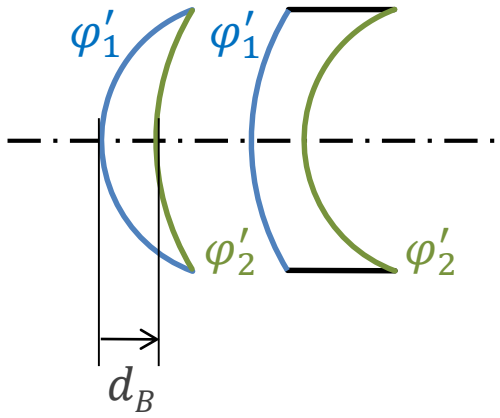
plankonvexní, plankonkávní čočka

$d_B \to 0$

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



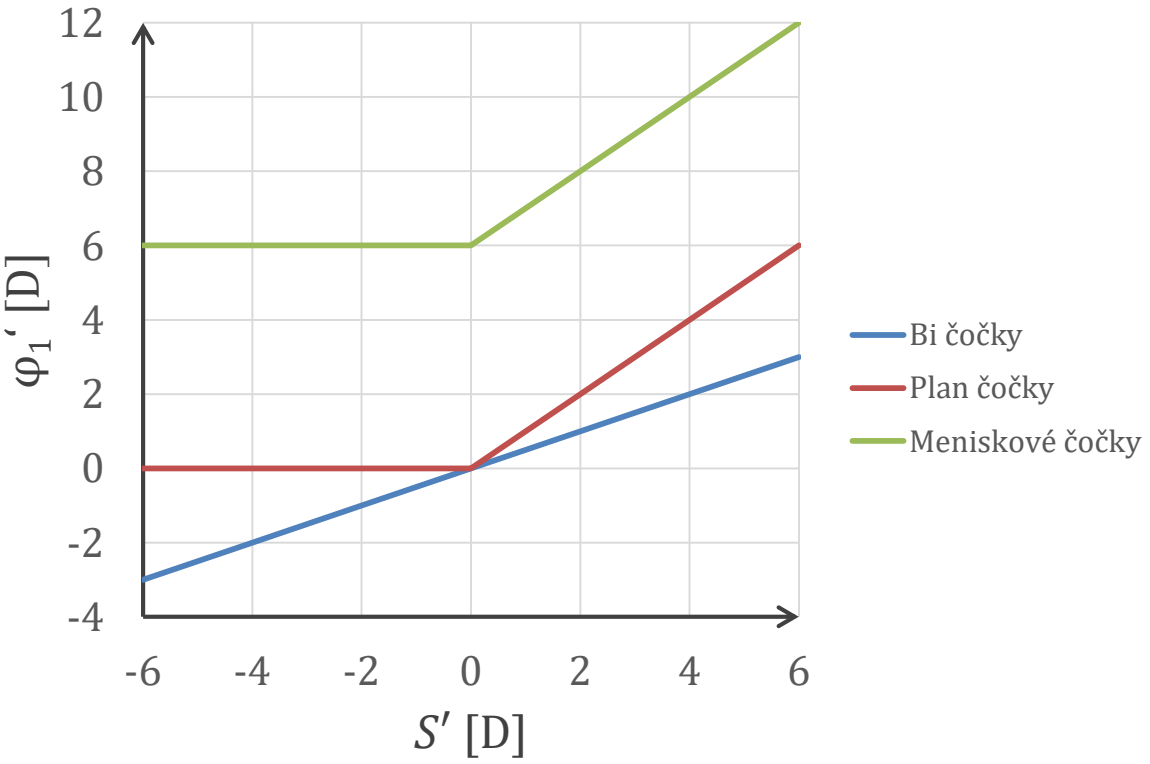
Aproximace tenké čočky



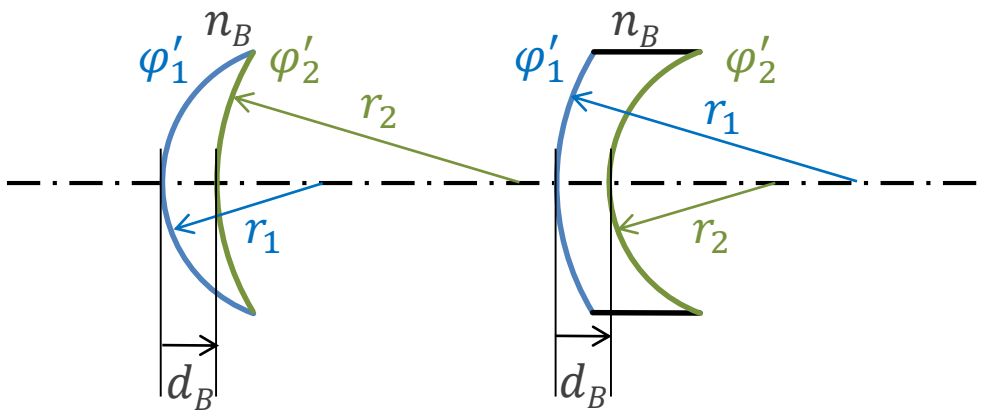
menisková (polomušlová) čočka (±6 D)

$d_B \to 0$

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



Přesné výpočty



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

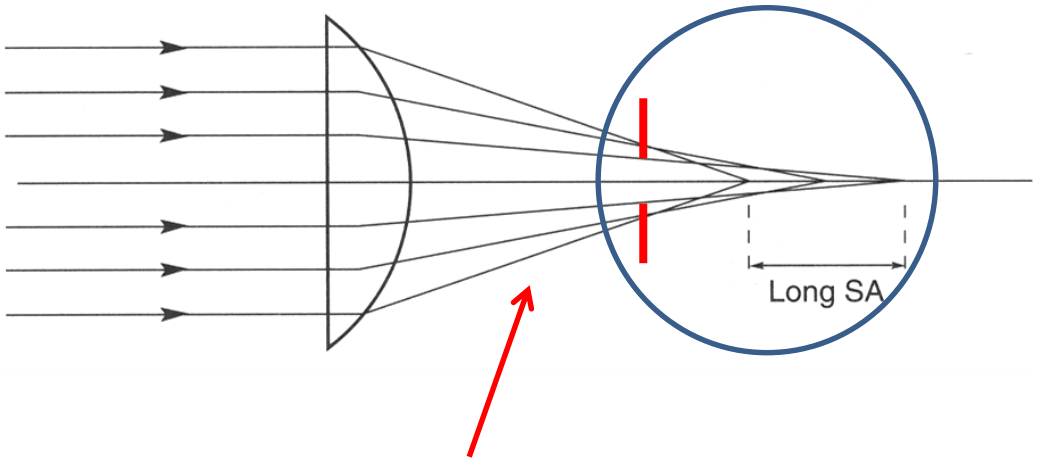
$$\varphi'_2 = \frac{1 - n_B}{r_2} < 0$$

$$\delta = \frac{d_B}{n_B}$$

vrcholová lámavost brýlové čočky:

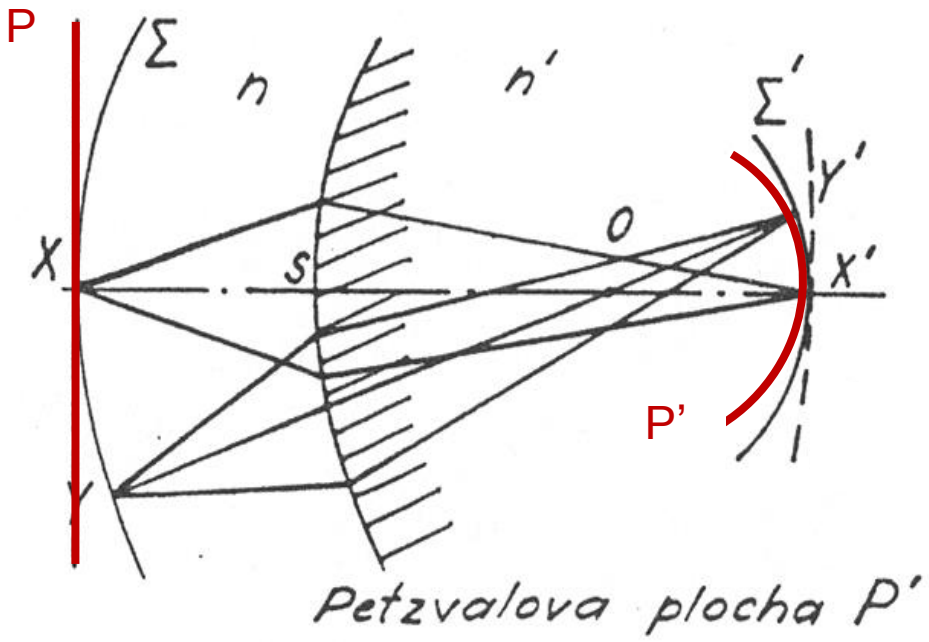
$$S' = \Gamma' \varphi'_c = \frac{\varphi'_1}{1 - \delta \varphi'_1} + \varphi'_2 = \varphi'_{1tč} + \varphi'_2$$

Vady brýlové čočky



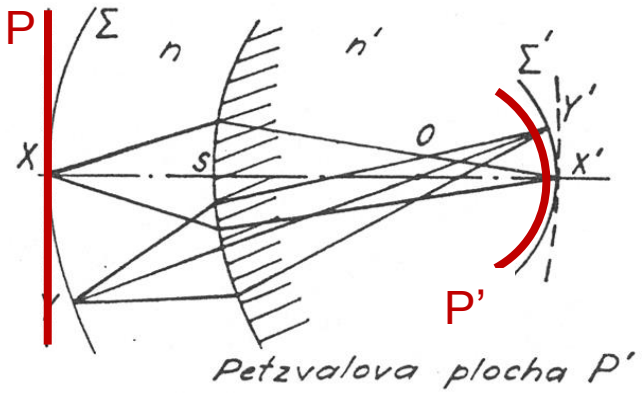
- Otvorová vada a koma se projevují málo, protože svazek je omezen relativně malou pupilou oka – zornicí.
- Barevná vada může být omezena vhodným výběrem materiálu čočky.
- Periferní astigmatismus a sklenutí pole jsou **podstatné**, jejich správná korekce zaručuje bodové zobrazování.

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 plochyole



1807 - 1891

jedna lámavá plocha:

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

tenká čočka:

$$R_P = -nf'$$

Petzvalova suma pro soustavu tenkých čoček:

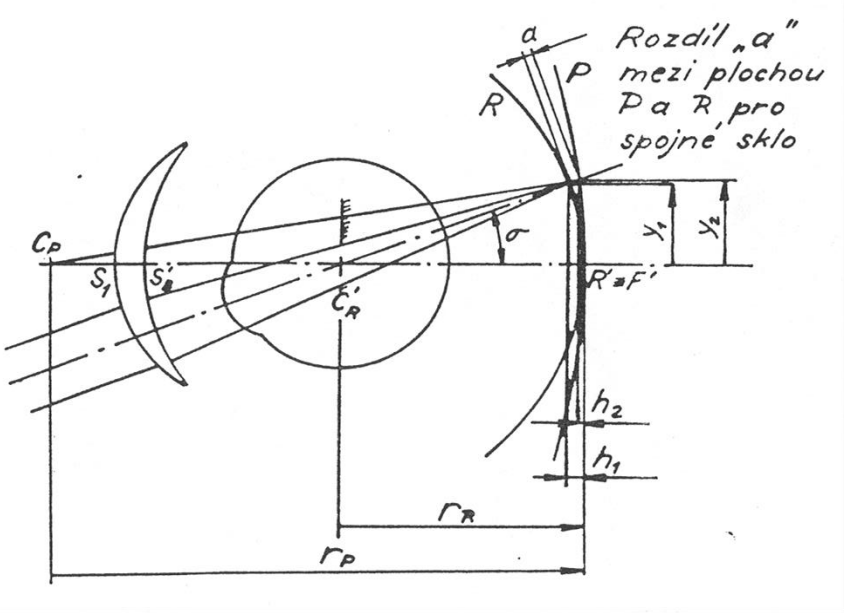
$$\frac{1}{R_P} = -\sum \frac{1}{n_i f_i'} = -\sum \frac{\varphi_i'}{n_i}$$

Petzvalova-Coddingtonova podmínka pro rovinné pole soustavy čoček:

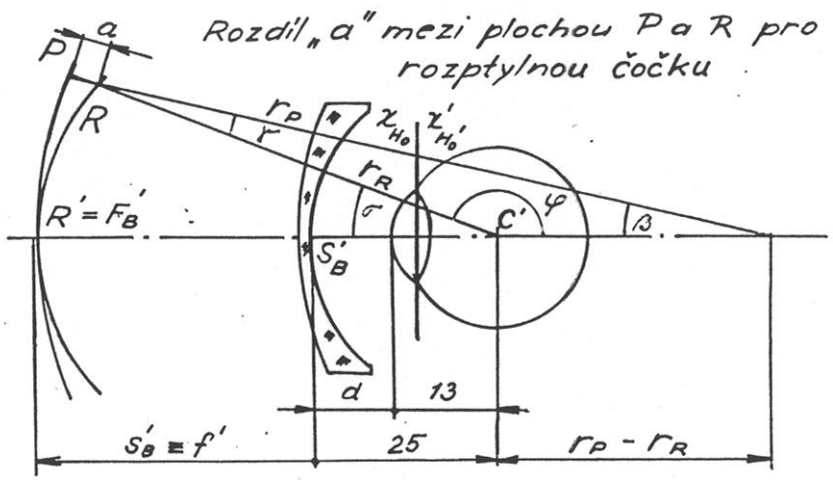
$$\frac{1}{R_P} = -\sum \frac{1}{n_i f_i'} = -\sum \frac{\varphi_i'}{n_i} = 0$$

Sklenutí pole a otáčení oka

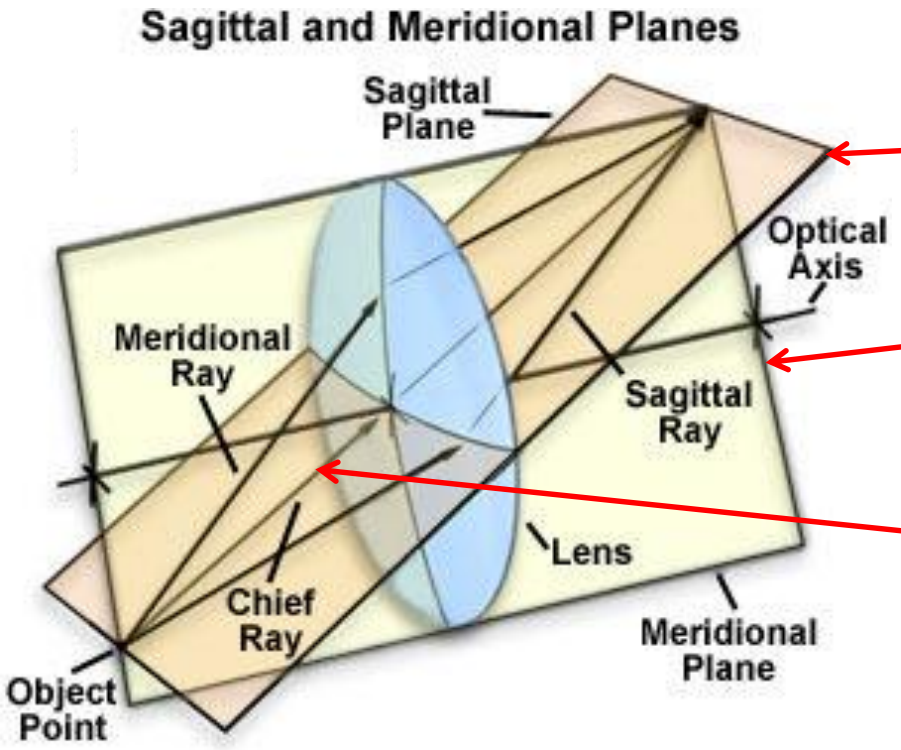
hypermetrop



myop



Tangenciální a sagitální rovina

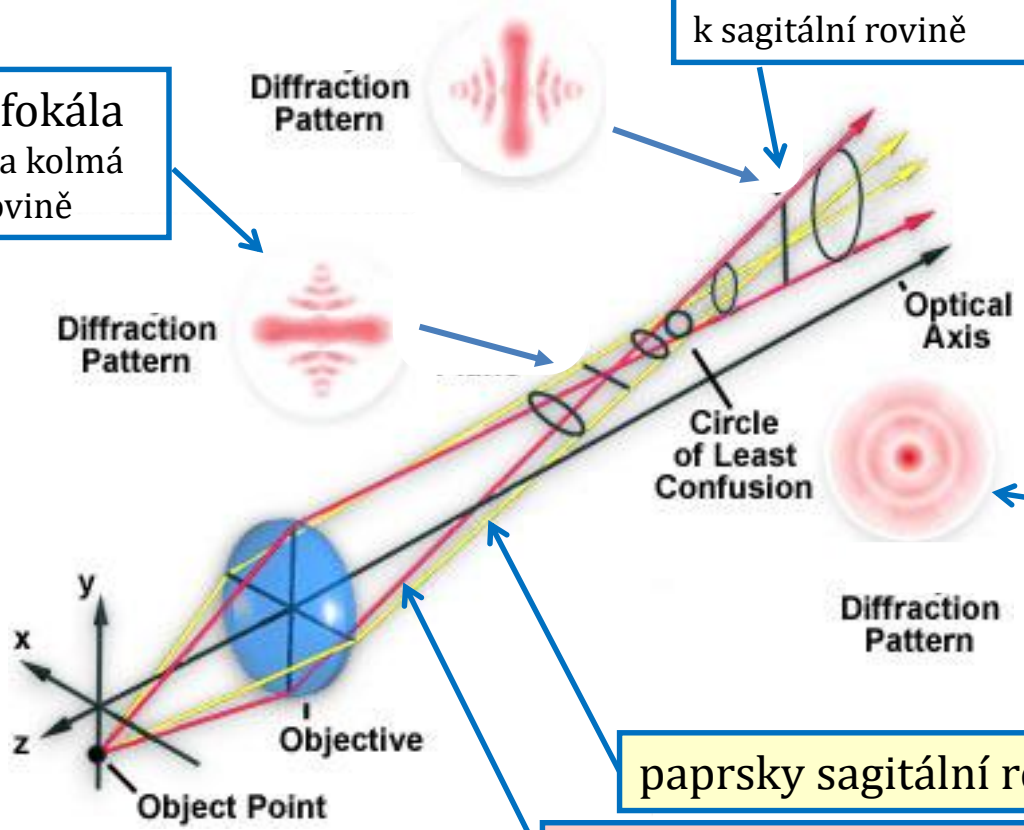


sagitální rovina
obsahuje hlavní paprsek, je kolmá na tangenciální rovinu

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

hlavní paprsek
prochází předmětovým bodem a středem pupily

Astigmatický svazek



sagitální fokála
ohnisková úsečka kolmá k sagitální rovině

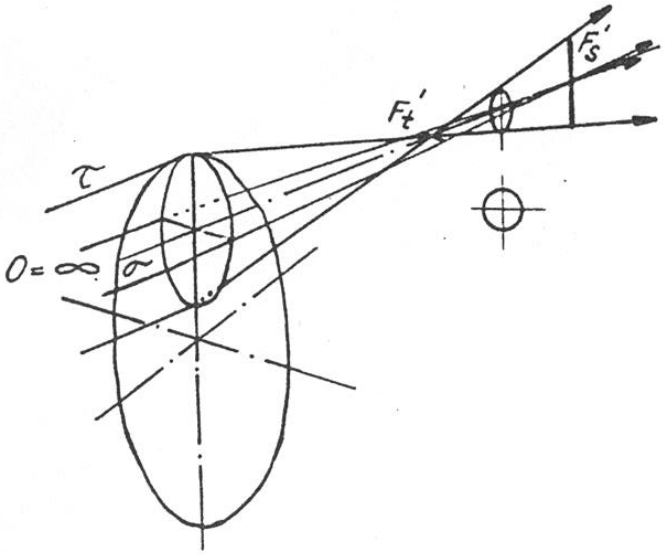
tangenciální fokála
ohnisková úsečka kolmá k tangenciální rovině

kroužek nejmenšího rozptylu

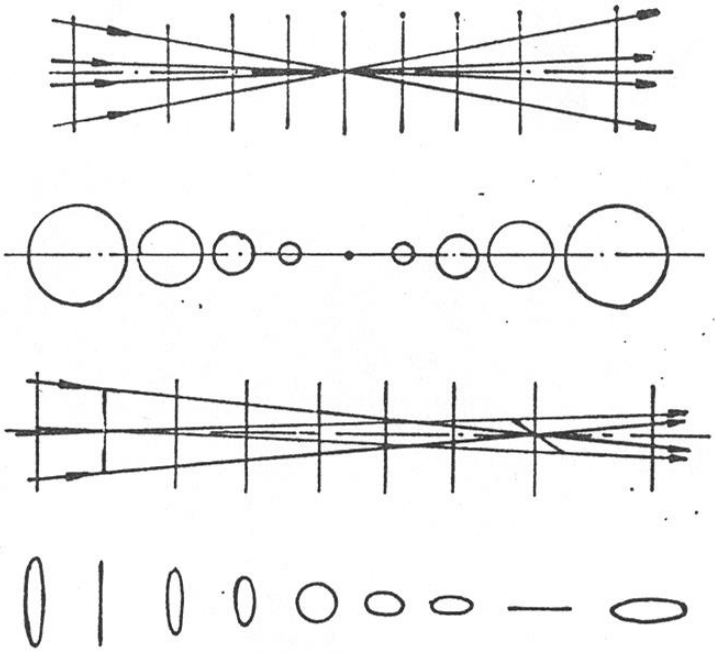
paprsky sagitální roviny

paprsky tangenciální roviny

Astigmatický svazek



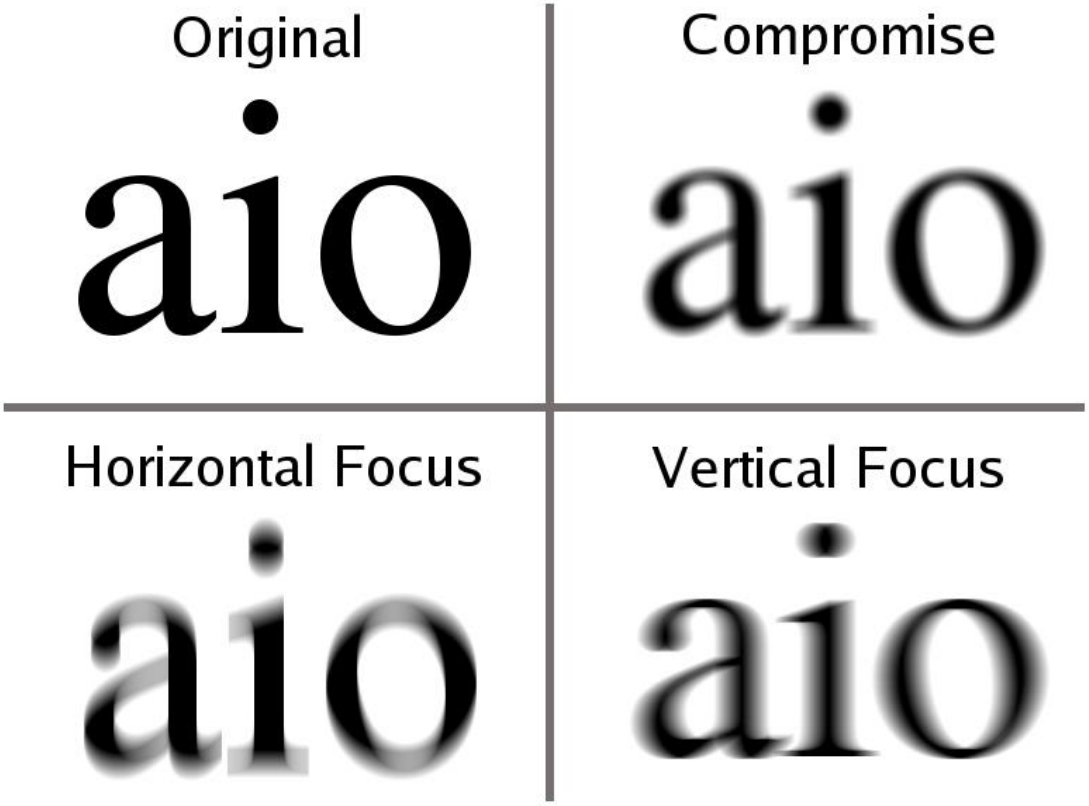
Fokály astigmatického svazku



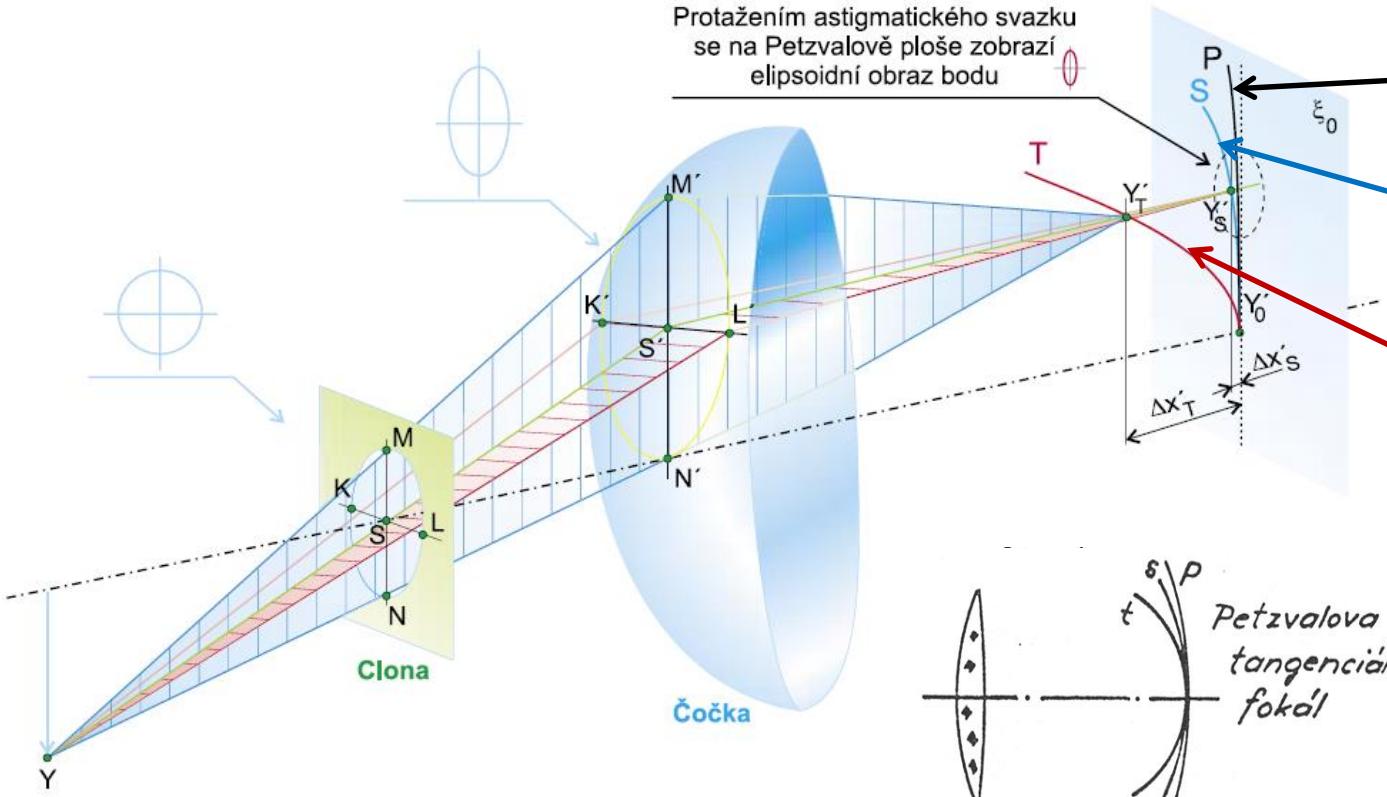
Ideální svazek paprsků

Astigmatický svazek paprsků

Zobrazení astigmatickým svazkem



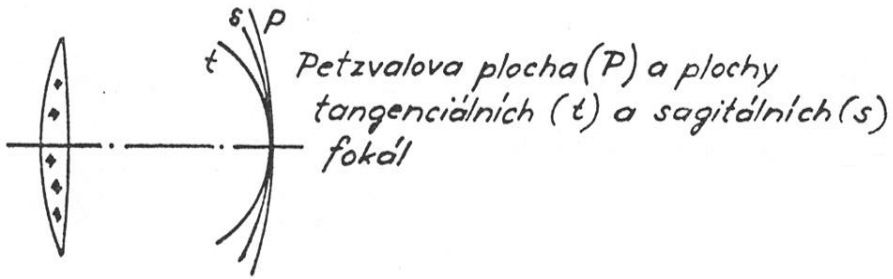
Periferní astigmatismus čočky



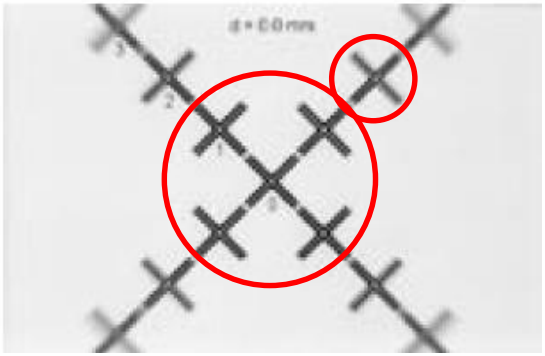
P…Petzvalova plocha

S…plocha sagitálních fokál

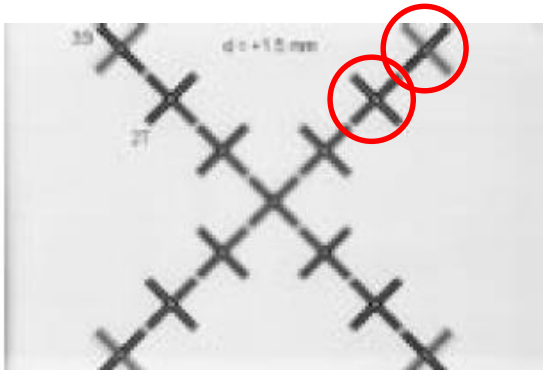
T…plocha tangenciálních fokál



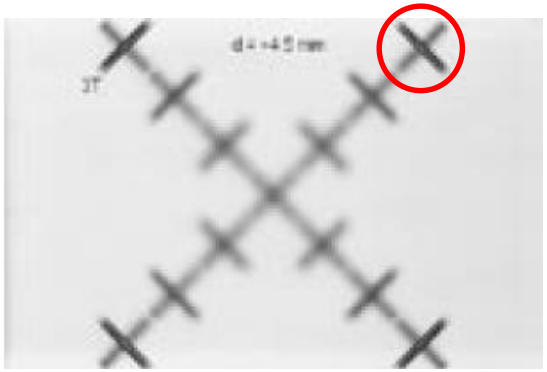
Zobrazení astigmatickým svazkem



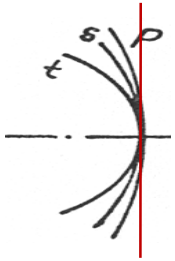
d = 0 mm
(od ohniska k čočce)
zaostřena centrální část a 2S čáry

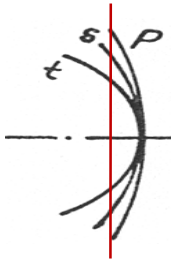


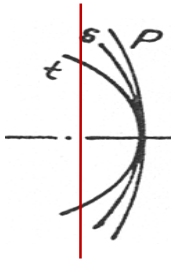
d = -1,5 mm
(od ohniska k čočce)
centrální část rozostřena, zaostřeny 2T a 3S čáry

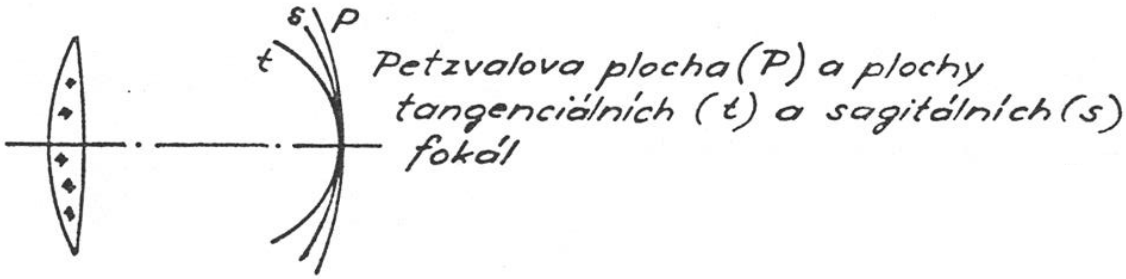


d = -4,5 mm
(od ohniska k čočce)
centrální část rozostřena, zaostřeny 3T čáry









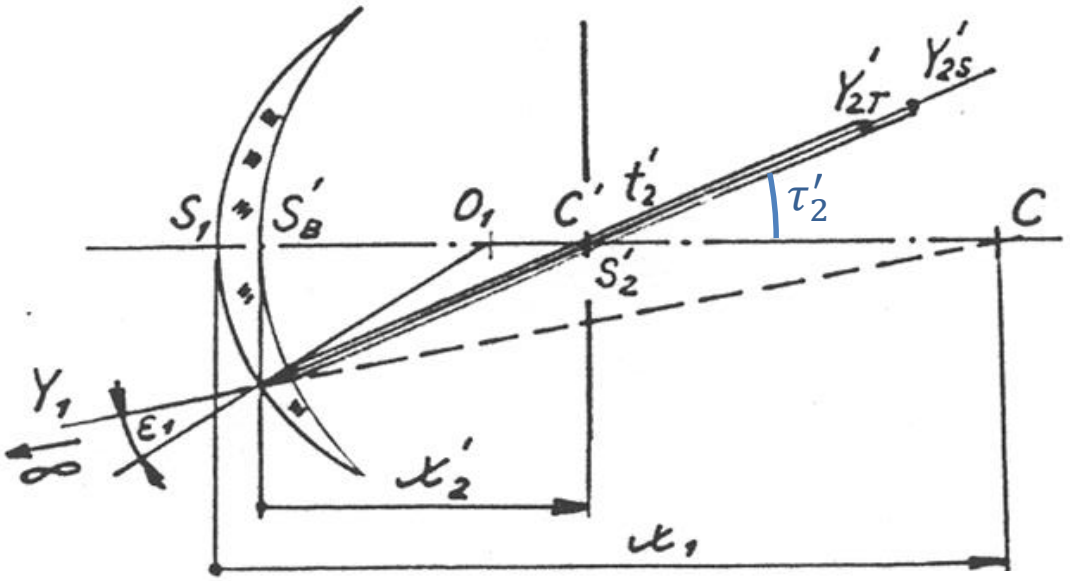
Korekce periferního astigmatismu

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 Ostwal***d**em, 1853-1932, slavným fyzikálním chemikem.

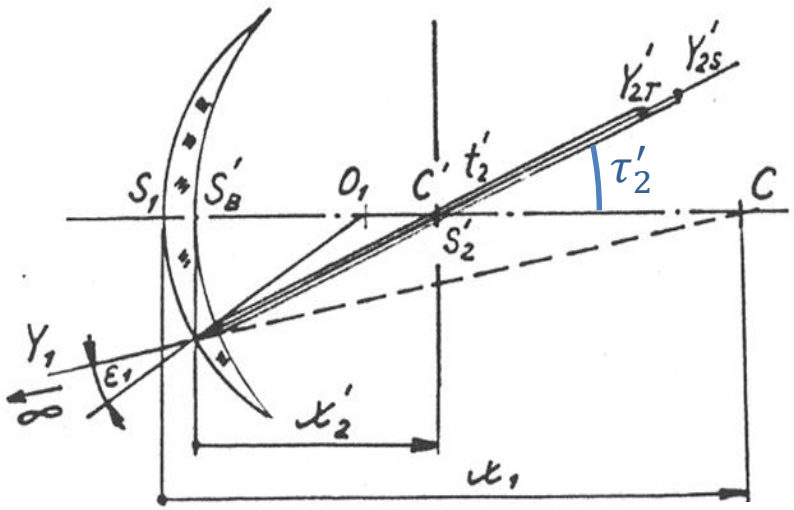
Výpočet poloh fokál 1 (situace)



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
x'_2	… jeho vzdálenost od vrcholu zadní plochy brýlové čočky
τ'_2	… úhel otočení oka

Výpočet poloh fokál 2 (postup)

1. počítáme vzdálenosti fokál $Y'_{2T,S}$ brýlové čočky
2. podmínka nulového periferního astigmatismu:
   $\mathrm{Ast} = \frac{1}{t'_2} - \frac{1}{s'_2} = 0$
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:

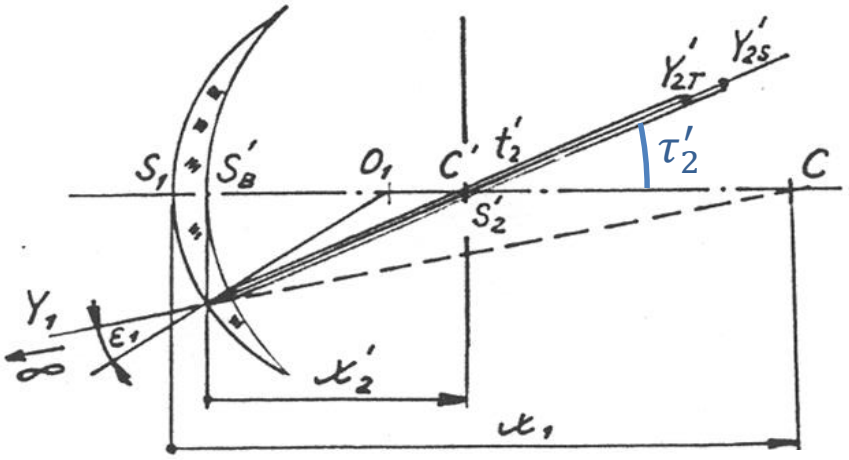
$$\frac{n'\cos^2\varepsilon'}{t'} = \frac{n\cos^2\varepsilon}{t} + \frac{n'\cos\varepsilon' - n\cos\varepsilon}{r} \qquad \frac{n'}{s'} = \frac{n}{s} + \frac{n'\cos\varepsilon' - n\cos\varepsilon}{r}$$

Gaussova zobrazovací rovnice (pro srovnání):

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

(ε, ε' … úhel dopadu, resp. lomu hlavního paprsku)

Podmínka nulového astigmatismu



Y_1	… předmětový bod v ∞
$Y'_{2T,S}$	… fokály
$t'_2 s'_2$	… vzdálenosti fokál
C‘	… střed otáčení oka
τ'_2	… úhel otočení oka

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

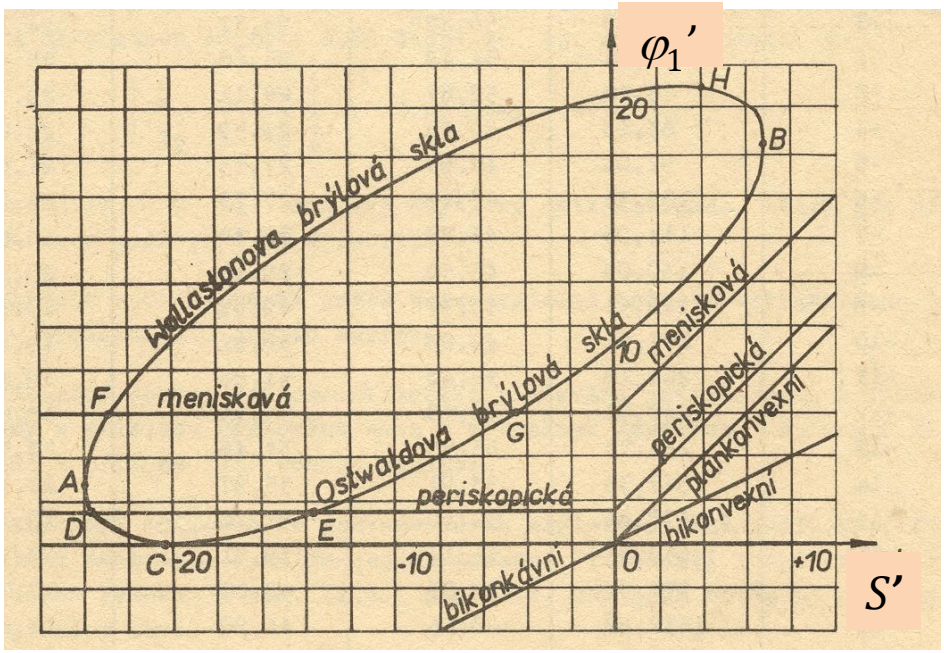
$$\varphi_1'^2(n+2) - \varphi'_1\left[\varphi'_C(n+2) + \frac{2}{x'_2}(n^2-1)\right] + n\left(\varphi'_C + \frac{n-1}{x'_2}\right)^2 = 0$$

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

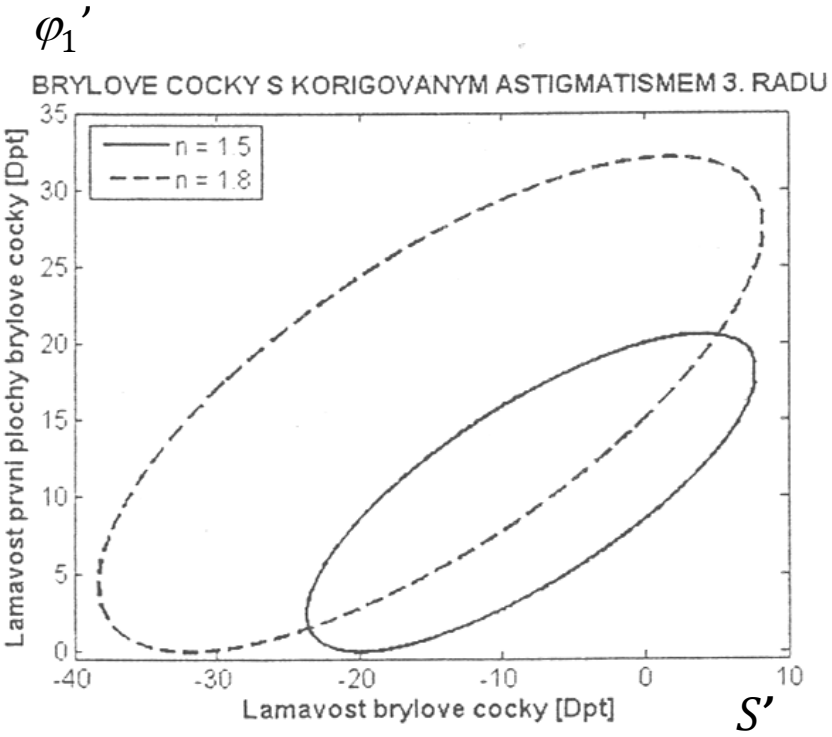
$$\varphi'_1 = \frac{\varphi'_C + 29{,}78}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\varphi'_C + 29{,}78}{2}\right)^2 - 0{,}4318\varphi_C'^2 - 17{,}96\varphi'_C - 186{,}8}$$

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

Tscherningova elipsa

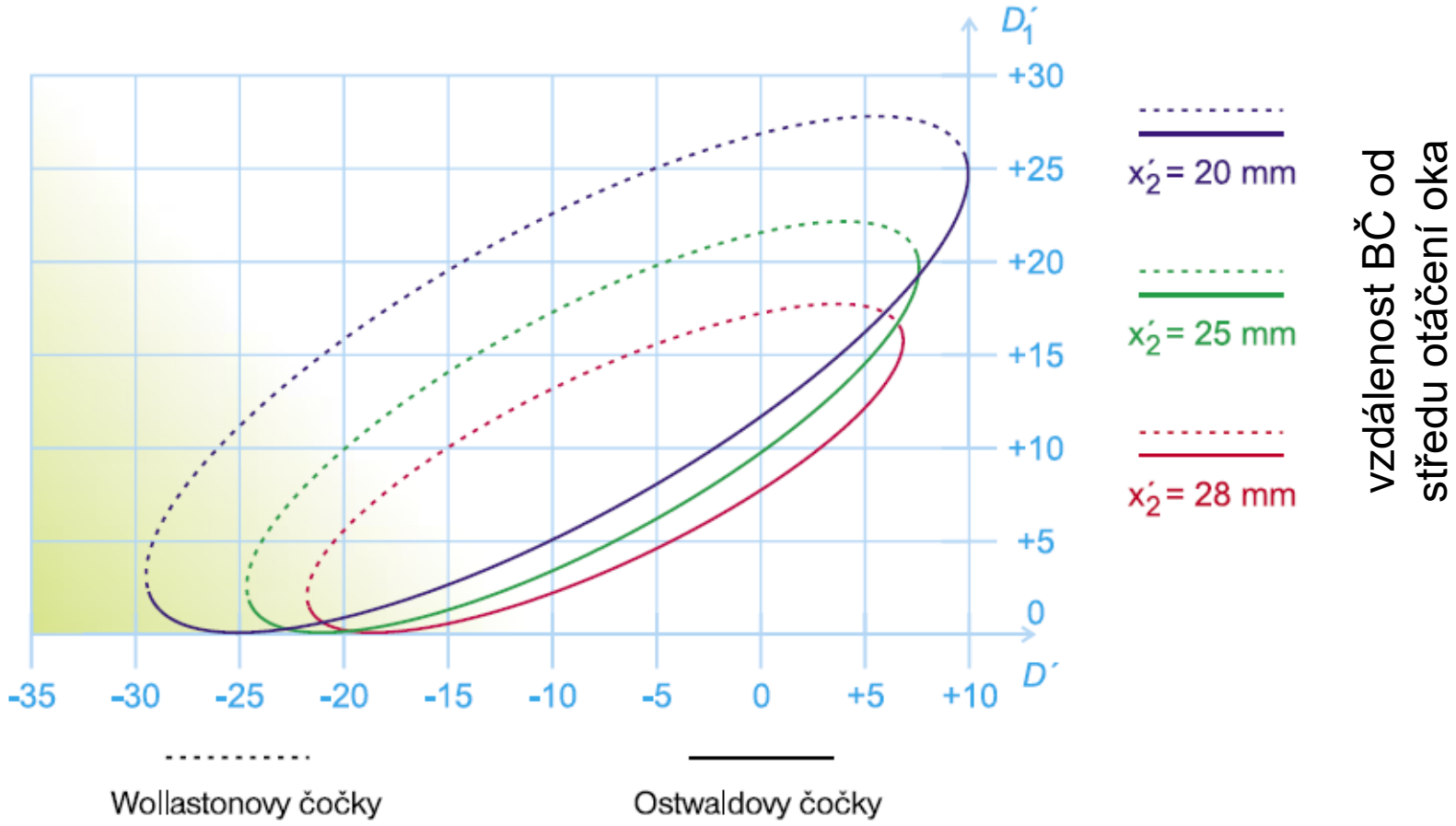


$n = 1{,}523$, $x_2' = 25$ mm



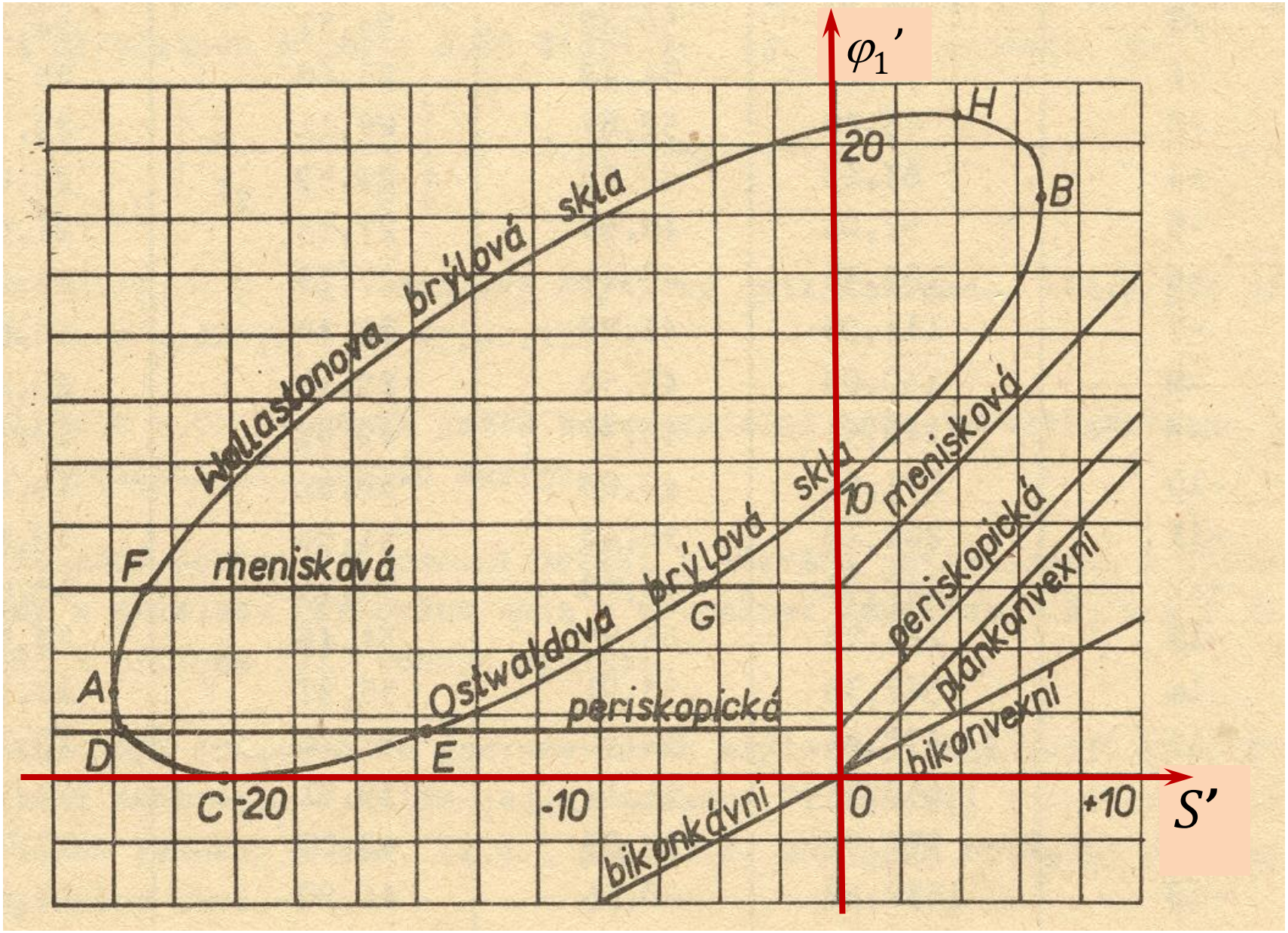
$n = 1{,}5$ / $n = 1{,}8$, $x_2' = 25$ mm

Tscherningova elipsa



Oblasti řešení

$n = 1{,}523$, $x_2' = 25$ mm



Poloměry křivosti ploch

S' [D]	Ostwalt 1.řešení r_1 mm	Ostwalt 1.řešení r_2 mm	Wollaston 2. řešení r_1 mm	Wollaston 2. řešení r_2 mm
7	32,01	55,99	25,36	38,39
6	35,32	59,37	24,72	34,61
5	38,49	60,09	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“.

Korekce astigmatismu pro tlusté brýlové čočky

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

- tenkou čočku
- předmět v nekonečnu
- malé úhly

$$\mathrm{Ast} = \frac{1}{t_2'} - \frac{1}{s_2'} = 0$$

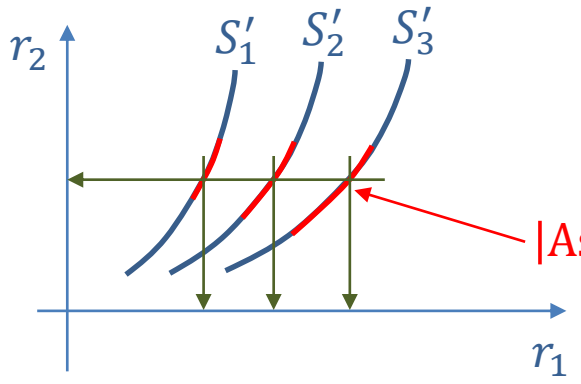
Postup návrhu **tlustých bodově zobrazujících čoček**:

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 τ_2' natočení oka (například 30°) a požadovanou polohu předmětu
3. poloměry křivosti se mírně upravují s cílem dosáhnout hodnoty astigmatismu $|\mathrm{Ast}| = \left|\frac{1}{t_2'} - \frac{1}{s_2'}\right| \leq 0{,}05\ \mathrm{D}$ – 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 prvé či druhé plochy pro několik sousedních hodnot S':

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



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

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 doplňkové (tvořící) plochy [dpt]	Středová tloušťka d [mm]
0,00	D_2 = −6,00 dpt	+5,95	1,8
+0,25		+6,20	1,8
+0,50		+6,44	2,0
+0,75		+6,68	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_2 = −4,00 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_2 = −3,00 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_2 = −1,00 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 doplňkové (tvořící) plochy [dpt]	Středová tloušťka d [mm]
−0,25	D_1 = +6,00 dpt	−6,29	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 = +4,50 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 = +3,00 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 = +2,00 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	D_1 = +1,00 dpt	−12,51	0,5
−12,00		−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		−15,50	0,5
−15,00		−16,00	0,5
−15,50		−16,50	0,5
−16,00	D_1 = 0,00 dpt	−16,00	0,5
−17,00		−17,00	0,5
−18,00		−18,00	0,5
−19,00		−19,00	0,5
−20,00		−20,00	0,5

Příklad českých čoček – Diosfer, Punktur

autoři využili počítacích 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 (∞) 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*.

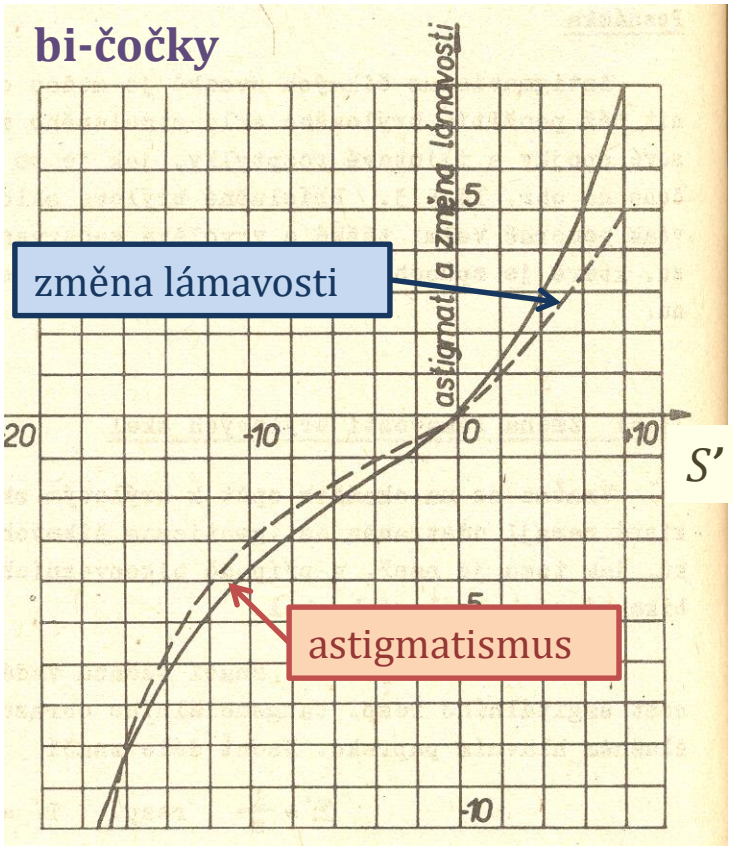
Charakteristické parametry čs. brýlových skel DIOSFER

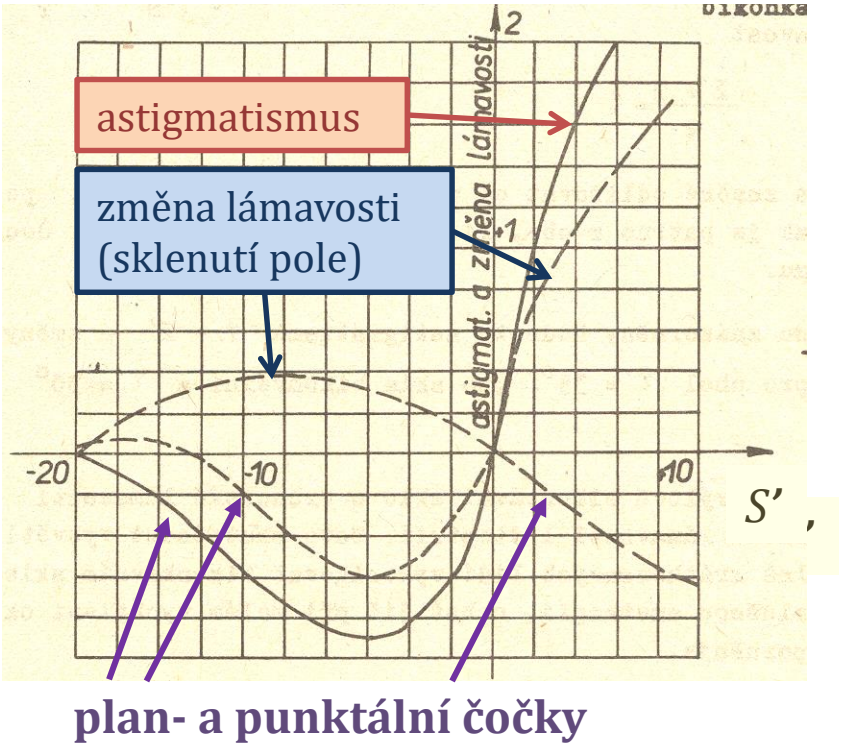
Vrcholová lámavost A' [dpt]	Optická mohutnost vypuklé plochy D_1 [dpt]	Optická mohutnost duté plochy D_2 [dpt]	Středová tloušťka d [mm]
0,00	+5,95		2,0
+0,25	+6,20		2,1
+0,50	+6,45		2,2
+0,75	+6,70		2,3
+1,00	+6,95		2,4
+1,25	+7,19		2,6
+1,50	+7,44		2,7
+1,75	+7,65		2,8
+2,00	+7,92	−6,00	2,9
+2,25	+8,13		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		−6,30	1,7
−0,50	+6,00	−6,55	1,6
−0,75		−6,80	1,5
−1,00		−7,05	1,5
−1,25		−6,80	1,4
−1,50	+5,50	−7,05	1,3
−1,75		−7,30	1,3
−2,00		−7,55	1,2
−2,25		−7,30	1,2
−2,50	+5,00	−7,55	1,1
−2,75		−7,79	1,0
−3,00		−8,04	1,0
−3,25		−7,79	1,0
−3,50	+4,50	−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]	Středová tloušťka d [mm]
+0,25	+6,355		1,8
+0,50	+6,601		1,8
+0,75	+6,844		1,9
+1,00	+7,077	−6,153	2,0
+1,25	+7,327		2,1
+1,50	+7,569		2,2
+1,75	+7,809		2,3
+2,00	+8,759		2,4
+2,25	+8,997		2,5
+2,50	+9,234		2,6
+2,75	+9,464		2,8
+3,00	+9,687	−6,882	3,1
+3,25	+9,926		3,1
+3,50	+10,159		3,2
+3,75	+10,391		3,3
+4,00	+10,617		3,5
+4,50	+11,308		4,1
+5,00	+11,472	−7,164	4,5
+5,50	+12,168		4,9
+6,00	+12,599		5,2
−0,25		−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	+6,173	−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		−9,214	0,8
−4,00	+5,451	−9,473	0,7
−4,50		−9,966	0,7
−5,00		−9,694	0,6
−5,50	+4,705	−10,197	0,6
−6,00		−10,728	0,6

Astigmatismus a sklenutí pole





plan- a punktální čočky

$\mathrm{Ast} = \frac{1}{t_2'} - \frac{1}{s_2'}$ … **astigmatismus** (rozdíl vergencí vzdáleností tangenciální a sagitální fokály)

$\mathrm{PE} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{t_2'} + \frac{1}{s_2'}\right) - S'$ … **změna (odchylka) lámavosti** (rozdíl vergence vzdálenosti kroužku nejmenšího rozptylu a vrcholové lámavosti

Další filozofie designu brýlových čoček

Percivalovo řešení

Archibald Stanley Percival (anglický opthalmologista) 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:

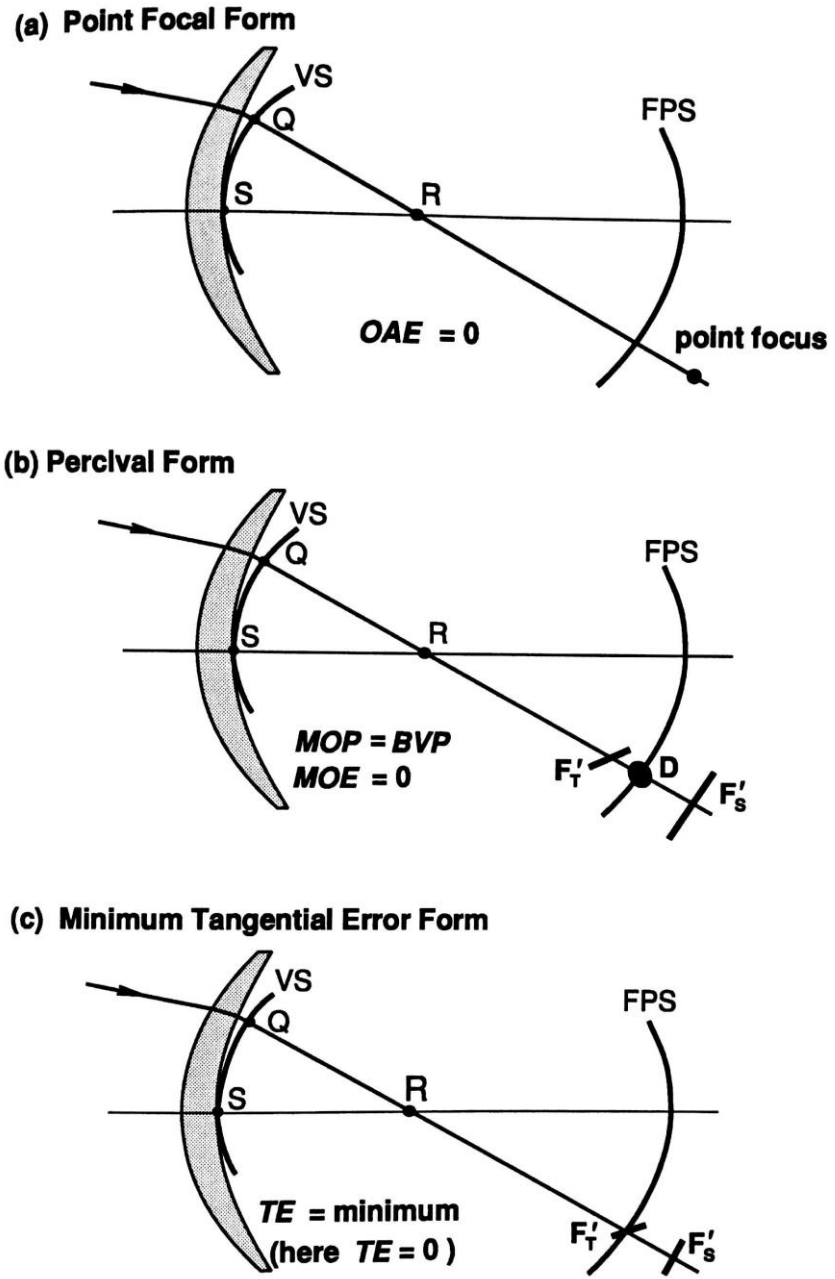
- poměrně malý astigmatismus
- stabilní vzhledem k předmětové vergenci a ke vzdálenosti brýlové čočky (při vzdalování se chová jako punktální, při přibližování jako Percivalova)

Moderní design

Moderní čočky jsou navrhovány jako kompromis z hlediska:

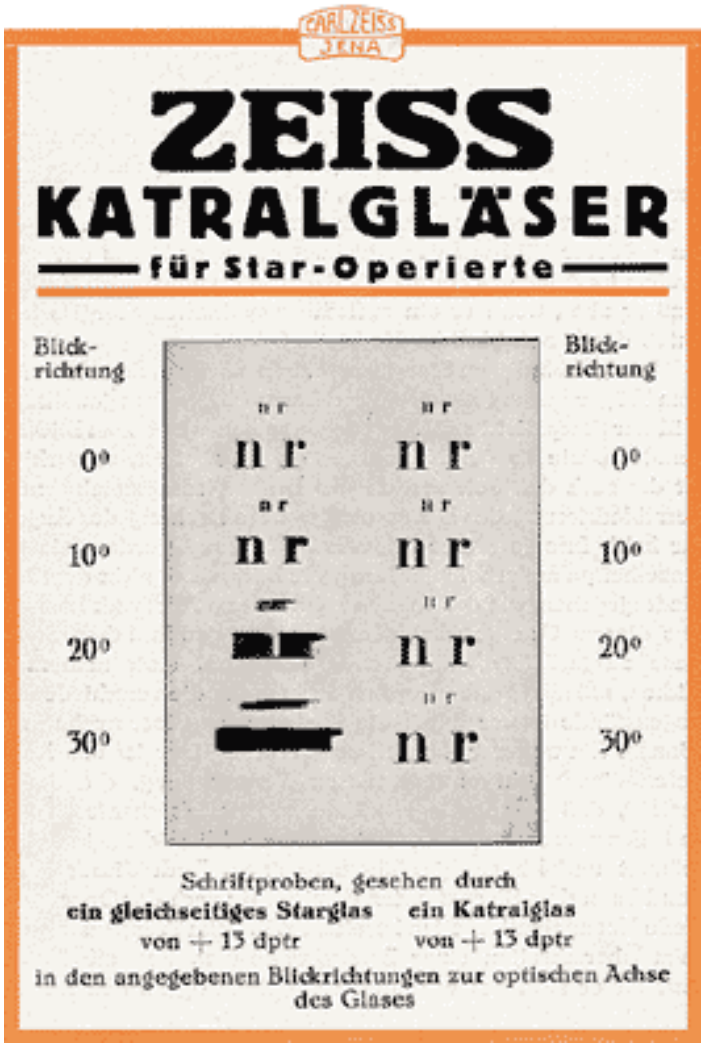
- korekce astigmatismu a sklenutí
- vidění do dálky a do blízka
- rozsahu korigovaného pole
- výrobní tolerance indexu lomu
- váhy a vzhledu čoček

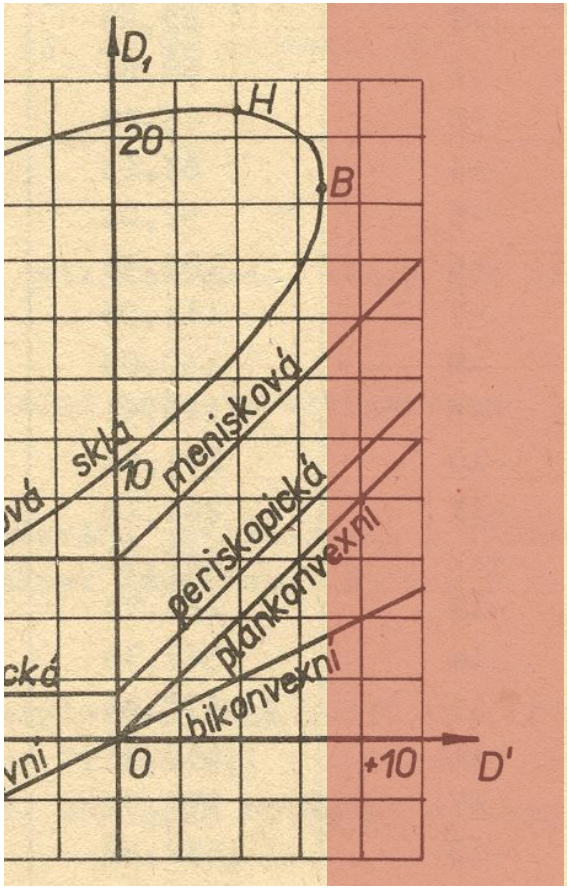
Požaduje se rovněž korekce zkreslení a příčné barevné vady.



A . H. Tunnacliffe: Introduction to Visual Optics, ABDO College, Canterbury 2004.

Asférické plochy

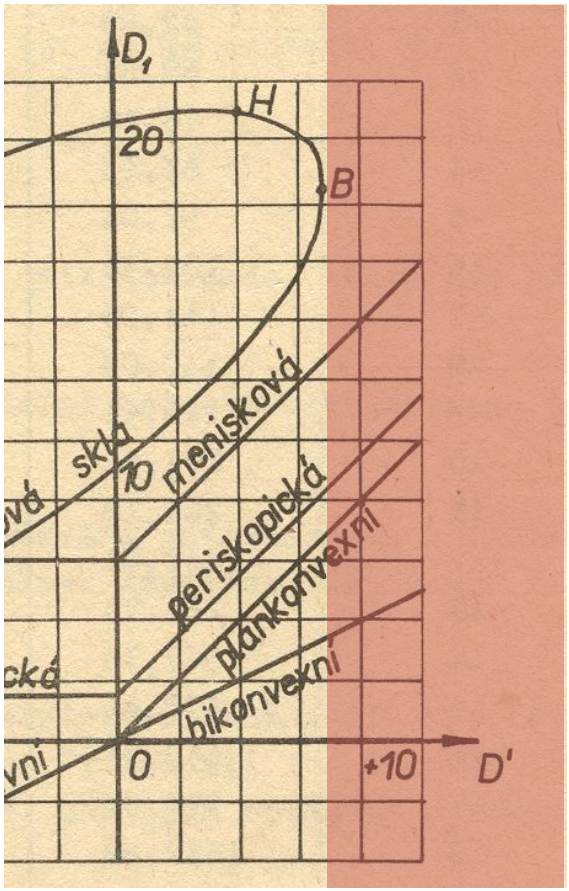




Asférické plochy

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

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



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	ρ(%)
Glasses							
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
Plastics							
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

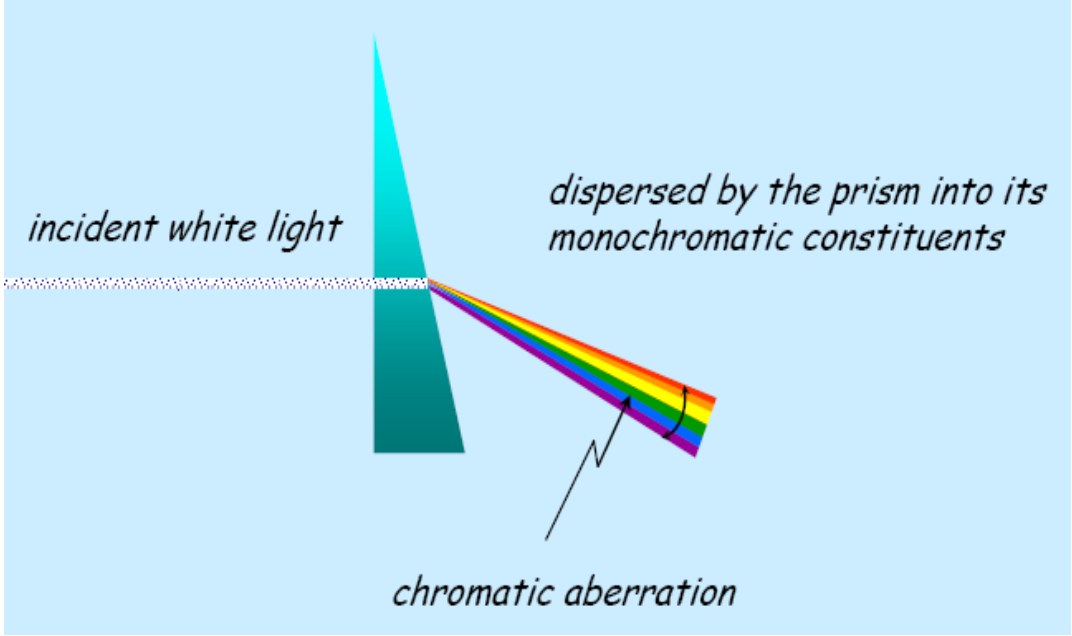
normal index	n	≥ 1.48	but <	1.54
mid index	n	≥ 1.54	but <	1.64
high index	n	≥ 1.64	but <	1.74
very high index	n	≥ 1.74		

Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- index lomu
- **Abbeovo číslo**

- hustota
- UV mezní bod
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost



$$V = \frac{n_\mathrm{D} - 1}{n_\mathrm{F} - n_\mathrm{C}}$$

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

$$V = \frac{n_\mathrm{D} - 1}{n_\mathrm{F} - n_\mathrm{C}}$$

Designation	Element	Wavelength (nm)	Designation	Element	Wavelength (nm)
y	O_2	898.765	c	Fe	495.761
Z	O_2	822.696	F	Hβ	486.134
A	O_2	759.370	d	Fe	466.814
B	O_2	686.719	e	Fe	438.355
C	Hα	656.281	G'	Hγ	434.047
a	O_2	627.661	G	Fe	430.790
D_1	Na	589.592	G	Ca	430.774
D_2	Na	588.995	h	Hδ	410.175
D_3 or d	He	587.5618	H	Ca^+	396.847
e	Hg	546.073	K	Ca^+	393.368
E_2	Fe	527.039	L	Fe	382.044
b_1	Mg	518.362	N	Fe	358.121
b_2	Mg	517.270	P	Ti^+	336.112
b_3	Fe	516.891	T	Fe	302.108
b_4	Fe	516.891	t	Ni	299.444
b_4	Mg	516.733			

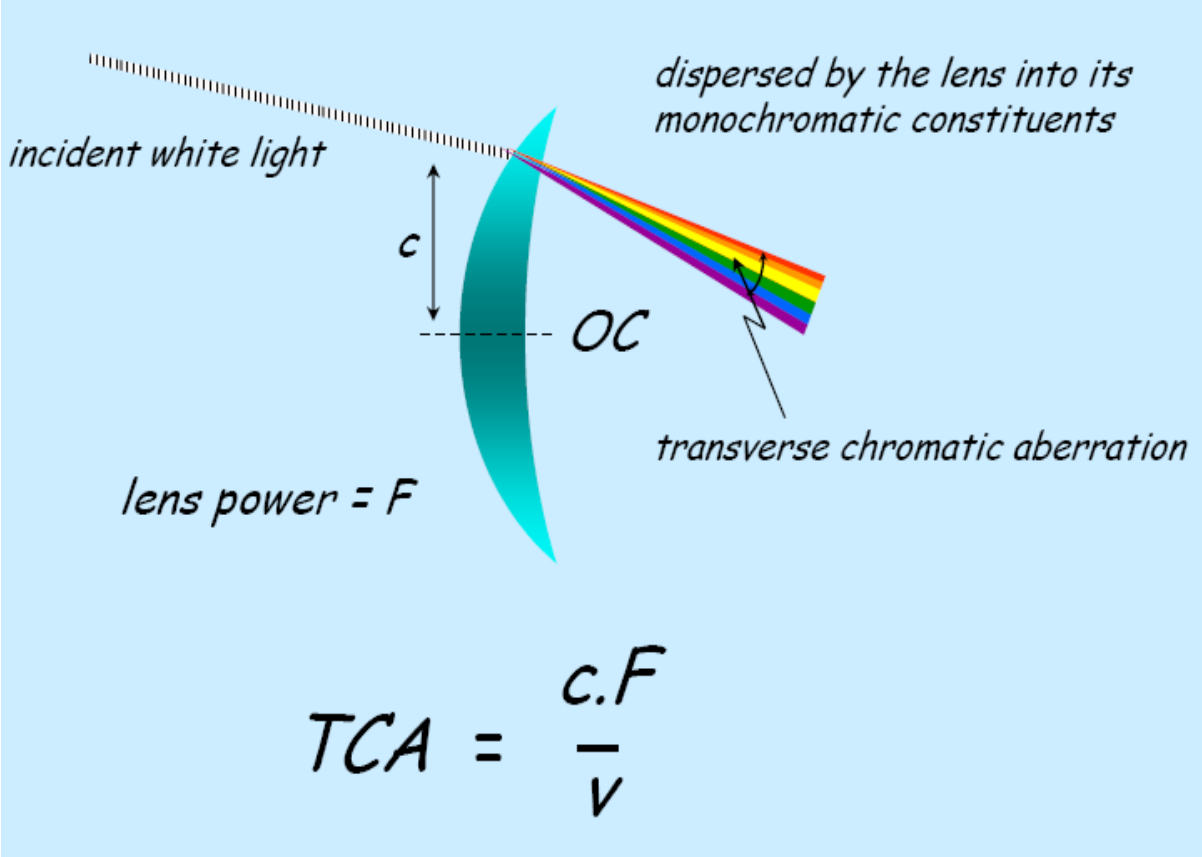
Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- index lomu
- **Abbeovo číslo**

- hustota
- UV mezní bod
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost

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



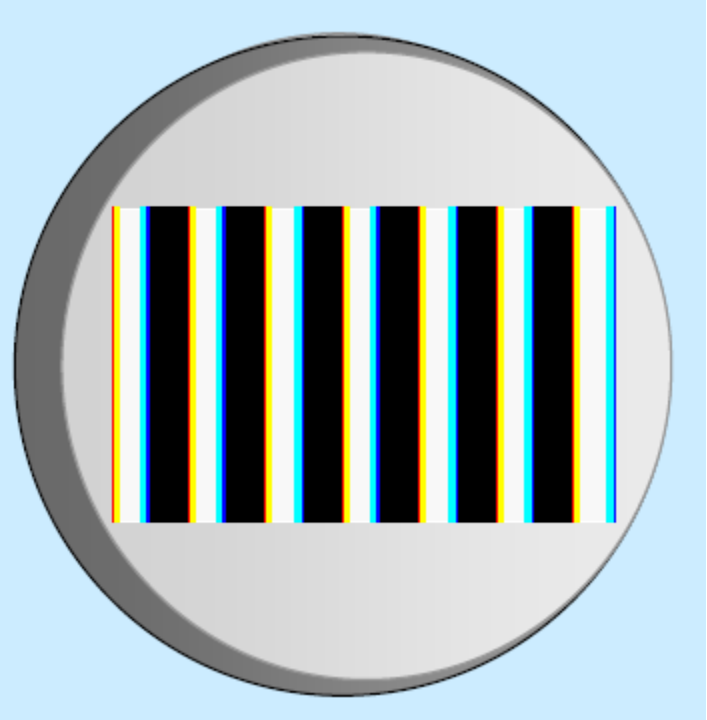
Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- index lomu
- **Abbeovo číslo**

- hustota
- UV mezní bod
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost

$$V = \frac{n_{\mathrm{D}} - 1}{n_{\mathrm{F}} - n_{\mathrm{C}}}$$

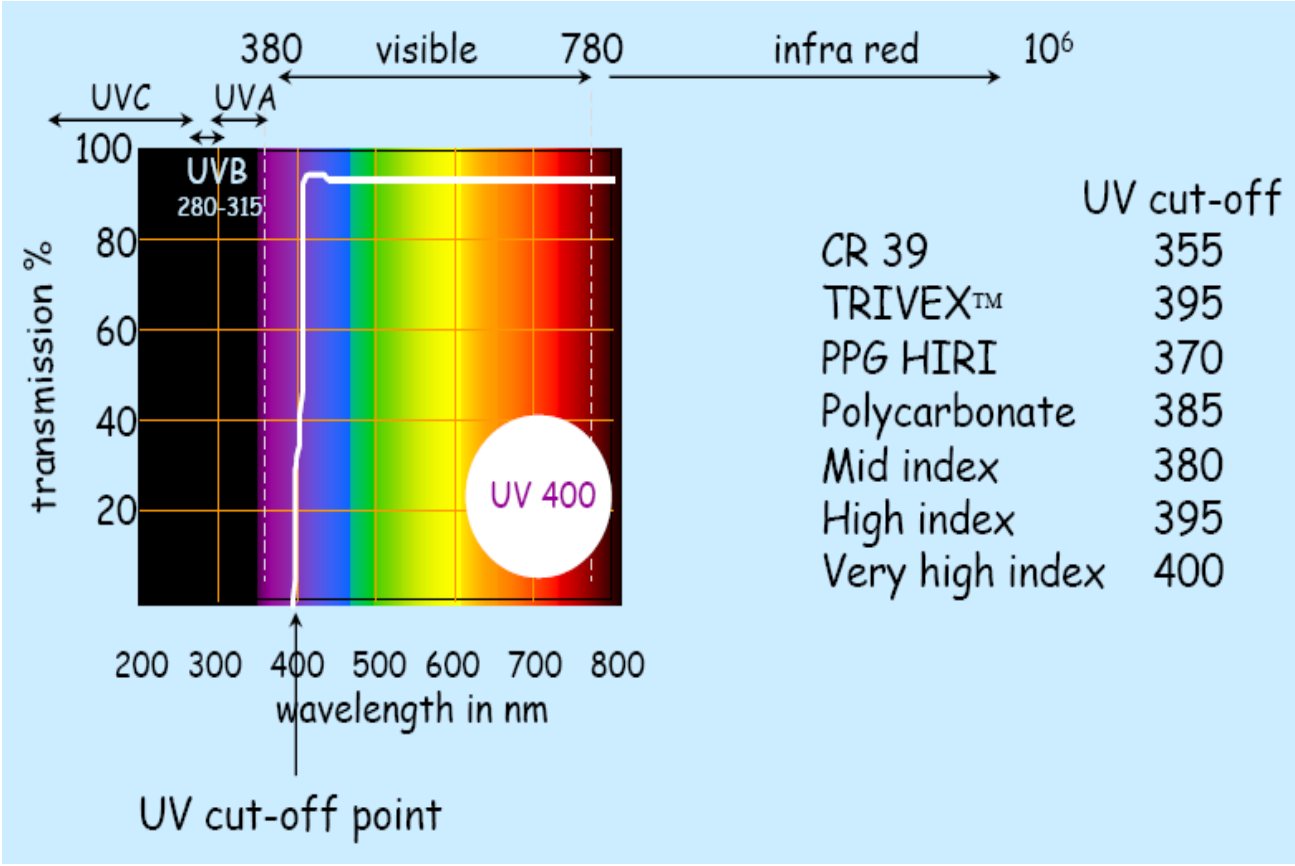


Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

- index lomu
- Abbeovo číslo

- hustota
- **UV mezní bod**
- curve variation factor (CVF)
- odrazivost



	UV cut-off
CR 39	355
TRIVEX™	395
PPG HIRI	370
Polycarbonate	385
Mid index	380
High index	395
Very high index	400

Optické vlastnosti materiálů brýlových čoček

důležité parametry:

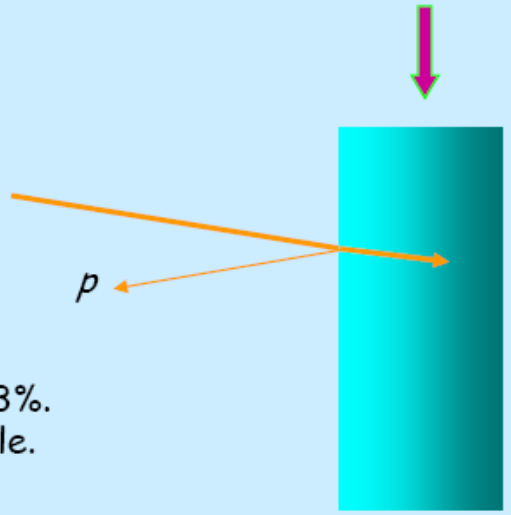
- index lomu
- Abbeovo číslo

- 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

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

n_{base} is the refractive index of the base material
n_{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