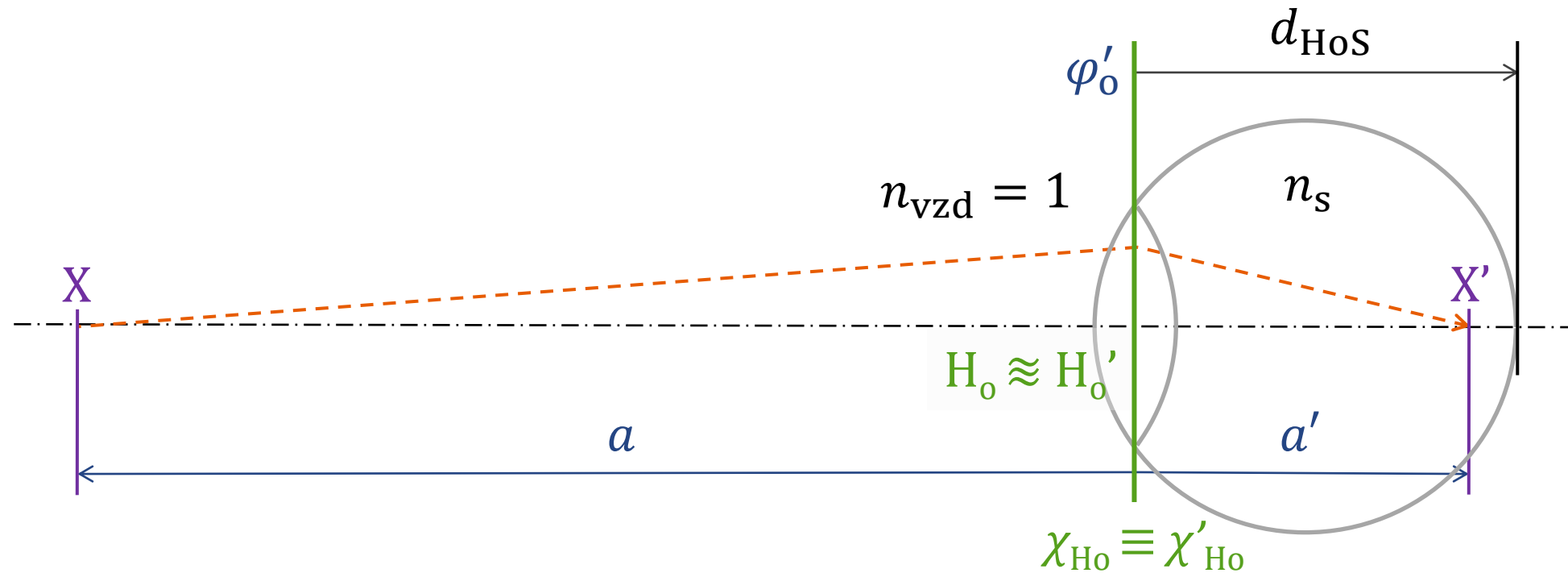


# Ametropie

# zobrazení optickým systémem oka



Gaussova rovnice:

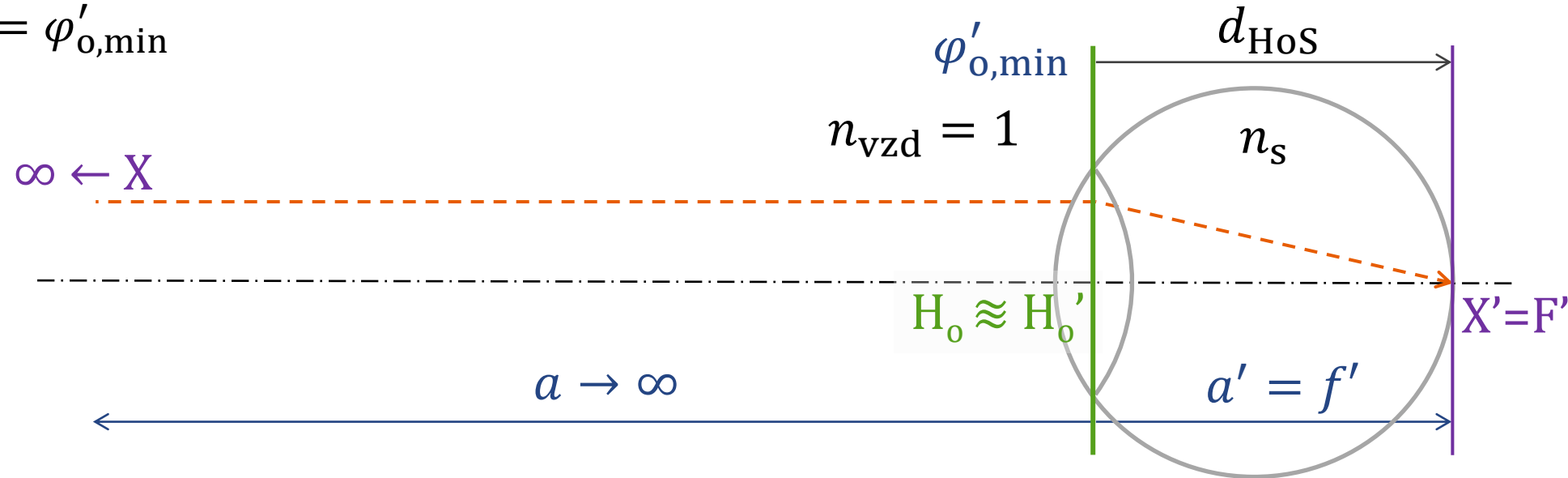
$$\frac{n_s}{a'} = \frac{1}{a} + \varphi'_o$$

$d_{\text{HoS}}$  ... vzdálenost obrazové hlavní roviny od sítnice

# emetropické oko

zobrazení bodu na optické ose v nekonečnu při *minimální akomodaci* (relaxované oko):

$$\varphi'_o = \varphi'_{o,\min}$$



Předmětový bod v nekonečnu se při minimální akomodaci zobrazí na sítnici oka, tedy **obrazové ohnisko leží na sítnici** a platí:

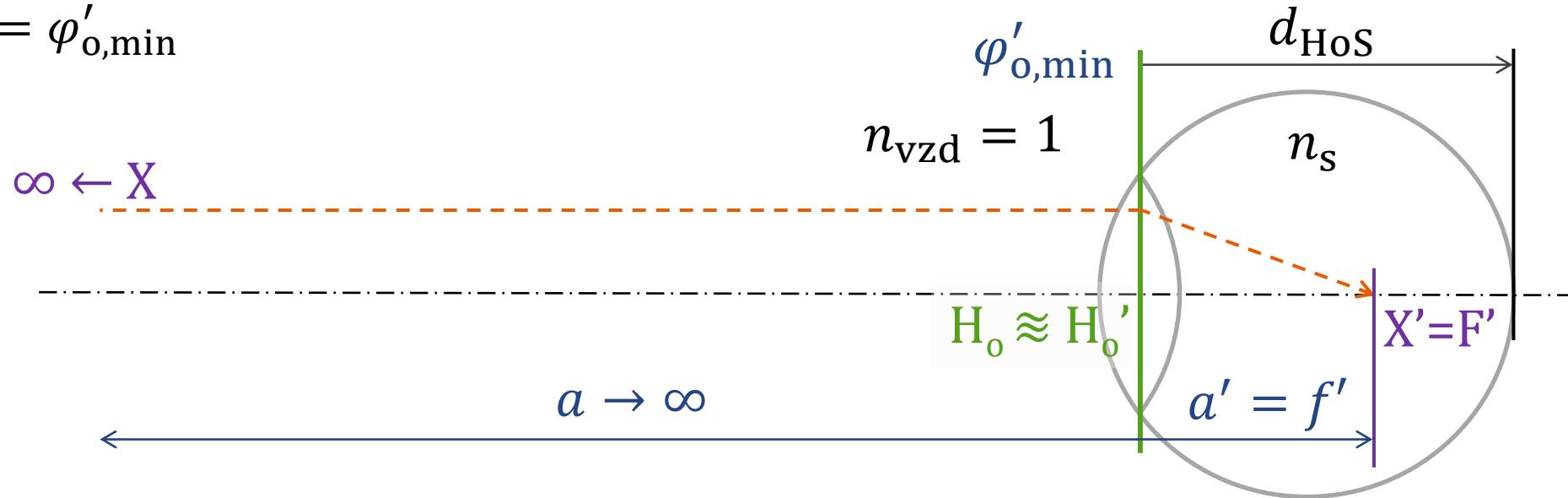
$$d_{HoS} = f' \Rightarrow \frac{n_s}{f'} = \varphi'_{o,\min} = \frac{n_s}{d_{HoS}} = D_{HoS}$$

$D_{HoS}$  ... vergence svazku konvergujícího do bodu sítnice, v obrazové hlavní rovině („dioptrická délka“)

# ametropické oko

zobrazení bodu na optické ose v nekonečnu při *minimální akomodaci* (relaxované oko):

$$\varphi'_o = \varphi'_{o,\min}$$



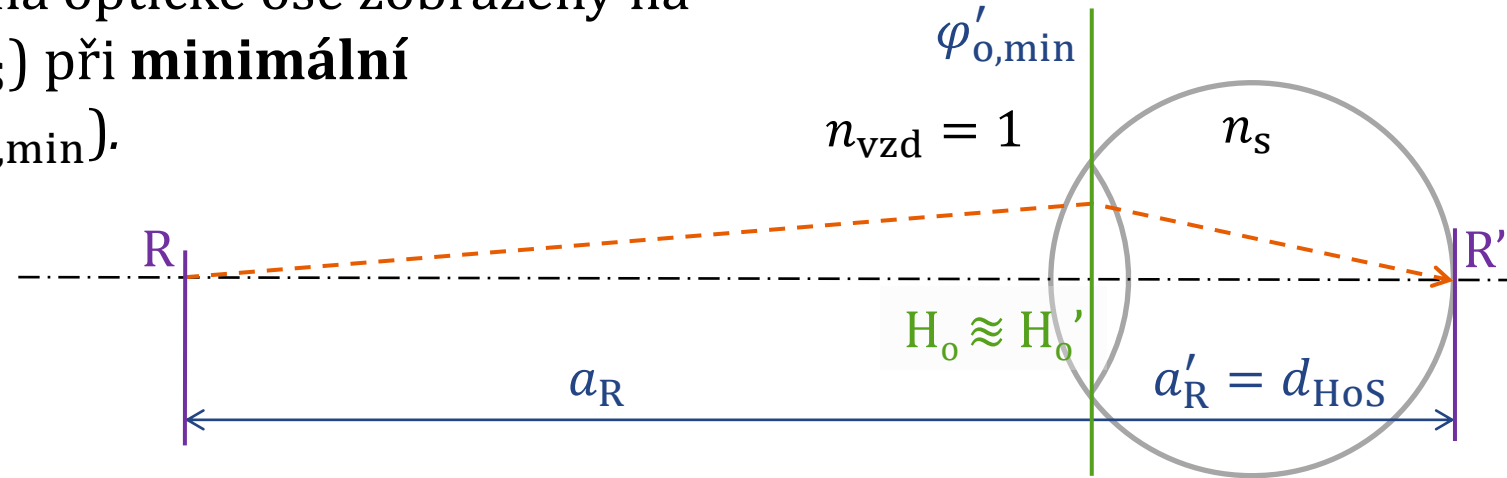
Předmětový bod v nekonečnu se při minimální akomodaci **nezobrazí** na sítnici oka, tedy **obrazové ohnisko neleží na sítnici** a platí:

$$d_{\text{HoS}} \neq f' \implies \frac{n_s}{f'} = \varphi'_{o,\min} \neq \frac{n_s}{d_{\text{HoS}}} = D_{\text{HoS}}$$

**Sférická** ametropie ... optický systém oka má ve všech řezech (meridiánech) shodné optické vlastnosti (nejde o astigmatismus); lze ji korigovat sférickými korekčními členy

# daleký bod oka (punctum remotum)

**Daleký bod R** je bod na optické ose zobrazený na sítnici oka ( $a'_R = d_{\text{HoS}}$ ) při **minimální akomodaci** ( $\varphi'_o = \varphi'_{o,\text{min}}$ ).



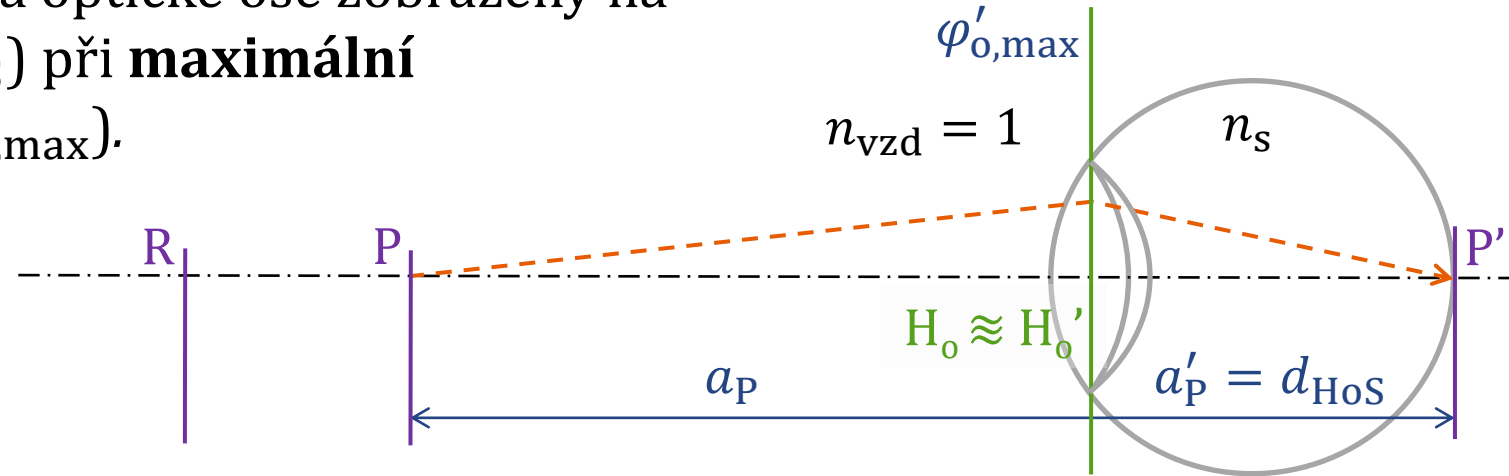
(podle Gaussovy rovnice):

$$\frac{n_s}{a'_R} = \frac{n_s}{d_{\text{HoS}}} = D_{\text{HoS}} = \frac{n_{\text{vzd}}}{a_R} + \varphi'_{o,\text{min}} = \frac{1}{a_R} + \varphi'_{o,\text{min}} = A_R + \varphi'_{o,\text{min}}$$

$A_R = 1/a_R$  ... *axiální refrakce* (též: *ametropie*, „dioptrická vzdálenost“ dalekého bodu),  
... udává, co je nutno přičíst k  $\varphi'_{o,\text{min}}$ , aby se součet rovnal  $D_{\text{HoS}}$  (emetropický stav)

# blízký bod oka (punctum proximum)

**Blízký bod P** je bod na optické ose zobrazený na sítnici oka ( $a'_P = d_{\text{HoS}}$ ) při **maximální akomodaci** ( $\varphi'_0 = \varphi'_{0,\text{max}}$ ).



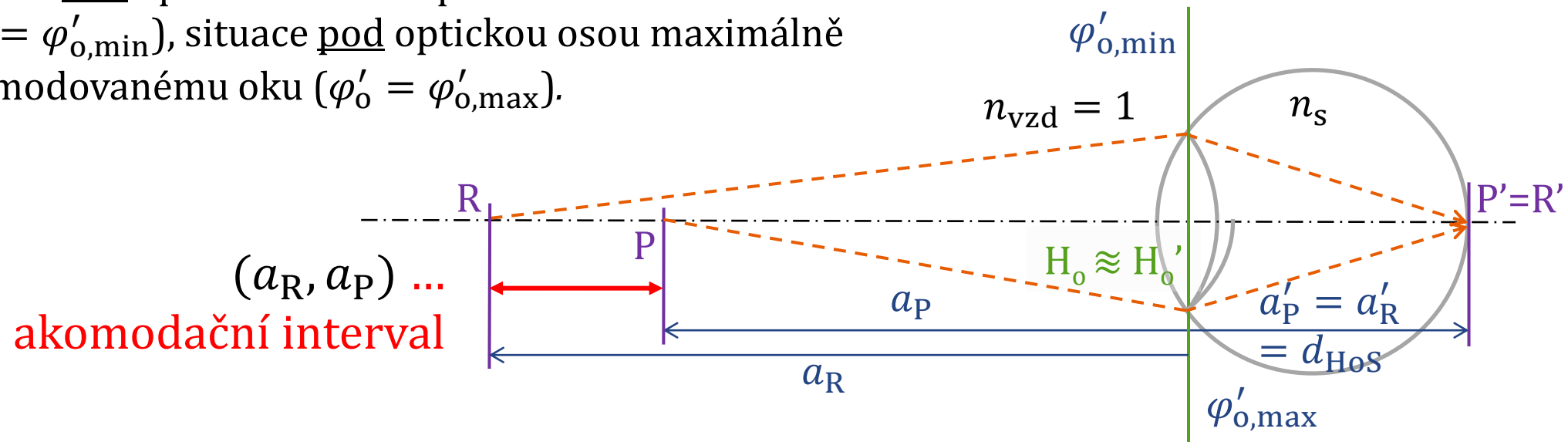
(podle Gaussovy rovnice):

$$\frac{n_s}{a'_P} = \frac{n_s}{d_{\text{HoS}}} = D_{\text{HoS}} = \frac{n_{\text{vzd}}}{a_P} + \varphi'_{0,\text{max}} = \frac{1}{a_P} + \varphi'_{0,\text{max}} = A_P + \varphi'_{0,\text{max}}$$

$A_P = 1/a_P$  ... „dioptrická vzdálenost“ blízkého bodu,vergence svazku vycházejícího z blízkého bodu P, v předmětové hlavní rovině

# akomodační interval a šíře

Situace nad optickou osou odpovídá relaxovanému oku ( $\varphi'_o = \varphi'_{o,\min}$ ), situace pod optickou osou maximálně akomodovanému oku ( $\varphi'_o = \varphi'_{o,\max}$ ).



$$A_{\check{s}} = A_R - A_P \approx (D_{\text{HoS}} - \varphi'_{o,\min}) - (D_{\text{HoS}} - \varphi'_{o,\max}) = \varphi'_{o,\max} - \varphi'_{o,\min}$$

$A_{\check{s}}$  ... akomodační šíře (akomodační amplituda)

Pozn.:  $A_R \approx \varphi'_{o,\max} - \varphi'_{o,\min} + A_P \Rightarrow A_R \geq A_P$

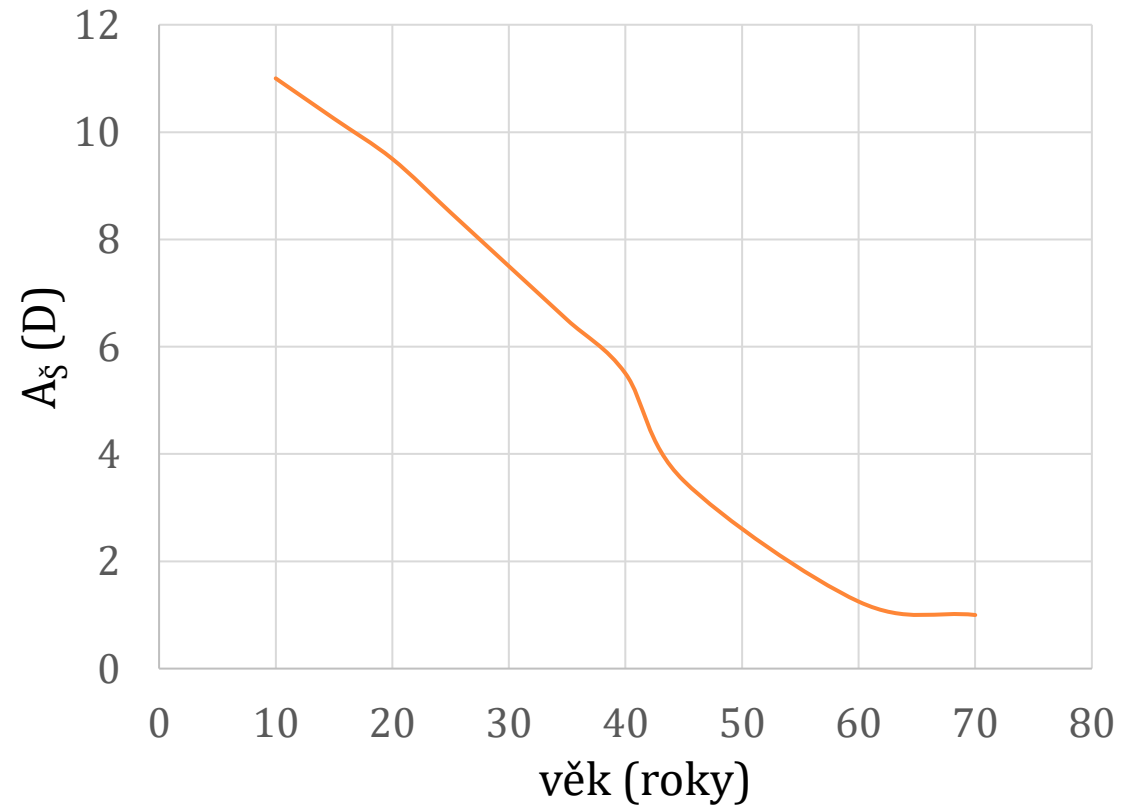
# akomodační šíře (amplituda)

$$A_{\zeta} = A_R - A_P \approx \varphi'_{o,max} - \varphi'_{o,min}$$

věk	$A_{\zeta}$
10	11,00
15	10,25
20	9,50
25	8,50
30	7,50
35	6,5
40	5,50
45	3,5
60	1,25
70	1,00

věk	$A_{\zeta} < 5 \text{ D}$	
	Myop	Hyperop
38	0 %	17 %
40	23 %	67 %
42	57 %	70 %
44	75 %	92 %
45	82 %	100 %

akomodační šíře v závislosti na věku

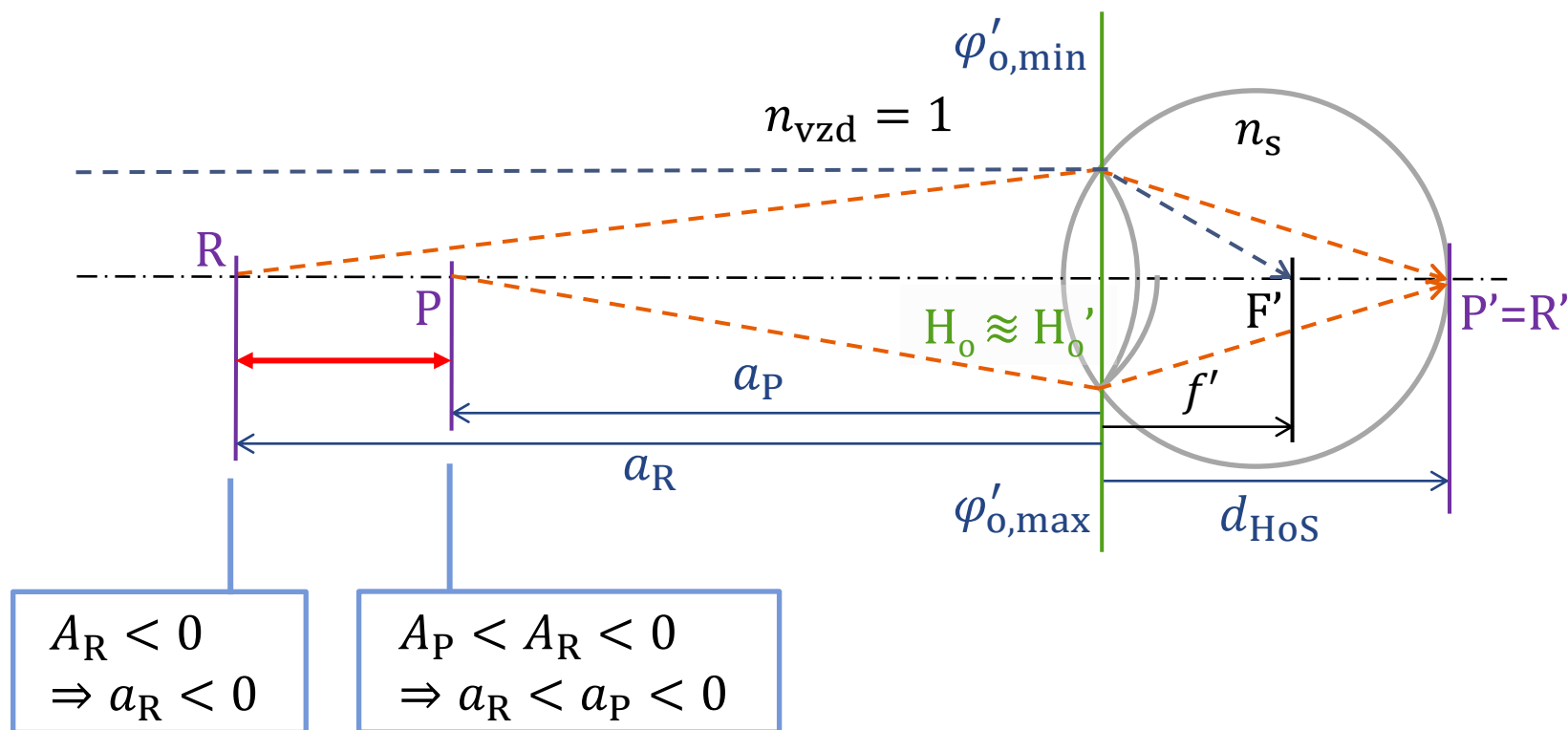




# myopie (krátkozrakost)

$$\boxed{\varphi'_{o,\min} > D_{\text{HoS}} = \frac{n_s}{d_{\text{HoS}}} \Rightarrow A_R = D_{\text{HoS}} - \varphi'_{o,\min} < 0 \Rightarrow a_R < 0}$$

$$\Rightarrow f' = \frac{n_s}{\varphi'_{o,\min}} < d_{\text{HoS}}$$



$$\boxed{A_R < 0 \Rightarrow a_R < 0}$$

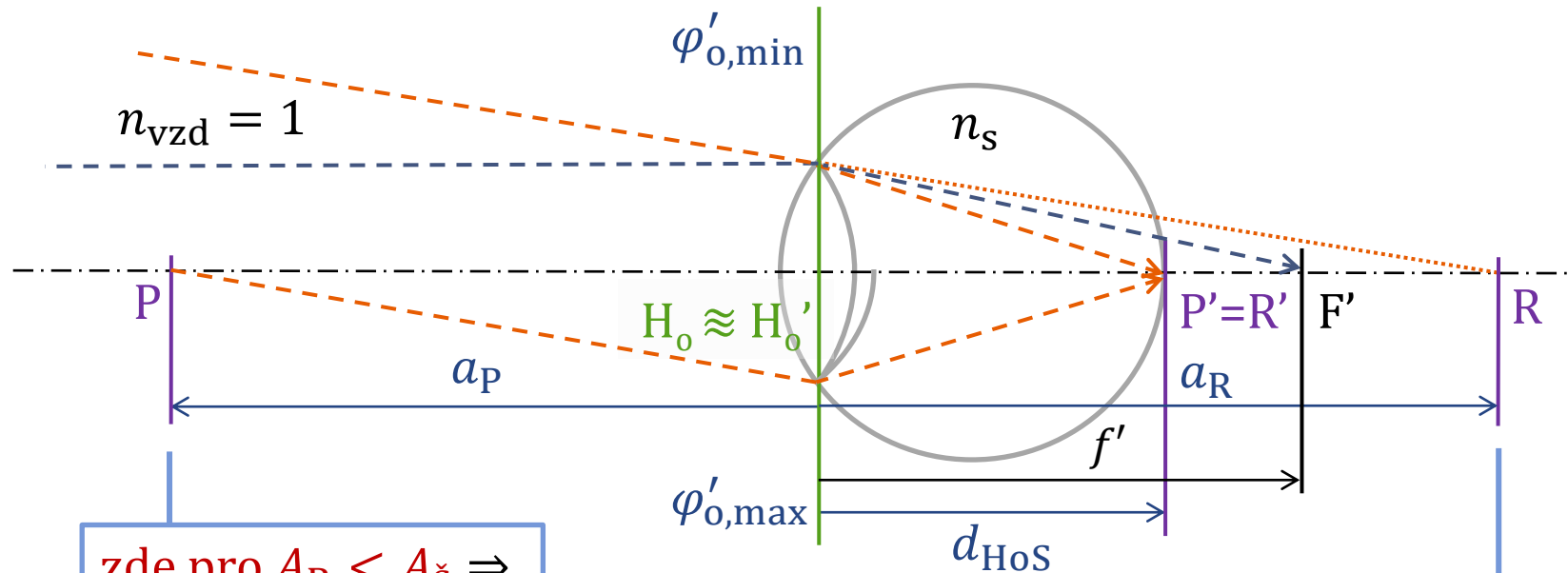
$$\boxed{A_P < A_R < 0 \Rightarrow a_R < a_P < 0}$$

# hypermetropie (hyperopie, dalekozrakost) I

$$\varphi'_{o,\min} < D_{\text{HoS}} = \frac{n_s}{d_{\text{HoS}}}$$

$$\Rightarrow A_R = D_{\text{HoS}} - \varphi'_{o,\min} > 0 \Rightarrow a_R > 0$$

$$\Rightarrow f' = \frac{n_s}{\varphi'_{o,\min}} > d_{\text{HoS}}$$



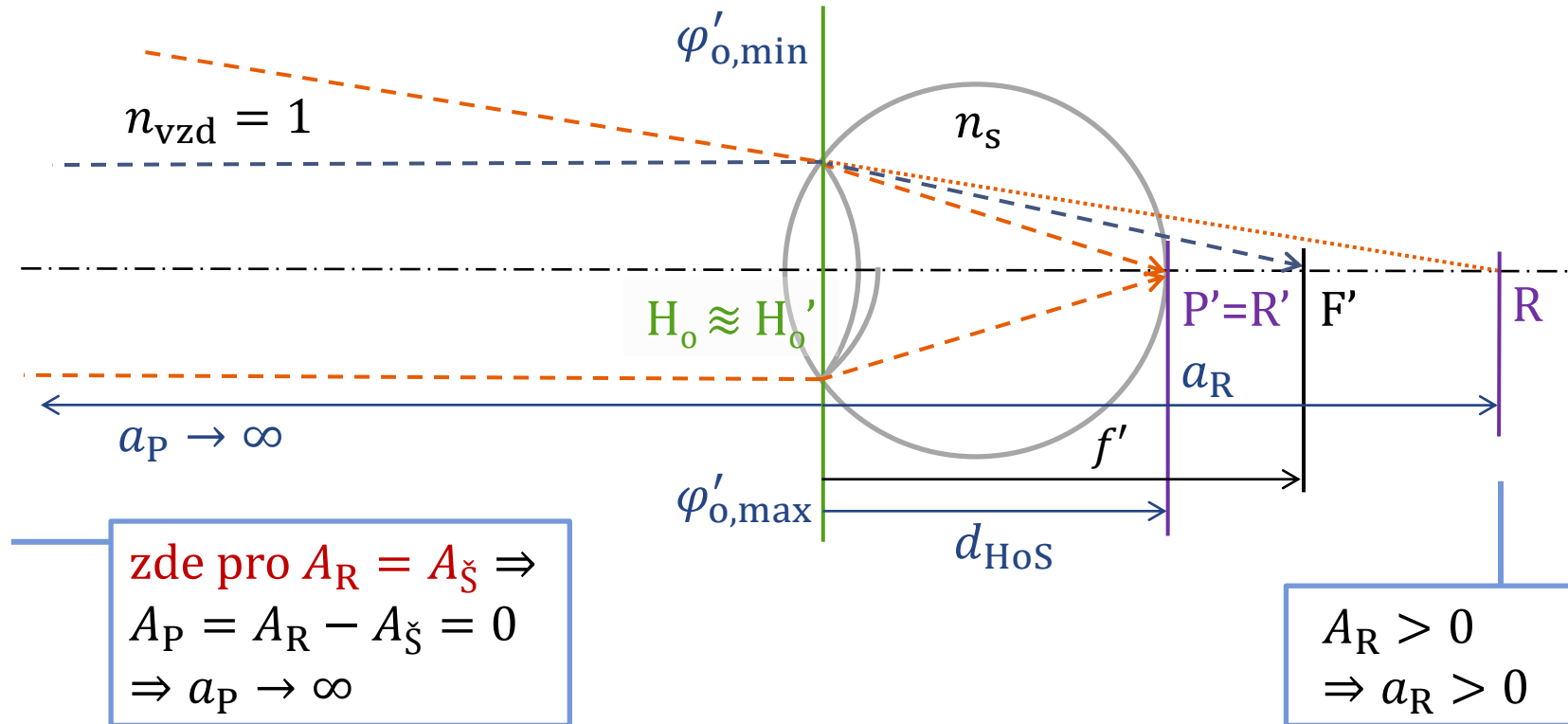
$$\begin{aligned} \text{zde pro } A_R < A_\xi &\Rightarrow \\ A_P = A_R - A_\xi &< 0 \\ \Rightarrow a_P &< 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_R &> 0 \\ \Rightarrow a_R &> 0 \end{aligned}$$

# hypermetropie (hyperopie, dalekozrakost) II

$$\varphi'_{o,\min} < D_{\text{HoS}} \Rightarrow A_R > 0 \Rightarrow a_R > 0$$

$$\Rightarrow f' > d_{\text{HoS}}$$

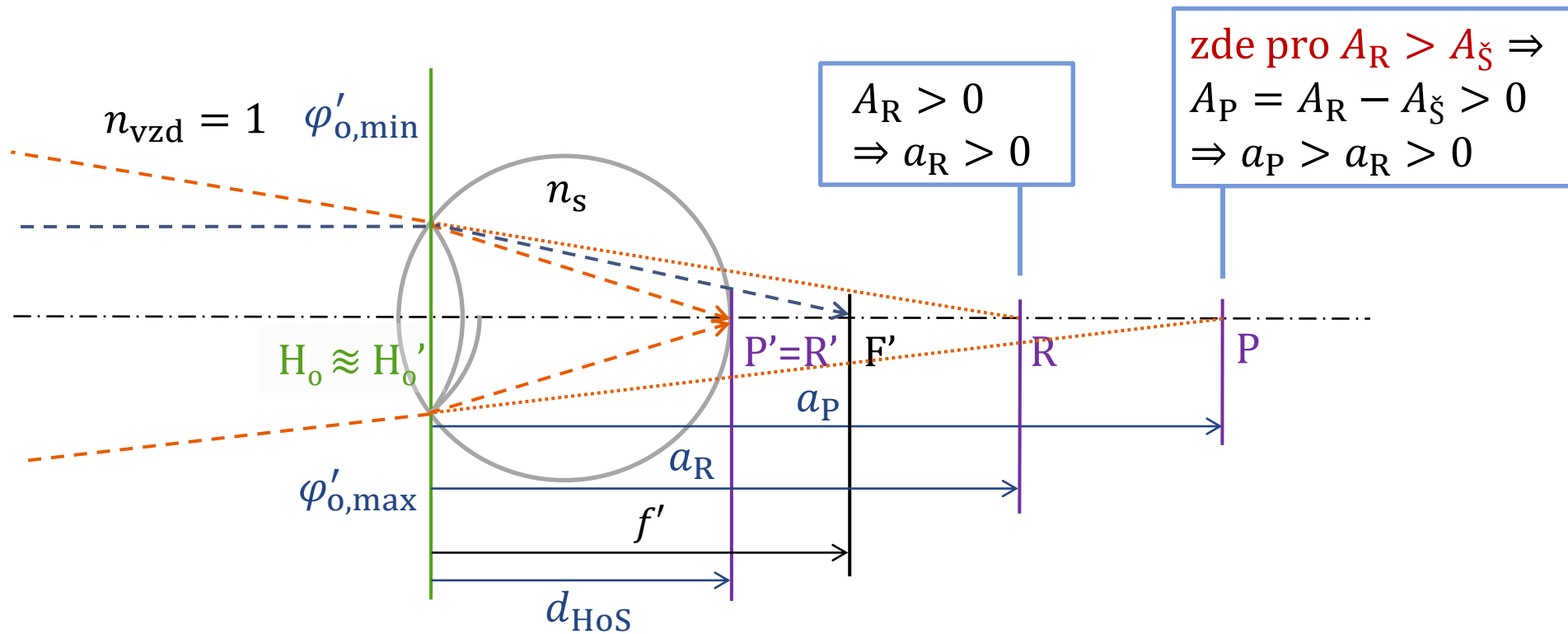


# hypermetropie (hyperopie, dalekozrakost) III

$$\varphi'_{o,\min} < D_{\text{HoS}}$$

$$\Rightarrow A_R > 0 \Rightarrow a_R > 0$$

$$\Rightarrow f' > d_{\text{HoS}}$$



# refrakční vada podle věku a v populaci

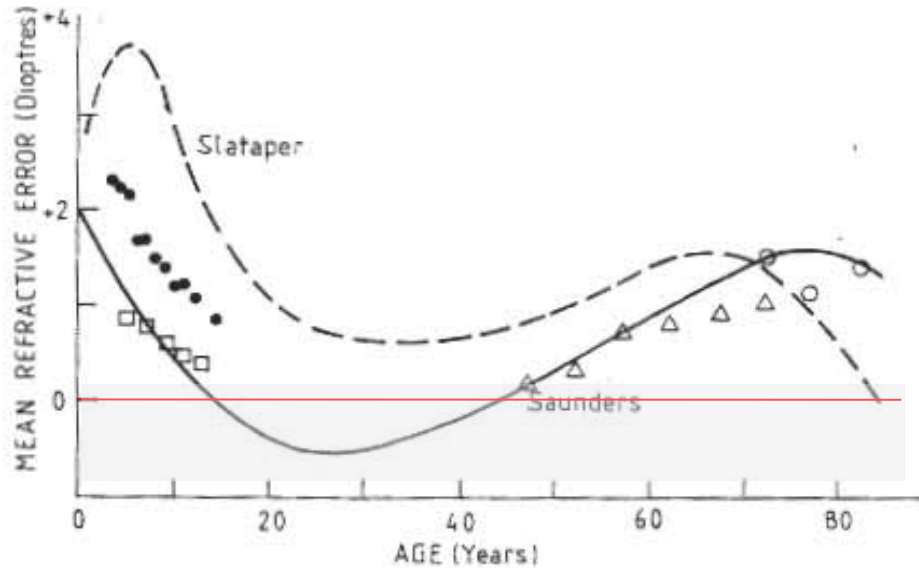
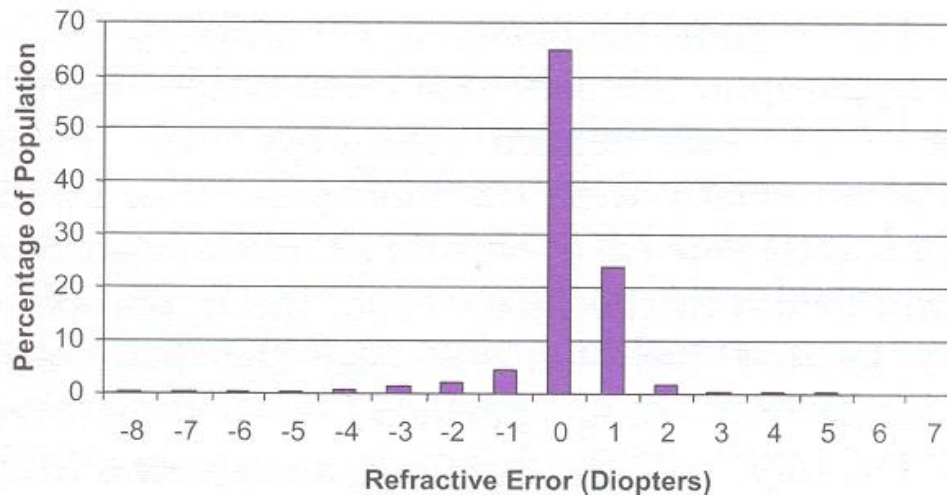


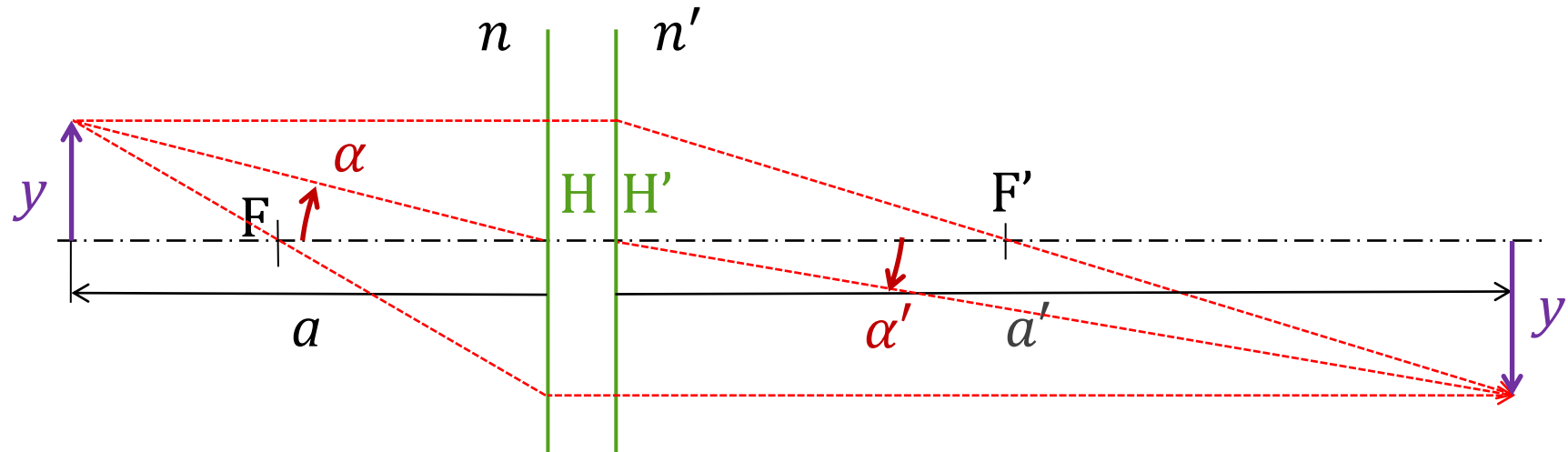
Fig. 2.2 Changes in ocular refraction with age. The smooth broken and unbroken curves are due to Slataper (1950) and Saunders (1981) respectively, and are largely based on results for self-selecting clinical patients. The isolated symbols are data for mainly unselected, non-clinical groups, as collected by the following authors: filled circles, mean ocular refraction in vertical meridian, Sorsby et al. (1961); open squares, mean equivalent sphere, Hirsch (1952); open triangles, mean equivalent sphere, Hirsch (1958); open circles, mean equivalent sphere, Lavery et al. (1988).



Rozdělení četnosti refrakčních vad v populaci

(J. Schwiegerling: Visual and Ophthalmic Optics. SPIE Press, Bellingham 2004)

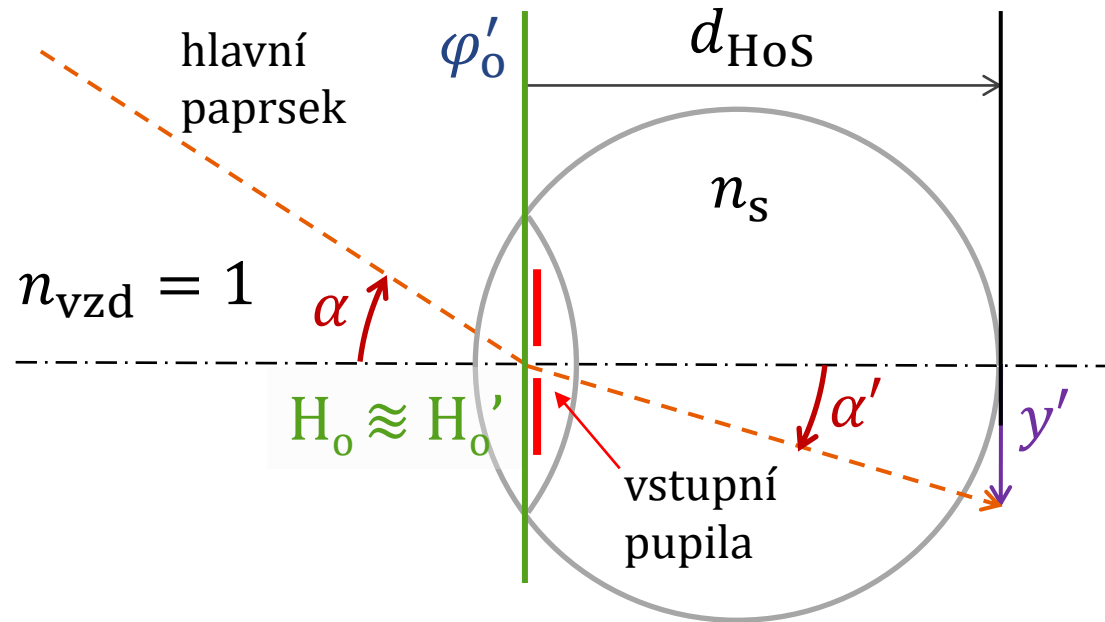
# užitečný vztah



$$\frac{y'}{y} = \frac{A}{A'} \quad \frac{y}{a} = \operatorname{tg} \alpha \quad \frac{y'}{a'} = \operatorname{tg} \alpha' \quad \Rightarrow \quad \frac{\operatorname{tg} \alpha'}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{y' a}{y a'} = \frac{A a}{A' a'} = \frac{n}{n'}$$

# velikost obrazu na sítnici nekorigovaného oka

Velikost rozostřeného sítnicového obrazu (pro nekorigované ametropické oko) se určí jako vzdálenost mezi body, kde hlavní paprsky vycházející z krajních bodů předmětu protínají sítnici.



$$y' = d_{HoS} \operatorname{tg} \alpha'$$
$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{n_s}$$

➔

$$y'_u = \frac{d_{HoS}}{n_s} \operatorname{tg} \alpha$$

emetrop:

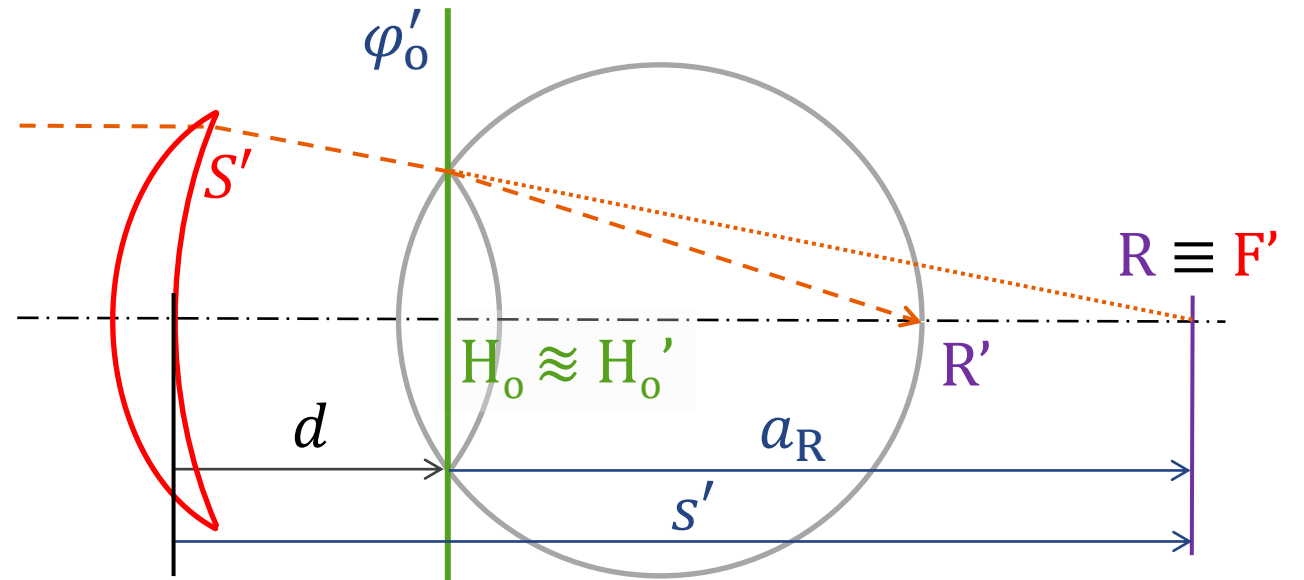
$$\frac{d_{HoS}}{n_s} = \frac{f'_0}{n_s} = -f_0$$

$$y' = -f_0 \operatorname{tg} \alpha$$

# korekce ametropie I

Obrazové ohnisko  $F'$  korekční čočky leží v dalekém bodě R oka (**korekční podmínka**).

Předmětový bod na optické ose v nekonečnu je proto korekční čočkou zobrazen do dalekého bodu R oka a pak optickým systémem oka na jeho sítnici.



$$s' = d + a_R \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{s'} = S' = \frac{1}{a_R + d}$$

$$\Rightarrow S' = \frac{A_R}{1 + dA_R}$$

$$\Rightarrow A_R = \frac{S'}{1 - dS'}$$

( $s'$  je sečná obrazová ohnisková vzdálenost korekční čočky,  $d$  (vertex distance) měříme od vrcholu zadní plochy korekční čočky po předmětovou hlavní rovinu oka, přibližně po přední plochu oka)



# korekce ametropie II

Rovnoběžný svazek z osového předmětového bodu v nekonečnu je korekční (brýlovou) čočkou transformován na svazek, který má v předmětové hlavní rovině oka vergenci  $A_R$ . Na obrazové hlavní rovině oka je pakvergence svazku rovna  $A_R + \varphi'_{o,\min}$ . Protože platí

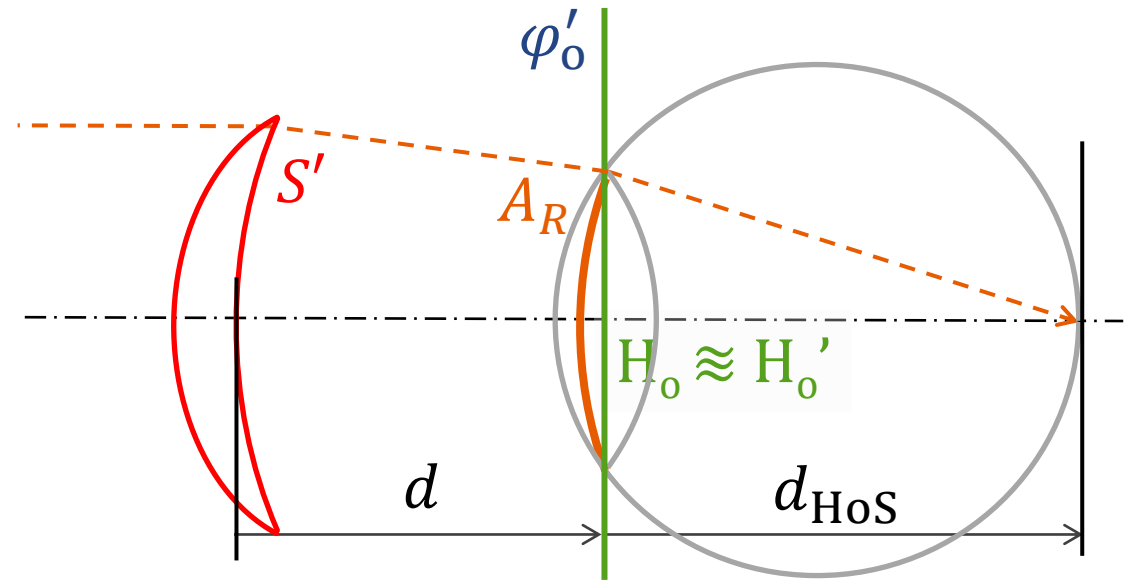
$$A_R + \varphi'_{o,\min} = D_{H_oS},$$

odpovídá tato vergence optické délce  $D_{H_oS}$  a bod z nekonečna je ostře zobrazen na sítnici.

Potřebnou vrcholovou lámavost  $S'$  korekční čočky stanovíme zpětnou propagací ( $-d$ ) svazku z předmětové hlavní roviny oka na zadní lámavou plochu korekční čočky.

Platí i opačný vztah (přímá propagace svazku), kterým lze určit axiální refrakci oka  $A_R$  z vrcholové lámavosti  $S'$ .

( $d$  měříme od vrcholu zadní plochy korekční čočky po předmětovou hlavní rovinu oka, přibližně po přední plochu oka)



$$\Rightarrow S' = \frac{A_R}{1 + dA_R}$$

$$\Rightarrow A_R = \frac{S'}{1 - dS'}$$

# velikost obrazu na sítnici ametropického oka

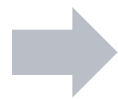
předmět o úhlové velikosti  $\alpha$  se zobrazí do ohniska korekční čočky s tloušťkou  $d_K$  a indexem lomu  $n_K$  a mohutností první plochy  $\varphi'_{K1}$  a vznikne obraz o výšce

$$y = -f_K \operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\varphi'_K} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{S'(1 - \bar{d}_K \varphi'_{K1})}$$

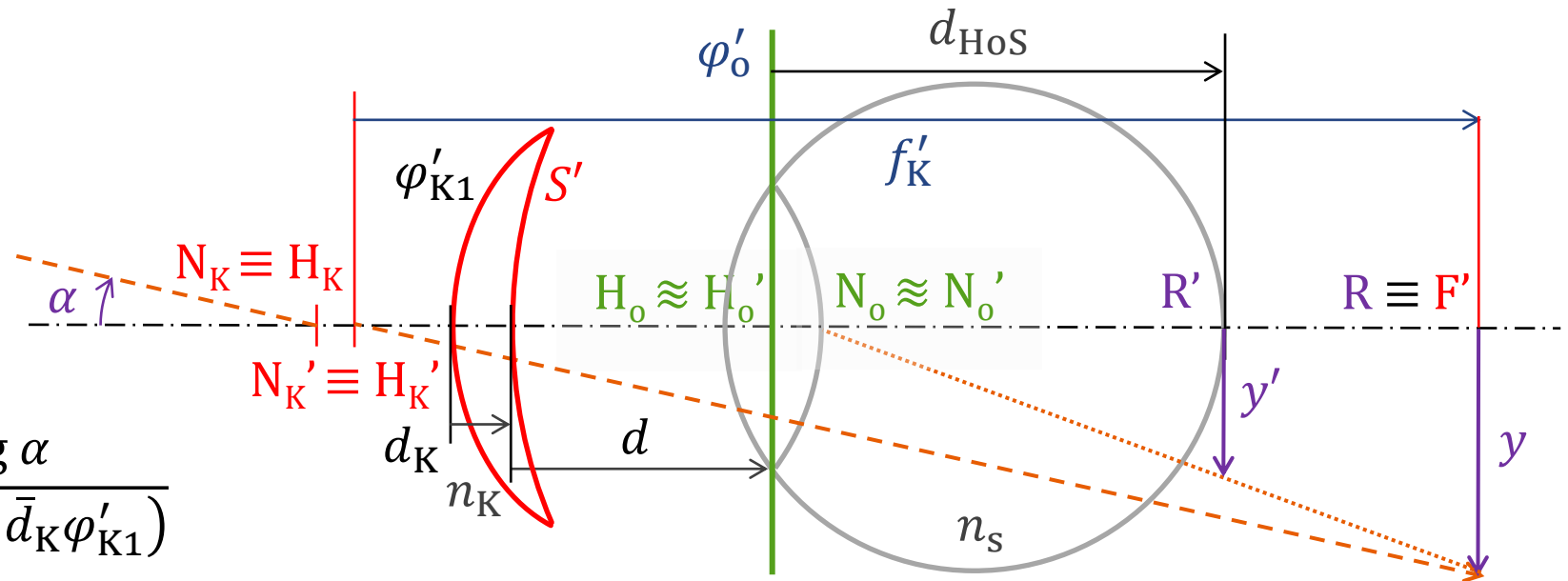
ten je dále okem zobrazen na sítnici, vznikne obraz o výšce  $y'$  a platí:

$$y' = \frac{A_R}{A'_R} y = \frac{a'_R A_R}{n_s} y = \frac{d_{HoS} A_R}{n_s} y = \frac{d_{HoS} A_R}{n_s S'(1 - \bar{d}_K \varphi'_{K1})} \operatorname{tg} \alpha$$

$$\frac{A_R}{S'} = (1 + dA_R) = \frac{1}{(1 - dS')}$$



$$y' = (1 + dA_R) \frac{1}{(1 - \bar{d}_K \varphi'_{K1})} \frac{d_{HoS}}{n_s} \operatorname{tg} \alpha$$



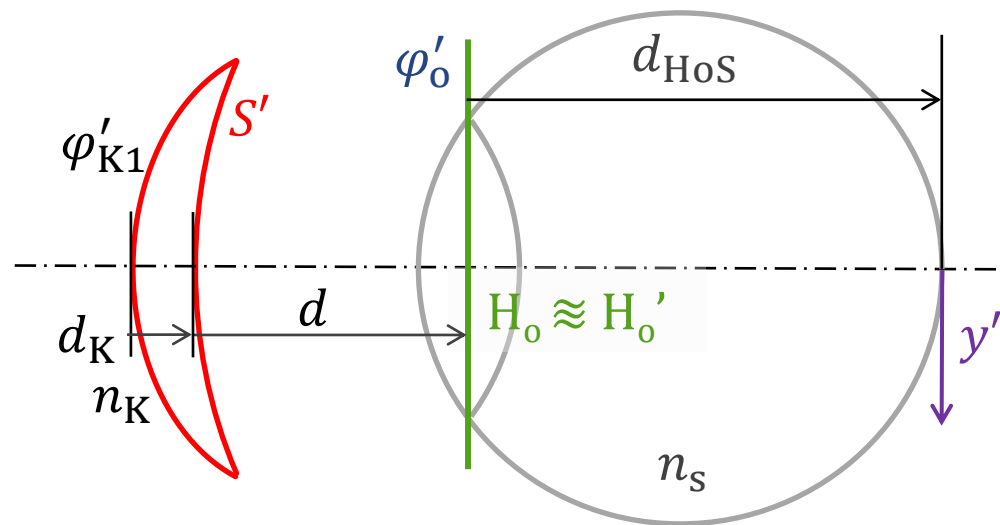
# velikost obrazu na sítnici ametropického oka

$$y' = (1 + dA_R) \frac{1}{(1 - \bar{d}_K \varphi'_{K1})} \frac{d_{HoS}}{n_s} \operatorname{tg} \alpha = F_P \times F_T \times y'_u \approx (1 + dA_R) \frac{d_{HoS}}{n_s} \operatorname{tg} \alpha$$

zvětšení  
korekční  
čochky

bez  
korekce

aproximace tenké  
korekční čochky



**“Mohutnostní” (Power) faktor:**

$$F_P = (1 + dA_R) = 1/(1 - dS') = A_R/S'$$

... zásadní vliv na zvětšení korekční čochky

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

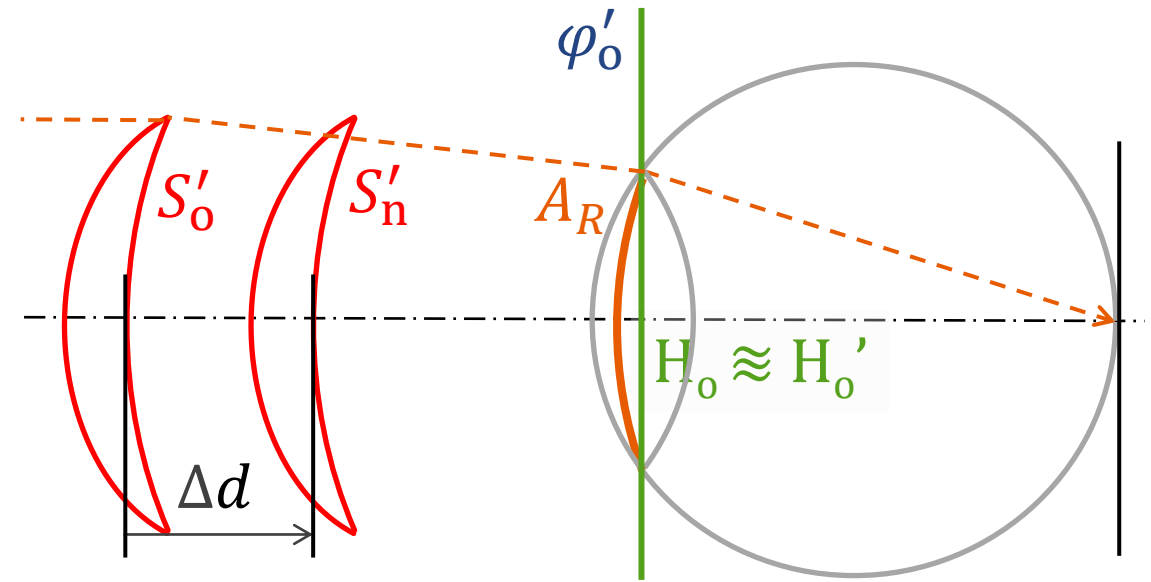
... přední plocha obvykle spojná, zvětšení její mohutnosti nebo centrální tloušťky **zvětší** tvarový faktor a tím i sítnicový obraz

... rozptylky mají velmi malou redukovanou centrální tloušťku, tvarový faktor je blízký jedné

# přepočet vrcholové lámavosti

Vrcholová lámavost korekční čočky v původní poloze je  $S'_0$ . Při změně polohy (vzdálenosti) korekční čočky je nutno změnit také její vrcholovou lámavost na  $S'_n$ , tak, aby odpovídala vergenci svazku za původní čočkou v místě zadní plochy nové čočky. Pak bude na předmětové hlavní rovině oka opět dosaženo požadované vergence svazku  $A_R$ .

Požadovanou vergenci  $S'_n$  proto určíme z původní vergence  $S'_0$  propagací vergence o vzdálenost  $\Delta d$  měřené od vrcholu zadní plochy korekční čočky v původní poloze k vrcholu zadní plochy čočky v nové poloze.



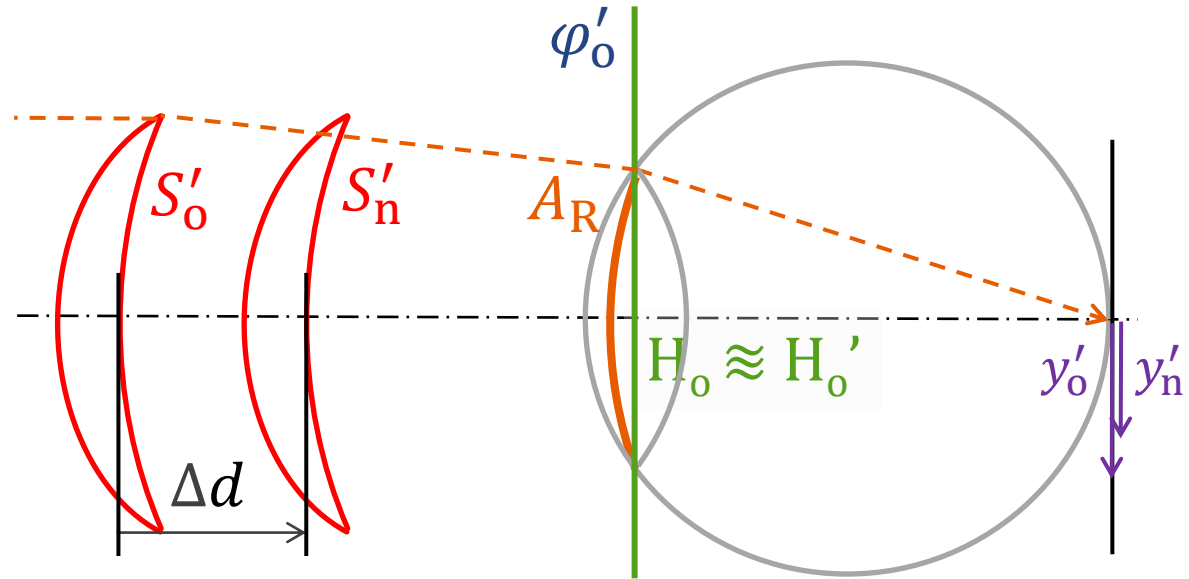
$$\Rightarrow S'_n = \frac{S'_0}{1 - \Delta d S'_0}$$

( $\Delta d = d_o - d_n$  je kladné při posunutí korekční čočky směrem k oku a záporné při posunutí od oka)

# přepoččet velikosti obrazu na sítnici

Při změně polohy (vzdálenosti) korekční čočky se změní také velikost obrazu (téhož předmětu) na sítnici.

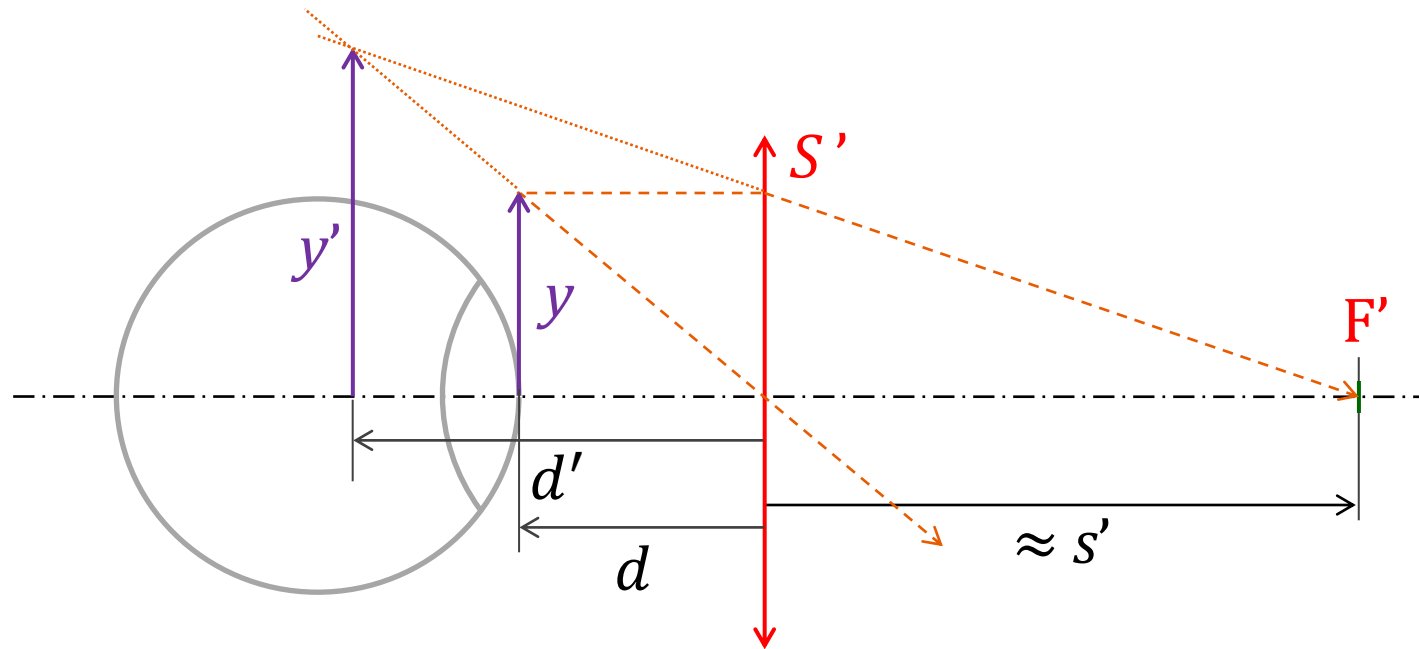
Pro poměr  $\beta_{no}$  velikostí nového a původního sítnicového obrazu platí:



$$\beta_{no} = \frac{y'_n}{y'_0} = \frac{F_{Pn}}{F_{Po}} = \frac{A_R S'_0}{S'_n A_R} = \frac{S'_0}{S'_n} = S'_0 \frac{1 - \Delta d S'_0}{S'_0} = 1 - \Delta d S'_0$$

( $\Delta d = d_o - d_n$  je kladné při posunutí korekční čočky směrem k oku a záporné při posunutí od oka)

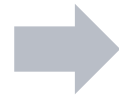
# zdánlivá velikost oka za brýlovou čočkou



Podle Gaussovy rovnice:

$$\frac{1}{d'} = \frac{1}{d} + \varphi' \approx \frac{1}{d} + S'$$

$$(d, d' < 0)$$



velikost obrazu oka  $y'$  za brýlovou čočkou:

$$y' = \frac{d'}{d} y = \frac{y}{1 + dS'}$$