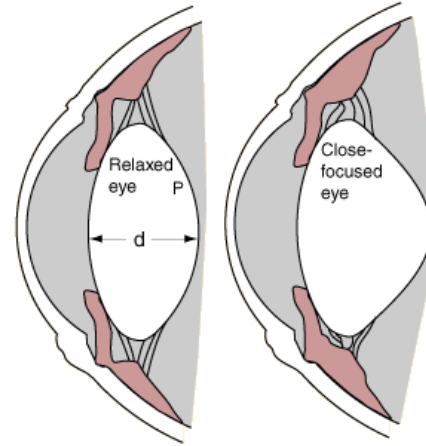
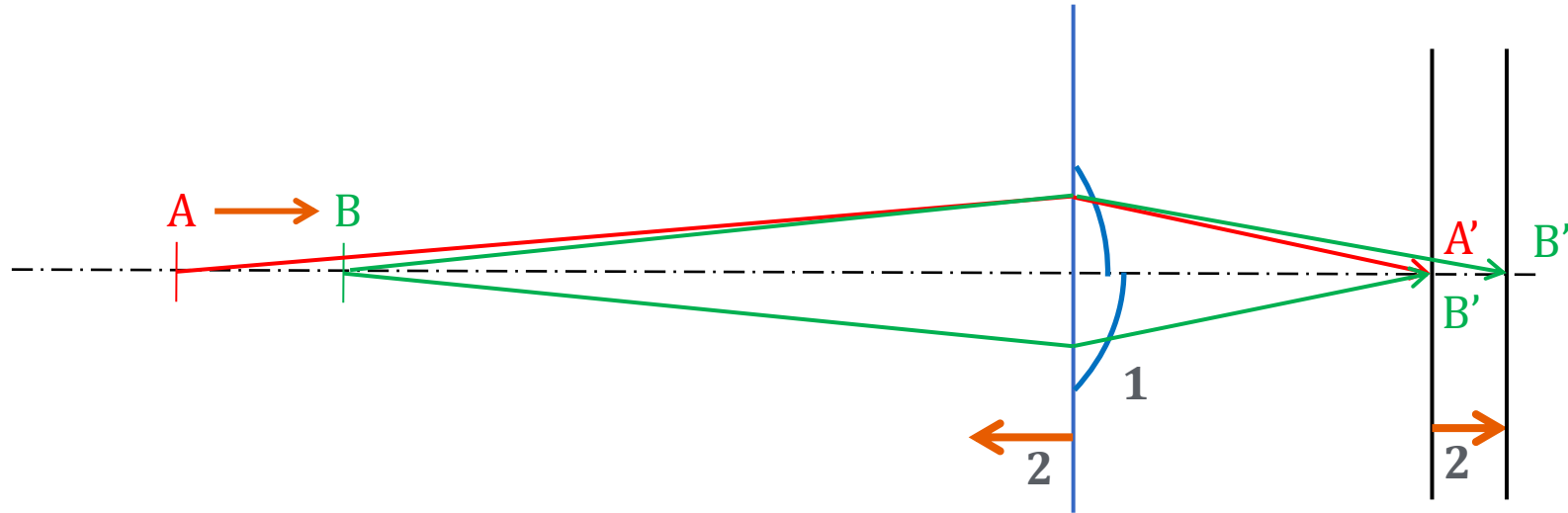


# Akomodace



# Možnosti přeastření



## možnosti přeastření z $A \rightarrow B$

1. změna optické mohutnosti  $\varphi'_o$  zobrazovací soustavy (u lidského oka a oka obratlovců převládá)
2. změna polohy optické soustavy nebo detektoru (jen v malé míře, obvyklé u ryb a obojživelníků)

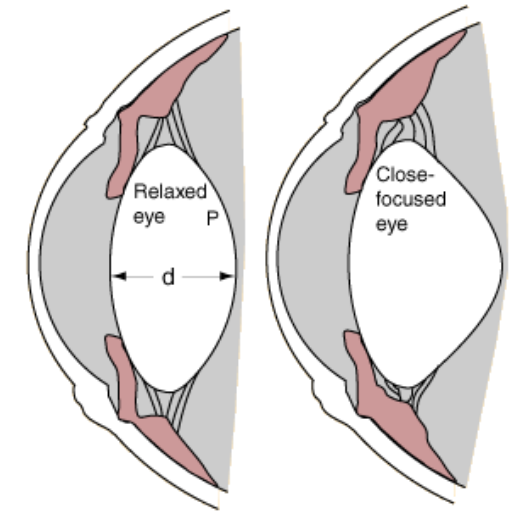
# Akomodace

Akomodace je proces, při němž oko přizpůsobuje svou mohutnost, aby zaostřilo na objekty v různých vzdálenostech

- obratlovci: změna mohutnosti; ryby a obojživelníci: změna vzdálenosti tuhé čočky od sítnice
- u člověka se akomodace zafixuje jako podmíněný reflex v prvních letech života
- změna mohutnosti doprovázena konvergencí při fixaci obou očí na týž bod a zmenšením pupil

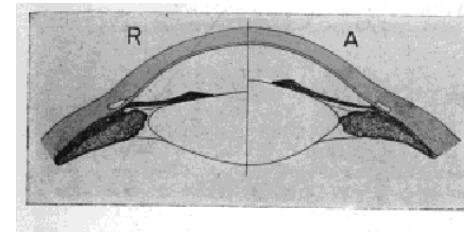
příklad emetropa:

- zobrazuje neakomodovaným (relaxovaným) okem vzdálené objekty do středu makuly, přitom je vergence svazku dopadajícího na rohovku nulová
- pokud pozoruje bližší objekt ve vzdálenosti například 50 cm před okem, je vergence svazku dopadajícího na rohovku  $-2D$  a mohutnost oka tedy musí být zvýšena o  $+2D$  vzhledem k vrcholu rohovky

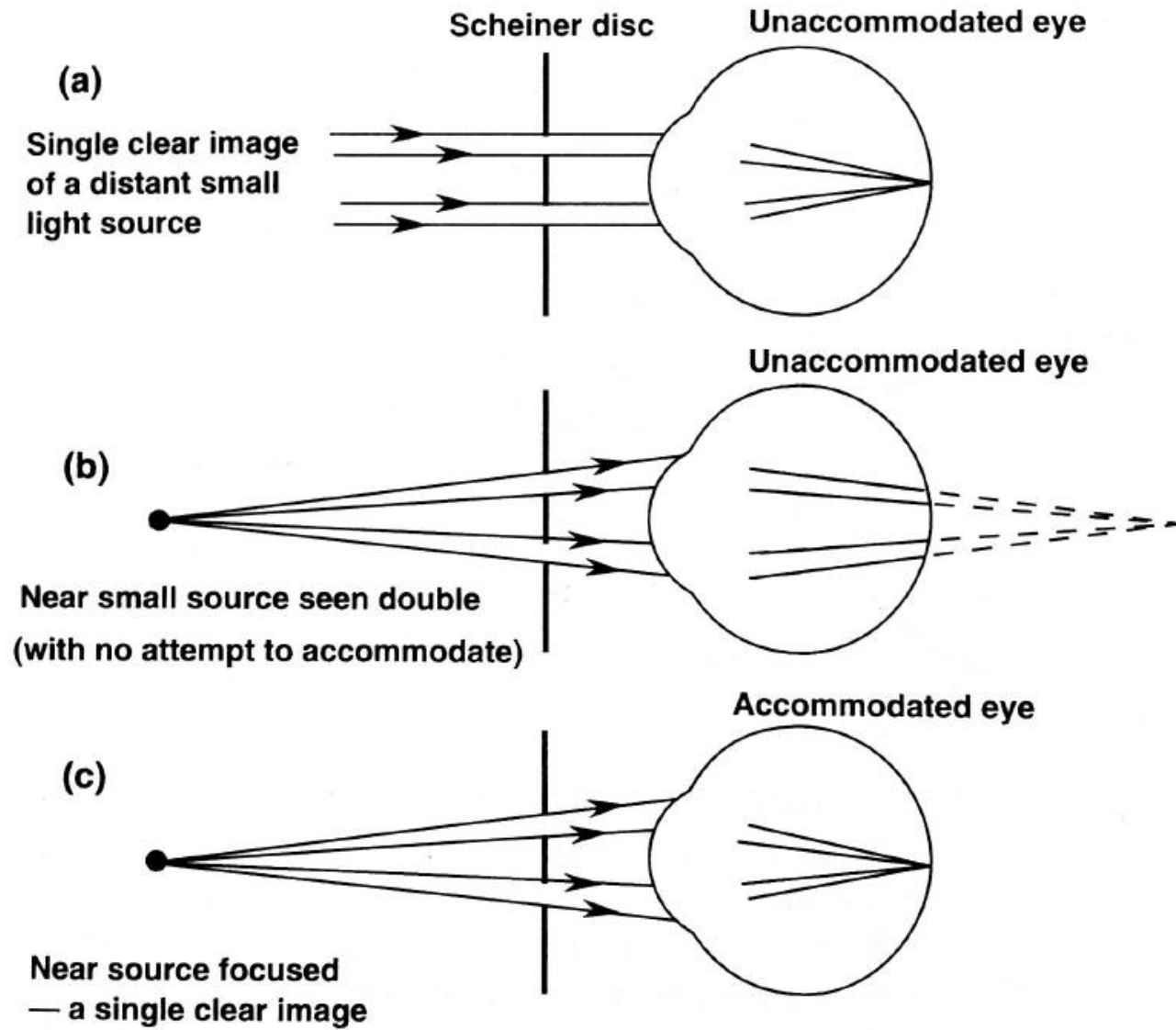


# Mechanismus akomodace

- Jan Kepler (1571 – 1630): v r. 1611 si uvědomil, že různě vzdálené objekty jsou zobrazovány na sítnici, tudíž je akomodace nezbytná
- Christoph Scheiner (1573 – 1650): v r. 1619 demonstroval schopnost oka akomodovat pomocí tzv. *Scheinerova disku*
- René Descartes (1596 - 1650): poprvé navrhl, že by akomodaci mohla působit změna tvaru oční čočky
- Thomas Young (1773 – 1829): eliminoval vliv rohovky skleněnou čočkou připevněnou k oku s vodní imerzí a stále byl schopen akomodovat, tj. prokázal, že rohovka neodpovídá za akomodaci; ukázal také, že akomodace nenastává změnou délky oka
- Purkyně, Langenbeck, Donders, Cramer: výzkum *Purkyňových obrazů*
- Herman von Helmholtz (1821 – 1894): *relaxační teorie*: napjatá zonulární vlákna udržují čočku v oploštělém tvaru, při uvolnění (relaxaci) vláken nabývá čočka tvaru s vyšší křivostí ploch
- Marius Tscherning (1854 – 1939)
- Edgar F. Fincham 1937: modifikovaná Helmholtzova teorie, takřka odpovídající dnešním poznatkům a moderní teorii



# Scheinerův experiment

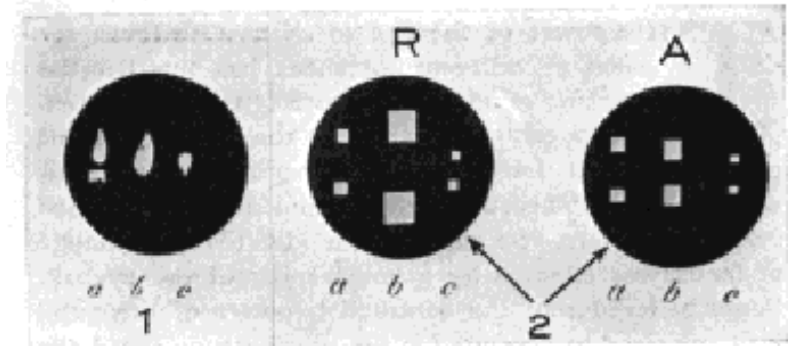
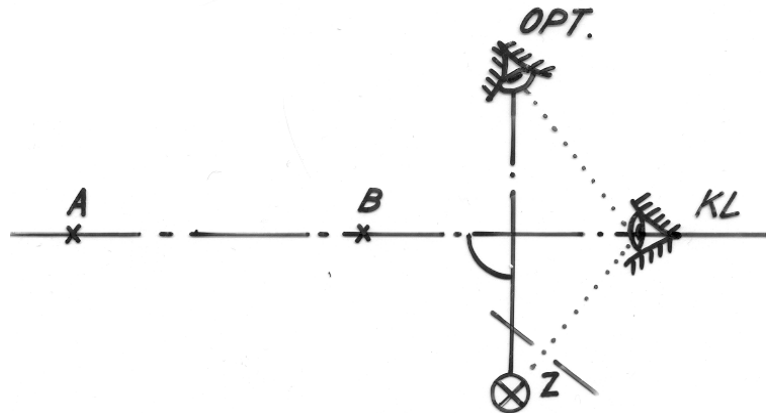


# Purkyňovy obrazy

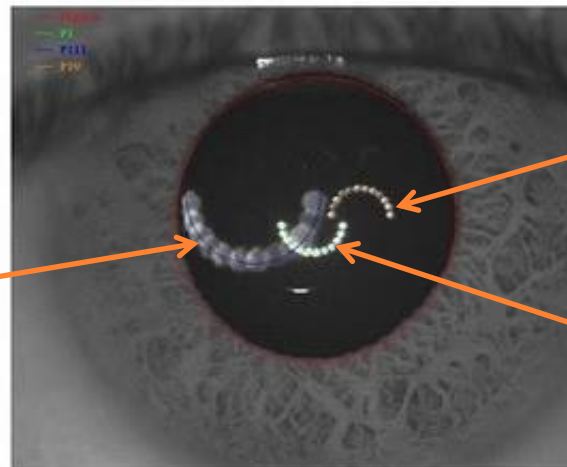


Jan Evangelista Purkyně  
(1787 - 1869)

v r. 1823 pozoroval nejen reflexi od rohovky, známou dříve, ale také dvě reflexe od oční čočky:



odraz na přední  
lámavé ploše čočky  
(P III)

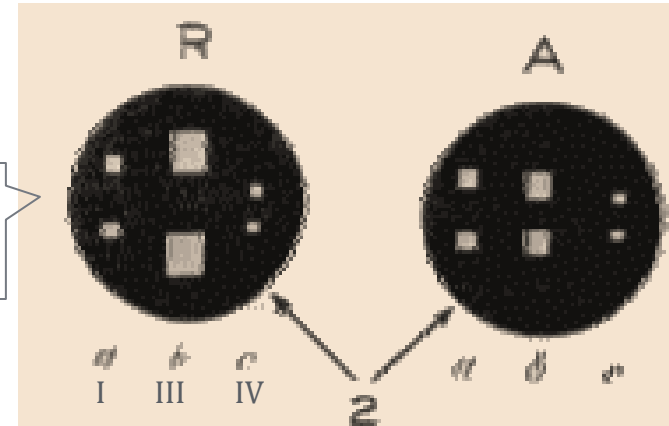


odraz na zadní  
lámavé ploše čočky  
(P IV)

odraz na přední  
lámavé ploše  
rohovky (P I)

# Purkyňovy obrazy

oko:  
neakomodované (R) – akomodované (A)



**Table 12.3** The Purkinje images (calculated from Le Grand's schematic eye)

Image No.	Relative brightness	Unaccommodated eye				Eye accommodated 6.96 D (distant object)	
		Distant object		Object at 500 mm		Image position (mm)	Relative size
		Image position (mm)	Relative size	Image position (mm)	Relative size		
I	1	+3.900	1	+3.870	1	+3.900	1
II	0.010	+3.605	0.820	+3.585	0.821	+3.605	0.820
III	0.008	+10.726	1.971	+10.610	1.945	+6.200	1.102
IV	0.008	+4.625	-0.763	+4.325	-0.762	+5.237	-0.773

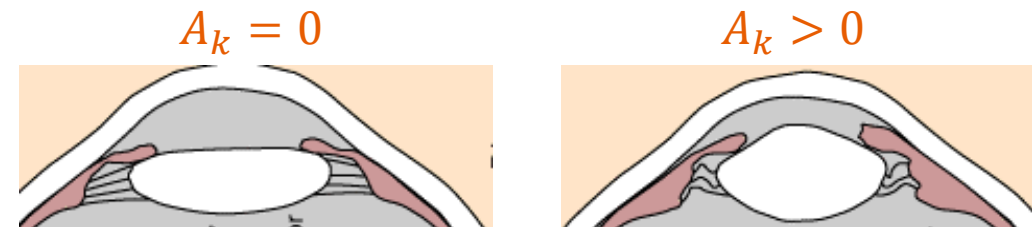
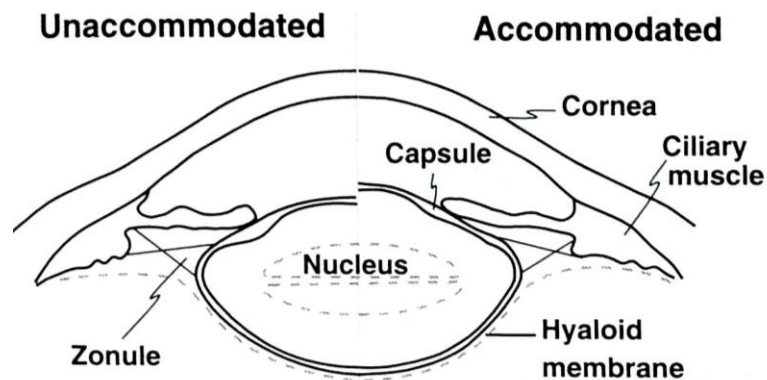
Image positions expressed as their distances from the anterior corneal vertex.

I, II ... lámavé plochy rohovky, III, IV ... lámavé plochy čočky

A. G. Bennett, R. B. Rabbetts: Clinical Visual Optics. Elsevier Health Sciences, 1998.

# Mechanismus akomodace

1. Je-li ciliární sval relaxován ( $A_k = 0$ ), udržuje elastická tkáň ciliárního tělíska zonulární vlákna napjata, pouzdro udržuje čočku v oploštělém tvaru (poloměry křivosti vnějších ploch čočky: +10 mm, -6 mm), oko má minimální mohutnost a vidí do dálky.
2. Při akomodaci do blízka ( $A_k > 0$ ) je ciliární sval stažen, ciliární tělísko se pohybuje vpřed a stahuje se ke středu, a tím je uvolněno napětí zonulárních vláken.
3. Elastický obal (kapsule) stlačuje čočku a za pomoci tlaku sklivce se první (přední) plocha čočky vydouvá do tvaru s vyšší křivostí – v místech, kde je kapsule nejtenčí (poloměry křivosti vnějších ploch čočky: +5,33 mm, -5,33 mm), oko zvyšuje mohutnost a vidí do blízka.
4. Při návratu k vidění do dálky ciliární sval relaxuje, elastická tkáň ciliárního tělíska napíná zonule a s pomocí elasticity čočky je čočka stažena do ploššího, tenčího tvaru.

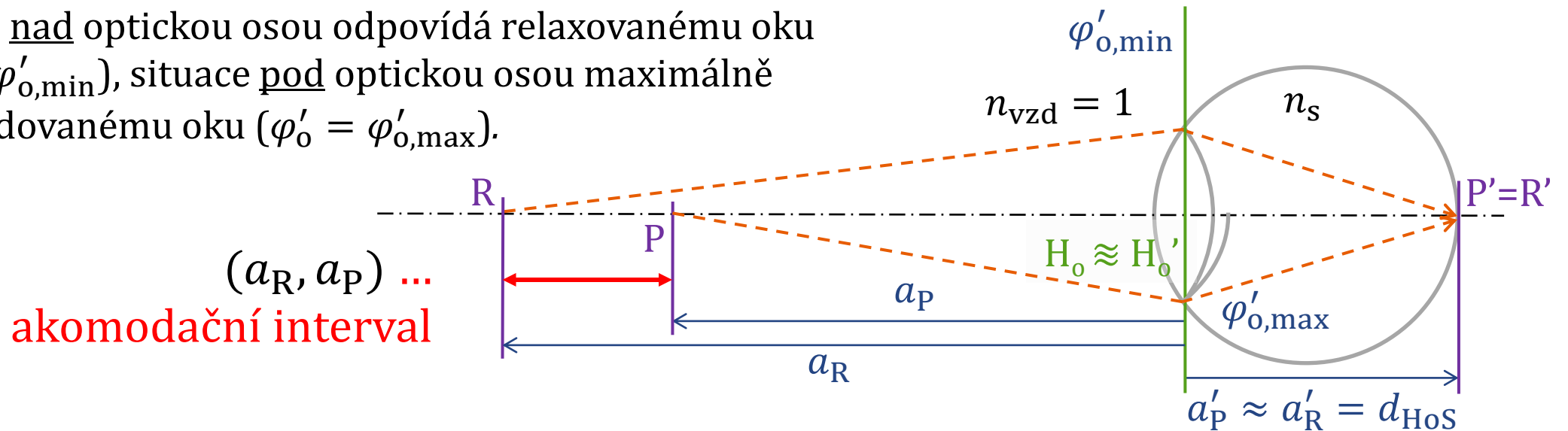


A. Tunnaclyffe: Introduction to Visual Optics, ABDO, Canterbury 1993.



# Akomodační interval a šíře

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



**akomodační šíře** (akomodační amplituda):

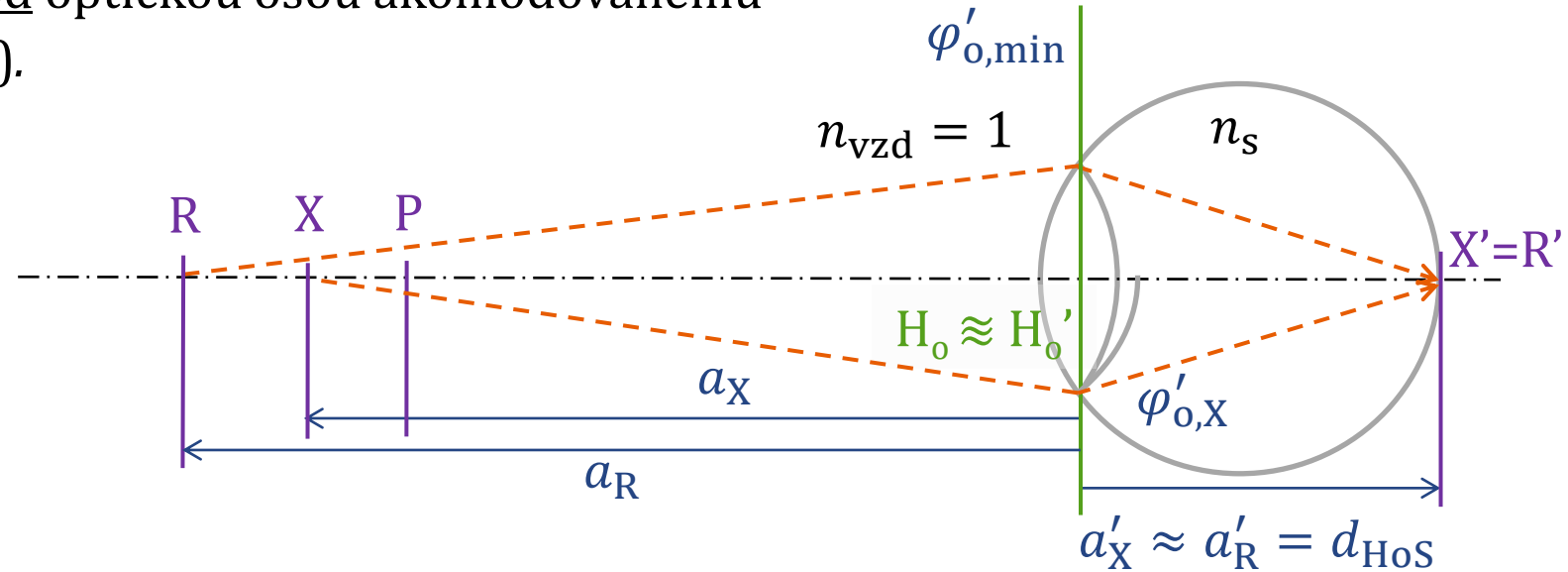
$$A_{\text{š}} = A_R - A_P \approx (D_{\text{HoS}} - \varphi'_{o,\min}) - (D_{\text{HoS}} - \varphi'_{o,\max}) = \varphi'_{o,\max} - \varphi'_{o,\min}$$

*Pozn.* Přibližná rovnost platí za předpokladu  $a'_P \approx a'_R = d_{\text{HoS}}$  (obrazová vzdálenost pro akomodované i relaxované oko je přibližně stejná). Někdy se akomodační šíře naopak definuje primárně jako rozdíl mohutností  $\varphi'_{o,\max} - \varphi'_{o,\min}$ .

$D_{\text{HoS}} = n_s/d_{\text{HoS}}$  je vergence svazku konvergujícího do středu makuly, v obrazové hlavní rovině („dioptrická délka“).

# Akomodace jako veličina

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



**akomodace** (pro bod X):

$$A_{K,X} = \varphi'_{o,X} - \varphi'_{o,\min} \approx (D_{\text{HoS}} - A_X) - (D_{\text{HoS}} - A_R) = A_R - A_X$$

$D_{\text{HoS}} = n_s/d_{\text{HoS}}$  je vergence svazku konvergujícího do středu makuly, v obrazové hlavní rovině („dioptrická délka“).

# Relaxované Gullstrandovo oko (6 ploch)

rohovka:

$$r_1 = 7,7 \text{ mm}$$

$$r_2 = 6,8 \text{ mm}$$

$$d_1 = 0,0 \text{ mm}$$

$$d_2 = 0,5 \text{ mm}$$

$$n = 1,376$$

jádro čočky:

$$r_4 = 7,911 \text{ mm}$$

$$r_5 = -5,76 \text{ mm}$$

$$d_4 = 4,146 \text{ mm}$$

$$d_5 = 6,565 \text{ mm}$$

$$n = 1,406$$

čočka:

$$r_3 = 10,0 \text{ mm}$$

$$r_6 = -6,0 \text{ mm}$$

$$d_3 = 3,6 \text{ mm}$$

$$d_6 = 7,2 \text{ mm}$$

$$n = 1,386$$

sklivec:

$$n_{skl} = 1,336$$

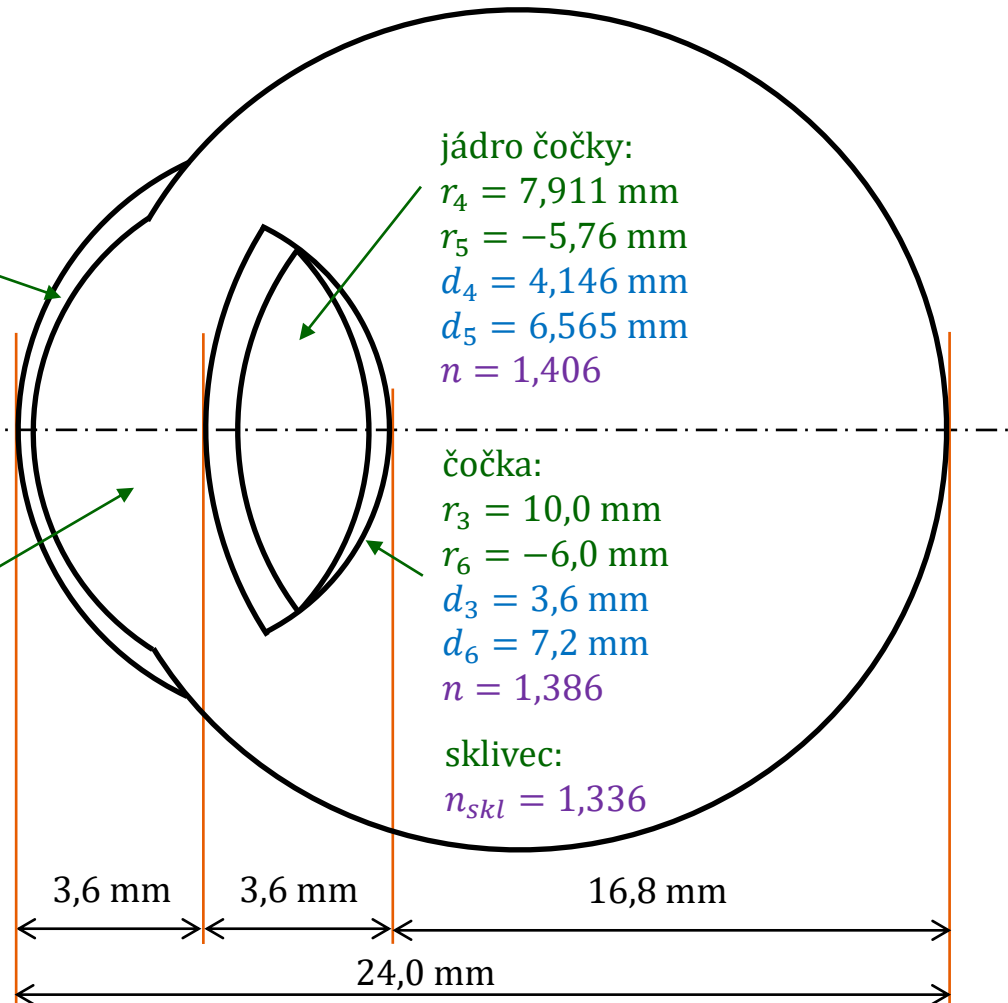
$r_i$  ... poloměr plochy

$d_i$  ... vzdálenost plochy od přední plochy rohovky (1. plocha)

$n$  ... index lomu prostředí

přední komora:

$$n = 1,336$$



# Akomodované Gullstrandovo oko (6 ploch)

rohovka:

$r_1 = 7,7 \text{ mm}$   
 $r_2 = 6,8 \text{ mm}$   
 $d_1 = 0,0 \text{ mm}$   
 $d_2 = 0,5 \text{ mm}$   
 $n = 1,376$

jádro čočky:

$r_4 = 2,655 \text{ mm}$   
 $r_5 = -2,655 \text{ mm}$   
 $d_4 = 3,8725 \text{ mm}$   
 $d_5 = 5,5275 \text{ mm}$   
 $n = 1,406$

čočka:

$r_3 = 5,33 \text{ mm}$   
 $r_6 = -5,33 \text{ mm}$   
 $d_3 = 3,2 \text{ mm}$   
 $d_6 = 7,2 \text{ mm}$   
 $n = 1,386$

sklivec:

$n_{skl} = 1,336$

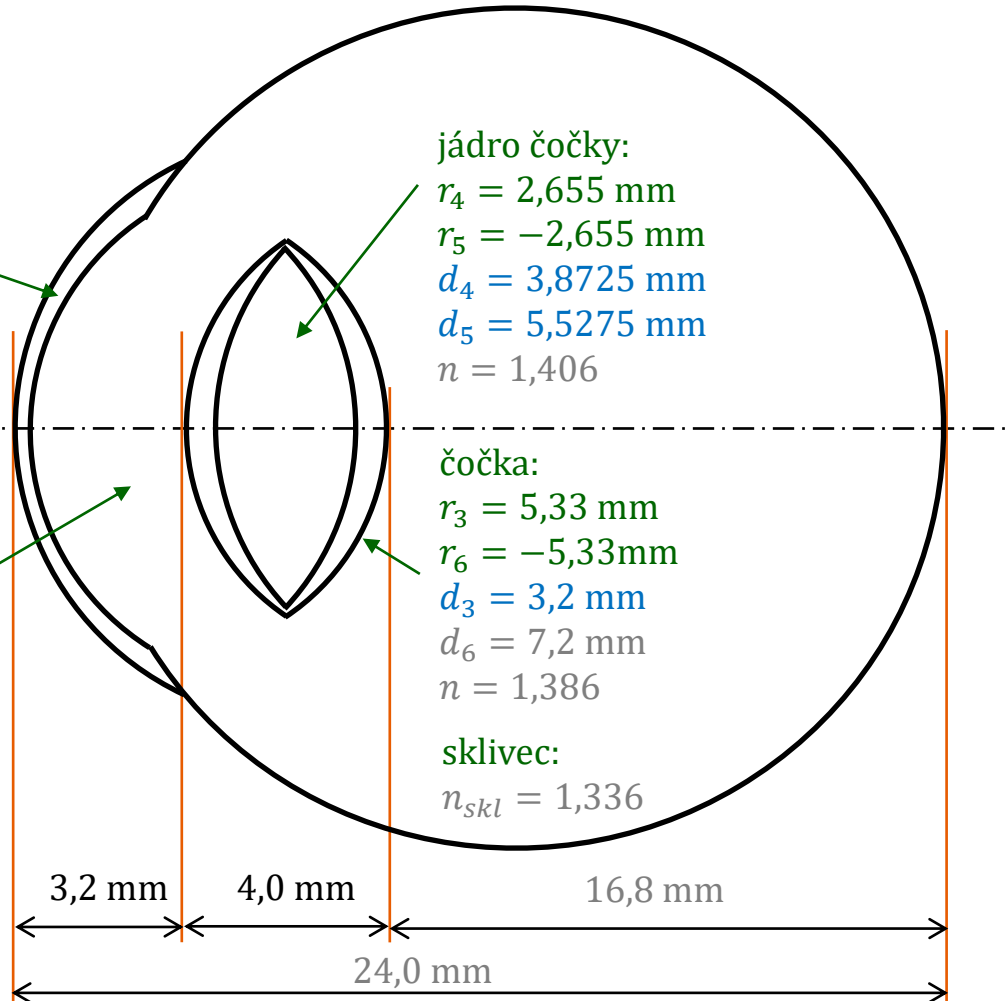
přední komora:

$n = 1,336$

$r_i$  ... poloměr plochy

$d_i$  ... vzdálenost plochy od přední plochy rohovky (1. plocha)

$n$  ... index lomu prostředí



# Relaxované Gullstrandovo oko

plocha č.	1	2	3	4	5	6
$n$	1,376	1,336	1,386	1,406	1,386	1,336
$n'$	1	1,376	1,336	1,386	1,406	1,386
$r$	7,7	6,8	10	7,911	-5,76	-6
$d$	0,5	3,1	0,546	2,419	0,635	
$d_1$ (od 1. plochy)	0	0,5	3,6	4,146	6,565	7,2
$x$	nekon.	27,6787	27,3808	25,2193	22,0391	19,9691
$n/x$	0	0,04971	0,04879	0,05496	0,0638	0,06941
$\varphi = (n'-n)/r$	0,04883	-0,0059	0,005	0,00253	0,00347	0,00833
$n'/x'$	0,04883	0,04383	0,05379	0,05749	0,06727	0,07774
$x'$	28,1787	30,4808	25,7653	24,4581	20,6041	17,1854
$x'-d$	27,6787	27,3808	25,2193	22,0391	19,9691	
$x'/(x'-d)$	1,01806	1,11322	1,02165	1,10976	1,0318	

$$f'_R = 31,0314$$

$$\begin{aligned} x'(F') &= 17,1854\text{mm} \\ x'(H') &= -5,5992\text{mm} \\ x'(N') &= 0,13106\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f' &= 22,7846\text{mm} \\ \varphi'_c &= 58,6361\text{D} \end{aligned}$$

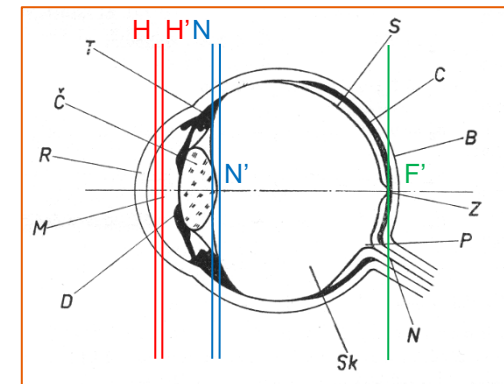
$$\begin{aligned} x_1(F') &= 24,3854\text{mm} \\ x_1(H') &= 1,6008\text{mm} \\ x_1(N') &= 7,33106\text{mm} \end{aligned}$$

	6	5	4	3	2	1
	1,386	1,406	1,386	1,336	1,376	1
	1,336	1,386	1,406	1,386	1,336	1,376
	6	5,76	-7,911	-10	-6,8	-7,7
	0,635	2,419	0,546	3,1	0,5	
nekon.	165,685	116,356	94,3094	64,73	92,7424	
	0	0,00837	0,01208	0,0147	0,02064	0,01484
	0,00833	0,00347	0,00253	0,005	-0,0059	0,04883
	0,00833	0,01184	0,01461	0,0197	0,01476	0,06367
	166,32	118,775	94,8554	67,83	93,2424	15,7065
	165,685	116,356	94,3094	64,73	92,7424	
	1,00383	1,02079	1,00579	1,04789	1,00539	

$$\begin{aligned} x(F) &= -15,706\text{mm} \\ x(H) &= 1,34786\text{mm} \\ x(N) &= 7,07811\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f &= -17,054\text{mm} \\ \varphi'_c &= 58,6361\text{D} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_1(F) &= -15,706\text{mm} \\ x_1(H) &= 1,34786\text{mm} \\ x_1(N) &= 7,07811\text{mm} \end{aligned}$$



- R - rohovka
- M - komorová voda
- Č - čočka
- Sk - sklivec
- S - sítnice
- Z - žltá skvrna
- D - duhovka
- T - ciliárny sval
- C - cévnatka
- B - biele
- P - papila, slepá skvrna
- N - oční nerv

# Akomodované Gullstrandovo oko

plocha č.	1	2	3	4	5	6
$n$	1,376	1,336	1,386	1,406	1,386	1,336
$n'$	1	1,376	1,336	1,386	1,406	1,386
$r$	7,7	6,8	5,33	2,655	-2,655	-5,33
$d$	0,5	2,7	0,6725	1,655	1,6725	
$d_1$ (od 1. plochy)	0	0,5	3,2	3,8725	5,5275	7,2
$x$	nekon.	27,6787	27,7808	23,4437	19,4392	15,6827
$n/x$	0	0,04971	0,04809	0,05912	0,07233	0,08838
$\varphi = (n'-n)/r$	0,04883	-0,0059	0,00938	0,00753	0,00753	0,00938
$n'/x'$	0,04883	0,04383	0,05747	0,06665	0,07986	0,09776
$x'$	28,1787	30,4808	24,1162	21,0942	17,3552	13,6663
$x'-d$	27,6787	27,7808	23,4437	19,4392	15,6827	
$x'/(x'-d)$	1,01806	1,09719	1,02869	1,08514	1,10665	

$$f'_R = 31,0314$$

$$\begin{aligned} x'(F') &= 13,6663 \text{ mm} \\ x'(H') &= -5,1912 \text{ mm} \\ x'(N') &= -0,4486 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f' &= 18,8575 \text{ mm} \\ \varphi'_c &= 70,8471 \text{ D} \end{aligned}$$

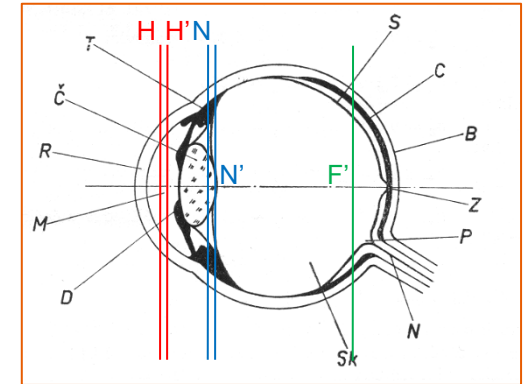
$$\begin{aligned} x_1(F') &= 20,8663 \text{ mm} \\ x_1(H') &= 2,0088 \text{ mm} \\ x_1(N') &= 6,75141 \text{ mm} \end{aligned}$$

	6	5	4	3	2	1
	1,386	1,406	1,386	1,336	1,376	1
	1,336	1,386	1,406	1,386	1,336	1,376
	5,33	2,655	-2,655	-5,33	-6,8	-7,7
	1,6725	1,655	0,6725	2,7	0,5	
nekon.	146,075	80,9477	54,9853	35,9265	43,4551	
	0	0,00949	0,01737	0,02521	0,03719	0,03166
	0,00938	0,00753	0,00753	0,00938	-0,0059	0,04883
	0,00938	0,01702	0,0249	0,03459	0,0313	0,0805
	147,748	82,6027	55,6578	38,6265	43,9551	12,423
	146,075	80,9477	54,9853	35,9265	43,4551	
	1,01145	1,02045	1,01223	1,07515	1,01151	

$$\begin{aligned} x(F) &= -12,423 \text{ mm} \\ x(H) &= 1,69193 \text{ mm} \\ x(N) &= 6,43454 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f &= -14,115 \text{ mm} \\ \varphi'_c &= 70,8471 \text{ D} \end{aligned}$$

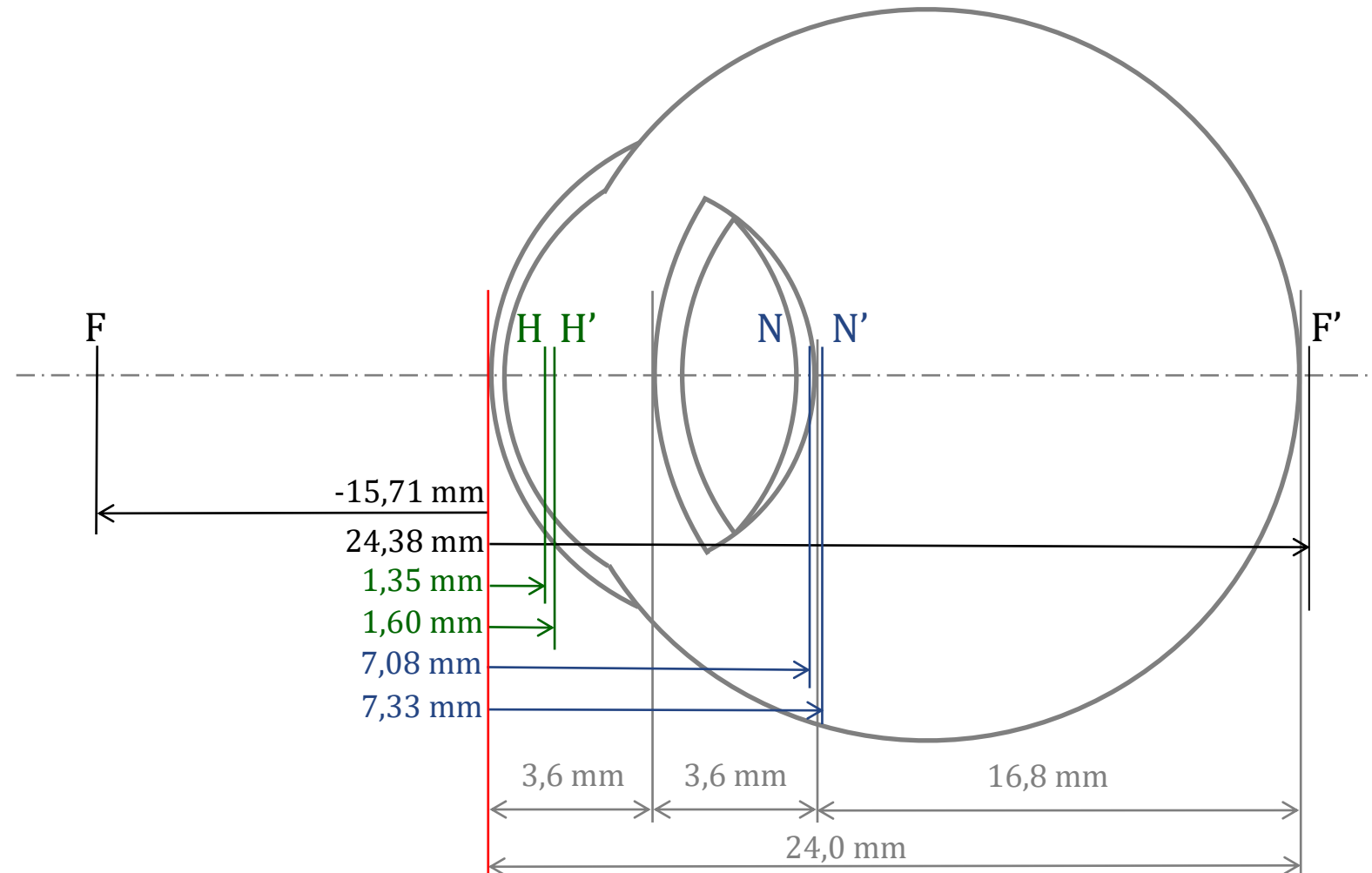
$$\begin{aligned} x_1(F) &= -12,423 \text{ mm} \\ x_1(H) &= 1,69193 \text{ mm} \\ x_1(N) &= 6,43454 \text{ mm} \end{aligned}$$



- R - rohovka
- M - komorová voda
- Č - čočka
- Sk - sklivec
- S - sítnice
- Z - žltá skvrna
- D - duhovka
- T - ciliárny sval
- C - cévnatka
- B - biele telo
- P - papila, slepá skvrna
- N - očný nerv

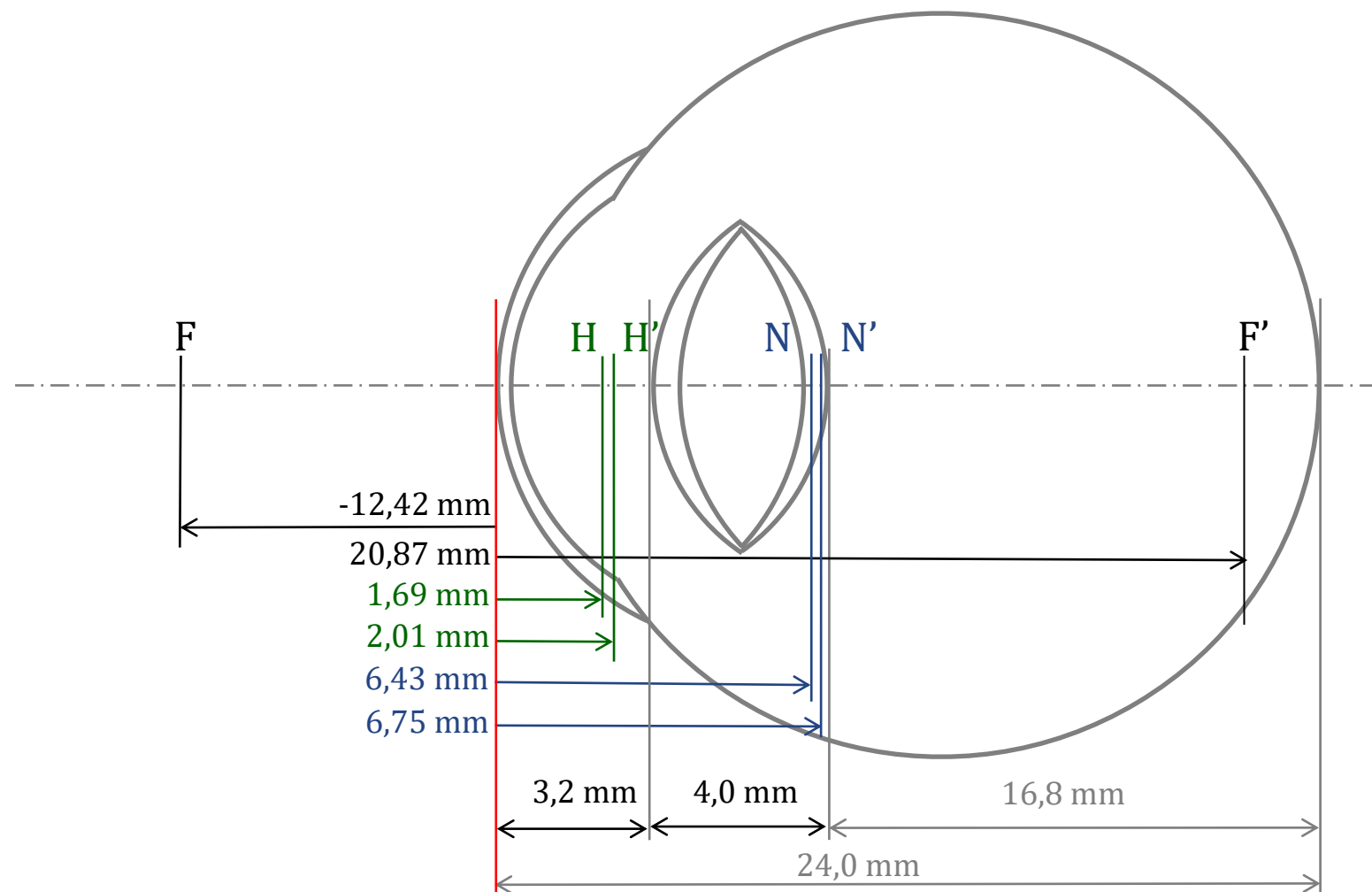
# Relaxované Gullstrandovo oko: kardinální body

bod	poloha
H	1,35 mm
H'	1,60 mm
N	7,08 mm
N'	7,33 mm
F	-15,71 mm
F'	24,38 mm



# Akomodované Gullstrandovo oko: kardinální body

bod	poloha
H	1,69 mm
H'	2,01 mm
N	6,43 mm
N'	6,75 mm
F	-12,42 mm
F'	20,87 mm





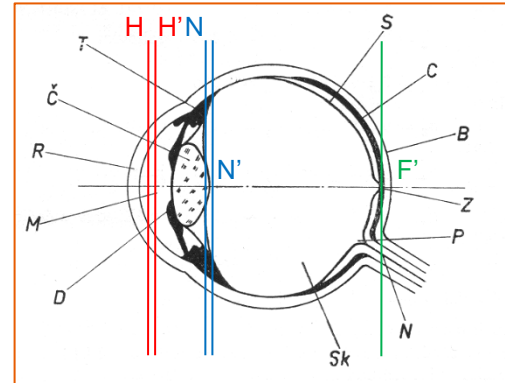
# Změna parametrů Gullstrandova oka při akomodaci

akomodační klid:

$$\begin{aligned} x_1(F) &= -15,71 \text{ mm} \\ x_1(H) &= 1,35 \text{ mm} \\ x_1(N) &= 7,08 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_1(F') &= 24,38 \text{ mm} \\ x_1(H') &= 1,60 \text{ mm} \\ x_1(N') &= 7,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f' &= 22,78 \text{ mm} \\ \varphi'_0 &= 58,64 \text{ D} \end{aligned}$$



čočka:

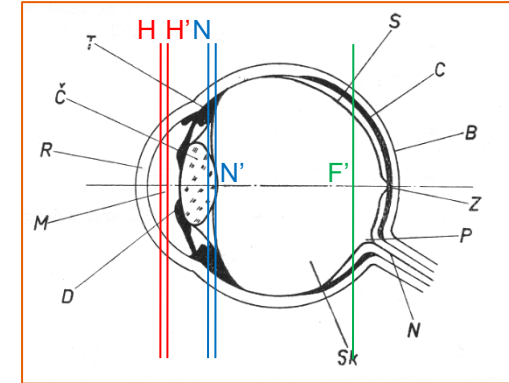
$$\varphi'_C = 19,11 \text{ D}$$

akomodační maximum:

$$\begin{aligned} x_1(F) &= -12,42 \text{ mm} \\ x_1(H) &= 1,69 \text{ mm} \\ x_1(N) &= 6,43 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_1(F') &= 20,87 \text{ mm} \\ x_1(H') &= 2,01 \text{ mm} \\ x_1(N') &= 6,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f' &= 18,86 \text{ mm} \\ \varphi'_0 &= 70,85 \text{ D} \end{aligned}$$

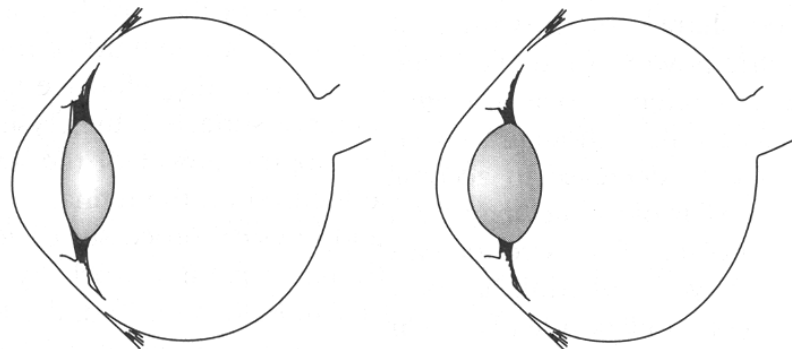


čočka:

$$\varphi'_C = 33,11 \text{ D}$$

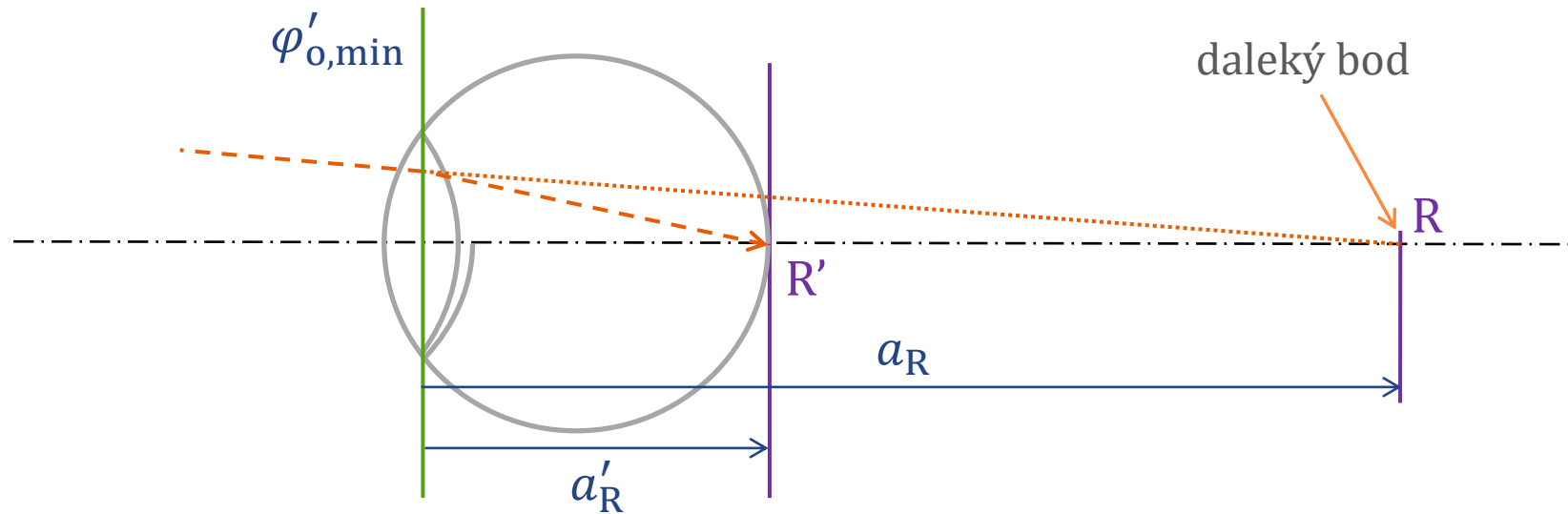
- **mohutnost čočky** se zvýší asi o +14,0 D
- **mohutnost oka** se zvýší asi o +12,2 D (21 %)
- **ohniskové vzdálenosti** se zkrátí asi o 17 %
- **hlavní roviny** se posunou směrem **od rohovky** asi o 0,35-0,40 mm
- **uzlové body** se posunou směrem **k rohovce** asi o 0,6 mm

# Změna parametrů Gullstrandova oka při akomodaci



	akom. klid	akom. max.
<b>Indexy lomu :</b>		
rohovka .....	1,376	1,376
komorová voda a sklivce .....	1,336	1,336
čočka ekvivalentní .....	1,406	1,406
čočka .....	1,386	1,386
<b>Místo :</b>		
první lámavá plocha rohovky .....	0	0
druhá lámavá plocha rohovky .....	0,5	0,5
první lám. plochy čočky .....	3,6	3,2
první lám. pl. ekviv. čočky .....	4,146	3,8725
druhá lám. pl. ekviv. čočky .....	6,565	5,5275
druhá lám. pl. čočky .....	7,2	7,2
optické centrum čočky .....		
<b>Poloměry zakřivení :</b>		
první lám. p. rohovky .....	7,7	7,7
druhá lám. pl. rohovky .....	6,8	6,8
ekviv. pl. čočky .....		
první lám. pl. čočky .....	10,000	5,33
první lám. pl. ekviv. čočky .....	7,911	2,655
druhá lám. pl. ekviv. čočky .....	-5,76	-2,655
druhá lám. pl. čočky .....	-6,000	-5,33
<b>Optická mohutnost :</b>		
první lám. pl. rohovky .....	48,83	48,83
druhá lám. pl. rohovky .....	-5,88	-5,88
ekviv. pl. čočky .....		
první lám. pl. čočky .....	5,000	9,375
jádra čočky .....	5,985	14,96
druhá lám. pl. čočky .....	8,33	9,375
<b>Rohovkový systém :</b>		
optická mohutnost .....	43,05	43,05
místo předmětového hl. bodu .....	-0,0496	-0,0496
místo obrazového hl. bodu .....	-0,0506	-0,0506
předmětová ohnisková vzdálenost .....	-23,227	-23,227
obrazová ohnisková vzdálenost .....	31,031	31,131
<b>Čočkový systém :</b>		
optická mohutnost .....	19,11	33,06
místo předmětového hl. bodu .....	5,678	5,145
místo obrazového hl. bodu .....	5,808	5,255
ohnisková vzdálenost .....	69,908	40,416
<b>Celkový systém :</b>		
optická mohutnost .....	58,64	70,57
místo předmětového hl. bodu .....	1,348	1,722
místo obrazového hl. bodu .....	1,602	2,086
místo předm. ohniska .....	-15,707	-12,397
místo obraz. ohniska .....	24,387	21,016
předm. ohnisk. vzdál. .....	-17,055	-14,169
obraz. ohnisk. vzdál. .....	22,785	18,030
místo fovey centralis .....	24,00	24,00
axiální refrakce .....	1,00	-9,6
místo blízkého bodu P .....		-102,3
skutečný střed otáčení oka C' .....	13,0	13,0
místo předmětového uzlového bodu .....	7,078	6,533
místo obraz. uzlového bodu .....	7,332	6,847
místo vstupní pupily .....	3,047	2,668
místo výstupní pupily .....	3,667	3,212

# Daleký bod Gullstrandova oka

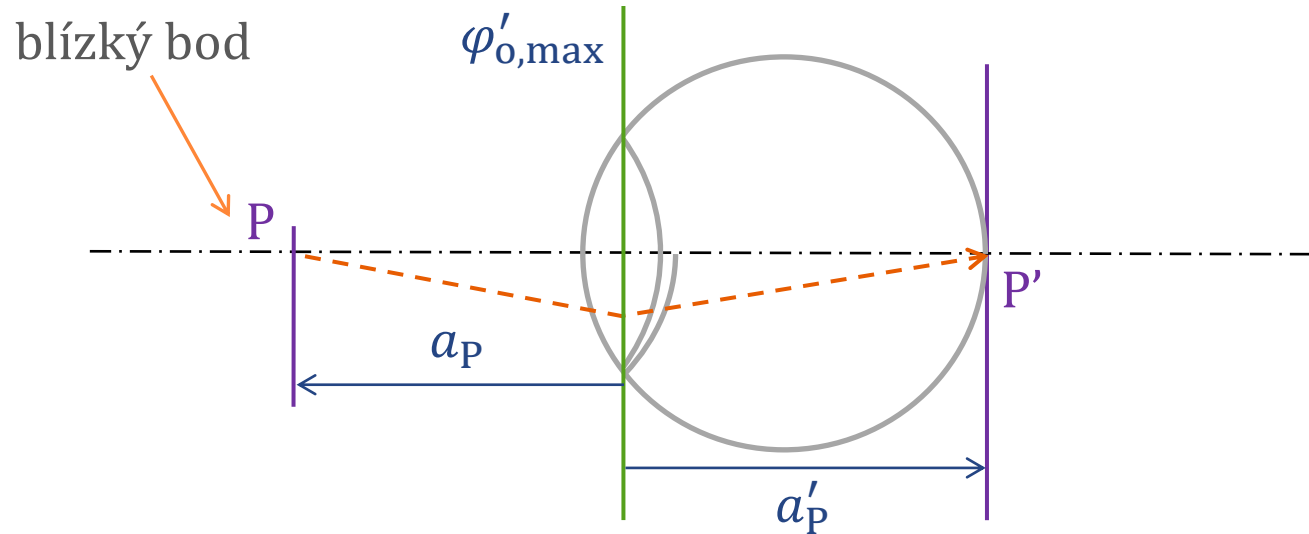


$$a_R = 1/A_R, A_R = A'_R - \varphi'_{o,min} = \frac{m_s}{a'_R} - \varphi'_{o,min} = \frac{m_s}{d_o - d_{RH_o}} - \varphi'_{o,min} = \frac{1,336}{0,024 - 0,0016} D - 58,6361 D$$

$$A_R = 1,01 D$$

$$a_R = 99 \text{ cm}$$

# Blízký bod Gullstrandova oka



$$a_p = 1/A_p, A_p = A'_p - \varphi'_{o,max} = \frac{m_s}{a'_p} - \varphi'_{o,max} = \frac{1,336}{0,024 - 0,002} D - 70,8471 D$$

$$A_R = 1,01 D$$

$$a_R = 99 \text{ cm}$$

$$A_p = -10,10 D$$

$$a_p = -9,9 \text{ cm}$$

$$A_{\check{s}} = A_R - A_p = 11,11 D$$

$$\varphi'_{o,max} - \varphi'_{o,min} = 70,85 D - 58,64 D$$

$$= 12,21 D$$

# Model oka s proměnnou akomodací (Arizona eye)

A .. accommodation in diopters

Name	Radius	Conic	Index	Abbe	Thickness
	7.8 mm	-0.25			
Cornea	6.5 mm	-0.25	1.377	57.1	0.55 mm
Aqueous	$R_{ant}$	$K_{ant}$	1.337	61.3	$t_{aq}$
Lens	$R_{post}$	$K_{post}$	$n_{lens}$	51.9	$t_{lens}$
Vitreous	-13.4 mm	0.00	1.336	61.1	16.713 mm
Retina					

$$R_{ant} = 12.0 - 0.4A$$

$$K_{ant} = -7.518749 + 1.285720A$$

$$R_{post} = -5.224557 + 0.2A$$

$$K_{post} = -1.353971 - 0.431762A$$

$$t_{aq} = 2.97 - 0.04A$$

$$t_{lens} = 3.767 + 0.04A$$

$$n_{lens} = 1.42 + 0.00256A - 0.00022A^2$$

$$z = \frac{r^2 / R}{1 + \sqrt{1 - (K + 1) \frac{r^2}{R^2}}}$$

z = sag of surface

$$r^2 = x^2 + y^2$$

R = radius of curvature

K = conic constant

$K < -1$	Hyperboloid
$K = -1$	Paraboloid
$-1 < K < 0$	Prolate Spheroid (Ellipsoid)
$K = 0$	Sphere
$K > 0$	Oblate Spheroid (Ellipsoid)

# Orientační měření akomodace

- nutný je (pseudo)emetropický stav oka
- testovací obrazec (Duaneův test, Glaserův test, zmenšená Snellenova tabule) se přibližuje k oku až do rozmazání, nebo vzdaluje od oka až do zaostření
- akomodační šíře je pak dána vergencí vzdálenosti blízkého bodu P od předmětové hlavní roviny oka takto:

$$A_{\check{s}} \approx A_R - A_P = \frac{1}{a_R} - \frac{1}{a_P} = \left| \frac{1}{a_P} \right|$$



## Relativní akomodace

- měříme schopnost oka akomodačně kompenzovat vliv (dodatečné) brýlové čočky
- **pozitivní relativní akomodace (PRA)** je absolutní hodnota nejnižší (záporné) vrcholové lámavosti *rozptylné* brýlové čočky, při níž je ještě předmět vnímán ostře
- **negativní relativní akomodace (NRA)** je absolutní hodnota nejvyšší vrcholové lámavosti *spojné* brýlové čočky, při níž je ještě předmět vnímán ostře
- při korekci presbyopie by korekční čočka měla zaručit PRA = NRA při pohledu do standardní pracovní vzdálenosti – pak je interval ostrého vidění dioptricky centrován kolem bodu pozorování
- platí:

$$A_{\check{s}} \approx \text{PRA} + \text{NRA}$$

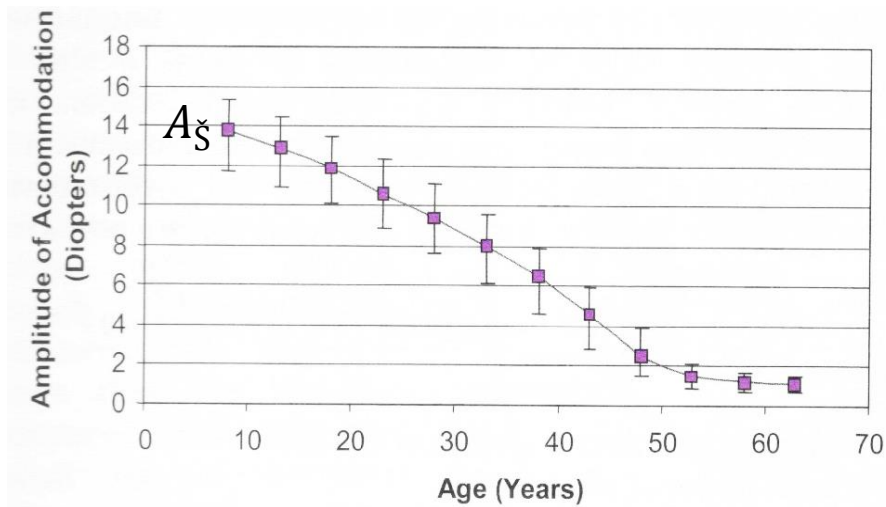
# Definice blízkého bodu

- akomodační šíře je v (pseudo)emetropickém stavu oka dána vergencí vzdálenosti blízkého bodu P od předmětové hlavní roviny oka
- **Fyzikální – manifestní blízký bod** = skutečně dosažitelný blízký bod (jak jej chápeme my)
- odpovídá mu manifestní akomodační šíře (akomodační šíře, jak ji chápeme my)
- **Fyziologický – latentní blízký bod** = bod, který by oko zobrazilo ostře při maximální kontrakci ciliárního svalu, pokud by to připustila elastická schopnost čočky
- odpovídá mu totální akomodační šíře

## Klidová (zbytková) akomodace

- při prázdném zorném poli nebo ve tmě má emetropické oko o 1,0 D – 1,5 D větší mohutnost, než minimální, což odpovídá ostrému zobrazení předmětu ze vzdálenosti 1 m – 2/3 m, tj. oko je efektivně myopické
- **noční myopie** je posun k myopii při nízkém osvětlení (cca o 1,5 D, ale i více) vlivem otvorové vady při zvětšené pupile oka, vlivem osově barevné vady při posuvu maximální spektrální citlivosti k 500 nm (Purkyňův posuv) a nadměrné akomodace
- **přístrojová myopie** je nadměrná akomodace po použití přístrojů s okuláry

# Závislost akomodační šíře na věku



J. Schwiegerling: Field Guide to Visual and Ophthalmic Optics. SPIE, Bellingham 2004, s. 25.

TABLE 8-1. AMPLITUDE OF ACCOMMODATION AS A FUNCTION OF AGE

Age (years)	$A_{\xi}$	Typical Amplitude of Accommodation (diopters) <sup>a</sup>
10		12.50
20		9.75
30		7.25
40		4.00
50		2.50
60		1.25
70		0.50
75		0.00

<sup>a</sup>Extrapolated from the data of Donders (1864) and Duane (1912).

S. H. Schwartz : Geometrical and Visual Optics – A Clinical Introduction. McGraw Hill, New York 2002, s. 97.

- výsledky měření značně záleží na použité metodě
- akomodační šíře se zmenšuje asi o 0,25 D ročně od 20 let věku
- příčinou je zejména:
  - ztráta elasticity kapsule (asi od 30. roku věku začíná jádro čočky tuhnout)
  - růst čočky s věkem
  - redukce prostoru mezi ciliárním tělískem a okrajem čočky (růst čočky, hypertrofie ciliárního svalu), která vede ke snížení napětí zonulí

(Tunnacliffe)



# Přesný optický rozbor akomodace

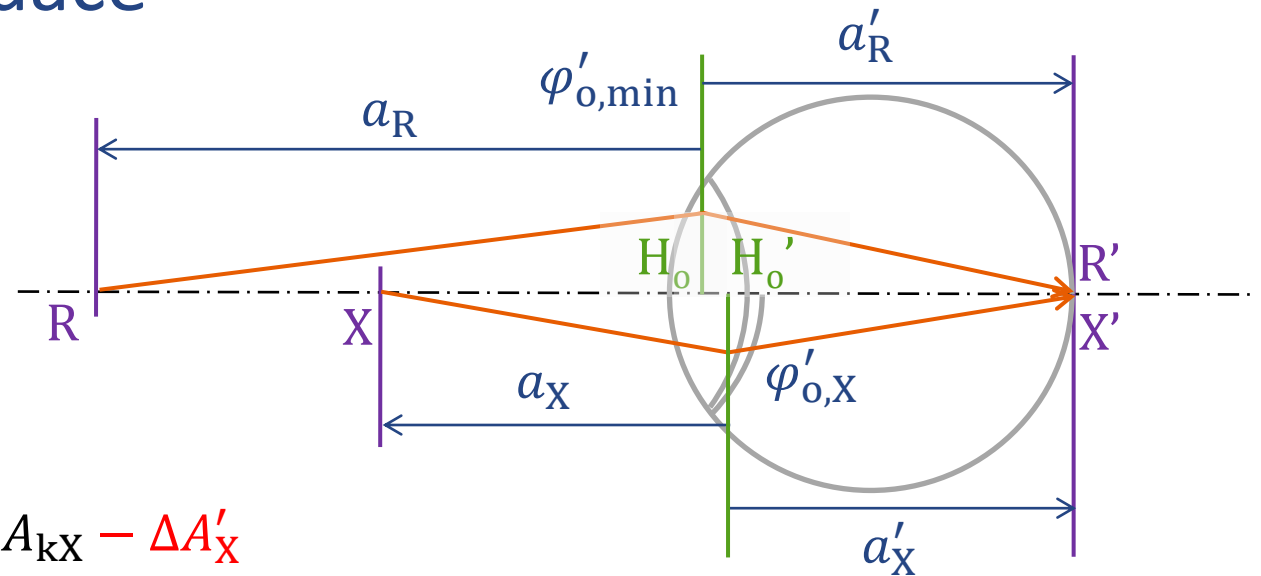
Gaussova rovnice:

$$A'_R = A_R + \varphi'_{o,\min}$$

$$A'_X = A_X + \varphi'_{o,X}$$

$$\Rightarrow A_R - A_X = \varphi'_{o,X} - \varphi'_{o,\min} - (A'_X - A'_R) = A_{kX} - \Delta A'_X$$

(**nezanedbáváme** posun hlavních rovin oka při akomodaci:  $a'_X = d_{HoS} \neq \text{konst.}$ )



předpokládejme:

$$\Delta A'_X \approx \text{konst} \cdot A_{kX}$$

pro Gullstr. oko, X = P:

$$A_R - A_P \approx 11 \text{ D}$$

$$\varphi'_{o,\max} - \varphi'_{o,\min} \approx 12,2 \text{ D}$$

$$\Delta A'_P \approx 1,2 \text{ D}$$

$$\text{konst} \approx 0,1$$

$$\begin{aligned} A_R - A_X &= A_{kX} - 0,1 A_{kX} \\ &= 0,9 A_{kX} \\ &= 0,9 (\varphi'_{o,X} - \varphi'_{o,\min}) \end{aligned}$$

Graeffův faktor

# Akomodační interval s korekcí do dálky

Gaussova rovnice pro BČ:

$$\frac{1}{a_P + d} \approx \frac{1}{a_{PD} + d} + S'_D$$

přepočet:

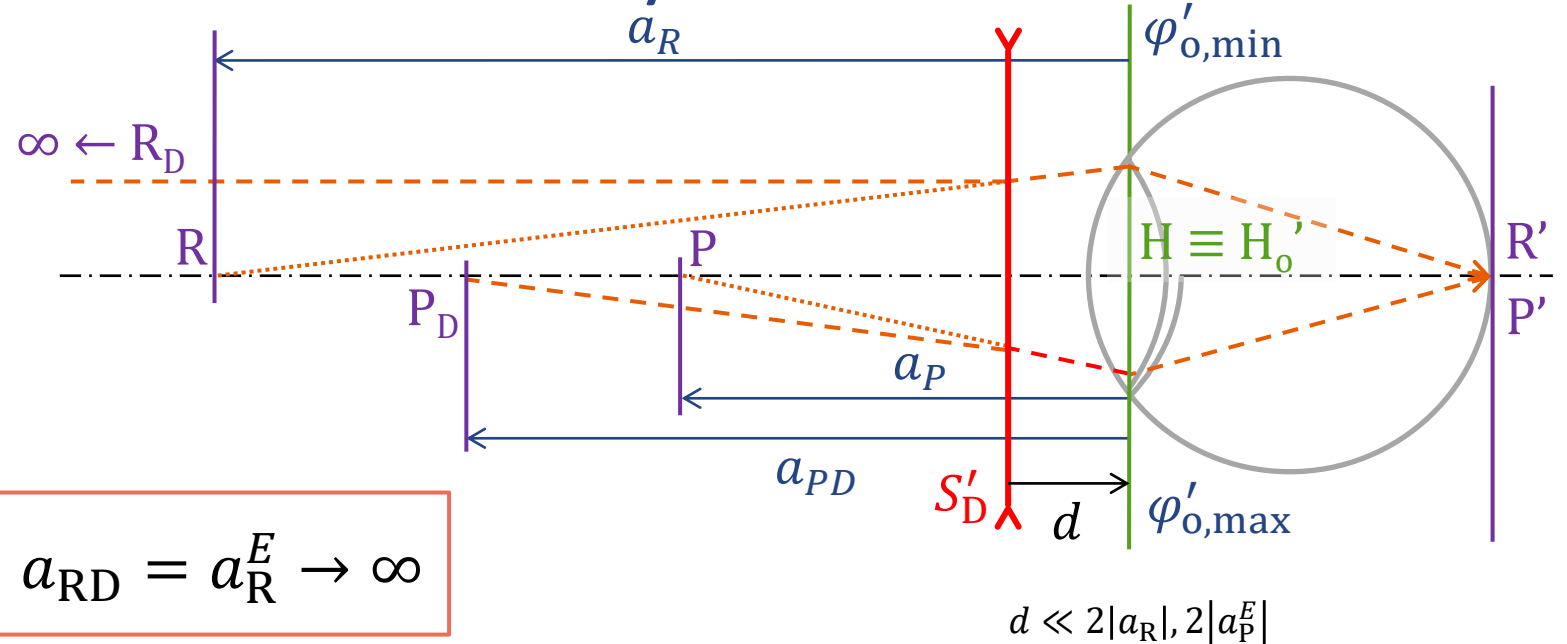
$$S'_D = \frac{A_R}{1 + A_R d}$$

akomodační šíř:

$$A_\xi \approx A_R - A_P = \frac{1}{a_R} - \frac{1}{a_P}$$

emetrop téže akom. šíř:

$$a_P^E \approx -\frac{1}{A_\xi}$$



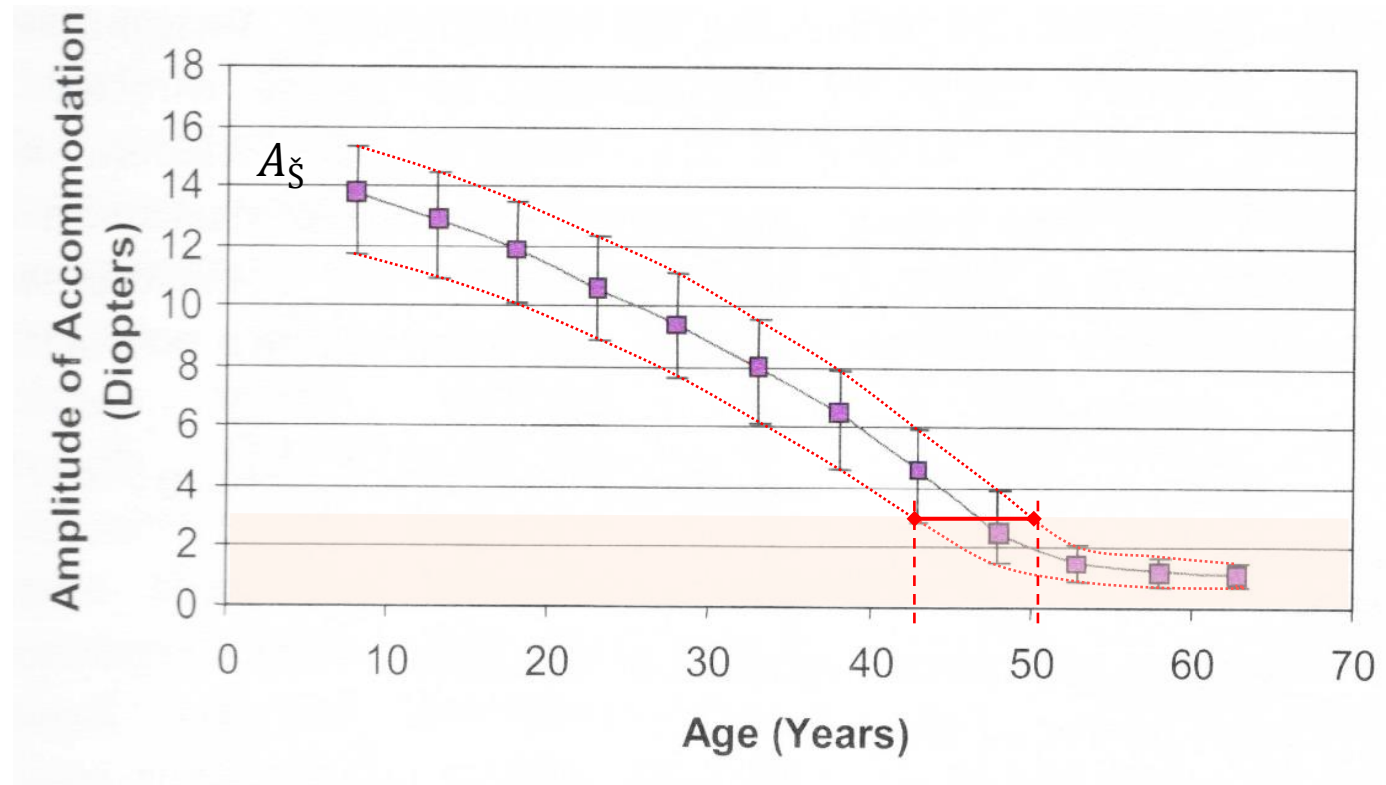
$$a_{RD} = a_R^E \rightarrow \infty$$

$$a_{PD} = a_P^E [1 + 2A_R d + (A_R d)^2] + A_R d^2 \approx a_P^E (1 + 2A_R d)$$

**Myop (hypermetrop)** má s korekcí do dálky blízký bod **blíže k oku** (dále od oka) ve srovnání s **emetropem** téže akomodační šíř.

Pro  $d = 12 \text{ mm}$  platí  $a_{PD} \approx a_P^E (1 + 0,024 A_R)$ . Vzdálenost  $a_{PD}$  umělého blízkého bodu pro korekci do dálky ( $P_D$ ) se tedy liší od hodnoty  $a_P^E$  pro emetropické oko se stejnou akomodační šíří o  $\pm 2,4 \%$  na každou dioptrii axiální refrakce.

# Presbyopie



J. Schwiegerling: Field Guide to Visual and Ophthalmic Optics. SPIE, Bellingham 2004, str. 25.

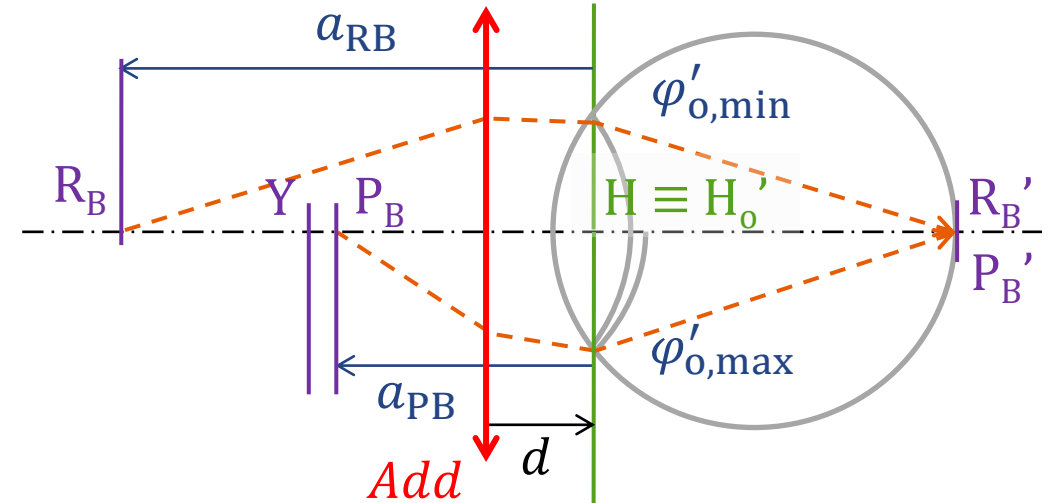
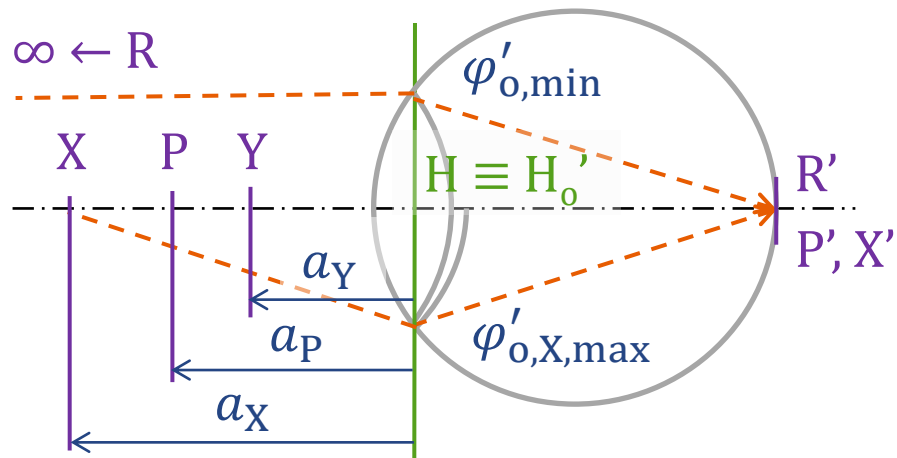
- **starozrakost, vetchozrakost:** fyziologický úbytek akomodační šíře, po 40. roce života
- pokud se blízký bod vzdálí o více než 33 cm (Tunnacliffe), příp. 25 cm od oka, tj.  $A_{\xi} < 3 \text{ D}$  (4 D)
- koriguje se spojnou čočkou s mohutností  $Add$  (přídavek do blízka, adice), o níž se zvyšuje akomodace oka:  $A'_k \approx A_k + Add$
- postačuje přibližný výpočet – nepřepočítáváme lámavost podle vzdálenosti brýlové čočky

# Korekce presbyopie, korekce do blízka

## Technické možnosti korekce presbyopie:

- spojná (pozitivní) brýlová čočka
- bifokální brýlové čočky (pro ametropa, dolní část obsahuje přídavek do blízka)
- trifokální brýlové čočky (s mezidílem, nepříliš rozšířené, nahrazovány progresivními)
- progresivní brýlové čočky (čočky s progresivní adicí, brýlové čočky s mohutností proměnnou ve vertikálním směru)
- kontaktní čočky, případně v kombinaci s brýlovými (monofokální, bifokální, monovision – jedna čočka koriguje do dálky, druhá do blízka, simultánní design – v oblasti pupily je zóna pro vidění do blízka i do dálky, translační design – posouvá se vůči pupile)
- multifokální či akomodující nitrooční čočky (změna tvaru)

# Akomodační interval s korekcí do blízka pro emetropa



$A_{kX} = A_R - A_X = -A_X = -1/a_X$   
 Pro emetropa ( $A_R = 0$ ) je akomodace rovna záporně vzaté vergenci pro příslušný bod.

Tedy vzdálenost  $a_X = -1/A_{kX}$ .

Pro blízký bod platí  $a_P = -1/A_\zeta$ .

Pro ještě bližší bod Y je nutné akomodaci  $A_k$  zvýšit o adici  $Add$ , aby  $A_k + Add > A_\zeta$ , a pak

$$a_Y = -1/(A_k + Add) > -1/A_\zeta = a_P$$

Přídavek  $Add$  posune blízký bod P do nové polohy  $a_{PB} = -1/(A_\zeta + Add)$ . Jde o **umělý blízký bod  $P_B$  pro korekci do blízka**.

Relaxované oko ( $A_k = 0$ ) s adicí  $Add$  pak pozoruje ostře **umělý daleký bod  $R_B$  pro korekci do blízka** v konečné vzdálenosti  $a_{RB} = -1/Add$ .

Akomodační interval je tedy:

$$(a_{RB}, a_{PB}) = \left( -\frac{1}{Add}, -\frac{1}{Add + A_\zeta} \right)$$

# Volba adice

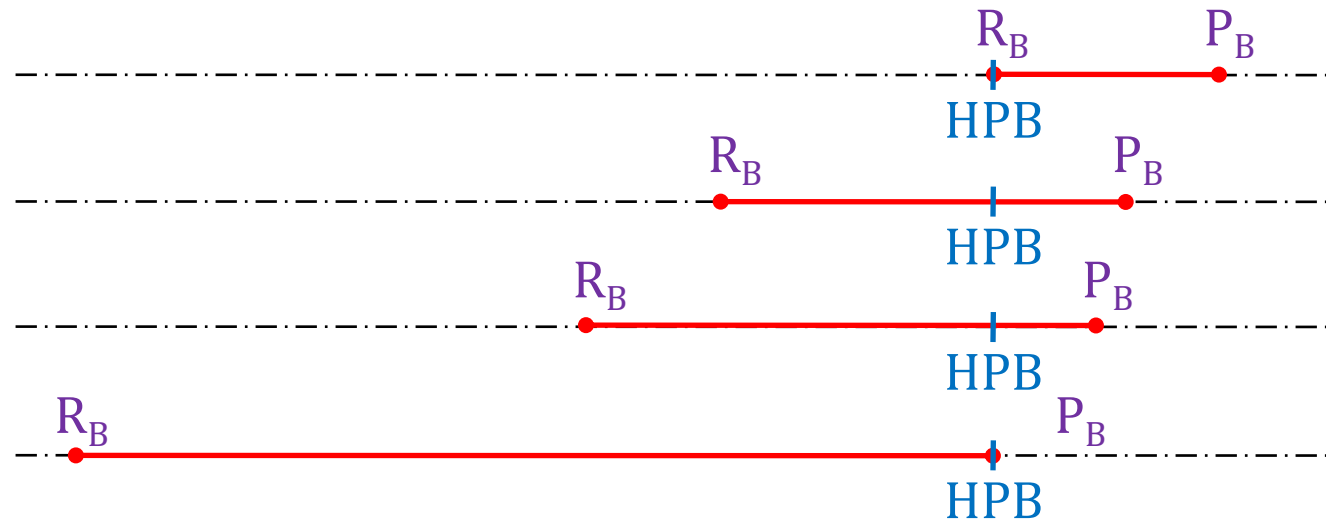
Adici volíme vzhledem k individuálně pojímané poloze hlavního pracovního bodu (HPB), do nějž umísťujeme předměty pozorované na blízko, a k jeho vzdálenosti  $h$  od oka. Přitom necháváme rezervu na krátkodobé pozorování bližších předmětů.

$$Add = -1/h \quad (\text{extrém})$$

$$Add = -1/h - A_{\xi}/2$$

$$Add = -1/h - 2A_{\xi}/3$$

$$Add = -1/h - A_{\xi} \quad (\text{extrém})$$



$$(a_{RB}, a_{PB}) = \left( -\frac{1}{Add}, -\frac{1}{Add + A_{\xi}} \right) \quad (h = -20 \text{ cm} \quad A_{\xi} = 3,0 \text{ D})$$

Pro zajímavost, podle W. F. Longa 1992 za předpokladu pracovní vzdálenosti 40 cm:  $Add (D) \approx age (Y) / 8 - 5,00 \pm 0,25$

# Korekce presbyopie pro ametropické oko

## Myopické oko

K záporné vrcholové lámavosti  $S'_D$  korekční čočky do dálky přičítáme adici  $Add$ , tím dostáváme celkovou vrcholovou lámavost  $S'_B$  brýlové čočky pro korekci do blízka  $S'_B = S'_D + Add$ .

Mohou nastat tři situace:

1.  $Add < |S'_D|$ , pak  $S'_B < 0$  (korekce do blízka slabší rozptylkou)
2.  $Add = |S'_D|$ , pak  $S'_B = 0$  (do blízka bez korekce)
3.  $Add > |S'_D|$ , pak  $S'_B > 0$  (korekce do blízka spojkou)

## Hypermetropické oko

Ke kladné vrcholové lámavosti  $S'_D$  korekční čočky do dálky přičítáme adici  $Add$ , tím dostáváme celkovou vrcholovou lámavost  $S'_B$  brýlové čočky pro korekci do blízka, pro níž vždy platí

$$S'_B = S'_D + Add > S'_D.$$

# Akomodační intervaly (intervaly ostrého vidění)

## Bez korekce

Akomodační interval je vymezen (přirozeným) dalekým a blízkým bodem oka R a P:

$$a_R = \frac{1}{A_R} \quad a_P = \frac{1}{A_R - A_\xi}$$

## S korekcí do dálky

Akomodační interval je vymezen umělým dalekým a blízkým bodem oka  $R_D$  a  $P_D$ , jejichž polohu udávají předchozí vztahy pro  $A_R \rightarrow 0$  (pseudoemetropie):

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

## S korekcí do blízka

Akomodační interval je vymezen umělým dalekým a blízkým bodem oka  $R_B$  a  $P_B$ , jejichž polohu udává vztah, který lze odvodit ze vztahu pro  $a_{PD}$  tak, že uvažujeme nulovou či plnou akomodaci zvýšenou o adici  $Add$  (korekce do blízka při pseudoemetropii):

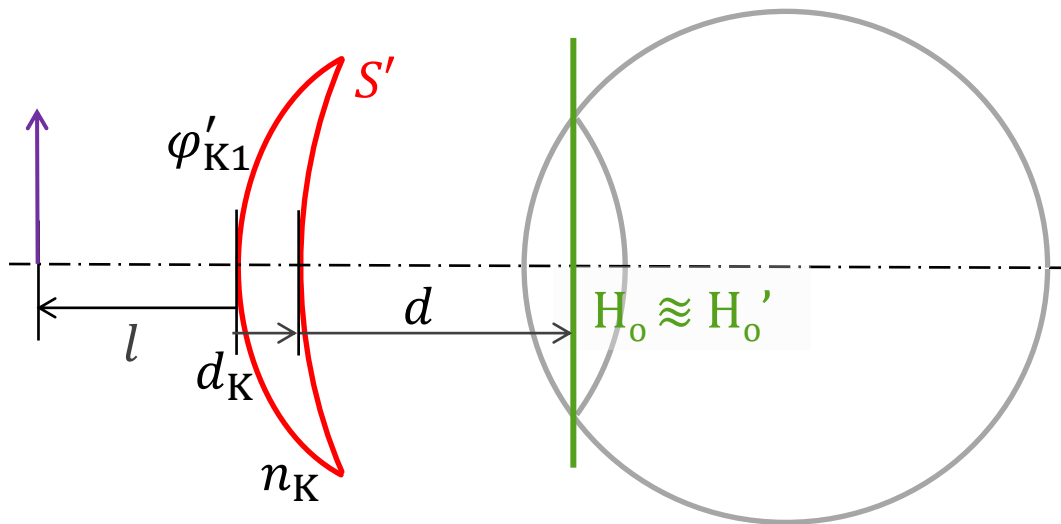
$$a_{RB} = -\frac{1}{Add} \quad a_{PB} = -\frac{1}{Add + A_\xi}$$



# Velikost sítnicového 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