

Gullstrandovo schématické oko

Alvar Gullstrand



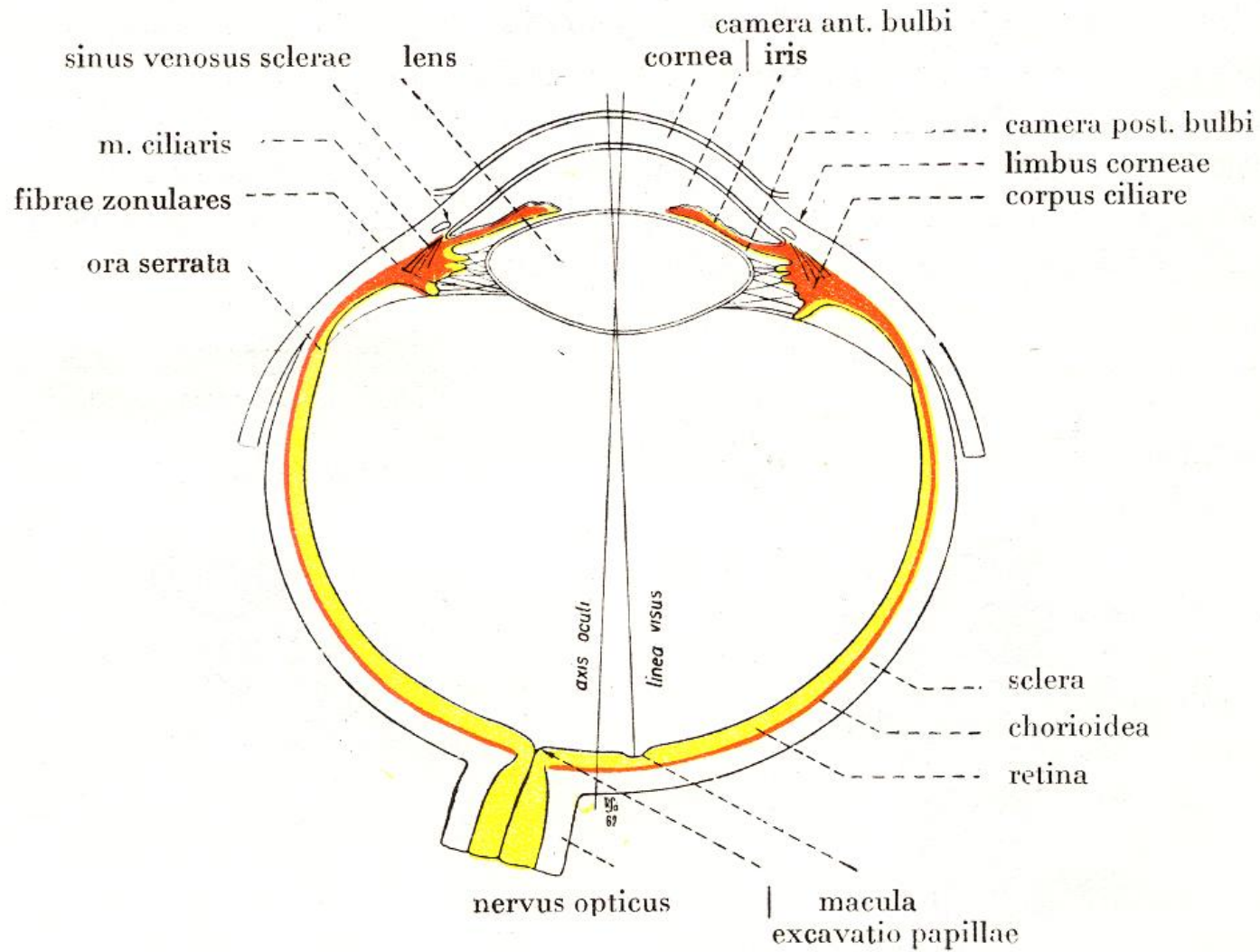
- Dílo Alvara Gullstranda bylo velmi významným přínosem pro pochopení fyziologie lidského zraku. Jeho teoretická práce posunula oftalmologickou praxi o významný krok vpřed.
- Narodil se 5. června 1862 ve švédském městě Landskrona. Po studiích medicíny na univerzitě v Uppsale a ve Stockholmu byl ve svých 32 letech jmenován prvním profesorem oftalmologie. Později, od roku 1914 i profesorem fyzikální a fyziologické optiky na Uppsalské univerzitě. Oblastí jeho zájmu a tématem nejvýznamnějších vědeckých prací byla geometrická a fyziologická optika.
- Základem Gullstrandovy vědecké kariéry byla v roce 1890 obhajoba doktorské práce pod názvem Příspěvek k teorii astigmatismu. Za následující publikaci Všeobecné teorie monochromatických aberací a jejich následný význam pro oftalmologii získal v roce 1900 ocenění od Švédské královské akademie věd a Švédské lékařské asociace. Dalším významným vědeckým úspěchem byl spis Reálné optické zobrazení (1906) a zejména Optické zobrazení v heterogenních médiích a dioptrika čočky lidského oka, za kterou byl oceněn v roce 1908 výroční zlatou medailí Švédské lékařské asociace. Soubor svých dosavadních vědeckých tezí publikoval Gullstrand pod názvy Fakta a fikce v teorii optického zobrazení a Úvod do metodiky měření lidského oka v roce 1911.
- Cenným přínosem pro oftalmologii jsou i jeho Objektivní diferenční diagnostika a fotoilustrace vad okohybných svalů (1892). Fotografické oftalmometrické mapování refrakce rohovky (1896) a Pigmentace centrální makuly sítnice (1905).
- Gullstrand zasvětil své dílo také výpočtům a cestám ke zlepšení kvality a konstrukce zobrazovacích soustav v přístrojové optice. Výsledkem prací v této oblasti jsou pojednání O asférických plochách optických přístrojů z roku 1919. Všeobecný optický zobrazovací systém (1915) a Zákony optických systémů druhého a třetího řádu (1924).
- Poslední soubor výsledků svých optických experimentů publikoval Gullstrand v roce 1926 pod názvem Některé aspekty optických obrazů.
- Pro praktickou oftalmologii a zejména diagnostiku měly největší význam jeho metody ohniskové iluminace pomocí štěrbinové lampy a převratná konstrukce bezreflexního oftalmoskopu.
- Alvar Gullstrand byl velmi uznávaným vědcem. Kromě členství v početných švédských i zahraničních vědeckých společnostech byl čestným doktorem filozofie na univerzitách v Uppsale, Jeně a v Dublinu. V letech 1922 -1929 byl předsedou Výboru pro fyziku Švédské akademie věd.
- V roce 1911 udělena Nobelova cena za práci v oční optice.

Alvar Gullstrand

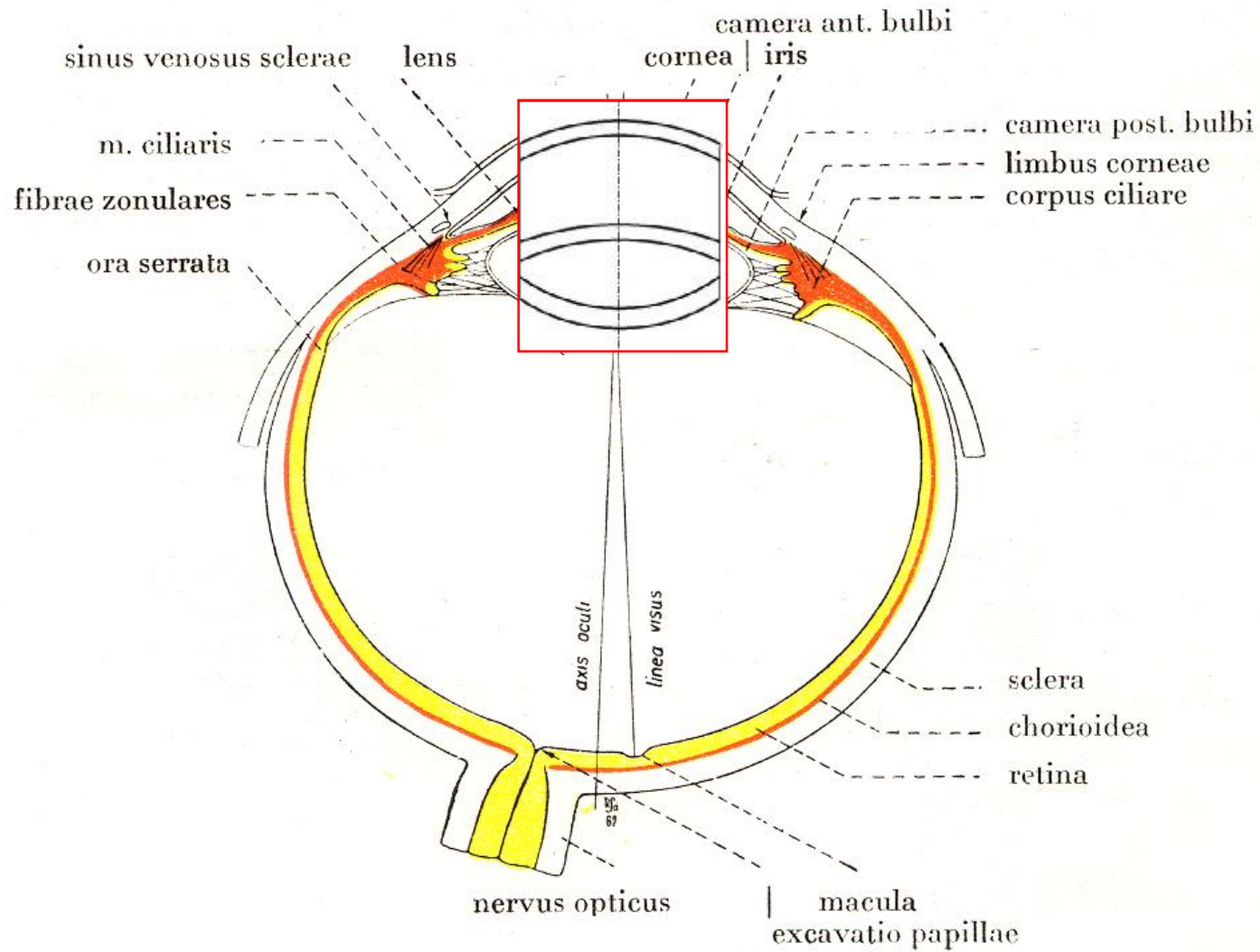


- Narodil se ve Švédsku v roce 1862. Otec byl proslulým lékařem.
- Studoval lékařství v Uppsale, Vídni a Stockholmu.
- Svůj výzkum zaměřil na dioptriku, tj. na studie lidského oka jako systému čoček.
- Gullstrand přispěl podstatnou měrou k pokroku nauky o oku.
- Studoval astigmatismus pomocí cylindrických čoček.
- Vyvinul fotografickou techniku pro zkoumání stupně rohovkového astigmatismu.
- Tento výzkum umožnil podstatně zlepšit korekci očních vad.
- Gullstrand získal Nobelovu cenu v roce 1911 za svou práci v oční optice.

Oční koule



Oční koule



Optický systém rohovky při akomodačním klidu

Ⓡ

plocha č.	1	2
n'	1,3760	1,3360
n	1,0000	1,3760
r	7,7000	6,8000
d	0,5	
$x_{\text{od 1. plochy}}$	0	0,5
x	nekon.	27,67872
$X = n/x$	0,0000	0,0497
$\varphi = (n'-n)/r$	0,0488	-0,0059
$X' = n'/x'$	0,0488	0,0438
x'	28,1787	30,4808
$x'-d$	27,6787	
$x'/(x'-d)$	1,01806	

obr. ohn. vzdál. a celk. optická moh.

$$f' = 31,0314\text{mm}$$

$$\varphi'_c = 43,0532\text{D}$$

vzdálenosti od 2. plochy

$$x'(F') = 30,4808\text{mm}$$

$$x'(H') = -0,5506\text{mm}$$

$$x'(N') = 7,25368\text{mm}$$

vzdálenosti od 1. plochy

$$x_1(F') = 30,9808\text{mm}$$

$$x_1(H') = -0,0506\text{mm}$$

$$x_1(N') = 7,75368\text{mm}$$

Ⓡ

	2	1
n'	1,3760	1,0000
n	1,3360	1,3760
r	-6,8000	-7,7000
d	0,5	
$x_{\text{od 1. plochy}}$		
x	nekon.	-234,42
$X = n/x$	0,0000	-0,0059
$\varphi = (n'-n)/r$	-0,0059	0,0488
$X' = n'/x'$	-0,0059	0,0430
x'	-233,92	23,2767
$x'-d$	-234,42	
$x'/(x'-d)$	0,99787	

předm. ohn. vzdál. a celk. optická moh.

$$f = -23,227\text{mm}$$

$$\varphi'_c = 43,0532\text{D}$$

vzdálenosti od 1. plochy

$$x(F) = -23,277\text{mm}$$

$$x(H) = -0,0496\text{mm}$$

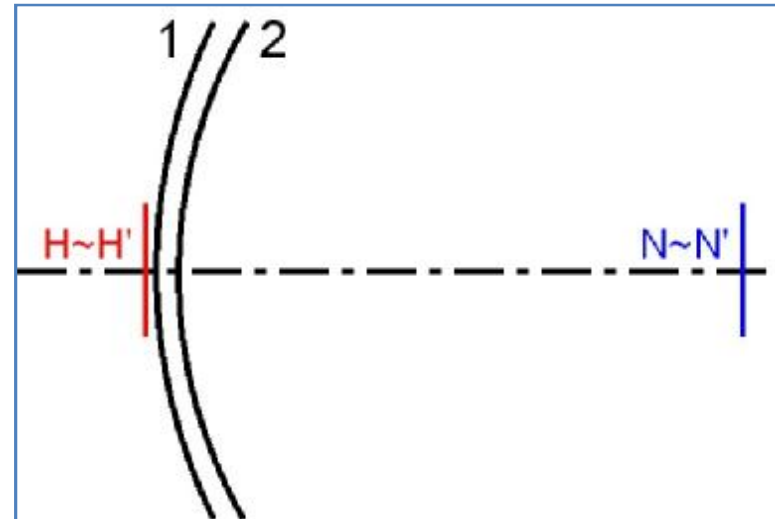
$$x(N) = 7,75465\text{mm}$$

vzdálenosti od 1. plochy

$$x_1(F) = -23,277\text{mm}$$

$$x_1(H) = -0,0496\text{mm}$$

$$x_1(N) = 7,75465\text{mm}$$



Optický systém čočky při akomodačním klidu

Ⓜ

plocha č.	3	4	5	6
n'	1,386	1,406	1,386	1,336
n	1,336	1,386	1,406	1,386
r	10	7,911	-5,76	-6
d	0,546	2,419	0,635	
$x_{\text{od 1. plochy}}$	3,6	4,146	6,565	7,2
x	nekon.	276,654	184,103	124,126
$X = n/x$	0	0,00501	0,00764	0,01117
$\varphi = (n' - n)/r$	0,005	0,00253	0,00347	0,00833
$X' = n'/x'$	0,005	0,00754	0,01111	0,0195
x'	277,2	186,522	124,761	68,5148
$x' - d$	276,654	184,103	124,126	
$x'/(x' - d)$	1,00197	1,01314	1,00512	

obr. ohn. vzdál. a celk. opt. moh.

$$f' = 69,9079\text{mm}$$

$$\varphi'_c = 19,1109\text{D}$$

vzdálenosti od 6. plochy

$$x'(F') = 68,5148\text{mm}$$

$$x'(H') = -1,3931\text{mm}$$

$$x'(N') = -1,3931\text{mm}$$

vzdálenosti od 1. plochy (rohovka)

$$x_1(F') = 75,7148\text{mm}$$

$$x_1(H') = 5,80695\text{mm}$$

$$x_1(N') = 5,80695\text{mm}$$

┌

	6	5	4	3
n'	1,386	1,406	1,386	1,336
n	1,336	1,386	1,406	1,386
r	6	5,76	-7,911	-10
d	0,635	2,419	0,546	
$x_{\text{od 1. plochy}}$				
x	nekon.	165,685	116,356	94,3094
$X = n/x$	0	0,00837	0,01208	0,0147
$\varphi = (n' - n)/r$	0,00833	0,00347	0,00253	0,005
$X' = n'/x'$	0,00833	0,01184	0,01461	0,0197
x'	166,32	118,775	94,8554	67,83
$x' - d$	165,685	116,356	94,3094	
$x'/(x' - d)$	1,00383	1,02079	1,00579	

předm. ohn. vzdál. a celk. opt. moh.

$$f = -69,908\text{mm}$$

$$\varphi'_c = 19,1109\text{D}$$

vzdálenosti od 3. plochy

$$x(F) = -67,83\text{mm}$$

$$x(H) = 2,07793\text{mm}$$

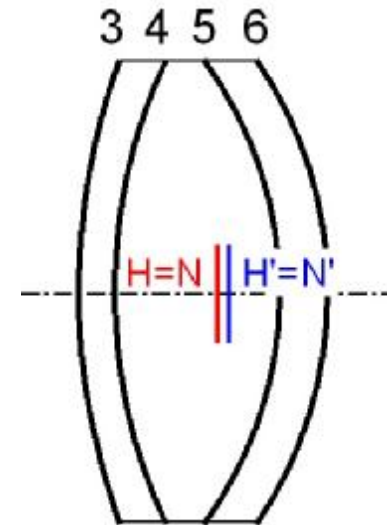
$$x(N) = 2,07793\text{mm}$$

vzdálenosti od 1. plochy (rohovka)

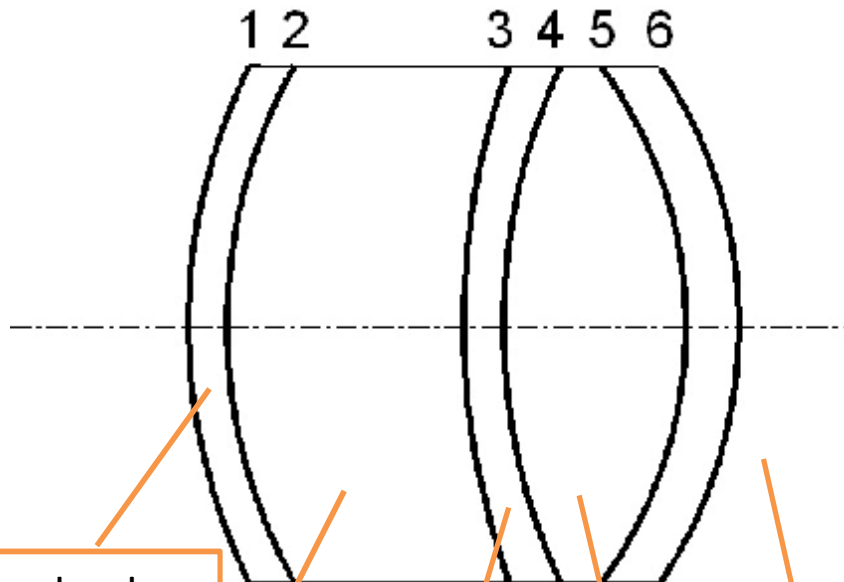
$$x_1(F) = -64,23\text{mm}$$

$$x_1(H) = 5,67793\text{mm}$$

$$x_1(N) = 5,67793\text{mm}$$



Optický systém oka



rohovka
($n = 1,376$)

přední komora
($n = 1,336$)

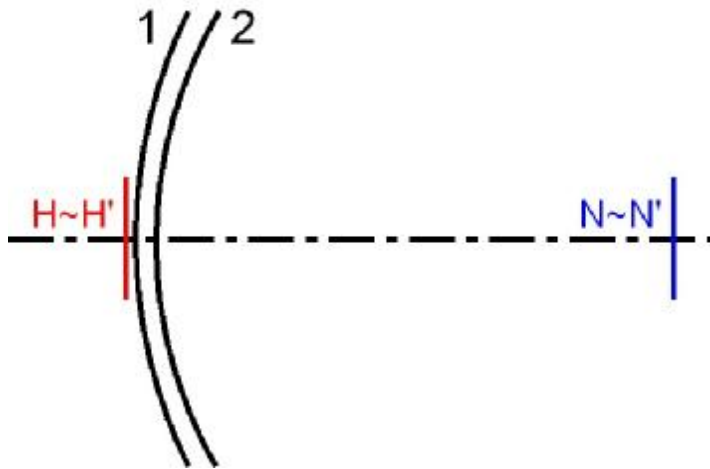
čočka
($n = 1,386$)

jádro čočky
($n = 1,406$)

sklivec
($n = 1,336$)

	akom. klid	akom. max.
Indexy lomu :		
rohovka	1,376	1,376
komorová voda a sklivec.....	1,336	1,336
čočka ekvivalentní.....	1,406	1,406
čočka.....	1,386	1,386
Místo :		
první lámavá plocha rohovky	0	0
druhé lámavé plochy rohovky	0,5	0,5
první lám. plochy čočky	3,6	3,2
první lám. pl. ekviv. čočky	4,146	3,8725
druhé lám. pl. ekviv. čočky.....	6,565	5,5275
druhé lám. pl. čočky	7,2	7,2
optické centrum čočky		
Poloměry zakřivení :		
první lám. p. rohovky	7,7	7,7
druhé 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
druhé lám. pl. ekviv. čočky.....	-5,76	-2,655
druhé lám. pl. čočky	-6,000	-5,33
Optická mohutnost :		
první lám. pl. rohovky	48,83	48,83
druhé lám. pl. rohovky	- 5,88	-5,88
ekviv. pl. čočky		
první lám. pl. čočky	5,000	9,375
jádra čočky	5,985	14,96
druhé lám. pl. čočky	8,33	9,375
Rohovkový systém :		
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
Čočkový systém :		
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
Celkový systém :		
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

Optický systém oka při akomodačním klidu I



obr. ohn. vzdál. a celk.
optická moh.

$$f' = 31,0314\text{mm}$$

$$\varphi'_c = 43,0532\text{D}$$

vzdálenosti od 1. plochy

$$x_1(F') = 30,9808\text{mm}$$

$$x_1(H') = -0,0506\text{mm}$$

$$x_1(N') = 7,75368\text{mm}$$

předm. ohn. vzdál. a celk.
optická moh.

$$f = -23,227\text{mm}$$

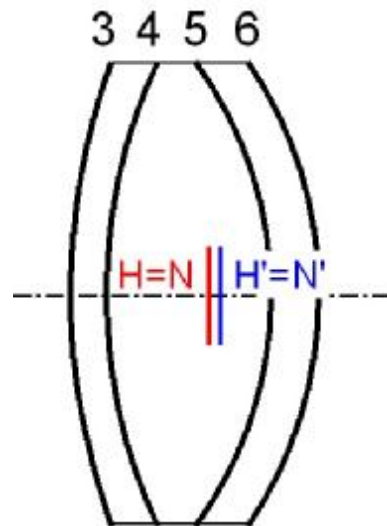
$$\varphi'_c = 43,0532\text{D}$$

vzdálenosti od 1. plochy

$$x_1(F) = -23,277\text{mm}$$

$$x_1(H) = -0,0496\text{mm}$$

$$x_1(N) = 7,75465\text{mm}$$



obr. ohn. vzdál. a celk. opt.
moh.

$$f' = 69,9079\text{mm}$$

$$\varphi'_c = 19,1109\text{D}$$

vzdálenosti od 1. plochy

$$x_1(F') = 75,7148\text{mm}$$

$$x_1(H') = 5,80695\text{mm}$$

$$x_1(N') = 5,80695\text{mm}$$

předm. ohn. vzdál. a celk. opt.
moh.

$$f = -69,908\text{mm}$$

$$\varphi'_c = 19,1109\text{D}$$

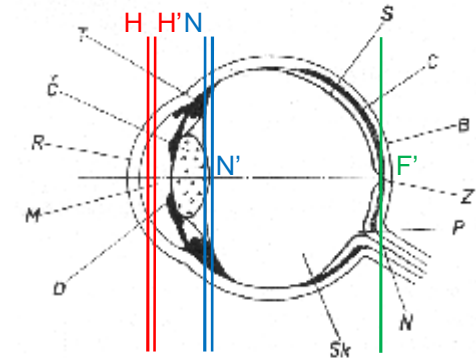
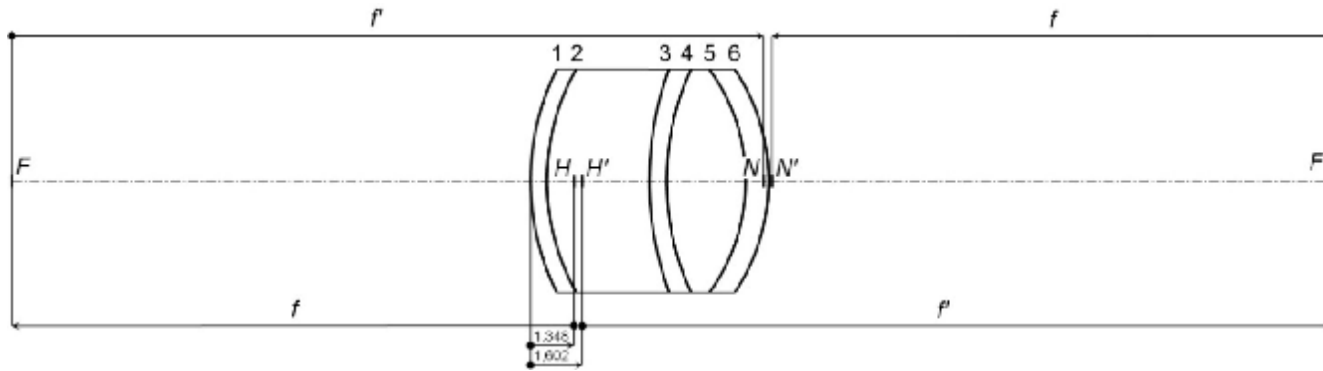
vzdálenosti od 1. plochy

$$x_1(F) = -64,23\text{mm}$$

$$x_1(H) = 5,67793\text{mm}$$

$$x_1(N) = 5,67793\text{mm}$$

Optický systém oka při akomodačním klidu



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	
x_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
n'	1,386	1,406	1,386	1,336	1,376	1
n	1,336	1,386	1,406	1,386	1,336	1,376
r	6	5,76	-7,911	-10	-6,8	-7,7
d	0,635	2,419	0,546	3,1	0,5	
x_1 plochy						
x	nekon.	165,685	116,356	94,3094	64,73	92,7424
n/x	0	0,00837	0,01208	0,0147	0,02064	0,01484
$\varphi = (n'-n)/r$	0,00833	0,00347	0,00253	0,005	-0,0059	0,04883
n'/x'	0,00833	0,01184	0,01461	0,0197	0,01476	0,06367
x'	166,32	118,775	94,8554	67,83	93,2424	15,7065
$x'-d$	165,685	116,356	94,3094	64,73	92,7424	
$x'/(x'-d)$	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
- C - čočka
- Sk - sklivec
- S - sítnice
- Z - žlutá skvrna
- D - duhovka
- T - ciliární sval
- C - cévnatka
- B - bělma
- P - papila, slepá skvrna
- N - oční nerv

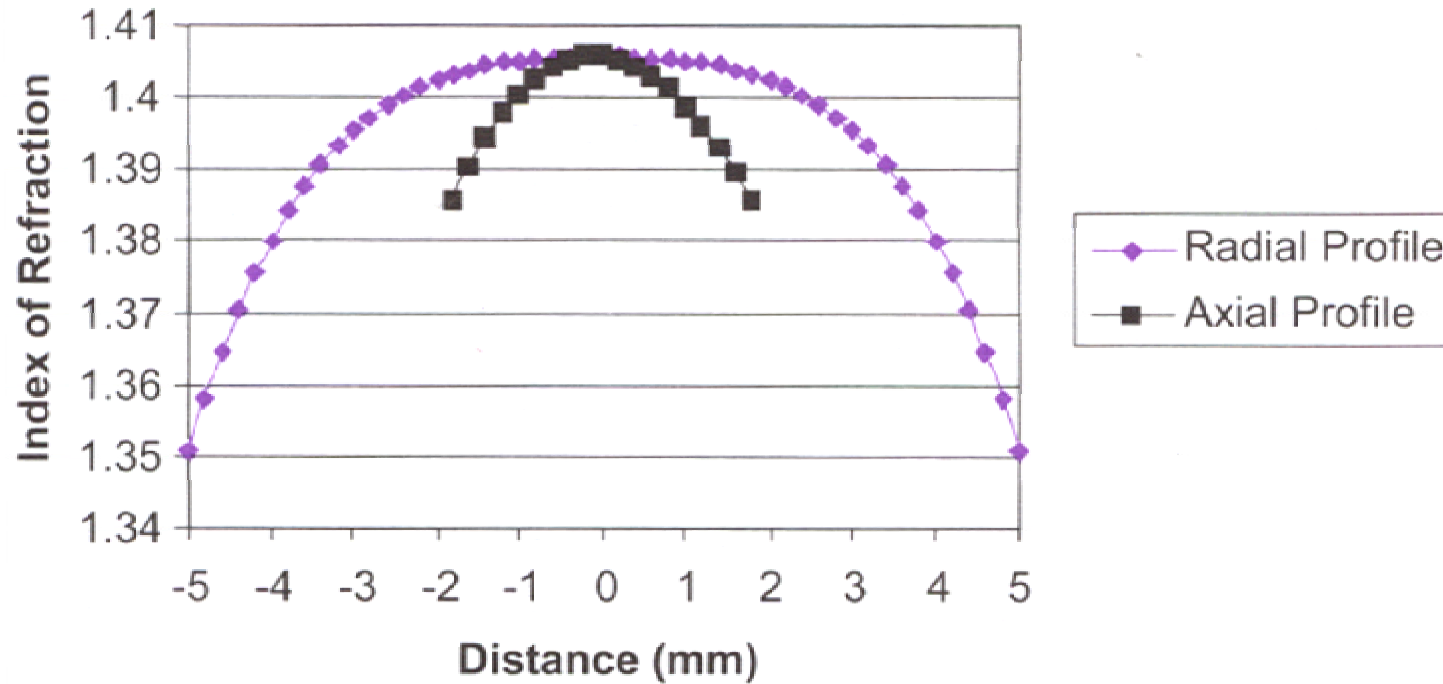
Reálné hodnoty optických parametrů oka

přední plocha rohovky	7,80 mm (7,00 mm – 8,65 mm)
zadní plocha rohovky	6,50 mm (6,20 mm – 6,60 mm)
hloubka přední komory	3,68 mm (2,80 mm – 4,60 mm)
optická mohutnost čočky	20,35 D (15,00 D – 27,00 D)
tloušťka čočky	4,00 mm
poloměr přední plochy čočky	10,20 mm (8,80 mm – 11,90 mm)
poloměr zadní plochy čočky	6,00 mm
osová délka	24,00 mm (20,00 mm – 29,50 mm)
optická mohutnost oka	59,63 D (54,00 D – 65,00 D)

rohovka	index lomu: 1,3771	Abbeovo číslo: 57,1
komorová voda	index lomu: 1,3374	Abbeovo číslo: 61,3
čočka	index lomu: 1,36-1,41	Abbeovo číslo: 47,7
sklivec	index lomu: 1,336	Abbeovo číslo: 61,1

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

Reálný průběh indexu lomu oční čočky



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

Arizona Eye Model

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

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

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

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

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

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

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

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

A ..
accommodation
in diopters

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

z = sag of surface

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

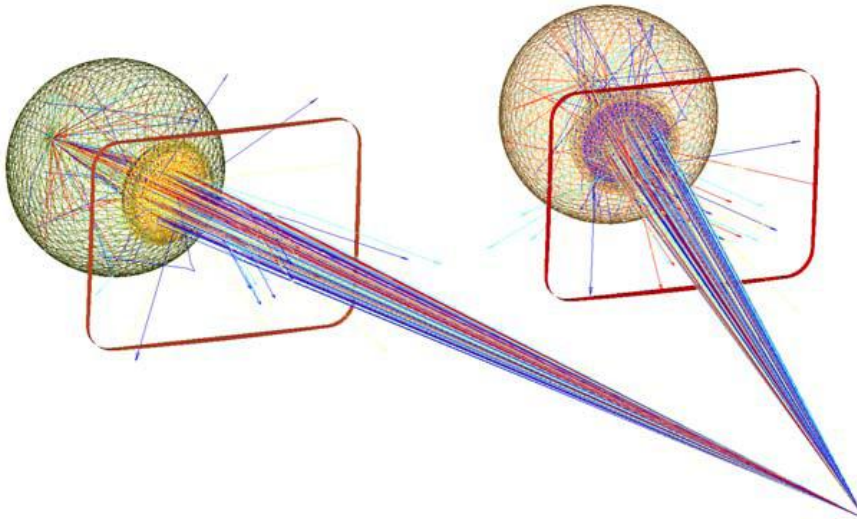
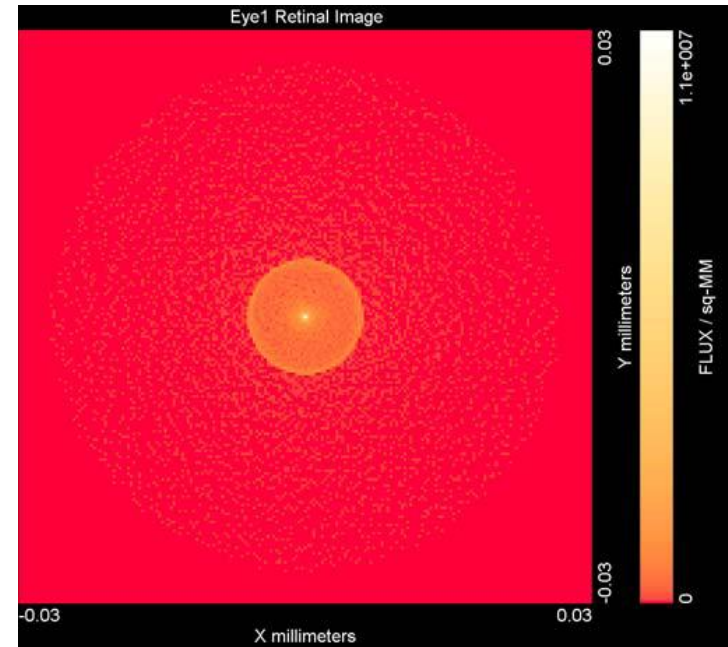
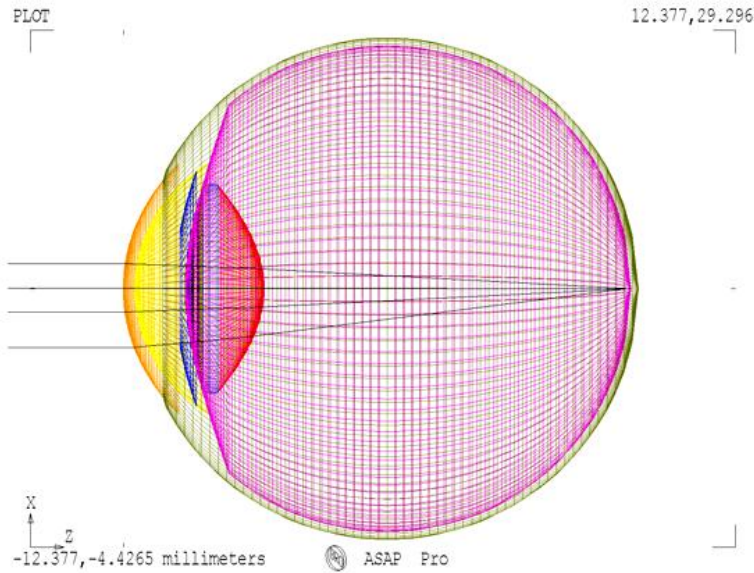
R = radius of curvature

K = conic constant

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

Advanced Human Eye Model (AHEM)

(Advanced Systems Analysis Program - ASAP)



ZEMAX - Eye Models

