

Instrukcja użytkowania



Ray-Tracing

dla oka pseudofakijnego

(21 sierpnia 2025, wersja 09.35)

Prof. Dr. Dr. Paul-Rolf Preußner
Am Linsenberg 18
D-55131 Mainz
prp@panopsis.de

Spis treści

1	Podstawy, obszary zastosowania, zgodność z CE, bez- pieczeństwo	3
1.1	Ray-Tracing	3
1.2	Obliczanie IOL	4
1.2.1	Dane IOL	5
1.2.2	Pozycja soczewki wewnątrzgałkowej	5
1.2.3	Aberracja sferyczna	5
1.2.4	Fakijne soczewki wewnątrzgałkowe	6
1.2.5	Soczewki wewnątrzgałkowe toryczne	6
1.2.6	Dodatkowa soczewka wewnątrzgałkowa (soczewka typu Huckepack)	6
1.3	Kontur rogówki	13
1.4	Dopasowanie soczewki wewnątrzgałkowej po refrakcyjnej chirurgii rogówki	13
1.4.1	Promień tylnej powierzchni rogówki	13
1.5	Refrakcyjna chirurgia rogówki	14
1.5.1	Model rogówki	14
1.5.2	Metodyka ablacji rogówki	15
1.6	Miejsce pracy OKULIX	15
1.6.1	Stacja robocza TMS	15
1.6.2	Haag-Streit-Lenstar	16
1.6.3	Oculus-Pentacam	16
1.6.4	Tracey-iTrace	16
1.6.5	Ziemer-Galilei G6	16
1.6.6	Heidelberg Engineering Anterior	16
2	Instalacja	17
2.1	Stacja robocza, wszystkie urządzenia	17
2.1.1	Aktualizacja	17
2.1.2	Setup	20
2.2	Tomey TMS, Casia, OA, AL	20
2.3	Oculus Pentacam	20
2.4	Haag-Streit Lenstar	22
2.5	Tracey iTrace	22
2.6	Ziemer Galilei G6	22
2.7	Heidelberg Engineering Anterior	22
2.8	Wersja PC	22
2.9	Deinstalacja	23

3	Obsługa	24
3.1	Stacja robocza	24
3.1.1	Tomey-TMS4	28
3.1.2	Tomey-TMS4/TMS5 i Tomey OA1000	29
3.1.3	Oculus Pentacam	29
3.1.4	Tracey iTrace	29
3.1.5	Haag-Streit Lenstar	29
3.1.6	Połączona stacja robocza topografia i Lenstar	31
3.1.7	Ziemer Galilei G6	34
3.1.8	Heidelberg Engineering Anterior	34
3.2	Wersja PC	35
3.3	Pomiar długości osiowej za pomocą biometru Tomey	36
3.4	Specjalne soczewki wewnątrzgałkowe (fakijne, mocowane do tęczówki, dodatkowe soczewki wewnątrzgałkowe)	37
3.5	Dodatkowa soczewka wewnątrzgałkowa w przypadku oleju si- likonowego	41
3.6	Przykłady zastosowania	42
3.6.1	Aberracja sferyczna	42
3.6.2	Wpływ szerokości źrenicy	42
3.6.3	Subiektywne określenie refrakcji	43
3.6.4	Aberracja chromatyczna	43
3.6.5	Moduł rogówki	44
3.6.5.1	2-wymiarowe wady optyczne	44
3.6.5.2	Model rogówki	45
3.6.5.3	Lasik / PRK	45
4	Postanowienia prawne	47
4.1	Warunki licencji	47
4.2	Gwarancja	47
4.3	Wyłączenie odpowiedzialności	48
4.4	Przeniesienie praw	48
5	Wyniki u pacjentów	49
	Literatura	56

Rozdział 1

Podstawy, obszary zastosowania, zgodność z CE, bezpieczeństwo

OKULIX jest przeznaczony do obliczania właściwości optycznych pseudofakijnego oka ludzkiego. Zamierzonym zastosowaniem w rozumieniu europejskiego rozporządzenia dotyczącego wyrobów medycznych jest dobór soczewek wewnątrzgałkowych (IOL). Użytkownikami **OKULIX** są okuliści. Inne zastosowania nie są zgodne z przeznaczeniem produktu.

Poważne zdarzenia niepożądane związane z tym produktem należy zgłaszać właściwym organom państwa członkowskiego UE, w którym użytkownik lub pacjent, którego dotyczy zdarzenie, ma miejsce zamieszkania.

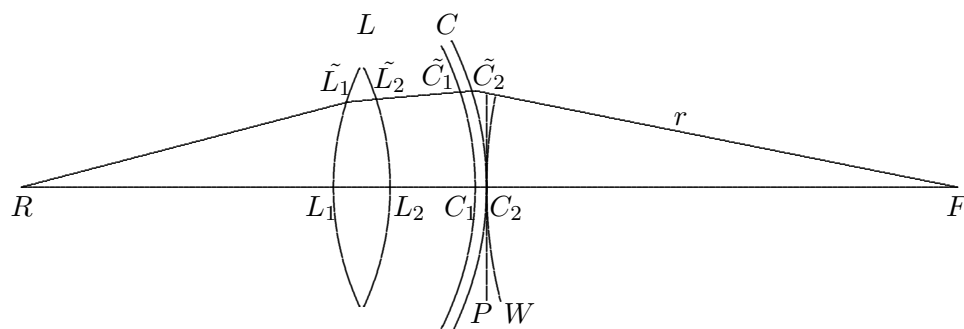
OKULIX spełnia podstawowe wymagania rozporządzenia w sprawie wyrobów medycznych (UE) 2017/745 jako produkt klasy I.

1.1 Ray-Tracing

OKULIX to pakiet programów, który precyzyjnie oblicza przebieg poszczególnych promieni światła w oku z soczewką pseudofakijną. Dzięki nakładaniu wielu takich promieni można symulować wrażenie widzenia rozległych obiektów (np. pierścieni Landolta), przy czym uwzględniona jest dyfrakcja na otworze źrenicy ([10]). *Dokładnie* oznacza to, że załamanie promieni świetlnych na każdej powierzchni granicznej jest obliczane zgodnie z prawem Snelliusa. W przypadku promienia przechodzącego przez kilka powierzchni granicznych, obliczenie to *nie* jest *analityczne*, tzn. nie jest możliwe w zamkniętych wzorach, ponieważ w przeciwnym razie powstają tzw. “równania transcendentne”, których z przyczyn matematycznych nie da się rozwiązać. Zamiast obliczeń analitycznych problem należy zatem rozwiązać *metodami numerycznymi*, co wymaga użycia komputera. Dopóki komputery nie były jeszcze dostępne, stosowano analityczne obliczenia przybliżone, z których najbardziej znana to “optyka Gaussa” ([4]). W nim sinus w prawie Snelliusa zostaje zastąpiony miarą łukową: $\sin(\alpha) \approx \alpha$. Jest to oczywiście możliwe tylko dla bardzo małych kątów, tj. w pobliżu osi optycznej. Optyka Gaussa jest dlatego nazywana “optyką paraaksjalną”. W przeciwieństwie do niej, dokładność obliczeń **OKULIX** jest dla wszystkich

odległości od osi optycznej tak samo wysoka (błąd reszkowy ≤ 0.001 dpt).

We wszystkich obliczeniach w ramach **OKULIX** (dopasowanie soczewki wewnątrzgałkowej, ablacja rogówki) minimalizowany jest *błąd refrakcji*. Definicja błędów refrakcji i błędów czoła fali jest przedstawiona na rys. 1.1.



Rysunek 1.1: **Wady refrakcji i fali**

Przedstawiono schematyczny przekrój poprzeczny oka z soczewką L i rogówką C , a także oś optyczną od centralnej siatkówki R do punktu przecięcia F z promieniem oddalonym od osi r . Różnice frontu fali są różnicami między optycznymi długościami dróg $(R, L_1, L_2, C_1, C_2, F)$ i $(R, \tilde{L}_1, \tilde{L}_2, \tilde{C}_1, \tilde{C}_2, F)$. Długości optyczne są sumą iloczynów geometrycznych długości optycznych i odpowiednich współczynników załamania. Różnicę dróg między falą sferyczną W , która rozpoczyna się w F , a falą płaską P wzdłuż r , należy dodać do długości drogi r , jeśli F nie znajduje się w nieskończoności. Błąd refrakcji południkowej definiuje się jako odwrotność odległości między C_2 a F . Dodatkowo promień może również zostać odchylony prostopadłe do narysowanej płaszczyzny. Opisuje to azymutalny składnik błędu refrakcyjnego. Obliczenie długości ścieżki dla błędu czoła fali odbywa się w trzech wymiarach. W przypadku soczewki zdecentrowanej najpierw obliczany jest załamany promień przechodzący przez środek siatkówki i rogówki. Następnie promień ten służy jako punkt odniesienia zamiast osi optycznej.

1.2 Obliczanie IOL

OKULIX może być stosowany w szczególności do dopasowania soczewek wewnątrzgałkowych (IOL) ([11, 12, 18, 17, 19]). Długości osi optycznych można wprowadzić ręcznie lub przenieść z urządzeń pomiarowych. Dotychczas można było podłączyć aparaty ultrasonograficzne i optyczne firmy Tomey, urządzenie Lenstar firmy Haag-Streit, Pentacam firmy Oculus, a za jego pośrednictwem urządzenia optyczne i akustyczne firmy Nidek. Ponadto można podłączyć iTrace firmy Tracey, Ziemer Galilei G6 oraz Anterior firmy Heidelberg Engineering. Kolejne interfejsy są w przygotowaniu. Należy pamiętać, że w **OKULIX** stosowane są długości *optyczne*, a nie *akustyczne*. Urządzenia pomiarowe mogą podawać wartości pomiarowe, które są systematycznie zbyt duże lub zbyt małe. Wartości zmierzone różnymi urządzeniami muszą być odpowiednio przekształcone. Przekształcenie to można przeprowadzić zarówno poprzez pomiary porównawcze na sztucznych gałkach ocznych, jak i na podstawie danych zbiorczych pacjentów, o ile

dostępne są nowe dane, których informacje mogą przyczynić się do poprawy dokładności. Również dane z innych, niepodłączanych bezpośrednio urządzeń pomiarowych (np. IOLMaster, (Zeiss)) są uwzględniane w bieżącym procesie poprawy dokładności, tak aby dane te mogły być wykorzystane przynajmniej podczas wprowadzania ręcznego.

1.2.1 Dane IOL

Pakiet programu zawiera plik zawierający listę najczęściej wszczepianych soczewek wiodących producentów. Lista ta jest stale rozszerzana i aktualizowana. Soczewka IOL jest *formalnie* oznaczona w tym wykazie przez swój typ i moc refrakcyjną. Jednak do obliczeń w programie **OKULIX** soczewki IOL są opisane *fizycznie* poprzez promień krzywizny, grubość środkową, asferyczność i współczynnik załamania światła. Jest to konieczne, aby - w porównaniu ze wszystkimi "wzorami" - wykorzystać wyższą dokładność obliczeniową, ponieważ poprzez podanie samej wartości mocy refrakcyjnej (zdefiniowanej wyłącznie w optyce Gaussa) nie można jednoznacznie scharakteryzować optycznych właściwości oka z taką soczewką wewnątrzgałkową.

Niektórzy producenci soczewek wewnątrzgałkowych podają dodatkowo korekcję mocy refrakcyjnej, tj. odchylenie między nominalną a rzeczywistą mocą refrakcyjną, które jest uwzględniane w **OKULIX**.

1.2.2 Pozycja soczewki wewnątrzgałkowej

Zasadniczo pozycja soczewki wewnątrzgałkowej nie może być dokładnie obliczona na podstawie przedoperacyjnych wartości pomiarowych, ponieważ zależy ona m.in. od indywidualnych różnic w kurczeniu się torebki soczewki po operacji. *Pozycja* soczewki wewnątrzgałkowej oznacza odległość między tylną powierzchnią rogówki a przednią powierzchnią soczewki IOL, czyli głębokość przedniej komory oka po operacji (ACD). *Najbardziej prawdopodobną* pozycję soczewki wewnątrzgałkowej określa się w systemie **OKULIX** na podstawie dostępnych wartości pomiarowych przed operacją (długości osiowej oraz położenia i grubości soczewki krystalicznej, o ile zostały zmierzone). Ponadto użytkownik może opcjonalnie wprowadzić pooperacyjną ACD, jeśli istnieje uzasadnione przypuszczenie dotyczące pozycji soczewki wewnątrzgałkowej, np. zmierzone położenie soczewki wewnątrzgałkowej w już operowanym oku drugim. Średnia ACD dla każdego modelu soczewki wewnątrzgałkowej jest podana w tabeli 1.1.

1.2.3 Aberracja sferyczna

Aberracja sferyczna ludzkiego oka prowadzi w większości przypadków do krótkowzroczności, która wzrasta wraz z rozszerzeniem źrenicy. Zależy ona między innymi od asferyczności rogówki, asferyczności soczewki wewnątrzgałkowej oraz od stosunku jej promieni. Wszystkie te efekty są dokładnie uwzględnione w **OKULIX**. Najlepiej można je zilustrować za pomocą symulowanych pierścieni Landolta. Aby w prosty sposób uzyskać przynajmniej orientacyjną wartość tego efektu, odchylenie refrakcji dla soczewki wewnątrzgałkowej jest podawane nie tylko w sposób paraaksjalny, jak to

zwykle bywa, ale dodatkowo jako wartość dla *najlepszej ostrości* przy rozszerzeniu źrenicy wynoszącym 2,5 mm. W programie OKULIX uwzględniana jest rzeczywista szerokość źrenicy. Pupilometry zazwyczaj podają wartość większą o około 16% z powodu powiększenia przez rogówkę. Wspomniana średnica źrenicy może być zmieniana przez użytkownika.

1.2.4 Fakijne soczewki wewnątrzgałkowe

Za pomocą OKULIX można również dopasować fakijne soczewki IOL. Wymagana jest, poza długością osiową i promieniami rogówki, znajomość przedoperacyjnej (fakijnej) głębokości przedniej komory oka oraz przedoperacyjnej wady refrakcji.

Soczewka wewnątrzgałkowa zaproponowana przez OKULIX jest przedstawiona na skalowanej ilustracji przedniego odcinka oka. Użytkownik może zmieniać głębokość komory przedniej dla IOL, co może również wpływać na moc optyczną proponowanej soczewki.

Jeśli soczewki wewnątrzgałkowe, które są pierwotnie przeznaczone jako soczewki przedniej komory oka, mają być zamiast tego wykorzystane do korekcji afakii, należy wybrać odpowiednią opcję w OKULIX. Ponadto istnieje możliwość obrócenia soczewki wewnątrzgałkowej tak, aby zamienić jej przednią i tylną stronę. W tym celu należy aktywować oznaczenie IOL revers.

1.2.5 Soczewki wewnątrzgałkowe toryczne

Tak zwane “toryczne soczewki wewnątrzgałkowe” do korekcji astygmatyzmu rogówki można wybrać w OKULIX w taki sam sposób jak soczewki IOL osiowo symetryczne. Najłatwiej i najbezpieczniej można to zrobić na podstawie tomografii. Umieszczone na soczewce IOL oznaczenie odpowiadające południkowi o najmniejszej mocy refrakcyjnej musi podczas implantacji IOL zostać dopasowane do oznaczonej w tomografii OKULIX na czerwono osi południka rogówki o największej mocy refrakcyjnej. W przypadku fakijnych, torycznych soczewek wewnątrzgałkowych można również wprowadzić subiektywną lub obiektywną refrakcję, jeśli ma być skorygowany astygmatyzm soczewki naturalnej.

1.2.6 Dodatkowa soczewka wewnątrzgałkowa (soczewka typu Huckepack)

W celu korekcji pozostałej wady refrakcji po operacji zaćmy można wszczepić drugą soczewkę wewnątrzgałkową do bruzdy rzęskowej lub do przedniej komory oka. W programie OKULIX można w tym celu najpierw obliczyć w standardowy sposób implantację pierwszej soczewki IOL implantowanej do torebki soczewki. Jeśli następnie zostanie wybrana soczewka wewnątrzgałkowa przeznaczona do implantacji w bruzdzie rzęskowej lub w komorze przedniej, to w oknie wprowadzania danych pojawi się dodatkowa, już aktywna opcja pseudofakijna IOL = z następującym podaniem już wszczepionej soczewki IOL do torebki soczewki. Jeśli teraz wprowadzony zostanie błąd refrakcji, oko jest traktowane jako układ optyczny nadokreślony. Z tego powodu długość osiowa jest dostosowywana tak, aby

dane były ponownie spójne. Następnie pojawia się wykres z możliwością interaktywnego wprowadzania danych, opisanych w sekcji dotyczącej fakijnych soczewek wewnątrzgałkowych.

Dodatkowe soczewki wewnątrzgałkowe można wszczepiać również do oczu pseudofakijnych, jeśli oko posiada tamponadę olejem silikonowym, aby skompensować efekt optyczny oleju silikonowego. Dodatkowa soczewka IOL jest następnie usuwana wraz z olejem silikonowym. Do obliczenia takich soczewek IOL w programie **OKULIX** współczynnik załamania ciała szklis- tego zostaje ustawiony na wartość zastosowanego oleju silikonowego.

		ϕ_{Opt}	sph	ast	n	ACD _O
o	Aaren: EC-1/Y/HPI	5.00	+4.0/+34.0		1.489	3.51
o	Aivimed: HPA201	6.0	1.0/+40.0		1.510	3.88
o	Aivimed: HPM404	6.0	10.0/+25.0		1.510	4.20
o	Aivimed: HPS101	6.0	1.0/+40.0		1.510	4.20
o	Aivimed: A32/G32	6.0	6.0/+30.0		1.457	3.37
o	AJL: A601250	6.00	+6.0/+30.0		1.495	2.57
o	AJL: F601250	6.00	-10.0/+40.0		1.462	3.46
o	AJL: LLASHP60	6.00	-10.0/+40.0		1.485	4.48
o	AJL: P651300	6.00	-10.0/+40.0		1.492	3.80
o	AJL: Y601075	6.00	-10.0/+40.0		1.462	3.48
o	Alcon: LX90BD	5.75	+10.0/+30.0		1.491	4.29
o	Alcon: MA30BA	5.50	+10.0/+30.0		1.5542	4.29
o	Alcon: MA50BM	6.50	+6.0/+30.0		1.5542	4.26
o	Alcon: MA60AC	6.00	+6.0/+30.0		1.5542	4.35
o	Alcon: MA60BM/MA60MA	6.00	-5.0/+30.0		1.5542	4.35
o	Alcon: MZ30BD	5.50	+10.0/+30.0		1.491	4.25
o	Alcon: MZ40BD	5.00	+10.0/+30.0		1.491	4.33
o	Alcon: MZ60BD	6.00	+10.0/+30.0		1.491	4.16
o	Alcon: SA30AT	5.50	+10.0/+30.0		1.5542	4.36
o	Alcon: SA30AL	5.50	+6.0/+34.0		1.5542	4.20
o	Alcon: SA60AT/SN60AT	6.00	+6.0/+40.0		1.5542	4.22
o	Alcon: SN60TT	6.00	+6.0/+40.0	1.5/0.75/6.0	1.5542	4.22
o	Alcon: SN60WF	6.00	+6.0/+30.0		1.5542	4.23
o	Alcon: SN6ATT IQ toric	6.00	+6.0/+34.0	1.0/0.75/6.0	1.5542	4.23
o	Alcon: SN6AD1 Restor +3	6.00	+6.0/+34.0		1.5542	4.19
o	Alcon: MN6AD1 Restor MP +3	6.00	+6.0/+34.0		1.5542	4.19
o	Alcon: SV25T0 Restor +2.5	6.00	+6.0/+34.0		1.5542	4.19
o	Alcon: SND1TT Restor toric +3	6.00	+6.0/+34.0	1.0/0.75/3.0	1.5542	4.23
o	Alcon: SV25TT Restor toric +2.5	6.00	+6.0/+34.0	1.0/0.75/3.0	1.5542	4.23
o	Alcon: TFNT00 PanOptix	6.00	+6.0/+34.0		1.5542	4.19
o	Alcon: TFNTT PanOptix toric	6.00	+6.0/+34.0	1.0/0.75/3.75	1.5542	4.23
o	Alcon: CLAREON SY60WF	6.00	+6.0/+30.0		1.5476	4.22
o	Alcon: CLAREON toric CNW0T2-9	6.00	+6.0/+30.0	1.0/0.75/6.0	1.5476	4.22
o	Alcon: CLAREON PanOptix CNWTT0	6.00	+6.0/+34.0		1.5476	4.22
o	Alcon: CLAREON PanOptix toric	6.00	+6.0/+34.0	1.0/0.75/6.0	1.5476	4.22
o	Alcon: VIVITY DFT015	6.00	+10.0/+30.0		1.5542	4.23
o	Alcon: VIVITY toric DFT215-615	6.00	+10.0/+30.0	1.0/0.75/3.75	1.5542	4.23
o	Appasamy: Supra Phob	6.00	10.0/+30.0		1.491	3.40
o	AST: Asqelio EDOF toric	6.00	0.0/+40.0	0.5/0.5/6.0	1.497	3.90
o	AST: Asqelio trifocal	6.00	+5.0/+40.0		1.497	3.90
o	Aurolab: HP757SQ	5.75	+10.0/+30.0		1.470	3.90
o	Bausch&Lomb: enVista MX60E	6.00	0.0/+34.0		1.5340	4.43
o	Bausch&Lomb: enVista MX60T	6.00	0.0/+30.0	1.25/0.75/5.75	1.5385	4.43
o	Bausch&Lomb: MI60	6.00	0.0/+30.0		1.459	4.30
o	Bausch&Lomb: H60M	6.00	0.0/+35.0		1.4743	4.11
o	Bausch&Lomb: Soflex SE	6.00	+1.0/+30.0		1.427	3.80
o	Bausch&Lomb: Sofport AOV	6.00	+1.0/+30.0		1.427	3.82
o	Bausch&Lomb: EZE-55	5.50	+0.5/+34.0		1.493	4.11
o	Bausch&Lomb: EZE-60/P492UV	6.00	+0.5/+34.0		1.493	4.05
o	Bausch&Lomb: 88TI	6.00	+0.5/+35.0		1.493	4.00
o	Bausch&Lomb: Akreos AO	6.00	+10.0/+30.0		1.459	3.85
o	Bausch&Lomb: Akreos Disc	5.50	+10.0/+30.0		1.459	3.89
o	Bausch&Lomb: Akreos Fit	5.50	+10.0/+30.0		1.459	3.70
o	Bausch&Lomb: Akreos Adapt	5.75	+10.0/+30.0		1.459	3.75
o	Bausch&Lomb: Incise	5.50	0.0/+30.0		1.466	4.10
o	Bausch&Lomb: EyeCeeone	6.00	1.0/+30.0		1.519	4.26
o	Bausch&Lomb: EyeCee	6.00	10.0/+28.0		1.519	4.42
o	Bausch&Lomb: LuxSmart	6.00	0.0/+34.0		1.544	3.91
o	Bausch&Lomb: LuxGood	6.00	0.0/+34.0		1.544	4.34
o	Bausch&Lomb: IC-8	6.00	+15.5/+27.5		1.481	4.93

		ϕ_{Opt}	sph	ast	n	ACD _O
o	Carl Zeiss: AT Lara 829MP	6.0	-10.0/+33.0		1.46	3.43
o	Carl Zeiss: AT Lara toric929MP	6.0	-9.5/+38.0	1.0/0.5/12.0	1.46	3.43
o	Carl Zeiss: AT Lisa 809M	6.00	0.0/+32.0		1.460	4.15
o	Carl Zeiss: AT Lisa 909M toric	6.00	-10.0/+32.0	1.0/0.5/12.0	1.460	3.87
o	Carl Zeiss: AT Lisa 839M	6.00	0.0/+32.0		1.460	3.60
o	Carl Zeiss: AT Lisa Tri tor949	6.0	-5.0/+35.0	1.0/0.5/4.0	1.46	3.49
o	Carl Zeiss: AT Torbi719M	6.0	-4.0/+32.0	1.0/0.5/12.0	1.46	3.48
o	Carl Zeiss: CT 47S	6.00	0.0/+40.0		1.460	4.05
o	Carl Zeiss: CT Asphina 404	6.00	-10.0/+42.0		1.460	3.75
o	Carl Zeiss: CT Asphina 409M	6.00	0.0/+32.0		1.460	4.09
o	Carl Zeiss: CT Asphina 509M	6.00	0.0/+32.0		1.460	4.15
o	Carl Zeiss: CT Lucia 202(EC-3)	6.0	4.0/+34.0		1.489	3.56
o	Carl Zeiss: CT Lucia 221	6.0	-1.0/+31.0		1.489	4.67
o	Carl Zeiss: CT Lucia 602	6.0	4.0/+34.0		1.489	3.33
o	Carl Zeiss: CT Lucia 621	6.0	-1.0/+35.0		1.489	4.56
o	Carl Zeiss: CT Spheris203/P	6.00	+8.0/+30.0		1.4565	3.32
o	Carl Zeiss: CT Spheris 204	6.00	-10.0/+45.0		1.460	3.75
o	Carl Zeiss: CT Spheris 209M	6.00	0.0/+30.0		1.460	4.07
o	Corneal: ACR6DSE	6.00	+10.0/+30.0		1.465	4.46
o	Corneal: Ultima	6.00	+10.0/+30.0		1.465	3.03
o	Corneal: A6	6.00	+10.0/+30.0		1.465	4.42
o	Corneal: Concept360	6.00	+10.0/+30.0		1.465	4.96
o	Cristalens: Artis	6.00	+10.0/+30.0		1.5422	4.40
o	Cristalens: Luxiol Y	6.25	+10.0/+30.0		1.5422	4.40
o	CROMA: NZ-1	6.00	1.0/+30.0		1.519	4.42
o	Curamed: AS695CA	6.00	+10.0/+30.0		1.460	3.95
o	Curamed: AS695PA	6.00	+10.0/+30.0		1.460	3.95
o	Curamed: HD600Y-A	6.00	+10.0/+30.0		1.460	3.95
o	Curamed: HD600Y	6.00	+10.0/+30.0		1.460	3.95
o	Curamed: SA60CZ-YA	6.00	+10.0/+30.0		1.460	3.95
o	Curamed: HD700Y-A	6.00	+10.0/+30.0		1.460	3.95
o	Curamed: HD700Y	6.00	+10.0/+30.0		1.460	3.95
o	Curamed: PL600	6.00	+10.0/+30.0		1.460	3.95
o	Curamed: SA60CZ	6.00	+10.0/+30.0		1.460	3.95
o	Curamed: SA60CZA	6.00	+10.0/+30.0		1.460	3.95
o	Curamed: SA700	6.00	+10.0/+30.0		1.460	3.95
o	Curamed: HB-60/HY-60	6.00	+10.0/+30.0		1.540	3.60
o	EYEOL UK: Ultima/Gold	6.00	+1.0/+35.0		1.465	4.1
o	EYEOL UK: Hyflex	6.00	+10.0/+30.0		1.502	4.18
o	EYEOL UK: Hyflex EC	6.00	+10.0/+30.0		1.540	4.23
o	HOYA: YA-60BB	6.00	-7.0/+40.0		1.516	4.10
o	HOYA: YA-65BB	6.50	+4.0/+40.0		1.516	4.09
o	HOYA: VA-60BBR/PC-60R	6.00	+4.0/+40.0		1.517	4.07
o	HOYA: YA-60BBR/PY-60R	6.00	+4.0/+40.0		1.516	4.07
o	HOYA: FY-60AD/PY-60AD	6.00	+4.0/+30.0		1.516	4.08
o	HOYA: FC-60AD/PC-60AD	6.00	+4.0/+30.0		1.517	4.08
o	HOYA: NY-60/250/251	6.00	+6.0/+30.0		1.516	3.97
o	HOYA: 351	6.00	+10.0/+30.0	1.5/0.75/6.0	1.516	4.15
o	HOYA: iSert 254 (clear)	6.00	+6.0/+30.0		1.517	4.15
o	HOYA: iSert 255 (yellow)	6.00	+6.0/+30.0		1.516	4.15
o	HOYA: Vivinex iSert XY1/XC1	6.00	+6.0/+30.0		1.544	4.40
o	HOYA: iSert 150	6.00	+6.0/+30.0		1.517	4.15
o	HOYA: iSert 151 (yellow)	6.00	+6.0/+30.0		1.516	4.15
o	HOYA: Vivinex toric XY1A	6.00	+6.0/+30.0	1.0/0.75/6.0	1.544	4.20
o	HOYA: Vivinex Gemetric XY1 GP	6.00	+10.0/+30.0		1.544	4.15
o	HOYA: Vivinex Gemetric XY1 GPTB	6.00	+10.0/+30.0	1.0/0.75/3.75	4.05	
o	HOYA: Vivinex Impress XY1	6.00	+6.00/+30.0		1.544	4.15
o	HumanOptics: AS	5.75	0.0/+30.0		1.4611	3.60
o	HumanOptics: Aspira-aA(Y)	6.00	-20.0/+60.0		1.4611	3.57
o	HumanOptics: Torica-aA(Y)	6.00	-20.0/+40.0	1.0/0.5/20.0	1.4611	3.57
o	HumanOptics: Aspira-aXA(Y)	7.00	-10.0/+30.0		1.4611	3.98
o	HumanOptics: Triva-aAY	6.00	10.0/+30.0		1.4611	3.86
o	HumanOptics: Triva T-aAY	6.00	10.0/+30.0	1.0/0.5/6.0	1.4611	3.86

		ϕ_{Opt}	sph	ast	n	ACD _O
o	i-Medical: Accurate	6.00	+1.0/+35.0		1.465	4.1
o	IOL Expert: PCX81NY / PCM81NY	6.00	10.0/+30.0		1.461	3.33
o	IOL Expert: PCX81NY T0-T6	6.00	10.0/+30.0	0.75/0.75/5.25	1.461	3.33
o	IOL Expert: PCM81NY T0-T3	6.00	10.0/+30.0	0.75/0.75/3.00	1.461	3.33
o	J&J: Sensar AR40e	6.00	-10.0/+30.0		1.47	3.95
o	J&J: Sensar AAB00	6.00	6.0/+30.0		1.47	4.10
o	J&J: VERISYSE 50	5.00	-23.5/+12.0		1.492	2.5
o	J&J: VERISYSE Aphakia	5.00	+10.0/+30.0		1.492	2.5
o	J&J: VERISYSE 60	6.00	-15.0/-3.0		1.492	2.5
o	J&J: VERIFLEX	6.00	-14.5/-2.0		1.43	2.5
o	J&J: 757C	6.50	-10.0/+7.0		1.491	3.50
o	J&J: Tecnis Z9000/ZM001/ZM900	6.00	+5.0/+30.0		1.458	3.90
o	J&J: Tecnis CL Z9002	6.00	+5.0/+30.0		1.460	3.90
o	J&J: Tecnis ZA9003/ZMA00	6.00	+10.0/+30.0		1.47	3.90
o	J&J: Tecnis ZCB00/ZMB00/ZLB00	6.00	+5.0/+34.0		1.47	4.50
o	J&J: Tecnis ZXR00/Symfony	6.00	+5.0/+34.0		1.47	4.50
o	J&J: Tecnis ZMT/Symfony T	6.00	+5.0/+34.0	1.0/0.75/4.0	1.47	4.50
o	J&J: Tecnis ZCU toric II	6.00	+5.0/+34.0	1.0/0.75/8.0	1.47	4.50
o	J&J: HSM60	6.00	+4.0/+34.0		1.492	4.19
o	J&J: AC60/AC51L	6.00	+8.0/+30.5		1.492	2.5
o	J&J: Eyhance	6.00	+5.0/+34.0		1.47	4.50
o	Kowa: Avanse Preload1P	6.00	+6.0/+30.0		1.52	4.10
o	Kowa: Avanse Preset (3P)	6.00	+6.0/+26.0		1.52	4.10
o	Kowa: Avanse Preload1P Toric	6.00	+6.0/+26.0	0.75/0.75/6.0	1.52	4.10
o	Lenstec: Softec 1	5.75	-5.0/+47.0		1.46	3.50
o	Lenstec: Softec HD	5.75	5.0/+36.0		1.46	3.40
o	MBI: 302AC/P302AC,302A/P302A	6.00	0.0/31.0		1.497	4.1
o	MBI: PM302AC/PM302A	6.00	0.0/31.0		1.497	4.1
o	MBI: PT302AC/PT302A	6.00	0.0/+30.0	1.0/0.5/6.0	1.497	4.1
o	MBI: 300AC/300A	6.00	0.0/31.0		1.497	4.1
o	Medicontur: 610/611/612HPS	6.00	+0.0/+30.0		1.4595	3.78
o	Medicontur: 640P/Y	6.00	-10.0/+35.0		1.4694	3.84
o	Medicontur: 640AB/Y	6.00	0.0/+45.0		1.4610	3.33
o	Medicontur: 640/677MY	6.00	0.0/+35.0		1.4610	3.85
o	Medicontur: 677AB/Y	6.00	-10.0/+45.0		1.4610	3.33
o	Medicontur: 677P/Y	6.00	-10.0/+35.0		1.4694	3.84
o	Medicontur: 677TA/Y	6.00	-10.0/+35.0	1.0/0.75/10.0	1.4610	3.84
o	Medicontur: 877PA/FAB/Y/Elon	6.00	-10.0/+35.0		1.4648	3.95
o	Morcher: 46G	6.00	+8.5/+35.0		1.465	4.11
o	Morcher: 89A	5.00	+8.5/+35.0		1.465	4.07
o	Morcher: 92B	6.50	+8.5/+30.0		1.465	4.05
o	Morcher: 92S	5.50	+8.5/+35.0		1.465	4.19
o	Morcher: 92C	5.50	+8.5/+35.0		1.465	4.16

		ϕ_{Opt}	sph	ast	n	ACD_O
o	MTO: Crystal Evolution	6.00	7.0/+30.0		1.491	4.05
o	NIDEK: NX-1/NZ-1	6.00	10.0/+28.0		1.519	4.42
o	NIDEK: N4-11YB	6.00	1.0/+30.0		1.519	4.24
o	NIDEK: N4-18B	6.00	1.0/+30.0		1.519	4.17
o	NIDEK: N4-18YG	6.00	1.0/+30.0		1.519	4.24
o	NIDEK: NS-60G/NS-60YG	6.00	1.0/+30.0		1.519	4.26
o	Ophthalmo Pro: AC7013	6.00	+0.5/+34.0		1.460	3.96
o	OPHTEC: ARTISAN 50	5.00	-23.5/+12.0		1.492	2.5
o	OPHTEC: ARTISAN 50 T	5.00	-23.5/+12.0	2.0/0.5/7.5	1.492	2.5
o	OPHTEC: ARTISAN Aphakia	5.00	+10.0/+30.0		1.492	2.5
o	OPHTEC: ARTISAN 60	6.00	-15.0/-3.0		1.492	2.5
o	OPHTEC: ARTIFLEX	6.00	-14.5/-2.0		1.43	2.5
o	OPHTEC: ARTIFLEX T	6.00	-13.5/-2.0	1.0/0.5/5.0	1.43	2.5
o	OPHTEC: PC545 QuadrimaX	6.00	5.0/+35.0		1.462	3.51
o	OPHTEC: Precizon 560	6.00	-10.0/+35.0		1.462	3.65
o	OPHTEC: Precizon 570 NVA	6.00	1.0/+35.0		1.462	3.65
o	OPHTEC: Precizon 565 toric	6.00	1.0/+34.0	1.0/0.5/10.0	1.462	3.65
o	OPHTEC: Precizon 575 NVA toric	6.00	5.0/+34.0	1.0/0.5/6.0	1.462	3.65
o	OPHTEC: Precizon go 580	6.00	-10.00/+35.0		1.462	3.65
o	PD: Domicryl S	6.00	-5.0/+36.0		1.459	4.05
o	PD: Domicryl Biflex 677T/TY	6.00	+2.0/+45.0	1.5/0.75/9.00	1.4611	3.80
o	PD: Domicryl Biflex HL/HLY	6.00	-10.0/+35.0		1.4611	3.31
o	PD: Poly lens Y51 TP	6.00	+10.0/+30.0	1.5/0.75/6.0	1.516	4.15
o	PD: Poly lens H50P/Y50P	6.00	+6.0/+30.0		1.516	3.97
o	PD: Poly lens H60P/Y60P	6.00	+6.0/+30.0		1.516	4.10
o	PD: Nexload-System NZ1	6.00	+10.0/+28.0		1.519	4.42
o	PD: Nex Acri	6.00	+1.0/+30.0		1.519	4.17
o	PD: Nex Acri AA Aktis	6.00	+1.00/+30.0		1.519	4.24
o	PD: Aktis SP/SPY	6.00	+1.0/+30.0		1.519	4.26
o	PD: Nexload-System SZ1	6.00	+11.0/+30.0		1.519	4.26
o	PD: Poly lens A61/Biovue	6.00	+0.5/+34.0		1.46	3.96
o	PD: H10/Y10	5.00	+4.0/+34.0		1.489	3.50
o	PD: H30/Y30	6.00	+4.0/+34.0		1.489	3.55
o	PD: Polytech Y35	6.50	+4.0/+34.0		1.489	3.55
o	PD: Poly lens AS66/AS66-Y	6.00	+5.0/+36.0		1.4614	3.70
o	PD: Aurium 404	6.00	+1.0/+34.0		1.49	4.22
o	PhysIOL: Micro F / Mic-F	6.15	0.0/+35.0		1.462	3.74
o	PhysIOL: Pod F	6.0	0.0/+35.0		1.462	3.84
o	PhysIOL: Pod FT	6.0	+6.0/+35.0	1.0/0.75/6.0	1.462	3.92
o	PhysIOL: PODT / Ankoris	6.0	+10.0/+30.0	1.5/0.75/6.0	1.462	3.78
o	PhysIOL: PodEye / Podagf	6.0	0.0/+35.0		1.536	4.20
o	PhysIOL: Slimflex	6.0	0.0/+30.0		1.462	3.81
o	PhysIOL: Micro+ / Mic-26P	6.15	-10.0/+35.0		1.462	3.89
o	PhysIOL: Micropure / Micagf	6.0	-10.0/+35.0		1.536	4.24

		$\odot_{Opt}$	sph	ast	n	ACD_O
o	Rayner: RayOne RAO100C	6.00	-10.0/34.0		1.460	3.86
o	Rayner: C-flex 570C	5.75	8.0/34.0		1.460	3.63
o	Rayner: T-flex 573T	5.75	20.0/34.0	1.0/0.5/11.0	1.460	3.63
o	Rayner: RayOne RAO600C	6.00	-10.0/34.0		1.460	3.83
o	Rayner: RayOne RAO603F	6.00	0.0/30.0		1.460	3.83
o	Rayner: RayOne toric RAO610T	6.00	-9.5/34.0	1.0/0.5/11.0	1.460	3.83
o	Rayner: RayOne toric RAO613Z	6.00	6.0/30.0	0.75/0.75/4.5	1.460	3.83
o	Rayner: Superflex 620H	6.25	-10.0/25.0		1.460	3.87
o	Rayner: T-flex 623T	6.25	-10.0/25.0	1.0/0.5/11.0	1.460	3.87
o	Rayner: Sulcoflex 653L	6.50	-10.0/10.0		1.460	3.10
o	Rayner: Sulcoflex 653T	6.50	-7.0/7.5	1.0/0.5/11.0	1.460	3.10
o	Rayner: Sulcoflex 703F	6.00	-3.0/3.0		1.460	3.10
o	Rayner: RayOne RAO800C	6.00	-10.0/32.0		1.506	4.07
o	Rayner: Superflex 920H	6.25	-10.0/22.0		1.460	3.87
o	Rayner: C-flex 970C	5.75	8.0/34.0		1.460	3.91
o	Rayner: RayOne EMV RAO200E	6.00	10.0/30.0	0.75/0.75/4.5	1.460	3.78
o	Rayner: RayOne EMV toric	6.00	10.0/25.0		1.460	3.78
o	Ruck: 618/618Y	5.90	0.0/+35.5		1.457	4.07
o	Santen: natural NX-60	6.00	+10.0/+30.0		1.540	4.10
o	Santen: natural NX-70	6.00	+10.0/+30.0		1.540	3.90
o	Santen: natural W-60	6.00	+10.0/+30.0		1.540	4.20
o	Santen: natural X-60	6.00	+10.0/+30.0		1.540	4.10
o	Santen: natural X-70	6.00	+10.0/+30.0		1.540	3.90
o	Staar: CC420BF	6.00	11.0/+33.0		1.442	3.95
o	Staar: KS-3AI	5.60	12.5/+28.5		1.413	4.02
o	Staar: KS-X/KS-Xs	6.00	10.0/+28.0		1.519	4.42
o	Staar: Evo Visian ICL/V4C	6.00	-18.0/+16.5		1.4415	3.10
o	Staar: toric ICL V4C	6.00	-17.5/+16.5	0.5/0.5/4.5	1.4415	3.10
o	Staar: KS-1	6.00	7.0/+26.0		1.413	4.27
o	Staar: KS-SP	6.00	1.0/+30.0		1.519	4.26
o	Tekia: TEK-Lens Model 411	6.00	+10.0/+30.0		1.430	3.93
o	Tekia: TEK-Lens Model 614	6.00	+10.0/+30.0		1.457	3.85
o	Teleon: L-312	6.00	0.0/+35.0		1.461	3.59
o	Teleon: L-313/LS-313MF	6.00	0.0/+35.0		1.461	3.33
o	Teleon: LS-313 T0-T6	6.00	10.0/+30.0	0.75/0.75/5.25	1.461	3.33
o	Teleon: LU-313 MFT	6.00	0.0/+36.0	0.25/0.75/10.0	1.461	3.33
o	Teleon: Acunex AN6Q	6.00	10.0/30.0		1.54	4.22
o	Teleon: Acunex AN6V/AN6VM	6.00	10.0/30.0		1.54	4.22
o	Teleon: Acunex AN6V/AN6VM tor	6.00	10.0/30.0	0.75/0.75/3.0	1.54	4.22
o	VSY: Acriva UD/UDM 611/613/625	6.00	+0.0/+45.0		1.4618	3.31
o	VSY: REVIOL MF/MFM 611/613/625	6.00	+0.0/+45.0		1.4618	3.31
o	VSY: Acriva toric UDM 611	6.00	+0.0/+45.0	1.0/0.5/12.0	1.4618	3.31
o	VSY: REVIOL toric MFM 611	6.00	+0.0/+45.0	1.0/0.5/12.0	1.4618	3.31
o	Xclens: Idea	6.00	-10.0/+43.0		1.461	4.03
o	Xclens: Classica	6.00	0.0/+30.0		1.461	4.03
o	1STQ: Basis Q - B2AWxx	6.00	-10.0/35.0		1.4610	3.84
o	1STQ: Basis Q - B2APxx	6.00	0.0/35.0		1.4610	3.84
o	1STQ: Basis Q - B1EWYM/B2EWYM	6.00	0.0/35.0		1.4610	3.85
o	1STQ: Basis Z - B1AWxx	6.00	-10.0/35.0		1.4610	3.84
o	1STQ: Basis Z toric - B1TWxx	6.00	-10.0/35.0	1.0/0.75/10.0	1.4610	3.84
o	1STQ: Basis Z - B1ADxx/B1ABxx	6.00	-10.0/35.0		1.4694	3.95
o	1STQ: Basis K - 611HPS	6.00	0.0/35.0		1.4610	3.78
o	1STQ: V	6.00	0.0/30.0		1.497	4.10
o	1STQ: V toric	6.00	0.0/30.0	1.0/0.5/6.0	1.497	4.10
o	1STQ: Basis Z - EDOF B1XBY0	6.00	10.0/35.0		1.4648	3.95

Tablica 1.1: Typy IOL

- $\odot_{Opt}$: średnica poprzeczna optyki soczewki [mm]
- sph: Zakres sferycznej mocy refrakcyjnej w dpt
- ast: Zakres mocy astygmatycznej (początek, stopień, maks.)
- n : Współczynnik załamania
- ACD_O : średnia wartość ACD stosowana w OKULIX [mm]

1.3 Kontur rogówki

Zamiast ręcznego wprowadzania, promienie rogówki do obliczenia soczewki wewnątrzgałkowej można również pobrać z dwuwymiarowej topografii rogówki. **OKULIX** oblicza te wartości na podstawie danych surowych poprzez dostosowanie funkcji wielowymiarowej, która ostatecznie określa najbardziej stromy i najbardziej płaski promień oraz najlepiej dopasowaną ekscentryczność numeryczną danej rogówki [13]. Należy pamiętać, że w przypadku obrazów symulacyjnych **OKULIX** wykorzystywany jest rzeczywisty kontur rogówki (tj. nie dopasowana funkcja przybliżająca). Tryb ten jest utrzymywany do momentu jego wyłączenia w rozgałęzieniu CORNEA poprzez aktywację pola CANCEL.

Szczególnie prosta obsługa **OKULIX** na “stacji roboczej” opisana poniżej.

1.4 Dopasowanie soczewki wewnątrzgałkowej po refrakcyjnej chirurgii rogówki

Po refrakcyjnej chirurgii rogówki korygującej krótkowzroczność często zmienia się asferyczność rogówki z pierwotnie prolatej na oblatą. Jeśli następnie promienie wierzchołkowe rogówki są mierzone keratometrycznie, często są one zbyt strome, co prowadzi do nadwzroczności po operacji zaćmy. Dzięki **OKULIX** można tego uniknąć, jeśli promienie zostaną wyekstrahowane z topografii ([16]). Użytkownik musi jedynie załadować odpowiednią topografię. Nie są potrzebne żadne inne dane z okresu przed Zabiegiem chirurgii refrakcyjnej (tzw. “clinical history”). Zazwyczaj nie trzeba nawet wiedzieć, czy w ogóle miał miejsce zabieg chirurgii refrakcyjnej, ponieważ całe obliczenia opierają się na aktualnie zmierzonych danych.

Po zabiegach Lasik, PRK lub Smile zmienia się również stosunek przedniego do tylnego promienia rogówki, dlatego ten ostatni należy dodatkowo zmierzyć, patrz następny rozdział.

1.4.1 Promień tylnej powierzchni rogówki

Promień tylnej powierzchni rogówki jest w **OKULIX** zazwyczaj obliczany na podstawie przedniego. W prawie wszystkich przypadkach jest to wystarczająco dokładne, ponieważ odchylenia promienia tylnej powierzchni mają stosunkowo niewielki wpływ. Błąd w przednim promieniu rogówki wynoszący 0,1 mm powoduje w przeciętnym oku podczas dopasowania soczewki wewnątrzgałkowej błąd refrakcji w płaszczyźnie rogówki wynoszący 0,6 dpt, a błąd tej samej wielkości w tylnym promieniu wierzchołka powoduje jedynie błąd 0,1 dpt. Niemniej jednak po chirurgii refrakcyjnej z bardzo silną ablacją rogówki błąd tylnego promienia rogówki nie może być pominięty. Zmierzony, średni, tylny promień krzywizny rogówki może zostać wprowadzony również ręcznie. Z pachymetrii rozdzielczej jest on pozyskiwany automatycznie.

Tylna powierzchnia rogówki jest przy tym aproksymowana matematycznie za pomocą tego samego modelowania, co powierzchnia przednia. Odchylenia między astygmatyzmem przedniej i tylnej powierzchni są dokładnie uwzględniane w przypadku soczewek wewnątrzgałkowych torycznych.

1.5 Refrakcyjna chirurgia rogówki

Ta część programu jest opcjonalna, tzn. nie jest dostępna we wszystkich instalacjach. Profile rogówki można wczytać jako dane topometryczne (patrz poprzednia sekcja) lub jako **model**.

1.5.1 Model rogówki

Przyjmuje się, że model rogówki można aproksymować poprzez figurę obrotową krzywej kartezjańskiej (okrąg, elipsa, parabola, hiperbola), która następnie jest ściskana w jednym wymiarze, tak że powstają dwa różne, prostopadłe do siebie okręgi krzywizny wierzchołków odpowiadające osiom cylindra([13]). Cała figura może być następnie przesunięta w dowolnym kierunku w poziomie. W modelu rogówka jest zatem definiowana przez dwa promienie, ich kąt, liczbową ekscentryczność e i wektor przesunięcia. Na rysunkach podano tylko wartość wektora decentralizacji d , wewnątrz jest on jednak obliczany dwuwymiarowo. Jeśli znak ekscentryczności liczbowej jest ujemny, ma to znaczenie wyłącznie formalne (ujemne ekscentryczności są matematycznie bezsensowne). W takim przypadku chodzi o spłaszczoną rogówkę, która jest aproksymowana przez elipsę, której *mała* półoś leży równolegle do osi optycznej. Czasami stosowaną asferyczność Q można obliczyć z ekscentryczności numerycznej e za pomocą wzoru $Q = -e^2$.

Model zdefiniowany przez parametry R_1, R_2, α, e stanowi standard w systemie **OKULIX**.

Uproszczona możliwość wprowadzania danych bez uwzględnienia asferyczności możliwa jest poprzez podanie **refrakcji** w sferze, cylindrze i osi.

Jeśli dostępna jest już topografia rogówki (w postaci wczytanego pliku lub wygenerowanego modelu), można również wykonać aproksymację modelu za pomocą wykorzystania wielomianów Zernikego, co jednak ma sens głównie w celach dydaktycznych. W celach porównawczych można utworzyć wielomiany o różnym maksymalnym rzędzie radialnym n ($3 \leq n \leq 12$). Liczba elementów szeregu (współczynników) jest wtedy $(n+1)(n+2)/2$, np. 45 dla 8. rzędu promieniowego.

Jak dobre lub złe jest przybliżenie modelu (standardowe lub Zernikego) w poszczególnych przypadkach można obliczyć za pomocą **różnicy względem modelu**. Różnica między rzeczywistą powierzchnią a powierzchnią modelową jest następnie podawana jako profil wysokości lub różnica refrakcji lub różnica frontu fali. Nie uwzględnia się przy tym decentracji, tzn. różnica jest obliczana względem nieprzesuniętych współrzędnych.

Dzięki funkcji **“Różnica w stosunku do...”** można obliczyć różnicę między aktualnie załadowaną a dowolną inną rogówką, której topometria została dodatkowo załadowana. Różnicę można przedstawić jako różnicę wysokości albo jako różnicę refrakcji czyli różnicę frontu fali.

Jeśli zostanie wygenerowana rogówka modelowa o parametrach R_1, R_2, α, e (model standardowy), może się zdarzyć, że wygenerowane parametry będą nieznacznie różnić się od wartości zadanych. Wynika to z faktu, że parametry wyjściowe są za każdym razem obliczane na nowo na podstawie danych dwuwymiarowych. Wymienione niewielkie różnice ilustrują ograniczenia analizy modelowej.

Grubość rogówki jest wykorzystywana w programie jako dwuwymi-

arowa macierz danych. Dane takie można zmierzyć za pomocą aparatu Scheimpfluga lub OCT i bezpośrednio przesłać do **OKULIX**.

1.5.2 Metodyka ablacji rogówki

W przypadku Lasik / PRK można zasadniczo skorygować dowolne wady (krótkowzroczność, dalekowzroczność, astygmatyzm, nieregularne obszary). Celem może być sferyczna rogówka, asferyczna rogówka z wybraną ekscentrycznością lub asferyczna rogówka, której ekscentryczność numeryczna jest optymalizowana przez program w taki sposób, aby sferyczna aberracja (dokładniej: centralna symetryczna wada otwarcia) oka była minimalna ([14]). Ponadto profil usuwania tkanki można numerycznie „wygładzić” w celu wyeliminowania błędów wysokiej częstotliwości.

Podczas obliczania profilu ablacji dla Lasik / PRK zasadniczo dąży się do ablacji jak najmniejszej ilości tkanki. W przypadku astygmatyzmu mieszanego ablacja odbywa się na przykład w najbardziej stromym południku w celu korekacji krótkowzroczności, a w najpłytszym w celu korekacji nadwzroczności (cylinder krzyżowy). W rzadkich przypadkach jakość optyczna wyniku nadal nie jest zadowalająca, co można stwierdzić na podstawie karty wad refrakcji, a jeszcze lepiej za pomocą symulowanych pierścieni Landolta. Przyczyną tych odchyień są dane pierwotne, które w takim przypadku zawierają zbyt wiele błędów lub są zbyt słabo aproksymowane przez wyżej wymienione parametry modelu.

1.6 Miejsce pracy OKULIX

OKULIX może być używany jako samodzielny program na dowolnym komputerze z systemem MS-WINDOWS albo na komputerze, który już obsługuje inne urządzenie (topografia, biometria). Ten ostatni przypadek jest szczególnie przyjazny dla użytkownika, ponieważ oprogramowanie urządzenia i **OKULIX** są już połączone wewnętrznie ze sobą.

1.6.1 Stacja robocza TMS

Od lata 2006 r. oprogramowanie topografów Tomey-TMS obsługuje bezpośrednio wywołanie i transfer danych do **OKULIX**. Po wywołaniu aktualna topografia jest przekazywana do **OKULIX**, a dane z niej ekstrahowane są natychmiast i wykorzystywane do obliczeń IOL. W **OKULIX** można obliczyć jednocześnie do czterech modeli IOL. Po uruchomieniu użytkownik musi wybrać te soczewki z listy wszystkich IOL. Wybór ten można później w każdej chwili zmienić. Aktualna topografia może być dodatkowo zapisana w **OKULIX**. W ten sam sposób można również wykorzystać CASIA-OCT firmy Tomey.

Podczas obliczeń **OKULIX inicjowanych przez oprogramowanie TMS nie można ponownie uruchamiać oprogramowania TMS, ponieważ mogłoby to spowodować pomieszczenie danych z różnych oczu.**

1.6.2 Haag-Streit-Lenstar

Dane dotyczące długości osiowej, grubości soczewki i dane keratometryczne zmierzone za pomocą Lenstar firmy Haag-Streit mogą być odczytywane przez OKULIX od lipca 2010 r. i wykorzystywane do obliczeń soczewek wewnątrzgałkowych. Dzięki dodatkowemu pomiarowi soczewki naturalnej poprawia się dokładność przewidywania soczewki wewnątrzgałkowej.

W przypadku stosowania Lenstar ważne jest, aby OKULIX przetwarzał bezpośrednio jedno oko bezpośrednio po drugim (jeśli są mierzone). Połączenie urządzenia Haag-Streit-Lenstar i jednego z obsługiwanych urządzeń topograficznych w jednej stacji roboczej umożliwia przyjazne dla użytkownika wykorzystanie wszystkich zmierzonych danych w OKULIX.

1.6.3 Oculus-Pentacam

Zmierzone przez urządzenie Scheimpfluga przednia powierzchnia rogówki i pachymetria z rozdzielczością przestrzenną mogą być przekazywane do programu OKULIX od maja 2011 roku. Program OKULIX może być uruchomiony z oprogramowania Pentacam.

1.6.4 Tracey-iTrace

Topografie przedniej powierzchni rogówki zmierzone tym urządzeniem mogą być przekazywane do OKULIX od lipca 2013 roku. OKULIX można uruchomić z oprogramowania iTrace.

1.6.5 Ziemer-Galilei G6

Tomografie rogówki oraz długość osiową i pozycję soczewki krystalicznej zmierzone tym urządzeniem można przekazywać do OKULIX od maja 2014 roku, do którego można uzyskać dostęp z oprogramowania Galilei.

1.6.6 Heidelberg Engineering Anterior

To urządzenie może być używane z OKULIX od stycznia 2019 roku. Można przekazywać tomografię rogówki, długość osiową oraz położenie i grubość soczewki krystalicznej.

Rozdział 2

Instalacja

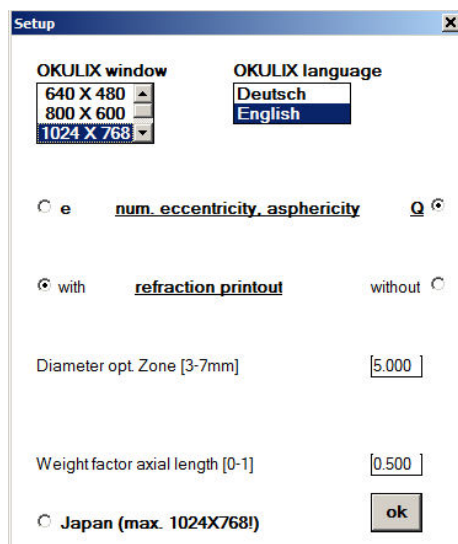
2.1 Stacja robocza, wszystkie urządzenia

Stacja robocza to urządzenie pomiarowe, na którego komputerze sterującym jest zainstalowany OKULIX. Instalacja odpowiedniego urządzenia musi nastąpić przed instalacją OKULIX, aby urządzenie zostało rozpoznane podczas instalacji OKULIX. Jeśli stacja robocza składa się z urządzenia topograficznego lub tomograficznego oraz urządzenia Haag-Streit-Lenstar, OKULIX automatycznie łączy dane z obu urządzeń w swoich obliczeniach. Instaluje się wtedy dwukrotnie, na co użytkownik nie ma wpływu i czego nie musi uwzględniać w późniejszym użytkowaniu.

Aby zainstalować program na stacji roboczej, należy podłączyć klucz sprzętowy USB (dongiel) i następnie dwukrotnie kliknąć na tym nośniku plik SETUP-OKULIX.BAT patrz 2.1. Stare wersje zostaną nadpisane. Proces nie może zostać przerwany. Jeśli OKULIX jest już zainstalowany, ten krok nie jest konieczny. Wystarczy odpowiedni klucz sprzętowy USB.

2.1.1 Aktualizacja

Jeśli chcesz zaktualizować oprogramowanie, możesz to zrobić za pomocą nowego klucza sprzętowego USB. Alternatywnie, przed instalacją można skopiować plik OKULIX.NEU na ten klucz sprzętowy. Zawiera on informacje dotyczące aktualizacji. Plik ten można pobrać ze strony WWW.OKULIX.DE. Tam można również sprawdzić, która wersja jest aktualna. Następnie należy dwukrotnie kliknąć plik SETUP-OKULIX.BAT na kluczu sprzętowym USB. Jeśli plik OKULIX.NEU jest tam dostępny, zostanie on automatycznie użyty do aktualizacji. Proces aktualizacji nie może zostać przerwany.



Rysunek 2.2: Ustawienia rozmiaru okna i języka

Ponadto można ustawić, czy powierzchnie asferyczne mają być parametryzowane przez mimośrodowość numeryczną e , czy przez asferyczność $Q = -e^2$, oraz czy na wydruku ma się pojawić pełna refrakcja. Można również dostosować wielkość strefy optycznej podczas ekstrakcji globalnych parametrów rogówki i współczynnika wagowego dla stosunku długości osiowej / parametrów soczewki krystalicznej podczas obliczenia najbardziej prawdopodobnej pozycji soczewki wewnątrzgałkowej. Można również dostosować rozmiar znaków w przypadku korzystania z japońskiego. Ustawienia będą aktywne dopiero przy kolejnym uruchomieniu programu **OKULIX**.

2.1.2 Setup

Jeśli domyślny rozmiar okna lub język wymagają zmiany, można to zrobić za pomocą menu konfiguracyjnego pokazanego na 2.2. Otwiera się ono po naciśnięciu klawisza F10, jeśli ta funkcja konfiguracji jest w nagłówku bieżącego okna. Tutaj można również ustawić, czy pełna refrakcja ma być wydrukowana małym drukiem. Ponadto można ustawić rozmiar strefy optycznej przy określaniu globalnych parametrów rogówki i współczynnika wagowego dla stosunku długości osiowej do parametrów soczewki kryształicznej podczas obliczenia najbardziej prawdopodobnej pozycji soczewki wewnątrzgałkowej. Możliwe jest również dostosowanie wielkości znaków do komputerów japońskich.

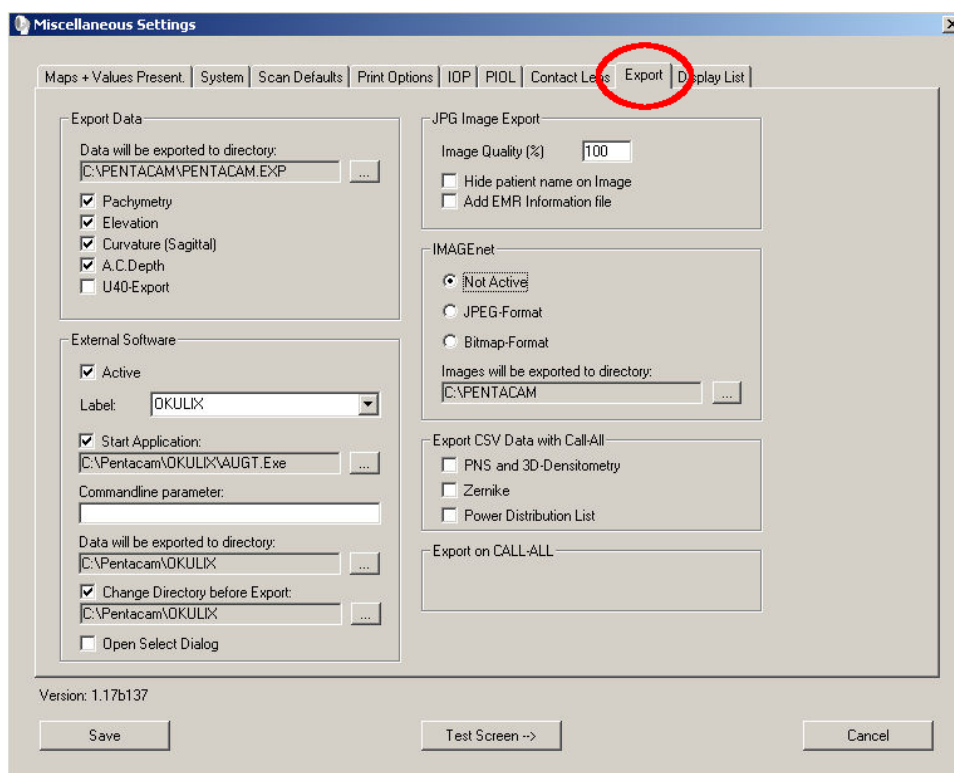
2.2 Tomey TMS, Casia, OA, AL

W przypadku tych urządzeń **OKULIX** jest już zainstalowany przez firmę Tomey. Dane do pomiaru optycznej długości osiowej (seria Tomey OA) lub do pomiaru długości osiowej za pomocą ultradźwięków (seria Tomey AL) są już rejestrowane przez oprogramowania Tomey.

2.3 Oculus Pentacam

Po zainstalowaniu programu **OKULIX** należy jeszcze wprowadzić odpowiednie ustawienia w oprogramowaniu Pentacam, aby dane pomiarowe mogły zostać zaimportowane do dalszych obliczeń, a następnie aby program **OKULIX** uruchamiał się automatycznie, patrz rys.2.3.

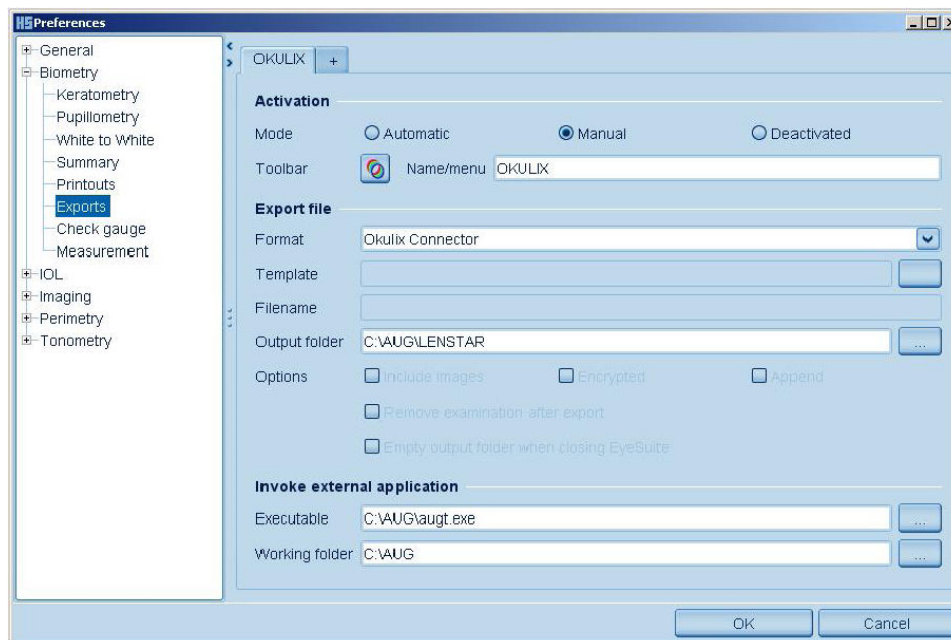
- W oprogramowaniu Pentacam należy wybrać Ustawienia, inne ustawienia i eksport.
- W ramce oprogramowanie zewnętrzne, następną (ewent. jedyną) wolną etykietę opisać **OKULIX** i zaznaczyć odpowiednie zaznaczenie (ptaszek) jako aktywny.
- Aktywować pole Uruchom aplikację (ptaszek), zaznaczyć  i wybrać C:\Pentacam\OKULIX\augt.exe
- Kliknąć ikonę  przypisaną do pola dane są eksportowane do katalogu i wybierz C:\Pentacam\OKULIX
- Zaznaczyć (ptaszek) opcję Zmień katalog przed eksportem.
- Za pomocą  ponownie zaznaczyć C:\Pentacam\OKULIX
- Na koniec kliknąć Zapisz (w lewym dolnym rogu).



Rysunek 2.3: Ustawienia instalacyjne oprogramowania Pentacam

2.4 Haag-Streit Lenstar

Instalacja została przedstawiona na zdjęciu 2.4.



Rysunek 2.4: Instalacja **OKULIX** dla Haag-Streit-Lenstar

Instalacja oprogramowania OKULIX przebiega najpierw tak, jak opisano w ilustracji 2.1. Następnie należy jednorazowo przygotować oprogramowania EyeSuite do eksportu. W tym celu należy aktywować w nagłówku opcję “Dodatki”, a następnie “Ustawienia”. Po kliknięciu “Biometria” “+” pojawi się “Eksport”, po kliknięciu otworzy się nowe okno. W tym oknie należy aktywować opcję “Ręcznie”, a następnie w “Format” należy wybrać interfejs OKULIX, a następnie w “Pasek narzędzi” wybrać plik OKULIX.PNG. Aby obliczyć IOL, należy później kliknąć tę ikonę.

2.5 Tracey iTrace

Interfejs jest już zainstalowany i aktywny.

2.6 Ziemer Galilei G6

Interfejs jest już zainstalowany i aktywny.

2.7 Heidelberg Engineering Anterior

Interfejs jest już zainstalowany i aktywny.

2.8 Wersja PC

Określenie “Wersja na komputer PC” odnosi się do wersji **OKULIX**, która nie jest zainstalowana na komputerze urządzenia pomiarowego.

Do działania nie wymaga klucza sprzętowego, ale nośnika instalacyjnego (nośnika danych). Jako wersja PC można używać **OKULIX** w systemach operacyjnych Microsoft Windows95, Windows98, WindowsME, WindowsNT, Windows2000, WindowsXP, WindowsVista, Windows7, Windows10 lub Windows11 na jednym komputerze, ale nie na serwerze. Po zainstalowaniu **OKULIX** nie można go skopiować i używać na innym komputerze. W przypadku naruszenia powyższych zasad lub nieprawidłowej instalacji program zostanie zamknięty z komunikatem o błędzie “Licencja?”.

W przypadku instalacji na komputerze PC należy postępować w następujący sposób:

1. Włóż nośnik danych do odpowiedniego napędu i zamknij go.
2. Kliknij dwukrotnie “Mój komputer”.
3. Kliknij dwukrotnie dysk z nośnikiem danych.
4. Kliknij dwukrotnie **SETUP**.
5. Zaakceptuj proponowany katalog docelowy C:\AUG, klikając OK lub naciskając klawisz Enter lub Return, lub wprowadź inny katalog docelowy, a następnie potwierdź OK.
6. W oknie “Kod licencji” należy wprowadzić 10-cyfrowy kod przypisany do nośnika danych, zwracając szczególną uwagę na wielkość liter.
7. Wyświetlą się kolejne kroki instalacji, podczas których część ekranu może stać się czarna.
8. Po pomyślnym zakończeniu instalacji program uruchomi się automatycznie. Po wybraniu języka i rozmiaru wyświetlacza (OK) można zakończyć program na następnym ekranie, klikając STOP.
9. Na pulpicie komputera zazwyczaj automatycznie jest tworzona ikona **OKULIX**. Jeśli nie zostanie ona wyświetlona z powodu odmiennej od standardowej konfiguracji systemu, należy ręcznie utworzyć odpowiednie skróty zgodnie z zasadami Microsoft. Przez dwukrotne kliknięcie na tę ikonę można ponownie uruchomić program.
10. Uwaga: jeśli w systemie Windows nie jest ustawiony standardowy rozmiar czcionki, może się zdarzyć, że nie wszystkie przyciski obsługi lub pola wprowadzania danych **OKULIX** są widoczne.

2.9 Deinstalacja

Instalacja programu **OKULIX** nie powoduje żadnych wpisów ani zmian w systemie operacyjnym komputera. Aby odinstalować **OKULIX** wystarczy usunąć tylko te katalogi, które są używane przez **OKULIX**. W zależności od wersji są to: C:\AUG, C:\TMS\OKULIX, C:\PENTACAM\OKULIX, C:\TRACEY\OKULIX, C:\GALILEI\OKULIX und C:\ANTERION\OKULIX.

Dodatkowo należy usunąć odpowiednią ikonę na pulpicie, jeśli istnieje.

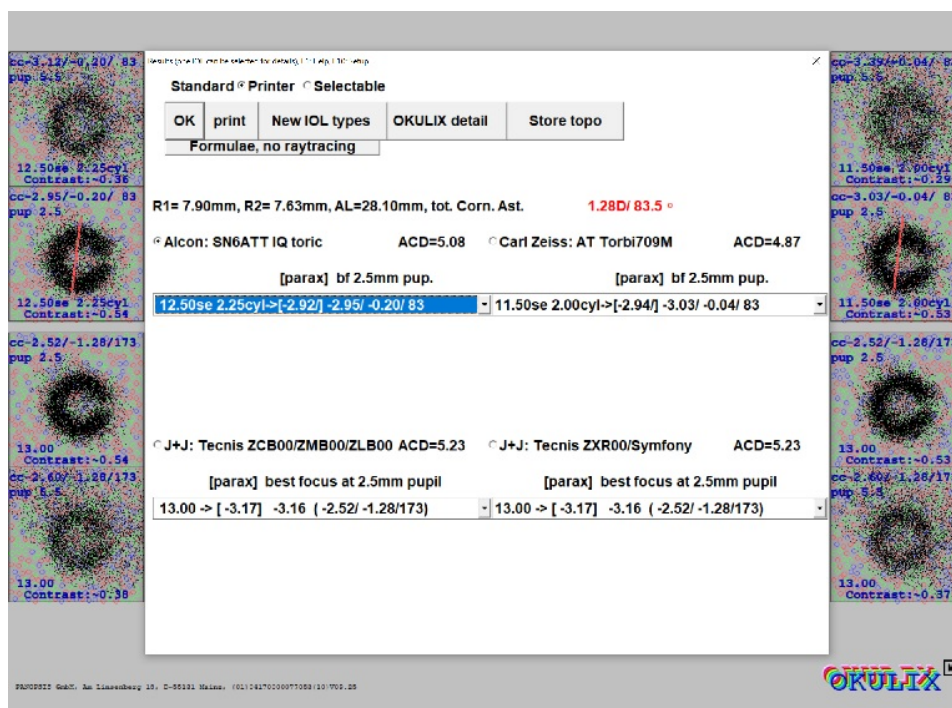
Rozdział 3

Obsługa

3.1 Stacja robocza

Praca w tej konfiguracji jest możliwa tylko przy użyciu pamięci USB (dongiel). Znajduje się na nim kod licencji użytkowania oraz samo oprogramowanie.

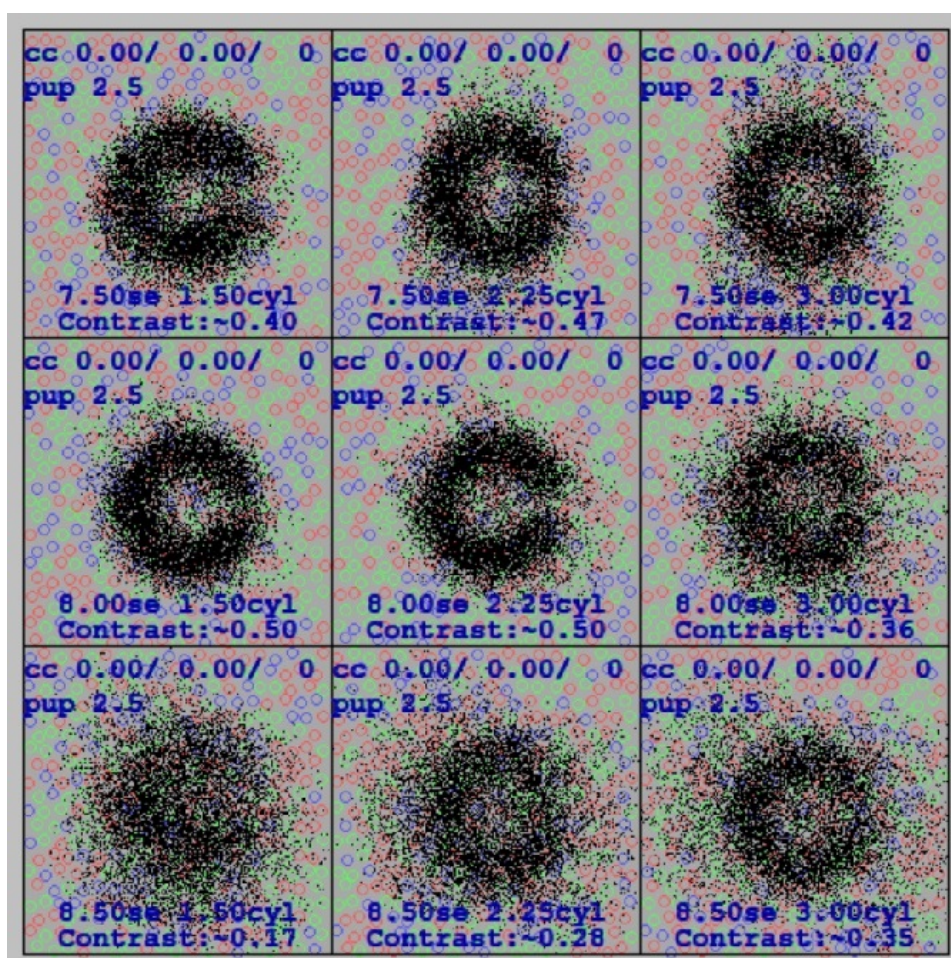
Wywołanie **OKULIX** jest co prawda różne w każdym z obsługiwanych urządzeń, ale wynik jest zawsze taki sam, patrz rysunek 3.1.



Rysunek 3.1: Wynik obliczenia IOL

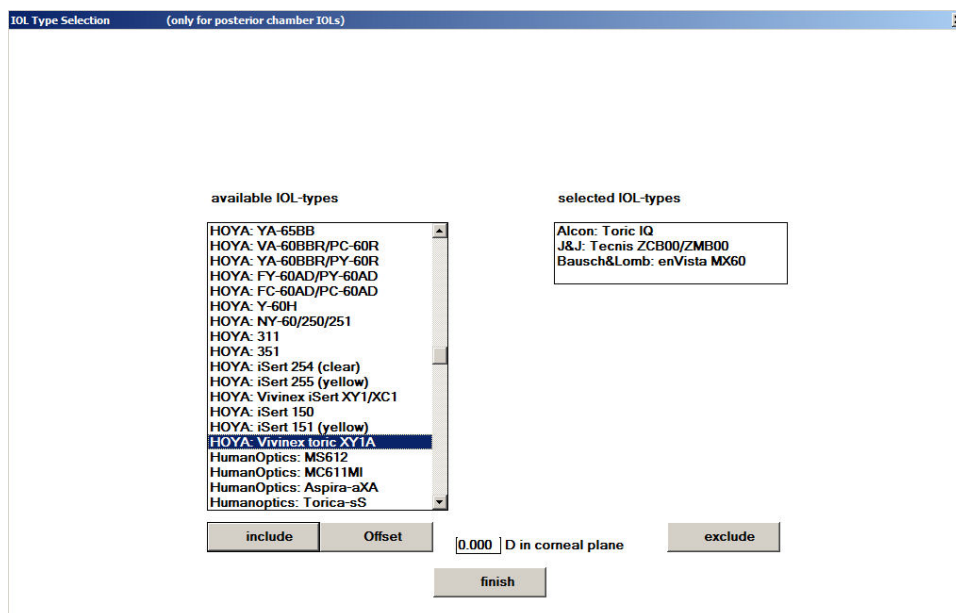
Po naciśnięciu przycisku **OKULIX** w oprogramowaniu danego urządzenia pojawia się wynik dla maksymalnie czterech modeli soczewek IOL, pod warunkiem, że zostały one wcześniej wybrane (patrz rysunek seld). Dla każdego z modeli soczewek wewnątrzgałkowych IOL podana jest założona pooperacyjna pozycja soczewki, oznaczona jako (ACD = ...). Pozostałe refrakcje w najlepszym ognisku dla zakładanej szerokości źrenicy w płaszczyźnie źrenicy (standard: 2,5 mm) oraz refrakcje paraosiowe można wyświetlić dla wszystkich stopni mocy refrakcyjnej przewijając odpowiednie okienko podrzędne. Różnica między refrakcją paraosiową a refrakcją w najlepszym ognisku jest prostą miarą aberracji sferycznej przy użyciu danej soczewki wewnątrzgałkowej. W przypadku soczewek wewnątrzgałkowych o symetrii obrotowej wyświetlane jest równoważenie sferyczne w ujęciu paraaksjalnym oraz w najlepszym ognisku, natomiast w przypadku soczewek torycznych - wyświetlana jest sfera, w obu przypadkach z podanym cylindrem i osią. Dwa pierścienie Landolta dla stopnia ostrości wzroku 1,0 przy normalnej (zazw. 2,5 mm) i maksymalnej (5,5 mm) szerokości źrenicy symulują wrażenie widzenia. Symulacje te są wykonywane przy najlepszej korekcji sferyczno-cylindrycznej, podanej powyżej w kolorze **niebieskim**. Obrazy symulacyjne pokazują zatem dokładnie wpływ błędów wyższego rzędu. Do ilościowego porównania jakości obrazowania obliczany jest kontrast pierścienia Landolta, który również przedstawiany jest w kolorze **niebieskim**. Całkowity astygmatyzm rogówki, czyli połączenie astygmatyzmu przedniej i tylnej powierzchni, jest zaznaczony na **czerwono**. Jego oś w przypadku soczewek torycznych dodatkowo zaznaczona jest na obrazie pierścieni Landolta.

Aby uzyskać ten widok z maksymalnie 8 pierścieniami Landolta, rozmiar okna w ustawieniach (klawisz F10) musi być ustawiony na 1280×960. Ustawienie nie zostanie wykonane natychmiast, tylko przy następnym uruchomieniu programu **OKULIX**.



Rysunek 3.2: Soczewki toryczne

W przypadku soczewek torycznych wyświetlany jest dodatkowo ten wynik. Odnosi się on do wybranego z czterech modeli na obrazku 3.1. Obraz przedstawiający wrażenie wzrokowe dla numerycznie najlepiej dopasowanej soczewki wewnątrzgałkowej jest umieszczony w środku i otoczony przez sąsiednie poziomy astygmatyczne i sferyczne. W przeciwieństwie do obrazu 3.1 nie ma tutaj dodatkowej korekcji sferocylindrycznej.



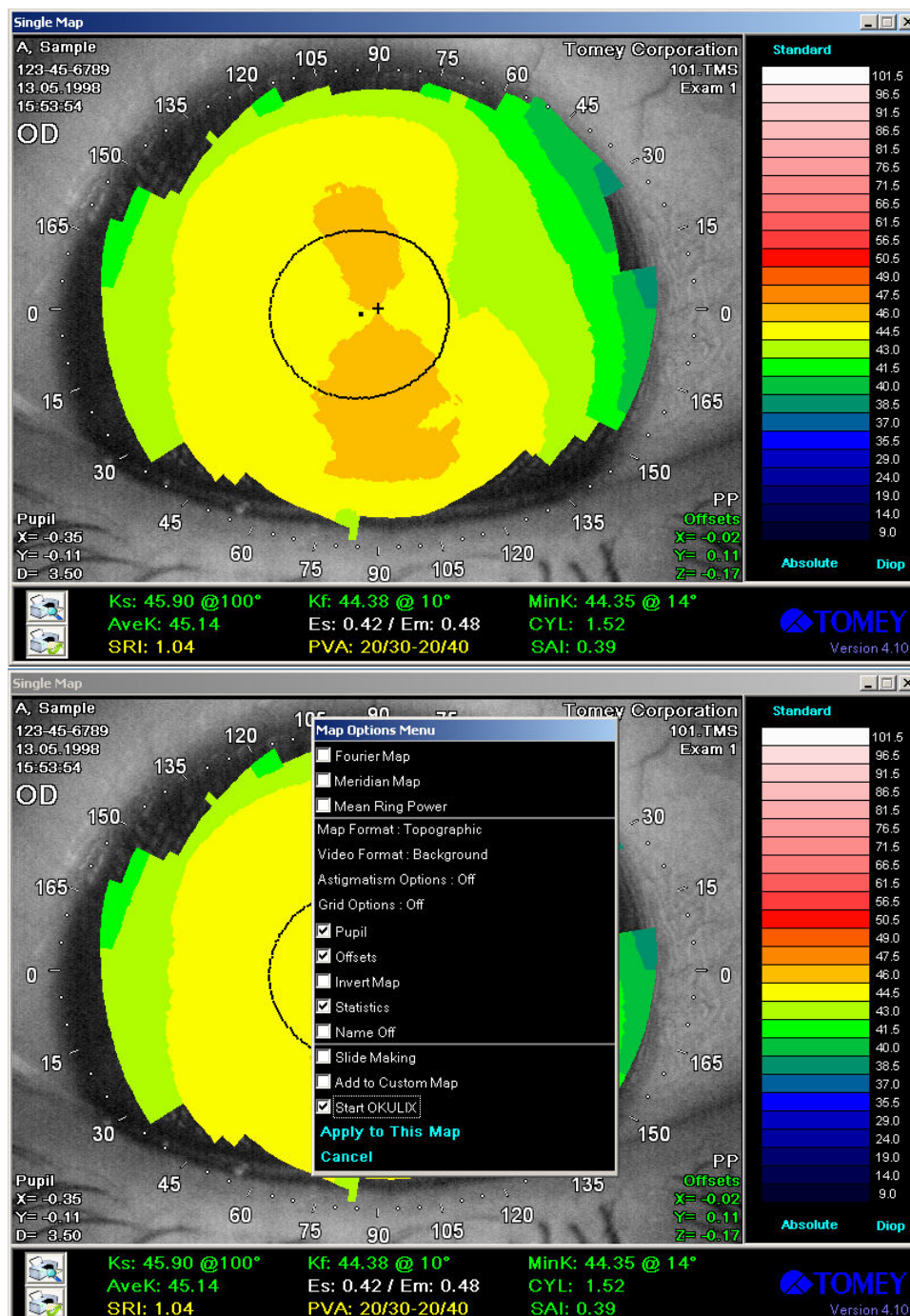
Rysunek 3.3: Wybór soczewki wewnątrzgałkowej

Pole po prawej stronie pokazuje maksymalnie cztery wstępnie wybrane soczewki IOL, a pole po lewej pełną listę wyboru. Każda soczewka z prawej listy może zostać usunięta poprzez zaznaczenie opcji wykluczyć, a każdą z lewej może zostać dodana za pomocą opcji włączyć, o ile po prawej stronie jest jeszcze miejsce.

Po naciśnięciu przycisku Offset można wprowadzić korektę przesunięcia dla aktywowanej po lewej stronie soczewki IOL, która odpowiada “dostosowaniu statych” w obliczeniach IOL za pomocą wzorów. Zazwyczaj jednak nie zaleca się wprowadzania takiego przesunięcia.

Za pomocą tego menu wyboru można wybrać tylko soczewki IOL do implantacji do torebki soczewki. Inne soczewki IOL (soczewki przedniej komory oka, soczewki dodatkowe) są dostępne w sekcji wyboru soczewek wewnątrzgałkowych w OKULIX details, 1IOL.

3.1.1 Tomey-TMS4



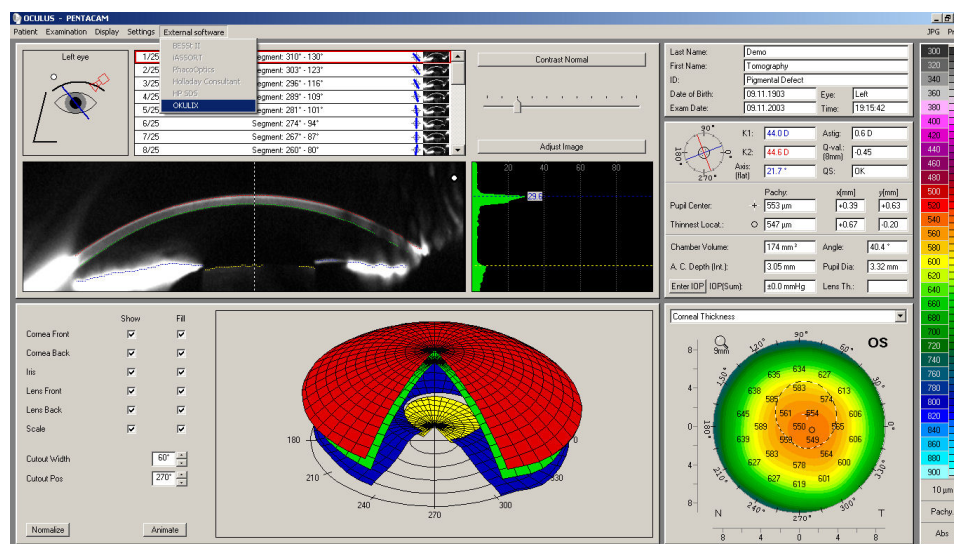
Rysunek 3.4: Wywołanie OKULIX z oprogramowania TMS

Po utworzeniu "TMS single Map" należy umieścić kursor w polu obrazu i kliknąć prawym przyciskiem myszy (górny obrazek). Następnie należy aktywować pole "Start OKULIX" i kliknąć "Apply to This Map".

3.1.2 Tomey-TMS4/TMS5 i Tomey OA1000

Instalacja, wybór typów soczewek wewnątrzgałkowych i wywołanie **OKULIX** odbywa się analogicznie jak w przypadku TMS4 (patrz poprzedni rozdział), tylko z innych okien oprogramowania Tomey. W przypadku TMS5 pachymetria z rozdzielczością przestrzenną służy do obliczenia tylnej części rogówki. Długość osiowa zmierzona za pomocą OA1000 jest automatycznie wprowadzana do zestawu danych przekazywanego do **OKULIX** i jest uwzględniana w obliczeniach. Przesyłanie danych z Tomey CASIA OCT odbywa się w ten sam sposób.

3.1.3 Oculus Pentacam

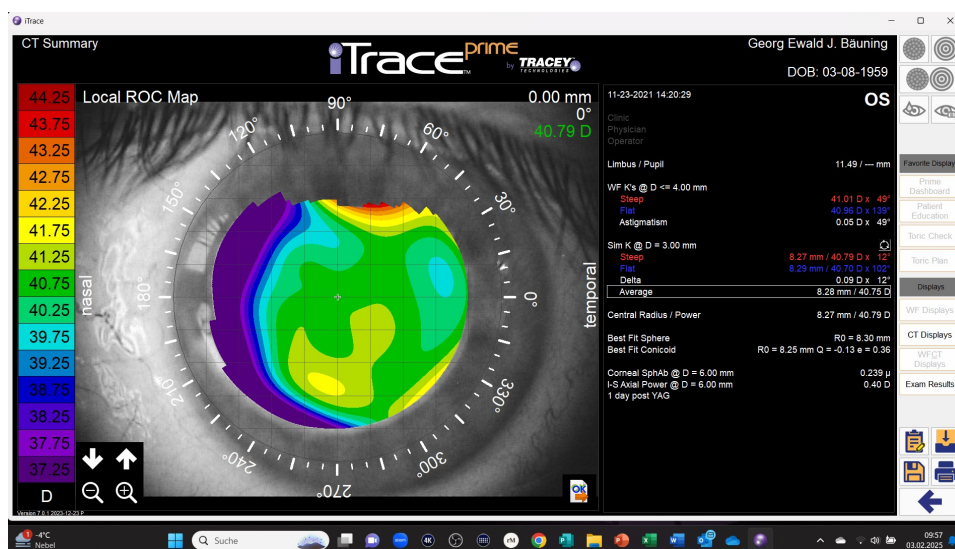


Rysunek 3.5: Wywołanie OKULIX z urządzenia Pentacam

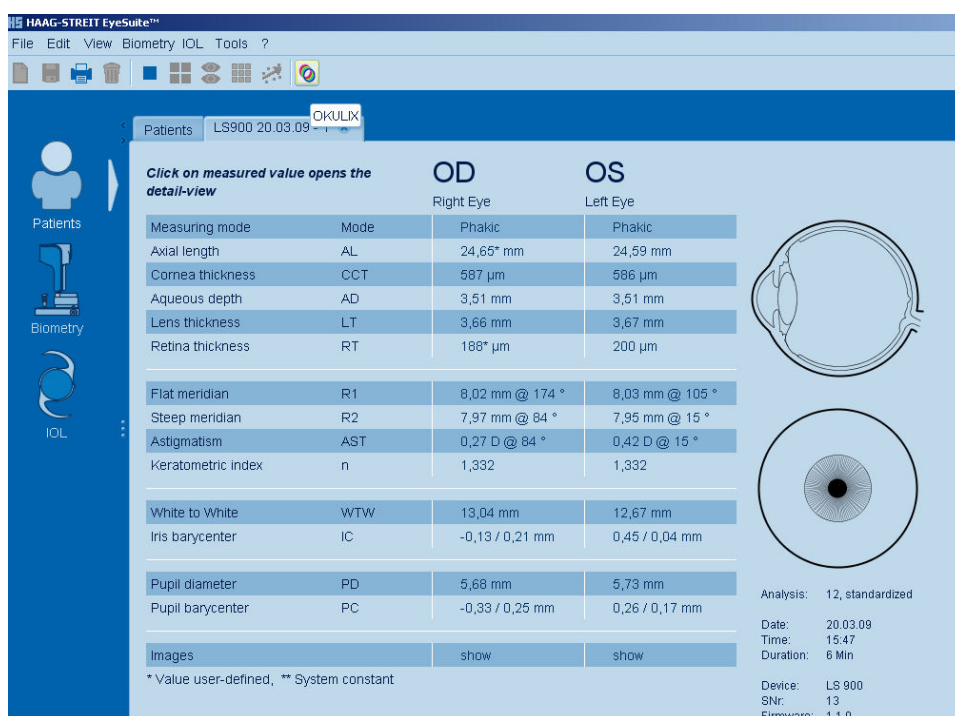
3.1.4 Tracey iTrace

3.1.5 Haag-Streit Lenstar

Wywołanie **OKULIX** jest przedstawione na rysunku 3.7. W tym urządzeniu długości osiowe i dane keratometryczne obu oczu są jednocześnie przekazywane do **OKULIX** i natychmiast przetwarzane. Zmierzone położenie i grubość soczewki krystalicznej są wykorzystywane do poprawy przewidywania pozycji soczewki wewnątrzgałkowej.



Rysunek 3.6: Wywołanie OKULIX z urządzenia iTrace

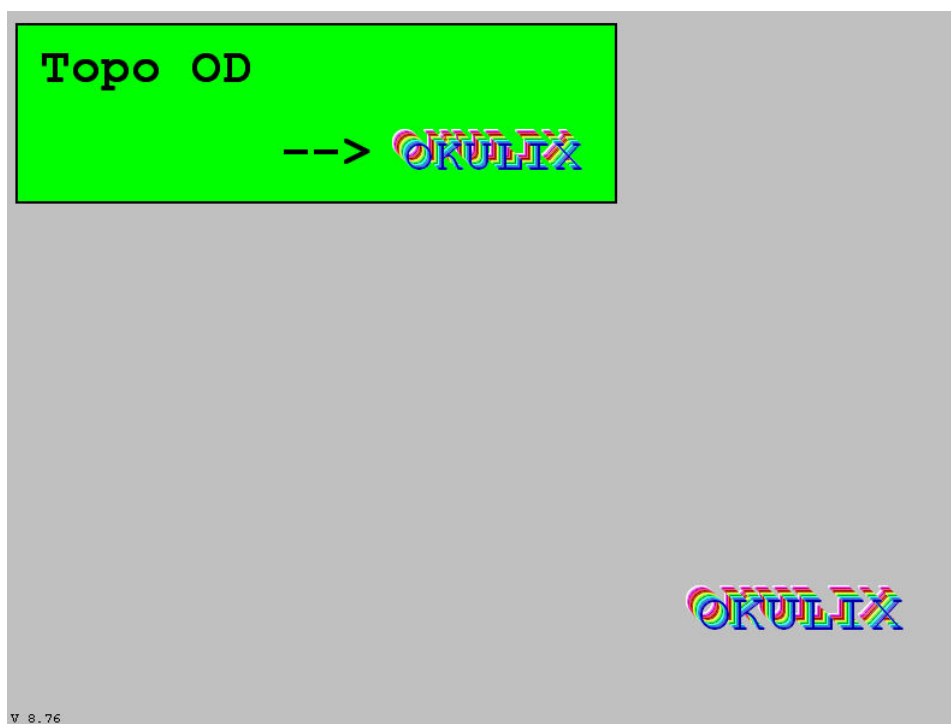


Rysunek 3.7: Wywołanie OKULIX z urządzenia Lenstar

3.1.6 Połączona stacja robocza topografia i Lenstar

Jedno z opisanych w poprzednich sekcjach urządzeń do topografii lub tomografii oraz Haag-Streit-Lenstar może być zainstalowany jako stacja robocza na tym samym komputerze. OKULIX łączy dane z obu urządzeń w celu dalszych obliczeń.

W tej kombinacji urządzeń dane topograficzne lub tomograficzne z obu oczu muszą *najpierw* być przesłane do OKULIX. Odbywa się to poprzez dwukrotne uruchomienie OKULIX: najpierw z urządzenia topograficznego, jak opisano w powyższych rozdziałach. OKULIX potwierdza jednak jedynie przesłania danych, patrz rysunek 3.8. Dopiero po uruchomieniu OKULIX z oprogramowania Lenstar następuje obliczenie IOL. Uruchomienie OKULIX z oprogramowania Lenstar bez uprzedniego pomiaru topografii dla jednego lub obu oczu, tj. wyłącznie na podstawie keratometrii Lenstara zamiast topografii TMS, jest również możliwe w tej konfiguracji urządzeń. Aby umożliwić obliczenia dla jednego oka bez uwzględnienia



Rysunek 3.8: Przejęcie parametrów

danych Lenstar, należy najpierw odpowiedzieć na pytanie, czy dane z urządzenia topograficznego mają być wykorzystane samodzielnie (tj. bez danych Lenstar), patrz rysunek 3.9.



Rysunek 3.9: Tylko topografia, tj. bez pomiaru Lenstar?

Jeśli topografia i keratometria zostały zmierzone, użytkownik może wybrać, która z tych dwóch metod zostanie zastosowana do obliczenia promienia rogówki w celu doboru soczewki wewnątrzgałkowej, czy też należy użyć średniej z obu (standardowo), patrz rysunek 3.10. Należy przy tym zwrócić uwagę na następujące kwestie:

Ocular Parameters (see also OKULIX-EN.PDF), F10: Setup

length of axis	24.957→	25.019
target refraction		0.00
[pupil width (change only for scotopic vision)]		2.50
1st corneal radius	Topo= 8.09; Kera= 8.28 →	8.184
2nd corneal radius	Topo= 8.05; Kera= 8.11 →	8.081

ok

Radii: ☐ Topo (post LASIK, PRK, lamm. KPL) ☐ Kera (instable tear film) ☒ (Topo+Kera)/2

☐ input of additional parameters

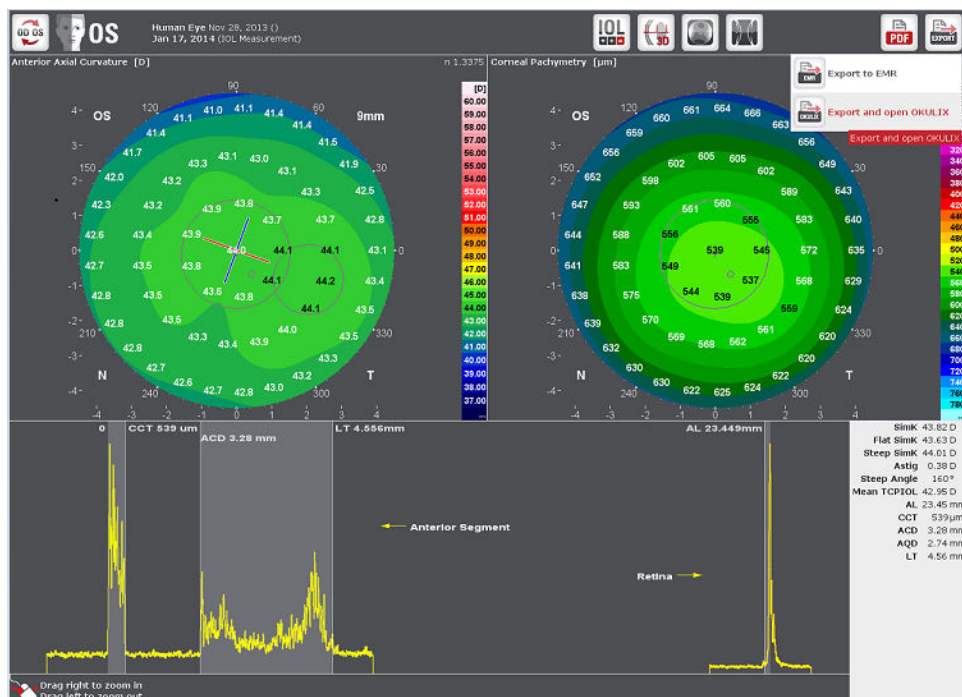
Rysunek 3.10: Wybór keratometrii / topografii

- Tylko topografia zawiera informacje o sferyczności rogówki, a tylko dodatkowa pachymetria pozwala na prawidłowe uwzględnienie tylnej powierzchni rogówki. Obie informacje są niezbędne do obliczenia IOL w oku po chirurgii rogówki. W takich oczach należy więc stosować wyłącznie topografię.
- Keratometria jest mniej wrażliwa na niestabilność filmu łzowego. Dlatego też, szczególnie w przypadku suchych oczu, jest ona często dokładniejsza niż topografia.
- W większości przypadków normalnych oczu średnia wartość promieni topograficznych i keratometrycznych jest dokładniejsza niż każda z dwóch wartości pojedynczych.

Asferyczność i promienie tylnej powierzchni są zawsze pozyskiwane z wartości pomiarowych, gdy zmierzono topografię i pachymetrię.

3.1.7 Ziemer Galilei G6

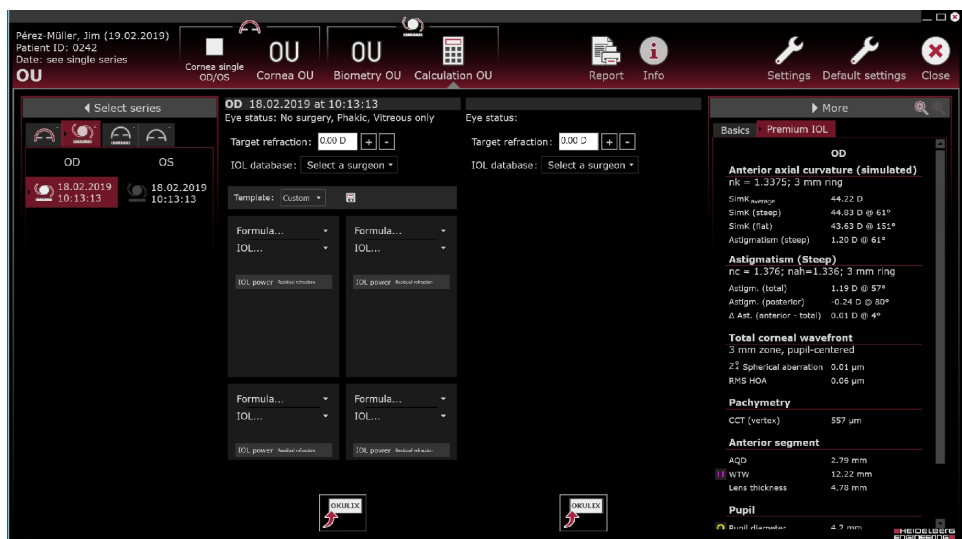
Wywołanie **OKULIX** przedstawiono na rys. 3.11, a dalszy przebieg jest taki sam jak w przypadku Tomey TM4 lub TMS5, patrz sekcja 3.1.1.



Rysunek 3.11: Wywołanie OKULIX z urządzenia G6

3.1.8 Heidelberg Engineering Anterior

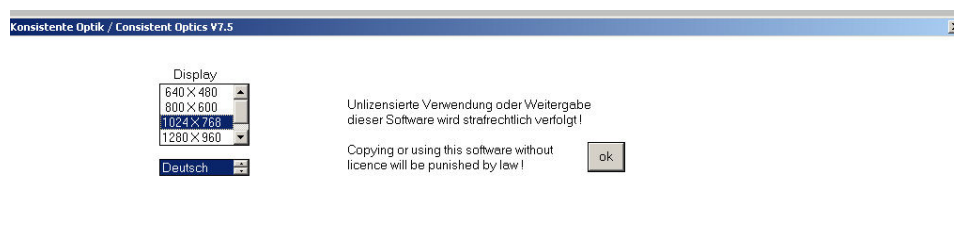
Wywołanie **OKULIX** przedstawiono na rys. 3.12, Dalszy przebieg jest taki sam jak w przypadku Tomey TM4 lub TMS5, patrz sekcja 3.1.1.



Rysunek 3.12: Wywołanie OKULIX z urządzenia ANTERION

3.2 Wersja PC

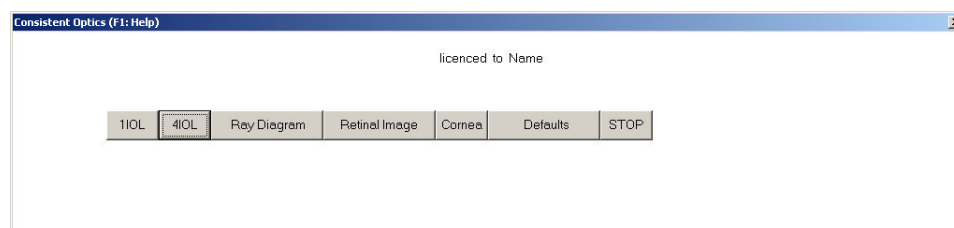
Na pierwszej stronie wyświetlonej przez **OKULIX** można wybrać rozdzielczość ekranu (640×480 , 800×600 , 1024×768 , 1280×960 lub 1600×1200) oraz język obsługi, patrz obrazek 3.13. Zaleca się wybrać maksymalną możliwą rozdzielczość, ponieważ zapewnia to najlepszą jakość obrazów symulacyjnych. W dalszym przebiegu programu (w przeciwieństwie do innych programów w systemach Windows) nie można zmienić rozmiar ekranu.



Rysunek 3.13: Menu startowe OKULIX

W tym menu startowym można ustawić rozdzielczość ekranu i język. W tym menu startowym można ustawić rozdzielczość ekranu i język.

Z różnych alternatyw drugiego okna (obraz 3.14) w większości przypadków wybiera się jednoczesne obliczenie do 4 IOL. Jeśli nie zostały one jeszcze określone, należy postępować zgodnie z ilustracją 3.3. Soczewki specjalne (soczewki fakijne lub dodatkowe) nie mogą być tutaj wybrane. W tym celu należy wybrać opcję 1IOL. Dalsze kroki w obliczaniu jednocześnie



Rysunek 3.14: Rozgałęzienia OKULIX

do czterech soczewek wewnątrzgałkowych przedstawiono na zdjęciu 3.15, a wynik na rysunku 3.1 w poprzednim rozdziale.

Zamiast lewego przycisku myszy do wybierania przycisków można również używać klawiszy strzałek lub klawisza Tab. Po zaznaczeniu odpowiedniego pola, można (alternatywnie do kliknięcia lewym przyciskiem myszy) uruchomić wybraną funkcję, naciskając klawisz Enter lub Return.

Jeśli skonfigurowanych jest kilka drukarek, wydruki zostaną wydrukowane na drukarce domyślnej komputera, chyba że aktywowana jest opcja drukarka do wyboru.

The screenshot displays the OKULIX software interface with four distinct sections, each with a title bar and a close button (X).

- Axial Length (see OKULIX.PDF for more information)**: Contains two buttons, "measure lengths" and "enter lengths".
- Ocular Parameters (see also OKULIX.PDF)**: Contains a list of parameters and their values:

length of axis	23.600
target refraction	0.00
pupil width	2.50
[1st corneal radius]	7.800
[2nd corneal radius]	7.800

 An "ok" button is located to the right of the table.
- Select Eye**: Contains two buttons, "right eye" and "left eye".
- measured by**: Contains a dropdown menu with "Tomey Biometer" selected and "Zeiss IOLMaster" as an option. An "ok" button is located to the right of the dropdown.

Rysunek 3.15: Kolejne kroki

3.3 Pomiar długości osiowej za pomocą biometru Tomey

Długości osiowe można bezpośrednio przenieść z urządzenia Tomey podłączonego za pomocą interfejsu szeregowego. W takim przypadku przeliczenie wartości długości następuje automatycznie. Jeśli takie urządzenie do pomiaru długości jest podłączone, podczas obliczania IOL oprogramowanie pyta, czy długości mają być **zmierzone** (czyli przejęte z urządzenia) czy też zostaną **wprowadzone** ręcznie przez użytkownika. Podczas przenoszenia wartości pomiarowych należy przestrzegać następującej kolejności, aby uniknąć pomylenia oczu (prawe/lewe):

- Pomiar długości osiowej jednego oka
- Zmierzyć długości w OKULIX
- Wybierz urządzenie biometryczne, a następnie **OKULIX** oczekuje dane uruchomienie

- transfer danych na urządzeniu biometrycznym (patrz instrukcja obsługi)
- Wybór oka (prawego lub lewego) w **OKULIX**

Po zakończeniu (i opcjonalnym wydrukowaniu) obliczeń IOL mierzy się długość osiową drugiego oka. Wybór oka (prawe/lewe) w urządzeniu biometrycznym nie jest używany w **OKULIX**, ponieważ może to prowadzić do błędów obsługi.

3.4 Specjalne soczewki wewnątrzgałkowe (fakijne, mocowane do tęczówki, dodatkowe soczewki wewnątrzgałkowe)

Obliczenia soczewek fakijnych lub soczewek w nietypowym położeniu (np. implantacja do bruzdy) lub w innym układzie (np. soczewka wewnątrzgałkowa odwrócona wszczepiona retropupillarnie z fiksacją do tęczówki) można obliczyć w rozgałęzieniu 1IOL, dodatkowo do wszystkich innych soczewek wewnątrzgałkowych. Wybór konkretnego modelu soczewki IOL określa dalszy przebieg, patrz rysunek io1, rysunek 3.17 i rysunek 3.2.

Lens: Manufacturer and Type of Lens

AMO: 911A
 AMO: Tecnis Z9000/ZM001/Z900
 AMO: Tecnis CL Z9002
 AMO: Tecnis ZA9003/ZMA00
 AMO: Tecnis ZCB00/ZMB00
 AMO: Tecnis ZCT
 AMO: HSM60
 AMO: AC60/AC51L
 Aurolab: HP757SQ

ok back

Ocular Parameters 1

flattest corneal radius 7.716
 steepest corneal radius 7.050
 angle steepest corneal meridian 84.0
 length of axis 24.120--> 24.215
 target refraction 0.00
 [postop. pupil width] 2.50
☒ input of additional parameters

back ok

☐ IOL in post. Rhexis

Ocular Parameters 2 (optional, mostly do not change)

[flattest posterior corneal radius] 6.40
 [steepest posterior corneal radius] 5.76
 [angle steepest posterior radius] 88.00
 measured
 [praeop. ACD] 2.13
 [cryst. lens thickness] 4.12

back ok

Results

target refr. 0.00D, r1= 8.00mm, r2= 7.57mm, ACD=4.27mm, a=23.72mm, AMO: Tecnis ZCT

ISO label (paraxial) best focus 2.5mm pupil

20.50SE 3.00CYL-> (0.82/-0.25/ 9)	0.81/-0.25/ 9	Standard ☒ Printer ☐ Selectable ok print export back
21.00SE 3.00CYL-> (0.46/-0.24/ 9)	0.45/-0.24/ 9	
21.50SE 3.00CYL-> (0.11/-0.24/ 9)	0.10/-0.24/ 9	

Rysunek 3.16: Soczewki toryczne

Wybór modelu soczewki wewnątrzgałkowej (1. okno) określa już, że zostanie obliczona toryczna soczewka tylnej komory oka. Dane pomiarowe oka potrzebne do obliczenia soczewki tylnej komory można przejść z urządzeń pomiarowych, lub też wprowadzić lub zmodyfikować w oknie drugim.

W normalnym przypadku należy przyjąć podane wartości średniego tylnego promienia rogówki i najbardziej prawdopodobnej głębokości przedniej komory po operacji, w wyjątkowych przypadkach można je zmodyfikować w trzecim oknie.

Okno czwarte pokazuje wyniki z refrakcją resztkową dla sfery w ujęciu paraosiowym i dla najlepszej ostrości przy zadanej szerokości źrenicy. Moce refrakcyjne soczewek wewnątrzgałkowych są podawane w nowym formacie ISO jako równoważnik sferyczny (SE) oraz wartość cylindra. Podczas implantacji soczewki wewnątrzgałkowej należy ustawić oznaczenie soczewki - odpowiadające południkowi o najmniejszej mocy załamującej - w osi południka rogówki o największej mocy załamującej, zaznaczonego na topografii na **czzerwono**. Może on nieco odbiegać od kąta najbardziej stromego promienia krzywizny przedniej powierzchni rogówki, jeśli najbardziej strome i najbardziej płaskie promienie krzywizny przedniej i tylnej powierzchni znajdują się pod różnymi kątami. **Całkowity astygmatyzm rogówki i optymalny kąt implantacji** są dodatkowo wydrukowane na **czzerwono**.

Lens: Manufacturer and Type of Lens

AMO: SI40NB
 AMO: VERISYSE 50
 AMO: VERISYSE 50T
 AMO: VERISYSE 50 aph.

ok back

Ocular Parameters 1

e.g. -8.25/-3.5/65.12.0 (astigm.: glass dist. optional)

pre-op. refraction [glass distance] 0.00/ 0.00/ 0.00 ☒ aphakic

1st corneal radius 7.800 back

2nd corneal radius 7.800

angle steepest meridian 0.0 ok

length of axis 23.600

preop. ACD [lens thickness optional] 4.00, 3.00

target refraction 0.00 ☒ IOL reverse

Ocular Parameters 2 (optional, mostly do not change)

[mean post corneal radius] 7.30 back

[ant. chamb. depth (instead of 3.600)] 3.575 ok

☐ calculate scaling of retinal image size

Results

target refr.: 0.00dpt, r= 7.80mm, ACD=3.58mm, a=23.46mm, AMO: VERISYSE 50 aph.

parax. [best focus]
 with 2.5mm pup.

19.50 -> 0.95	[0.65]
20.00 -> 0.58	[0.28]
20.50 -> 0.24	[-0.07]

ok print back

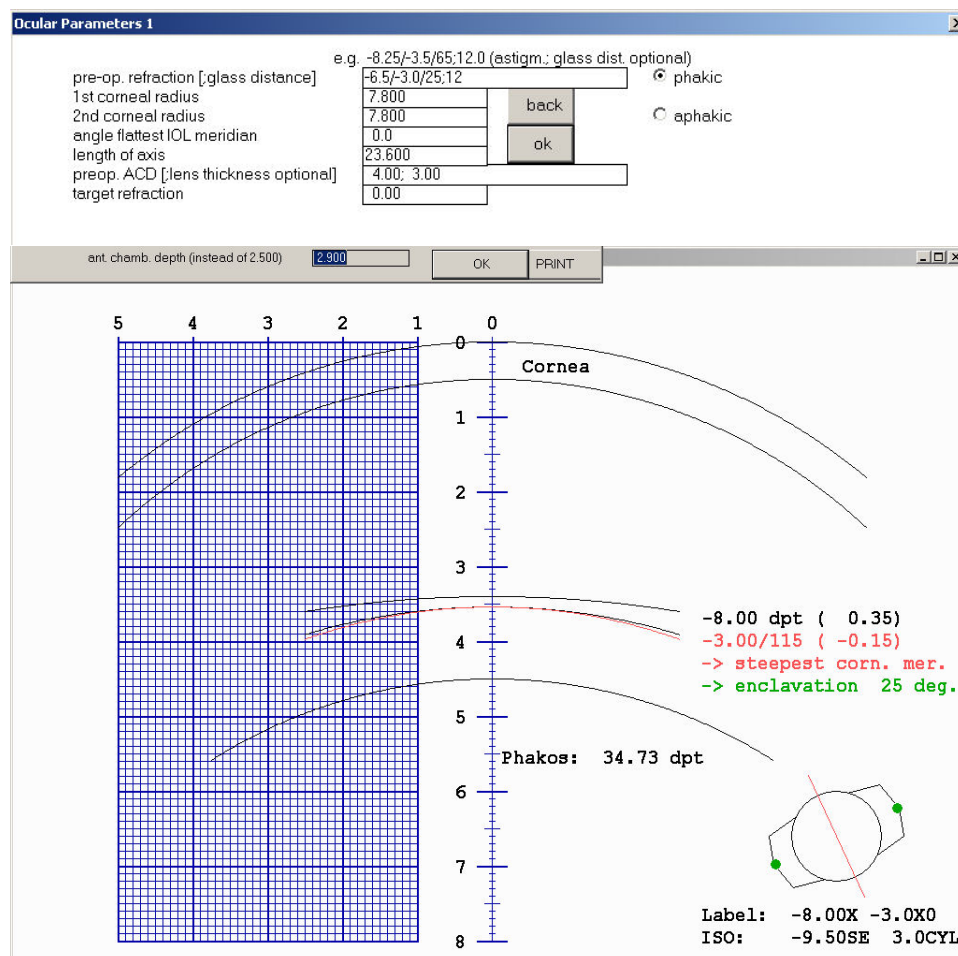
Rysunek 3.17: Soczewka wewnątrzgałkowa z mocowaniem za tęczówką

Model soczewki wewnątrzgałkowej wybrany w pierwszym oknie można zamocować do tęczówki zarówno w przedniej komorze, jak i w tylnej komorze oka. Teoretycznie soczewka ta może być również stosowana jako soczewka fakijna.

Drugie okno pozostawia na razie wszystkie możliwości otwarte. Jednak po wybraniu opcji aphak i IOL revers ustala się fiksację retropupilarną. Zazwyczaj wymagane dane wejściowe dla fakijnej soczewki wewnątrzgałkowej nie są używane, lecz jedynie promień krzywizny rogówki, długość osiowa i szerokość źrenicy.

Najbardziej prawdopodobna pooperacyjna głębokość komory przedniej, sugerowana w trzecim oknie, jest wyraźnie mniejsza niż w przypadku soczewki wewnątrzgałkowej implantowanej do torebki soczewki. Jeśli istnieje możliwość zmierzenia położenia tęczówki, sugerowaną wartość należy odpowiednio zmodyfikować.

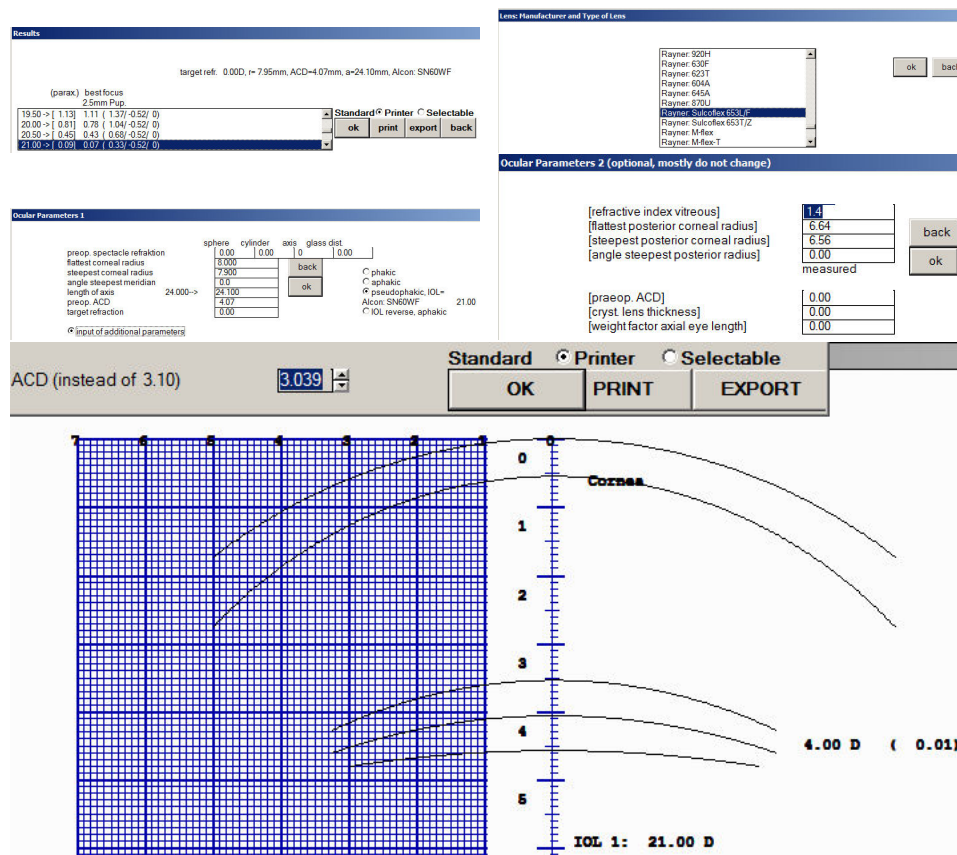
Czwarte okno pokazuje wyniki z refrakcją resztkową paraosiowo i dla najlepszego punktu ogniskowania przy zadanej szerokości źrenicy.



Rysunek 3.18: Soczewki fakijne, toryczne

U góry: okno wprowadzania danych, u dołu: obraz wyników z możliwością interaktywnej zmiany. Promień rogówki i refrakcja subiektywna nie muszą prowadzić do tej samej soczewki IOL. Dlatego użytkownik musi zdecydować, które z tych dwóch informacji wykorzystać jako podstawę do obliczeń. W przedstawionym tutaj przykładzie soczewka fakijna została obliczona na podstawie refrakcji $-6,5/-3,0/25^\circ$, odległości wierzchołka rogówki 12 mm. Promień rogówki mają wtedy tylko bardzo niewielki wpływ na moc refrakcyjną soczewki IOL. W zależności od interaktywnie zmiennej pozycji (tutaj: ACD=2,9mm) zmienia się zdolność załamывania najlepiej dopasowanej soczewki IOL. W prawym dolnym rogu przedstawiono model soczewki IOL i jej orientację implantacji. Okna pokazane tutaj pojawiają się automatycznie po wybraniu odpowiedniej soczewki.

3.5 Dodatkowa soczewka wewnątrzgałkowa w przypadku oleju silikonowego



Rysunek 3.19: Dodatkowa soczewka wewnątrzgałkowa w przypadku tamponady olejem silikonowym

Najpierw należy obliczyć soczewkę IOL, która zostanie wszczepiona do torebki soczewki i która pozostanie w oku po usunięciu oleju (Alcon: SN60WF 21,0dpt). Należy to zrobić w rozgałęzieniu 1IOL, a nie w 4IOL.

Następnie w rozgałęzieniu 1IOL wybiera się dodatkową soczewkę wewnątrzgałkową, która zostanie wszczepiona do bruzdy dla skompensowania błędu refrakcji spowodowanego przez olej (Rayner: Sulcoflex 653L/F).

W wyświetlonym wtedy oknie widać wybraną powyżej soczewkę do tylnej komory oka pod już aktywowaną opcję pseudofak, IOL=. Teraz należy aktywować opcję Wprowadź parametry dodatkowe. Wszystkie pozostałe opcje wprowadzania danych należy zignorować.

W następnym oknie należy ustawić współczynnik załamania światła ciała szklistego na wartość zastosowanego oleju silikonowego (1,4).

Następnie pojawi się okno z soczewką IOL do implantacji w bruzdzie (4,0dpt) przed soczewką IOL 1 o mocy 21,0dpt znajdującą się w torebce soczewki. Refrakcja przy założonej ACD wynoszącej 3,039mm wynosi 0,01dpt.

3.6 Przykłady zastosowania

Przedstawione tutaj przykłady mają na celu ułatwienie zrozumienia logiki i przebiegu OKULIX. Pierwsze przykłady zostały przedstawione szczególnie szczegółowo. Ten poziom szczegółowości zostanie w dalszej części ograniczony. Wszystkie pola przełączające ("buttons") przedstawione w programie są wyświetlane czcionką sans serife.

3.6.1 Aberracja sferyczna

Uruchomić program, a następnie ustawić rozdzielczość ekranu na tryb pełnoekranowy, klikając odpowiednie pole (np. 1024×768) - wymagane tylko przy pierwszym uruchomieniu. Następnie kliknąć OK i przejść do obrazu siatkówki. W prawym i lewym półobrazie pojawia się ten sam pierścień Landolta przed wzorem receptorów siatkówki. Zamiast pierścieni Landolta można również użyć tzw. "point-spread-function" poprzez aktywację odpowiedniego pola wyboru. W tym przypadku zamiast ostrości wzroku wyświetlany jest rozmiar pola siatkówki w minutach łuku. Wielkość pierścienia Landolta odpowiada stopniowi ostrości wzroku 1,0 (Vis w górnej części obrazu), szerokość źrenicy (Pup) wynosi 2,5 mm. Mimo że parametry wyjściowe opisują oko paraaksjalne dokładnie emmetropowe, które poza pseudofakcją odpowiada oku Gullstranda, obraz nie jest naprawdę ostry. Nieostrość obrazu spowodowana jest aberracją sferyczną. Powoduje ona, że emmetropia paraaksjalna i emmetropia dla "najlepszego punktu ogniskowania" różnią się już przy rozszerzeniu źrenicy do 2,5 mm. Różnicę tę można skompensować za pomocą soczewki dodatkowej. Za pomocą parametry obrazu (w lewym górnym rogu) można wygenerować okno wprowadzania danych, w którym można zdefiniować m.in. soczewki próbne. Dla sfery należy teraz wprowadzić wartość -0.25, a następnie kliknąć OK. Obraz poprzednio lewego pierścienia Landolta zostaje przesunięty w prawo, a po lewej stronie powstaje nowy pierścień Landolta z (podkreśloną na czerwono) soczewką próbną o mocy -0.25 dla sfery (Sph). Obraz jest wyraźnie ostrzejszy.

3.6.2 Wpływ szerokości źrenicy

Dla przejrzystości należy najpierw ponownie ustawić soczewkę sferyczną na 0,0. Jeśli w oknie utworzonym za pomocą parametry obrazu. ustawia się szerokość źrenicy na 4,0, a następnie kliknie się ok, powstanie pierścień Landolta z dużym halo, tak jak jest to często opisywane przez pseudofakijnych pacjentów podczas widzenia w ciemności. Można go wprawdzie zmienić za pomocą dodatkowych soczewek ujemnych, ale wrażenie wzrokowe nigdy nie będzie naprawdę dobre. Aberracja sferyczna wykazuje tak duże zróżnicowanie w zależności od odległości od centrum, że zawsze duże powierzchnie przyczyniają się do powstania nieostrego obrazu.

Zmniejszając szerokość źrenicy od 2,5 w krokach co 0,5 do 0,5, wzrok początkowo poprawia się, ale od wartości 1,0 znów pogarsza się. Jest to spowodowane dyfrakcją na otworze źrenicy, która powoduje rozmycie obrazu, którego obszar rozmycia jest odwrotnie proporcjonalny do szerokości źrenicy. Na koniec, szerokość źrenicy powinna zostać przywrócona do wartości 2,5 przed kolejnym przykładem.

3.6.3 Subiektywne określenie refrakcji

W dotychczasowych przykładach przyjęto idealną sferyczną rogówkę o promieniu 7,8 mm. Dane rzeczywistej, tj. zmierzonej topograficznie rogówki znajdują się w dołączonym pliku DEMO.DAT, który podczas instalacji jest automatycznie kopiowany do katalogu OKULIX. Aby je wczytać, należy kliknąć **cornea** w menu startowym lub w obrazie **siatkówki**. Jeśli posiadasz wersję OKULIX z dodatkowym modulem rogówki (przykłady poniżej), pojawiają się wtedy dalsze jego rozgałęzienia. W takim przypadku należy kliknąć na **pliki rogówki**. Następne okno pokazuje wybór plików topograficznych, które dotychczas zawiera tylko plik DEMO. W przypadku wersji OKULIX bez modułu rogówki okno to pojawia się natychmiast po **cornea**. Klikając OK, wyświetla się (jak dotąd jedyny) plik. Nieprawidłowe kolory wskazują promień krzywizny jako funkcję położenia. Podane są średni promień centralny (7,972 mm), promienie centralne w najpłytszym i najbardziej stromym południku oraz odpowiadające im kąty (8,06 mm/12 stopni i 7,88 mm/102 stopnie) oraz mimośród liczbowy $e=0,450$. Ekstrakcja tych parametrów z danych opisano w [13].

Z kolejnym kliknięciem przycisku OK wybiera się plik do dalszych obliczeń. Po zainstalowaniu modułu rogówki należy kliknąć przycisk STOP, aby opuścić moduł rogówki.

Na obrazie siatkówki w prawym górnym rogu niebieski napis 'Cornea aktiv' wskazuje, że została załadowana topografia, a rogówka nie jest przedstawiona jedynie w sposób uproszczony za pomocą globalnych parametrów.

Pierścień Landolta jest teraz dość nieostry. Zgodnie z zasadami subiektywnego określania refrakcji dla oka nieakomodującego, poprzez zmianę sfery znajduje się najlepszą soczewkę sferyczną o mocy +0,5. Można teraz, zachowując sferyczny ekwiwalent +0,5, umieścić cylinder w postaci cylindra krzyżowego i dopasować oś cylindra oraz jego moc. Oś cylindra ujemnego musi oczywiście pokrywać się z osią najpłytszego meridianu (12 stopni, patrz powyżej). Najlepszy efekt widzenia uzyskuje się dla (+1,25/-1,0/12 stopni). Soczewkę tę można również łatwo określić, aktywując opcję **najlepsza soczewka korekcyjna**.

3.6.4 Aberracja chromatyczna

Wszystkie obliczenia OKULIX są zazwyczaj wykonywane monochromatycznie przy 540 nm. Wpływ aberracji chromatycznej na subiektywne wrażenie wzrokowe można jednak zilustrować, wybierając białe spektrum (**słońce** lub **żarówka**). Ponieważ efekt jest stosunkowo niewielki, sygnał optyczny powinien być wcześniej jak najostrzejszy, na przykład tak jak opisano w poprzednim rozdziale. Ponadto dla lepszej obiektywizacji można dodatkowo obliczyć **kontrast** znaku optycznego. Ponieważ rzeczywiste wrażenie wzrokowe zależy również od spektralnej wrażliwości siatkówki, można tutaj również wybrać między alternatywami **fotopową** i **skotopową**. Alternatywnie można również wybrać wrażliwość standardowych **kamer CCD**, które są znacznie bardziej czułe w czerwonym zakresie spektralnym. Dzięki zastosowaniu dodatkowych soczewek w zakresie 0,1 dioptrii można obiektywizować przesunięcie ogniska spowodowane aberracją chromatyczną.

3.6.5 Moduł rogówki

Ten moduł dotyczy refrakcyjnej chirurgii rogówki. W przypadku dopasowania soczewki wewnątrzgałkowej (również po refrakcyjnej chirurgii rogówki) nie jest to absolutnie konieczne. Moduł rogówki można uruchomić z menu głównego lub z **obrazu siatkówki** poprzez kliknięcie na **cornea**.

3.6.5.1 2-wymiarowe wady optyczne

Za pomocą opcji Pliki rogówki wybierz topografię DEMO (ok) i załaduj ją (ok), a następnie 2-wymiarowe wady optyczne. Refrakcja jest obliczana w dwóch komponentach: południkowo, tj. w kierunku południków oraz azymutalnie, tj. prostopadłe do nich. Suma wektorów obu składników daje całkowity błąd refrakcji, który jest wykorzystywany np. do nieostrości pierścieni Landolta. Składowa azymutalna opisuje zasadniczo odchylenie od symetrii obrotowej. W przeciwieństwie do składowej południkowej nie zmienia się np. wraz ze zmianą błędu sferycznego. Ponadto różnica frontu fali oznacza różnicę długości dróg optycznych od wartości centralnej (tzw. różnica frontu fali).

Wszystkie trzy błędy (merydionalny, azymutalny lub różnica frontu fali) mogą być opcjonalnie przedstawione dokładnie, tzn. tak, jak są obliczane metodą Ray-Tracing, albo te obliczenia mogą zostać przybliżone za pomocą szeregu Zernikego. Jeśli požądane jest przybliżenie Zernikego, należy najpierw zaznaczyć tę opcję. Następnie należy wprowadzić maksymalny porządek promieniowy [3-12]. Jeśli nie zostanie wprowadzona żadna wartość lub 0, zostanie wyświetlona dokładna mapa błędów. Jeśli nie został obliczony ciąg Zernikego, jego współczynniki można zapisać w pliku w formacie ASCII, którego nazwę należy dodatkowo podać. Jeśli nie podano nazwy pliku, nie zostanie on wyświetlony. Ponadto współczynniki Zernikego będą wyświetlane w oknie i można je tam zmienić.

Najpierw więc południkowo. Przy następującym rozgałęzieniu dla wyświetlania w fałszywych kolorach zaleca się najpierw wybrać opcję automatycznie. Oznacza to, że fałszywe kolory w programie **OKULIX** są tak dostosowywane, aby przedstawiały użyteczny zakres 'średnio rzecz biorąc', który jednak tylko wyjątkowo będzie odpowiadał temu, co użytkownik chciałby zobaczyć. Proces ten należy powtórzyć, tym razem z opcją zdefiniowane przez użytkownika dla wyświetlania fałszywych kolorów. Jako górną wartość graniczną można wprowadzić np. +1,5, a dolną -3,0.

Pod obrazem zostanie wyświetlona wartość RMS (średnia kwadratowa, średni błąd kwadratowy) komponentu refrakcji południkowej w obrębie koła o promieniu 3,0 mm.

Mapy fałszywych kolorów, podobnie jak wartości RMS, zależą oczywiście w znacznym stopniu od soczewki IOL. Okrąg, dla którego obliczane są wartości RMS, ma taki sam promień jak powierzchnia optycznie czynna soczewki IOL. Jest ona również kręgiem jednostkowym do obliczenia szeregu Zernikego.

Po wybraniu opcji azymutalna otrzymuje się fałszywobarwne odwzorowanie azymutalnej refrakcji składowej. Ponieważ zakres ich zmienności jest znacznie mniejszy niż w przypadku składowej południkowej, cały zakres wartości jest zawsze automatycznie rejestrowany przez paletę kolorów.

Dla różnicy frontu fali powstaje błąd w optycznej długości drogi obejmujący również jego błąd RMS.

Jeśli po różnicy frontu falowego wprowadzi się 4 dla maksymalnego, promieniowego porządku przybliżenia Zernikego, błąd RMS zmienia się nieznacznie. Ponadto obraz ma teraz maksymalną średnicę wynoszącą tylko 6 mm (średnica optyki soczewki wewnątrzgałkowej).

3.6.5.2 Model rogówki

W wielu zastosowaniach, zwłaszcza w refrakcyjnej chirurgii rogówki, korzystniejsze jest użycie przybliżenia zdefiniowanego tylko przez kilka parametrów zamiast oryginalnych danych topograficznych, które nazywamy *modelem rogówki*. Taki model można zatem wygenerować z topografii poprzez obliczenie wymienionych parametrów. Alternatywnie parametry te można po prostu wprowadzić. Za pomocą Pliki rogówki wybrać topografię DEMO (ok) i załadować (ok), a następnie Model rogówki. Z dwóch alternatyw R_1, R_2, α, e i aproksymacja Zernikego do wszystkich obliczeń należy użyć pierwszej. Liczba niezależnych parametrów jest znacznie mniejsza (cztery); trzy z nich odpowiadają również standardowemu sposobowi przedstawiania stosowanemu w okulistyce, a przynajmniej centralna, bardziej istotna dla widzenia strefa 4 mm jest opisana dokładniej niż za pomocą aproksymacji wielomianami Zernikego ([13]). Po kliknięciu dodatkowego znacznika zrekonstruuje pełną strefę, w modelu zostaną uzupełnione brakujące elementy topografii.

Po kliknięciu R_1, R_2, α, e pojawia się menu, w którym promień rogówki, kąty oraz ekscentryczność numeryczna są wstępnie ustawione na te same wartości, które są wyświetlane w topografii. Wprowadzając tutaj inne wartości, można wygenerować dowolną inną rogówkę w komputerze. Po kliknięciu ok zostaną one przyjęte.

Po aproksymacji modelu, wartości promieni i ekscentryczności numerycznej przedstawione obok obrazu topograficznego nieznacznie różnią się od wartości wyjściowych. Nowe wartości są ponownie aproksymowane na podstawie danych dwuwymiarowych. Różnice pokazują zatem dokładność aproksymacji.

Również odchylenie aproksymacji modelu od danych pierwotnych można dokładnie określić ilościowo. Aby to zademonstrować, należy najpierw ponownie załadować topografię rogówki DEMO do programu: pliki rogówki, topografia DEMO (ok) i załadować (ok), a następnie różnica względem modelu. Teraz należy ponownie wybrać R_1, R_2, α, e . W wyniku obliczeń przedstawiana jest w fałszywych kolorach różnica między danymi pierwotnymi a modelem. Różnicę można alternatywnie wyrazić w jednostkach wysokości [mm] lub w jednostkach refrakcji [dpt].

3.6.5.3 Lasik / PRK

Za pomocą pliki rogówki wybierz topografię DEMO (ok) i załaduj (ok), a następnie Lasik/PRK. Wyświetli się refrakcja paraaksjalna (stara) Zaczynamy od korekcji krótkowzroczności i dlatego dla starej refrakcji wprowadzamy wartość -3,0. Wszystkie pozostałe parametry pozostają dla uproszczenia na razie niezmiennicze, czyli ok. Następnie pojawia się pytanie, czy należy zminimalizować aberrację sferyczną. Jest to standardowa

procedura. W jej przypadku asferyczność rogówki zostanie dostosowywana do danych soczewki wewnątrzgałkowej w taki sposób, aby aberracja sferyczna wynosiła prawie zero. Najpierw należy więc potwierdzić przyciskiem (ok). Następnie wyświetla się lekko poprzecznie owalny profil usunięcia w fałszywych kolorach. W lewym górnym rogu obrazu pojawia się okno do wprowadzenia nazwy pliku ujęcia. Jeśli zostanie tu wprowadzona nazwa, pojawi się menu wyboru lasera. W naszym przykładzie nie należy na razie nic wpisywać, więc (ok). Następnie pojawia się pytanie, czy wygenerowany profil ma zostać usunięty z komputera. Wybieramy **usunąć**. Usuwanie może być wykonane obliczeniowo dokładnie lub z błędami, aby zasymulować ich wpływ. Wybieramy **bez błędów**. Następnie obraz topograficzny zostaje zastąpiony odpowiednim obrazem po usunięciu. Grubość rogówki zostaje również zastąpiona w komputerze zmodyfikowanym, dwuwymiarowym profilem (ale nie jest wyraźnie wyświetlana). Jakość wyniku można sprawdzić na różne sposoby. Wybieramy najpierw 2-wym. **błąd optyczny**, następnie **refr. południkowa** i zdefiniowane przez użytkownika dla wyświetlania fałszywych kolorów. Jako górny próg wybieramy 0,2, a jako dolny -0,2. Wizualizacja w fałszywych kolorach wskazuje, że większość strefy optycznej znajduje się bardzo blisko 0,0. Opuszczając moduł rogówki przyciskiem STOP i wybierając **obraz siatkówki**, można utworzyć pierścień Landolta, który jest nadal widoczny nawet przy rozszerzeniu źrenicy do 4,0 i ostrości wzroku do 2,0 (sokole oko). W tym celu po kliknięciu **parametry obrazu** należy wprowadzić podane wartości. Korekcja sferyczna musi być dodatkowo ustawiona na wartość refrakcji docelowej.

W analogiczny sposób można symulować korekcję nadwzroczności, przy pozostałych danych wyjściowych niezmiennych, wprowadzając jako starą refrakcję np. +3,0.

Pomimo pozornie idealnych wyników, profil ablacji dla zabiegu Lasik/PRK nie powinien być obliczany w opisany sposób. Usunięcie tkanki za pomocą lasera nigdy nie może być tak precyzyjne, jak w przedstawionych tutaj obliczeniach. Dlatego w szczególności błędy o wysokiej częstotliwości nie są korygowane w miejscu, w którym występują w topografii, lecz w nieco innej lokalizacji. Przy obecnym stanie precyzji zabiegu laserowego prowadzi to do wzmocnienia błędów wysokich częstotliwości. Problem ten można w znacznym stopniu rozwiązać, zastępując topografię przez jej model (patrz poprzedni rozdział). Ponieważ nie zawiera ona elementów o wysokiej częstotliwości, są one wygładzane poprzez obliczanie wartości uśrednionej.

Rozdział 4

Postanowienia prawne

4.1 Warunki licencji

Wraz z zakupem pakietu programowego **OKULIX** użytkownik końcowy nabywa prawo do zainstalowania i użytkowania **OKULIX** na jednym lub kilku komputerach, które są jego własnością i na które ma prawo użytkowania. Ponadto użytkownik końcowy nie nabywa żadnych praw do **OKULIX**. Sprzedaż lub inne przekazanie **OKULIX** osobom trzecim, w całości lub w części, jest zabroniona w jakiegokolwiek formie, chyba że przepisy prawa (np. prawo spadkowe) temu przeczą lub została wydana specjalna zgoda przez producenta. Instalacja może być przeprowadzona wyłącznie z dostarczonego nośnika danych **OKULIX**. Kopiowanie tego nośnika danych, jak również kopiowanie zainstalowanego programu jest niedozwolone. Instalacja **OKULIX** na komputerach, które są własnością użytkownika, ale nie są w jego posiadaniu (np. komputery wypożyczone lub wynajęte), lub w posiadaniu, ale nie są własnością nabywcy, jest niedozwolona.

4.2 Gwarancja

Podczas tworzenia programu **OKULIX**, w tym powiązanych zestawów danych IOL zachowano najwyższą staranność. Niemniej jednak nie można całkowicie wykluczyć błędów. Dotyczy to w szczególności błędów na dostarczonych nośnikach danych. Błędy takie mogą wystąpić w dowolnym późniejszym terminie, nawet jeśli nośnik danych w momencie dostawy nie zawierał żadnych błędów. Ponadto dane dotyczące soczewek podane przez producentów soczewek mogą zawierać błędy. Przed wprowadzeniem nowych danych do pakietu **OKULIX** wszystkie dane dotyczące soczewek wewnątrzgałkowych dla wszystkich stopni mocy refrakcyjnej są automatycznie sprawdzane pod kątem poprawności i spójności.

W przypadku wystąpienia błędów podczas korzystania z **OKULIX**, należy niezwłocznie poinformować producenta. Użytkownik otrzyma jak najszybciej nowy nośnik danych z poprawionym oprogramowaniem. Jeśli błąd występuje w programie **OKULIX** lub w powiązonym zestawie danych IOL, nabywca otrzyma nowy nośnik danych bezpłatnie. Jeśli nośnik danych **OKULIX** zawiera początkowo prawidłową wersję programu, ale w późniejszym uszkodzoną, należy wysłać uszkodzony nośnik danych do producenta. W ciągu dwóch lat od daty zakupu nabywca dostaje bezpłatnie

nowy nośnik danych. W późniejszym momencie należy uiścić podstawową cenę za aktualizację.

4.3 Wyłączenie odpowiedzialności

Producent **nie** ponosi **odpowiedzialności za szkody** wynikające z zastosowania **OKULIX**, w szczególności za szkody wynikające z błędnego obliczenia IOL lub nieprawidłowej refrakcyjnej chirurgii rogówki. Użytkownik musi samodzielnie upewnić się, przynajmniej poprzez analizę wiarygodności, że proponowane wartości nie są rażąco błędne.

4.4 Przeniesienie praw

Nabywcy **OKULIX**, którzy nie zgadzają się z powyższymi warunkami, powinni odesłać nośnik danych **OKULIX** przed **otwarcie** **plomby** w ciągu miesiąca od dostawy do producenta. W takim przypadku cena zakupu zostanie zwrócona. Poprzez otwarcie plomby nośnika danych **OKULIX** lub zatrzymanie go przez ponad miesiąc od daty dostawy, nabywca akceptuje powyższe warunki.

Rozdział 5

Wyniki u pacjentów

W niniejszym rozdziale zebrano kilka typowych wyników, które zostały obliczone przy użyciu OKULIX na różnych grupach pacjentów. Mają one na celu pokazanie, jakiej dokładności można oczekiwać przy stosowaniu OKULIX.

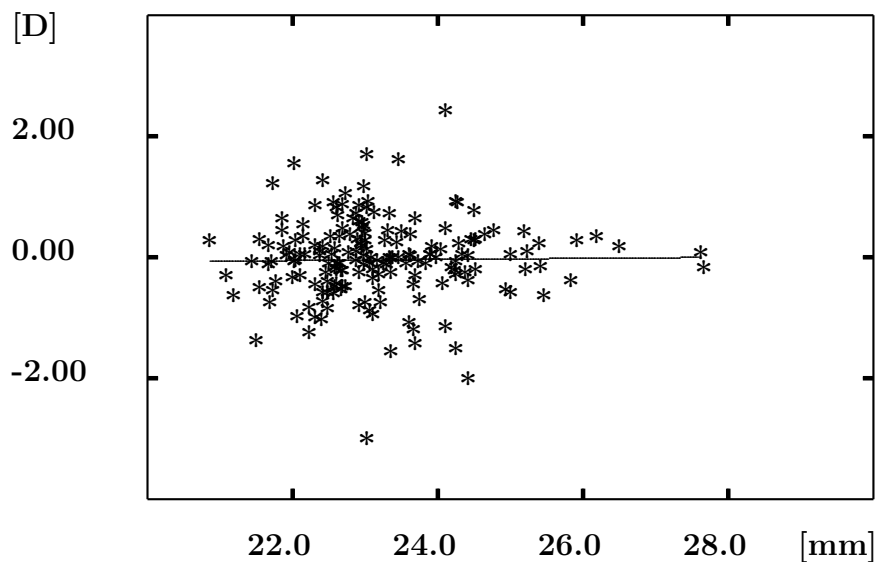
5.1 i zdjęcie 5.2 przedstawiają wyniki z dwóch różnych klinik dla oczu nieoperowanych wcześniej. średnie wyniki obu grup są bardzo zbliżone do zera i nie różnią się od siebie w sposób istotny. Zdjęcie 5.3 ilustruje znaczenie dopuszczalnego błędu produkcyjnego soczewek wewnątrzgałkowych. Do tego dochodzą błędy w wartościach pomiarowych długości osiowych i promieni rogówki, a także błędy w oszacowaniu najbardziej prawdopodobnej pozycji soczewki wewnątrzgałkowej po operacji.

W cytacie [22] stwierdzono u 10 oczu po refrakcyjnej chirurgii rogówki błąd prognozy przy użyciu OKULIX wynoszący $0,31 \pm 0,84$ dpt. Uwzględniono jednak tylko błąd przedniej powierzchni rogówki, ponieważ nie były dostępne pomiary tylnej powierzchni. Wyniki oparte na całej tomografii przedstawiono na zdjęciu 5.4.

Zdjęcie 5.5 i zdjęcie 5.6 pokazują zmniejszenie astygmatyzmu w 50 oczach dzięki wszczępieniu torycznych soczewek wewnątrzgałkowych (dane P.C. Hoffmann, Castrop-Rauxel).

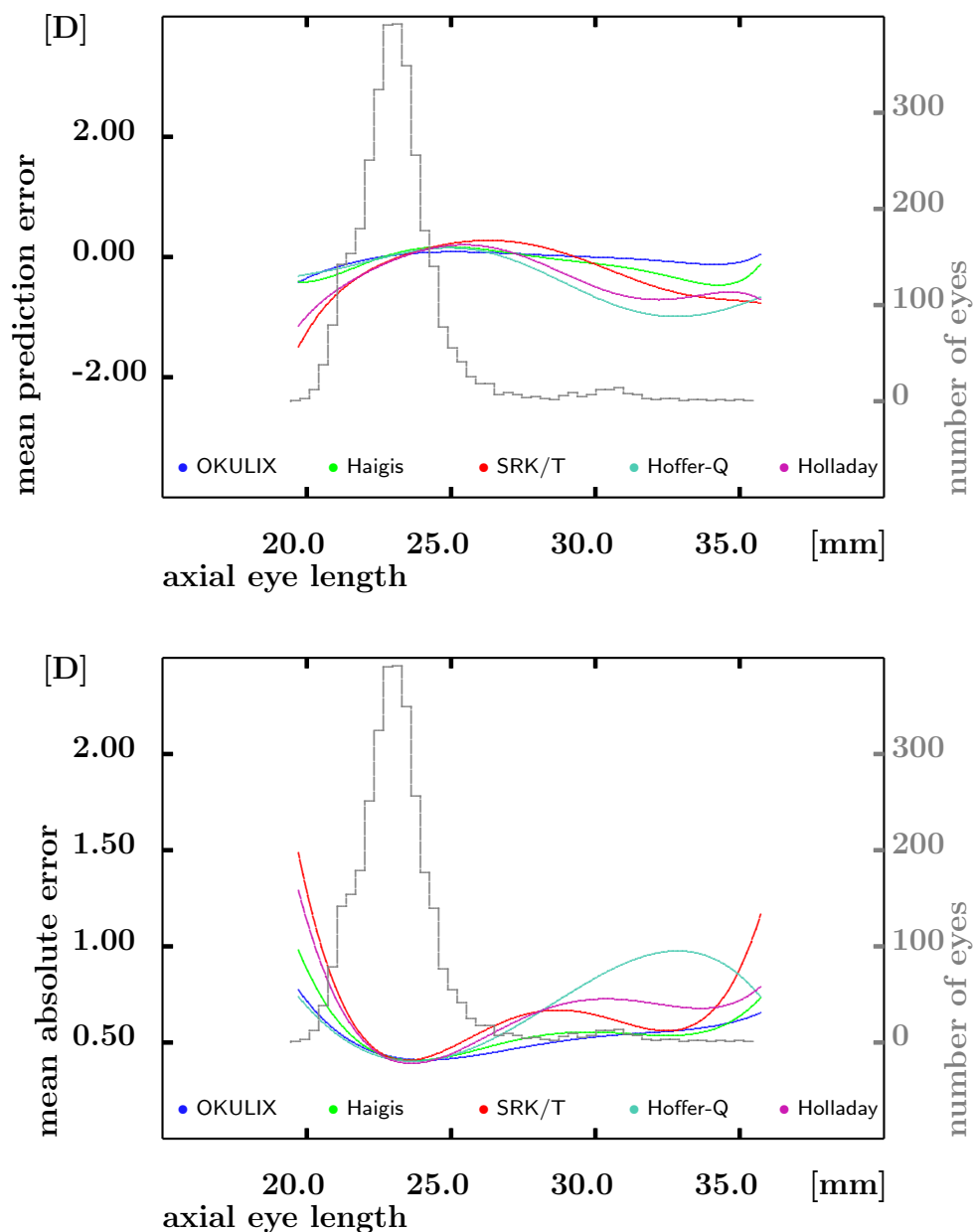
Na zdjęciu 5.7 przedstawiono różnicę w najlepszym możliwym błędzie prognozy w zależności od ostrości wzroku i asferyczności soczewki IOL [6].

Podsumowując, wyniki uzyskane przy użyciu OKULIX jako metody opartej na fizyce, są dokładniejsze przede wszystkim w przypadku oczu znacznie odbiegających od średniej, niż wyniki obliczone metodami *statystycznymi*. Widać to na przykład w przypadku oczu po zabiegach Lasik lub SMILE, w których dla OKULIX osiągnięto najwyższą dokładność spośród porównywanych metod [24, 9, 2]. Jednak porównanie wszystkich obecnie stosowanych metod obliczania IOL w 1442 oczach [1] wykazało jednak również w tych normalnych oczach najwyższą dokładność dla OKULIX.



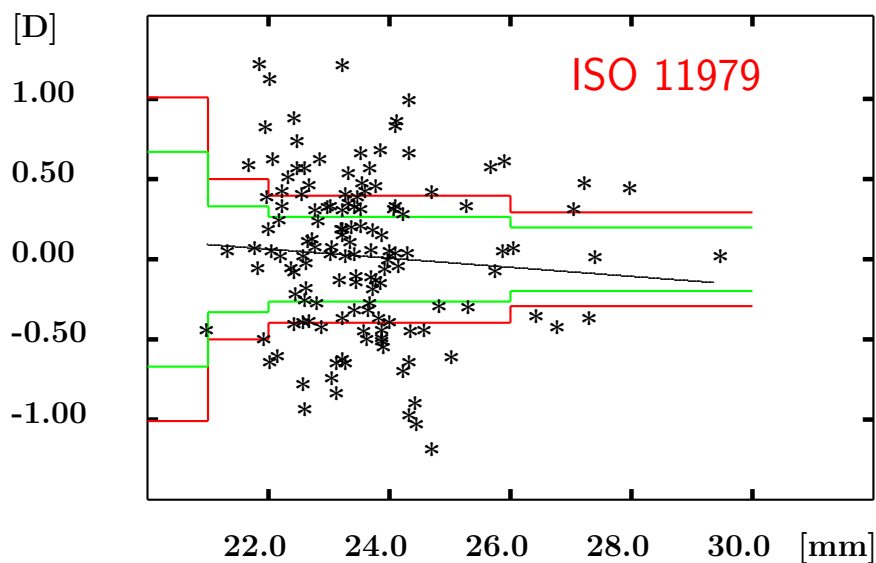
Rysunek 5.1: **Błąd prognozy refrakcji**

Błąd prognozy refrakcji [dpt] to różnica między refrakcją obliczoną za pomocą OKULIX a refrakcją zmierzoną. Jest ona przedstawiona jako funkcja długości osi [mm] zmierzonej za pomocą IOLMaster (Zeiss). Dla grupy 153 oczu średnia wartość tego błędu prognozy wynosi $-0,05 \pm 0,67$ dpt. Nachylenie linii regresji wynoszące $0,009$ dpt/mm nie różni się znacząco od zera. W sumie wszczepiono 7 typów soczewek IOL. (Dane: O.Findl, Klinika Okulistyczna Uniwersytetu w Wiedniu)



Rysunek 5.2: **Błąd prognozy w porównaniu z wzorami**

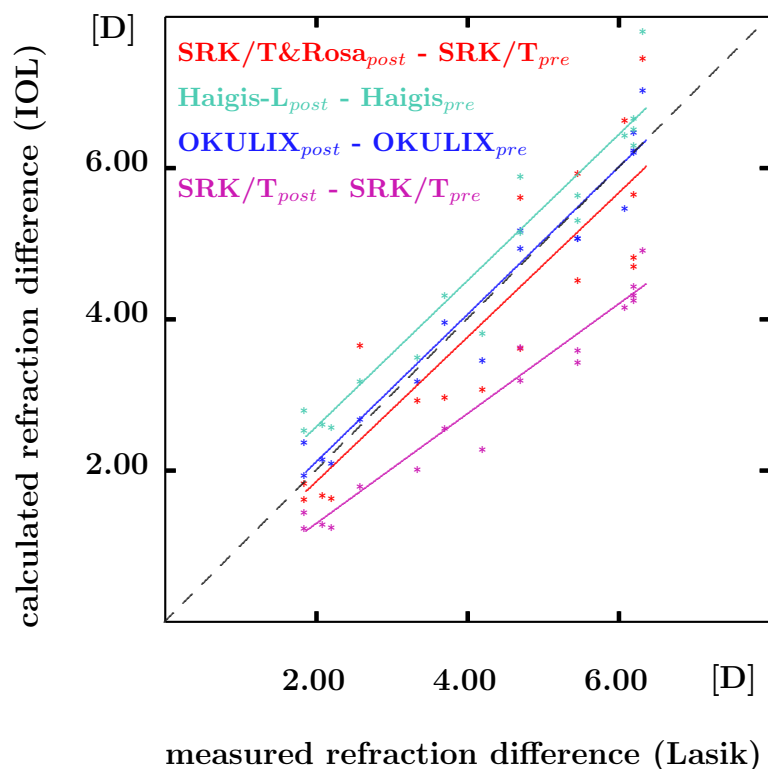
Wyniki obliczone za pomocą OKULIX dla 3246 oczu z łącznie 9 modelami soczewek wewnątrzgałkowych porównano z wynikami często stosowanych wzorów po dostosowaniu tzw. "stałych wzorów". Dane są aproksymowane za pomocą wielomianów 8. stopnia. U góry: średni błąd prognozy, u dołu: średni błąd bezwzględny. (Dane: P.C. Hoffmann, Castrop-Rauxel)



Rysunek 5.3: Błąd prognozy i tolerancje produkcyjne

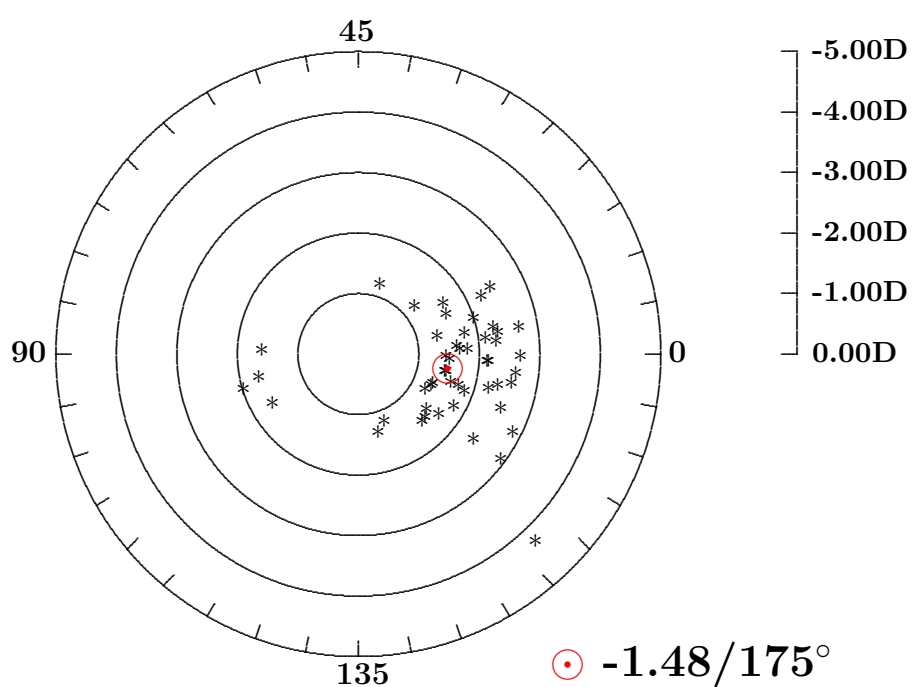
Przedstawiono błąd prognozy [dioptrie] dla obliczeń wykonanych za pomocą OKULIX jako funkcję długości osi [mm] dla 136 oczu, w których wszczepiono soczewkę AMO Ar40e. Dane stanowią podzbiór obrazu 5.2. Ponadto zaznaczono dopuszczalną tolerancję produkcyjną zgodnie z ISO11979. Czerwone linie oznaczają błąd bezwzględny, a zielone - wynikowy błąd w płaszczyźnie rogówki. Wykres zawiera dwa uproszczenia, które jednak nie mają istotnego wpływu na jego treść.

- 1.) Norma DIN/EN/ISO11979 odnosi się do stopni mocy refrakcyjnej, a nie do długości osiowych. Poziome linie czerwonej i zielonej odpowiadają zatem oczom, których promień rogówki i głębokość przedniej komory oka zostały ustawione na średnią wartość dla odpowiednich długości osiowych.
- 2.) Stosunek błędu refrakcji w płaszczyźnie soczewki wewnątrzgałkowej do błędu refrakcji w płaszczyźnie rogówki również odpowiada wartościom średnim. (Dane: P.C. Hoffmann, Castrop-Rauxel)

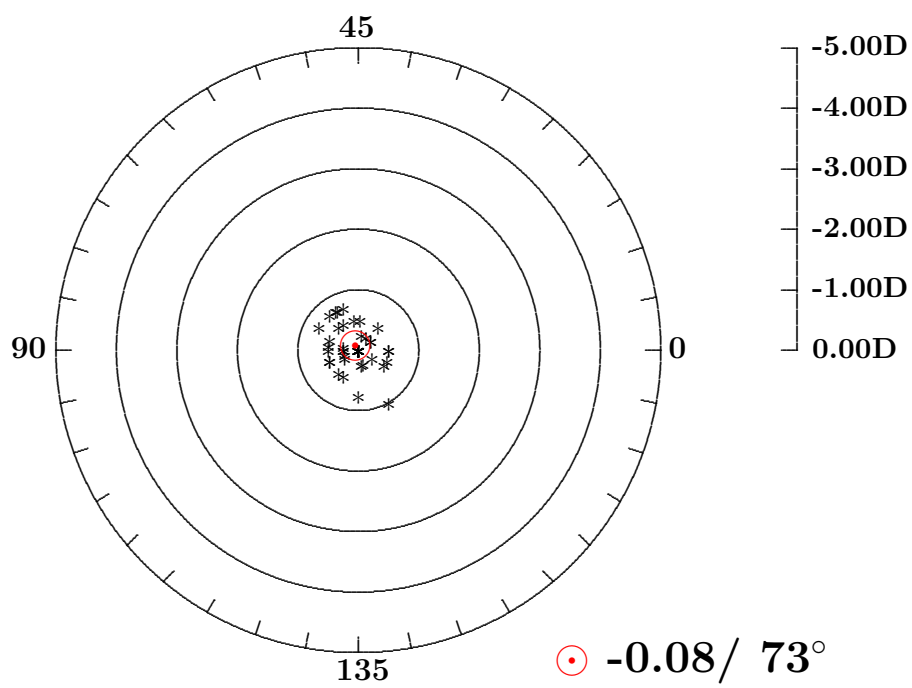


Rysunek 5.4: IOL Obliczenia IOL przed i po zabiegu Lasik

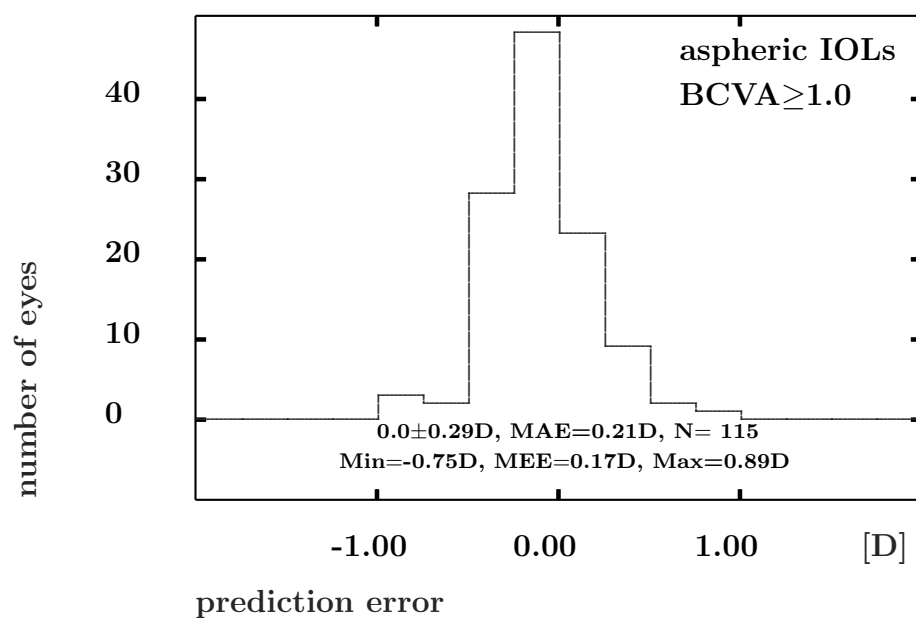
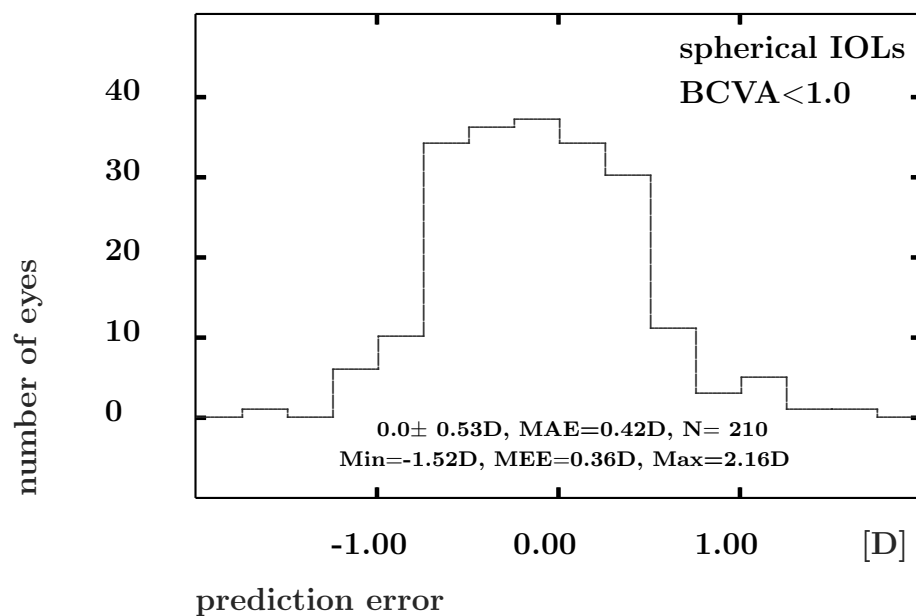
W 17 oczach przed i po zabiegu Lasik wykonano tomografię rogówki za pomocą Tomey TMS-5, pomiar długości osiowej za pomocą urządzenia Zeiss IOLMaster i na podstawie tych danych obliczono IOL. Różnice w obliczeniach IOL (równoważnik sferyczny) przedstawiono jako funkcję faktycznie uzyskanej korekcji Lasik. Wyniki są niezależne od “stałych wzorów”, ponieważ do obliczeń przed i po zabiegu Lasik użyto tych samych wartości. (Dane: T. Hofmann, Klinika Vista w Binnigen, Szwajcaria).



Rysunek 5.5: Astygmatyzm przedoperacyjny



Rysunek 5.6: Astygmatyzm pooperacyjny



Rysunek 5.7: Błąd prognozy w dwóch podgrupach

Histogramy pokazują rozkład błędów prognozy dla podgrup z największymi (u góry) i najmniejszymi (na dole) błędami prognozy. W górnej grupie 67% znajduje się w zakresie $\pm 0,5$ D od refrakcji docelowej, 95% w granicach $\pm 1,0$ D, w dolnej 91% w granicach $\pm 0,5$ D, a 100% w zakresie $\pm 1,0$ D. (MAE: średni MEE: mediana błędu bezwzględny, odpowiednio po korekcie offsetu).

Literatura

- [1] Cooke DL, Cooke TL. A comparison of two methods to calculate axial length. *J Cataract Ref Surg* 2019; 45:284-292
- [2] Gjerdrum B, Gundersen KG, Lundmark PO, Aakre BM. Refractive precision of ray tracing IOL calculations based on OCT data versus traditional IOL calculation formulas based on reflectometry in patients with a history of laser vision correction for myopia. *Clin Ophthalmol* 2021; 15:845-857
- [3] Haigis W, Lege B, Miller N, Schneider B. Comparison of immersion ultrasound biometry and partial coherence interferometry for intraocular lens calculation according to Haigis. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol* 2000; 238:765-773
- [4] Hecht E: Optics. Addison-Wesley Publishing Company, New York, 1987
- [5] Hoffer KJ. The Hoffer-Q formula. A comparison of theoretic and regression formulas. *J Cataract Refract Surg* 1993; 19:700-712, Erratum: *J Cataract Refract Surg* 1994; 20:677
- [6] Hoffmann P, Wahl J, Preußner PR. Accuracy of intraocular lens calculation with raytracing. *J Refract Surg* 2012; 28:650-655
- [7] Hoffmann P, Wahl J, Hütz W, Preußner PR. A ray tracing approach to calculate toric intraocular lenses. *J Ref Surg* 2013; 29:402-408
- [8] Holladay JT, Musgrove KH, Prager CT, Lewis JW, Chandler TY, Ruiz RS. A three-part system for refining intraocular lens power calculations. *J Cataract Refract Surg* 1988; 14:17-24
- [9] Lazaridis A, Schraml F, Preußner PR, Sekundo W. Predictability of intraocular lens calculation after SMILE for myopia. *J Cat Refract Surg* 2021; 47: 304-310
- [10] Preußner PR, Wahl J. Konsistente numerische Berechnung der Optik des pseudophaken Auges. *Ophthalmologe* 2000; 97:126-141
- [11] Preußner PR, Wahl J, Lahdo H, Findl O. Konsistente IOL-Berechnung. *Ophthalmologe* 2000; 3:300-304
- [12] Preußner PR, Wahl J, Lahdo H, Findl O, Dick B. Ray tracing for IOL calculation. *J Cat Refract Surg* 2002; 28:1412-1419
- [13] Preußner PR, Wahl J, Kramann C. Corneal model. *J Cat Refract Surg* 2003; 29:471-477

- [14] Preußner PR, Wahl J. Simplified mathematics for customized refractive surgery. *J Cat Refract Surg* 2003; 29:462-470
- [15] Preußner PR, Wahl J, Weitzel D, Berthold S, Kriechbaum K, Findl O. Predicting postoperative anterior chamber depth and refraction. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30:2077-2083
- [16] Preußner PR, Wahl J, Weitzel. Topography based IOL power selection. *J Cataract Refract Surg* 2005; 31:525-533
- [17] Preußner PR. Consistent IOL calculation in normal and odd eyes with the raytracing program **OKULIX**. In: Garg A, Hoyos JE, Dementiev D (Hrsg.) *Mastering the techniques of IOL power calculations*. Jaypee brothers medical publishers ltd. ISBN 81-8061-539-1, New Delhi 2005
- [18] Preußner PR, Olsen T, Hoffmann P, Findl O. IOL calculation accuracy limits in normal eyes. *J Cataract Refract Surg* 2008; 34:802-808
- [19] Preußner PR, Hoffmann P, Petermeier K. Vergleich zwischen Raytracing und IOL-Formeln der 3. Generation. *Klin Monatsbl Augenheilk* 2009; 226:83-89
- [20] Preußner PR. Intraocular lens calculation in extreme myopia. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36:531-532
- [21] Preußner PR, Hoffmann P, Wahl J. Impact of posterior corneal surface on toric intraocular lens (IOL) calculation. *Curr Eye Res.* 2015; 40:809-814
- [22] Rabsilber TM, Reuland AJ, Holzer MP, Auffarth GU. Intraocular lens power calculation using ray tracing following excimer laser surgery. *Eye* 2007; 21:697-701
- [23] Retzlaff J, Sanders DR, Kraff MC. Development of the SRK/T intraocular lens implant power calculation formula. *J Cat Refract Surg* 16:341-346, erratum *J Cat Refract Surg* 1990; 16:528
- [24] Savini G, Hoffer KJ, Schiano-Lomoriello D, Barboni P. Intraocular lens power calculation using Placido disk-Scheimpflug tomographer in eyes that had previous myopic corneal excimer laser surgery. *J Cataract Ref Surg* 2018; 44:935-941