

**A SZEM ABERRÁCIÓIT CSÖKKENTŐ, BEÜLTETHETŐ SZEMLENCSE ÉS
ELJÁRÁS ANNAK TERVEZÉSÉRE****K I V O N A T**

5 A találmány szerinti, aberrációit csökkentő, beültethető szemlencse tervezése során legalább egy szaruhártya felületet leíró matematikai modellt készítünk, kiszámítjuk a felület(ek) várható aberrációit a matematikai modell segítségével, megválasztjuk a szemlencse törőkéességét, és egy olyan szemlencsemodellt határozunk meg, amely a modellezett szaruhártyával alkotott optikai rendszerből érkező hullámfront aberrációját csökkenti. A szemlencse kiválasztása esetén legalább egy szaruhártya felületre vonatkozó matematikai modellt készítünk, kiszámítjuk a felület eredő aberrációit a matematikai modell segítségével, kiválasztunk egy megfelelő törőerejű lencsét különböző aberrációval rendelkező, azonos törőerejű lencsék közül és meghatározzuk, hogy a kiválasztott lencsét és a modellezett szaruhártyát tartalmazó optikai rendszer kellően csökkenti-e az aberrációkat. A tervezést úgy is lehet végezni, hogy kiválasztunk egy megfelelő betegcsoportot, a csoport minden tagjának felvesszük a szaruhártya topográfia adatait, az adatokat az egyes betegk szaruhártya felületének alakját megadó tagokká transzformáljuk egy meghatározott apertúra méret esetén, legalább az egyik tagnak kiszámítjuk a csoportra vonatkozóan az átlagát és/vagy a szaruhártya felületet megadó tagok transzformációjával a szaruhártya hullámfront aberrációját leíró tagokat nyerünk, amelyek közül legalább egynek kiszámoljuk a csoportra vonatkozó átlagát; a legalább egy szaruhártya felületi tag vagy szaruhártya hullámfront aberrációs tag középértéke alapján olyan szemlencsét tervezünk, amely a szaruhártyával alkotott optikai rendszer legalább egy kiválasztott hullámfront aberrációs tag redukálására alkalmas. A találmány szerint előállított szemé-

10
15
20
25
30

szeti lencsének legalább egy aszférikus felülete van, amely az aberrációkat leíró polinomiális tag lineáris kombinációjával van jellemezve és a szaruhártyán áthaladó hullámfront hasonló aberrációs tagjainak redukálására alkalmasan, és így aberráció mentes szemet biztosító módon van kialakítva.

(11. ábra)



A2

5 **A SZEM ABERRÁCIÓIT CSÖKKENTŐ, BEÜLTETHETŐ SZEMLENCSE ÉS
ELJÁRÁS ANNAK TERVEZÉSÉRE**

A tudomány jelen állása szerint a szemlencse implantátummal rendelkező szem látása összemérhető a normál szemével egyazon korosztályon belül. Ez azt jelenti, hogy egy 70 éves szürkehályoggal operált beteg egy szemlencse sebészeti beültetésével is legfeljebb olyan jó látást remélhet, mint amilyennel egy hasonló korú egészséges egyén rendelkezik, holott az ilyen beültethető lencsét optikailag jobbnak tartják, mint a természetes szemlencsét. Ez azzal a ténnyel magyarázható, hogy a jelenleg alkalmazott szemlencse implantátumok nem képesek kompenzálni az emberi szem optikai rendszerének hibáit, például az optikai aberrációt. A szem korfüggő hibáit a közelmúltban vizsgálták, és megállapították, hogy az 50 évesnél idősebb alanyoknál a kontrasztérzékenység szignifikánsan csökken. Ezek az eredmények összhangban vannak a fenti megállapítással, hiszen a kontrasztérzékenységi mérések azt mutatják, hogy a lencse implantátummal rendelkező, szürkehályoggal műtött egyének sem tesznek szert jobb kontrasztérzékenységre, mint egy 60-70 éves átlagos szemlencsés egyén.

A beteg szürkehályogos lencsék és más optikai lencsék, például a hagyományos kontaktlencsék helyettesítésére szolgáló intraokuláris lencsék ugyan, mint izolált elemek kiváló optikai tulajdonsággal rendelkeznek, mégis nyilvánvalóan alkalmatlanok a szem számos aberrációs jelenségének, például a korfüggő aberrációs hibák korigálására.

Az US 5,777,719 számú szabadalmi leírás olyan eljárást és berendezést mutat be, amely hullámfront analízissel képes a szemnek, mint optikai rendszernek magasabb rendű aberrációit pontosan meghatározni. A Hartmann-Shack féle hullámfront szenzorral lehetséges a szem magasabb rendű aberrációit is

mérni, és ezeket az adatokat az aberráció kompenzálására felhasználni. Ezáltal elegendő információ szerezhető olyan optikai lencse tervezéséhez, amely lényegesen jobb optikai tulajdonságokkal rendelkezik. A Hartmann-Shack szenzor segítségével analizálható a retina egy pontjáról visszaverődő fény. A

5 Hartmann-Shack szenzor lencserendszerének a síkjában a pupilla síkjában lévő hullámfront képe jelenik meg. A lencserendszer minden egyes lencsége létrehoz egy regionális képet a retinán megjelenő pontszerű forrásnál a rendszer fokális síkjában elhelyezett CCD kamerán. Egy lézersugár segítségével pontszerű forrást hozva létre a retinán, a szem leképzési hibája miatt minden egyes

10 lencsén a hullámpont lokális meredekségével arányos módon eltolódik a pont képe. A CCD kamera kimenetét egy számítógépre kötik, amellyel elvégzik 66 Zernike polinom első deriváltjának a meredekségi adatokra történő illesztését. Ezekből a számításokból megkapják a Zernike polinomok súlyozására szolgáló koefficienseket. A súlyozott Zernike polinomok összege reprezentálja a rekonst-

15 ruált hullámfrontot, amelyet a szemnek, mint optikai rendszernek a leképzési hibája torzított el. Ekkor a Zernike polinom egyes tagjai reprezentálják az aberráció különböző módusait.

Az US 5,050,981 számú szabadalmi leírásban olyan lencsetervezési eljárásról olvashatunk, amelynek során a moduláció átviteli függvényeket számítják

20 ki nagyszámú sugár nyomon követésével a szem-lencse rendszerben, és a képhelyen a sugarak sűrűség eloszlásának kiértékelésével. Legalább az egyik lencsefelület változtatásával addig ismétlik az eljárást, amíg olyan lencsét nem találnak, amellyel éles fókusz és maximális modulációs átviteli függvényt érnek el.

25 Az US 6,224,211 számú szabadalmi leírás olyan eljárást mutat be, amellyel az emberi szem látási élessége javítható. Egymást követően aszférikus lencsákat illesztenek a szaruhártyára, így olyan lencse található, amely az adott szem szférikus aberrációját csökkenti.

A fent leírt eljárás kontaktlencsék vagy más korrekciós lencsék tervezésére is alkalmas és tökéletesíthető az egész szemrendszer aberrációjának

30 kompenzálására. A természetes szemlencsét helyettesítő szemlencsék javításához figyelembe kell venni a szem különböző részeinek az aberrációját.

Az US 6,050,687 számú szabadalmi leírás olyan eljárásra utal, amelynél a szem refrakciós tulajdonságait mérik, és megállapítják a szem egyes felületeinek a szerepét a teljes hullámfront aberrációjához. Az itt leírt eljárás elsődleges célja a hátsó szaruhártya felület topográfiájának analízise a fénytörési korrekciós technikák továbbfejlesztésének céljából.

A közelmúltban előtérbe került a szem aberrációjának tanulmányozása, beleértve az aberráció kialakulását az életkor függvényében. Két tanulmányban a szem részeinek a fejlődését külön-külön vizsgálták, és arra a következtetésre jutottak, hogy a fiatal szem esetén az egyes részek optikai aberrációi kioltják egymást (lásd Optical Letters, 1998, Vol. 23(21), pp. 1713-1715 és IOVS, 2000, Vol. 9, pp. 173-181). S. Patel et al (Refractive & Corneal Surgery, 1993, Vol. 9, pages 173-181) cikkükben a hátsó szaruhártya felület aszfericitásáról számolnak be. A cikk szerint a szaruhártya adatait és más szemészeti paramétereket együttesen fel lehetne használni arra, hogy a lencse erősségét és aszfericitását meghatározzák a későbbiekben pseudophakitiszes szem optikai működésének maximalizálásához. Szintén a közelmúltban figyelte meg Antonio Guirao és Pablo Artal (IOVS, 1999, Vol. 40(4), S535), hogy a szaruhártya alakja a korral változik és közelít a gömb formához. Ezek a tanulmányok arra utalnak, hogy a szaruhártyában pozitív szférikus aberráció jelenik meg, ami a korral kis mértékben növekszik. Ugyanakkor az elülső szaruhártya felület forgásszimmetrikus aberrációjában nem mutatkozik különbség egy fiatal és egy idős szem közt, mint ahogy az T. Oshika et al (Investigative Ophthalmology and Visual Science, 1999, Vol. 40, pp. 1351-1355) kutatásaiból kiderül. Glasser et al (Vision Research, 1998, 38(2), pp. 209-229) a szaruhártya eltávolítása után a szemgödörből kisedett természetes szemlencse szférikus aberrációját vizsgálták. A felhasznált lézer szkenneres optikai eljárással azt találták, hogy egy idősebb lencse (66 éves) pozitív szférikus aberrációval, míg egy 10 éves lencse negatív szférikus aberrációval rendelkezik. A Vision Research 2001. 41. számának 235-243. oldalán G. Smith és társai leírják, hogy a természetes szemlencse relaxált állapotban negatív szférikus aberrációt mutat. Smith feltételezi, hogy mivel az idősebb szem nagyobb aberrációval rendelkezik, ezért valószínűsíthető, hogy a szemlencse szférikus aberrációja egyre kevésbé lesz negatív a korral.

A szférikus aberrációnak az intraokuláris lencsefelület aszférikus kialakításával történő csökkentéséről az Ophthal Physiol. Opt., 1991. 11. Kötet, 137-143. oldalán olvashatunk. Az Atchison által kidolgozott eljárás geometriai átviteli számításokon alapszik, és nem veszi figyelembe a diffrakciós hatásokat sem a törésmutató változásait a sugárút mentén egy inhomogén anyagban. Ezek a számítások ezért a diffrakciós határ közelében hibákhoz vezetnek. A WO98/31299 számú nemzetközi közzétételi iratban olyan sugárátvezetési eljárást vázolnak, amellyel a szaruhártya fénytörését próbálják meg figyelembe venni az intraokuláris lencsék készítésénél.

A fent leírtak alapján látható, hogy szükség van olyan szemészeti lencsére, amely jobban figyelembe veszi az egyéni szemfelület aberrációját, és képes azt bizonyos mértékben korrigálni a defókuszálási és asztigmatikus aberrációktól eltérő esetekben is, szemben a hagyományos szemészeti lencsékkel.

Ezért a jelen találmánnyal olyan eljárások kidolgozása a célunk, amelyek segítségével csökkentett aberráció érhető el szemlencsék esetén.

Célunk még olyan beültethető szemlencsék előállítás, amelyek beültetésével a szem leképzési hibái csökkenthetők.

Ugyancsak célunk a találmánnyal olyan eljárás kidolgozása, amellyel a szaruhártya felületének optikai szabálytalanságaiból adódó aberrációk is megszüntethetők.

További célunk a találmánnyal olyan szemlencse kialakítása, amellyel visszaállítható a gömbfelületről eltérő hullámfront egy, a gömbfelületet jobban megközelítő hullámfronttá.

Célunk továbbá a jelen találmánnyal olyan szemlencse kialakítása, amely képes bizonyos speciális beteg csoportok főbb optikai szabálytalanságait és tökéletlenségeit korrigálni, továbbá ezen csoporthoz tartozó betegek számára javított optikai tulajdonságokat biztosítani.

A kitűzött feladatot olyan szemlencsével és olyan eljárásokkal oldottuk meg, amelyek eredményeképpen a szem aberrációit csökkenteni lehet. Aberráción a jelen összefüggésben hullámfront aberrációval járó leképzési hibákat is értünk. Ez azt jelenti, hogy konvergáló hullámfront tökéletesen gömbszerű kell legyen ahhoz, hogy egy pontszerű képet hozzon létre, azaz amennyiben a szem

retinahártyáján tökéletes képet kell kialakítani, a szem optikai felületein áthaladó hullámfrontnak tökéletesen gömbszerűnek kell lenni. A szem optikai felületeit a szaruhártya és a természetes vagy mesterséges lencse jelenti. Amennyiben a hullámfront a gömbfelülettől eltér, a kapott kép aberrációkat tartalmaz. Ebben a vonatkozásban a gömbszerűtől eltérő felületen elsősorban forgásszimmetrikus, aszimmetrikus és/vagy egyéb szabálytalan felületeket, például minden, a gömb-süvegtől eltérő felületet értünk. A hullámfront aberrációkat különböző közelítő matematikai modellekkel lehet kifejezni, amilyeneket többek között M.R. Freeman (Optics, Tenth Edition, 1990) ismertet.

10 A találmány szerinti megoldás elsősorban eljárás, amellyel beültethető szemlencse tervezhető oly módon, hogy a beültetés után a szem aberrációi csökkenjenek. Az eljárás első lépésében matematikai modellel leírunk legalább egy szaruhártya felületet, majd ezt a matematikai modellt alkalmazva kiszámítjuk a modellezett szaruhártya felület aberrációit. Így a szaruhártya leképzési hibáira vonatkozóan egy képletet nyerünk, amivel meghatározzuk az ilyen szaruhártya felületen áthaladó hullámfrontnak a gömbfelülettől mért eltérését. A választott matematikai modelltől függően különböző módokon lehet a szaruhártya felület aberrációit kiszámítani. A szaruhártya felületet matematikailag célszerűen forgási kúpszelet felületként, vagy polinomok formájában vagy a kettő kombiná-
15 ciójaként fejezhetjük ki. A szaruhártya felületet előnyösen polinomok lineáris kombinációjával írhatjuk le.

Az eljárás második lépéseként meghatározzuk a szemlencse törőerejét hagyományos eljárásokkal. Ilyen optikai korrekciós eljárásokat ismertet például az US 5,968,095 számú szabadalmi leírás.

25 Az első és második lépés során nyert információk alapján egy szemlencsét modellezünk, amely a modellezett szaruhártyával együtt olyan optikai rendszert képez, amelyen áthaladó hullámfront kisebb aberrációra tesz szert. A modellezett optikai rendszer általában a szaruhártyát és a szemlencsét tartalmazza, de speciális esetekben tartalmazhat további optikai elemeket, például szemüveglencsét, vagy egyéb mesterséges korrekciós lencsét, például
30 kontakt lencsét, szaruhártya implantátumokat vagy beültethető korrekciós lencsét.

A lencse modellezése során kiválasztunk egy vagy több olyan lencseparamétert a rendszerben, amelyek lehetővé teszik egy olyan lencse alak meghatározását, amelynek meghatározott törőereje van. Ez általában az elülső sugár (átmérőt) és felületi alak, a hátulsó sugár és felületi alak, a lencse vastagság és törésmutató kiválasztását jelenti. Gyakorlatilag a modellezést egy hagyományos gömbfelületű lencse paramétereiből kiindulva lehet végezni. Ilyen lencsék lehetnek például a Pharmacia Co. által gyártott CeeOn® típusú lencsék, mint például a CeeOn® Model 911. Ilyen esetekben célszerű egy, már klinikailag kipróbált modelltől minél kisebb mértékben eltérni. Ezért előnyös lehet megtartani a lencse központi sugarának meghatározott értékét, a lencse vastagságát és törésmutatóját, és csak az elülső és/vagy hátulsó felület alakját változtatni oly módon, hogy az elülső és/vagy hátulsó felület a gömbfelülettől eltérő legyen. Egy lehetséges változat szerint a hagyományos kiinduló lencse elülső gömbfelületét úgy modellezzük, hogy megfelelő aszférikus tagot választunk. Célszerűen a lencse legalább egy felületét a gömbfelülettől eltérően, illetve egy másféle forgáskúp alakjában határozzuk meg. Lencsék gömbfelülettől eltérő felülettel történő tervezése jól ismert és könnyen elvégezhető különböző ismert módokon. Ilyen felületek leírása részletesen megtalálható az SE 0000611-4 számú szabadalmi bejelentésben.

A találmány szerinti eljárás tovább fejleszthető egy átlagos szaruhártya és szemlencse által alkotott optikai rendszer hullámfront aberrációinak egy átlagos szaruhártya hullámfront aberrációjával történő összehasonlításával, és annak megvizsgálásával, hogy sikerült-e kellően csökkenteni a hullámfront aberrációkat. A tervezés során változtatható paraméterek általában a lencsék fent említett fizikai paraméterei, amelyek úgy módosíthatók, hogy végül is megtaláljuk azt a modellt, amely éppen elegendő eltérést mutat a gömbfelülethez képest ahhoz, hogy kompenzálni tudja a szaruhártya aberrációit.

A szaruhártya legalább egy felületének matematikai modellel történő jellemzése és ennek segítségével a hullámfront aberrációk leírása célszerűen a szaruhártya felületen végzett közvetlen mérésekkel valósítható meg. Ezek ismert topográfiai mérési eljárások, amelyek arra szolgálnak, hogy kifejezzék a szaruhártya felületének szabálytalanságait számszerű modellel. Ilyen szaruhártya felület méréseket lehet végezni például az Orbtech cég által gyártott ORBSCAN

nevű videokeratográfval vagy szaruhártya topográfiai eljárásokkal, például az EyeSys nevű eljárással, amelyet a Premier Laser Systems cég fejlesztett ki. Célszerűen legalább a szaruhártya homlokfelületét mérjük, de előnyös mind a homlokfelület, mind a hátsó felület megmérése és jellemzése, majd hullámfront
5 aberrációs terminusokban történő megfogalmazása. Ez általában olyan polinomok lineáris kombinációjával történhet, amelyek kifejezik a szaruhártya teljes hullámfront aberrációit.

A találmány szerinti eljárás egy fontos vonása a szaruhártya jellemzőinek egy meghatározott populáción történő vizsgálata, és ennek alapján egy
10 átlagos szaruhártya hullámfront aberráció meghatározása, amelynek segítségével kialakítható olyan lencse, amellyel ezek az aberrációk kiküszöbölhetők. Egy meghatározott populáció átlagos szaruhártya hullámfront aberrációit ki lehet számolni, például polinomok átlagos lineáris kombinációjával, amelyet a lencse tervezéshez használnak. A találmány ebben a vonatkozásban a különböző
15 releváns populációk meghatározását jelenti, például olyan korosztályokat, amelyek vonatkozásában kifejezhetők a szaruhártyák átlagos jellemző felületei. Célszerűen ennek alapján lehet meghatározni azokat a lencsefajtákat, amelyek az ilyen populációra jellemző átlagos szaruhártya felszínek aberrációinak kompenzálására használhatók a populációhoz tartozó betegek, például szürke
20 hályoggal műtött betegeknél használt szemlencsék kialakításához. Ennek segítségével a beteg olyan szemlencsét kaphat, amellyel a látása jobb lesz és a hagyományos gömb alakú lencsékhez képest kevesebb aberráció jelentkezik.

Célszerű, ha a szaruhártya méréseket összekapcsoljuk a szaruhártya törésmutatójának meghatározásával is. A szaruhártya törésmutatója és a szem
25 tengelyirányú hossza mérvadó a lencse törésmutatójának kiválasztására a tervezés során.

Ugyancsak célszerű, ha a hullámfront aberrációkat polinomok lineáris kombinációjával fejezzük ki, és a szaruhártya modellt, valamint a szemlencse modellt tartalmazó optikai rendszerben olyan hullámfrontot nyerünk, amelyben az
30 aberrációk lényegesen csökkentek, mint az egy vagy több ilyen polinommal leírható. Az optikában ilyen polinomok hozzáférhetők. Általában erre a célra a

Seidel vagy a Zernike polinomok használatosak. A jelen leírásban a Zernike féle polinomokat fogjuk alkalmazni.

A tökéletes gömbfelülettől eltérő optikai felületekből származó hullámfront aberrációk leírására a Zernike tagokat már régóta alkalmazzák. Az alkalmazás történhet Hartmann-Shack szenzor segítségével (J. Opt. Soc. Am., 1994, Vol 11(7), pp. 1949-57). A szakemberek számára az is jól ismert, hogy a különböző Zernike tagok különböző aberrációs jelenségeket írnak le: élettenség, asztigmatizmus, kóma, szférikus aberrációk és a különböző magasabb rendű aberrációk. A találmány szerinti eljárás egy foganatosítási módjánál a szaruhártya felületi mérések eredményeit az első tizenöt Zernike polinom lineáris kombinációjaként fejezzük ki. Sugárátvezetési eljárás segítségével a Zernike tagokból megkapható az eredő hullámfront, ahol Z_i az i -edik Zernike tag, és a_i az adott tagra vonatkozó súly (koefficiens). A hullámfront képlete az alábbi:

$$z(\rho, \theta) = \sum_{i=1}^{15} a_i Z_i \quad (1)$$

ahol a ρ és a θ a normált sugarat és azimut szöget jelenti.

Az alábbi 1. táblázat az első tizenöt Zernike tagot, valamint az általuk leírt aberrációkat mutatja be. A Zernike polinomok egy egységsugarú körön definiált teljes ortogonális polinom rendszert alkotnak.

20

25

30

1. Táblázat

i	$Z_i(\rho, \theta)$	
1	1	Piston
2	$2\rho\cos\theta$	Képző elhajlás x
3	$2\rho\sin\theta$	Képző elhajlás y
4	$\sqrt{3(2\rho^2 - 1)}$	Defocus
5	$\sqrt{6(\rho^2 \sin 2\theta)}$	Elsőrendű Asztigmatizmus 1* (45°)
6	$\sqrt{6(\rho^2 \cos 2\theta)}$	Elsőrendű Asztigmatizmus 1* (0°)
7	$\sqrt{8(3\rho^3 - 2\rho)\sin\theta}$	Kóma y
8	$\sqrt{8(3\rho^3 - 2\rho)\cos\theta}$	Kóma x
9	$\sqrt{8(\rho^3 \sin 3\theta)}$	Trifoil 30°
10	$\sqrt{8(\rho^3 \cos 3\theta)}$	Trifoil 0°
11	$\sqrt{5(\rho^4 - 6\rho^2 + 1)}$	szférikus aberráció
12	$\sqrt{10(4\rho^4 - 3\rho^2)\cos 2\theta}$	Másodrendű Asztigmatizmus 2* (0°)
13	$\sqrt{10(4\rho^4 - 3\rho^2)\sin 2\theta}$	Másodrendű Asztigmatizmus 2* (45°)
14	$\sqrt{10(\rho^4 \cos 4\theta)}$	Tetrafoil 0°
15	$\sqrt{10(\rho^4 \sin 4\theta)}$	Tetrafoil 22,3°

5 A mesterséges szemlencsék hagyományos optikai korrekciójával a beültetett szemlencsét tartalmazó szem optikai rendszere csak a negyedik tagnak megfelelően korrigálható. Szemüvegek, kontaktlencsék és bizonyos különleges mesterséges szemlencsék asztigmatizmusának korrekciója megfelel lehet akár az ötödik vagy hatodik Zernike polinom redukálásának.

A találmány szerinti eljárás segítségével kiszámíthatók egy olyan optikai rendszer hullámfront aberrációi, amelyben a leírt módon modellezett szemlencse és szaruhártya található, és ez kifejezhető a polinomok lineáris kombinációjával. Az így előállított modellek a hullámfront aberrációt általában megfelelően korrigálják. Ha a hullámfront aberráció korrekciója nem bizonyult kielégítőnek, a lencse újramodellezését kell elvégezni mindaddig, amíg egy vagy több polinomot sikerül redukálni. Az újramodellezés gyakorlatilag azt jelenti, hogy legalább egy paramétert megváltoztatunk. Ezek a paraméterek lehetnek: az elülső felület alakja és sugara, a hátulsó felület alakja és sugara, a lencse vastagsága és törésmutatója. Általában az ilyen újramodellezés során megváltoztatjuk a lencsefelület alakját oly módon, hogy megfelelően eltérjen a gömbfelülettől. A lencsetervezési eljárások között ismeretesek olyan megoldások, amelyeket a tervezés során hasznosítani lehet. Ilyen például az un. OSLO 5 Verzió (Program Reference, Chapter 4, Sinclair Optics 1996). Az eljárás során ugyancsak az 1. táblázatban bemutatott Zernike polinomokat lehet felhasználni.

A találmány szerinti megoldás egy célszerű fogantatási módjánál a szaruhártya felületet a Zernike polinomok lineáris kombinációjával írjuk le, és így határozzuk meg a szaruhártyán áthaladt hullámfront Zernike koefficienseit, azaz azokat a koefficienseket, amelyek az egyes kiválasztott Zernike polinomokhoz tartoznak. Ezután a lencsét úgy modellezzük, hogy az adott lencsét és a szaruhártyát tartalmazó optikai rendszer által létrehozott hullámfront kiválasztott Zernike koefficiensei eredményesen redukálódjanak. Az eljárást adott esetben finomítani lehet további lépésekkel, amelyek során a hullámfrontot leíró Zernike polinomok koefficienseit számítjuk ki olyan optikai rendszerre vonatkozóan, amelyben a modellezett szemlencse és szaruhártya szerepel, majd meghatározzuk, hogy az adott lencse megfelelően redukálja-e a hullámfront Zernike koefficienseit, és adott esetben ismételt elvégezzük a lépéseket mindaddig, amíg a megfelelően redukált koefficienseket megkapjuk. Célszerűen ebben a vonatkozásban csak negyedrendig vesszük figyelembe a Zernike polinomokat, és megfelelően redukáljuk a Zernike koefficienseket a szférikus aberrációra és/vagy az asztigmatizmusokra vonatkozóan. Különösen célszerű a tizenegyedik Zernike koefficiens oly módon redukálni, hogy szférikus aberrációtól mentes szemet

lehessen kialakítani. Másfelől, a tervezési eljárás során elvégezhetjük a magasabb rendű aberrációk redukcióját is, hogy az ezekhez tartozó Zernike koefficiensek redukálásával negyedrendűnél magasabb aberrációkat is csökkenteni lehessen.

5 Amikor olyan lencsét tervezünk, amelyek adatait a populáció egy meghatározott részéből nyertük, célszerű minden egyén szaruhártya felületét olyan Zernike polinomokkal leírni, amelyek a topográfiát követik, és ebből a hullámfront aberráció Zernike koefficienseit meghatározni. Ezekből az eredményekből ki lehet számolni a Zernike hullámfront aberrációs együtthatók átlagait,
10 és a tervezést ezekkel lehet végezni oly módon, hogy a kiválasztott koefficiensek megfelelő redukciója valósuljon meg. Elvégezhető az eljárás oly módon is, hogy ehelyett a felületi topográfiát leíró Zernike polinomok átlagos értékét számítjuk ki és használjuk fel. Azt kell szem előtt tartani, hogy az eljárás során nyert lencsék, amelyeket lényegében egy meghatározott populáció adatai alapján terveztünk,
15 alkalmasak legyenek valamennyi egyén látásminőségét javítani. Az olyan lencsék, amelyek az átlagértékekre alapozva tökéletesen kiküszöbölik a hullámfront aberrációt, kevésbé kívánatosak ily módon, mert a csoport bizonyos egyedei részére rosszabb eredményt szolgáltatnak. Ezért célszerű a kiválasztott Zernike koefficienseket az átlagérték csak bizonyos fokáig redukálni.

20 A találmány szerinti eljárás egy másik változatánál a kiválasztott csoport szaruhártya tulajdonságait írjuk le polinomok lineáris kombinációjával, például Zernike polinomok segítségével az egyes egyének szaruhártya aberrációit kifejezve, össze lehet ezeket hasonlítani az együttható értékek alapján. Ebből a koefficiensek megfelelő értékei választhatók ki és alkalmazhatók a lencse tervezése során. Egy adott típusú aberrációval rendelkező populáció esetén ez a
25 koefficiens érték lehet tipikusan a legkisebb érték az adott populáción belül, és az ebből az értékből tervezett lencse az adott csoport minden egyede számára jobb látást biztosít, mint a hagyományos lencsék.

Az eljárás egy változata szerint kiválasztjuk a betegek egy reprezentáns
30 csoportját és összegyűjtjük minden alany esetén a szaruhártyájának topográfiai adatait. Ezután külön-külön minden egyes beteg adatait átalakítjuk a szaruhártya felületének alakját megadó tagokká a pupilla átmérőjét jellemző előre meghatá-



rozott apertúra méret esetén. Ezt követően kiszámoljuk az adott csoportra legalább az egyik szaruhártya felületet megadó tag átlagát. Kiszámolhatjuk ehelyett vagy emellett az átlagát a szaruhártyának megfelelő hullámfront aberrációt leíró tagok legalább egyikének is. A hullámfront aberrációt leíró tagokat a megfelelő, szaruhártya felületet megadó tagok sugárátvezetési transzformációjával nyerjük. Az így kapott legalább egy szaruhártya felületet vagy a szaruhártya hullámfront aberrációját megadó átlagolt tag segítségével olyan szemlencsét tervezünk, amelyben legalább egy átlagos hullámfront aberráció kiküszöbölhető az optikai rendszerből.

10 A találmány szerinti eljárás egy további célszerű fogatosítási módjánál megtervezünk egy átlagolt szaruhártya modellt egy meghatározott csoport számára legalább egy átlagos szaruhártya felületi tagból vagy legalább egy átlagolt szaruhártya hullámfront aberráció tagból. Az eljáráshoz tartozik még annak ellenőrzése, hogy a megtervezett szemlencse megfelelően korrigálja-e a legalább egy átlagolt aberrációs tagot. Ezt úgy lehet elvégezni, hogy megmérjük ezeket a konkrét aberrációs tagokat a modellezett átlagos szaruhártyán és lencsén keresztülhaladó hullámfront esetén. Amennyiben legalább egy aberrációs tag nem kellőképpen redukált a mért hullámfrontban az említett lencsét újratervezzük.

20 A tervezett lencse számára célszerűen egy vagy több olyan konstans számolunk ki, amelyek leírják a felületet (aszférikusságot), a szaruhártya felület alakját leíró átlagolt tagból vagy az átlagolt szaruhártya hullámfront aberrációs tagból, egy előre meghatározott sugár esetén. A gömbsugár értékét a lencse törőerejéből számítjuk.

25 A szaruhártya felületeket célszerűen matematikai modellekkel írjuk le, és a szaruhártya felület aberrációját a matematikai modell alkalmazásával sugárkövetési technikával számítjuk ki. Így kiszámíthatjuk a szaruhártya hullámfront aberrációját, azaz a hullámfront azon aberrációját, amely az ilyen szaruhártya felületen történő áthaladás során létrejön. Az alkalmazott matematikai modelltől függően különböző módokon lehet a szaruhártya hullámfront aberrációját kiszámítani. Célszerűen a szaruhártya felületeket matematikai modellel írjuk le forgási

felületekként vagy polinomokkal, illetve a kettő kombinációjával. Előnyösen a szaruhártya felületeket polinomok lineáris kombinációjával lehet leírni.

A találmány szerinti eljárás egy másik fogatosítási módjánál a lencse legalább egy nem szférikus felületét olyanra tervezzük, hogy a lencse a szembe
5 helyezve az áthaladt hullámfrontban legalább egy olyan hullámfront aberrációs tagot hozzon létre, amely lényegében azonos értékű, de ellentétes előjelű, mint a megfelelő aberrációs tagnak egy olyan kiválasztott embercsoportnál végzett szaruhártya mérésekből kapott középértéke, mint amelybe az adott beteg besorolható. Ezáltal a beteg szaruhártyájáról érkező hullámfrontban az adott aberrá-
10 ciós tag csökken, miután áthaladt a tervezett lencsén. A szemben a fenti vonatkozásban a valóságos szemet vagy egy modellezett szemet értünk.

A találmány szerinti eljárás egy speciális változatánál a hullámfront redukált aberrációs tagokra tesz szert, amelyeket a negyedrendűnél nem magasabb forgásszimmetrikus Zernike tagokkal lehet kifejezni. Ebből a célból a szemlencse
15 felületét úgy tervezzük, hogy az áthaladó hullámfront pozitív szférikus aberrációját csökkentse. Ennek eredményeképpen, ha a szaruhártya ideális lencseként működik, és nem eredményez semmilyen hullámfront aberrációt, akkor a szemlencse a szaruhártyával együtt olyan rendszert képez, amely negatív szférikus aberrációval jellemezhető. A pozitív szférikus aberrációt úgy lehet definiálni,
20 hogy egy konvex gömbfelület pozitív szférikus aberrációt eredményez. Célszerűen a lencsét úgy kell kialakítani, hogy kompenzálja a szférikus aberrációt és előnyösen a hullámfront aberrációt leíró legalább egyik Zernike polinomot is, . előnyösen legalább a tizenegyedik Zernike tagot (1. Táblázat).

A vizsgálatra kiválasztott csoport lehet például olyan egyének csoportja,
25 amelyek egy meghatározott életkor tartományba tartoznak, olyan emberek, akiket szürke hályoggal fognak műteni, vagy emberek csoportja, akik szaruhártya műtéten estek át, mégpedig előnyösen lézer in situ keratomileusis, radiál keratotómia vagy fotorefraktív keratotómia műtéten. Kiválasztottunk olyan csoportot is, amelyik speciális szembetegségben szenvedő emberekből áll.

30 Az adott lencse természetesen megfelelő törőerővel kell rendelkezzen. Ezt a hagyományos eljárásokkal állítjuk be a kívánt korrekció függvényében. Célszerűen a lencse törőereje kisebb, vagy egyenlő 30 dioptriával a kívánt

korrekció függvényében. Az aberrációk kompenzálására szolgáló lencse tervezésekor tipikusan olyan optikai rendszert tekintünk, amely a lencséből és az átlagos szaruhártyából áll, de adott esetben a rendszer tartalmazhat további optikai elemeket, például szemüveglencsét vagy mesterséges lencsét, 5 úgymint kontaktlencsét, beültetett szaruhártya részeket vagy beültethető korrekciós lencsét.

A találmány szerinti eljárás egy különösen célszerű foganatosítási módjánál a szemlencsét olyan emberek számára terveztük, akiket szürke hályoggal fognak operálni. Ebben az esetben kimutatható, hogy az ilyen populáció átlagos 10 szaruhártyáját egy ellipszoid jellegű felülettel lehet az alábbiak szerint leírni:

$$z = \frac{\left(\frac{1}{R}\right)r^2}{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1}{R}\right)^2(cc + 1)r^2}} + adr^4 + aer^6$$

ahol

- (i) a cc kúpossági tényező (-1 és 0 közötti érték),
- (ii) R a központi lencsesugár
- 15 (iii) ad és ae aszférikus polinom együtthatók.

A vizsgálatok azt mutatták, hogy az ellipszoid kúpossági tényezője általában 0,05-től (4 mm-es pupilla átmérőre vonatkoztatva) 0,18-ig (7 mm-es pupilla átmérőre vonatkoztatva) terjed. Ennek megfelelően egy látásjavító szemlencse, amely a szürkehályoggal operált betegek látás minőségét javítja legalább 20 a szférikus aberráció csökkentésével, az átlagos szaruhártyával számolva a fenti egyenletnek megfelelő ellipszoid jellegű felülettel írható le. Minthogy a szaruhártya általában pozitív szférikus aberrációt eredményez a szembe beültetendő lencse negatív szférikus aberrációval kell rendelkezzen, miközben a felülete megfelel a fenti egyenlettel leírt felületnek.

25 Amint azt a későbbiekben részletesen ismertetni fogjuk, vizsgálataink azt mutatták, hogy egy olyan szemlencse, amely az átlagos szférikus aberrációt 100 %-ban korrigálni tudja, 0-nál kisebb értékű kúpossági tényezővel (cc) kell rendelkezzen, amely egy módosított kúpfelületet ír le. A pontos érték a tervezett pupilla átmérőtől és a választott törőerőtől függ. Egy 6 mm-es apertúra átmérő esetén

például 22 dioptriás lencse adódik egy kb. 1,03 értékű cc kúpossági tényezővel. Ennél a kiviteli alaknál a szemlencsét úgy terveztük, hogy kiegyenlítse egy olyan szaruhártya szférikus aberrációját, amelynek a szférikus aberrációt megadó Zernike polinom együtthatóé OSLO szoftvernek megfelelő alakban felírt polinomok esetén 0,000156 - 0,001948 mm közé esik 3 mm-es pupilla sugár esetén, 0,000036 - 0,000448 mm közti 2 mm-es apertúra sugár esetén, 0,0001039 - 0,0009359 mm közti 2,5 mm-es apertúra sugár esetén és 0,000194 - 0,00365 mm közti 3,5 mm-es apertúra sugár esetén. Ezeket az értékeket egy-felületű szaruhártya modellből számítjuk, 1,3375 törésmutató esetén. Természetesen egyéb optikai szempontból ekvivalens modellek is alkalmazhatók, anélkül, hogy eltérnénk a találmány gondolatától. Felhasználhatók például több felületű szaruhártyák, vagy változó törésmutatóval rendelkező szaruhártyák. A megadott intervallum alsó értékeit úgy nyertük, hogy a mért átlagos értékekből (adott apertúra sugár esetén) kivontuk a szórást. A felső értékeket pedig úgy kaptuk, hogy a mért átlagos értékekhez hozzáadtuk a szórás háromszorosát. Az átlagos értékeket és a szórási értékeket a 8., 9., 10. és 11. táblázatok mutatják. Annak a magyarázata, hogy a számítás során miért egyszeres standard szórást vontunk le és ugyanakkor ennek háromszorosát adtuk hozzá az átlagos értékekhez az, hogy kényelmesebb a számítás, ha csak a szaruhártya pozitív szférikus aberrációját kompenzáljuk, és egynél nagyobb mínusz értékek hozzáadása negatív szférikus aberrációt eredményezne.

A találmány szerinti eljárás egy célszerű foganatosítási módjánál a beteg szaruhártyájának legalább egy hullámfront aberrációját megmérjük, és meghatározzuk, hogy az adott csoportra, amelyet az adott betegre kiválasztottunk, jellemzők-e ezek a paraméterek. Ha igen, a kiválasztott lencsét beültetjük, ha nem, egy másik csoporthoz tartozó lencsét vagy kifejezetten erre a betegre számított lencsét ültetünk be, amelyet ezen beteg szaruhártya paraméterei alapján terveztünk. Ezek az eljárási lépések azért előnyösek, mert az extrém aberrációjú szaruhártyával rendelkező betegek egyéni kezelésben részesülhetnek.

Egy másik foganatosítási mód szerint az eljárás során kiválasztunk egy meghatározott törőerejű szemlencsét, amely alkalmas az adott beteg optikai korrekciójára. A lencsét egy olyan lencse csoportból választjuk ki, amelyek

törőereje azonos, de különböző aberrációkkal rendelkeznek. A kiválasztásos eljárást lényegében azonosan végezzük a fentebb ismertetett tervezési eljárással, és ugyancsak elvégezzük legalább egy szaruhártya felület matematikai modellezését, amelynek segítségével a szaruhártya felület aberrációit kiszámítjuk. A kiválasztott lencséből és a szaruhártya modellből álló optikai rendszert ezután kiértékeljük oly módon, hogy megvizsgáljuk, vajon ebben a rendszerben az aberrációk csökkentése megfelelő volt-e a rendszerből érkező hullámfront aberrációjának számítása alapján. Ha a korrekció nem megfelelő, egy másik lencsét választunk ugyanilyen törőerővel, de más aberrációval. Az itt alkalmazott matematikai modellek azonosak a fent leírtakkal, és a szaruhártya felületének modellezése is hasonlóképpen történik.

Célszerűen a kiválasztás során meghatározott aberrációkat ugyancsak a Zernike polinomok kombinációjával írjuk le, és az adott szaruhártya modell, valamint a kiválasztott lencse által képezett rendszer Zernike koefficienseit is kiszámoljuk. A rendszer koefficienseiből meghatározható, hogy az adott lencse kellőképpen ellensúlyozza-e a szaruhártya aberrációkat, amelyeket az adott optikai rendszer Zernike koefficiensei írnak le. Ha nem tapasztalunk elegendő csökkenést ezekben az együtthatókban, iteratív módon további lépéseket teszünk, azaz újabb lencsét választunk azonos törőerővel, de különböző aberrációval, mindaddig, amíg az adott lencse az optikai rendszer aberrációját megfelelően korrigálja. Célszerűen, az eljárás során legalább 15 Zernike polinomot határozunk meg negyedrendig elmenve. Amennyiben megelégszünk a szférikus aberráció korrekciójával, a lencse és az adott szaruhártya által alkotott optikai rendszer Zernike polinomjai közül csak a szférikus aberrációt megadó tagot korrigáljuk. Nyilvánvaló, hogy a lencsét úgy kell kiválasztani, hogy a kiválasztott tagok elegendően kicsinyek legyenek az adott szaruhártyából és lencséből álló optikai rendszerben. A találmány szerint a tizenegyedik Zernike együttható (a_{11}) lényegében kiküszöbölhető vagy közel 0-vá tehető. Ez alapfeltétel ahhoz, hogy olyan szemlencsét tudjunk kialakítani, amely kellőképpen redukálja a szem szférikus aberrációját. A találmány szerinti eljárás alkalmazható más típusú aberrációk kezelésére is, ha más Zernike együtthatókat veszünk figyelembe hasonló módon. Az eljárás így alkalmas, például az asztigmatizmus, kóma, vagy

magasabb rendű aberrációk csökkentésére is. A magasabb rendű aberrációk is kiküszöbölhetők, attól függően, hogy hány Zernike polinomot választunk ki a modellezéshez. Így akár negyedrendűnél magasabb aberrációt is redukálni lehet.

- 5 A találmány szerinti eljárás egyik változatánál a kiválasztás egy olyan lencse készletből történik, melyben különböző törőerejű és minden törőerőhöz különböző aberrációjú lencsék vannak. Lehet olyan változat, ahol minden egyes törőerőhöz olyan lencsék találhatók, amelyek elülső felületei különböző aszfericitással rendelkeznek. Ha egy első lencse nem rendelkezik megfelelő
- 10 aberráció csökkentő hatással, a Zernike koefficiensek alapján, akkor egy új, azonos törőerejű lencsét kell kiválasztani, amelynek azonban más a felülete, vagyis az aszférikus komponense. A kiválasztásos eljárást szükség esetén iteratív módom ismételhetjük mindaddig, amíg a legjobb lencsét megtaláljuk, illetve a vizsgált aberrációs tagok egy meghatározott határérték alá csökkennek.
- 15 A gyakorlatban a szaruhártya vizsgálatokból adódó Zernike tagok közvetlenül hozzáférhetőek a szemsebész részére, és megfelelő algoritmus segítségével összehasonlíthatók az adott lencse ismert Zernike tagjaival. Ebből az összehasonlításból már megtalálható a készletből az optimális lencse és azonnal be is ültethető. Lehetséges az is, hogy az eljárást a szürkehályog operáció előtt
- 20 végezzük, és a kapott értékeket a lencse gyártóval közöljük, a megfelelő egyénre szabadon kialakított lencse gyártásához.

- A jelen találmány tárgya továbbá egy olyan szemlencse, amelynek legalább egy olyan gömbfelülettől eltérő felülete van, amely a szaruhártyáról érkező hullámfrontból gyakorlatilag gömbszerű hullámfrontot képez, oly módon, hogy
- 25 annak gyújtópontja a retinán helyezkedik el. Célszerűen a hullámfront gömbszerű a forgásszimmetrikus negyedrendűnél nem magasabb rendű Zernike tagokkal kifejezett aberrációs tagokat illetően is.

- Egy célszerű kiviteli alaknál a találmány szerinti szemlencse rendelkezik legalább egy olyan felülettel, amelyet normált alakú Zernike polinomok kombinációjával leírva a negyedrendű 11-dik Zernike tag a_{11} koefficiense negatív, és
- 30 amely képes kiegyenlíteni a szaruhártya ugyanezen pozitív tagját, és így a lencsének a beültetés után megfelelő szférikus aberráció csökkentő képessége

van. A találmány szerint az alkalmazandó lencse a_{11} Zernike koefficiensét úgy határozzuk meg, hogy kompenzálja az a_{11} Zernike koefficiens több szaruhártya esetén becsült értékeinek átlagos értékét. Másfelől, az a_{11} Zernike koefficiens meg lehet határozni oly módon is, hogy csakis egy beteg egyéni szaruhártya
5 együttthatóját kompenzálja. Így a lencse egyetlen betegre van pontosan kialakítva.

A találmány tárgya továbbá a beteget olyan szembe ültethető lencsével ellátó eljárás, amely legalább részben kompenzálja a szem leképzési hibáit. Az eljárás során eltávolítjuk a szemből a természetes lencsét. Az alkalmatlan
10 lencse sebészeti úton történő eltávolítása történhet a hagyományos phaco-emulzifikációs módszerrel is. Következő lépésként megmérjük a lencse nélküli aphalic szem aberrációját egy hullámfront szenzorral. A hullámfront mérésekre alkalmas eljárásokat találhatunk a f. Opt. Soc. Ezután egy lencse készletből kiválasztunk egy olyan lencsét, amely legalább részben kompenzálja a mért
15 aberrációt, és beültetjük ezt a szembe. A lencsekészlet különböző törőerejű és aberrációjú lencsákat tartalmaz, és az előnyös lencse kiválasztása történhet a fent bemutatott módon. Másik lehetőség, hogy az aphalic szem hullámfront analízise alapján egyedi tervezésű lencsét készítünk a beteg számára, és ez kerül beültetésre. Ez az eljárás azért előnyös, mert nincs szükség a szaruhártya
20 topográfiai mérésére, és automatikusan figyelembe vesszük a teljes szaruhártyát – az elülső és hátulsó felületét is.

A találmány szerinti lencsék előállíthatók a hagyományos módon. A lencsék készülhetnek lágy, rugalmas anyagból, például szilikonokból vagy hidrogélekből. Ilyen anyagok ismertek és találhatók többek között az US
25 5,444,106 vagy az US 5,236,970 számú szabadalmi leírásokban. Nemszférikus szilikon lencsék előállítása történhet az US 6,007,747 számú szabadalmi leírásban ismertetett módon. A lencsék azonban készülhetnek ridegebb anyagból, például poli(metil)metakrilátból is. Nyilvánvaló, hogy a szakember ezeket a lencsákat és anyagokat jól ismeri és gyártásuk sem okozhat nehézséget.

30 A találmány további részleteit kiviteli példákon, rajz segítségével ismertetjük. A rajzon az

1. ábra tíz személyre vonatkozóan mutatja egy hagyományos CeeOn® 911 típusú és a találmány szerinti átlagolt Z11 típusú lencse a_{11} Zernike koefficiensének értékét, a
2. ábra a fenti személyek modellezett látásélességét mutatja a hagyományos CeeOn® 911 típusú és a találmány szerinti Z11 típusú lencsék esetén, a
3. és 4. ábra ugyanezen lencsék összehasonlítását mutatja a modulációs átviteli függvényekre vonatkozóan, az
5. ábra a látásélességet mutatja a találmány szerinti eljárással modellezett lencsénél az asztigmatizmus függvényében, a
6. ábra a találmány szerinti lencsék legjobb korrigált látásélességét mutatja, a
7. és 8. ábrák egy adott egyénre tervezett egyedi lencsék modulációs átviteli függvényeit mutatják, a
9. ábrán a találmány szerint egyedileg tervezett lencsékkel elért legjobb látásélesség korrekció látható, a
10. ábra egy 71 tagból álló csoport koreloszlását, a
11. ábra Orbscan® eljárással kapott magassági térkép, a
12. ábra átlagos szaruhártya hullámfront aberrációs együtthatókat szemléltet, a
13. ábrán a 71 beteg szférikus aberráció eloszlása látható 6 mm-es apertúra átmérőnél, a
14. ábrán ugyanezen betegek szférikus aberráció eloszlása látható 4 mm-es apertúra átmérőnél, a
15. ábra a betegek szférikus aberráció eloszlását mutatja 5 mm-es apertúra átmérőnél, és a
16. ábra a szférikus aberráció eloszlás 7 mm-es apertúra átmérőnél.

1. Példa

Tíz beteg szaruhártya felületét írtuk le a Zernike polinomok segítségével. A szaruhártya megereszkedésének mértékét egy Humphrey Atlas típusú szaruhártya topográffal mértük, amely az adott z_i magasságokat nagyszámú diszkrét pontban mérte. A szaruhártya felületet az első 15 Zernike polinom lineáris kombinációjával írtuk le (az (1) egyenlet segítségével), ahol Z_i a Zernike polinom és a_i az ehhez a polinomhoz tartozó súly. A Zernike polinomok egy teljes ortogonális polinom rendszert határoznak meg egy egységkörön. Ezek a polinomok (ame-



lyek az 1. táblázatban találhatók), valamint az a_i együtthatók a Gram-Schmidt ortogonalizációs eljárás segítségével számíthatók a magassági adatokból. A tíz beteg szaruhártyájára vonatkozó Zernike együtthatókat a 2. táblázatban mm-ben tünteti fel.

5

2. TÁBLÁZAT

	ACH	ASA	CGR	CNR	FCA	FCM	FCZ
a1	-7.713337	-6.698643	-7.222353	-7.169027	-7.001356	-7.322624	-7.03713
a2	0.000271	-0.000985	0.000386	-0.000519	0.000426	-0.000094	-0.000236
a3	0.000478	-0.000002	-0.000847	0.000996	-0.000393	0.000045	0.000454
a4	0.073309	0.083878	0.077961	0.078146	0.080111	0.077789	0.079987
a5	-0.000316	-0.000753	0.000119	0.000347	-0.001197	0.00022	-0.000071
a6	0.001661	0.000411	-0.000148	-0.000386	0.000314	0.000669	0.00079
a7	0.000193	0.00006	-0.000295	0.000324	-0.000161	-0.000058	0.000148
a8	0.000098	-0.000437	0.000146	-0.00018	0.000147	0.000039	-0.000076
a9	-0.000091	-0.000168	-0.000107	0.000047	-0.000181	-0.000154	-0.000043
a10	-0.000055	0.000139	-0.000132	-0.000149	0.000234	-0.000228	0.000244
a11	0.000277	0.000394	0.000203	0.000305	0.000285	0.000315	0.000213
a12	-0.000019	-0.000105	0.000025	0.00007	-0.000058	-0.000033	0.00009
a13	0.000048	0.000032	0.000085	0.000017	0.000039	0.000059	0.000022
a14	-0.000067	0.000041	-0.000081	-0.000049	0.000118	-0.000108	0.000127
a15	-0.000048	-0.000075	-0.000073	-0.000019	-0.000036	-0.000119	-0.000021

	FGP	JAE	JBH
a1	-7.84427	-7.582005	-6.890056
a2	-0.00056	-0.000344	-0.000155
a3	0.000347	0.000246	-0.000558
a4	0.072595	0.075803	0.081415
a5	0.000686	-0.000388	-0.000269
a6	-0.00048	0.001688	0.001492
a7	0.00014	0.000104	-0.000227
a8	-0.00025	-0.000173	-0.000116
a9	0.000092	-0.000023	-0.000109
a10	-8.2E-05	-0.000004	0.000065
a11	0.000308	0.000309	0.0004
a12	-2E-06	-0.000115	-0.00011
a13	0.000101	-0.000042	-0.000052
a14	-1.9E-05	-0.000068	0.00001
a15	0.000022	-0.000013	-0.000048

Ezeket a hullámfront aberráció együtthatókat optikai tervező szoftver, például a Sinclair Optics által forgalmazott OSLO nevű szoftver segítségével lehet kiszámítani. A 3. táblázatban az FCM jelű beteg ilyen módon számított hullámfront aberrációja látható. (Az OSLO nevű szoftverben a polinomok norma-



lizálására szolgáló faktor különbözik a 3. táblázatban bemutatottól, ezt a különbözőséget a koefficiensek értékeibe beépítettük.)

3. T Á B L Á Z A T

5

Aberrációs koefficiensek

A0	-0.000123
A1	4.5960e-07
A2	2.0869e-07
A3	-5.355e-06
A4	0.000551
A5	0.000182
A6	3.7296e-05
A7	-5.5286e-05
A8	0.000116
A9	-0.000217
A10	-0.000147
A11	-3.8151e-05
A12	6.1808e-05
A13	-3.3056e-07
A14	4.888e-07
A15	-1.8642e-06
A16	-0.000115
A17	-0.000127

20

2. Példa

Egy átlagolt értékekből számolt lencsét terveztünk, és ehhez az átlagos "öreg" szaruhártyára vonatkozó információk Pablo Artaltól (Murcia, Spanyolország) származnak. Az adatokat egy 16 főből álló csoportból nyerték, ahol valamennyi beteg látásélessége 20/30 vagy ennél jobb volt. A szaruhártya felületeket olyan Zernike polinomokkal írtuk le, amelyek 2 mm-es apertúra sugár (r₀) vonatkoztak. A polinom koefficienseit ezután a sugár és az aszféríkussági értékek kiszámítására használtuk az alábbi egyenletek alapján:

25

$$R = \frac{r_0^2}{2(2\sqrt{3a_4} - 6\sqrt{5a_{11}})} \quad (2)$$

30

$$K^2 = \frac{8R^3}{r_0^4} 6\sqrt{5a_{11}} \quad (3)$$

Megjegyezzük, hogy a K aszféríkussági állandó a felület eltérését írja le egy gömbfelületből. $[(K^2 = 1 - e^2)]$ egy gömbfelületre vonatkozóan $K=1$, parabola esetén $K=0$. $(cc=K^2-1)$, ahol cc a kúpossági tényező.]

5 Tekintettel arra, hogy a szaruhártya felületét csak egy 4 mm átmérőjű középső tartományban írtuk le, a kiszámított R és K értékek csak ezen belül pontosak. Egy 4 mm-es pupilla méretet választottunk éppen ezért a tervezéshez. Ez a pupilla méret reális a beültetendő szemlencsék tervezéséhez.

Egy 22D CeeOn 911 (a Pharmacia Co. által gyártott) lencsét választottunk kiindulásként az átlagolt lencse tervezéséhez. Összehasonlítás céljából az
10 átlagolt lencsét is 22 dioptriásra készítettük. (Nyilvánvaló, hogy egyéb dioptriák is hasonló szimulációs eredményre vezetnének, feltéve, hogy a lencsék felülete azonos.) A kiinduló szem modell felületére vonatkozó információkat a 4. táblázat tartalmazza. Az itt lévő kúpossági és aszféríkussági adatok közt, valamint az átlagos cc kúpossági tényezőt az 1. példában bemutatott tíz szaruhártya adatai
15 alapján számoltuk.

4. T Á B L Á Z A T

Felület #	Sugár (mm)	Vastagság (mm)	Apertúra sugár (mm)	Kúpossági tényező	Törésmutató
Tárgy	-	∞	2,272611		1,0
1 (szaruhártya)	7,573	3,6	2,272611	-0,0784*	1,3375
2 (pupilla)	-	-	2,0	-	1,3375
3	-	0,9	2,0	-	1,3375
4 (lencse)	11,043	1,14	3,0	-	1,4577
5 (lencse)	-11,043	17,2097	3,0	-	1,336

*Az "átlagos" szaruhártyára vonatkozó kúpossági tényezőt Guirao és Artal publikációiból vettük.
20

Az 5. táblázat első oszlopában az átlagos szaruhártya hullámfront aberrációkoefficienseit tüntettük fel mm-ben, a második oszlop pedig az átlagos

szaruhártya és a 911 jelű lencse kombinációjából adódó koefficienseket tartalmazza ugyancsak mm-ben. Megjegyezzük, hogy a Z_{11} (a_{11}) koefficiens az átlagos "öreg" szaruhártyára önmagában 0,000220 mm, míg ugyanerre a szemre vonatkozóan egy beültetett 911 jelű lencsével ez az érték 0,000345 mm volt.

5

5. T Á B L Á Z A T

Koefficiens	Átlagos szaruhártya	Átlagos szaruhártya + 911
a1	0,000432	0,000670
a2	0,0	0,0
a3	0,0	0,0
a4	0,000650	0,00101
a5	0,0	0,0
a6	0,0	0,0
a7	0,0	0,0
a8	0,0	0,0
a9	0,0	0,0
a10	0,0	0,0
a11	0,000220	0,000345
a12	0,0	0,0
a13	0,0	0,0
a14	0,0	0,0
a15	0,0	0,0

10 Az átlagos értékekkel tervezett lencsét úgy optimalizáltuk, hogy a szférikus aberrációt a minimálisra csökkentsük, miközben megtartjuk a 22 dioptriás fókusz távolságot. A lencse anyagaként megtartottuk a 22 dioptriás 911 jelű lencse anyagát, ami HRI szilikon, aminek a törésmutatója 1,45 77, 37 °C hőmérsékleten. Egy egyen-konvex lencse tervét a 6. táblázat mutatja. A teljes szemre vonatkozó Z_{11} koefficiens egy átlagos szaruhártya és a fenti lencse kombináci-

ójára $-2,42 \times 10^{-7}$ mm (szemben egy 911 jelű lencse és a szaruhártya kombinációjából adódó 0,000345 mm értékkel).

6. T Á B L Á Z A T

5

Felület #	Átmérő (mm)	Vastagság (mm)	Apertúra sugár (mm)	Kúpossági tényező	4-ed rendű aszfericitás tényező
Tárgy	-	∞	2,272611		
1 (szaruhártya)	7,573	3,6	2,272611	-0,0784*	
2 (pupilla)	-	-	2,0	-	
3	-	0,9	2,0	-	
4 (lencse)	10,0	1,02	3,0	2,809	-0,000762
5 (lencse)	-12,0	17,2097	3,0	-	

Felület #	6-od rendű aszfericitás tényező	Törésmutató
Tárgy	-	1,0
1 (szaruhártya)		1,3375
2 (pupilla)	-	1,3375
3	-1,805e-05	1,3375
4 (1 lencse)	11,043	1,4577
5 (2 lencse)	-11,043	1,336

A tíz beteg szaruhártya adatait kombináltuk mind a 911 jelű, mind pedig-
 10 len a találmány szerinti átlagolt lencsével egy optikai rendszerben. Az így kapott,
 teljes szemre vonatkozó Z11 koefficienseket mutatjuk be az 1. ábrán. Itt látható,

hogy minden esetben a Z11 koefficiensek abszolút értéke kisebb a beültetett Z11
 lencsék esetén. Minthogy a CGR és FCZ jelű személyek szaruhártyájának
 szférikus aberrációja viszonylag csekély, ennél a két esetben a teljes szemre
 vonatkozó szférikus aberráció értékét túlkorrigáltuk. Ennek eredményeképpen a
 5 teljes szférikus aberráció előjele láthatóan megfordult ebben a két esetben és a
 nagysága még mindig jelentős. Minden más esetben a teljes szem szférikus
 aberrációja gyakorlatilag 0 lett a Z11 lencsék beültetése után. A tíz kísérleti alany
 látásélességét úgy számoltuk, ahogy az Greivenkamp és társai "Visual acuity
 modeling using optical raytracing of schematic eyes" c. cikkében szerepel. Ezt az
 10 eljárást alkalmaztuk mind a 22 dioptriás 911 jelű, mind pedig a 22 dioptriás
 átlagolt Z11 jelű lencsék esetében. A négyszögjelre adott válaszokat az OSLO™
 szoftverrel számoltuk, és a szoftver modult Matlab™ rendszerben írtuk a látás-
 élesség kiszámításához. Az így kapott látásélesség értékeket a 2. ábrán mutatjuk
 be. Az itt látható tíz vizsgált esetből nyolcan jobban láttak a találmány szerinti
 15 átlagolt lencse beültetése után. Azokban az esetekben, ahol a látásélesség
 csökkent, a Snellen távolság 25,4 mm-nél kisebb értékkel növekedett, ami nem
 lenne kimutatható egy látásélességi vizsgálaton.

Annak érdekében, hogy megvizsgáljuk a CeeOn 911A és a találmány
 szerinti átlagolt lencsék közötti optikai minőségbeli különbséget, megterveztünk
 20 és legyártottunk egy átlagos szaruhártya modellt. Ez egy konvex-sík lencse
 polimetilmetakrilátból, amelynek aszférikus homlokfelületére vonatkozóan az a11
 Zernike koefficiens értéke 0,000218. Ez az érték csaknem egyenlő a kiszámított
 átlagos szaruhártyafelületre vonatkozó értékkel, amely 0,000220. A
 polimetilmetakrilát modellel egy optikai padon MÁF (moduláció átviteli függvény)
 25 méréseket végeztünk a kiátlagolt Z11 lencsét és a CeeOn 911A jelű lencsét
 tartalmazó szem modellben. A moduláció átviteli függvény mérés egyébként
 széles körben elterjedt módszer a képminőség számszerűsítésére.

A MÁF mérések, valamint az MÁF frekvencia görbék (50c/mm fókuszá-
 lással mindkét esetben 3 mm pupilla sugárral) a 3. és 4. ábrán láthatók, 20
 30 dioptriás optikai lencsékre vonatkozóan. Az MÁF kereszt fókusz 0,2 MÁF egysé-
 geknél a fókusz mélységére jellemző és azonos volt mindkét lencsénél. Az MÁF
 görbék 50c/mm-nél fókuszálódtak a Z11 átlagolt lencsék esetében, és csaknem

a diffrakciós határnak feleltek meg, jobbak voltak, mint a CeeOn 911A lencsénél mérték.

A szaruhártya asztigmatizmusa és a rendszer életlensége korrigálható a Zernike koefficiensek beállításával a szaruhártya modellen, és a rendszer fókuszának helyzetével. Miután ez megtörtént, és a látásélességet ismételten kiszámítottuk, a 6. ábrán bemutatott eredményeket kaptuk. Ezek egy modellezett, optimálisan korrigált látásélességet mutatnak. Látható ebből, hogy valamennyi esetben az asztigmatizmus és az életlenség korrigálása szempontjából (amit a gyakorlatban szemüveggel oldanak meg), a találmány szerinti átlagolt lencse lényegesen jobb látásélességet biztosított, mint a hasonló dioptriájú 911 jelű lencse.

3. Példa

A Z11 jelű átlagolt lencsék esetleges további javítására I11 jelű egyedi lencsákat készítettünk négy konkrét szaruhártyára vonatkozóan a 2. példában bemutatott tervezési elvek alapján. Az egyedi lencsákat úgy terveztük, hogy a lencse Z11 tagja ellensúlyozza az egyedi szaruhártya Z11 tagját. Az I11 jelű lencsékhez tartozó, a teljes szemre vonatkozó Z11 koefficienseket a 7. táblázatban tüntettük fel, a 911 és az átlagolt lencsék megfelelő koefficienseivel együtt.

20

7. T Á B L Á Z A T

Személy	911	Átlagos	Egyedi
CGR	0,000107	-0,000101	-0,000004
FCZ	0,000105	-0,000100	-0,000005
JAE	0,000195	-0,000016	-0,000012
JBH	0,000238	0,0000037	-0,000019

25

A 911, Z11 és I11 lencsék mindegyikénél JAE jelű személynél az MÁF görbe legjobban fókuszálódott 50c/mm-nél, és a fókusz modulációs átviteli függvény 50c/mm-nél. Ezeket a 7. és 8. ábrán tüntettük fel. A 7. és 8. ábrán látható, hogy a moduláció átviteli függvény 50c/mm-nél a beültetett Z11 és I11 jelű lencsék esetében magasabb, mint ez a függvény ugyanezen szembe ültetett 911 jelű lencsék esetében. Az is látható, hogy a keresztfókuszra vonatkozó MÁF

valamennyi lencsénél megfelelő. A Z11 lencsék fókuszmélysége ugyanolyan, mint a 911 jelűeké. Az is megfigyelhető azonban, hogy az I11 jelű lencsék nem mutatnak jelentős javulást sem az MÁF, sem a keresztfókusz MÁF esetében a Z11 jelű lencsékhez képest.

5 Az egyedi lencsékkel ellátott betegek látásélességét ugyancsak kiszámítottuk. A 9. ábrán láthatók ezek a számított látásélességek a 911, a Z11 és az I11 jelű lencsékre vonatkoztatva.

A 9. ábrán látható, hogy mind a négy beteg látásélessége jobb volt, mind Z11 lencsével, mind az I11 lencsével, mint a 911 jelű lencsékkel. Az is látható, 10 hogy a Z11 és az I11 jelű lencsékkel kapott eredmények nem különböznek alapvetően, az átlagos szaruhártya értékek viszonylag pontosak mind a négy vizsgált személynél.

4. Példa

Szemlencsét terveztünk a szférikus aberráció csökkentésére egy meghatározott betegcsoport számára. Ezt a lencsét is Z11 jelű lencseként fogjuk 15 említeni, minthogy kompenzálja a normalizált 11-dik Zernike tagot, amely a szaruhártya szférikus aberrációját írja le. A Z11 lencsétet potenciálisan igénylő szürke hályogos betegeket vizsgáltunk. A betegcsoport 71 szürke hályogos személy volt a stockholmi St. Erik szem kórházban. A betegek 35 és 94 év 20 közötti korosztályba tartoztak (2000. áprilisában). A betegek átlagos életkora 73,67 év volt, a koreloszlást a 10. ábra mutatja.

A 71 személy szaruhártyáját egy Orbscan® (Orbtek, Salt Lake City) típusú készülékkel mértük. A készülék szaruhártya és anterior szegmens topográfia- 25 jáát mérő készülék volt, amellyel a szaruhártya mindkét felületét, valamint az elülső lencse felületet és az íriszt is lehetett mérni. Valamennyi felületet ábrázolni lehetett a magasság, dőlés, görbület és törőerő függvényében.

A szaruhártya magassági adatok (amelyek a szaruhártya felületén lévő pontok elhelyezkedését mutatja egy Descartes-féle koordináta rendszerben) az elülső felületre vonatkoztak, és a mért adatokat kiinduló adatokként használtuk 30 föl a szaruhártya optikai tulajdonságainak meghatározásához. A mért adatokat a 11. ábra mutatja.



A derékszögű koordináta rendszerben mért magassági adatokat transzformáltuk polar koordináta rendszerben kifejezett adatokká ($x, y, z \rightarrow r, \theta, z$). A felület leírásához ezekre az adatokra ezután az alábbi (1b) egyenlet szerint polinomos kifejezést illesztettünk. A koefficiensek (a-k), vagy a súlyok meghatározása az egyes polinomokhoz illesztéssel történt, ami a felület teljes leírását eredményezi. Az alkalmazott Z_i polinomok a normált Zernike polinomok voltak.

$$z(\rho, \theta) = \sum_{i=1}^L a_i Z_i \quad (1b)$$

Ezek a polinomok speciálisak, mert ortonormáltak egy folytonos egységkör felett, és a hullámfront aberrációk leírására terjedtek el az optikában. A topográfok a szaruhártya magasságokat meghatározott számú diszkrét pontban mérik. A Zernike polinomok viszont nem ortogonálisak diszkrét pontthalmazon. Mindazonáltal a Gram-Schmidt ortogonalizálási eljárást alkalmazva a magassági adatokra a Zernike polinomokat illeszthetjük, megtartva az ortogonális illesztés előnyeit. Az eljárás során hatvanhat együtthatót (a-t) használtunk az adatok illesztéséhez az Orbscan® szoftver segítségével. Az illesztést egy Matlab™ algoritmussal végeztük. A sugár és aszféríkusság értékét a Zernike koefficiensekből (2b és 3b egyenletek) approximáltuk, és a felület kúposági tényezőjét K^2 -1 értéknek vettük (tehát egy gömbre vonatkozóan K^2 értéke 1).

$$R = \frac{r_{pupilla}^2}{2(2\sqrt{3a_4} - 6\sqrt{5a_{11}})} \quad (2b)$$

$$K_{sw} = \frac{8R^3}{r_0^4} 6\sqrt{5a_{11}} \quad (3b)$$

Az illesztési eljárást részletesen számos publikáció ismerteti. Ilyenek többek között "Wavefront fitting with discrete orthogonal polynomials in a unit radius circle", Daniel Malacara, Optical Engineering, June 1990, Vol. 12. No. 6, "Representation of videokeratographic height data with Zernike polynomials", J. Schwiegerling, J. Greivenkamp and J. Miller, JOSA A, October 1995, Vol. 12. No. 10, "Wavefront interpretation with Zernike polynomials", J. W. Wang and D. E. Silva, Applied Optics, May 1980, Vol. 19, No. 9 és "Corneal wave aberration from videokeratography: accuracy and limitations of the procedure", Antonio Guirao

and Pablo Artal, J. Opt. Soc. Am A Opt Image Sci Vis June, 2000, Vol. 17(6): 955-65.

Miután rendelkezésre állt az elülső szaruhártya felület (az a-val jelölt Zernike koefficiensek segítségével), lehetővé vált a hullámfront aberráció meghatározása erre a felületre vonatkozóan, sugárátvezetési módszerrel. Ilyen eljárást ismertet például Antonio Guirao és Pablo Artal, J Opt Cos Am A Opt Image Sci Vis Jun 2000, Vol. 17(6): 955-65 című cikke.

A 71 vizsgált személyt ezután kiértékeltek a fenti kritériumok alapján 6 mm-es apertúra esetén. Valamennyi vizsgált személy hullámfront aberrációját meghatároztuk miután a felület magasság adataira Zernike polinomokat illesztettünk. A 12. ábrán látható minden egyes Zernike tag (normált alakban) átlaga és szórása. A függőleges vonalak $\pm$ szórást jelölnek. A vizsgált személyek között csak három olyan aberrációt mértünk, amely jelentősen különbözött a nullától. Ezek az asztigmatizmus (A5) a kóma (A9) és a szférikus aberráció (A11) voltak.

A szférikus aberráció az egyetlen forgásszimmetrikus aberráció, és így az egyetlen olyan aberráció, amely korrigálható egy forgásszimmetrikus szemlencsével.

A 13. ábrán látható diagramon a vizsgált 71 személyre vonatkozó szférikus aberrációk Zernike koefficienseinek értékei láthatók OSLO szerinti alakban, a szürke hályog műtét előtt.

A diagram közepén húzódó egyenes vonal jelöli az átlagos szférikus aberrációt, míg a vékonyabb vonalak a + és – szórást jelölik. Az alábbi 8. táblázatban feltüntettük a sugárra, az aszférikus állandóra, a szférikus aberrációra és a négyzetes középhibára vonatkozó átlagos értékeket, szórásokat, és maximum és minimum értékeket.

8. T Á B L Á Z A T

	Átlag	Szórás	Maximum	Minimum
R (mm)	7,575	0,333	8,710	7,072
Ksq	0,927	0,407	2,563	0,0152
SzA együttható OSLO alakban (mm)	0,000604	0,000448	0,002003	-0,000616
RMSE négyzet középhiha	0,000055	0,00000482	0,000069	0,000045

A 9., 10. és 11. táblázatban az alábbiakban bemutatjuk a megfelelő eredményeket 4,5 és 7 mm apertúra méretekre vonatkozóan. Az alábbi táblázatoknak megfelelő adatok ábrázolása a 14. és 15. és 16. ábrákon található.

9. T Á B L Á Z A T

	Átlag	Szórás	Maximum	Minimum
R	7,56292	0,320526	8,688542	7,067694
Ksq	0,988208	0,437429	2,33501	-0,051091
SA (A11 mm- ben)	0,000139	0,000103	0,00041	-0,000141
RMSE négyzet középhiha	4,52E-05	4E-06	0,000054	0,000036

10. T Á B L Á Z A T

	Átlag	Szórás	Maximum	Minimum
R	7,55263	0,320447	8,714704	7,09099
Ksq	0,945693	0,364066	2,045412	0,044609
SzA (A11 mm-ben)	0,00031189	0,000208	0,000793	-0,000276
RMSE négyzet középhiba	4,7E-05	4,02E-06	0,000057	0,000037

11. T Á B L Á Z A T

	Átlag	Szórás	Maximum	Minimum
R	7,550226	0,336632	8,679712	7,040997
Ksq	0,898344	0,416806	2,655164	-0,04731
SzA (A11 mm-ben)	0,001058	0,000864	0,003847	-0,001319
RMSE négyzet középhiba	7,58B-05	1,02E-06	0,000112	0,000057

5

Terveztünk egy szaruhártya modellt, és mindegyik Z11 jelű lencse törőerejét ehhez a szaruhártyához igazítottuk. Magát a szaruhártyát úgy terveztük, hogy szférikus aberrációja megegyezzen az adott betegcsoportra számolt átlaggal. Az így megtervezett modell szaruhártya sugarak és szférikus állandók a 12. táblázatban láthatóak, különböző apertúra méretek esetén. Mindegyik esetben a görbületek sugarát az adatok Zernike illesztéséből meghatározott átlag sugárnak vettük. Az aszférikus állandót mindaddig változtattuk, amíg a szférikus aberráció értéke a szaruhártya modell esetében egyenlő lett az adott csoport átlagos szférikus aberrációjának értékével.

15

12. T Á B L Á Z A T

Pupilla átmérő (mm)	Sugár (mm)	Kúpossági tényező (OSLO érték K^2-1)	Z11 koefficiens (mm)
4	7,563	-0,0505	0,000139
5	7,553	-0,1034	0,000312
6	7,575	-0,14135	0,000604
7	7,55	-0,1810	0,001058

Amint azt már korábban is ismertettük, a szaruhártya tervezéséhez 6 mm-es apertúra átmérőt vettünk alapul. Ez a választás lehetővé tette, hogy a Z11 lencsét úgy tervezzük, hogy az ezzel a szaruhártyával létrehozott optikai rendszerben mérve 5,1 mm-es lencse átmérő felett nem jelentkezett szférikus aberráció. Az OSLO felület felsorolást a Z11 modell szaruhártyára a 13. táblázatban mutatjuk be. A szaruhártya törésmutatója lényegében az 1,3375 értékű keratometrikus index.

Ezeket az értékeket egy olyan szaruhártya modellre számoltuk ki, amely egyetlen felületet és 1,3375 –ös törésmutatót feltételezett. Lehetséges azonban optikailag ekvivalens más modellek használata is, és anélkül, hogy a találmány szerinti eljárástól eltérnénk. Használhatók például több felületű szaruhártyák, vagy különböző törésmutatóval rendelkező szaruhártyák.

13. T Á B L Á Z A T

Felület #	Sugár (mm)	Vastagság (mm)	Sugár (mm)	Kúpossági tényező	Törésmutató
Tárgy	-	1,0000e+20	1,0000e+14	--	1,0
1 (szaruhártya)	7,575000	3,600000	3,000003	-0,141350*	1,3375
2 (pupilla)	-	-	2,640233	-	1,3375
3	-	0,900000	2,64023	-	1,3375
4 (lencse)		25,519444	2,550292	-	1,3375
5 (lencse)			2,2444e-05	-	1,3375

Valamennyi Z11 jelű lencsét úgy terveztük, hogy ellensúlyozza a modell szaruhártya szférikus aberrációját. A tervezés kiindulási pontja egy CeeOn Edge© jelű lencse volt, amelynek részletes ismertetése az US 5,444,106 számú szabadalmi leírásban megtalálható. A lencsét ugyanolyan törőerővel terveztük, 5 módosított perem és központi vastagsággal. A lencsét ezután az elülső szaruhártya felület elé helyeztük 4,5 mm-rel. Ez a távolság azonban nem kritikus, és adott esetben változtatható. Egy 22 dioptriás lencse tervezési eljárásához felhasznált felületi információk a 14. táblázatban találhatók. A lencse elülső felületét a (4) egyenletben leírt képlettel számítottuk ki. A cc és ad, valamint az ae együt- 10 hatókat változtattuk a szférikus aberráció minimalizálása érdekében. A változókat 5,1 mm-es apertúra méretre határoztuk meg, és a felületet ezekből az értékekből extrapolálva kaptuk a 6 mm-es optikai apertúra méretet. Az így kapott 22 dioptriás Z11 szemmodellt a 15. táblázat mutatja. A 22 dioptriás lencsék elülső felületét úgy módosítottuk, hogy a rendszer (szaruhártya és lencse) szférikus aberrációja 15 gyakorlatilag 0 legyen. A hullámfront aberrációs koefficienseket az OSLO szoftverrel határoztuk meg egy CeeOn Edge© 911 jelű 22 dioptriás lencsés szemmodellhez, valamint az ugyancsak 22 dioptriás Z11 lencsés szemmodellhez. Ezeket az adatokat a 16. táblázat tartalmazza. Megjegyezzük, hogy a kiinduló modell szférikus aberrációját jellemző együttható 0,001005 mm a szaruhártya elé 20 helyezett 6 mm-es apertúra esetén, míg ugyanez a koefficiens a Z11 lencsét tartalmazó szemmodell esetén 1,3399e-06 mm. A 22 dioptriás lencsére fent bemutatott eljárás bármilyen más törőerő esetén is alkalmazható.

$$z = \frac{(\frac{1}{R})r_2}{1 + \sqrt{1 - (\frac{1}{R})^2(cc + 1)r^2}} + adr^4 + aer^6 \quad (4)$$

25

30

14. T Á B L Á Z A T

Felület #	Sugár (mm)	Vastagság (mm)	Apertúra sugár (mm)	Kúpossági tényező	Törésmutató
Tárgy	-	∞	1,0000e+14	-	1,0
1 (szaruhár- tya)	7,575	1,0000e+20	3,000003	-0,14135*	1,3375
2 (pupilla)	-	3,600000	2,640233	-	1,336
3 (lencse)	-	0,900000	2,64023	-	1,336
4 (lencse)	11,043	1,164	2,550191	-	1,458
5 (lencse)	-11,043	17,1512	2,420989	-	1,336
6 (lencse)	0,0	-0,417847	0,058997	-	-

15. T Á B L Á Z A T

Felület #	Sugár (mm)	Vastagság (mm)	Apertúra sugár (mm)	Kúpossági tényező	Negyedren- dű tag aszferikus együtthatója
Tárgy	-	1,0E+20	1,00E+14	-	
1 (szaruhártya)	7,575	3,60	3,00	-0,14135*	
2 (pupilla)	-	-	2,64	-	
3	-	0,90	2,64	-	
4 (lencse)	11,043	1,164	2,55	-1,03613	-0,000944
5 (lencse)	-11,043	17,1512	2,42	-	-
6 (kép)	-	-	1,59E-05		

Felület #	6-od rendű tag aszferikus együtthatója (mm)	Törésmutató
Tárgy	-	1,0
1 (szaruhártya)		1,3375
2 (pupilla)	-	1,336
3	-	1,336
4 (lencse)	-1,37e-05	1,458
5 (lencse)	-11,043	1,336
6 (kép)		-

16. T Á B L Á Z A T

Koefficiens	Átlag szaruhártya + 22D 911	Átlag szaruhártya + 22D Z11
a1	-0,000962	-1,896e-06
a2	0,0	0,0
a3	0,0	0,0
a4	2,3101e-05	-3,9504e-06
a5	0,0	0,0
a6	0,0	0,0
a7	0,0	0,0
a8	0,0	0,0
a9	0,00105	-1.3399e-06
a10	0,0	0,0
a11	0,0	0,0
a12	0,0	0,0
a13	0,0	0,0
a14	0,0	0,0
a15	0,0	0,0

Az új Z11 lencsékhez választott optikai megoldás egy egyenkonvex lencse, amelynek anyaga szilikon és törésmutatója 1,458. Az átlagos szaruhártya szférikus aberrációját Z11 lencsével korrigáltuk, hogy egy szférikus aberráció nélküli rendszert nyerjünk. A lencse homlokfelületét úgy változtattuk meg, hogy a tervezett apertúrán át érkező tengelyirányú sugarak optikai úthossza megegyezzen és a sugarak egy pontba fókuszálódjanak. Ezt a jellemzőt egyébként többféle lencse kialakítással el lehet érni. A Z11 lencse ennek megfelelően lehet például konvex sík, sík konvex, nem azonos konvexitású lencse, vagy bármilyen más pozitív lencse. A Z11 tervezési koncepciót ki lehet terjeszteni negatív lencsékre is, amelyeket a szem törési hibáinak kiküszöbölésére használnak. A homlokfelület vagy a hátsó felület ugyancsak módosítható, hogy elérjük a megfelelő optikai úthossz változást, amely semlegesíti a szférikus aberrációt. Ennek megfelelően a Z11 lencse tervezési módszerének számos egyéb, a csatolt igénypontok által meghatározott oltalmi körbe eső változata lehetséges.

SZABADALMI IGÉNYPONTOK

- 5

1. Eljárás a szem aberrációit csökkentő, beültethető szemlencse tervezésére, azzal jellemezve, hogy

 - legalább egy szaruhártya felületet leíró matematikai modellt készítünk,
 - kiszámítjuk a felület(ek) várható aberrációit a matematikai modell segítségével,
 - megválasztjuk a szemlencse törőképességét, és
- 10

- egy olyan szemlencsemodellt határozzunk meg, amely a modellezett szaruhártyával alkotott optikai rendszerből érkező hullámfront aberrációját csökkenti.
- 15

2. Az 1. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy meghatározzuk a modellezett szaruhártya felület(ek)en áthaladt hullámfront aberrációjának értékét.
3. Az 1. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a modellezett szaruhártya felületet forgáskúppal írjuk le.
- 20

4. Az 1. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a modellezett szaruhártya felületet polinomokkal írjuk le.
5. A 4. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a modellezett szaruhártya felületet polinomok lineáris kombinációjával írjuk le.
- 25

6. Az 1. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a modellezett szaruhártyával alkotott optikai rendszerben további optikai korrekciós elemeket, például szemüveget vagy korrekciós lencsét alkalmazunk.
7. Az 1. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a lencse törőképességét a szaruhártya törőereje és a tengelyirányú szemhosszúság alapján határozzuk meg.
- 30

8. A 4. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a szaruhártya és a szemlencse modellt tartalmazó optikai rendszert úgy alakítjuk ki, hogy

legalább egy polinommal kifejezett hullámfront aberrációkat jelentősen csökkentjük.

9. Az 1. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a szemlencse modellezését úgy végezzük, hogy választunk egy elülső lencse sugarat és felületet, egy hátulsó lencse sugarat és felületet, valamint egy lencse vastagságot és egy fénytörési értéket.
10. A 9. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy az elülső felület aszférikus komponensét választjuk, míg a modell lencse központi sugarát, vastagságát és fénytörését adottnak vesszük.
11. Az 1. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy egy adott beteg elülső szaruhártya felületét topográfiai mérések alapján írjuk le és a szaruhártya aberrációkat polinomok kombinációjával fejezzük ki.
12. A 11. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy egy adott beteg elülső szaruhártya felületét topográfiai mérések alapján írjuk le és a szaruhártya aberrációit polinomok kombinációjával fejezzük ki.
13. Az 1. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy egy adott betegcsoport szaruhártya felületét írjuk le és az átlagos szaruhártya aberrációkat polinomok kombinációjával fejezzük ki.
14. Az 1. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy .
 - kiszámítjuk a szaruhártya és a lencse modellt tartalmazó optikai rendszer aberrációit, majd
 - megállapítjuk, hogy a lencse megfelelően korrigálta-e az aberrációkat és
 - adott esetben addig készítünk újabb modelleket, ameddig a megfelelő korrekciót el nem érjük.
15. A 14. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy az aberrációkat polinomok lineáris kombinációjával írjuk le.
16. A 15. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy az újabb modellek készítésénél módosítjuk az elülső felületet és görbületet, a hátsó felületet és sugarat, valamint a lencse vastagságát és törésmutatóját.
17. A 4. vagy 5 igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy Seidel vagy Zernike polinomokat alkalmazunk.

18. A 17. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a szaruhártya aberrációkat Zernike polinomok lineáris kombinációjával írjuk le,
- meghatározzuk a szaruhártya hullámfront Zernike koefficienseit és
 - úgy modellezzük a szemlencsét, hogy egy ezt a lencsét és szaruhártyát tartalmazó optikai rendszer megfelelően redukált Zernike koefficienssekkel rendelkező hullámfrontot hozzon létre.
19. A 18. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy ..
- kiszámoljuk egy, a modellezett szemlencsét és szaruhártyát tartalmazó optikai rendszer által alkotott hullámfront Zernike koefficienseit és
 - megállapítjuk, hogy a lencse megfelelően korrigálta-e a Zernike koefficienseket és adott esetben újra modellezzük a lencsét, míg a koefficiensek kellő csökkenését el nem érjük.
20. A 19. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a szférikus aberrációra vonatkozó Zernike koefficienseket redukáljuk a kívánt mértékig.
21. A 19. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a negyedrendűnél magasabb aberrációkra vonatkozó Zernike koefficienseket redukáljuk a kívánt mértékig.
22. A 20. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a modellezett szemlencsét és szaruhártyát tartalmazó optikai rendszer által létrehozott hullámfront 11-dik Zernike koefficiensét addig redukáljuk, ameddig szférikus aberrációtól mentes szemet kapunk.
23. A 19. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy az újabb modellek készítésénél módosítjuk az elülső felületet és sugarat, a hátsó felületet és sugarat, valamint a lencse vastagságát és törésmutatóját.
24. A 23. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a lencse elülső felületét módosítjuk, amíg az aberráció megfelelő csökkenését el nem érjük.
25. A 17. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy úgy modellezzük a szemlencsét, hogy egy ezt a lencsét és szaruhártyát tartalmazó optikai rendszer az áthaladt hullámfrontnak megfelelően redukált Seidel vagy Zernike tagokkal kifejezett szférikus és hengeres aberrációval rendelkező hullámfrontot bocsásson ki.

26. A 25. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a magasabb rendű aberrációs tagokat redukáljuk.

27. A 8. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy

- meghatározzuk egy adott betegcsoport szaruhártya felületeit és ezeket polinomok lineáris kombinációjával írjuk le,
- az egyes szaruhártyákra vonatkozó polinom koefficienseket összehasonlítjuk,
- kiválasztjuk egy egyedi szaruhártyához tartozó meghatározott koefficiens értékét és
- úgy modellezzük a szemlencsét, hogy egy ezt a lencsét és a kiválasztott szaruhártyát tartalmazó optikai rendszer megfelelően csökkentse az áthaladó hullámfrontban az adott koefficiens értékét.

28. A 27. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a szférikus aberrációt kifejező Zernike tag koefficiensének értékét választjuk ki.

29. A 27. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy az adott betegcsoport legkisebb koefficiens értékét választjuk ki.

30. Eljárás a szem aberrációit csökkentő, beültethető szemlencse kiválasztására, **azzal jellemezve**, hogy

- legalább egy szaruhártya felületre vonatkozó matematikai modellt készítünk
- kiszámítjuk a felület eredő aberrációit a matematikai modell segítségével
- kiválasztunk egy megfelelő törőerejű lencsét különböző aberrációval rendelkező, azonos törőerejű lencsék közül és
- meghatározzuk, hogy a kiválasztott lencsét és a modellezett szaruhártyát tartalmazó optikai rendszer kellően csökkenti-e az aberrációkat.

31. A 30. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy meghatározzuk a modellezett szaruhártya felületén/felületein áthaladó hullámfront eredő aberrációit.

32. A 30. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy

- kiszámítjuk a modellezett szaruhártya felületet és a kiválasztott lencsét tartalmazó optikai rendszerből kilépő hullámfront aberrációinak értékét
- megállapítjuk, hogy a kiválasztott lencse megfelelően korrigálta-e a fenti optikai rendszerből kilépő hullámfront aberrációit és adott esetben addig végezzük a megfelelő törőerejű lencse kiválasztását, ameddig olyan lencsét nem találunk, amely csökkentett aberrációkat eredményez.

33. A 30. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy modellezett szaruhártya felületet forgáskúppal írjuk le.

34. A 30. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy modellezett szaruhártya felületet polinomokkal írjuk le.

35. A 34 igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy modellezett szaruhártya felületet polinomok lineáris kombinációjával írjuk le.

36. A 30 vagy 32 igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a modellezett szaruhártyával alkotott optikai rendszerben további optikai korrekciós elemeket, például szemüveget vagy korrekciós lencsét alkalmazunk.

37. A 30. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a lencse törőképességét a szaruhártya törőereje és a tengelyirányú szemhosszúság alapján határozzuk meg.

38. A 34. vagy 35. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a szaruhártya modellt és a kiválasztott szemlencsét tartalmazó optikai rendszert úgy alakítjuk ki, hogy legalább egy polinommal kifejezett hullámfront aberrációk jelentősen csökkenjenek.

39. A 30. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy egy adott beteg elülső szaruhártya felületét topográfiai mérések alapján írjuk le és a szaruhártya aberrációkat polinomok kombinációjával fejezzük ki.

40. A 39. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy egy adott beteg elülső és hátsó szaruhártya felületét topográfiai mérések alapján írjuk le és a szaruhártya aberrációkat polinomok kombinációjával fejezzük ki.

41. A 30. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy egy adott betegcsoport szaruhártya felületét írjuk le és az átlagos szaruhártya aberrációkat polinomok kombinációjával fejezzük ki.
42. A 38. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy Seidel vagy Zernike polinomokat alkalmazunk.
43. A 42. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy
- a szaruhártya aberrációkat Zernike polinomok lineáris kombinációjával írjuk le,
 - meghatározzuk a szaruhártya Zernike koefficienseit és
 - úgy választunk egy szemlencsét, hogy egy ezt a lencsét és szaruhártyát tartalmazó optikai rendszer megfelelően redukált Zernike koefficiensekkel rendelkező hullámfrontot hozzon létre.
44. A 43. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy
- kiszámoljuk egy, a kiválasztott szemlencsét és szaruhártyát tartalmazó optikai rendszer a Zernike koefficienseit és
 - megállapítjuk, hogy a lencse megfelelően korrigálta-e a Zernike koefficienseket, majd adott esetben addig választunk újabb lencsét, amíg megfelelően redukált koefficienseket nem kapunk.
45. A 43. vagy 44. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a negyedrendű tagokig határozzuk meg a Zernike koefficienseket.
46. A 45. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a szférikus aberrációra vonatkozó Zernike koefficienseket redukáljuk a kívánt mértékben.
47. A 46. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a negyedrendűnél magasabb tagokra vonatkozó Zernike koefficienseket redukáljuk a kívánt mértékben.
48. A 46. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a kiválasztott szemlencsét és szaruhártya modellt tartalmazó optikai rendszeren áthaladt hullámfront 11-dik Zernike koefficiensét addig redukáljuk, ameddig szférikus aberrációtól mentes szemet kapunk.
49. A 39. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy úgy választjuk ki a szemlencsét, hogy egy ezt a lencsét és szaruhártyát tartalmazó optikai rend-

szeren áthaladt hullámfront megfelelően redukált Seidel vagy Zernike tagokkal kifejezett szférikus és hengeres aberrációra tegyen szert..

50. A 39. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a magasabb rendű aberrációs tagokat redukáljuk.

5 51. A 30. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a szemlencsét egy olyan készletből választjuk ki, amelyben különböző törőképeségű lencsék vannak és mindegyik törőképeséghez többféle aberrációval rendelkező lencsét tartunk.

10 52. Az 51. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy az aberrációk szférikus aberrációk.

53. Az 51. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a készletben mindegyik törőerőhöz többféle aszférikus komponensű felülettel rendelkező lencsét tartunk.

15 54. Az 53. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a felületek elülső felületek.

55. Eljárás a szem aberrációit csökkentő, beültethető szemlencse tervezésére, **azzal jellemezve**, hogy

- kiválasztunk egy megfelelő betegcsoportot
- a csoport minden tagjának felvesszük a szaruhártya topográfia adatait
- 20 • az adatokat az egyes betegk szaruhártya felületének alakját megadó tagokká transzformáljuk egy meghatározott apertúra méret esetén,
- legalább az egyik tagnak kiszámítjuk a csoportra vonatkozóan az átlagát és/vagy a szaruhártya felületet megadó tagok transzformációjával a szaruhártya hullámfront aberrációját leíró tagokat nyerünk, amelyek közül legalább egynek kiszámoljuk a csoportra vonatkozó átlagát;
- 25 • a legalább egy szaruhártya felületi tag vagy szaruhártya hullámfront aberrációs tag középértéke alapján olyan szemlencsét tervezünk, amely a szaruhártyával alkotott optikai rendszer legalább egy kiválasztott hullámfront aberrációs tag redukálására alkalmas.

30 56. Az 55. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy ...

- a legalább egy szaruhártya felületi tag vagy a szaruhártya hullámfront aberrációs tag átlagértéke alapján az adott betegcsoportra vonatkozó átlagos szaruhártya modellt tervezünk és
 - ellenőrizzük, hogy a tervezett szemlencse megfelelően korigálja-e a le-
- 5 galább egy kiválasztott aberrációs tag átlagát oly módon, hogy megmérjük a modellezett szaruhártyán és a szemlencsén áthaladt hullámfrontnak ezt a bizonyos aberrációs tagját, majd a lencsét újratervezzük, ha a mért hullámfrontban az aberrációs tag nem csökkent kellőképpen.
57. Az 55. vagy 56. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a len-
- 10 cse tervezéséhez kiszámolunk egy, a felületet jellemző paramétert a szaruhártya felületét vagy hullámfront aberrációját megadó tagok átlagaiból egy előre meghatározott sugár esetén.
58. Az 55-57. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a betegcsoportot meghatározott korú betegekből állítjuk össze.
- 15 59. Az 55-58. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a betegcsoportot olyan betegekből állítjuk össze, akik szürkehályog műtétre várnak.
60. Az 55-59. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a betegcsoportot olyan betegekből állítjuk össze, akik már átestek szaruhártya
- 20 műtéten.
61. Az 55-60. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a betegcsoportot olyan betegekből állítjuk össze, akik azonos szembetegségben szenvednek.
62. Az 55-61. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy
- 25 a betegcsoportot olyan betegekből állítjuk össze, akik azonos optikai rendelkezéssel rendelkeznek.
63. Az 55-62. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy
- megmérjük egy adott beteg szaruhártyájának legalább egy hullámfront aberrációs tagját
 - meghatározzuk, hogy a vizsgált csoport átlagos értékei megfelelnek-e az
- 30 adott betegnek, és ha igen, a lencsét felhasználjuk az adott betegnél, ha

nem, akkor egy másik csoport átlagos értékeivel tervezett lencsét használunk fel vagy az adott betegnek egyedi lencsét készítünk.

64. Az 55-63. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy olyan lencsét készítünk, amelynek legalább egy olyan aszferikus felülete van, amely egy bejövő, nem aszferikus hullámfront legalább egy aberrációs tagját redukálja.
65. A 64. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy az aberrációs tag pozitív szférikus aberrációs tag.
66. Az 55-65. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy olyan lencsét készítünk, amelynek legalább egy olyan aszferikus felülete van, amely egy bejövő, nem aszferikus hullámfront aberrációját leíró Zernike polinom legalább egy tagját redukálja.
67. A 66. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy olyan lencsét készítünk, amelynek legalább egy olyan aszferikus felülete van, amely csökkenti egy bejövő, nem aszferikus hullámfront szférikus aberrációjának megfelelő tizenegyedik normált Zernike tagot.
68. Az 55-67. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy olyan szemlencsét tervezünk, amely az alábbi képlettel megadott átlagos szaruhártya felületéről érkező hullámfront szférikus aberrációjának redukálására alkalmas:

$$z = \frac{\left(\frac{1}{R}\right)r^2}{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1}{R}\right)^2(cc + 1)r^2}} + adr^4 + aer^6$$

ahol cc a kupossági állandó, értéke -1 és 0 közé esik,

R a lencse központi sugara és

ad , valamint ae aszféricussági állandók.

69. A 68. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a kupossági állandó értékét 4mm-es apertúra méret esetén -0.05 , 7mm-es apertúra méret esetén $-0,18$ értékre választjuk.

70. A 68. igénypont szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a lencse felületét olyan módosított kúpfelületként írjuk le, amelynek kupossági állandója kisebb, mint 0.
- 5 71. Az 55-70. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a lencsét az adott beteghez igazított törőerővel tervezzük és ennek alapján határozzuk meg a lencse sugarát.
- 10 72. Az 55-71. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a lencsét úgy tervezzük, hogy kiegyenlítse egy olyan szaruhártya szférikus aberrációját, amelynek a szférikus aberrációt megadó Zernike koefficiense 3 mm sugarú apertúra esetén $0.000156 - 0.001948$ mm közé esik, a polinomokat OSLO alakban megadva.
- 15 73. Az 55-71. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a lencsét úgy tervezzük, hogy kiegyenlítse egy olyan szaruhártya szférikus aberrációját, amelynek a szférikus aberrációt megadó Zernike koefficiense 3 mm sugarú apertúra esetén $0.000036 - 0.000448$ mm közé esik, a polinomokat OSLO alakban megadva.
- 20 74. Az 55-71. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a lencsét úgy tervezzük, hogy kiegyenlítse egy olyan szaruhártya szférikus aberrációját, amelynek a szférikus aberrációt megadó Zernike koefficiense 2,5 mm sugarú apertúra esetén $0.0001039 - 0.0009359$ mm közé esik, a polinomokat OSLO alakban megadva.
- 25 75. Az 55-71. igénypontok bármelyike szerinti eljárás, **azzal jellemezve**, hogy a lencsét úgy tervezzük, hogy kiegyenlítse egy olyan szaruhártya szférikus aberrációját, amelynek a szférikus aberrációt megadó Zernike koefficiense 3,5 mm sugarú apertúra esetén $0.000194 - 0.00365$ mm közé esik, a polinomokat OSLO alakban megadva.
- 30 76. Az 1-75. igénypontok bármelyike szerinti eljárással tervezett szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy a szaruhártyán áthaladt hullámfrontot a retina középpontjába fókuszáló szférikus hullámfronttá alakító módon van kialakítva.
77. Szemészeti lencse egy adott populációra jellemző szaruhártya modell aberrációinak kompenzálására, **azzal jellemezve**, hogy a modellezett

szaruhártyával alkotott optikai rendszerből érkező hullámfrontban csökkentett aberrációkat eredményező módon van kialakítva.

78. A 77. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy a szaruhártya modell az egyéni szaruhártyák jellemzésekor és matematikai leírásakor nyert egyéni aberrációs tagokból számolt átlag aberrációs tagokat tartalmaz.
79. A 77. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy az aberrációs tagok Zernike polinomok lineáris kombinációi.
80. A 79. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy a Zernike polinomok lineáris kombinációival modellezett szaruhártyával alkotott optikai rendszerből érkező hullámfrontban csökkentett szférikus aberrációt eredményező módon van kialakítva.
81. A 80. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy a negyedrendű tizenegyedik Zernike tagot redukáló módon van kialakítva.
82. A 77. igénypont szerinti szemészeti lence, **azzal jellemezve**, hogy szemlencseként van kialakítva.
83. A 77. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy legalább egy aszférikus felülettel ellátott implantátum és aszférikus felülete úgy van kialakítva, hogy a beültetett lencse az áthaladó hullámfrontban legalább egy olyan aberrációs tagot eredményez, amelynek értéke lényegében azonos értékű, de ellentétes előjelű, mint egy releváns betegcsoport szaruhártyáin mért ugyanazon aberrációs tagok átlaga; továbbá a beteg szaruhártyájáról érkező hullámfront fenti legalább egy aberrációs tagját redukáló módon van kialakítva.
84. A 83. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy az áthaladó hullámfront legalább egy pozitív aberrációs tagját redukáló módon van kialakítva.
85. A 83 vagy 84. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy az áthaladó hullámfrontban a lencse által okozott legalább egy aberrációs tag a szférikus aberrációs tag, és a lencse a beteg szaruhártyájáról érkező hullámfront ezen aberrációs tagját redukáló módon van kialakítva.

86. A 83-85. igénypontok bármelyike szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy az áthaladó hullámfrontban a lencse által okozott legalább egy aberrációs tagja egy, a szaruhártya hullámfront aberrációját leíró Zernike polinom legalább egy tagja.
- 5 87. A 86. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy az áthaladó hullámfrontban a lencse által okozott legalább egy aberrációs tagja egy, a szaruhártya hullámfront aberrációját leíró Zernike polinom tizenegyedik normált tagja.
88. A 83-87. igénypontok bármelyike szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy a kiválasztott betegcsoport adott életkorú betegekből áll.
- 10 89. A 83-88. igénypontok bármelyike szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy a kiválasztott betegcsoport szaruhártya operáción átesett betegekből áll.
90. A 83-88. igénypontok bármelyike szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy a kiválasztott betegcsoport szürkehályog operációra váró betegekből áll.
- 15 91. A 90. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy a lencse felületét olyan módosított kúpfelületként írjuk le, amelynek kúpossági tényezője kisebb, mint 0.
- 20 92. A 91. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy a szférikus aberrációt csökkentő vagy megszüntető módon van kialakítva, a szemén vagy egy olyan szem modellen áthaladó hullámfrontban, amelyet
- a

$$z = \frac{\left(\frac{1}{R}\right)r^2}{1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1}{R}\right)^2(cc + 1)r^2}} + adr^4 + aer^6$$

- 25 képlet ír le, ahol cc a kúpossági állandó, értéke -1 és 0 között van,
 R a lencse központi sugara és
 ad , valamint ae aszféricussági állandók.

93. A 83-92. igénypontok bármelyike szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy az adott betegnek megfelelő, legfeljebb 30 dioptriának megfelelő törőereje van.
94. A 83-93. igénypontok bármelyike szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy a legalább egy aszférikus felülete az elülső felület.
95. A 83-94. igénypontok bármelyike szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy legalább egy aszférikus felülete a hátsó felület.
96. A 83-95. igénypontok bármelyike szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy lágy biokompatibilis anyagból van.
97. A 83-96. igénypontok bármelyike szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy szilikonból van.
98. A 97. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy a lencse anyagát képező szilikon törésmutatója 546 nm hullámhosszon 1.43; nyúlása 350 %; szakítószilárdsága 20.7×10^5 Pa és A Durométerrel mért Shore keménysége 30.
99. A 83-98. igénypontok bármelyike szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy anyaga hidrogél.
100. A 83-95. igénypontok bármelyike szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy merev biokompatibilis anyagból van.
101. A 83-100. igénypontok bármelyike szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy a lencsét úgy tervezzük, hogy kiegyenlítse egy olyan szaruhártya szférikus aberrációját, amelynek a szférikus aberrációt megadó Zernike koefficiense 3 mm sugarú apertúra esetén 0.000156 – 0.001948 mm közé esik, a polinomokat OSLO alakban megadva.
102. A 83-100. igénypontok bármelyike szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy a lencsét úgy tervezzük, hogy kiegyenlítse egy olyan szaruhártya szférikus aberrációját, amelynek a szférikus aberrációt megadó Zernike koefficiense 3 mm sugarú apertúra esetén 0.000036 – 0.000448 mm közé esik, a polinomokat OSLO alakban megadva.
103. A 83-100. igénypontok bármelyike szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy a lencsét úgy tervezzük, hogy kiegyenlítse egy olyan szaruhártya szférikus aberrációját, amelynek a szférikus aberrációt meg-

- adó Zernike koefficiense 2,5 mm sugarú apertúra esetén 0.0001039 – 0.0009359 mm közé esik, a polinomokat OSLO alakban megadva.
104. A 83-100. igénypontok bármelyike szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy. a lencsét úgy tervezzük, hogy kiegyenlítse egy olyan
5 szaruhártya szférikus aberrációját, amelynek a szférikus aberrációt megadó Zernike koefficiense 3,5 mm sugarú apertúra esetén 0.000194 – 0.00365 mm közé esik, a polinomokat OSLO alakban megadva.
105. Szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy legalább egy aszférikus felülete van, amely az aberrációkat leíró polinomiális tag lineáris kombinációjával van jellemezve és a szaruhártyán áthaladó hullámfront hasonló
10 aberrációs tagjainak redukálására alkalmasan, és így aberráció mentes szemet biztosító módon van kialakítva.
106. A 105. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy..az aszférikus felület a lencse elülső felülete.
- 15 107. A 105. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy. az aszférikus felület a lencse hátulsó felülete.
108. A 105. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy.szemlencseként van kialakítva.
109. A 105. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy.a polinomok Zernike polinomok.
20
110. A 109. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy.szférikus aberrációkat és asztigmatizmust leíró polinom tagok redukálására alkalmas módon van kialakítva.
111. A 110. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy.a negyedrendű tizenegyedik Zernike tagot redukáló módon van kialakítva.
25
112. A 105. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy.lágy biokompatibilis anyagból van.
113. A 105. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy.szilikonból van.
- 30 114. A 105. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**, hogy.anyaga hidrogél.

115. A 105. igénypont szerinti szemészeti lencse, **azzal jellemezve**,
 hogy...merev biokompatibilis anyagból van.

5

5 d. oldal + 11. oldal (16. oldal)

Megyei

A meghatalmazott:

[Signature]
DANUBIA
 Szabadalmi és Védjegy Iroda Kft.
Erdély Péter
 szabadalmi ügyvivő

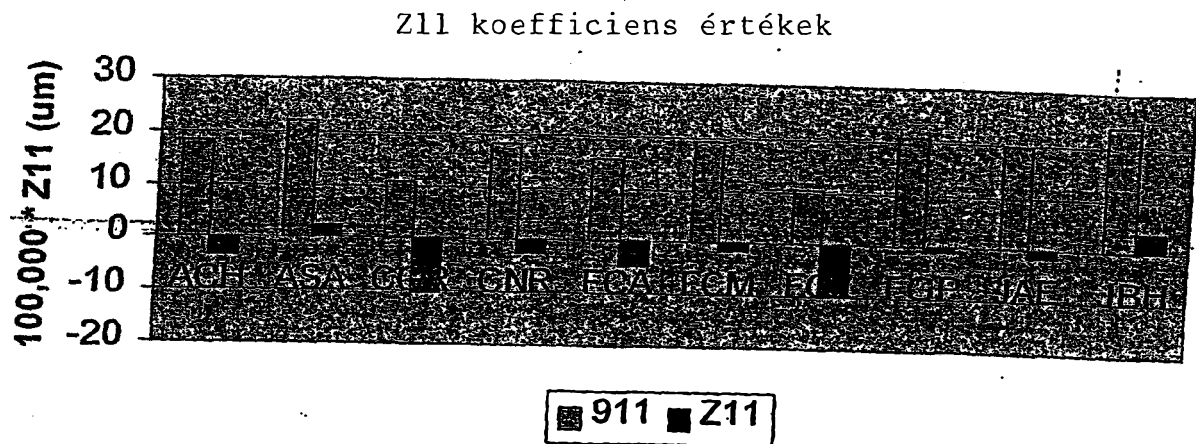


Fig. 1

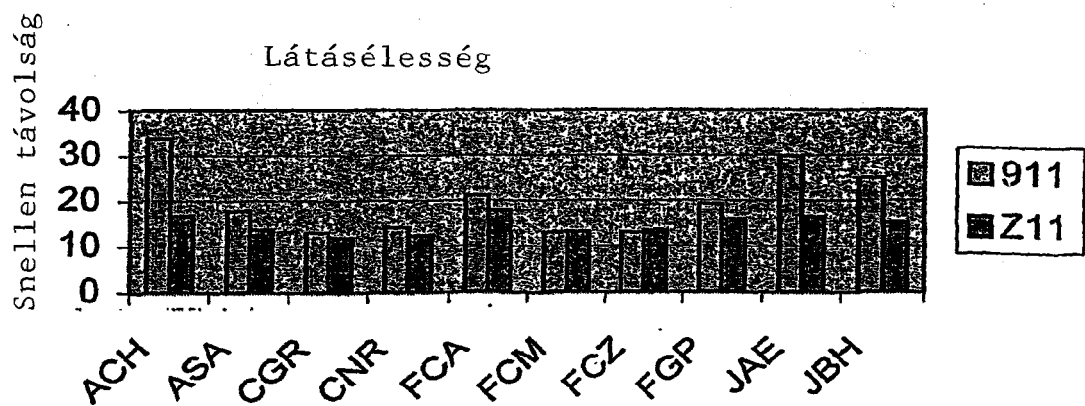
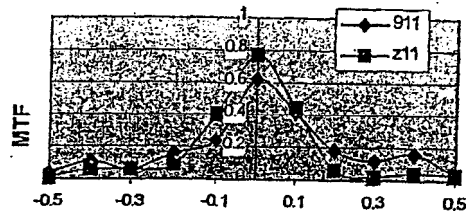
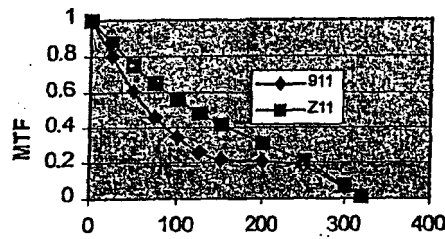


Fig. 2



tengelyirányú helyzet (mm)

Fig. 3



frekvencia (ciklus/mm)

Fig. 4

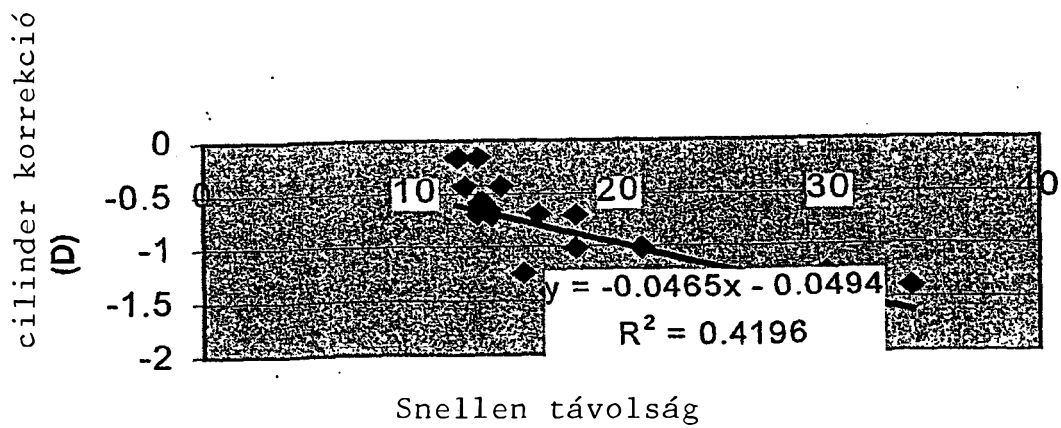


Fig. 5

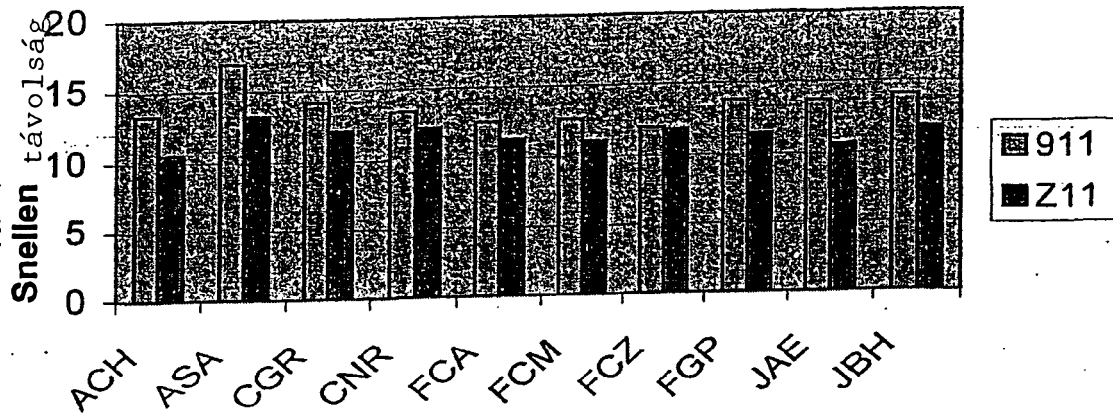


Fig. 6

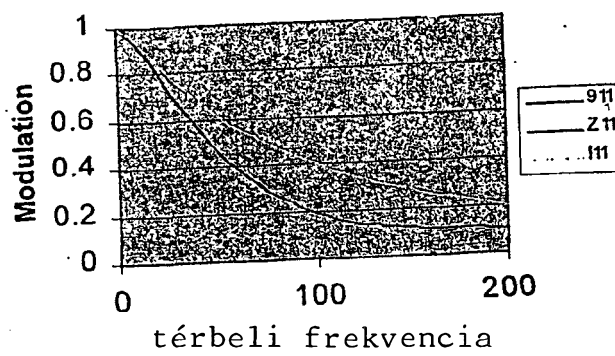


Fig. 7

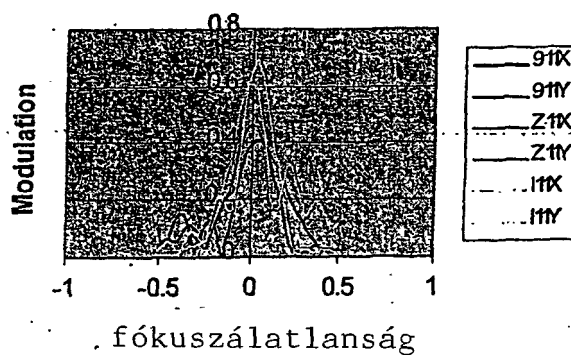


Fig. 8

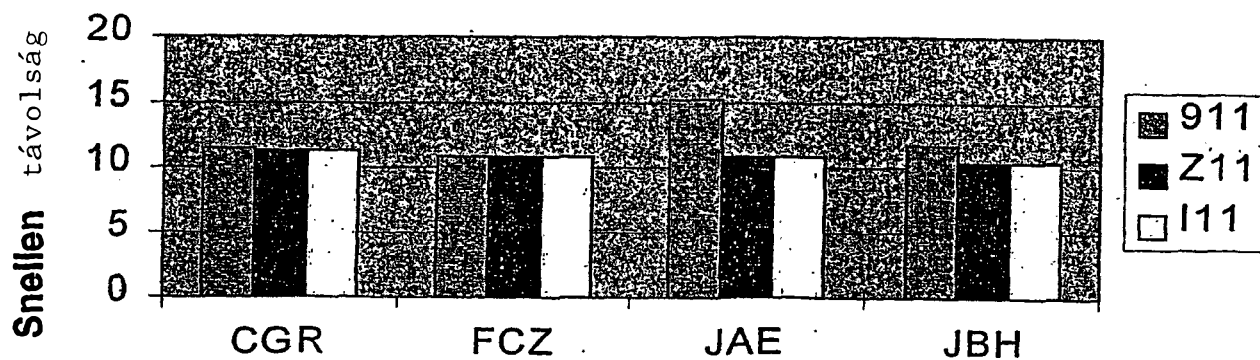


Fig. 9

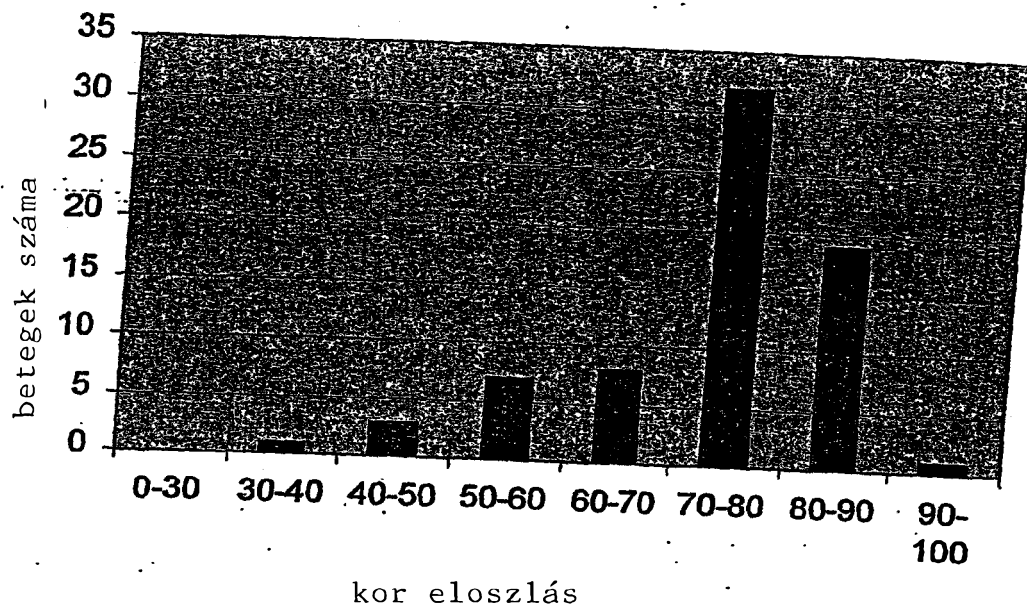
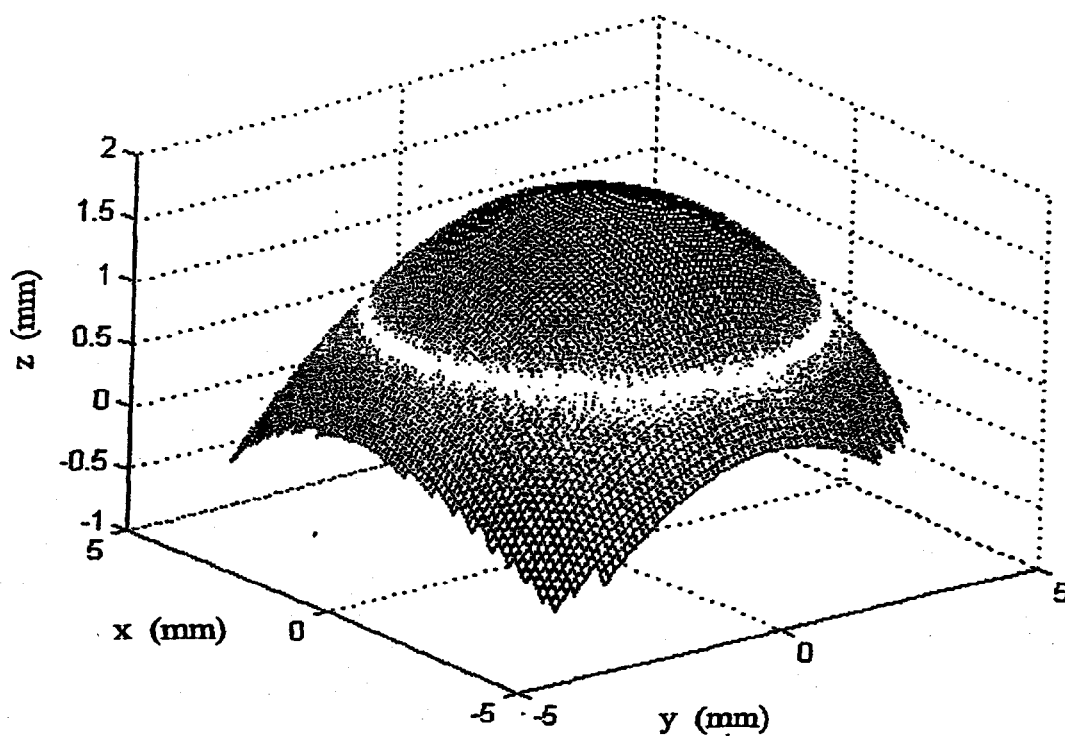


Fig. 10

**Fig. 11**

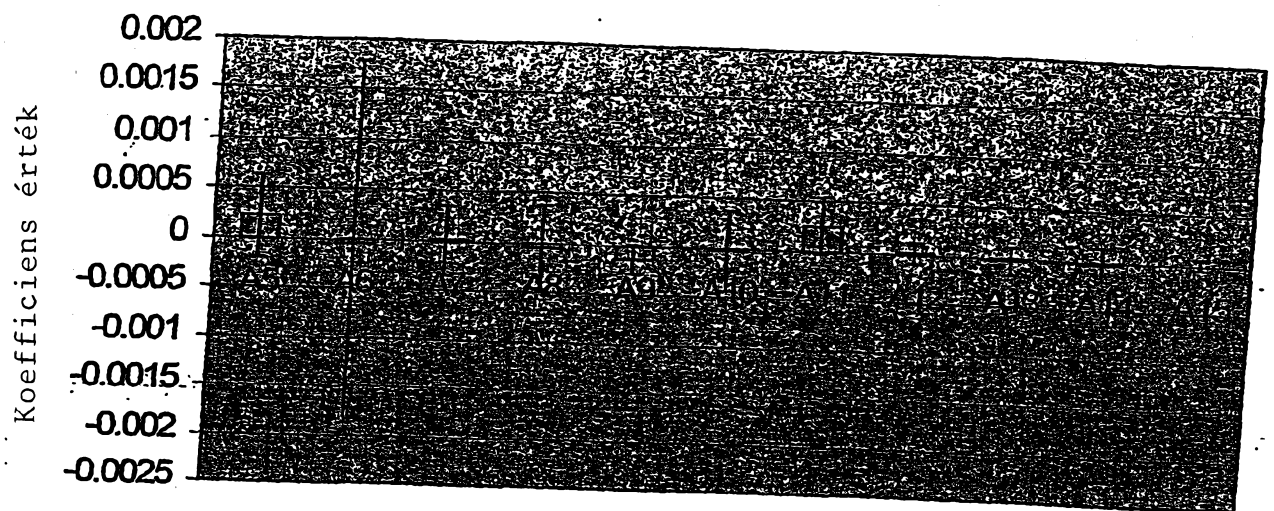


Fig. 12

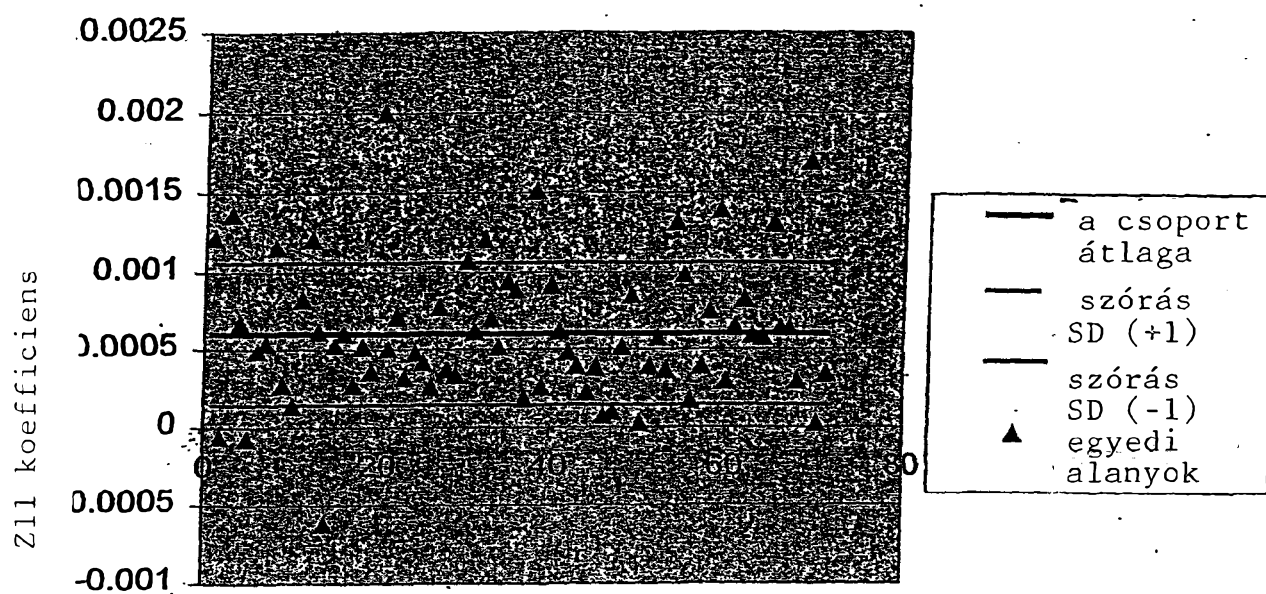


Fig. 13

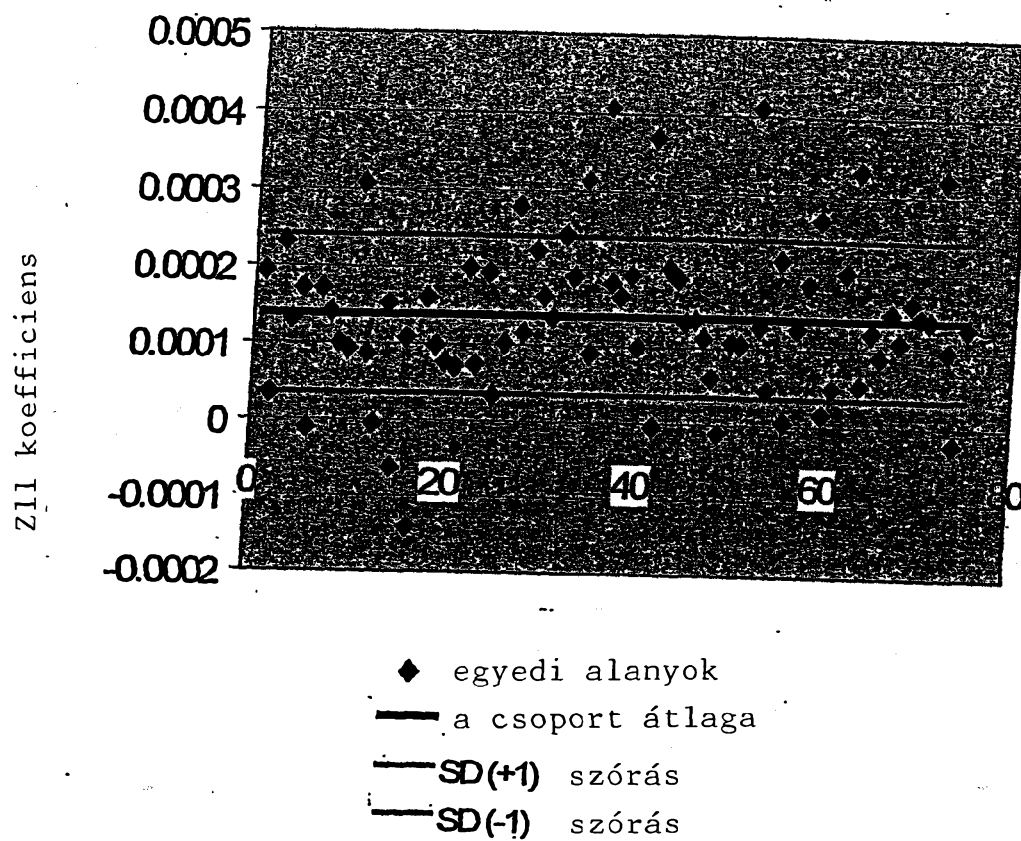


Fig. 14

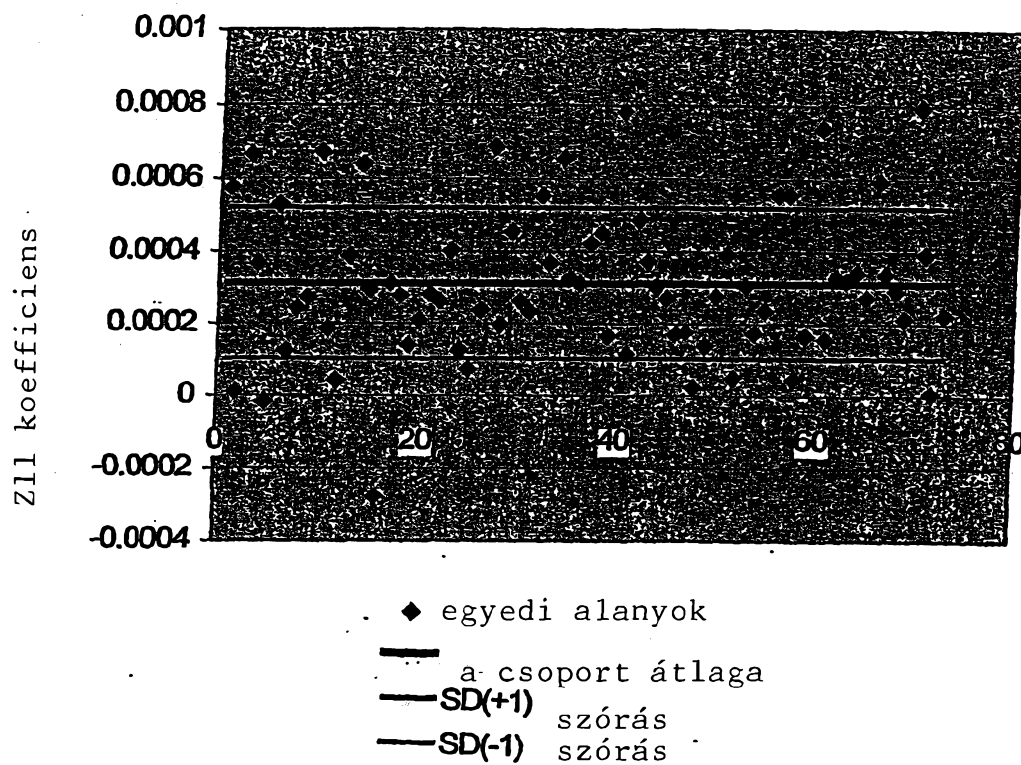
KÖZZÉTÉTELI
PÉLDÁNY

Fig. 15

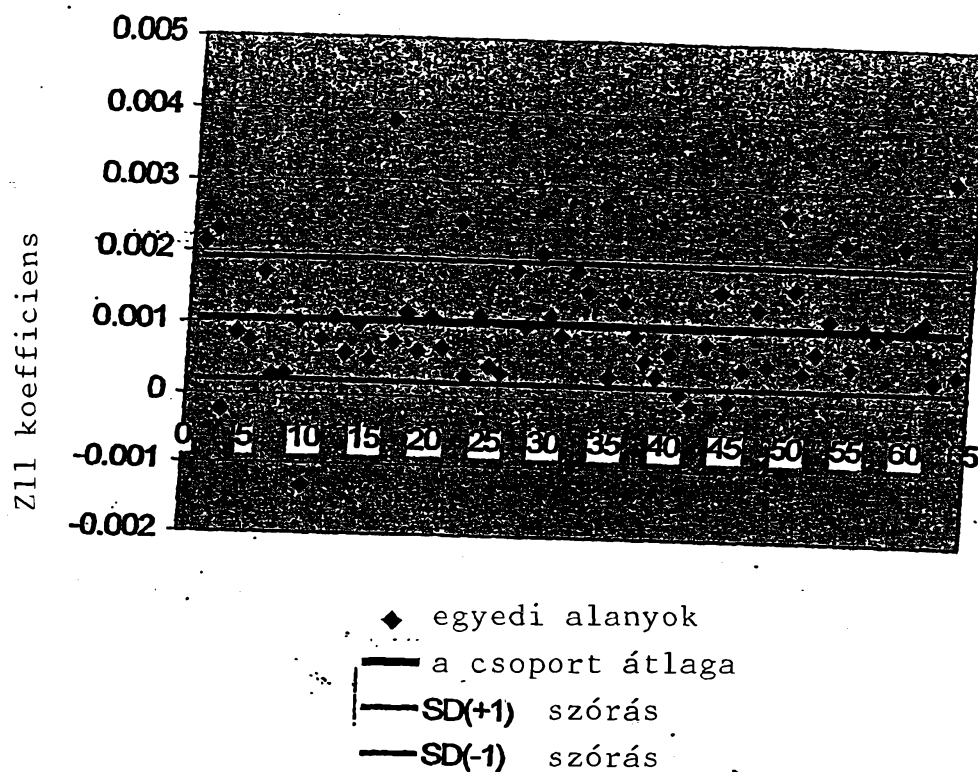


Fig. 16