

1. FOGLALKOZÁS

A ZEMAX OPTICSTUDIO OPTIKAI TERVEZŐ PROGRAM

A gyakorlat időtartama 4×45 perc.

A foglalkozás célja, hogy elkezdjünk megismerkedni a ZEMAX OPTICSTUDIO (röviden ZEMAX) optikai tervező program használatával. Az Atomfizika Tanszék által megvásárolt és némileg bővített program univerzálisan alkalmazható különféle optikai rendszerek – jellemzően leképező és megvilágító optikák – átfogó modellezésére és optimalizációjára. A program által kezelni képes felületek közül néhány példa: refraktív, reflektív gömbi és aszférikus elemek, diffraktív és Fresnel-felületek, felhasználó által megadott speciális felületek és még sok egyéb. Az optikai felületek térben tetszőleges pozícióban és irányban helyezhetők el. A program által végzett számítások alapja a geometriai optika (azaz a valós sugárátvezetés), de emellett korlátozott mértékben diffrakciós jelenségek modellezésére is képes (pl. skalár diffrakción alapuló PSF számítás).

A programmal mind sorrendi, mind nemsorrendi sugárátvezetési feladatok végezhetőek. Az előbbi olyan optikai rendszereknél használatos, ahol az összes fénysugár a rendszer felületein állandó, előre ismert sorrendben halad át (ld. fényképezőgép objektív). Nemsorrendi sugárátvezetést ettől eltérő esetekben alkalmaznak, amikor minden fénysugárnál egyedileg kell meghatározni az áthaladási sorrendet (ld. sarokprizma, fénycsőarmatúra stb.).

A program további domináns jellemzője a beépített optimalizációs algoritmus, amely nagy hatékonyságú eszköz optikai rendszerek tulajdonságainak automatizált javítására. A programot mindemellett az optikai rendszerek terveinek grafikus és szöveges formában történő dokumentálására is fölkészítették.

A ZEMAX optikai tervező program hibamentes használatához – a szoftver és az elvégzendő feladat bonyolultsága miatt – összetett ismeretek alapos elsajátítására van szükség. Az első foglalkozás bevezetőül szolgál az optikai tervezésben szokásos, illetve a program készítői által használt terminológia megtanulásához, illetve segítséget nyújt a program kezelésének megismerésében.

A foglalkozáson elvégzendő feladatok:

1. A ZEMAX optikai rendszer tervező program file-szerkezetének tanulmányozása:

- a gyakorlat során készített lencsék tárolására szolgáló alkönyvtár létrehozása, a ZEMAX főkönyvtárban lévő „C:\Users\...\Documents\ZEMAX\” alkönyvtárban (pl. „Lenses”)

2. Menüpontok megismerése, használatuk gyakorlása:

- „FILE, SETUP (System Explorer, Preferences, Editors)”

3. Kommunikáció a programmal:

- „..\Samples\Sequential\Objectives\Cooke 40 degree field.zmx” beolvasása, elmentése a saját alkönyvtárba „trip1.zmx” néven
- „ANALYZE → Aberrations → Seidel coefficients” kipróbálása

- lencseadatok kiírása a szöveges képernyőre („Analyze → Reports → Prescription data”) ✓
- az előző pont alapján határozza meg az első lencse peremvastagságát („Edge thickness”) ✓
- az utolsó lencsefelület rádiuszának rögzítése („SOLVE → FIXED”)
- belépő nyílás átmérő 8 mm-re állítása („System Explorer → Aperture”)
- a tengelyen lévő tárgypontból egy sugár átvezetése a belépő pupilla szélén, az összes felület sugáradatainak kiírása a képernyőre („ANALYZE → Rays & Spots → Single Ray Trace”, tárgypont beállítás: „Settings”, HX = HY = 0, PX = 0, PY = 1)
Figyelem: relatív tárgypont és pupilla koordináták! ✓
- a lencserendszer felrajzoltatása különböző méretarányok esetén („ANALYZE → 3D Viewer → Settings → Scale factor”)
- a lencserendszer különböző nézeteinek felrajzoltatása a grafikus képernyőre, különböző tárgypontok és sugárnyalábok esetén („ANALYZE → 3D Viewer” ill. „→ Shaded model”)
- Rajzoltassa fel a lencserendszer axonometrikus képét („Shaded model”) egy, az optikai tengelyen levő tárgypontból átvezetett 10 db. sugárral („Settings → Field: 1 ; Number of rays: 10”)! A $\frac{3}{4}$ lencseapertúrák legyenek ábrázolva „Draw section: $\frac{3}{4}$ ”, elforgatás: „Rotation X, Y, Z” = -30, 30, 40°. ✓
- Rajzoltassa föl az optikai rendszer „spot diagram”-ját, a tárgyter szélén lévő tárgypontból indított 60×60 sugár esetén! („ANALYZE → Rays & Spots → Standard spot diagram” majd „Settings → Field: 3 ; Ray density: 30 ; Use symbols: off Show Airy disk: on”) ✓
- „ANALYZE → Reports → Report Graphics”-ok kipróbálása

Ellenőrzési pontok (✓-val jelölve):

- a lencseadatok listája („trip1.zmx”)
- az első lencse peremvastagságának meghatározásakor kiírt adatok
- a pupilla szélén átvezetett sugár adatai („Single Ray Trace”)
- a lencserendszer fent meghatározott axonometrikus képe
- a fent meghatározott „spot diagram” alakja

2. FOGLALKOZÁS

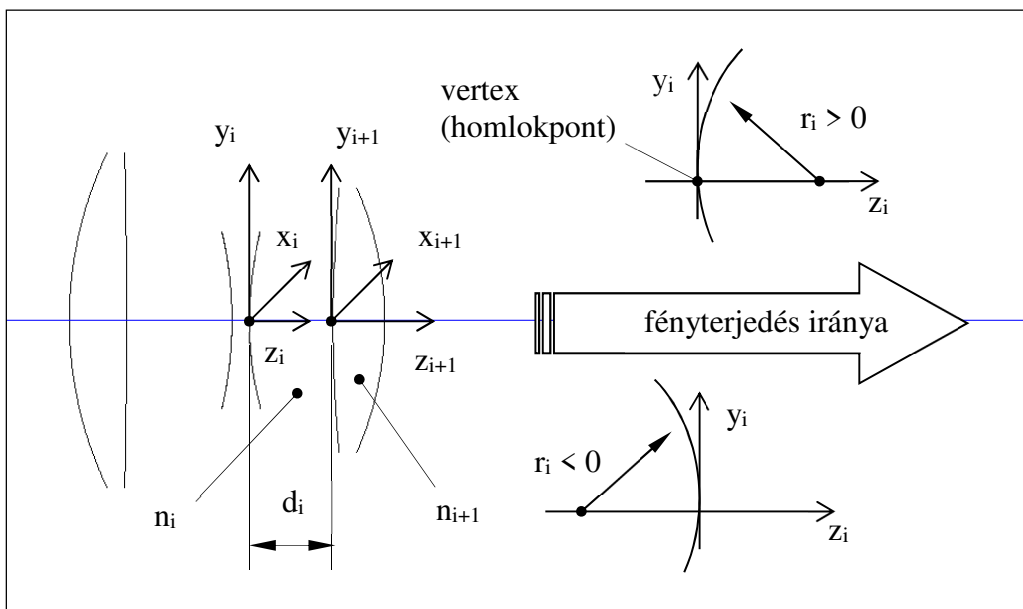
OPTIKAI RENDSZEREK FÖLVÉTELE

A gyakorlat időtartama 4×45 perc.

A foglalkozás során egyszerű lencserendszerek felvételét, manipulálását gyakoroljuk. Ha adott optikai rendszert optikai tervező programmal szeretnénk megvizsgálni, akkor a rendszer adatait meghatározott formában szükséges közölnünk a programmal – ezt hívják „a lencserendszer fölvételének”. A ZEMAX program az optikai rendszereket felületekre bontva kezeli, és minden optikai tulajdonságot (lencsék vastagságát, anyagok törésmutatóit, görbületi sugarakat, aszférikus együtthatókat stb.) ezekhez a felületekhez rendelve tárolja. A felületek helyzetének és irányának megadása globális és / vagy lokális koordináta rendszerekben történik. Minden egyes felülethez saját lokális koordináta rendszer tartozik, ezekben kell a felületek alakját megadni, emellett bennük a felületek tetszés szerint dönthetők is, illetve eltolhatók, ld. 1. ábra. A lokális koordináta rendszerek helyzetét egymáshoz képest kell definiálni. Globális koordináta rendszert akkor használunk, ha a felületet pl. a tárgyhoz képest szeretnénk megadni.

A foglalkozás célja, hogy gyakorolják a lencserendszerek felvételekor alkalmazott szabályokat, és elsajátítsák a program ilyen irányú kezelőszerveinek (az „editor”-ok, gyakorlatilag táblázatok) használatát. A foglalkozás során különböző elrendezésű egy- és kéttagú lencserendszerek felvételére kerül sor. A foglalkozás másodlagos célja, hogy megfigyeljék a lencserendszerekben létrehozott változtatások miként befolyásolják a fókuszolt méretét, illetve alakját.

Ajánlatos minden újonnan készített lencserendszert elmenteni az első gyakorlaton létrehozott saját alkönyvtárba.




1. ábra. A tárgyfelület sorszáma: $i = 0$, az (x_i, y_i, z_i) koordináta rendszer az „ i ” felület lokális koordináta rendszere.

A foglalkozáson elvégzendő feladatok:

1. Egy lencse felvétele:

- A program lencsekatalógusából válassza ki a CVI-Melles Griot „LPX-25.4-16.4-C” pozitív (azaz gyűjtő) lencsét, és hozza be a lencseeditorba! („LIBRARIES → Lens catalog → CVI Melles Griot → LPX-25.4-16.4-C → Insert at → Surface 2”)
- Állítsa be működési hullámhossznak a He-Ne lézer 0,6328 μm-es hullámhosszát! A többi hullámhosszt törölje. („System Explorer → Wavelengths”)
- Állítson be végtelen tárgy távolságot! („SETUP → Editors → Lens Data → Thickness → OBJ → 1e20”)
- Tegye az apertúra rekeszt az első lencsefelületre (2. sorszám)! („SURF:TYPE → bal KATT → MAKE SURFACE STOP”)
- Állítsa a belépő nyaláb átmérőjét 14 mm-re! („System Explorer → Aperture → Aperture value: 14 mm”)
- Vegyen föl egy tárgy pontot az optikai tengelyen! („System Explorer → Fields → Field 1 ; X-field: 0 ; Y-field: 0 ; Settings → Type: angle”)
- Az 1. sorszámú felületet segédfelületként (dummy surface) fogjuk használni a lencserendszer felrajzolásakor. Vastagsága („Thickness”) legyen 5 mm.
- Szúrjunk be egy segédfelületet a képsík elé („4. felület során → INS”)
- A 4. felület távolságát állítsa be úgy, hogy az automatikusan mindig a paraxiális képtávolság legyen, ld. 2.a ábra! („a 3. felület THICKNESS értéke mellett jobb KATT → Solve type → Marginal Ray Height → Height: 0”)
- A képsík autofókuszálásához állítsuk be a 4. felület vastagságát változóznak! („a 4. felület THICKNESS értéke mellett jobb KATT → Solve type → Variable”)
- Az autofókuszáláshoz hibafüggvénynek alkalmazzuk a beépített „standard” szóródási folt hibafüggvényt („OPTIMIZE → Merit function editor → Wizards and operands → Optimization wizard → RMS Spot radius ; Reference: Centroid ; Pupil Integration: Rectangular array ; 20×20”), majd autofókuszálunk („OPTIMIZE → Optimize! → Automatic”).
- Rajzoltassa föl a lencsét úgy, hogy a sugarak a képsíkiig legyenek feltüntetve; egy tárgy pont az optikai tengelyen és 11 sugár! („ANALYZE → 3D Wiewer → Field: 1 ; Number of rays: 11 ; First surface: 1 ; Last surface: 5”) ✓
- Ezt a lencsét mentse el a saját alkönyvtárába 2gyak.zmx néven, jegyezze föl fókusz távolságát, NA-ját! („ANALYZE → Reports → System data”)
- Rajzoltassa föl a tengelyen lévő tárgy pont szóródási foltját 60×60 sugár esetén! („ANALYZE → Rays & Spots → Standard spot diagram” majd „Settings → Ray density: 30 ; Use symbols: off ; Show Airy Disk: on ; Pattern: square”)
Jegyezze fel a folt méretet („RMS Radius”)! ✓
- Most a lencse alakját fogjuk módosítani „RADIUS gomb”. Annak érdekében, hogy a lencse fókusz távolsága (törőereje) ne változzon, „AXIAL RAY ANGLE SOLVE”-ot alkalmazunk a második lencsefelület rádiuszának az automatikus meghatározására (marginal ray = apertúrasugár), ld. 2.b ábra. Kattintson bal egér gombbal a második lencsefelület RADIUS értékétől jobbra lévő kis mezőre majd „Solve type → Marginal ray angle”. Az itt megadott érték a kilépő (paraxiális!) apertúra sugár y-iránytangense. Ha a nyalábsugár 7 mm és a fókusz távolság 32 mm, ez az érték $-7/32 = -0,21875$. Az előjelszabályoknak megfelelően negatív.
- Variálja a lencse vastagságot, görbületi sugarat, képsíki távolságot és kövesse a változásokat a grafikus ablakokban! (Kétszeres bal egér gomb kattintással a megfelelő

grafikus ablak tartalma frissíthető. Ne felejtse el a változtatások után autofókuszálni!) *Melyik lencsealaknál minimális az RMS foltméret értéke?* Próbálja ki az „Optimize → Slider” segédeszközt a paraméterek változtatásához! Használja a slider beállításainál a Quick Focust, „Spot size radial, use centroid” beállításokkal!

- Hozza be saját alkönyvtárából az eredeti 2gyak.zmx lencsét a lencseeditorba. A következő feladatban változtatni fogjuk a lencse törésmutatóját. Azért, hogy a fókusztávolság ne változzon meg, az első lencsefelület görbületi sugarát állítsa be változóként („bal KATT a 2. sor RADIUS értéke melletti kis mezőre → Solve type → Variable”), és a hibafüggvényben az effektív fókusztávolság megtartásához vegyünk fel egy új operandust („Optimize → Merit function → 1. sorra katt → Insert gomb”, majd az első sor bal oldalán szereplő sor számára kétszer katt, „Operand → EFFL ; Target: 32 ; Weight: 1”).
- Optimalizáljon és jegyezze föl a szóródási folt méretét („ANALYZE → Rays & Spots → Standard Spot Diagram” majd „Settings → Ray density: 30 ; Use symbols: off ; Show Airy Disk: on ; Pattern: square”).
- Az eredeti BK7-es üvegyanyagot cserélje ki egymás után SF11, SFL57 és LASF35 üvegre. Vegye fel a törésmutató – RMS foltméret függést (a törésmutató a „ANALYZE → Reports → Prescription data → Settings → INDEX / TCE DATA” parancs segítségével listázható). Minden üvegcsere után optimalizáljon! *Vesse össze az eredményeket az előadáson tanultakkal!* ✓
- Hozza be saját alkönyvtárából az eredeti lencsét a lencseeditorba, fordítsa meg (reverse elements), és autofókuszálja! („Lens Data →  ikon → First surface: 1 ; Last surface: 5”) ✓
- *Az eredeti vagy a megfordított esetben kisebb a foltméret?*
- Hozza be saját alkönyvtárából az eredeti lencsét a lencseeditorba, változtatgassa az első lencsefelület kúpszelet együtthatóját („CONIC”), autofókuszáljon (Optimize → Quick Focus)! A kúpszeletegyüttható értelmezését keresse meg a súgóban (a „standard” felülettípusnál). *Mikor minimális a szóródási folt mérete?*

2. Lencserendszer felvétele:

- Az eredeti 2gyak.zmx lencsefájlból törölje ki az eddigi lencsét felületenként, de az az 1. sorszámú és a képsík előtti segédfelületeket tartsa meg (Delete gomb), és illesszen egymás után két CVI-Melles Griot „PLCX-15.0-30.9-C” pozitív katalóguslencsét! („LIBRARIES → Lens Catalog → Insert”) Az apertúrarekeszt mindig az 2. sorszámú felületre helyezze. *Jegyezze fel a lencsék fókusztávolságát!*
- A két lencse távolsága legyen 6,0 mm! Ezzel állítjuk be az effektív fókusztávolságot 31,9 mm-re.
- A 6. segédfelület távolságát állítsa be úgy, hogy az automatikusan mindig a paraxiális képtávolságban legyen! („az 5. felület THICKNESS értéke mellett jobb KATT → Solve type → Marginal Ray Height → Height: 0”), autofókuszáljon.
- Rajzoltassa föl a lencsét úgy, hogy a sugarak a képsíkiig legyenek feltüntetve; egy tárgypontra az optikai tengelyen és 11 sugar! („ANALYZE → 3D Viewer → Field: 1 ; Number of rays: 11 ; First surface: 1 ; Last surface: 7”) ✓
- A lencsét új néven mentse el a saját alkönyvtárába!
- Egy másik grafikus ablakba rajzoltassa föl a tengelyen lévő tárgypontra szóródási foltját 60×60 sugar esetén! („ANALYZE → Rays & Spots → Standard Spot Diagram” majd „Settings → Ray density: 30 ; Use symbols: off ; Show Airy Disk: on ; Pattern: square”) ✓

- A lencsék megfordítgatásával keresse meg az „RMS radius” minimalizálása szempontjából optimális elrendezést! Változtatás után autofókuszáljon!
- Melyik elrendezésben minimális az RMS foltméret?
- Vesse össze a kapott eredményt az eredeti egytagú gyűjtőlencse saját alkönyvtárba mentett, autofókuszált foltméretével! ✓
- Vesse össze a lencsék számának növekedése miatt bekövetkezett foltméret csökkenést az előadáson tanultakkal!
- Mekkora a kétlencses rendszer fókusz távolsága és NA-ja? Miért?
- A lencsét új néven mentse el a saját alkönyvtárába!
- Fordítsa meg az első lencsét, és állítson be 1:1-es leképezést. Fókuszálás után rajzoltassa föl a lencsét a tárgytól a képsíkig, és vizsgálja meg a leképezés jellemzőit!

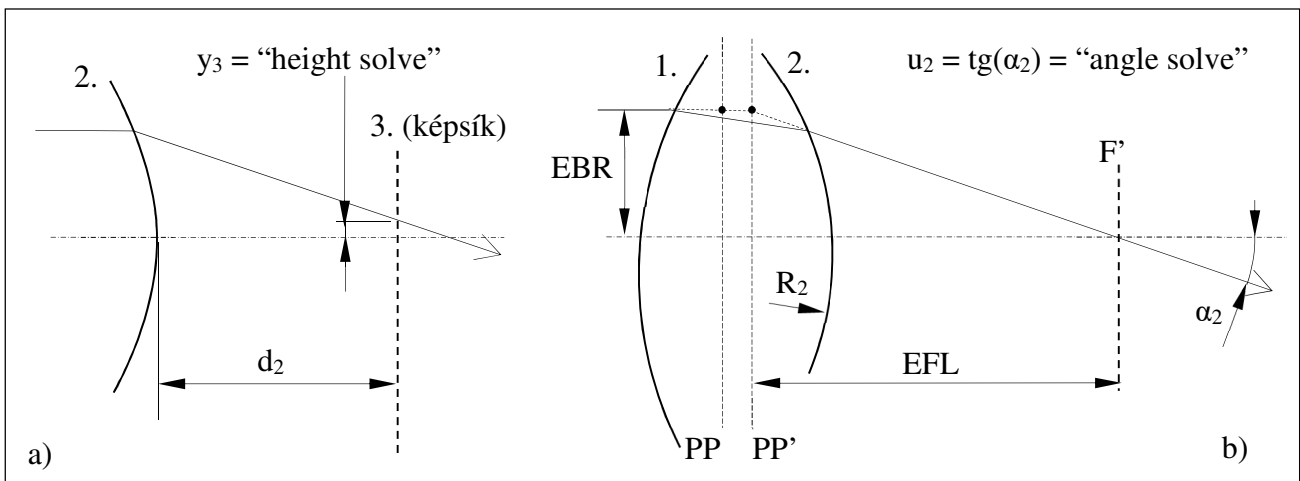
Emlékeztető:

$$SA3_1 \equiv y_2 \cdot 2NA_1 \Big|_{y_1=d_1/2} = -\left(\frac{D_1}{2}\right)^4 \frac{p_1^3}{n_{01}^2 \cdot (n_{01} - 1)^2} \sim \frac{1}{n_{01}^2 \cdot (n_{01} - 1)^2}$$

$SA3 = \sum SA3_i = k \cdot SA3_i \sim k/k^3 = 1/k^2$ -el csökken a lencsefelületek darabszámának növelésével

Ellenőrzési pontok (✓-val jelölve):

- az 1. pontban használt lencse rajza a fent megadott beállítás esetén
- az 1. pontban használt lencse szóródási foltja a fent megadott beállítás esetén
- a lencse törésmutató – szóródási folt függvénye
- a megfordított, autofókuszált lencse szóródási foltja a fent megadott beállítás esetén
- a 2. pontban használt lencserendszer rajza az optimális beállítás esetén
- a lencserendszer spot diagramja ugyanekkor a fent megadott beállítások esetén
- az egy ill. kétlencses rendszer fókusz távolsága és NA-ja, magyarázattal



2. ábra. „Solve”-nak nevezett paraxiális kényszerek szemléltetése.

a) Marginal ray height solve: d_2 kényszerítése $\rightarrow y_3 = \text{const}$. Ha $y_3 = 0 \rightarrow$ 3. felület = képsík

b) Marginal ray angle solve: R_2 kényszerítése $\rightarrow u_2 = \text{const}$. Célszerűen: $u_2 = -EBR/EFL$

3. FOGLALKOZÁS

OPTIKAI RENDSZEREK ANALÍZISE

A gyakorlat időtartama 4×45 perc.

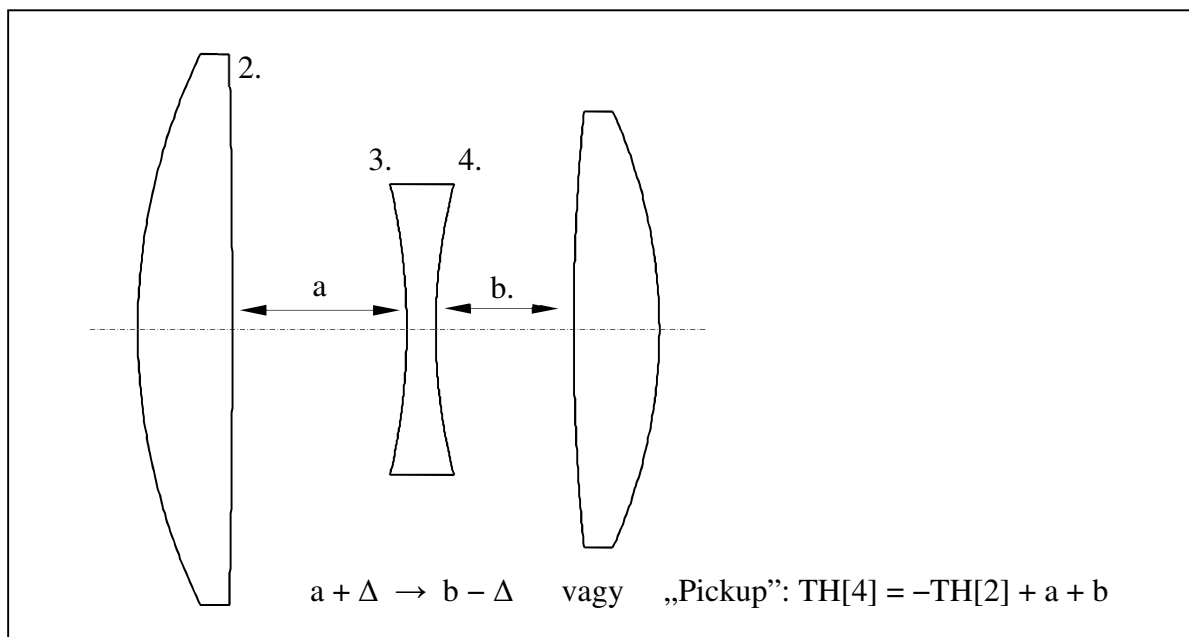
A foglalkozáson kész lencserendszerek optikai modellezését gyakoroljuk. A ZEMAX-ban minden vizsgálat alapja a valós sugárátvezetés, ennek segítségével lehet a lencserendszerek különböző optikai jellemzőit (pl. fókuszfoltméret, „spot diagram”, MTF, hullámfront aberráció stb.) meghatározni. Az egyszerűbb paraxiális optikai közelítést a program csak a be- és kilépő pupillák, valamint az effektív fókusz távolság, nagyítás stb. meghatározására ajánlja föl. Mivel a lencserendszerekből kilépő fénynyalábok hullámfrontjának alakja geometriai optikailag meghatározható, így a program a fókuszfolt diffrakciós képének vizsgálatára is képes. Adott tárgypontból, adott irányba indított fénysugarak a lencserendszer felületein rendszerint előre meghatározott sorrendben haladnak át (ez az ún. sorrendi sugárátvezetés). A program emellett nemsorrendi sugárátvezetésre is képes, ami lassúságánál fogva viszont csak indokolt esetben alkalmazandó. Sorrendi esetben a sugaraknak az optikai rendszeren belül egy kiindulási és egy végpontjuk van, elágazás (pl. féligáteresztő tükrön) nem lehetséges. A ZEMAX-ban sugárcélzás szempontjából kétféle sugarat különböztetünk meg: közönséges és célzott sugarat (ld. „ray aiming”). A közönséges sugarakat a tárgytérben megadott irányba indítja a program, míg a célzott sugarat az optikai rendszer adott felületének (apertúra rekesz) adott pontján való áthaladásra kényszeríti. Ez utóbbi iteratív sugárátvezetést igényel, ennek megfelelően végrehajtási ideje hosszabb.

A foglalkozáson megismerkedünk a ZEMAX által lencserendszerek analízisére felkínált főbb lehetőségekkel, valamint gyakoroljuk az ilyen célú kezelőszervek (menük és „editor”-ok) használatát. A foglalkozás másodlagos célja, hogy megfigyeljük a lencsék, lencserendszerek paraxiális jellemzőinek (effektív fókusz távolság, belépő pupilla méret, helyzet stb.) változását a lencserendszer felépítésének, illetve a működési feltételek (pl. hullámhossz) függvényében. További cél a szóródási folt alakja és mérete változásának vizsgálata a tárgymagasság és numerikus apertúra (ill. apertúra rekesz átmérő) függvényében. Figyelem! Ha egy optikai rendszer adatait módosítja, majd új vizsgálatokat kíván végezni az eredeti rendszeren, ne feledje azt újra betölteni a merevlemezzel!

A foglalkozáson elvégzendő feladatok:

1. Lencserendszer működésének (paraxiális) geometriai optikai analízise:

- Vizsgálja meg a lencsekatalógus különböző egytagú lencségeit (konvex-konkáv, konvex-konvex, plano-konvex stb.) a paraxiális adataik alapján! Javasolt lencsék a Thorlabs katalógusból: LA1251 / LC1120, LB1676 / LD1613, LE7981-F / LF7601-F. A lencségeket a katalógus „LOAD” parancsával töltsse be. Figyelje meg a fókuszok elhelyezkedését a lencsefelületekhez képest! („ANALYZE -> Reports -> Prescription data -> Cardinal Points”) *Milyen fajta lencsénél eshet mind a két fókusz a lencse azonos oldalán kívülre?*
- Töltsse be a „trip1.zmx” lencserendszert. A 6. felület „radius” oszlopában a „solve”-ot állítsa át „fixed”-re. A lencsét azonos néven mentse el! Vizsgálja meg a lencse paraxiális adatait! („ANALYZE -> Reports -> Prescription data -> Cardinal points”).
- A 6. felület után szűrjön be egy segédfelületet. Ennek a pozícióját „chief ray height solve” segítségével állítsa be úgy, hogy a segédfelület a kilépő pupillát reprezentálja.
- Figyelje meg a be- és kilépő pupilla elhelyezkedését („ANALYZE -> Reports -> Prescription data -> General”)! Helyezze át az apertúra rekeszt a rendszer különböző felületeire és figyelje meg a pupillák helyzetének változását! („Lens Data -> Surf Type -> Make surface stop”) *Milyen esetben esik egybe az első felület a belépő pupillával?* ✓
- *Hogyan lehet „marginal ray height solve” kényszerrel a 6. felületet a képoldali fókusz pozíciójába helyezni?*
- Kismértékben változtassa a lencsék távolságát, és figyelje meg az effektív fókusztávolság változását! („ANALYZE -> Reports -> System data”) *Ha a 2. és 3. felület távolságát csökkentjük (6 mm-ről 1-re), hogyan érhető el, hogy a rendszer szerkezeti hossza állandó maradjon (ld. 1. ábra)? Ebben az esetben hogyan változik a fókusztávolság a középső lencse balra történő mozgásával?*



1. ábra. „pickup”-ok használata

- Vizsgálja meg az eredeti triplet effektív fókusz távolságának változását, miközben a működési hullámhosszat változtatja 0,4 és 0,7 μm között 0,05 μm -enként! („System Explorer -> Wavelengths”) *Durván vázolja föl, hogy a hullámhossz növelése hogyan változtatja a fókusz távolságot!* A kapott eredményt ellenőrizze: „ANALYZE -> Aberrations -> Chromatic focal shift”. (Az ellenőrzéshez a hullámhossz editorban legalább két hullámhosszat meg kell adni: az intervallum elejét és végét, pl. 0,4 és 0,7 μm -t.)

2. Lencserendszer működésének (valós) geometriai optikai analízise:

- Az előző pontban elmentett „trip1.zmx” rendszert töltsse be. Állítsa át a belépő nyaláb átmérőjét 5 mm-re. Végezze el a képsík-eltolás elemzést az „ANALYZE -> Rays & Spots -> Through focus spot diagram” almenüpontban (végtelen tárgy távolság, három tárgy pont 30x30 sugár, azaz Ray density = 15; Plot scale = 100 μm ; Delta focus = 100 μm ; Use symbols: off esetén)! Az Airy-folt legyen a diagrammokon feltüntetve (a felsorolt beállítások mind ezen menü pont alatt eszközölhetők)! Figyelje meg a különböző képpontokban kapott foltok eltérő alakját (defókusz, nyíláshiba, asztigmatizmus, kóma, longitudinális színhiba)! ✓
- Változtassa a belépő nyaláb átmérőjét (10 mm, 8 mm stb. → 2 mm), és figyelje meg a szóródási foltok jellemző méretváltozását! *Milyen irányban változik a szóródási folt mérete, és ezzel párhuzamosan a diffrakciós folt mérete?* ✓
- A belépő nyaláb átmérőjét állítsa vissza az eredeti 10 mm-re, és frissítse a képsík eltolási diagrammot (itt végtelen a tárgy távolság).
- Állítson be -0,3x paraxiális nagyítást (végesből végesbe való leképezés)! Az „ANALYZE Reports -> Prescription data -> Cardinal points” alapján 0,55 μm -es hullámhosszon határozza meg a tárgy oldali fősík helyzetét és az effektív fókusz távolságot („REPORTS -> System”), majd a lencsetörvény alapján állapítsa meg a szükséges tárgy távolságot, és a fősík helyzetének figyelembe vételével állítsa be a tárgy távolságot. A képsík paraxiális helyzetét „marginal ray height solve”-al kényszerítse. A „REPORTS -> System”-al alapján ellenőrizze a nagyítást.

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{f} + \frac{1}{t} \quad ; \quad m = \frac{k}{t} \quad \Rightarrow \quad t = \left(\frac{1}{m} - 1 \right) \cdot f$$

- Rajzoltassa föl a lencserendszert úgy, hogy a sugarak a képsíktól a tárgysíkiig legyenek feltüntetve (a szükséges beállítást keresse meg a lencserajz „Settings” menüjében)! ✓
- Egy új ablakban ismét végezze el a „Rays & Spots -> Through focus spot diagram”-t, és a képsík eltolási diagram segítségével manuálisan keresse meg a képsík optimális helyzetét (a képtávolságot először „fixálni” kell, hogy állítható legyen). Vesse össze az eredményeket a végtelen távoli tárgy esetével! Számszerű foltméretek tetszőleges tárgy pont esetén leolvashatók a diagrammról („RMS radius”). *Nöttek vagy csökkentek a foltméretek? A foltokat 0,7-es relatív tárgymagasság esetén számszerűen vesse össze.* ✓
- A tengelyen lévő tárgy pontból vezessen át egy, a rekesz szélén áthaladó sugarat a teljes rendszeren! („ANALYZE -> Rays & Spots -> Single Ray Trace; Hy = 0; Py = 1”) Értelmezze a kiírt adatokat a Sűgó használatával! *Az eredményeket listázza a képernyőre! Hogyan lehet az adatokból meghatározni a diffrakciós folt méretét (másnéven az Airy-rádiust)?* ✓

3. Lencserendszer működésének diffrakciós analízise:

- Töltse be a „trip1.zmx”-t. Töröljön minden hullámhosszt kivéve az elsőt, és ezt állítsa 550 nm-re. Töröljön minden tárgyponthoz kivéve az elsőt. Állítsa a belépő nyaláb átmérőjét 5 mm-re, és állítson be 42,36 mm-es képsík távolságot. Rajzoltassa föl a lencserendszer monokromatikus PSF függvényét a tengelyen lévő tárgyponthoz esetére („ANALYZE -> PSF -> FFT cross section; Sampling: 32; Plot scale: 150 µm; Normalize: on”).
- Defókuszálja a képsíkot +2 mm-el, és ábrázolja a szóródási foltot („ANALYZE -> Rays & Spots -> Standard Spot Diagram”). Jegyezze fel szóródási folt és az Airy folt méretét ($R_{\text{Airy}} = \text{Airy radius}$). A szóródási folt RMS mérete segítségével határozza meg a sugáraberráció várható értékét ($y' = \text{geometrical spot size}$). Az előadáson tanult képlettel állapítsa meg, hogy a pupillán mekkora mintavételezés (N) kell legalább, hogy a PSF függvényt még jól tudja a program kiszámítani:

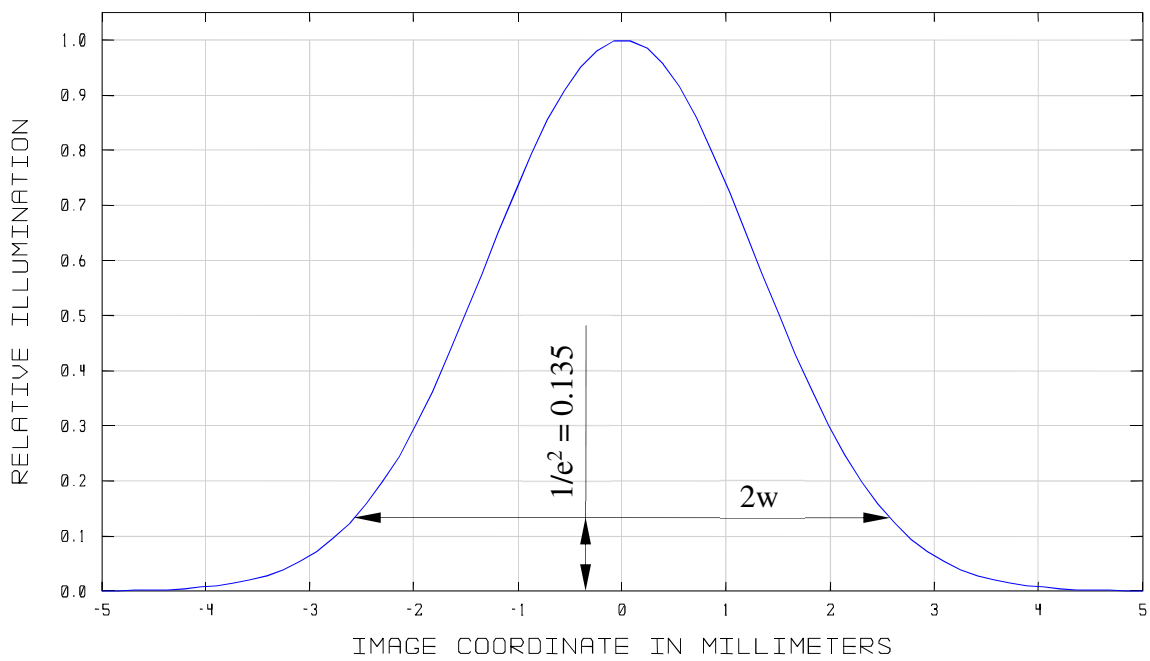
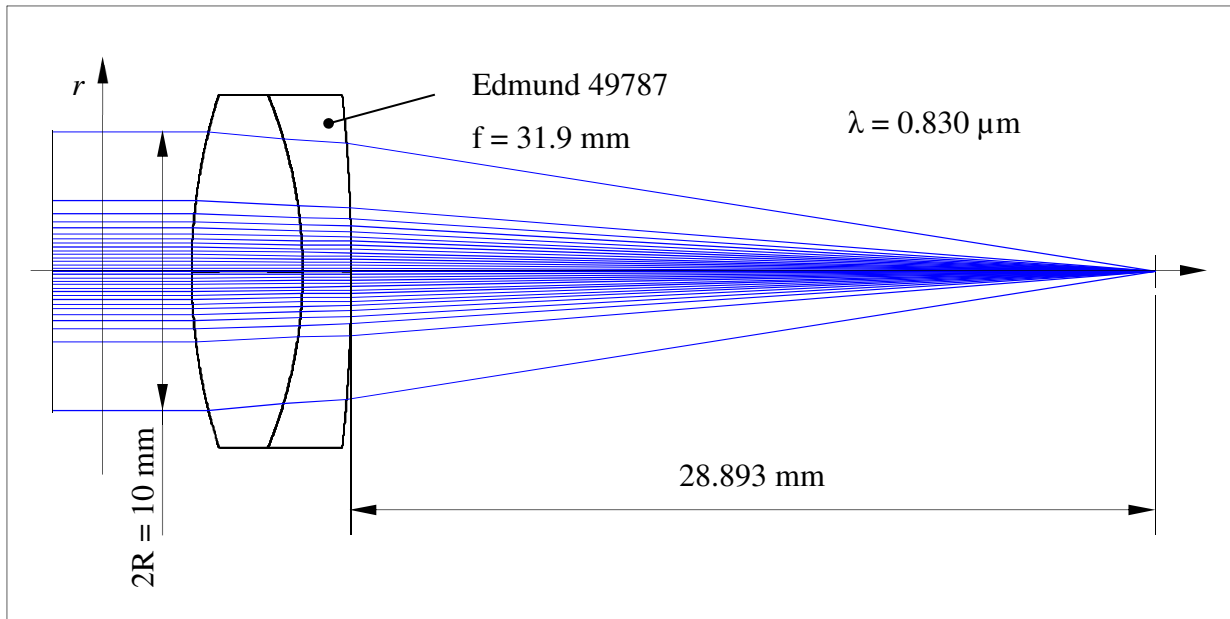
$$y' \leq \frac{N}{10 \cdot 1,22} \cdot R_{\text{Airy}}$$

- Rajzoltassa föl ilyen mintavételezés mellett a PSF-et mint szűrkeskálás képet egy másik grafikus ablakba. A diffrakciós folt és a szóródási folt köré rajzolt négyzet mérete legyen egyforma. Vesse össze a szóródási foltot a PSF-el. A 3. feladatot megismételheti –2 mm-es képsík defókusszal és nagyobb illetve kisebb pupilla mintavételezéssel is.

Ellenőrzési pontok (✓val jelölve):

- minden feltett kérdésreválaszt kell adni
- a 2. pontban használt triplet képsík eltolási diagrammja (végtelen távoli tárgynál, 5mm-es belépő nyaláb átmérő)
- a képsík eltolási diagramm ugyanakkor, 2 mm átmérőjű belépő nyaláb esetén
- az átvezetett sugár adatai
- a triplet rajza átvezetett sugarakkal együtt, a megadott –0,3-szeres nagyítás érték esetén
- a képsík eltolási diagramm ebben az állapotban
- a 3. feladatban kapott diffrakciós és szóródási folt képe

Gauss nyaláb fókuszálásának és egymódusú szálba csatolásának vizsgálata



RELATIVE ILLUMINATION, X-SCAN

WED APR 14 2010
WAVELENGTH: POLYCHROMATIC
EFFICIENCY: 1.0000

FINAL_RED_MEASURED.ZMX
CONFIGURATION 1 OF 1

$$I(r) = E(r)^2 = I_0 e^{-2 \cdot (r/w)^2} ; \quad E(r) = E_0 e^{-G \cdot (r/R)^2} \rightarrow G = \left(\frac{R}{w} \right)^2 .$$

$$w(z)^2 = w_0^2 \left[1 + \left(\frac{\lambda \cdot z}{\pi \cdot w_0^2} \right)^2 \right] \rightarrow NA = \sin \left(\operatorname{atan} \left(\frac{\lambda}{\pi \cdot w_0} \right) \right) ; \quad w = f \cdot NA$$

Ha $w_0 = 3.42 \mu\text{m} \rightarrow NA = 0.0771$; $w = 2.5 \text{ mm} \rightarrow f = 32.4 \text{ mm}$

Gauss-nyalábból számolt foltméret: $w_0 = 3.37 \mu\text{m}$

Diffrakcióból-nyalábból számolt min. foltméret: $w_0 = 3.43 \mu\text{m}$; $\eta = 93\%$

Diffrakcióból-nyalábból számolt optimális foltméret: $w_0 = 3.63 \mu\text{m}$; $\eta = 96\%$ (elvi határ: 98%)

A becsatolási hatások „ η ”.

Keressük meg a becsatolás szempontjából optimális képsík helyzetet!

Az első felület féltátmérőjét 1 mm-re csökkentve vizsgálja meg a fókuszfolt alakját!

4. FOGLALKOZÁS

OPTIKAI RENDSZEREK OPTIMALIZÁCIÓJA

A gyakorlat időtartama 4×45 perc.

A foglalkozás célja az automatizált optimalizáció módszerének alapszintű elsajátítása. Az optikai tervezésben manapság elterjedten alkalmazott eljárás fontos elemei a változók és az operandusok. A módszer lényege, hogy a lencserendszer kijelölt paramétereinek változtatásával (változók) a program automatizáltan javítja a tervezés alatt álló optikai rendszer általunk meghatározott tulajdonságait (operandusok). Az operandusok súlyozott négyzetes középértékét hibafüggvénynek nevezzük, mely értékének nullához tartó csökkenése jelzi a rendszer javulását (optimalizációját). Az optikai tervező feladata az operandusok kijelölése, és súlyaik megfelelő megválasztása. Ez utóbbi azért fontos, hogy ne fordulhasson elő olyan eset, amikor egyes lencsejellemzők nagyságrendekkel gyorsabban javulnak a többiekénél. Emellett biztosítani kell a javítani kívánt tulajdonságok számával legalább megegyező mennyiségű szabadsági fokot is, ami a változtatandó lencseparaméterek kijelölését jelenti. Az operandusok és változók megadása után a program a csillapított legkisebb négyzetek módszerével kiszámítja, hogy a lencseparamétereket milyen irányba kell megváltoztatni a hibafüggvény értékének csökkentéséhez (optimalizálásához).

A foglalkozáson két egyszerű rendszer megtervezése során az operandusok és változók felvételét gyakoroljuk. A foglalkozás másodlagos célja, hogy megfigyeljük, hogyan javítható egy kéttagú rendszer fókuszálási képessége ahhoz viszonyítva, ami katalógus-elemekből összeállított rendszerrel érhető el, és hogyan hozható létre kis foltméret több hullámhossz egyidejű használata esetén. Először egy lézerdióda-kollimátorhoz hasonló duplet, majd egy akromatikus ragasztott lencse optimalizációjára kerül sor. Mindkét lencserendszerrel a cél adott fókusz távolság és numerikus apertúra beállítása, illetve a fókusz folt méretének minimalizációja. A rendszerek végtelen tárgy távolság mellett működnek, optikai tengellyel párhuzamosan beeső nyaláb esetén. Az első rendszert csak egy, a másodikat a látható színek három megadott hullámhosszára kell korrigálni.

A foglalkozáson elvégzendő feladatok:

1. A kiindulási rendszer felvétele:

- A lencseeditorba hozzon be és helyezzen el egymás után két CVI-Melles Griot „PLCX-15.0-30.9-C” gyűjtőlencsét úgy, hogy a lencsék domború felületei nézzenek a tárgysík felé! Távolságuk legyen 6,0 mm.
- Az első lencsefelület előtt hagyja meg / hozzon létre egy segédsíkot (dummy), amit a fénysugarak felrajzolásához használunk. Ennek vastagsága legyen 10 mm.
- A hullámhosszakat egy kivételével törölje, amit állítson be a He-Ne lézer 0,6328 µm-es hullámhosszára! Vegyen föl 3°-os és 5°-os tárgyszögeket („System Explorer -> Fields -> Use: 1; Y-FIELD: 3; Use: 2; Y-FIELD: 5”), 14 mm-es belépő nyaláb átmérőt! Az apertúra rekesz legyen az első lencsefelületen (2.), a tárgy távolság legyen végtelen. Vegyen fel egy segédsíkot a képsík elé.
- Helyezze a képsíkot a lencserendszer fókusz síkjába: az 5. lencsefelület vastagságát „Marginal ray height solve”-val, a képsík helyzetét autofókuszálással állítsa be: „OPTIMIZE -> Quick focus -> Spot size radial”.
- Állítsa a lencseapertúrák sugarát „Automatic”-ra!
- Rajzoltassa föl a lencsét két (tengelyen és a tárgy tér szélén lévő) tárgy pontból indított 11-11 sugárral („ANALYZE -> 3D Viewer”). A sugarak a képsíkiig legyenek feltüntetve.

- Rajzoltassa föl a lencse, optikai tengelyen lévő tárgypontról számított szóródási foltját („ANALYZE -> Rays & Spots -> Standard Spot Diagram -> Field: 1”), 60×60 sugár esetén. Az Airy-folt legyen a rajzon feltüntetve.
- Rajzoltassa föl a lencse transzverzális hibagörbéit. („ANALYZE -> Aberrations -> Ray aberration”).
- Vizsgálja meg a rendszer szóródási foltját, hiba görbéjét, jegyezze föl fókusz távolságát, numerikus apertúráját! *Mekkora az eltérés a paraxiális és a valós sugárátvezetéssel számított képtávolságok között? Diffrakciókorlátoznak tekinthető-e a lencse? A hibagörbe alapján mely aberrációk dominálnak?* A rendszert mentse el a hibagörbével, szóródási folttal és a paraxiális adataival együtt! ✓

2. A változók és operandusok felvétele, optimalizáció:

- Állítsa be a rendszer összes görbületesugarát változóknak! (Az adott paramétertől jobbra katt, majd a „VARIABLE” kiválasztásával.) A lencserendszert új néven mentse el.
- Generáljon harmadrendű Seidel-típusú nyíláshibát korrigáló operandust („OPTIMIZE -> Merit Function Editor -> 1. operandus: SPHA ; Weight: 1”).
- Végezzen optimalizációs iterációkat, majd autofókuszáljon. („OPTIMIZE -> Optimize! -> Cycles: Automatic” majd „Quick focus”). *Milyen irányba változott a foltméret, transzverzális hiba görbe és a numerikus apertúra (ill. effektív fókusz távolság) az eredeti kiindulási rendszerhez képest?*
- Generáljon harmadrendű Seidel-típusú nyíláshibát („SPHA”) korrigáló operandust, valamint olyat, amelyik az effektív fókusz távolságot 32 mm-re rögzíti („EFFL”).
- Állítsa addig az EFFL súlyát (weight), amíg az optimalizáció hatására a fókusz távolság $\pm 0,3$ mm pontossággal a kívánt érték nem lesz (ui. nem kell ennél pontosabban az EFFL).
- Nullázza ki a képsík előtti felület vastagságát. Végezzen optimalizációs iterációkat, majd autofókuszáljon. *Milyen irányba változott a foltméret, nyíláshiba-görbe és a numerikus apertúra (ill. effektív fókusz távolság) az eredeti kiindulási rendszerhez képest? Mekkora az eltérés a paraxiális és a valós sugárátvezetéssel számított képtávolságok között?*
- A rendszert mentse el a hibagörbével, szóródási foltját és paraxiális adatait együtt! (Ezt a mentést később használjuk; **hivatkozás: ***) ✓
- A fenti optimalizációt végezzük el SPHA operandus helyett a szóródási foltot minimalizáló hibafüggvénnyel. Az SPHA operandust törölje, és az EFFL után hozzon létre egy új operandust, melynek típusa „DMFS”. Itt fog kezdődni a szóródási folt hibafüggvénye, a „Default merit function”. Ezután hozza létre a hibafüggvényt („OPTIMIZE -> Merit Function Editor -> Wizards and Operands -> Optimization Wizard -> RMS Spot radius ; Reference: Centroid ; Pupil Integration: Rectangular array ; 20×20”). Az EFFL súlyát csökkentse 10^{-2} -re (weight = $1e-2$) Az utolsó felület (6.) vastagságát és a két lencse távolságát (3.) állítsa be változóknak. Végezzen iterációkat és a szóródási foltot vesse össze a szférikus aberrációra történt optimalizációval.

3. Hullámhosszak figyelembevétele optimalizációkor:

- A * **hivatkozással** elmentett rendszeren állítson be három hullámhosszat (0,4 μm ; 0,5 μm és 0,6 μm , ebben a sorrendben, Primary wavelength = 2), módosítsa az off-axis tárgyszögeket: 0,7° és 1°-ra. Autofókuszálással állítsa be a képtávolságot. Rajzoltassa föl a lencsét („3D Layout -> Settings -> Field: 1; Wave: all; Color rays by: Wave”).
- Rajzoltassa föl a képsík távolság – hullámhossz görbét. („ANALYZE -> Aberrations -> Chromatic focal shift”).

- Vizsgálja meg a polikromatikus szóródási foltot! *A több hullámhossz bevezetésével milyen jellegű aberráció vált dominánssá?* ✓
- Vegyünk föl hibafüggényt, RMS SPOT RADIUS-ra. (Fontos, hogy ne korábbi hibafüggvényt használjunk, mert abban nincsenek benne a hullámhosszak!). („OPTIMIZE -> Merit Function Editor -> Wizards and Operands -> Optimization Wizard -> RMS Spot radius ; Reference: Centroid ; Pupil Integration: Rectangular array ; 20×20”), és effektív fókusztávolságra (EFFL), valamint az 6. felület vastagságát állítsa változóra (így az autofókuszálás bele lesz építve a hibafüggvénybe). A lencsét mentse el.
- Nullázza ki a képsík előtti felület vastagságát. Végezzen iterációkat („OPTIMIZE -> Optimize! -> Cycles: Automatic”). *Változtak-e jellemzően a lencse leképezési tulajdonságai?*
- Töltse be lemezzről a legutóbb elmentett lencsét.
- Cserélje ki a második lencse anyagát „Schott gyártmányú SF5”-ös üvegre! Nullázza ki az összes görbületi sugarat és végezzen iterációkat. *Hogyan változtak a leképezési jellemzők?*
- Törölje a második lencsefelületet (3.). Nullázza ki a képsík előtti felület vastagságát. Végezzen iterációkat. *Hogyan változtak a leképezési jellemzők?* ✓
- Az akromát után, attól 20 mm-re vegyen fel egy 3 mm vastag BK7-es lencsét, melynek az mindkét görbületi sugara és a 20 mm-es távolság legyen változó (és a képtávolság). A három tárgy pont tárgyszögei legyenek rendre: 0°, 3° és 5°. Generálja újra a „default” hibafüggvényt és optimalizáljon. *Melyik aberráció dominál?* Vesse össze az eredményeket a 2. pontban kapott rendszerrel!

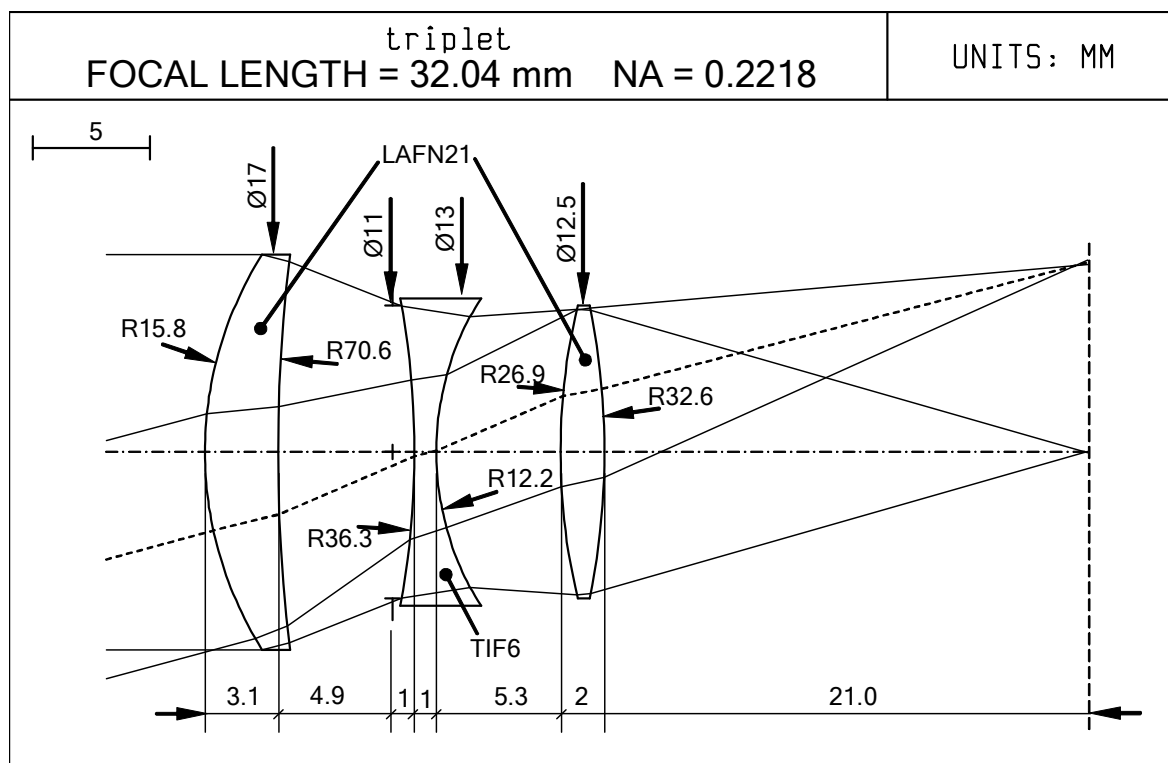
Ellenőrzési pontok (✓-al jelölve):

- minden feltett kérdésekre választ kell adni
- az 1. pontban felvett kiindulási rendszer rajza, szóródási foltja, hiba görbéje, paraxiális adatok
- a 2. pontban aberrációs megközelítéssel tervezett rendszer rajza, szóródási foltja, hiba görbéje, paraxiális adatok
- a 3. pont kiindulási rendszere, szóródási foltja, hibagörbéje, tengelyirányú színhiba-görbéje, paraxiális adatok
- a 3. pontban színhibára korrigált rendszer rajza, szóródási foltja, hiba görbéje, tengelyirányú színhiba-görbéje, paraxiális adatok

5. FOGLALKOZÁS
OPTIKAI RENDSZEREK OPTIMALIZÁCIÓJA II

A gyakorlat időtartama 4×45 perc.

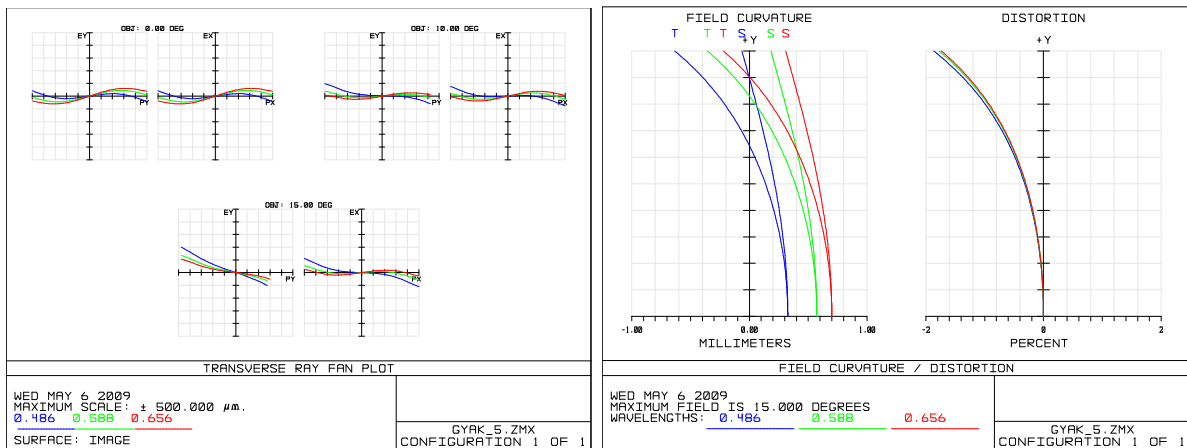
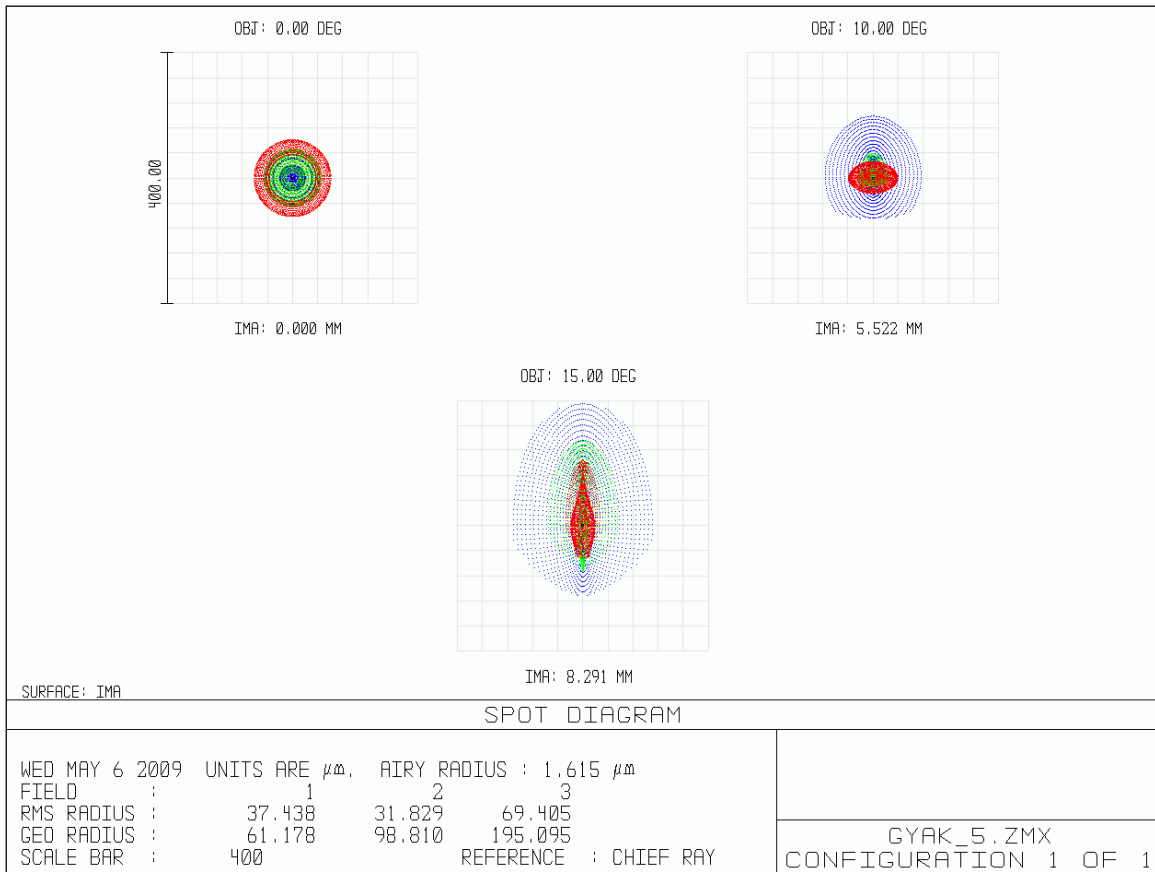
1. A kiindulási rendszer rajza és névleges adatai:



2. Specifikációs adatok:

- | | |
|---------------------------------------|---|
| – A szerkezeti hossz: | max. 9 mm |
| – A lencseátmérők: | max. 17 mm |
| – Pozitív lencsék vastagsága: | min. 2 mm, max. 10 mm |
| – Negatív lencsék vastagsága: | min. 0.8 mm, max. 5 mm |
| – A légrétegek mérete: | min. 0.1 mm, max. 10 mm |
| – Lencsék peremvastagsága: | min. 1.0 mm |
| – Geometriai szóródási folt átmérője: | max. 50 μm |
| – Tervezési hullámhossz #1: | 0.4861 μm |
| – Tervezési hullámhossz #2: | 0.5876 μm (primary wavelength) |
| – Tervezési hullámhossz #3: | 0.6563 μm |
| – A hullámhosszak súlyai: | 1 |
| – Effektív fókusztávolság: | 32 mm |
| – Képpoldali numerikus apertúra: | 0.22 |
| – Belépő nyílás átmérő: | 14 mm |
| – Tárgypontok: | 0°, 10°, 15° |

3. A kiindulási rendszer leképezési tulajdonságai:



3. Ajánlott optimalizációs lépések:

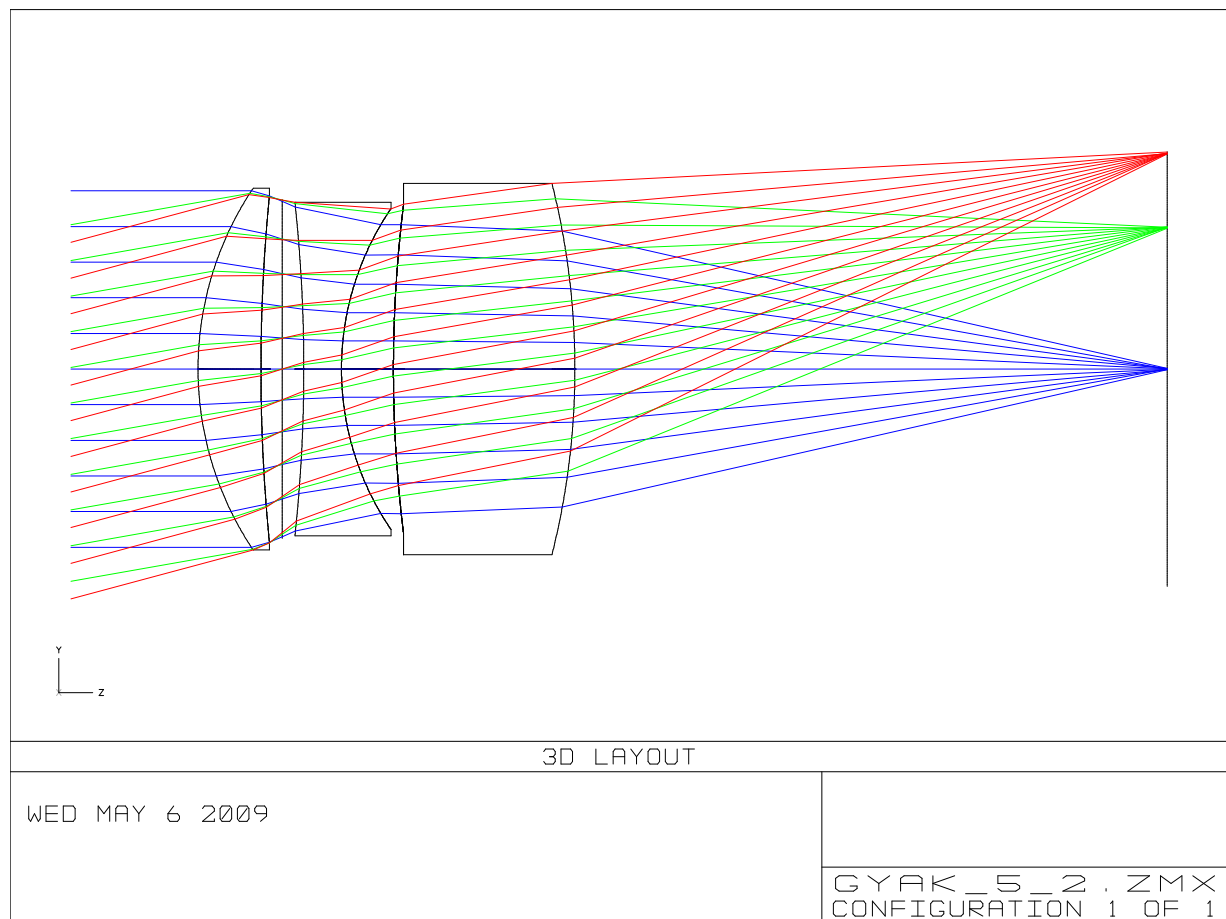
A lencse apertúrák értékét állítsuk automatikusra („Clear semi-diameter: Automatic”)!

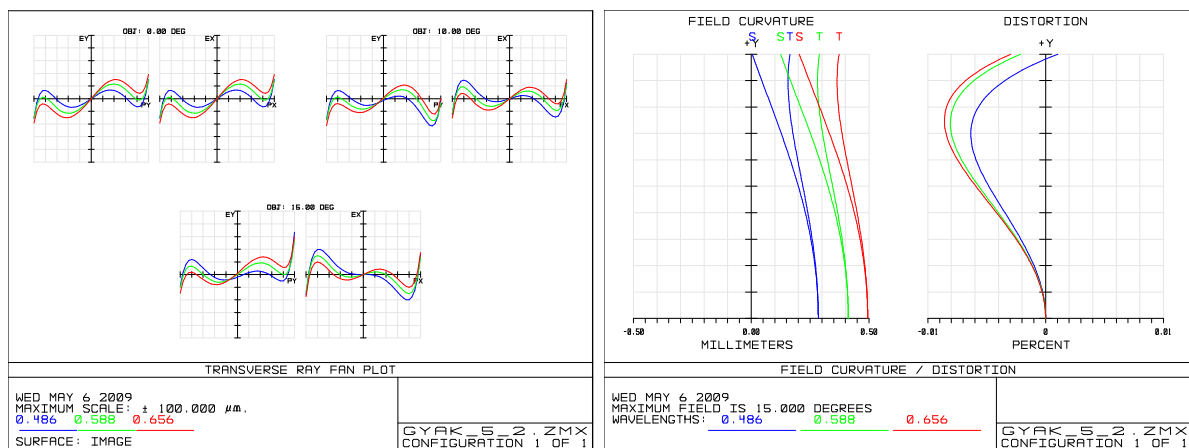
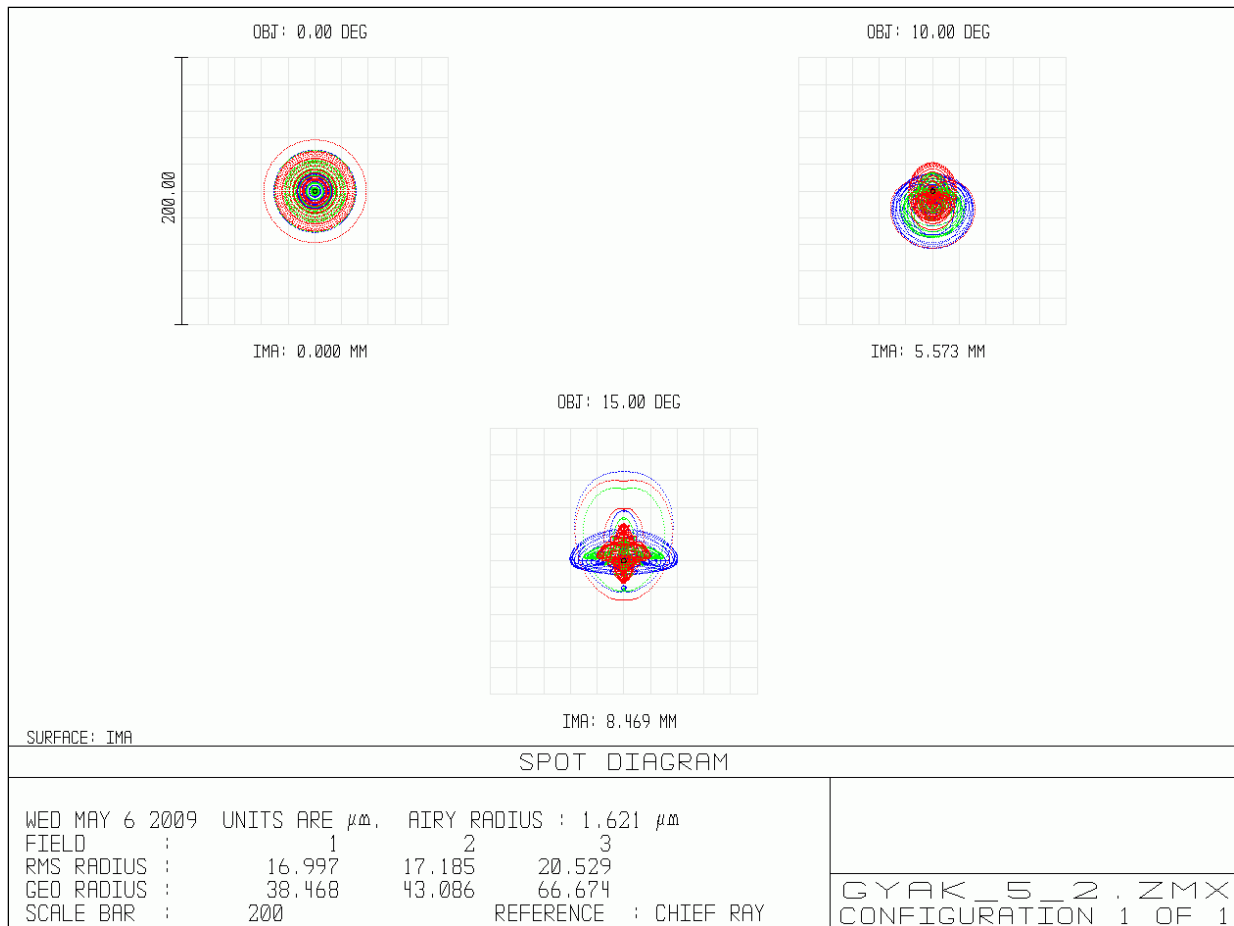
Chip Zone: 1 mm.

A hibafüggvényben az RMS spot radius alábbi beállításait alkalmazza: („OPTIMIZE -> Merit Function Editor -> Wizards and Operands -> Optimization Wizard -> RMS Spot radius ; Reference: Centroid ; Pupil Integration: Rectangular array ; 20x20”

#	Változók	Hibafüggvény
1.	Görbületi sugarak + képsík távolság	EFFL + RMS spot radius
2.	Görbületi sugarak + képsík távolság + vastagságok, légtörések	EFFL + RMS spot radius
3.	Görbületi sugarak + képsík távolság + vastagságok, légtörések	EFFL + RMS spot radius + CTGT, CTLT
4.	Görbületi sugarak + képsík távolság + vastagságok, légtörések	EFFL + RMS spot radius + CTGT, CTLT + ETGT
5.	Görbületi sugarak + képsík távolság + vastagságok, légtörések	EFFL + RMS spot radius + CTGT, CTLT + ETGT + TTHI, OPLT

4. A rádiuszokra és vastagságokra optimalizált rendszer leképezési tulajdonságai:





5. Új ZEMAX parancsok:

Min. peremvastagság operandus:	„ETGT” (Edge thickness greater than)
Min. középvastagság operandus:	„CTGT” (Center thickness greater than)
Max. középvastagság operandus:	„CTLT” (Center thickness less than)
Lencse felületek távolsága operandus:	„TTHI” (Total thickness)
Operandus kisebb mint operandus:	„OPLT” (Operand less than)

6. FOGLALKOZÁS

OPTIKAI RENDSZEREK TŰRÉSEZÉSE

A gyakorlat időtartama 4×45 perc.

Az optikai rendszerek tervezésének következő lépése a gyártási hibákra való érzékenység megállapítása, és a specifikáció teljesítése mellett még megengedhető legnagyobb tűrésértékek meghatározása. Ez a tűrésezésnek nevezett eljárás időigényes folyamat, annak ellenére, hogy alapjai és menete jól ki vannak dolgozva, szabványosított keretek közé vannak szorítva. A kapcsolódó korszerű nemzetközi szabvány az ISO 10110, amelyet világszerte alkalmaznak, bár leginkább Európában elterjedt. Az USA e területen is szereti saját konvencióit követni, de ettől függetlenül a fent nevezett szabvány előírásait ott is értelmezni tudják.

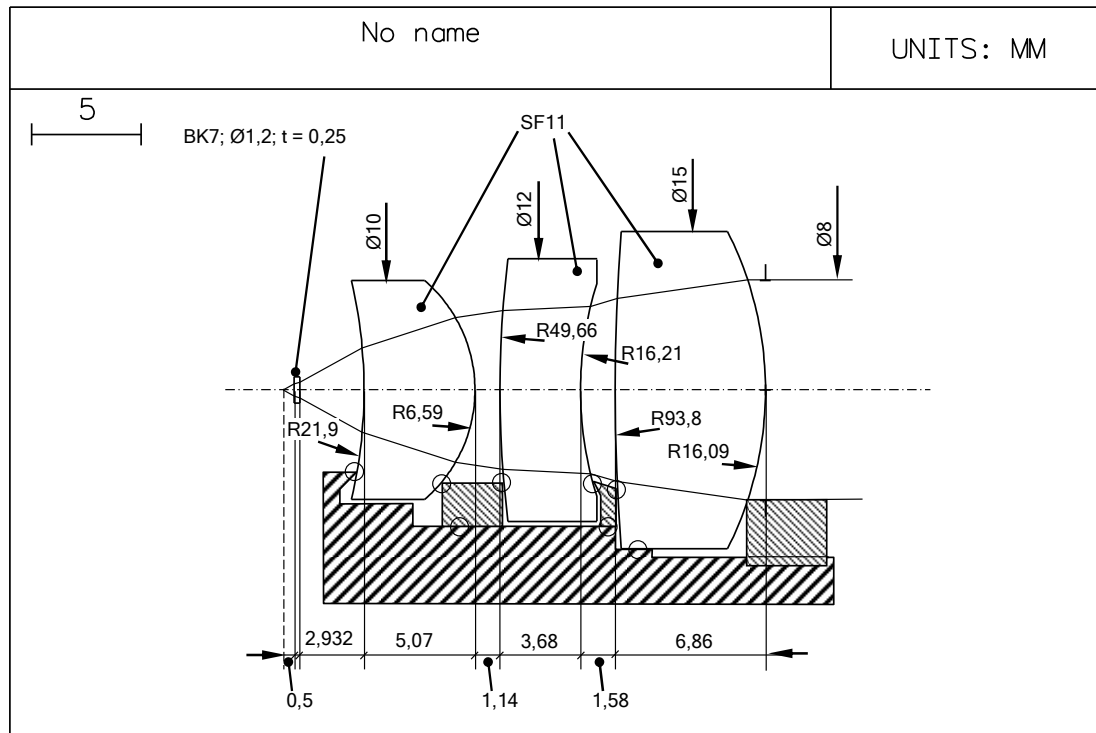
Egy alkatrész / rendszer gyártási költségeit az alapanyag árán, a szükséges megmunkálási lépések számán és bonyolultságán túl az elkészült méretek pontossága is jelentősen befolyásolja. A tűrésezés lényege abban rejlik, hogy az amúgy elkerülhetetlen gyártási hibákat olyan mértékben korlátozzuk, hogy a specifikációs előírások még teljesüljenek, ugyanakkor az alkatrész / rendszer, illetve a belőle felépített készülék ára ne legyen az adott felhasználási célhoz mérten túlságosan drága. Amennyiben egy tűrésérték a gyárthatóságnál szigorúbbnak adódik, speciális tervezési technikákkal a rendszer az adott tűrésre „érzékletlenné” tehető. Bizonyos esetekben akár a specifikáció újrafogalmazása (azaz a követelmények lazítása) is szükségessé válhat a gyártási költségek csökkentése érdekében. Ha ilyenre nincs mód, a rendszert a gyártás során beállíthatóvá kell tenni (jusztlás). Annak megállapítása, hogy milyen tűrésértéknek milyen költségvonzata van, adott gyártó esetében, a gyártástechnológia feladata – jelen gyakorlat folyamán e tekintetben csak tájékoztató adatok ismertetésére fog sor kerülni. A feladatot számos egyéb tényező is bonyolíthatja, pl. hogy hány darabot, és mennyi idő alatt kívánunk az adott munkadarabból legyártani.

Látható, hogy a tűrésezés igen összetett, általában sok tapasztalatot igénylő feladat. Ennek következtében a teljes folyamatot mindenre kiterjedő részletességgel nem tudjuk a gyakorlaton tárgyalni. A jelen gyakorlat elsődleges célja annak bemutatása, hogy miként lehet a ZEMAX tervezőprogrammal megvizsgálni a gyártási pontatlanságok hatását a leképezési jellemzőkre. A szóban forgó tengelyszimmetrikus, refraktív rendszerek kizárólag gömbi és sík felületeket tartalmaznak, és üvegből készültek. A tűrésezésnek alapvetően két fajtáját különböztetik meg: a tűrésanalízist, és a gyártásmodellezést. Az előbbi egy kevésbé pontos, félig statisztikus, félig analitikus módszer az optikai rendszer tűrésérzékeny pontjainak feltárására, és a tűrésértékek körülbelüli beállítására, míg az utóbbi egy teljesen statisztikus (Monte-Carlo módszeren alapuló) eljárás, ami a tényleges gyártási szituáció modellezésére, és a tűrésanalízis során esetleg rejtve maradt hibák kiderítésére szolgál.

A gyakorlat során egy lézerdióda kollimátor rendszer tűrésezését fogjuk elvégezni. A modell felvétele után először megállapítjuk a felületi tűréseket, majd a komponens tűréseket, a kompenzátor (lézerdióda defókusz) mozgástartományát, végül a tűrésezett rendszert ellenőrizzük Monte-Carlo analízissel.

A foglalkozáson elvégzendő feladatok:

1. A kiindulási rendszer felvétele:



- Szerkezeti hossz: max. 20 mm
- Működési hullámhossz: $0,650 \pm 0,01 \mu\text{m}$ (csak a névleges hullámhossz kell)
- Tárgyoldali NA: 0,380
- Kilépő nyaláb féltátmérő: $4 \pm 0,1 \text{ mm}$
- Tárgymező féltátmérő: 0,1 mm
- Maximum RMS OPD: $0,14 \lambda$
- Pozitív lencsék vastagsága: min. 2 mm, max. 10 mm
- Negatív lencsék vastagsága: min. 0.8 mm, max. 5 mm
- Lencsék peremvastagsága: min. 0.5 mm
- A légközők mérete: min. 0,1 mm, max. 10 mm
- Minimális lézertióda távolság: 1 mm
- Rendszer kiértékelési mód: System Explorer -> Aperture -> Afocal image space

2. A névleges rendszer adatainak feljegyzése:

- változó (kompenzátor felvétele): lézertióda-lencse távolság
- tárgyponok felvétele tűrésezéshez (optimalizációhoz) – x és y irányban is!
- RMS OPD operanduskészlet felvétele - teljes pupilla kitöltve, csak működ. hullámhossz!
- optimalizáció, kompenzátor értékek feljegyzése
- névleges RMS OPD-k feljegyzése
- névleges kilépő nyaláb féltátmérő ellenőrzése
- a rendszer elmentése

	X	Y	Weight	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
<input checked="" type="checkbox"/>	1	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<input checked="" type="checkbox"/>	2	0,000	0,100	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<input checked="" type="checkbox"/>	3	0,000	-0,100	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<input checked="" type="checkbox"/>	4	0,100	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<input checked="" type="checkbox"/>	5	-0,100	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<input type="checkbox"/>	6	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<input type="checkbox"/>	7	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<input type="checkbox"/>	8	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<input type="checkbox"/>	9	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<input type="checkbox"/>	10	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<input type="checkbox"/>	11	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<input type="checkbox"/>	12	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Type: Normalization: Decimals:

Number Of Fields: Maximum Field:

3. „Manuális” tűrésanalízis végzése:

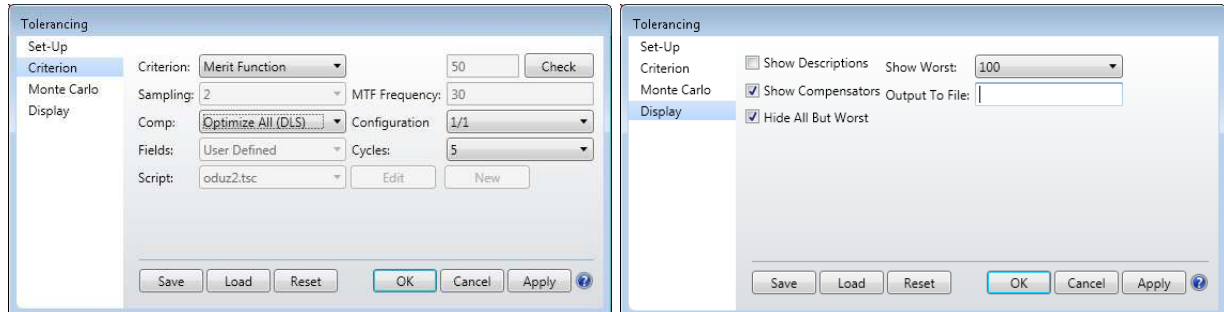
- hullámhossz tartományhoz szükséges kompenzáció megállapítása: a névleges hullámhosszt $\pm 0,01 \mu\text{m}$ elállítjuk
- optimalizálunk, és feljegyezzük a kompenzátor állítástartományát
- visszaállítjuk a névleges hullámhosszt $0,650 \mu\text{m}$ -re.

4. Tűrésanalízis végzése:

- alapértelmezett tűrések felvétele (kompenzátorok tűrése mindig zérus!):
 „TOLERANCE -> Tolerance data editor -> Tolerance Wizard”

Operand 1 Properties	
Operand 1	
Tolerance Wizard	
Surface Tolerances	
<input checked="" type="checkbox"/> Radius	<input type="text" value="Fringes"/> <input type="text" value="2"/> <input checked="" type="checkbox"/> Tilt X <input type="text" value="Degrees"/> <input type="text" value="0,1"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Thickness	Millimeters: <input type="text" value="0,05"/> <input checked="" type="checkbox"/> Tilt Y <input type="text" value="Degrees"/> <input type="text" value="0,1"/>
<input type="checkbox"/> Decenter X	Millimeters: <input type="text" value="0,2"/> <input checked="" type="checkbox"/> S + A Irregularity <input type="text" value="Fringes"/> <input type="text" value="0,2"/>
<input type="checkbox"/> Decenter Y	Millimeters: <input type="text" value="0,2"/> <input type="checkbox"/> Zernike Irregularity <input type="text" value="Fringes"/> <input type="text" value="0,2"/>
Element Tolerances	
<input checked="" type="checkbox"/> Decenter X	<input type="text" value="0,04"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Decenter Y	<input type="text" value="0,04"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Tilt X	Degrees: <input type="text" value="0,2"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Tilt Y	Degrees: <input type="text" value="0,2"/>
Index Tolerances	
<input checked="" type="checkbox"/> Index	<input type="text" value="0,001"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Abbe %	<input type="text" value="1"/>
Options	
Start At Row:	<input type="text" value="1"/>
Test Wavelength	<input type="text" value="0,633"/>
Start At Surface:	<input type="text" value="3"/>
Stop At Surface:	<input type="text" value="8"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Use Focus Compensation	

- tűréstábla vizsgálata, kompenzátor felületének átállítása: 2-re
- tűréselemek számának meghatározása
- egy elemre megengedhető tűrés kiszámítása
- „Sensitivity” típusú tűrésanalízis: „TOLERANCE -> Tolerancing ; Monte Carlo runs: 0”



- foglalásnak megfelelően a felületdőlések törlése, kivéve a 8. felületnél (TSTX, TSTY)
- tűrésezés, annak konstatálása, hogy a rendszer gyárthatatlan a 8. felület miatt
- a rendszer elmentése

4. Optimalizáció a kritikus tűrések figyelembevételével:

- változók beállítása (vastagságok, légközők, görbületi sugarak)
- felületátmérők automatikusra állítása
- „coordinate break” felület felvétele a 8. felület elé és mögé, pickup alkalmazása a dőlés helyreállításához (tilt about x, -1-es szorzó)
- 2 konfiguráció fölvétele, felületdőlések beállítása (0° és 0,1°):
- RMS OPD operanduskészlet felvétele vastagság és légközőkorlátozással (0..10 mm), peremvastagság max. 1,0 mm
- szerkezeti hossz operandus felvétele (TTHI, OPLT)
- effektív fókusztávolság operandus felvétele (EFFL 10,5 mm)
- a rendszer elmentése új néven
- optimalizáció
- a rendszer elmentése

5. Új tűrésanalízis végzése:

- operanduskészlet törlése
- konfigurációk törlése, „coordinate break” felületek törlése
- felületátmérők beállítása
- változók törlése (a kompenzátor kivételével)
- operanduskészlet felvétele (ua. mint az első tűrésezésnél)
- a rendszer elmentése új néven
- tűrésezés
- annak konstatálása, hogy a rendszer gyárthatónak ígérkezik

5. Gyártásmodellezés Monte-Carlo módszerrel:

- 100 lépéses Monte-Carlo analízis futtatása („TOLERANCE -> Tolerancing -> Skip sensitivity ; Monte Carlo Runs: 100”)
- annak konstatálása, hogy a gyártásmodellezés összhangban van a tűrésanalízissel, és a specifikációs adatok tarthatóak
- kompenzátor változási tartomány, állítási pontosság meghatározása