

A lehetetlen egyszerűség: nullteszt paraboloidokhoz

Amikor valaki „tükörgörbítésre” adja a fejét, a szokványos késél-ellenőrzések során hamar rájön, hogy a vizsgálat elve és folyamata világos, de hosszabb rövidebb idő mindenképpen szükséges a biztos alkalmazás elsajátításához. A ráccsal való gyors ellenőrzésekkel kiegészítve kitűnő tükör készíthető a zónamérés használatával, ám – különösen fényerősebb optikák esetén – be kell vallani, hogy igen hosszadalmas, többszöri mérésel és sok gyakorlattal nyerhetünk csak a valóságot közelítő eredményt, és még így is valószínű, hogy a csillagtesztek alapján esetleg többször is finomítanunk kell. Sebaj – mondhatnánk –, ma már nem probléma egy interferométer megépítése, csupán némi kezűgyességet, kevés szerszámot, precizitást és némi anyagi befektetést igényel. Valóban, így igen pontos, számszerű eredményt is adó műszerhez juthatunk. Aki rendelkezik ilyen berendezéssel, az tudja, hogy a felületalakítás közben az interferométer a legkevésbé sem mondható felhasználóbarátnak. Ha csak egyetlen választásom lehetne a felületellenőrzésre, az egy nullteszt lenne. Sokféle nulltesztelési lehetőség létezik, és mindegyik szerves része a késél és a rács használata, amelyek ismerete nélkül csak sötétben tapogatóznánk, bármilyen egyéb műszerünk legyen is. A síktükörrel végzett autokollimációként is ismert eljárás az egyik legjobb mód az ellenőrzésre, ám ez sem a pénztárca, sem a kényelmes használat tekintetében nem nevezhető kímélő megoldásnak. A következőkben minden idők legegyszerűbb nulltesztjével fogunk megismerkedni, amely 1947 óta a kevésbé tehető amatőr tükörkészítők legfőbb kapaszkodója kéne hogy legyen, mégis méltatlanul kevés szó esik róla. Hatékonysága annyira meggyőző, hogy – bár mindig is készültek kitűnő tükrök – ki merem jelenteni, hogy a hajdan oly nagyszámú házilág készült optikák átlagminősége legalább egy nagyságrenddel lehetett volna jobb általa.

A módszer ismeretlensége mögött valószínűleg a túl egyszerű dolgok iránti bizalmatlanság állhat, amely nem fér össze az optikát sokak érzése szerint körülöngő „mágiával,” mely csak a „beavatottak számára tárulhat fel”. A most közölt eljárást Horace Edward Stafford Dall (1901–1986) publikálta 1947-ben, a Brit Csillagászati Egyesület folyóiratában. Később, 1952-ben az Amateur Telescope Making, majd 1976-ban a Sky and Telescope hasábjain is megjelent, ám nem lehet tudni, hányan használták máig eredménnyel. Horace Dall ugyanakkor Dall–Kirkham-távcső egyik megalkotója is. A bolygó- és holdfotós, feltaláló, világutazó biciklistát, aki bejárta Számföldet (Lappföld), és kerékpárjával átszelte az izlandi Lóhalál-Sivatagot, az optika egyik géniuszaként is emlegetik.



Horace Dall 1982-ben házi obszervatóriumánál. A kupolát nemrégiben szépen felújították a British Astronomical Association tagjai

Dall felismerte, hogy a rés vagy műcsillag gyújtólencsén áthaladó fénye bizonyos körülmények között olyan torzulásokat szenved, mint a paraboloid-felület görbületi középpontjából visszaverődő fény, ám a lencse aberrációja ellentétes hatású a tükörével. Ebből következik, hogy alkalmasan felépített rendszerben a jó paraboloid a gömbtükörre jellemző tulajdonságokat mutat, aminek a tesztelése pedig jóval egyszerűbb a műhely-

ben. A felületi hibák a gömb felületi hibáiként értelmezhetők, javításuk is ennek megfelelően történhet. A nulltesztek mind hasonló módon működnek, sokféleképpen elérhető a főntebb vázolt hatás, de mindegyik nehezebben kivitelezhető a következőkben tárgyalandó Dall-kompenzátornál.

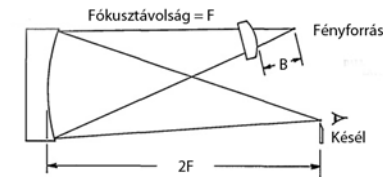


Horace Dall összehajtható zsebtávcsöve, amelyet izlandi útjára is magával vitt

Az eredeti műszer a szokványos műcsillag, vagy rés fényforrásból, egy vörös szűrőből, valamint domború oldalával a fényforrás felé fordított síkdomború, egyszerű lencséből áll, amelyek alkalmasint egy cső két végében kapnak helyet úgy, hogy a közöttük lévő távolság a lencse fókusz távolságának legalább 0,48–0,58-szorosa között változtatható. A vizsgálathoz késélt, vagy rácsot használ-

unk, amely szokásos módon a tükör görbületi középpontjában kap helyet.

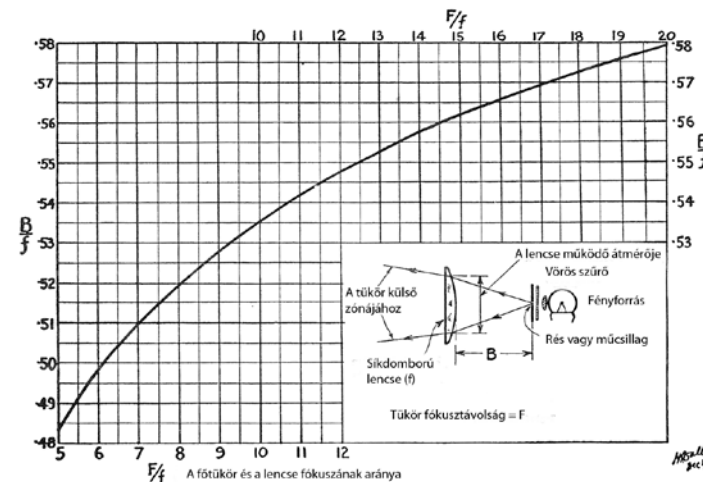
A lencse az általános $n=1,52$ törésmutatójú üvegből készül. A továbbiakban a Dall által számolt, vörös fényre vonatkozó adatokból indulunk ki. A fénytörés erre a hullámhosszra van legkisebb hatással. A rés fényét tehát leg-



A Dall-kompenzátor és a késél elhelyezése

alább vörös szűrővel kell szűrni, de manapság érdemesebb erős fényű vörös LED fényforrást használni. (A szerző a keskeny sávú szűrőtől a vörös celofánig minden szóba jöhető lehetőséget kipróbált, és mindegyik jól működött.) Semmi akadálya tehát, hogy meglévő felszerelésünket kiegészítve használhassuk Dall fantasztikusan egyszerű és ehhez képest igen hatásos találmányát, amely az egész tükörfelület egyidejű vizsgálatát lehetővé teszi.

Kompenzátorunkban a kívánt ellentétes aberrációt a lencse és a fényforrás (rés) távolságának pontos beállításával érjük el.



Dall grafikonja a lencse és a fényforrás távolságának meghatározására. A jobb alsó sarokban a tesztelő rendszer felépítése látható

Olyan síkdomború lencsére van szükségünk, amelynek fókusztávolsága a főtükör fókusztávolságának egyötöde és egyhuszada között van, az ajánlás szerint fényerős tükröknél kb. a tükrómértő fele. A rendszer egyetlen beállítási paraméterre érzékeny igazán, ez pedig a fényforrás-lencse távolság, amelyet a szerző „B”-nek nevezett el. Tekintsük most meg a Dall által közölt eredeti grafikont.

A vízszintes tengelyen a főtükör és a lencse fókusztávolságának hányadosa van skálázva. Például: 1000 mm fókuszu F/5-ös tükrünket kívánjuk tesztelni. A választható lencsék: 1/5 F és 1/20 F = 200 és 50 mm közötti fókusztávolságúak. Nekünk rendelkezésre áll pl. egy 100 mm fókuszu lencse. A tükrök és lencse fókusztávolságának aránya: $F/f=1000/100=10$. A vízszintes tengely 10-es értékéhez a függőleges tengely 0,535 értéke tartozik. Lencsénk távolsága a fényforrástól: $0,535 \cdot f = 0,535 \cdot 100 = 53,5$ mm lesz. A beállítás során a pontatlanság nem lehet nagyobb, mint a lencse fókusztávolságának egy százaléka, ezért is preferáljuk a hosszabb gyújtótávolságú lencsákat. Dall grafikonja a lencse domborulatától mért távolságot adja, mert ezt lehet legkönnyebben mérni. Az adatok általános, szokványos lencsevastagságra vonatkoznak, de egészen szélsőséges eltérések sem változtatnak a teszt eredményességén.

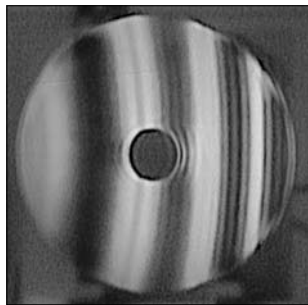
A lencse átmérője legalább $B/(F/D) \cdot 1,25$, esetünkben $53,5/5 \cdot 1,25 = 13,375$ mm kell, hogy legyen, de ha nagyobb, az nem probléma. A huszonöt százalékos átmérőnövelés mindenképp szükséges, ugyanis egy nagyobb lencse középső régiója sokkal nagyobb valószínűséggel üti meg a kívánt minőségi szintet, a peremhez közelebb nagyobb a hibák valószínűsége. A minőségi kritériumokról később még szó esik, általános esetben legalább 1/8 lambda felületi pontosság ajánlott.

A lencseátmérőjének felső korlátját egy másik szabály határozza meg, amely szerint a képpont és a fényforrás optikai tengelytől mért távolsága ne haladja meg a főtükör fókuszanak egy százalékát, vagyis a tárgy és a kép egymástól mért távolsága minél kisebb, de maximum két százaléknyi legyen. Ha a lencse nagy átmérőjű, akkor egy szele-

ket ki fog takarni a látható tükröfelületből, ha pedig a teljes tükröfelületet látni szeretnénk, és nagyobb szögbe kényserítjük a távozót és érkező fénykúpot, akkor asztigmia lép fel. Amennyiben csak nagyobb lencsénk van, akkor inkább az előbbi lehetőséget választjuk.

A műszer beállítása. A beállítás során fontos a teszter optikai tengelyének helyzete. Első dolgunk az legyen, hogy a tükrök és a tesztelő magasságát legalább egy mérőszalaggal ellenőrizve, egyformára állítsuk be. A lencsén áthaladó fénykúp szöge a fénytöréssel kisebbé válik, emiatt maga az egység némileg közelebb lesz a főtükrőhöz, mint a görbületi sugár. Helyzetét a késél görbületi középpontba helyezése eleve meg fogja szabni.

Műszerünk tengelyét egyszerű célzással a főtükör közepére kell állítanunk. Ha nem pontosan céloztunk, az rögtön kiderül, ha egy rácsot kézbe veszünk. Amennyiben teszterünk tengelye tükrünk valamelyik oldala felé mutat, úgy C alakú hajlott vonalakat látunk. Fókuszon belül az egységet vízszintes síkban kissé a C nyitott vége felé kell fordítani. Ha a tükrök középpontja alá, vagy fölé néz műszerünk, akkor V-hez hasonlóan nyíló vonalakat látunk. Ilyenkor függőleges síkban felfelé, vagy lefelé billentjük műszerünket, a V nyitott végei felé. A beállításokhoz érdemes finoman mozgatható platformot készíteni, ám jó szolgálatot tesz az is, ha erős mágneseket használunk a rögzítéshez, így bármikor mozdíthatunk bármilyen irányba. A következő ábra egy lehetséges beállítási hibát mutat.



Durva beállítási hiba fókuszon belül. A teszter kissé a tükrök jobb oldala felé néz

Amennyiben tükrünk még közel gömb, akkor a paraboloidnál megszokott, de fókuszon kívül és belül felcserélt irányú görbület vonalak mutatkoznak, de rossz beállításánál aszimmetrikusan. Ilyenkor a szimmetrikus helyzetet keressük.

Többen használják a kompenzátort az optikai tengely alá helyezve, míg a vizsgálat így kissé a tengely fölött zajlik. Teszik ezt abból a megfontolásból, hogy a döntést kísérő asztigmatikus hatások a rácsirányban kevésbé érzékelhetők lesznek. Én a gyakorlatban nem találtam különösebben problémásnak az oldalt való, szokványos Foucault-elrendezés szerinti használatot sem.

A LED fényforrás. A vörös, nagyfényerejű LED használata eleve fölöslegessé teszi a szűrő használatát. Én 4,5 V-os telepről táplálom a kis alkalmatosságot, melynek üvegtiszta, domború végét 1000-es csiszoló-papírral mattítottam be, így szórt fény jut a részre. A LED igen kis áramerősséggel működik, ezért 4,5 V-hoz kb. 380 ohm, 9 V-hoz 800 ohm, 12 V-hoz pedig 1000 ohm értékű soros ellenállást kell használni, különben fényforrásunk tönkremegy. Ezen értékeket lefelé ne lépjük túl, felfelé csak a fényerő csökkenésével kell számolnunk. Ezen elrendezéssel nappali világosságnál is elégséges fényerőt kapunk.

A rés készítése. Műcsillag helyett a fénytöbblet miatt jobb rést használni, de annak hossza itt nem haladhatja meg a 0,75 mm-t. Az én megoldásomban egy 0,7 mm-es furatot fed le, és azon keresztül kap megvilágítást az eredetileg Foucault-teszthez készült, jóval hosszabb rés. A rés szélessége a szokásos 0,02–0,05 mm, és természetesen a kisebb méretet preferáljuk.

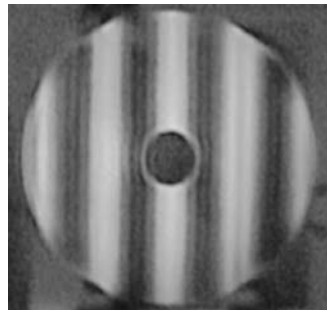
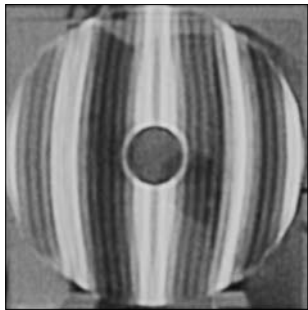
Készíthetünk rést 2 db legalább 10x10 mm-es, 0,5–1 mm vastag sárgarézelemezről, ha mindkettőnek egyik élét kb. 45 fokban vésőszerűen lereszeljük, majd közepes finomságú porral bemattított üveglapon kisimítjük az éleket. Ezután síklapon szembefordítva azokat, végükön egy-egy csepp órnál összeforrasztjuk a lemezeket. Figyeljünk oda, mert a jól átmelegedett sárgarézen az ón szétfut, és esetleg teljes

hosszában összeforrasztja részünket. Ennek elkerülésére csak nagyon forró pákával dolgozzunk, amely hirtelen, kis területet hevít forrasztási hőmérsékletre.

Most a lemezek egy síkban vannak, közöttük nem látunk át, amit egy nagyítóval ellenőrizzük. Ezután sík acéllapra fektetve forrasztással felfelé, nagyon kicsi kalapáccsal egyenként éppen csak megkoppintva mindkét forrasztást, azok megnyúlnak. Nagyító segítségével ellenőrizzük a szélességet. Ha részünk ék alakú, akkor a keskenyebb oldali forrasztáson még dolgozunk egy kicsit. Ha a rés túl széles, akkor a lemezt felállítva az élére ütünk, melynek hatására az ón zömölni fog. Hihetetlen, hogy milyen sokáig lehet így alakítgatni részünket a forrasztás törése nélkül! A rés kialakul akkor is, ha a lemezeket a forrasztás ellenében meghajlítjuk, de ék alakú lehet az eredmény, illetve eltörhet a forrasztás. Ha a meghajlítással próbálkozunk, az óncseppek minél egyformábbak legyenek, ellenkező esetben biztos, hogy nem lesz egyenlő nyúlásuk.

A teszt pontossága. Az eljárás már az első használatnál nagyon meglepett. Számolásokból levezethető, de a kész tükrökön ki is mérhető, hogy egészen nagy nyúlásvizsionyoknál is 90 százalékos fölötti Strehl-érték érhető el vele. A szerző a magasabb rendű aberrációk jelenlétére figyelmeztet, de a módszert a British Astronomical Association munkatársai is vizsgálták, többek között 50 cm-es f/5-ös tükrön is, és nem találtak lényeges eltérést a másfajta nulltesztekhez képest. Ez a megállapítás a használhatóságra a legmesszebbmenőkig igaz, még ha f/4 körül már nagyon nyhe, de érzékelhető asztigmia lép is fel. Ez azonban egy jó minőségű lencse esetén nem fogja megakadályozni, hogy első ég alatti próbánk után kinző töprengésbe essünk: „hosszányúljak-e még?” Ha egy nyalábosztót is beiktatunk a rendszerbe, az asztigmia teljesen eltüntethető, de magam nem láttam még ennek szükségét, az eljárást teljesen eredeti ajánlás szerint használom. Helyes beállítás és hibátlan lencse esetén a késél is pontosan a szokványos módon mutatja a hibákat, bár kissé nehezebben érzékelhető módon. Rács

használatkor mindig figyeljük a fókuszon kívüli képet is, ugyanis azon nyilvánvalóban látszanak az esetleges eltérések. Először egy 200-as f/5-ös, majd 249/1030-as tükröm alakítása során teszteltem a módszert. Az utóbbinál az interferométer először 85 százalék Strehl-t mutatót. Ez ekkora fényerőnél



Ugyanazon 204/1030-as kifűrt paraboloid tükrör nullázott, valamint kompenzátor nélküli rácsképe fókuszon belül (a kissé már viseltes rácson nem teljesen egyenletes sűrűsége is szépen látszik)

nem rossz, de ha az olvasónak nem is tűnik soknak, hát egy történet sem igazi csattanó nélkül. A lencse egy kondenzor volt, melynek peremén szemmel látható peremkopás éktelekedett, és csak rácst használtam a nullázáshoz! Az eredetileg 60/125 mm-es lencse közepéről fűrtam ki egy 36 mm-es darabot, melynek sík felülete közelítőleg sem sík, és görbülete sem tökéletes gömb, vastagsága pedig jócskán nagyobb, mint a szokásos lencséké. (Előtte egy harmincéves Ofotért-lupéval kísérleteztem, mely tele volt zónahibákkal is, mégis sok óra méregetéstől mentett meg.)

Dall például Huygens-okulárokából bontott, vagy ideiglenesen kölcsönvett síkdomború lencsét javasol. Akinek nincs jó lencséje, ne csüggedjen, általában még manapság is található régi filmvetítők, kamerák, más bontható optikák. Aki kisebb, nem túl rövid fókuszú kondenzort talál, az is megfelelhet. Ha kíváncsiak vagyunk lencsénk minőségére, akkor íme két ötlet! Megpróbálunk kinullázni egy biztosan jó paraboloidot. Ha ez sikerül, akkor már használhatjuk is lencsénket. Másik lehetőség, hogy ha már úgyis csinálunk, álljunk meg a gömbfelületnél. A teszter most úgy mutatja a gömböt,

mintha paraboloid lenne, de a fókuszon belüli és kívüli képek felcserélődnek. Ha lencsénkben komoly hiba van, akkor azt rácscsal zónahibaként fogjuk érzékelni. Ki is mérhetjük késéssel az aberrációt, ekkor pontosan a paraboloidra jellemző értéket kapjuk, de fordított értelemben.

Bizonytalanságok. Ahogy azt már fentebb megállapítottuk, a sikeres használat első-sorban a lencse-rés beállítás pontosságától függ. Mivel görbületi középpontból végzett vizsgálatról van szó, minden más elhelyezési hiba tekintetében a legmegbocsátóbb eljárás. A műcsillag mérete, vagy a rés szélessége itt is döntő jelentőségű.

A lencsénk törési tulajdonságait nem biztos, hogy pontosan ismerjük. Általánosságban a fentebb említett törésmutatóval készül a legtöbb lencse, ennek kisebb eltérése nem okoz komoly hibát. Első alkalommal a csilagteszt-nél pontosan kiderülnek a paraméterek. (Ha egy közel tökéletes tükrön a számolt paraméterekkel nullázni tudunk, azzal kvázi megismertük a lencsénk törésmutatóját is.)

Amikor a rácsmár csaknem teljesen egyenes vonalakat mutat a fókuszon belül, a fókuszon kívüli kép gyakran még enyhén alulkorrigáltságra utal. Tapasztalataim szerint mindössze az érzékelhetőség könnyebb fókuszon kívül, alaposan vizsgálva mindkét képhelyzetben látható a hiba. Legyünk figyelemmel a rácscsalak szélességének változására is, mert ez is értelemszerű információt hordoz. A tökéletesen korrigált tükrön



Ezen a képen a kezemben tartott műszer fényforrás felőli vége látható. A vezetékek a ledhez csatlakoznak, melynek egyik lábára van forrasztva az áramkorlátozó ellenállás. A fényforrás a réssel együtt egy alumíniumcsőbe van szerelve, melyen egy 40 mm-átmérőjű PVC csődarab csúsztható el, túlsó végében a lencsével. A „64” felirat a lencse görbületének legmagasabb pontja és a PVC cső peremének távolsága mm-ben. A rés távolsága a hátlaptól 10 mm, e két adat ismeretében állítom be a lencse pozícióját

a képek már nem különböztethetők meg egymástól.

Megítélésem szerint ez a teszt „mindent vitt”, a használhatóságot, egyszerűséget, ráfordítást egybevetve. A legrosszabb esetben egy szinte alkalmatlan lencse is óriási segítség lehet annak megállapításában, hogy a tükrök a befejezéséhez közeledik, és mindezt egy pillantással el lehet dönteni. Összehasonlíthatatlanul egyszerűbb feladat, mint a hajlott rácsképből messzemenő következtetéseket levonni.

Addig is, amíg nem készítünk jelentősebb méretű siktükröt, tudnunk kell, hogy még két kompenzátor nullteszt létezik, amelyek az amatőr számára célszerűen elérhető alternatívát jelentenek. (Arról már nem vagyok meggyőződve, hogy ha lesz is siktükrünk, biztosan mindig azt akarjuk majd használni.)

Az egyik a Waineo-gömbtükrökkel végzett teszt, melynek nagy előnye, hogy magunk is elkészíthetjük a gömbtükröt. A másik a Ross-ullteszt, amely lencsével, de kettős fényúttal végzett vizsgálat, emiatt a lencse minősége sokkal kritikusabb tényező, mérete pedig nagyobb. Egyetlen lencsével sosem lehet teljesen hibátlan nullhelyeze-

tel elérni, de szerencsére jórészt elhanyagolható hibák maradnak. Emiatt léteznek több fénytörő taggal működő eljárások is. Alapjaiban minden kompenzátor Dall ötletén alapul, így mind alkalmas bármilyen homorú felület (ellipszoid, hiperboloid,) vizsgálatára is, csupán a beállításoknak kell változniuk.

Az itt közöltek csak síkdomború lencse használatával, és csak paraboloid felületre működnek jól, de sokféle gyűjtőlencse felhasználható, ha a kiindulási adatokat helyesen választjuk meg.



A kezemben tartott tesztelőben az ismertetett eljárással készült rést látjuk a kompenzátor lencsén keresztül. A két csavar a rést rögzíti az alaplemeze, melyen a 0,7 mm-es furat van. A lencse foglalata alumínium, mely szorosan van beillesztve a PVC csőbe

Ma már számítógépes programok is lehetőséget nyújtanak a szükséges adatok meghatározásához. Sokan az ingyenes OSLO programot használják, de magam keveset foglalkozom a számítógéppel, ezért remélem lesz, olyan tükröcsiszoló olvasónk, aki a Meteorban megismerteti majd az olvasókkal a számítástechnikai támogatás lehetőségét.

Mondandóm végén köszönetemet fejezem ki Schné Attilának, aki jó minőségben elküldte Dall eredeti grafikonját, ezzel hozzájárulva a cikk megjelentethetőségéhez. Köszönet illeti Cseh Viktor amatőrtársamat is, akinek jóvoltából ma már egy hibátlan Zeiss-lencse foglal helyet saját műszeremben.

Kurucz János