



**M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2**

## **Galilei által használt távcsövek újratervezése, építése és analízise**

Diplomaterv feladat

Készítette:

*Szalai Csaba Koppány*

Témavezető:

*Dr. Nagy Balázs Vince*

Adjunktus,

Budapesti Műszaki Egyetem,

Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék

Ipari konzulens:

*Dr. G. Szabó István*

Ügyvezető igazgató,

Optika Mérnökiroda Kft.

Budapest, 2010.

Diplomaterv kiírás

## **Nyilatkozat**

Alulírott Szalai Csaba Koppány, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója kijelentem, hogy ezt a diplomatervet meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és a diplomatervben csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból vettem, egyértelműen a forrás megadásával megjelöltem.

.....

Szalai Csaba Koppány  
GO4UMV

## Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS.....	6
2. GALILEI ÉS KORA.....	7
2.1. Galilei élete, munkássága.....	7
2.2. A kor optikai tudása.....	8
3. GALILEI MEGFIGYELÉSEI.....	11
4. GALILEI SZEMBETEGSÉGE.....	13
5. A GALILEI TÁVCSÖVEI.....	15
5.1. A Galilei féle távcső.....	15
5.2. A fennmaradt műszerek.....	16
5.3. A papírmódel.....	18
6. SAJÁT TÁVCSŐ ÉPÍTÉSE.....	19
6.1. A megépítendő távcső kiválasztása.....	19
6.2. A távcső megtervezése.....	19
6.2.1. Tervezési szempontok.....	19
6.2.2. Mechanikus alkatrészek.....	20
6.2.3. A távcső mechanikus alkatrészeinek legyártása.....	22
6.2.4. A távcső szerelése.....	23
7. LENCSEK BESZERZÉSE, GYÁRTÁSA.....	24
7.1. A lencsék anyagválasztása.....	24
7.2. Okulárlencsék beszerzése.....	27
7.3. Objektívlencsék elkészítése.....	27
7.3.1. Előgyártmányok beszerzése.....	27
7.3.2. Lencsék polírozása.....	28
7.3.2.1. Szerszámkészítés.....	29
7.3.2.2. A polírozás folyamata.....	30
7.3.2.3. A polírozás eredménye.....	33
8. LENCSEK ELLENŐRZÉSE.....	35
8.1. Szferométeres mérés.....	35
9. GALILEI FENNMARADT TÁVCSÖVEIN ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK.....	42
10. A TÁVCSŐ OPTIKAI HIBÁINAK VIZSGÁLATA.....	43
11. ELVÉGZETT MEGFIGYELÉSEK.....	46
11.1. A megfigyelések módja, körülményei.....	46
11.2. Vénusz és a Tejút megfigyelése.....	49
11.3. Hold megfigyelése.....	51
11.4. A Nap képeinek kivetítése.....	52

<u>12. ÖSSZEFOGLALÁS.....</u>	<u>54</u>
<u>13. ABSTRACT.....</u>	<u>55</u>
<u>14. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....</u>	<u>56</u>
<u>15. FELHASZNÁLT IRODALOM.....</u>	<u>57</u>
<u>16. MELLÉKLETEK.....</u>	<u>59</u>

## 1. Bevezetés

Diplomatervem témájának aktualitása, hogy az 1609-1610-es évek rengeteg újdonságot hoztak a csillagászat terén, mondhatni ekkor alapozódott meg a modern csillagászat. Nem véletlen, hogy az ENSZ és az Unesco 2009-es évet a Csillagászat Événé nyilvánította. Számtalan felfedezés született az említett két év során, Galileo Galilei ekkor (1609) használta először a távcsövet csillagászati célokra, Kepler ekkor jelentette meg *Astronomia Nova* (Új csillagászat) című munkáját, amelyben többek között megírt a bolygómozgások később róla elnevezett három törvénye közül kettőt. A rákövetkező évben, éppen 400 éve adta ki Galilei a *Sidereus Nuncius* (Csillag-hírnök) című munkáját. Ez a mű tartalmazza a tudós csillagászati megfigyeléseit, melyeket saját készítésű távcsövével végzett és amelyek az első tudományos, távcsővel végzett csillagászati megfigyelések a történelemben. Nem lehet túlhangsúlyozni ennek jelentőségét, minthogy a csillagászat, ami évezredekig pusztán szemmel végzett megfigyeléseken alapuló tudomány volt, ezzel az eseménnyel – távcső alkalmazása az égbolt megfigyelésére – újra fejlődésnek indulhatott, a tudomány új korszakára nyitva ezzel ablakot.

Galilei megfigyeléseinek elsősége mellett tudományos hordereje is jelentős volt, új jelenségek létét fedték fel és nagy horderejű vitákat döntöttek el. Hogy a Föld kering a Nap körül, hogy a Tejút sok milliárd csillag alkotja vagy akár hogy más bolygóknak is vannak holdjai, alapvetően beivódtak világnézetünkbe.

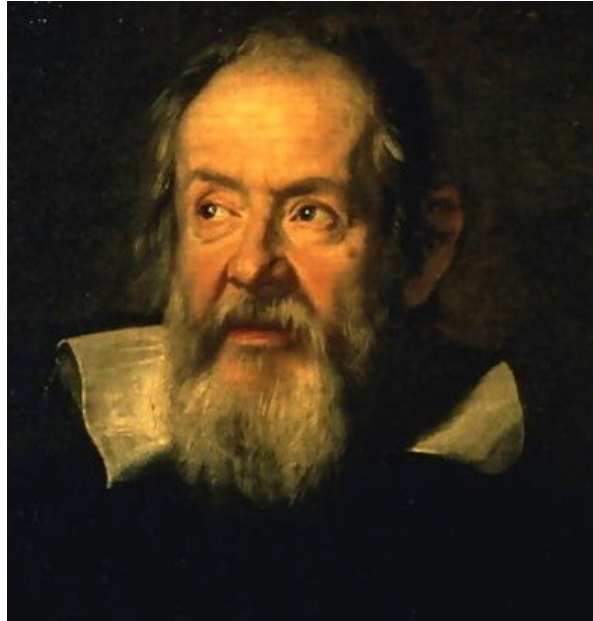
Dolgozatomban Galilei távcsövét vizsgálom meg, próbálva azt a minél inkább eredeti minőségében és formájában vizsgálni. Munkám során összegyűjtöttem a fellelhető irodalmi adatokat a Galilei által készített és használt távcsövekről, anyagokról. A fellelhető adatok alapján a tudós egyik eredeti távcsövét kiválasztottam további vizsgálódás céljára. Ennek elemeztem optikai rendszerét, igyekeztem felmérni a műszer lehetőségeit, hibáit. A távcsövet ezután részben a kor technikájával illetve törekedve az azonos optikai minőségre le is gyártottam az Optika Mérnökiroda Kft. műhelyében, ebben nagy segítségemre voltak a cég munkatársai. A távcső objektívjét magam políroztam, adtam meg neki a végső geometriáját és fényét. Ezután a már elkészült távcsővel végeztem észleléseket, felmértem hogy is dolgozhatott egy csillagász a XVII. század elején.

## 2. Galilei és kora

### 2.1. Galilei élete, munkássága

Galileo Galilei Pisaban született 1564. február 15-én, Giulia Ammannati és Vincenzio Galilei gyermekeként. Édesapja matematikus és zenész volt, érthető hogy fia már fiatal korában nagy jártasságra tett szert mind a tudományok, mind a művészetek művelésében. A pisai egyetemen orvosnak tanult, de tanulmányait pénzügyi okokból abbahagyta, viszont Firenzében megismerte Arkimédész tanait, majd 1589-ben Pisaban a matematika professzora lett és az egyetemen tanított matematikát, mechanikát és csillagászatot. Ezalatt sok mechanikai kísérletet végzett.

1609-ben hallván, hogy Hollandiában távcsövet készítettek, ő is készített távcsöveket, amelyekkel egy sor addig ismeretlen jelenséget tudott megfigyelni. Ezeket a 1610-ben kiadja, ezután Firenzében a Medici család szolgálatába állt, mint udvari matematikus. Tudományos munkájának ekkor kezdődött legtermékenyebb időszaka. Továbbra is foglalkozott csillagászzal és mechanikával, eredményeit rendszeresen ki is adta. 1632-ben megjelenik Dialogo (Párbeszéd) című műve, amiben a föld- illetve napközpontú világgép mellett és ellen szóló érveket ütköztette, az utóbbi javára. Ezért 1633-ban az egyház perbe is fogta. A halálbüntetést sikerült elkerülnie, de tanait visszavonatták vele, az említett művét betiltották, őt magát életfogytiglani börtönbüntetésre ítélték. A tudós ettől kezdve háziőrizetben élte le életét, tudományos munkáját azonban folytatta. Sok kísérletet folytatott lejtőkkel, ingákkal, úttörő munkát végzett a mozgások vizsgálatában. Kísérleteit nagy körültekintéssel végezte, a jelenségek pontos matematikai leírására törekedett. 1636-ban jelentette meg mechanikában elért eredményeit, amelyek megalapozták a később Newton nevével fémjelzett mechanikát. Ő jött rá először, hogy a gyorsuló testek elmozdulása az idő négyzetével arányos és hogy a testek megőrzik mozgásállapotukat, amíg más erő nem hat rájuk.



1. ábra Galileo Galilei (1564 – 1652) , Justus Sustermans festménye

Életének utolsó évei nyugalomban teltek, ekkor már újra saját otthonában lakhatott, 1637-ben elvesztette látását, ám munkáját nem hagyta abba, természetes halált halt 1642. január 8-án.

Galileit az egyház később rehabilitálta, könyveit levették a tiltólistáról és 1992-ben, 359 évvel elítélése után, II. János Pál pápa hivatalosan is elnézést kért az egyház nevében.

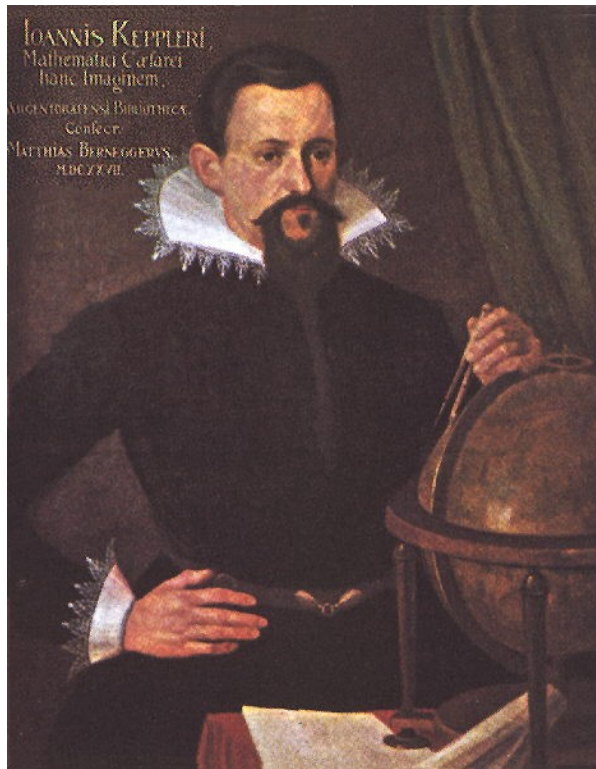
Tudományos nagyságát nem csak elvégzett kísérletei, jó meglátásai és azok gyakorlatba ültetése adja, hanem hogy ő volt a modern természettudományos szemlélet megteremtője is. A modellalkotás, és mérési eredmények értékelése általi következtetést ő vezette be a gyakorlatba és ez adja azóta is a kutatómunka alapvető hozzáállását a természet különböző jelenségeinek megfejtésének során. [1], [8], [14], [24]

## **2.2. A kor optikai tudása**

A XVII. század óta az optika mind elméletében, mind gyakorlatában nagy fejlődésen ment keresztül. Bár a csillagászat már több ezer éves múltra tekintett vissza, és elég pontos és nagy mennyiségű megfigyelést végeztek a csillagok, a Hold és a bolygók mozgásával kapcsolatban, a legfőbb „mérőműszer” ezidáig az emberi szem volt. Az emberi szem pedig nagyítás nélküli képet ad és felbontóképessége is véges. A fénytán és a csillagászat ebben az időben jelentőset haladt fejlődésében, ekkor jelent meg és terjedt el a távcső, mind a Galilei- mind a Kepler-féle, a tudósok ekkor ismerték fel a fénytörés törvényszerűségeit,



tükrök és lencsék képalkotását. Giambattista della Porta, aki az első lencsés camera obscurát készítette, 1593-ban megírta Refractione, Johannes Kepler, akinek nevét az általa felfedezett, a bolygók mozgását leíró törvények is őrzik, pedig 1611-ben Dioptrice című könyvét, amelyek felölelik a kor optikai tudását.



2. ábra Johannes Kepler, a kor csillagászatának egyik legjelentősebb alakja

A távcsővel való megfigyelések kezdetét pedig Galilei neve fémjelzi, aki hallván a távcső létezéséről, figyelmét azonnal erre a témára fordította. Félbehagyta mechanikai vizsgálódásait és hozzálátott, hogy a már létező viszonylag kis nagyítású (kb 6-szoros) és rossz képminőségű eszközök helyett olyat készítsen, ami alkalmas csillagászati megfigyeléseihez.

A témával foglalkozó kutatók körében vitatott volt, hogy Galilei munkája során a valós, természettudományosan megalapozott ismeretek és a szerencsés kísérletezés milyen arányban volt jelen. A vitára az adott okot, hogy ő maga sosem írta le távcsövének optikai elméletét és tekintve, hogy a távcső felfedezése tekinthető véletlennek, amikor is valaki két megfelelő lencsét tudatos fejlesztési szándék nélkül egyszerűen csak egymás mögé rakott és átnézett rajtuk. A távcső működését ebben az időben azonban más kutatók sem írták le, vagy ha igen, hibásan. Alapos okunk van azt gondolni, hogy Galilei sikereinek oka nem egyszerűen a véletlen, hanem tudatos kísérletezés, vizsgálódás és az azok során levont következtetések megfelelő felhasználása volt, amit igen jó technikai készség és optikai

műhelyében szerzett mesterségbeli tudás a segített. Emellett a felvetés mellett szól az a tény is, hogy míg egész Európa távcsőépítési lázban égett, egyedül Galilei tudott újításokat bevezetni és nagyobb (10-30-szoros) nagyítású távcsöveket felmutatni.

Galilei első távcsöveihez a lencsákat szemüvegtészítőktől vásárolta, később ő maga is polírozta. Ezt, ahogy minden más műveletet is, kézzel végezték. A lencsék anyagát jól meg kellett válogatni, az öntési technológia kezdetlegessége miatt sok üvegdarabban buborékok, fátyolosság és más durva hibák voltak jelen. Bár az üvegtészítés technikája már az ókorban is ismeretes volt, a XIX. századig nem volt kidolgozva a megfelelő üvegyanyag előállításának módja. A jó fényáteresztés és jobb mechanikai tulajdonságok elérésére, illetve azok szabályozására különböző adalékokat tesznek az üveg alapanyagaihoz. Az olvasztás és a hűtés folyamata szintén sok hibára adott lehetőséget. A megfelelő idejű hűtés, illetve hőntartás még kezdeti stádiumban volt, de Galileiről tudjuk, hogy ezzel is foglalkozott. Egyik levelében említette ugyanis egyik barátjának, hogy ügyelni kell az üveg minél hosszabb ideig való melegen tartásáról a megfelelő minőség eléréséhez. Ennek ellenére a kor üvegeinek tulajdonságait még erőteljesen befolyásolta a véletlen is, a lencsegyártásra alkalmas üvegeket válogatni kellett, hogy azokban ne legyenek buborékok, repedések, fátyolosság vagy egyéb hibák.

A megfelelő minőségű üvegdarabok csiszolását és polírozását is kézzel végezték, vízszintesen forgó tengelyű orsóra helyezett szerszámmal. Galilei műhelyében jelent meg az első függőleges tengelyű orsós csiszológép, amivel pontosabban lehetett dolgozni.

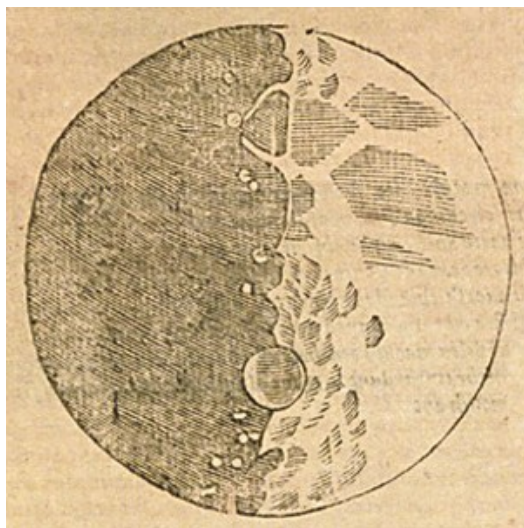
Az 1600-as évek elején még úgy gondolták, hogy csak a domború lencséknek és a homorú tükröknek van fókusza, mivel csak azzal tudták az fénysugarakat egy pontban irányítani. Sok kísérlet folyt a tükrök ezen tulajdonságát kihasználva olyan gépet készíteni, amivel a Nap sugarait összegyűjtve olyan fegyvert kapunk, amivel nagy távolságból is lángra lehet gyújtani ellenséges célpontokat, pl. hajókat. A távcső nagyítását a kortársak szerint kizárólag az objektív lencse határozta meg, annak is az átmérője. Galilei jött rá, hogy a homorú lencséknek is van fókusza illetve, hogy a távcső nagyítását a két lencse fókusz távolságának aránya adja meg. Ennek mérésére kidolgozott egy módszert. Vett két kör alakú papírlapot melyek közül az egyik a másiknak adott arányú többszöröse volt, ezeket rögzítette majd távolról egyiket távcsövön keresztül, a másikat szabad szemmel szemlélve ha a két kör képe egymásba csúszik, a nagyítás megegyezik a körlapok arányával. Felismerte azt is, hogy a távcső nagyítása szögnyújtás. Bevezette a rekeszek használatát, rájött, hogy ha szűkíti a lencsék átmérőjét, akkor jobb minőségű képet kap. [2], [3], [4], [9]

### 3. Galilei megfigyelései

Galilei 1609 augusztusában értesült a távcső felfedezéséről, a hír hallatán másnap már távcsövet készített, majd még egyet. Azokat a csillagos ég felé fordítva korszakalkotó felfedezéseket tett, amiket Siderius Nuncius című munkájában közölt. Ezeket a megfigyeléseit 1609 novembere és 1610 januárja között végezte. A munka széles körben vált ismertté, nem csak a tudományos körökben, de a hétköznapi emberek körében is népszerűvé vált. A felfedezések jelentősége és fogadtatása ahhoz mérhető, amikor először lépett ember a Holdra. A tudós tudatosan is felhasználta és népszerűsítette felfedezéseit, távcsövét a nemesi udvarokban mutatta be. A kor emberei érdeklődéssel figyelték munkásságát, felfedezéseit nem csak a művelt réteg, hanem az utca embere is ismerte.

#### Legfontosabb megfigyelései:

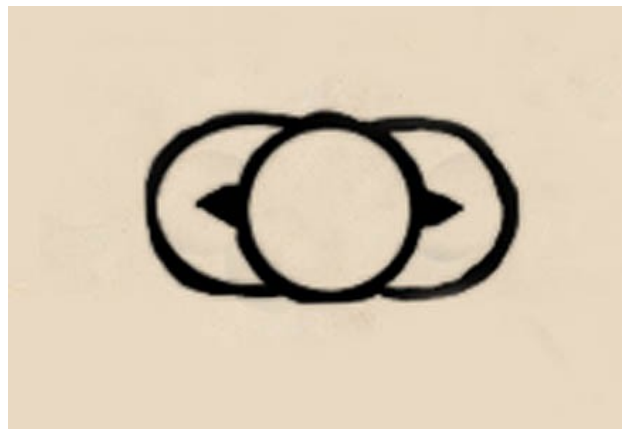
1. Tisztán látta a Hold felszínét, felismerte hogy azon ugyanolyan jellegű hegyek és árkok vannak, mint a Földön. Megállapította, hogy a Holdnak nincs saját fénye.



3. ábra Galilei rajza a Hold felszínéről

2. Észrevette, hogy a bolygók (amiket ekkor még csak mozgásuk alapján, vándorló csillagoknak neveztek, így különböztetve meg az állócsillagoktól) a távcsövön keresztül nézve kis korongnak látszanak, míg a csillagok apró, fényes pontok maradnak. Ez alapján rájött, hogy a bolygók nem bocsátanak ki fényt, a Nap fényét tükrözik vissza.

3. Vizsgálta a Nap foltjait is, ezek felfedezésében nem ő az első, viszont ő értelmezte először helyesen, hogy a napfoltok mozgását a Nap tengely körüli forgása okozza.
4. Ő fedezte fel a Jupiter négy legnagyobb holdját, a Ganymedest, Iot, Európát és a Callistot. Ezzel elsőként látta, hogy más bolygó körül is keringhetnek más égitestek, ezzel máris megcáfolta, hogy a Föld kitüntetett szerepet játszana a Világegyetemben.
5. Megfigyelte a Tejútát és arra jutott, hogy az nem folytonos, hanem sok millió csillag alkotja. Ezzel egy régi csillagászati kérdést válaszolt meg.
6. Megfigyelte, hogy a Vénusznak keringése során a Holdéhoz hasonló fázisai vannak. Ez szintén arra való bizonyítéknak értelmezte, hogy a bolygók fényüket a Naptól kapják.
7. Észlelte a Szaturnusz gyűrűit is, mint jelenséget a bolygó körül, azok szerkezetét azonban nem látta élesen. A jelenségről azt feltételezte, hogy egy három bolygóból álló rendszerről van szó, ahol a középső bolygó mintegy háromszor akkora mint társai. [1], [10]



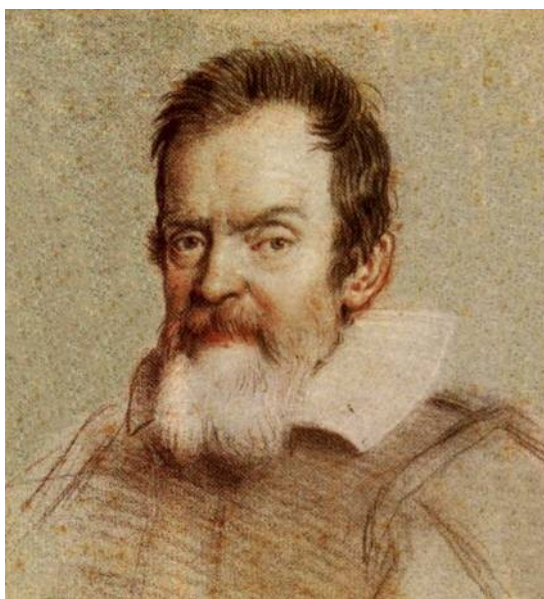
4. ábra Galilei rajza a Szaturnuszról

## 4. Galilei szembetegsége

Galilei életének az ellene lefolytatott per mellett másik tragikus eseménye, hogy időskorára elveszti szeme világát. A hányatott életű tudósról azt is tudni lehet, hogy élete során sokszor gyötörték különféle fájdalmak, betegségek. Az emellett szép kort (78 év!) megérő Galilei 1637 közepén először egyik, majd év végére a másik szemére is megvakul. [17]

A tudós szembetegségének vagy szembetegségeinek pontos meghatározása nem egyszerű feladat, egyelőre csak közvetett információk állnak a kutatók rendelkezésére, Galilei kéziratái, levelezése, portréi, kortársak leírása alapján lehet csak közvetett diagnózisokat felállítani. Hogy a rejtélyt megoldják, egy kutatócsoport célul tűzte ki Galilei exhumálását DNS-vizsgálat céljából, ami fényt derítene arra a kérdésre, hogy vajon volt-e a tudósnek valamiféle örökölt szembetegsége. Paolo Galuzzi szerint Galilei látáshibája az oka, hogy a tudós nem ismerte fel a Szaturnusz gyűrűit. Ez, amint a későbbiekben látni fogjuk, erősen vitatható. Hacsak Galilei nem rendelkezett a fennmaradtaknál lényegesen jobb felbontású és fényerejű távcsővel, akkor teljesen egészséges szemmel sem tudhatta pontosan látni a Szaturnusz gyűrűit.

P. G. Watson alaposan tanulmányozta a fennmaradt dokumentumokat és többféle betegséget is valószínűsített. Galilei feltételezhetően már fiatalkorában sem látott tökéletesen bal szemére. Erre utal több portré is, amelyeken a tudós bal szemének tengelye ferdének látszik.



5. ábra Galilei portréja, a rajzon a bal szeme nem látszik egészségesnek

Watson szerint Galilei krónikus uvea-gyulladásban (az uvea a szivárványhártya, a sugártest és az érhártya együttese) valamint másodlagos zárt zugú zöldhályogban szenvedett. A kiváltó oka ezeknek a tudós egész életében meglévő szisztémás betegsége mellett fiatalkori visszatérő erőteljes kötőhártyagyulladás lehetett. A leírások és a feltételezett kórképek mellett a tudósnak felváltva lehettek olyan időszakai, amikor látása éles volt és olyanok, amikor kevésbé. Ezek szövődményeképpen vakulhatott meg időskorában. Azt megelőzően a betegségek tünetei:

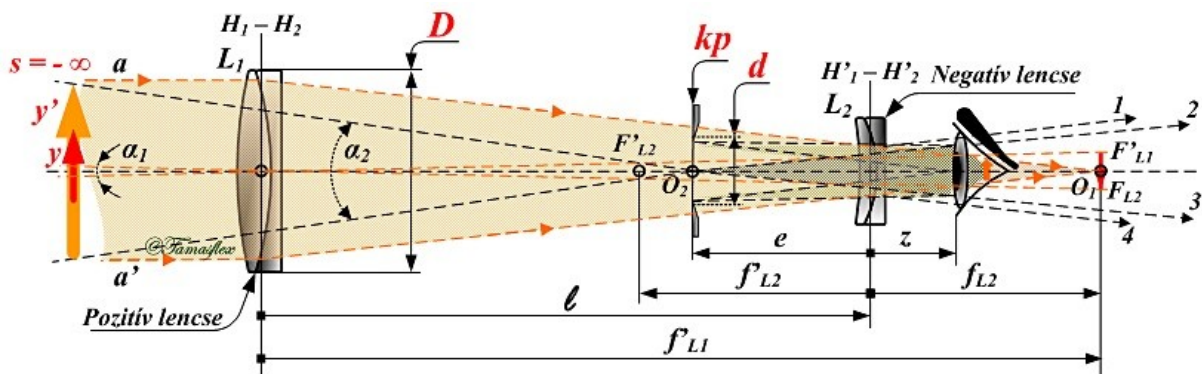
- látótérkiesés
- látásélesség romlása
- úszó fekete foltok megjelenése
- fényforrások körül szivárványszínű karikák megjelenése
- fényérzékenység

Feltételezhető azonban, hogy ezek a tudóst fiatalabbkori megfigyeléseiben, amiket az 1609-1613-as évek között végzett, nem befolyásolták még. A látásának romlása csak időskorában akadályozta csillagászati megfigyelések végzésében, akkor viszont teljes mértékben. Az általa tett felfedezéseket valószínűsíthetőleg élesen látó szemmel végezte. [18], [19], [20]

## 5. A Galilei távcsövei

### 5.1. A Galilei féle távcső

A Galilei által is használt távcsőtípust neves első csillagászati alkalmazója után Galilei-féle távcsőnek is nevezik. Hívják másképpen hollandi távcsőnek is, merthogy Hollandiában találták fel vagy színházi távcsőnek, elterjedt felhasználása okán. A csillagászatban csak a kezdetekben használták, legfőképpen maga Galilei, a Kepler-féle csillagászati illetve különböző tükrös távcsövek jobban megfelelnek csillagászati megfigyelésekhez.



6. ábra Galilei féle távcső sugármenetei

Ennek a távcsőtípusnak az optikai rendszerét egy gyűjtőlencse, mint objektív és egy szórólencse, mint okulár alkotja. A lencsék úgy vannak elhelyezve egymáshoz képest, hogy a  $L_1$  gyűjtőlencse  $F'_{L1}$  fókuszpontja és az  $L_2$  szórólencse  $F_{L2}$  fókuszpontjai egybeessenek. Így a végtelenből párhuzamosan belépő fénysugarak, amelyeket az  $F_1$  lencse annak fókuszpontjában egyesítene, az  $L_2$  lencsén áthaladva párhuzamosan lépnek ki, a rendszer teleszkópikus. A távcső látszólagos és egyenes állású képet ad.

A távcső belépő pupillája maga az objektív, eszményi kilépő pupillája pedig a két lencse közé esik (kp).

A távcső látómezejének fényeloszlása nem egyenletes, a látómező szélé felé egyre kisebb a fényerősség. A látómező nagysága függ az észlelő szemének az okulártól való távolságától, minél kisebb ez a távolság, a látómező annál nagyobb. A pontos meghatározása bonyolult, mert befolyásolja még a távcső hossza, az objektív átmérője, a kilépő pupilla helye, a távcső nagyítása is.

A távcső szögnyújtása az objektív és az okulár fókusz távolságainak hányadosa. [8]

## 5.2. A fennmaradt műszerek

Galilei élete során sok távcsövet készített, ezek nagyítása és minősége változó volt. Ezek közül ma két megmaradt darabról tudunk, ezeket és egy megőrzött, díszes keretbe foglalt objektívlencsét a firenzei Tudománytörténeti Múzeumban találhatjuk. A múzeum honlapján alapos interaktív bemutatót és sok hasznos információt, leírást találhatunk a Galilei által használt eszközökről, a tudós munkásságáról. Mi most azonban a megmaradt távcsövekre összpontosítunk.

Ezek adatait az irodalomban megtaláltam, a további munkát ezek felhasználásával végeztem. A fellelhető adatokat a következő táblázat mutatja [2]:

	f	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	n	D	d	t
	[mm]	[mm]	[mm]		[mm]	[mm]	[mm]
Objektív 1	1327	995,5	3456	1,580	51	26	2,5
Okulár 1	-95,2	végtelen	48,5	1,509	26	11	3
Objektív 2	956	535	5050	1,550	37	16	2
Okulár 2	-48,8	51,5	51,5	1,527	22	16	1,8
Objektív 3	1689	941,6	14363	1,523	58	38	4

1. Táblázat Galilei által készített távcsövek lencséinek adatai

Ahol:

- f fókusz távolság a középső zónában, 550 nm-es fényre
- r<sub>1</sub> első felület görbületi sugara
- r<sub>2</sub> második felület görbületi sugara
- n törésmutató, 550 nm-es fényre
- D lencseátmérő
- d rekeszelt átmérő
- t lencsevastagság a középvonalon

Az 1-es ill. 2-es indexek az azonos indexszel jelölt távcsövekre utalnak a 3-as index az önmagában megmaradt objektívre.





7. ábra Galilei távcsövei és a befoglalt objektív

Az **1-es számú távcső** a lencséken kívül egy főtubusból és két lencsefoglalatból áll, ezek anyaga fa. A főtubus két rövidebb darabból áll, melyeket rézdrót tart össze. Mind az objektív, mind az okulár a laposabb felületén fekszik fel a foglalatba. A távcsövet kívülről papírborítás fedi.

A távcső tipikus példája lehet azon műszereknek, amelyeket Galilei 1609 és 1610 körül készített.

További jellemzői:

Nagyítás:	14-szeres
Látószög:	15'
Hossz:	1330 mm

A **2-es számú távcső** tubusa szintén fa, felépítése hasonló az 1-es számúéhoz. Borítása eredetileg vörös színű bőr, ez az idők folyamán színét veszítette és bebarnult. Optikája sajnos nem eredeti, okulárja elveszett és utólag helyezték bele a táblázatban leírt lencsét.

[4], [21]

További jellemzői:

Nagyítás:	21-szeres
Látószög:	15'
Hossz:	927 mm

### 5.3. A papírmmodell

A német Astromedia Verlag a Csillagászat Évének tiszteletére forgalomba hozott egy távcsőmodellt „Történelmi Galilei távcső” néven, erre vonatkozik a kiírásban szereplő honlap (<http://www.csillagaszat2009.hu/hirek-videok/20090306-galilei-tavcsove.html>)

A modell készletben kapható, ami kivágható papírelemekből és két lencséből áll. A papírból összeállíthatók egy távcső mechanikus alkatrészei, amibe a lencsét beillesztve egy Galilei-féle távcsövet kapunk. A távcső azonban csak külsejében hű a Galilei által készített távcsövekhez, optikai rendszerében eltér azoktól. Objektívje egy 42 mm átmérőjű és 780 mm fókusz távolságú gyűjtőlencse, okulárjának pedig egy 65mm-es fókuszú szórólencse, így a valódi történelmi Galilei távcsövek lényegi vizsgálatához a modell nem nyújt segítséget. A távcső lencsét feltételezem a jobb használhatóság illetve a könnyebb gyárthatóság miatt változtatták meg az eredetiekhez képest. [12], [13]

A modell kivitelezése ötletes és esztétikus, de mivel optikai tulajdonságai eltérnek a Galilei által használt távcsövekéitől, az eszköz további vizsgálatával nem foglalkoztam.



8. ábra Galilei-féle távcső papírból.

## **6. Saját távcső építése**

### **6.1. A megépítendő távcső kiválasztása**

A további vizsgálódáshoz az 1-es számú távcsövet választottam ennek több oka is volt:

- mindkét lencséje eredeti, így ezt vizsgálva pontosabb képet kaphatunk Galilei megfigyeléseiről
- kisebb a nagyítása, de azonos a látószöge,
- így csillagászati megfigyelésekre könnyebben használható, mint nagyobb nagyítású társa, valamint ugyanezen okból
  - nagyobb a fényereje
  - lencségi vastagabbak, azok legyártása könnyebb
- a 2-es számú objektív egyik felülete 5050 mm-es görbületi sugarú, ennek legyártása szintén nehézségekbe ütközhet

Hátránya a másik modellel szemben nagyobb hossza, így kezelése és szállítása kényelmetlenebb.

### **6.2. A távcső megtervezése**

#### **6.2.1. Tervezési szempontok**

A megépítendő távcső tervezésének főbb szempontjai az alábbiak voltak:

- optikailag megfeleljen az 1-es számú távcsőnek
  - könnyű gyárthatóság
  - egyszerű szerelhetőség
  - alacsony anyagköltség
  - kényelmes használat
  - szállíthatóság

## 6.2.2. Mechanikus alkatrészek

Távcsövek tervezésénél a tartóelemek, foglalások és egyéb alkatrészek mechanikai igénybevétele elhanyagolható, attól lényegesebb, hogy az alkatrészek méretpontosak legyenek, megfeleljenek az optikai, finommechanikai elvárásoknak.

Lévén egyszerű a lencserendszer, és az eredeti példány is mai szemmel kezdetlegesnek tekinthető, ami az illesztéseket, méretek pontosságát illeti, a távcső „testét” nem kellett pontosan kidolgozni. A legfontosabb tulajdonság, hogy a lencsét bele lehessen illeszteni és rendeltetésszerűen lehessen használni a távcsövet. Ehhez készítettem AutoCAD felhasználásával ill. a helyszínen kézzel vázlatos alkatrészsrajzokat, illetve a készítendő távcsőről egy törzsrajzot. Ez utóbbit a mellékeltlen közlöm.

Elkészítendő alkatrészek:

### **Tubus:**

A távcső tubusa két alumínium csőből készült. Ezek átmérője szabványos volt 50 ill. 30 mm, falvastagsága mindkét csőnek 2,5 mm. Ezek a távcső optikájának működő részét nem befolyásolják és a raktárban fellelhetőek voltak. A távcső ezen része úgy alkult, hogy a távcső leendő kb. 1225 mm-es hosszából 1000 mm-t ad a vastagabb rész, míg a vékonyabb, amit majd ki- és be lehet tolni a vastagabba, az 285 mm-es lett, így van bőven állítási lehetőség az élesreállításhoz.

### **Összekötő elem:**

Az eltérő átmérők miatt szükséges volt egy összekötő elem beiktatása, amihez egyik felületével a vastagabb, másik felületével a vékonyabb csőhöz illeszkedik, úgy hogy az utóbbit mozgatni illetve helyén rögzíteni lehessen. Ezzel a távcső fókuszálását megoldottuk. A darab belső átmérőjére megfelelő tűrést választva a vékony cső abban szorulásmintesen és kis játékkal tud mozogni, a darabba menetet vágva és abba csavart helyezve annak becsavarásával a csövet rögzíteni lehet. A darabot POM (poli-oximetilén) –ből készítettük, jó forgácsolhatósága miatt

## **Foglalatok:**

Az eredeti távcső foglalatokai közvetlenül a tubus szélső részeiben lettek kialakítva. Esetünkben ez a megoldás nem jöhetett szóba, ehhez tömör alumíniumhengerekbe kellett volna teljes hosszukban furatot fúrni, majd egyéb nagy forgácsolási veszteséggel járó megmunkálással lehetett volna a végükre foglalatot esztergálni. Egyszerűbb volt a csövekhez illeszkedő, kisméretű foglalatokat esztergálni, szintén alumíniumból.

A foglalatok tubus felé eső oldalukon úgy vannak kialakítva, hogy a tubusra ráhúzhatók, majd ott csavarokkal rögzíthetők legyenek. A másik oldalon a lencsék befoglalására alkalmas képes peremes rész lett kialakítva valamint körbefutó mélyítés a lencsék rögzítő rugó számára. Ezek szintén esztergálással készültek.

## **Távtartó gyűrűk, egyebek**

A lencsék szereléséhez szükséges még néhány távtartó gyűrű, a rögzítéshez rugók, és rekeszek. Ezek a lehető legegyszerűbb módon, alumíniumból, poli-oximetilénből, papírból illetve rugóacélból készültek.

Kellett készíteni távtartó gyűrűt mind a két lencse foglalásához, ezek szintén POM-ból készültek. A lencsék 1mm átmérőjű rugóacélhuzaból kivágott majd megfelelő alakúra hajlított gyűrűk rögzítik. Az objektívlencse rekesze nem lesz változtatva, lévén a látószög szempontjából irreleváns, így annál rekesze csak a távcső szétszerelése árán lehetséges, anyaga alumínium. Az objektív lencséhez, pont mivel annak rekeszelését változtatni érdemes, így egyszerű sötét kartonból vágtam ki.

Emellett szükség volt még néhány csavarra és fekete bársonyra a távcső belsejének béleléséhez, elkerülendő a zavaró fényes csillogást a távcső belsejében.

### 6.2.3. A távcső mechanikus alkatrészeinek legyártása

Az alkatrészeket Bujáki Krisztián segítségével az OMI Kft. műhelyében gyártottuk le. Egyszerre dolgoztunk párhuzamosan az esztergán, fűrűgépen, köszörűn stb s a már addigra elkészített tervek szerint készítettük el a távcső egyes elemeit. Ez kb. 30 óra munkát jelentene egy emberre számolva, ha az alkatrészekhez szükséges alapanyagok felkutatását és összegyűjtését nem számoljuk.

A munka ezen szakaszának lépései, a valós folyamat alapján felsorolva, bár elméletben egyes lépések felcserélhetők lennének:

1. alumínium csövek méretvágása a tubusokhoz
2. a levágott csövek végeinek vízszintesre igazítása
3. foglalatok esztergálása
4. foglalatok és tubusok megfelelő helyen való kifűrése a csavarok későbbi helyén
5. a csövekbe az előzetes furatok helyén menet vágása
6. foglalatok furataihoz peremek kialakítása
7. összekötő elem esztergálása
8. összekötő elem és vastagabbik tubus-elem kifűrése
9. a furatok helyén menetek vágása
10. vastagabbik tubus-elem megfelelő furatainál peremek kialakítása
11. vékonyabbik tubus-elembe menetes furat vágása a rögzítő csavar számára
12. távtartó gyűrűk esztergálása
13. rekesz esztergálása az okulárhoz
14. rugóacélból a rögzítőgyűrűk meghajlítása és levágása
15. rekesz vágása papírból az objektívlencséhez

Eközben természetesen folyamatosan mértük az elkészített alkatrészek méreteit, illetve azok felületeit megtisztítottuk, eltávolítottuk róluk a sorját, stb.

#### 6.2.4. A távcső szerelése

Az elkészült mechanikus alkatrészekből illetve megfelelő lencsékkel a távcső összeállításának sorrendje:

1. tubus vékonyabb elemének bélelése fekete bársonnyal
2. tubus vékonyabb elemének beledugása az összekötő elembe
3. kirántást megakadályozó csavar becsavarása
4. rögzítő csavarok becsavarása
5. összekötő elem és vastagabbik tubus-elem egymáshoz rögzítése csavarokkal
6. vastagabbik cső bélelése fekete bársonnyal
7. foglalatok rögzítése a tubusra
8. lencsék, távtartó gyűrűk, okulár rekeszének egymásba illesztése
9. rögzítőgyűrűk bepattintása



9. ábra Az elkészített távcső állványon, kererőtávcsővel

## 7. Lencsék beszerzése, gyártása

### 7.1. A lencsék anyagválasztása

A Galilei által használt üvegyanyagok még nem voltak szabványosítva, az öntéstechnológia még kezdetleges volt, az üvegek törésmutatóját és egyéb tulajdonságait nem mérték.

A megmaradt objektíveknek viszont az irodalomban megtaláltam a fókusz távolságait különböző hullámhosszúságú fénysugárral mérve. [2] Ezekből, ismerve a lencsék geometriáját, ki lehet számolni a lencsék törésmutatóját és becsülni az Abbe-számát.

Az 1-es számú objektív esetében ezek az adatok a következők voltak:

Hullámhossz	Fókusz távolság
[nm]	[mm]
450	1304
500	1317
550	1327
600	1333
650	1337

2. Táblázat Az 1-es számú távcső objektívjének fókusz távolsága különböző hullámhosszúságokra

Ezeket grafikonon ábrázoltam, majd leolvastam az Abbe szám meghatározásához szükséges hullámhosszknál és ezekre számoltam ki a törésmutatóértéket Excel táblázatban, a vastag lencsékre vonatkozó képlet visszszámolásával. [7]

A vastag lencse fókusz távolságának meghatározása:

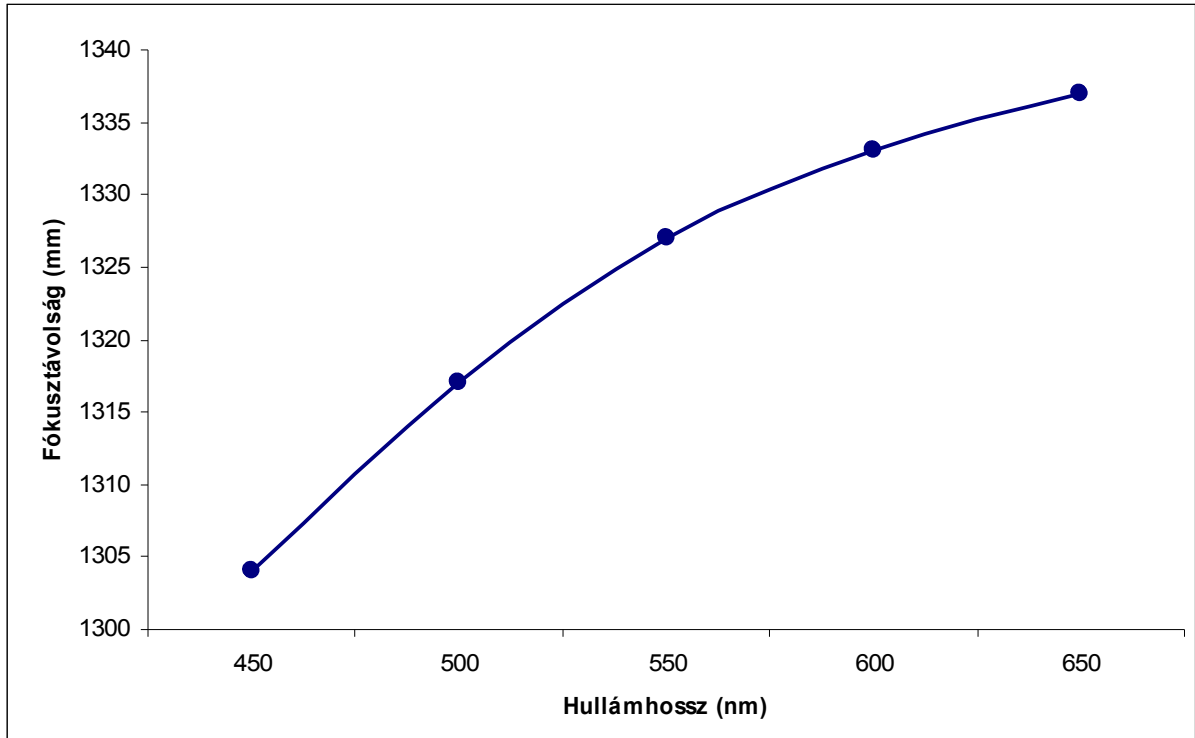
$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} + \frac{n - 1}{n} \cdot \frac{1}{r_1 r_2} d \right)$$

Ahol:

- f fókusz távolság
- $r_1$  első felület görbületi sugara
- $r_2$  második felület görbületi sugara
- n törésmutató
- d lencsevastagság a középvonalon



Ezek közül a geometriai adatok ismertek (2. táblázat), a fókusz távolságokat a diagram tartalmazza, így már csak a törésmutató marad ismeretlen. Ezt a táblázatban addig iteráltam, amíg kellő pontossággal nem közelítette meg a számolt fókusz távolság a mért értéket



10. ábra Galilei távcsövének mért fókusz távolsága különböző hullámhosszakon

	hullámhossz	mért fókusz távolság	számított fókusz távolság	n
	[nm]	[mm]	[mm]	
e	546,1	1326	1326,046	1,583
F	486,1	1311	1310,989	1,590
C	656,3	1338	1337,970	1,578

3. Táblázat A mért és számolt fókusz távolságok és az iterált törésmutatók

Innen az objektívlencse Abbe-száma:

$$v_e = \frac{n_e - 1}{n_F - n_C} = 48,58$$

Az anyagválasztásnál szempont volt, hogy jellegében hasonlítson a Galilei által használt üvegyanyagokhoz, de ne legyen speciális, nehezen beszerezhető és költséges. Az üvegyanyagok tulajdonságait a Schott cég honlapján található katalógusokból néztem ki. [15]

A keresett tulajdonságok:

**Objektívlencsének:**

$$n_e=1,583$$

$$n_F=1,590$$

$$n_C=1,578$$

$$v_e=48,53$$

**Okulárnak:**

$$n_e \approx 1,509$$

mivel 550 nm-re ennyi és az közel van  $\lambda_e=546,1$  értékhez

$v_e$ = ismeretlen

A táblázatot átnézve azt tapasztaltam, hogy lehetetlen a mai üvegtalálékban olyan anyagot találni, ami jól közelíti a távcsövekben levő lencsék anyagtulajdonságait.

A kiválasztáshoz igénybe vettem a cég üvegtalálék listáját Excel táblázat és a mellékletben közölt diagram formájában, és az alapján megfelelőnek tűntek a következő üvegtalálékok:

**Objektív:**

üveg	$n_d$	$n_e$	$v_e$
N-BALF4	1,57956	1,58212	53,59
N-BAK4	1,56883	1,57125	55,70

4. Táblázat Lehetséges objektív anyagok tulajdonságai

**Okulár:**

üveg	$n_d$	$n_e$	$v_e$
N-BK7	1,51680	1,51872	63,96
N-ZK7	1,50847	1,51045	60,98

5. Táblázat Lehetséges okulár anyagok tulajdonságai

## **7.2. Okulárlencsék beszerzése**

Az okulár lencsét készre gyártva az Europtik Rohmann Mikrooptikai Kft.-től kaptam, a cég raktárán voltak olyan lencsék, amelyeknek átmérője illetve egyik oldali rádiusza megfelelt a követelményeknek, a másik felülete eredetileg domború volt, ez a cég műhelyében síkra csiszolták és polírozták.

Ezek anyaga: N-BK7.

## **7.3. Objektívlencsék elkészítése**

### **7.3.1. Előgyártmányok beszerzése**

Az objektívlencsék mindkét felületének nagy rádiusza miatt ilyet nem találtunk készen a piacon. Ezek legyártására alkalmas gépsorral viszont rendelkezett a Schmidt&Bender Hungária Optikai Kft. A cég elkészítette a lencsék méretre mart és leppelt előgyártmányát, N-BAK4 jelű üveganyagból.



**11. ábra Objektívlencse előgyártmánya, polírozás előtt**

Ezekből rendeltünk 4 db-ot. A lencsét géppel megfelelő geometriájúra alakították, marták, leppelték, így a felületük még érdes, átlátszatlan volt. Az előgyártmányok kézhez kapása után az objektívlencsét Galileihez hasonló módon, kézi módszerrel políroztam az OMI Kft. műhelyében.

### 7.3.2. Lencsék polírozása

A polírozás a lencsekészítés utolsó és egyben egyik leglényegesebb munkafolyamata. Mind a kézzel, mind a géppel történő gyártás esetén az összes megmunkálási idő legnagyobb részét a polírozás teszi ki. Ezen munkafolyamat igényli a legnagyobb kézügyességet és tapasztalatot.

A polírozás geometriailag határozatlan, szabadszemcsékkel végzett forgácsolás, a szabad polírozóanyag a munkadarab és a szerszám között fejt ki hatását. A munkadarab és a szerszám egymáshoz képest relatív mozgást végeznek nyomás alatt. A megmunkálás hatására a még érdes felületek (3-8  $\mu\text{m}$ ), amelyeken a fény még nem halad keresztül szabályosan, átlátszóak lesznek és megkapják végső alakjukat.

Az alakadás pontosságát a korszerű optikai gyártás során próbaüveggel ellenőrzik, esetünkben ez próbaüveg hiányában elmaradt, feltételezhetően nem volt ez másként Galilei műhelyében sem. A felület tisztaságát, karcmentességét a munka során lupéval folyamatosan ellenőrizni kell, ezt viszont minden valószínűség szerint 400 évvel ezelőtt is így tették.

A polírozás célja csiszolási nyomok nélküli fényes felület, ami megfelel a felületalakkal szemben támasztott követelményeknek is. A mai korszerű optikai sorozatgyártásban ez a folyamat gépesítve van, csak egyedi nagy pontosságú optikai elemek gyártásánál alkalmaznak kézi polírozást. [5]

A munka menetének a két fő lépése: a szerszámkészítés ill a felület készre polírozása. Miután mind a 4 db előgyártány egyik felülete elkészült, új szerszámot kellett készíteni, majd megismételni a műveletet. Ezután a lencséket tisztítás után már csak ellenőrizni kellett és egy kiválasztott, legpontosabban sikerült darabot beépíteni a távcsőbe.

### 7.3.2.1. Szerszámkészítés

A polírozószerszámok anyaga szurok, filc, filcszurok vagy alumíniumra ragasztott fólia lehet. A nagy pontosságú optikai elemeket, ma is szurkon polírozzák, mert ezzel érhető el a legjobb felületi minőség és pontosság. Feltételezhetően ez a technika a legrégebbi is. Az újabb technológiákkal gyorsabb a megmunkálás, így azokat gyakran mint előpolírozást alkalmazzák.

A szurokszerszámmal kézzel végzett polírozás nagy gyakorlatot és sok időt igényel. Esetemben a 4 db objektívlencse 8 db felülete közben úgy alakult, hogy a gyakorlat hiányát a befektetett munkaórák száma ellensúlyozta valamelyest. Valószínűsíthető azonban, hogy a Galilei elsőként készült távcsöveiben lévő lencsék sem készültek sokkal kiforrottabb technológiával, így talán még hitelesebben tudtam lemásolni az adott távcső optikai minőségét.

A szurokszerszám elkészítésének műveleti sorrendje:

1. Az alaptest felmelegítése olyan hőmérsékletre, hogy a szurok jól tapadjon, de ne folyjék le.
2. A szurok felvitele az alaptestre
3. A forma kinyomása. Ezt az előgyártmány polírozandó felületével végeztük, így megfelelő ellendarabot készíthettünk a szurokból. A felületeket szappanos vízzel kentük be, így a lencse nem ragadt bele a szurokba.
4. Barázdálás. Miután a szerszám alakot kapott, azt rögzítettük a forgó orsóra és késheggyel illetve borotvapengével a forgó szerszámba egyenletes távolságokba kör alakú barázdákat vágunk, a későbbi betapadás elkerülése végett.



12. ábra Szurokszerszám polírozás megkezdése előtt (baloldalon) és polírozás alatt (jobboldalon)

A szerszám elkészítése sok hibára ad lehetőséget:

- túl nagy szurokvastagság:

a szerszám a szélén erősebben políroz, túl nagy polírozásis hőmérsékletet okozva, előfordulhat, hogy a szurok folyik, a szerszám egyre nagyobb lesz, a munkadarab középén fekszik fel.

- túl kis szurokvastagság:

az előző hiba ellentéte, ekkor a szerszám a munkadarab középső részét polírozza erősebben, vagy nem változtatja egyáltalán, a szurok nem kellően rugalmas

- túl nagy vagy túl kicsi szerszámátmérő:

ezeknél a hibáknál a szerszám a munkadarab szélét (túl nagy szerszámátmérő) vagy középső részét (túl kicsi szerszámátmérő) polírozzák erősebben. Esetünkben ez nem okozhatott problémát, a szerszám működő felületét a lencse kézi mozgatása határozta meg.

Esetünkben a szurokszerszám anyaga 55-ös keménységi jelű szurok volt, a szerszám vastagsága pedig 2-3 mm volt.

### **7.3.2.2. A polírozás folyamata**

A polírozás folyamata a esetünkben a munkadarabnak a forgó szerszámon való kézi mozgatását illetve a polírozóanyag folyamatos pótlását jelentette. A lencsét, hogy meg lehessen fogni egy bakelitből készített gyűrűre ragasztottam piceinnel. A picein az optikai gyártásban gyakran használatos kaucsuk tartalmú anyag, ami 50 °C-on lágyul, ridegen törékeny, benzolban és tetraklór-metánban oldódik. Ezt a gyűrűfelületére olvasztottam, majd a polírozandó lencsét még az olvadék megszilárdulása előtt kis erővel belenyomtam. A két felület ezután kellő erővel összetapadt, hogy a megmunkálás során a gyűrűt kézben tartva a munkadarabot a szerszámhoz lehessen nyomni. A felület készre polírozása után oldalirányú kocogtatással a gyűrű a piceinnel együtt leválasztható, majd a lencsére tapadt maradékot mosóbenzinnel le lehet mosni.

Mint azt már a szerszám elkészítésénél is láthattuk, a polírozás roppant összetett folyamat, melynek eredménye rengeteg szubjektív és objektív tényezőtől függ. Ezek összehangolása a munkát végző személy feladata, látva és értékelve a folyamat alakulását.

Ezek a befolyásoló tényezők többek között:

- a munkadarab érdességmélysége
- relatív légnedvesség és helyiség-hőmérséklet
- a levegő tisztasága
- az üvegdarab anyagtulajdonságai
- az üvegdarab mérete
- a polírozó folyadék tulajdonságai
- a polírozó folyadék mennyisége
- a munkaorsó fordulatszáma
- a mozgások nagysága és sebessége
- hőmérséklet a polírozási felületen
- a polírozási nyomás

Ennyi változó összhangba hozása és egzakt meghatározása szinte lehetetlen. Ugyanakkor a folyamat figyelemmel követésével és a változtatható tényezők szabályozásával a megmunkálás el tudja érni a kívánt felületi minőséget. [5]



13. ábra Kézi polírozó munkaállomás az OMI műhelyében

Az OMI műhelyében elvégzett polírozási munkálatoknál:

műhelyhőmérséklet:  $\approx 24\text{ °C}$   
munkaorsó fordulatszám: 220 1/s  
polírozó folyadék: vas-oxid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , polír-rúzs) és  
cérium-oxid ( $\text{CeO}_2$ , polírfehr) keveréke vízzel felvive  
polírozási nyomás: kézileg szabályozott

A 8 felület teljes polírozása hozzávetőleg 30 órát vett igénybe, ez felületenként kb. 225 perc ráfordítást jelent, ám ebből a tiszta polírozási idő jelentősen kevesebb, ez 45-150 perc között változott.

A lencsék felületét folyamatosan ellenőriztem lupéval, így jól láttam, hogy az üvegfelszín mely részeit munkálja meg a szerszám erőteljesebben. Ennek függvényében változtattam a munkadarab mozgásán, ami függött a szerszám aktuális állapotától is. A szerszámba vésett barázdák akadályozzák meg a lencsék letapadását a felületre, azonban a polírozás során a folyamatosan ecsettel pótoltt polírozóanyag azokat betömíti, így újra kellett azokat vágni. Eközben a szerszám gyakran berepedezett, ami rontotta a megmunkálási hatásfokot. Ezeket a repedéseket a további polírozás közben felvitt polírozóanyag betömte, de mivel a barázdákat újra és újra mélyíteni kellett, ahogy tömődtek be, így a probléma a munka idejének nagy részében előfordult. Ennek oka a szurok viszonylagos keménysége lehetett.



### 7.3.2.3. A polírozás eredménye

Végeredményben két lencsét sikerült készre polírozni, a későbbiekben ezeket ellenőriztük műszeresen, majd ezek egyikét építettük be a távcsőbe. A lencsék mindkét felülete lupéval ellenőrizve megfelelt a kívánalmaknak, a lencsék tisztán átláthatóak, karcot, foltosodást vagy egyéb hibát az ellenőrzés során nem találtunk.



14. ábra A készre polírozott lencse már tisztán átlátható

A másik két lencsét nagyobb ráfordítással sem sikerült megfelelő felületi minőségűre javítani. Ezeken szabad szemmel is jól látható leppelési nyomok, alakjuk után „lepké”-nek nevezett hibák maradtak. Mind a két lencsének a nagyobb 3456 mm-es rádiuszú felülete mutatja ezt mintázatot, ezek a másik két lencsével azonos körülmények és megmunkálási mód mellett is érdesek maradtak. A leppelő szerszám ezeket a felületeket a középső zónában erősebben munkálta meg, ott mély nyomokat hagyva. Ezek a lepkék bár esztétikai élményt nyújtanak, pusztán polírozással való megmunkálásuk kézi módszerrel értelmetlen, mert mire a mély hibák eltűnnek, addigra a megmunkálás a többi felület geometriáját elváltoztathatja. Ezek a hibás felületek viszont utólagosan visszaigazolták, hogy jó döntés volt több lencsét is megmunkálni és abból kiválasztani a távcsőbe szerelendőket.



**15. ábra Lencsék leppelési nyommal, ún. lepkével**

## 8. Lencsék ellenőrzése

Az elkészült lencsákat a Schmidt&Bender Hungária Optikai Kft. jóvoltából a cég optikai műhelyében Elek Péter és Farkas János, a cég munkatársainak segítségével vizsgáltam meg.

Az okulároknak szferométerrel meg tudtuk mérni a görbületi sugarait, és a felületet pedig interferométerrel is megvizsgáltuk.

Az objektíveknek szintén meg tudtuk mérni a kisebb görbületi sugarát, és ezt a felületüket meg tudtuk vizsgálni interferométerrel is. A nagyobb görbületi sugarú felületet próbaüveggel ellenőriztük.

### 8.1. Szferométeres mérés

A szferométeres mérés alkalmas gömbfelületek görbületi sugarának meghatározására. A mérés során a lencsét ráhelyezzük egy gyűrűre, amin három darab egy körív mentén  $120^\circ$ -onként kiosztott támasztófelületen fekszik fel a mérendő lencse. A mérés során a lencse húrmagasságát mérjük közvetlenül, amiből a gyűrű átmérőjének ismeretében a lencse görbületi sugara kiszámítható. Első lépésben mérünk egy referencia felületet, egy sík lencsét, majd ezután mérjük a lencsék húrmagasságát.

A cég minőségellenőrzési osztályán használatos szferométer mérési pontossága 0,0005 mm.



16. ábra Szferométer okulárlencsével

A mért értékek:

lencse	$r_1$ [mm]	$r_2$ [mm]
1-es számú okulár	végtelen	48,2474
2-es számú okulár	végtelen	48,2474
1-es számú objektív	996,205	-
2-es számú objektív	986,546	-

6. Táblázat A szferométeres mérés eredményei

Az objektívek nagyobb rádiuszát nem tudtuk megmérni pontosan, mivel ekkora rádiusznál már nagyon kis húrmagasságbeli eltérés is nagy különbséget jelent a rádiuszokban, illetve itt már a felületek kis pontatlansága is nagy eltérést okozhat hasonló okból.

A méréshez használt szferométer típusa és gyári száma:

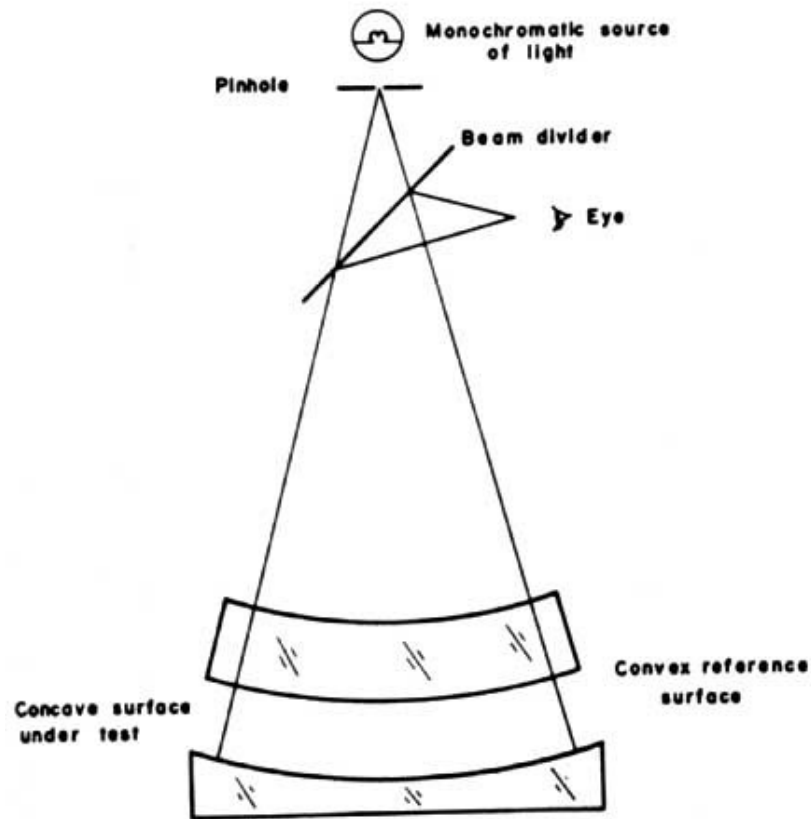
Möller-Wedel 65304-113

## 8.2. Interferométeres vizsgálat

Az interferometrikus mérés technika igen hasznos eszköz az optikai elemek vizsgálatában. Az interferométerrel végzett méréssel nagy pontossággal tudunk felületeket vizsgálni és hosszakat mérni, ez a pontosság jellemzően a berendezésben használt fényforrás hullámhossza, ill. annak a fele, ez a berendezés kialakításától függ. A modern optikai gyártás során az interferometria a minőségellenőrzésben igen elterjedt, mondhatni alapvető módszerré vált.

Az interferométer a fény hullámtermészetét használja fel hossz mérésre, illetve felületek ellenőrzésére. A mérés során egy fényforrásból a szerkezet kibocsát egy hullámfrontot, amit ezután két részre bont, egy referencia és egy mérési hullámfrontra. Ezek különböző optikai úthosszakat futnak be, jellemzően a mérési hullámfront visszaverődik vagy áthalad a mérendő tárgy felületén és újra találkozik a referencia hullámfronttal. Ekkor jön létre az interferencia jelensége, ahol a megjelenő interferenciá mintázatok alakját a két hullámfront által megtett optikai úthosszak különbsége határozza meg. A mérőberendezés jellemzője, hogy két csík közötti távolság a hullámhossznak hányszorosa. [16]

Az interferométerrel megnéztük az objektívek kisebb görbületi sugarú felületét, valamint az okulárok sík felületét. Ezt egy függőleges tengelyű Fizeau interferométerrel tettük.



17. ábra Konkáv felület vizsgálata Fizeau interferométerrel

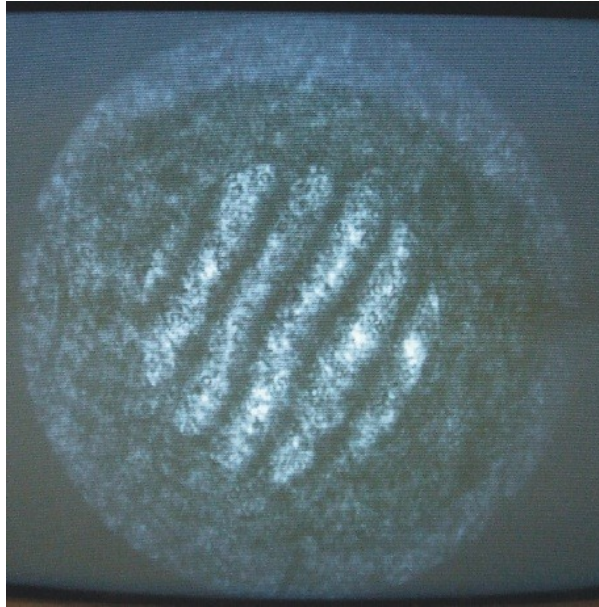
Szférikus felületek méréséhez az interferométer felszereltségének tartalmaznia kell megfelelő görbületű (azaz fókusz távolságú) objektíveket, esetünkben ez a síkfelületre és a kisebb görbületi sugarú (995,5 mm) felületre teljesült.



**18. ábra Az 1-es (balra) és 2-es (jobbra) számú objektív interferometriás képe**

Az 1-es számú objektív interferometriás képe torzult egyenes csíkokat mutatott. Ezek az egyik szélén nagyjából párhuzamosak voltak, a lencse másik oldalán pedig szabálytalan alakúak. Ez a lencsefelület feltehetőleg egyik oldalán erősebben lett megmunkálva, ezért a szférikus felület közepe valamelyest eltolódott.

A 2-es számú objektív képe viszont meglepően nagymértékű szabályosságot mutatott. Ennek mintázata a darab közepétől kiinduló, jó közelítéssel szabályos, majd a szélek felé kissé aszimmetrikusan elrendezett körgyűrűket mutatott. Ez a felület jól közelít egy eszményi gömbfelületet, főleg a megmunkálás módjához képest.



**19. ábra Az 1-es számú okulár interferometriás képe**

Az okulárok nem kézzel, hanem korszerű megmunkáló berendezésekkel készültek, így az egyik okulár interferometriás ellenőrzése várhatóan eléggé pontos, egyenletes felületet kellett adjon. Így is történt. A lencse síkfelületét nézve nagy szabályosságú és kevés párhuzamos vonalat láthattunk. Ezzel láttuk, hogy nagy különbség lehet egy modern gyártóberendezéssel készített lencse és egy kézzel készült lencse között. Azonban kézzel is lehetséges pontos felületet elérni. Ennek a gyártásmódnak az az előnye, hogy pl. polírozás közben folyamatos ellenőrzés mellett, kellő szakértelemmel a munkát végző személy finoman be tudja hangolni, hogy hol és mennyi anyagot válasszon le, így kellően pontos geometriájú és tisztaságú felületet tud előállítani.

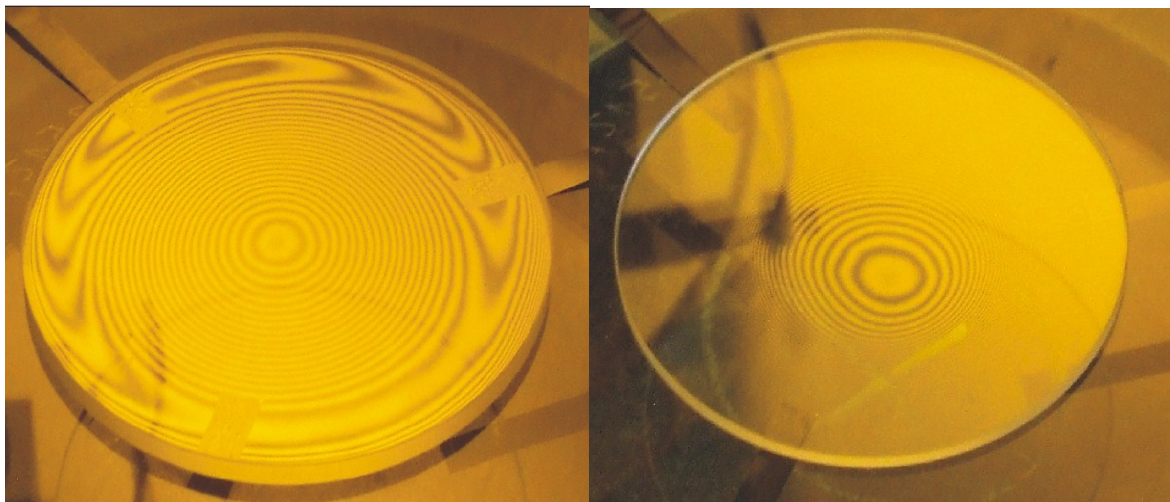
### **8.3. Próbaüveges vizsgálat:**

Optikai elemek gyártása során a megmunkált felület pontosságát folyamatosan ellenőrizni kell. A felületek simaságát úgy ellenőrizhetjük, hogy két közelítőleg azonos rádiuszú felületet egymásra helyezünk, ekkor az üvegdarabok és köztük levő levegőn áthaladó és visszaverődő fény interferenciajelenséget mutat, sík felület esetén színes, egyenes csíkok, görbe felületek esetén színes gyűrűk, ún. Newton-féle gyűrűk jelennek meg. Ez a jelenség csak akkor alakul ki, ha a két felület közötti levegőréteg bizonyos kis: 0,0003-0,0005 mm vastagságú. A vizsgálandó darab ellendarabját próbaüvegnek nevezik.

Ezt a fajta felületellenőrzési módszert Joseph von Fraunhofer (1787-1826) vezette be a gyakorlatba, a XVII. században tehát még nem alkalmazhatták. Tekintve viszont, hogy Galileivel ellentétben mi egy adott lencseméretet szerettünk volna elérni, a mi munkánk ellenőrzéséhez megfelelő módszer. [5], [9]

A mérés során használt próbaüveg rádiusza 3512,46 mm volt, ez elég jól közelíti az általunk elérni kívánt 3456 mm-es rádiuszt. A lencse és a próbaüveg felületét a mérés kezdetén mókusszörből készült ecsettel portalanítottuk, a próbaüvegre az esetleges karcolódás elkerülése végett magnószalagból kivágott csíkokat ragasztottunk, hogy az üvegfelületek ne egymáson feküdjenek fel.

A lencsét nátriumgőz lámpa fényénél vizsgáltuk. A lencsék felhelyezése után az interferencia gyűrűk azonnal megjelentek.



**20. ábra Az 1-es (bal) és 2-es (jobb) számú objektívek próbaüvegen**

Az 1-es számú objektív esetében a gyűrűk a lencse középső, a lencse felületének jelentősebb felét kitevő területen a lencse közepől kiinduló nagy szabályosságú gyűrűket figyelhattunk meg, a lencse szélén viszont szabálytalan alakú, torzult minták jelentek meg.

Ebből arra következtethetünk, hogy a lencse felülete a középső zónában egyenletesebb, míg a szélén kevésbé pontos a megmunkálás. A gyűrűk végigfutottak a lencse egész felületén, ez arra utal, hogy a lencse görbületi sugara jól közelíti a próbaüveg görbületi sugarát.

A 2-es számú lencsén ezzel szemben a kialakult gyűrűk középpontja nem esett egybe a lencse középpontjával és a gyűrűk, a lencse egész felületét nem borították be, csak egy részét, illetve azok szabályossága sem volt kielégítő.



Ezek alapján ennek a felületnek valószínűleg a polírozás során eltolódott a középpontja. Felülete kevésbé egyenletes és mivel nem feküdt fel egész méretében a próbaüvegre (nincsenek gyűrűk az egész felületen), így görbületi sugarában is eltér a próbaüvegétől. Mivel a gyűrűk a középső zónában voltak, a lencse ott volt kellően közel a próbaüveghez, míg a szélein vastagabb levegőréteg „fért el” a két felület között, így a lencse görbületi sugara valószínűleg nagyobb a kívánt értéknél, a lencse domborúbb, mint ezt előzetesen terveztük. Ennek oka a túl nagy anyagleválás a polírozás során, azaz a lencse rövidebb megmunkálási időt vagy egyenletesebb polírozást igényelt volna.

### **A mérések értékelése**

Ezek alapján azt mondhatjuk, hogy az okulárlencsék a tervezett geometriát igen jól közelítik (1%-nál kisebb eltérés rádiuszban, tökéletes sík felület, szép interferometrikus mintázat).

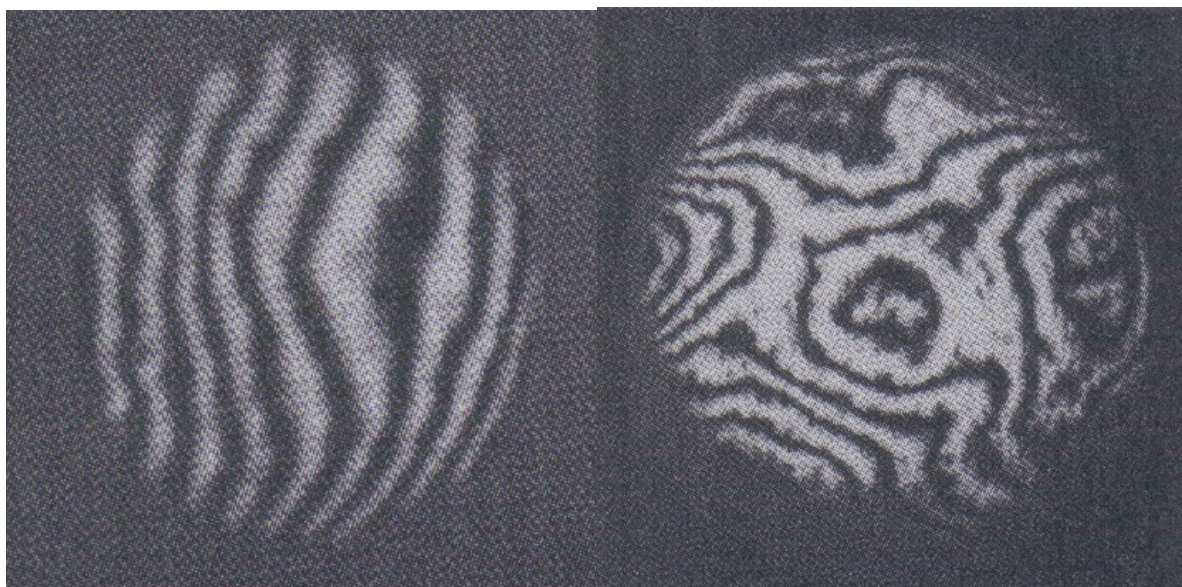
Az objektívek közül az egyes számúnak az  $r_1$  sugarú felülete a sugár számértékét tekintve jól illeszkedik a tervezetthez (0,1%-nál kisebb relatív eltérés), illetve a másik felülete szép mintázatot mutatott a próbaüvegen. A másik objektívra a rádiuszok pontos illeszkedése nem igaz (bár 1% körüli eltérése nem nagy pontatlanság) ennek viszont a másik felületének próbaüveges mintázata utal kevésbé egyenletes felületre.

Ez alapján az okulárok közül az 1-es számút építettem be a távcsőbe, mivel azok a mérések alapján minden tekintetben egyformának látszottak. Az objektívlencsék közül pedig szintén az 1-es számút, azon megfontolásból, hogy annak  $r_2$  sugarú felülete megfelelőbb, mint a 2-es számú objektívé, valamint bár a másik felülete a másik objektívétől nagyobb egyenetlenséget mutat, így mégis jobban hasonlít az eredetihez. Ezenkívül  $r_1$  sugara számbelileg jobban közelíti az eredetiét. Emellett biztató, hogy a lencse szélén levő hibákat a rekeszelés majd kiküszöböli a megfigyelések során.

## 9. Galilei fennmaradt távcsövein elvégzett vizsgálatok

1992-ben a Firenzei Tudománytörténeti Múzeumban őrzött távcsövek és az ezeken kívül fennmaradt lencsét különböző módszerekkel megvizsgálták. Így arról kaphatunk képet, hogy az eredeti Galilei által használt távcsövek, amelyeket valóban használt csillagászati megfigyeléseihez, milyen optikai tulajdonságokkal rendelkeztek.

A mérések természetesen magukba foglalták az összes lencse interferométerrel történő felületvizsgálatát. Ezeket össze tudjuk hasonlítani az általunk vizsgált lencsékével. [4]



21. ábra Galilei objektívjének(balra) és okulárjának(jobbra) nagyobb rádiuszú felületeinek interferometriás képe

A Galilei távcsöveiben használt lencsék, szintén nem mentesek felületi hibáktól, ahogy az feltételezhető is, ismerve a kor gyártástechnológiáját. Ahhoz képest azonban, hogy a XVII. században még nem rendelkeztek interferométerrel, csak lupén keresztül vizsgálhatták a felületet, a lencsék között akadnak igen szabályosak is. Ez Galilei hozzáértését bizonyítja, minden valószínűség szerint a lencsét alapos vizsgálatnak és tesztelésnek vetette alá, mielőtt azokat beépítette volna távcsöveibe.

A lencsék felületén itt is torzulások láthatók, főként az okulár interferenciás képén. A lencsének a középső része sem egyenletes felületű, de a szélek felé több irányban is „pluszgörbületek” jelennek meg.

Ezeket a képeket összevetve az általunk használt lencsékével, kijelenthetjük, hogy a távcsövünkben használt optikai elemek legalábbis azonos minőségűek és jellegükben igen hasonlóak az eredetiekhez.

## 10. A távcső optikai hibáinak vizsgálata

Az elkészített távcső optikai rendszerét a Zemax nevű optikai tervező programmal vizsgáltam meg. Az elemzés során az elkészített távcső adatait használtam fel, nem az elméleti, hanem a valós, mért eredményekkel vittem be a lencsék adatait.

lencse	$r_1$ [mm]	$r_2$ [mm]	t [mm]
objektív	996,205	-3456	2,5
okulár	végtelen	48,2474	3,23

7. Táblázat A hibák analiziséhez használt adatok

A lencsék méreteit a program táblázatába beírva a program azonnal felrajzolja a sugármeneteket. A fősíkok helyzete bár számolható is, az jóval időigényesebb, mint a lencsék közötti távolság iterálása. A lencsék közötti távolságot úgy állítottam be, hogy az okulárból kilépő fénysugarak párhuzamosak legyenek. Ezt  $s = 1233$  mm –es távolságnál tudtam elérni.

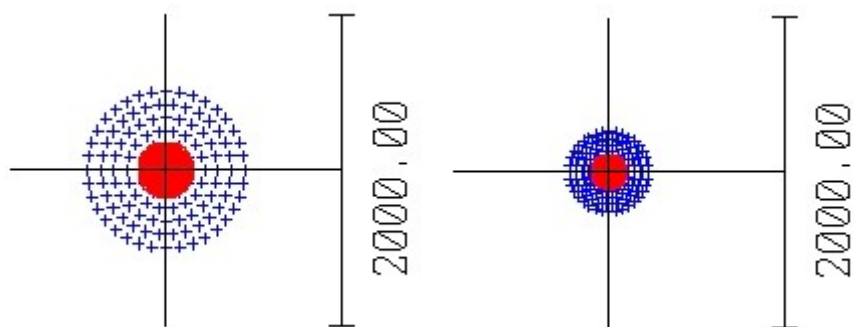
Ezután a kilépő fénysugarakat egy elméleti tökéletes vékony lencsével fókuszáltam, hogy átlátható és értékelhető képet kapjak a lencserendszer leképezéséről.

Az elkészített távcső nem csak a készítésének pontatlansága, hanem a lencsék korrigálatlansága miatt eleve képhibákkal terhelt, a programmal ezeket tudjuk vizsgálni.

Optimalizálni való adatunk nincs célunk a megépített távcső várható képének vizsgálata volt, a képminőség javítására egyetlen eszközünk a rekeszelés.

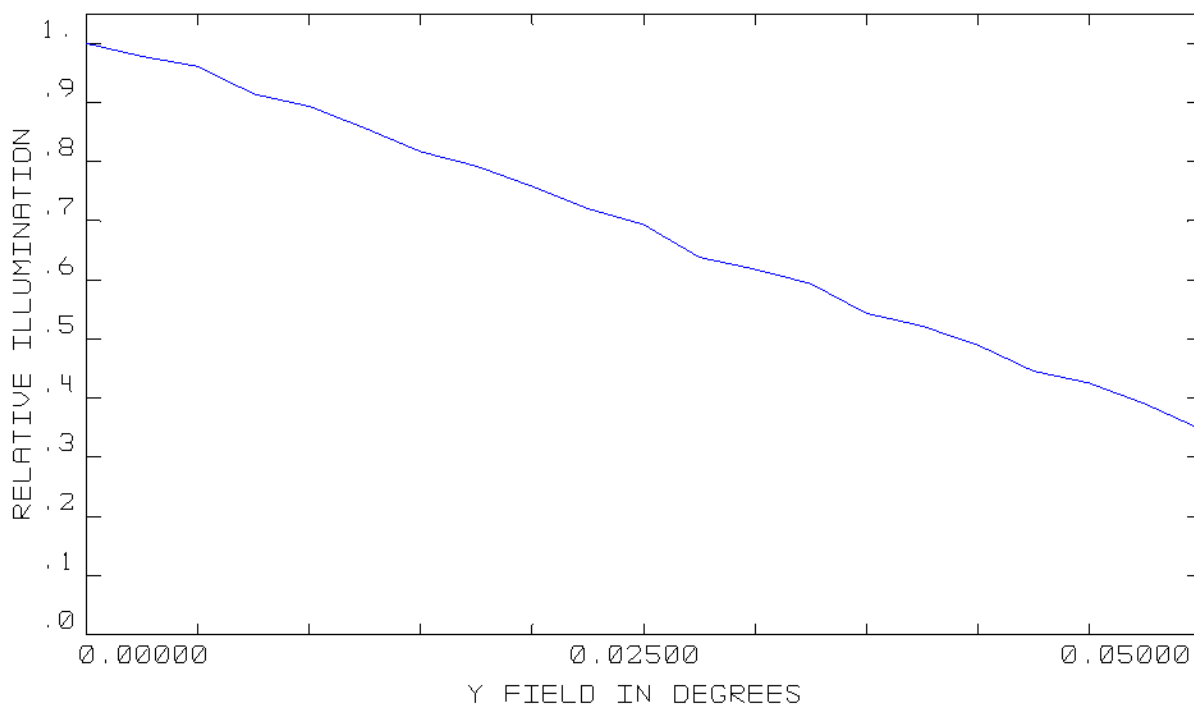
A képhibák mértékét összehasonlítottam rekesz nélküli, illetve a távcsövön és Galilei által is használt 26 mm átmérőjű rekeszrel. A rekeszelés hatása látványosan a képminőség nagymértékű javulását eredményezte. Mellékletben közlöm a Zemax által kiszámolt és megjelenített eredményeket.

A távcső képének hibáit jól szemlélteti a rendszerből kilépő sugarak tökéletes lencsével való fókuszált képének pontszórás diagramja.



**22. ábra A távcsőmodell pontszórásának képe végtelenből jövő fény esetén, rekesz nélkül(bal) ill. rekeszsel(jobb) oldalt a méretegység 2000  $\mu\text{m}$**

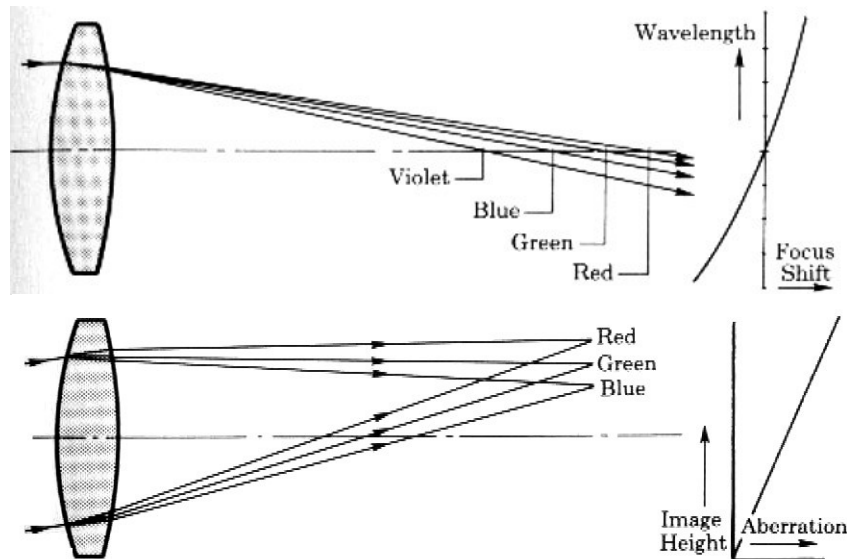
Ez alapján a rendszer pontszórását igen nagyoknak mondhatjuk, főleg „kék” színre (a vizsgálat során 451 nm-es fényt jelentett a kék szín). Természetesen a távcső fókuszát állítva hiba jellege változik, mivel más távolságokon más hullámhosszú fény fókuszsíkjához vagyunk közelebb. A diagramokon megjelenő értékek a ma használatos távcsövekéhez képest kimagaslóan nagyok, a távcső nagy színhibával rendelkezik elméleti szinten is. Összehasonlításképpen ez a pontszórás érték a Zemax program bemutatói közt szereplő Petzvál-objektívénak több mint 30-szorosa rekesz nélküli állapotban, rekeszelve pedig még mindig 15-szöröse. Ha figyelembe vesszük, hogy a távcső látószöge milyen kicsi, akkor ez a hiba igen erősnek mondható. Viszont az is megállapítható, hogy a rekeszelés, amit Galilei alkalmazott, a hibát jelentősen csökkentti.



**23. ábra Relatív megvilágítottság a középvonaltól való szögeltérés függvényében**

Sokatmondó a távcső relatív megvilágításának diagramja is, jól látszik, hogy a távcső fényereje a szélek felé rohamosan gyengül, tovább csökkentve ezzel a hasznos látószöget. Ez ennek a típusú távcsőnek egyik kellemetlen jellegzetessége.

Általánosságban igaz, hogy a távcső optikai hibái jelentősek, de ezek közül is legjelentősebb a színhiba, másik nevén kromatikus aberráció.



24. ábra Longitudinális és transzverzális színhiba

Ez a hiba abból fakad, hogy a lencsék a különböző hullámhosszú fényt különböző mértékben törnek meg, így azokra a lencsének más és más fókusztávolsága adódik, emiatt a különböző hullámhosszú fénysugarak különböző távolságokban találkoznak. Ennek az az eredménye, hogy a kép szélei színesek és elmosódottak. A hibát lehet csökkenteni rekeszeléssel, ahogy Galilei is tette, de a hiba legjobb megoldása az azóta elterjedt akromatikus lencsék használata, amelyeknél az optikai elemek különböző anyagokból vannak, úgy összeválogatva, hogy egymás színhibáját korrigálják.

Összefoglalva azt találtam, hogy a távcső különböző képi hibákkal erősen terhelt, amelyek közül több (szférikus aberráció, kromatikus aberráció, optikai úthossz-különbség, pontszórás javult, stb) a rekeszelés hatására nagy mértékben csökkent, így a távcső képe megfigyelésre alkalmassá vált.

## 11. Elvégzett megfigyelések

### 11.1. A megfigyelések módja, körülményei

Távcsövek vizsgálatának az egyik legérdekesebb része maga a csillagászati megfigyelés. Esetünkben pedig amiatt is izgalmasnak ígérkezett az észlelés, mert az elkészült távcső Galilei egyik eredeti eszközének optikailag hű másolata, tehát azt a csillagos ég felé fordítva azt tudhatjuk meg, milyen képet láthatott 400 évvel ezelőtt Galilei korszakalkotó felfedezései során.

A sikeres megfigyeléshez azonban a távcső meglétén túl több lényeges tényező együttes fennállására van szükség, mint például: megfelelő csillagászati ismeretek, megfelelő környezet, eszköz mozgathatósága, beállítási lehetősége stb. Valamint, ami elengedhetetlenül fontos: tiszta csillagos égbolt, illetve nappal a Nap láthatósága. Sajnos ez a tényező a távcső összeszerelése és a dolgozat leadása közötti időszakban rendkívül ritkán állt elő, mindösszesen két éjjel és egy nappal tudtam megfigyeléseket végezni, akkor is csak kisebb nagyobb megszakításokkal. Az idő nagy részében az ég felhős volt, megakadályozva az észlelést.

A távcső megépítésével 2010. május 4-én végeztünk az OMI Kft. műhelyében, másnap a távcsövet magammal vittem vidékre, mert Budapesten a fényszennyezés olyan mértékű, hogy tiszta égbolt esetén sem lehet csillagászati megfigyeléseket végezni a város belterületén. A megfigyeléseket Jánoshalma külterületén végeztem, a városi fényektől távol. A hely megfelelő volt, az időjárás viszont május 5. és május 14-e között nem engedett megfigyeléseket végezni 9-e, 10-e és 11-e délelőttjének kivételével. Az említett időszakban az egész ország időjárása esős, az ég felhős, a hőmérséklet a sok évi átlagtól alacsonyabb volt. Az észlelésre alkalmas órákat igyekeztem minél jobban kihasználni.

A megfigyeléshez a távcsövet egy állványra rögzítettem, amivel azt minden irányba lehetett mozgatni, majd rögzíteni. A rendszer azonban túl nagy rezgésekkel bírt, nagyon nehezen lehetett pontosan beállítani egy adott szögben, főként tekintve, hogy a távcső 14-szeres nagyításánál és kis képszögénél kis elmozdulás is egészen más megjelenített képet mutatott. A feladat tanulsága, hogy pontos és rezgésmentes rögzítésre van szükség, de pontosabb rögzítési mód nem állt rendelkezésemre.

A távcsövet a kereséshez felszereltem egy keresőtávcsővel is, egy 6x30-as Kepler-típusúval, aminek mindkét lencsetagja akromatikus ragasztott lencsepár volt. Az az érdekes helyzet állt elő, hogy a keresőtávcső sokkal jobb minőségű képet adott, mint a megfigyelésekhez végzett. A két távcsövet úgy hangoltam össze, hogy a vizsgált távcső látómezejének közepébe hoztam a Vénuszt, majd erre állítottam a keresőtávcső szálkeresztjét. Így a két távcső optikai tengelye közelítőleg azonos szögben állt, készen a megfigyelésre.

A távcső képének lefényképezése szintén nehézségekbe ütközött. Első kísérletképpen a távcsövet az OMI Kft. műhelyében felszereltük egy 1,3 megapixel felbontású, színes CMOS digitális kamerával, de még nagy záridő alkalmazásával sem tudtunk képeket készíteni vele, a távcső fényereje ahhoz kevésnek bizonyult.

A távcső okulárjához tartott fényképezőgéppel való felvételkészítés volt a másik lehetőség, ezt sikerült megoldani. Kézzel tartani a fényképezőgépet nem volt megfelelő, mert hogy kellő fény jusson a kamera optikájába, ahhoz nappali fénynél is nagy záridőt kellett alkalmazni, nem is beszélve arról, hogy főként éjszakai felvételek készítését terveztük. A közvetlen felfogatás nem volt megoldható, ezért készítettünk egy alkalmas eszközt, amivel a fényképezőgépet a távcső okulárja mögé lehetett rögzíteni. Ez egy olyan cső volt, aminek egyik vége menetes, a másik vége pedig ráhúzható a távcső végére majd három csavarpárral rögzíthető és pozícionálható.



25. ábra Fényképezőgép rögzítése a távcsőre

A távcsőre egy Fuji Finepix S5600 típusú fényképezőgépet rögzítettem, és ezzel készítettem a képeket. A képek minősége eléggé gyenge, ennek több oka is van:

- a távcsőnek igen kicsi a fényereje
- nagy fényérzékenységűre kellett állítani a fényképezőgépet, ami így zajosabb képeket készít
- nagyobb záridőt kell alkalmazni, így nagyobb a beremegés veszélye/hatása
- fényképezés során a gép rögzítve volt a távcsőhöz, ha nem így lett volna, annak felszerelése után a távcső máshova nézett volna fényképezés közben, ez pedig zavarja a keresést, mert a fényképezőgépen keresztül kellett azt tenni, ami erre nem volt alkalmas
- nagy hossza miatt a távcső kilengései rezgésben tartották a rendszert

A fényképezőgéppel emiatt nem lehetett a csillagos eget lefényképezni, ahhoz ezek a hibák túl nagyok. Hogy a hibákat csökkentsem, a képeket 10 másodperces időzítéssel készítettem, hogy a rendszer rezgéséből adódó hibák kevésbé rontsák a képminőséget. Viszont ez sem volt elegendő, mert a távcső kis légmozgástól, illetve a fényképezőgép kioldógombjának lenyomásától is rezgésbe jött. Nappali fény mellett sem lehetett az összeállítással éles képet készíteni.

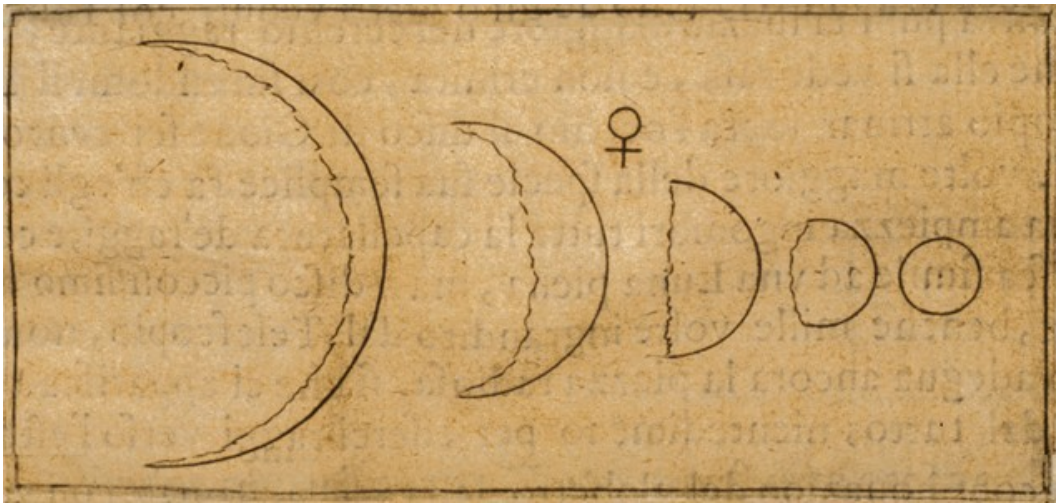


26. ábra Díszes kerítésről nappal készített képek



## 11.2. Vénusz és a Tejút megfigyelése

Galilei 1609-ben folyamán rendszeresen megfigyelte távcsövével a Vénuszt és sikerült észlelnie annak fázisait is. Ez támogatta azt a gondolatot, hogy a bolygók fényüket a Naptól kapják, saját fénykibocsátásuk nincs. Ezt erősíti az a tapasztalat is, hogy távcsövön keresztül nézve a csillagoktól különböznek, mivel kis korongoknak látszanak, nem pedig vibráló pontoknak. Hogy a Vénusznak emellett változik az alakja is, az már a heliocentrikus világmép mellett érvként is felhasználható volt.



27. ábra Galilei rajza a Vénusz fázisairól

Megfigyeléseim idején egyik nap volt szerencsém a távcsővel megfigyelni a Vénuszt. 2010 májusában a Vénusz: „ Feltűnően látszik az esti nyugati égen, magasan a látóhatár felett. Egész hónapban bő két és fél órával nyugszik a Nap után. Fényessége -3,9 magnitúdóól -4,0 magnitúdóra, átmérője 11,4”-ről 12,9”-re nő, fázisa 0,89-ről 0,81-ra csökken”, áll a Magyar Csillagászati Egyesület honlapján. [22] A bolygó megtalálása valóban nem okozott gondot, de sok idő nem volt a megfigyelésére, mivel valóban csak két és fél órán keresztül volt látható. Ez volt az első megfigyelésem a távcsővel, ezalatt sok sikertelen kísérletet tettem a bolygó lefényképezésére. Azonban ez idő alatt sikerült a távcsőhöz beállítani a keresőtávcsövet. Ekkor tapasztaltam meg, hogy a nappal, viszonylag közeli tárgyak észleléséhez alkalmas állvány kis kimozdulása is nagy elmozdulást jelent égi jelenségek megfigyelésekor.

A Vénuszt a távcsövön keresztül sikerült szabad szemmel észlelni, a képe feltűnően fényes lilás-rózsaszín körnek látszott. A későbbiekben a bolygó észlelésére nem volt alkalmam, az időjárás ezt megakadályozta.



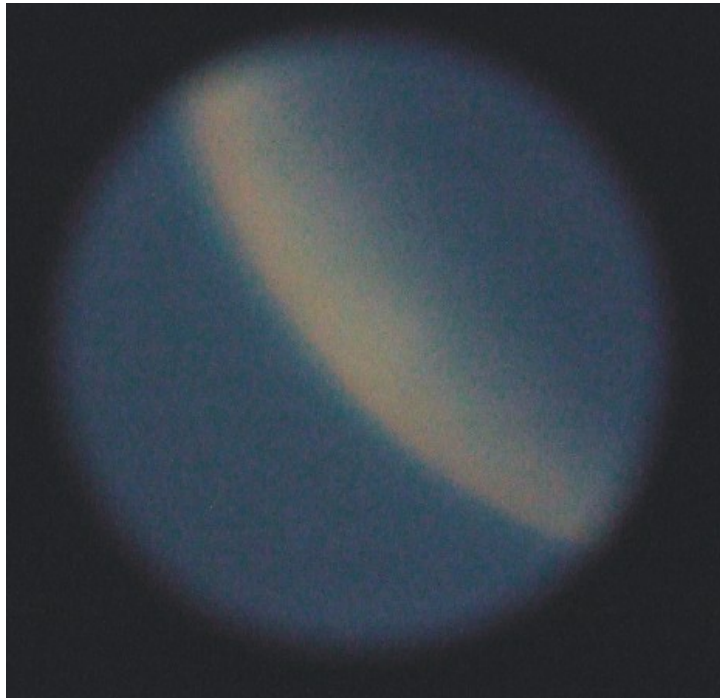
28. ábra A távcső megfigyelések közben

Ezt követően az ég megfigyelésre alkalmas lett, előtűntek a csillagok, tiszta volt az ég. Viszonylag sok csillag látszódott, főként, ha ezt a budapesti égbolthoz viszonyítjuk. Feltételezhetően Galilei korában az ég sokkal élesebben látszott, a megfigyelés szabad szemmel is sokkal könnyebb lehetett. Ennek oka, hogy a levegő is tisztább volt, mentes a járművek és gyárak, stb füstjétől, valamint elhanyagolható volt a városi fényszennyezés, azaz az éjszakai világítás nem zavarta a kor csillagászainak munkáját.

Nekem megfigyeléseim során a Tejút nem vált szét élesen csillagok halmazára, feltételezhetően Galilei korában ez vagy könnyebben megfigyelhető volt, az előbb említett zavaró tényezők hiánya miatt vagy a tudós nagyobb fényerejű távcsővel is rendelkezett, amivel ennek a jelenségnek a megfigyelése lehetséges.

### **11.3. Hold megfigyelése**

A Hold megfigyelése hálás dolog kisteljesítményű távcsővel is, mert mérete és fényessége miatt nagyon könnyű megfigyelni és már kis nagyításnál is nagy élményt nyújt a Hold felületének látványa. A megfigyelés idején a Hold a hajnali órákban kelt fel és fogyó fázisában volt, két nappal újhold előtt. A megfigyeléssel egyidőben volt az égen a Jupiter, azonban az a látóhatár szélén látszódott, így megfigyelésre nem volt lehetőség a távcsővel és tekintve, hogy az éjjel folyamán még nem volt lehetőség fényképezésre, így a hajnali órákat a megfelelő fényképezési technika kifejlesztésével töltöttem. Ennek eredményeképpen sikerült a távcsövön keresztül a Holdról néhány gyenge minőségű fényképet készítenem.



**29. ábra Fénykép a Holdról a távcsövön keresztül**

A távcsövön átnézve a fényképeknél jóval jobb minőségű képet lehetett látni, ennek okait a fejezet elején már ismertettem.

A Hold képe is látványosan javult a rekesz használatával, a Hold fényes részének dombjai, krátereit élesen kirajzolódtak.

## 11.4. A Nap képének kivetítése

A Nap képének kivetítését Galilei a Benedetto Castelli által kiötlött módszerrel végezte. Ennek során a távcsövet egy sötétített szobába helyezte, majd a Nap sugarát egy papírlapra vetítette, ami kb 1 m távolságra helyezkedett el a távcső okulárjától, ezután körzővel rajzolt a lapra egy kört. Ezt azután úgy pozícionálta, hogy a Nap rávetülő képe pontosan illeszkedjen a körre. Ezután már csak be kellett rajzolni a lapra a Nap képén látszó foltokat. A lap köré sötétítést is rakott, hogy nagyobb legyen a kép kontrasztja. A papírt, ill. a távcsövet a Nap mozgásának miatt a munka során újra és újra be kellett állítani. [21]

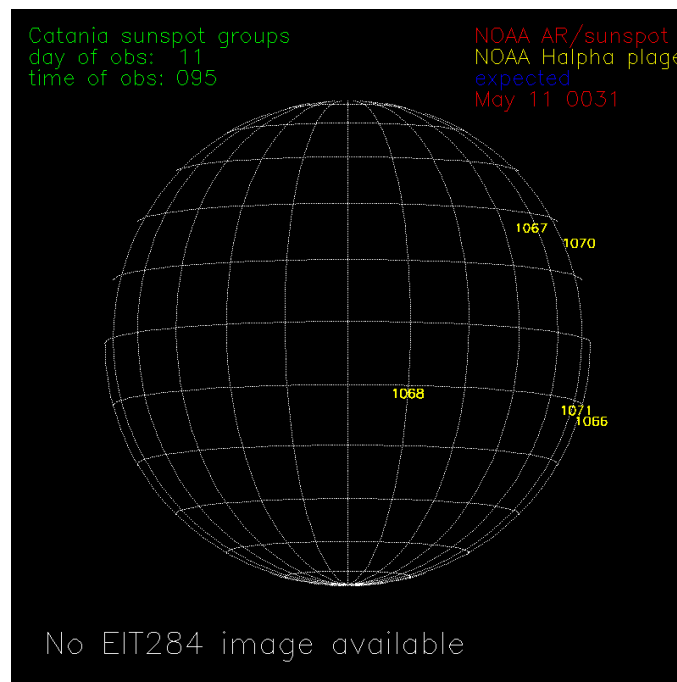


30. ábra A Nap kivetített képe rekesz nélküli (bal) és rekeszelt (jobb) képe

Az éjszakai megfigyelések után napokig a nappali égbolt is felhős volt, de egyik nap (2010. 05. 11-én) 10:30 és 12:30 között időszakosan látszott a Nap, ekkor is előfordultak kisebb felhőcsoportok, és időnként eltakarták a Napot, de a megfigyelést nem akadályozták meg.

A Nap kivetítését a szabadban végeztem, Galileihez hasonló módon. Sötétítést a vetítőfelület köré helyeztem sötét kartonlappal illetve a távcső köré árnyékolásképpen elhelyeztem vastag pokrócokkal oldottam meg. A megfigyelés sikeres volt, a Napról éles képet tudtam vetíteni a papírlapra. Látványos volt a vetített kép javulása, miután a távcső objektívje elé behelyeztem a 26 mm-es átmérőjű rekeszt.

Napfoltot nem észleltem a távcsővel. Ennek egyik oka bizonyosan az volt, hogy ebben az időben nem is volt észlelhető napfolttevékenység, ezt utólagosan ellenőriztem. A megfigyelés napján egyetlen egy napfolt sem volt a Nap Föld felé eső felén, csak 5 db napfáklya, azaz a Nap felületén levő, környezeténél világosabb folt. Ezek azonban nem jelennek meg a kivetített képen. A Nap pereméről alkotott éles kép alapján feltételezem, hogy a távcső alkalmas lenne napfoltok megfigyelésére. Azonban a Nap mostani fázisa eléggé közel van a napfoltok minimumához. [6], [23]



31. ábra Naptevékenységek a megfigyelés napján

## 12. Összefoglalás

Dolgozatomban Galileo Galilei távcsöveit vettem alapos vizsgálat alá. Felkutattam az elérhető forrásokat, hogy megtudjam, 400 évvel ezelőtt milyen anyagokból, milyen gyártástechnológiával készültek az első távcsövek. Egyik Galilei által is használt és általa készített távcsövet megterveztem, megépítettem majd megkísérletem a tudós által elvégzett megfigyeléseket is megismételni.

Azt találtam, hogy az üvegtechnika kezdetlegessége miatt a mai ipari üvegektől fénytörő tulajdonságaiban eltérő üveganyagok voltak, de ezeket ki lehet számolni és lehet közelíteni. A megmaradt lencsék elemzése alapján kimondhatjuk, hogy kézi gyártással is megfelelő minőségű optikai elemeket tudtak készíteni, a korszerű mérés technika támogatása nélkül azonban sok kísérlet és megfigyelés kellett a pontos műszerek elkészítéséhez. Galilei műhelyében képes volt lényegesen jobb minőségű távcsöveket készíteni mint kortársai, ez tette lehetővé, hogy korszakalkotó felfedezéseket tegyen a csillagászatban.

A firenzei Tudománytörténeti Múzeumban kiállított eredeti távcsövek adatait összegyűjtöttem, ezek közül egy volt, amely eredeti optikával rendelkezett, így ez tekinthető a leghitelesebb eszköznek, ami fennmaradt. Ennek készítettem el optikailag hű mását. A távcső objektívlencséit kézi módszerrel az OMI Kft. műhelyében magam políroztam, több ilyen módon elkészült lencséből a legmegfelelőbbet építettem be a távcsőbe, ami így a lehető leghívebben ad olyan képet, mint Galilei által használt elődje.

A távcső optikai hibáit számítógéppel is elmezttem és az előzetes várakozásoknak megfelelően a modern eszközökhöz képest igen nagymértékű leképezési hibákat találtam. Ezek mértékét rekeszeléssel nagyban lehetett javítani, így a távcső csillagászati megfigyelések végzésére is alkalmassá vált.

Az elkészült távcsővel, észlelésre a többnyire alkalmatlan időjárás ellenére sikerült Galilei több megfigyelését újra elvégezni. A távcső alkalmasnak bizonyult a Nap képének vizsgálatára kivetítéssel, illetve jól meg tudtam figyelni a Hold felületét és a Vénuszt.

E tekintetben a munkát folytatását javaslom, a távcsővel még számos észlelést érdemes elvégezni. Megfelelő korszerű kamerás rögzítési technika felhasználásával az eszközzel hűen be lehet mutatni, a XVII. századi csillagászat lehetőségeit. Így élő és pontos képet kaphatunk, hogy 400 évvel ezelőtt Galilei milyennek láthatta az égboltot.

### **13. Abstract**

In my work I analyze the telescopes of Galileo Galilei. I researched the available resources about the materials and technical methods of his era. I selected one of his original instruments and made a copy of it.

It turned out that 400 years ago the glass materials were different, but their properties can be approached by some industrial glasses of the present. A original lenses were analyzed and we can say, that those have proper qualities to use in astronomy. Galilei's workshop was able to achieve better results in optical manufacture than other telescope makers of the century.

I selected the only instrument which has original lenses in it, and remade it fully. The objective lens is hand-made as it was in Galilei's time. The result is a telescope of which lenses are the most corresponding to the original instrument in their material, geometry and even their imperfections.

I analyzed the telescope using ZEMAX. As it could be presumed it had serious optical errors. The effect of chromatic aberration was the most relevant. The quality of the telescope's image could be improved by using an entrance aperture. So the telescope could be used for astronomical observations.

I tested the telescope in observing the sky and it was suitable for it. With it I could observe some phenomena as Galilei did. It turned out that Galilei's telescope was a proper instrument to make some of his great discoveries but others must have been achieved by an optically better one. Even so the precision of the optical elements and the final construction of the instrument shows that Galilei was a genius in not only mechanics and astronomy but optical theory and practice too.

## 14. Köszönetnyilvánítás

Hálásan köszönöm a következőknek, amiért nagy segítségemre voltak a diplomunkám elkészítésében:

**Dr. G. Szabó Istvánnak**, konzulensemnek, a diplomadolgozat írása során nyújtott ösztönző és segítő tanácsaiért, eredeti gondolataiért,

**Bujáki Krisztiánnak**, az OMI Kft. vezető technikusának, amiért a munka során megosztotta velem szakmai tudását és a távcső megépítésében nyújtott segítségéért,

**Dr. Nagy Balázs Vincének**, témavezetőmnek, a dolgozat elkészítése során nyújtott segítségéért, iránymutató gondolataiért és türelméért,

**Rohmann Gusztávnak**, az Europtik Rohmann Mikrooptikai Kft. ügyvezetőjének, és

**Rohmann Viktornak**, az okulárlencsék gyors és önzetlen elkészítéséért,

**Elek Péternek** és **Farkas Jánosnak**, a Schmidt&Bender Hungária Kft. dolgozóinak az objektívlencsék előgyártmányainak elkészítéséért és azok ellenőrzésében nyújtott segítségükért,

Az **Optika Mérnökiroda Kft. dolgozóinak** segítőkészségükért és jó humorukért, amivel kellemes munkahelyi légkört teremtettek, ami nagyban elősegítette a dolgozat elkészültét.



## 15. Felhasznált irodalom

- [1] Simonyi Károly (1986). *A fizika kultúrtörténete*. 3. átd. Kiadás. Budapest: Gondolat kiadó. 185-198.o..
- [2] Yaakov Zik (1999). *Galileo and the telescope*. Nuncius, annali di storia della scienza. XIV. 1. 1999. 31-67. o..
- [3] Sven Dupré (2005). *Ausino's mirrors and Galileo's lenses: the telescope and sixteenth-century practical optical knowledge*. Galilasana II. 145-180.o..
- [4] Vincenzo Greco – Guiseppa Molesini – Franco Quercioli. (1993). *Telescopes of Galileo*. Applied Optics nov 1993. vol 32. no. 31. 6219-6226.
- [5] Günter Gräfe - Hans Kuss – Gerd Reichelt (1984). *Optikai elemek készítése*. Budapest: Műszaki könyvkiadó.
- [6] Kulin György – Róka Gedeon (1980). *A távcső világa*. 2. bővített kiadás. Budapest: Gondolat kiadó.
- [7] Dr. Ábrahám György (1998). *Optika*. Budapest: Panem-McGraw-Hill
- [8] Bárány Nándor (1951). *Optikai Műszerek II. kötet 2. rész*. Budapest: Nehézipari könyv- és folyóiratkiadó vállalat.
- [9] Bárány Nándor (1952). *Optikai Műszerek IV. kötet*. Budapest: Nehézipari könyv- és folyóiratkiadó vállalat.
- [10] *A Naprendszerünk – Szaturnusz* <http://csillagaszat.uw.hu/szaturnusz.html>
- [11] *Általános kémia laborgyakorlatok*.  
<http://www.sci.u-szeged.hu/physchem/altkem/k002/uvegmunk.htm>
- [12] *Építsük meg Galilei távcsövét!*.  
<http://www.csillagaszat2009.hu/hirek-videok/20090306-galilei-tavcsove.html>
- [13] *Astromedia Verlag*. <http://www.astromedia.de/>
- [14] *Galileo Galilei – Wikipédia*. [http://hu.wikipedia.org/wiki/Galileo\\_Galilei](http://hu.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei)
- [15] *SCHOTT AG*. <http://www.schott.com/>
- [16] BME Atomfizika Tanszék (2006). *Optikai elemek alakhűségének mérése interferométerrel*. Hallgatói mérés leírása. Forrás: [www.doksi.hu](http://www.doksi.hu)
- [17] Vekerdi László (2004). *Így él Galilei*. Budapest: Neumann Kht.
- [18] P. G. Watson (2009). *The enigma of Galileo's eyesight: some novel observations on Galileo Galilei's vision and his progression to blindness*. Survey of ophthalmology. 2009 Sep-Oct;54(5). 630-40.

- [19] *medizona.hu*. [http://medizona.hu/hirek/20090123\\_galilei\\_dns\\_vizsgalat.aspx](http://medizona.hu/hirek/20090123_galilei_dns_vizsgalat.aspx)
- [20] *informed.hu*. [http://www.informed.hu/?tPath=/betegsegek/gyacs/eye/&article\\_id=112569](http://www.informed.hu/?tPath=/betegsegek/gyacs/eye/&article_id=112569)
- [21] *Institute and Museum of the History of Science*. <http://brunelleschi.imss.fi.it>
- [22] *Égi kalendárium – 2010. május - Magyar Csillagászati Egyesület*  
[http://www.mcse.hu/eszlelesi\\_ajanlat/20100427-egi-kalendarium.html](http://www.mcse.hu/eszlelesi_ajanlat/20100427-egi-kalendarium.html)
- [23] *SolarMonitor* <http://www.solarmonitor.org>
- [24] *Index - Tudomány - Majdnem máglyán végezte Galilei*  
[http://index.hu/tudomany/tortenelem/2009/08/25/majdnem\\_maglyan\\_vegezte\\_galilei/](http://index.hu/tudomany/tortenelem/2009/08/25/majdnem_maglyan_vegezte_galilei/)
- [25] Pettit, Edison. (1939). *A Telescope of Galileo*.  
Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol. 51, No. 301, 147.o..

## 16. Mellékletek

1. sz. – A megépített távcső törzsrajza
2. sz. – A távcső ZEMAX-szal végzett analízisének ábrái
3. sz. – A Holdról készített kézi rajz
4. sz. – Rajz Galilei távcsövééről [25]