

Szegedi Tudományegyetem
Kísérleti Fizikai Tanszék

**Kisfelbontású Cassegrain spektrográf
optikájának és mechanikájának tervezése a
piskéstetői csillagvizsgáló 1 m-es távcsövéhez**

Nyári dolgozat

Készítette: Major Csaba IV. éves csillagász hallgató
Gyakorlatvezető: Fűrész Gábor csillagász

Szeged, 2003

Tartalomjegyzék

Bevezetés	3
Célkitűzés	4
OPTIKA	5
Értékmérők számítása	5
A spektrográf elsődleges fénymenete	10
Másodlagos fénymenet	13
MECHANIKA	14
Kombinált rész – tükör	14
Az első segédtükör	18
A kollimátor	22
A rácstartó	24
A kameralencse	28
CCD kamera	30
Objektív-CCD kapcsolat	31
Teljes összeállítás	33
Irodalomjegyzék	36

Bevezetés

1666-ban *Isaac Newton* Lincolnshire – i birtokán felfedezi a fény részecsketermészetét. Fellelkesülve itáliai tudósok megfigyelésén *Newton* is kísérleteket végez és arra a megfigyelésre jut, hogy a fehér fényt színes fények együttese alkotja, és minthogy az üveg a különböző színű fénysugarakat különböző mértékben törí meg, szivárványszínű spektrum jön létre. *Newton* részecskeelmélete megmagyarázza azt is, hogy miért képes a fény áthatolni a vákumon. Ezzel szemben csődöt mond a már ismert optikai jelenségek magyarázatánál, mint például az interferencia és a polarizáció. *Thomas Young* később magyarázattal szolgál az interferencia jelenségére a fény hullámtermészetével. Diffrakciós rács segítségével megméri a különböző színekhez tartozó hullámhosszakat. 1802-ben *William Wollaston* fölfedez a Nap színeképében öt abszorpciós vonalat. 1814-ben *Joseph Fraunhofer* újra fölfedez a Nap színeképében több sötét vonalat. Amikor a *Newton* által fölfedezett Nap–színeképet egy nagyítókészülékkel vizsgálja, fölismeri, hogy ezt különböző erősségű sötét vonalak szakítják meg. A Vénusz és más égitestek színeképében is talál ilyen vonalakat. Azt is észreveszi, hogy az olajláng színeképében ugyanott, ahol a Nap színeképében jellegzetes dupla sötét vonal van, egy igen erős világos vonal jelenik meg. *Robert Bunsen* és *Gustav Kirchoff* értelmezik a jelenséget és három törvényt adnak a spektrálanalízisre:

1. Izzó test spektruma folytonos
2. Forró, ritka gáz spektruma fényes vonalakkól áll (emissziós spektrum)
3. Ritka, hideg gázon áthaladó izzó test színeképében sötét vonalak jelennek meg (abszorpciós spektrum)

1860-ban *Robert Bunsen* bebizonyította, hogy a Napon ugyanazok az elemek találhatóak mint a földön és ezzel megalapozta az asztrofizika tudományát.

Célkitűzés

A Világegyetemben az információ túlnyomó része elektromágneses hullámok, kisebb hányada pedig részecskesugárzás formájában terjed. A megfigyelő csillagászat egyik legfőbb feladata a világűrben hozzánk érkező elektromágneses sugárzás megfelelő detektálása és a sugárzásban "kódolt" információ kinyerése, amely különböző feltevésekkel és modellekkel összevetve felvilágosítással szolgál a kibocsátó forrás, valamint a forrás és a megfigyelő közötti térrész természetéről, fizikai paramétereiről. Az elektromágneses sugárzás hullámhosszától függően más és más észlelési és detektálási technika szükséges. A csillagászat egyik legfontosabb információgyűjtési technikája az objektumról hozzánk érkező elektromágneses sugárzás hullámhossz szerinti felbontása és az így nyert színek későbbi feldolgozásra alkalmas rögzítése.

Magyarországon jelenleg csak egy - a mai technológia eszköztárát felvonultató - csillagászati spektrográf működik a Szegedi Csillagvizsgálóban, de az ottani távcső átmérője csak 40 cm és a felbontása viszonylag nagy ($R \approx 5000$), így a műszer használhatósága limitált és inkább oktatási célokra alkalmas. A Magyar Tudományos Akadémia Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutató Intézet Piszkéstetői Observatóriumában készítenek ugyan úgynevezett objektívprizmás felvételeket, de ezen felvételek kiértékelése sokkalta körülményesebb mint egy rés-spektrográffal készített spektrum kiredukálása.

Dolgozatom témája egy viszonylag kis felbontású spektrográf optikájának és mechanikájának megtervezése a MTA KTM CsKI piszkéstetői obszervatóriumának 1 m-es távcsővére. Ez a műszer jó lenne az MTA KTM CSKI munkatársával, Kun Máriával tervezett közös projekthez, ami különleges vonalakat mutató csillagok spektrálklasszifikációjával foglalkozna és a későbbiekben a doktori témám lenne.

OPTIKA

Értékmérők számítása

A piszkéstetői távcső főtükrének átmérője 1m, fókusza 13,6m, így a tükör fényereje f/13,6-os. A tervezett spektrográf spektráلكlasszifikációs célokra készülne, ezért a kitűzött cél egy viszonylag kifelbontású - $R \approx 2300$ - műszer megtervezése.

Először a főtükör fókuszában lévő rés minimális méretét határoztam meg. Ehhez ki kellett számolni a legkisebb felbontható szöget, illetve az ahhoz tartozó méretet a fókusz síkban [1]:

$$\Theta_{\min} = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D} = 0,188'' = \Delta \theta_{\min} = \Theta_{\min} \cdot f = 12,35 \mu m$$

Ez azonban csak pontszerű fényforrásra érvényes. A rés fizikai méretét az ún. seeing disc – hez kell igazítani, ami nagyban függ a légköri adottságoktól. Piszkéstetőn az átlagos seeing disc mérete 2'', így a rés mérete [1]:

$$l = \frac{2''}{0,188''} \cdot 12,35 \mu m = 130 \mu m$$

Rácsos spektrográf tervezésekor érdemes reflexiós rácsokban gondolkodni, mert ezen rácsok hatásfoka sokkal nagyobb, mint a transzmissziós rácsoké. Ennek egyik oka az ún. blaze-elés, ami a reflexiós tényező maximalizálása a kívánt rendben, amit a karcolatok megfelelő profilalkalításával, és bedöntésével érnek el [4]. A Richardson Grating Laboratory katalógusából a következő reflexiós rácsokat választottam:

$$1. \text{ rács } \rho = 1200 \frac{1}{mm}; \quad BW = 400 \text{ nm}; \quad BA = 13,9^\circ;$$

$$2. \text{ rács } \rho = 900 \frac{1}{mm}; \quad BW = 650 \text{ nm}; \quad BA = 14,3^\circ;$$

BW a blaze-elt hullámhosszt, BA pedig a blaze-elés szögét jelenti. Azért ezeket a rácsokat választottam, mert megfelelő hatásfokkal lefedik a Kun Mária által észlelni kívánt tartományt, betartható velük a kívánt feloldás és a reflexiós görbék illeszkednek a CCD spektrális érzékenységéhez. A görbék a 2.1 illetve a 2.2 ábrákon láthatóak.

Ezt követően a kollimátortükör fókuszát kellett meghatározni. Ez függ az elérni kívánt felbontástól. A legkisebb feloldani kívánt hullámhossztartomány [4]:

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda}{R} = \frac{400 \text{ nm}}{2300} = 0,175 \text{ nm}$$

Ezt figyelembe véve a kollimátor fókusza [1]:

$$f_{coll} = \frac{1}{\rho \cdot m} \cdot \cos(BA) \cdot \frac{l}{\Delta\lambda} = 600mm$$

A kollimátor által párhuzamosított, majd a diszperzív elem által bontott nyalábot a kameralencse képezi le a detektorra. Az előbbi képletben, a kollimátor fókuszána számolásánál lényeges, hogy a rés nem végtelenül keskeny, hanem kiterjedt mérete van. Tehát 1:1 – es leképezésnél – vagyis, ha a kameralencse fókusza egyenlő a kollimátor fókuszával - a fókuszsíkban 130 mikron felel meg 0,175 nm – nek. Viszont a Shannon – féle mintavételezési tétel értelmében elég, ha a 0,175 nm 2 pixel széles a fókuszbán. A használni kívánt CCD pixelmérete 20 mikron, tehát a kameralencse fókusza a következőképpen számolható [1]:

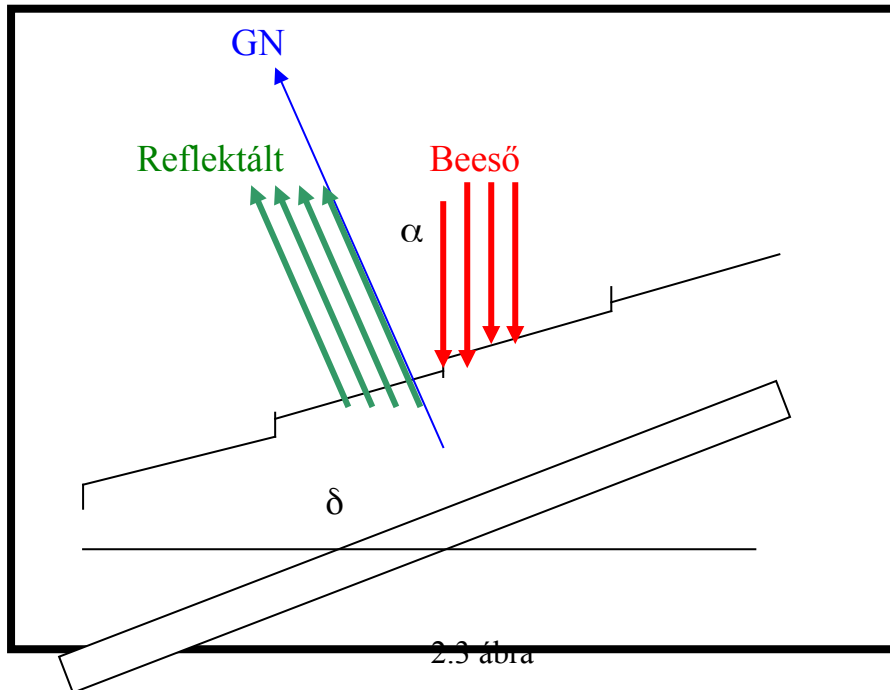
$$f_{cam} = \frac{f_{coll} \cdot 2 \cdot 20\mu m}{130\mu m} = 185mm$$

A kollimátortükör átmérőjét a távcső fényerejéhez kell illeszteni, hogy ne legyen fényvesztés és ne is kelljen túl fényerős kollimátort alkalmazni. Ezt a következő képlet adja meg [1]:

$$D_{coll} = \frac{f_{coll}}{13,6} = 44,2mm$$

A választott rácsok blaze – elt rácsok, azokat megfelelő szögben be kell dönteni, hogy a blaze – elt hullámhossz a kívánt szögben eltérülve haladjon tovább [5].

Az 2.3 ábra az egyik rács elhelyezkedését mutatja a beeső, illetve a távozó sugarakkal.



A centrális hullámhosszon reflektált sugarak rácsnormával bezárt szöge $\beta = 0^\circ$, a rács döntési szöge $\delta = \alpha$, ahol α a kollimált nyaláb beesési szöge.

A rács egyenletet alkalmazva megkapjuk az α szöget, ami egyenlő a rács döntési szögével [5]:

$$\arcsin[\sin(\beta) - m \cdot \rho \cdot \lambda] = \alpha = 28,685^\circ$$

A rács minimális méretét a kollimált nyaláb átmérője és a beesési szög határozza meg [1]:

$$GS = \frac{D_{coll}}{\cos(\alpha)} = 51mm$$

A rácsról visszavert nyaláb a diffrakció miatt táguló az egyik tengelye mentén.

Ezt figyelembe kell venni ahhoz, hogy a kameralencse vignettálódásmentesen képezze le az egyszerre átfogott hullámhossztartományt. Mivel 2 pixelre esik 0.175nm, így a chipen egyszerre elfér:

$$\Delta = \frac{1300}{2} \cdot 0,175nm = 113,7nm$$

400 nm – en a rács diszperziója [1]:

$$\frac{\partial\beta}{\partial\lambda} = \frac{m \cdot \rho}{\cos(BA)} = 1236200 \frac{rad}{m}$$

Ebből közelítőleg kiszámolható a szögeltérés két, egymástól 113,7 nm – rel különböző hullámhossz között:

$$\Delta\beta = \frac{\partial\beta}{\partial\lambda} \cdot \Delta = 0,1405559 rad \approx 8^\circ$$

A kameralencse és a rács legkisebb távolsága 150 mm, ugyanis ha a lencse legalább ekkora távolságra van a ráctól akkor nem lóg bele a kollimált nyalábba és nem okoz fényvesztést, így a lencse átmérője

$$D_{cam,max} = D_{coll} + t \cdot \operatorname{tg}(\Delta\beta) = 65,2 mm$$

A vizsgálni kívánt objektum részre vezetését, illetve résen tartását könnyítendő, szükség van egy másodlagos fénymenetre is, amely az objektum körüli égterületet képezi le egy másik kamerára, egy késleltető lencsén keresztül [3]. A kamera elhelyezése olyan hogy a rés képe körülbelül a chip közepére kerüljön. A vizsgálni kívánt objektum részre vezetése viszonylag könnyű, mert részre kerüléskor az objektum eltűnik a képről. A késleltető lencsével szembeni a követelmények alacsonyak, mert itt nem cél a kép jó minősége. A használni kívánt ST4 – es CCD 192x164x13,75 μm . A leképezés 1:1 arányú, így a chip látómezeje:

$$\Delta\Theta = \frac{13,75 \mu m \cdot 164}{13,6 m} = 0,000294 rad = 0,01685^\circ \approx 1'$$

A kombinált rés – tükör minimális mérete, hogy az előbbi látómezőt vignettálatlanul képezze le:

$$b_{min} = f_{teleszkóp} \cdot \Delta\Theta = 164 \cdot 13,75 \mu m = 2,6 mm$$

Roszbab légköri viszonyok mellett, amikor a seeing disc nagyobb mint 2", szükség lehet a résszélesség megnövelésére, annak érdekében, hogy bár kicsit rosszabb felbontással, de fényvesztés nélkül lehessen használni a műszert. Ennek érdekében a kombinált rés – tükör két, fix távolságú résszel rendelkezne.

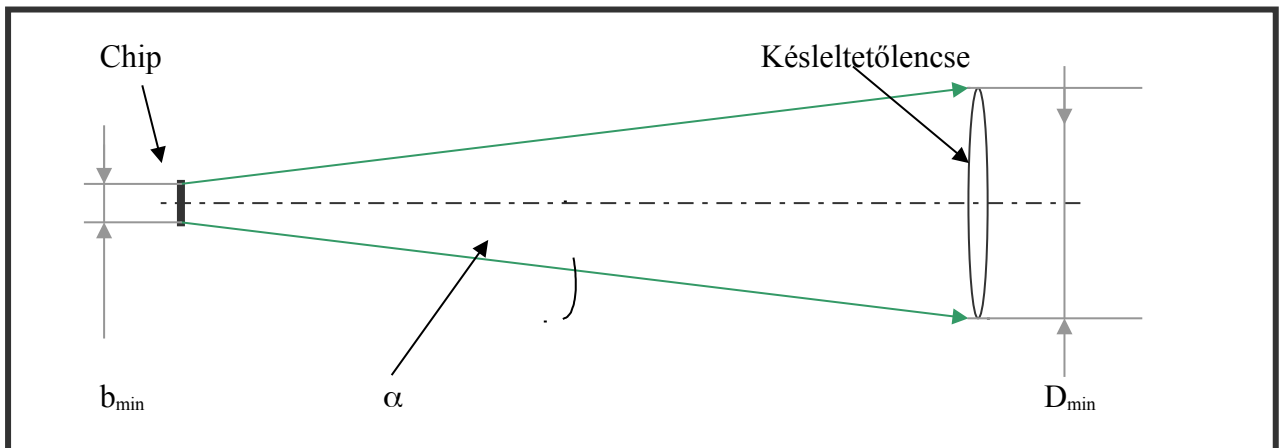
Az egyik a 2'' – hez tartozó 130 mikrométeres, a másik egy 200 mikronos rés, ami 3'' – es seeing disc-nek felelne meg. Ez utóbbit használva a felbontás R=1500 körüli lenne, viszont a begyűjtött fényből csak elenyésző hányad veszne el és rossz légköri viszonyok mellett is lehetőség lenne halványabb objektumok megfigyelésére. A késleltetőlencse minimális átmérője függ a chip méretétől és a főtükör fényerejétől. A másodlagos fénymenet félkúpszöge:

$$\alpha = \frac{\arctg\left(\frac{1}{13.6}\right)}{2} = 2,1^\circ$$

A chip mérete egyezik a b_{\min} – nel, ami a fent kiszámolt 2,6 mm. Tehát a lencse minimális átmérője, ami a vignettálatlan leképezéshez szükséges:

$$D_{\min} = 164 \cdot 13,75 \cdot 10^{-3} + 2,6 = 18.14mm$$

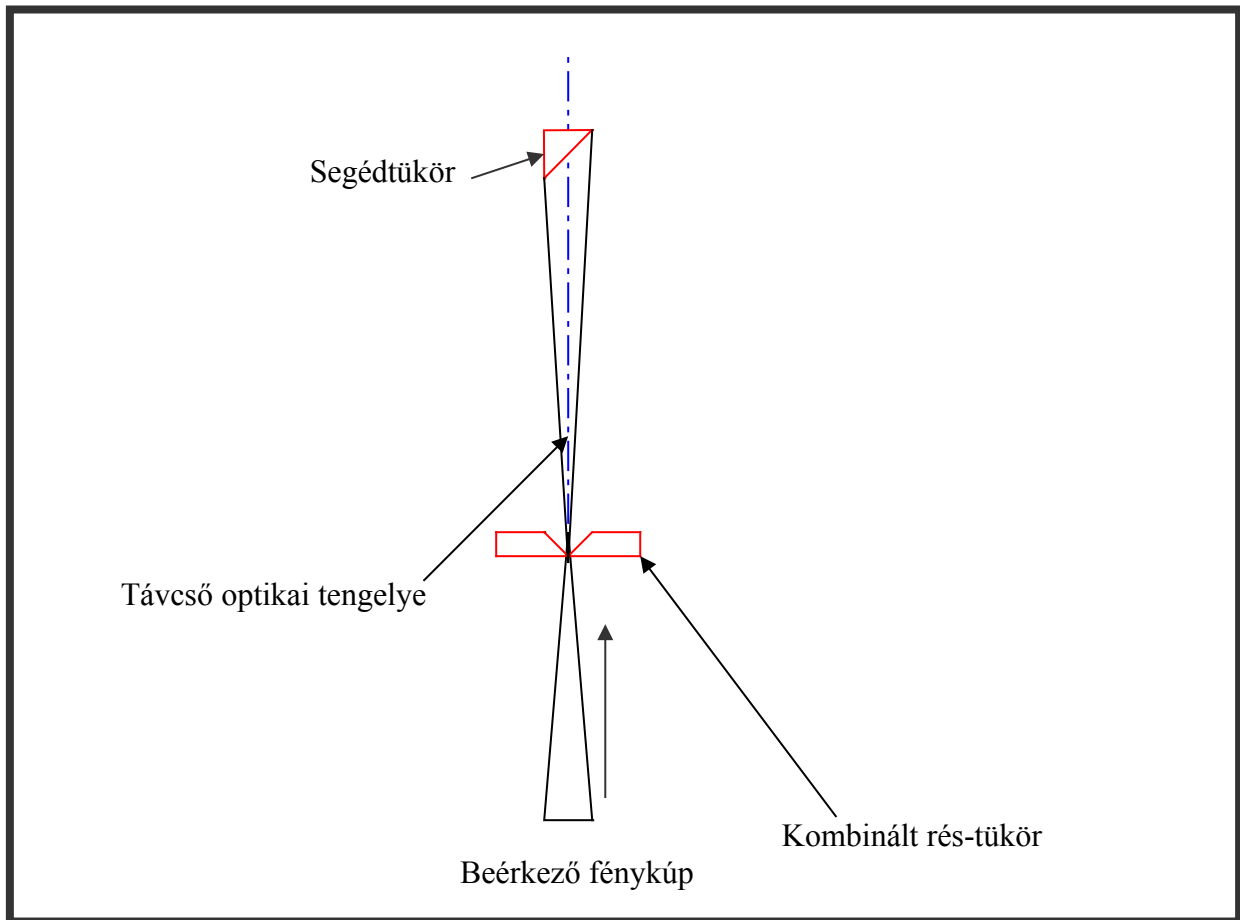
A 2.4 ábra a b_{\min} és a D_{\min} számításához szolgál segítségül.



2.4 ábra

A spektrográf elsődleges fénymenete

Az elsődleges fénymenet kialakításánál fontos szempont volt a maximális fényhasznosítás. Ennek egyik oka a távcső viszonylag kis mérete, másik oka, hogy kb. 14-15 magnitúdós objektumok vizsgálatára készül a műszer. A résnek a távcső optikai tengelyére kell kerülnie. A rés mögött, a kollimátor tengelyén egy 45 fokban bedöntött segédtükrös van elhelyezve, aminek a feladata, hogy a kollimátortükörről vetítse a fényt.

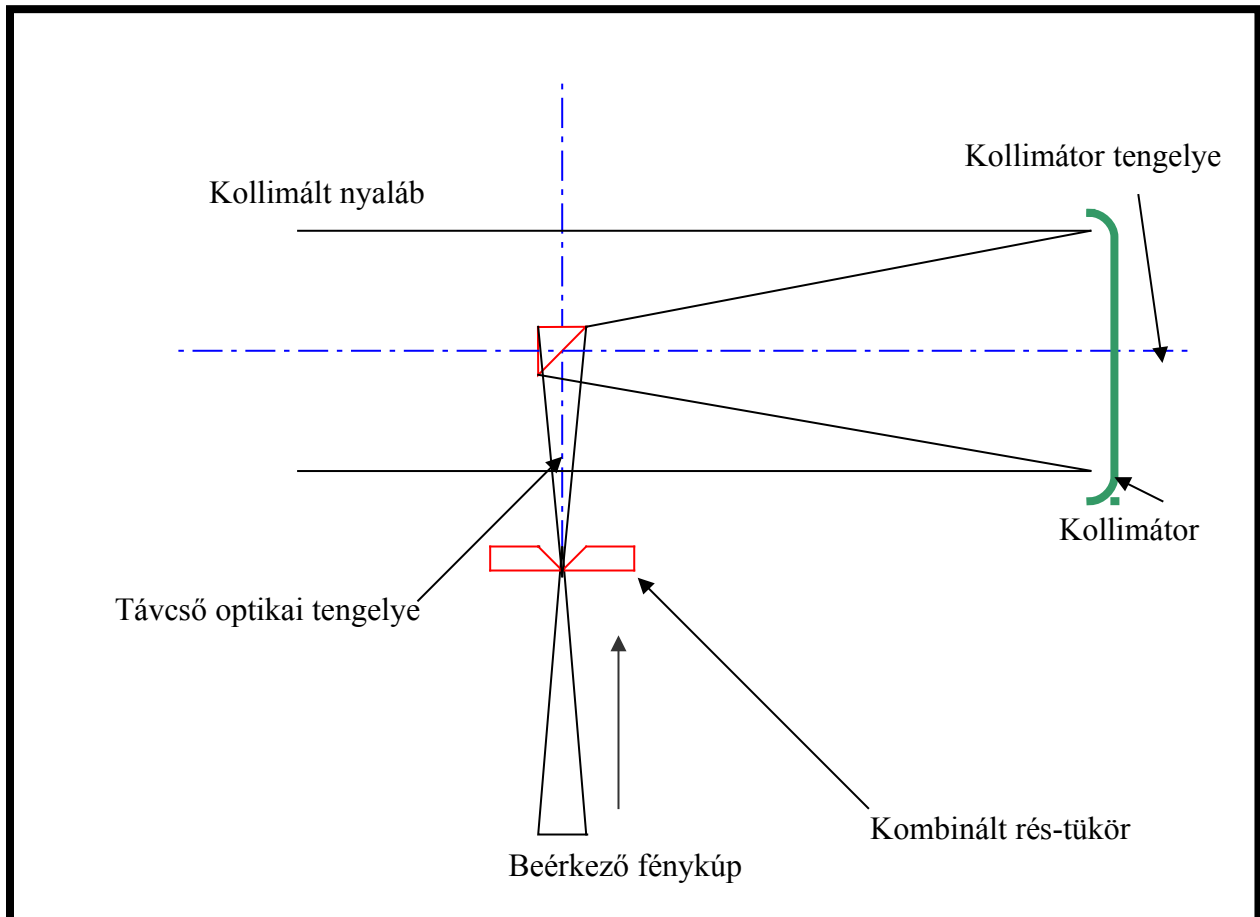


3.1 ábra

A kollimátor a saját optikai tengelyével párhuzamos, kollimált nyalábot állít elő, mert a rés ennek is a fókuszában van. Az elrendezés teljesen hasonló, mint egy Newton távcsőé, csak itt a fénymenet fordított irányú. Mivel az előbbi segédtükrös is a kollimátor tengelyén van így az kitakar a kollimált nyalábból, így ha a segédtükrös a lehető legközelebb kerül a réshez akkor minimalizálni lehet a kitakarás mértékét.

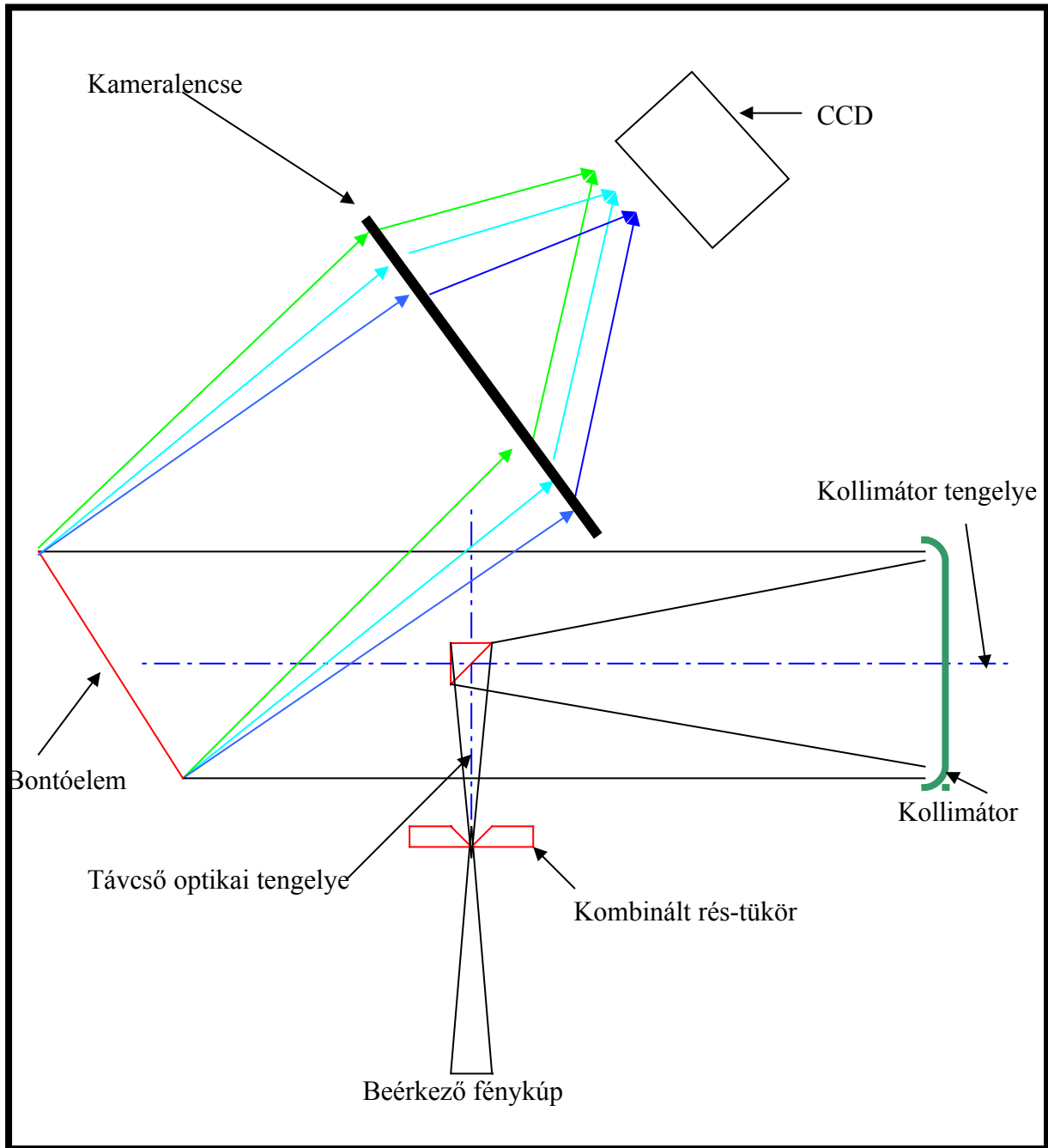
A kollimált nyaláb félátmérője 25 milliméter, ezért a rést a tükörtől legalább 30 mm-re kell elhelyezni, a tükör 45° - os vetülete pedig 3 milliméternek adódik.

Ezzel a tükör a fény 0,36 % - át takarja ki. Ehhez hozzáadva a tervezett segédtükörtartó kitakarását 2,36 % a fényvesztés. Ez megengedhető, mert ezzel a megoldással elkerülhetőek azok az aberrációk amiket az okoz, hogy a fénymenet nem szimmetrikus a kollimátor optikai tengelyére. Ezt a ZEMAX nevű optikai tervezőprogrammal le is modelleztem.



3.2 ábra

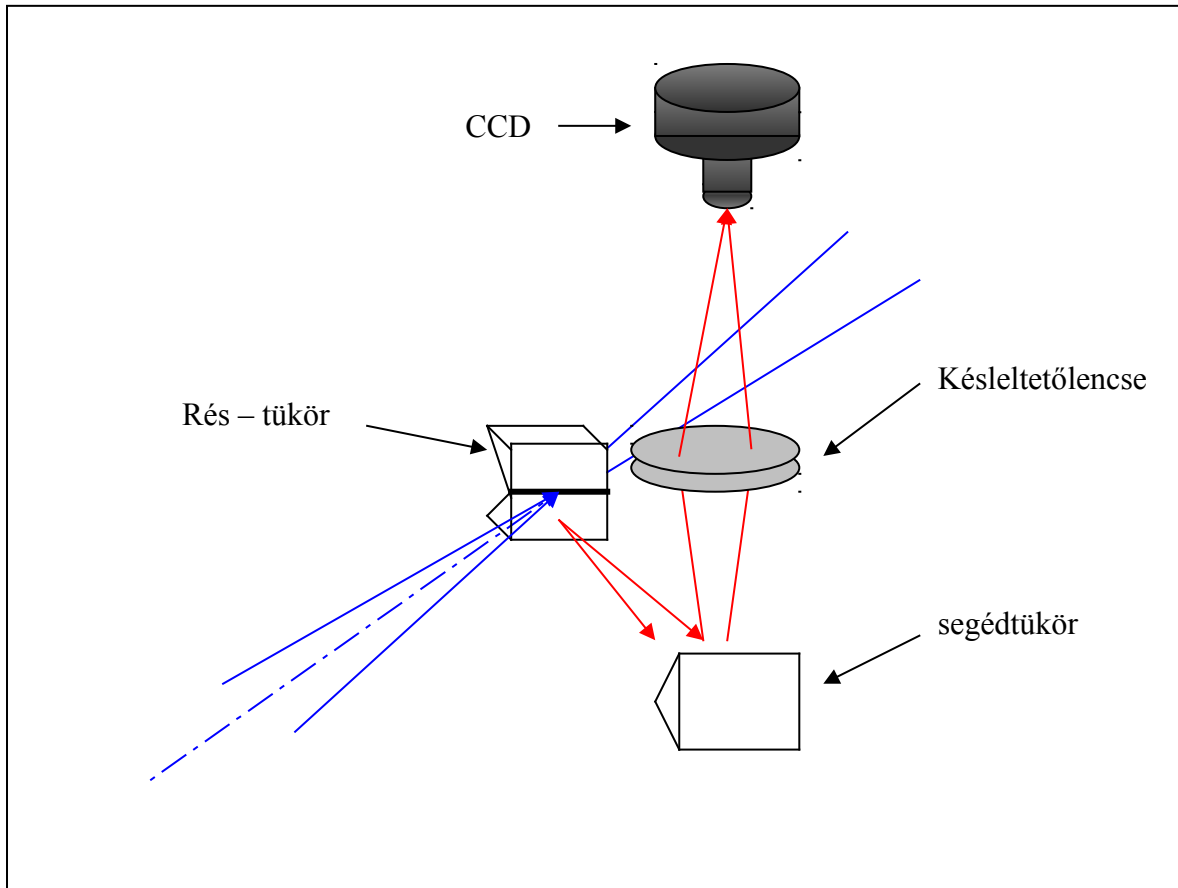
A kollimált nyaláb ezután a bontóelemre esik, aminek normája a kollimátor tengelyével $28,7^\circ$ - ot zár be amikor a blaze – elt hullámhossza a chip közepére képeződik le.
 A rács forgatható, így növelhető az egy ráccsal átfogható hullámhossztartomány.
 A rácsot a kameralencse követi. Ezután a CCD kamera jön, ami úgy van elhelyezve, hogy a spektrum a chip közepére essen.



3.3 ábra

Másodlagos fénymenet

A másodlagos fénymenet feladata, hogy a megfigyelt objektum körüli égterületet leképezze egy másik CCD kamerára [3]. Ezzel jelentősen megkönnyíti az objektum pozicionálását, ugyanis amikor a csillag képe a résre kerül, akkor eltűnik a második kameráról, vagy jelentősen lecsökken az intenzitása. A feladat érdekében a kombinált rés – tükör kis szögben be van döntve, így a környező égterület egy sík segédtükör segítségével a késleltetőlencsére jut, majd onnan a CCD – re . A rés és a CCD is a késleltetőlencse görbületi középpontjában van, tehát a leképezési arány 1:1.

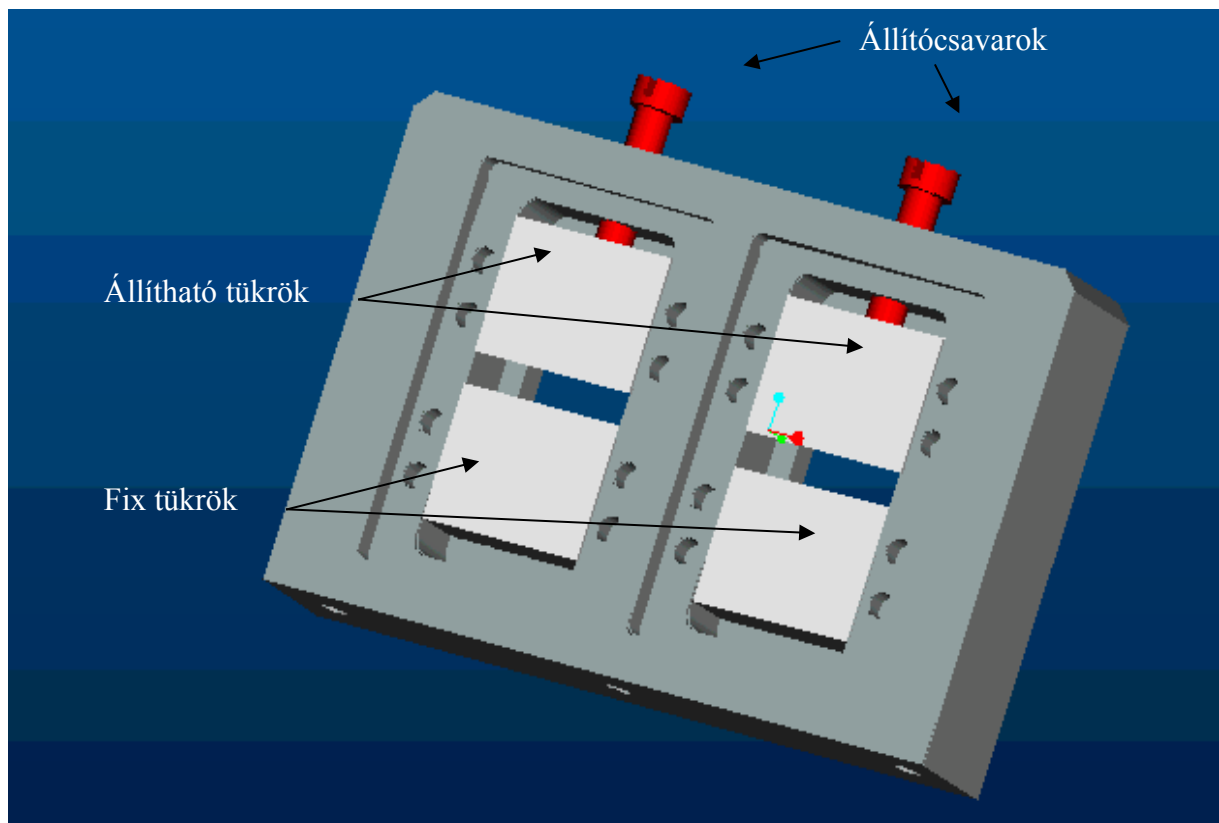


4.1 ábra

MECHANIKA

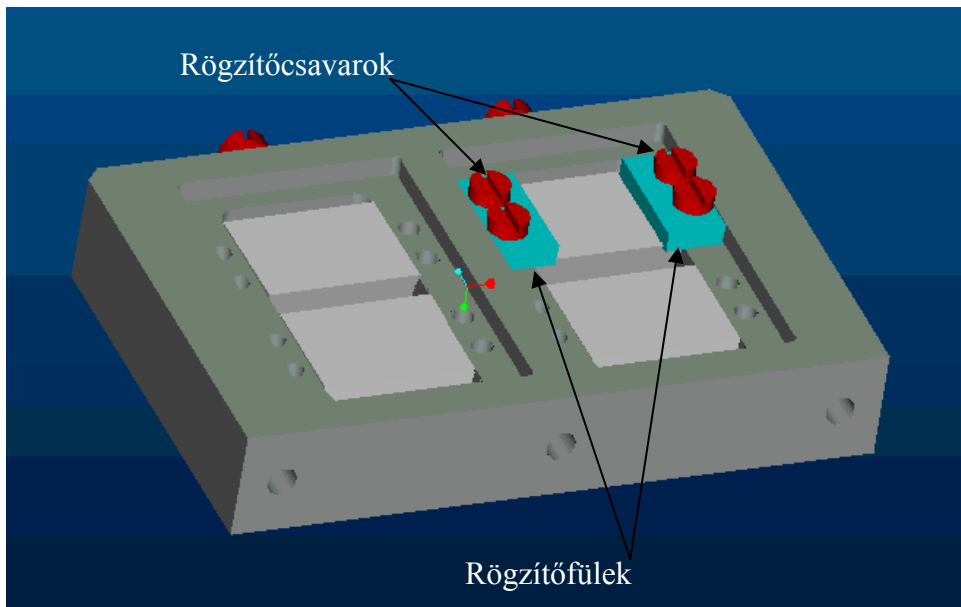
Kombinált rész – tükör

A kombinált rész – tükör négy síktükörből és a köztük lévő két fix szélességű résből áll. A réstartó megtervezésénél két nagyobb probléma merül fel. Az egyik, a rész szélességének pontos beállítása és értéken tartása, a másik a két tükör reflexiós felületének egy síkba hozása. A rész szélességének beállítására egy finommenetű állítócsavar szolgál. Egy hitelesített mikroszkóp alatt a résszélesség beállítható a pontos értékre és két – két rögzítőcsavarral, két rögzítőfüllel fixálni lehet. Az 5.1 ábrán láthatóak a tükrök és az állítócsavarok, valamint a rögzítőfülek számára kialakított menetes furatok.



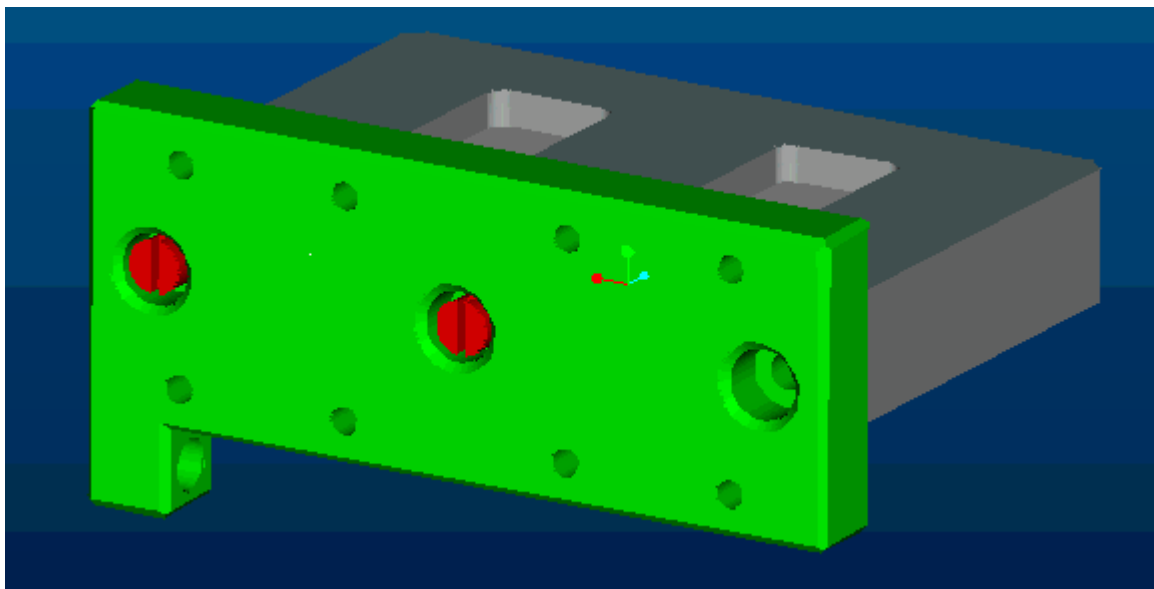
5.1 ábra

A két alsó tükör rögzített, a két felső állítható és mind a négy egy pontosan kialakított fészekben helyezkedik el, így nem lehetséges a tükrök még csekély mértékű elfordulása sem. A reflexiós rétegek egysíkúságát a hordozók azonos és egyenletes vastagsága és a fészkek aljának egysíkúsága biztosítja. A tükrök lerögzítését az 5.2 ábra mutatja. A tükrök két rögzítőfüllel vannak nekifeszítve a fészkek aljának. A megfelelő szorítást az biztosítja, hogy a fészkek mélysége 0.05 milliméterrel kisebb, mint az üveghordozó vastagsága.



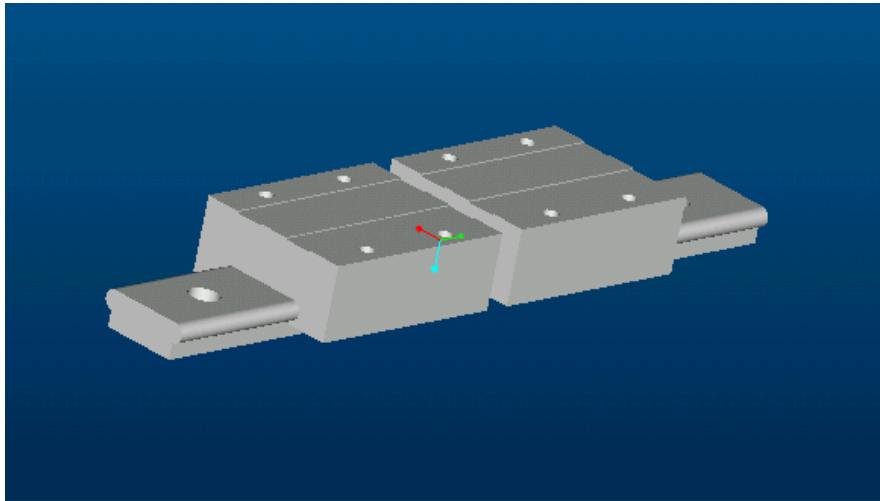
5.2 ábra

A leszorítófülek anyaga nem készülhet rideg, kemény anyagból, mert leszorításnál eltörhetik tükröket. Erre a célra műanyag vagy keménygumi felel meg. Az 5.3 ábra egy felszerelt illesztőalkatrészt mutat. Ennek egyik oldala a réstartó kerethez, másik oldala majd egy lineáris csapágyhoz kapcsolódik, amin mozgatva a keretet a rések cserélődnek.



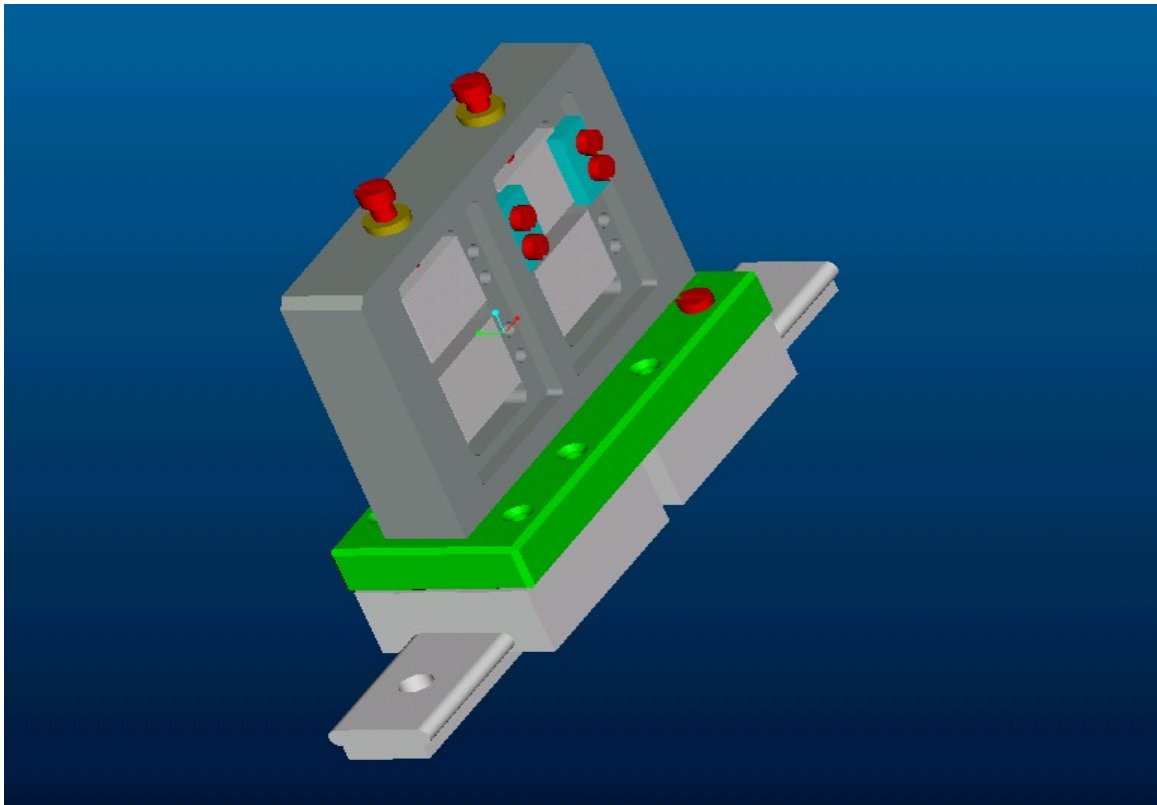
5.3 ábra

A rések cseréjéhez 35 mm – el kell elmozdítani a tükörtartó szerkezetet. Erre a célra a Pacific Bearing cég Mini – Rail szériájából az MR15-150 jelű csapágyat választottam ki. A csapágyon kettő kocsi lenne, a réstartó biztosabb rögzítése érdekében. Az 5.4 ábra a csapágyat mutatja.

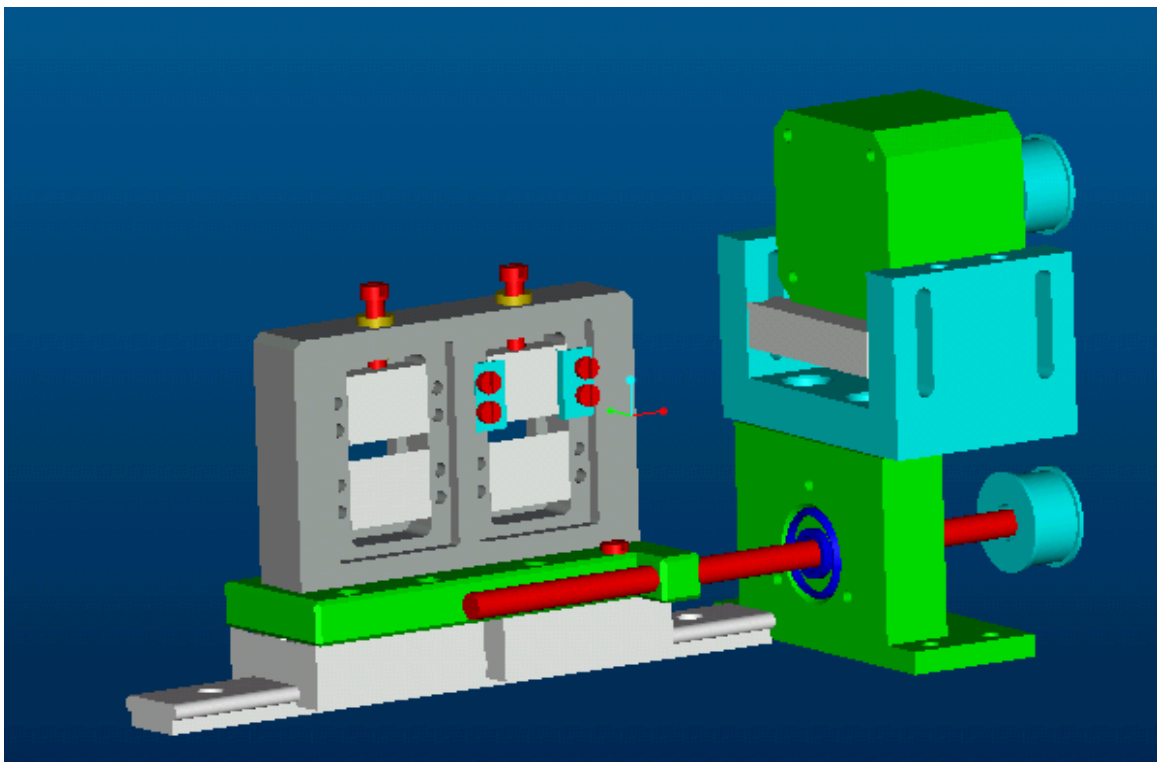


5.4 ábra

A kocsik a 150 mm – es sínen 61 mm – t mozdulhatnak el lefutás nélkül, ez bőven elegendő a rések cseréjéhez. A tényleges mozgatót M6 – os menetes orsó végezné a réstartó és a csapágy illesztőalkatrészében kiképzett menetes furathoz csatlakozva. Az orsót egy 200 lépéses léptetőmotor forgatná. 1000 Hz – es frekvenciával léptetve a réscsere, figyelembe véve az 0.8 mm – es menetemelkedést, 8 másodperc alatt történne meg, ami elenyésző az expozíciós időkhöz képest. Az 5.5 ábrán a csapágyal összeszerelt réstartó látható, az 5.6 ábra a teljes összeszerelt részmozgató egységet mutatja.



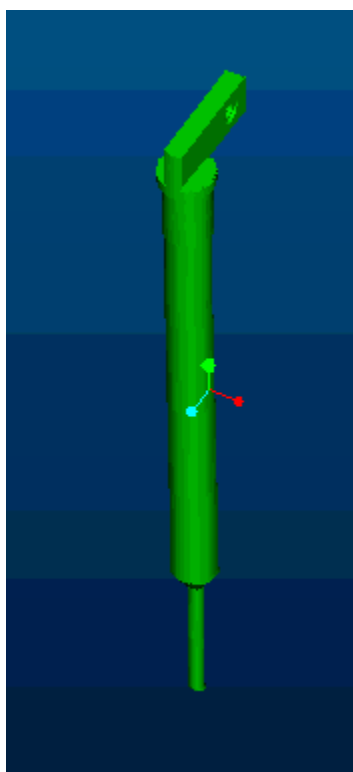
5.5 ábra



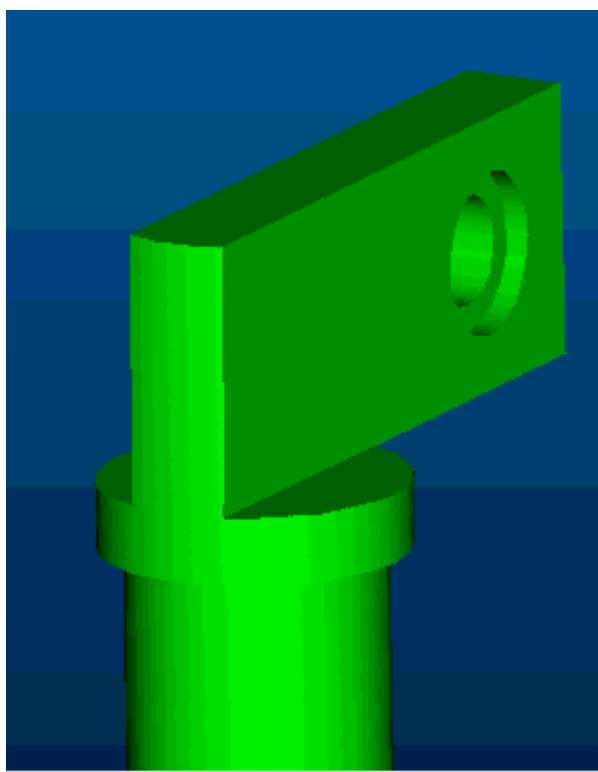
5.6 ábra

Az első segédtükr

A segédtükr feladata, hogy a rést elhagyó, táguló fénynyalábot pontosan 90° - ban eltérítve, a kollimátortükörré vetítse. A segédtükr 45° - os vetületének mérete az előzőekben kiszámolt 3×3 milliméter. Ezt a tükröt olyan tartóval kell ellátni, amely három szabadsági fokot biztosít, amiből kettő tengely körüli forgás, egy pedig lineáris mozgás. A tengely körüli forgások a nyaláb pontos pozicionálását teszik lehetővé a kollimátortükörré, elkerülve ezzel a fényvesztést, ami akkor lépne fel, ha nem az összes fény esne a kollimátorra. A két forgástengely egymásra merőleges, így az általuk létrehozott mozgások is merőleges irányúak és viszonylag gyorsan lehet a beállítást elvégezni. A segédtükr tartójának megtervezésekor szempont volt az is, hogy a műszer szétszedése nélkül lehessen beállítani a tükröt. Ezért maga a segédtükr egy rúdon nyúlik be a fénypálya, amit a 6.1a és 6.1b ábra mutat.

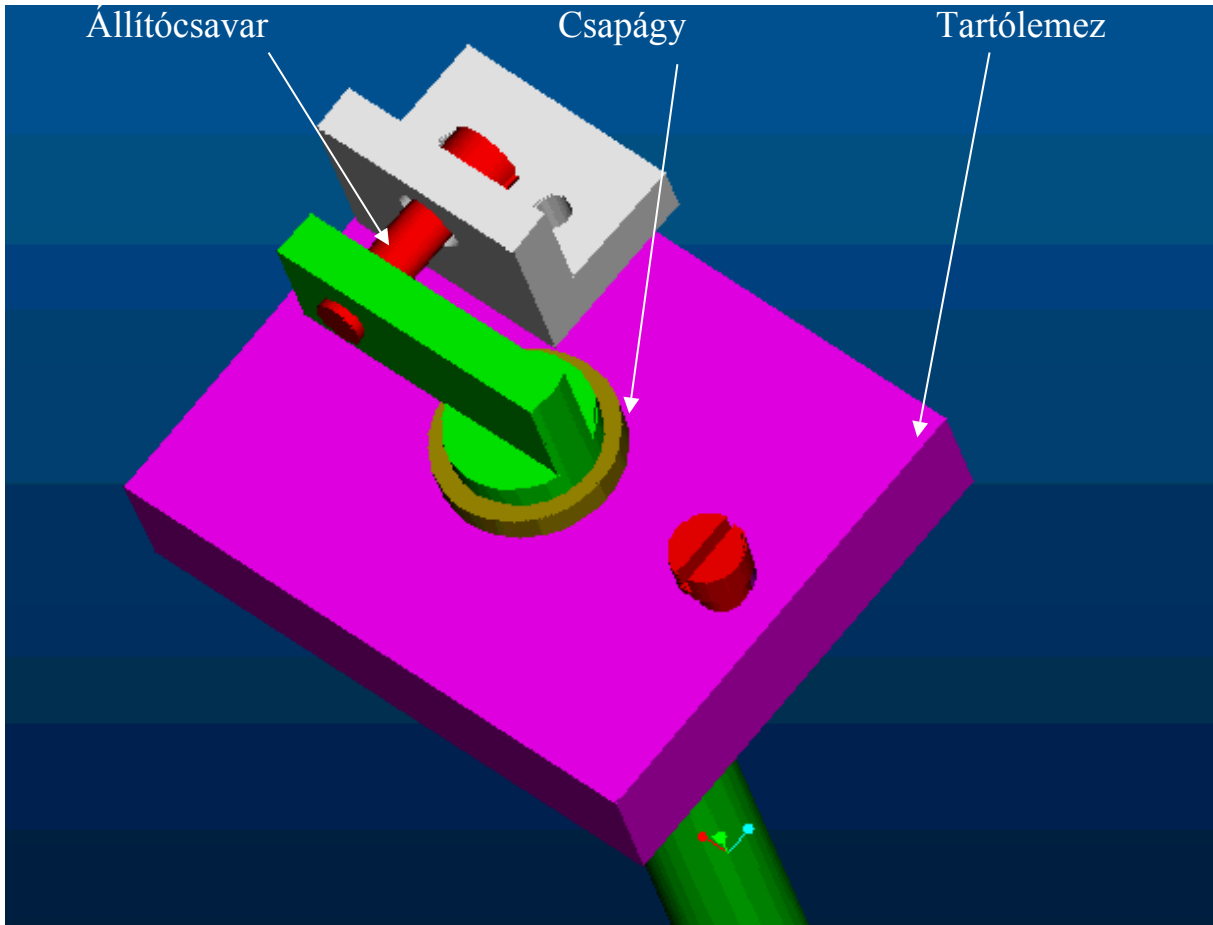


6.1a ábra



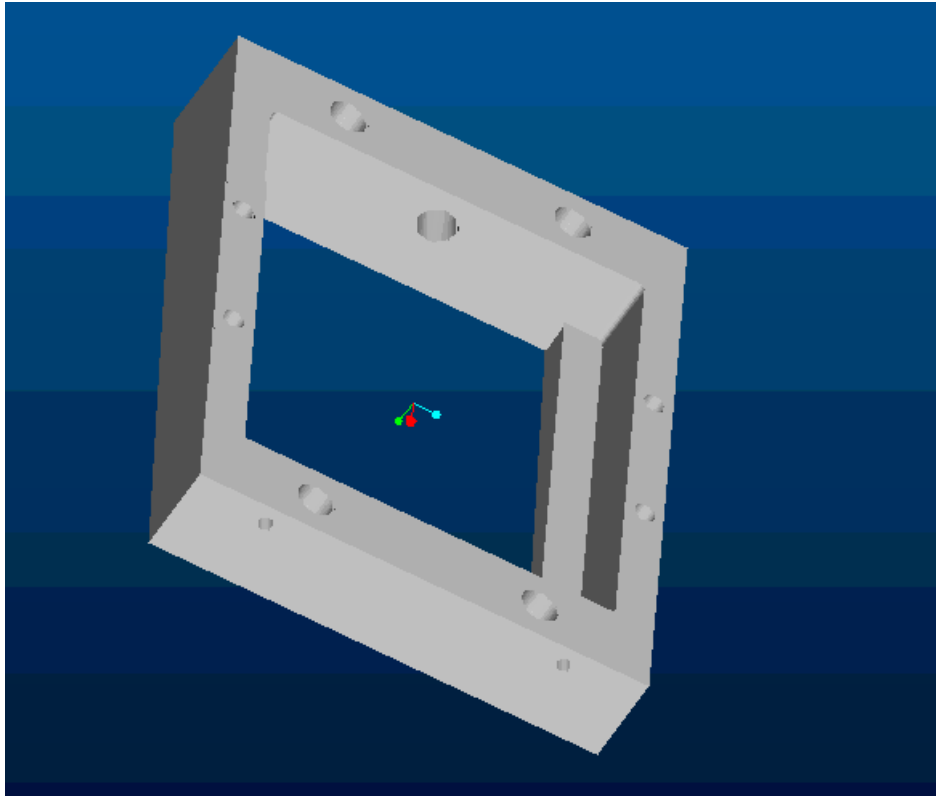
6.1b ábra

A 6.1 b ábrán látható menetes furat segítségével történik a rúd elforgatása. Ez a megoldás ugyan csak $3 - 4$ foknyi elfordulást enged mielőtt megfeszül a csavar, de kellő pontossággal elkészített alkatrészek mellett ez elegendő. Ez a rúd egy fémlaphoz kapcsolódik siklócsapágyon keresztül, ezt mutatja a 6.2 ábra.

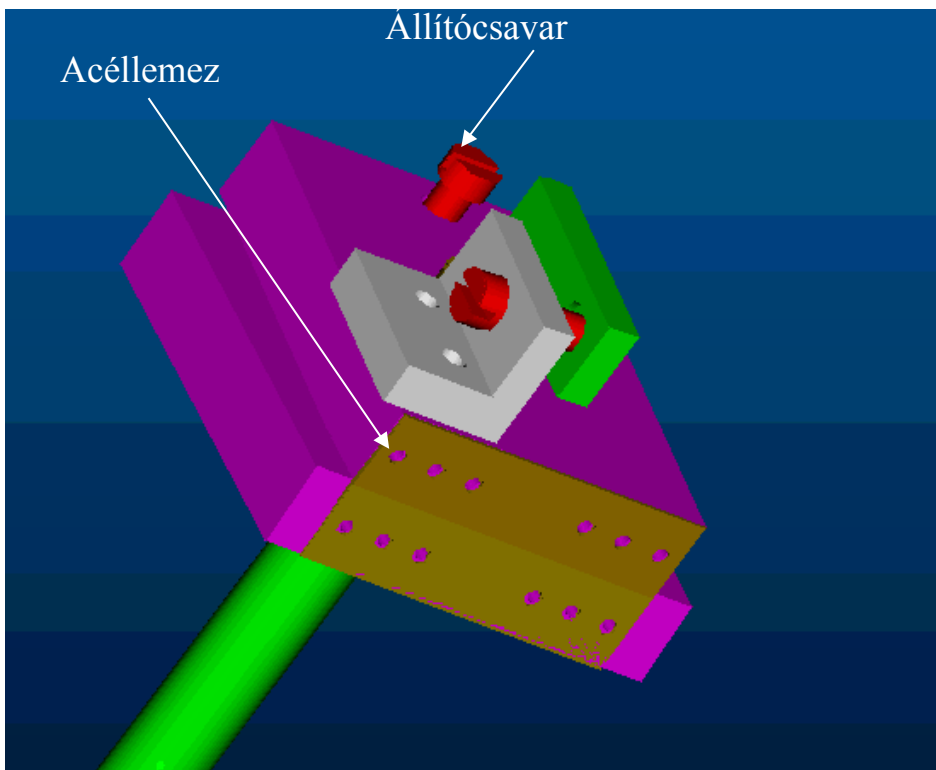


6.2 ábra

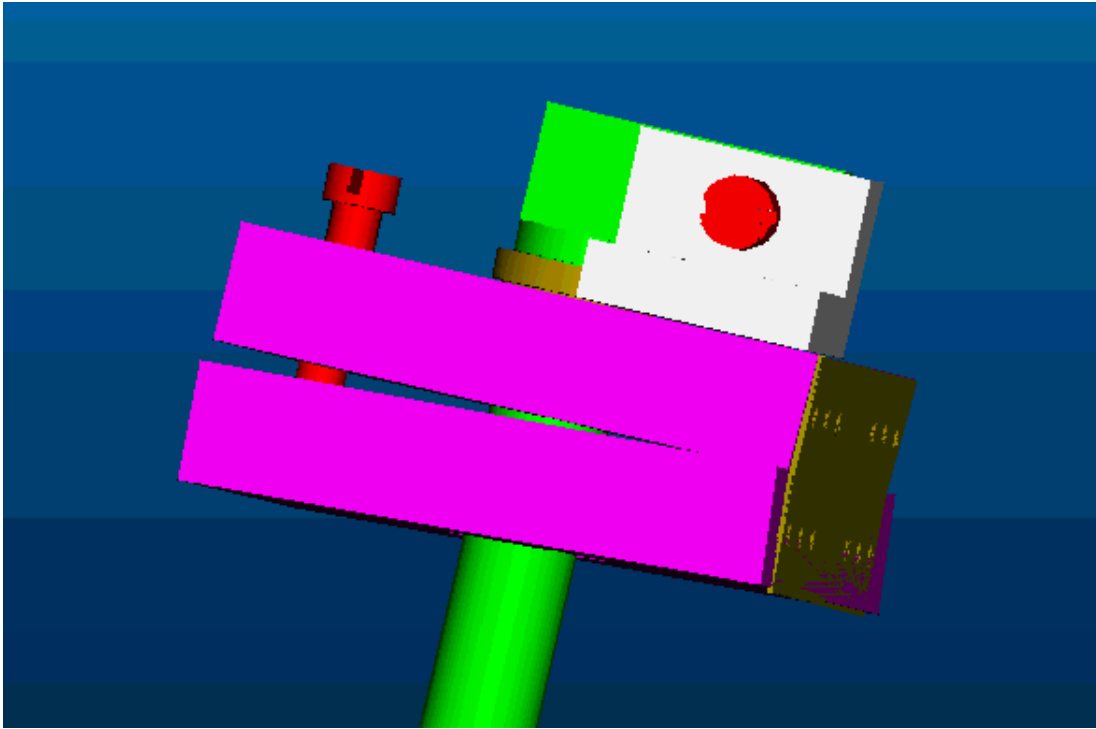
A tartó egy rugalmas acéllemezzel egy másik lemezhez kapcsolódik, ez biztosítja merőleges tengely körüli forgatást. A két tartólemez egymással bezárt szögét egy másik állítócsavarral szabályozhatjuk. A 6.4 a és b ábrán láthatóak a rugalmas acéllemezzel összekapcsolt tartólemezek. Az egész, hasonlóan a rés illetve a rácstartóhoz, egy keretben helyezkedik el, amiben szintén állítócsavar segítségével a nyaláb és a kollimátor optikai tengelye egy egyenesre hozható. A keret a vázszerkezethez rögzíthető. A keretet a 6.3 ábra, míg a teljes összeállítást a 6.5 ábra mutatja.



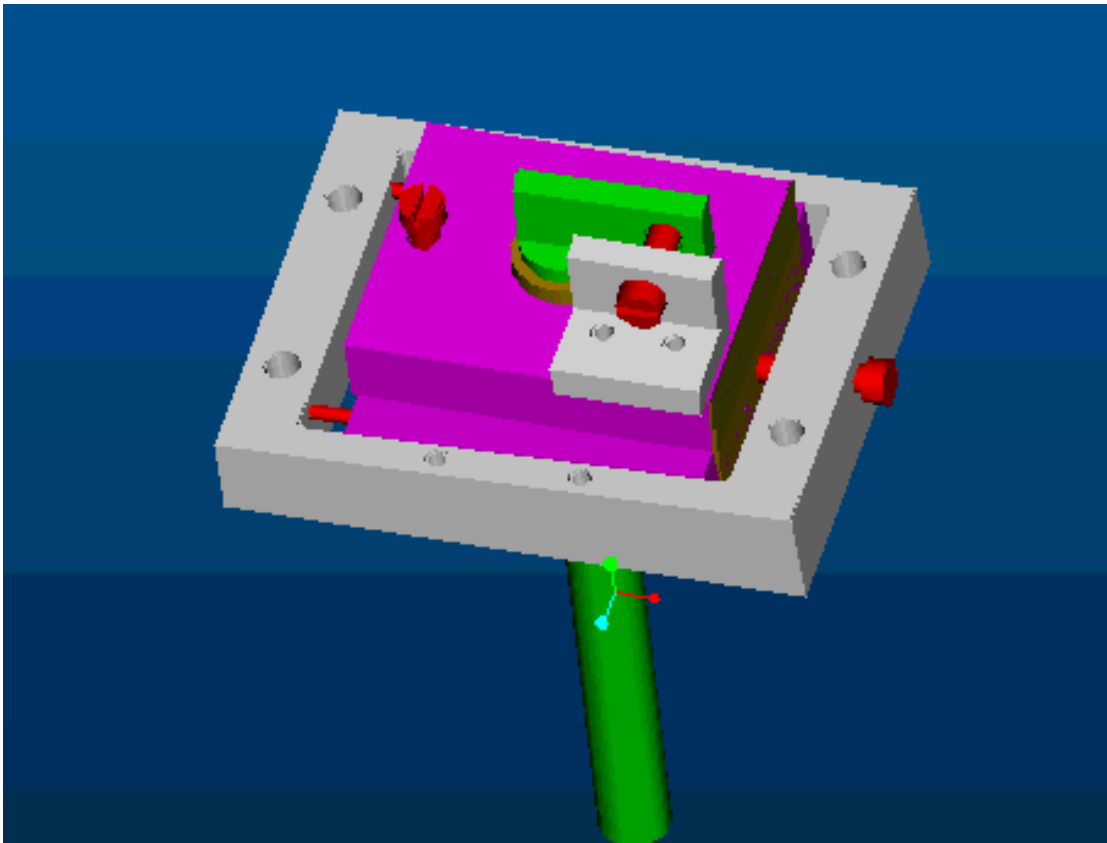
6.3 ábra



6.4 a ábra



6.4 b ábra

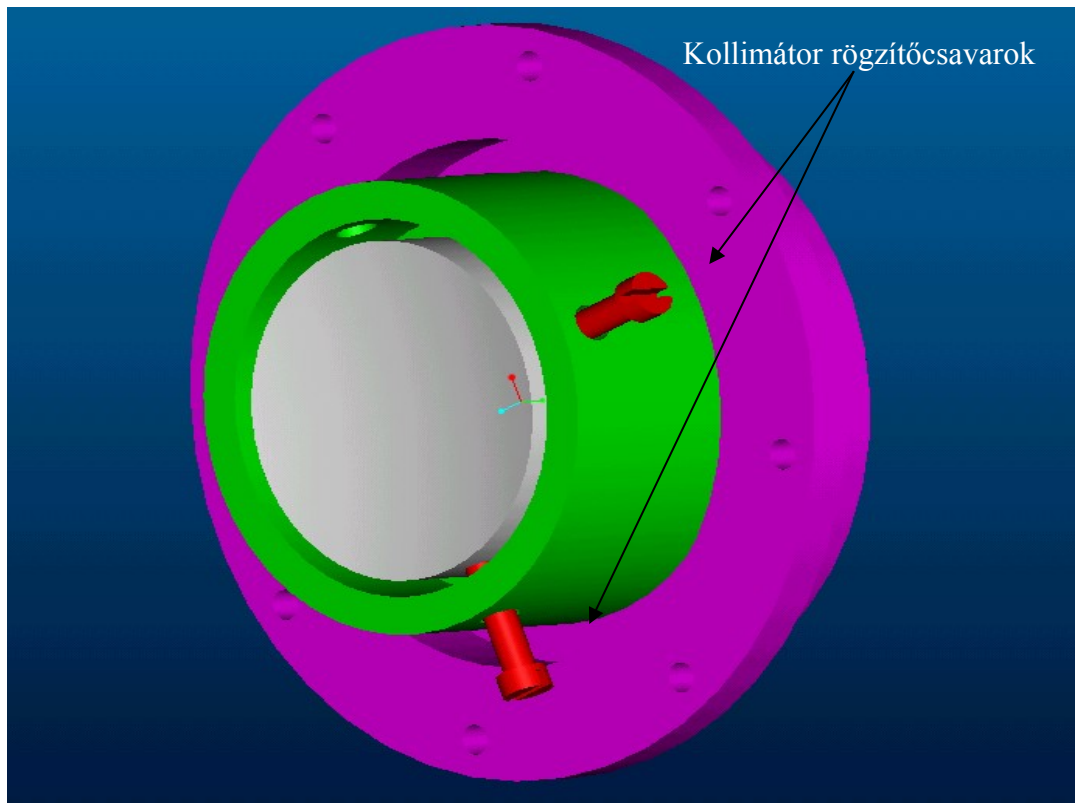


6.5 ábra

A kollimátor

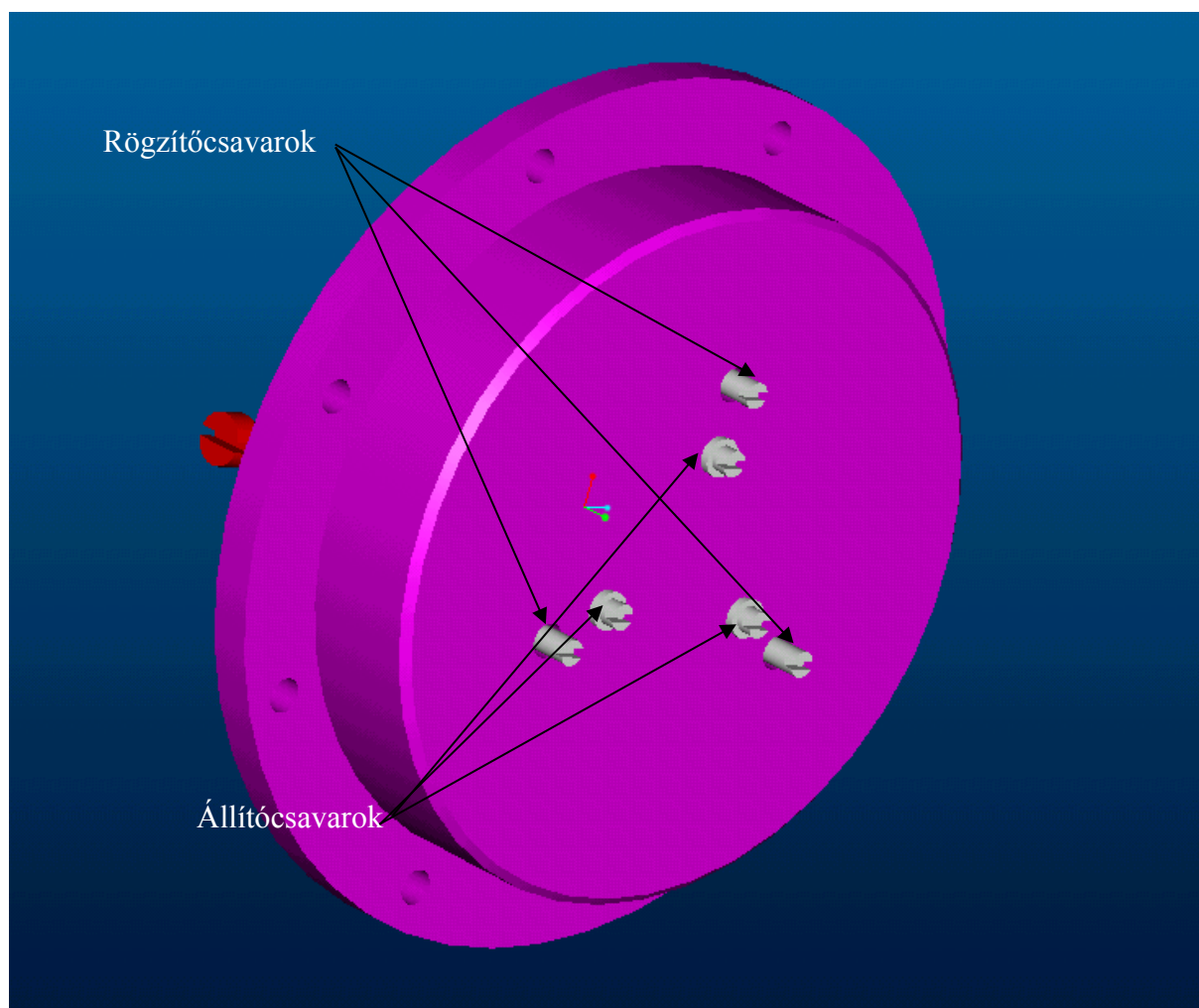
A kollimátortükör fókusza az előzőekben kiszámolt 600 mm, átmérője 50 mm, így fényerejére $F = f/12$ adódik. Ilyen kis fényerő mellett alkalmazható gömbtükör, mert a gömbi felületből származó aberrációk elhanyagolhatóak.

Fontos a kollimátortükör felfogatásánál, hogy juszírozható legyen. Tehát a tükörtartónak biztosítania kell az optikai tengely döntését és a tengely paralell eltolását, valamint a beállított tükör helyzetben tartását. A tükörtartó alapvetően két részből áll. Az egyik rész magát a tükröt tartja és az optikai tengely paralell eltolását biztosítja. Négy állítócsavarral lehet egytengelyűsíteni az optikai tengelyeket, melyek egymással 90° -ot zárnak be. A csavarok finommenetűek így pontosabb az állítás. Maga a tartó egy henger melynek egyik vége zárt és így eléggé merev ahhoz, hogy a tükör helyzete ne változzon, illetve rögzítésnél ne deformálódjon el az alakja. A másik résznek kettős feladata van. Egyik az előbbi tartóhüvely rögzítése a vázszerkezethez, másik a tükör optikai tengelyének döntése. A tengely döntését három pár, egymástól 120° -ra elhelyezett csavarpár biztosítja. Páronként az egyik csavar a döntöttséget szabályozza, a másik fixálja a beállítást. A 7.1 ábrán a tükröt rögzítő csavarok közül látható kettő.



7.1 ábra

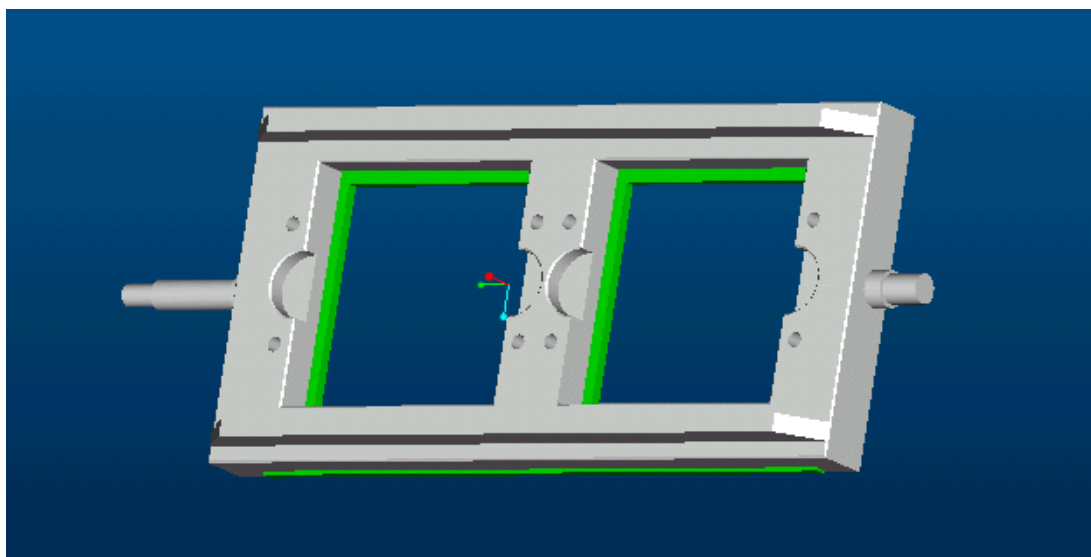
A 7.2 ábra a tükörfőtő hűvelly döntésére és rögzítésére szolgáló csavarpárok közül mutat hármat. A belső csavarok döntik, a külsők rögzítik a tükörfőt.



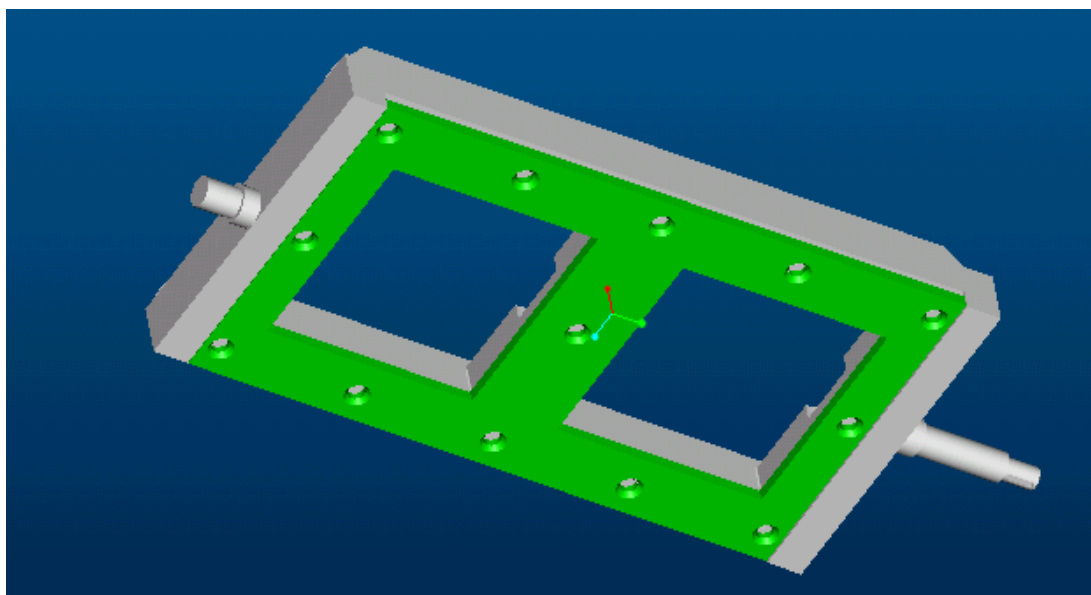
7.2 ábra

A rácstartó

A spektrográfban 2 db rácsnak van helye. A rácstartó feladata összetett. Egyrészt az éppen használt rác helyzetének megtartása illetve megváltoztatása, valamint a rácok cseréje. Fontos még, hogy a rácok reflektáló felületei egy síkba essenek, tehát a tartószerkezetnek a helyzetbiztosítást is meg kell oldania. Ez utóbbit megvalósítandó, a rácok egy keretben helyezkednek el és a keret egyik oldalára egy sík acéllemez van rögzítve. Ennek a lemeznek nekiütköztetve a rácokat biztosítva van a két reflektáló felület egysíkúsága. A 8.1a ábrán az üres rácstartó helyek látszanak. A félkör alakú kiképzések a rácok biztos megfogását szolgálják. A kétoldalt elhelyezkedő tengelycsonkokon történik a rácok forgatása. A 8.1b ábrán az acéllemez elhelyezkedése látható.

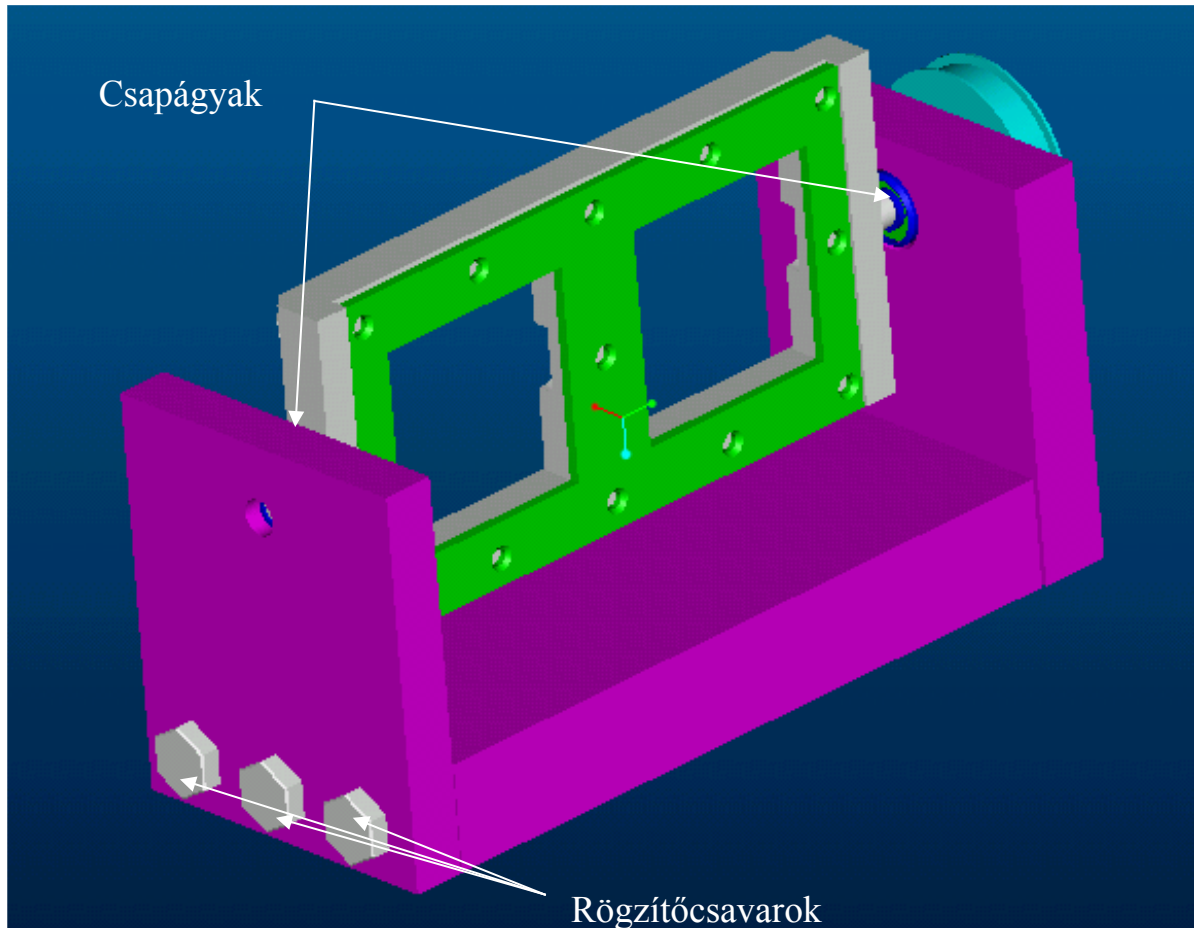


8.1a ábra



8.1b ábra

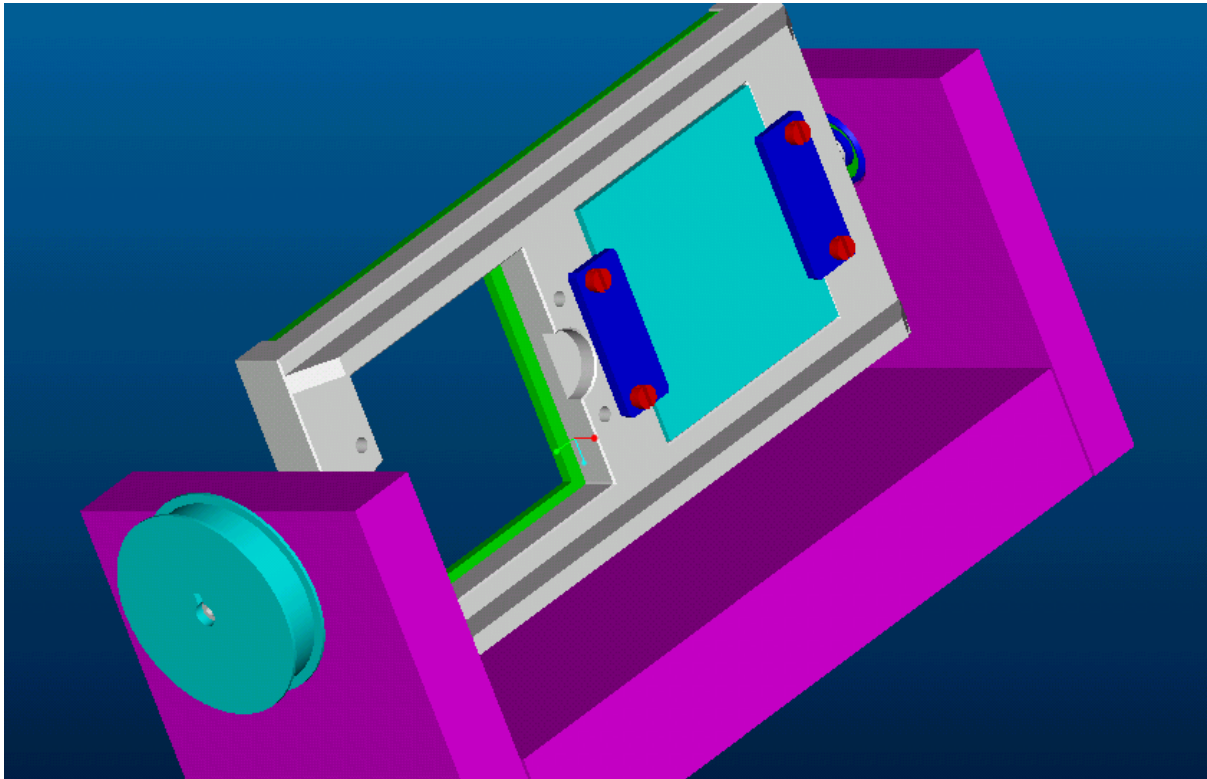
A keret csapágyakon keresztül egy villás tartóhoz csatlakozik, melynek két oldala csavarokkal rögzíthető, ezáltal a csapágyak szerelése könnyebbé válik. A 8.1b ábrán látható hosszabb tengelycsonk végére egy bordáskerék kerül, ami bordásszíjon keresztül egy léptetőmotor tengelyén lévő másik bordáskerékkel összekötésben van. A léptetőmotorral forgathatóak a rácsok, így beállítható a kívánt hullámhossztartomány. Fontos, hogy a bordásszík hossza ne változzon, mert az tönkretetheti a hullámhosszkalibrációt, ezért fémszálas szíjat kell alkalmazni. A 8.2 ábrán a csapágyakkal beszerelt keret, illetve a csavarokkal rögzített oldallap látható. A keret teljesen körbeforgatható, ezáltal a rácsok kivételekor elkerülhető a keret kiszerelése.



8.2 ábra

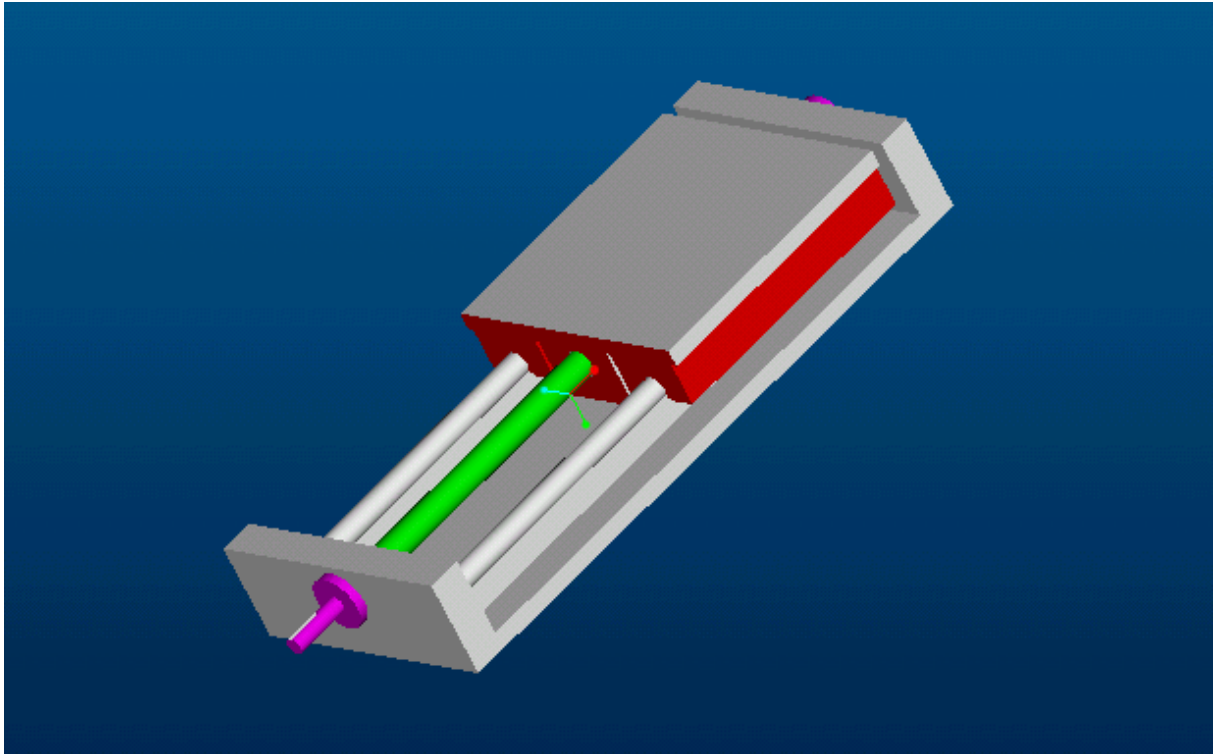
A hullámhossztartomány beállítása után kívánatos levenni a motorokról az inhibit jelet, viszont ekkor a rács szabadon foroghat. Ennek elkerülésére vagy egy mechanikus fék szolgál majd, vagy a motorokon csak annyi tartóáramot kell hagyni, amennyi biztosan rögzíti a keretet, de nem termel jelentékeny hőt. Az egész szerkezetet egy lineáris csapágyra szerelve, majd azt a vázszerkezethez rögzítve, egy léptetőmotorral lehetővé válik a rácsok cseréje.

A 8.3 ábrán látszik a felszerelt bordáskerék és a rácsok rögzítésére szolgáló fülek közül kettő. A bordáskerék retesszel adja át a forgatónyomatékot a tengelynek és a retesz biztosítja a csúszásmentességet is. A rács pár század milliméterrel kilóg a számára kialakított fészekből, így az a füleket lecsavarozva biztosan rögzíthető. A fülek itt is rugalmas anyagból készülnének.

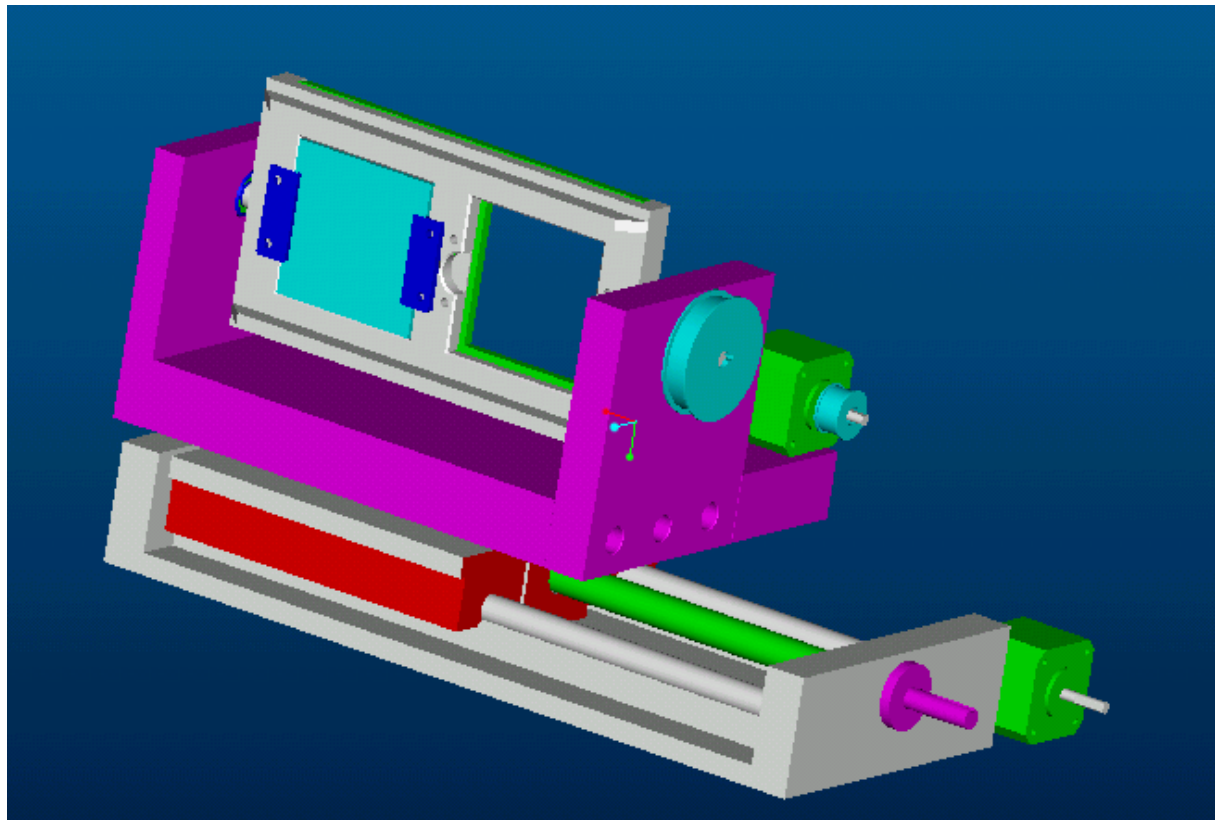


8.3 ábra

A rácsok cseréjéhez szükséges mozgáshoz a Pacific Bearing cég által gyártott 2LRPS-08-012-AL1 jelű csapágyat választottam ki. Ennek előnye, hogy előre összeszerelik a mozgáshoz szükséges vonóorsóval, így csak egy léptetőmotorral kell a tengelyvéget kapcsolatba hozni. A léptetőmotor egy 200 lépéses hibrid motor, ami 500 és 1000 Hz között adja a maximális 43 Ncm-es nyomatékát. 1Khz-el léptetve a motortengely 5 1/s – os szögsebességgel forog. Mivel a hajtás áttétele 1:1, ezért a vonóorsó is ennyit fordul. Az orsó menetemelkedése 0.79 mm, így a rácsváltásnál szükséges 89 mm – t, 22.5 másodperc alatt mozdítja el, ami elfogadható, ha tekintetbe vesszük, hogy halvány, 14-15 magnitúdós objektumok expozíciós ideje akár 20-30 perc is lehet. A csapágy szabad elmozdulásának hossza 101.6 mm, így biztosítja a rácsváltáshoz szükséges 89 mm - t . A 8.4 ábra a csapágyat mutatja, a 8.5 ábra az összeszerelt egységet.



8.4 ábra



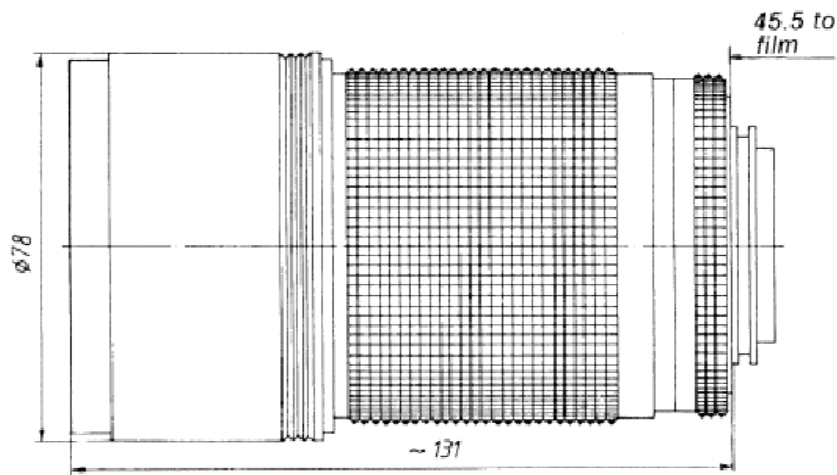
8.5 ábra

A kameralencse

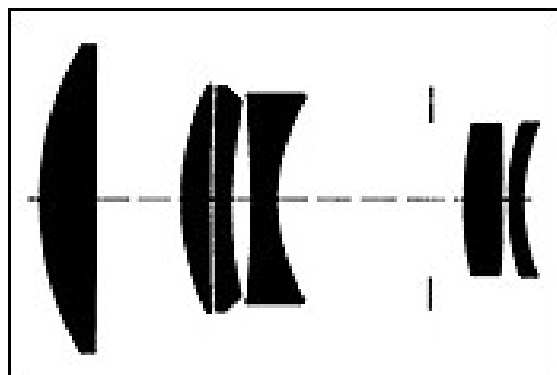
A kameralencsével szemben támasztott fontosabb követelmények:

1. Megfelelő fényerő a vignettátalan leképezés érdekében.
2. A fókusz megfelelő hossza a tervezett felbontás megtartása miatt.
3. A tengelytől távolabbi, és viszonylag nagy szög alatt beeső sugarak leképezésekor keletkező aberrációk minimálisak legyenek.
4. A lencse fókusza ne változzon számottevően a hullámhosszal.

Erre a célra a Zeiss cég Sonnar T f/2.8 – 180mm –es objektívlencsését választottam. A lencse hattagú, két színre korrigált, összetett lencse. A fókusza 180 mm, tehát teljesíteni tudja a kívánt felbontást. Az $F=2.8$ – as fényerő miatt az objektív átmérője 65 mm, ami elég nagy a vignettátalan leképezéshez. A 9.1 ábra a lencse befoglaló méreteit mutatja, a 9.2 ábra a lencsék alakját és elhelyezkedését.



9.1 ábra

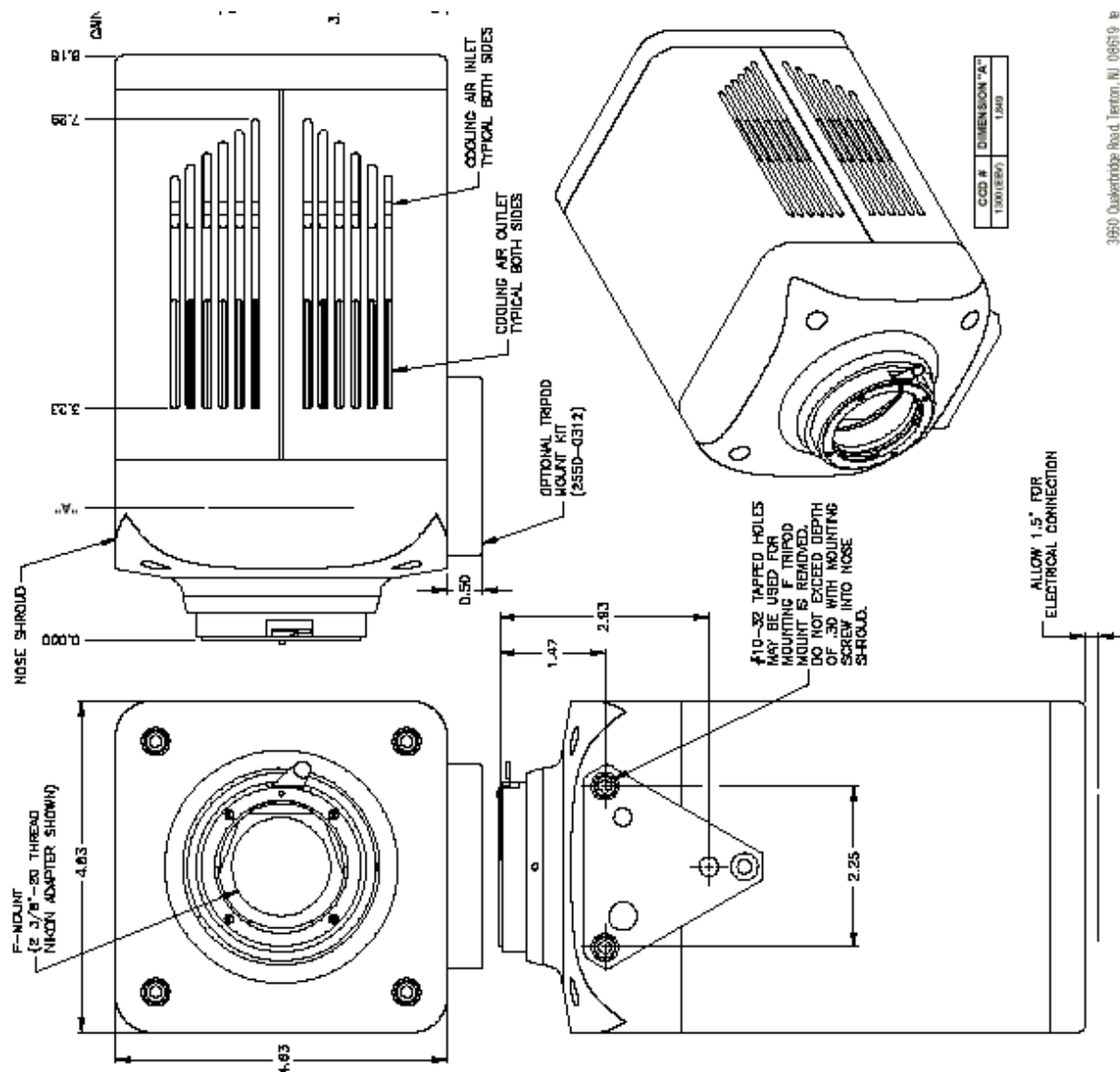


9.2 ábra

Mint az objektívlencsénél általában, ennél a lencsénél is lehetőség van a kép fókuszálására. Ennek az előnye, hogy a lencse nem egy előre beállított fix távolságra van a chiptől, hanem egy léptetőmotorral segítségével ez a távolság változtatható így lehetőség nyílik a spektrumvonalak pontos fókuszálására. Általában az ilyen lencsét meg szokták tervezni az adott műszerbe, de egyrészt itt a költségvetés amivel számolni lehet nem teszi ezt lehetővé, ugyanis egyedi lencsék gyártása nagyon drága, másrészt ebben még nincs elég gyakorlatom, de folyamatosan tanulom a ZEMAX-ot, és később meg fogom próbálni egy összetett, hattagú lencse megtervezését.

CCD kamera

A CCD egy 1300x1300 pixeles, 20 mikronos pixelméretű kamera. A kamerafej 2 3/8 colos, bajonettzáras csatlakozóval szerelt. A befoglaló méretek, a kamerafej kialakítása, illetve méretei a 10.1 ábrán láthatóak.



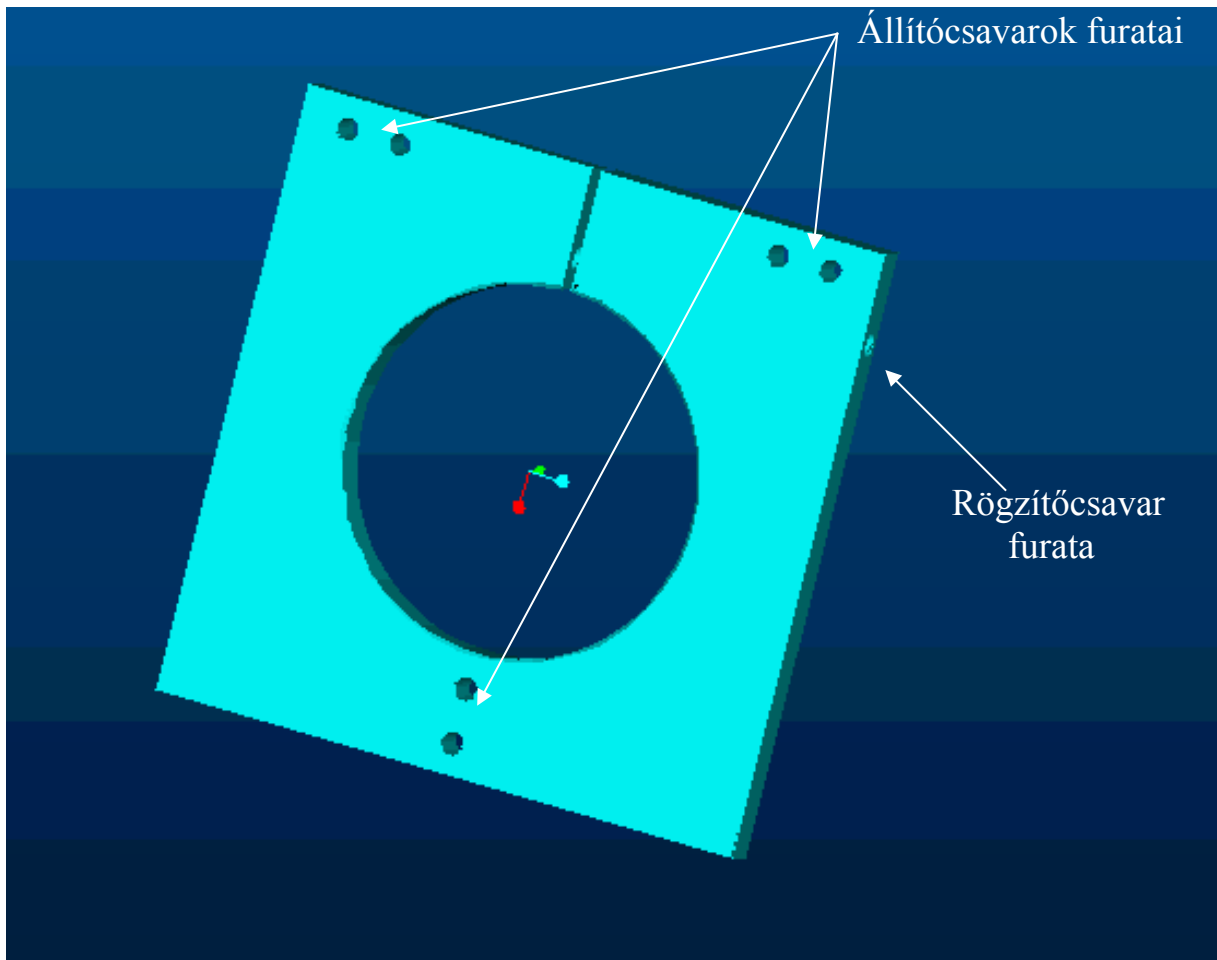
3650 Quakerbridge Road, Trenton, NJ 08619

Verahay/WTE Rev A0

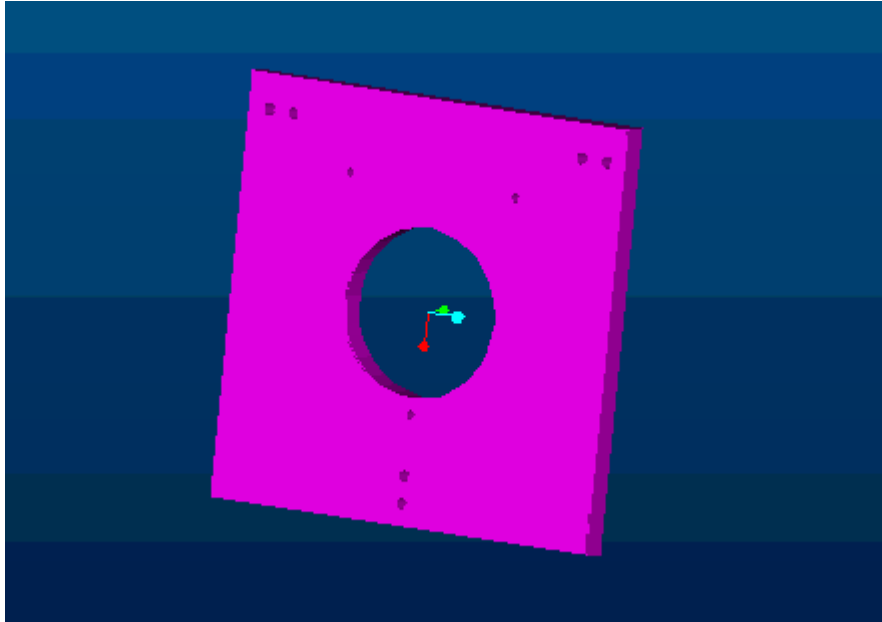
10.1 ábra

Objektív-CCD kapcsolat

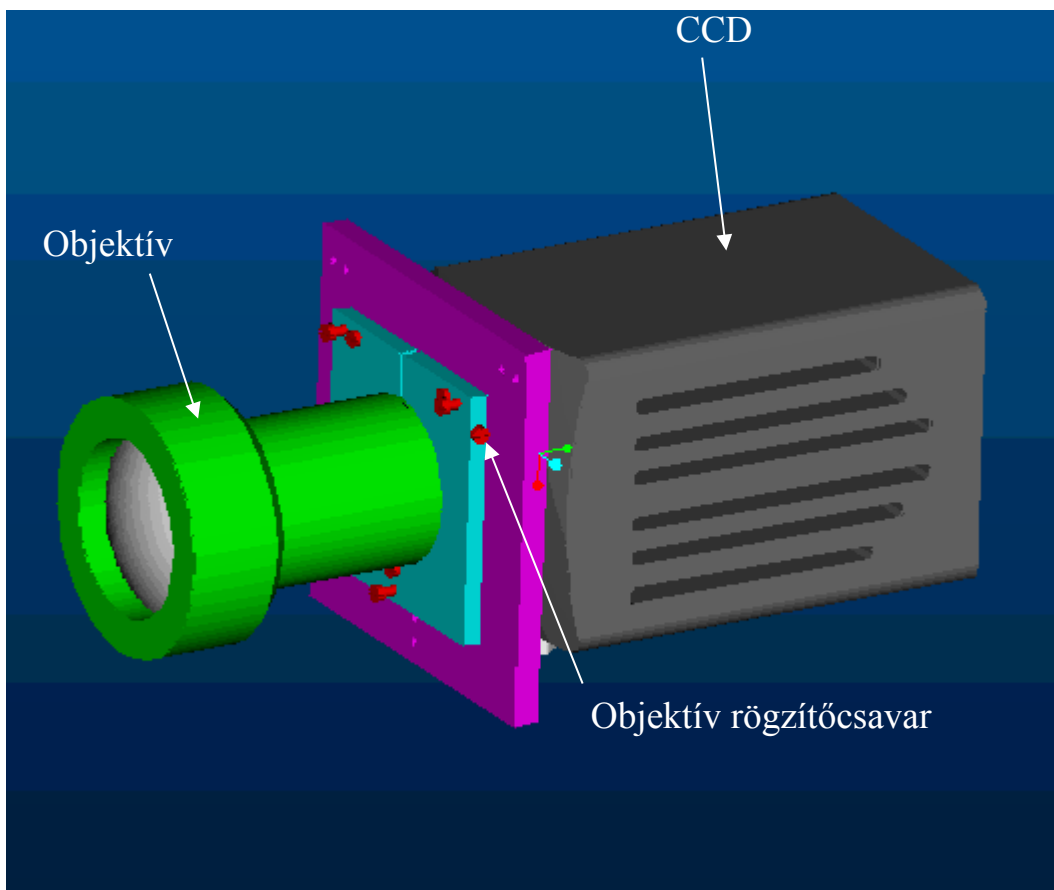
Az illesztőalkatrésznek biztosítania kell, hogy az objektívlencse a CCD kamerahoz képest is és a vázszerkezethez képest is állítható legyen két, egymásra merőleges tengely mentén. A kameralencse egy felhasított gyűrűs lemezalkatrészben helyezkedik el, amit a 11.1 ábra mutat. Mivel a lensét befogó furat pontosan olyan átmérőjű mint az objektív átmérője, a rögzítőcsavar megszorításakor az állítócsavarok helyzete nem változik a CCD-t tartó lemez állítócsavar furatainak helyzetéhez képest. A CCD kamera egy hasonló lemezalkatrészhez bajonettzárral kapcsolódik, ami a 11.2 ábrán látható és szintén állítható a vázszerkezethez képest. A részegység összeállítását a 11.3 ábra mutatja.



11.1 ábra

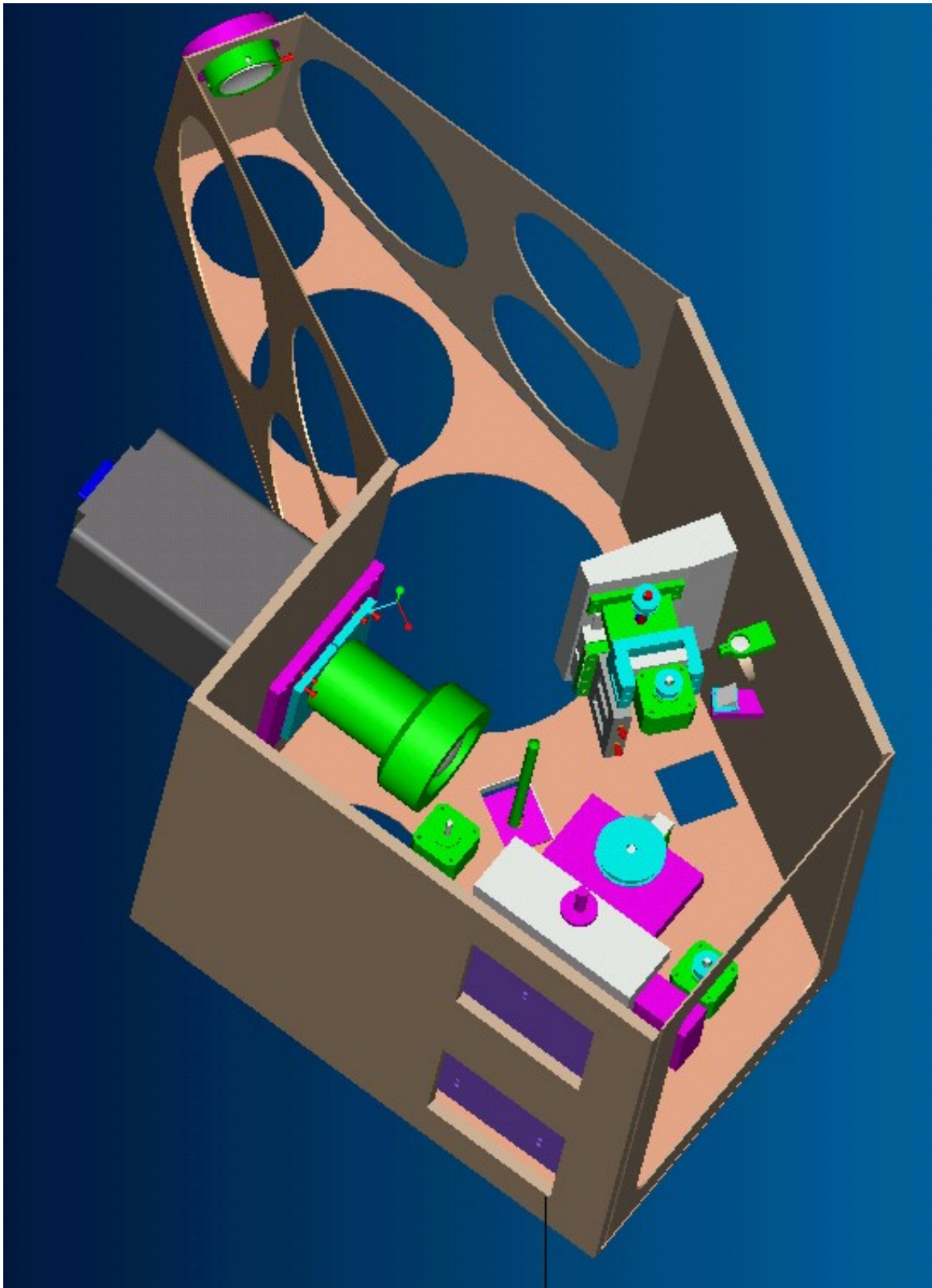


11.2 ábra

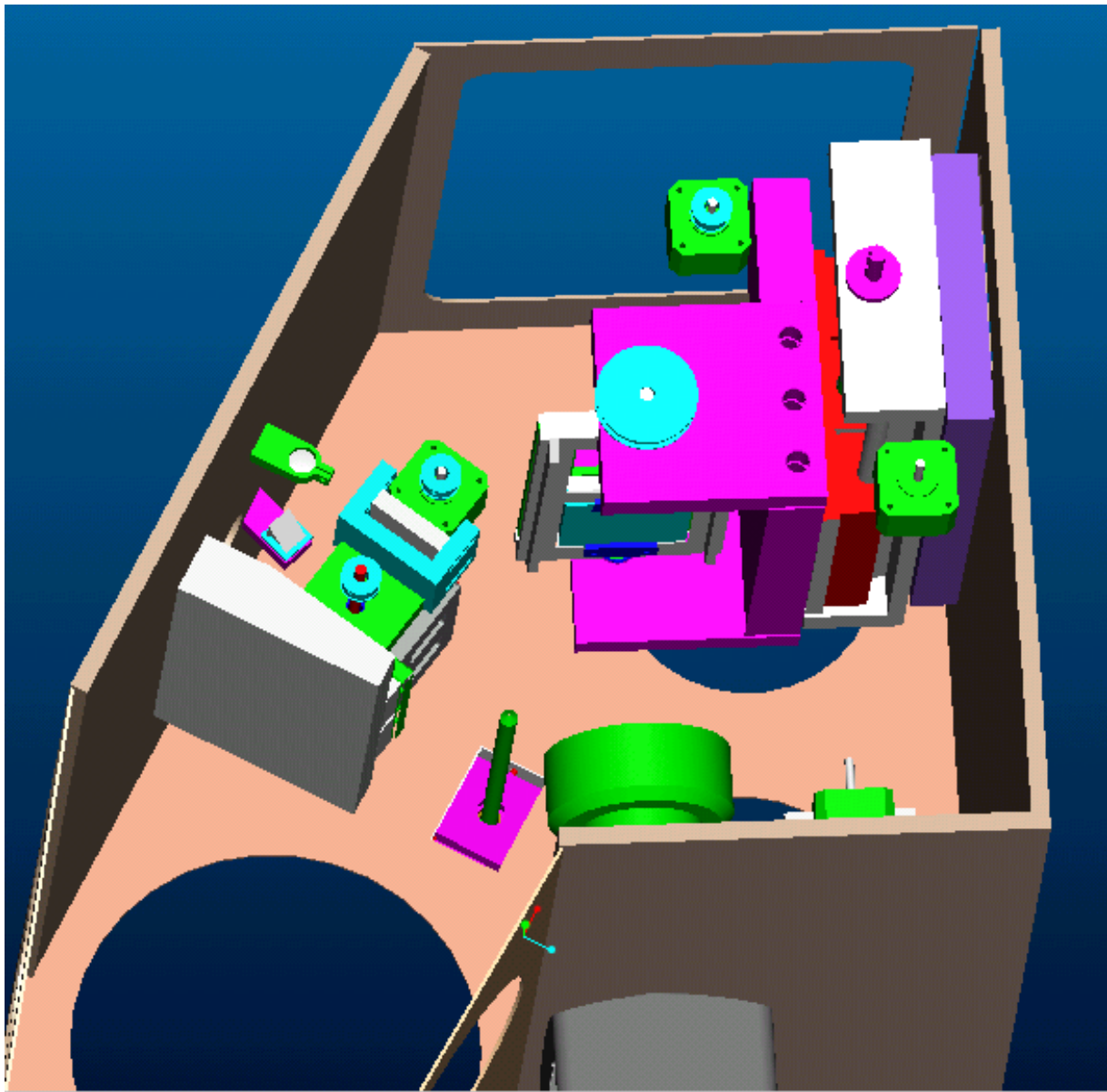


11.3 ábra

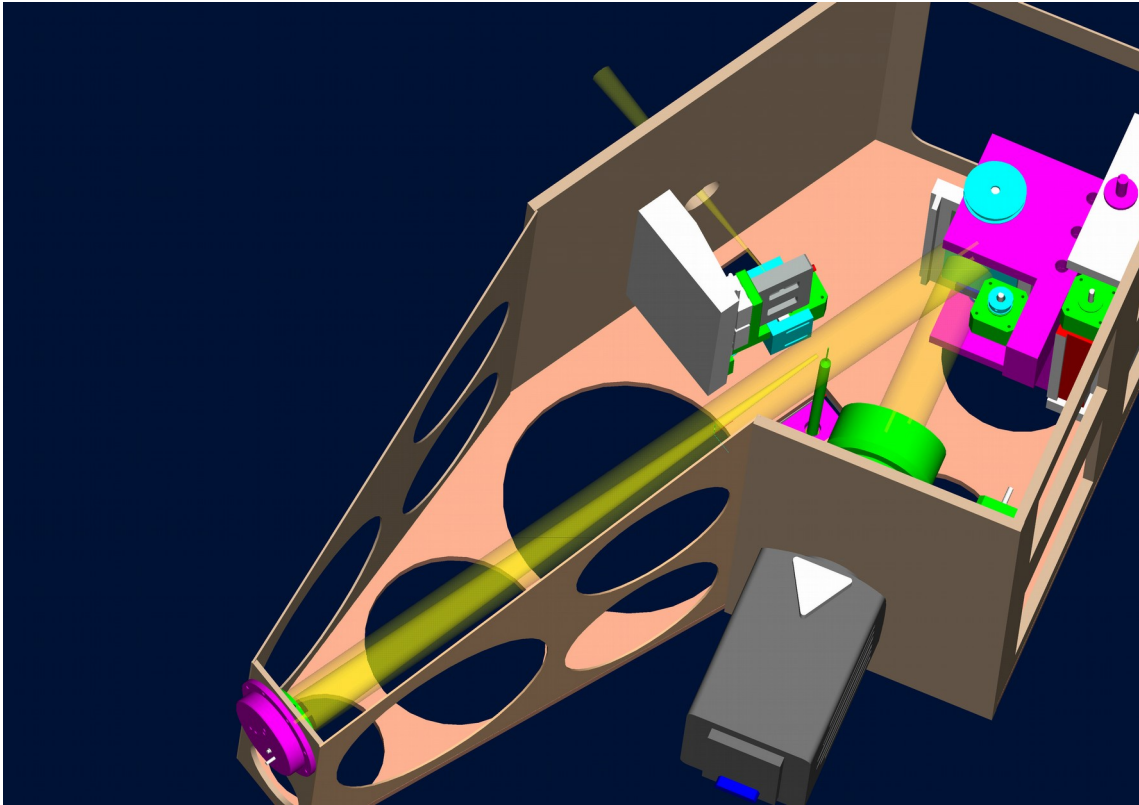
Teljes összeállítás



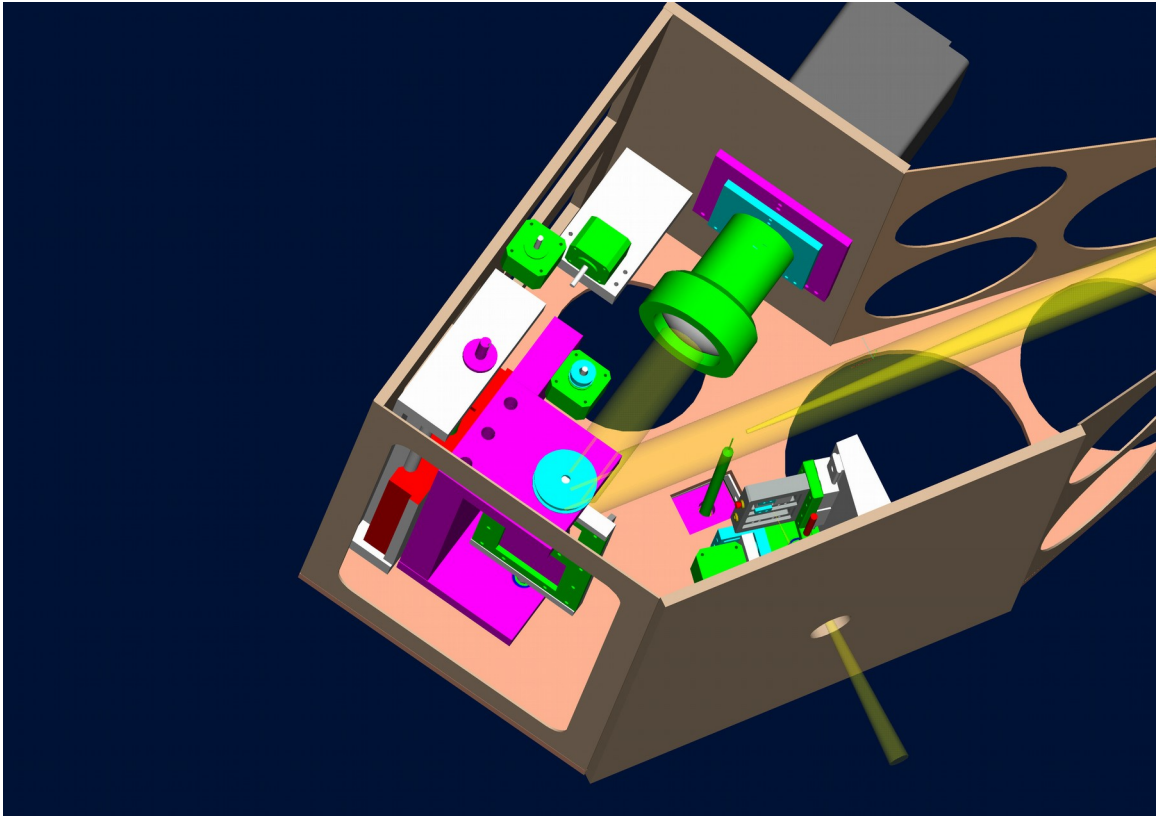
12.1 ábra



12.2 ábra



12.3 ábra



12.4 ábra

Irodalomjegyzék

1. Fűrész, Gábor. Diplomamunka 2002, Kísérleti Fizikai Tanszék (Szeged: Szegedi Tudományegyetem)
2. Kannappan, Sheila J, Fabricant, Daniel G, & Hughes, Charles B. Building a CCD Spectrograph for Educational or Amateur Astronomy, 2002, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 114, 577
3. McCarthy, James K, Sandiford, Brendan A, Boyd, David, & Booth, John. The Sandiford 2.1-m Cassegrain Echelle Spectrograph for McDonald Observatory: Optical and Mechanical Design and Performance, 1993, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 105, 881
4. Palmer, Christopher. 1997, Diffraction Grating Handbook (New York: Richardson Grating Laboratory)
5. Schroeder, Daniel J. 1987, Astronomical Optics (San Diego: Academic Press Inc)