

RÉZ ISTVÁN  
DIPLOMATERV

NEUTRON- ÉS RÖNTGENRADIOGRÁFIÁS OPTIKAI-FINOMMECHANIKAI MÉ-  
RŐRENDSZER TERVEZÉSE ÉS ÉPÍTÉSE

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR  
MECHATRONIKA, OPTIKA ÉS GÉPÉSZETI INFORMATIKA TANSZÉK



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

DIPLOMATERV

NEUTRON- ÉS RÖNTGENRADIOGRÁFIÁS OPTIKAI-FINOMMECHANIKAI MÉ-  
RŐRENDSZER TERVEZÉSE ÉS ÉPÍTÉSE

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR  
MECHATRONIKA, OPTIKA ÉS GÉPÉSZETI INFORMATIKA TANSZÉK

RÉZ ISTVÁN  
DIPLOMATERV  
NEUTRON- ÉS RÖNTGENRADIOGRÁFIÁS  
OPTIKAI-FINOMMECHANIKAI MÉRŐRENDSZER  
TERVEZÉSE ÉS ÉPÍTÉSE

Konzulens:

Dr. Szabó István

Témavezető:

*Dr. Antal Ákos*  
adjunktus

Budapest, 2014



Az eredeti feladatkiírási lap helye!

## NYILATKOZATOK

### *Beadhatósági nyilatkozat*

A jelen diplomaterv az üzem/intézmény által elvárt szakmai színvonalnak mind tartalmilag, mind formailag megfelel, beadható.

Kelt, 2014.12.12

Az üzem részéről:

*üzemi konzulens*

### *Elfogadási nyilatkozat*

Ezen diplomaterv a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kara által a Diplomatervezési és Szakdolgozat feladatokra előírt valamennyi tartalmi és formai követelménynek, továbbá a feladatkiírásban előírtaknak maradéktalanul eleget tesz. E diplomatervet a nyilvános bírálatra és nyilvános előadásra alkalmasnak tartom.

A beadás időpontja:

*témavezető*

### *Nyilatkozat az önálló munkáról*

Alulírott, *Réz István* (HUM88G), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a diplomatervet meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és dolgozatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a hatályos előírásoknak megfelelően, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2014.12.12

*szigorló hallgató*

## TARTALOMJEGYZÉK

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Bevezetés.....                                                                        | 4  |
| 1.1. Célkitűzések .....                                                                  | 4  |
| 1.2. Az ipari megrendelés.....                                                           | 4  |
| 1.2.1. A megrendelt verendezés.....                                                      | 4  |
| 1.2.1.1. A szerződő felek .....                                                          | 5  |
| 1.2.1.2. A szerződés tárgya .....                                                        | 5  |
| 1.2.1.3. A teljesítési határidők:.....                                                   | 6  |
| 1.2.1.4. Jótállás feltételei és alapelvei: .....                                         | 6  |
| 1.2.1.5. Kötbér fizetés okai és formái: .....                                            | 6  |
| 1.2.1.6. A szerződés megszűnésének lehetséges okai és kimenetelei: .....                 | 7  |
| 2. Szakirodalmi áttekintés .....                                                         | 8  |
| 2.1. Anyagvizsgálati módszerekről általánosan [8], [9], [10], [11], [12].....            | 8  |
| 2.2. Anyagvizsgálati módszerek csoportosítása [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14].... | 9  |
| 2.3. Roncsolásos anyagvizsgálati módszerek [8], [9], [10], [11], [12], [13],.....        | 9  |
| 2.3.1. Szilárdsági vizsgálatok .....                                                     | 9  |
| 2.3.2. Keménységmérés .....                                                              | 10 |
| 2.3.3. Alakíthatósági vizsgálatok .....                                                  | 11 |
| 2.4. Roncsolás mentes anyagvizsgálati módszerek[13], [14], [19].....                     | 12 |
| 2.4.1. Röntgenradiográfia [20] [21] [22] .....                                           | 14 |
| 2.4.2. Neutronradiográfia [23], [24], [25], [26],[27], [28], [30].....                   | 16 |
| 2.5. Vidikonos kamera [1] [2] [3].....                                                   | 18 |
| 2.5.1. Vidikon fejlesztés és gyártás Magyarországon.....                                 | 19 |
| 2.5.2. A PCT254-es Tungstram gyártmányú vidikon adatai: .....                            | 19 |
| 2.6. Andor kamera .....                                                                  | 20 |
| 2.6.1. digitális kamerákról általánosan [6] [7].....                                     | 20 |
| 2.6.2. Digitális kamera zaj típusok [4] [5]:.....                                        | 25 |
| 3. Specifikációk.....                                                                    | 28 |
| 3.1. A diplomamunka téma megtalálása .....                                               | 28 |
| 3.2. A diplomamunka háttere .....                                                        | 28 |
| 3.2.1. MTA EK – a megrendelő .....                                                       | 28 |
| 3.2.2. Az Optika Mérnökiroda Kft. ....                                                   | 30 |
| 3.3. Műszaki specifikációk .....                                                         | 32 |
| 3.3.1. A berendezés fő elemei:.....                                                      | 32 |
| 3.3.2. A környezet .....                                                                 | 33 |

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.3. A kameraház váza és burkolata, a láda, a kalicka, a konzol és a mozgató asztal:..... | 34 |
| 3.3.4. Szcintillátorernyők tulajdonságai és méretei.....                                    | 37 |
| 3.3.5. Tükör (Szállító készíti).....                                                        | 37 |
| 3.3.6. 3. Objektívek.....                                                                   | 37 |
| 3.3.7. Digitális sCMOS kamera .....                                                         | 38 |
| 3.3.8. Optikai tesztobjektumok .....                                                        | 39 |
| 3.3.9. A jelenlegi dinamikus mérőállomás átalakítása .....                                  | 39 |
| 3.3.10. A meglévő vidkonos kamera .....                                                     | 39 |
| 4. A Mérőműszer megtervezése.....                                                           | 40 |
| 4.1. A mérőműszer elvi felépítése, alap tervezési koncepciók ismertetése.....               | 40 |
| 4.2. A közös diplomamunka téma.....                                                         | 42 |
| 4.3. A kamera rendszer mozgatása .....                                                      | 44 |
| 4.4. Az Andor kamera kiválasztása és implementálása a rendszerbe.....                       | 53 |
| 4.5. A régi vidikonos kamera cserélhetőségének biztosítása .....                            | 56 |
| 4.6. Szcintillátorernyők mechanikai egysége.....                                            | 59 |
| 4.7. A szcintillátor tároló láda .....                                                      | 66 |
| 4.8. Hűtés – Mobil klíma és vízűtő rendszer kiválasztása és telepítése.....                 | 70 |
| 4.9. Kapcsoló szekrény tervezése az elektromos bekötésekhez.....                            | 74 |
| 5. Biztonsági utasítások .....                                                              | 78 |
| 5.1.1. Kapcsolószekrény .....                                                               | 78 |
| 5.1.2. Szerelhető/bontható alkatrészek .....                                                | 78 |
| 5.2. Kezelés, be és kikapcsolás .....                                                       | 79 |
| 5.3. Karbantartási utasítások.....                                                          | 80 |
| 5.3.1. Optikai elemek karbantartása .....                                                   | 80 |
| 5.3.2. Lineáris vezetékek tisztítása.....                                                   | 81 |
| 5.3.3. Lineáris vezetékekhez tartozó kocsik zsírozása .....                                 | 81 |
| 5.3.4. Golyósorsók karbantartása.....                                                       | 81 |
| 5.3.5. Mobil klíma vizének kiürítése.....                                                   | 81 |
| 5.3.6. Vízűtés karbantartása .....                                                          | 81 |
| 5.3.7. Csapágyak zsírozása.....                                                             | 81 |
| 6. Összefoglalás .....                                                                      | 82 |
| 6.1. Eredmények .....                                                                       | 82 |
| 6.2. Tapasztalatok .....                                                                    | 82 |
| 7. Felhasznált források.....                                                                | 84 |
| 8. Summary .....                                                                            | 86 |
| 9. Melléklet.....                                                                           | 87 |



## Előszó

*Diplomamunkámat a Budapesti Műszaki- és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Karának Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék támogatásával optomechatronikai tanulmányaim lezárásaképpen írtam meg az Optika Mérnökiroda Kft.-nél. Diplomamunka témám és feladatom egy olyan mérőberendezés megtervezése és megépítése volt, amely a maga nemében egyedi, képes egyszerre statikus neutronradiográfiai és tomográfiai-, dinamikus neutronradiográfiai-, röntgen tomográfiai és radiográfiai mérések elvégzésére. A mérőberendezést a Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpontjának építettem meg, és a Budapesti Kutatóreaktor neutron csarnokában telepítettem.*

\* \* \*

## Köszönetnyilvánítás:

Szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek, Dr. Szabó Istvánnak, hogy lehetőséget adott ennek a diplomamunkának a megírására és a tervezett mérő műszer megépítésére. Folyamatosan szemmel tartotta a munkámat, javaslataival, és ötleteivel segítette a feladatom megoldását. Bátran fordulhattam kérdéseimmel hozzá, nélküle ez a dolgozat nem jöhetett volna létre.

Szeretnék köszönetet mondani még Bujáki Krisztiánnak, hogy ipari tapasztalatával segített a tervezésben, az egyedi alkatrészek legyártásában és az összeszerelésben.

Szeretném megköszönni témavezetőmnek, Dr. Antal Ákosnak a segítséget és útmutatását.

*Budapest, 2014.12.12*

*Hallgató Neve*

# 1. BEVEZETÉS

## 1.1. Célkitűzések

A feladatom és célom egy olyan mérőberendezés megtervezése és megépítése volt, amely képes egyszerre statikus neutronradiográfiai és tomográfiai-, dinamikus neutronradiográfiai- és röntgen tomográfiai és radiográfiai mérések elvégzésére. A mérőberendezést a Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpontjának munkatársai rendelték meg az Optika Mérnökiroda Kft.-től. A berendezés megtervezése és megépítése diploma kiírás formájában realizálódott. Az iprai megrendelésekre jellemző szűkös határidők ellenére sikerült az ImageFrame nevű mérőberendezés megtervezése, megépítése és telepítése a Budapesti Kutatóreaktor neutron csarnokának egyik kis mérőszobájában. Egy olyan berendezést szerettem volna tervezni, ami hosszasan, stabilan szolgálhatja a kutatási munkákat. Ez sikeresen megtörtént.

## 1.2. Az ipari megrendelés

A Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Központja (későbbiekben röviden „megrendelő”) rendelte meg az OPTIKA Mérnökiroda Kft.-től az ImageFrame nevű radiográfiai és tomográfiai mérésekre alkalmas mérőberendezést. A mérőműszer mechanikai tervezésére, összeszerelésére, szállítására és üzembe helyezésére az OPTIKA Mérnökiroda Fejlesztő és Gyártó Kft.-vel kötöttek szerződést. A diplomamunka keretein belül ennek a berendezésnek a tervezésében, gyártásában és üzembehelyezésében vettem részt.

### 1.2.1. A MEGRENDELTE VERENDEZÉS

A Magyar Tudományos Akadémia Energiakutató Központja 2013 júliusában pályázatot nyújtott be az MTA „Kiemelkedő tudományos tevékenység feltételeit biztosító kutatási infrastruktúra fejlesztése” pályázati kiírásra, amelyen vissza nem térítendő támogatást nyert a „A Budapesti Neutron Centrum EK infrastruktúrájának fejlesztése” című pályázatával. A RAD mérőhely igen elavult képdetektálási eszközparkját tervezték korszerűsíteni. Egy olyan eszközt szerettek volna, amely képes egyszerre n\_START (Statikus neutronradiográfia és tomográfia), n\_DYN (Dinamikus neutronradiográfia) és x\_TRA (Röntgen tomográfia és radiográfia) különböző méréseit elvégezni. Ennek a mérő berendezésnek ImageFrame nevet adták. A mérés környezetének a légkondicionálását tervezték, mert az érzékeny optikai elemeknek fontos a stabil hőmérsékletű, nem kondenzálódó működési környezet. Ezek a feladatokat a egy közbeszerzési pályázat keretein belül foglalmazták meg.

Két sikertelen közbeszerzési pályázat után az MTA EK vezetés úgy döntött, hogy ipari megrendelés formájában az Optika Mérnökiroda Kft.-től rendeli meg az ImageFrame nevű mérő berendezést. A szerződő feleket, a teljesítési határidőket és a szerződés tartalmát a következő pontokban ismertetem.

#### *1.2.1.1. A szerződő felek*

A megrendelő teljes jogkörrel rendelkező képviselője:

- Dr. Horváth Ákos (tel.: 06-1-395 9159) MTA EK, főigazgató

Megrendelő szakmai képviselői:

- Szentmiklósi László (tel.: 06-1-392 2539)
- Kis Zoltán (tel.: 06-1-392 2539)

Szállító teljes jogkörrel rendelkező képviselője:

- Dr. G. Szabó István (tel.: 06-30-950 1135) OPTIKA Mérnökiroda Fejlesztő és Gyártó Kft., ügyvezető igazgató

#### *1.2.1.2. A szerződés tárgya*

A Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Központja megrendeli az ImageFrame nevű neutron- és röntgenradiográfiás/tomográfiás mérések céljára fejlesztett berendezés optikai és finommechanikai tervezését, összeszerelését, szállítását és üzembe helyezését a diploma munka későbbi pontjaiban ismertetésre kerülő műszaki specifikációk alapján az OPTIKA Mérnökiroda Fejlesztő és Gyártó Kft.-től. A szállító elvégzi a műszaki specifikációban meghatározott követelményeknek eleget tevő tervezést, amelyről teljes dokumentációt ad át a megrendelőnek jóváhagyásra. A tervezési dokumentáció jóváhagyását követően a megrendelő a műszaki specifikációban megnevezett főkomponenseket a szállító rendelkezésére bocsátja. A szállító beszerzi az összes olyan, főkomponenseken kívüli alkatrészt, amely a műszaki specifikációban meghatározott követelményeknek eleget tevő mérőrendszer részét képezi, továbbá elvégzi az összeszerelést. A szállító a dokumentáció műszaki specifikációjában meghatározott minőségi és mennyiségi feltételeknek megfelelő áruféleségeket a szerződés által meghatározott teljesítési helyre szállítja a 1121 Budapest, Konkoly-Thege M. út 29-33. címen található Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpont neutron csarnokába, a szerződött időpontig hiba- és hiánymentesen, és rendeltetésszerű használatra alkalmas állapotban átadja.

Ezekon felül a szerződés magába foglalja a telepítés helyét, a szerződő felek jogait és kötelezettségeit és természetesen a díjazás összegét, kifizetések feltételeit és határidejét. A következő 4 pontban ismertetem a szerződés azon pontjait, amelyek nagy hatással voltak a tervezés folyamatára.

#### *1.2.1.3. A teljesítési határidők:*

A végleges tervezési dokumentáció átadásának határideje: 2014. április 30., amely kötbérterhes részhatáridő.

Főkomponensek átadási határideje: 2014. május 23.

Szállítási határidő: 2014. június 09.

Úgy tapasztaltam, hogy ezek az idő korlátok nagyon szorosak voltak. A folyamatos munka mellett is nehezen voltak tarthatóak.

#### *1.2.1.4. Jótállás feltételei és alapelvei:*

A szállító az OPTIKA Mérnökiroda Fejlesztő és Gyártó Kft. a szerződés maradéktalan teljesítését követően 36 hónap teljes körű jótállást vállal a mérőműszerre, továbbiakban árura. A jótállás nem vonatkozik a neutron-, röntgen-, ill. gamma-sugárzás által kiváltott meghibásodásokra, amennyiben a berendezés a jóváhagyott tervdokumentáció szerint készült el és került üzembe helyezésre.

Amennyiben az áru a jótállási idő alatt meghibásodik, és funkciójának megfelelően nem használható, a jótállási idő annyi nappal hosszabbodik meg a hiba közlésétől számítva, amennyi napig a hiba miatt az áru a rendeltetésszerű használatra nem alkalmas.

Az árura vonatkozó jótállási feltételeket az áruhoz mellékelt jótállási jegyek tartalmazzák.

Az OPTIKA Mérnökiroda Fejlesztő és Gyártó Kft. hatályos jogszabály szerinti szavatosságot vállal a leszállított árura és szavatolja, hogy a rendszer és bármely részegysége – beleértve az alkalmazott technológiákat is, az esetleges szoftver-komponenseket és a mellékelt dokumentáció információtartalmát – megrendelő által történő birtoklása és használata nem ütközhet egyetlen hatályos hazai és nemzetközi jogszabályba sem.

#### *1.2.1.5. Kötbér fizetés okai és formái:*

- A megrendelővel kötött szerződés kimondja:
- A szállítónak felróható okból történő késedelmes teljesítés vagy nem teljesítés esetén a szállító kötbér fizetésére köteles a szállítási rész- és véghatáridő tekintetében.
- A szállító késedelmes teljesítés esetén napi 100.000,- Ft, azaz egyszázezer Forint/nap késedelmi kötbért fizet az elmulasztott határidő tekintetében.
- A megrendelő a teljesítési rész- és véghatáridők tekintetében 15 (tizenöt) napi késedelem után jogosult a meghiúsulás egyoldalú megállapítására, elállásra, a szállító 18 % meghiúsulási kötbért köteles fizetni. A meghiúsulási kötbér számítási alapja a teljes bruttó vállalási díj.
- Egyidejűleg egy jogcímen kerülhet kötbér érvényesítésre. A meghiúsulási kötbér érvényesítése kizárja a késedelmi kötbér egyidejű érvényesítését.

*1.2.1.6. A szerződés megszűnésének lehetséges okai és kimenetelei:*

- A felek a szerződést annak teljesítése előtt közös megegyezéssel megszüntethetik bármiféle térítési kötelezettség mellett.
- A megrendelő a szerződéstől bármikor elállhat, köteles azonban a szállítónak az elállásig végzett munka ellenértékét és a szállító kárát megtéríteni.
- Amennyiben a megrendelő a szállító által benyújtott tervdokumentációt nem hagyja jóvá, a szerződés automatikusan megszűnik, és a megrendelő nem köteles a szállítónak az elállásig végzett munka ellenértékét megtéríteni.
- Ha a megrendelő a szerződéstől azért áll el, mert a teljesítési határidő előtt nyilvánvalóvá vált, hogy a szállító a szállítást csak számottevő késéssel tudja teljesíteni, a megrendelő a szerződésszegésre vonatkozó szabályok szerinti kártérítésre jogosult.

A fentebb ismertetett szerződésben a nem szabályozott kérdésekben a magyar jog szabályai, a dokumentáció, a szállítói ajánlat, valamint a Ptk. szabályai az irányadók.

## 2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1. Anyagvizsgálati módszerekről általánosan [8], [9], [10], [11], [12]

A szerkezetek integritásának, reális állapotának, maradék élettartamának megítélése a biztonságos üzemeltetés alapja. A nagy értékű műszaki létesítmények, szerkezetek, gépek (pl. reaktorok és a hozzá tartozó mérőberendezések) tervezett üzemeltetési ideje 15 – 50 év. A modern méréstechnika lehetővé teszi, hogy az említett szerkezetek, gépek szerkezeti felépítését, üzemeltetési feltételeit, maradék élettartamát mind nagyobb pontossággal becsüljük meg. A mérés és kiértékelés lépései:

- diagnosztikai vizsgálatokkal felmérjük az anyagszerkezet állapotát,
- meghatározzuk a valóságos üzemi körülményekre jellemző mechanikai állapotot,
- megítéljük a megmért anyagok károsodásának folyamatát és mértékét az adott üzemeltetési feltételek mellett.

A műszaki fejlődés során az anyagvizsgálatnak sokféle eljárási fajtája alakult ki, és még több alkalmazási mód jelent meg. A módszerek mindegyikének létezik előnyös és hátrányos tulajdonsága, az alkalmazhatóság pedig gyakran feltételekhez kötött.

Az anyagvizsgálat során az anyag következő paramétereit határozzuk meg:

- Fizikai tulajdonság:
  - o szín,
  - o sűrűség,
  - o olvadás és dermedéspont
  - o sűrűség,
  - o hővezető képesség,
  - o fajlagos ellenállás és mágneses tulajdonságok, stb.
- Kémiai tulajdonság:
  - o korrózióállóság,
  - o savállóság, stb.
- Mechanikai tulajdonság:
  - o keménység,
  - o szilárdság,
  - o rugalmasság, stb.
- Technológiai tulajdonság:
  - o önthetőség,
  - o hegeszthetőség,
  - o forgácsolhatóság stb.
- Metallográfiai tulajdonság

## 2.2. *Anyagvizsgálati módszerek csoportosítása [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14]*

Az anyagvizsgálat legalacsonyabb szintje a szemrevételezés. Ez a vizsgálat a felületen elhelyezkedő hibák kimutatásának legegyszerűbb módszere. A digitális képfeldolgozás előrehaladtával az anyagvizsgálatok új családja jelent meg a szemrevételezés konkurenciájaként. A gépi látást kamerákkal és képfeldolgozó hardveres támogatással lehet megvalósítani. A képfeldolgozással kinyerhető információk: alak, élek, felületi textúra, alkatrészek egymáshoz viszonyított helyzete, mozgás, stb. Ez egy folyamatosan teret hódító terület, ipari környezetben nagyban gyorsíthatja a termelést nagyobb ismétlési pontosság mellett.

A kémiai vizsgálatok célja annak eldöntése, hogy az anyag milyen elemeket és az anyag az egyes elemekből milyen mennyiséget tartalmaz. Az első kvalitatív, minőségi analízisnek nevezzük, míg a másodikat kvantitatív vagy mennyiségi analízisnek.

A kémiai vizsgálatok elvégezhetőek:

- Kémiai eszközök segítségével, és/vagy
- Fizikai alapelvek alapján.

Az igénybevétel típusa szerint a következő anyagvizsgálati módszereket különböztetjük meg:

- Statikus,
- Dinamikus,
- Ismételt igénybevételű

Aszerint, hogy a vizsgált minta a vizsgálat során tönkre megy vagy sem, megkülönböztetünk:

- Roncsolásos,
- Roncsolásmentes

anyagvizsgálati módszereket

## 2.3. *Roncsolásos anyagvizsgálati módszerek [8], [9], [10], [11], [12], [13],*

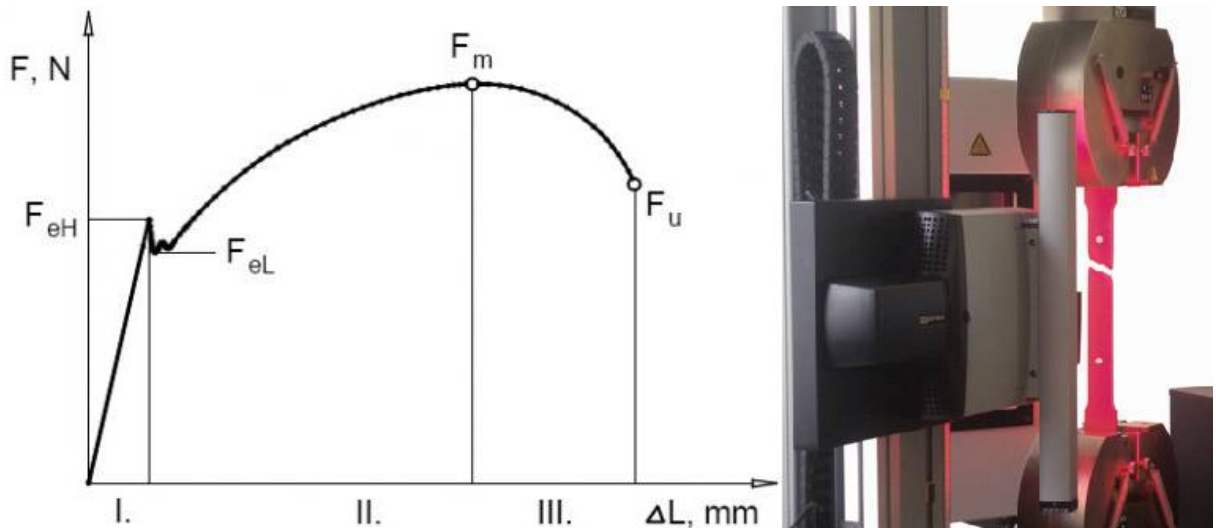
A legáltalánosabb anyagvizsgálati módszer a mechanikai vizsgálatok, céljuk az anyagoknak azon tulajdonságait vizsgálni, amelyekkel az egyes igénybevételek elviseléséhez kell rendelkezniük.

### 2.3.1. SZILÁRDSÁGI VIZSGÁLATOK

Szilárdság alatt azt az ellenállást értjük, amelyet az anyag a reá ható igénybevétellel szemben fejt ki.

Szakító vizsgálat alatt a szabványosított próbatestet szakadásig terheljük szakító-gépben, és a vizsgálat során fellépő terhelőerőt, valamint a próbatest megnyúlását

mérjük. A nyomó vizsgálatot csapágyfémek, kerámia anyagok, építőanyagok esetében használjuk. A hajlító vizsgálat során, a próbatest támaszokon nyugszik, a terhelőerő a próbatest közepére hat. Fokozatosan növelve terhelése a próbatest behajlását mérjük a törés, vagy a maradó alakváltozásig. Még használunk nyíró és csavaró vizsgálatokat például huzalok vizsgálatára.



1. ábra Szakító vizsgálat, és a tipikus acél szakítási vizsgálat eredményeként kapott görbe



2. ábra hajlítás és csavarás mérése. Ezt a charpy kalapácsot Anyagismeret BSc-s tárgyon kipróbáltam.

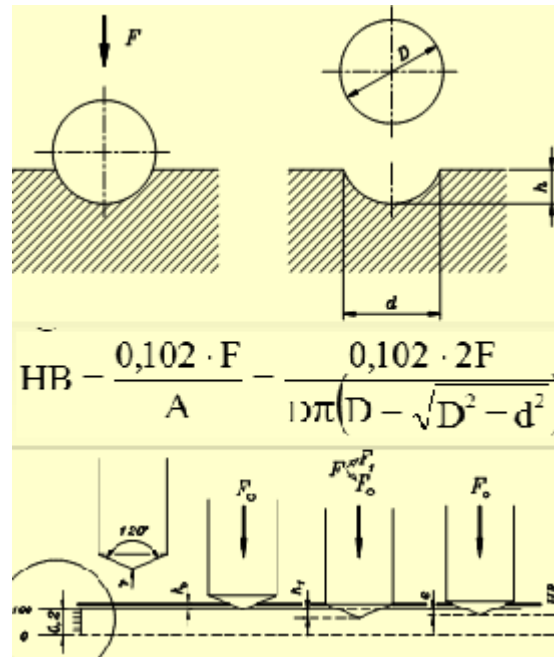
A szilárdsági vizsgálatok közül dinamikus vizsgálatoknak nevezzük az ütve hajlító vizsgálatokat. Mivel az alkatrészek a szakítószilárdságnál kisebb feszültség hatására is képesek elszakadni, ezért sokszor ismétlődő deinemikus igénybevételre is vizsgálni kell a próbadarabot. Azt a terhelést vizsgáljuk, amelynél már végtelen számú igénybevételt is kibír a vizsgált minta.

### 2.3.2. KEMÉNYSÉGMÉRÉS

A keménységmérési eljárások lényege, hogy gyorsan, egyszerűen minősítjük a mintadarab szilárdsági jellemzőit, nagy előnye, hogy a mérést a minta tönkrementele nélkül közel roncsolás mentesen el lehet végezni.



A dinamikus keménység mérések közé tartozik a Brinell-, Vickers-, Rockvel- és a Poldi-féle keménység mérési módszerek. Bár alapjaiban nem térnek el egymástól, csak a szúrószerszám alakja vagy szúró felület miatt. A szúrómintából, a terhelőerőből és a lenyomat méretéből következtethetünk a keménységre.

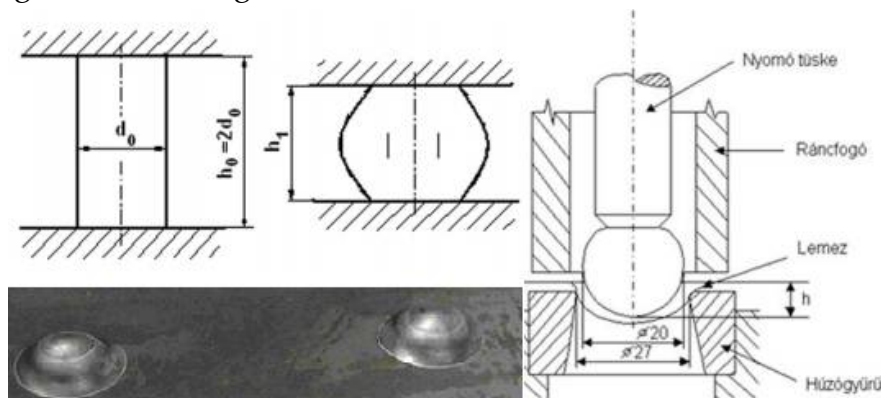


3. ábra A Brinell keménység mérés és az alsó képrész pedig a Rockvel keménység mérés

A keménység és a rugalmasság közötti egyenes arányosságot feltételezve az ejtőkalapács rugalmas visszapattanásán alapuló keménység mérés is létezik (Shore).

### 2.3.3. ALAKÍTHATÓSÁGI VIZSGÁLATOK

Az alakíthatósági vizsgálatok lényege: az alakítható vagy képlékeny anyag a külső-mechanikai erők hatására kapott alakját az erők megszűnése után is megtartja. Zömítő vizsgálatok során a repedéseket vizsgáljuk, mélyhúzó vizsgálatkor pedig a lemez alkatrészek megmunkálhatóságát ellenőrizzük.



4. ábra Zömítés, mélyhúzó (Ericson-) vizsgálat

Az alakíthatósági vizsgálatok közé tartozik még a csészehúzhatósági, csőtágító és hajlító vizsgálatoknak egy része.

A roncsolásos anyagvizsgálaton belüli a gyárthatósági vizsgálatokon belül megkülönböztetjük a kovácsolhatósági, forgácsolhatósági, hegeszthetőségi, önthetőségi vizsgálatokat és edzhetőségi vizsgálati módszereket.

A metalográfiai vizsgálatoknak célja az egyes anyagok szövet-, kristály- vagy szemcseszerkezetének vizsgálata. A vizsgálandó anyagból kisméretű próbatesteket munkálunk ki, amelyeket csiszolás, polírozás, maratás után mikroszkóp alatt vizsgálunk. Kis nagyításnál fázishatárokat, míg nagynál szemcséket, szerkezeti elemeket közvetlenül láthatunk.

#### 2.4. Roncsolás mentes anyagvizsgálati módszerek[13], [14], [19]

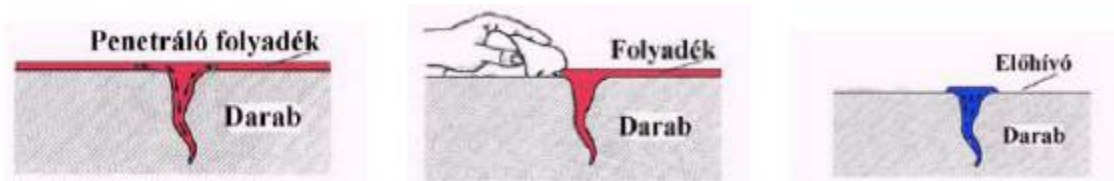
A roncsolásmentes vizsgálat lényege, hogy a hibák feltárása oly módon történik, hogy a mintadarab törése vagy meghibásodása nem fordul elő.

Csoportosításuk:

- Külső felületi hibák feltárásának módszerei lehetnek:
  - o Szemrevételezés,
  - o Folyadékpenetrációs vizsgálati módszer,
  - o Mágneses és örvényáramos repedésvizsgálat,
  - o Tömörségi vizsgálat
- Belső hibák, eltérések kimutatására alkalmas eljárások:
  - o Ultrahangos vizsgálat.
  - o Átvilágítás, röntgen vagy gamma sugárral, (egy ilyen mérőgépet terveztem és építettem meg a diploma munkám során.)

A festékpenetrációs vizsgálat során az előre letisztított vizsgálandó felületre jól látható folyadékot juttatunk. Miután a folyadék a repedésekbe is behatolt, a folyadékot eltávolítjuk a felületről, ezután az úgynevezett „előhívó” anyag a repedésekben maradt festéket szívja vissza, így mutatva meg a repedések helyét és méretét.

A kimutatható legkisebb repedés körülbelül 5 µm szélességű és 10 µm mélységű. A módszer érzékenysége függ a nedvesítés mértékétől, a repedés geometriájától, a felület tisztaságától, a vizsgáló személy szubjektivitásától, éberségétől, kompetenciájától és még sok más dologtól is.



5. ábra Penetrációs vizsgálat [12]

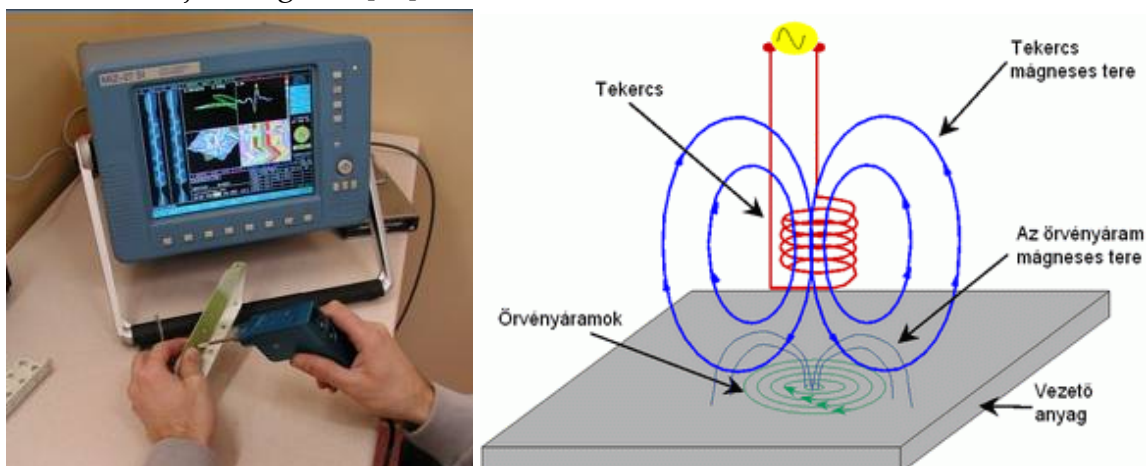
A mágneses repedés vizsgálat során a mágneses erővonalak irányát a vizsgálandó anyagban található eltérő anyagú és mágneses permeabilitású részek eltérítik. Ezen

erővonalak láthatóvá tétele révén a hiba helye meghatározhatóvá válik. Olyan hibákat jelez csak ki, aminek hossza legalább háromszorosa a szélességének.



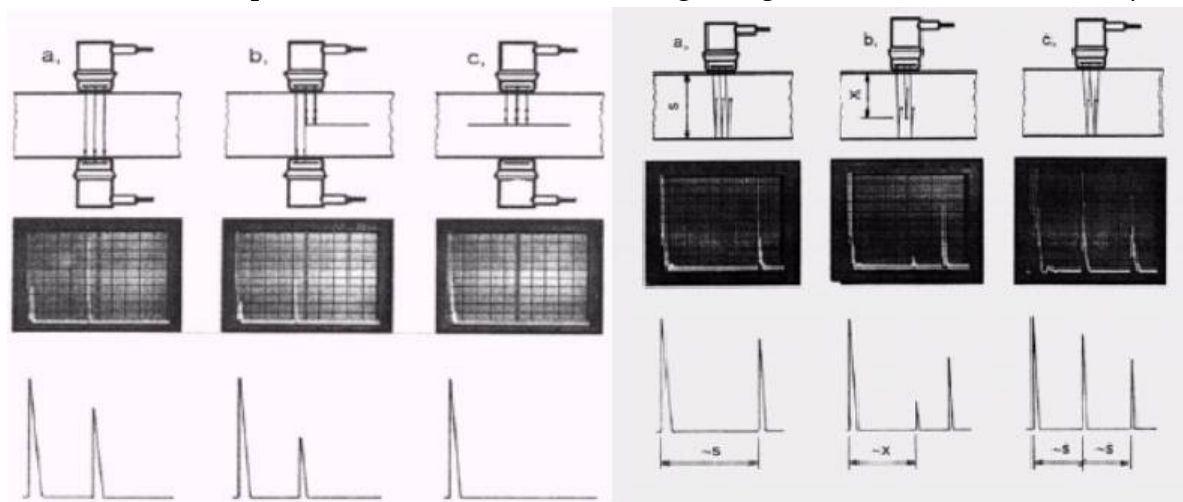
6. ábra Mágneses repedés vizsgálat, és a megjelenített repedés

Az örvényáramos vizsgálat az elektromágneses indukción alapszik. Egy váltakozó árammal táplált tekercs mágneses tere a mintadarabban (amelynek elektromosan vezetőnek kell lenni, általában fémben) örvényáramokat indukál. Ezek az örvényáramok szintén gerjesztenek egy szekunder mágneses teret, amely a tekercs primer terével ellentétes, és arra szuperponálódik. Az örvényáramok visszahatásaként ugyanis megváltozik a gerjesztő tekercsben folyó áram nagysága és a gerjesztő jelgenerátor feszültségéhez képesti fázishelyzete. A változás érzékelésére több megoldás létezik, a legáltalánosabb az ún. impedancia (fázis) diagramok kiértékelése. A mintadarabban létrejövő örvényáramokat és az általuk létrehozott szekunder mágneses teret - egy adott primer tér mellett - a vizsgálati darab elektromos vezetőképessége, mágneses permeabilitása, geometriai adatai, anyaghibái és az alkalmazott frekvencia határozza meg. Az elektromos és mágneses tulajdonságokat viszont befolyásolja az anyag összetétele, keménysége, hő kezeltiségi állapota, így e jellemzők detektálása a módszerrel is elvégezhető. Az említett két mágneses erőter által keltett eredőerőteret érzékelni, illetve mérni lehet, és ennek változásaiból következtetni lehet az anyag hibáira vagy a mintadarab tulajdonságaira. [19]



7. ábra Örvényáramos vizsgálat

A belső hibák észlelésére használt legelterjedtebb, relatíve olcsó vizsgálati eljárás az ultrahangos vizsgálat. Az ultrahangos vizsgálat során az ultrahang azon tulajdonságát használjuk fel, hogy az különböző közegekben eltérő sebességgel halad és a más-más akusztikai sűrűségű anyag határához érve a hangnyaláb elhajlik, illetve visszaverődik. Ilyen eltérő akusztikai tulajdonságú anyag lehet a hegesztési varratban található esetleges zárvány (gáz vagy salak), illetve repedés. A hibátlan alkatrészek esetében csak a mintatest határfelületéről verődik vissza az ultrahang, amennyiben mégis tartalmaz hibás részeket is az alkatrész, úgy a hiba felületéről is tapasztalhatunk visszaverődést. Az ultrahang generátor és szenzor ugyanazon a vizsgáló fejen van, vagy pedig különbözőn, de akkor figyelni kell, hogy a szenzor mindig párhuzamosan legyen a hang generátorral, ezt impulzus visszaverődéses és hang átsugárzásos technikáknak hívjuk.



8. ábra Impulzus visszaverődéses és hang átsugárzásos ultrahangos vizsgálati technikák

#### 2.4.1. RÖNTGENRADIOGRÁFIA [20] [21] [22]

Az anyag belső szerkezetének, inhomogenitásainak vizsgálatára alkalmas roncsolásmentes hibakereső anyagvizsgálati módszere. Anyagszerkezeti vizsgálatok szempontjából az egyik legfontosabb vizsgálati forma. Ehhez hasonló funkcionalitásában a neutron sugaras anyagszerkezeti vizsgálati módszer, de a röntgensugaras sokkal elterjedtebb, hisz egy röntgengenerátor (kiviteltől függően) könnyen szállítható.

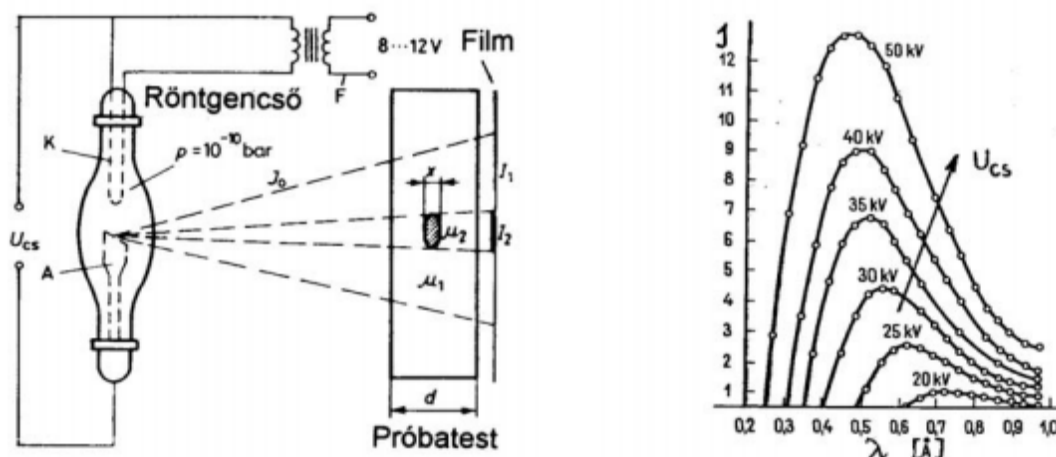
A vizsgálat alapja, hogy a röntgensugárzás intenzitása a vizsgált mintán áthaladva az átsugárzott anyagvastagságtól függően változik. A vizsgálat során kimutatható az eredmények alapja, hogy a sugárzás intenzitása levegővel, gázzal vagy nem fémes zárványokkal telt üregeken át kevésbé csökken, mint a tömör anyagban. Ezt az intenzitás különbséget detektáljuk. Jó közelítéssel megállapítható, hogy minél sűrűbb egy anyag, annál több röntgensugárzást nyel el. A vizsgált mintáról származó apriori ismereteink alapján kell megválasztani az exponálás idejét és a vizsgált minta vastagságát is. A röntgen radiográfiás vizsgálatokra megfelel a réz, acél és az alumínium is.

A mérési elrendezéstől függően radiográfiát, radioszkópiát és radiometriát különböztetünk meg.

- Radiográfia: A legelterjedtebb eljárás az iparban. A tárgy belső hibáit a sugárzás fotokémiai hatását használva készít felvételt fényérzékeny filmre.
- Radioszkópia: Az anyag belső képét egy fluoreszkáló ernyőn jeleníti meg, és így közvetlenül szemmel érzékelhető. Ezt a módszert könnyűfémek és kisebb falvastagságú acélok vizsgálatára használják. A vizsgálatról közvetlenül dokumentálható kép nem készül, ezért kevés helyen alkalmazzák.
- Radiometria: Ennél a módszernél a röntgen sugárzás intenzitás változását sugárzásmérő készülékkel (pl. Geiger-Müller-féle csővel) mérik úgy, hogy a vizsgálandó anyag felületét pontról-pontra letapogatják a sugárzásmérő érzékelőjével. Bár ezt a módszert ipari gyakorlatban ritkán alkalmazzák, de a Geiger-Müller cső érzékenységeiből adódóan lehetne használni a mintán átsugárzott béta- és gamma sugarak detektálására is.

Röntgensugárzás akkor keletkezik, ha nagy sebességgel a katódtól az anód felé haladó elektronok szilárd testbe, azaz a katódba ütköznek. A nagy sebesség alatt kb. a fénysebesség felét értem. Az elektron a kinetikus energiáját a katód részecskéinek adja át, akik röntgen fotonok formájában sugározzák ki.

- Ha a beeső elektronok az atomok belső elektronhéjain lévő elektronokkal ütköznek (nagy energia szükséges hozzá), karakterisztikus röntgensugárzást hoznak létre úgy, hogy az atomot ionizálja. A „kiütött” elektron hiánya az atomban „elektronlyuk”-ot eredményez, mely az atomot instabillá teszi, és ebbe az elektronlyukba egy másik elektron ugrik a magasabbik energiaszinten lévőek közül. Majd a „leugrott” elektron helyét egy újabb „leugró” elektron tölti ki. Ez a folyamat röntgen foton kibocsátással jár, mely foton energiája a két elektronhéj kötési energiájának különbségével megegyezik.
- Ha a beeső elektronok az atommaggal ütköznek, akkor fékezési röntgensugár jön létre, ami kisenergiájú, bár spektruma széles, mégse használjuk őket anyagszerkezeti vizsgálatokra.
- És ha a beeső elektronok a belső elektronok külső elektron héjain található elektronokkal ütköznek, akkor infravörös sugárzás keletkezik, azaz melegíti a vizsgált mintát, ez történik az elektronok 99%-val.



9. ábra Röntgen radiográfiai mérési elrendezés, és a karakterisztikus röntgensugárzás kibocsájtási spektrum

Az általam tervezett röntgenradiográfias berendezésben a röntgensugarak a radioszkópiához a hasonlóan röntgenfluoreszens felület fényét vizsgálják. A mintán áthaladva a röntgensugárzás az anyagvastagsággal csökken, a gázzal kitöltött zárványokban kevésbé csökken. A kisebb mértékben gyengített sugárzás természetesen a röntgenérzékeny ernyőn fényesebb pontokat fog eredményezni, ebből következtethetünk a belső anyaghiba alakjára és körülbelüli nagyságára is. Fénykép készítéskor arra kell törekednünk, hogy minél kontrasztosabb legyen a kép, lágyabb megvilágításnál, hosszabb expozícióval kontrasztosabb kép készíthető, mint kemény megvilágítás mellett röviden exponált a kép.

A kimutatható hibaméret ellenőrzésére műanyag tokba ágyazott huzalsorozatot szoktak alkalmazni. Az így készített felvételen a legkisebb látszódó vonalvastagság kétszeresével osztva az egyet megkapjuk a felbontást vonalpár/mm-ben.

#### 2.4.2. NEUTRONRADIOGRÁFIA [23], [24], [25], [26],[27], [28], [30]

A neutronradiográfia egyszerűen megfogalmazva: fényképkészítés neutronnal exponált tárgyról. A neutronsugárzással is hasonló mérési elrendezések alakíthatók ki, mint a röntgensugárzásnál, a mérési elv is hasonló, de abban eltér, hogy a neutron nem elnyelődik, hanem szóródik a különböző atommagokon, elnyelődés leginkább a hidrogénben – ebből adódóan a vízben valósul meg. Belátható, habár mérési elvük azonos, teljesen más anyagú mintákat érdemes vizsgálni velük, míg az acélon könnyen áthalad, a műanyag, az olaj és a víz megállítja. Ha a minta mögött a neutront vizsgáljuk egy adott detektálási módon, akkor a szórás eloszlásából lehet következtetni a minta tulajdonságaira: az izotóp-összetételére, a kristályszerkezet bizonyos jellegzetességeire, esetleg kristályhibákra és a repedésekre is. A neutron radiográfiai mérésekkel kimutathatóak például a szerkezetbe bekerült víz és annak eloszlása, a ragasztás, a korrózió megjelenése és annak helye.



A neutron semleges töltésének az oka, hogy könnyen áthatol a legtöbb anyagon. Ezért a neutronsugárzás árnyékolására nem alkalmas a radioaktív alfa-, béta- és gamma- (ill. röntgen-) sugarakat hatékonyan elnyelő ólomlemez. Ezért volt szükség a bóros vizes tartályokra és parafin téglákra a neutron csarnok mérő szobájának egyik falrétegeként. A neutron árnyékolás lényege, hogy a gyors neutronokat lassítja, majd a lassúkat elnyeli. A lassítás azon alapul, hogy egy ütközéskor az átadott energia annál nagyobb, minél inkább azonos a két ütköző test tömege, ezért minél kisebb egy atom, annál jobban lassítja a neutron sugárzást.

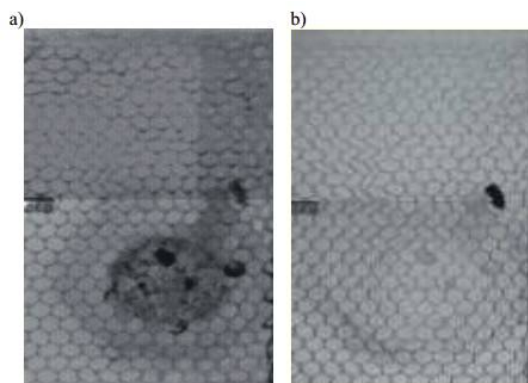
Elvileg bármely neutronnal rendelkező atommag alkalmas neutronok leadására, csak ehhez akkora energiát kell közölni az atommaggal, mint amekkora a neutron kötési energiája. Az energiaközlés sokféleképpen történhet: alfa-részecskékkel, protonokkal, gamma-sugárzással való bombázással vagy hasadási folyamat révén. Neutronforrásként olyan anyagot célszerű választani, amelyben a neutronok kötési energiája alacsony. Ilyen lehet a deutérium (D) és a berillium. A Budapesti Kutatóreaktor neutron csarnokában a neutronok közvetlenül a reaktor falán szabályozható fókuszáló nyíláson keresztül jönnek ki, emellett a kiáramló gammasugárzás elnyelődése során is neutronsugárzás indukálódik.

Megkülönböztetünk:

- gyorsneutronokat, melyek detektálására leginkább alkalmas eszközök: a szerves kristály-, plasztik-, folyadékszintillátorok. Ezekben a szintillátorokban sok hidrogén (proton) található. A gyorsneutronok a protonokkal való rugalmas ütközés során a protonoknak energiát adnak át. Ezek a meglökött protonok a szintillátorban fényvillanásokat idéznek elő.
- és lassúneutronokat, melyek detektálása magreakciók segítségével történik, melyek során nagy energiájú töltött részecske keletkezik. Detektorként bór-, lítium tartalmú szintillátorokat alkalmaznak.

A radiográfiai méréseket az egyedi, pótolhatatlan minták, objektumok vizsgálatára szokták gyakran használni. Habár rengeteg hasznos információt nyújt a műtárgyakról, néha csak más vizsgálatokkal együtt ad kielégítő eredményt.

Megjegyzem, hogy a röntgen- és neutronsugarak a vizsgált mintán belül nem csak elnyelődnek, hanem szóródnak is, ez okozza mérési bizonytalanságot.



10. ábra a, neutronradiográfiával és b, röntgenradiográfiával készített képek

## 2.5. Vidikonos kamera [1] [2] [3]

A vidikonos kamera alatt egy olyan elektronikus kamerát értek, ahol fotó effektuson alapuló képfelvevő vidikoncsöveket alkalmaznak. A vidikoncső egy speciális fajtája az elektroncsövek népes családjának. Az optikai képet egy olyan felületre vetíti, amely fény hatására ellenállását változtatja. A felületre felpárolgatott antimon-trioxid félvezető réteg, csak azokon a helyeken válik vezetővé, ahol kellő megvilágítás érte. Ez a felület optikailag átlátszó, és a hordozó lemez is átlátszó. A lemez másik oldalán egy, a megvilágítással helyileg arányosan változó vezetőképességű 'fotokonduktív' réteg van. A katód felőli oldalon a megvilágítás erősségének megfelelő elektronhiány, vagyis pozitív felhalmozódás jön létre, amelyet a letapogató elektronsugár a kép minden végigpásztázásakor újra negatív potenciálra tölt fel.

Színes képek létrehozását úgy valósítják meg, hogy a beérkező fénysugarakat három alapszínre osztják szét optikai felületekkel, és minden alapszínhez egy külön képfelvevő cső tartozik vagy a fotoemissziós réteg. Léteznek színérzékeny fotokonduktív rétegek is.

Az első képfelvevő csövet Philo Tayler Farnsworth építette az 1920-as évek közepén. Az Image Dissector cső névet adta neki. Ez a cső igen érzéketlen volt, így hatalmas megvilágítást igényelt, csak diafilm és film átírására használták egy ideig. Érdekessége, hogy hidegkatódos cső volt.

A televíziózás számára is használható képfelvevő csővel először az amerikai RCA állt elő (RCA1848), ami az úgynevezett Ikonoszkóp volt. Az ikonoszkóp elméleti alapját Tihanyi Kálmán 1926-ban szabadalmaztatott rádiószkóp találmánya adta. Az ikonoszkóp fejlesztése és hatásfokának növelése volt a piaci trend évtizedeken át. Foglalkozott vele Lubszinsky és Rodda, majd pedig Harley A. Iams and Alberts Rose, munkájuknak a gyümölcse az Image Orthicon - RCA 5820 lett. Ezt a csövet használták fel az első televíziós adás beindulásakor. Az orthikon még a professzionális felhasználás számára is drágának bizonyult. 1950-ben megjelent a vidikon, és mindenütt teret hódít olcsó ára és relatíve magas tudása miatt.

Az első színes kép felvételére képes képfelvevőcső az RCA 6474 volt. Az RCA Vidicon fotó rétege Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, míg a Plumbikon (Philips) PbO (PbO-S), a Saticon (Hitachi, Thomson, Sony) SeAsTe, és a Newicon - X-Con (Teltron, Matsushita) ZnSe-ZnC anyagot használt.

A vidikonos és elektronikus kamerák végét a 1970-es évek jelentették, amikor megjelentek a félvezető alapú (CCD-s) képfelvevő kamerák. Ám professzionális felhasználásban még alkalmazzák ezeket a vidikonos kamerákat. A képfelvevőcsövek fejlesztése nem állt le napjainkban sem, mert számos orvosi, ipari alkalmazás, illetve űrkutatói feladat képfelvevőcsöves megoldásokat használ.



### 2.5.1. VIDIKON FEJLESZTÉS ÉS GYÁRTÁS MAGYARORSZÁGON.

Az 1960-as évek elején a Dr. W Heimann professzorral történt tárgyalások során az ő vidikon gyárának ismereteihez és terméklicenciáihoz jutott hozzá hazánk. A gyártás előkészítését a TKI szakembereivel az ME-osztály mérnökei végezték. Az üzem a Tungstam leányvállalataként a főüzem közelében, az Irányi Dániel utcában épült fel. Az üzem vezetését a fotocellagyártás szakértőjére, Hédi Viktorra bízták.

Ebben a részlegben üzemelt párhuzamosan a GM-csőgyártás is. A vidikon gyártáshoz nagytisztaságú szobákat kellett felépíteni, és minden tekintetben az akkori legmagasabb szintű technológiát kellett megvalósítani.

A termelés 1961-ben indult el. A gyártott PCT254 vidikon minősége megfelelt az elvárásoknak. 1965-ben a kereslet hiánya miatt leállt a gyártás. A megszerzett tapasztalatok és ismeretek alapján a TKI szakemberei, Barla Endre vezetésével a PCT254 korszerűbb változatát készítették el, emellett kifejlesztették az akkor titkosan kezelt IT02 sötétbenlátáshoz használható úgynevezett nuctovisort is.

A Heimann cég 1976-ban 40000 db-os vidikon gyártás céljával felkereste a Tungstamot. Sajnos a számos tanulmány és beadvány elkészülte ellenére sem sikerült újraindítani a gyártást.

### 2.5.2. A PCT254-ES TUNGSTAM GYÁRTMÁNYÚ VIDIKON ADATAI:

Fűtő feszültség: 6,3V

Fűtőáram: 0,3A

$g_1$  zárófeszültség: -30 -125V

$g^2$  feszültség: 300V

$g^3$ , anód feszültség: 300V

Jellemező fesz.:0 – 125V

Kioltó feszültség a  $g_1$ -en: -40Vpp

Kioltó feszültség a katódon: 15Vpp

Jeláram, ha a megvilágítás 30 lux a  
fényérzékenyretegen: 0,15 ... 0,25 $\mu$ A

Fókuszáló mágneserő erőssége a tekercs  
középpontjában: 35 – 40G.



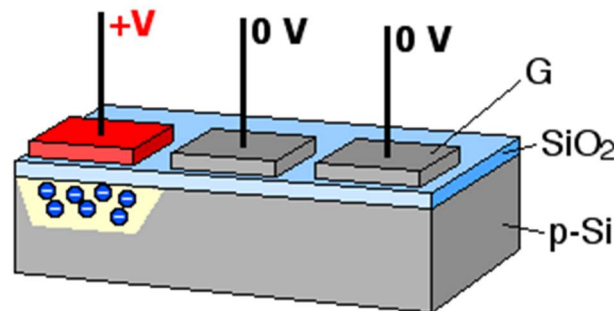
11. ábra Napjainkban is kapható vidikon cső

## 2.6. Andor kamera

### 2.6.1. DIGITÁLIS KAMERÁKRÓL ÁLTALÁNOSAN [6] [7]

A CCD kamerák működésének alapelvét már 1970 táján kifejlesztették a Bell Laboratóriumokban. Olyan lapkát készítettek, amely ún. MOS (Metal Oxide Semiconductor, Fém-Oxid Félvezető) alapú kondenzátorokat használtak föl analóg jelek tárolására diszkrétterület egységeken analóg töltés csomagok formájában. Ezeket egy kiolvasó áramkörrel összekötve A/D transzformáció után memóriaegységen tárolva a jel adatot, egy digitális fényképezőgépet kapunk. Természetesen ehhez szükség van még szoftveres és perifériás egységekre is.

A MOS tároló egységek három alapvető részből állnak: szennyezett félvezető alapréteg, szigetelő zóna (általában szilícium-dioxid), elektróda.



12. ábra MOS egység

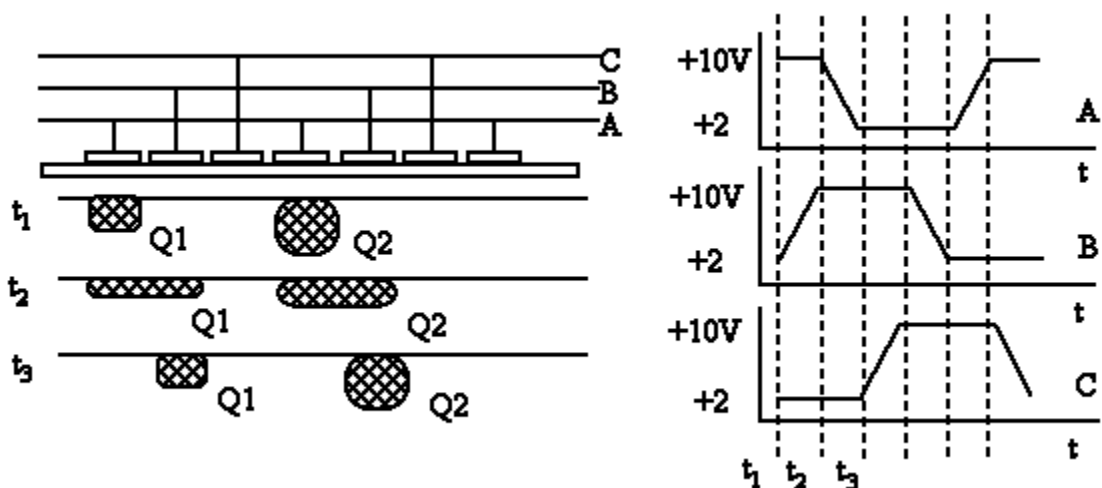
A szilícium alapréteg vezetési tulajdonságát a tiszta Si kristály szennyezésével lehet befolyásolni. Ha a négy vegyértékelektronnal rendelkező szilícium közé három vegyérték elektronnal rendelkező atomokat juttatunk, akkor ezek kapcsolódáskor csak három kovalens kötést tudnak kialakítani, ekkor egy szabadon marad, mellette a környezethez képest "pozitív töltésű lyuk" jelenik meg. Ezt nevezzük P-típusú pozitívan szennyezett kristálynak. Ha nem három, hanem öt külső elektronnal rendelkező atomokkal szennyezzük a kristályt (pl. arzén), akkor kialakul mind a négy teljes értékű kötés, de marad egy szabad, "fölösleges" elektron. Ezt nevezzük N-típusú negatívan szennyezett kristálynak.

A pozitív lyuk kiürülési régióknak nevezzük, azt a jelenséget, amikor egy P-típusú egység elektródájára pozitív feszültséget kapcsolunk, ekkor a félvezető rétegben a Si-SiO2 határréteg közeléből eltávolodnak a pozitív lyukak az elektródára kapcsolt pozitív feszültség taszítása miatt. A kristály kovalens kötésben lévő elektronjai ugyanis szabaddá válhatnak az egymással való ütközéseik közben szerzett plusz energiával. (Ez természetesen nagyobb hőmérsékleten valószínűbb, hisz akkor több ütközés zajlik le.) Ilyenkor elektron-lyuk párok keletkeznek, amelyek szétválasztódnak az elektromos mező hatására, s az elektronok fölgyülemlelenek közvetlen az elektróda "alatt", az ún. inverziós rétegben. Ez előbb-utóbb egy egyensúlyi állapotot eredményez. Az ezt

kialakító effektust sötétáramnak nevezünk. A kiegyenlítődési idő erősen függ a hőmérséklettől és a félvezető anyagi minőségétől.

A kamerákba beérkező fotonok hatására szakadnak fel a kötések a kristályban, ez a fotóeffektus hatás, amely a fény mennyiségével arányos nagyságú töltés felhalmozódást eredményez az inverziós rétegben. Az összegyűlt töltés nagyságát megmérve következtethetünk a beérkezett fény mennyiségére. Azonban a mérés csak akkor lesz pontos, ha a megvilágítás ideje alatt, azaz az integrációs idő alatt - ami a hagyományos fényképezési technika terminológiájában az expozíciós időnek felel meg - a töltéscsomaghoz hozzáadódó sötétáram-elektronok száma elhanyagolható.

Az integráció alatt összegyűlt töltés megméréséhez az elektronokat el kell juttatni egy megfelelő kiolvasó-egységhez. Az elektronok rekombinálnak a pozitív lyukakkal, kiolvasásuk a töltéscsatolás elvén valósítható meg. Az egymás mellé helyezett elektródákon, ha megfelelően változtatjuk a rákapcsolt feszültséget, a töltéscsomag mozgathatóvá válik. Három fázisú töltés csatolásnál minden harmadik elektróda van összekötve, ezeken a feszültségeket a 13. ábra szerint változtatva az egyes töltéscsomagok balról jobbra mozognak.



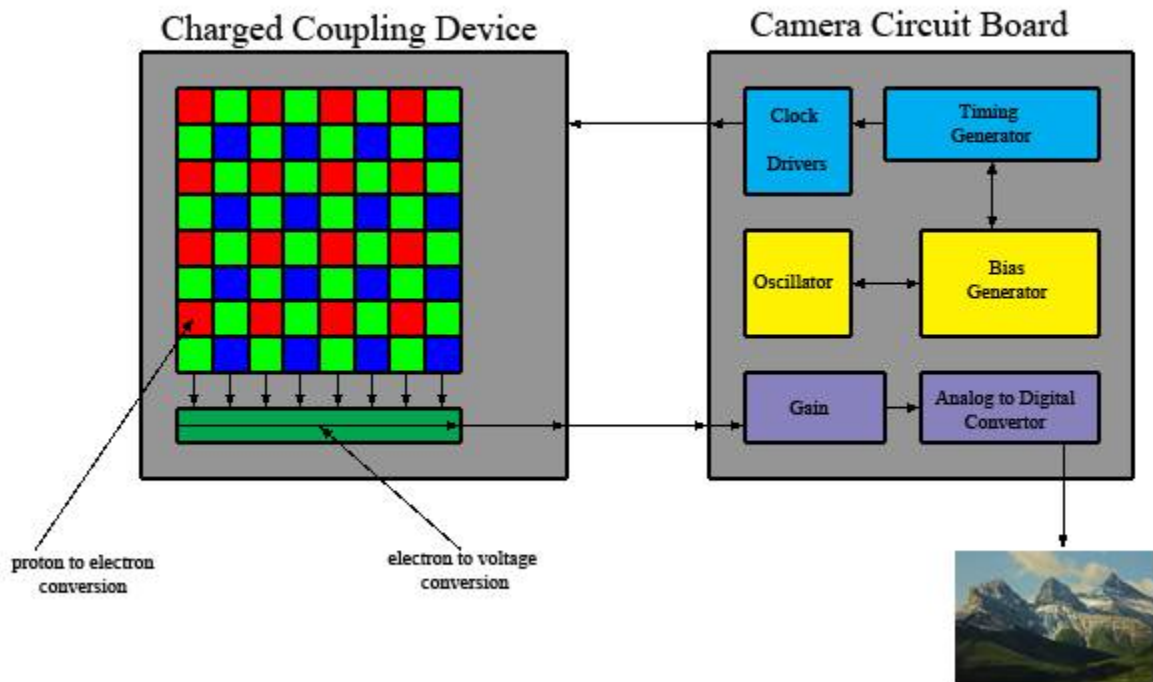
13. ábra Három fázisú töltéscsatolás

A  $t_1$  időpillanatban a töltések csak az A jelű elektródák alatt találhatók, mivel a B és C elektródákon alacsonyabb feszültség van. B-re fokozatosan magasabb feszültséget kapcsolva jutunk el a  $t_2$  időpillanatba, ekkor az elektronokat tartalmazó "potenciálgödör" kiszélesedik, majd A-n csökkentve a feszültséget, ismét csak egy elektródányi területen helyezkednek el a töltések, de ekkor már a B jelű elektróda alatt lesz ( $t_3$ ). Ezt a folyamatot rekurzívan ismételve a töltések elléptethetők a kiolvasó egységig, lépésenként 99.9990 %-os hatásfokkal.

A kiolvasáskor egy nagyon pontos referenciafeszültséggel kalibrált kondenzátorra léptetnek a töltéscsomagok egyesével. A kalibrált kondenzátor kisütése során mért feszültségből levonva a referenciafeszültséget, megkapjuk az analóg jelet, mely arányos

a beérkezett fotonok számával. Az így kapott analóg jelet kvantáljuk, digitális jellé alakítjuk. Ez a digitális jel egy kép egy pixelének tulajdonságát, általánosan fényerejének mértékét adja meg.

© sensorcleaning.com



14. ábra CCD működése

A MOS tárolóegységekből és az azokhoz kapcsolódó töltésléptető elektródákból helyezünk most egymás mellé egy síkra mozaik szerűen több darabot. A kép kiolvasása a fenti ábra szerint történik. Egy léptetés során minden sor eggyel lejjebb lép, a legalsó sor pedig a kiolvasó regiszterbe kerül. Ez egy olyan töltéscsatolt sor, ahol a töltéseket oldalirányban mozgatva az A/D átalakító egységhez jutatnak el.

A kiolvasó regiszter kiürül, jöhet a következő sorléptetés. A közben eltelt idő alatt azonban a még ki nem olvasott sorok továbbra is fényt kapnak, de már nem azon a helyen, ahol az integráció alatt voltak. Ennek elkerülésére vagy mechanikus zárszerkezetet építenek a kamera CCD-je elé, vagy a chipet dupla CCD felülettel készítik el, az egyik érzékelő felületet egy alumínium-maszkkal takarják le, s az integráció végén erre a fénytől védett tárolóra léptetik a töltéseket (frame transfer) egy lépésen át, innen történik meg a töltéscsatolt kiolvasás. A még ki nem olvasott pixelek túlexponálása ezáltal megoldódik, és a képfelvévő sebessége is nő. Ezáltal nő a kamera kihasználtságának foka.

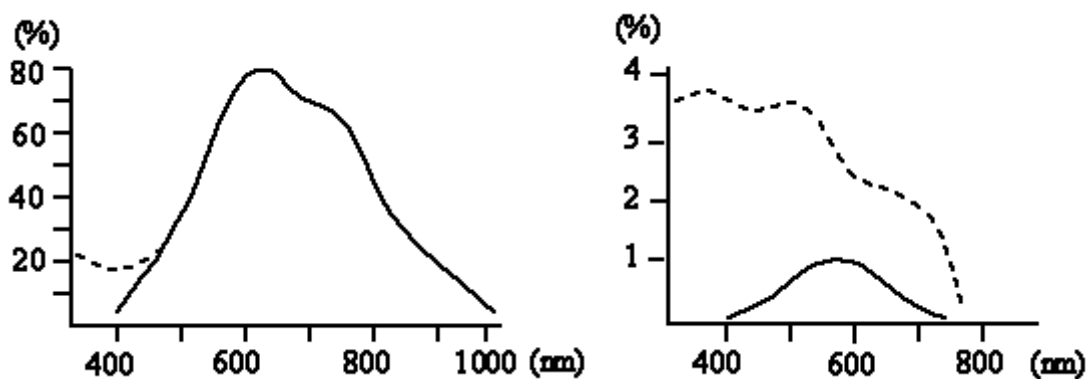
A pixelek alakja és mérete gyártónként eltérő és alkalmazás függő. Általában  $9 \times 9 \mu\text{m}$  és  $30 \times 30 \mu\text{m}$  közötti a pixelek mérete. Az alsó határt a gyártási technológia szabja meg, illetve az, hogy egy adott méretű elem nem képes végtelen sok elektron tárolására,

ezért ha túl kicsire választjuk a pixeleket, azok rövid megvilágítás után telítődnek, eléri a full-well kapacitásuk maximumát, és az elektronok átáramlanak a szomszédos pixelekre.

A mozaik mérete, alakja a pixelek számától és azok nagyságától függ. A mozaik vastagsága attól függ, hogy milyen hullámhossztartományban szeretnénk használni az érzékelőt. A vörös fotonok ugyanis 500 mikrométert is képesek megtenni a félvezető rétegben, azonban a kék fotonok pár mikrométer után elnyelődnek.

Az előlről, az elektródák felől megvilágított (frontside) CCD-k érzékenyebbek a kék tartományban, mivel a rövid hullámhosszú fotonok által keltett elektron-lyuk párok így közvetlen az elektródák közelében keletkeznek. Itt még sokkal erősebb az elektromos tér szétválasztó hatása. Előny ennél a megoldásnál, hogy a Si alapréteg lehet vastag, ami nagyobb mechanikai szilárdságot biztosít, és könnyebben előállítható. Hátrány viszont, hogy a fénynek át kell hatolni az elektródákon és a szigetelő rétegen, így nagy a veszteség. A kvantumhatásfok, ami a detektált és beérkezett fotonok aránya, "csak" 50% körüli csúcértéket ér el.

A hátulról, vagyis a Si alapréteg felől megvilágított (backside) CCD-k viszont inkább vörös-érzékenyek. Az alapréteg néhányszor 10 mikrométeresre vékonyításával bizonyos mértékig kiegyenlíthető a spektrálérzékenység, amit csiszolósos technológiával készítenek. Ezek az elvékonyított érzékelők (thinned CCD) használatakor a beérkező fénynek semmi sem állja útját, 80%-os kvantumhatásfokot is elérhetik a tervezett hullámhosszon.

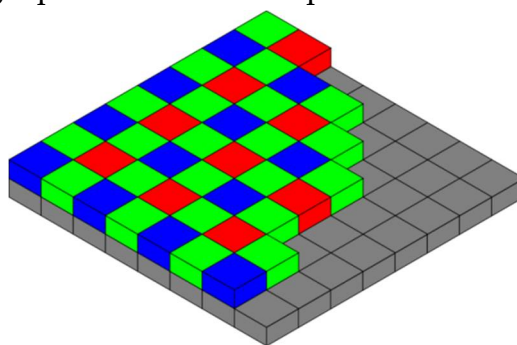


15. ábra CCD-k spektrálérzékenysége, az y tengelyen a kvantumhatásfok %-ban szerepel, míg az x tengelyen a fény hullámhossza. Bal oldalt egy olyan CCD chip látható szaggatott vonallal, melynek az érzékenysége ki van terjesztve a kék tartományba úgy, hogy egy nagyon vékony rétegben olyan anyagot visztek fel az érzékelő felületére, mely a 300 nm-es tartomány környékén elnyel, s az elnyelt fotonokat valahol 500-600 nm környékén sugározza vissza.

A spektrális érzékenység a kvantumhatásfok mértéke a hullámhossz függvényében.

Színszűrőkkel állíthatjuk elő a színes képeket. (Mint a hagyományos fotográfiában, itt sincs különleges, színes érzékelő. A színes film elve, hogy a színes filmek három emulziórétegből álljanak, köztük megfelelő színszűrők legyenek. Így az egyes rétegekben csak a "vörös", "kék", illetve "zöld" képek keletkeznek, természetesen szürke ár-

nyalatokban rögzítve, mindhárom esetben ezüstbromid kristályok által.) Egyes videokamerákban a beérkező fényt optikai elemek segítségével három részre osztják, a képet egy időben három különböző CCD rögzíti. Elterjedten alkalmazott megoldás, amikor egy érzékelőt használnak, azonban ennek csak az egyes pixelei vannak ellátva RGB (red, green, blue - vörös, zöld, kék) szűrőkkel. Egy ilyen chipnek viszont nagyon rossz a felbontása, hisz egy "valódi", négyzetes képpont rögzítésére három egymás melletti, elnyúlt téglalap alakú pixelt kell felhasználni. A Bayer mátrix alapú chipnek 4 pixel ad egyről színes információt. A Bayer mátrix minden páratlan számú sorában kék-zöld pixelek váltakoznak, míg a párosokban a zöld-pirosak.

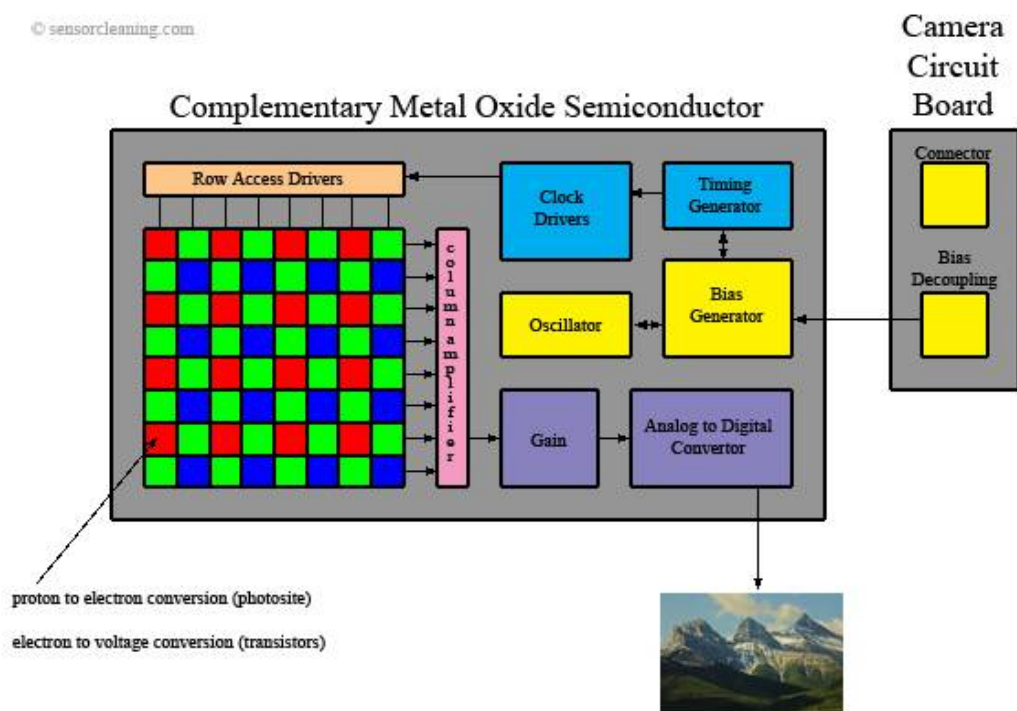


16. ábra Bayer mátrix

A kép feldolgozott mérete chip méretétől és a digitalizálás függ. A képméret egyenlő a CCD chip pixeltartalmának és a digitalizálás során használt kvantálási méretének szorzatával.

Az első digitális fényképezőgép megalkotására 1975-ben kezdtek kísérleteket tenni a Kodak cégnél. A találmány részét képezte egy Super8-as filmfelvevő, 16 darab ceruzaelem, rengeteg analóg és digitális áramkör, plusz, ami számunkra igazán érdekes a CCD detektor. Ezen felül hozzátartozott számos magnókazetta, hiszen az adatokat erre írta rá a gép, egy speciális lejátszó szerkezet, ráadásul egy televízió is, a kép megjelenítéséhez.

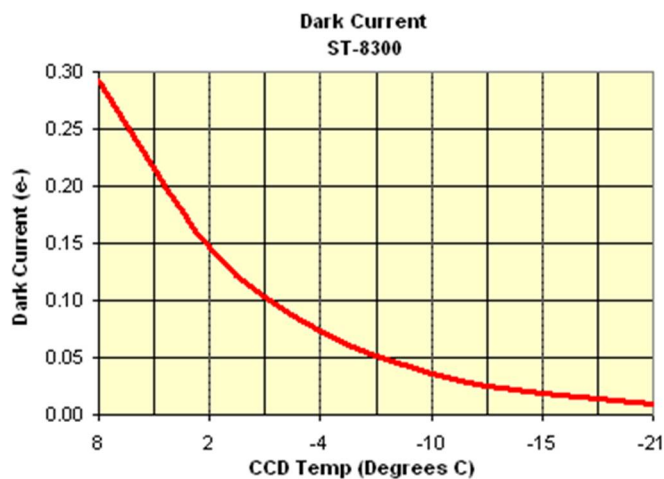
A CCD-k a hétköznapi használatban visszább szorultak, a CMOS chipek vették át a stafétát. A MOS térvezérlésű FET (Field Effect Transistor) tranzisztoroknak a félvezető rétegük szennyezettsége alapján n- és p típusokra osztottuk. CMOS technológiás érzékelők esetében nincs szükség töltéscsatolásra kiolvasáshoz, mivel itt minden képelemhez egy-egy erősítő tartozik, így a töltéseket pixelenként erősítik fel, nem pedig soronként vagy oszloponként. A CMOS detektoron el lehet helyezni az A/D átalakítót, zajszűrőt, kiolvasót, töltés/feszültség átalakítót stb. áramköröket egyaránt. Ezáltal sokkal gyorsabb lesz a chip, csökken a full-well kapacitás, és nő az érzékenysége, sajnos ezáltal a fényintenzitás felbontása is, de ezáltal sötétebb környezetben is jól lehet használni őket, ami a mi szempontunkból nagyon fontos kiválasztási szempont. A CMOS szenzorral szerelt tudományos kamerák is egyre jobban elterjednek, a hatásfokuk lassan megegyezik a CCD-vel.



17. ábra CMOS működési lépései

### 2.6.2. DIGITÁLIS KAMERA ZAJ TÍPUSOK [4] [5]:

Sötét zaj: A sötét zaj (termikus zaj, dark noise) a szenzorban (pontosabban a szilícium-szilíciumdioxid átmeneteknél) a hőtől keletkezett szabad elektronok felhalmozódása a szenzoron. Ez jellegzetes "grízes" zajként jelentkezik a képen. Hűtéssel csökkenthető, és részben kalibrálható. Ezért is terveztünk a diplomamunkám során megépített neutron- és röntgenradiográfiás berendezéshez vízűtést illetve mobilklímát. A sötét zaj mennyiségéről elmondható, hogy az expozíciós idővel lineárisan nő, de a hűtéssel exponenciálisan csökken, ezt szeretnénk a mérés során mi is kapni. A következő egyenlet ad egy közelítést a sötét áram jel/zaj viszonyára.



18. ábra Egy jó minőségű kamera sötétáram karakterisztikája [5]



$$N_{dark} = \sqrt{I_{dark} * t_{int}}$$

Sötétkép-korrekciónak nevezzük, amikor készítünk egy képet, és arról levonjuk az előtte zárt rekesssel készített képet. Formalizálva, a kész kép minden egyes pixelének  $I(x,y)$  intenzitásából levonva a sötétkép megfelelő pixelének  $D(x,y)$  intenzitását kapjuk a korrigált kép pontjainak  $I'(x,y)$  intenzitásértékeit:

$$I'(x,y) = I(x,y) - D(x,y)$$

Mivel a sötétzaj eloszlása véletlenszerű, ezért a nyers kép egy adott pixeléhez az integrálás alatt hozzáadódó sötétáram nagysága mindig más és más, illetve két sötétkép sem lesz egyforma. Így egyetlen sötétkép levonása nem jelenthet teljes korrekciót. Sokkal jobb eredményre jutunk, ha egy olyan képpel korrigálunk, ami több,  $N$  db sötétkép átlagából készült. Vagyis az átlagolt sötétkép egy pixelének intenzitását a:

$$D(x,y) = \frac{\sum_{i=1}^N D_i(x,y)}{N}$$

formula adja.

Kiolvasási zaj: (Bias Noise): Ahhoz, hogy képet alkossunk a szenzor photosite-jaiban tárolt töltésekről, minden egyes photosite töltését meg kell mérni, és a mért értéket digitalizálni kell. Ez a mérés a szenzor kiolvasási folyamatának része. Azonban az eljárás távolról sem tökéletes. Az egyes photosite-ok töltése túlságosan kicsi ahhoz, hogy erősítés nélkül meg lehessen mérni, és ez az erősítés a probléma (zaj) forrása. A kiolvasást végző erősítők valamennyi zajt elengedhetetlenül hozzáadják a photosite által tárolt és általuk felerősített töltéshez.

Foton zaj: A foton zajt a szenzorra érkező fotonok egyenetlen "érkezési ideje" okozza. Ha az egyik photosite elég szerencsés ahhoz, hogy az expozíció idő alatt 100 foton találja el, addig előfordulhat, hogy a mellette lévő, ugyanazon idő alatt csak 80 foton éri el. Ha egy egyenletesen megvilágított felületet fényképezünk, akkor a foton zaj, a szomszédjához viszonyítva rendellenesen sötét pixelek formájában jelentkezik. A foton zaj Poisson eloszlást mutat, azaz meg tudjuk mondani, hogy mennyisége mekkora, de azt nem, hogy hol milyen mennyiségben fordul elő.

$$N_{ph} = \sqrt{n_{e^-}} = \sqrt{PQ_e t_{int}}$$

Megjegyzem még, hogy arányos a full well kapacitással és a megvilágítással is.

Elektronikus zaj: a fényképezőgép elektronikájában fellépő feszültség vagy áramingadozások kiolvasáskor és a digitalizálás előtt az erősítésnél zajt okozhatnak. Ennek a korrigálására az úgynevezett Bias korrekciót alkalmazzák, azaz a minimum szintet eltolják, egy offsetet adnak neki ezáltal.

Véletlen zaj: Zajt okozhat az elektromágneses interferencia, a kozmikus háttérsugárzás és még sok más tényező. A véletlen zaj képről képre más és más. A kozmikus háttérsugárzásból érkező nagyenergiájú részecskék ez eltalált pixelt (fényes pont), pixeleket (fényes sáv) azonnal telítésbe viszik.



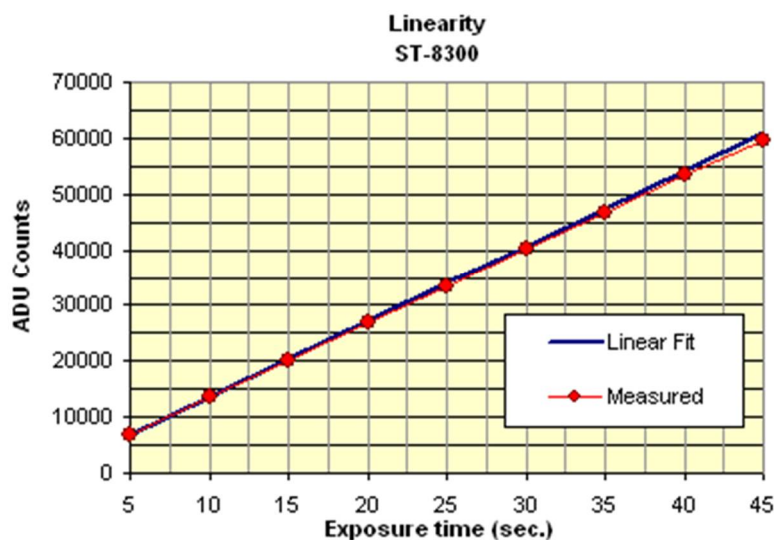
Úgynevezett pszeudo-zajt okozhat az egyes érzékelő felületek eltérő érzékenysége, vagy a szenzorra rakódott por, kosz által okozott árnyék. A CCD pixeleinek különbözőségét az úgynevezett Flat-field korrekcióval oldják meg. Ehhez egy egyenletesen megvilágított felületről kell egy képet készíteni, illetve többet, és ezeket a sötétképhez hasonlóan átlagolni. (Megfelelő célpont lehet a szürkületi ég, vagy egy sűrűn szótt se-lyem egy lámpával megvilágítva, profi esetben egy integráló gömb.) Célszerű nem túl rövid integrációs időt alkalmazni, ugyanis ekkor a pixelek tényleges érzékenysé-  
különbségét kevésbé "nyomja el" a sötétáram véletlenszerű eloszlásából adódó egyenet-  
lenség (utóbbi ugyanis hosszabb idő alatt kiátlagolódik). Fontos továbbá, hogy a leg-  
fényesebb képpontok intenzitása nem lehet nagyobb, mint a dinamikai tartomány,  
azaz ne "égjen be" egyetlen képpont sem. Figyelnünk kell arra is, hogy ha bármi válto-  
zás történt (pl. elmozdítottuk a kamerát, más optikát használunk, megtisztítottuk az  
optikát, stb.), akkor mindig készítsünk új flat-field képeket, amiket felhasználás előtt  
szintén korrigálni kell az azonos körülmények között készült sötétképekkel!

A flat-field képek egy pixelének intenzitását  $F(x,y)$ -al jelölve, a már sötétképpel re-  
dukált kép egy pixelének intenzitását  $I'(x,y)$ -al jelölve a teljesen korrigált kép egy pont-  
jának fényessége:

$$I''(x,y) = \frac{I'(x,y)}{F(x,y)} K$$

,ahol  $K$  a flat-field kép átlagos fényességértéke.

Az expozíciós idő növelésével vizsgálhatjuk a kamera linearitását, azaz az expozí-  
ciós idő növelésével egyenesen arányosan nőnie kell a fényképen a pixel intenzitás  
értékének is, addig, amíg el nem éri a full well kapacitását.



19. ábra Linearitási görbe [5]

### 3. SPECIFIKÁCIÓK

#### 3.1. A diplomamunka téma megtalálása

Diplomamunka témámat az Optika Mérnökiroda Kft. írta ki egy ipari megrendelés alapján. Koncsár Péter kollégám kapcsolatban állt az Optika Mérnökiroda Kft. munkatársaival, náluk volt szakmai gyakorlaton, és szakdolgozatát is náluk valós ipari feladatalapján készítette el. Őt kereste meg először a cég a feladat elkészítésére. A munka volumene miatt indokolt volt ezt a témát 2-3 személynek kiírni és elkészíteni. Én voltam a másik jelölt, aki jelentkezett a feladat elkészítésére.

Megkapva a munkát lehetségessé vált számomra, hogy elkészítsem a diplomamunkámat. A tervezés során folyamatosan együtt dolgoztam Koncsár Péterrel, a cég többi munkatársa tapasztalattal segített minket. A munka, a gyártás fázisában az Optika Mérnökiroda gépein, a cég alkalmazottainak segítségével történt. Mi magunk munkáltuk meg a megtervezett alkatrészeket. Több beszállító is készített számunkra eszközhiányában nehezen vagy hosszadalmasan elkészíthető alkatrészeket.

#### 3.2. A diplomamunka háttere

A Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Központja (későbbiekben röviden „megrendelő”) rendelete meg az OPTIKA Mérnökiroda Fejlesztő és Gyártó Kft.-től azt a mérő berendezést, amit a diplomamunkám során megterveztem Koncsár Péter kollégámmal, majd pedig megépítettük.

Az MTA Infrastruktúra pályázat keretében egy új, ImageFrame nevű radiográfiai és tomográfiai mérésekre alkalmas mérőberendezés fejlesztését tűzte ki célul az MTA EK csapata. A mérőműszer mechanikai tervezésére, összeszerelésére, szállítására és üzembe helyezésére az OPTIKA Mérnökiroda Fejlesztő és Gyártó Kft.-vel kötöttek szerződést. A diplomamunka keretein belül ennek a berendezésnek a tervezésében, gyártásában és üzembehelyezésében vettem részt.

##### 3.2.1. MTA EK – A MEGRENDELŐ

A Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpontja 2012 januárjában jött létre két korábbi kutatóintézet, az MTA Izotópkutató Intézet és az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet alapjain. A kutatóközpont a Magyar Tudományos Akadémia kutatóhálózatának része.

Az MTA KFKI AEKI tevékenysége az 1950-es években kezdődött, a Központi Fizikai Kutatóintézet (KFKI) keretei között. Az intézet 1992. január elsejétől lett önálló, fő tevékenysége alap és alkalmazott kutatás végzése az atomenergia területén. Az ötvenes-től a nyolcvanas évekig számos kritikus rendszeren folytak reaktorfizikai kísérletek. A

ma is folyó termohidraulikai kísérletek a hetvenes években kezdődtek egy VVER erőművet modellező hurkon.

Az AEKI közel kétszáz kutatót, segéderőt és más alkalmazottat foglalkoztatott, ebből kb. 100 fő kutató. Az AEKI legfontosabb kutatási területei a reaktor fizika, termohidraulika, fűtőelem viselkedés, anyagtudomány, informatika bázisú tevékenység (szimulátorok építése, reaktor zóna, adatgyűjtők fejlesztése stb.), sugár- és környezetvédelem, nukleáris elektronika és kémia.

Az AEKI fő konzulense a Paksi Atomerőmű Zrt-nek. Fontos szerepe volt és van az atomerőmű élettartam hosszabbításában, teljesítménynövelésében, az új csarnokok létrehozásában és a biztonságnövelő intézkedések kidolgozásában.

Az Intézet tevékenységének fő irányai:

az atomerőművek hatásfokának és biztonságának a növelése,  
az élettartam hosszabbítás

és a negyedik generációs atomerőművek fejlesztésére létrejött nemzetközi együttműködésekben való részvétel. Az Intézet prioritásai közé tartozott a kísérleti tevékenység.

Jelenleg az MTA EK egyik legfontosabb feladata, hogy a szovjet gyártmányú és 1959 óta működő Budapesti Kutatóreaktort (BKR) üzemeltesse a KFKI (Központi Fizikai Kutató Intézet) területén. Az Intézet üzemelteti a 10 MW-os Kutatóreaktort, ami fogadja az európai kutatókat neutronfizikai alap és alkalmazott kutatások végzésére. A kutatóreaktor ellátja Magyarországot radioaktív izotópokkal, amelyeket elsősorban a gyógyászat területén használnak fel.

Magyarországon 1954-ben indult meg a radioaktív izotópok rendszeres felhasználása a Szovjetunióból importált izotópokkal. Ezek kezelésére és nyilvántartására 1959. augusztus 1-jével Izotóp Elosztó Intézetet alapítottak, az intézet neve 1961-ben lett Izotóp Intézet. 1967. január 1-jével az intézet az MTA felügyelete alá került. Az intézet létszáma a nyolcvanas évek közepén érte el a csúcst, mintegy 430 munkatárssal. 1993. január 1-jével az eredeti intézet két Laboratóriumából Kft alakult (Izotópin intézet Kft.) 180 munkatárssal, a másik rész, mintegy 150 fővel, kutatóintézetként továbbra is az MTA kötelékében maradt. 1998–2005 között az Intézet a Kémiai Kutatóközpont részeként működött. Az MTA 2005-ös közgyűlése visszaállította az intézet független státuszát, 2006–2011 között önálló kutatóintézet volt. Az intézet az egyik technikai támogató intézménye az Országos Atomenergia Hivatalnak (OAH), mellyel hosszútávú együttműködési megállapodást is kötött.

A Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpontja Magyarország egyetlen főhivatású kutatóintézet-hálózatának intézményeként kiemelt célja, hogy a hazai kutatási hagyományokra épülve a nemzetközi kutatási térben is számottevő, jelentős eredményeket ígérő felfedező kutatásokkal, értékadó tudományos eredményekkel vállaljon szerepet a közjó szolgálatában, a jövő megalapozásában.

Az MTA EK honlapja: <http://www.energia.mta.hu/>

Az MTA EK alaptó okirata: [http://www.kfki.hu/~aekimhp/EK/alapito\\_egyseges.pdf](http://www.kfki.hu/~aekimhp/EK/alapito_egyseges.pdf)



20. ábra A reaktor csarnok – a kép baloldalon látható mérőszobába terveztük az ImageFrame berendezést

### 3.2.2. AZ OPTIKA MÉRNÖKIRODA KFT.

Az OPTIKA Mérnökiroda Kft. optikai eszközök, rendszerek tervezésével, gyártásával, telepítésével foglalkozik mind ipari mind laboratóriumi környezetben. Céljuk a kutatás és a fejlesztések területén, a műszaki életben felmerülő optikai jellegű feladatok megoldása.

Egyedi jellegű vagy sorozatban készülő termékeikkel elsősorban olyan megoldásokat kínálnak, melyek a kereskedelmi forgalomban kapható eszközökkel közvetlenül nem oldhatók meg. Az egyes feladatokhoz való optimális kialakítás mellett rendszereik legfőbb közös jellemzője a nagyfokú megbízhatóságot biztosító robusztus, az adott környezethez illeszkedő kivitel.

Termékeik között megtalálhatók az ipari képfeldolgozás igényei szerint kialakított eszközök a hagyományos és a legújabb, Luxeon®-alapú LED világítók, a halogén illetve száloptikai megvilágítások, a kamera optikák – objektívek, szűrők -, az ipari kamerák tükrös vagy prizmás optikai egységekkel, akár védőburkolatban vagy víz alatti



kivitelben -, a speciális kiegészítők mikroszkópokhoz és más optikai műszerekhez a CCD kameraillesztő egységek, az objektív megvilágítások -, egyedi optikai eszközök mérésekhez vagy megfigyelésekhez.

Forgalmazzák az Opto Engineering, a LASER2000 cég professzionális termékeit, a japán TAMRON és más gyártók ipari objektíveit, valamint más, speciális optikai termékeket (pl. polárszűrő fóliák, optikai szűrők, lézerek, kamerák) is kínálnak.

Szolgáltatásaik között említhető az egyedi készülékek és optikai rendszerek tervezése, speciális optikai mérések végzése, műszaki – pl. mikroszkópiai – felvételek készítése, kiértékelése, ipari CCD kamerák telepítése, optikai műszerek karbantartása, javítása, felújítása. Vállalják az ipari optikai berendezések karbantartását, felújítását, muzeális optikai műszerek korhű restaurálását is.

Partnereik ország szerte rendelik termékeiket, igénybe veszik szolgáltatásaikat. Az ipar minden területéről vannak megrendeléseik, termékeiket előnyben részesítik. 2004 óta fejlesztik termékeiket, és bővítik termékeik palettáját. 10 éves szakmai tapasztalatuk elismertté tette munkájukat, több bejegyzett szabadalommal rendelkeznek. A jelesebb ipari vásárokon és konferenciákon is képviseltetik magukat.

A cég telephelye a KFKI területén található a 30C épületben van.

A cég honlapja: <http://omi-optika.hu/>

A cég katalógusa: [http://omi-optika.hu/wordpress/wp-content/uploads/2014/01/OMI\\_katalogus\\_2014\\_1.pdf](http://omi-optika.hu/wordpress/wp-content/uploads/2014/01/OMI_katalogus_2014_1.pdf)



21. ábra KFKI

### 3.3. Műszaki specifikációk

A műszaki specifikáció azokat a tervezési alapokat tartalmazza, amelyek a tervezés bemeneti adataiként szolgálnak, azaz olyan paramétereket tartalmaznak, amelyek biztosítják, hogy az elvárt tulajdonságokkal rendelkező termék megszülethessen.

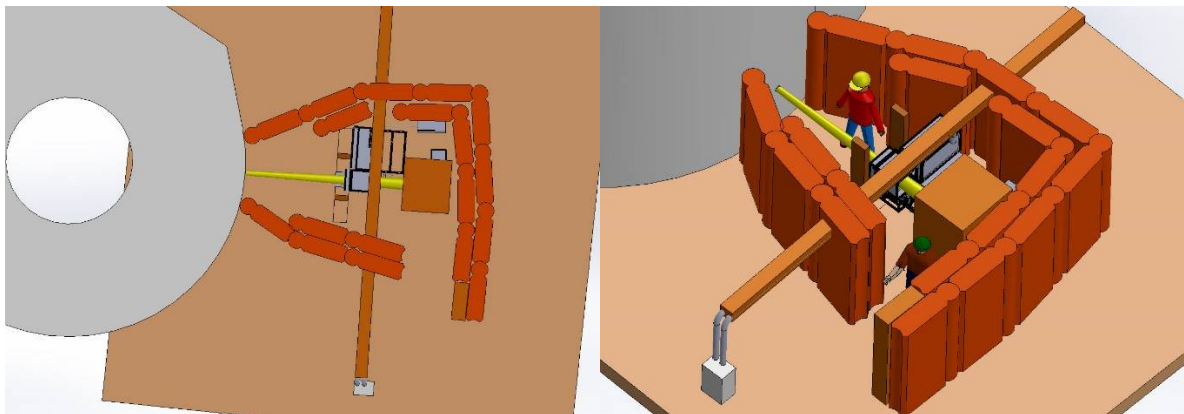
A megrendelő alap elvárásait a következő műszaki specifikációkban határozta meg. Ezen paraméterek értéke a tervezés során a megvalósíthatóság, a megrendelői igények változása és az anyagi okok miatt többször is módosultak. Voltak olyan paraméterek, melyek biztonságtechnikai okok miatt vagy a neutron és gamma sugárzás miatt nem módosulhattak, ezeket az elvárásokat maradéktalanul kielégítettük a tervezés és a gyártás során. Voltak olyan beépülő elemek, melyek már meg voltak vásárolva, esetleg évek óta használatban volt az előző mérőműszerben, ezeket megfelelően kellett implementálni a terveinkbe. A kamera és az objektívek kiválasztását közösen végeztük el az MTA EK munkatársaival, a beszerzésükről a megrendelő gondoskodott. Meg kellett figyelmem, hogy a választási lehetőségeink nagyon korlátozottak voltak, csak néhány objektív felelt meg a velük szemben támasztott elvárásoknak.

Több megbeszélés és kompromisszum kötés során alakult ki a műszaki specifikációk végleges formája.

#### 3.3.1. A BERENDEZÉS FŐ ELEMEI:

- 1 tengelyes objektív váltóegység foglalatokkal
- 1 tengelyes kameramozgató egység
- Kicsatoló tükör a leszerelhető kalickában
- Szcintillátorok foglalattal és tároló dobozzal
- Fényzárt burkolat:
  - o kameraház szcintillátor ernyőket és tükröt tartalmazó része, a továbbiakban „kalicka”ként is fogok rá hivatkozni
  - o kameraház: kamerákat, optikákat, mozgatóelemeket tartalmazó rész, a továbbiakban „láda”
- 1 tengelyesen mozgatható 6 lábú asztal
- Függőlegesen mozgatható mintatartó konzol
- Elektromos kapcsolószekrény
- Mobilklíma és a kamera vízűtő egysége

### 3.3.2. A KÖRNYEZET



22. ábra A neutron csarnok vázlatos modellje

A 22. ábrán látható a neutron csarnok és a mérőszoba vázlatos modellje. A szürke hengeres terület a reaktort képviseli a modellben, a sárga kúposan kiszélesedő, a reaktor falából induló elem a neutron nyaláb modellje. A modell emberek a mérőhelyen dolgozó, a berendezést kezelő MTA EK munkatársai. Felhívom a figyelmet, olyan eset nem fordulhat elő, hogy nyitott rekesznél, amikor a neutronok és a gamma sugarak nagyjából irányítottan áramolhatnak ki, emberek tartózkodjanak a mérő állomásban. A neutron és gamma sugárzás azonnali szövet degenerációt, megbetegedéseket majd pedig halált okozna.

A neutron nyaláb jellemzői:

- összetett kollimátor neutron és gamma sugárzásra, kollimációs tényező  $L/D=170$
- neutron fluxus a céltárgy pozíciójában  $10^8 \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,
- Cd és In szűrővel  $10^6 \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Gamma intenzitás  $\sim 8,5 \text{ Gy/h}$
- a neutron sugárnyaláb átmérője max. 150 mm a céltárgy pozíciójában.

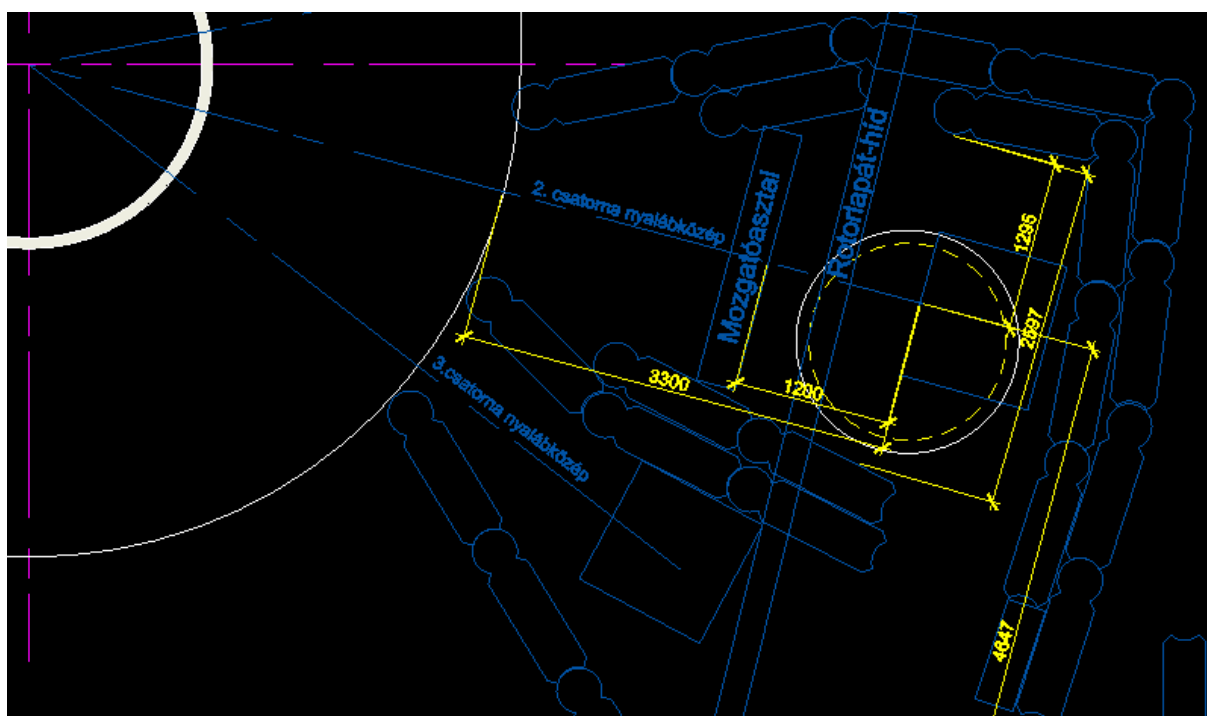
Az ipari röntgen készülékek teljesítménye 50 – 300 keV, 5 mA; ezeket használják röntgen tomográfiai mérések elvégzésére.

Az élénk narancssárga közel 2 méter magas, (a kapcsolódást biztosító hengeres résztől eltekintve) négyzet alapú hasábok az első sorban bóros vizet és a másodikban bent tartalmaznak. Feladatuk a sugárzás bent tartása a mérőszobán belül. A láthatóság miatt nem látszik ezeken az ábráimon a mérőszoba teteje, ami azonos elemekből épül fel, mint az oldalai. A modellben elhanyagoltuk a neutron csarnok további berendezéseit és a mérő szobából kivezető labirintust, ami biztosítja, hogy a sugárzás ne tudjon „kijönni az ajtón”. A labirintus alatt egy folyamatosan közel 360°-osan visszakanyarodó folyosót értek. A mérőszoba sugárzás szempontjából kritikus pontjait ólom- és parafin téglákkal építették be.

A sötét narancssárga egy köbméter térfogatú kocka az úgynevezett „beam stop”, amibe a neutron nyaláb beleütközik és elnyelődik. Belsejét parafin téglák töltik ki.

Látható a modellen két oszlop, melyen egy kívülről szabályozható motorikus mintatartó asztal szerelhető vagy éppen eltávolítható az igényeknek megfelelően. A keresztbe futó gerendára nagyméretű hosszú tárgyakat lehet felfüggeszteni és végighúzni a neutron nyaláb előtt, folyamatos felvételeket készítve a mintáról, ilyen lehet például egy helikopter rotorlapátja.

A mérőszoba méretei a tervezett ImageFrame nevű mérőműszer befoglaló méreteit és a mozgás távolságát korlátozzák. A mozgásnál a későbbi bővíthetőség feltételét kell biztosítani, ezért a sínrendszernek vagy bővíthetőnek vagy rögtön elég hosszúnak kellett lennie.



23. ábra A mérőszoba 2D vázlata a legfontosabb méretekkel, ezen a rajzon a „beam stop” alatt lévő beton henger is látszik fehérkörként ábrázolva

### 3.3.3. A KAMERAHÁZ VÁZA ÉS BURKOLATA, A LÁDA, A KALICKA, A KONZOL ÉS A MOZGATÓ ASZTAL:

A kameraház a kamerákat, optikákat, mozgatóelemeket tartalmazó része a berendezésnek. Méretei: 500 mm magas az asztal lapjától, 460 mm széles, 920 mm hosszú. A hosszúság alatt a neutron nyalábra merőleges méretet értem, míg a kalicka-rész befoglaló méretei 460x460x460 mm. A láda vázszerkezetének anyaga feketére eloxált AlMgSi0.5 anyagú 30x30 mm-es ITEM elemek. Belső oldala fekete, nem reflektáló bevonattal van fedve (eloxálás, matt festék, stb.). Cserélhető módon elhelyezhető benne az aktuális méréseknél alkalmazott szcintillátor lemez, a tükör, a lencserendszer, a ka-



mera, a kamera- és lencserendszer-mozgatást lehetővé tevő motor, elektronika és sínek, továbbá a légkondicionáláshoz szükséges alkatrészek. Belsejében elhelyezhető legyen a védelem a gamma- és neutronsugárzás ellen.

A ház két független részre bontható, melyek közül az első tartalmazza a szcintillátorernyőt és a tükröt (nyalábba eső rész), míg a második a lencserendszert, a kamerát, a kamera- és lencserendszer-mozgatást lehetővé tevő motort, elektronikát és síneket, a légkondicionáláshoz szükséges alkatrészeket, továbbá a belsejében elhelyezhető gamma- és neutronsugárzás elleni védelmet (nyalábba nem eső rész).

A ház egy asztalra épüljön, amely kerekeken gördül, és kézzel mozgatható a nyaláb irányával párhuzamos sínen. Az asztal magassága biztosítsa, hogy a kameraház optikai tengelye 975 mm magasan (a neutronnyaláb középtengelyében) legyen. Függőleges magasságállítási lehetősége  $\pm 20$  mm vízszintezhetőséggel. Az asztal és a sín anyaga AlMgSi0.5 ITEM elemek. Terhelhetőségük legalább 400 kg, mivel előfordulhat, hogy a berendezést védő ólom és parafin téglákat kell majd ráhelyezni. Az asztal tartja a ládát, azaz a berendezés nyalábtól távolabbi részét. A ház nyalábba érő része alá kerüljön kézzel függőlegesen csúsztható vízszintes AlMgSi0.5 konzol, amely akár a szcintillátor látómezejének közepéig felemelhető, és a szcintillátor ernyő függőleges síkja elé  $300 \times 400$  mm<sup>2</sup>-es területre nyúlik ki. Erre helyezhető a mintatartó egység (mozgatóasztal). A konzol és az asztal nyalábba eső része alá teherhordó alátámasztás kerülhet.

A kameraházat úgy kell megtervezni, hogy körülötte a megfelelő neutron-, gamma- és Röntgen-sugárzás elleni védelem kialakítható legyen.

A jó minőségű képalkotás érdekében a mérőállomás geometriáját úgy kell kialakítani és méretezni, hogy a fent leírt, függőlegesen csúsztható konzolra helyezett tárgyat a szcintillátor síkjához, a sugárzás elleni védelmet pedig a kameraház külső oldalához lehessen ütköztetni.

A neutronok be- és kilépésénél a kameraházon egy-egy nyílást kell kialakítani. A bemenő oldalon a szcintillátorernyő, a kimenő oldalon elvékonyított fényzáró AlMgSi0.5 ablak zárja le a kivágást. A neutronok útjába egyéb szerkezeti anyag nem kerülhet.

A kalicka a szcintillátorernyők befogadására legyen alkalmas. A berendezés tudja a szcintillátorernyőkön keletkezett fotoeffektusokat leképezni a detektáló egységekre. Az ernyők merőlegesek a neutronnyaláb középtengelyére. A leképezést úgy kell megvalósítani, hogy az egyes szcintilláló felületek (méreteik rendre:  $40 \times 40$  mm<sup>2</sup>,  $100 \times 100$  mm<sup>2</sup> és  $250 \times 250$  mm<sup>2</sup>) mindig a kamerachip érzékelőjének teljes felületére legyenek leképezve. Az egyes ernyők rutinszerű cseréjét minél egyszerűbben kell megoldani. A csere után az ernyő szcintilláló felületének pozíciója nem változhat többet, mint az optikai rendszer aktuálisan kialakuló mélységélességének 1/10-e.

A fentebb leírt tükrök 45°-os szögben áll mind a neutronnyaláb vízszintes középtengelyéhez mind a kamera optikai tengelyéhez. A tükrök optikailag egytengelyesen és állítható módon ( $< 1$ -2 fok) áll a kamerához, az objektívhez és a szcintillátorernyőhöz

képest. Ezáltal a kamerachip és a szcintillátorernyő merőlegességét biztosítani kell tudni. A tükröt olyan mechanikai megoldással kell csatlakoztatni a kameraházhoz, amely lehetővé teszi pontos térbeli beállítását, fixálható rögzítését és a kameraház egyik oldalának eltávolítását követő egyszerű cserélhetőségét. A neutronnyaláb útjába csak a tükröző felület eshet.

Az objektív(ek)nek magas fényerő mellett kell képesnek lenni a kívánt terület leképezésekre. A szükséges fényerő és látómező megtartása mellett közgyűrűk alkalmazása lehetséges. Előtétlencse alkalmazása csak akkor elfogadott, ha a szükséges fényerő és látómező megtartása mellett a leképezés térbeli felbontása 15%-nál nagyobb mértékben nem romlik.

Az kamera olyan oldható kötéssel legyen rögzítve a mozgató mechanikához, amely a visszahelyezését nagy pontossággal teszi lehetővé. A kívánt leképezés megvalósítása érdekében távirányítható léptetőmotoros, inkrementális enkóder visszajelzésű pozícionálása szükséges az optikai tengely mentén. Ennek paraméterei:

A szükséges mozgás mérettartománya (stroke length) max. 800 mm két végállással úgy, hogy a kialakuló optikai úthossz 370 - 1100 mm közé esik azzal a feltétellel, hogy a kamera chipjének érzékelő felülete legalább 300mm távolságban van a mindenkori neutronnyaláb szélétől.

- pozícionálási pontossága (positioning accuracy)  $<0,05$  mm
- kétirányú ismételhetőségi pontossága (bidirectional repeatability)  $<0,02$  mm
- síkfekvés (parallelism):  $\leq 15$   $\mu\text{m}$  (x, y, z tengelyen)
- egyenesség (straightness):  $\leq 15$   $\mu\text{m}$  (x, y, z tengelyen)
- holtjáték (back lash):  $\leq 5$   $\mu\text{m}$  (x, y, z tengelyen)
- max. terhelhető tömeg (max. loading mass) (40 cm magasan, 10 cm-re a középtengelytől):  $>10$  kg
- elérhető sebességmaximum: 20 mm/sec

Legalább négy tengely kezelésére alkalmas, Ethernet vagy USB kapcsolattal rendelkező mozgásvezérlő elektronika és megfelelő végfokozatok, amely vezérli az optikai házon belül lévő léptetőmotorokat és a tomográfiához szükséges,  $360^\circ$ -ban körbeforgatható tárgyasztalt. Az elektronikát vezérlő egységeket kapcsolószekrényben kell elhelyezni.

A ház rendelkezzen olyan belső tartószerkezettel, amelyre neutron és gammasugárzás elleni védelem felépíthető mind az objektív mind a kamera védelmét ellátó, a fény útját nem zavaró módon. A termikus neutronok elleni védelmet bóros gumi vagy bóros PE lemezek, a gamma-sugárzás elleni védelmet ólom- vagy vasrétegek látják el. A bóros lemezek vastagsága 5-15 mm, míg az ólom- vagy vasrétegeké 25-50 mm.

A kamerachip fény és porvédelmét minden beállítás esetén biztosítani kell.

A kameraház belsejében a légkondicionálásnak biztosítania kell az állandó és alacsony hőmérsékletet, a nem-kondenzálódó páratartalom mellett, az utóbbit mind a folyamatos mérés mind a lehűtés és felmelegedés során.

### 3.3.4. SZCINTILLÁTORERNYŐK TULAJDONSÁGAI ÉS MÉRETEI

Neutron érzékeny szcintillátorernyő (ZnS/6LiF alapú), 4db:

- Zöld fényt (emissziós maximum kb. 545 nm) kibocsátó ZnS/6LiF szcintillátor anyag
- Szcintilláló felület mérete: 250×250 mm<sup>2</sup>, vékony Al tartólemezre felvíve
- Tartólemez mérete (ezt a méretet kell keretbe foglalni, hogy cserélhető legyen a kalicka elülső felületén): 2 db 300×300 mm<sup>2</sup>, és 2 db 250 × 250 mm<sup>2</sup>

Neutron érzékeny szcintillátorernyő (P43 Gadox alapú), 2db:

- Zöld fényt (emissziós maximum kb. 545 nm) kibocsátó P43 típusú Gadox szcintillátor anyag
- Szcintilláló felület mérete: 100×100 mm<sup>2</sup>, vékony fényzáró (pl. Al) lemezre felvíve
- Tartólemez mérete: 100×100 mm<sup>2</sup>, amely keretként is szolgál a rögzítéshez

Röntgen-sugárzásra érzékeny szcintillátorernyő, 2db:

- Nagy energiájú (50 keV – 300 keV) Röntgen-sugárzás detektálására alkalmas
- Zöld fényt (emissziós maximum 545 nm) kibocsátó szcintillátor anyag
- Szcintilláló felület mérete: 300×300 mm<sup>2</sup>, vékony fényzáró lemezre felvíve
- Tartólemez mérete: min. 295×295 mm<sup>2</sup>, amely keretként is szolgál a rögzítéshez

A szcintillátorernyők tárolására alkalmas doboz, 1 db:

- A dobozban az ernyők tárolását fényzáró módon kell megoldani.
- Az ernyők mechanikai sérülését megakadályozó tárolási mechanizmust kell biztosítani (pl. sínek).

### 3.3.5. TÜKÖR (SZÁLLÍTÓ KÉSZÍTI)

Sík kvarcüvegen kialakított, előoldali Al réteg, SiO<sub>2</sub> vagy TiO<sub>2</sub> védőbevonattal. A felületi érdesség < 0,5 μm, méret 250 mm × 355 mm, vastagság 5 mm. A hordozó neutronnyalábra átlátszó (kis neutronbefogási hatáskeresztmetszettel rendelkező) és gyengén aktiválódó, rövid felezési idejű (< 10 perc) anyagból készüljön (pl. igen tiszta kvarcüveg). Összetétele neutronoptikai szempontból fontos, ezért kérjük megadni (pl. bór és nátrium tartalma minimalizálendő). Ezüsttartalmú tükör nem elfogadható. Csak olyan tükör építhető be, amely már létező neutrontomográfiás/radiográfiás mérőhelye(ke)n referenciával rendelkezik. Refraktivitása a látható fényre > 90 %.

### 3.3.6. 3. OBJEKTÍVEK

- Biztosítsák a három különböző tárgymező (250×250 mm<sup>2</sup>, 100×100 mm<sup>2</sup> és 40×40 mm<sup>2</sup>) leképezését a kamera teljes chipfelületére

- Manuális fókuszálású lencse
- 35 – 300 mm közé eső fix fókusz
- A legrövidebb fókusz távolságnál min. f1.4, a közepes fókusz távolságnál min. f2.8, míg a leghosszabb fókusz távolságnál min. f4 fényerő

### 3.3.7. DIGITÁLIS sCMOS KAMERA

- Pixelméret  $6,5\ \mu\text{m} \times 6,5\ \mu\text{m}$ , négyzet alakú
- Pixelek száma: legalább  $2048 \times 2048$  db
- Monokróm sCMOS chip, látható fényre optimalizált kameraablakkal
- 16 és 12 bites szűrkeskála felbontás
- Szoftveres pixelösszevonási lehetőség (binning)
- Kvantumhatásfok 545 nm-nél  $> 50\%$
- Követelmény a vákuumzárt működés
- Munkahőmérséklet: termoelektromos (Peltier) léghűtéssel legfeljebb a környezeti hőmérséklet  $\pm 40^\circ\text{C}$ . Vízhűtés nem követelmény.
- Átlagos sötétáram  $\leq 0,02$  elektron/pixel/secundum a  $-30^\circ\text{C}$  munkahőmérsékleten
- Átlagos pixelmélység (pixelenként): 30 000 e-
- Global és Rolling shutter üzemmód
- Kiolvasási zaj Global shutter módnál:  $\leq 3$  e- rms @200 MHz és  $\leq 3$  e- rms @560 MHz
- Kiolvasási zaj Rolling shutter módnál:  $\leq 2$  e- rms @200 MHz és  $\leq 2$  e- rms @560 MHz
- Linearitástól való eltérés (non-linearity)  $< 1\%$  a teljes tartományon
- 4 GB belső memória, és Cameralink csatlakozó
- Képrögzítési sebesség  $> 50$  fps ( $2048 \times 2048$  pixel, Global shutter mód, belső memória)
- Képrögzítési sebesség  $> 35$  fps ( $2048 \times 2048$  pixel, Global shutter mód, Cameralink)
- Optikai csatlakozó: F- vagy C-mount (a választott lencse csatlakozójától függően)
- Számítógépes csatolófelület: USB 2.0, Cameralink
- Kábelhossz: min. 15 méter (repeater/extender alkalmazása lehetséges)
- Számítógépes kezelőszoftver, amely TIF formátumban képes a képeket/képsorozatokat elmenteni, Windows 7 64 bites környezetben
- Szoftveres vagy hardveres (TTL) külső eszközzel vezérelt indítási trigger lehetőség

### 3.3.8. OPTIKAI TESZTOBJEKTUMOK

A rendszeres minőségellenőrzés és –biztosítás érdekében a leképezés minőségét mérő, torzításmentes optikai tesztobjektumokat kell készíteni. Az egyik tesztobjektum egy egyenletes megvilágítással ellátott, 250×250 mm<sup>2</sup> felületű üveglap, amelyen megfelelő osztással litográfiai eljárással felvitt vonalak találhatók, amelyek a kamerák minősítésére használt párhuzamosak és ezekre merőleges fele hosszúságú vonalak sorozata. A másik tesztobjektum 100×100 mm<sup>2</sup> felületű. Segítségükkel az optikai rendszer fókuszálása elvégezhető, és a geometriai torzítás korrekcióba vehető. A fókuszálásnak azon a síkon kell történnie, ahová a szcintillátorernyők fényt kibocsátó síkja esik.

### 3.3.9. A JELENLEGI DINAMIKUS MÉRŐÁLLOMÁS ÁTALAKÍTÁSA

A dinamikus állomás kameraháza jelenleg kéttükrös, periszkópos fényvezető alumíniumcső, ami szcintillátorernyőt néző kamerával van ellátva:

- kamera típusa TV11-22/SIT
- objektív: Computar tv zoom lens M6Z1212MS 12,5-75mm 1:1.2.

A csőház jelenlegi befoglaló méretei: 1150×535×220 mm<sup>3</sup>.

A jelenlegi dinamikus állomás egyes elemei (kamera és objektív) használhatóak legyenek az új optikai házban is. A dinamikus ill., statikus mérésekhez használt egységek egymástól független, cserélhető módon kerüljenek beépítésre az új optikai házba.

### 3.3.10. A MEGLÉVŐ VIDKONOS KAMERA

Kamera típusa: TV11-22/SIT

Kamera hossz: 228MM + KÁBEL

Az optika hossza: 125

Objektív típusa. TÍPUS: M6Z1212MS

Tervezett fényút minimális hossza: ~1150 + - 30MM

Maximális látómező: 200 mm

## 4. A MÉRŐMŰSZER MEGTERVEZÉSE

A berendezés kialakítása során sikerült elérni, hogy a megadott specifikációk megvalósíthatók legyenek a meglévő környezeti korlátok, határoló falak által adott mérőhely fizikai korlátaiban belül. Az objektívek és kamerák szükséges mozgását és a műszaki specifikációkat figyelembe véve terveztem meg a belső alkatrészek alakját és méreteit. A neutron - és gamma sugárzás léte anyagválasztási és méretezési szempontból volt fontos.

### 4.1. A mérőműszer elvi felépítése, alap tervezési koncepciók ismertetése

A neutron nyaláb a reaktor falán elhelyezett szabályozott nyíláson képes kiáramolni. A konzolon elhelyezett vizsgált objektumon áthaladva a neutronok a szcintillátor ernyőbe csapódnak. A konzol az asztalhoz a kalicka alatti részen csatlakozik, és innen nyúlik ki a kalicka alá. Bordás szíjjal, 1: áttétellel lehet a magasság pozícióját változtatni.

Az ernyő neutronfluoreszens felületén a becsapódó neutronok foton emissziót váltanak ki. Ezt a fotoeffektust célunk vizsgálni. A szcintillátor ernyő felületén kilépő fotonok a 45°-os állásban elhelyezett tükrön reflektálódva az objektíveken leképződve jutnak el a kamera CMOS detektorára, így jön létre a képalkotás.

A kalicka neutron nyalábra merőleges a reaktor felé néző felülete a cserélhető szcintillátorernyő, a hátsó felülete 0,1 mm vékony AlMgSi0,5 anyagú fólia, szerepe kizárólag a fényzárás. A kalicka közepén van elhelyezve a szcintillátor ernyő síkjától függőleges tengely szerint 45°-osan elfordított tükör. A tükör különlegessége, hogy a tükröző alumínium réteg a tiszta kvarcüveg elülső felületére van felgőzölve. A tükröt 4 pontos pozícionálással lehet a megfelelő síkba állítani, 3 csavar toló-, míg a középső, negyedik húzó funkciót tölt be, a középső a magasságot, míg a 3 másik a tükör dőlését határozza meg. Kis szögben forgatható is a tükör a kalicka oldalán elhelyezett csavarokkal.

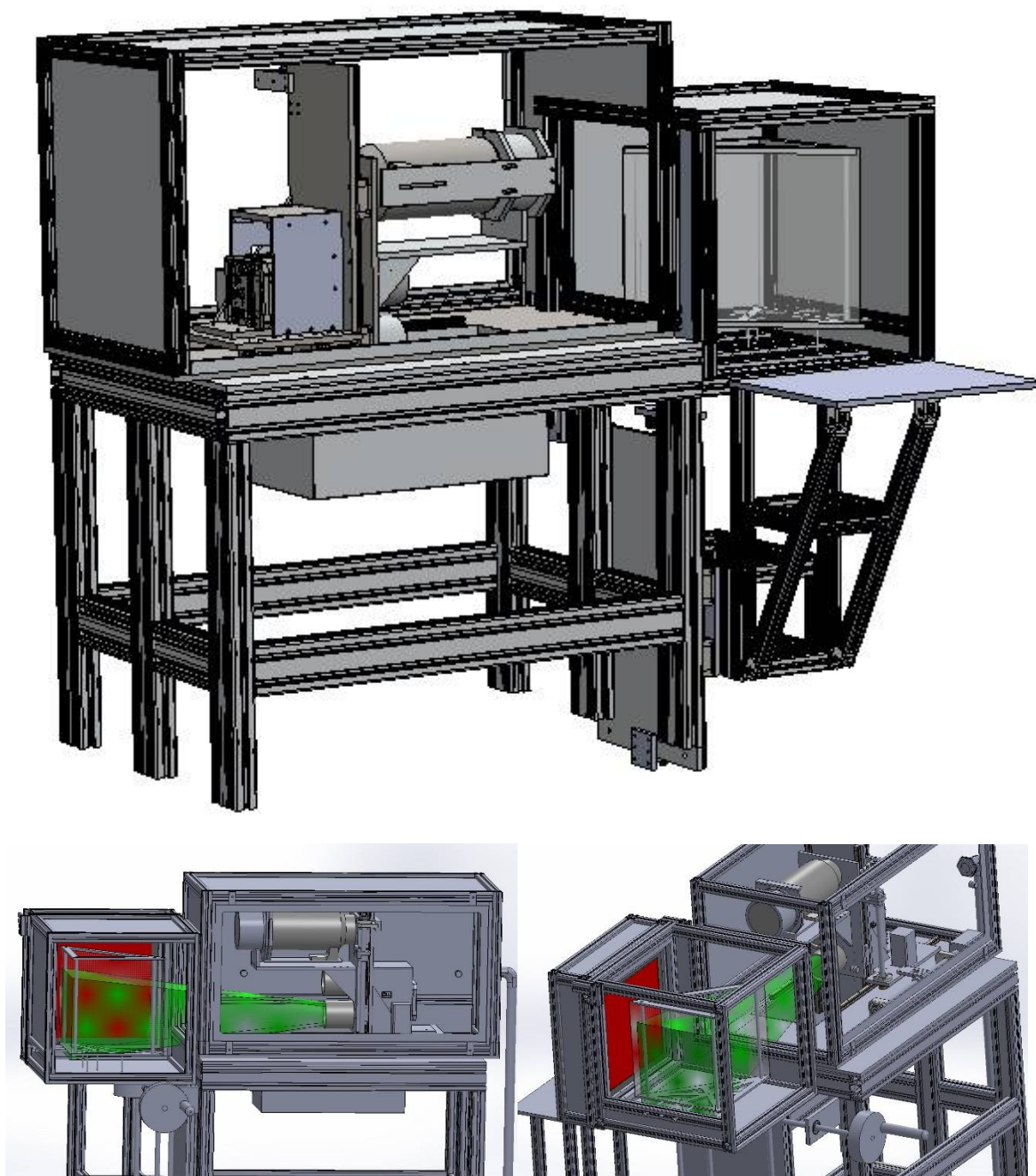
A tükrön reflektálódva a fény átlép a kalickából a ládába, ami az objektíveket, a kamerákat és ezek mozgását foglalja magába. A láda fényzár, oldalai dibond lemezekből készültek fekete matricával borítva, hogy az esetleges belső reflexiókat minimálisra csökkentsük, míg a láda váza 30x30 mm-es Item elemekből épül fel. Három darab objektív van az Andor kamerához integrálva, a szcintillátor ernyő a 250x250 mm-es, 100x100 mm-es és 40x40 mm-es területét képzik le. Az objektívek magas fényerejűek és manuális fókuszúak. Az objektívek ki- és behelyezhetők a műszerbe a bajonett zár feloldásával. A három objektív egymás alatt van elhelyezve, mozgásuk függőleges, a kotyogás mentes átváltás érdekében. Az objektívek hátsó oldali fókusztávolsága indokolja, hogy a kamera legyen kb. 3 cm-rel távolabb az objektívektől, így az objektívek váltása nagyon egyszerű, mivel nincsen mechanikai kapcsolatuk a kamerával.

Az objektívek eltérő fókuszúak és eltérő nagyításúak, ezért az egyes objektíveknek különböző távolságra kell lenniük a szcintillátorernyőktől, hogy éles képet kapjunk az Andor kamera CMOS detektorán. Ebből adódik, hogy az objektíveknek a kamerával együtt vízszintesen is kell mozogniuk. A mozgásokat két-két lineáris vezeték (sín) és ehhez tartozó kiskocsik végzik, ezekhez a kocsikhoz vannak rögzítve azok az elemek, amelyekhez a kamera és az objektívek vannak rögzítve. Léptető motorok hajtják meg azokat a tengelyeket, melyeseken az úgynevezett diók futnak végig, ezek a diók húzzák magukkal a lineáris vezetékre szerelt összes elemet, azaz az Andor kamerát és az objektíveket. Az objektíveknél kulcsfontosságú kérdés, hogy a motornak legyen tartó nyomatéka, ami nem engedi meg, hogy a feszültség lekepcsolásával az orsó letekerjen az objektívek a lehetséges legalsó pozíciójába. A motorok nyomatékát a vízszintes tengely esetén tengelykapcsoló, míg a függőlegesnél bordás szíj adja át. A mozgások home-, szoftveres- és hardveres végállás jeleit a vezérlő szoftvernek mikro-mechanikus végállás kapcsolók adják meg. A tengelyek végén egy-egy ncoder ad pontos elfordulási értékeket a vezérlő szoftvernek, a szoftver a tengely menetemelkedésének ismeretében meg tudja adni a kamera vagy az objektívek helykoordinátáit.

A nagyérzékenységű hűthető Andor kamera a függőleges mozgítás kialakításán az objektívek után van elhelyezve. A CMOS-t úgy hűti, hogy a peltier elem elszívja a chiptől a hőt, és a hűtőbordáknak átadja hővezetéssel, innen pedig ventilátoroknak keringetik a felmelegedett levegőt. A kamerát hűtése miatt el kellett emelni az asztaltól, két oldalán rögzítettem hozzá egy saját tervezésű kerethez, melynek alakja lehetővé teszi a friss- és felmelegedett levegő szabad áramlását. A további hőelvonást vízhűtéssel tudja elérni. A vízhűtő rendszer a berendezés alatt saját alacsony lábakon álló asztalra került. A hideg felületen kondenzálódó pára a levegő hőmérsékletével és relatív páratartalmával arányos. Hogy a kamera hideg CMOS felületén csapódjon ki a pára, az egész berendezést hűteni kell mobil klíma segítségével. A mobilklímát a neutron és gammasugárzástól elszeparált szomszédos szobában kell elhelyezni.

A régi dinamikus kamera egyszerű cserével megoldható. Elég eltávolítani az Andor kamerát és behelyezni a dinamikust, ezt egy mikrokapcsoló érzékeli, és szoftveresen is jelzi, hogy a kamera cseréje megtörtént.

Az egész berendezés egy olyan Item elemekből összeszerelt asztalra van elhelyezve, ami egy Item sínen képes gurulni. Az asztal 80x40 mm-es Item elemekből épül fel, 6 lába van, mindegyik végén egy-egy kerék. A sín két végén gumi ütközők akadályozzák meg azt, hogy az asztal túlgördüljön, és lezuhanjon a sínekről. Szerkezetre borulását az asztal lábaihoz rögzített, a sín alap hornyában futó kiemelésgátlók biztosítják. A sínrendszer a létrafokoknál (talpfák) dűbelekkel a padozat megfelelő részeihez van erősítve.



24. ábrák A neutron- és röntgenradiográfias berendezés modellje

#### 4.2. A közös diplomamunka téma

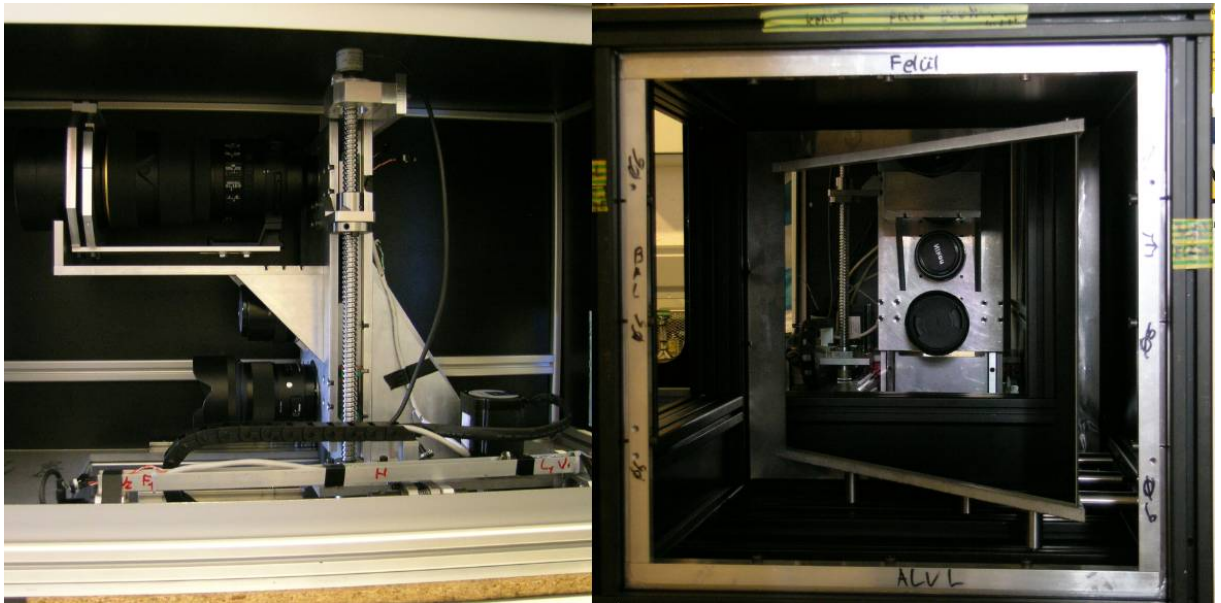
A neutron- és röntgenradiográfias berendezést Koncsár Péter kollégámmal közösen terveztük és építettük meg. Részfeladataink jól elkülönülnek, mégis segítettük egymást munkánk során. Jó munkamegosztás és a közös „brain storming”- ok megkönnyítették mindennapjainkat. A berendezés megépítése során az egyes részterületek



egymásra épültek, ezért, amikor csak kellett, ott voltunk, és segítettünk a másik feladatában, mind az alkatrészek gyártása, mind a berendezés összeszerelése kapcsán. A szoros határidők miatt ez szükséges is volt.

A Koncsár Péterhez tartozó részek:

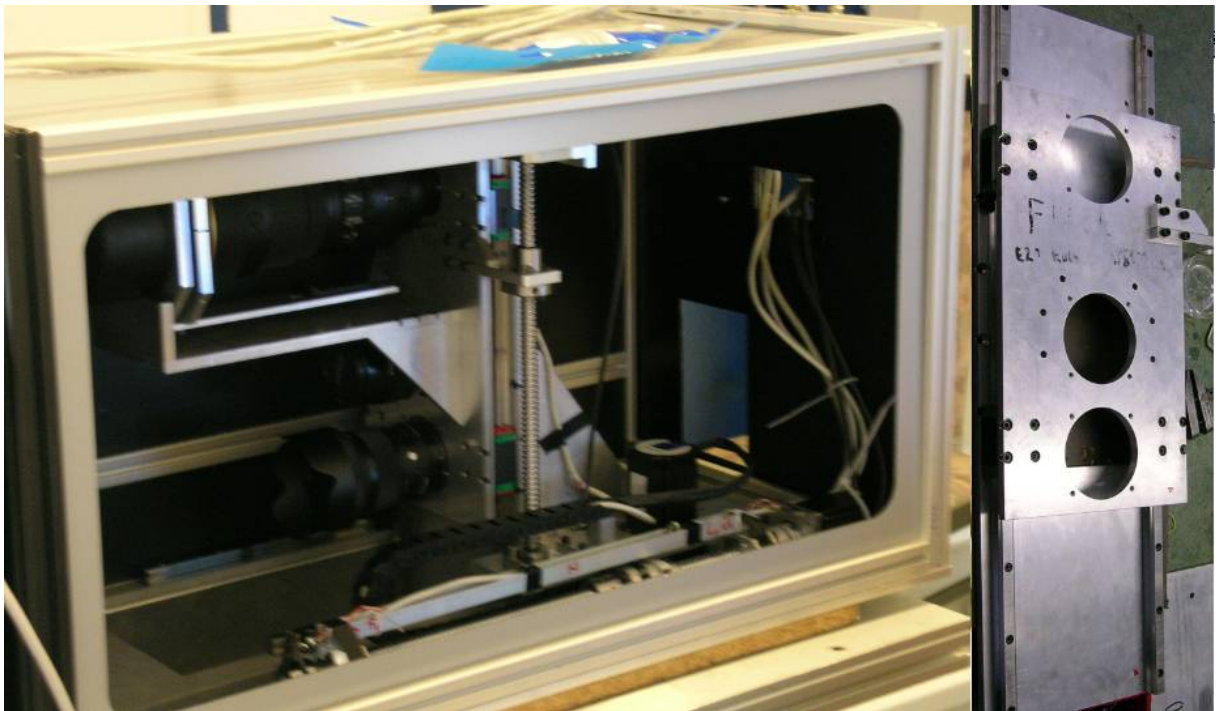
- A mozgató asztal és sínrendszer
- Fényzáró burkolat –a „láda” és a „Kalicka”
- Objektívek és a függőleges mozgatásuk
- Kicsatoló tükör
- A konzol és mozgatása



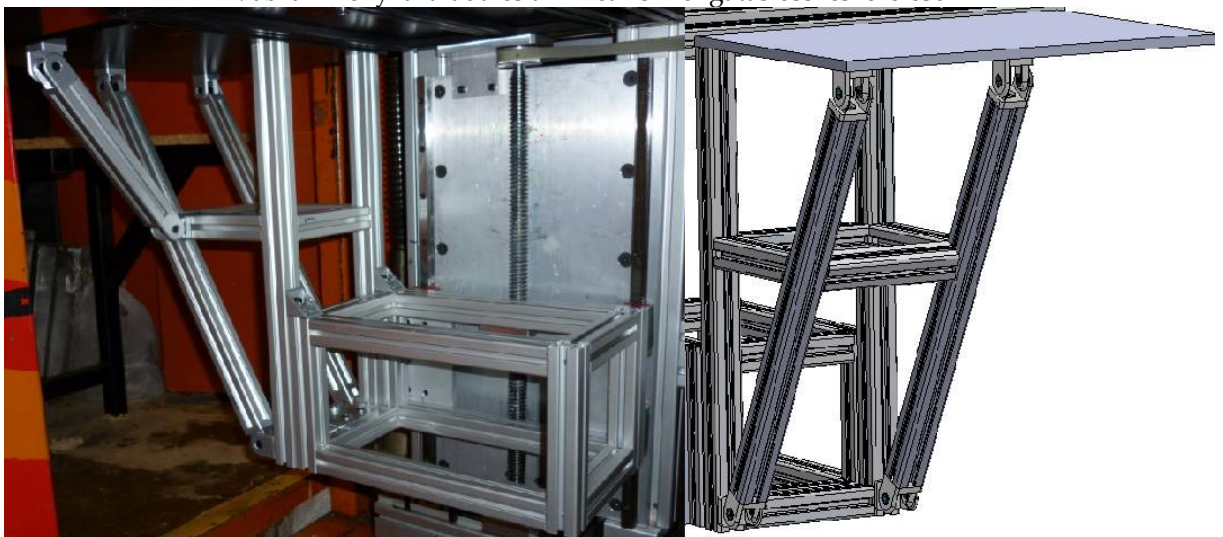
25. ábra Az objektívek és mozgatásuk, és a kalickában a tükör



26. ábra A kalicka és mozgató asztal a sínrendszeren



27. ábra A fényszárt láda és az lineáris mozgató összeszerelése



28. ábra A minta tartó konzol

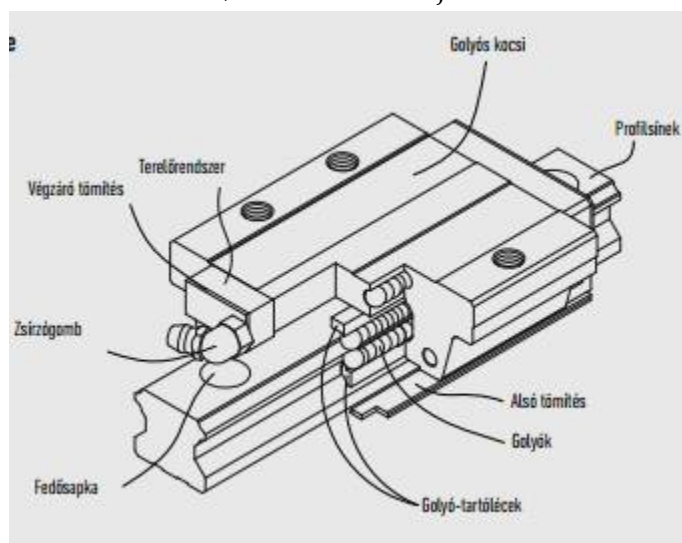
#### 4.3. A kamera rendszer mozgatója

Az alkatrészek alapanyaga  $\text{AlMgSi0,5}$ ; ami megfelel a neutron- és röntgen sugárzással terhelt közeg által nyújtott követelményeknek. Az alumínium 22 izotópjá és a 21 mag izomerjei nehezen aktivizálódnak még nagy sugárzás hatására is, ilyen nagy sugárzás van a mérőszobában nyitott reaktor fal mellett. A legtöbb alumínium izotópnak és a mag izomerjeinek a felezési ideje egy másodperc alatti, de van olyan is, aminek viszont 7 másodperces. Úgy tudom, a neutron csarnok mérőszobájába a mérés végeztével a reaktor falát becsukva egy 10 perces biztonsági várakozási idő után mennek be az MTE EK munkatársai. Az alumínium többi ötvözoje nem ilyen ellenálló

az aktivizációval szemben, és felezési idejük is jóval magasabb. Ezért kellett nagy tisztaságú, minimális ötvözőket tartalmazó alumínium alapanyagokat felhasználnunk a gyártás során. Ez a választás globálisan kihat az egész berendezésre, ahol csak lehetett AlMgSi0,5 nagy tisztaságú alumíniumot használtam a gyártandó alkatrészek alapanyagaként.

Az Andor Neo 5.5 sCMOS kamera az ImageFrame nevű neutron és röntgenradiográfias berendezésen belüli neutron nyalábtól mért helyzetét az határozza meg, hogy a használt objektívnek mekkora a tárgytávolsága, ez természetesen objektívenként eltérő. Az 50 mm-es fókuszú f/1.4 fényerejű Sigma objektív tárgytávolsága 803 mm, 105 fókuszú f/1.8 fényerejű Nikoné 783 mm, 300mm fókuszú f/2.8 fényerejű Nikoné 1023 mm. [fényerő=fókusz (f)/lencse átmérő (D)] A mérőszoba mérete miatt lekorlátozott a berendezés hossza, alap esetben a 300-as Nikon objektív miatti elrendezés nem férne be a berendezés vázába. Az objektív elé beépített színhiba korrigált apokromát (3 tagú ragasztott) lencsével 722 mm-re csökkenthető a fókusz, ami már befér a rendszerbe. Mivel a kamera hátsó fókusz távolsága adott, a kamera és objektívek állandó távolságra vannak egymástól, mozgásukat egyszerre kell megvalósítani vízszintes irányban.

A láda aljára két párhuzamosan rögzített HIWIN márkájú HG sorozat profilú lineáris vezetőket terveztem, amelyekhez hozzá illő HIWIN kocsikon mozog majd a kamera és az objektívek egysége. A HG sorozat szuper-nehéz teherbírású lineáris vezetőkként van hirdetve, ez a négy golyópálya - körív optimalizálásának az eredménye. A kocsik könnyű gördülése a golyócirkulálás optimális elrendezésének köszönhető. A golyótartólécek megakadályozzák, hogy a golyók kiessenek, míg a kocsit felhúzzuk a profilsíni. Ilyen kocsikat szereltem sínenként 2-2 db-ot. Azért kellett az egyik legstrapabíróbb rendszert választanom, mivel nagy, közel 10 kilós egyenetlen eloszlású terhelést kell kibírnia és mozgatnia. Ezekre a HIWIN kocsikra rögzítjük a kamera mozgató asztalt. A lineáris vezetők felső felületéről lehet szerelni, itt vannak kialakítva a süllyesztések a csavarok számára, ezért a láda aljába csavaroztam őket.



29. ábra HIWIN HG lineáris vezető és a hozzá illeszkedő 4 golyópályás kocsi

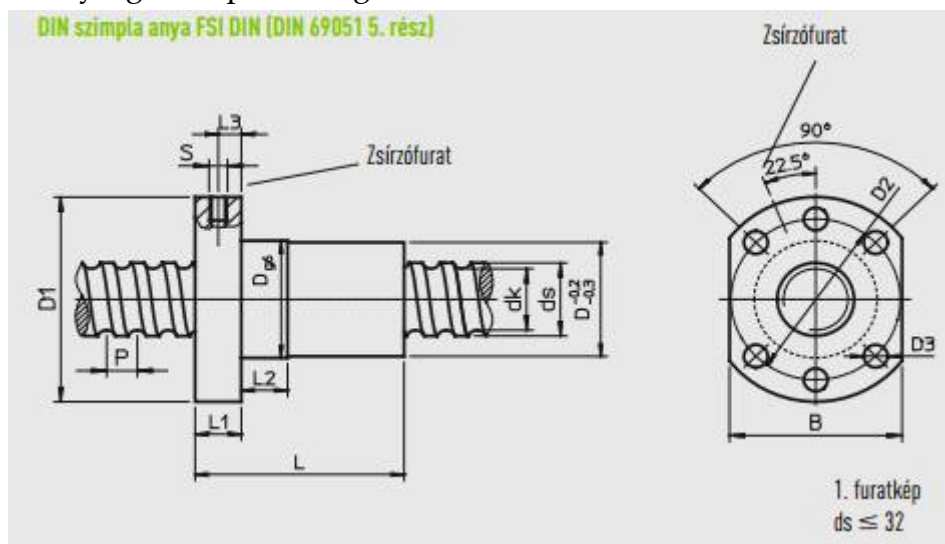


Technical drawing of a mechanical part, likely a bracket or plate, showing dimensions and hole locations. The drawing includes a top view and a side view. Key dimensions include overall width of 300, overall height of 148, and various hole diameters ( $\varnothing 4$ ,  $\varnothing 5$ ,  $\varnothing 6$ ,  $\varnothing 35$ ,  $\varnothing 45$ ,  $\varnothing 38$ ). Hole positions are defined by distances from the edges and centerlines. A table in the bottom right corner indicates the drawing is a 'Mod.' (Modification) of a 'Dwg.' (Drawing).

46

Az így megtervezett mozgató asztal képes a szükséges mozgás megtételére, de csak akkor, ha kézzel tolom. Ehhez terveztem egy léptető motoros mozgatást. A megbízhatóan vezérelt mozgatásra azért van szükség, mivel a mérés során nem lehet a mérőszobába bemenni. Bármilyen változtatást, mozgatást kívülről kell megvalósítani vezérléssel.

A kamera mozgató asztalhoz terveztem egy összekötő elemet, ami csatlakoztatja a golyósorsóra szerelt kotyogás mentesített dupla golyós anyával a mozgató asztalt. Az egymással szembefordított átmenő csavarral összekötött, de rugókkal szétfeszített golyósanyák csökkentik minimálisra a kotyogást, azaz a hiszterézist. Mind a golyósorsókat mind a golyós tengelyt a HIWIN katalógusából választottam. A golyós menetes orsó vagy más néven golyósorsós hajtás, egy golyósorsóból, egy golyósorsó-anyából, melybe be vannak építve a golyók, illetve a golyó-visszavezetésből áll össze. A golyósorsók a leggyakrabban felhasznált menetes orsók az ipari- és precíziós gépekben. Feladatuk egy forgó mozgás átalakítása hosszirányú mozgássá, illetve fordítva. Eközben nagy a hatékonyságuk és pontosságuk.



31. ábra golyósorsó és golyós anyja

A golyósorsó két végén mélyhornyú golyóscsapágyakat terveztem. A tengely váll csapágy belső gyűrűjén, míg az láda aljához rögzített csapágyház pedig a csapágy külső gyűrűjén fekszik fel. Az SKF gyártótól a 61801-es típusú 642338 cikkszámú csapágyakat rendeltem, mivel a tengelyméretnek megfelelő és a fellépő statikus terhelést is gond nélkül kibírja, hisz álló állapotban nincs terhelés a golyósorsó és golyósanyák tömegén kívül. A csapágy statikus terhelése darabonként 28 N, míg dinamikus terhelése 1,43 kN, a maximális fordulatszám 40 ezer fordulat per perc.

A választott motorom nyomatéka 1 Nm és 1600 lépés/fordulatos mikrolépéses üzemre képes. Ebből meghatározható, hogy az 5 mm menetemelkedésű golyósorsón ez 3,125  $\mu\text{m}$ -es lineáris elmozdulást jelent, ez a mozgatással megvalósítható legkisebb felbontás.

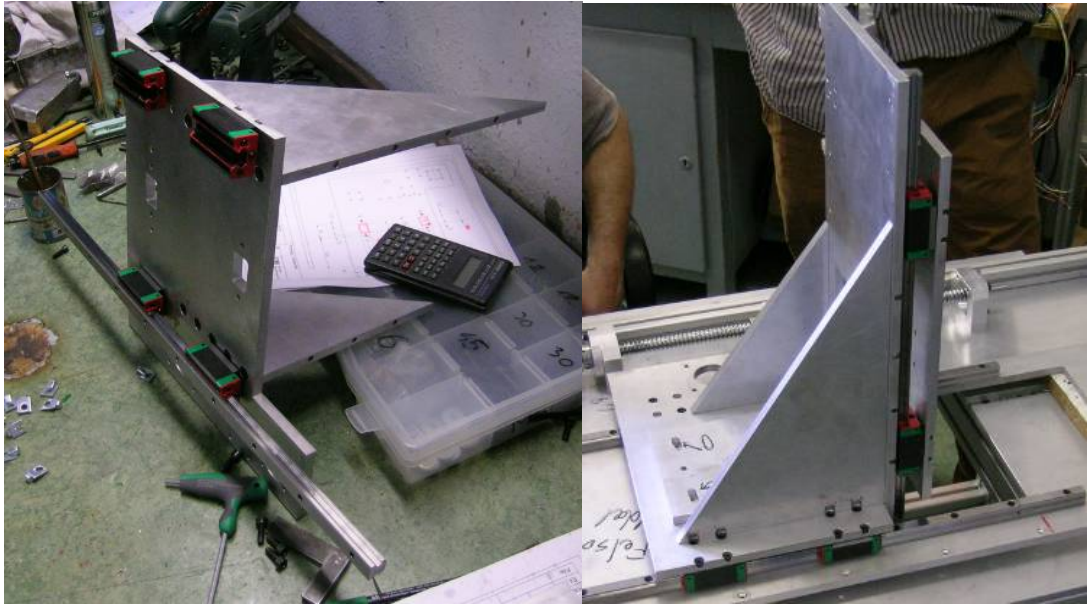
A léptető motor a neutron nyalábtól távolabbi tengelyvégen egy kottyanás mentes acéllemezes szimpla tengelykapcsolón át csatlakozik. A tengelykapcsoló testének anyaga is alumínium, csak a lemeze rozsdamentes acél. A másik tengelyvégen egy ih28n coder számolja a szögelfordulásokat.

Mikrokapcsolókat használtam végállás érzékelésre és a home pozíció megadására. A golyósorsó mindkét vége felé két-két végállás kapcsoló akadályozza meg azt, hogy a HIWIN kocsi leszaladjon a lineáris vezetőkről, vagy pedig leeresztett objektívvel a láda alsó kinyúló puttönyának elülső falába szaladjon összetörve az optikát. Az első végállás kapcsoló csak szoftveres, azaz küld egy leállító jelet a motorvezérlőnek, ami megállítja a motort. Abban a szinte lehetetlen esetben, amikor ezen átjut a motor a második egy hardveres végállás kapcsoló, letiltja a motor vezérlőt, ekkor ténylegesen oda kell menni a berendezéshez és manuálisan vissza tekerni a golyósorsót, mivel amíg a kapcsoló be van nyomva, a motorvezérlő nem tud elindulni. A mozgás közép-távolságára is terveztem egy végállás kapcsolót, amit „és” kapcsolattal kombináltam azzal a kapcsolóval, ami akkor ad jelet, amikor be van szerelve a 300 fókuszú Nikon objektív csak akkor aktív, mikor az objektív és a hozzá tartozó előtét optika nagy mérete miatt túlságosan előre mehetne, beleütközhetne a láda elülső falába, vagy pedig a tükörbe összetörve azt. A home pozíciót minden bekapcsoláskor megkeresi a berendezés, mivel innen számítva tudja a szoftver, hogy hova kell vezérelnie a rendszert, hogy a kamera megfelelő távolságra legyen a szcintillátor ernyőtől, azaz, éles kép képződjön le a CMOS detektorán.

A Galil ethernetes kommunikációval a közel 10 m távolságra lévő mérő állomásról PC-n keresztül vezérelhető. A PC megkapja a végállás kapcsolók és az encoder jelét is a Galil kommunikáción át. A rendszer szabályzását a PC végzi a beérkezett jelek alapján. A felhasználó megadja a mérőszobában a kívánt pozíciót, lépésszámot, kiadja az indulás parancsot. Ezt a motorvezérlő Galil megkapja és kiadja a megfelelő irány és lépés parancsokat a motorvezérlő végfokoknak, akik ténylegesen irányítják a motorokat. A Galilnak mindegy, hogy milyen motor van a rendszer végén, csak a vezérlő jelek kiadására alkalmas, a motorvezérlő értelmezi majd az előre beállított a szükséges motor paraméterekkel vezérel, azaz kapcsolgatja a motor tekercseit. A választott DMC-41x3 számú Galil négy tengelyes, négy motoros vezérlésre alkalmas, soros portok (RS232) mellett Ethernetes kommunikációra képes. A motorok táplálása a mozgató tengelyeként külön és a szenzorok jelvezetékei is külön vezeték korbácsokon át jutnak a mérőszobából a mellette lévő, de neutron- és röntgenvédelemmel elzárt szomszédos helyiségbe.

A kamera mozgató asztal pontos gyártását CNC programozott vízvágó géppel készítettem. A vízvágó gép a furatpozíciókat is megjelölte a 10 mm vastag lemezen átütő pontozással. A kamera mozgató asztalon minden furatot süllyesztettem a hozzá tartozó csavarok szerint. A HIWIN kocsikat lazán csavaroztam fel a kamera mozgató asztal alá, így minimális mozgásra, elfordulásra képes maradt. A kocsi egytengelyesítését úgy tudtam megcsinálni, hogy az összetartozó 2-2 kocsin végigdugtam a lineáris

vezetékét, majd közel párhuzamosra állítva meghúztam a csavarokat. Az így összerelt rendszert a HIWIN lineáris vezeték aljával lefelé elhelyeztem a láda alján a tervezett pozícióban. A lineáris vezetékek párhuzamosságát úgy tudtam ellenőrizni, hogy könnyen véggördült a mozgó asztal és a 4 kocsi egysége a sínen, ha nem, akkor a síneket és vagy a kocsikat állítva folyamatosan iterálva párhuzamosítottam. A helyes pozíciót megjelöltem a láda fenekén, ide furatot fúrtam, és menetet metszettem. Majd a párhuzamossági beállítást újra elvégeztem, de most a lineáris vezetékeket is rögzítettem.



32. ábra A HIWIN kiskocsik és lineáris vezetékek szerelése

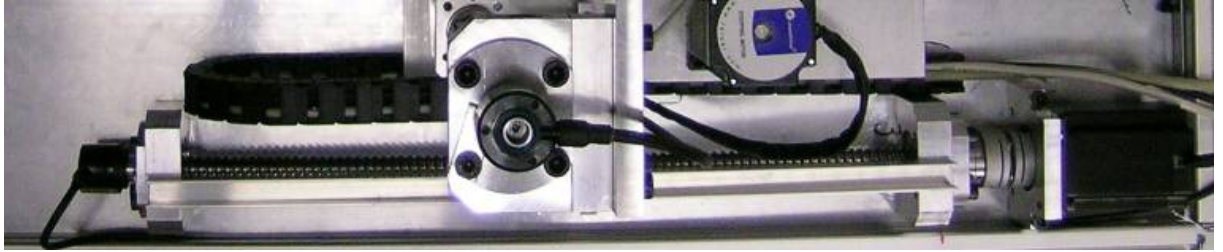
33. ábra A kameramozgató asztal, és a rá szerelt alkatrészek.

Még mielőtt véglegesre húztam volna a csavarokat a kameramozgató asztalon, alulról szerelve a merevítő háromszögeket és a neutron felől, azaz szemből pedig az objektívek egységét rögzítettem. Az objektívek mozgását is alulról kellett szerelni, mivel a motor felülről lett a kamera mozgó asztalra szerelve, ezáltal a motor forgórész a lemezen át lefelé nyúlik ki. Szíjhajtással átadja a forgómozgás az optika mozgó golyósorsónak.

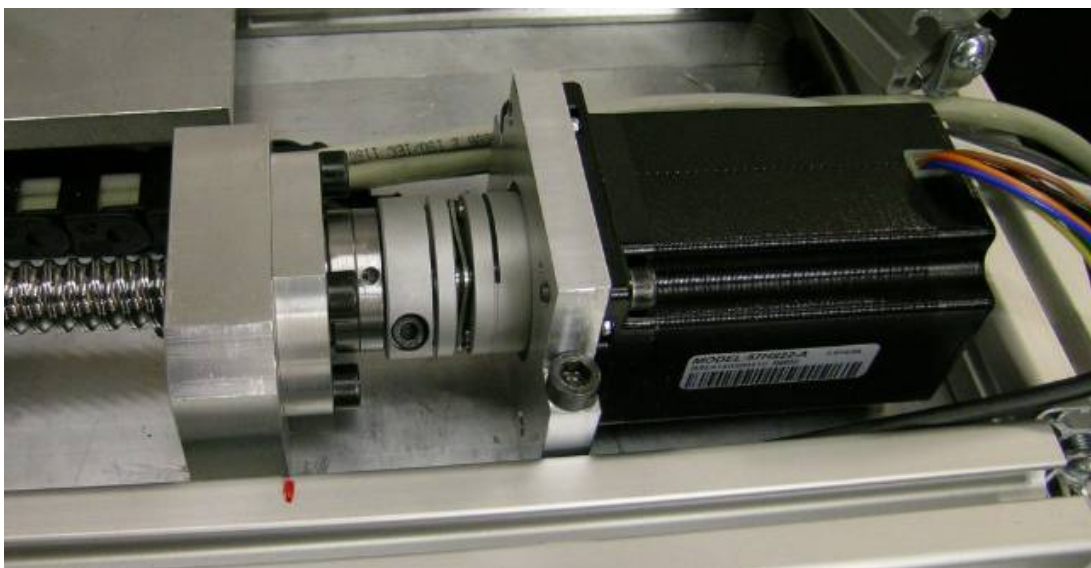
Az edzett, acélból készült golyósorsót megmunkálás előtt a két végén ki kellett lágyítani, majd a 12 mm belső csapágy átmérőhöz kellett a tengely vállakat és a tengelyt a két végén igazítani. A csapágyházakat külsős megmunkáló céggel gyártattam, a csapágyazás összeszerelését tapasztalt kollégámmal végeztem. A megérkezett léptető motor fizikai méretei kisebbek voltak a tervezettnél, ezért ehhez egy külön tartó egységet kellett terveznem, és arra kellett felcsavaroznom, ami a láda aljára csatlakozott, és biztosította a motor és golyósorsó egytengelyűségét. A tengelykapcsolóval biztosítottam a nyomaték, forgás átadást a motorról a golyósorsóra. A motorvezérléséből sejtjük, hogy hová ment el a rendszer, de biztosabb voltam az eredményeimben miután láttam, hogy az ncoder is ugyanazt az értéket adja. A motor vezérlését a Galil általános motorvezérlőn át szoftveresen végeztem. A berendezés vezérlést biztosító szoftvert, a



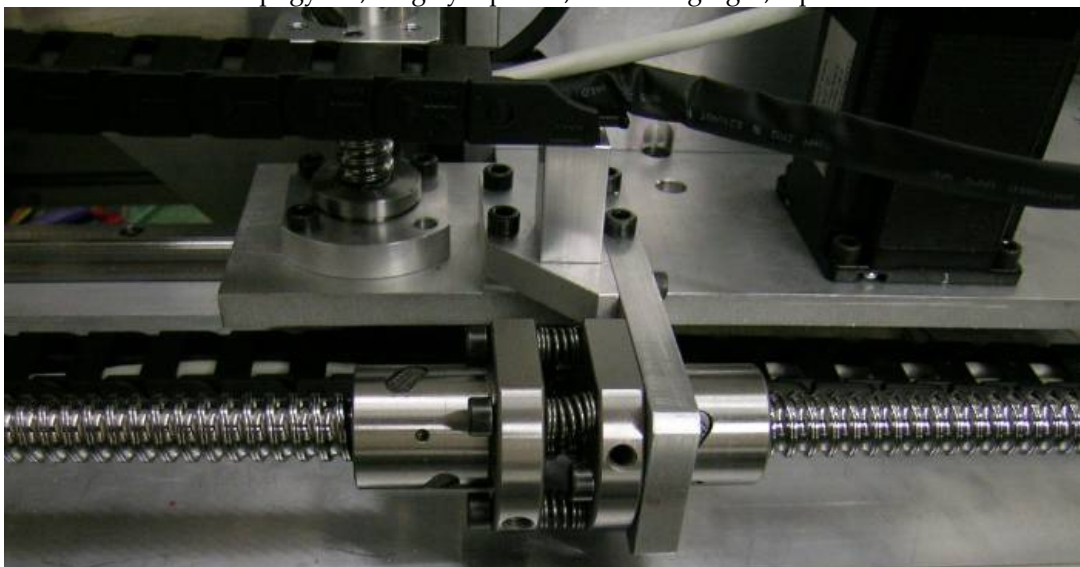
megrendelő biztosította. A PC-n meghatározott pozícióba történő vezérlést a Galil végzi. A Galil irány és lépés (direction és step) jeleket ad a motorvezérlőnek, ami ténylegesen a kapcsolgatja a motor tekercseit. A motorvezérlőn előre bekellet állítani, kis-kapcsolókkal, hogy milyen vezérlő áramokkal lehet mozgásra bírni, majd a motort.



34. ábra A kamera mozgató meghajtás

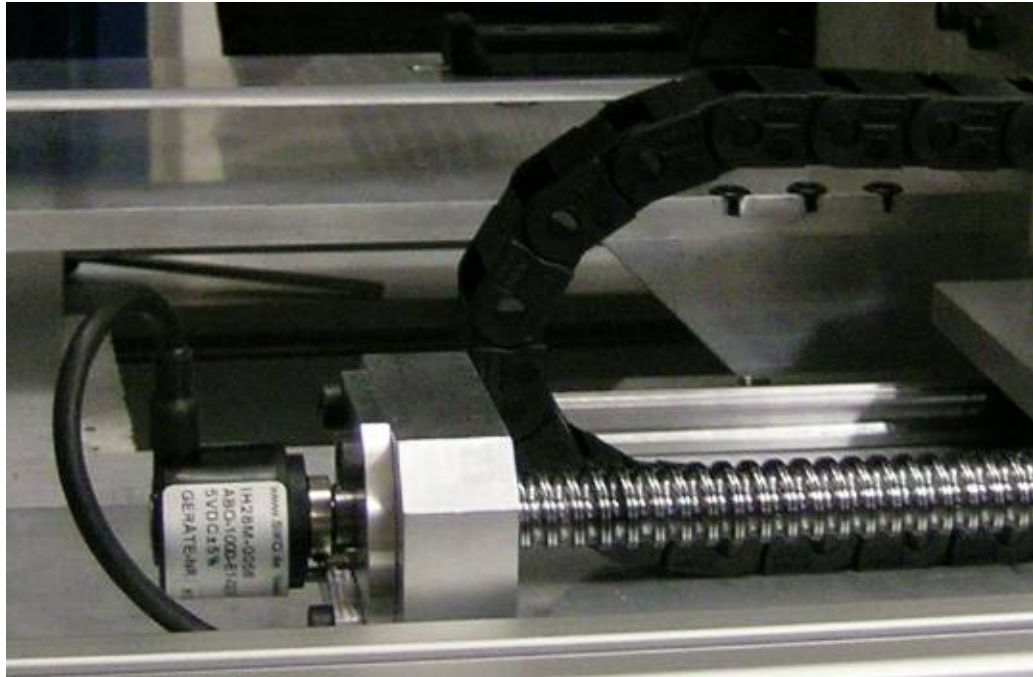


35. ábra Csapágyház, tengelykapcsoló, motormegfogás, léptető motor



36. ábra A golyósorsó és golyós anya, látszik a képen az az elem, ami összeköti a golyósanyát és a kamera mozgató asztallal, a kép tetjén látszik az energia lánc is, amely a vezetékek biztonságos bevezetését teszi lehetővé

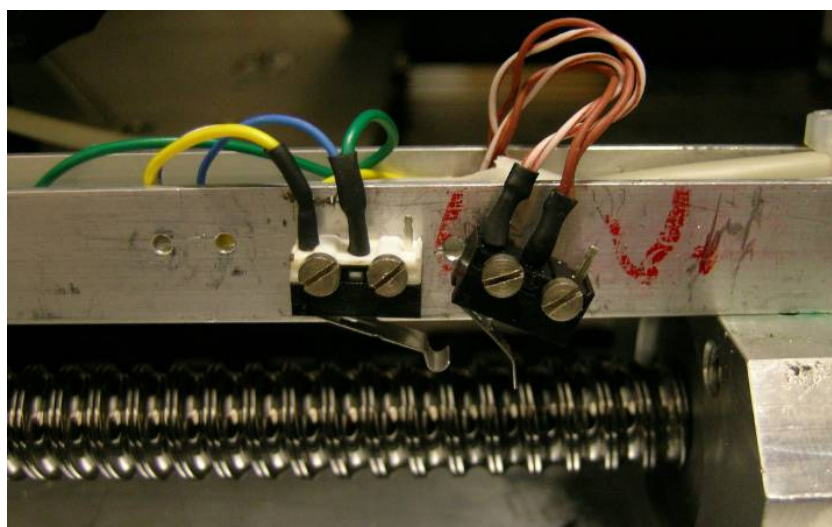




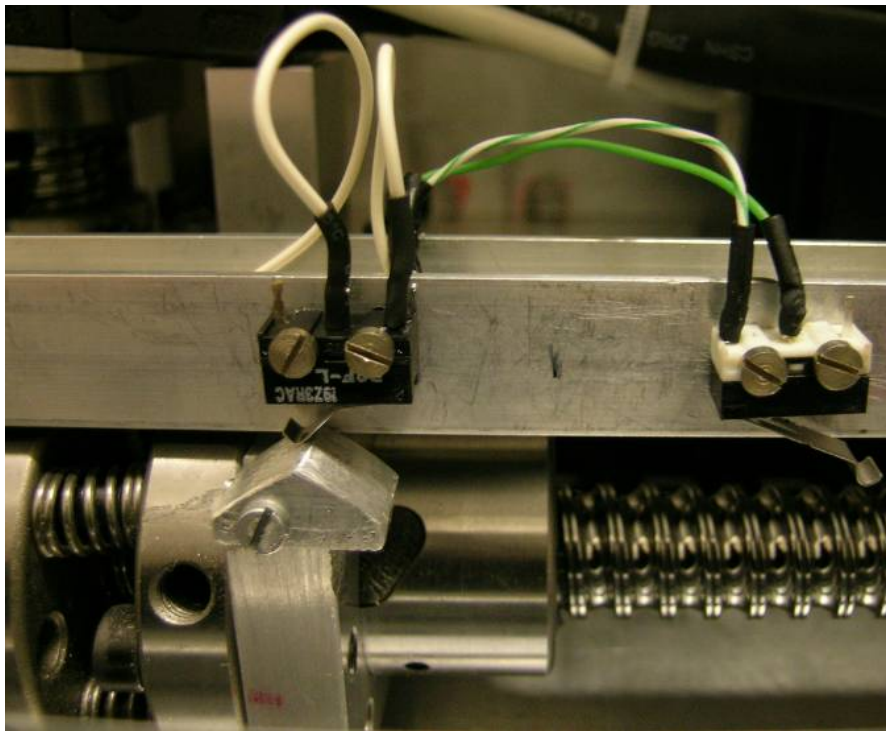
37. ábra A golyósorsó végén az encoder a csapágyház és az energia lánc a golyósorsó mögött

A berendezésen belül a motorok és szenzorok vezetékei, a képeken látható energia lánc a kamera mozgatás alatt jutja el a láda végéhez, ahol a hátsófal kivágásán át egy átcsatlakozó dobozba jutnak, innen pedig vezeték kötegeken a kapcsoló és vezérlő szekrénybe.

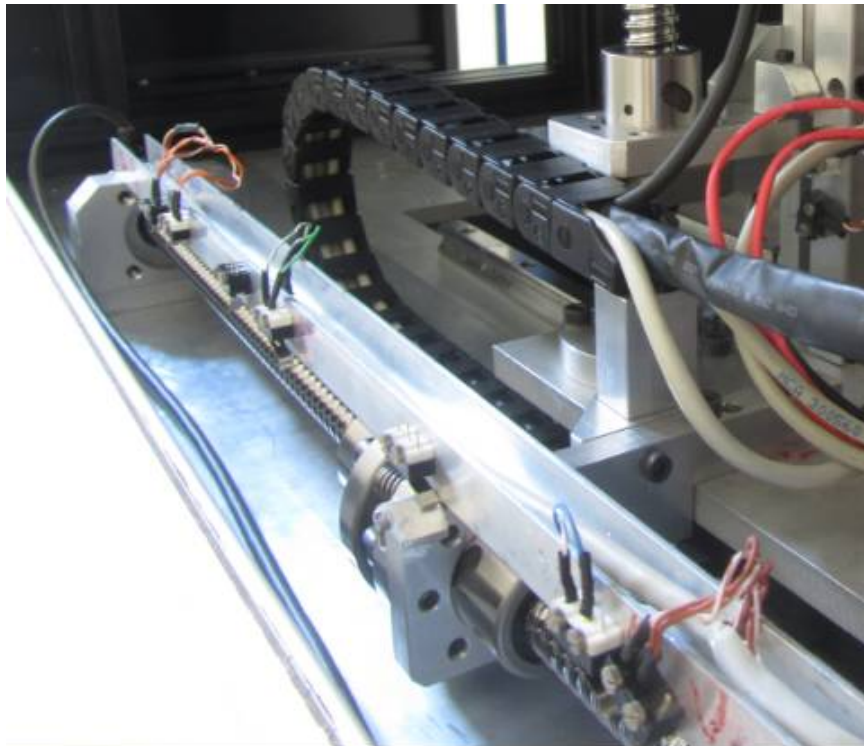
A két csapágyház tetejére felszereltem egy közöttük végigfutó vékony alumínium U-profil, amiben a végállás kapcsolók vezetékei futnak. Az U-profil oldalára szereltem fel a mikrokapcsolókat, amelyek a home pozícióról és a végállás helyzetekről küldenek a szoftvernek információt a kapcsoló benyomásakor kiadott jellel. A kapcsolók rögzítését csak a berendezés próbái során tudtam fixálni, akkor, mikor kipróbált helyeket tudtam beállítani.



38. ábra A szoftveres és hardveres végállás kapcsolók



39. ábra A home pozíció és az objektív miatti végállás kapcsoló



40. ábra A mikrokapcsolók és az energia lánc

#### 4.4. Az Andor kamera kiválasztása és implementálása a rendszerbe

Az Andor cég közismert a professzionális tudományos kameráiról, amelyeket a legváltozatosabb helyzetekben használnak fel. A kamerákon kívül spektroszkópokkal és mikroszkópokkal foglalkoznak.

A kamera kiválasztásának legfőbb szempontjai voltak:

- érzékeny detektor: fényzárt házban kis fények detektálására
- magas felbontás
- lineáris karakterisztika
- gyors kiolvasás
- alacsony sötét áram és alacsony kiolvasási zaj, azaz magas jel/zaj viszony
- hűthetőség, (ventilátor és folyadékhűtés)
- ...



41. ábra Andor Neo 5.5 sCMOS kamera

Az Andor Neo 5.5 sCMOS kamera ideális választás volt minden szempontból. A termikus zaj csökkentése végett a kamera CMOS érzékelőjének hűtése sarkalatos kérdés volt a kiválasztás során. Az Andor Neo 5.5 a környezeti hőmérséklethez képest 30C°-kal képes csökkenteni a CMOS hőmérsékletét peltier elem használatával, a peltier hővezetéssel adja át a hűtőbordáknak a hőt. A hűtőbordák a levegőnek adják le a hőt, amelyet ventilátor frissít folyamatosan. További 10C°-kal képes a CMOS hőmérsékletét csökkenteni, ha a hőelvonást a hűtőbordákról vízhűtéssel tudja elérni. Mivel a hideg felületen kondenzálódó pára a levegő hőmérsékletével és relatív páratartalmával arányos. Annak elkerülése érdekében, hogy a kamera hideg CMOS felületén csapódjon ki a pára, az egész berendezéshez terveztem egy mobilklímás hűtést, sőt így a CMOS a neutroncsarnok levegőjéhez képest még tovább hűthető.

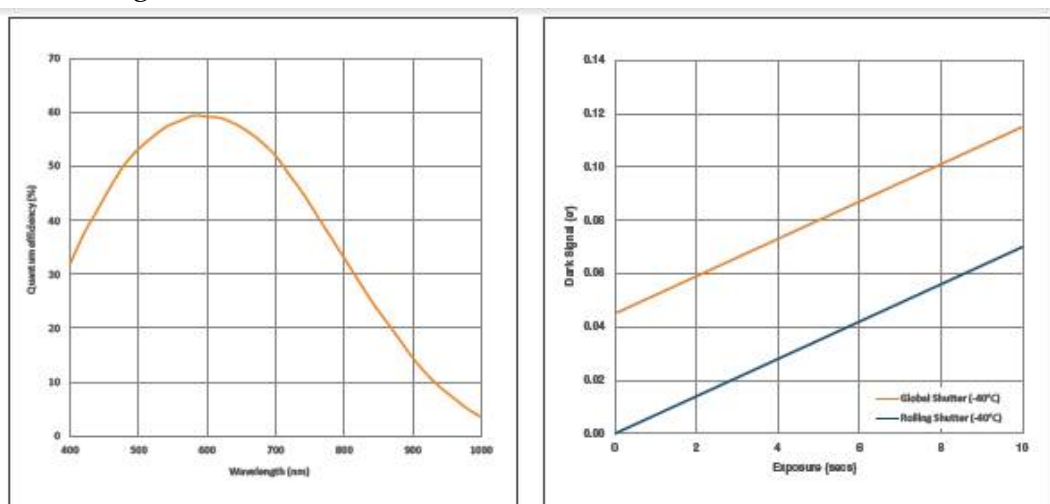
Az Andor kamera detektora 2560x2160 db négyzet alakú, 6,5  $\mu\text{m}$  oldalhosszúságú pixelből épül fel, ami 5,5 Megapixel és 16,6x14,0 mm<sup>2</sup> chip méretet jelent. A kiolvasási zaj 1 e- értékű, ami kisebb bármelyik hasonló CCD-hez képest. A kamera 30fps (Frames Per Second) átlagos használatban, de turbó állapotban képes 100 fps elérésére is. Azaz általában átlagosan 30 képet rögzít másodpercenként, míg turbó állapotban 100-at. A turbó üzemben az adatgyűjtés gyorsabb, mint a PC olvasási-írási sebessége,



ezért 4 GB memóriával rendelkeznek. A pixelek kiolvasási sebessége 560MHz. A kamera 16 bites, A/D átalakítóval van ellátva, azaz, a mintavételezés 216-1 kvantálási szinten valósul meg. A kamera hátulján a ki/bekapcsoló billenőkapcsoló mellett 2 db hagyományos Camera Link kimenet, 1 db TTL/DAC 26 Way 26 típusú kimenet és USB 2-es kimenet található.

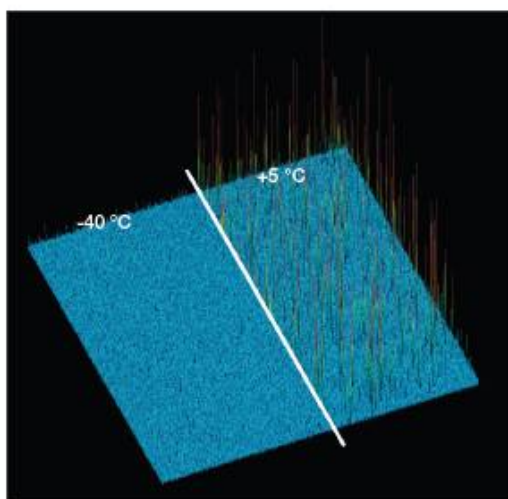
A kamera kontrasztérzékenysége is nagyon magas, 30'000:1. A chip érzékenysége elvárt szintű, a fényzárt ládában a kis fényerejű szcintillátort is jól érzékeli, linearitása is megfelelő, 99%-nál is jobb.

Az Andor cég 5 év teljeskörű garanciát vállalt a kamerára. Nem mellesleg ez a kamera árban is megfelelően olcsó volt. Sose gondoltam, hogy valaha is egy 40'000 eurós kamerára ezt fogom mondani.

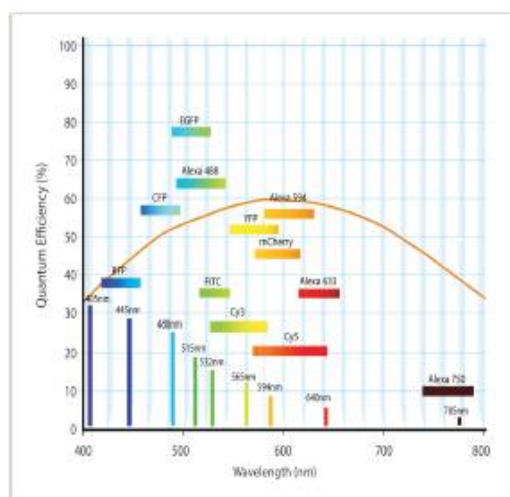


Hot Pixels vs Cooling Temperature

QE vs Fluorophore Emissions



Comparison of hot pixel blemishes at cooling temperatures of +5°C and



42. ábra Az Andor kamera tulajdonságai:

1. és a 4. A kvantum hatásfok a hullámhossz függvényében,
2. A sötét áram az expozíciós idő függvényében,
3. A -40 C° fokok és a +5°C fokok azonos expozícióval készített kalibráló képek összehasonlítása, a termikus zajt szemlélteti

Az Andor kamera helyét a rendszerben a berendezés váza adja meg, mivel a CMOS érzékelőnek az objektíveken át a szcintillátor ernyőnek a középpontjára kell ránéznie, aminek a helyét a kalicka váza adja meg. Az ImageFrame neutron és röntgenradiográfiás berendezésen belül azt, hogy a kamera milyen távol van a neutron nyalábtól, az határozza meg, hogy a szcintillátorernyőt melyik objektívvel nézzük, mivel a tárgytávolság objektívenként eltérő. Az 50 mm-es fókuszú f/1.4 fényerejű Sigma objektív tárgytávolsága 803 mm, 105 fókuszú f/1.8 fényerejű Nikoné 783 mm, 300 mm fókuszú f/2.8 fényerejű Nikoné 1023 mm. [fényerő=fókusz (f)/lencse átmérő (D)]. A mérőszoba mérete miatt lekorlátozódott a berendezés hossza, alap esetben a 300-as Nikon objektív miatti elrendezés nem férne be a berendezés vázába. Az objektív elé beépített színhiba korrigált apokromát (3 tagú ragasztott) lencsével 722 mm-re csökkenthető a fókusz (f), ami már befér a rendszerbe. Ezekre a pozíciókra a ráállást a kamera és objektívek együttes mozgatója valósítja meg vízszintes irányban. (Ezt az előző fejezetben részletezem.)

Mivel a kalicka a tervezés során előre tolódott, hogy az asztal reaktor felőli síkjával egy vonalba legyen, ezért a kamera is a ládán belül a reaktor felé tolódott el, ami ideális, mivel a kamera mozgató egység elfér mellette a nyitható oldal irányában, ezáltal könnyebben szerelhető, karbantartható a mozgató. A reaktor irányában a kamera pozícióját a tükör pozíciójával is befolyásolhatjuk, mivel ő csatolja ki a szcintillátor fényét a neutronnyalábból az objektívek irányába.

A kamera a szcintillátor közepére néz, ezért a magassága is a szcintillátor helyétől függ. A kamera léghűtésének beszívása a kamera alján történik, a kifúvás pedig a tetején. Ezért a kamerát nem lehetett csak úgy letenni az mozgató asztalra, hanem el kellett emelni onnan, ezt egy tartókerettel biztosítottam. A tartókeret négy egymásra merőleges AlMgSi0,5 húzott alumínium alkatrészből áll. A két oldalán pozícionáló furatpályákon át a kamera oldalán lévő menetekbe csavart csavarokkal fogjuk meg és pozícionáljuk. A furat pályák mind objektív irányába történő mind döntési beállítást megengednek, ezzel kompenzálva az előforduló gyártási hibákat. A kamera keretet stabilra kellett terveznem, hogy hosszasan utánállítás nélkül pozícióban tartsa a kamerát, és elbírja a köré épített neutron- és gammasugár védelmet, ami parafin és ólom téglákat jelent. A láda is ezért van 80 mm-rel beljebb a kalickától és az asztal szélétől, mivel a megrendelő ólomtéglából védelmet tervez építeni a láda köré.

Azért kell ennyire a kamerát és az objektíveket védeni a neutron- és gammasugárzástól, mivel a nagyenergiájú részecskék a CMOS chip pixeleit könnyedén kiégetik, és az objektív kvarc üvegét beszürkítik, majd átlátszatlaná teszik.

A tervezés során nem lehetett a kamera keretet túl magasra emelni, mivel nagy terhelést kell kibírnia kihajlás, deformáció, maradót alakváltozás nélkül, inkább a kalickát kellett eltolni lefelé, hogy a szcintillátorernyő neutronfluoreszens felületének középpontja a megfelelő magasságban legyen. Egy hosszas optimalizációs megbeszélés során dőlt el, hogy a kalickát 80 mm-rel toljuk el lefelé, így megtervezhettem a kamera mozgató asztaltól a kamera pozícióját.

A kamerán oldalt vannak a vízűtés bevezetésének csatlakozói, ezeknek a helyét lóversenypálya alakúra marattattam ki. A kamera elektromos csatlakozói a kamera hátulján találhatók, a csatlakoztatást abból az irányból semmi sem akadályozza. A vezetékek kivezetése a fényzárt láda kisputtonyán keresztül történik.

A kamera keret alsó eleme fekszik fel a kamera mozgató asztal felső felületére, a kettő közti összeköttetés felelős a kamera helyes pozícionálásáért. A pontos, nagy biztonsággal ismételhető pozícionálást a kamera mozgató asztalba rögzített, a felszínéből kimagasló helyező csapokkal oldottam meg. A kamera finom pozícionálását keretben a rögzítő csavarok furatainak kiszélesítésével oldottam meg. Miután a kamerával megtaláltam a szcintillátor lemez középpontját, egyszerűen meghúztam ezekre a csavarokat. Az Andor kamera finomabb pozícionálása nem volt elvárás.



43. ábra A kamera keretbefoglalása

A kamera keret alkatrészeit cégen belül marógépekkel munkáltuk meg. Az összeszerelését és a csavarpályák kialakítását saját kezűleg végeztem. Összeszereléskor a csavarokat a kerékcseréknél megismert módon, azaz egymás után az egymással szemben lévőket húztam meg. A kamera oldalán lévő c-menethez megfelelő csavart kellett választanom.

#### 4.5. A régi vidikonos kamera cserélhetőségének biztosítása

A régi vidikonos kamerát nagy érzékenysége miatt dinamikus felvételek készítésére mind a mai napig használják a Budapesti Kutatóreaktorban neutron- és röntgenradiográfiai mérésekhez. Ezért volt szükséges a vidikonos kamera implementálása az új mérőberendezésbe.

A kamera a burkolatának alsó felületén lévő négy hegyes lábán tud megállni. Ezek a lábak nem szabályozhatók, a kamera magasságállítása nem megvalósítható velük.

Ezért a Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Központ munkatársai sok évvel ezelőtt ezt egy alumínium lapra rögzítették, melynek sík felülete biztosította, hogy ha sík felületre tették, akkor ebbe a nem feltétlenül vízszintes síkban is maradt. Ehhez a kamerához terveztem egy olyan megfogást, ami nem csak az asztal síkjában, hanem egy beállítható síkban tartja, és a magassága is állítható lett. Megoldottam, hogy a kamera látó mezeje rendszerbe helyezése után finoman állítható legyen, így központosítani lehet könnyen a kalibráló optikai tesztobjektumos háttérvilágítások mintázataival.

Bár kezdetben egy olyan kamera alatti rendszert terveztem, amely fix magasságban és egy síkba beállítva működik csak. Kezdetben igény se volt ennél többre, és úgy gondoltuk, hogy ezt egy 40x80 mm négyszögprofilú elem, esetleges hézagolásokkal megtudja oldani, az oldalára csavarozott fülekkel a mozgó asztalhoz lehetett volna rögzíteni. Ezeket az alkatrészeket elkészítettük, és gyorsan beláttuk, hogy bár az alap funkcióját teljesíti, de semmi pluszt nem ad a 30 évvel ezelőtti készülékhez. Beállítása nehézkes volt, esztétikailag se felelt meg egy ilyen kaliberű berendezésbe.

Ezt belátva gyorsan elkezdtem áttervezni a kamera pozícionálhatóságát biztosító rendszert. Az MTA EK munkatársai által kialakított talpat csak minimálisan alakítottam át, hosszát lecsökkentettem úgy, hogy csak a kamera alatti részekben legyen, kiálló pöckeit levágtam. Korábban ez, a kamerán túl hátrafelé, a vezetékei alatt, 100 mm hosszan kiért. Nálunk kritikus kérdés volt a berendezés mérete, mivel ezt egy kis mérőszobába terveztük, majd telepítettük a neutroncsarnokban. A kamera tárgytávolsága minimálisan 1150 mm volt, a teljes berendezés mérete éppen biztosította ennek a fényútnak a hosszát, nem volt lehetséges, hogy a 100 mm-es hátsó kilógó elemeket meghagyjam.

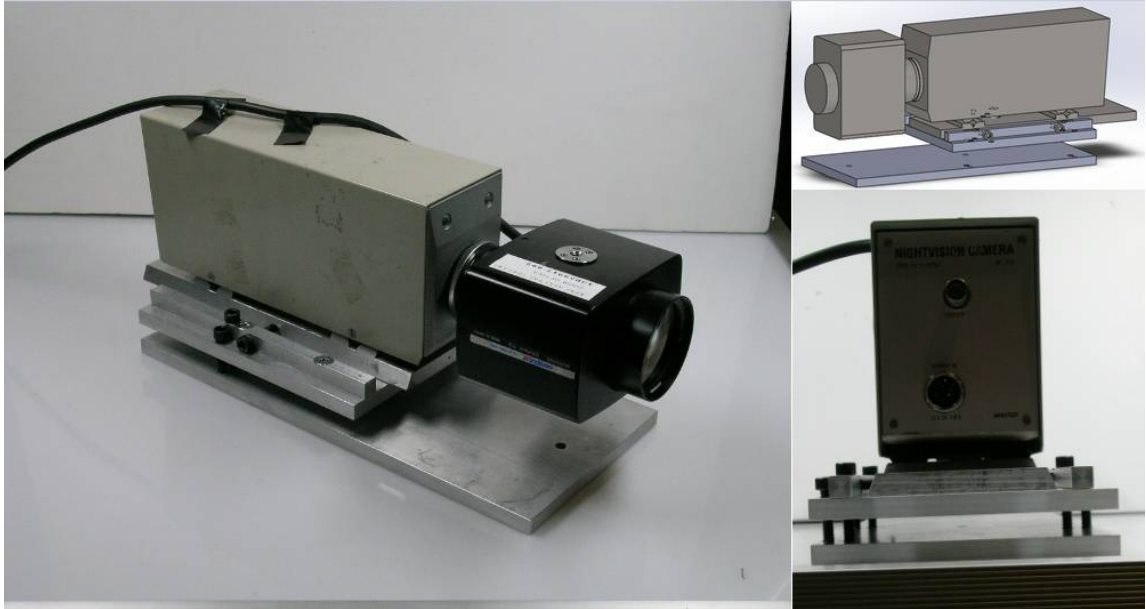
A minimális tárgytávolság megmérésekor egy elírt szám miatt úgy gondoltam, hogy a berendezés nem tudja biztosítani a minimális fény utat, ezért a kalicka elé felszerelhető 200 mm mélységű előtétet terveztem. Mikor átvettük a kamerát, újramértem a minimális tárgytávolságot, és felfedeztem a hibát, aminek nagyon örültem, így nem kellett ezt a meghosszabbítást megépíteni, ami könnyítette a berendezést, így kisebb lett a megbillenés esélye.

A lerövidített kamera talphoz terveztem egy olyan 10 mm vastag lapot, amelyre a kamera talpa felfekszik, a lapra szerelt 10x10 mm-es négyzet alapú hasábokba csavarok tekerhetők be vízszintes irányba, amelyek a közel 70°-os kamera talpat leszorítják, a kamera megbillenését kiküszöbölik. A csavarokkal a kamera vízszintes síkban maradván finoman forgatható, ezáltal megtalálható a vizsgált szcintillátorernyő közepe, ezt a beállítást az optikai tesztobjektumos háttérvilágításokkal lehet megoldani.

Ez a beszorító lap a kamera mozgó asztalhoz rögzíthető ugyancsak 10 mm vastag elemhez van rögzítve. A beszorító lap a rögzítő lap felett 10 mm magasban van, ezt kétszer három csavarral oldottam meg úgy, hogy két-két csavar közül az egyik mindig húz, a másik pedig feszít. Azaz az egyik csavar rögzítő lapba van becsavarva, ekkor a rögzítő lapban van a menet, míg a másik esetben a beszorító lapban van a menet, így



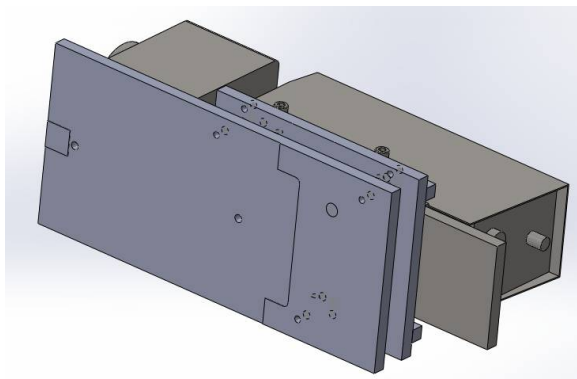
ebbe van becsavarva a csavar úgy, hogy a csavar túlnyúlik a beszorító lemezen, és felütközik a rögzítő lapon, megvalósítva a felfeszítést. A két-két csavar egyszerre állítva megvalósítható a közel 3 pontos pozícionálás. Ezekkel a csavarokkal lehet pontosan vízszintes síkba állítani a kamerát.



44. ábra A vidikonos kamera pozícionáló megfogása,  
a modell,

hátsó nézet, ahol jól látszanak a húzó és feszítő csavarok

Az ugyanabból az elméletileg síkra gyártott 10 mm vastag húzott alumínium lemezből készített alkatrészek párhuzamossága is kérdéses. Azaz, a mozgó asztal felület és a kamera megfogása rögzítő lapjának érintkező felületei mentén minimális kotyogást észleltem. Ezért a rögzítő lap alsó felületét úgy marattam ki, hogy közel 3 ponton érintkezzen a mozgó asztal felületével. (45. ábra)



45. ábra A 3 pontos felfekvést mutató modell nézet.

Az Andor kamerát kivéve a berendezésből, annak a helyére könnyen beilleszthető a tervezett vidikonos kamera megfogása, a pozícionáló csapoknak a helyét kifúrtam a rögzítő lapon. Mivel hosszabb a vidikonos kamera az Andornál, és egy kicsit túlnyúlik a mozgó asztal hátsó síkján. A behelyezett kamera szoftveres felismerését meg úgy oldattam meg, hogy a mozgó asztal hátsó síkjára felszereltem egy mikrokapcsolót, amit lenyom a vidikonos kamera megfogása, ha azt behelyeztük a berendezésbe.

A vezetékek kivezetése a fényzárt láda kisputtonyán keresztül történik.

Megjegyzem a tervezett és megépített alkatrészek alapanyaga AlMgSi0,5 nagy tisztaságú alumínium, a választás okát fentebb részletesen ismertettem, röviden a neutron és röntgensugárzás miatt.

#### *4.6. Szcintillátorernyők mechanikai egysége*

A szcintillátorernyők nagyon költségesek, tönkremenetelük nem megengedett, sérülés esetén nem pótolhatók, vagy csak hosszas beszerzési pályázat után. Tehát nagyon körültekintően kellett eljárni mind a tervezés mind az összeszerelés során.

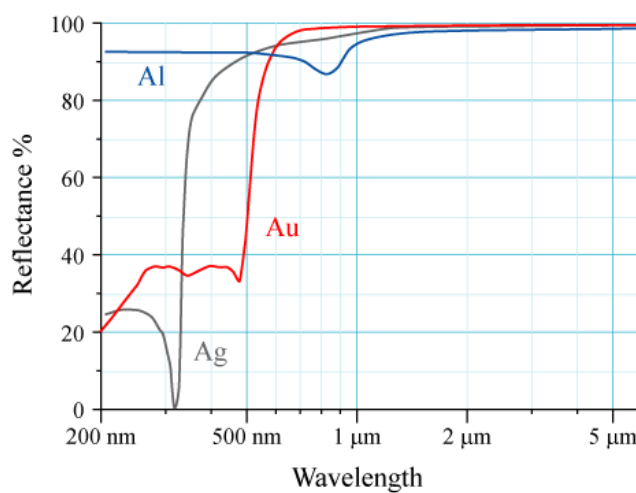
A szcintillátorernyők működését fentebb már ismertettem, kiválasztásuk a megrendelő tapasztalatai és előzetes kapcsolatai alapján történt meg, a megrendelő szállította nekünk összeszerelésre és tervezési alapként. A feladatom ezeknek a szcintillátor ernyőknek a keretbe foglalása volt.

A mérőberendezés előre kinyúló része, az úgynevezett kalicka, ennek a nyitott része néz merőlegesen a neutron nyalábra, ide helyezzük be a szcintillátorernyőket. A szcintillátorernyők neutronfluoreszens felülete a berendezés belseje felé néz. A szcintillátorernyők elképzelhetők és tervezés szempontjából modellezhetők, mint a lemezek. Igaz is, ez egy nagy tisztaságú alumínium lemez, melynek az egyik oldalára felgőzölték ezt a neutronfluoreszens réteget, melynek vastagsága csak pár  $\mu\text{m}$ . Ez a vékony réteg sérülékeny, könnyen károsodhat, ezért a megfogása kritikus volt a tervezés szempontjából. Meg kellett találni azt az ideális foglalat, mely során minél kisebb felületen érintkezik a szcintillátorernyő aktív felülete és a megfogás, mégis elég stabilan tartja a helyén.

A megrendelés szerint 2db 100x100 mm<sup>2</sup> felszínű és 1,5 mm vastag, 2 db 250x250mm<sup>2</sup> felszínű és 1,5 mm vastag, és 300x300 mm<sup>2</sup> felszínű és 1,5 mm vastag szcintillátorernyőkről szólt. A 300x300 mm<sup>2</sup> szcintillátorernyő különlegessége, hogy aktív felülete ennek is csak 250x250 mm<sup>2</sup> méretű, de így a befoglalásánál az érintkező felületek nem tudják felsérteni majd a neutronfluoreszens réteget. Megrendelték még 2 db röntgensugár érzékeny 300x300 mm<sup>2</sup> méretű fóliának a befoglalását is, ennek a fóliának a vastagsága 0,1 mm alatti, ezért a befoglalása kritikus a sérülékenység szempontjából.

A neutron nyaláb áthalad a konzolra elhelyezett mérendő anyagon, majd a szcintillátorernyőbe csapódik, csak azok a neutronok okoznak foton kibocsátást, amelyek a lemez alumínium részén áthaladva a neutronfluoreszens felületbe csapódnak, és foton emissziót váltanak ki. Ezért fontos, hogy fényzárt ládában és kalickában vizsgáljuk ezeket a fényfelvillanásokat nagyérzékenységű kamerákkal. A szcintillátor ernyők aktív felületének befelé kell néznie, és a szcintillátor ernyők és a foglalat között és a kalicka között nem szabad fénynek beszivárognia.

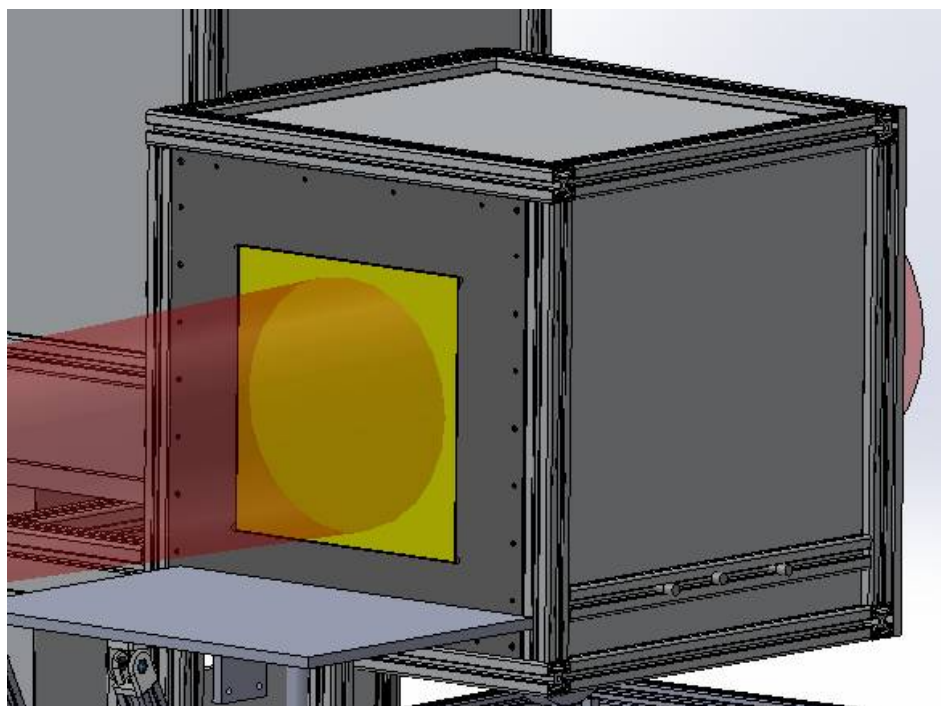
Az itt leírt tervezési szempontok igazak a röntgen érzékeny ernyőkre is. Megjegyzem, bár a kalibráló mintáknak alacsony megvilágítású háttér világítása van, de a fényzárás a megvilágítás foglalata és a kalicka kerete között is fontos. A fényzárás a fényes féme felszínű alumínium alkatrészekkel nehezen megoldható, reflexiós tényezője a látható fény-, ultraibolya-, infravörös- és távoli infravörös hullámhossztartományban is magas, 90% feletti.[29] Nem véletlenül használtuk mi is a fény kivezetésére szolgáló tükrök tükröző felületének létrehozására. Ezért szükséges a fényzárt doboz és kalicka feketére festése és eloxálása. A fényzárás hatékonyságának növelése érdekében minden szcintillátorernyő befoglaló alkatrészét feketére eloxáltattam..



46. ábra Az alumínium reflexiós tulajdonsága [29]

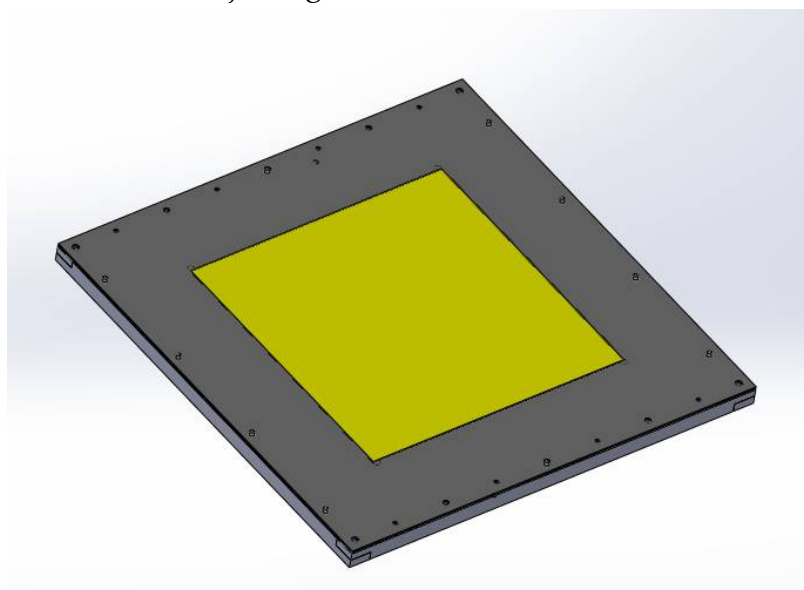
A szcintillátorernyők foglalatának egyes részein közvetlenül áthalad az irányított neutron nyaláb. Ennek a neutronnyalábnak a névleges átmérője 250 mm a szcintillátorernyő felszínénél. A névleges átmérőben van a neutronok nagy része, közel a Gauss eloszlás szerint. Neutronok szóródnak a vizsgált objektumon, és a fókuszálással a neutronoknak csak a nagy részét sikerül irányítani, az irányítatlan neutronokat sem szabad elhanyagolni, ezért kell minden alkatrésznek nehezen felaktivizálódónak lennie, ezért terveztünk szinte mindent nagy tisztaságú alumíniumból vagy pedig polimerből. Azt lehet mondani, hogy a kalickának a helyén a neutronok egy 400x400 mm<sup>2</sup> területen belül koncentrálnak a leginkább, ezen belül a legjelentősebb az anyagválasztás és a tervezett alkatrészek méretei, azaz az anyagmennyiség. A foglalat minden alkatrészét AlMGSi<sub>0,5</sub> nagy tisztaságú alumíniumból terveztem, és az alkatrészek közti összeköttetést polimer PEAK csavarokkal biztosítottam.

Bár az alapkoncepció minden foglalatnál azonos, de mégis minden foglalat szcintillátorral érintkező részét egyedileg kellett átterveznem, mivel a megérkezett szcintillátorernyők méretei jelentős eltéréseket mutatattak. Megmértem minden szcintillátorernyőnek a vastagságát és kerületi méreteit, ezek alapján egyedileg átméreteztem a befoglaló lemez alkatrészeinek bemarkázait, így biztosítottam a szoros illesztést, és törekedtem arra, hogy a neutronfluoreszens felület mindig ugyanabban a pozícióban legyen, a kamera fókuszálásának megkönnyítése érdekében, hisz a tervezett objektívek fix fókuszúak.



47. ábra Kalicka, előtte mintatartó konzol, a sárga felületű rész a szcintillátor lemezt modellezi, körülötte ennek foglalása, és beillesztése a kalickába, a piros átlátszó elem a neutronnyalábot modellezi.

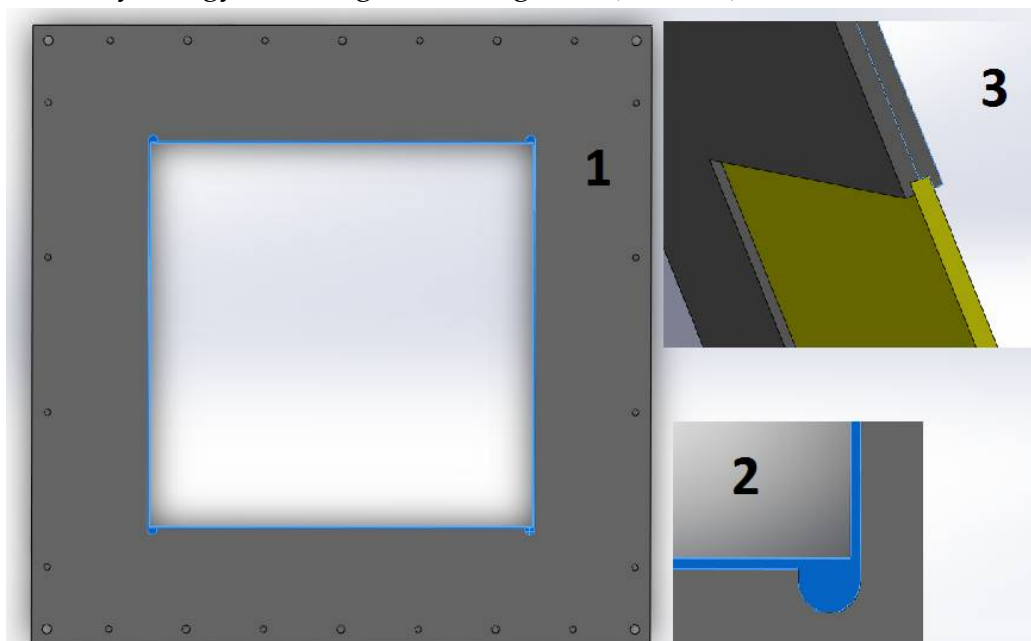
A szcintillátor ernyő befoglalásához és kalickába történő illesztéséhez szükséges alkatrészeket kellett a legtöbbször átterveznem. Fontos tervezési szempont volt, hogy minél kevesebb legyen a gyártási hulladék és a marás miatti sík- és párhuzamossági eltérések, mivel az illesztések nagyon szorosak voltak. Az  $\text{AlMgSi0,5}$  alapanyagú alkatrészek csak néhány méretben kaphatók, ezzel csak a tervek elkészítése után, az alapanyag beszerzések során szembesültem. Többször módosítottam terveimet, az újabb fényzárási koncepciók miatt is. A fentebb leírt szcintillátorernnyők méreti eltérései miatt is az ezzel érintkező alkatrészeket újra kellett gondolnom. A 48. ábra a végső összeszerelt modellemet mutatja meg.



48. ábra Szcintillátorernnyő foglalata

A középső sárgára színezett alkatrész a szcintillátorernyő, melynek átlagos vastagsága 1,5 mm, két ugyancsak 1,5 mm vastag lemezek közé foglalom be. A befoglaló lemezen a kivágott ablak mérete a befoglalandó szcintillátorernyő szélességétől 2 mm-rel kisebb, a kivágott ablakok körvonala mentén 1 mm vastagon végigmarjuk a lemezt, a befoglalni kívánt szcintillátor ernyő vastagságának fele legyen a maró fogás mélysége. A két-két befoglaló lemez egymással tükörszimmetrikusak, így kapunk olyan lemezpárokat, melyekhez pontosan egy szcintillátorernyő tartozik. A lemezpárok átlagosan 1 mm átfedéssel fogják közre a szcintillátor lemezeket szoros illesztéssel, ez biztosítja, hogy a lemezek stabilan pozícióban maradjanak.

A befoglaló lemezeket külső beszállító marógéppel munkálta meg, a furatokat közel azonos pozícióba fúrta ki minden lemezre, mivel egy előre elkészített fúró sablonnal megjelölte a furatpozíciókat. A gyártás után megkapott lemezeket párosítottam, és azonos jelöléssel láttam el. Ezután a lemezeket elküldtük eloxálásra. A megmunkálás utolsó fázisa a csavarok miatti süllyesztések kifúrása volt. A tárolhatóság, esztétikai és praktikussági szempontok alapján süllyesztett fejű csavarral terveztem a lemezek és a keret összeszerelését. Túl későn döntöttem a süllyesztett fejű PEAK csavarok mellett, így már a leloxált lemezeket kellett kifúrnom, ezzel megsértve az eloxréteget, és esztétikailag se lett már olyan szép, mint terveztem. Utólag a fekete eloxtól elütő alumínium felületeket befestettem. Meg kell jegyezni, hogy az eloxálás homogén fekete felületet adott az alkatrészeknek, de a felszíne nagyon sérülékeny. Sajnos már szerelés közben is észrevehető karcok jelentek meg az alkatrészek felszínén, és biztos vagyok benne, hogy használat közben még több fog megjelenni, főleg a szcintillátorernyők foglálásán, melyeket gyakran fognak cserélni. (48. ábra)



49. ábra 1. szegmens: A befoglaló lemez 3D-s modellje, az 1 mm bemarás kék színnel jelenik meg.

2. szegmens: a megmunkáláskor elvárt marás pályáit mutatja meg.

3. szegmens: A befoglalt szcintillátorernyőt mutatja meg a két befoglaló lemez között, metszeti nézet.

A szcintillátorernyőket befoglaló lemezeket egy merevítő keretre terveztem felcsavarozni, mely biztosítja a szcintillátor egység szilárdságát, stabilitását, könnyű megfogását, mozgathatóságát, egységes behelyezését a kalickába és a fényzárást. Míg a befoglaló lemezek páronként eltérőek, addig ezek a keretek egyformák, és használhatók bármelyik befoglaló lemez és szcintillátorernyő egységhez. Ezt a keretet 4 db 400 mm hosszú hasábból terveztem, melyek szimmetrikus kialakításúak, így az egymással szemben lévő hasábok egyformák. Ez azt jelenti, hogy csak két különböző hasábot kellett megtervezni. A hasábokat a szerelhetőség miatt és hogy a 400x400 mm<sup>2</sup> területű kalicka oldalba beférjenek, úgy terveztem, hogy a sarok pontokban átfedéssel csatlakozzanak. Ezekben a sarokpontokban M6-os PEAK csavarokkal történik meg a keret rögzítése. Ezek a csavarok süllyesztett fejűek, és a külső befoglaló lemeztől egészen a hátsó hasábig haladnak. A lemezekbe és az elülső hasádba 6,2 mm átmérőjű furatot terveztem, a hátsó hasádba M6 menetet. A befoglaló lemezek kerethez rögzítését ezek a csavarok már akár meg is oldanák, de mivel ennek egy kritikusan fényzárt területnek kell lennie, oldalanként 4x4 db M4 csavarral biztosítom, hogy a lemezek minél pontosabban, kihajlás nélkül ráfeszüljenek a keretre. Az M4-es furatok menetei mindkét típusú hasábon megtalálhatóak.

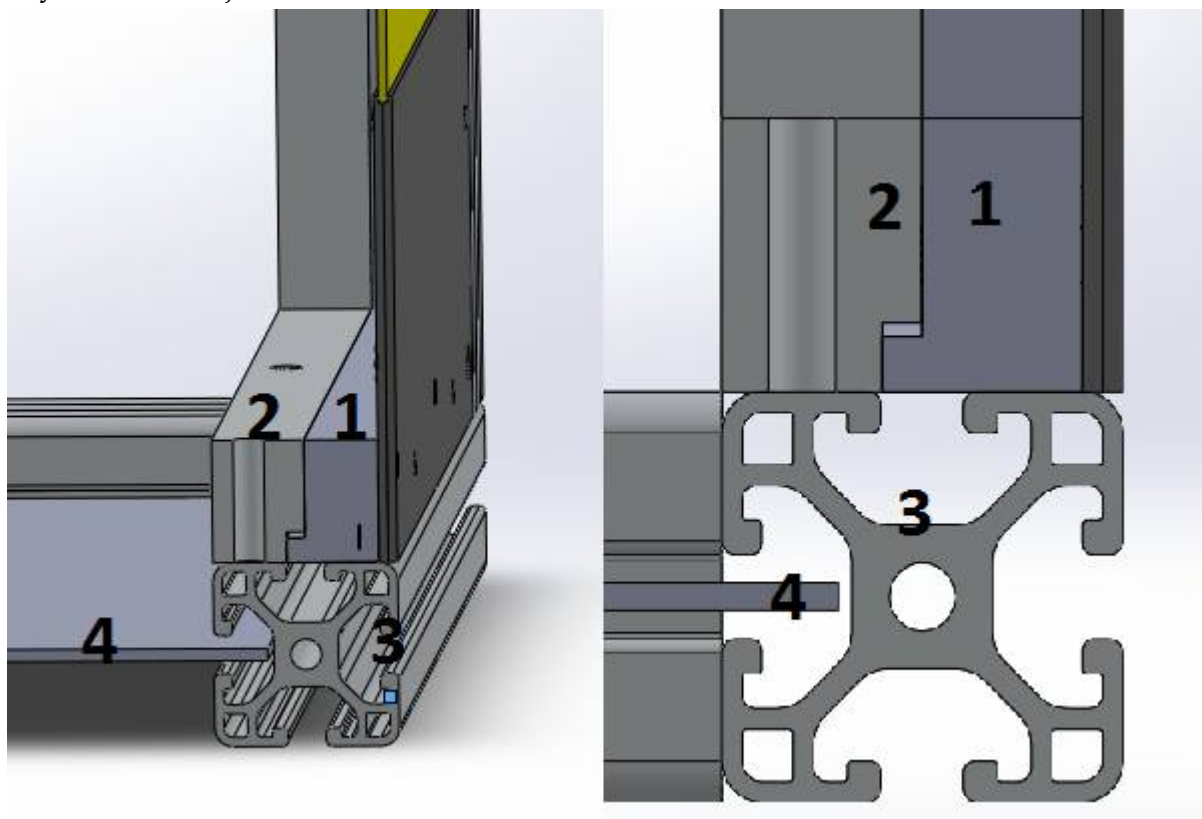
Gyártás után a hasábok furatainak pozíciói oly mértékű szórást mutattak, hogy a tervezett keretet nem lehetett volna ebből összeépíteni, ezért több sarokpontot is fel kellett fúrnom. A befoglaló lemezek gyártási pontatlanságból adódó szerelhetetlenségé, pedig a süllyesztésekkel próbáltam orvosolni, a csavarokat a megfelelő pozícióba helyeztem. Az esetenként több alkatrészen is átmenő csavarkötéseket terveztem, ezeknek a gyártási hibáit úgy próbáltam kijavítani, hogy néhány csavarral összefogtam a szcintillátor egységeket, és dörzsárral egytengelyesítettem a többi furatot, majd a süllyesztéseket a helyes pozícióban fúrtam ki.

A kalicka keretéhez történő rögzítést 4 db csavarral biztosítottam. Ennek megfelelően a szcintillátor egységen jobb és bal oldalt 2-2 db átmenő furat van, melyeken át a 2-2 db PEAK csavar becsavarható a kalicka keret belső falára csavarozott rögzítő és funkcionalitást tekintve fényzáró hasábokba.

A hasábok alapanyaga AlMgSi0,5 alumínium, amit 15x20 mm<sup>2</sup> alapterületű 6 m hosszú rudak formájában lehetett csak megvenni (először 15x15-sel terveztem). A szcintillátor egység teljes vastagsága 18 mm (3 mm a befoglaló lemezek és 15 a hasábok). A kalicka belsejéhez rögzített felütköző keret vastagsága 15 mm. A 30x30 keresztmetszetű Item rúdon, hogy pont elérjen a felütköző keret és a szcintillátor egység is, 3 mm mélyen egymásba kellett csúsztatnom őket. A fényzárás szempontjából is előnyös ez az elrendezés, amit az 50. ábrán megmutatok. A szcintillátor egység kerete és felütköző keret egymásba csúszó részeinek alakja egymás inverze (50. ábra), úgy hogy 1 mm hézag fut körbe az illeszkedő elemek között, hogy az alkatrészek szorulását elkerüljem.



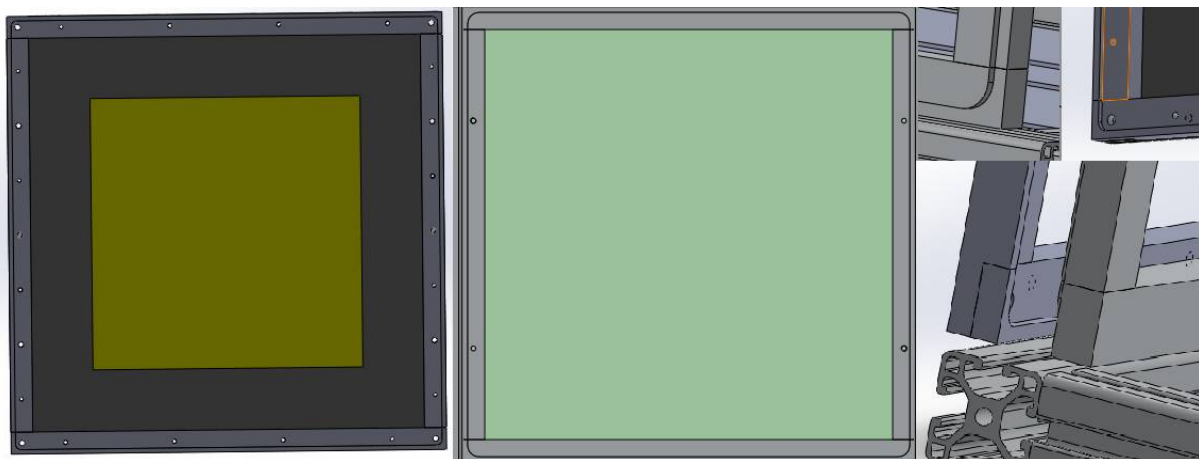
A kalicka belsejében lévő felütköző keret alkatrészeit a kalicka Item elemeihez a függőleges oldalon 2db a vízszintesen 3 db csavarral rögzítem, hogy folyamatosan pozícióban maradjon, és kellően hozzá legyen szorítva az Item alkatrész falához. A keret alkatrészeiben furatok vannak, míg az Item elemekben ezeknek megfelelő menetek. Ennél a rögzítésnél nem indokolt a süllyesztett fejű csavarok használata, ezért hagyományos imbuszfejű csavarokat terveztem.



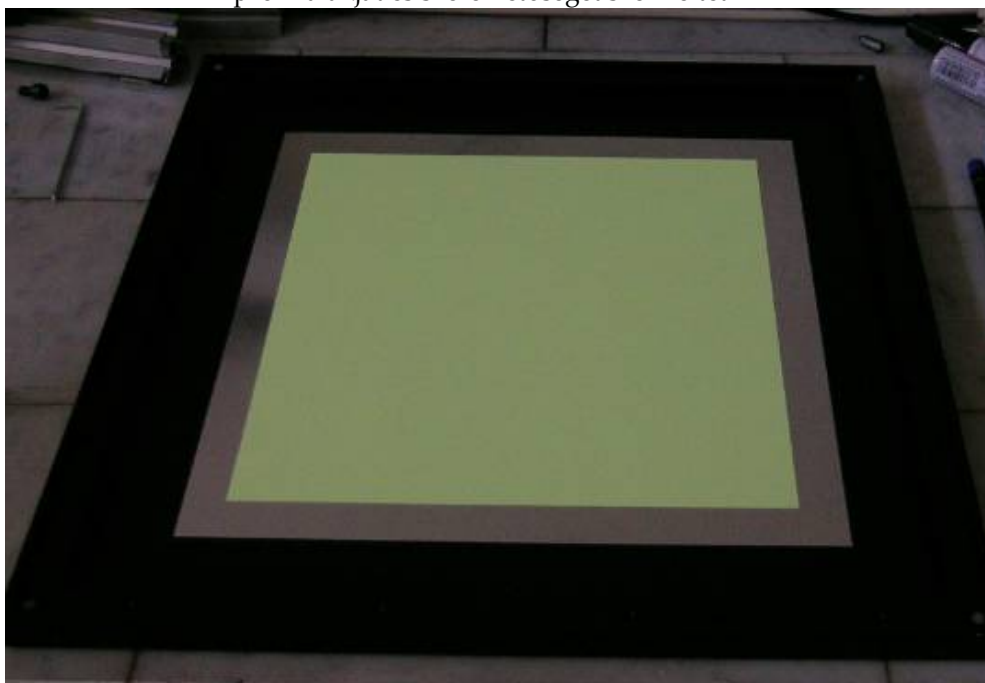
50. ábra 1. alkatrész a szcintillátor egység kerete, a 2. a felütköző keret, a 3. az Item váz és a 4. a dibond lemez szemléltetése.

Látható a szcintillátor egység keret és a kalicka belsejébe rögzített felütköző keret illeszkedése. A merőlegesen beforgatott metszeten látszik a felütköző keret furatpozíciója. Az Item profi alakjából következik, hogy még így is, hogy igyekeztem a legideálisabb helyre pozicionálni a csavarok helyét, mégis csak kis felületre lehet menetet vágni. Kifúrásuk nagy odafigyelést igényelt, és a menet metszése stabil megfogást. A kalickába történő beszerelése folyamatos vízszintezést és ellenprofillal történő visszaellenőrzést igényelt. Megjegyzem, az Item profil és a dibond kapcsolata a fenti ábrán csak modell szinten nézett így ki, a valóságban a gravitáció és a befeszítő gumiömítés miatt a dibond lemez le volt feszítve az Item profil nútjának alsó ékéhez, ezek biztosították a fényzárást.





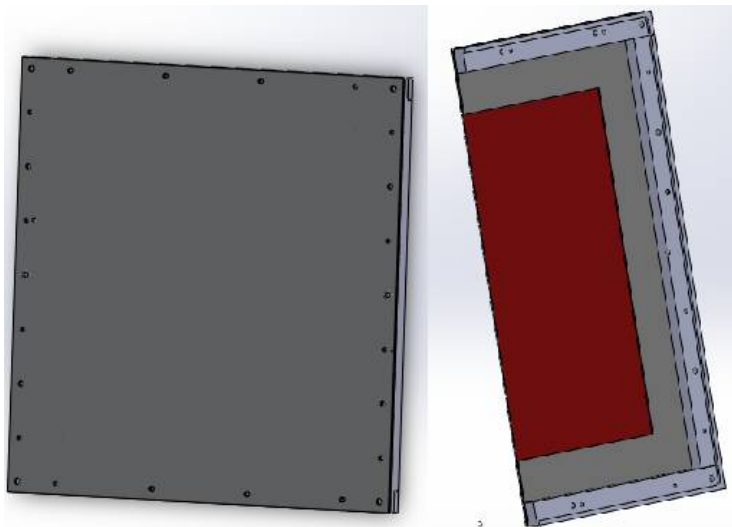
51. ábra A szcintillátor egység és a kalicka beérkező neutron nyaláb felől nézve. A kis képek a keret-profil alakját és szerelhetőségét szemlélteti



52. ábra A szcintillátorernyő befoglalva

Természetesen a röntgensugaras befoglaló egység felépítése is a fentebb ismertetett egységhez hasonló. A befoglaló lemezek külső kerületi méretei megegyeznek a szcintillátor befoglaló keretével, ebből adódik, hogy a keret lehet a fentiekkel azonos, így ezt az alkatrészt nem kellett átterveznem, csak nagyobb darabmennyiséget gyártatni. A röntgen érzékeny ernyő átlagosan 0,15 mm vastagságú, és mégis 300x300mm szélességű és magasságú, ezért roppant sérülékeny. Mivel a röntgensugár könnyedén áthatol az alumíniumon, ezért a röntgen érzékeny ernyőt felhelyeztük egy teljes, sík, 400x400 mm szélességű és magasságú alumínium lemez közepére. Majd pedig erre egy ezzel azonos külső méretű, de 298x298 mm négyzet alakú közép kivágással rendelkező lemezt tettünk, ezeket csavarokkal a kerethez szorítva foglaltuk be a röntgen érzékeny ernyőt. Azért, hogy a röntgen érzékeny ernyő ne feszüljön fölöslegesen, és könnyebben tudjuk pozícionálni. A teli lemez hátsó oldalát, azt, amellyel a röntgen

érzékeny ernyő fog érintkezni, megmunkáltattam úgy, hogy a röntgen érzékeny ernyő szélességének és magasságának megfelelő 0,1 mm mély marás legyen, a maró kés kifutási pályája a fentebb bemutatotthoz (53. ábra) hasonló.

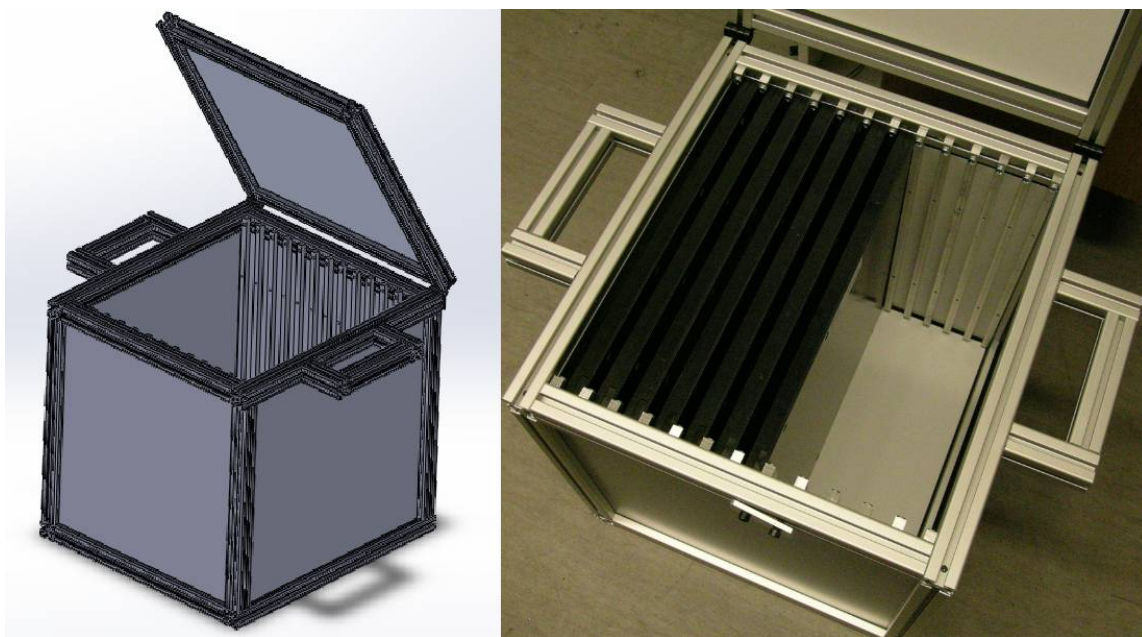


53. ábra A röntgen érzékeny ernyő keretbe foglalása van elől, és metszett hátsó oldal hátul ezt mutatom meg a két nézetben, a pirossal jelzett terület a röntgensugár érzékeny ernyő.

A szcintillátor és röntgen egységek cseréjét a kalicka front felületén a szoros illesztések miatt nehéz megoldani. A ki- és behelyezést két kiemelő gomb segíti, melyeket a keret szélén két M5-ös menetbe belecsavarva lehet rögzíteni. Csere esetén, mielőtt kivesszük a szcintillátor egységet a kalicka elejéről, ezek a gombokat becsavarják az M5 menetbe, előtte nem szükséges, hogy ott legyenek, sőt ajánlott, hogy legyenek eltávolítva minden csere végrehajtása után, így csökkentve a neutron nyaláb közvetlen közelében a fölösleges anyagokat. A tároló láda korlátozott mérete miatt nem lehet a szcintillátor egységeket elpakolni addig, amíg ezeket a gombokat el nem távolítják.

#### 4.7. A szcintillátor tároló láda

Talán érdekesnek tűnhet, hogy egy tároló doboz megtervezése és megépítése is bekerült a diplomamunkámba, meg kell jegyeznem, hogy ez a tároló egység a szcintillátor és a röntgenernyők tárolására lett megtervezve majd pedig megépítve. Fentebb írtam már, hogy ezek a szcintillátorernnyők nagyon érzékenyek a fényre, ezért tárolásukat egy fényzárt tároló egységben kell megoldani. A szcintillátorernnyők tárolása a tervek szerint közvetlenül a berendezés mellett a neutroncsarnok mérőszobájában, ebben a tárlódobozban lesz megoldva. A használatban lévő ernyő a fényzárt kalicka neutron nyalábra merőleges felületén van beillesztve befelé fordulva, így külső fény nem éri az ernyőt. Az ernyők gyér megvilágítás mellett lesznek kicserélve. A tároló doboz a megrendelt 6db szcintillátor, a 2db kalibráló tesztobjektum, a 2 db röntgen érzékeny ernyő és a további két előre meg nem határozott ernyő tárolására alkalmas.



54. ábra Szcintillátor tároló láda

A doboz vázát az eddig is használt, jól bevált Item elemekből terveztem meg. Összeszerelésük egyszerűsége és praktikussága miatt döntöttem így. Nem mellesleg a felhasznált Item elemek megfelelően tiszta alumíniumból készültek, ami a felaktiválódás szempontjából jelentős. Megjegyzem, a tároló láda átalakítása könnyen elvégezhető, vagy sérülés esetén elég csak a sérült szakasz cseréje, új részek könnyen implementálhatók a régebbi elemekhez. Kezdetben úgy terveztem, hogy a keret 20x20-as profilú Itemből készüljön, úgy gondoltam, ezzel a tároló doboz össztömegét sikerülne csökkenteni. Majd anyagi és anyag-felhasználási szempontok miatt a kezdeti elképzelésemet módosítottam úgy, hogy a keret 30x30-as profilú szakaszokból épüljön fel.

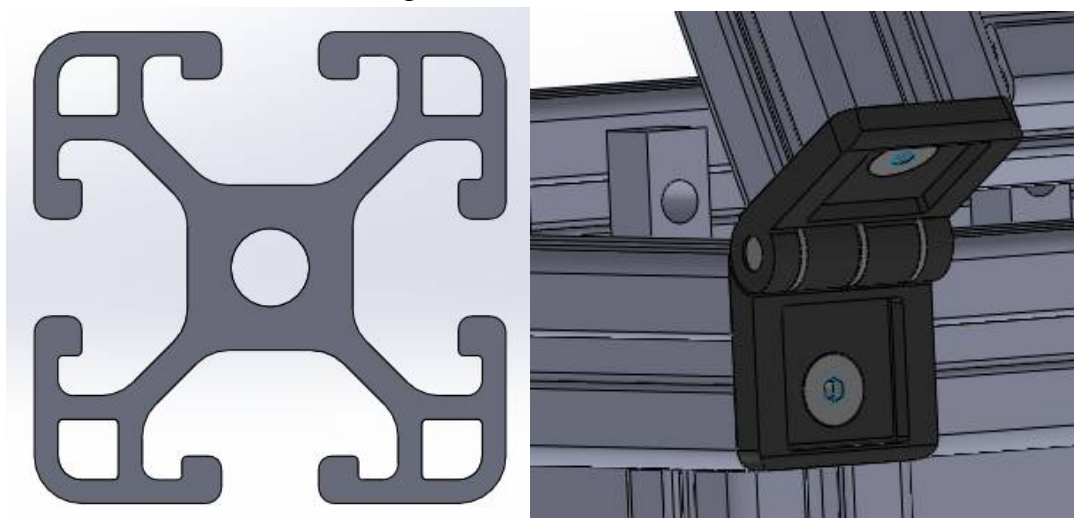
A keret méreteit úgy határoztam meg, hogy a 400x400x18 mm-es szcintillátor egységek könnyen beleférjenek. Felülnézeti keresztmetszeti belső méretei 405x370mm, így a szcintillátorernyőknek 5mm kotyogást engedtem, a 370 pedig a fentebb említett tárolandó elemek méretéből adódott. A 30x30-as profilú Item szakaszok miatt a külső befoglaló méretei 465x430 mm-esek. Magassága az alsó, felső és fedő Item szakaszok és a szcintillátor keret miatt 460 mm-re adódnak.

A tároló doboz oldalainak, aljának és tetejének falát 2 mm vastag dibond lemezből terveztem. Az alapanyag kiválasztásának megint csak a neutron- és gammasugárzás volt a fő szempontja. A dibond lemez nevéből is lehet következtetni, hogy két eltérő anyagú lemezből épül fel. Esetünkben egy olyan szendvics szerkezetű anyagról van szó, mely kifelé szokványos alumínium jellegűnek tűnik, de a valóságban egy polimer lemezt határol két oldalt egy-egy nagyon vékony 0,3 mm alumínium lemez. Az alumínium lemezek kellő szilárdságot, míg a polimer mag kellő rugalmasságot ad ezeknek az anyagoknak. A polimer magra (alacsony sűrűségű polietilénre, röviden LDPE-re) nem jellemző a felaktivizálódás, ezért ezek a dibond lemezek jobbak, mint teljesen fém társaik. Az alumínium lemezek felszínének sérülékenysége ezeknél a lemezeknél is tapasztalható, de a szokásostól eltérően a rugalmassági tényezője jóval magasabb.

Ezek a lemezek lényegesen kevesebb fémet tartalmaznak, mint szokásos alumínium társaik, és a polimer magra nem jellemző a felaktiválódás, és a polimer mag miatt a lemez tömege is jelentősen kisebb, ami az össztömeg, azaz a mozgathatóság miatt jelentős. A hagyományos alumínium lemez átlagos sűrűsége  $2700\text{kg/m}^3$ , a dibond lemeznek  $2,7\text{ kg/m}^2$ , ami  $2\text{ mm}$  vastagságú lemez esetén  $1450\text{ kg/m}^3$  jelent. Az itt ismertetett okok miatt döntöttem ezen dibond lemez mellett. A dibond lemezek  $1\times 2\text{ m}^2$  táblákban érkeztek, a pontos és sorja mentes méretre vágást külsős cég végezte el. További megmunkálását (pl.: furatok felhelyezését, fekete matricával történő befedését ...) cégen belül mi végeztük el. A dibond lemez további- és számszerűsített adatit a mellékelt DVD-n található.

A fény zárását a fentebb ismertetett módon oldottam meg, azaz a váz Item profil mélyedéseibe helyeztem a dibond lemezeket, melyeket gumis tömítéssel fényzártam és fixáltam a belső oldalon. Természetesen a lemezeket ennek megfelelően nagyobbra kellett terveznem, mint a váz belső méreteit. A gumi tömítések szerelése nehézkes volt, jól feszült a dibond és az Item profil közé. A könnyebb szerelhetőség érdekében meg kellett nedvesítenem a felületeket, ezt gyorsan párologó nem penészedő alkohollal oldottam meg.

A tároló doboznak és tartalmának össztömege meghaladja a  $10\text{ kg}$ -ot, a könnyebb mozgathatóság érdekében a doboz egymással szemközti oldalára a felső kereten elhelyeztem két fogantyút, melyek megkönnyítik a mozgatását. Áthelyezését még mindig ajánlott két embernek együttesen elvégeznie. Ezek a fogantyúk is Item profilból lettek megtervezve. Természetesen az anyagválasztás mellett, azért választottam ezt a megoldást, mivel ez könnyen rögzíthető az Item kerethez. A tároló láda átalakítása során könnyen le- majd visszaszerelhető. A fedő rész felnyitásához és akár  $180^\circ$ -os kihajtásához a zsanérokat az Item katalógusból választottam ki.



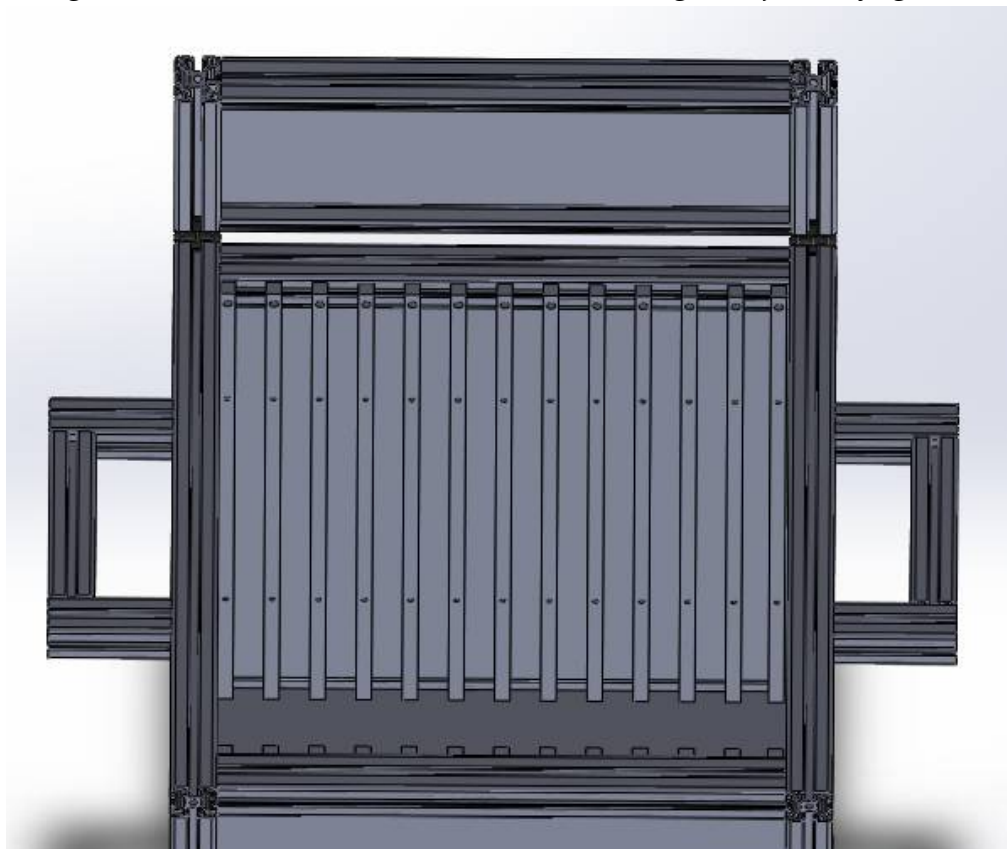
55. ábra 30x30-as Item profil keresztmetszete

56. ábra A tervezett Item zsanér

A szcintillátorernyők rendkívül sérülékenyek, nem érintkezhetnek egymással és a tároló falával sem. A szcintillátorernyők foglалásukkal együtt  $18\text{ mm}$  szélesek, ahhoz,



hogy ezek az elemek jól el legyenek különítve, a láda két egymással szemközti oldalára megvezető és elkülönítő síneket terveztem 20 mm távolságra egymástól. A kalibráló minták méretei és foglalása eltér a szcintillátoroktól, ezért a jobbszélső két sín távolsága ettől eltérő, 18 mm és 20 mm. A sínek rögzítése a két oldalon úgy valósul meg, hogy egy dibond lemezre sínenként két-két pozícionáló furatot helyeztem el. Erre a lemezre felcsavaroztam a megvezető síneket, de a furatok helyének gyártásból származó bizonytalansága szükségessé tette, hogy minden furatot a tervezett csavarméretnél 1 mm-rel nagyobbra tervezzek. Ez a gyártási bizonytalanság abból adódott, hogy a dibond lemezek megmunkálását oszlopos fúróval végezte el egyik kollégám. A polimer mag miatt a megmunkálás nehézkes volt, fúrás során a polimer könnyen megakasztotta a kisnyomatékra állított fúrót, azért használtunk kis nyomatékot, mivel a hátsó alumínium réteget elérve nem akarta, hogy átszakadjon. Így is keletkezett sorja, amelyet le kellett munkálni. Ezeknek a síneknek a pozícionálása egy 20x102 mm hasábbal történt úgy, hogy az első felszerelt sín után mindig a soron következő és előző sín közé szorítottam be ezt a hasábot, majd a lemezre csavaroztam a következő síneket, így biztosítottam, hogy ezek a sínek egymáshoz képest párhuzamosak legyenek. Így kaptam két lemezt, melyre 13-13 db sín volt csavarozva, ezután ezt a szcintillátor tároló láda egymással szemközti falára csavaroztam. Horonyanyákat csúsztattam a keret felső Item szakaszába, ehhez rögzítettem szemből síneket, ezáltal még merevebb és stabilabb lett a sínek egymáshoz képesti helyzete. A megvezető sínek alapanyagának nagytisztaságú alumíniumnak kellett lennie, ez az AlMgSi0,5 jelű anyag.



57. ábra Megfigyelhető a tervezett megfogó fülek és a megvezető és eltartó sínek kiosztása

A szcintillátor tároló láda elkészülése után az elvártak szerint megfelelt a vele szembe állított követelményeket.

#### 4.8. Hűtés – Mobil klíma és vízhűtő rendszer kiválasztása és telepítése

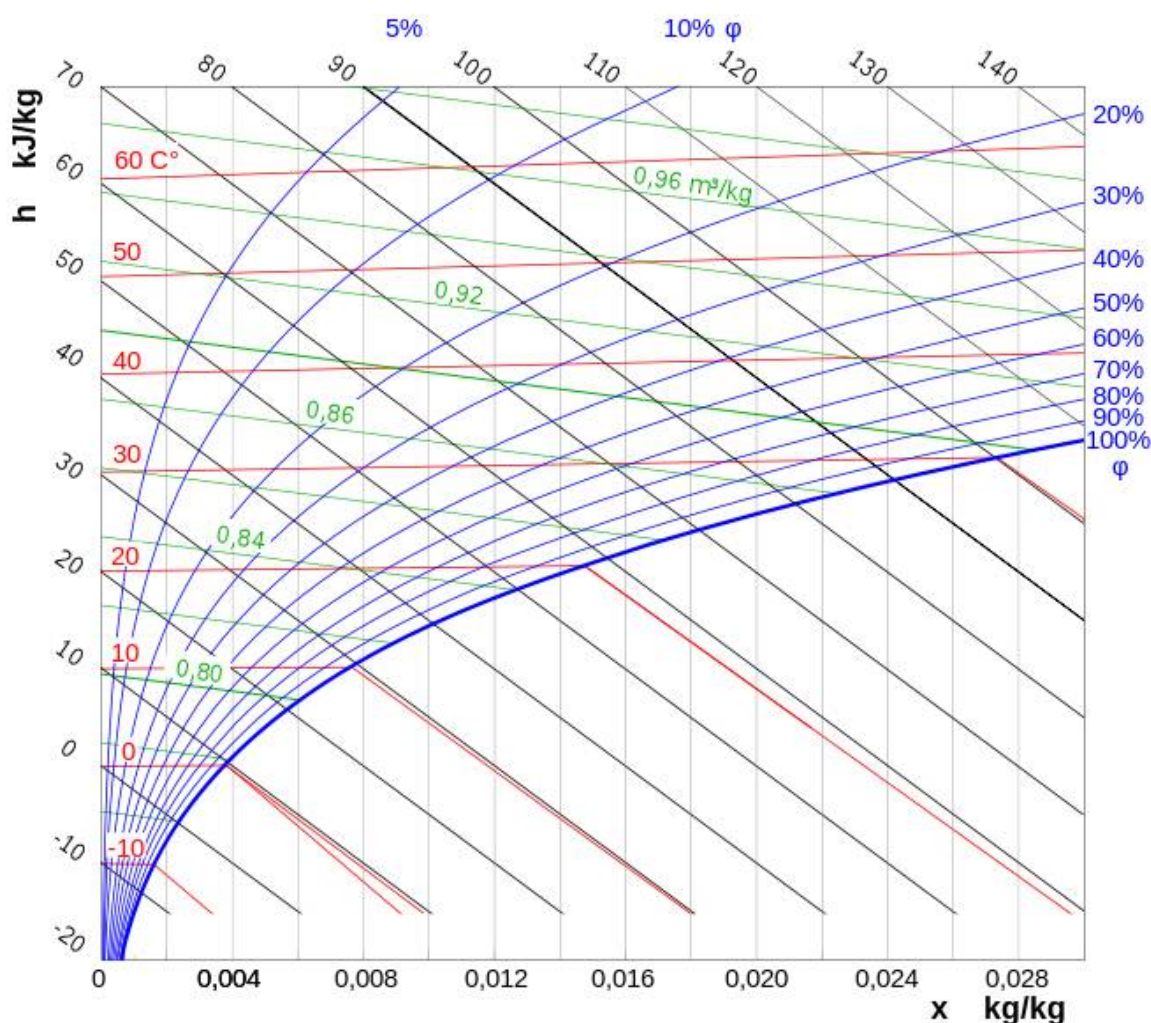
Az Andor kamerához választottam egy vízhűtő egységet, ami a CMOS detektort hűtő peltier hőcserélő elemét hűti. A ventilátoros hűtéshez képest további 10°C fokos hűtést, azaz összességében a környezethez képest 40 °C fokos hűtést tesz lehetővé. A kamerához ajánlott gyári vízhűtő árának tizedéért, tudásban mégis megegyező vízhűtést választottam. Vízhűtőnek a Koolance EXOS-2 EX2-755 nevű és jelű berendezést választottam. A választás egyik fő oka, hogy gyorsan keringeti a hűtőfolyadékot, 7 l/perc-sebesség mellett 700W hűtési teljesítmény érhető el. A hűtés a gép tetején található két 120 mm átmérőjű hűtőventilátorokból a folyadékot 10 mm-es hőcserélőn hajtja át a redundáns pumpás szivattyú. Mind a kamerán mind az EXOS 2-en a folyadék keringőkör csatlakozásának mérete ¼" (col). A gyártó csak a saját gyári hűtő folyadékát ajánlja a berendezéshez. A Koolance LIQ-702 folyadék alacsony toxin tartalmú, korrózió és biológiai gátló, azaz megakadályozza a baktériumok és algák növekedését. Fagypontja -15°C fokon van. Cseréje 2-3 évente ajánlott.

A vízhűtést a mozgató asztal alá, azaz a berendezés alá helyeztem el, hogy minél távolabb legyen a neutron nyalábtól. A klíma méretének megfelelő emelvényt terveztem neki, melynek vázát a fentebb bemutatott Item profilokból terveztem. A lábaknak rezgéscsillapított Item géplábakat választottam. A kamerához 2 m hosszú ¼" (colos) hidraulikus vezetéken jut el a hűtő folyadék. Mivel nincsen nagy nyomás a keringő körben, hidraulikus vezetékes keringetést biztosítottak a vízhűtőhöz. A berendezésbe a kamerához a vízszállító cső a hátsó puttony alján, a kamera és táp vezetékek mellett jut be.



58. ábra baloldali: a vízhűtés helye a mozgató asztal alatt, jobboldali: Koolance EXOS 2 és a hozzátartozó folyadék

A mobil klímával az egész mérőszobát kívánja a megrendelő hűteni. A mérőszoba hőmérsékletének csökkentésével tovább csökkenthető a kamera CMOS chipjének hőfoka, hiszen hűvösebb közeghez képest kell a peltier elemnek lehűtenie az érzékelőt. A vízűtés dolgát is megkönnyíti a mobil hűtés. Bár kevés hőmérsékleti és páratartalmi mérést végeztek a mérőszobában, és azok se lettek jól dokumentálva, a szóbeszéd útján kapott tapasztalati eredmények azt mutatják, hogy a mérőszobában a hőmérséklet fűlledt nyári napsütéses napon akár 30-35°C fok is lehet magas páratartalom mellett. A mobil klímával célom a hőmérséklet csökkentése és a környezethez képesti stabil szinten tartása. A mobil klíma másik fontos feladata, hogy a beszívott levegő páráját a hőcserélőn kondenzálja ki, és így száraz hideg levegőt fúj a mérőszoba légterébe.



59. ábra Molier diagram: vízszintes tengelyén a tömegarány (abszolút nedvességtartalom), függőleges tengelyén az elegy fajlagos entalpiája szerepel. A vízszintes és a függőleges tengely egymással 135°-os szöget zár be (nem derékszögű koordináta-rendszer). Az ábrán jól látható, hogy a h entalpia-vonalak ferdek, és  $\sqrt{2}$ -szer hosszabbak, mint az x vonalak. A kék görbék a levegő egy állandó relatív nedvességtartalmához tartozó görbék. Amikor a relatív páratartalom növekszik, a harmatponti hőmérséklet és a levegő hőmérséklete közötti különbség csökken. Amikor a relatív páratartalom 100%, a levegő hőmérséklete és a harmatponti hőmérséklet azonos.



A légbefúvást és a légbeszívást is mérőszobába/ból valósítottam meg, azaz cirkuláltatom a levegőt, így a mobilklíma folyamatosan hűti és szárítja ki a mérőszoba levegőjét. A fényzárt ventilátorok által a mérőberendezés burkolata alá beszívott levegő is a szoba hűtött, páracskéntett levegője lesz. Ezáltal elkerüljük, hogy a kamera, a mozgó és mozgó alkatrészek felületein a pára kicsapódás létrejöttön. A kamera CMOS chipje a legérzékenyebb terület, mivel itt a legalacsonyabb a hőmérséklet, azaz itt csapódna ki a legnagyobb eséllyel a pára, és meghibásodása a kamera tönkremenetelét eredményezné. A CMOS chip a kamera házban belül légmentesen be van zárva. A kamera elejére egy optikailag plán-paralel lemez hatású 0,1 mm vastag üveglemezt ragasztottak.

A választott mobilklíma 2,6 kW felvett teljesítményű, és 0,88 kimeneti teljesítményű, ami 8871 Btu/óra maximális hűtőteljesítménynek felel meg. Adatlapja szerint 85 m<sup>3</sup> légtér hűtésére alkalmas, a kis mérőszoba légtér a 40 m<sup>3</sup>-t nem haladja meg, óránként 340 m<sup>3</sup> levegőt forgat meg. Maximálisan 43 C°-kal képes a szoba hőmérsékletét lehűteni. A klíma különlegessége, hogy extra páratlanításra képes, páratlanító kapacitása 25l/nap. A klíma távolról távirányítóval vezérelhető. A termosztátját a mérőszobába helyeztem el, így az automatikus hőmérsékleten tartás megvalósítható. A klíma a levegőt egy harmonikusan kihúzható csővezetéken szívja be, a hűtött és szárított levegőt pedig két a felületén elhelyezkedő rácsos kiömlő nyílásokon fújja ki. A kiömlő nyílásokhoz rögzíthető alumínium elemeket terveztem, melyek egyik része a kiömlő nyílás méretével azonos, míg a másik a szabvány 110 mm átmérőjű narancssárga csatornacsőével. Azért kell a merev, nagy teherbírású csatornacsöveket használni, mert a mérőszobába a bevezetés és a szobából a kivezetés parafintéglák falán át vezet. A beépített csöveknek bírniuk kell a parafintéglák súlyából adódó terhelést. A légvezetést biztosító alkatrészeket is alumíniumból terveztem, gyártásukat az alumínium hegesztési tapasztalat és hegesztőgép hiányában külsős cég végezte.

A mobilklímát is a vízhűtéshez hasonlóan a megrendelő kérésére a klíma méretének megfelelő emelvényre tettem. Az emelvény vázát a fentebb bemutatott Item profilokból terveztem. A lábaknak rezgéscsillapított Item géplábakat választottam, mivel a klíma szivattyújának rezgései nem akartam, hogy átadódjanak a talapzatnak.



60. ábra A mobilklíma az emelvényén, látszik a légkiömlő nyílás és a légbeszívó harmonikus vezeték és a mérőszobába a légbevezetés



61. ábra A mobilklíma a végső helyén a mérőszoba melletti szobában, látszik a légvezetést biztosító alkatrészek is

#### 4.9. Kapcsoló szekrény tervezése az elektromos bekötésekhez

A neutron- és röntgenradiográfiás mérőberendezés áramellátását, motorjainak és érzékelőinek vezérlő egységeit és kábelit mind egy kapcsoló szekrényben gyűjtöttem össze. Álló orientációjú acéllemez felépítésű általános használatra szánt 600x600x210 mm téglatest alakú 1,2 mm falvastagságú kapcsoló szekrényt választottam. A különböző vezető alapanyagú alkatrészek (pl.: rézkábel) a neutron szempontjából aktivizálódó anyagok, ezért minden lehetséges elektromos szerkezetet a mérőszobán kívül elhelyezett kapcsoló szekrénybe terveztem bele.

A kapcsoló szekrényt nem tehettem a földre, mivel biztonságosabb, ha a 230 V feszültségű elemek nagy hajolgtás nélkül hozzáférhetők. A mérőszoba melletti kis térbe helyeztük el a kapcsoló szekrényt és a mobilklímát. Azért is kellett a kapcsoló szekrényt elemelni a földtől, mert ha a mobilklímában kicsapódó víz kifolyik, kiömlik belőle, ne okozhasson zárlatot. A kapcsoló szekrényt két Item elemekből megtervezett és megépített lábazatra csavaroztam fel.



62. ábra A kapcsolószekrény a lábazaton a berendezés mögött. Ez a kép a telepítés előtt készült, látszanak a hosszú feltekert vezetékek melyekre a nagytávolságok miatt volt szükség.

A kapcsoló szekrény minden részét külön földelni kell, az ajtót is, ezt írja elő a szabvány. Nem bízhattam abban, hogy a csavarok és zsanérok ekvipotenciális szintre hozzák a csatlakozó elemeket. A kapcsoló szekrényt úgy választottam, hogy az alján legyenek földtű csavarok, ahova a saruzott sárga-zöld életvédelmi földelés vezetékét le tudtam rögzíteni. A berendezésbe nem megy 230V feszültségű vezeték, csak törpefeszültségek, ezért életvédelmi földelésére nem volt szükség, a szabvány se kötelez rá. A kamera-, motor-, a szenzor és a Galil tápok felelősek a földelésért és táplált berendezéseik helyes működéséért. A motorvezérlő egységeket is rákötöttem a közös földelés vezetékére.

A kapcsoló szekrény oldalán található a legfontosabb kapcsoló, a vészleállító. A vészleállító megnyomásával mind a kapcsoló szekrény mind a mérőberendezés feszültség mentesíthető. A vészleállítót benyomva az reteszelődik, nem fordulhat elő, hogy vészhelyzetben újra visszakapcsoljon. A mérőkészülék üzemszerű kikapcsolására nem ajánlott használni, mivel a kamera utóhűtése is kikapcsolna.

A kapcsoló szekrényen lévő „Főkapcsoló” feliratú kulcsos kapcsolóval lehet bekapcsolni a berendezést. A mérés végeztével, kikapcsolás után eltávolítva a kulcsot megakadályozható, hogy illetéktelenek bekapcsolják a készüléket. További két kapcsolóval külön-külön kell bekapcsolni a vezérlő elektronikákat és kamera egységeket.

A kapcsoló szekrényt kinyitva baloldalt a vészleállító, alatta a kulcsos főkapcsoló, az alatt pedig a kamera és a vezérlő elektronika kapcsolásai látszanak. A vészleállító mellett, jön be a kapcsoló szekrénybe a hálózati áram.

A szemközti falra a két motor 24 V tápját szereltem, emellett a földeléshez a két sor-kapocs és a Galilt tápláló 24V táp került. A motortáp alá két fekete a motorokat szabályzó végfokok kerültek, ezt a két végfokot a Galil vezérli. A Galil alatt a függőleges és vízszintes mozgások tápjainak vezérlései és érzékelőinek kábelkötegének csatlakozója került. A kapcsoló szekrény alján a vezetékek kefések szekrény alj záráson át jutnak ki.



63. ábra A kapcsoló szekrény belseje. Kapcsolók, motor- és Galil táp, földelés, motor vezérlő Galil és végfok, és összeköttetésük a motorral és a szenzorokkal.

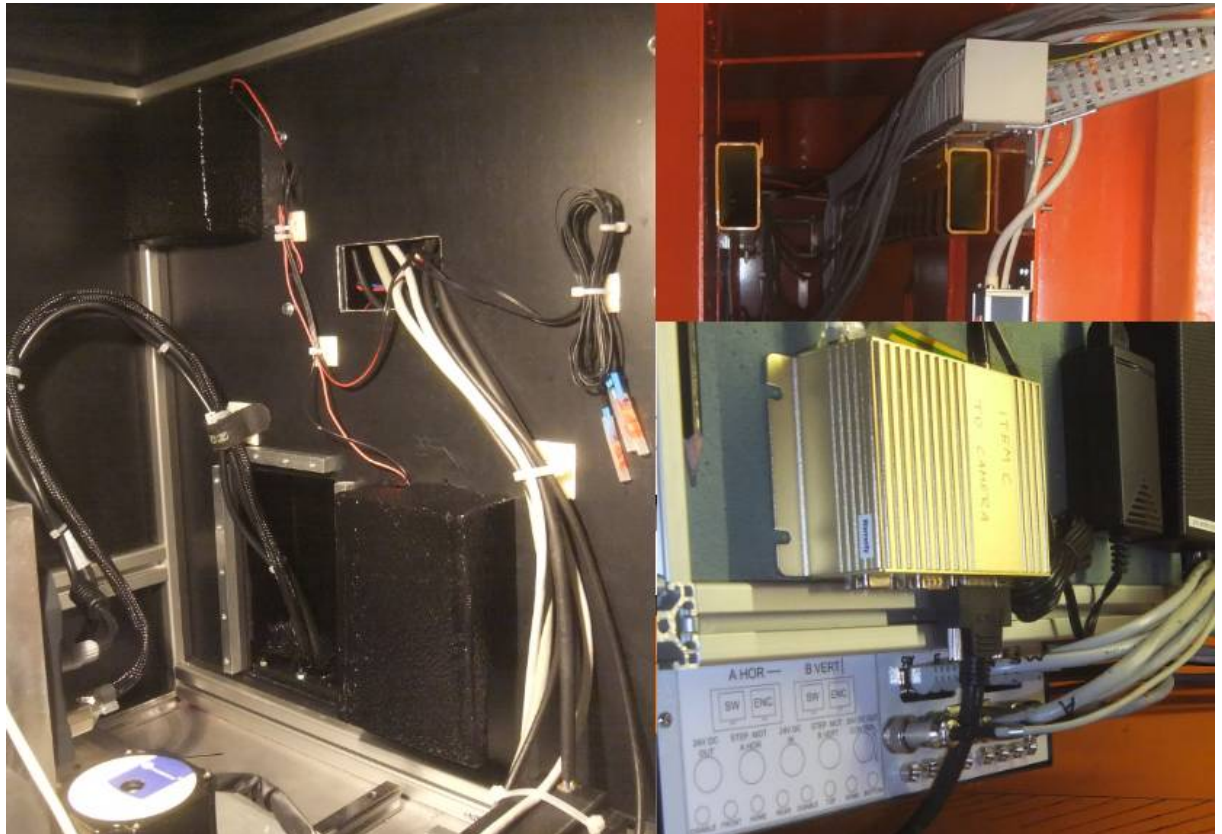
A Galil ethernetes kommunikációval és a közel 10 m távolságra lévő mérő állomásról PC-n keresztül vezérelhető. A PC megkapja a végállás kapcsolók és az encoder jelét is a Galil kommunikáción át. A rendszer szabályzását a PC végzi a beérkezett jelek alapján. A felhasználó megadja a mérőszobában a kívánt pozíciót, lépésszámot, kiadja az indulási parancsot. Ezt a motorvezérlő Galil megkapja, és kiadja a megfelelő irány és lépés parancsokat a motorvezérlő végfokoknak, akik ténylegesen irányítják a motorokat. A Galilnak mindegy, hogy milyen motor van a rendszer végén, a motorvezérlőn kellett beállítani a vezérléshez szükséges paramétereket. A választott DMC-41x3 számú Galil négy tengelyes, négy motoros vezérlésre alkalmas, soros portok (RS232) mellett Ethernetes kommunikációra képes. A motorok táplálása a mozgató tengelyeként külön és a szenzorok jelvezetékei is külön vezeték korbácsokon át jutnak a mérőszobából a mellette lévő, de neutron- és röntgenvédelemmel elzárt szomszédos helyiségbe.

A berendezésen belül a motorok és szenzorok vezetékei a fentebb bemutatott energia láncon át kamera mozgató alatt jutnak el a láda végéhez, ahol a hátsófal kivágásán



át egy átcsatlakozó dobozba jutnak. Itt a vezetékek be vannak forrasztva a csatlakozó által meghatározott lábakra. Kívülről csak egy kis doboz látszik, amin csatlakozók vannak. Ismerve az összeköttetéseket, megteremthető a kapcsolat a szenzorok és a Galil, a motor vezérlés-, motortáp és a motor között.

A cserélhető kamera vezetékei mivel nincsenek állandóan bekötve, a hátsó puttany alsó felületére vágott fésűs záráson át dughatók be a berendezésbe, ahol csatlakoztathatóak a megfelelő helyekre.



64. ábra Baloldalt a berendezésen belüli vezetékek kivezetése, jobboldalt pedig a kívülről beérkező kábelek sokasága, és azok csatlakoztatása a kis csatlakoztató dobozon át a belső vezetékekkel.

A villamos bekötéseket képzett szakember, villamosmérnök kollégám, Csihar Zoltán végezte.



## 5. BIZTONSÁGI UTASÍTÁSOK

Nem vállalunk felelősséget a nem rendeltetésszerű használt eredményeként bekövetkező hibáért, balesetért.

### 5.1.1. KAPCSOLÓSZEKRÉNY

A berendezés csak zárt kapcsolószekrénnel üzemeltethető.

A kapcsolószekrényben egyes részek hálózati, 230V AC feszültség alatt vannak, földelését az ide tartozó fentebbi fejezetben részletezte. A kapcsolószekrény 230VAC tápvezetékén szabványos földelt dugasz található, amit csak védőföldeléssel ellátott aljzatba szabad csatlakoztatni.

A kapcsolószekrény burkolatát (ajtájának kinyitását) csak szakképzett személy végezheti. Nyitott kapcsolószekrénnel a készülék nem üzemeltethető, mérés nem végezhető. Az esetleges hibaelhárítások szakképzett személyek által, itt elvégezhetők.

A kapcsolószekrényen kívül, a mechanikai mozgatóegységeknél csak 24VDC ill. ennél kisebb (+/-12VDC, +5VDC) feszültségek vannak. A DC feszültségeket a kapcsolószekrénybe épített minősített AC/DC tápegységek állítják elő (adatlapok a mellékletben).

Bármilyen rendellenesség esetén, a kapcsolószekrény oldalán lévő „Vészleállító” gomb megnyomásával a kapcsolószekrény a hálózati feszültségről leválasztható (feszültség mentesíthető), és minden mechanikai mozgatás megállítható. Az esetleges hiba elhárítása után a vészkapcsoló annak elfordításával kapcsolható vissza. (66. ábra)

### 5.1.2. SZERELHETŐ/BONTHATÓ ALKATRÉSZEK

A berendezés szétszerelésére/áttelepítésére van lehetőség. A berendezés kisebb részei egységekre bontható a könnyebb szállíthatóság/átalakíthatóság kedvéért. Az egyes részegységek csavarokkal vannak egymáshoz rögzítve. A mérőrendszer áttelepítését szakemberek végezzék!

Ha nem muszáj, nem érdemes szétszerelni, mivel az elemek egymáshoz illesztésének pontossága egy sarkalatos kérdés, egy kis beállítási eltérés is a mérőműszer újra kalibrálását vonja maga után.

Az egész rendszer sín talapzata le van csavarozva a betonba. Az asztal a sínhez ke-reke élének mentén fekszik fel. A görgők a lábak végein találhatók. Három pozícióban helyeztünk el ún. kipördülés gátlókat, melyek célja, hogy a berendezés ne tudjon elborulni. (65. ábra)



65. ábra kipörgés gátló, ami az asztal felborulását akadályozza és a gumi ütköző, ami a berendezés lefutását akadályozza

Az asztalhoz a mérőműszer házát két rögzítő csavarral rögzítettük, mivel a kalicka miatt a súlypont kitolódik az asztal szélére, a leborulás veszélye megnőne. A tükröt tartalmazó és a szcintillátorokat befoglaló kalickát a házhoz több csavar segítségével rögzítjük, megkülönböztethetünk tisztán tartó és tartó/rögzítő csavarokat is.

A házon található egy fényzárt ajtó, melyen keresztül az objektívek és a kamerák cseréje megoldható. Nyitott kamera ház mellett nem szabad a motorokat működtetni, mivel baleset veszélyes, emberi vagy tárgyi károkat okozhat. A mechanikai mozgások előtt minden esetben meg kell győződni arról, hogy a mozgásokat mechanikai akadály (pl. idegen tárgy) nem korlátozza.

## 5.2. Kezelés, be és kikapcsolás

A hálózati csatlakoztatás előtt a kapcsolószekrény és a mechanikai egységek közötti kábeleket csatlakoztatni kell. Ezután a berendezés a „Főkapcsoló”-val helyezhető feszültség alá. (66. ábra)

A belső elektronikai egységek (tápegységek) a „Vezérlő elektronika” jelű kapcsolóval helyezhetők feszültség alá. A kamera tápellátását egy külön „Kamera aljzat” nevű kapcsolóval lehet bekapcsolni. A „Kamera aljzat” és a „Vezérlő elektronika” kapcsoló egymástól függetlenül kapcsolható.

Áramütés, motorok megakadása vagy bármilyen más hiba esetén a „Vészleállító” gyors gombbal lehet feszültség mentesíteni, azaz kikapcsolni a berendezést. A „Vészleállító” benyomott állapotban nem engedi a berendezés egységeinek újra indítását sem. Az óra mutató járásával ellentétes irányú csavarással oldható a „Vészleállító”.



66. ábra Vészleállító és az egyes részegységeket indító kapcsolók

### 5.3. Karbantartási utasítások

Az ImageFrame berendezés karbantartása során évente szükséges elvégezni a következő munkákat:

#### 5.3.1. OPTIKAI ELEMOK KARBANTARTÁSA

Az optikai elemek frontfelületeit évente célszerű ellenőrizni, és szükség esetén tisztítani kell egy szakembernek. Az optikai elemek nagy értékű, érzékeny alkatrészek, melyek kezelése különös figyelmet igényel! Fontos, hogy a neutronnyaláb miatt az optikailag átlátszó elemek átlátszatlanok válnak, azaz beszürkülnek, ennek ellenőrzése elengedhetetlen.

### 5.3.2. LINEÁRIS VEZETÉKEK TISZTÍTÁSA

Szakembernek a lineáris vezetékeket tiszta ruhával át kell törölni mindkét oldalon.

### 5.3.3. LINEÁRIS VEZETÉKEKHEZ TARTOZÓ KOCSIK ZSÍROZÁSA

A HG típusú golyós kocsik végén vagy az oldalán van felszerelve a zsírzó gomb. A zsírzó gombot nem szabad arra az oldalra szerelni, ahol a referenciaérzékelő van. Utánkenési zsírmennyiség HGH15 esetén kb. 1,3 cm<sup>3</sup>.

### 5.3.4. GOLYÓSORSÓK KARBANTARTÁSA

A golyósorsót karbantartás során le kell tisztítani egy tiszta, szövet törlőruhával, célszerű a por réteg eltávolítása, mely gyorsabb kopást, megakadást és berágódás eredményezhet. A golyós anya oldalán vagy tetején lévő zsírzó gombon kell az utánkenést biztosítani. Utánkenési zsírmennyiség 16x5 T7 esetén kb. 1,8 cm<sup>3</sup>, anyánként.

### 5.3.5. MOBIL KLÍMA VIZÉNEK KIÜRÍTÉSE

A klíma hűtő felületén a hőcserélés során párakicsapódás történik, ennek a folyadéknek a kiürítése naponta/hetente szükséges.

### 5.3.6. VÍZHŰTÉS KARBANTARTÁSA

A vízhűtés folyadékának cseréje 2-3 évente szükséges. Utántöltés során érdemes ellenőrizni a csatlakozó elemeket, nehogy szivároгjanak. A használandó hűtőfolyadék: Koolance LIQ-702

### 5.3.7. CSAPÁGYAK ZSÍROZÁSA

A csapágyak zsírozása negyed évente szükséges. Ha használat közben észrevehetően nő a léptető motor lépés tévesztése, akkor szükséges a csapágyak és esetleg a többi mozgó elemnek a tisztítása és kenésének a biztosítása.

Bármilyen egyéb karbantartási problémával és kérdéssel az Optika Mérnökiroda Kft. foglalkozik a jövőben.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

### 6.1. Eredmények

Diplomamunkámat az Optika Mérnökiroda Kft.-nél egy ipari megrendelés megtervezéséből és megépítéséből írtam. A megrendelés a Magyar Tudományos Akadémia Energiakutató Intézetétől származik. Egy ImageFrame nevű mérő berendezést kellett megterveznem és megépítenem Koncsár Péter kollégámmal, amit a KFKI területén lévő Budapesti Kutatóreaktor neutroncsarnokának egyik mérőhelyiségében, ami egyszerre alkalmas a n\_START (Statikus neutronradiográfia és -tomográfia), a n\_DYN (Dinamikus neutronradiográfia) és a x\_TRA (Röntgen tomográfia és -radiográfia) mérések elvégzésére.

Csak egy tucatnyi ilyen típusú berendezés létezik, kereskedelmi forgalomban nem kaphatóak, mindegyik egyedi tervezésű. A gép mérési elve jól dokumentált, és ismert a felhasználók körében. Berendezésem azért is számít egyedülállónak ezek között a mérőgépek között, mivel mind a három mérési módot ugyanazzal a géppel meg lehet valósítani. Az iparban elterjedt és jól bevált technológiákat felhasználva terveztem meg a berendezést. A nagy érzékenyséű Andor kamera iparágának csúcsát képviseli.

Tervezett berendezésem teljesíti a neutron és gamma sugárzás miatti elvárásokat az alkatrészek alapanyagainak körültekintő megválasztásának és geometriai kialakításának köszönhetően. A mozgatások, vezérlések és mechanikai megoldások technológiai szintje a mai elvárásoknak megfelel.

A szűkös határidők ellenére a berendezés megtervezése, megépítése és beüzemelése sikeresen megtörtént. A tervezésen és 3D-s modellezésen kívül az alkatrészek gyártásában és összeszerelésében is aktívan részt vettem. A tervezés lépéseit, a tervek kialakulását, a gyártás menetét és az összeszerelés módjait az 5. fejezetben részletesen ismertettem.

A mérőműszer tesztelését és kalibrálását az Optika Mérnökiroda területén végeztem, a megrendelő hivatalosan is átvette a berendezésemet, majd üzembe helyezését a Butapesti Kutatóreaktor egyik mérő szobájában elvégeztem.

### 6.2. Tapasztalatok

A diplomamunkám megírása közben végiggondoltam a tervezés és építés fázisait és rájöttem, hogy fantasztikus lehetőség volt, hogy egyetemi tanulmányim során sikerült egy olyan projektbe bekapcsolódnom, melynek megtervezésében és megépítésében aktívan részt vehettem. Először láthattam és tapasztalhattam meg azt, hogy milyen érzés, amikor megépül a tervezett mű.

A nyers tervek elkészítésében nagy segítséget nyújtott az a tapasztalat, amit egyetemi tanulmányaim során a féléről – félévre történő beadandó feladatok elkészítésével szereztem. Ezekkel a feladatokkal ellentétben, most nem álltam meg a tervezésnél,

hanem a terveken tovább dolgozva, folyamatosan finomítva megépítettük és beüzemeltük a tervezett berendezést.

Munkánk során sok akadályba ütköztem. Az alapanyagokat megrendelve láttam, hogy a lehetőségeket ezek is milyen nagyban befolyásolják, sok esetben újra kellett terveznem az alkatrészeket. A következő tervezési feladatomból, a legapróbb alkatrész alapanyagának a vizsgálatát a tényleges tervek megrajzolása elé fogom helyezni.

A gyárthatóság az egyedi alkatrészek egyik sarkalatos kérdésköre:

- Milyen alapanyagból készítem?
- Milyen megmunkálási technológiát válasszak?
- Letudom-e gyártani, vagy külsős megmunkálásra kell elküldenem, másik cégtől kell majd megrendelnem.
- Milyen felületi minőségre van szükségem?
- Hogy tudom befogni a megmunkáláskor?
- ...

Habár tanultam és tudtam ezeket a tervezési szempontokat, mégis előfordult, hogy újra kellett gondolnom az egyes koncepcióimat, mivel az adott kérdéssel csak a gyártás pillanatában szembesültem. A cégen belüli lehetőségeimet igyekeztem minél jobban kihasználni, hogy gyorsabban és pontosabban készüljenek el az alkatrészek.

A cég gépein lehetőségem volt az alkatrészek saját kezű megmunkálására. Bár kezdetben nehezen ment a gépek kezelése, gyorsan sikerült elsajátítani az esztergálás és a marás alapjait. Sok gyárthatósági szempont jelentőségét itt ismertem fel igazán. A szakemberekhez képest a gyakorlatom és a megmunkálási tudásom elmarad, mégis büszke vagyok rá, hogy két kezem munkájával alkottam meg tervezett berendezésem alkatrészeinek egy részét.

Alapanyag beszerzés közben tárgyalási tapasztalatot szerezhettem, és a külsős beszállítókhoz ellátogatva láthattam az ipari megmunkálás széles palettáját.

Az Optika Mérnökirodánál töltött fél éves munkám során ezen felül megfigyelhettem az optikai elemek megmunkálásának módszereit. Megtanulhattam azt, hogy hogyan kell kezelni, tisztítani, raktározni, csomagolni és szállítani a nagy érzékenységgű optikai felületeket. Láthattam az üvegcsiszolás kézi módszerét és a vékonyréteg készítés gőzöléses technológiáját.



## 7. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

- [1] Bozó, B. (2005). *Fotokatódos elektroncsövek: fotocellák, foto-elektronsokszorozók, képfelvevőcsövek - kameracsövek..* Available: <http://www.elektroncso.hu/cikkek/fotocso.php>. Last accessed 09th Aug 2014.
- [2] Almár Iván – Both E. – Horváth A. – Szabó Á. (1996). *SH atlasz Úrtan*. Budapest: Springer Hungarica.
- [3] Ábrahám, F. (1998). Alapvető megfigyelési módszerek és eszközök. In: Dr. Szatmáry, K *MEGFIGYELŐ ESZKÖZÖK A MODERN CSILLAGÁSZATBAN*. Szaged: JATE Kísérleti Fizika Tanszék. p20-30.
- [4] Sefi, Sz. (2005). *Zaj a digitális fényképezésben*. Available: <http://fototipp.hu/zaj>. Last accessed 21th Nov 2014.
- [5] Barber, M. (2014). *How to Choose a CCD Camera*. Available: <https://www.sbig.com/astronomy/about-ccd-imaging/how-to-choose-your-first-camera/>. Last accessed 21th Nov 2014.
- [6] Laca, M. (2013). *A CCD és CMOS szenzorok működési elve*. Available: [http://prohardver.hu/tudastar/a\\_ccd\\_es\\_cmos\\_szenzorok\\_mukodesi\\_elve.html](http://prohardver.hu/tudastar/a_ccd_es_cmos_szenzorok_mukodesi_elve.html). Last accessed 22th Nov 2014.
- [7] Nagy, P. (2008). *CCD kamerák*. Available: <http://www.muszeroldal.hu/assistance/ccd.pdf>. Last accessed 24th Nov 2014.
- [8] DR. Tóth, L.; Serge, C. (1999). *Roncsolásmentes vizsgálati módszerek*. Miskolc: Miskolci Egyetem. p12-151.
- [9] Horbenko, I.G. (1977). *Ultrahang a gépíparban*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó. p1-19.
- [10] Dr.Réti, P (1983). *Korszerű fémipari anyagvizsgáló*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó. p1-56.
- [11] Kajdi, Gy (1984). *Anyagvizsgálat mágneses és folyadékbehatolásos módszerekkel*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó. p1-78.
- [12] Dr. Békési, L. - Kavas, L. - Vonnák, I. P.. (2008). *Roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek alkalmazásának tapasztalatai*. Available: [http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/Roncsolasmentes\\_anyag\\_vzsg.pdf](http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/Roncsolasmentes_anyag_vzsg.pdf). Last accessed 11th Okt 2014.
- [13] Nádasdy, F (2001). *Alapmérések anyagvizsgálatok*. Budapest: Nemzeti TankönyvTankönyvmester Kiadó. p1-48.
- [14] Magyarkúti, J (2008). *Anyagvizsgálatok*. Budapest: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet. p1-30
- [15] Gillemot, L. (1979). *Anyagszerkezetten és anyagvizsgálat*. Budapest: Tankönyvkiadó. p1-45.
- [16] Prohászka, J (1988). *Bevezetés az anyagtudományba*. Budapest: Tankönyvkiadó. p101-136.
- [17] Artinger, Csikós, Krállics, Németh, Palotás (1997). *Fémek és kerámiák technológiája* . Budapest: Műegyetemi Kiadó. p1-265.
- [18] Komócsin, M (2008). *Gépípari anyagismeret*. 5th ed. Miskolc: COKOM Mérnökiroda Kft. p1-124.
- [19] ] Dr. Mészáros, I (2011). *Roncsolásmentes hibakereső anyagvizsgálati eljárások*. Budapest: Műegyetemi Kiadó. p1-15.

- [20] Smith, A. (2002). *Introduction to Geiger Counters*. Available: <https://www.cpp.edu/~pbsiegel/phy432/labman/geiger.pdf>. Last accessed 24th Nov 2014.
- [21] Nagy, P. (2009). *A röntgensugár keletkezése*. Available: [http://www.radiologia.hu/radiwiki/index.php/A\\_r%C3%B6ntgensug%C3%A1r\\_keletkez%C3%A9se](http://www.radiologia.hu/radiwiki/index.php/A_r%C3%B6ntgensug%C3%A1r_keletkez%C3%A9se). Last accessed 23th Nov 2014.
- [22] Sas, O. (1999). *Röntgensugár keletkezése, és tulajdonságai*. Available: [http://www.sasovits.hu/anyag/rontgen/fizika/sug\\_keletkezik.htm](http://www.sasovits.hu/anyag/rontgen/fizika/sug_keletkezik.htm). Last accessed 23th Nov 2014.
- [23] Omega, L. (2012). *Atomenergia*. Available: <http://www.omegalabs.eu/html/atomenergia.html>. Last accessed 23th Nov 2014.
- [24] Kiss, Cs. (2014). *Neutron*. Available: <http://hu.wikipedia.org/wiki/Neutron>. Last accessed 24th Nov 2014.
- [25] Dr. Pór, G. (2013). *Műszaki diagnosztika 2. - Korszerű műszaki diagnosztikai módszerek*. In: Dr. Pór, G *Röntgenátvilágítástól a Neutronátvilágításig (neutron radiográfia)*. Budapest: TÁMOP. p15-32.
- [26] Dr. Balaskó M., Dr. Fábián, M; Horváth, L. (2010). *A digitális neutron- és röntgenradiográfia a helikopter forgószárnylapátok vizsgálatában*. Available: [http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2010\\_cikkek/Fabian\\_Margit-Balasko\\_Marton.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2010_cikkek/Fabian_Margit-Balasko_Marton.pdf). Last accessed 24th Nov 2014.
- [27] Dr. Balaskó M. ,Sváb, E. (1996). *Dynamic Neutron Radiography Instrumentation and Applications in Central Europe. Nucl. Inst. and Methods in Physics Research*. 11 (3), p42-65.
- [28] Avena, D. (2014). *Neutron Radiography*. Available: <http://mnrc.ucdavis.edu/radiography.html>. Last accessed 23th Nov 2014
- [29] Mellish, B.. (2005). *Reflectivity*. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Reflectivity>. Last accessed 23th Nov 2014.
- [30] Cedex, Y. (2003). *Neutron radiography : non destructive testing*. Available: <http://www-llb.cea.fr/neutrono/nr1.html>. Last accessed 24th Nov 2014.

## 8. SUMMARY

I'm study at the Budapest University of Technology and Economic (BME) the department of Mechatronics, Optics and Engineering Informatics (MOGI). I'm wrote about a neutron- and an x-ray radiography machine, this was my diploma thesis. In the past 2 term, I'm worked together the Optical Engineering Ltd.'s colleagues, I'm designed and built this machine. It built for the Hungarian Academy of Science (MTA) the department of The Centre for Energy Research (EK). After the building, it was installed in the Budapest Research Reactor's Neutron Centre.

We could measure metal, copper and higher density materials with x-ray radiation, because these materials absorb them. The neutron radiography's measuring arrangement like than x-ray radiography's. The neutron radiation don't absorb in the high density material, they do elastic buffer with the nucleus. So, we could measure those material which has lower low atomic number, like the hydrogen, water, oil, polymers. In both measurement method, the radiation go through an material sample, after that, it banged to the scintillator plate. The scintillator plate cause photon emission. We could detected these phones directly with a CMOS camera.

My machine can be use for both type of radiation's detestation. It's able to make n\_START (Static neutron radiography and tomography), n\_DYN (Dynamic neutron radiography) and x\_TRA (X-ray tomography and -radiography) measurements.

This machine was designed and built by me, and now it's installed in the neutron centre. I made my plans in 3D in Solidworks. The parts production was made by me and other colleague from the Optical Engineering Ltd.. My task of this project were the camera's and objective's unit movement, the socket of the camera, the socket of the scintillator, the holding of the scintillator and the switchboard. But I participated in the all system's basic planning and the mounting. It was a success project.

## 9. MELLÉKLET

A diplomamunka hátsó borítójára ragasztott DVD tokban található DVD-re írtam ki a 3D modelljeimet, ezekről készített műszaki rajzaimat és a megrendelés alapjául szolgáló katalógusokat.