



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészeti és Technológiai Intézet

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

CNC marógépbe szerelhető lézerfej hűtőbordájának tervezése

Szerző: **Ráczai Viktor**
MSc-s gépészmérnöki szak, 2.
évfolyam

Konzulensek: **Dr. Mikó Balázs**
egyetemi docens

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. Diódalézer	4
2.1 Történelmi áttekintés	4
2.2 Lézersugárforrás típusok	5
2.3 Lézerfény alkalmazása a gyártástechnológia különböző területein.....	6
2.4 Diódalézer (félvezető lézer).....	7
3. Lézergravírozófej CNC marógépbe történő integrálásánál alkalmazott eszközök	10
3.1 LD4070HF Pro lézergravírozó fej	10
3.2 Haas Mini Mill EDU	10
4. Lézergravírozófej rögzítése CNC marógépbe.....	12
4.1 Lézermodult rögzítő szerszámbefogó készülék.....	12
4.2 Egyedi hűtőborda és a hozzá tartozó rögzítőelemek tervezése	16
4.2.1 Egyedi hűtőborda anyagválasztása.....	17
4.2.2 Egyedi hűtőborda hűtése	17
4.2.3 Sűrített levegőt terelőelem	24
4.2.4 Sűrített levegőcsatlakozását és elosztását megvalósító elemek	26
4.2.5 Lézerdiódát és annak hűtőbordáját rögzítő elemek	28
5. Összefoglalás.....	31
6. Felhasznált irodalom	33
7. Mellékletek.....	35
1. sz. melléklet: LD4070HF Pro lézergravírozófej technológiai adatai [10, 11]	35
2. sz. melléklet: Haas Mini Mill EDU technológiai adatai [12].....	35
3. sz. melléklet: AlMgSi1-es alumíniumötvözet főbb technológiai adatai [18].....	36
4. sz. melléklet: Egyedi hűtőborda műhelyrajza	36
5. sz. melléklet: Hűtőborda műveleti sorrendterve	37
6. sz. melléklet: Hűtőborda megmunkálása során készített képek	39

1. Bevezetés

Jelen TDK dolgozat az MSc-s tanulmányaim befejezéséhez íródó diplomamunkám egyik feladatpontját mutatja be. A diplomamunkám témájának ötlete az egyetemi rendezvények ajándéktárgyainak készítésekor fogalmazódott meg bennem, hiszen egy kép gravírozószerkezéssel történő megmunkálása igen sok időt ölelt fel (nyári egyetem ajándéktárgya 2022), így megmunkálás közben kerestem annak a lehetőségét, hogy milyen megmunkálási eljárás segítségével gyorsíthatnám fel a gravírozási műveletet. Az irodalomkutatások és az ipari partnereknél tett látogatásaim során találkoztam a lézervágás és lézergravírozás technológiákkal, melyeknek gyorsasága és gyártási pontossága felkeltette az érdeklődésemet. A lelkesedésemmel köszönhetően döntöttem el, hogy diplomamunkámat és TDK dolgozatomat a lézergravírozás technológiájáról szeretném írni, feladatomban egy általam sokszor használt CNC marógépbe történő lézergravírozófej integrálását választottam.

A TDK dolgozatom részletesen bemutatja, hogy egy kereskedelmi forgalomban kapható lézergravírozó fej (LD4070HF Pro) hűtési rendszerének újragondolásával, egy hagyományos 3 tengelyes CNC marógép (HAAS Mini Mill Edu) főorsójába képesek legyünk rögzíteni egy lézergravírozófejet. Ezáltal még egy megmunkálási technológiával gazdagítanánk a 3 tengelyes CNC marógépet, minek hatására a termék azonosítása céljából a termékre helyezett jelöléseket vagy gravírozási feladatokat a megmunkálógépen belül lennénk képesek elvégezni, így jelentős idő és költségcsökkenést érhetünk el.

A lézergravírozófej sikeres integrálását követően számos egyetemi rendezvényen (kutatók éjszakája, lányok napja, gyereknapi és nyári egyetem) és oktatásban (forgácsolási technológia számítógépes tervezése 2, gépműhely gyakorlat 3) szeretném alkalmazni a lézergravírozófejet mind jelölések készítésére, illetve fa és műanyag alkatrészek vágására.

2. Diódalézer

Ebben a fejezetben röviden ismertetem a lézertechnika kialakulását és fejlődésének főbb szakaszait. A történelmi áttekintést követően ismertetem a lézerfény főbb tulajdonságait. Ezután fókuszálva a TDK dolgozatban használt lézerfejben (LD4070HF Pro) használt lézertípusra, ismertetem a lézerdíóda főbb jellemzőit. A fejezet végén kitérek a lézerfényforrások alkalmazási területeire is.

2.1 Történelmi áttekintés

A történelem folyamán az első lézerfényhez kapcsolódó publikációt Albert Einstein 1917-ben tette közzé, ami szerint a gerjesztett részecskék (atomok, molekulák) nem csak véletlenszerűen bocsáthatják ki gerjesztett állapotukat jellemző többletenergijukat vagy annak egy részét, hanem megfelelő stimuláció (késztetés) hatására is. Ezt a jelenséget nevezik stimulált emisszióknak. [1, 2, 3]

Az első lézernyaláb megjelenéséhez azonban számos kutatás kellett. Ezen kutatások közül kiemelkedik többek közül Van Vleck és ugyan ebben az évben Richard C. Tolman kutatása, amit a stimulált emisszió terén publikáltak 1924-ben. Ezt követően a populációinverzió lehetőségét kutatta számos fizikus, míg 1946-ban Felix Bloch, W. W. Hansen, Martin Packard először publikálta, hogy hogyan valósítható meg a populációinverzió, amiért fizikai Nobel-díjat is kaptak 1952-ben. 1947-ben Magyarország egyik híres fizikusa Gábor Dénes publikálta a holográfia alapelvét az elektronmikroszkópia területén, amit később lézer segítségével vitelezett ki (Nobel-díj: 1971). 1951-ben Charles H. Townes jött rá elméleti úton, hogy hogyan kell olyan erősítőt építeni, ami előidézi azt, hogy több atom és molekula legyen gerjesztett állapotban, mint alapállapotban (MASER). A lézer működési elvét végül 1957-ben Gordon Gould alkotta meg. Ezt követte 1958-ban Arthur L. Schawlow és Charles H. Townes optikai Maser működéséről szóló cikke, amit 1960-ban szabadalmaztattak. 1960. május 16-án Theodore H. Maimannak sikerült először lézerfényt előállítania. Maiman mesterséges rubinkristály merőlegesre csiszolt végeit beüzemelt és villanó lámpafénnyel gerjesztette. A kísérlet folyamán arra lett figyelmes, hogy a kibocsátott fény spektrumában az egyik szín kimerősödött, ami azt jelentette, hogy a sokszorosára nőtt az intenzitása egy másik közeli színhullámhosszhoz képest. A lézersugár létrejöttéhez ma is ugyanazokra az elemi feltételekre van szükség, amit 1960-ban Maiman megállapított. Legyen szó a legkisebb vagy legnagyobb teljesítményű sugárforrásról, vagy a folyamatos és az impulzusüzemű lézerekről. A lézersugár az évtizedek során meghatározó jelentőségűvé vált az emberiség életében, ezért

az élet minden területén szerephez jutott, mit például autógyártás, orvoslás vagy a mikroelektronika. [1, 2]

2.2 Lézersugárforrás típusok

Anyagmegmunkálásra használt lézersugaras technológiák közös jellemzője, hogy a lézersugarat olyan szerszámnak tekinthetjük, amit megmunkálás közben (gravírozás, vágás, hegesztés) káros hatás nem éri, így a szerszám nem kopik. [2]

A hagyományos forgácsolással történő megmunkálás esetén elmondható, hogy a különböző forgácsolási körülményekre (alapanyag, megszakított felületek), különböző szerszám alkalmazása mellett végezhető el a forgácsolás. Ez igaz a lézeres megmunkálás esetén is, mivel a megmunkálási körülmények fogják megszabni, hogy melyik az a lézertípus, amit az adott körülmények között célszerű használni. Egy példán keresztül az előbbi állítást úgy lehetne bemutatni, hogy nem ugyanazt a lézersugarat használja az ipar, ha egy acéllemezre szeretnének gravírozni lézerfény segítségével, vagy ha egy 30 mm-es lemezt szeretnének pontosan alakra vágni. Ennek megfelelően a lézersugarak az alábbi felsorolásban szereplő tulajdonságok szerint szoktuk jellemezni. [2]

- Működési hullámhossz
- Koherencia
- Divergencia (sugárnyaláb széttartása)
- Polarizáció
- Kimenő teljesítmény
- Teljesítménystabilitás
- Frekvencia (impulzus/s)

A lézersugarakat alkalmazási céljuk szerint hét csoportba lehet sorolni. Ezek a hétköznapi és szórakoztatóipari lézerek, ipari és anyagmegmunkálási lézerek, orvosi lézerek, mérési és szabályozástechnikai lézerek, energetikai lézerek, harcászati lézerek és tudományos és kutatási lézerek. A felsoroltak közül a TDK dolgozatomban az ipari és anyagmegmunkálásra használt lézerek közül a diódalézereket taglalja részletesebben. Az ipari lézerek kategóriájába tartozó lézersugaraknak, minden esetben, az energiatartalmát (teljesítményét) használja fel az ipar. Másképpen fogalmazva ez azt jelenti, hogy a lézersugár energiája a megmunkálandó anyagban elnyelődik, minek hatására hő keletkezik, és az így keletkezett hőenergia fejt ki a megmunkálási technológia szempontjából lényeges hatást (hevítés, olvasztás, elpárologtatás). Ezáltal a legfontosabb anyag és lézersugár közötti kölcsönhatások az abszorpciós képesség (a lézersugár energiájának elnyelődésének százalékos értéke) és a „behatolási mélység” (az

anyagba jutott sugárzás milyen mélyre hatol az anyagba). [2]

Iparilézerek típusai:

- CO₂ gázlézer
- Excimer lézer
- Szilárdtestlézer (Nd:YAG)
- Diódlézer
- Festéklézer

Lézersugaras technológiák előnyei:

- Megmunkálás közben a munkadarabra nem hat erő;
- Kiváló megmunkálási minőség;
- Technológiai paraméterek pontos szabályozhatósága révén, nagy precizitás;
- Nagy megmunkálási sebesség;
- Kiváló automatizálhatóság;
- Kis fajlagos hőterhelés a munkadarabra;
- Gyártási rugalmasság;
- Jó kombinálhatóság más technológiákkal. [1,2,4]

2.3 Lézerfény alkalmazása a gyártástechnológia különböző területein

Napjainkban a lézersugár felhasználása egyre több helyen fellelhető, hiszen a lézertechnika rohamosan fejlődik a kutatásoknak és a fejlesztéseknek köszönhetően. A kutatás és fejlesztési eredmények rövid időn belül beépültek az ipar számos területére, ezáltal a modern ember életének szerves részévé vált a lézerfény alkalmazása. Lézertechnikát számos helyen alkalmazzák:

- Hétköznapi alkalmazás esetén, számos szórakoztató ipari termék és mérőeszköz használ lézertechnikát. Ilyen alkalmazási területek többek között:
 - CD, DVD olvasás és írás
 - lézeres mutatók (laser pointer)
 - lézernyomtatók
 - traffipax
 - vonalkód olvasók
- Hadászati alkalmazás esetén, a legtöbb kutatási- és fejlesztési eredményt felhasználva hoz létre lézerfényvel vezérelt eszközöket. Ilyen eszközök lehetnek:
 - lézer vezérelt fegyverek
 - lézerfegyverek

- távolságmérő berendezések
- Orvostudományi alkalmazás esetén, számos műtéti beavatkozás elengedhetetlen eszköze a lézerfény. Ilyen műtéti beavatkozások lehetnek:
 - sebészeti beavatkozás
 - szemműtétek
 - tetoválás eltüntetés

Emellett orvosi eszközök jelölését is lézer jelölővel végzik, hiszen nem képez mélyedéseket és repedéseket, ahol a baktériumok és vírusok megtelepedhetnek.

- Ipari alkalmazás esetén, a gyártórendszerek egyik legfontosabb szerszámává vált. Ebből adódóan a lézeres megmunkálás az ipar számos területén felelhető:
 - gravírozásnál
 - hegesztésnél
 - vágási eljárásoknál
 - rétegeltávolításoknál
 - hőkezeléseknél

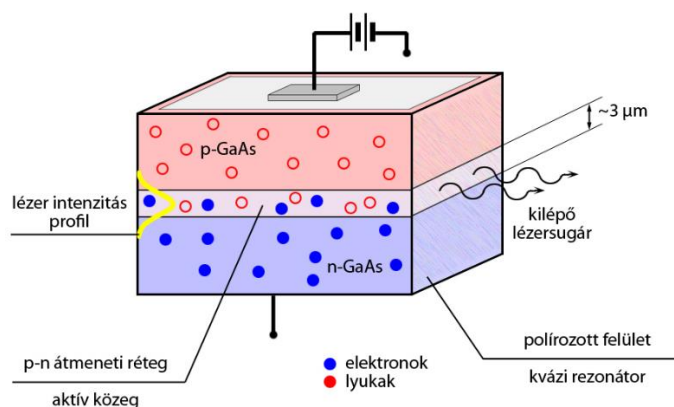
Az ipari alkalmazás esetén a technológia szempontjából az egyik legfontosabb paraméter a hullámhossz és a munkadarab felületét terhelő teljesítménysűrűség. [5, 6]

2.4 Diódalézer (félvezető lézer)

A diódalézer (félvezető lézer) alapját a nevében szereplő elektronikai elem a dióda, mint félvezető elem adja. A LED-hez (fényt kibocsátó dióda) hasonlóan, a fénykibocsátás egy félvezető kristályban létrehozott p-n átmenetben nyitó irányú feszültség hatására megy végbe az elektron-lyuk rekombináció során. Az áram fénné való átalakításának a hatásfoka akár 50% is lehet. Ugyanakkor a dióda kis áramteljesítmény mellett üzemel, ennek megfelelően viszonylag kis fénytelijsítményt generál, ezért az anyagmegmunkálás céljából tömbösítve készítik (akár több százat építenek egymás mellé). A tömbösített lézerdiódák összegzett fénytelijsítménye akár a 100W-ot is elérheti. [2, 4]

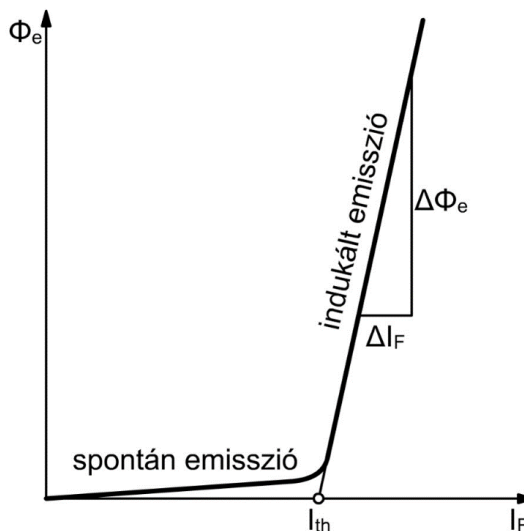
Lézerek felfedezését követően néhány évvel már megépültek a lézerdiódák első, demonstrációs példányai, viszont a félvezető technika jelentős fejlődésére volt szükség ahhoz, hogy ezen eszközök hosszú élettartamúvá, megbízhatóvá, olcsón előállíthatóvá, és ezáltal gyakorlatilag mindennapi életünk részeivé váljanak. Míg az első (infravörös) félvezetőlézert nyitóirányban előfeszített p-n átmenetű galliumarzenid (GaAs) kétkomponensű félvezető vegyületből készítették, napjainkra már a félvezető vegyületek széles skáláját alkalmazzák, melyek alumínium (Al), indium (In), gallium (Ga), szilícium (Si), foszfor (P), nitrogén (N),

arzén (As) és antimon (Sb) különböző keverékein alapulnak. A diódalézer elektródáinak összetétele befolyásolja fényforrások hullámhosszát, így az ultraibolya (UV) fénytartománytól a távoli infravörös fénytartományig tudunk lézersugarat előállítani. Az 1. ábra szemlélteti a diódalézer alap konstrukcióját. [2, 4, 7]



1. ábra. Diódalézer felépítése [4]

A félvezetőn átfolyó elektromos áram hatására, a p-n átmeneti rétegben a töltéshordozók (elektronok és „lyukak”) rekombinációját okozza, ami alkalmas összetételű félvezető vegyületek esetén fénykibocsátással valósul meg. Ahhoz, hogy a félvezető ne csak inkoherens, kis intenzitású fényt bocsásson ki, mint a LED diódák esetén, hanem populációinverzió kialakulásának előidézésével lézersugár keletkezzen, az áramerősségnek egy küszöbértéket meg kell haladnia. Ez jól látható a 2. ábrán, ahol a kimenő optikai teljesítmény látható a nyitóáram függvényében. Mindez egy kis területen jön létre (100-200 x 100-500 μm), míg a p-n átmeneti réteg vastagsága néhány mikrométer (2-10 μm), ami nagy áramsűrűséget okoz (~105 A/cm²). A kristály felületén reflektív elemeket alakítanak ki, amelyek segítségével optikai visszacsatolás jön létre, vagyis a kristály rezonátorként fog működni. Ennek legegyszerűbb megvalósítása, ha a megfelelő irányban metszett kristály véglapjait felpolírozzuk (Fabry-Perot elrendezés), így elegendő fényt fog reflektálni (30-40%) a kristály belsejébe a populációinverzió létrehozásához. [2, 4, 8, 9]



2. ábra. Diódalézer minimális áramerősségének meghatározása [9]

A kisméretű, vonalszerű sugárzó felület és igen kis rezonátorhossz miatt a lézernyaláb nagyon széttartó (a lézersugár elhajlik), a divergencia szöge ($10\text{--}45^\circ$), ezért ezt legtöbbször a polírozott véglapot követően vagy a diódalézer tokjára szerelt optikával javítják, azonban az optikák alkalmazásával nagyságrendileg megnövelhetik az amúgy jellemzően olcsónak számító lézer diódák árát. A működési hullámhosszt befolyásolja az aktív zóna hőmérséklete, ezért sok esetben szükséges lehet a hőmérsékletstabilizált kialakítása. [2, 4, 8]

A diódalézerek kompakt, igen hatékony, olcsón előállítható, tartós eszközök, amelyeket mára már számos helyen alkalmaznak (orvostudomány, számítástechnika, gyártástechnológia). Igen értékes jellemzőjük, hogy a rajtuk átfolyó áram erősségének és a félvezető kristály hőmérsékletének szabályzásával emissziós hullámhosszuk könnyen hangolható a félvezető erősítési sáv szélességének megfelelő kb. ± 5 nm tartományban. [4, 8]

3. Lézergravírozófej CNC marógépbe történő integrálásánál alkalmazott eszközök

A TDK dolgozat feladata a kereskedelmi forgalomban kapható lézergravírozófej rögzítésének kialakítása. A tervezési feladat elvégzése előtt felmértem a rögzítési lehetőségeket azáltal, hogy megvizsgáltam a használni kívánt fő eszközök tulajdonságait (lézergravírozófej, CNC marógép), ezzel leszűkítve a rögzítési lehetőségeket.

3.1 LD4070HF Pro lézergravírozó fej

A TDK dolgozatomnál használt lézergravírozó fej esetén, a hobbigravírozógépeknél széleskörben alkalmazott VoidMicro cég által gyártott LD4070HF Pro megnevezéssel ellátott lézermoduljára esett a választásom (3. ábra), minek a technológiai adatait a 1. számú melléklet tartalmazza. Mivel az egyetem vezetősége magára vállalta a gravírozófej bekerülési költségének terhet, így egy magyarországi forgalmazón keresztül történt a lézermodul beszerzése [10]. A választásom azért erre a lézergravírozó fejre esett, mert kategóriájában ennek a lézermodulnak a legkedvezőbb az ár-érték aránya és a teljesítményéből kifolyólag nem csak gravírozni tud, de alkalmas akár 3-5 mm vastag falap és 3 mm vastag műanyaglap vágására is, így a majdani felhasználását tekintve alkalmasabb a gyengébb teljesítménnyel rendelkező társainál. [10, 11]



3. ábra. LD4070HF Pro lézergravírozófej [11]

3.2 Haas Mini Mill EDU

Az általam választott CNC marógép, az Egyetem nagyműhelyében található Haas Mini Mill EDU CNC marógépre esett (4. ábra). Mivel ezt a gépet kifejezetten oktatásra ajánlja a

gyártó, innen ered a nevében is feltűnő EDU (education) az az oktatás. Ebből adódóan csak oktatási célra használja az Egyetem is. Ezáltal a CNC marógép az Egyetemen végzett kutatásoknál és a hallgatók kísérleteinél nem alkalmazott eszköz, ebből adódóan a gép heti kihasználtsága megfelel a TDK dolgozatom és a diplomamunkám során végrehajtott tesztelések és átalakítások időigényének. Emellett az Egyetem vezetősége és a Haas cég magyarországi képviselte engedélyezte számomra a gép burkolatainak megbontását. Az előbb felsorolt okok miatt döntöttem ezen gép alkalmazása mellett.

A CNC marógép fő tulajdonságait a 2. számú melléklet részletezi. A 2. számú melléklet alapján jól látszik, hogy miért alkalmas a gép oktatásra, míg tömeggyártásra nem. Az okok az automata szerszámcserélés lehetőségének hiányán keresztül, a maximális főorsófordulaton (4000 1/min) és az ipari CNC marógépekhez képesti munkatér méreten át, a megmunkálás közben alkalmazható hűtési módok hiányából adódik.



4. ábra. Haas Mini Mill EDU [12]

A tervezési feladatomból a gép főorsó végződése volt a meghatározó, mivel ennek megfelelően tudok kiválasztani szerszámrögzítő készüléket. A forgácsológépeknél alkalmazható főorsó végződéseket az ISO 9270-1:2010-es szabvány részletezi. A Haas Mini Mill EDU CNC marógép főorsóvégződése CT 40 elnevezésű (SK 40) szabvány szerint lett kialakítva, ami azt jelenti, hogy a főorsó kúp kúpszöge 7/24-es kúposággal készült. [12, 13]

4. Lézergravírozófej rögzítése CNC marógépbe

Az általam használt LD4070HF Pro nevű lézergravírozófej, eredetileg hobbicélú asztali CNC marógépekre és 3D nyomtatóra szerelhető fejegység, amit az 5.ábra szemléltet. Ebből kifolyólag a lézermódul hátsó oldalán a rögzítés céljából kialakított M3-as menetes furatok segítségével rögzíthető a lézermódul a megmunkálógép főorsójára.



5. ábra. Asztali CNC maróra szerelt lézermódul [11]

A gyári felfogási lehetőséget elvetettem, hiszen célkitűzésem egyike az, hogy a lézermódulban található lézerdióda szimmetriatengelye egybeessen az általam használt CNC marógép főorsójának szimmetriatengelyével. A másik általam meghatározott célkitűzés az volt, hogy a lézermódul a lehető legrövidebb hosszúsággal rendelkezzen, ezzel csökkentve CNC gép főorsóvég és a lézermódul közti távolságot, így a lézergravírozófej robusztusabb kivitelű és a lézermódul használatakor a CNC marógép munkaterének mérete is növekszik a főorsó tengelyének irányába (z tengely).

4.1 Lézermódult rögzítő szerszámbefogó készülék

A célkitűzéseimnek elérése okán, egyértelművé vált számomra, hogy új felfogási módot kell kitaláljak a lézergravírozó modulnak. A lézermódul rögzítésének tervezése során, először kiválasztottam egy kereskedelmi forgalomban kapható szerszámrögzítő készüléket (szerszámbefogót). Választásomnál figyelembe kellett vennem a 3.2-es fejezetben bemutatott Haas Mini Mill EDU CNC marógép főorsóvégződését. Ezáltal SK 40-es kúppal ellátott szerszámrögzítő készülékek alkalmazása volt lehetséges számomra. Annak érdekében, hogy a TDK dolgozatomban taglalt feladatom költségét minimalizáljam, a CNC marógépnél fellelhető szerszámbefogók közül választottam.

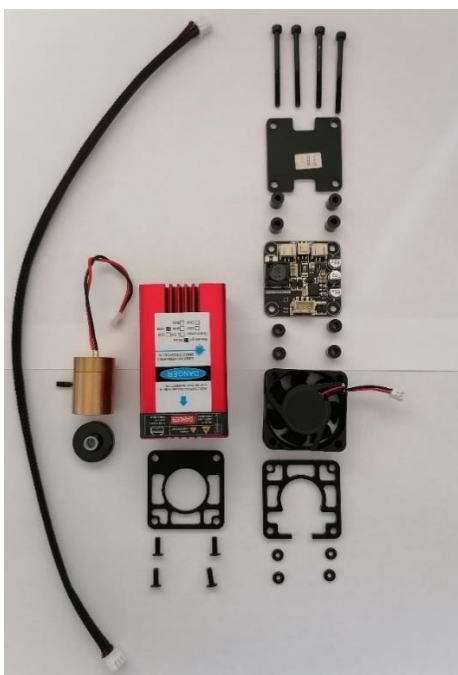
A marógépnél több fajta szerszámbefogó található. Az egyik használható szerszámrögzítő konstrukció a marótüske (6/a. ábra), minek az alkalmazását elvettem, mert ezeket marófejek rögzítése esetén használják. A marótüske közepén csavarrögzítésre alkalmas metrikus menettel ellátott furatot alakítanak ki, ami a marófej rögzítését oldja meg. A másik alkalmazható szerszámrögzítési konstrukció a Weldon kivitelű szerszámbefogók (6/b. ábra). Ez a konstrukció sem felel meg a lézermódul rögzítésére, mivel a CNC gép és a lézermódul egytengelyűségének hibája ennél a konstrukciónál a legnagyobb és a radiális csavarrögzítésből adódóan a szerszámbefogó hossza is jelentős, ami növeli a CNC marógépnél használt lézermódulhoz tartozó hosszkorrekció értékét. A marógépnél található harmadik szerszámrögzítési konstrukció a hydro (hidraulikus) szerszámbefogó (6/c. ábra). Mivel ennek a szerszámbefogótípusnak az ára a legmagasabb a gépnél található szerszámbefogó típusok közül, így korlátozott mennyiségben áll a rendelkezésemre (1 db). Habár rögzítési pontossága megfelelő lenne a számomra, a rendelkezésre álló mennyiségből kifolyólag elvettem ennek az alkalmazását is, mivel lézermódulomat hosszútávon szeretném rögzíteni a szerszámrögzítő készülékben. A választásom ezért a CNC marógépnél található utolsó szerszámrögzítő típusra esett, ami az ER patronos szerszámbefogó (6/d. ábra). Ebből a szerszámbefogó típusból jelentős mennyiség áll a rendelkezésemre (12 db). CNC megmunkálógépeknél igen elterjedt szerszámbefogó típus, mert az ára kedvező, nagy átmérő tartományban képes rögzíteni a forgácsolószerszámokat az ER patronok cserélésével (1mm-től 20mm-ig) és az ütési pontossága (max 6 μm) is a legtöbb ipari megmunkálás során megfelel. Az 6. ábra szemlélteti a Haas Mini Mill EDU géphez tartozó szerszámbefogó típusokat. [14]

A 4. fejezetben említett célkitűzéseket figyelembe véve a legrövidebb ER patronos befogót választottam (DIN69871 40 ER 32x65), ezzel csökkentve a lézerdióda kinyúlásának méretét. A stabil megfogás érdekében Ø16 mm-es szárral kívánom rögzíteni a lézerfejet, így ennek megfelelő méretű ER patronot alkalmazok a lézerdióda rögzítésénél (ER32 SPR 15-16). [14]



6. ábra. Haas Mini Mill EDU marógépnél található szerszámbefogó típusok [14]

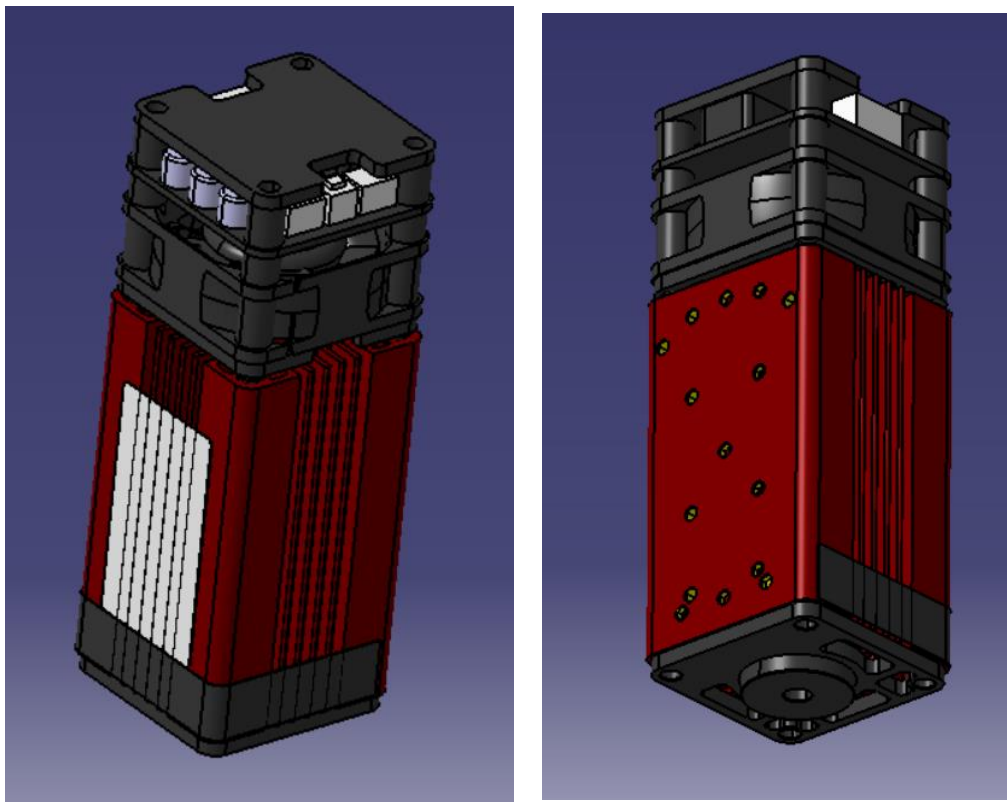
Az új rögzítési mód alkalmazásával egy köztes elem tervezése vált indokolttá, ami létrehozza az Ø16 mm-es szár és a lézermódul közti kapcsolatot. A tervezési fázis elején, célszerűnek láttam, hogy a vásárolt lézergravírozófejet szétszereljem, ezáltal megismertem az egyes alkotóelemeket és azok méreteit. A 7. ábra szemlélteti az eredeti lézergravírozófej részeit. Eleinte szerettem volna minél több alkatrészét felhasználni a vásárolt lézergravírozófej elemeiből, így az összes alkatrészt visszamodelleztem (reverse engineering) Catia P3 V5R21 CAD/CAM szoftver alkalmazásával.



7. ábra. Lézermodul alkotóelemei

A Catia V5 P3 V5R21 egy teljeskörű CAD/CAM/CEA szoftver, amit a francia Dassault Systèmes cég fejlesztett ki. Mivel a szoftver képes a termékfejlesztés több szakaszát is támogatni (konceptió alkotás, termék tervezés, gyártás tervezés, termékciklus menedzselés) CAx szoftvernek is nevezik. A szoftvert számos iparágban használják, mint például a gépjárműipar, a repülőgépipar, fémipar és az építőipar. A diplomamunkám során a szoftver CAD (Computer-Aided Design) és CAM (Computer-Aided Manufacturing) moduljait használtam. A tervezési feladatoknál a CAD modul segítségével először 3D (3 dimenziós) modellezés segítségével készítettem el a munkadarabjaim virtuális modelljét, majd ezeket felhasználva 2D (2 dimenziós) modellezés segítségével készítettem el az egyes munkadarabok műhelyrajzait. A bonyolultabb felületek (szabad-, ferde-) megmunkálása esetén használtam a Catia szoftver CAM rendszerét. [15, 16]

A TDK dolgozatomnál és a diplomamunkánál használt lézergravírozófej, eredetileg 30 egységből épült fel, ami tartalmazza a főbb építőelemeken kívül a csavarokat, távtartókat és a vezérlőáramkör nyáklapját is (7. ábra). A visszamodellezés során fény derült egy konstrukciós hibára, amit a 4.2-es fejezetben részletezek. A reverse engineering során készített összeállítási modellt szemlélteti az 8. ábra.



8. ábra. Lézermodul modellje (visszamodellezett)

4.2 Egyedi hűtőborda és a hozzá tartozó rögzítőelemek tervezése

A visszamodellezés során készített 3D-s modelleket felhasználva, első koncepcióm az volt, hogy az eredeti ventilátort lecserélem két radiális turbó ventilátorra, amit a lézermódul oldalán helyezek el. Ennek következtében az eredeti hossz (113,7 mm) rövidül, ezáltal robusztusabb lesz a lézermódul és a hűtés is intenzívebbé válik. Azonban a kézzel történő szerszámcserénél sérülhetnének a radiális ventilátorok, így radiális ventilátor helyett axiális ventilátor alkalmazása mellett döntöttem. A lézermódul vezérlőjének áthelyezésével még tovább szerettem volna csökkenteni a lézermódul magasságát, de a visszamodellezés során észleltem egy konstruktóri hibát a lézermódul hűtőbordájában. Ugyanis a lézerdióda átmérője és a hűtőborda furata jelentősen eltér (0,3 mm). A lézerdióda rögzítését egy hernyócsavar (DIN 916 szabvány szerinti M3 x 8 mm-es belsőkulcsnyílású hernyócsavar) valósította meg, ami radiális irányból a hűtőborda furatának falához nyomta a lézerdiódát. A 9. ábra szemlélteti az előbb említett hibát. Ebből adódóan, a lézerdióda használatakor keletkezett jelentős hő egy él mentén adódott át a hűtőbordának, ezáltal a hűtés hatásfoka maximális lézerteljesítmény (40 W) esetén megkérdőjelezhető. Ezen hibából, a kézi szerszámcserélés megkönnyítéséből és a 4. fejezetben taglalt célkitűzésimből adódóan határoztam el, hogy az eredeti lézerdiódaház helyett, egy egyedi hűtőbordát és hozzá tartozó egyedi rögzítőelemeket tervezek és ezt követően le is gyártok.



9. ábra. LD4070HF Pro lézergravírozófej hűtőbordájának hibája

4.2.1 Egyedi hűtőborda anyagválasztása

Az egyedi hűtőborda tervezést az alapanyag választásával kezdtem. Olyan anyagot kerestem, aminek jó a hővezetési tényezője (jele: λ , mértékegysége: W/mK) és az ipar széleskörben használja, így könnyen beszerezhető, akár kis mennyiségben is. Az ipar által használt anyagok közül az előbbi feltételeknek csak a réz és az alumínium anyagcsoportban található anyagok feleltek meg. Habár a réznek közel a duplája a hővezetési tényezőértéke mint az alumíniumnak [17], a forgácsolhatóság és a költségek optimalizálásának figyelembevételére miatt a választásom az Ø50 mm-es AlMgSi1 (EN AW-6082 vagy 3.2315) jelölésű sajtolat alumínium rúdra esett. A választott anyagot gyakran „szerkezeti ötvözetként” hívják, mivel az AW-6082-s jelölésű alumíniumot túlnyomórészt nagy igénybevételnek kitett helyeken használják, például rácsos tartókban, daruknál és hidaknál. Az ötvözet kiváló korrózióállósággal rendelkezik, emellett jól forgácsolható. Az extrudált felület nem olyan sima, és ezért nem olyan esztétikus, így eloxálás vagy forgácsolással történő megmunkálás alkalmazása szükséges. Ebből adódóan az általam tervezett hűtőborda maximális átmérőjének mérete kisebb, mint az előgyártmány átmérőjének mérete. Az anyag főbb jellemzőit a 3. számú melléklet tartalmazza. [18]

4.2.2 Egyedi hűtőborda hűtése

A 4.2-es fejezetben feltárt lézermódul hűtési hibájának orvoslására, az új hűtőborda tervezésénél jóval szorosabb illesztési hézag (Ø20,7 H7) megvalósításával terveztem növelni a megmunkálás közben keletkezett hő gyorsabb elvonását. Emellett a 4. fejezetben említett célkitűzések figyelembevételével, tervezés során törekedtem a minimális hűtőborda hosszúságra. Az új koncepcióban elvettem a hűtőventilátorok használatát, hiszen kockázatforrásként tekintettem rájuk, mert a lézermódulhasználat során rezgéssel terhelik a rendszert, ezáltal növelik a lézervágás keresztmetszetének méretét. Így arra a megállapításra jutottam, hogy mivel a CNC marógépek működéséhez elengedhetetlen a sűrítettlevegő, hiszen a mai modern CNC marógépek mindegyike szerszámváltásnál sűrítettlevegő segítségével oldja meg a szerszám és a főorsó kúpjainak összefeszülésének oldását. Így a lézermódul hűtése érdekében az általam tervezett hűtőbordát olyan furatokkal láttam el, amik elhelyezésüket tekintve közel helyezkednek el a lézermódulhoz, így a furat és a lézermódul közti falvastagság kicsi, így a keletkezett hőt a furatokba áramoltatott sűrítettlevegő vonja el a lézermódultól. Emellett másik jótékony hatása a sűrítettlevegős koncepciónak, hogy a gravírozásnál vagy vágásnál keletkezett égéstermékeket tartalmazó gázokat (füst) eltávolítja a

megmunkálási zónából, ezáltal a megmunkálás során a munkadarabot terhelő lézerfény teljesítménye nem csökken. Ennek érdekében egy sűrítettlevegő terelőelem szükséges, amit a 4.2.3-as fejezet mutat be részletesen.

A hűtés intenzitásának növelése érdekében a tervezett hűtőelem nem csak a sűrítettlevegővel áramoltatott furatokon képes leadni a környezetének a lézermódul által létrehozott hőt, hanem az alkatrész palástfelületén ellátott hűtőbordák is segítenek közvetetten ebben. A hűtőbordás kialakítás ezenkívül nagyban javítja az általam tervezett hűtőegység megjelenését is, ami növeli az eladhatóságát a terméknek.

A lézermódul által előállított hő elvezetése érdekében, nem csak a szoros illesztéssel ellátott furattal szerettem volna növelni az eredeti hűtőbordához képest a felfekvási felületet, hanem a számítógépiparban is használt hővezető paszta (ARCTIC MX-4 Thermal Compound) alkalmazásával a lézermódul és a hűtőborda teljes felületén szerettem volna kapcsolatot létrehozni. Annak érdekében, hogy összeszerelésnél a hővezetőpaszta a lézermódul és a hűtőborda közötti légrést biztosan kitöltse, úgy terveztem, hogy a lézermódul beszerelését követően injekcióstű segítségével juttatom be a hővezetőpasztát a hűtőbordában kialakított hornyokba. A hővezetőpaszta a megszilárdulását követően a lézermódul rögzítésében is szerepet játszik.

A lézermódul rögzítését a hővezetőpasztán kívül, egy furatba helyezhető rögzítőgyűrű (seeger gyűrű) segítségével oldottam meg (DIN 472 22x1 mm). A lézermódul elején található fókuszálólencse menettel rögzül a lézerdíóda házához, így a két elem közé helyezett rögzítőgyűrű megakadályozza a lézermódul elmozdulását a hűtőborda furatában.

A hűtőborda rögzítése miatt az általam tervezett lézergravírozóháza, több részből fog összeállni. Ebből adódóan a hűtőbordában elhelyezett sűrítettlevegővel áramoltatott furatokat úgy kellett kialakítanom, hogy a kapcsolódó felületeknél szivárgás ne lépjen fel, mert akkor csökkenne a rendszerben a sűrítettlevegő nyomása. Ennek megfelelően a furatok tetején o-gyűrűk alkalmazásával kívántam megoldani a szivárgásmentességet. A furatok mérete miatt az alkalmazott o-gyűrű a DIN 3771 szabvány szerint a 3x1-N-FPM85. Az o-gyűrű külső átmérőjét és keresztmetszetének átmérőjét figyelembe véve terveztem meg az o-gyűrűk fészkeinek kialakítását. A tömítést az o-gyűrű 0,2 mm-es zömítésével hoztam létre.

Az 1. sz. mellékletben bemutatott lézerdíóda adatlapja alapján, a lézerdíóda 70 °C felett már nem ajánlatos működtetni, mert károsodhat a szerkezet. Ennek ellenőrzésére úgy alakítottam ki a hűtőbordát, hogy közvetlenül egy NTC 10K típusú hőmérő (10. ábra) segítségével tudjam mérni a lézerdíóda aktuális hőmérsékletét. Így a kritikus hőmérséklet elérése előtt, a sűrítettlevegő nyomásának növelésével intenzívebbé tudnám tenni a hűtés

mértékét, vagy a program futásának szüneteltetésével tudnám biztosítani a lézerdióda túlmelegedésének elkerülését. Annak érdekében, hogy a hőmérő és a lézerdióda ne csak egy vonalfelületen érintkezzen, így tervezésnél a lézerdióda furatát és a hőmérő fészket egy 4 mm széles zsebbel egyben nyitottam, amit szerelésnél szintén kitöltök hővezetőpaszta segítségével. A szerelhetőség érdekében, a hőmérő alján egy M2-es átmenőfurat segítségével lehet a hőmérőmodult a hűtőborda tengelyirányával megegyező irányba kitolni egy tűske segítségével. A horony hűtőpasztával való feltöltése előtt az M2-es furatot tömíteni kell, amit egy DIN 916 M2x4 mm belsőkulcsnyílású kúpos hernyócsavar segítségével terveztem megoldani.



10. ábra. Általam tervezett lézermodul hűtőbordája [19]

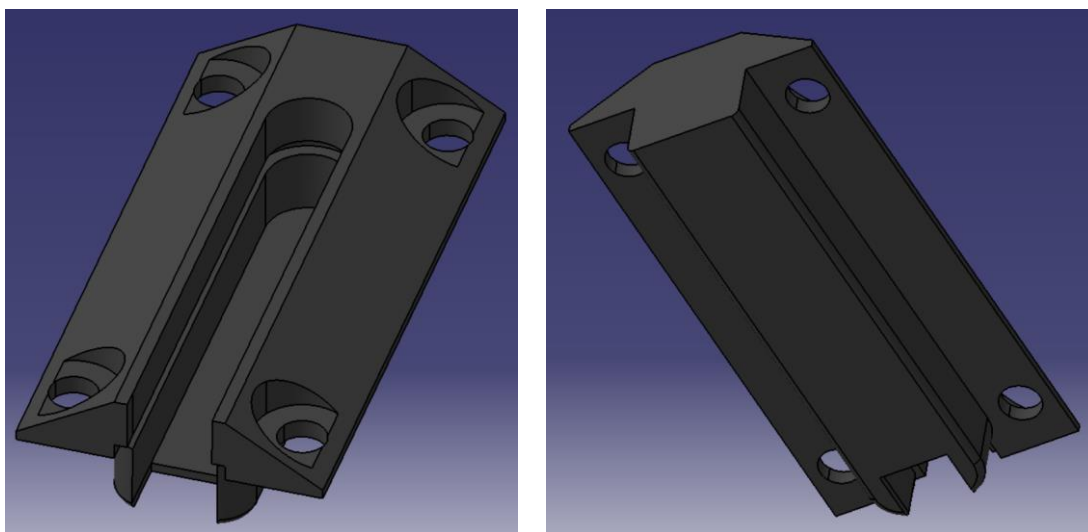
A hűtőborda tervezése során figyelembe vettem a felhasználási környezetet is. Mivel az általam használt CNC marógép főorsójának rögzítésekor (M19-es parancs), a szerszámgép megkeresi a szerszámcseré pozíciót. Ilyenkor addig forgatja a főorsót míg a szerszámcserépozícióban elhelyezett szenzor jelet nem küld a vezérlőnek. Az esetleges egyszeri 360°-os főorsó forgás miatt, a lézerdióda és a hőmérő elektromosvezetékeit könnyen oldható elektromos csatlakozó segítségével terveztem csatlakoztatni a vezérlőmodulokhoz. Az ipar által használt számtalan elektromos csatlakozók közül olyat kellett keressek, ami a lézergravírozó elforgásának hatására könnyen oldja az elektromos kapcsolatot, emellett nem okoz zárlatot, ha véletlenül oldásnál a leeső kábel fém felülettel érintkezne, továbbá a polaritás felcserélése nem lehetséges és a maximális terhelésnél fellépő áramerősségét is elviseli ($40 \text{ W} / 12 \text{ V} = 3,334 \text{ A}$). Számos lehetőség megvizsgálását követően megállapítottam, hogy az általam támasztott követelményeknek a Pogo Pin nevű csatlakozó megfelel (11. ábra). A nagy áramerősséget figyelembe véve 6 pin-nel (csatlakozó elemmel)

ellátott Pogo Pin alkalmazása mellett döntöttem, mivel egy csatlakozón maximum 3 A erősségű áram mehet keresztül, így a lézermódul elektromos vezetékei 2-2 pin-en keresztül terveztem összekapcsolni. A fennmaradó 2 pin a hőmérő elektromos kapcsolatát biztosítja.



11. ábra. Pogo Pin elektromos csatlakozó [20]

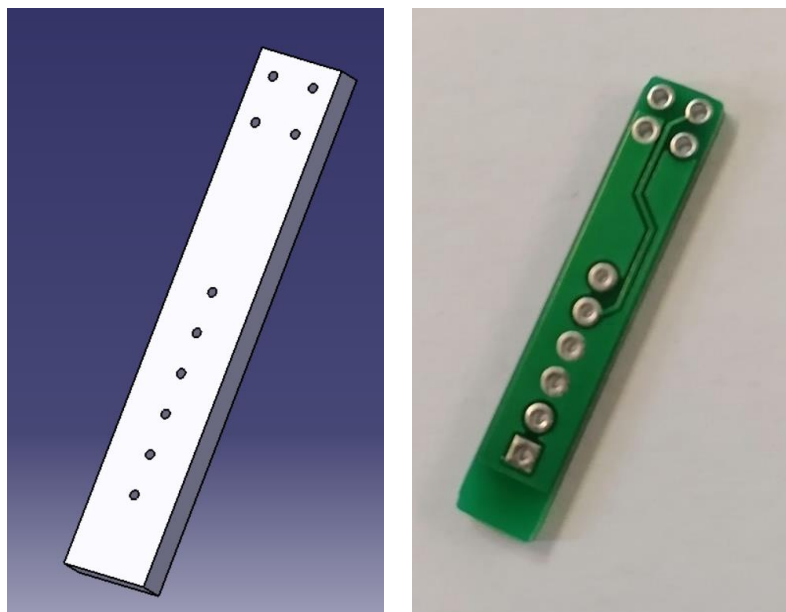
A kábelcsatlakozó kiválasztását követően meg kellett terveznem a hűtőbordára való illesztését. Az elektromos zárlat elkerülése érdekében, egy műanyag ház tervezése mellett döntöttem, ami rögzíti a Pogo Pin-es csatlakozót a hűtőbordaházhoz. A munkadarab mérete miatt a CNC marógépen történő gyártást elvetette, így egy másik ipar által használt gyártási eljárás segítségével a 3d nyomtatással készítettem el a csatlakozóházat. A 3D nyomtatóm segítségével (Creality Ender 3 v2) a Catia V5 P3 V5R21 CAx szoftverben készített 3 dimenziós modellt stl formátumban elmentettem, mert az általam használt Ultimaker Cura 4.13.1 nevű szoftver az stl fájlból nyomtatási pályákat tudok generálni, amit a 3D nyomtató vezérlésére szolgál. A 3D nyomtatással készülő alkatrészekről műhelyrajz készítése nem indokolt, hiszen a 3 dimenziós modell segítségével tudom létrehozni a nyomtató által használt vezérlőprogramot, ezzel jelentősen felgyorsítva a gyártást. Az általam tervezett elektromoscsatlakozótartót a 13. ábra szemlélteti.



13. ábra. Kábelcsatlakozóház

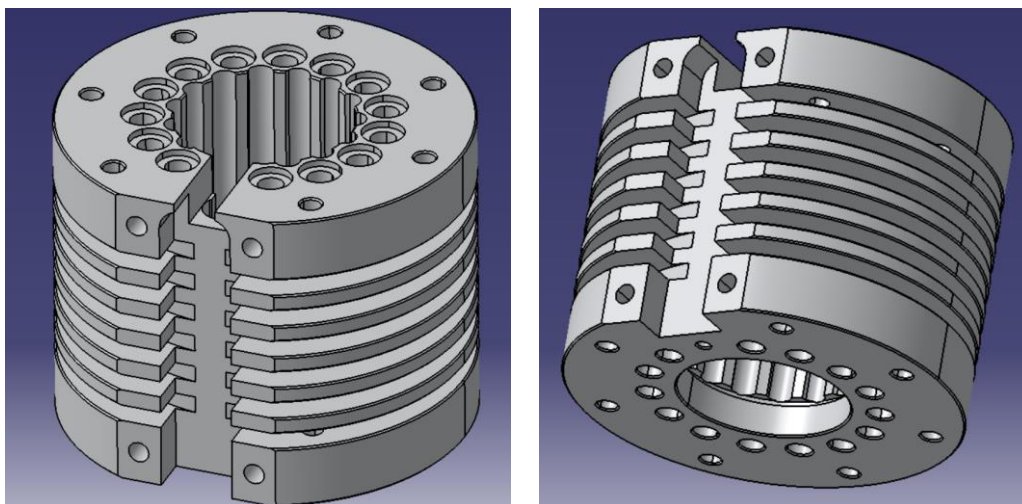
A képen jól látható, hogy a Pogo Pin rögzítését a csatlakozón található perem segítségével oldottam meg. Tervezés során a műanyag elem (anyaga: PLA) rögzítését a hűtőbordához, 4 darab ISO 7380-as szabványnak megfelelő belsőkulcsnyílású félgömbfejű M3x6-os csavarral valósítom meg. A tervezésnél figyelembe kellett vennem a 3D nyomtatás tulajdonságait, ennek megfelelően a kapcsolódó felületek méreteit 0,2 mm-el kisebbre míg a furatok átmérő méreteit ugyan ekkora mértékkel nagyobbra terveztem. Annak érdekében, hogy a munkadarab egy elemből álljon és nyomtatás során ne kelljen alátámasztást alkalmazni, ami nagyban növelné mind a nyomtatási időt mind a felhasznált filament (3D nyomtatásnál használt alapanyag) mennyiségét, így a nyomtatásánál a munkadarabot álló pozícióban nyomtattam ki (a munkadarab leghosszabb oldala párhuzamos volt a 3D nyomtató z-tengelyével).

A hűtőbordában található furatok miatt a csatlakozóház süllyesztésének mérete a lapolást követően korlátozott (4,6 mm), emellett a Pogo Pin felső felülete sem nyúlhat túl jelentős mértékben a hűtőborda hengerpalástjához képest, így indokoltnak éreztem, hogy nyáklap segítségével oldjam meg a Pogo Pin és a elektromos vezetékek összekapcsolását. Ugyanis 4 mm-es fészekben a vezetékek rögzítése érdekében ez a megoldás tűnt a legcélszerűbbnek. A nyáklaptervezését és kivitelezését a <https://easyeda.com/> weboldal használatával készítettem el. A nyáklap csak a 6 pin-es Pogo Pin rögzítését, a lézergyőző 2-2 pin-jének összekapcsolását és a forraszhelyre történő pályákat tartalmazza. Emellett a hőmérő vezetékének forraszhelyét és ezek pin-jeihez történő csatlakozását is megoldottam a nyáklap mindkét oldalának a felhasználásával (14. ábra).



14. ábra. Egyedileg gyártott nyáklap

Az előbb leírtak alapján tervezett hűtőborda 3 dimenziós modelljét a 15. ábra szemlélteti, míg a legyártáshoz szükséges műhelyrajzot a 4. számú melléklet tartalmazza.



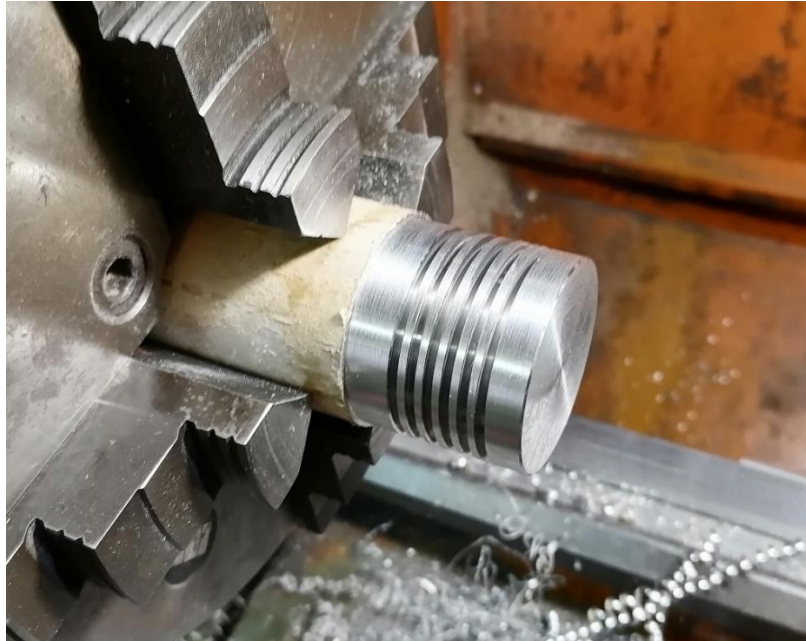
15. ábra. Általam tervezett lézermódul hűtőbordája

A munkadarab gyártásának műveleti sorrendtervét az 5. számú melléklet tartalmazza. A melléklet alapján látható, hogy a munkadarab 5 felfogásból készül el. A gyártástervezésnél kitűzött cél volt, hogy a lehető legkevesebb felfogás mellett a legtöbb esetben CNC marógépet (HAAS Mini Mill EDU) alkalmazzak. Ott, ahol az esztergálással jóval kevesebb idő alatt tudom elkészíteni az adott felületet, ott természetesen egyetemes esztergagép (EU-400/01) alkalmazása mellett döntöttem.

A munkadarab legyártása előtt próbagyártás segítségével beállítottam az alkalmazni kívánt gépeken található szerszámok hossz- és sugár korrekcióját, illetve esztergagépnél a késmagasság beállítása mellett, az egyes szerszámokhoz tartozó munkadarab koordinátarendszer beállítását is elvégeztem. Emellett leellenőriztem az összes NC program helyességét, ezzel biztosítva, hogy a gyártásnál nem keletkezik szerszámpályahibából ütközés vagy geometriai hiba. Próbagyártás során a munkadarab anyaga műfa (Poliuretán (Necuron 651)) volt, ami tökéletes a tesztek elvégzésére, hiszen forgácsolás során minimális erők keletkeznek, így a forgácsolás során használt szerszámokon nem keletkezik kopás.

A tesztgyártást követően került sor a használni kívánt alkatrész legyártására. Mivel a TDK dolgozat a használni kívánt alkatrész legyártására fókuszál, így a megmunkálást ezeken az alkatrészekon keresztül mutatom be. Az első felfogásnál az Ø50 mm-es AlMgSi1 (EN AW-6082, 3.2315) jelölésű sajtolat alumíniumrudat egyetemes esztergagép (EU-400/01) segítségével közbenső bázisfelület (oldalazás) esztergálását követően, a tervezett átmérőre forgácsoltam (Ø48 mm), majd beszűrőkés segítségével (késszár: G1011.2020R-2T21GX24-P, lapka: GX24-1E200N02-CF5 WSM23S) elkészítettem a hűtőbordán található beszűrásokat

(bordák kialakítása) (16. ábra). Ezt követően leszűrő esztergálási művelet helyett, fémipari szalagfűrészgép (Bomar STG 230) segítségével történt a munkadarab lefűrészelése az alumíniumrúdról. A munkadarab mindkét oldalfelületén 1-1 milliméter ráhagyással készítettem el az előgyártmányt.



16. ábra. Esztergálási műveletek utáni a munkadarab állapota

A harmadik felfogás során már a HAAS Mini Mill EDU CNC marógépet használtam. A munkadarab rögzítésére puhapofás tokmány felszabályozásával (pohapofák megfogási átmérő mérete $\varnothing 48$ mm-re készítettem), 5 mm mélységben történő megfogás mellett is stabil megfogást tudtam elérni. Megmunkálás műveletek közül a diplomamunka hosszának kordában tartása érdekében csak a kihívásokat jelentő műveleteket taglalom. Fúrási műveletek esetén, az átmenő furatokat ($\varnothing 3$ mm) mélységéből adódóan nagy odafigyeléssel lett elkészítve, az általános hosszúságú DIN 338 szabvány szerint kialakított HSS csigafúró segítségével. Az alkalmazott fúrási stratégia a G73 (kiemeléses fúrási ciklus változó előtolás értékkel) volt. Emellett a lézerdióda furatát is fúrást követő profilozó marási művelet segítségével készítettem el a megadott tűrés ($\varnothing 20,7$ H7) közép méretére. Ezen kívül a hőmérő fészkenek kialakítását emelném ki, ahol szintén a zseb mélységéből adódóan a rendelkezésemre álló hagyományos szerszámmérettel rendelkező keményfém maró (MC232-04.0A3B-WJ30ED) alkalmazása mellett a szerszám kilógásának méretét úgy állítottam be, hogy 31 mm mélységben is tudjon a szerszám dolgozni, viszont a megmunkálási hossznak megfelelően (L_c) a horony szélességét kismértékben csökkentettem (0,05 mm) 8 mm mélységenként.

Negyedik felfogásban az előző megmunkálásnál említett gép és munkadarabrögzítő

készüléket alkalmaztam. Ennél a felfogásnál a furatban található horony marását emelném ki, ahol egy egyedi szerszám alkalmazásával készítettem el a horony geometriai méreteit. Az egyedi szerszám egy kicsorbult Ø12 mm-es keményfém maróból lett kiköszörülve. A köszörülést követően a szerszám egy ütőkésre hasonlított, ebből adódott a horonymarás magas megmunkálási ideje.

Az utolsó felfogásnál (5. felfogás) egy egyedi munkadarab rögzítő készülék segítségével tudtam elhelyezni a munkadarabot 90°-os forgatással az előző megmunkáláshoz képest. A 5. felfogást szemlélteti a 17. ábra. A készülék pontosságának érdekében a készített rögzítőtárcsa mindkét felületét síkköszörüléssel párhuzamosra köszörültem. A rögzítőtárcsa bonyolultságát ezen kívül még az is jelzi, hogy úgy készítettem el, hogy az összes lézergravírozóházhoz tartozó munkadarab felfogható legyen, amin radiális megmunkálás szükséges. Jelen felfogás esetén, a kihívást a megszakított felületekkel rendelkező horonymarás jelentette, de a visszafogott előtoló sebességnek (v_f) köszönhetően rezgés mentesen tudtam elkészíteni a túrt horony szélességi méretét (8,6 C11 mm). A 6. számú melléklet tartalmaz pár megmunkálás közben készített képet.



17. ábra. A munkadarab állapota a 4. felfogás után

4.2.3 Sűrítettlevegőt terelőelem

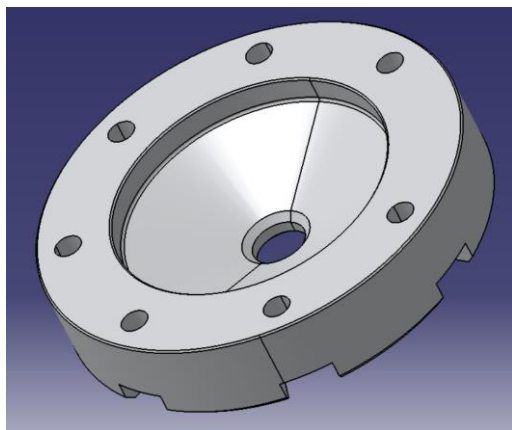
A 4.2.2-es fejezetben ismertetett diódalézer hűtésére tervezett sűrítettlevegővel ellátott furatokból kiáramló levegő segítségével, a megmunkálás során keletkezett gázok és égéstermékek eltávolítása is megoldható. Az ipari lézervágó és gravírozó gépeknél széleskörben használják a sűrítettlevegős fúvókafejeket, hiszen jelentős hatással vannak a lézervágás teljesítményére és sebességére. A kiáramló gáz nem csak a vágás vagy gravírozás közvetlen környezeténél fejti ki jótékony hatását, hanem megakadályozza az égéstermékkel keletkezett koromszemcsék lerakódását a fókuszálólencsére, ezzel biztosítva a

lézerteljesítmény csökkenésének az elkerülését. Emellett segít a fókuszáló lencse hűtésében is (18. ábra). [21]



18. ábra. Kereskedelmi forgalomban kapható „Air Assist” fej [22]

Az előbb leírt jótékony hatások figyelembevételével, az általam tervezett diódalézer hűtőbordájának elejére is szerettem volna a 18. ábrán látható kereskedelmi forgalomban kapható levegő terelő fejet alkalmazni. Az általam használt diódalézer fix fókusz távolsággal rendelkezik (1. számú melléklet), így a fókuszlencse és a munkadarab közti távolságból adódóan nem alkalmazhatók a 18. ábrán látható fejet, hanem a fókusz távolság figyelembevételével egyedi fej tervezése mellett döntöttem, amit a 19. ábra szemléltet.



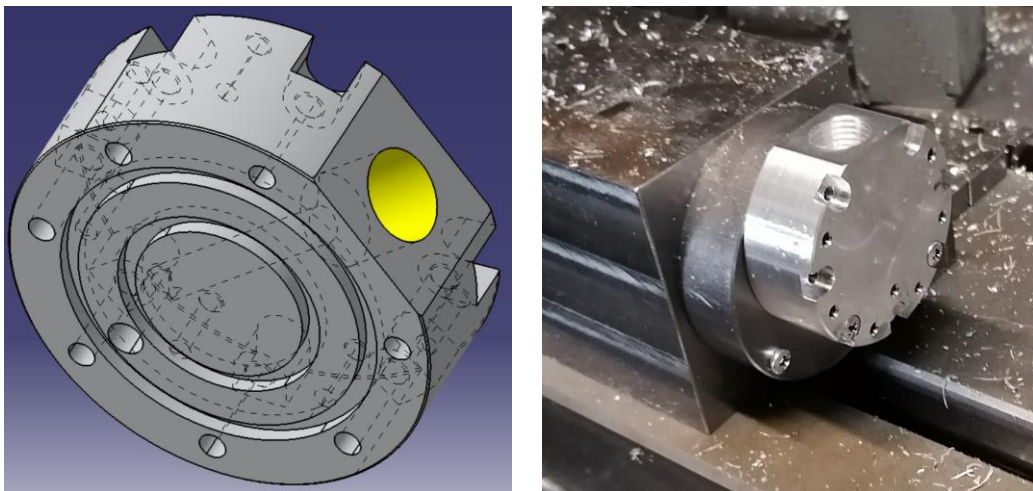
19. ábra. Sűrített levegőt terelő elem virtuális és legyártott képe

Gyártás során ennél az egy alkatrésznél használtam a Catia V5 P3 V5R21 CAx szoftver CAM rendszerét, mivel a levegőt terelő felület simításakor ciklois pályával történt a simítási művelet, ahol a Walter-tools cég által gyártott saroklekerekítéses keményfém szármarót (MC232-08.0W45B200C-WJ30ED) alkalmaztam. Ezen kívül az összes NC programot a Haas Mini Mill EDU CNC marógép vezérlőjén készítettem el 2,5D-s marási műveletek segítségével. Az alkatrészt 4 felfogásban gyártottam le, amiből 2 felfogás a CNC marógépen,

egy felfogás egyetemes esztergagépen és egy felfogás az ipariszalagfűrészgépen történt. A 28. ábrán jól látható, hogy a hűtőbordához való rögzítésre 7 darab DIN 912-es szabvány szerint készült belső kulcsnyílású és hengeresfejű M3x12 mm-es horganyzott csavarokat alkalmaztam, így a csavar fejméretének megfelelően alakítottam ki a süllyesztések méretét.

4.2.4 Sűrítettlevegőcsatlakozását és elosztását megvalósító elemek

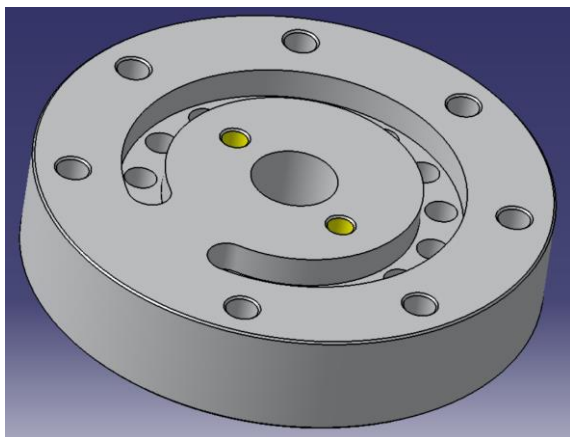
A tervezési folyamatot a sűrített levegő bevezetése és a hűtőbordában található furatokba juttatásával folytattam. Tervezés során figyelembe vettem, hogy az esetleges egyszeri szerszám körbe forgásából adódóan olyan megoldást kell keressek, ami nem okoz kárt a lézergravírozóházban. Az elektromos rendszer mágneses csatlakozójával ellentétben, a pneumatikus rendszereket nem lehet mágneses elemekkel összekapcsolni. A megoldást abban láttam, hogy egyedileg készítek egy Ø6 mm-es pneumatikus csőből (Aventics TU1-S-PUR 006-0105-NT-100) csőspirált, ami a lézerfej tengelyvonalában való elfordulás hatására változtatni tudja a hossz méretét deformáció nélkül. Ebből adódóan egy Ø6 mm-es pneumatikus cső rögzítésére képes, pneumatikus csatlakozót kellett keressek, ami alapján tovább tervezhettem a lézergravírozóház szóban forgó elemét. Az választásom az Aventics cég által gyártott QR1-AAN G014-DA06-os pneumatikus csatlakozójára esett. Az elem tervezésénél itt is a magasság minimalizálásra törekedtem, hogy a lézerdiódaház magasságának mérete minél kisebb legyen. A lézerdiódaház elemei közötti szivárgásmentes kapcsolat érdekében, ennél az alkatrésznél is alkalmazok tömítést (Ø32x2 és Ø19x2 o-gyűrű), így ezen tömítések méretének megfelelően terveztem meg a tömítések fészkeinek geometriai méreteit (0,3 mm az o-gyűrű zömülésének mérete). Az általam tervezett és legyártott sűrítettlevegőcsatlakozást megvalósító elemet a 20. ábra mutatja be.



20. ábra. Sűrítettlevegő bevezetését megvalósító elem virtuális és legyártott képe

Megmunkálásnál az radiális furat miatt 5 felfogásból készült el az alkatrész. Az első felfogás itt is egyetemes esztergagépen történt, ahol elkészítettem a külső átmérőt. Ezt követően ipari szalagfűrészgép segítségével alakítottam ki az előgyártmány hosszát 1-1 mm-es ráhagyás mellett. A maradék felfogásokat CNC marógépben végeztem. A gyártás során ennél az elemnél kihívást jelentett az o-gyűrűk fészkének kialakítása (2 mm széles a horony) melyet a Fraisa P5330.140 jelölésű keményfémmaró segítségével végeztem el 0,5 mm-es maximális fogásmélységenként (a_p). Annak érdekében, hogy a 3. és a 4. felfogás között ne kelljen tájolóelem segítségével pontos pozícióba rögzíteni a munkadarabot, a 3. felfogásban készítettem el az összes átmenőfuratot. Így a sűrítettlevegő axiális furatát átmenő furatként készítettem el, aminek a felét szerelésnél DIN 913 szabvány szerint gyártott M3x5 mm-es belsőkulcsnyílású hernyócsavar segítségével ledugózok. A másik felét a furatnak asztalifűrőgép segítségével felfűrtam a tervrajon feltüntetett méretre ($\varnothing 3$ mm). A radiális furat pontos csatlakozásának kivitelezése, pontos tájolással oldottam meg, amit a 4.2.2-es fejezetben bemutatott egyedi munkadarabrögzítő készülék pontos kivitelezése garantált. Emellett a pneumatikus csatlakozó furatának menetfűrése is szokatlan volt számomra, mert G $\frac{1}{4}$ -es menettel kellett ellássam. Szerencsére kis kutatómunka árán megtaláltam egyetemünk egyetlen G $\frac{1}{4}$ -es kézi menetfűrókészletét, így különleges megmunkálási művelet nélkül (menetmarás) el tudtam készíteni a kívánt menetet.

Az előbb leírt alkatrészhez kellett tervezek egy olyan elemet, ami a hűtőbordában található hűtésért felelős furatokba juttatja a sűrítettlevegőt. Az egységes nyomáeloszlás miatt, eleinte különböző furatátmérőkkel szerettem volna megvalósítani az egységes levegőnyomást a furatokban, de ezt gyártás során elvettem mert nagymértékben megnövelné a gyártás idejét és költségét is. Az általam tervezett alkatrészt mutatja be a 21.ábra. A munkadarab közepén található furat a lézerdióda és a hőmérő szenzor vezetékeinek kínál helyet, így elkerülhető az elektromos vezetékek szakadása 90°-os ívben történő hajlítás során. A középső furat mellett lévő két menetes furat a lézerdióda rögzítését megvalósító hernyócsavarok helyét szolgálja, viszont ezek használatát a későbbiekben elvettem, mert akkor túlhatározottá tenném a lézerdióda rögzítését.



21. ábra. Sűrítettlevegő elosztását megvalósító elem virtuális és legyártott képe

A munkadarab legyártása 3 felfogásban történt. Először a bázis- majd a külsőfelület esztergálását végeztem el, ezt követte a szalagfűrészgépen történő méretre vágás (1 mm-es ráhagyás a vágott oldalon). Harmadik felfogásban az eddigi megmunkálásoknál használt CNC marógépet alkalmazva alakítottam ki a furatokat és a hornyot. Gyártás során a 21. ábrán is jól látható zárt horonymarását emelném ki érdekességgéppen. A horonyba való bemerülésnél nem íves pályán merültem be a marószerszámmal (Walter-tools MC232-04.0A3B-WJ30ED), hanem először kialakítottam az átmenő furatokat, így a horony elején található furatot használtam horonymarásánál kezdőpozíciónak, így nem kellett csökkentett előtoló sebességet (v_f) alkalmazzak mikor a szerszám a horony aljára áll.

4.2.5 Lézerdiódát és annak hűtőbordáját rögzítő elemek

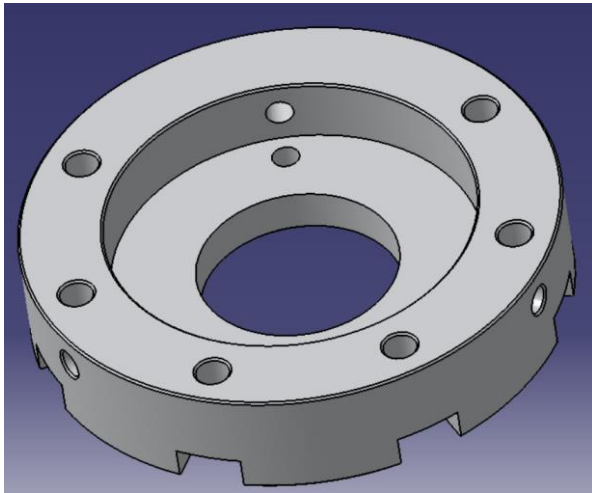
Az általam tervezett eddigi alkatrészek és a 4.1-es fejezetben leírt rögzítő készülék kapcsolatának kialakítása miatt terveznem kellett egy közbenső elemet, ami megvalósítja a lézerdiódához ER patronos szerszámbefogóba történő rögzítését. Tervezés során szemelőtt tartottam a 4. fejezetben leírt célkitűzéseket, ebből kifolyólag olyan „szerszámszár” kialakítás mellett döntöttem, ami kis mozgástartományban állíthatóvá tenné a lézerdiódaházat, ezzel biztosítva, hogy a lézerdióda és a marógép főorsójának szimmetriatengelye egy tengelyt alkosson. A korrózió elkerülése érdekében a szárrészt is AW-6082 jelölésű Ø35 mm-es alumíniumrúdból alakítottam ki. A 22. ábra szemlélteti a lézergravírozófejhez tartozó szár 3 dimenziós tervét és az elkészült munkadarabról készült fotót.



22. ábra. Lézerdiódarögzítését szolgáló szár virtuális és legyártott képe

A munkadarab legyártása 3 felfogásban történt. Első felfogásnál, egyetemes esztergagép (EU-400/01) segítségével kialakítottam a munkadarab geometriai méreteit, de a sérülések elkerülése érdekében leszúrási műveletet nem alkalmaztam. Így második felfogásnál ipariszalagfűrészgép (Bomar STG 230) alkalmazásával távolítottam el a munkadarabot a kiinduló Ø35 mm-es alumínium rúdról. Utolsó felfogásnál visszafogtam a munkadarabot az első felfogásnál használt gépre, hogy a fűrészelés miatti anyagráhagyást eltávolítsam a munkadarabról. Az Ø16 mm-es szárrész sérülését elkerülve, a munkadarab és a tokmánypofák közé papírt tettem, hiszen oldalazás esetén már nem keletkeznek olyan mértékű erők, ami miatt nagy tokmányszorítási erőt kellene alkalmazni.

A lézerdiódaház kismértékű mozgathatósága miatt, a szárrészt rögzítő elem belső zsebet Ø32 mm-re terveztem. Ebből adódóan a maximális mozgástartomány 2 mm a szárrésznek x-y síkon. A lézerdióda tengelyének pontos beállítását követően, a szárrészt axiális irányban 3 darab DIN 913 szabvány szerint gyártott M3x5 mm-es belsőkulcsnyílású hernyócsavar rögzíti, míg radiális irányban 3 darab DIN 914 szabvány szerint gyártott M3x10 mm-es kúpos, belsőkulcsnyílású csavar rögzíti. Az axiális irányban történő rögzítés miatt az alkatrészben található Ø32 mm-es zseb mélysége 0,5 mm-el nagyobb (5,5 mm) mint a szárrészen található fej vastagsága, ebből adódóan képesek vagyunk a hernyócsavarok lazításával beállítani a lézerdióda tengelyszimmetriavonalának helyzetét. A 23. ábra szemlélteti a virtuális térben tervezett alkatrész modelljét és mellette a legyártás során készített képet.



23. ábra. Lézerdiódarögzítését szolgáló szár virtuális és legyártott képe

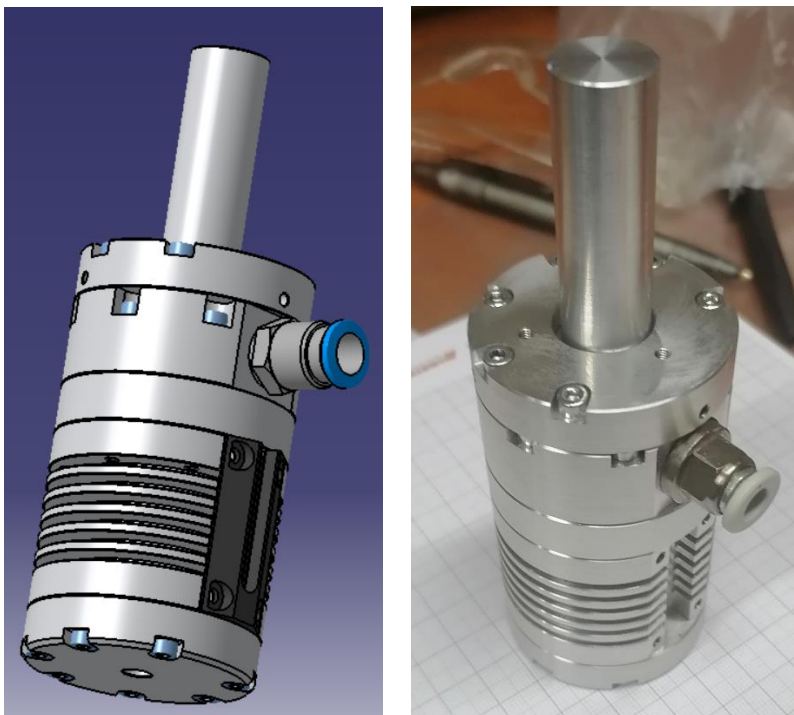
Az alkatrész legyártása 5 felfogás segítségével történt. Első felfogás során, hasonlóan a többi alkatrész megmunkálásánál itt is esztergálási műveletek segítségével előkészítettem a munkadarabot, míg a 2. felfogásnál fűrészgép segítségével kialakítottam a munkadarab hossz méretét (1-1 mm-es ráhagyással). A 3. és 4. felfogásban CNC marógép alkalmazásával kialakításra kerültek a zsebek és a furatok. Az utolsó felfogás során ismét az egyedi készülék alkalmazása vált indokoltá (4.2.2-es fejezet), hogy elkészítsem a radiális furatokat a munkadarabon.

5. Összefoglalás

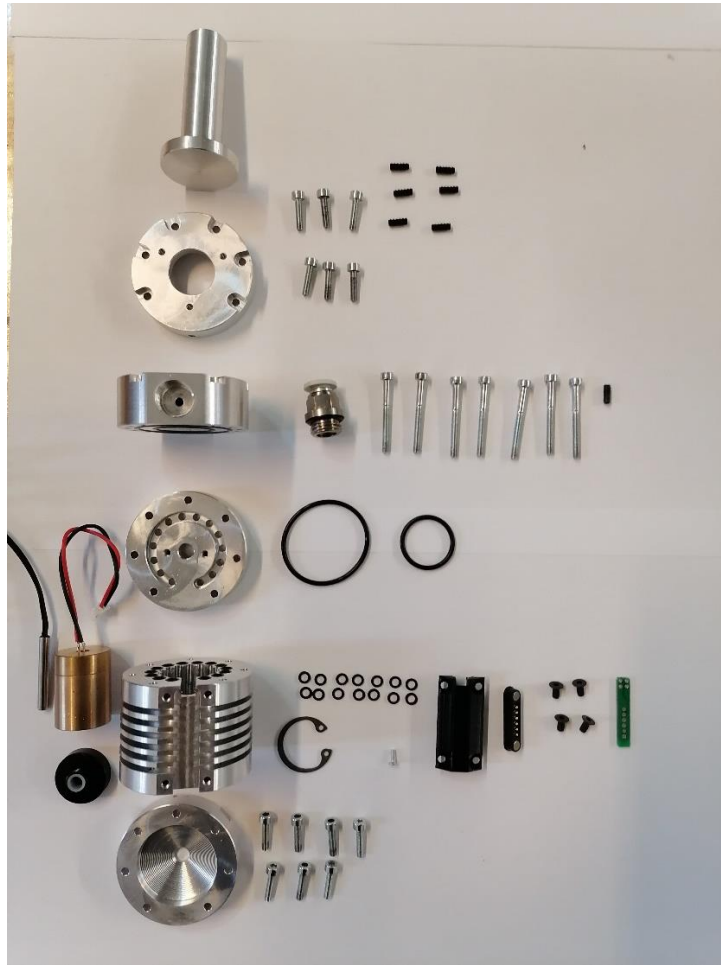
TDK dolgozatomban a lézerfény előállításának történelmi áttekintés után, nagyvonalakban bemutattam a lézerfény tulajdonságait és alkalmazhatóságának változatait. Ezt követően részletesen bemutattam a TDK dolgozat feladatánál használt lézerfejben (LD4070HF Pro) található diódalézer működését.

A TDK dolgozat második felében részletesen bemutatom, hogy az általam előírt célkitűzésekből adódóan, milyen szempontok figyelembevételével terveztem meg egy egyedi diódalézer hűtőbordát, amit ipari CNC marógép főorsójába is be lehet helyezni.

A legyártott alkatrészek felhasználásával, összeállítottam az általam tervezett lézerdiódaházat. Az eredeti konstrukció 113,7 mm hosszúságú volt, míg az általam tervezett lézergravírozómodul hűtőbordája és a hozzá tartozó elemek összegzett hossza 85 mm. Ezzel elmondható, hogy a tervezés elején meghatározott elvárások mindegyikét sikerült teljesíteni (4. fejezet). Hiszen a lézerdiódaház méretét sikerült 25%-el csökkenteni és Ø2 mm-es körön belül eltudom helyezni a lézerdióda tengelyközéppontját, ezzel egytengelyűvé tudtam tenni a készüléket a CNC marógép főorsójához képest. Az általam tervezett lézergravírozófej 62 elemből áll, ami tartalmazza az összes kötőelemet, tömítéseket, pneumatikus csatlakozót, lézerfejet és az általam tervezett munkadarabokat. A 24. ábrán látható az összeállított lézerfej virtuális és valóstérben készített képe, míg a 25. ábra szemlélteti a felhasznált alkatrészek összességét.



24. ábra. Az összeállított lézerdiódaház virtuális és legyártott képe



25. ábra. Általam tervezett lézermódul alkotóelemei

6. Felhasznált irodalom

- [1] Kreisz István: Lézersugárforrások. Edutus Főiskola. Budapest, 2011.
- [2] Búza Gábor: Lézersugaras technológiák I. Edutus Főiskola. Budapest, 2012.
- [3] Gazda Gergely: Láthatatlan fény, a lézersugár keletkezése és alkalmazásának alapjai oktató program. Bay Zoltán Alkalmazott kutatási alapítvány. Budapest, 2000.
- [4] Dr. Hopp Béla, Dr. Kemény Lajos, Dr. Smausz Kolumbán Tomi, Dr. Morvai Márta, Dr. Ónódi Katinka, Dr. Degovics Döníz: Lézerek az Orvostudományban. Szegedi tudományegyetem. Szeged, 2012.
- [5] Dr. Ábrahám György, Dr. Lőrincz Emőke, Dr. Antal Ákos, Dr. Tamás Péter: Lézertechnika. Budapesti Műszaki Egyetem jegyzet. Budapest, 2015. ISBN 978-963-313-203-6
- [6] Kovács Imre: Lézeres jelölés (szakdolgozat). OE-BGK. Budapest 2017.
- [7] Hevesi Imre, Gyémánt Iván: Félvezető optika. Kimenet orientált képzésfejlesztés a Dél-alföldi Régió szolgáltató egyetemén című projekt munka. 2011.
- [8] Galbács Gábor, Ilisz István, Felinger Attila, Csóka Balázs: Illusztrált segédanyag a modern műszeres analitikai kémia oktatásához. Szegedi- és Pécsi Tudományegyetem jegyzet. Szeged, 2013.
- [9] Sulinet weboldala: Lézer diódák. (utoljára megtekintve: 2022. 11. 28.)
https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/0d0cc85d-f7b5-41fb-aec0-d1b8362c7ebf_e90c4562-46d5-4b3a-a5ed-d640f67b512a_102e5c57-b50f-4053-b4a3-c1a7c5aa564f_356b996c-0779-43c6-b4eb-00f1fcd1ffd4_64b3a2f4-2261-4920-bcab-2f24ccb85761_50010936-71d8-4d22-ac95-4363d757e384
- [10] LD4070HF Pro lézergravírozó fej gyártójának a weboldala (utoljára megtekintve: 2023. 04. 09)
http://voidmicro.com/Products/Laser/LD4070HF_Pro-en.html
- [11] Vásárolt lézergravírozó fej webshopjának weboldala (utoljára megtekintve: 2023. 04. 09)
<https://azolcsosag.hu/EU-ECO-Raktar-40W-Lezer-modul-450nm-gravirozo-lezerfej-CNC-Gephez-Piros>
- [12] Haas weboldala: Haas Mini Mill EDU (utoljára megtekintve: 2023. 04. 09)
<https://www.haascnc.com/hu/machines/vertical-mills/mini-mills/models/minimill-edu.html>
- [13] CNC média (online szaklap): Szerszámbefogó típusok II. rész (utoljára megtekintve: 2023. 04. 09)
<https://www.cnc.hu/2015/07/szerszambefogo-tipusok-ii-resz/>

- [14] Taegutec weboldala: Szerszámbefogók (utoljára megtekintve: 2023. 04. 23)
<https://webshop.taegutec.hu/catalogue/group/6401>
- [15] Catia P3 V5R21 szoftver gyártójának hivatalos weboldala (utoljára megtekintve: 2023.04.15.)
<https://www.3ds.com/products-services/catia/>
- [16] CNC média (online szaklap): Dassault Systèmes – a jövő CAD-CAM technológiája (utoljára megtekintve: 2023. 04. 15)
<https://www.cnc.hu/2016/08/dassault-systemes-a-jovo-cad-cam-technologiaja/>
- [17] Wärmeleitfähigkeit 1 (Lambda) der Elemente in [J/smK bei 25°C (Elemek hővezetési tényezője)]. wittrock-web.de. (utoljára megtekintve: 2023. 04. 29.)
- [18] AlMgSi1 jelölésű anyag fő jellemzőit tartalmazó weboldal (utoljára megtekintve: 2023.04.29)
<https://www.aviationaluminum.com/hu/almgis1-aluminum-6082-round-bar-6082-aluminum-bar-rod-and-blocks.html>
- [19] Aliexpress webshop: NTC 10K típusú hőmérő modul (utoljára megtekintve: 2023.04.29)
https://www.aliexpress.com/item/4000402235178.html?spm=a2g0o.store_pc_allProduct.8148356.1.417d5163WygJwi&pdp_npi=2%40dis%21USD%21US%20%240.23%21US%20%240.22%21%21%21%21%21%40210318b916828603827385426e1ea1%2110000001656105756%21sh
- [20] Aliexpress webshop: Pogo Pin elektromos csatlakozó (utoljára megtekintve: 2023.04.29)
https://www.aliexpress.com/item/1005004194118658.html?spm=a2g0o.store_pc_allProduct.8148356.1.45b372afCyBXlG&pdp_npi=2%40dis%21USD%21US%20%243.05%21US%20%242.50%21%21%21%21%21%402101e9d416828603187314030e4bb2%2112000028338522040%21sh
- [21] Kai Chen, Y. Lawrence Yao, Vijay Modi: Gas Dynamic Effects on Laser Cut Quality. Journal of Manufacturing Processes. Volue 3, Issue1. 2001, 38-49. oldal
- [22] Aliexpress webshop: Kereskedelmi forgalomban kapható „Air Assist” fej (utoljára megtekintve: 2023.05.01)
https://www.aliexpress.com/item/1005004386419482.html?spm=a2g0o.productlist.main.7.427c7ab6la2zlC&algo_pvid=389dcf2c-a799-4f5b-966d-c8fdeb9828e1&algo_exp_id=389dcf2c-a799-4f5b-966d-c8fdeb9828e1-3&pdp_npi=3%40dis%21USD%2133.32%2126.66%21%21%21%21%21%4021227e5116829338379752941d07c6%2112000028998216212%21sea%21HU%214174506730&curPageLogUId=gjdlRaDYOGri

7. Mellékletek

1. sz. melléklet: LD4070HF Pro lézergravírozófej technológiai adatai [10, 11]

Lézergravírozó befoglaló mérete	40 x 40 x 101 mm
Kimeneti maximális teljesítmény	7,5 W
Hullámhossz	450 nm
Bemeneti feszültség	12 V
Bemeneti teljesítmény	40 W
Vezérlő jel (PWM) adatai	DC 3,3-12V 100 Hz ~ 50 kHz (5 kHz preferált)
Üzemeltetési hőmérséklet	-20 °C ~ 70°C
Üzemidő	20000 óra
Fókusz távolság	Fix (15 mm a lencsétől)

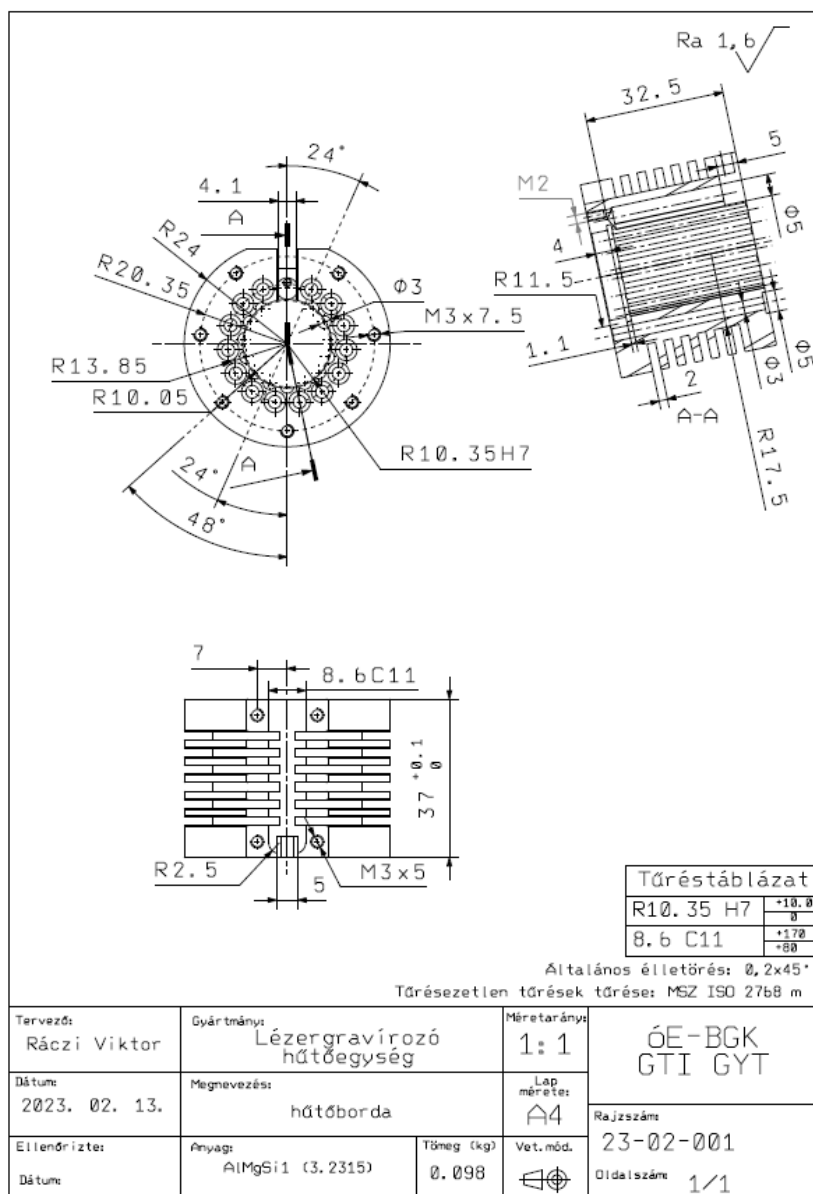
2. sz. melléklet: Haas Mini Mill EDU technológiai adatai [12]

Asztal mérete	914 (730) x 305 mm
Mozgástartomány X irányban	406 mm
Mozgástartomány Y irányban	305 mm
Mozgástartomány Z irányban	254 mm
Maximális fordulatszám	4000 1/min
Maximális teljesítmény	5,6 kW
Maximális nyomaték	45 Nm (1200 1/min esetén)
Főorsóvégződés	CT 40 (ISO kúp)
Asztal maximális terhelhetősége	227 kg
Maximális asztal mozgási sebesség (minden irányban)	7,6 m/min
Automatikus szerszámváltás	nincs
Hűtés	nincs

3. sz. melléklet: AlMgSi1-es alumíniumötvözet főbb technológiai adatai [18]

Ötvöző és szennyező elemek (%)								
Szilícium	Vas	Réz	Magnézium	Mangán	Króm	Cink	Titán	Egyéb
0,7-1,3	0,5	0,1	0,6-1,2	0,4-1,0	0,25	0,2	0,1	0,15
Mechanikai tulajdonság								
Átmérő (mm)	Szakítószilárdság (Mpa)		Folyáshatás (Mpa)		Megnyúlás (%)		Keménység (HB)	
>20-150	≥310		≥260		≥8		95	

4. sz. melléklet: Egyedi hűtőborda műhelyrajza



5. sz. melléklet: Hűtőborda műveleti sorrendterve

 ÓBUDAI EGYETEM ÓBUDA UNIVERSITY		MŰVELETI SORRENDTERV		Anyag:		Szorszám:			
				AlMgSi1		001			
Gépgyártástechnológiai Tanszék		Alkatrész:		Rajkszám:		Nyersméret:		Lapszám:	
		Hűtőborda		23-02-001		Ø50x39		2/1	
Műv. sorsz.	Művelet leírás, vázlat			Készíti	Gép		Készülék		
1.	Esztergálás - oldalazás - hosszesztergálás - beszúrás				Egyetemes eszterga (EU-400/01)		Tokmány		
2.	Főrészelés				Ipari fűrészgép (Bomar STG 230)		Satu		
3.	Marás 1. - Síkolás - Központfúrás - Fúrás 1. (Ø3) - Fúrás 2. (Ø2,5) - Fúrás 3. (Ø5) - Nagyolás - Profilozás - Horonymarás - Élletörés - Menetfúrás				CNC marógép (Haas Mini Mill EDU)		Tokmány (puhapofás)		
4.	Marás 2. - Síkolás - Központfúrás - Fúrás 1. (Ø2,5) - Fúrás 2. (Ø1,6) - Profilozás - Horonymarás - Élletörés - Menetfúrás 1. (M3) - Menetfúrás 2. (M2)				Kézzel CNC marógép (Haas Mini Mill EDU)		Tokmány (puhapofás)		
Készítette:				Dátum:					
Ráczai Viktor Gergely				2023. 05. 03.					

 ÓBUDAI EGYETEM ÓBUDA UNIVERSITY		MŰVELETI SORRENDTERV		Anyag:	Szorszám:
				AlMgSi1	001
Gépgyártástechnológiai Tanszék		Alkatrész:	Rajzszám:	Nyersméret:	Lapszám:
		Hűtőborda	23-02-001	Ø50x39	2/2
Műv. sorsz.	Művelet leírás, vázlat	Készíti	Gép	Készülék	
5.	Marás 3. - Lapolás - Központfúrás - Fúrás 1. (Ø2,5) - Horonymarás - Profilozás - Menetfúrás		CNC marógép (Haas Mini Mill EDU)	Egyedi készülék	
6.	Végellenőrzés		Kézzel		
Készítette:		Dátum:			
Ráczai Viktor Gergely		2023. 05. 03			

6. sz. melléklet: Hűtőborda megmunkálása során készített képek



6/1. ábra. Felfogótárcsa furatainak elkészítése



6/2. ábra. Hűtőborda Ø48 mm-es átmérőre esztergálást követően (1. felfogás)



6/3. ábra. Hűtőborda 3. felfogás utáni állapota



6/4. ábra. Sűrített levegős furatok tömítésének behelyezése