

DIPLOMADOLGOZAT

Ónodi Norbert

2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Műszaki Intézet

Gépészmérnök mesterképzési szak

EGYEDI BURKOLAT TERVEZÉSE EGY LÉZERVÁGÓ BERENDEZÉSHEZ

Belső konzulens: Dr. Szakál Zoltán
egyetemi docens

Belső konzulens
intézete/tanszéke: Műszaki intézet,
Anyagtudományi és Gépipari
Folyamatok Tanszék

Készítette: Ónodi Norbert

Szent István Campus, Gödöllő

2023

MŰSZAKI INTÉZET
GÉPÉSZMÉRNÖK MESTERSZAK
Műszaki fejlesztő specializáció

DIPLOMADOLGOZAT
feladatlap

Ónodi Norbert (H6BXU5)

részére

A diplomadolgozat címe:

Egyedi burkolat tervezése egy lézervágó berendezéshez

Feladatkiírás:


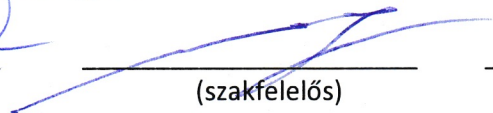

Bevezetés, szakirodalom feldolgozása, probléma bemutatása. A kiindulási paraméterek alapján elszívóval rendelkező egyedi burkolat tervezése CAD rendszerben. A lézervágás paramétereinek kísérleti meghatározása, az additív technológiával készülő alkatrészek modelljeinek nyomtatásra való előkészítése. A szükséges elszívási teljesítmény kiszámítása, gazdasági számítások elvégzése. Eredmények értékelése, összefoglalás.

Közreműködő tanszék: Gépszerkeztani Tanszék

Belső konzulens: Dr. Szakál Zoltán egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet


A dolgozat beadási határideje: 2023. 11. 06.

Kelt: Gödöllő, 2023. 10. 25.

 (tanszékvezető)	 (szakfelelős)	 (hallgató)
--	---	---

A dolgozat készítőjének belső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Kelt: Gödöllő, 2023. 10. 25


(belső konzulens)

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés	5
1.1	<i>A dolgozat célja</i>	5
1.2	<i>A témaválasztás indoklása</i>	5
2	Lézerek általánosságban	6
2.1	<i>Mi az a lézer?</i>	6
2.2	<i>Hogyan működik a lézer?</i>	7
2.3	<i>A gerjesztés típusai</i>	8
2.3.1	<i>Gerjesztés fényel</i>	8
2.3.2	<i>Gerjesztés elektromos kisüléssel (gázban)</i>	9
2.4	<i>A lézersugár jellemzői</i>	11
2.5	<i>Lézer felhasználása</i>	11
3	Lézer az anyagmegmunkálásban	13
3.1	<i>A lézeres megmunkálás előnyei</i>	16
3.2	<i>A lézeres megmunkálás hátrányai</i>	17
3.3	<i>Lézerek teljesítménye</i>	18
3.3.1	<i>Impulzus és folyamatos üzem</i>	18
3.3.2	<i>Teljesítmény</i>	19
3.4	<i>Lézersugárforrások csoportosítása</i>	21
4	Lézersugaras vágás	23
4.1	<i>A lézervágás előnyei illetve hátrányai</i>	24
4.2	<i>A vágást befolyásoló paraméterek</i>	25
4.3	<i>A lézeres vágás folyamata</i>	25
4.4	<i>A lézeres vágás minőségére vonatkozó jellemzők</i>	27
4.5	<i>A vágást befolyásoló technológiai tényezők</i>	27

5	Lézervágó berendezések.....	31
5.1	<i>A síkágyas vágógépek.....</i>	<i>31</i>
5.2	<i>3D-s vágógépek</i>	<i>32</i>
5.3	<i>Kisméretű és hobbi lézervágók.....</i>	<i>33</i>
6	Fa vágása lézerrel	35
6.1	<i>Használható lézerek, segédgáz</i>	<i>35</i>
6.2	<i>Az anyag szerkezeti jellemzőinek hatása</i>	<i>35</i>
6.3	<i>Vékony anyagok vágása.....</i>	<i>35</i>
6.4	<i>Felület elszenesedése, felületi érdesség, vágási rés.....</i>	<i>36</i>
7	Fa elemek csatlakozásainak kialakításai	37
7.1	<i>Félig átlapolt kötés</i>	<i>37</i>
7.2	<i>Nyelv és horony kötés</i>	<i>37</i>
7.3	<i>Dado kötés</i>	<i>38</i>
7.4	<i>Fecskefarok kötés.....</i>	<i>38</i>
7.5	<i>Dobozkötés.....</i>	<i>39</i>
8	Lézer biztonságtechnika.....	40
9	Additív gyártás, FDM technológia	41
9.1	<i>Additív gyártás.....</i>	<i>41</i>
9.2	<i>FDM technológia.....</i>	<i>42</i>
9.3	<i>A technológia választásának indoklása</i>	<i>44</i>
9.4	<i>FDM technológiára való tervezés</i>	<i>44</i>
9.5	<i>Anyagválasztás</i>	<i>45</i>
10	A tervezési feladat peremfeltételeinek meghatározása	46
10.1	<i>A lézervágó bemutatása – NEJE 3 MAX A40640.....</i>	<i>46</i>
10.2	<i>A felhasználás helye.....</i>	<i>47</i>

10.3	<i>Piackutatás – piaci burkolat konstrukciók bemutatása</i>	47
10.3.1	<i>Sculpfun lézervágó burkolat</i>	47
10.3.2	<i>xTool D1 lézervágó burkolat</i>	48
10.3.3	<i>Ortur lézervágó burkolat</i>	49
10.4	<i>A piackutatás következtetései</i>	50
11	Előzetes konstrukciók	52
11.1	<i>Burkolat előlap nyitással</i>	52
11.2	<i>Burkolat tető nyitással</i>	52
11.3	<i>Burkolat tető és előlap nyitással</i>	53
12	Az elszívó berendezés	54
12.1	<i>Az elszívási teljesítmény meghatározása</i>	54
12.2	<i>Ventilátor választása</i>	55
12.3	<i>Rugalmas cső</i>	56
12.4	<i>Az elszívó berendezés háza</i>	57
13	Dobozkötés paramétereinek kísérleti meghatározása	60
13.1	<i>A lézervágó pontossága</i>	60
13.2	<i>Előkészületek</i>	62
13.3	<i>Vágási paraméterek kikísérletezése</i>	63
13.4	<i>Kontúr kompenzációs kísérlet</i>	66
13.5	<i>Illesztési kísérlet</i>	67
13.6	<i>A kísérletek eredményének összefoglalása</i>	69
14	A végleges konstrukció bemutatása	70
14.1	<i>Áttekintés</i>	70
14.2	<i>Szellőzők</i>	73
14.3	<i>Betekintő nyílások</i>	74
14.4	<i>Zsanérok</i>	74

14.5	<i>Gázrugók</i>	75
14.6	<i>Fogantyú</i>	76
14.7	<i>MDF alaplap</i>	77
15	Lemeztervek készítése	78
16	A nyomtatási paraméterek beállítása	81
16.1	<i>Sínek</i>	81
16.2	<i>Elszívó berendezés</i>	82
16.3	<i>Zsanérok</i>	83
17	Költség kalkuláció	85
18	Eredmények értékelése, összefoglalás	87
18.1	<i>Az eredmények értékelése</i>	87
18.2	<i>Összefoglalás</i>	87
19	Hivatkozások	90
20	Mellékletek	95

1 Bevezetés

A diplomadolgozatomban egy, a tanszéken lévő kisméretű lézervágó berendezéshez tervezek egyedi, elszívóval rendelkező burkolatot, melynek elsődleges célja, hogy a lézervágás során keletkező füstöt, és az abban lévő egészségre káros, mérgező gázokat ki lehessen vezetni a szabadba. A burkolat elemeit a lézervágó vágja ki 4 mm-es rétegelt lemezből. A burkolat tervezése során figyelembe veszem, hogy a burkolat minél egyszerűbb legyen, a kötőelemeket ennek érdekében a legnagyobb mértékben elhagyom, a burkolat elemeit lehetőleg a súrlódás tartsa össze. Ehhez kísérleti úton határozom meg a szükséges illesztési átfedéseket. Az elszívó berendezés háza additív technológia segítségével készül, és alkalmasnak kell lennie egy kereskedelemben kapható ventilátor befogadására, valamint megfelelő csatlakozófelülettel kell rendelkeznie, hogy egy kivezetőcsövet könnyedén és megfelelő biztonsággal csatlakoztatni lehessen a burkolathoz. 3D nyomtatással készülnek továbbá a burkolat zsanérjai, és egyéb alkatrészek is. A burkolatnak továbbá rendelkeznie kell betekintőablakkal is, melyek szemvédelmi funkciójának lehetőségét is vizsgálni fogom.

1.1 A dolgozat célja

A diplomamunka célja egy a tanszéken lévő, kisméretű lézervágó berendezéshez olyan egyedi burkolat tervezése, mely lehetővé teszi, hogy a munkafolyamat során keletkező, az egészségre káros hatással lévő gázokat ki lehessen vezetni a szabadba. Ilyen gázok szabadulnak fel például műanyag, fa, vagy bakelit vágása, és festék gravírozása során. Ennek érdekében a burkolatnak tartalmaznia kell egy elszívó berendezést is.

1.2 A témaválasztás indoklása

Úgy gondolom, hogy a téma aktualitása megkérdőjelezhetetlen, hiszen a lézertechnológia már elterjedt, de ugyanakkor folyamatosan fejlődik, és már nem csak ipari, de fogyasztói szinten is elérhető technológia. Mi több, az additív technológia is része a dolgozatnak, amelyben még nagyobb a fejlődési potenciál, és érdemes megismerni. Továbbá a dolgozat során egy olyan kreatív tervezést vihetek véghez, mely megannyi kihívást tartalmaz, és egy olyan valóban hasznos eszközt készíthetek, mely sokáig szolgálja majd az egyetem munkatársait, és hallgatóit.

2 Lézerek általánosságban

A lézer azoknak az új, innovatívnak számító mérnöki találmányoknak a csoportjába tartozik, melyek sajátosságai és adottságai révén az emberi tevékenység nem csak egy korlátozott területének előrehaladását, de megszámlálhatatlan, egymástól független területének a fejlődését tették lehetővé. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011) Ebben a fejezetben bemutatom, hogy mi az a lézer, és hogyan működik.

2.1 Mi az a lézer?

A lézer, az angol LASER mozaikszóából származik (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011), mely mozaikszó a következőképpen jött létre: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Jean-Claude & Ladan, 2011), azaz fényerősítés indukált sugárzás létrehozásával. (Myring & Kimmitt, 1988) A mozaikszó utal a lézersugár létrehozásának két alapjelenségére, a fényerősítésre, és az indukált emisszióra. (Markovits, 2018)

Gyakorlati szempontból a lézer tekinthető egy keskeny, monokromatikus, koherens fénynek a látható, az infravörös, vagy az ultraibolya tartományban. (Jeff, 1999)

A lézerek működéséhez elengedhetetlen, indukált emisszió alap gondolatát Albert Einstein fogalmazta meg először 1917-ben. Elmélete szerint a gerjesztett atomok, molekulák nem csak spontán módon (spontán emisszió), de megfelelő stimuláció hatására is kibocsáthatják gerjesztett állapotuk többletenergiáját foton formájában. (Buza, 2012) A lézer elméletének kidolgozására azonban pontosan 40 évet kellett várni. Az elméleti alapokat két Egyesült Államokbeli kutató, Charles Townes, és Arthur Scawlow fektették le 1957-ben. Három évvel később, 1960-ban honfitársuk, Theodore Maiman megalkotta az első működő lézert, melynek lézermédiuma mesterséges rubinból készült, és a gerjesztését erős fehér fényel oldotta meg. (Myring & Kimmitt, 1988) Maiman első működő lézere csupán impulzus üzemre volt képes, mert az energiaszintek csak három szinten valósultak meg az ideális négy helyett, így a populációinverziót nehéz volt folyamatosan fenntartani. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011) Innentől kezdve a lézerek fejlesztése nagyon gyors ütemben zajlott, ám a fény indukált emissziós erősítésének technikai feltételei mit sem változtak, legyen szó kisteljesítményű, nagyteljesítményű, folyamatos, vagy impulzus üzemű lézerefényforrásokról. A lézer működéséhez szükség van egy lézermédiumra, annak gerjesztésére (energiaforrás), és megfelelő nyitó, - illetve zárótükörré (rezonátor). (Buza, 2012)

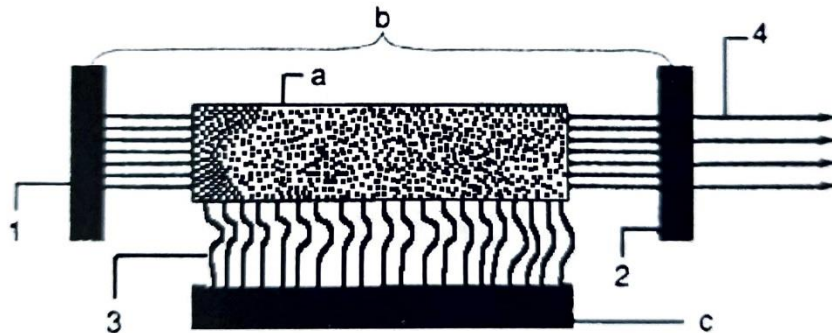
2.2 Hogyan működik a lézer?

Mivel a lézeres megmunkálógépek központi részét képezik a lézerfényforrások, ezért elengedhetetlen a lézer működésének tisztázása. (Chryssolouris, 1991)

A lézerek elektromos energiát alakítanak át nagy energiasűrűségű fénysugárrá (fotonok energiája) indukált emisszió és fényerősítés által. (Chryssolouris, 1991)

A működésük elvi alapja az, hogy a lézeraktív anyag (gáz, folyadék, szilárd test) atomjainak túlnyomó részét energiabetáplálással azaz pumpálással az alapállapotból egy magasabb energiájú állapotba gerjesztik (populációinverzió). Amikor egy gerjesztett elektron fotonkibocsátás mellett visszatér az alapállapotba (spontán emisszió), az általa kibocsátott foton láncreakciót indít be, és további gerjesztett elektronokat fog alacsonyabb energiaszintre kényszeríteni fotonkibocsátás mellett (indukált emisszió). (Dr. Pálinkás, 2010) Az így kibocsátott fotonok a spontán emisszió során felszabaduló fotonnal azonos fázisban, frekvenciával, és irányban terjednek, tehát koherensek. A lézer működéséhez elengedhetetlen, hogy az abszorpció, és a spontán emisszió mellett domináljon az indukált emisszió és ezáltal a fény erősödjön. Különleges anyagokban (lézermédiumok) különleges körülmények között megvalósítható, hogy külső energiabetáplálás hatására több gerjesztett atom legyen jelen mint alapállapotú, és több foton sugározódjon ki mint amennyi elnyelődik az anyagban. Ezt hívjuk fordított populációnak, vagyis populációinverciónak. Akkor, ha minden előbbi feltétel teljesül, tehát energiát pumpálunk egy megfelelő anyagba, és két energiaszint között populációinverziót tudunk megvalósítani, exponenciális módon elindul az anyagban egy adott frekvenciájú sugárzás. Amiatt, hogy a lézeranyag hosszanti tengelye mentén a fotonok hosszabb utat tudnak megtenni, a fény intenzitása értelemszerűen ebbe az irányba fog a legjobban erősödni. Ezt a hatást lehet fokozni, ha a lézeranyag hossz tengelyére merőlegesen egy tükröt helyezünk, ekkor a sugárzás sokkal hosszabb úton erősödik, és minden más irányú sugárzást végleg elnyom a tengelyirányú sugárzás. A sugárzás erősítése tovább fokozható egy bizonyos szintig, amennyiben a lézeranyag másik oldalán is elhelyezünk egy tükröt. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011) Ezen az oldalon a tükrő részben áteresztő, így a fény egy része ki tud lépni. (Myring & Kimmitt, 1988) Ezt a két egymással szembe fordított tükrőt nevezzük rezonátornak. Fontos, hogy a rezonátor tükrőinek távolsága a keletkező fény fél hullámhosszának egész számú többszöröse legyen, hogy interferencia alakuljon ki a hullámok között, és ne oltás ki egymást. (Jeff, 1999) A lézer tehát így képes

nagy energiát egyetlen fénynyalábbbban összpontosítani. (Dr. Pálincás, 2010) Egy lézer berendezés elvi felépítését az **2.2-1.** ábra (Dr. Pálincás, 2010) szemlélteti.



2.2-1. ábra (Dr. Pálincás, 2010) A lézer elvi felépítése

a) lézeraktív anyag, b) rezonátor, c) energiaforrás, 1) teljesen visszaverő tükör, 2) részlegesen átteresztő tükör, 3) pumpálás, 4) lézernyaláb

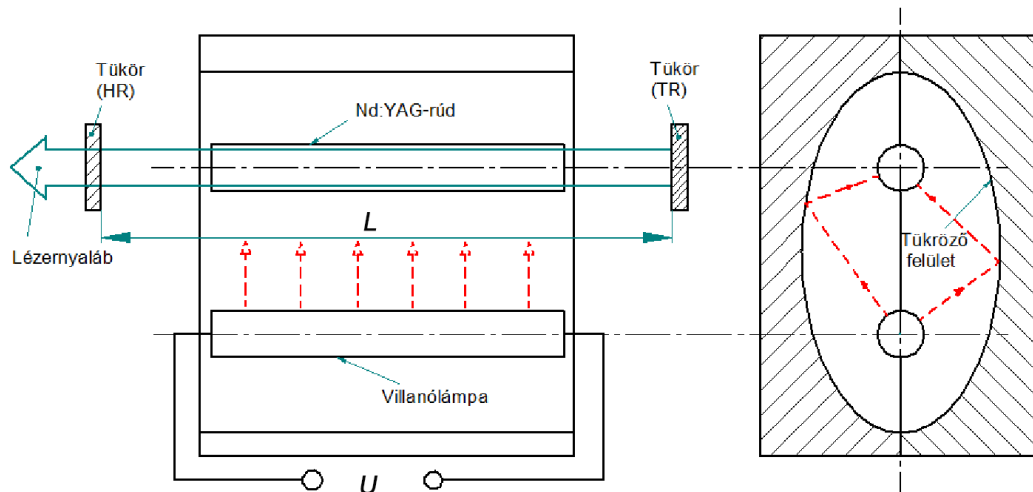
2.3 A gerjesztés típusai

A gerjesztés elve alapján optikai és elektromos kisüléssel való gerjesztést különböztetünk meg. (Markovits, 2018)

2.3.1 Gerjesztés fénnnyel

Amennyiben a lézeranyag szilárd fázisú, akkor általánosságban elmondható, hogy a gerjesztéshez szükséges energiát fény formájában visszük be. Az atomok gerjesztésének elő lépése, hogy az első lézernívó eléréséhez szükséges energiát a foton átadja az atomnak. A foton energiájának tehát pontosan meg kell egyeznie az alapállapot, és a gerjesztett állapot energiakülönbségével. A gerjesztés tehát akkor hatékony, ha a fotonok zöme megfelelő energiájú. Manapság a gerjesztéshez LED-et vagy másik (félvezető lézer) alkalmaznak. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

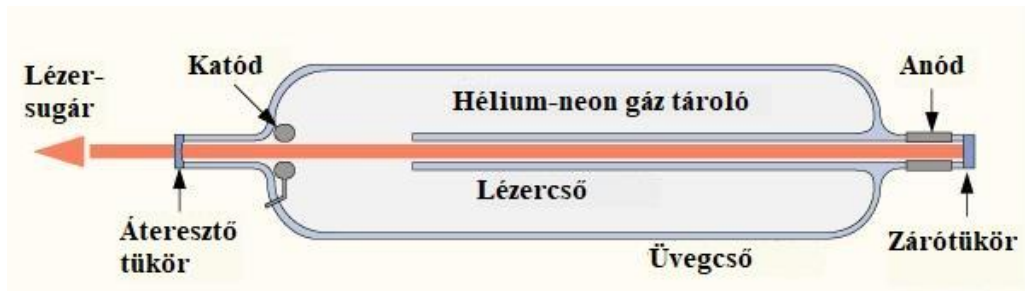
Geometriailag igen hatékony fény átvitele szempontjából, ha a gerjesztő fényforrás és a lézermédium egy ellipszoid tükör két fókuszvonalában helyezkednek el. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011) Egy Nd:YAG lézer gerjesztésének ilyen módját a **2.3.1-1.** ábra mutatja be.



2.3.1-1. ábra (Markovits, 2018) Szilárdtest-lézer gerjesztése ellipszoid tükörrel

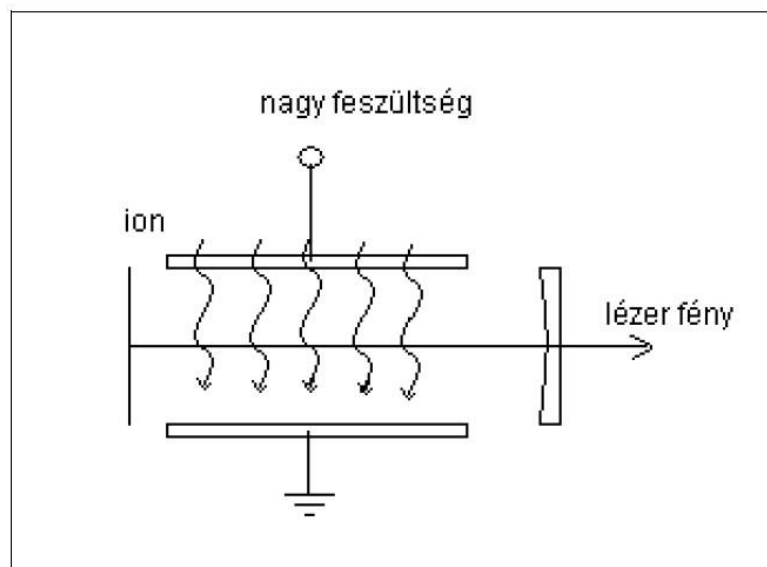
2.3.2 Gerjesztés elektromos kisüléssel (gázban)

Gőzfázisú és félvezető lézertanyag esetén is a gerjesztéshez szükséges energiát célszerű elektromos áram segítségével közvetlenül a lézertanyagba vezetni. Emiatt a gázlézerek tulajdonképpen a fénycsövekhez hasonló kisülésű csövek. Az elektromos kisülés önfenntartó is lehet, amikor az elektronok és ionok (töltéshordozók) is a kisülési folyamat során keletkeznek. Azonban lehetnek nem önfenntartók is, amikor is a töltéshordozókat valamilyen módszerrel kell a lézertanyagban létrehozni. Az önfenntartó kisülés kizárólag kisnyomású gázokban lehetséges. Ebben az esetben a gáz annyira ritka, hogy az elektronok az ionizációs energiának megfelelő mozgási energiára tudnak felgyorsulni két ütközés között. Atommal való ütközés esetén (a fotonnal ellentétben) energiája nem veszik el az ütközés következtében, egy része megmarad. Azok az elektronok, melyek energiája meghaladja az ionizációs energiát, az energiájuktól függő mértékben, de képesek ionizációra, és/vagy gerjesztésre is. Az ionizáció során pedig a kisülés fenntartásához szükséges elektron keletkezik, a gerjesztés pedig, amit már korábban leírtam, a lézer működésének egyik feltétele. Az önfenntartó kisülést általában a lézer tengelye irányába mutató elektromost tér segítségével (axiális gerjesztéssel) valósítják meg. Az elrendezést a 2.3.2-1. ábra mutatja be. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)



2.3.2-1. ábra (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011) Gázlézer gerjesztése axiális elektromos kisüléssel

Nagy nyomású gázokban az elektronok szabad úthossza kisebb, emiatt önálló kisülés nem lehetséges bennük. Ekkor a szabad töltéshordozókat más módon, például ionizáló UV fény segítségével, vagy elektronágyúval kell az anyagba juttatni. Az ilyen lézerekben az elektromos mező merőleges irányú a lézer tengelyére, ezt hívjuk transzverzális elrendezésnek. A sűrűbb gáznak köszönhetően a fotonok gyorsabban termelődnek egységnyi hosszra vonatkoztatva, ezért teljesítményük ezeknek a lézereknek általában nagyobb. A transzverzális tér miatt az ilyen lézereket TEA-lézereknek (Transzverzális Elektromos tér Atmoszferikus nyomás) is szokták nevezni. Elvi felépítését a 2.3.2-2. ábra mutatja be. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)



2.3.2-2. ábra (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011) Transzverzális gerjesztés

Megjegyzésképpen a félvezető lézerek esetén is a lézeryanagon átfolyó áram által bevitt energia gerjeszt, és tartja fenn a lézerműködést. Ám ekkor a gerjesztés nem ütközés által történik.

2.4 A lézersugár jellemzői

Egy hagyományos fényforrás által létrehozott elektromágneses sugárzás nagy divergenciával rendelkezik, többféle hullámhosszt tartalmaz, és a fázisviszonyai sem azonosak. Ezzel ellentétben a lézerforrásból kilépő nyers fény koherens, monokromatikus, és kis divergenciával rendelkezik. Ezek a jellemzők kedvező feltételeket biztosítanak a fénysugárvezetéshez, fókuszáláshoz, és a fény-anyag kölcsönhatásokhoz. (Markovits, 2018)

A lézersugár további jellemzői a következők: (Dr. Pálinkás, 2010)

- polarizált
- az energia kis térrészre koncentrálódik, tehát nagy a teljesítménysűrűsége
- hatásfokuk alacsony (0,1-30%)
- mágneses tér nem befolyásolja
- nem szükséges, hogy a munkadarab elektromos vezető legyen
- minden anyag esetén alkalmazható (fém, műanyag, fa, kerámia...)
- működéséhez nem kell vákuum
- nem keletkezik röntgen-sugárzás.

2.5 Lézer felhasználása

A lézerek felhasználása sokkal szélesebb és sokszínűbb annál, hogy részletesen tárgyaljam, így csak a legfontosabb területeket sorolom fel: (Buza, 2012)

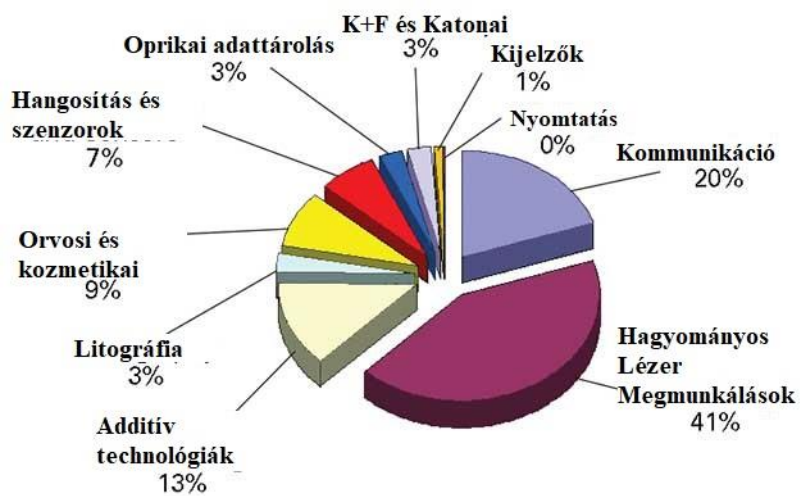
- hétköznapi és szórakoztató
- ipari és anyagmegmunkálási
- orvosi
- mérési és szabályozástechnikai
- energetikai
- harcászati
- tudományos és kutatási.

A **2.5-1.** ábra összefoglalja azokat a szegmenseket, amelyek bizonyítottan igényt tartanak a lézerre, hiszen évről-évre regisztrálhattak eladásokat ezeken a területeken. Az ábrán középpontban az anyagmegmunkálás, és a teljesség igénye nélkül néhány eljárás látható. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)



2.5-1. ábra (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011) A lézerek alkalmazási területei

A 2.5-2. ábrán pedig a felhasználási területek egymáshoz képesti megoszlása látható.



2.5-2. ábra (Pozo, 2016) A lézerek felhasználásának megoszlása (2016)

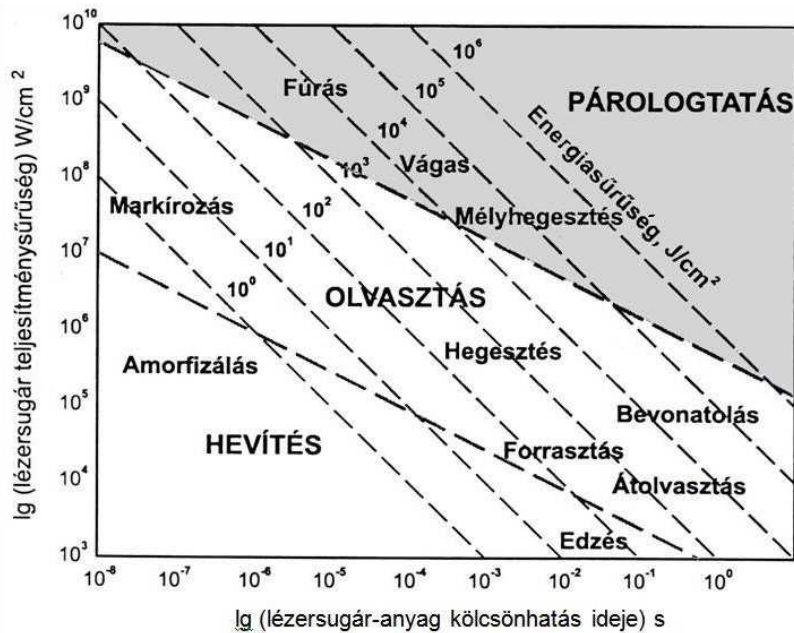
3 Lézer az anyagmegmunkálásban

A kezdeti fázisban lévő lézerek után a mai modern, magas teljesítménnyel bíró lézerek ipari alkalmazhatóságuknak köszönhetően új távlatokat nyitottak meg a gyártástechnológiában. Ehhez új terméktervezési módszerek kifejlesztésére is szükség volt mind az anyagválasztás és a kialakítható konstrukciók miatt is. Olyan feladatok is megvalósíthatók lézersugaras technológiák segítségével, amelyekre más eljárások nem alkalmasak, és igen széles spektrumot fednek le a kínálkozó felhasználási lehetőségek. Elterjedésüket elsősorban az elérhető pontosságnak, rugalmas gyártórendszerekbe való integrálhatóságuknak, robotokkal való kombinálhatóságuknak köszönhetik. Azonban hozzá kell tenni, hogy a fent felsorolt előnyök magas előállítási, beszerzési, munkavédelmi, és humán erőforrásokkal párosulnak. Az iparban leginkább lemezszerű anyagok elődarabolására, komplexebb, nagyobb volumenben gyártandó lemez-alkatrészek kivágására alkalmazzák, mivel termelékenysége ekkor ellensúlyozza a technológia magas költségeit a hagyományos eljárásokhoz képest. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

Az anyagmegmunkálás során a lézersugárban rejlő energiát (teljesítményt) hasznosítjuk. A lézersugár energiája elnyelődik az anyagban, ahol hővé alakul, és ez a hőenergia fejt ki a megmunkálási technológiától függő lényeges hatást (hevít, olvaszt, elpárologtat, plazmát hoz létre, vegyületeket bont, anyagszerkezeti változásokat idéz elő). Kiemelt tehát, hogy az anyag, és a sugár milyen kölcsönhatásának milyen konkrét jellemzői vannak. Ezek közül a legfontosabbak az abszorpciós képesség, a behatolási mélység, azaz, hogy a lézersugár energiájának mekkora részét nyeli el az anyag, illetve, hogy milyen hosszú úton nyelődik el, és alakul hővé a fotonok energiája. Azonban a kölcsönhatás nem csak a sugár jellemzőitől, de a megmunkált anyag fizikai tulajdonságaitól is, úgy mint, olvadáspont, forráspont, olvadáshő, hővezető képesség, fajhő, felületi reflexió. A kölcsönhatás sok paramétertől függő kimenetét legjobban a lézersugár intenzitásával, és a kölcsönhatás idejének hosszával lehet szabályozni. A sugár intenzitását általában W/cm^2 mértékkel szokták jellemezni. Érdeemes megjegyezni, hogy a legtöbb folyamatos üzemű (1 másodpercnél magasabb impulzusidejű) lézer képes impulzusüzeműben is működni. Egy impulzus hosszúsága nagyon rövid is lehet, akár femtoszekundumos nagyságrendű is. (Buza, 2012)

Az impulzus üzemben működő lézerek esetében a teljesítménykibocsátás időben nem állandó, egy adott impulzusidővel, frekvenciával, és impulzus-csúcsteljesítménnyel történik. (Markovits, 2018)

A 3-1. ábrán a lézersugaras technológiák durva felosztása látható. A hagyományosakon kívül a kizárólag lézersugaras megmunkáló technológiák is szerepelnek. Fontos megemlíteni, hogy a hagyományos technológiák csak végeredményben egyeznek meg a lézersugárral végzett megmunkálással, azonban a háttérben meghúzódó fizikai folyamatok merőben másak. A lézersugárral megvalósítható új technológiák az üvegesítés és a mélyhegesztés (mélyvarratos hegesztés), melyek a lézer teljesítménysűrűségének köszönhetik a létrejöttüket. Az ábrán, a vízszintes tengelyen a kölcsönhatás ideje szekundumban, a függőleges tengelyen pedig a sugár intenzitása W/cm^2 mértékegységgel látható.



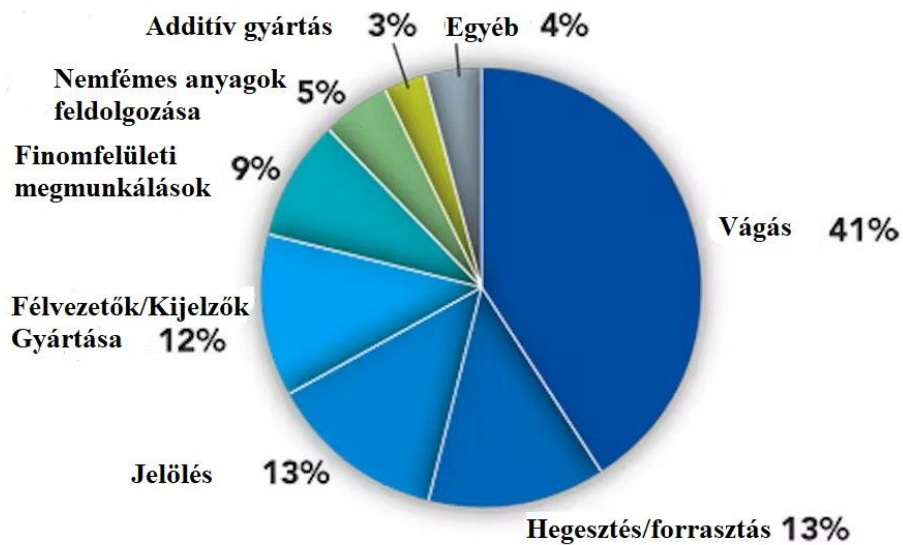
3-1. ábra (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011) Lézersugaras megmunkálási eljárások – intenzitás és impulzusidők függvényében

Ennél részletesebb felosztást mutat be a **3-2.** ábra (Buza, 2012), amely már a különböző megmunkálási technológiákat anyagokhoz rendeli. Ez az ábra is mutatja, hogy mennyire széles a lézerrel megmunkálható anyagok választéka.

	Vágás	Fúrás	Struktúrálás	Anyageltávolítás	Hegesztés	Forrasztás	Generálás és alakítás	Szinterezés	Sztereo litográfia	Edzés	Jelölés (feliratozás)
Fémek											
Szénacélok	x	x	x	x	x	x	x			x	x
Nemvasfémek és ötvözetek	x	x	x	x	x	x	x				x
Színesfémek	x	x	x	x	x	x	x				x
Erősen ötvözött acélok	x	x	x	x	x		x				x
Kompozit és kevert anyagok	x	x						x			x
Műanyagok											
Termoplasztok	x	x	x	x	x			x			x
Duroplasztok	x	x	x	x				x	x		x
Elasztomerek	x		x	x							x
Kompozit és kevert anyagok								x			x
Félvezetők	x	x	x	x							x
Kerámiák	x	x	x	x				x			x
Üvegek	x		x	x							x
Ásványi anyagok és drágakövek		x	x	x							x
Fák	x										x
Szálerősítéssel anyagok	x										x

3-2. ábra (Buza, 2012) Technológiák és anyagok

A **3-3.** ábra (Belforte, 2019) bemutatja, hogy a 2018-as lézerpiaci adatok függvényében hogyan alakultak a lézerek ipari alkalmazásai egymáshoz képest. Jól látható, hogy legnagyobb részben vágásra és hegesztésre használják az ipari lézereket, alkalmazásuk együttvéve 54%-át teszik ki az összes felhasználásnak. De érdemes megjegyezni, hogy az additív gyártás is mérhető szerepet kapott az ipari lézerek alkalmazásában.



3-3. ábra (Belforte, 2019) A lézerek ipari felhasználásának egymáshoz viszonyított megoszlása

3.1 A lézeres megmunkálás előnyei

A lézerrel való megmunkálásnak számos előnye van, melyek a következők:

- A lézersugár mozgatásához nem szükséges nagy tömegű szerkezetek mozgatása, így a pozícionálhatósága kiváló. (J.R. , et al., 2023)
- Nagy vágósebességeket, akár 100 m/percet is meg lehet valósítani. (J.R. , et al., 2023)
- A lézerek nagyon kicsi vágási réssel is rendelkeznek, hiszen akár egy ezred milliméteres területre is fókuszálni lehet. Emiatt széleskörben alkalmazzák mikromegmunkálásra, 3D nyomtatásra, és a nanotechnológiában is. (J.R. , et al., 2023)
- Tiszta, forgács,- és emulziómentes eljárás, nem keletkezik sorja sem a megmunkálás során, utómegmunkálás ezért nem szükséges. (J.R. , et al., 2023)
- Könnyen gyártórendszerbe integrálható, ez esetben a ciklusidő csökken, kevesebb karbantartás szükséges, és arányaiban költséghatékonyabbá is válik a gyártósor. (J.R. , et al., 2023)

- A lézer sokoldalú, rengeteg különböző mechanikai tulajdonsággal rendelkező anyagot képes megmunkálni kezdve a fától az üvegen és kerámián át a fémes anyagokig. Használható az orvostudományban is szövetek eltávolítására. (J.R. , et al., 2023)
- Környezetbarát technológia az energiahatékonyságuknak köszönhetően. (J.R. , et al., 2023)
- A lézerrel működő gépek kompakta, így helyet takarítanak meg a gyártósoron. (J.R. , et al., 2023)
- Nincs szüksége közegre, amiben a teljesítményt továbbítja, ezáltal vákuumos eljárás esetén is alkalmazható. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)
- Az additív technológiák használatát lehetővé teszi. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)
- Bonyolult felületek, és nehezen hozzáférhető helyeken is alkalmazható. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)
- A szerszám nincs kitéve kopásnak, mert érintkezésmentes a megmunkálás, emiatt megbízható, és hosszú az élettartama. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)
- Egy felfogásban több eljárás is végezhető. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)
- Kis hőhatás-övezeti zóna a koncentrált energiabevitelnek köszönhetően. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

3.2 A lézeres megmunkálás hátrányai

Mint minden más technológiának, ennek is megvannak a hátrányai, ám előnyeinek száma messze meghaladják hátrányai számát, melyek a következők:

- Ahhoz, hogy megfelelően lehessen egy bizonyos feladatot elvégeztetni a lézerrel, a gépkezelőnek nagyon nagy szakértelemmel kell rendelkeznie. Az operátornak járatosnak kell lennie rengetegféle anyag megfelelő használatában, hogy hatékonyan tudja elvégezni a munkáját. Tehát szakértelmet igényel a technológia. (J.R. , et al., 2023)
- Néhány anyag gyorsan párolog, például a műanyag. Ha a technológia rosszul van megtervezve, akkor a gyorsan elpárolgó anyag miatt nagy károk is keletkezhetnek. (J.R. , et al., 2023)

- Korlátozott az anyagvastagság. Lézerfény segítségével rengeteg féle anyagminőséget lehet vágni, azonban az anyagvastagság nem haladhatja meg a 15-20 millimétert.
- A lézeres megmunkálógépek gyártása, fejlesztése, így beszerzési költsége is igen magas. (J.R. , et al., 2023)

3.3 Lézerek teljesítménye

A lézerek teljesítményének tárgyalásakor meg kell különböztetnünk a folyamatos üzemű, és az impulzus üzemű lézereket. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011) Először e két fogalom tisztázása szükséges a lézerek teljesítményének megadásakor.

3.3.1 Impulzus és folyamatos üzem

A lézerek képesek folyamatos (CW, Continuous Wave) üzemmódban, vagy impulzus üzemmódban is működni. Folyamatos üzemmódban a sugár megszakítás nélkül kerül kibocsátásra. Impulzus üzem esetén a sugár kibocsátása periodikus. Ekkor a pumpált energia tárolódik, amíg az energiaszint nem éri el a küszöbértéket, amikor is az eltárolt energia kiszabadul a rezonátortükrök közé. A folyamat során rövid időtartamú, magas energiájú impulzusok keletkezhetnek alacsonyabb folyamatos energiaellátás mellett. A folyamatos üzem esetén a megmunkálás felületi minősége jobb, mint az impulzus üzem esetén, azonban magasabb az energiaigénye a folyamatosan fenntartott lézernyaláb miatt. A szakaszos üzem lehetővé teszi, hogy mélyebb furatokat, vágásokat készítsünk a folyamatos üzemhez képest adott átlagteljesítmény mellett. Azonban impulzus üzem esetén a felületi egyenetlenségek nagyobbak lesznek, köszönhetően a pulzáló energiabevitelnek. Egy lézer szakaszos üzemre való alkalmassága főleg a lézermédiumtól függ. Jellemzően a szilárdtest-lézerek a legmegfelelőbbek a szakaszos üzemeltetésre, folyamatos üzem esetén alacsonyabb teljesítményt nyújtanak. A szilárd lézeranyagban nagyszámú gerjesztett állapotú atom képződhet a magas anyagsűrűség miatt. Azonban a nagyszámú gerjesztett atom kialakulásának időbeli korlátozója, hogy a nagyszámú gerjesztett atomnak időre van szüksége, hogy alapállapotba kerüljön. Ennek következtében magas energiájú pulzusokat lehet létrehozni a lézermédium gyors stimulálásával. A folyamatos üzemet korlátozza az előbb említett jelenség, miszerint a gerjesztett állapotú atomok lassan térnek vissza az alapállapotba. Ugyanakkor termodinamikai korlátai is vannak a folyamatos üzemnek, fontos, hogy mennyi hőt tud elnyelni a lézermédium, és hogy milyen mértékben lehet elvonni a lézeranyag hőjét. Ezek a korlátok határozzák meg, hogy milyen impulzusidők érhetőek el,

illetve mekkora a folyamatos üzem teljesítménye. Jellemzően a gázlézereket lehet folyamatos üzemre használni. A gáznemű lézerműanyag kevesebb gerjeszthető atomot tartalmaz, ezért az impulzusok energiája limitált. A folyamatos üzemű teljesítmény korlátozott az olyan gázlézerek esetében is, ahol a lézermédiumként használt gáz nem keringetett. A teljesítmény fokozható, ha a rezonátortérben a gáz keringetett. A rezonátortérbe frissen bejuttatott gáz alapállapotú, és azonnal készen áll a gerjesztésre. Eközben gerjesztett állapotú atomok melyeknek időre van szükségük alapállapotba visszatérni, kikerülnek a rezonátortérből. A gáz keringetése lecsökkenti a fénykibocsátás folyamatának ciklusidejét, így növelve a kibocsátott lézerteljesítményt. A keringetés továbbá elősegíti az impulzusüzemre való alkalmasságot, ahogyan a gáztöltet összetételének változtatása, és a speciális gerjesztési technikák alkalmazása. A lézer típusának és az üzemelés módjának kiválasztása nagyban függ a megmunkálási eljárástól. Az impulzus üzem általában alkalmasabb mély behatolású megmunkálások esetén. Az energia pulzusokba való koncentrálása csupán kismértékű energiavesztéshez vezet hővezetésen keresztül a munkadarabra, vagy a környezetbe való disszipáció által szemben a folyamatos üzemmel. Továbbá a lézer és az anyag megfelelő kölcsönhatásához magasabb teljesítménysűrűség szükséges, melyet csak impulzus üzemmel lehet elérni. A kis hővesztések miatt szakaszos üzemben kicsi lesz a hőhatásövezet, így a magas hőmérsékletre érzékeny anyagok – mint például a polimerek - esetén is előszeretettel használják. A folyamatos üzemet akkor alkalmazzák, ha magasabb átlagteljesítményre van szükség a magasabb anyageltávolítási sebesség elérése érdekében. Ha a lézer-anyag párosítás megfelelő, akkor a folyamatos üzemben kicsik lesznek a veszteségek. Illetve a felületi minőség is javul. A folyamatos üzemmel történő vágás esetén a vágási felület egyenletesebb, míg szakaszos üzemben hullámos vágási felület keletkezik a pulzáló energiabevitel miatt. (Chryssolouris, 1991)

3.3.2 Teljesítmény

A kimenő teljesítmény a legfontosabb alapkarakterisztikája egy lézernek. Egy kelleténél kisebb lézerrendszer beszerzése megnövekedett megmunkálási időt eredményez, vagy egyáltalán nem kivitelezhető a kívánt alapanyag megmunkálása. A beruházási kiadások egyenes arányban nőnek a lézer teljesítményével, tehát egy túl nagy teljesítményű lézerrendszer beszerzése hatalmas költségekkel járhat. Általánosságban a legnagyobb teljesítményű folyamatos üzemet a CO² lézerekkel lehet megvalósítani, míg szakaszos üzemben a legnagyobb csúcsteljesítményt Nd:YAG lézerekkel lehet elérni. A megmunkáláshoz szükséges lézerteljesítményt meg lehet határozni a munkadarab optikai és

termikus tulajdonságainak vizsgálatával. A termikus tulajdonságok két csoportba sorolhatók, az egyik a hasznos, a másik a veszteséget okozó tulajdonságok. A hasznos tulajdonságok melyek az anyag olvasztásához és elpárologtatásához szükségesek. Ezek a hőkapacitás, az olvadáshő, és a párolgáshő. A kerámiák esetében például magasabb lézerteljesítményre van szükség, mint a műanyagoknál, köszönhetően a magasabb olvadáspontjuknak. A veszteséget okozó tulajdonságok azért fontosak, mert meghatározzák, hogy mennyi hő veszik el a megmunkálás környezetében az anyagban. A termikus diffuzivitás az impulzus üzem esetén fontos, míg a termikus vezetőképesség folyamatos üzem esetén. (Chryssolouris, 1991)

A folytonos üzemű lézerek esetében a kisnyomású gázlézerek (pl He-Ne) teljesítménye általában a mW-ot sem haladja meg, míg a nagynyomású CO₂, és Nd: YAG lézerek folytonos üzemű teljesítménye akár a 10 kW-ot is meghaladhatja. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011) Azonban a megawattos teljesítményt is elérhetik a katonaság által használt fényforrások. (Jeff, 1999) Az impulzus üzemben működő lézerek csúcsteljesítménye szoros összefüggést mutat az impulzusidők hosszával. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011) A szakaszos üzemű lézerek esetén a maximális pillanatnyi teljesítmény sokkal nagyobb is lehet a folyamatos üzeműeknél, ám ekkor az átlagteljesítmény hasonló a folyamatos üzemű lézerekéhez. (Jeff, 1999) Világos, hogy adott átlagteljesítmény mellett a csúcsteljesítmény akkor a legnagyobb, ha az impulzusidő a lehető legkisebb. Egy ps azaz 10⁻¹² s impulzusidő esetében a maximális teljesítmény akár 10¹⁴ W-ot is elérhet. A fókuszáltság és a nagy teljesítmény együttvéve a sugárban hatalmas teljesítménysűrűséget eredményez. Abban az esetben, ha például egy 1 kW-os nyalábot fókuszálunk egy foltra, amely 10 μm² területű, akkor 10¹⁴ W/m² teljesítménysűrűséget kapunk. Ez a teljesítménysűrűség hat nagyságrenddel meghaladja a nap felszínén mérhető teljesítménysűrűséget. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

Folytonos üzem esetén a forrásból kicsatolt lézerteljesítményt, míg szakaszos üzem esetén általában az impulzusjellemzőit, és az átlagteljesítményt. (Markovits, 2018)

Lézereket csoportosítva teljesítmény szerint: (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

- P = 0,1 - 1 mW - lézeres mutatópálca
- P = 100 mW - 1 W - orvosi lézerek
- P = 3 W - 20 kW - ipari lézerek
- P > 20 kW - katonai lézerek

A következő **3.3.2-1.** táblázat pedig összefoglalja az ipari lézerek teljesítményét alkalmazás szerint: (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

3.3.2-1. táblázat (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011) Lézerek teljesítménye ipari alkalmazás szerint

Típus	Teljesítmény [W]	
	CO ₂	Nd:YAG
jelölő lézer	10-600	3-50
hegesztő lézer	10-5000	50-2500
vágó lézer	10-20000	20-20000

3.4 Lézersugárforrások csoportosítása

A lézersugárforrásokat a következő szempontok szerint lehet csoportosítani.

I. Lézeranyag alapján

a) Alkotók szerint

A lézeranyag alkotói szerint, tehát a lézerátmenetet biztosító anyag szerint megkülönböztetünk például CO₂, Nd:YAG, Er:YAG, Yb:YAG, GaAlAs, XeCl, KrF lézerforrásokat. A lézer anyaga befolyásolja a kicsatolt lézersugár hullámhosszát is.

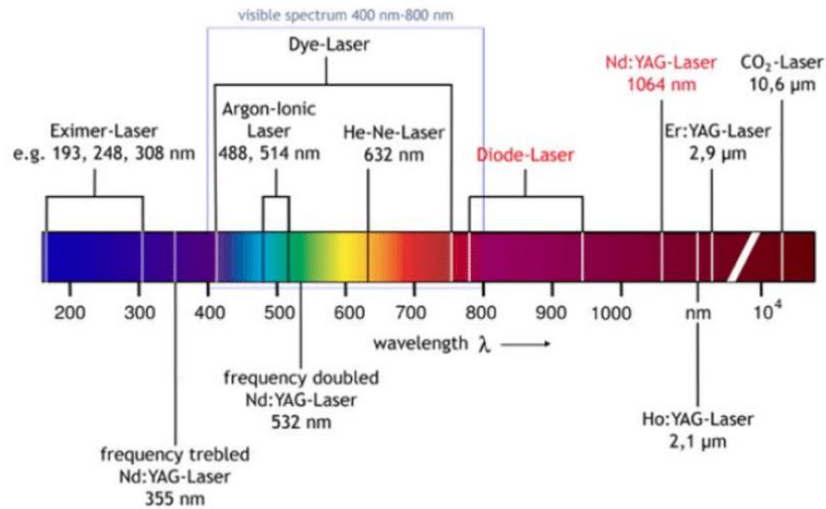
b) Halmazállapot szerint

Halmazállapot alapján megkülönböztetünk gáz és szilárd halmazállapotú lézereket, amelyek rúd, tárcsa, hasáb, szál geometriában készülhetnek el.

c) Geometria szerint

Geometria alapján rúd, tárcsa, hasáb, szál geometriában készülhetnek el.

II. Hullámhossz alapján



3.3.24-1. ábra (Carl, 2012) Lézerek hullámhosszai

Hullámhossz alapján működhet egy lézer az ultraibolya, látható fény, közeli infravörös, távoli infravörös tartományokban. A hullámhossz nagyban befolyásolja a lézer-anyag kölcsönhatást, a sugárvezetést, és a fókuszálhatóságot. A 3.3.24-1. ábra a különböző lézerek hullámhosszát mutatja be.

III. Üzem mód szerint

Üzem mód szerint egy lézer lehet folyamatos és szakaszos üzemű is. A folyamatos és szakaszos üzem viszonyait a lézerek teljesítményénél tárgyalom.

IV. Gerjesztés szerint

Gerjesztés alapján beszélhetünk optikai és elektromos gerjesztésről.

A lézeres megmunkálás során leggyakrabban alkalmazott lézertípusok a CO₂, szilárdtest, dióda és excimer lézerek. (Markovits, 2018)

4 Lézersugaras vágás

A lézersugárral való vágást leginkább fémes anyagok esetén használják. A sugarat fókuszálják, hogy a sugár intenzitása megfelelően nagy legyen. A lemezollós vágással ellentétben nem kell a lemez szélétől kezdeni a folyamatot, a vágás a lemez tetszőleges pontjából is indulhat. A lézervágás a termikus anyagleválasztásos eljárások csoportjába tartozik, tehát a művelet hőhatáson alapul. A sugár fémes anyagba csak nagyon kicsi, a lemezek vastagságánál jelentősen kisebb mértékben hatol be. A folyamat tehát a lemez átlukasztásával kezdődik. A lyukasztás a 2mm-nél kisebb lemezek esetén a másodperc tört része alatt végbemegy, 10mm-nél vastagabb lemezek esetén azonban több másodpercig is eltarthat a gőz- és olvadék-visszáramlás miatt. Ameddig a lemez át nem lyukad, a lézersugár által felhevített gőz és olvadék halmazállapotba került anyag a lézersugár irányával ellentétesen halad, a vágófej irányába. Ekkor a levegőbe repülnek az apró izzó olvadékcseppek, és a levegő oxigénjével reagálva el is égnek. Az átlukasztást a felülről áramló munkagáz segíti, - kifűjja az olvadékot a lyukból - amely általában oxigén vagy nitrogén. Ezután indulhat csak a vágás. (Buza, 2012)

A gépészetben kétféle vágási eljárást különböztetünk meg a lezajló reakcióktól függően, olvasztásos és párologtató vágást. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

Az olvasztásos vágás esetén az anyag megolvasztása, majd nagynyomású segédgázzal való kifűvatása történik. Az alkalmazott gáz lehet semleges, illetve exoterm hatású is, a semleges gázt használó technológiát nevezzük tiszta vágásnak. Az olvasztásos vágás legfőbb problémája, hogy az alsó vágott él egyenetlen, tehát sorjás, illetve a vágott felület barázdált. Ennek ellenére hatékony eljárásnak mondható, hiszen kevesebb energia szükséges egységnyi tömegű anyag eltávolításához más eljárásokhoz képest. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

Párologtató vágás esetén a lézersugár a vágandó anyagot elgőzölteti, a fém gőzét pedig egy koaxiálisan a lézersugárhoz csatolt nagynyomású semleges gáz fűjja ki. Ez az eljárás nagyobb fajlagos energiafelhasználást jelent, ezért vékonyabb elemek esetén alkalmazzák. Emellett a vágási rés sokkal jobb felületi minőségű, és a vágási rés is keskenyebb lehet. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

Gépészetben ritka, hogy vagy csak az egyik vagy csak a másik eljárás kerüljön alkalmazásba, többnyire ezek kombinációja, kevert hatása áll elő. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

Lézerrel történő vágás esetén a legmeghatározóbb a Fresnel-féle abszorpciós jelenség, amely által az anyag melegszik, megolvad, párolog, végül a teljesítménysűrűség növelésével plazma állapotba jut. Amiatt, hogy az energia jelentős része távozik a vágórésen keresztül kifújott olvadékkal, a vágórésben ritkán elegendően magas a hőmérséklet a plazmaállapot eléréséhez, így a plazmaállapotnak kevesebb szerepe van vágás esetén. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

4.1 A lézervágás előnyei illetve, hátrányai

Az előnyei a következők: (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

- a munkadarab mechanikai tulajdonságaitól független a megmunkálás
- kontakt nélküli eljárás
- tetszőleges alakzatok készíthetők
- gyors szerszámmozgás
- munkaközege a foton
- koncentrált energiabevitel, kis hatásövezet.

A hátrányai a következők:

- visszaverő anyagok vágása nehéz
- a gyors hűlés szövetszerkezeti változásokat idézhet elő, amely vetemedést, repedést okozhat
- max. 30 mm lemezvastagság
- zsebek, zsáklyukak vágása nehéz
- barázdált vágási felület keletkezik
- egészségkárosító égéstermékek jönnek létre.

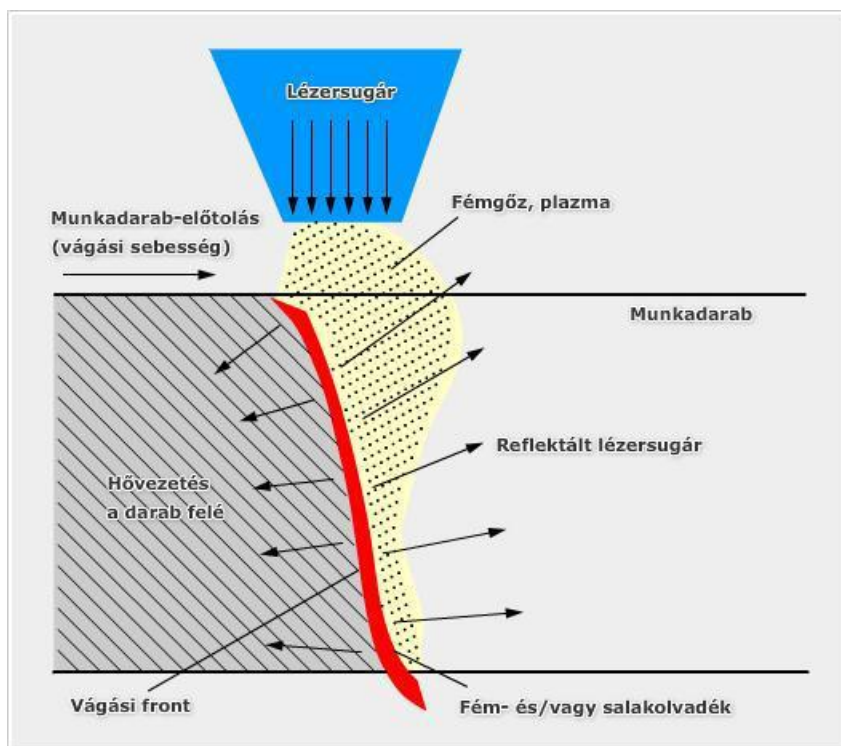
4.2 A vágást befolyásoló paraméterek

Az átlyukasztást követően a következő körülmények, paraméterek a meghatározók. (Buza, 2012) Ezeket részletezés nélkül csak felsorolás szintjén taglalom.

- Lézer teljesítménye
- Lézer teljesítménysűrűsége
- A lézer üzemmódja (impulzus/folytonos)
- A sugár fókuszának helyzete a lemez felső síkjához viszonyítva
- A lemez anyaga és vastagsága
- A munkagáz minősége és nyomása
- A gázfúvóka átmérője
- A gázfúvóka és a lemez felső síkja közti távolság
- A sugárnyaláb a felület normálisához viszonyított szöge
- A lézersugár polarizáltsága.

4.3 A lézeres vágás folyamata

A lemez átlyukasztása után biztosítani kell, hogy a lézersugár, tehát a vágófej a munkadarabhoz képest egyenletes, jól szabályozott sebességgel haladjon, miközben a fúvóka és a fókusz távolsága az előírt értéktől ne térjen el. Legtöbb esetben a relatív elmozdulást a vágófej mozgásával érik el, azonban léteznek olyan megoldások is, ahol a munkadarabot mozgatják az álló sugárhoz képest. Ekkor a következő, **4.3-1.** ábrán szemléltetett szituáció áll elő:



4.3-1. ábra (Buza, 2012) Lézervágás folyamata

Fontos, hogy a vágási front nem függőleges, mert a lemez egész keresztmetszetében szükség van a lézerfény energiájára, hogy megolvassa az anyagot. Amennyiben a munkadarab és a sugár relatív mozgása megállna, a vágási front hamar függőlegessé válna, és a lézersugár elnyelődés nélkül haladna át a munkadarabon. Tehát a lézer energiája egy ferde felületen nyelődik el az anyagban, és a felület nem is szabályos. A felület alakját elsősorban a nyalábon belüli intenzitáseloszlás befolyásolja. További befolyásoló tényezők a vágott anyag fizikai (termikus) tulajdonságai, az olvadék viszkozitása, és a gázáramlási viszonyok. A vágás többnyire impulzusüzemű, ekkor a vágási front vonalvezetése is látható marad. A vágott felület érdekességét befolyásolja a vágott anyag vastagsága, és a lézersugár tulajdonságai. (Buza, 2012)

Az olvasztásos (nitrogénes) és a párologtatásos (oxigénes) lézerrel történő vágás során a folyékony olvadt anyag a vágat lézerrel ellentétes oldalán távozik. Amiatt, hogy az olvadék majdnem minden esetben jól nedvesíti a meg nem olvadt fémet, nagy esély van arra, hogy a vágási rés aljára tapad, ahol megszilárdul. Ily módon sorja keletkezik, ezt lézertechnikában szakállképződésnek is nevezik. Oxigénnel való vágás esetén a szakáll anyaga vas-oxid, mely akár kézzel is eltávolítható. Nitrogénnel való vágás során azonban újrakristályosodik az anyag, emiatt eltávolítására reszelő, sorjázó, rosszabb esetben forgácsoló szerszám szükséges. A sorja kialakulásának oka lehet továbbá, ha a gázáram és a

sugár tengelye nem esik egybe. Olyan esetben, amikor csupán helyenként keletkezik sorja, az a vágási körülmények megváltozását jelenti. Ennek oka lehet, hogy a vágófejet mozgó motorok gyorsulása korlátozott. Például éles sarkoknál lecsökken a vágási sebesség, mert lokálisan túlmelegszik az anyag a lassú előtolási sebesség miatt. (Buza, 2012)

4.4 A lézeres vágás minőségére vonatkozó jellemzők

A terjedelmi korlátok miatt nem részletezem, csupán felsorolom a legfontosabb vágási minőséget meghatározó jellemzőket. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

- a vágási front görbülete
- a vágási felület barázdáltsága
- a vágott él sorjássága
- az olvadt réteg szélessége
- a hőhatás övezeti zóna nagysága
- anyagfolytonossági hibák.

4.5 A vágást befolyásoló technológiai tényezők

A lézeres berendezésen (rezonátor, sugárvezető és formáló) kívül vágás esetén szükség van egy, a keletkezett végtermékek (olvadék, fémgőzök, gázok) elvezetésére, és ami elnyeli az átjutó sugárzást. Ennek a két célnak a megvalósítására elszívókat alkalmaznak. Mivel a vágás során keletkezett termékek rendszerint a vágófej ellentétes oldalán távoznak, ezért ide érdemes elhelyezni a berendezést. A végtermék elszívása azért is fontos, mert rontja a hatásfokot a fényenergia elnyelésével. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

A fókuszáláshoz fókuszáló lencsét alkalmaznak, emögött nagynyomású gáz alkalmazása lehetséges. A lencsét követő fúvóka is a vágófejbe kerül beépítésre, ennek átmérője 1-2 mm között mozog. A nagyobb fókusz távolsággal rendelkező lencsék alkalmasabbak vastagabb anyagok vágására, mivel azok kevésbé széttartó sugarat eredményeznek, viszont nagy sugárderékkal rendelkeznek, és nagyobb vágórést adnak. Ugyanakkor a kisebb fókusz távolsággal rendelkező lencsék vékonyabb derekú sugarat eredményez, és vékonyabb lemezekhez alkalmazható. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

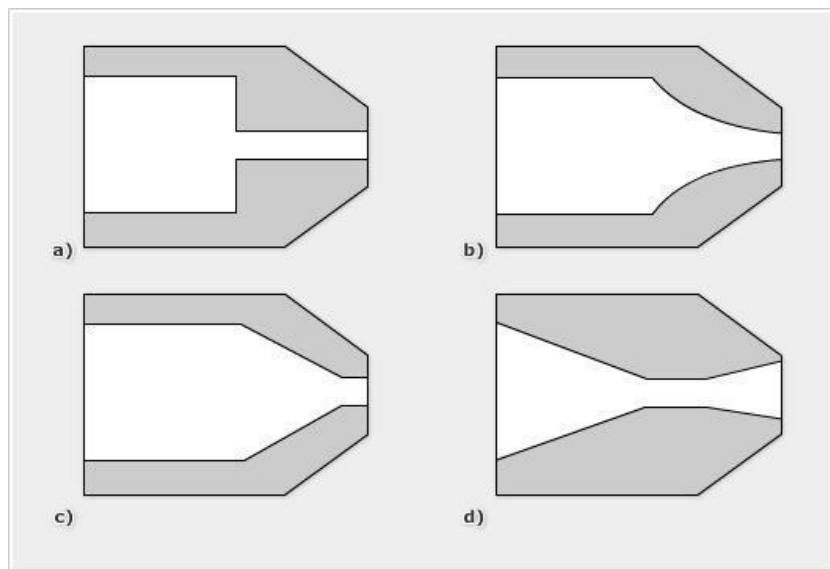
A lézersugár bezárt szöge a vágandó felület normálisával közel merőleges, hogy minél több energia elnyelődjön a munkadarabban, másrészt, hogy a vágófejből kiáramló gáz könnyen ki tudja fújni a melléktermékeket. Nagyon fontos, hogy a lézer egy menetben vágja

át az anyagot, mivel a visszafrocskölés rontja az optikát, illetve mert az olvadt fém azonnal újradermes a felületen. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

A megmunkálófej és a munkadarab közti távolság 0,3 mm környékén alakul, annak érdekében, hogy a munkagáz ne tartson szét. Ezt a jellemző távolságot általában kapacitív és fény szenzorok segítségével vezérlik. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

Technológiai szempontból fontos tényező a lézersugár-vezetés típusa is, hiszen nem mindegy hogyan jut a vágófejhez a habár kicsi, de mégis valamilyen divergenciával rendelkező nyaláb, mivel a lézerforrás és a vágófejben lévő fókuszáló tükör távolságának változása okozhatja a fókuszpont elmozdulását. (Buza, 2012)

A vágófejben helyezkedik el a fúvóka is. Ennek furatán egyszerre lép ki a fókuszlencse által fókuszált lézersugár és a vágógáz is. A fúvóka és a lencse közti térbe vezetik be a vágógázt, mely tér így ezáltal nyomás alatt van. A kilépő gázáram körszimmetrikus, a sebesség és a nyomáseloszlás a lézersugárral koncentrikus. Az áramlást jelentősen befolyásolja a fúvóka geometriája, mely lehet párhuzamos, ívelt, kúpos és Laval. Ezekben belül számos kivitel létezik az alkalmazás és a gyártók elképzelései függvényében. A további típusokon belül is megkülönböztetünk még hegyes és tompa kivitel is. A hegyes kivitel 3D-s, a tompát 2D-s megmunkálás esetén használják általában. A legelterjedtebb fúvóka típusok a **4.5-1. ábrán** láthatók. (Buza, 2012)



4.5-1. ábra (Buza, 2012) a) párhuzamos b) ívelt c) kúpos d) Laval

A sugár módusát a rendelkezésre álló berendezés határozza meg, a vágási feladatokhoz a legalkalmasabb a Gauss-eloszláshoz közeli (TEM_{00}) módusút érdemes választani. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

A fénysugár polarizációja is hatással van a vágásra, hiszen a polarizációval párhuzamos irányba való megmunkálás maximalizálja az abszorpciót. Abban az esetben, ha a vágási irány a megmunkálás során változna, az eltérő abszorpciós fokok miatt minőségi különbségek jönnek létre. Ennek megoldása, hogy cirkulár polarizátort építenek be. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

A vágógáz megválasztása is fontos, hiszen a gáz összetétele, mennyisége (nyomása), és tisztasága is befolyásolja a folyamatot. Összetétel szerint lehet semleges (Ar), vagy exoterm hatású (O₂, levegő). Semleges gáz esetén a vágáshoz szükséges energiát teljes mértékben a lézertény szolgáltatja. Exoterm gáz használata esetén a reakciók többletenergiát termelnek, így nagyobb vágósebességet lehet alkalmazni. Azonban az olcsóbb levegő vagy oxigén használatának vannak aspektusai, amiket érdemes vizsgálni. A levegőt nagyobb mértékben kell adagolni az oxigénhez képest kisebb exoterm hatása miatt, illetve a nitrogén ridegítő hatást gyakorolhat egyes anyagokra. Az oxigén azonban oxidréteget képez, amit el kell távolítani, ami többletköltség, ugyanakkor egyes anyagok olvadékát kevésbé viszkózussá teszi, ami segít eltávolítani azt a vágórésből és kevésbé lesz sorjás az anyag. A vágógáz nyomása nagy előtoló sebesség esetén legtöbbször 3-4 bar. A nyomás fokozása csökkenti a vágórés alján keletkezett sorját, a barázdáltságot, növeli a vágósebességet. A gáz tisztasága is fontos, hiszen annak kismértékű romlása is jelentősen csökkentheti az elérhető vágási sebességet, és a felület is rosszabb minőségűvé válik. A gáz feladata továbbá, hogy a felfröccsenő olvadék ne jusson a fókuszáló optikára, és hűtésként is szolgál. A gázok és fémgőzök csökkentik a hatásfokot, így azok vágógázzal történő elfújása is növeli a hatásfokot. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

A teljesítmény, illetve a teljesítménysűrűség is alapvetően befolyásolja a vágósebességet, és a vágható anyag vastagságát. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

Az előtoló sebességet úgy kell megválasztani, hogy túl lassú előtolás esetén a fölösleges hőbevitel miatt csökken a hatásfok, és az olvadt réteg túl széles lesz. A túl magas sebesség pedig rossz vágási geometriát, és vágási hibát eredményez. Amennyiben csökken a sebesség, a barázdáltság egyenletesebb lesz. Ha vastagabb anyagot választunk, az előtoló sebességnek kisebbnek kell lennie. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

A fókusztávolság meghatározza, hogy az anyagban milyen mélyen legyen a teljesítménysűrűség maximuma. Vékonyabb darabok esetén a fókuszt érdemes a felületi pontra tenni, így a vágórés és a kicsatolt lézerteljesítmény is a lehető legkisebb lesz.

Vastagabb feladatok esetén azonban a vastagság egyharmadával a felület alá kell helyezni a fókuszot. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

A berendezés üzeme (impulzus vagy folyamatos) több szempont szerint választható ki. Impulzus üzem esetén kisebb átlagteljesítmény mellett lehet vágási feladatokat végezni. A nagy olvadáspontú anyagok estén kihasználható, hogy a csúsimpulzusok megolvasztják az anyagot, és az ily módon megnövekedett abszorpciós fok hatására kisebb átlagteljesítménnyel lehet vágni. A frekvenciát azonban nagyon gondosan meg kell választani. Impulzus üzem esetén az anyagnak van ideje hűlni az impulzusok között, emiatt csökken a vágósebesség, egyenetlenebb lesz a vágórés, a felületi érdesség is rosszabb lesz. A frekvencia növelésével ezek javíthatók. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

A fent részletezett technológiai paraméterek megválasztása során rengeteg tényezőt kell figyelembe venni, emiatt gyakorlatban tapasztalati értékeket tartalmazó táblázatokat szoktak alkalmazni. Ezek az értékek általában az anyag, vastagság, teljesítmény, sebesség. (Prof. Dr. Paripás, et al., 2011)

5 Lézervágó berendezések

A nagy teljesítményű lézersugarat alkalmazó technológiák közül a lézersugaras vágás a legelterjedtebb. Emiatt ehhez a technológiához tartozik a legtöbb gép. A lézeres vágóberendezéseket két nagy csoportba lehet osztani, léteznek 2D és 3D gépek. (Buza, 2012)

5.1 A síkágas vágógépek

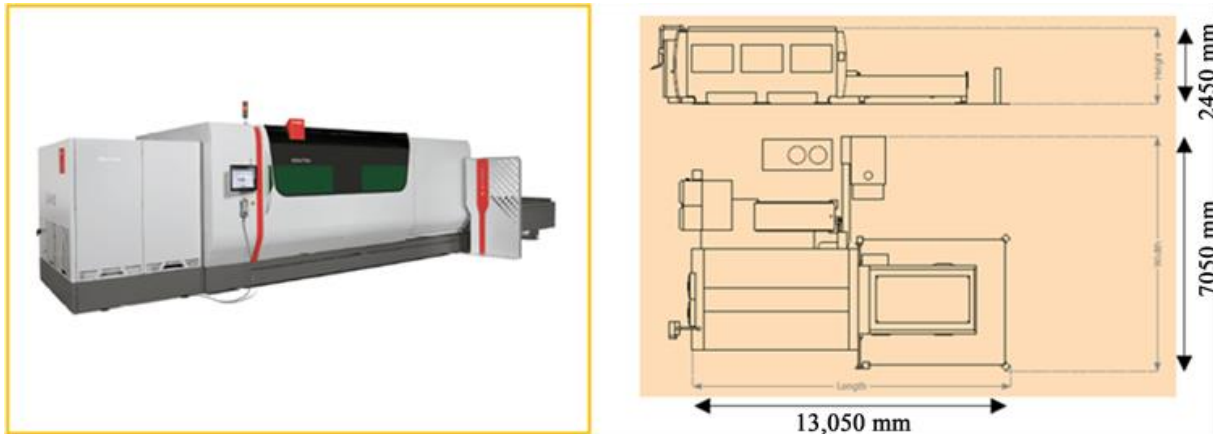
A 2D gépeknek általában 2 tengely mentén való elmozdulást valósítanak meg, és általában lemezszerű alkatrészek vágására használják. A relatív elmozdulás történhet a lemez, illetve a vágófej mozgatásával is, azonban ez néhol problémát okoz, melyet sugárkezelő optikákkal lehet javítani. A 2D-s vágógépeknek általában 2 asztaluk van. Az egyik a kabinban helyezkedik el, miközben vágási műveleteket végeznek rajta, a másikkal pedig le lehet pakolni a kivágott alkatrészeket, vagy új lemezt lehet a lemeztárolóból ráhelyezni, így növelve a termelékenységet. A síkban vágó berendezések lézerteljesítménye és munkatere a megmunkálendő anyagok méretéhez igazodik. Léteznek olyan hatalmas gépek is, amelyek olyan nagy és nehéz munkadarabokat munkálnak meg, hogy a vágófejjel együtt mozgatják magát a sugárforrást is. (Buza, 2012)

A 2D-s vágások tervezését és az anyagkihasználás optimalizálását tervezőprogramok segítik. A programban a jellemző vágási geometrián túl a vágási kontúrok egymástól való távolságát is be lehet állítani. A betáplált adatok alapján a program oly módon helyezi el a lemezen az alkatrészeket, hogy a lehető legkevesebb hulladék keletkezzen. (Buza, 2012)

A 2D-s vágógépeknek tehát két lineáris mozgást lehetővé tevő tengelye van. Maximum a vágófej fel-le mozgatásához rendelkeznek egy extra segédtengellyel, hogy a lemez vagy a munkaasztal egyenetlenségéből adódó fókuszpont-eltolódást kompenzálni lehessen. Az átmenetet a 2D-s és 3D-s berendezések között azok a síkágas gépek adják, amelyek egy további forgó tengellyel is ellátottak, így csőszerű alkatrészek vágására is képesek. (Buza, 2012)

Egy tipikus síkágas CNC vágógépet az **5.1-1.** ábra mutat be. A robotsztus felépítésük miatt nagy helyet foglalnak el. A CNC mechanizmusa a gépnek lehetővé teszi a ± 0.1 mm pontosságot, és a ± 0.05 mm ismételhetséget. A nagy precizitás a vezérlésen kívül a merevségnek is köszönhető. Van lehetőség arra is, hogy plusz 2 koordinátatengelyt adjunk a 3 tengelyes géphez, ezzel 3D lézervágó berendezést hozva létre, hogy meg lehessen munkálni bonyolultabb alkatrészeket is. Általában a síkágas lézervágók teljesítménye 4,4-10 kW

között mozog, és általában CO₂ vagy szálléert alkalmaznak sugárforrásként. (Emmanuel Afrane Gyasi, et al., 2022)



5.1-1. ábra (Emmanuel Afrane Gyasi, et al., 2022) Síkágyas lézervágó berendezés

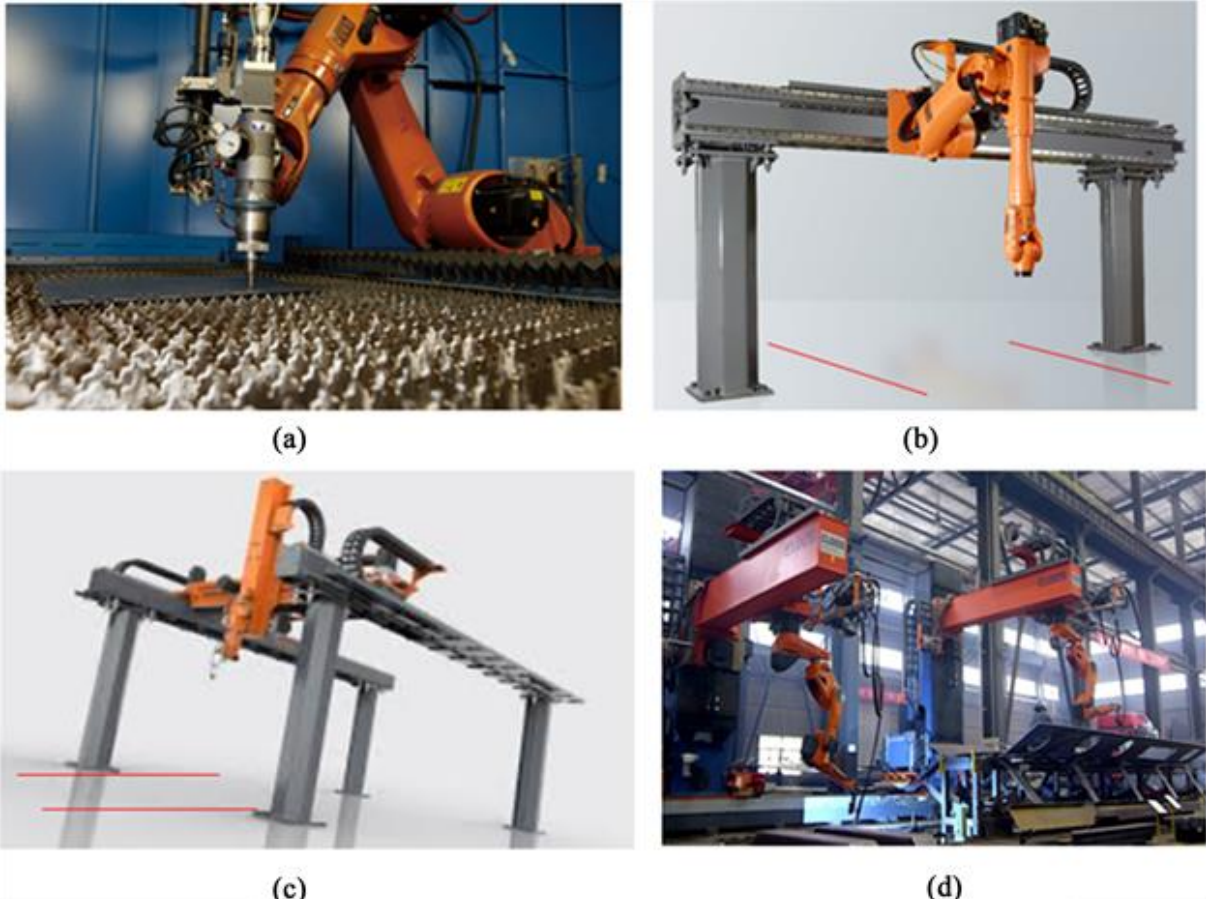
5.2 3D-s vágógépek

Valódi 3D-s vágáshoz arra van szükség, hogy a lézersugár tengelye a tér bármely irányába állhasson, mint egy gömb középpontjából induló, a felületre merőleges normális. A képzeletbeli gömb középpontja a munkatérben bárhol elhelyezkedhet. A lézertechnikában két megoldás létezik. A megmunkálófejet vagy karos robot, vagy CNC vezérlésű koordináta-rendszerhez kötött robot mozgatja. A 3D-s vágórendszereket legtöbbször térbeli lemezszerű alkatrészek vágása esetén alkalmazzák, mint például a járművek mélyhúzott alkatrészei. (Buza, 2012)

A robotos sugárvezetésre az autóiiparhoz kifejlesztett robotokat használnak. Azok olyan funkciókkal rendelkeznek, amilyenekre a lézersugaras technológiák esetén szükség lehet. Legtöbbször hat csuklópontjuk van, melyeket forgó tengelynek is lehet tekinteni. Állványra vagy lineáris tengelyre szerelve a robotok munkatere jelentősen megnövelhető. A robot hátránya, hogy megkötések nélkül csak szilárdtestlézerekkel használható, melyeket optikai szálban vezetni lehet. Kivételek azonban mindig vannak, kis tömegű, ezáltal kis teljesítményű CO₂ lézerek is alkalmazhatóak az utolsó vagy azelőtti karra rögzítve, ahonnan könnyen megoldható a sugárvezetés. (Buza, 2012)

A karos robotokat sokféleképpen elhelyezhetjük. Erre mutat be néhány példát az **5.2-1. ábra**. Például a robot rögzíthető a gyár padlójához, vagy állványzathoz. Az **5-1. a)** ábra egy tipikus példáját mutatja be a padlóra rögzített robot esetének. Ebben az esetben a

lézerrendszer lehet álló, vagy síneken mozgó is. Ha álló helyzetben van, akkor használható automatizált mozgó asztal is, azonban ha a robot sínekre van rögzítve, az asztal és a robot is elmozdulhat. Más lehetőségek is elterjedtek a robotok rögzítésére. Olyan megoldások is léteznek, amikor a robot állványzaton, vagy a padló feletti daru-szerű pozícióban rögzítettek. Ezekre mutatnak példát a 5.2-1. b) és d) ábrák. Az állványzathoz rögzített



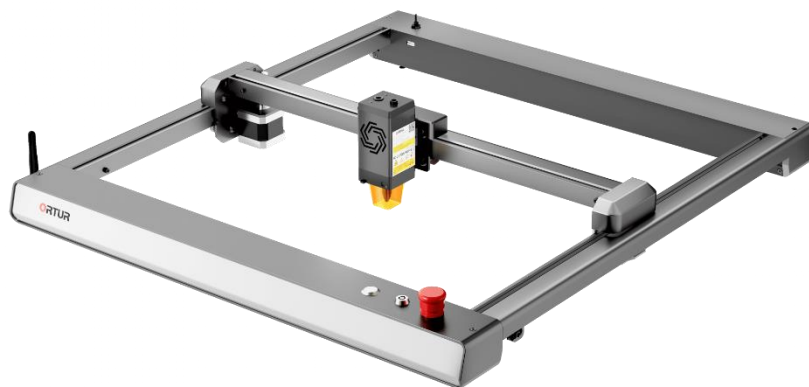
5.2-1. ábra (Emmanuel Afrane Gyasi, et al., 2022) Különböző robotrögzítési módok

működés esetén a robot egy derékszögű koordináta-rendszer mentén tud elmozdulni, vízszintes síkban, a karja segítségével az Y és Z síkban, illetve az effektorai segítségével pedig körmozgást is tud végezni. Ezek a tulajdonságok javítják a vágófej manőverezhetőségét komplex feladatokra, növelik a munkateret, sebességet, és pontosságot. (Emmanuel Afrane Gyasi, et al., 2022)

5.3 Kisméretű és hobbi lézervágók

Léteznek kisméretű, hobbi felhasználásra szánt lézervágó, és gravírozó berendezések, úgynevezett plotterek is. Munkaterük nem haladják meg az egy négyzetmétert, könnyen

elhelyezhetőek egy asztalon. Általában síkágyas kivitelben kaphatóak. Sugárforrásként legtöbbször szén-dioxid, szilárdtest, vagy dióda lézereket alkalmaznak. A dióda fényforrást használó gépek képviselik a legolcsóbb kategóriát. Ebben az esetben a fénysugár vezetését általában a sugárforrás mozgásával valósítják meg. Ekkor a sugárforrás egybe van építve a vágófejjel, és a fókuszáló optikával. Egyes esetekben segédgáz alkalmazása is lehetséges egy megfelelően kialakított szabványos csatlakozón keresztül, mely kompresszor által összesűrített levegő. Vékonyabb elemek vágására, illetve gravírozásra alkalmasak, mivel ezekhez nem szükséges nagy lézerteljesítmény. Olyan anyagok megmunkálására alkalmas, mint a fa, bőr, papír, karton, akril, bakelit. Ugyanakkor fémes, és fényvisszaverő anyagok gravírozására, vágására is alkalmasak lehetnek a megfelelő beállítások alkalmazásával. Az **5.3-1.** ábrán egy hobbi célú kisméretű lézervágó és gravírozó lézerplotter berendezés látható.



5.3-1. ábra Ortur lézerpotter (*Ortur.com, 2023*)

6 Fa vágása lézerrel

A burkolat 4 mm-es rétegelt lemezből fog készülni, ezért ebben a fejezetben megvizsgálom, hogy mik jellemzőek a fa vágására.

6.1 Használható lézerek, segédgáz

Bármilyen típusú lézer használható fa vágásához, a lényeg, hogy kellő teljesítménysűrűség keletkezzen a fókuszpontban az anyag kötéseinek felbontásához. A fa vágásához ugyanúgy lehet folyamatos, vagy impulzus üzemű lézerforrásokat alkalmazni. Segédgázt is lehet alkalmazni a vágás során, ám ennek inkább a magasabb lemezvastagságoknál van nagyobb hatása. Ilyenkor fontos, hogy a vágási rés alján felgyülemelő égéstermékek ne nyeljék el a lézersugár energiáját, így célszerű azokat segédgázzal eltávolítani onnan, ami lehet egyszerű sűrített levegő is. Ezzel növelhető a vágási sebesség is. Alkalmazható nemesgáz is a beégés csökkentése érdekében, ám ezek használata nem gazdaságos. (Gelencsér, 2003)

6.2 Az anyag szerkezeti jellemzőinek hatása

A faanyag sűrűsége egyértelmű hatással van a vágási sebességre, hiszen adott térfogatra több anyag jut, több kötést kell felszabadítani egy sűrűbb anyag esetében. A különböző fahibák, például a görcsösség is hatással van a vágásra, hiszen magasabb teljesítménysűrűség szükséges azok átvágásához. Mivel a fa hővezetési tényezője függ a száliránytól, ezért a fa szálirányra merőleges felülete jobban megég, azonban a szálirány semmilyen hatással nincs a vágási paraméterekre. (Gelencsér, 2003)

6.3 Vékony anyagok vágása

A lézersugár fókuszpontjában a teljesítménysűrűség akkora, hogy a nagy keletkező hőmérséklet miatt a fa égési folyamatai nem mehetnek végbe. Égés helyett a szublimáció a domináns folyamat, annyira felmelegíti a lézersugár az anyagot. Ilyenkor a faszén elgőzölög. Ez a jelenség akkor játszódik le, ha a fókuszponta hossza nagyobb vagy egyenlő a vágott anyag vastagságával. A hőmérsékletnek ebben az esetben a fény-fa kölcsönhatás helyén a szén forráspontja felett kell lennie, ami 4273 K. A hőmérséklet gradiens a rés alja felé csökken, ami a füst fényelnyelése, és a fénysugár-átmérő általi teljesítménysűrűség csökkenésével magyarázható. Mivel a fa rossz hővezető, és a vágáskor a kölcsönhatási zóna folyamatosan mozog, ezért a hőhatásövezet kicsi (néhány tized mm). Nagyobb teljesítménysűrűségek esetén a fa elgőzölése gyorsabb, ezért nagyobb előtolási sebesség

alkalmazható. Vékony anyagok esetén a segédgáz csupán a keletkezett gőzöket távolítja el a vágási résből. (Gelencsér, 2003)

6.4 Felület elszenesedése, felületi érdesség, vágási rés

A felület elszenesedése a lézervágás kísérőjelensége, mely szintén paraméterfüggő. Csökkenthető az előtolási sebesség növelésével, a fókusz átmérőjének csökkentésével, és az impulzusüzem alkalmazásával.

A vágási rés szélessége száliránytól független, melyet leginkább a fókusz átmérője befolyásol. Szerszámtól, és a vágási paramétereiktől függően elmondható, hogy a vágási rés vastagsága fűrészelés esetén általában 2-5 mm, folyadéksugaras vágás esetén általában 0,8-0,12 mm, lézervágás esetén pedig a (Gelencsér, 2003) forrásban szereplő paraméterek szerint 0,35-0,7 mm-nek adódott.

A (Gelencsér, 2003) forrásban szereplő vizsgálat során azt állapították meg, hogy a szálirányra merőleges vágáskor keletkezett a legnagyobb átlagos felületi érdesség, melynek mértéke R_a 54,64 μm . Ezzel szemben a folyadéksugaras vágás 75 – 95 μm átlagos felületi érdességet, a fűrészelés pedig 250 – 290 μm átlagos felületi érdességet eredményezett.

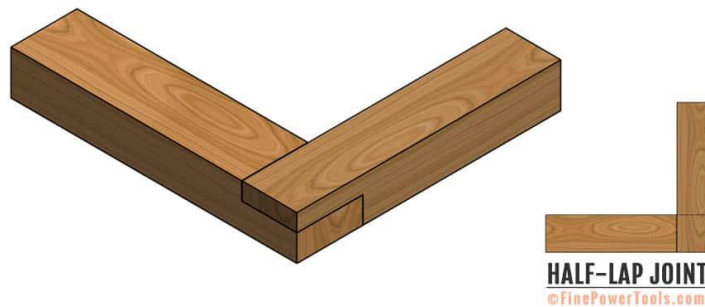
Következtetésképpen elmondható, hogy a felületi érdesség és a vágási rés kedvezőbben alakul lézervágás esetén mint fűrészelés, vagy folyadéksugaras vágás esetén.

7 Fa elemek csatlakozásainak kialakításai

A lézervágó berendezés háza 4 mm-es rétegelt lemezekből fog felépülni. Annak érdekében, hogy meg tudjam állapítani melyik a legmegfelelőbb csatlakozási kialakítás az elemek számára, megvizsgálom néhány hagyományos, és egyszerű csatlakoztatási módszert, amelyek mellőzik a kötőelemek használatát.

7.1 Félig átlapolt kötés

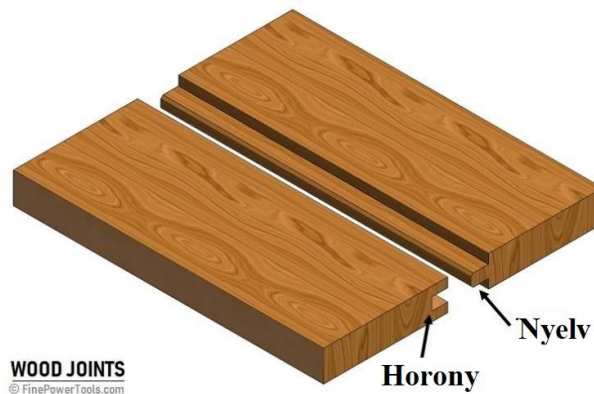
Általában akkor használják, amikor két lécet egy síkban akarnak összeilleszteni. Ekkor mindkét darabból kimunkálnak egy-egy térfogatrészt, és így illesztik egymáshoz a két darabot. (Miller, 2022) Habár egyszerű kialakítás, de lézervágóval nehezen hozható létre, és nem is ad kellően szilárd kötést, ezért nem ezt választom. A kialakítást a **7.1-1** ábra illusztrálja.



7.1-1. ábra Félig átlapolt kötés (Miller, 2022)

7.2 Nyelv és horony kötés

A nyelv és horony kötést általában két lap találkozásánál szokták alkalmazni. Az egyik elemben egy horony van vájva, a másik elem pedig egy nyelv van kimunkálva. Az illesztés szilárdságát a megfelelő tűrések, vagy ragasztó adja. (Miller, 2022) Lézervágóval nehéz kialakítani, és esetemben nem elég a lemezvastagság, így nem ezt a megoldást választom. A kialakítást a **7.2-1** ábra illusztrálja.



7.2-1. ábra Nyelv és horony kötés (Miller, 2022)

7.3 Dado kötés

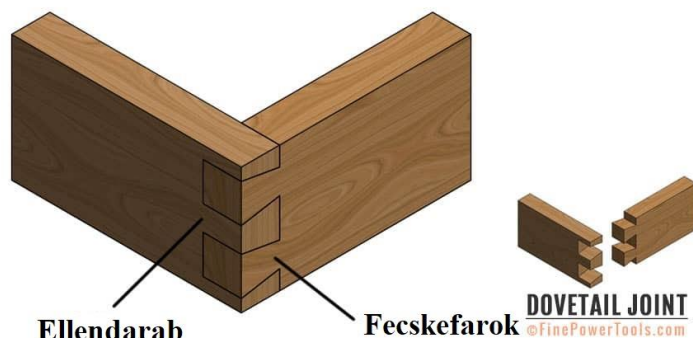
A dado kötetést hasonló a nyelv és horony kötéshez, azzal a különbséggel, hogy itt a lapok merőlegesek egymásra, és csak az egyik lapból kell kimunkálni a másik lap vastagságának megfelelő térfogatrészt. A nyelv szerepét a másik lap széle szolgáltatja. Általában bútorlapok vagy rétegelt lemezek összeillesztésére használják. (Miller, 2022) Lézervágóval nehéz kialakítani, így ezt a megoldást is elvettem. A kialakítást a 7.3-1. ábra illusztrálja.



7.3-1. ábra Dado kötés (Miller, 2022)

7.4 Fecskefarok kötés

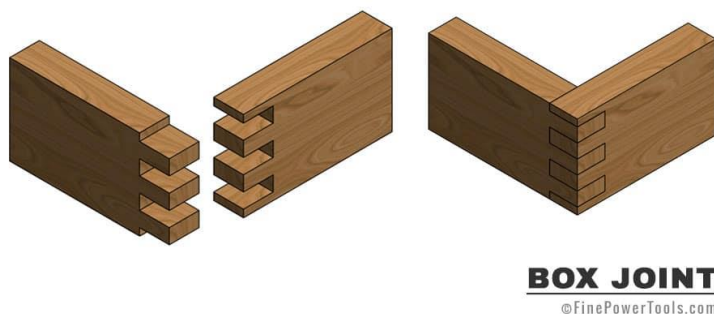
A fecskefarok kötetést általában akkor használják, ha erős sarkokat kell kialakítani. (Miller, 2022) Esetemben is ez a cél, hiszen a legtöbb kapcsolódás a sarkokon lesz, és ezek adják majd a burkolat stabilitását. Lézervágó berendezéssel a fecskefarok-forma könnyen kialakítható, azonban az ellendarabhoz be kellene dönteni a vágófejet a sík normálisához képest, ami esetemben nem kivitelezhető. Emiatt elvettem ezt a megoldást is. A kialakítást a 7.4-1. ábra illusztrálja.



7.4-1. ábra Fecskefarok kötés (Miller, 2022)

7.5 Dobozkötés

A dobozkötés úgy jön létre, hogy azonos téglalap keresztmetszetű hornyokat kell marni egymástól a horony szélességével megegyező távolságra mindkét darabba. A két összeillesztett darab pontos megmunkálás esetén ragasztó nélkül is szilárd kötést ad. Alkalmazható egy síkban lévő elemek összeillesztésére is. Lézervágó berendezésen könnyen kialakítható ez a fajta kötés. Ez az egyetlen kötés, mely lézervágóval könnyedén megvalósítható, ezért ezt a típust választom a burkolatok illesztéséhez. A kialakítást a **7.5-1.** ábra illusztrálja.



7.5-1. ábra Dobozkötés (Miller, 2022)

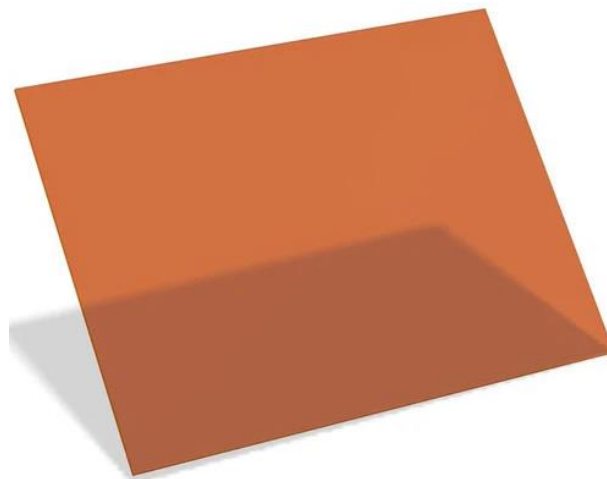
8 Lézer biztonságtechnika

A lézerberendezéseket alkalmazó munkahelyeken (esetemben oktatási terem, vagy oktatói iroda) egészségre káros sugárzás keletkezik, mely érheti a berendezés közelében tartózkodókat is, ezért érdemes figyelmet fordítani a lézer biztonságtechnikájára is.

A nemzetközi szabvány (IEC 60825-1.) 4 osztályba sorolja a lézereszközöket élettani hatás alapján, melyeken belül vannak még egy-egy betű karakterrel megkülönböztetett alosztályok is. Minden lézereszközön szerepelnie kell az adott eszközre vonatkozó besorolásnak. A szabvány szerinti osztályok: 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B, 4. (Buza, 2012)

Az esetben, a dolgozathoz tartozó lézervágó berendezés a 4. azaz a legveszélyesebb osztályba sorolandó. Ezek olyan berendezések, melyek folytonos üzemben több mint 0,5W teljesítményt bocsátanak ki. Az ennél nagyobb teljesítményű berendezések már bőrkárosodást, és tüzet is okozhatnak, és a tárgyakról visszavert sugárzásuk is szemkárosodást okozhat. (Andrew & Kovács-Coskun, 2016)

A megoldás egy olyan burkolat tervezése, amely nem engedi a káros sugarak kijutását a munkatérből, így védve meg a berendezéssel egy légtérben tartózkodó személyek látását. Mivel a burkolatba való betekintés lehetővé tétele kulcsfontosságú a gép tevékenységének ellenőrzése céljából, ezért a betekintőnyílásokat lézervédett akril lappal kell befedni. Egy ilyen termék a **8-1.** ábrán látható.



8-1. ábra Lézervédett ablak (Laser Safety Industries LLC, 2023)

9 Additív gyártás, FDM technológia

Az elszívó berendezés háza, és a burkolat zsanérjai additív FDM technológiával készülnek el, ehhez mutatom be az additív gyártást, azon belül is az FDM technológiát.

9.1 Additív gyártás

A különböző anyagmegmunkáló eljárások három nagy csoportba sorolhatók. Szubsztraktív, additív és alakadó eljárások. (Markovits, 2018)

A szubsztraktív eljárás során, azaz anyagleválasztással történő megmunkálás esetén a kívánt alkatrész-geometriához képest ráhagyással növelt alapanyag-mennyiségre van szükség a kiinduló nyers munkadarab esetén az elvárt műveletek függvényében. A ráhagyásnak megfelelő mértékű anyagmennyiség eltávolítása során alakul ki a kész munkadarab geometriája. (Markovits, 2018)

Az additív eljárás során a szubsztraktívval szemben egy felépítő eljárásról beszélhetünk. Ebben az esetben nem a felesleges anyagmennyiség eltávolítása történik, hanem az alkatrész geometriáját adó térfogat rétegről-rétegre csak a megfelelő anyagmennyiség hozzáadásával történik. Így csak annyi anyag kerül felhasználásra, amennyire az adott geometriának szüksége van. (Markovits, 2018)

Az additív gyártás az 1980-as években indult fejlődésnek, és manapság a legtöbb lehetőséget magában hordozó gyártási technológiaként tartják számon. (Markovits, 2018)

A különböző additív technológiák rövidítéseit, és elnevezéseit a **9.1-1.** táblázat (Markovits, 2018) tartalmazza.

9.1-1. táblázat Additív technológiák, és elnevezéseik (Markovits, 2018)

Rövidítés	Angol megnevezés	Magyar megnevezés
LOM	Laminated Object Modelling	Rétegelt darabgyártás
FDM	Fused Deposition Modelling	Huzalfelrakásos modellépítés
CJP	Colour Jet Printing	Színes porágyas nyomtatás
SLS, SLM	Selective Laser Sintering / Melting	Szelektív lézeres szinterezés / összeolvasztás
EBM	Electron Beam Modelling	Elektronsugaras modellépítés
LMD	Laser Material Deposition	Lézeres anyagfelrakás
SLA	Stereolithography	Lézer sztereolitográfia
PJP, MJP	Polyjet Printing / Multijet Printing	Mátrixfűvőkás polimernyomtatás
FTI, DLP	Film Transfer Imaging, Direct Light Projection	-

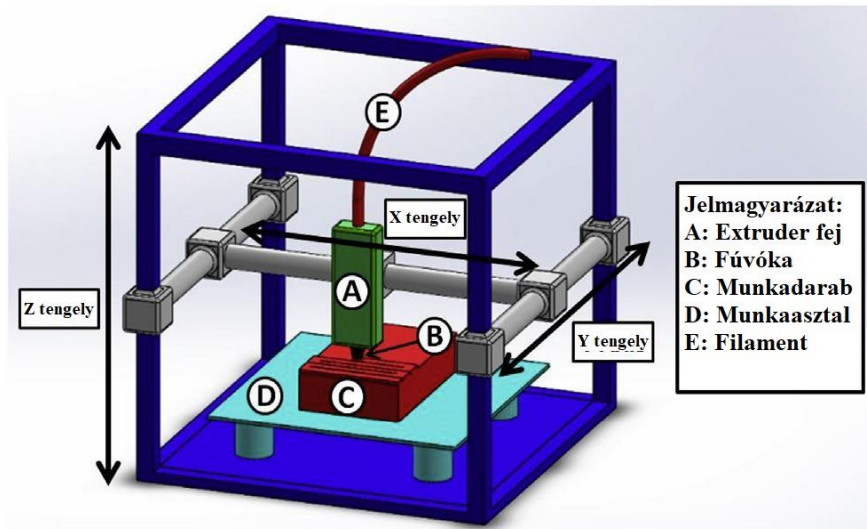
9.2 FDM technológia

Mint minden más 3D nyomtatási technológia esetén, az FDM-nél is a kiindulás egy digitális 3D-s modell, melyet a nyomtatónak követendő utasítássorozattá kell fordítani szelvetelőprogram segítségével. (ALL3DP, 2023) Az FDM egy extrudálás alapon működő additív gyártási technológia. A betáplált alapanyagot (általában egy már előre legyártott filamentet) egy hidraulikamotor vagy elektromotor hajtott előtolómű segítségével a nyomtatófejbe juttatják. Az egy vagy több fűtött fűvőkán (150-250°C) keresztül a megolvasztott hőre lágyuló műanyag mozgatható, vagy stabil felületre kerül. A felületen megszilárdult viszkózus olvadékból felépül egy kétdimenziós felület, melynek pontossága hozzávetőleg 100 μm . Majd a gép újra és újra kétdimenziós rétegeket épít egymásra az XY síkon való mozgással, így alakítva ki a dizájnnak megfelelő háromdimenziós alkatrészt. (S.C. Daminabo, et al., 2020)

Az FDM technológia a legszéleskörűbben használt 3D technológia a fogyasztói szinten, és a hobbisták körében is. Anyagfelhasználást tekintve általános hőre lágyuló műanyagokkal dolgozik úgy mint az ABS, PLA, PETG, Nylon és azok különböző keverékei, adalékolt változatai. A technológia ugyanúgy alkalmas egyszerű demonstrációs modellek

létrehozására, mint olcsó prototípusgyártásra olyan alkatrészekhez, melyek hagyományos technológiával készülnek majd. (Formlabs, 2022)

A nyomtató elvi felépítése a **9.2-1.** ábrán, egy valódi, kereskedelemben is kapható eszközt pedig a **9.2-2.** ábra mutat be.



9.2-1. ábra Az FDM nyomtató elvi felépítése (S.C. Daminabo, et al., 2020)



9.2-2. ábra Kereskedelemben is kapható hobbi, és ipari FDM nyomtatók (ALL3DP, 2023)

Az FDM-el készült testek kis felbontással rendelkeznek, és nem a legjobb megoldás komplex vagy bonyolult alkatrészek legyártására. Bizonyos geometriák létrehozása érdekében támaszanyag alkalmazása szükséges. A magasabb felületi minőséget kémiai vagy mechanikai felületkezelés által lehet elérni. Az ipari, vagy kétfűvókás FDM nyomtatók oldható támaszanyagokat alkalmaznak, hogy növeljék a felületi minőséget és az elérhető komplexitást. (Formlabs, 2022)

9.3 A technológia választásának indoklása

Az FDM technológia tökéletesen alkalmas az elszívó berendezés háza és a zsanérok legyártására, mert a technológiához használt fogyasztói berendezések olcsónak számítanak. A felhasznált anyagokat tekintve is olcsónak számít, a konstrukciókból adódóan támaszanyagra nincsen szükség. Az alkatrészek várható mérete nem haladja meg a jellemző munkateret sem, így egy méretben átlagosnak mondható géppel is legyárthatóak. Az alkatrészek tulajdonságait tekintve semmilyen különösebb mechanikai, vagy felületminőséggel kapcsolatos követelménynek sem kell megfelelnie, így az FDM-re jellemző durva felületminőség és a gyenge mechanikai szilárdság nem okoz problémát. Továbbá tűrések sincsenek az alkatrészeken, így az FDM más technológiákkal szemben mutatott pontatlansága sem jelent hátrányt. Az alkatrészen nincsenek apró részletek sem, melyek gyártása pontatlan lenne. A nyomtatás helye egy légkondicionált laboratóriumi terem, a nyomtatás egy stabil asztalon történik majd, így ezen feltételek is teljesülnek. Az utómunkálatokhoz szükséges eszközök is teljes mértékben rendelkezésre állnak az egyetemi laboratóriumban. Az FDM-el egyszerű dolgozni is, nem kell különösebb előképzettség a berendezés üzemeltetéséhez, karbantartásához, és a nyomtatási paraméterek meghatározásához. Összefoglalva tehát az FDM a legmegfelelőbb additív gyártási technológia az elszívó berendezés, és a zsanérok legyártásához.

9.4 FDM technológiára való tervezés

Léteznek a technológiával kapcsolatos bizonyos, tapasztalatokon alapuló tervezési „ökölszabályok” melyeket az additív technológiával készülő alkatrészek tervezése során érdemes betartani. Ezeket a szabályokat a következő **9.4-1.** táblázat tartalmazza. A 3D nyomtatott alkatrészek tervezése során nekem is figyelembe kell vennem a táblázatban foglaltakat, hogy megfelelő minőségű alkatrészek készüljenek, és a nyomtatás során ne merüljön fel komplikáció.

9.4-1. táblázat FDM tervezési ökölszabályok (Hubs.com, 2021)

Megnevezés	Követelmény
Kapcsolt fal vastagsága	0,8 mm
Egyedülálló fal vastagsága	0,8 mm
Alámetszés szöge	45°
Gravírozott vagy kiemelt geometriák	0,6 mm széles, 2 mm magas
Áthidalások hossza	10 mm
Furatok átmérője	2 mm
Egymáson elmozduló alkatrészek közti hézag	0,5 mm
Geometriák legkisebb mérete	2 mm
Csapok átmérője	3 mm
Tűrés	$\pm 0,5$ mm

9.5 Anyagválasztás

A 3D nyomtatásra szánt alkatrészek számára a PETG-t választottam. A PETG kombinálja az ABS ellenállóságát, és a PLA nyomtathatóságát. Erős, ellenáll a behatásoknak, emiatt tökéletesen alkalmas funkcionális alkatrészek legyártására, mint esetemben a zsanérok. Kiválóan ellenáll a hőnek, és a kémiai behatásoknak is, így alkalmas a füstelszívó berendezés házának legyártásához is. (Frey & Locker, 2023)

A PETG egy glikol módosított polietilén-tereftalát. Eredményképpen egy olyan polimer jött létre, mely kevésbé rideg, kisebb a hőmérséklet-érzékenysége, és könnyebb nyomtatni, mint a sima PET filamentből. Magas kémiai, és mechanikai ellenállóképessége van, jó a hőstabilitása, és biztonságosan készíthető belőle edény, vagy evőeszköz is. (Xometry.com, 2022) Azonban pont a glikol-módosítás miatt nehezebben újrahasznosítható anyag a PET-tel szemben. (Frey & Locker, 2023)

Habár a nyomtatásához érdemes fűtött asztalú nyomtatót alkalmazni, számomra ez nem okoz problémát, mivel a nyomtató rendelkezik ilyen funkcióval.

10 A tervezési feladat peremfeltételeinek meghatározása

Ebben a fejezetben a diplomadolgozat feladataként kitűzött, egy meglévő lézervágó berendezés burkolatának konstrukciós tervezéséhez állapítom meg a szükséges peremfeltételeket. Az egyetlen eddig ismert peremfeltétel, hogy a burkolatot a lézervágó saját maga vágja ki 4 mm-es rétegelt lemezből, és rendelkezzen elszívóval.

10.1 A lézervágó bemutatása – NEJE 3 MAX A40640

Ahhoz, hogy a további kiindulási adatokat meg tudjam állapítani, először meg kell vizsgálni a berendezést.

A vizsgálat tárgya egy NEJE 3 MAX típusú lézerplotter, egy hobbi célokra alkalmas gravírozó és lézervágó gép, melynek felépítése nagyon egyszerű, de ugyanakkor stabil vázzal rendelkezik. Ennél a berendezésnél, mint sok más lézerplotter esetében a lézermodult mozgatja két léptetőmotor az X és az Y tengely mentén, melyeket gépi kód vezérel. A pontossága a gyártói katalógus szerint $\pm 0,01 \text{ mm}$. Maximális mozgató sebessége X és Y irányban is egyaránt $1000 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$. A lézerfényt a NEJE által kifejlesztett A40640 kétsugaras dióda típusú lézermodul szolgáltatja, mely természetesen kicserélhető más NEJE modulokra is. Teljesítménye szakaszos üzemben 12 W, folyamatos üzemben 11 W, és a lézersugarat képes egy 0,04 mm átmérőjű pontra fókuszálni. A kibocsátott fény hullámhossza 450 nm, mely látható fény tartományú kék fény. Ez a teljesítménysűrűség képes például rozsdamentes acélt, követ, üveget is gravírozni, de olyan vastagabb anyagok vágására is képes, mint például az MDF lapok. A fókusztávolság egy csavar segítségével könnyedén állítható. A lézermodulhoz lehet csatlakoztatni segédlevegőt is, ez segíti a vastagabb lemez-szerű alkatrészek vágását, ám nem áll rendelkezésre fűvóka, ezért a gépet segédlevegő nélkül lehet üzemeltetni. (NEJE.com, 2023)

A vezérlőmodulja lehetővé teszi, hogy kétféle szoftvert használjunk a géphez, az egyik az egyszerűbb LaserGRBL, a másik pedig a komplexebb, és egyben pontosabb program, a Lightburn. Használatához az utóbbit választottam, mivel sokkal pontosabban lehet a gépet vezérelni vele, illetve a vágási paraméterek is pontosabban állíthatók. A lézervágóhoz USB kábel segítségével lehet csatlakozni, a gépi kód átvitele ezen keresztül zajlik. (NEJE.com, 2023)

Méreteit tekintve versenytársaihoz képest is nagynak mondható, a munkaterülete 810x460 mm, ami ráadásul tovább bővíthető. (NEJE.com, 2023) A berendezés befoglaló méreteit a helyszínen végzett méréseim alapján állapítottam meg. Szélessége 620 mm, hosszúsága 1050 mm, magassága pedig 180 mm. Ezekbe a méretekre beleszámítottam a gép vázán kívül futó kábeleket, és a vezérlőegység méreteit is. A berendezés a **10.1-1** ábrán látható.



10.1-1. ábra NEJE 3 MAX (NEJE.com, 2023)

10.2 A felhasználás helye

A felhasználás helye egy tanterem, ahol egy ablak mellett lévő asztalra van telepítve a gép, hogy a füst minél könnyebben ki tudjon szellőzni. Mivel az ablak és a gép között kevés hely van, ezért az elszívó cső kivezetése vagy a burkolat oldalán, vagy a burkolat tetején kell hogy legyen.

10.3 Piackutatás – piaci burkolat konstrukciók bemutatása

A saját konstrukcióm megalkotása előtt megvizsgálom, hogy a piacon elérhető burkolat konstrukciók milyen tulajdonságokkal rendelkeznek, és mely tulajdonságokat tudom hasznosítani később a tervezés során. Két egyszerűbb, és egy drágább konstrukciót vizsgállok.

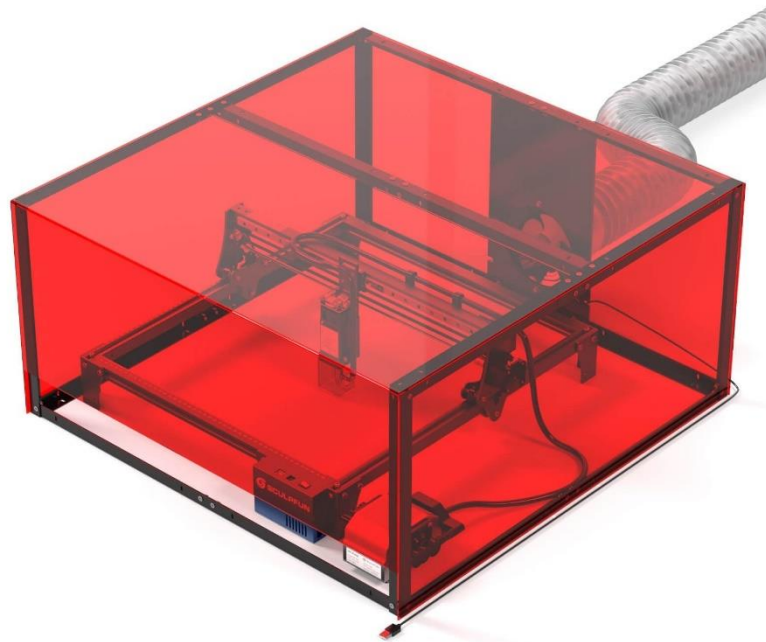
10.3.1 Sculpfun lézervágó burkolat

A Sculpfun lézervágó burkolat egy erős fémkeretre épülő szerkezet, a burkolatot alkotó vékony színezett fóliát öntapadó tépőzárral lehet hozzáerősíteni a kerethez. Mivel a falakat áttetsző színes fólia alkotja, jól be lehet látni a burkolatba. A moduláris felépítésének köszönhetően könnyen bővíthető, így sokféle típushoz alkalmazható. Egy erős, USB csatlakozású elszívó ventilátor is tartozik a burkolathoz, melynek a hátulján található a kivezetése. A ventilátorral szemben lévő oldalon a fólia nem ér le egészen a keret aljáig, így

ezen a résen tudja szívni a friss levegőt az elszívó. A burkolat kinyitása a tépőzár visszafejtésével kivitelezhető, mely körülményes lehet. Ára 180 dollár. A burkolat a **10.3.1-1.** ábrán látható. (HobbyLaserCutters.com, 2022)

Pozitív tulajdonságok:

- Olcsó, egyszerű
- Stabil szerkezet
- Kiváló betekintés
- Erős elszívó
- Szemvédelem.



10.3.1-1. ábra Sculpfun burkolat (Sculpfun.com, 2023)

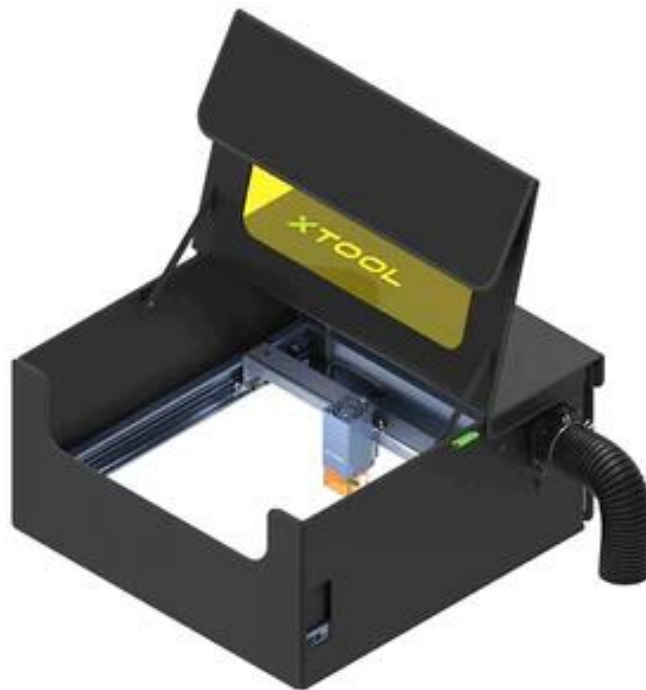
10.3.2 xTool D1 lézervágó burkolat

Ez egy tűzálló textil réteggel borított műanyag panelekből felépülő burkolat. Az oldalfalakat öntapadó tépőzár tartja össze. Kicsit kevésbé stabil szerkezet önmagában, mint a Sculpfun terméke, de ha a hozzá tartozó lézerplotterhez csatlakoztatjuk a falakat, akkor a lézervágó keretére támaszkodva stabil szerkezet. Az oldalain szerszámtartó is található. Elszívónak egy műszerventilátort építettek be, mely a szerkezet oldalán fújja ki a füstöt. A burkolatba bejutó friss levegő a burkolat oldalán jut be a ventilátorral szemben a burkolat alsó éléhez közel kialakított hosszanti résen keresztül. A burkolatot kinyitni a szerkezet

tetején kialakított felfelé nyíló ajtóval lehetséges. A betekintésről az ajtóba épített színezett plexi gondoskodik, ami nem túl nagy. Ára 180 dollár. (HobbyLaserCutters.com, 2022) A burkolat a **10.3.2.1.** ábrán látható.

Pozitív tulajdonságok:

- Tűzállóság
- Egyszerű nyitás
- Szemvédelem.



10.3.2.1.ábra xTool burkolat (xTool.com, 2023)

10.3.3 Ortur lézervágó burkolat

Ez egy drágább kivitelű burkolat, és sokkal stabilabb konstrukció, mint az előző kettő. A burkolat hajlított fémlémezből készült. A termékhez csatlakoztatni lehet a lézerplottert, melyet a frontoldalon található dokkoló segítségével érhetünk el a számítógéptől. Az ajtó úgy van kialakítva, hogy a tető, és az elülső lap egy része nyílik egyszerre, így könnyen elérhető a munkaterület, fogantyú is található rajta. Az ajtót gázrugók segítik kinyílni, és nyitott helyzetben tartani. Az oldalak tetején kialakításra került két fogantyú, ezáltal könnyű mozgatni. Az elszívóként funkcionáló műszerventilátor a burkolat hátulján helyezkedik el, ehhez csatlakozik az elszívó cső is. A betekintésről két keskeny színezett plexi gondoskodik az ajtóra helyezve. Ára 330 dollár. A burkolat a **10.3.3-1.** ábrán látható.

Pozitív tulajdonságok:

- Stabil szerkezet
- Ajtón gázrugók
- Nagy nyílás
- Fogantyúk
- Szemvédelem
- Kábelek kezelése.



10.3.3-1. ábra Ortur burkolat (Ortur.net, 2023)

10.4 A piackutatás következtetései

A piackutatás alapján egy minél egyszerűbb szerkezet létrehozása a cél. Anyagát tekintve a burkolat 4 mm-es rétegelt lemezből készül, az elemeket a gépnek saját magának kell kivágnia, így azoknak valamennyi ráhagyással bele kell férniük a gép 810x460 mm-es munkaterületébe. Cél a minél nagyobb stabilitás, és a minél kevesebb kötőelem használata. Szükség van kábelkivezető nyílásra is, mivel a burkolaton dokkoló kialakítására nincs lehetőség. A munkafolyamatok minél jobb nyomon követhetősége érdekében minél nagyobb betekintő nyílásokra van szükség. A betekintő nyílásokat lézervédett plexi fedje be a szem védelme érdekében. Az ajtó kinyitásának, és nyitott állapotban tartásának elősegítése érdekében érdemes gázrugókat alkalmazni. Az ajtó nyílása legyen minél nagyobb, és a nyílás tegye lehetővé a munkaterülethez való minél jobb hozzáférhetőséget. A füst minél hatékonyabb elszívása miatt minél nagyobb elszívási teljesítményre van szükség. Az elszívó

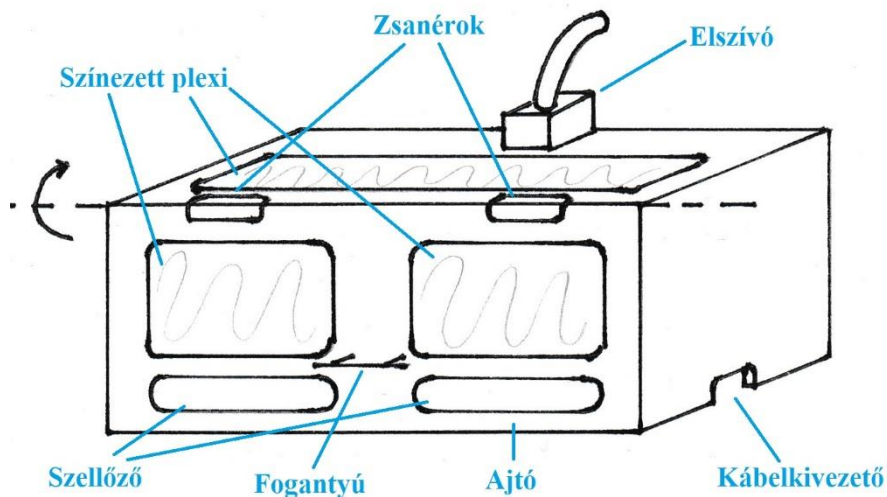
kivezetésének továbbá a szerkezet tetején hátul középen kell elhelyezkednie, a szellőző nyílásnak pedig érdemes a burkolat elején alul elhelyezkednie a kedvezőbb áramlási viszonyok létrehozása miatt. Érdemes fogantyúkat alkalmazni az ajtón, és az oldalfalakon. Méreteit tekintve a burkolatnak meg kell haladnia valamilyen ráhagyással a lézervágó méreteit (h/sz/m 1050/620/180 mm), hogy beférjen a lézervágó, és kényelmesen lehessen dolgozni a burkolat alatt. A belső méreteket konstrukciós okok miatt a következőképpen választottam. Hosszúsága 1090 mm, szélessége 630 mm, magassága a lapok átlapolása, stabilitási megfontolások, és a kényelmes munkatér érdekében 300 mm.

11 Előzetes konstrukciók

Az előző fejezetben leírt peremfeltételek, szükséges tulajdonságok alapján három verziót rajzolok fel. Az előzetes konstrukciók megalkotása során igyekeztem ötletet meríteni a piackutatás során megismert termékekből. Megfigyelhető, hogy minden változat esetén törekedtem minden, korábban beazonosított pozitív tulajdonságot alkalmazni, kivéve az oldalfogantyúkat, mert úgy gondolom, hogy bonyolult lenne rétegelt lemezből megvalósítani az emelési pontot úgy, hogy a doboz zárt maradjon, az emelési pont pedig stabil. Vázlatszerű ábrákkal illusztráltam a különböző változatokat.

11.1 Burkolat előlap nyitással

Ennek a változatnak a vázlatos rajza a **11.1-1.** ábrán látható. Ez a konstrukció mindhárom közül a legkevésbé stabil. Mivel az egyik oldalfal nyílik, ezért az nem vesz részt az oldalirányú támasztásban, ezért a doboz hajlamosabb a deformációra egy oldalirányú behatás esetén, például ha a munkaasztalt lökés éri. Habár a nyílás nagy, de a munkaterület csak lehajolva, a burkolat teteje alá lehet elérni, így nehézkes a megmunkálandó nyersanyagok, és a kész munkadarabok rakodása.

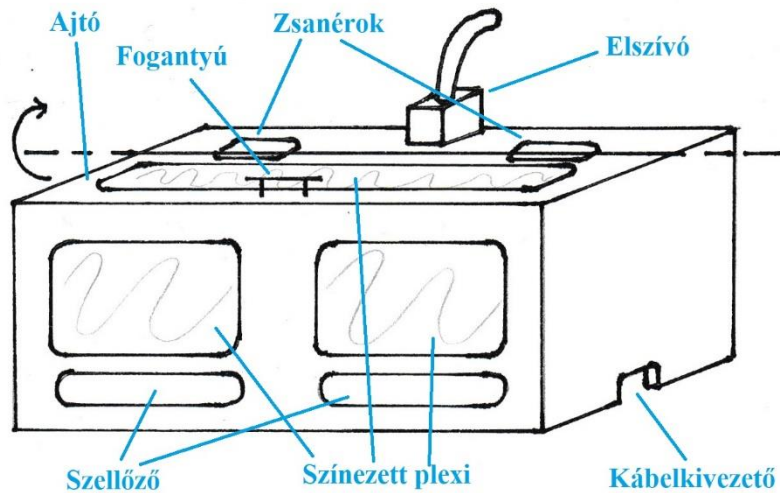


11.1-1. ábra 1. Konceptió

11.2 Burkolat tető nyitással

Ennek a változatnak a vázlatos rajza a **11.2-1.** ábrán látható. Ez a konstrukció már biztosítja az oldalirányú behatásokkal szembeni fokozott ellenállást, hiszen mindegyik oldalfala részt vesz a terhelés felvételében, így összességében stabilabb szerkezetet kapunk. A tető nyitásával nő a nyílás mérete, és felülről jobb a hozzáférhetősége is. Azonban a rétegelt

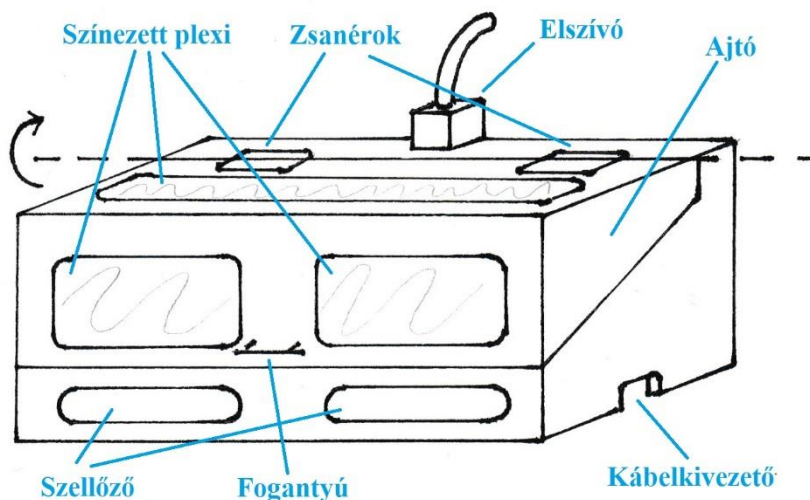
lemez ajtónak nehéz ebben a formában megtartania az önsúlyát, behajolhat, a nyitáskor keletkező hajlítónyomaték pedig akár el is törheti azt. Az ajtó síkjára, és a zsanérok forgástengelyére merőleges elemekre van szükség ennek megakadályozására.



11.2-1. ábra 2. Konceptió

11.3 Burkolat tető és előlap nyitással

Ennek a változatnak a vázlatos rajza a **11.3-1.** ábrán látható. Ez a konstrukció ötvözi az előző két változatot. Oldalirányú stabilitást biztosít, tovább nő a nyílás mérete, és a munkaterülethez való hozzáférhetőség, és az ajtó is ellenállóbb a behajlással szemben. A felsorolt indokok alapján ezt tartom a legjobb változatnak, emiatt ezt fogom megvalósítani.



11.3-1. ábra 3. Konceptió

12 Az elszívó berendezés

A diplomadolgozat céljai közt szerepel egy elszívó berendezés tervezése a burkolat számára. Ez teszi lehetővé, hogy a fa, bakelit, műanyag, és egyéb anyagok megmunkálása során keletkező füstöt, mely az egészségre káros hatással lévő gázokat tartalmaz, ki lehessen vezetni egy csövön keresztül a szabadba. Ez a lépés is szükségszerű a burkolat megtervezése előtt, hiszen az elszívó paramétereinek tudatában már el tudom készíteni a végleges dizájnt.

12.1 Az elszívási teljesítmény meghatározása

Az elszívási teljesítményt a burkolat méreteihez képest kell megállapítani. A dolgozatnak nem célja áramlástani számítások végzése, mégis valamilyen módszerrel szükséges meghatározni a megfelelő elszívási teljesítményt. Mivel nem áll rendelkezésemre olyan adat, mely alapján a burkolaton belül, az elégséges füstelszíváshoz tartozó áramlási sebességet meg tudom állapítani, ezért egy saját módszert kellett találnom. Ismét piackutatást végeztem, és megvizsgáltam, hogy az egyes burkolat modellek a térfogatuk, és a ventilátoruk maximális térfogatárama alapján óránként mennyiszor cserélik ki a burkolatok levegőjét. Bevezettem egy mérőszámot, az óránkénti légcsereszámot, amely egyenlő a ventilátor térfogatáramának (Q), és a burkolat térfogatának (V) hányadosával.

$$\text{Óránkénti légcsereszám: } i = \frac{Q}{V}$$

$$\text{Mértékegysége: } \left[\frac{\frac{m^3}{h}}{m^3} \right] = \left[\frac{1}{h} \right] = \left[\frac{db}{h} \right]$$

A különböző termékek légcsereszámát a **12.1-1.** táblázat foglalja össze.

12.1-1. táblázat Óránkénti légcsereszámok

Termék megnevezése	Térfogatáram $Q \left[\frac{m^3}{h} \right]$	Térfogat $V [m^3]$	Óránkénti légcsereszám $i \left[\frac{db}{h} \right]$
Ortur Laser Master 3 enclosure kit (gyengébb elszívóval)	100	0,12	842
Ortur Laser Master 3 enclosure kit (erősebb elszívóval)	340	0,12	2833
Sculpfun burkolat	432	0,37	1167

A táblázatból látszik, hogy a piacon elérhető termékek milyen óránkénti légcsereszámokkal rendelkeznek. Látható, hogy nagyon nagy a különbség a legnagyobb és a legkisebb érték között. Egy kompromisszumos értéket választottam, mert az elszívó berendezés költségeit nem szeretném túlzott mértékben növelni. Így az óránkénti légcsereszám:

$$i = 1700 \frac{db}{h}$$

A burkolat térfogatát ki tudjuk számítani a korábbi fejezetekben meghatározott méretek segítségével, melyek a következők:

Hosszúság: $l = 1090 \text{ mm}$

Szélesség: $s = 630 \text{ mm}$

Magasság: $m = 300 \text{ mm}$

Ezekből a térfogat:

$$V = l * s * m = 1090 * 630 * 300 = 206,01 * 10^4 \text{ mm}^3 \approx 0,206 \text{ m}^3$$

Majd az elszívó térfogatárama:

$$Q = i * V = 1700 * 0,206 = 350,2 \frac{\text{m}^3}{h}$$

12.2 Ventilátor választása

Annak érdekében, hogy a ventilátor költségeit minél alacsonyabban tartsam, miközben a jó minőséget is figyelembe veszem, egy nagyon erős ventilátor helyett két kisebb teljesítményű ventilátort alkalmazok. A legolcsóbb, minimum a szükséges teljesítménnyel, és hosszú élettartammal rendelkező ventilátor ára közel 22.000 Ft, míg két darab fele ekkora teljesítményű, de szintén jó minőségű ventilátor összköltsége kevesebb mint 10.000 Ft. Ráadásul két ventilátor alkalmazása a burkolat két különböző, egymástól távoli pontján a füstelszívás szempontjából is kedvezőbb lehet, például akkor, amikor az aktuális munkaterület valamelyik hátsó sarokba koncentrálódik. Illetve alapanyag, és paraméterfüggő, hogy mikor mennyi füst keletkezik, így az operátor belátása szerint két fokozatban lehet állítani az elszívási teljesítményt.

A leírtak értelmében a kiválasztott ventilátor egy 120x120x25 mm befoglaló méretekkel rendelkező, 12 V tápfeszültségről működő, 5,4 W teljesítményfelvétellel rendelkező axiális ventilátor. Maximális térfogatárama $183,8 \frac{m^3}{h}$, maximális fordulatszáma pedig $3100 \frac{1}{min}$. (RS Components, 2023) A ventilátor hosszú élettartamáról mágnescsapágyak gondoskodnak. A termék a **12.2-1.** ábrán látható.



12.2-1. ábra Sunon axiális ventilátor (RS Components, 2023)

12.3 Rugalmas cső

Ahhoz, hogy az elszívott füst a szabadba távozzon, egy cső választása is szükséges. Egy flexibilis alumínium csövet választottam erre a feladatra, melynek átmérője 125 mm. A cső rögzítéséhez csőbilincseket alkalmazok. A cső a **12.3-1.** ábrán látható.

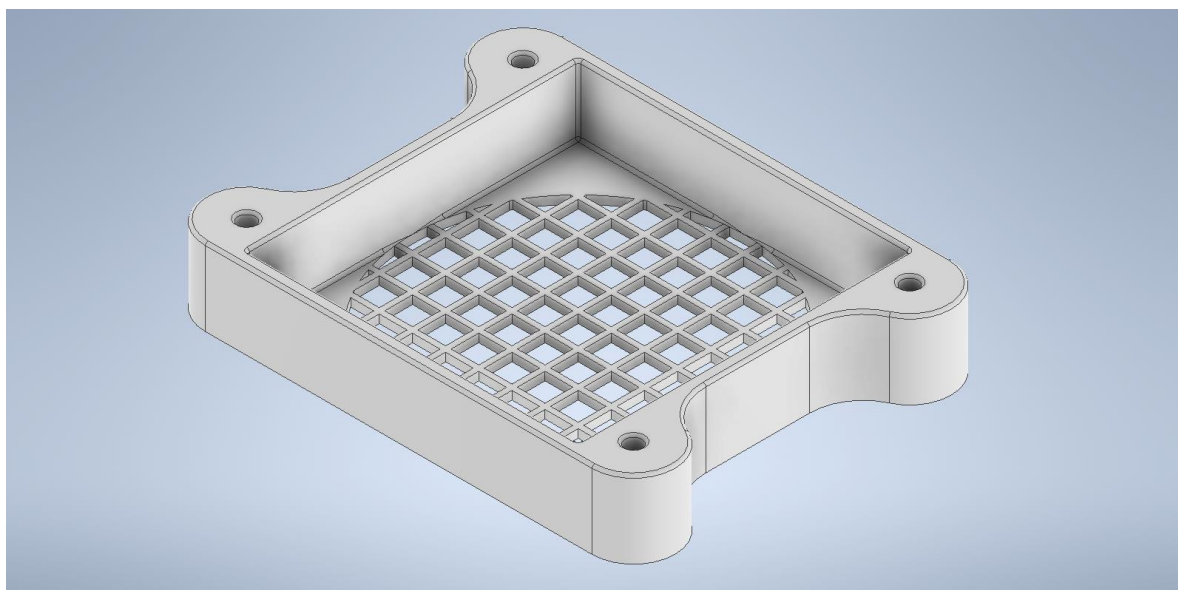


12.3-1. ábra Elszívó cső (Ventilatorom.hu, 2023)

12.4 Az elszívó berendezés háza

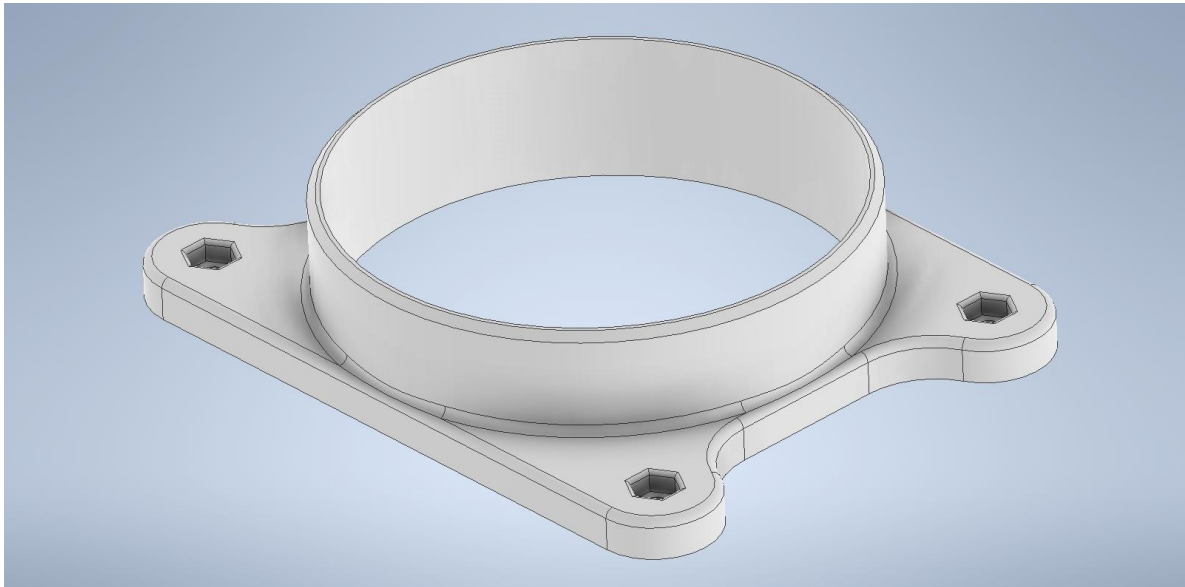
Miután csövet, és ventilátort választottam, elkezdhettem tervezni az elszívó berendezés házát, melynek lehetővé kell tennie a ventilátor befogadását, a csőnek csatlakozó felületet kell biztosítani, és ki kell alakítani rajta rögzítési pontokat, melyekkel a burkolathoz lehet erősíteni. A tervezéshez Autodesk Inventor Professional 2023 programot használtam hallgatói licenccel. A házat két részből készítettem el, hogy bele lehessen szerelni a ventilátort. Az elszívó berendezés háza additív, FDM technológiával készül, ennek megfelelően kellett megterveznem. A tervezési irányelvek a korábbi fejezetekben olvashatók. Anyaga PETG. A két különálló részt M6-os csavarok tartják össze, és rögzítik hozzá a burkolat felső elemeihez. A csavart konstrukciós megfontolásokról választottam, és a program beépített szabványos alkatrész-katalógusából hívtam elő.

Az elszívó alsó része a **12.4-1.** ábrán látható. Az alsó részen kialakított rácsozat az ujjak, és az esetlegesen felszívott nagyobb darabok ellen hivatott védelmet nyújtani.



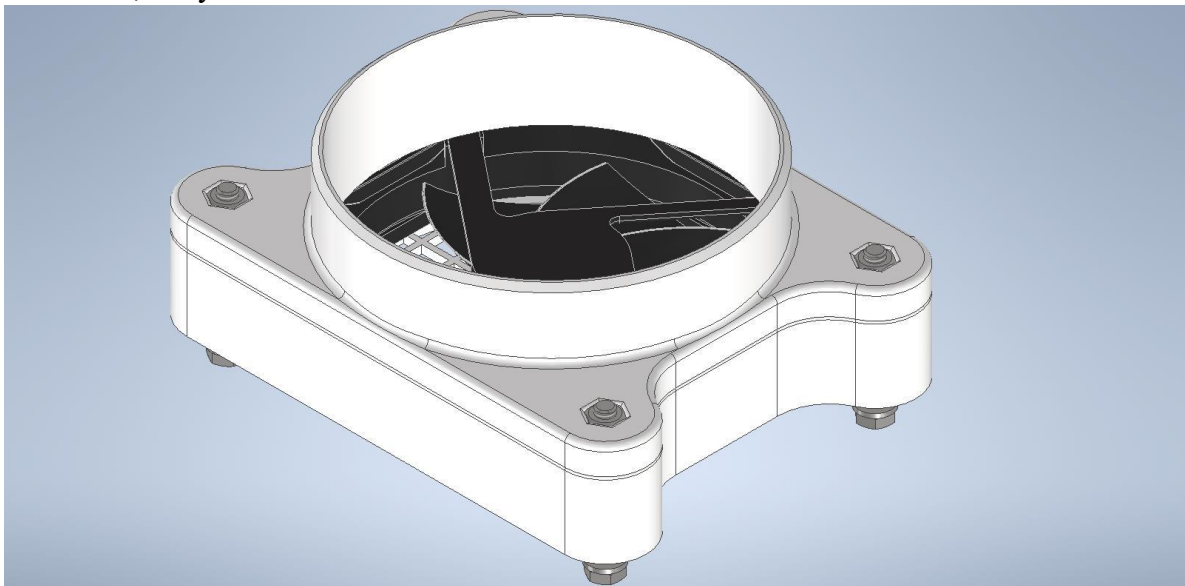
12.4-1. ábra Elszívó alj

Az elszívó felső része pedig a **12.4-2.** ábrán látható. A tetején kialakított függőleges palástfelület a füstöt kivezető cső csatlakozó felületeként szolgál. Az elszívó tetejébe süllyesztett csavaranyák biztosítják az anyamenetet. 3D nyomtatással is ki lehet alakítani menetet, de én inkább egy szilárdságilag előnyösebb megoldást választottam.

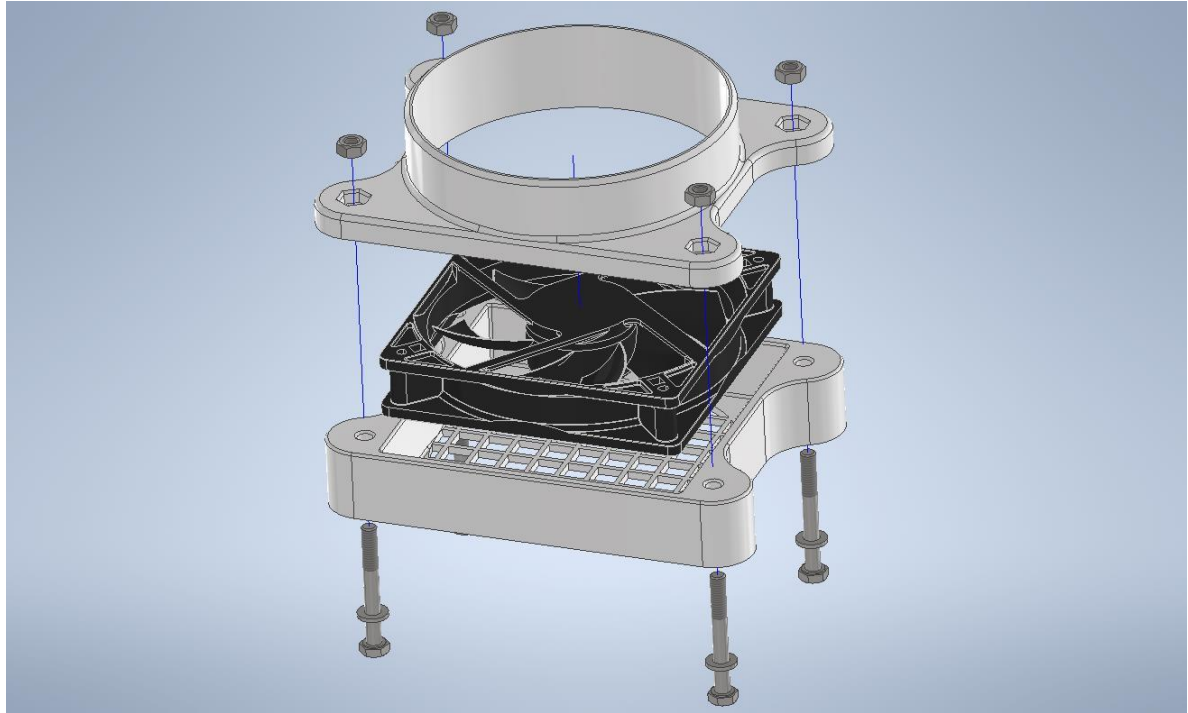


12.4-2. ábra Elszívó tető

A **12.4-3.** ábrán az elszívó összeállítási modellje látható, a **12.4-4.** ábrán pedig annak robbantott ábrája. Ezen látszik, hogy milyen alkatrészeket használtam fel. 4db szabványos M6-os hatlapfejű csavart, alátétet, anyát, illetve a ventilátort. Az elszívóról műszaki rajz is készült, mely a mellékletekben a **20-3.** ábrán látható.



12.4-3. ábra Elszívó összeállítás



12.4-4. ábra Elszívó robbantott ábrája

13 Dobozkötés paramétereinek kísérleti meghatározása

A burkolat elemeinek kötőelemek nélküli összekapcsolása érdekében meg kell határoznom, hogy milyen méretekkel készítem el a dobozkötés füleit. A kötéseknek szorosnak kell lenniük, de elég lazának is ahhoz, hogy a lapokat össze lehessen illeszteni a sok kapcsolódó felület által generált súrlódás ellenében is anélkül, hogy a lapok megrepednének, vagy eltörnének.

13.1 A lézervágó pontossága

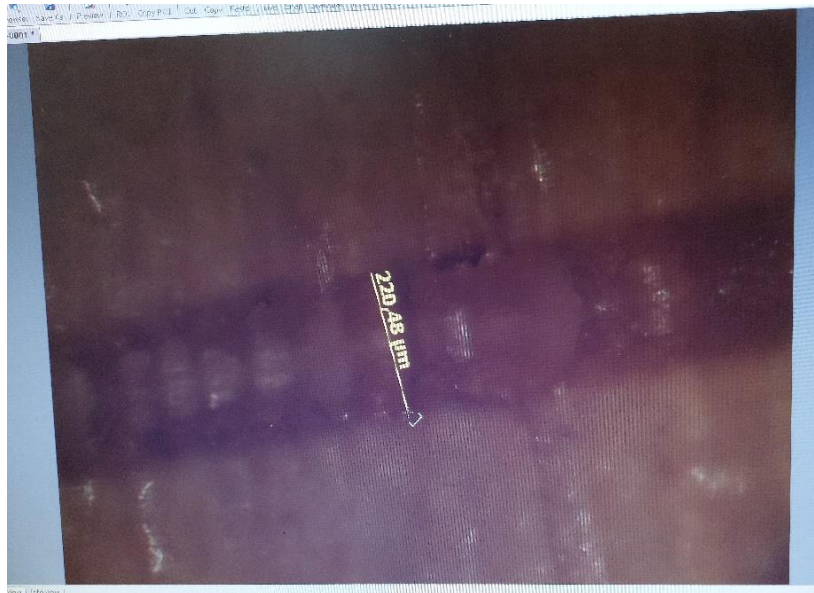
Mivel a dobozkötések méreteit nagyon pontosan kell tudni megmunkálni, ezért először meg kell vizsgálni a lézervágó pontosságát.

A lézervágó alapvető hibája abból adódik, hogy a kontúr mentén végigvezetett lézersugárnak is van vastagsága. Az így kialakuló vágási rés miatt a kivágott alkatrészek nem lesznek teljesen méretpontosak, azok valamennyivel kisebbek lesznek, mint amekkorára a tervező tervezte. A fejlettebb megmunkáló szoftverek és gépek képesek kompenzálni ezt a hibát, esetemben azonban ezzel számolni kell a tervezés során.

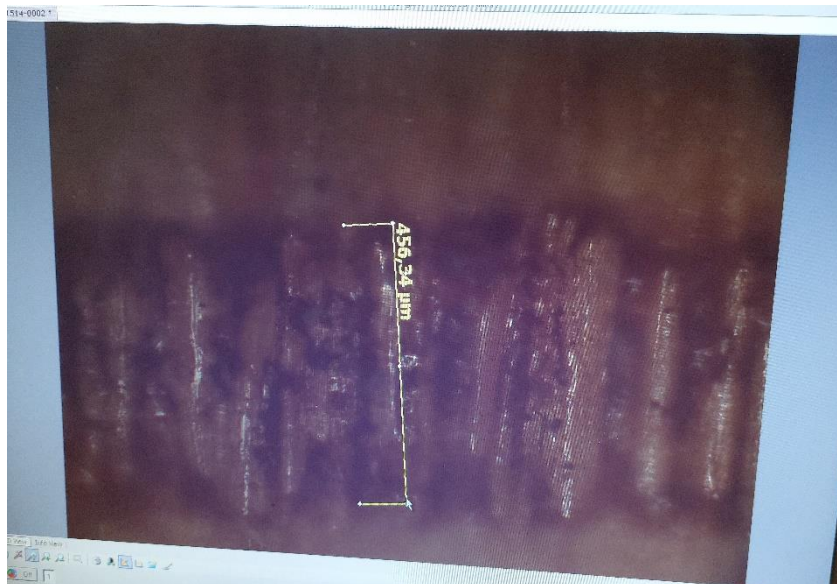
A lézervágó vágási rése a fókusztávolsággal is változik. Minél távolabb vagyunk a fókuszponttól, annál nagyobb átmérője van a lézersugárnak. Egy, a laborban végzett kísérlet alapján meghatároztam azt a felülettől való távolságot, ami esetén a legkisebb a nyaláb keresztmetszete. Ezt úgy hajtottam végre, hogy egy lapot helyeztem a lézermódul alá, melyet kissé bedöntöttem a lézermódul mozgási síkjához képest. Így amikor egy egyenes mentén végighaladtam a lézervágóval, változott a fókusztávolság, ezzel a nyaláb átmérője is. Ezután egy mikroszkóp segítségével meghatároztam a legkisebb keresztmetszetű sugárnyaláb átmérőjét. Ez az átmérő 13 mm-es felülettől mért lézermódul-távolságnál adódott. A **13.1-1.** képen látszik a próbadarab, ahol a piros kereszt jelöli a legkisebb nyalábátmérő helyét, a **13.1-2.** képen a mikroszkóppal mért fókuszponti nyalábátmérő, a **13.1-3.** ábrán pedig egy fókusztól távoli nyalábátmérő mikroszkópos mérése látható.



13.1-1. ábra A fókusztávolság meghatározása



13.1-2. ábra A fókuszban mért nyalábátmérő 0,220 mm



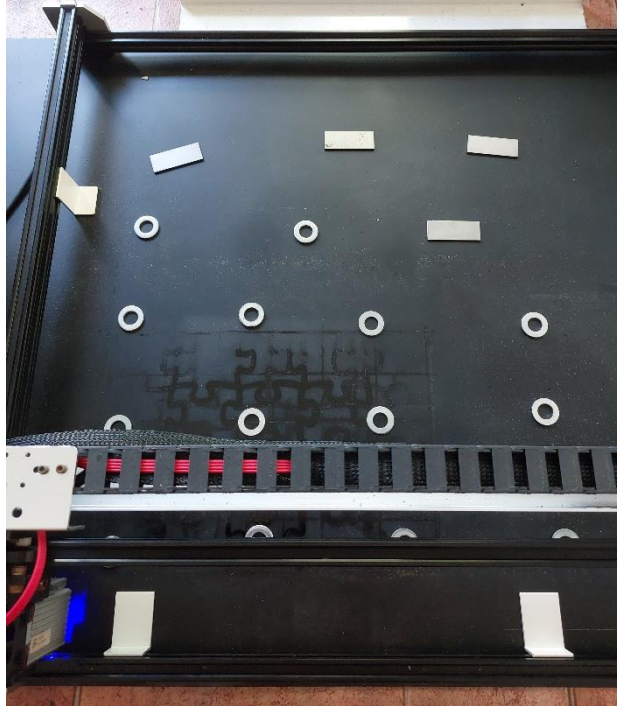
13.1-3. ábra Egy fókuszon kívüli ponton mért nyalábátmérő 0,456 mm

A **13.1-2.** ábrán látszik, hogy a fókuszpontban mért nyalábátmérő $220 \mu\text{m}$, azaz 0,22 mm. Ez azt jelenti, hogy a kivágott alkatrész kontúrja 0,11 mm-el lesz arrébb a vágás alapját képező fájlban meghatározott kontúrhoz képest.

A lézervágó vágási szélességének hibájához hozzáadódik még a gép pontatlansága, és a kiindulási fájlok gépi kóddá alakításakor keletkező esetleges pontatlanságok. Továbbá a vágási szélesség erőteljesen paraméterfüggő, ezért szükség van vágási kísérletek elvégzésére, amelyben meghatározható, hogy az adott anyagot adott vágási paraméterek mellett milyen hibájú kontúrral vágja ki a gép.

13.2 Előkészületek

Mielőtt elkezdhettem volna a paraméterkísérletet, elő kellett készíteni a lézervágót a vágáshoz. Először is csatlakoztattam a számítógépet az eszközhöz. Ezután a **13.2-1.** ábrán látható módon alátéteket helyeztem a rétegelt lemez alá, hogy megvédjem a gép alatt található gumilapot a fa nedvességének beégésétől. Ezután elhelyeztem a keret és a lap megfelelő illesztéséhez szükséges L-profilú hajlított lemezeket. Majd behelyeztem a **13.2-2.** ábrán látható módon egy nyárfából készült rétegelt lemez darabot.



13.2-1. ábra A látétek elhelyezése



13.2-2. ábra A lap elhelyezése

Majd a **13.2-3.** képen látható módon, egy csavar meglazításának segítségével mérőhasábokkal beállítottam a korábban meghatározott 13 mm felülettől mért fókusztávolságot.

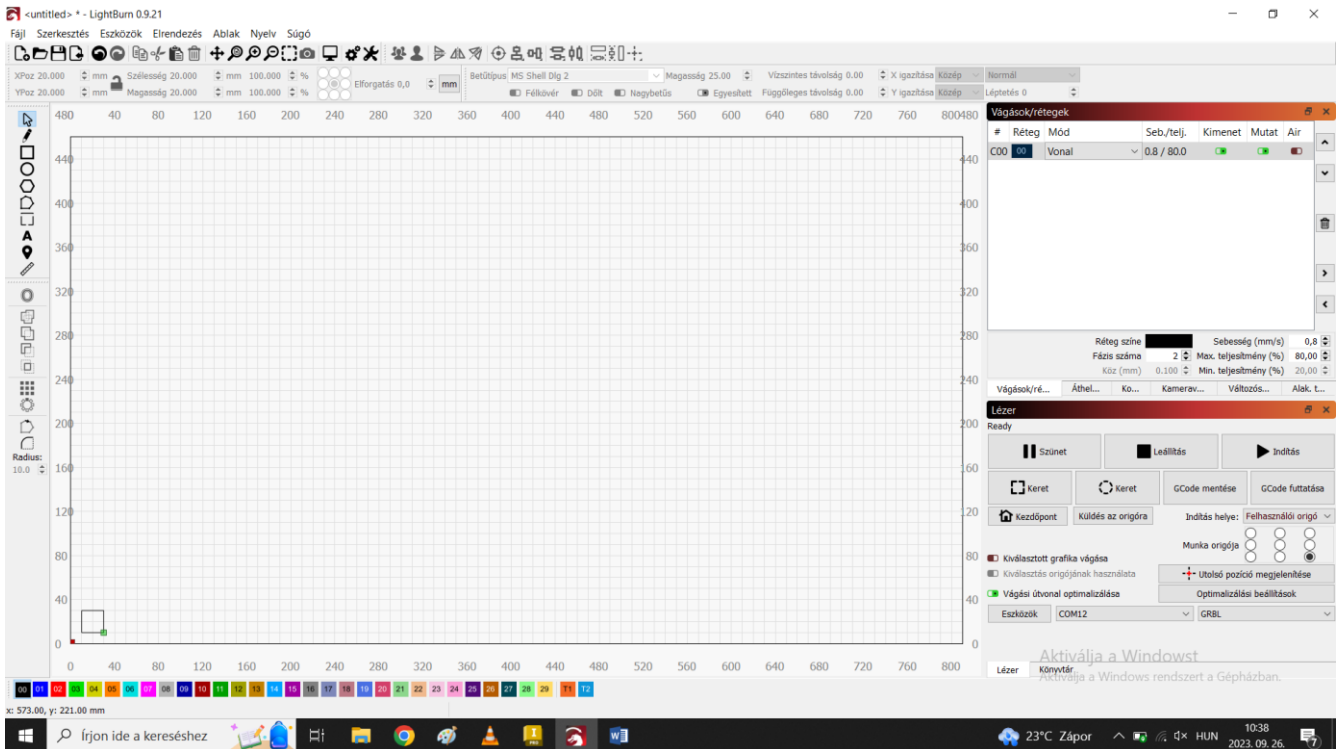


13.2-3. ábra Fókusz beállítása

Ezzel befejeződtek az előkészületek, elkezdhettem a vágási paraméterek kikísérletezését.

13.3 Vágási paraméterek kikísérletezése

A lézervágó beállítása után elkezdhettem a vágási paraméterek kikísérletezését. Ebben a lépésben egy olyan beállítás keresése volt, ahol a lézervágó a lehető legkisebb hibával, azaz legkisebb vágási réssel vágja ki a rétegelt lemezt. Ehhez egy mérődarabot készítettem Autodesk Inventor Professional 2023 segítségével, mely egy 20x20 mm-es négyzet volt. A modell kontúrjainak .dxf kiterjesztésű fájlba konvertálása, és a Lightburn programba importálás után megadtam a Lightburn program számára a kezdeti paramétereiket. Az első vágási parancs kiadása előtti állapot a programban a munkatérbe helyezett mérődarab kontúrral a **13.3-1.** ábrán látható.



13.3-1. ábra A Lightburn program kezelőfelülete a munkatérbe helyezett mérődarabbal, és az első vágás beállított paramétereivel



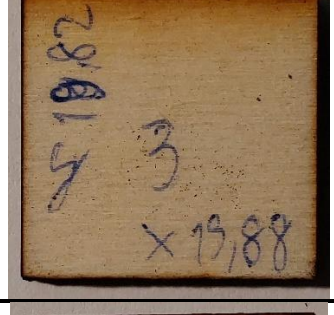

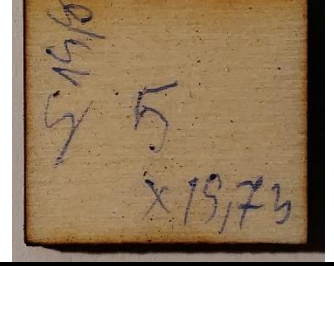
Ezután elindítottam a vágást. Ezt egymás után ötször végeztem el, és minden egyes beállításváltoztatás után tolómérővel lemértem az adott kivágott négyzet oldalainak hosszúságát, ahogyan a **13.3-2. ábrán** is látható.



13.3-2. ábra Próbadarab mérése tolómérővel

A különböző paraméterekhez tartozó eredményeket a **13.3-1. táblázat** tartalmazza.

13.3-2. táblázat A vágási paraméterkísérlet eredménye

Paraméterkísérlet							
No.	Teljesítmény [%]	Sebesség [mm/s]	Menetek száma [db]	X irány [mm]	Y irány [mm]	Vágás minősége	Kép
1	80	0,8	2	19,86	19,9	Rossz felületi minőség, néhol nem vágta át a lapot	
2	80	0,5	2	19,81	19,85	Egyenletes, szép felület, néhol nem vágta át a lapot	
3	90	0,5	2	19,88	19,82	Szép felület, teljesen átvágta a lapot	
4	90	0,8	2	19,9	19,84	Szép felület, teljesen átvágta a lapot	
5	90	1	2	19,73	19,85	Szép felület, teljesen átvágta a lapot	

A kísérlet eredményeképpen a 4. kísérlet beállított paraméterei voltak a legmegfelelőbbek, ezen beállításokat alkalmazom a további kísérleteim során.

13.4 Kontúr kompenzációs kísérlet

Ahhoz, hogy meg tudjam határozni, hogy mennyivel kell kompenzálni az adott kontúrokat, annak érdekében, hogy a CAD modellben meghatározott 20x20 mm-es méreteket minél nagyobb pontossággal meg tudjam valósítani, ismét kísérleteket végeztem. A CAD modellem 20x20 mm-es méretét módosítottam a modellben addig, amíg meg nem találtam azt a CAD modellben meghatározott méretet, amely a valóságban 20x20 mm-es négyzetet ad. A kísérletek során az előző kísérlet eredményeképpen megállapított paraméterekkel dolgoztam. Minden vágás után tolómérővel mértem le a próbadarabok oldalait. Az eredményeket a **13.4-1.** táblázat tartalmazza.

13.4-1. táblázat A kompenzációs kísérlet eredménye

Kompenzációs kísérlet				
No.	Kompenzáció mm	X irány mm	Y irány mm	Kép
I	20+0,07	19,91	19,89	
II	20+0,1	19,94	19,9	
III	20+0,15	20,24	20,06	
IV	20+0,13	19,98	19,99	

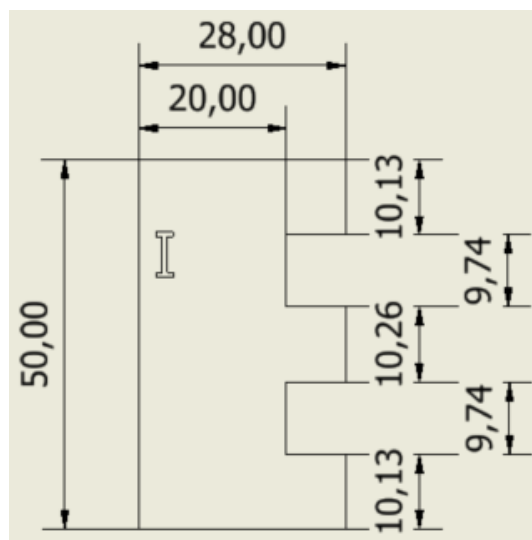
A kompenzációs kísérlet alapján egyértelműen megállapítható, hogy a IV. próbálkozás kielégítően pontos eredményt nyújtott, így a továbbiakban ezt a 0,13 mm-es kompenzációs értéket fogom használni.

13.5 Illesztési kísérlet

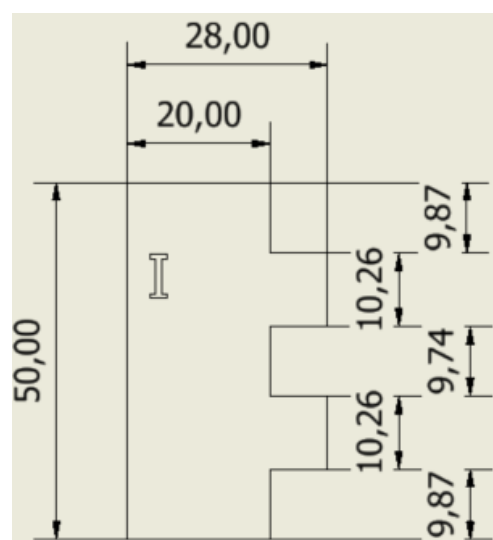
Miután meghatároztam a vágási paramétereket, és a 0,13 mm-es kompenzációs értéket, elkezdhettem azzal kísérletezni, hogy az egyes lapok dobozkötései milyen átfedéssel kapcsolódjanak. A fő kiválasztási szempont, hogy kellően stabil legyen a kötés, ugyanakkor ne is legyen túl szoros, mert a burkolatot felépítő lapok élei mentén akár 40-50 súrlódó felülepár is megtalálható lesz majd, és ha a kötés túl szoros, akkor nehéz lesz összeszerelni a burkolatot, és akár törések vagy repedések is keletkezhetnek.

Ehhez a kísérlethez is készítettem próbadarabokat az Inventor segítségével. Négy darab súrlódó felülepárt tartalmaz, és egy próbadarab két 4 mm-es rétegből épül fel, akárcsak a leendő burkolat falai. A kapcsolódó fülek alapterete 8x10 mm. Ez a méret elegendő súrlódó felülepárt fog eredményezni egy-egy él mentén.

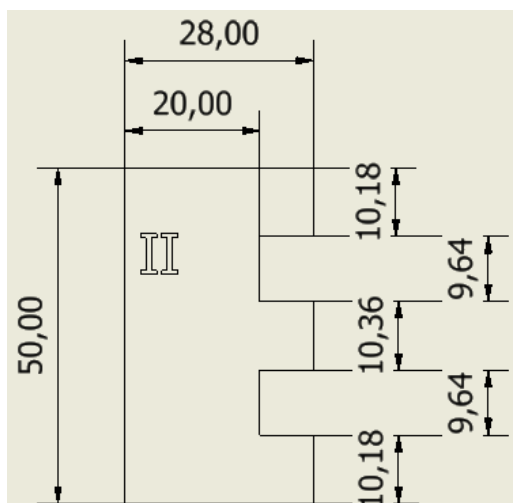
Kétféle módosítási értékkel kísérleteztem. Az első (I) kísérletben kompenzáltam a lézervágó hibáját, hogy átfedés ne keletkezzen az alkatrészek között. A második (II) kísérletnél azonban 0,05 mm átfedést adtam a kapcsolódásoknak. A próbadarabok rajzai a **13.5-1.** **13.5-2.** és a **13.5-3.** **13.5-4.** ábrákon láthatók a megfelelő római számokkal jelölve. Ezeken a rajzokon a kapcsolódási fülek módosított értékei láthatóak.



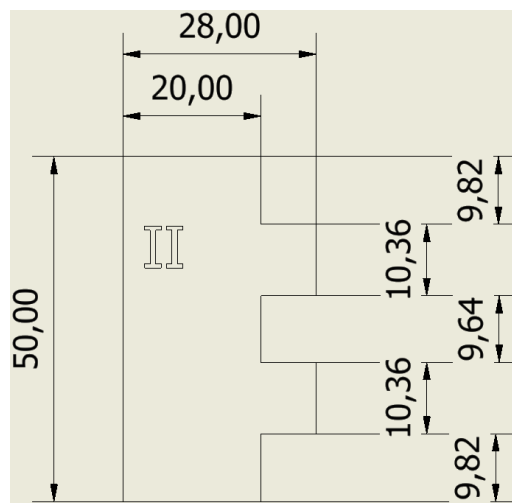
13.5-1. ábra I kísérlet "E" alak



13.5-2. ábra I kísérlet "F" darab



13.5-3. ábra II kísérlet "E" darab



13.5-4. ábra II kísérlet "F" darab

Az eredmények a következőképpen alakultak. Az első kísérlet a várakozásoknak megfelelően közel 0 mm átfedést eredményezett. Az összeszerelésük nem túl nehézkes, ugyanakkor viszonylag jó tartást ad a kötés.

A második kísérlet esetében sokkal nehezebb volt az összeszerelés, viszont cserébe a kötés nagyon szoros, és kiváló tartást ad.

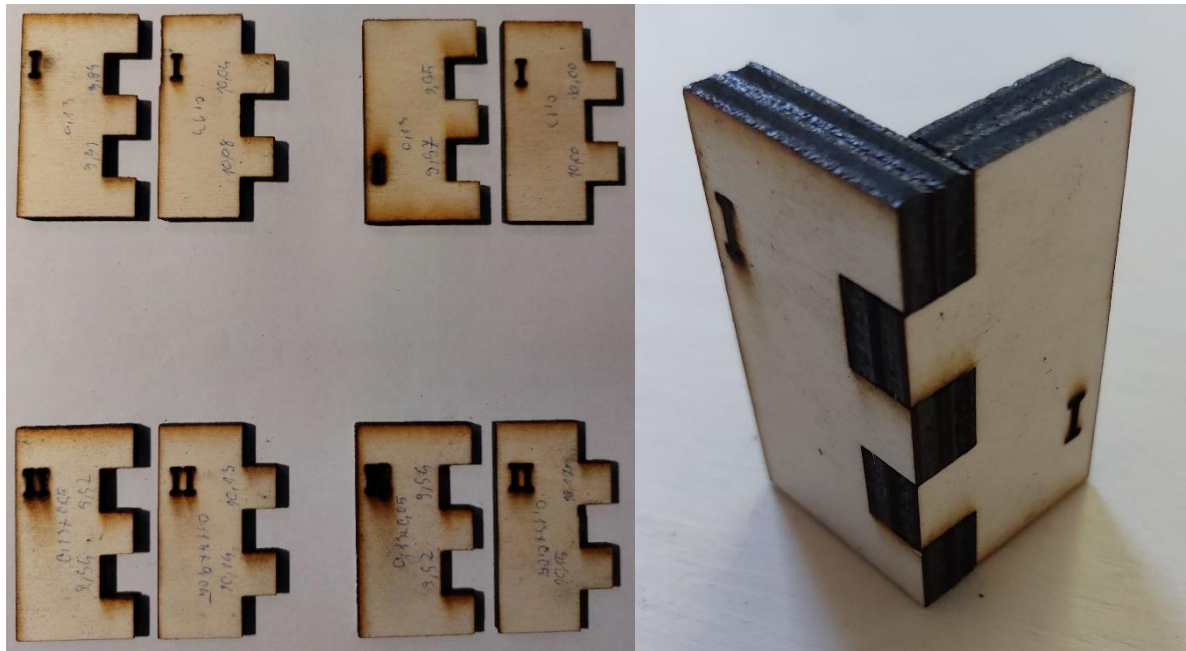
Összességében azonban az első kísérlet illesztéseit választom, mivel az teljes mértékben teljesíti a kötéssel szemben támasztott követelményeket. A kötésnek jól kell tartania, de nem szabad túl szorosnak sem lennie, hiszen egy lap éle mentén sok kapcsolófül lesz, és a túl nagy átfedés szükségtelen feszültségeket okozhat, mely összeszerelésnél az anyag töréséhez, vagy repedéséhez vezethet.

A kísérlet eredményét a **13.5-1.** táblázat foglalja össze.

13.5-1. táblázat Az illesztési kísérlet eredménye

Illesztési kísérlet					
No.	Próbatest	"E" alak		"F" alak	
		1. méret [mm]	2. méret [mm]	1. méret [mm]	2. méret [mm]
I	1	9,84	9,91	10,04	10,08
	2	9,97	9,95	10,00	10,00
II	1	9,92	9,94	10,13	10,14
	2	9,92	9,94	10,17	10,15

A kivágott darabok pedig a **13.5-5.** ábrán láthatóak.



13.5-5. ábra Az illesztési kísérlet kivágott darabjai egyesével (bal) és összeillesztve (jobb)

13.6 A kísérletek eredményének összefoglalása

A kísérletek eredményei tehát a következők:

A vágási paraméterek:

- Teljesítmény: 90%
- Előtoló sebesség: 0,8 mm/s
- Menetek száma: 2 db

A kompenzációs érték: 0,13 mm

Az illesztési átfedés: 0 mm.

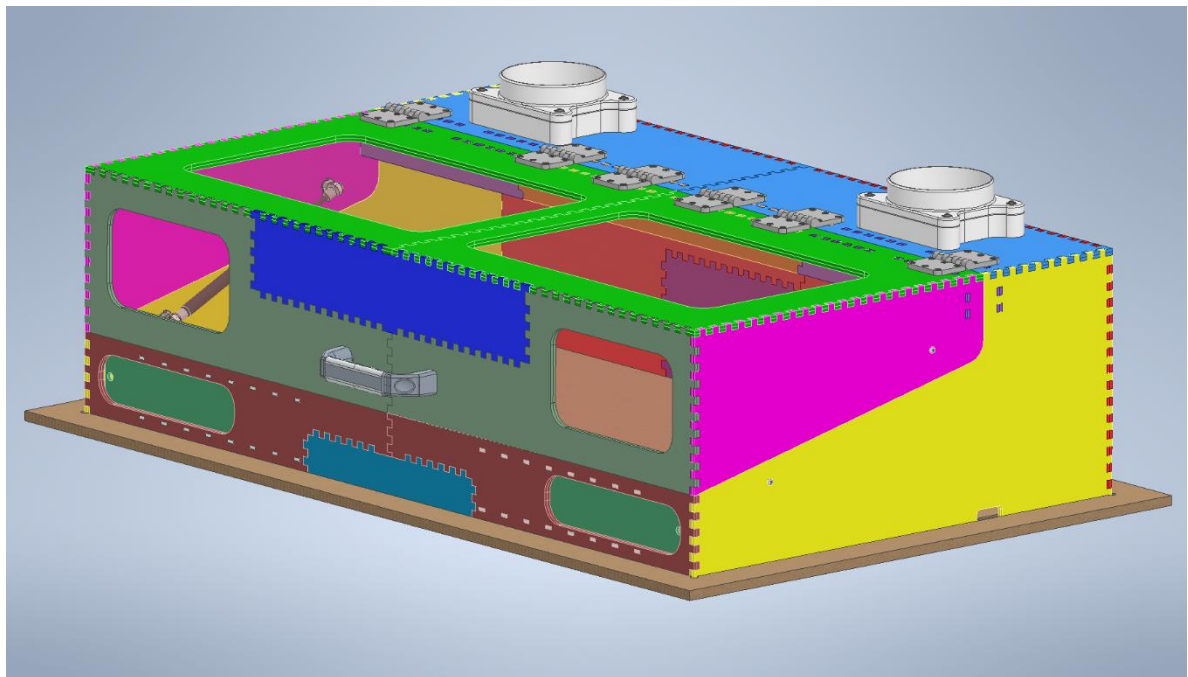
14 A végleges konstrukció bemutatása

Az előző fejezetekben meghatározott peremfeltételek, illesztések, előzetes konstrukciók, és az elszívó berendezés bemutatása után megtervezhettem a végleges konstrukciót.

14.1 Áttekintés

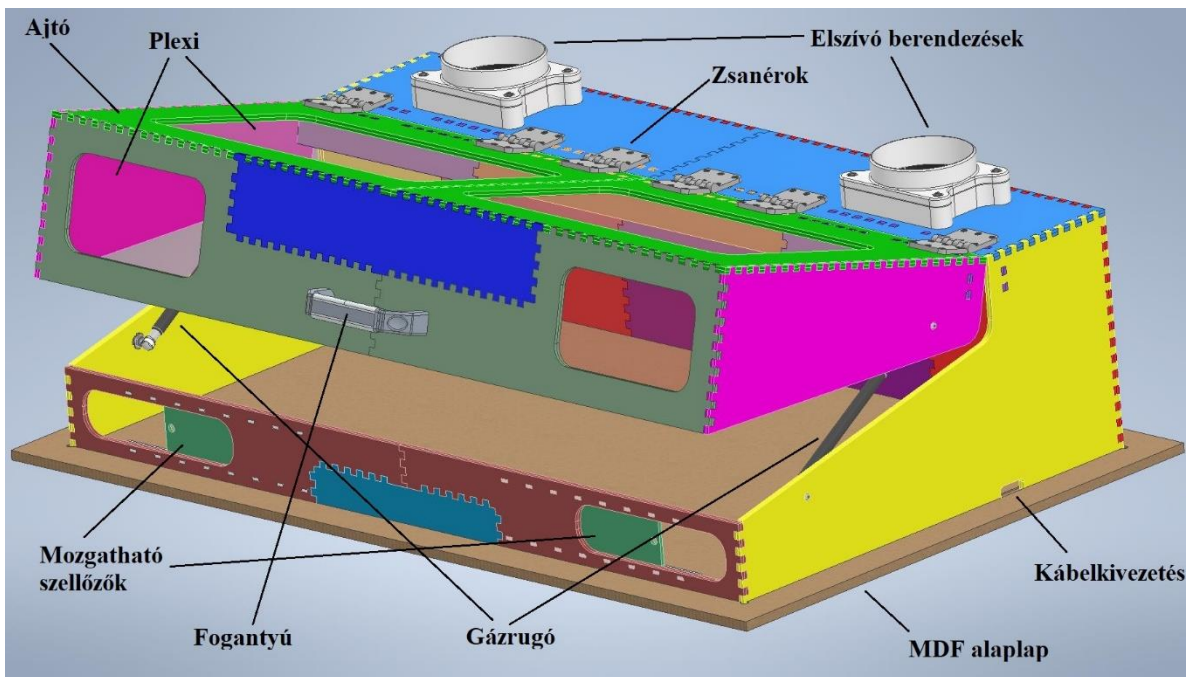
A lapokat különböző színekkel láttam el annak érdekében, hogy jobban lehessen látni a dobozkötéseket, és azt is, hogy milyen formájú lapokból épül fel a modell. A tervezéshez Autodesk Inventor Professional 2023 programot használtam hallgatói licenccel. A burkolat falait képző lapokat egyesével terveztem meg, azokról alkatrészmodellek készültek. Miután az alkatrészmodellek elkészültek, egy összeállítási modellben különböző kényszereket használva egyesítettem az alkatrészeket, így létrehozva a végleges modellt. A modell a **14.1-1.** ábrán látható. A modelltől összeállítási rajzok a mellékletekben a **20-1.** és **20-2.** ábrákon láthatók.

A burkolat tervezésekor törekedtem az egyszerűsége, ugyanakkor az elemeket igyekeztem úgy kialakítani, hogy a lehető legstabilabb legyen a burkolat. Törekedtem a minőségre, és a könnyű, biztonságos használatra, ezért gázrugókat, és gumi bevonatú fogantyút is alkalmaztam.



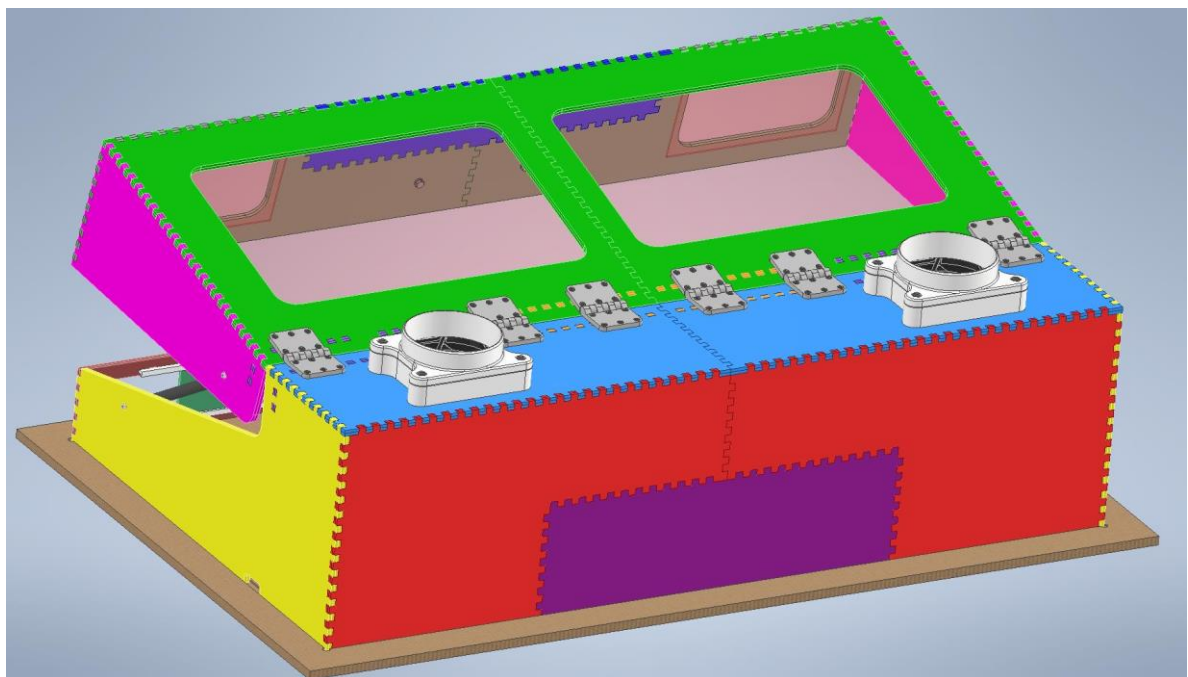
14.1-2. ábra A végleges konstrukció

A burkolaton található főbb részeket a **14.1-2.** ábra mutatja be.



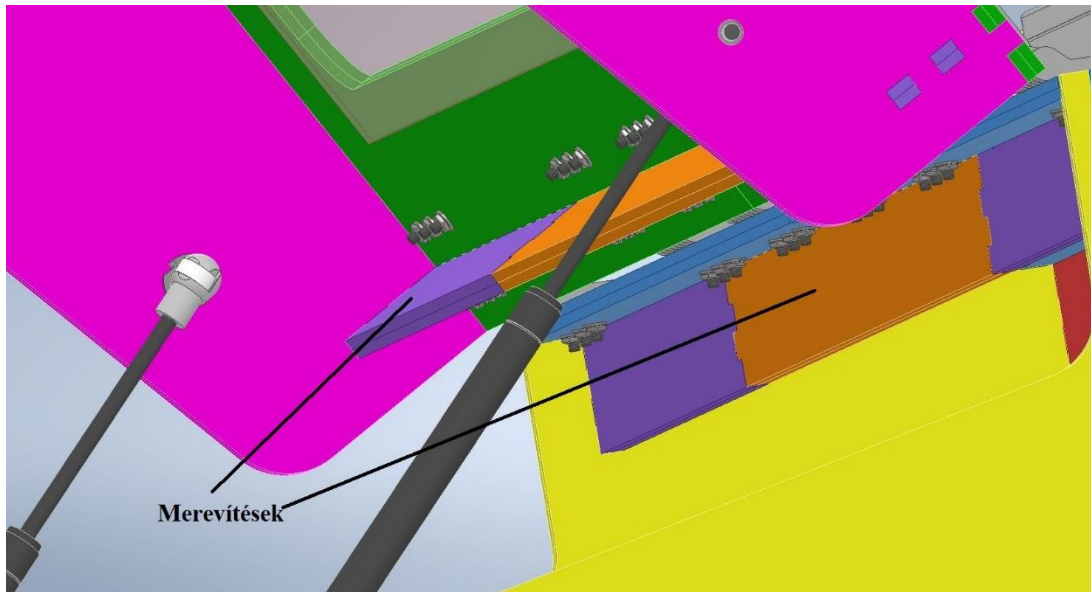
14.1-2. ábra A burkolat főbb elemei

A burkolat hátulról a **14.1-3.** ábrán látható.



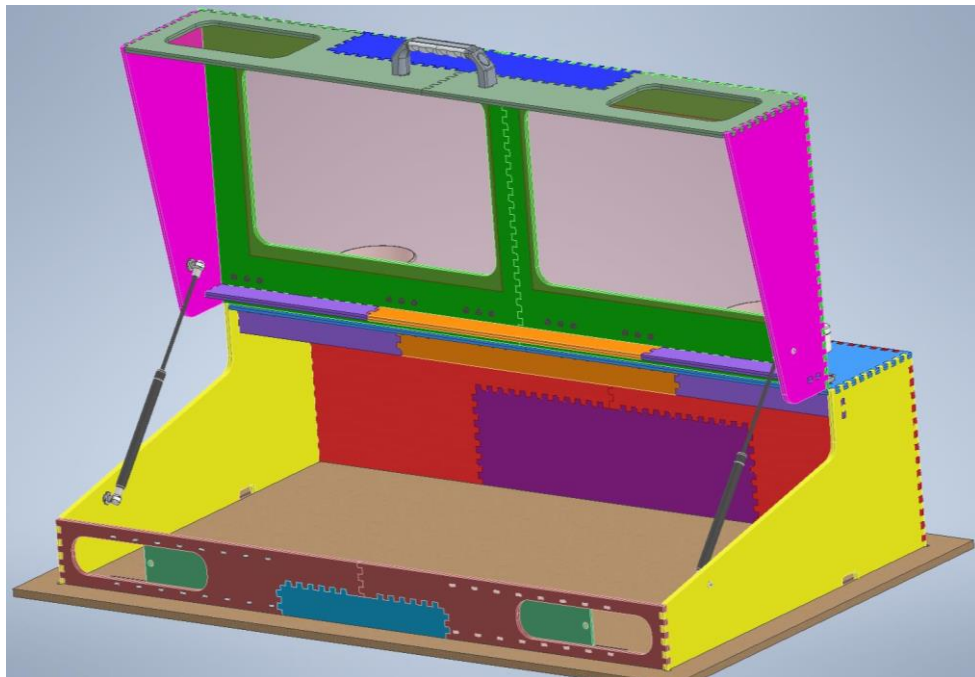
14.1-3. ábra A burkolat hátulról

A burkolat kellő merevsége érdekében a zsanérok alatt merevítő elemeket alkalmaztam. Ezek meggátolják a burkolat tetejének túlzott behajlását a nyitáskor, mely a szerkezet stabilitásvesztéséhez vezethet. A merevítések a **14.1-4.** ábrán láthatóak.



14.1-4. ábra Merevítések

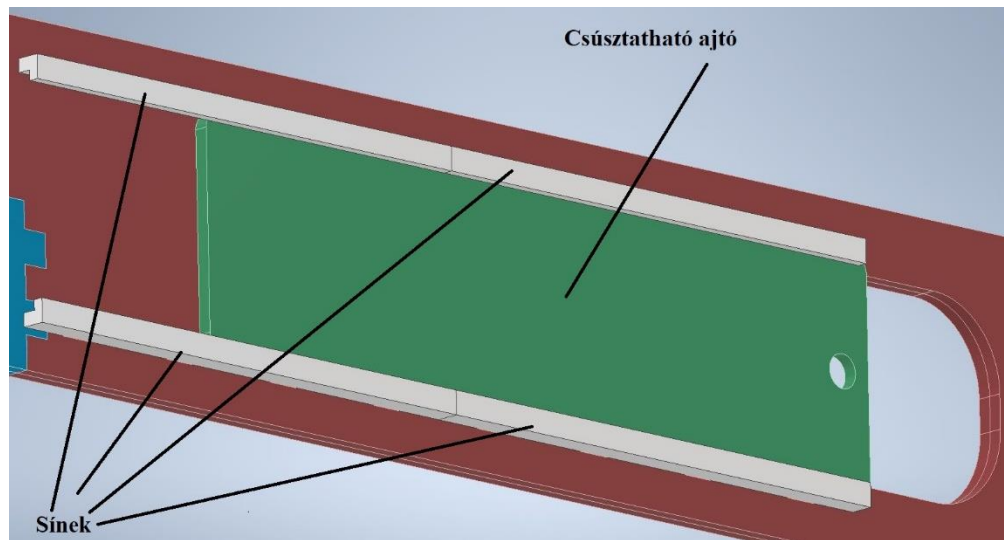
A burkolat ajtaja 90°-ban nyitható, ahogyan a **14.1-5.** ábrán is látható, amely lehetővé teszi a munkatérhez történő kiváló hozzáférést. Az ajtót a függőleges helyzetében gázrugók tartják meg.



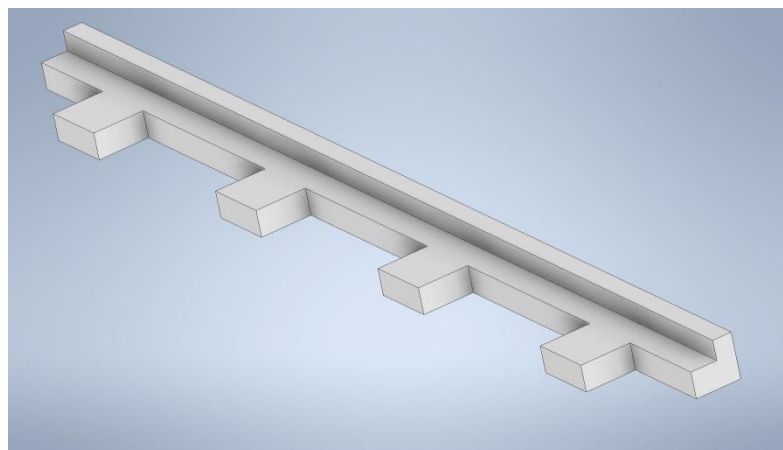
14.1-5. ábra A burkolat nyitott állapotban

14.2 Szellőzők

A burkolat elején található szellőző nyílásokon is kialakítottam csúsztatható ajtókat, melyek sínjei is 3D nyomtatással készülnek majd. A sínek egyediek, és ugyanúgy dobozkötéssel kapcsolódnak a burkolathoz. A szellőzők keresztmetszete azért állítható, hogy ha a vágási terület közel esik a szellőzőhöz, akkor a szellőző keresztmetszetének csökkentésével meg lehet növelni a lokális áramlási sebességet, emiatt a füst nem tud kiáramolni a szellőzőkön keresztül a burkolatból. Ez a funkció akkor is hasznos, ha csak az egyik ventilátort működteti az operátor, illetve így a burkolatban lehet az áramlás irányát is befolyásolni. Például ha a működő ventilátorral átellenben lévő szellőző ajtaját nyitjuk, a másikat pedig zárjuk, a burkolatban keresztirányú áramlás alakul ki. Az ajtót a rajta lévő furat segítségével lehet mozgatni. A szellőzőről részletesebb kép a **14.2-1.** ábrán látható.



14.2-1. ábra Szellőző



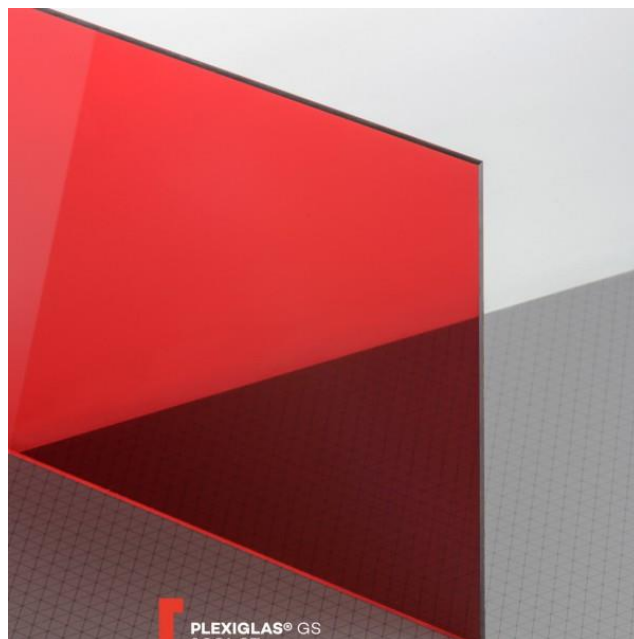
14.2-2. ábra Szellőző egy sínje

A szellőző egy sínjét pedig a **14.2-2.** ábra illusztrálja. Egy szellőzőhöz négy sínt használtam fel, mivel az alsó és a felső síneket 2 darabból kellett elkészítenem, különben nem

fért volna bele a 3D nyomtató munkaterébe. A szellőző rajza a mellékletek **20-5.** ábráján látható.

14.3 Betekintő nyílások

A burkolaton nagy betekintő nyílások találhatóak, melyek lehetővé teszik a vágási vagy gravírozási folyamatok felügyeletét. A nyílásokat borító átlátszó anyag célszerűen lézervédett akril lap, ám ezek kimondottan drága anyagok, így be lehet borítani a kék fényű lézer esetén pirosra színezett plexi lapokkal. Azonban ezek a lapok nem adnak kellő védelmet a szemnek, ezért a vágás közben célszerű lézervédett szemüveget viselni. A lézervédett szemüveg része a lézervágó berendezésnek, meglévő eszköznek számít, így annak kiválasztásával nem foglalkozok. Egy lézervédett akril lapot a 8. fejezet **14-1.** ábrája illusztrál, egy lehetséges plexi lapot pedig a **14.3-1.** ábra mutatja be.

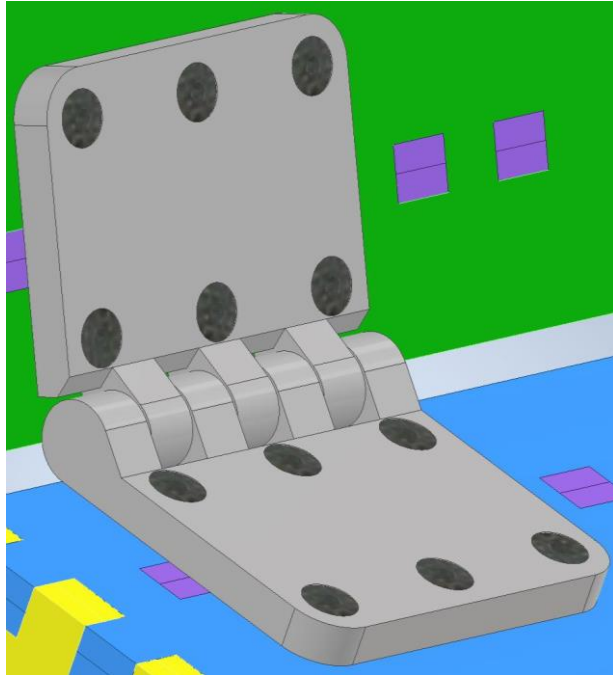


14.3-1. ábra Színezett plexi lap (Muanyag.hu, 2023)

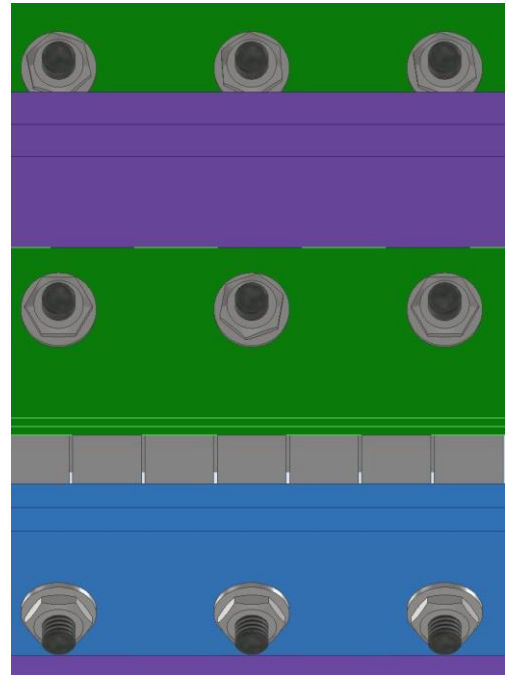
14.4 Zsanérok

A burkolathoz hat darab, 3D nyomtatásra alkalmas zsanért használtam fel, melyet az Ultimaker Thingsiverse-ről (Gosling, 2017) töltöttem le. Egy parametrikus konfigurálást lehetővé tevő modul segítségével konfiguráltam a számomra legmegfelelőbb zsanért. Mindegyik zsanér 6 db süllyesztett átmenő furatot tartalmaz, a zsanérokat pedig süllyesztett fejű, belső kulcsnyílású, M4-es csavarokkal, alátétekkel, és anyacsavarokkal rögzítettem a

burkolathoz. Az alkatrész nem szerelhető, a két részt egyben kell kinyomtatni. A zsanér beépítve a **14.4-1.** ábrán, rögzítése pedig a **14.4-2.** ábrán látható. Műszaki rajz a mellékletekben a **20-4.** ábrán található meg.



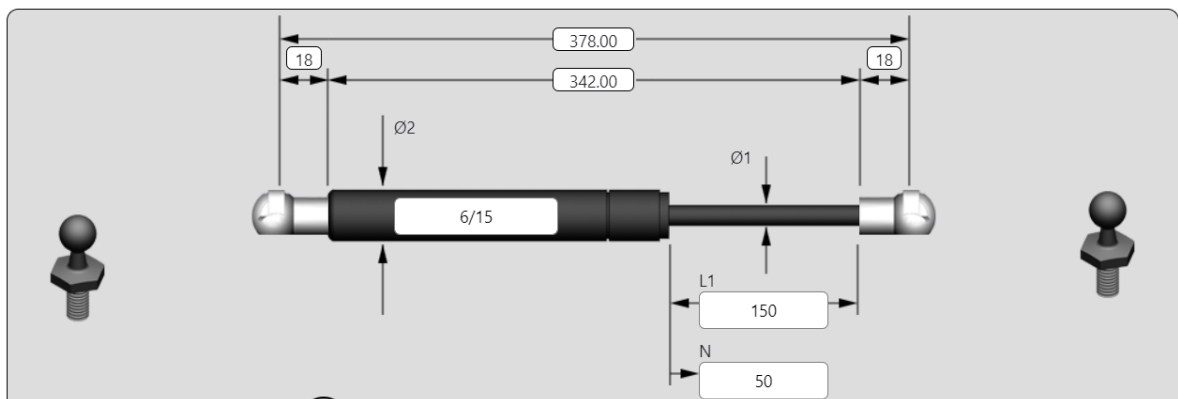
14.4-1. ábra Zsanér



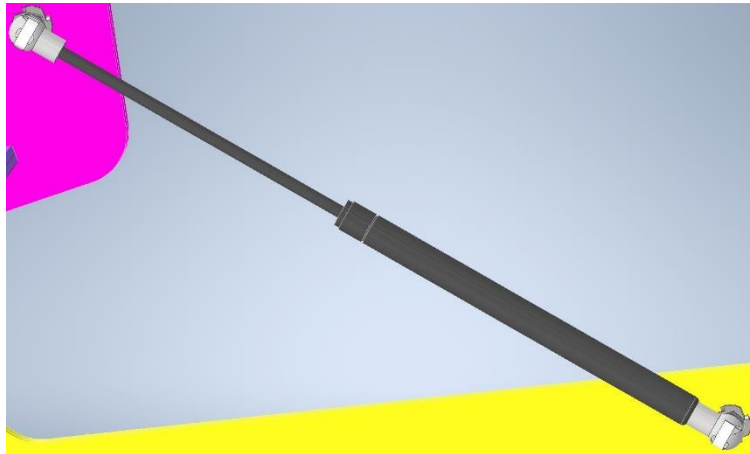
14.4-2. ábra zsanér rögzítése

14.5 Gázrugók

A burkolat könnyebb nyitását, és nyitott pozícióban tartását két darab, 50 N maximális erőt kifejtő, és 150 mm lökettel rendelkező gázrugót választottam a Sodemann gázrugó-konfigurátora segítségével. A konfiguráció a **14.5-1.** ábrán látható, a beépített gázrugó pedig a **14.5-2.** ábrán. Vég szerelvényként gömbcsuklós kialakítást választottam.



14.5-1. ábra Gázrugó konfiguráció



14.5-2. ábra A gázrugó beépített állapotban

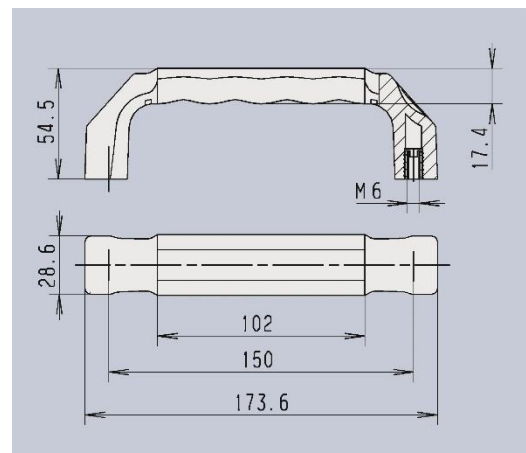


14.5-3. ábra Körmös anya M6x9 DIN 987 (Csavarlak.hu, 2023)

A burkolat falába a menetet egy DIN 987 szabvány szerinti, M6x9-es körmös anya biztosítja, melyet bele kell ütni a rétegelt lemezbe, az előre kialakított furatba. A körmös anya a **14.5-3. ábrán** látható.

14.6 Fogantyú

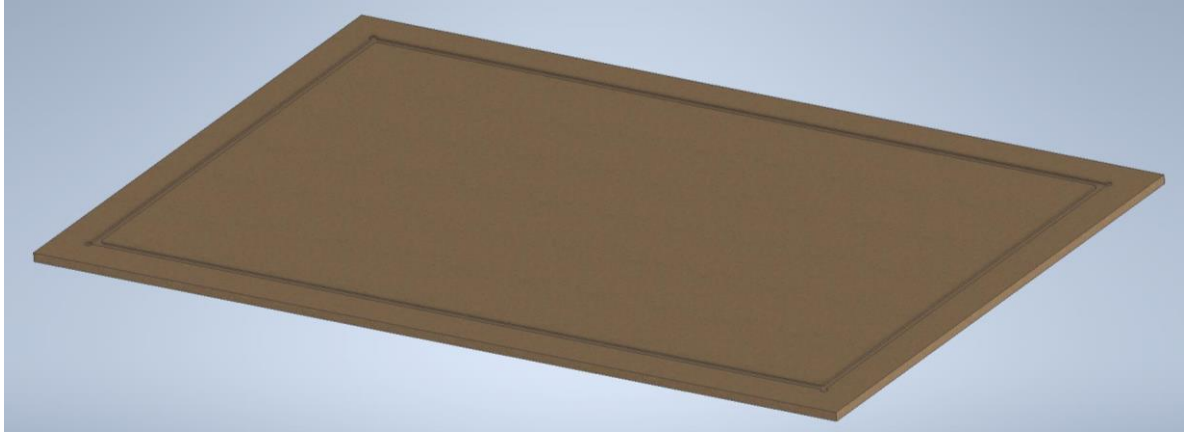
Fogantyú gyanánt egy gumival bevont markolatú műanyag fogantyút választottam. A rögzítését két DIN172 szabvány szerinti, 6 mm belső átmérőjű peremes fűrőpersely, két M6x25-ös hatlapfejű csavar, és két alátét segítségével oldottam meg. A peremes fűrőpersely biztosítja, hogy a fogantyúra ható erők ne bővítsék fel a rétegelt lemezbe vágott furatot, valamint stabil kötést biztosít a fogantyú és a burkolat között. A fogantyú a **14.6-1. ábrán** látható.



14.6-1. ábra Fogantyú (Mentor.de.com, 2023)

14.7 MDF alaplap

A burkolathoz terveztem egy alaplapot is, mely egy 750x1200 mm-esre vágott, 12 mm vastag MDF lap. Erre fekszik fel a lézervágó berendezés, és a vágandó munkadarabok is. Ez védi meg továbbá a burkolat, és a lézervágó helyeként szolgáló asztalt is a lézersugár behatásaitól. Az alapon található bemarás stabilitást ad a burkolatnak. Az alaplap, és a rajta található 10 mm széles, és 2 mm mély bemarás külső kontúrja 50 mm-re fekszik a lap szélétől. Az MDF lap a **14.7-1.** ábrán látható.



14.7-1. ábra MDF alaplap

15 Lemeztervek készítése

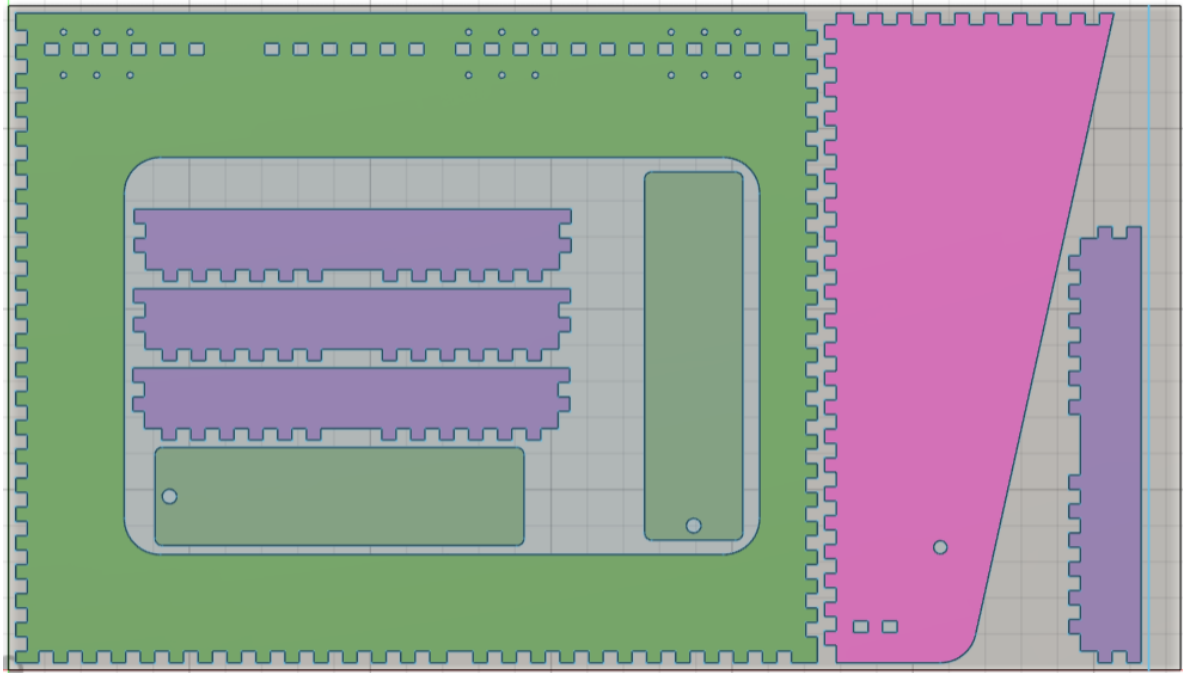
A burkolat elkészítése után elkezdhettem előkészíteni a lapok legyártását. Ehhez lemezterveket kellett készítenem, amelyek alapján a lézervágó a lehető legkevesebb veszteséggel tudja kivágni az alkatrészeket. Ehhez az Autodesk Fusion 360 Nesting&Fabrication bővítményét használtam hallgatói licenccel.

A programba először be kellett tölteni az összeállítási modellt. Ezután a program automatikusan felismerte, hogy milyen alkatrészekből áll a modell, és betöltötte azok geometriai méreteit. Ki kellett választanom, hogy mely alkatrészeket szeretném a lemeztervező bővítménybe bevinni, ezek számát is automatikusan felismerte a program. Majd beléphettem a Nesting&Fabrication bővítménybe.

Mielőtt a lemeztervezés parancsot kiadhattam volna, a programnak még szüksége volt néhány paraméterre. Be kellett állítani a gép munkaterületének megfelelő 810x460 mm-es területet, illetve hogy a munkaterület szélétől hány mm-re helyezhet el a program alkatrészeket, amit én 5 mm-re választottam. A számítási idő csökkentése érdekében egy-egy alkatrészt az eredeti pozíciójához képest csak 90, 180, vagy 270 fokkal engedtem elforgatni a programnak. Minél többféle szöveget megadok, annál precízebb, és jobb kihasználtságú lemezterveket lehet készíteni, ám azok nagyon erőforrásigényesek, és elkészítésük nagyon sok időbe is telik, ezért választottam csak ezt a három elforgatási lehetőséget. Továbbá ki kellett választani a lemeztervezési módszert. Van lehetőség a lap hosszának, vagy szélességének minél jobb kihasználására, és mindkettőre is. Én azt választottam, hogy mindkét irányban a legjobb kihasználtságra törekedjen a program.

Végül kiadtam a lemeztervezés parancsot. Ilyenkor a program kiszámítja, hogy mely elemeket hogyan, hova, és mely másik elemekkel együtt lehet a lapokra elhelyezni, hogy a lehető legkevesebb lap felhasználásával le lehessen gyártani az adott alkatrészeket.

A program szerint 14 db rétegelt lemezre lesz szükség a burkolat összes rétegelt lemezből készülő alkatrész legyártásához. A szoftver kiszámítja, hogy mennyire jó a lemezek kihasználtsága, amelynek átlagos értéke 62,2%. Ez az érték növelhető lenne, ha nem csak egy darab burkolatot készítenék el, hanem tegyük fel, hogy a burkolat sorozatgyártásba kerülne. Egy ilyen lemezterv a program munkaterén a **15-1.** ábra szerint alakult.

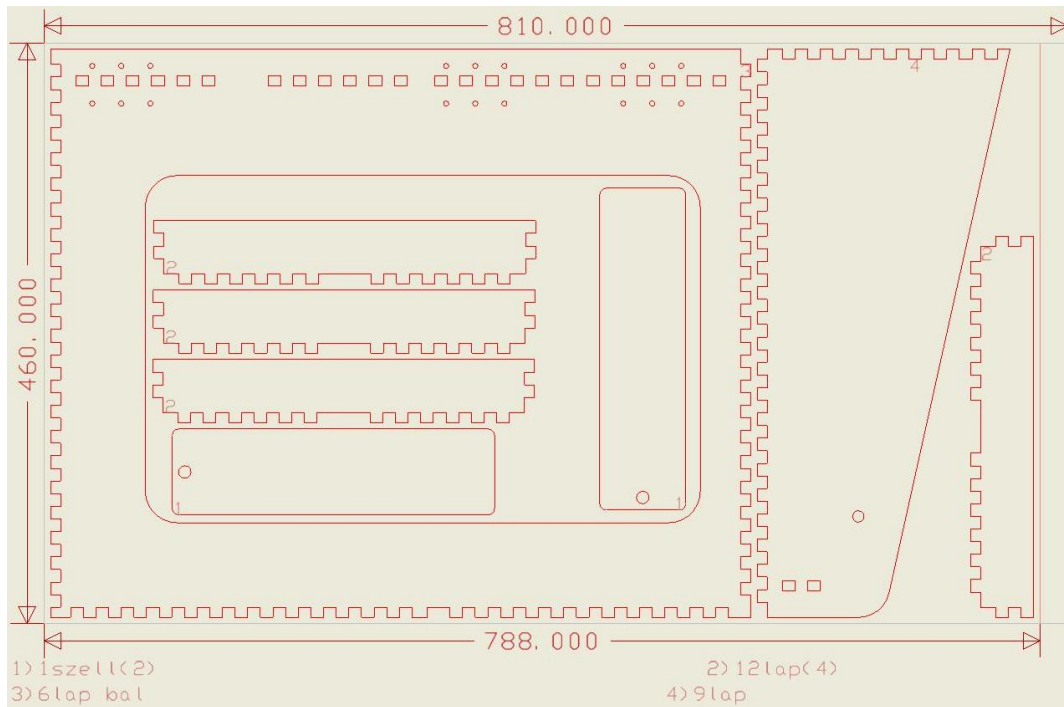


15-1. ábra Egy lemezterv a program munkaterületében

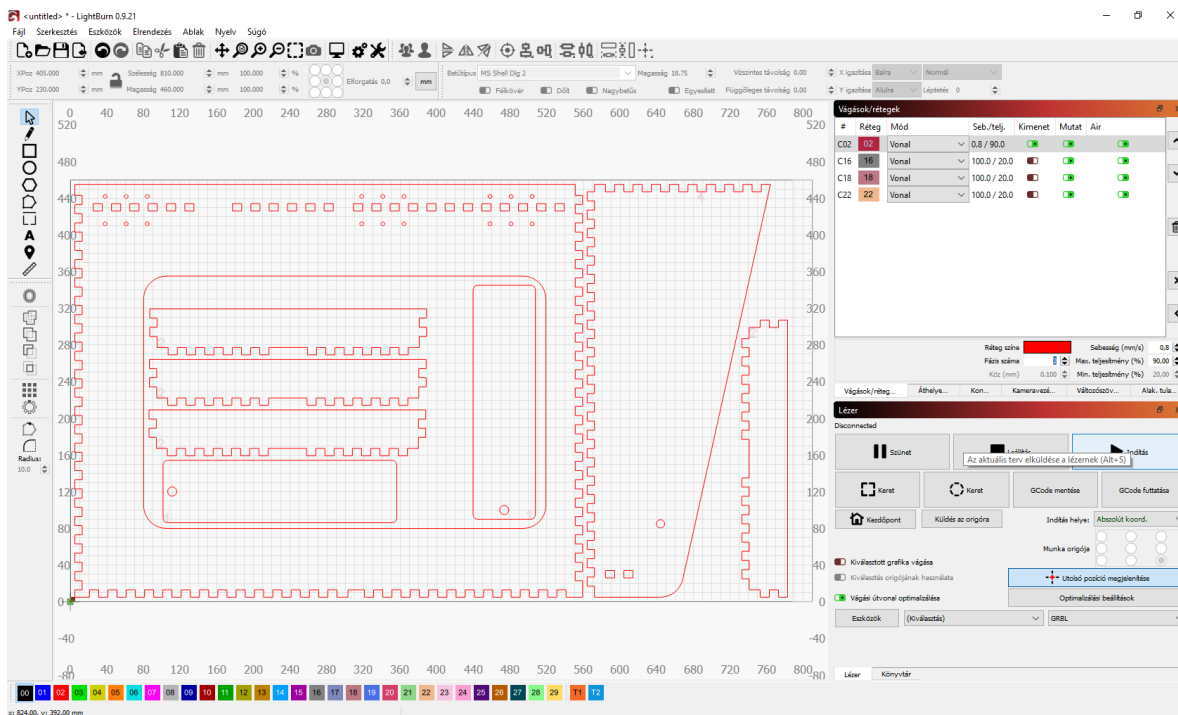
Miután elkészültek a lemeztervek, mindent kimentettem .dxf fájlba, amely kiterjesztést a Lightburn program felismer, és be lehet importálni oda. A ... ábrán szereplő lemezterv a .dxf formátumba konvertálás után a **15-2.** ábrán látható, majd ugyanez a lemezterv a Lightburn munkaterületén a **15-3.** ábrán látható. A megfelelő paraméterek beállítása után indítható a vágás. A Fusion 360 is képes lenne a szerszám pályák gépi kóddá való átalakítására, és a lézervágó vezérlésére is, ám a Nesting&Fabrication bővítmény csupán 30 napig él, emiatt a .dxf kiterjesztésbe való konvertálás, és a Lightburn program használata mellett döntöttem. A lemezek kivágásához a Fusion 360 megmunkálási időt, és megmunkálási hosszt is számol a megadott paraméterek alapján. Ezt a lemeztervet 11 óra és 20 perc alatt készítené el, miközben a vágófej a kétszeri menet miatt 32,7 méter utat járna be. A **15-1.** táblázat összefoglalja a megmunkálási időket, és a megmunkált kontúrok hosszát. Az összes lemeztervet a mellékletekben tüntetem fel, a **20-6.** ábrától a **20-19.** ábráig.

15-2. táblázat A megmunkálási idők és hosszak

Megmunkálási idő és hossz															
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Szumma
Idő [óra]	4,6	4,23	11,33	6,36	6,96	6,96	4	4	3,33	3,7	5,5	5,5	4,73	2,1	73,3
Hossz [m]	13,3	12,72	32,7	18,8	20,14	20,14	11,54	11,54	9,56	10,68	15,84	15,84	13,68	6,12	212,6



15-4. ábra Egy lemezterv a .dxf kiterjesztésbe való konvertálás után az Inventorban



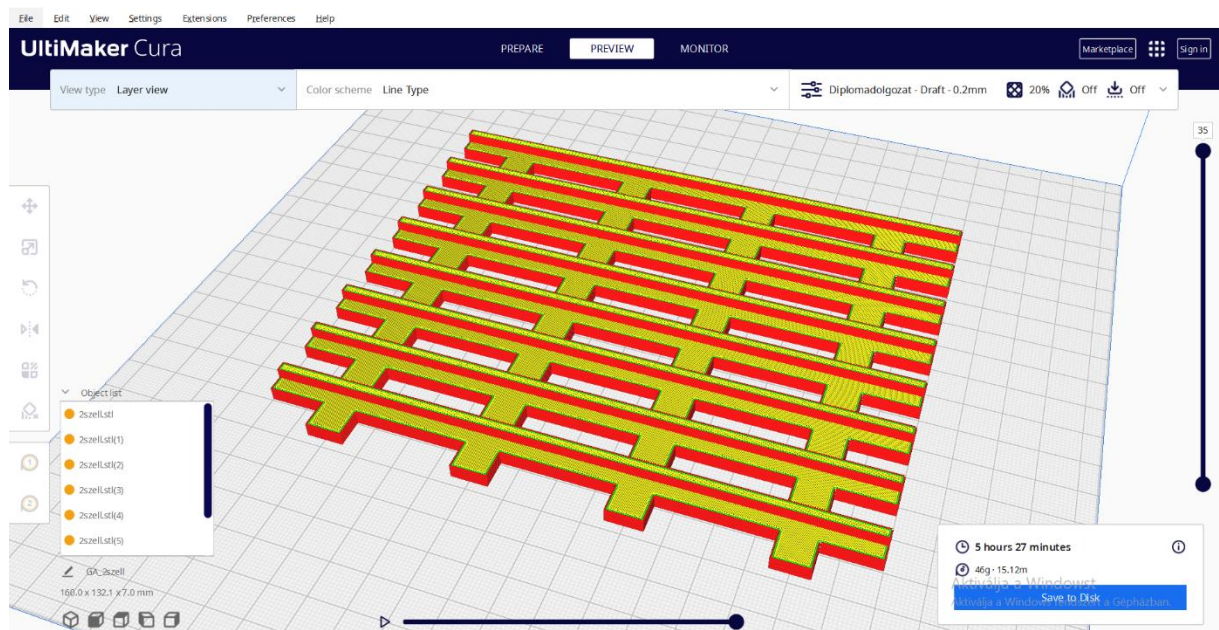
15-5. ábra Egy lemezterv a Lightburn programba importálva. A paraméterek beállítását követően készen áll a vágásra.

16 A nyomtatási paraméterek beállítása

A 3D nyomtatásra szánt alkatrészek úgy, mint a szellőző sínjei, a zsanérok, az elszívó berendezés alja és teteje nyomtatási paramétereinek beállításait, és a 3D nyomtató munkatérbe való elhelyezését mutatom be ebben a fejezetben. Szeletelőszoftverként az UltiMaker Cura 5.3.1 programot használtam, melynek letöltése ingyenes. Az alkatrészmodelleket először át kellett konvertálni .ipt kiterjesztésű Inventor part file-ból .STL fájlba, hogy a Cura tudja olvasni. A fájlok beolvasása után meg lehetett adni a paramétereket az adott testek nyomtatásához. Az alkatrészek gyártásához használt nyomtató egy Geeetech A20M típusú 3D nyomtató, melyet minden alkatrész esetén be kell állítani a programban. Továbbá minden alkatrész anyaga PETG. A program kiszámolja a gyártási időt, a felhasznált filament hosszát illetve súlyát. Az alkatrészek gyártásához összesen 40 óra 36 percre, 348g és 114,2 méternyi filamentre van szükség.

16.1 Sínek

Összesen nyolc darab sín nyomtatására van szükség, melyek a gép virtuális munkatérébe helyezve a **16.2-1** ábrán láthatóak. A nyomtatási paramétereket tekintve az alkatrészeknek nem kell semmilyen különösebb terhelést elviselniük, ezért a **16.3-1** táblázat szerinti nyomtatási paramétereket alkalmaztam, a cél az anyagmegtakarítás, és a nyomtatási idő csökkentése. A nyomtatáshoz 5 óra 27 percre, 46 g, és 15,12 m filamentre van szükség a szoftver szerint a beállított paraméterek mellett.



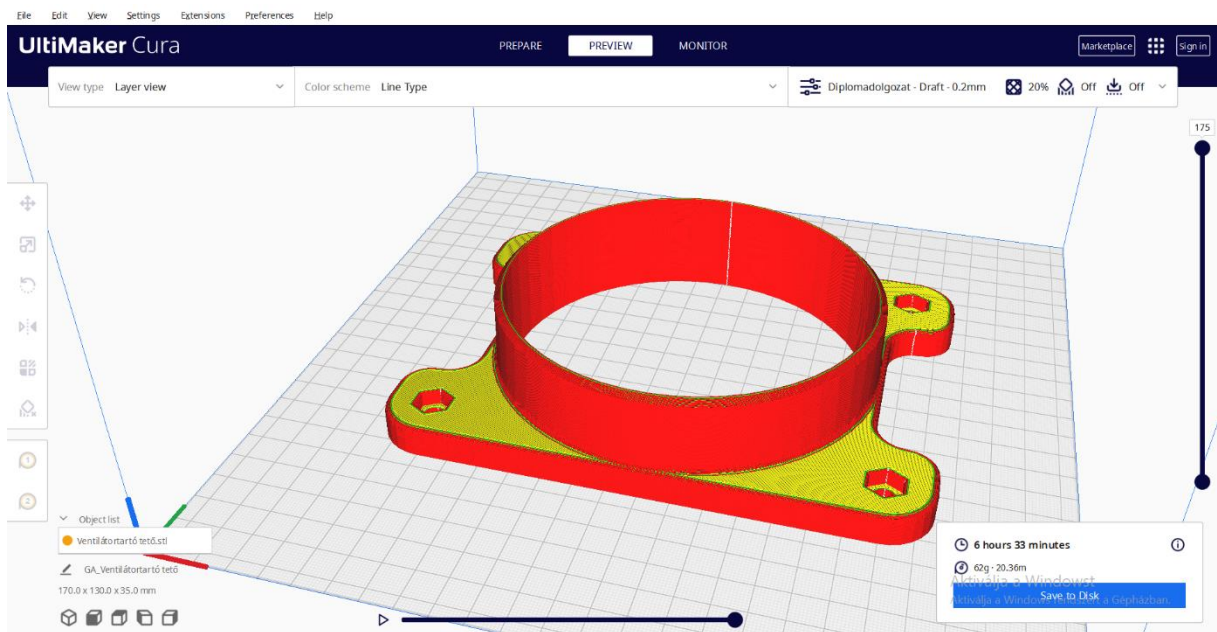
16.1-1. ábra A Sínek a gép virtuális munkatérében

16.4-1 táblázat A sínek nyomtatási paramétere

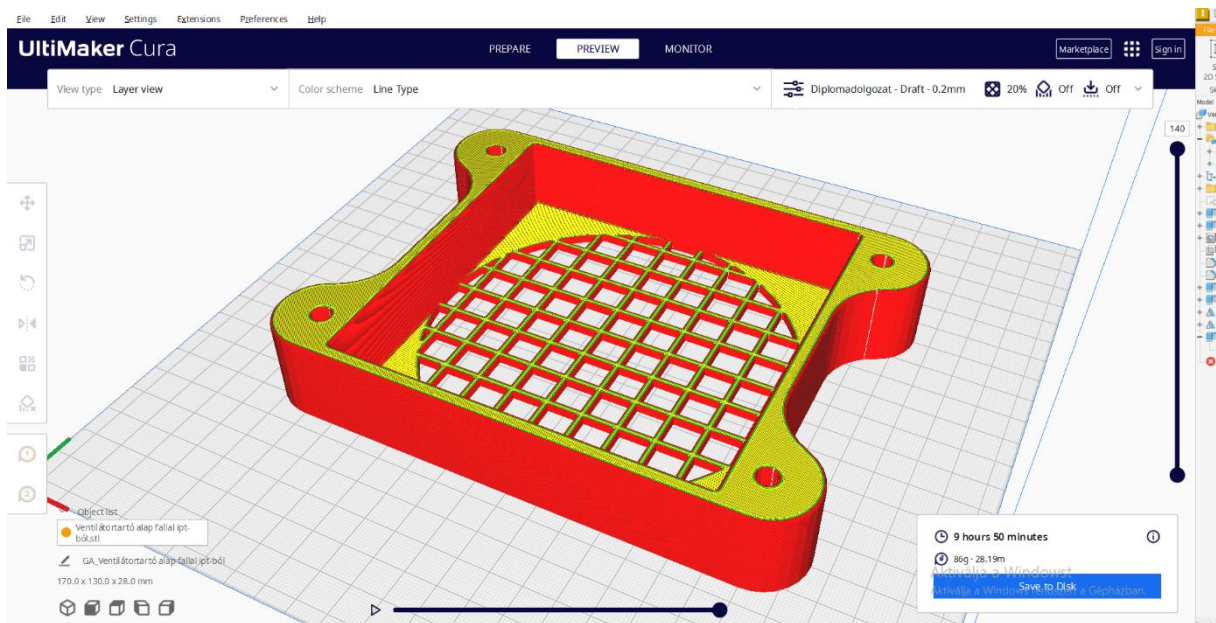
Paraméterek									
Megnevezés	Fúvóka hőfok	Fúvóka átmérő	Ágy hőfok	Falak száma	Nyomtatási sebesség	Kitöltés	Felső rétegek száma	Alsó rétegek száma	Kitöltés típusa
Érték	235 °C	4 mm	70 °C	2 db	50 mm/s	20%	4 db	4 db	Grid

16.2 Elszívó berendezés

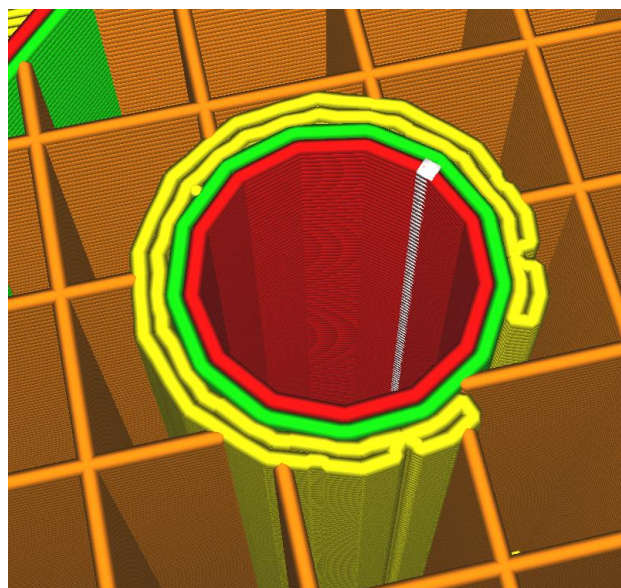
Az elszívó berendezés házat sajnos két részletben kell nyomtatnom, mert egyszerre nem férnek bele a gép munkaterébe. Mivel ezeknek az alkatrészeknek sem kell különösebb terhelést felvenniük, ezért ugyanazokat a beállításokat alkalmaztam, mint a sínek nyomtatásánál. Egy különbség azonban mégis van, az elszívó berendezés furatainak falainál kettő helyett négy réteget alkalmaztam arra az esetre, ha a furat a nyomtatás hibáiból adódóan valamilyen okból túl kicsire készülne. Ebben az esetben felfúrásra lenne szükség, melyhez kell a nagyobb falvastagság. A munkatérbe helyezett elemeket a **16.2-1.** és a **16.2-2.** ábrák mutatják be, a megnövelt falvastagságot, és a kitöltést pedig a **16.2-3.** ábra. A két elem nyomtatásához összesen 16 óra 20 percre, 148 g, és 48,55 m filamentre van szükség.



16.2-1. ábra Az elszívó berendezés teteje



16.2-2. ábra Az elszívó berendezés alja



16.2-3. ábra A furat falának négy rétegnyi vastagsága

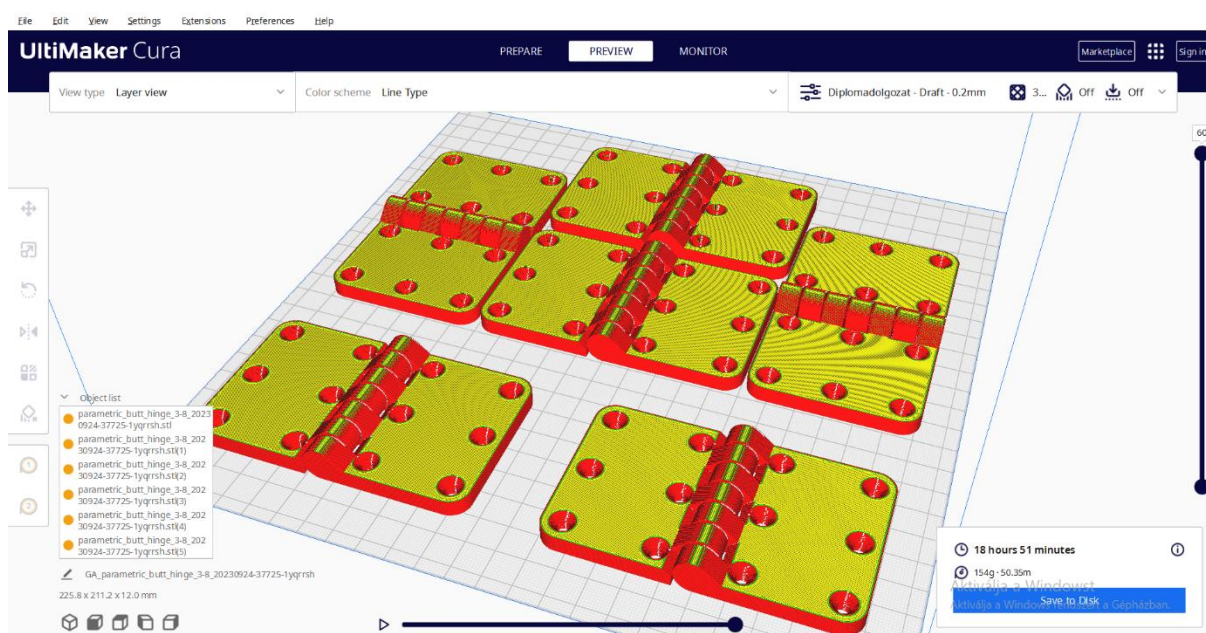
16.3 Zsanérok

Összesen hat darab zsanérra van szükség, melyek szerencsére egyszerre beleférnek a gép munkaterébe. A zsanérok virtuálisan a gép munkaterébe helyezve a **16.3-1.** ábrán láthatóak. A forgástengelyüket a munkatér síkjával párhuzamosan helyeztem el, emiatt a csapok és furatok köralakúsága rosszabb lesz, mintha a forgástengelyüket a síkra merőlegesen helyeztem volna el, azonban a rétegződés iránya miatt az elkészült darabok így nagyobb terhelést tudnak felvenni. A beállításokat tekintve a korábbiaktól eltérő paramétereket állítottam be, hiszen ezeknek az alkatrészeknek el kell viselni a burkolat

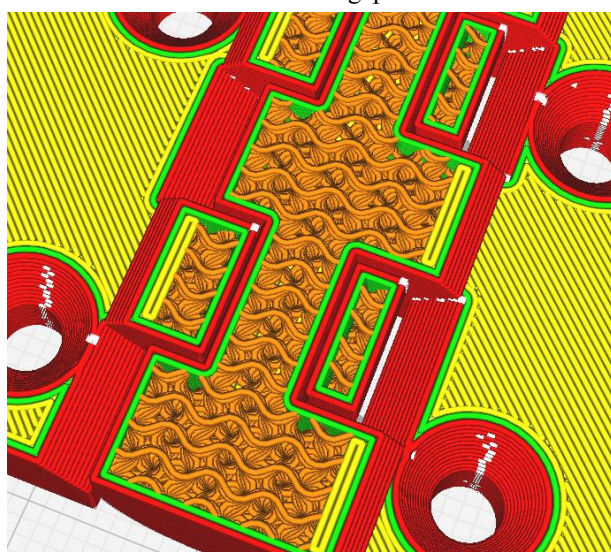
súlyából adódó terheléseket. 30%-os kitöltést, és Gyroid-típusú mintázatot választottam, mely a kitöltési típusok közül a legjobb mechanikai szilárdsággal rendelkezik. A paramétereiket a **16.3-1.** táblázat mutatja be. A **16.3-2.** ábrán pedig látszik a kitöltés típusa, és az, hogyan építi fel a csapot és a furatot a nyomtató. A mellékletek **16-5.** ábrája egy műszaki rajzot mutat be az alkatrészről. A két elem nyomtatásához összesen 18 óra 51 percre, 154g, és 50,53 m filamentre van szükség.

16-1. táblázat A zsanérok nyomtatási paramétere

Paraméterek									
Megnevezés	Fúvóka hőfok	Fúvóka átmérő	Ágy hőfok	Falak száma	Nyomtatási sebesség	Kitöltés	Felső rétegek száma	Alsó rétegek száma	Kitöltés típusa
Érték	235 °C	4 mm	70 °C	2 db	50 mm/s	30%	4 db	4 db	Gyroid



16.3-1. ábra A zsanérok a gép virtuális munkatérében



16.3-2. ábra A zsanérok Gyroid kitöltése, és a csap-furat kapcsolódás felépülése

17 Költség kalkuláció

Ebben a fejezetben összesítem a burkolat előállításakor keletkező költségeket. Ezek lehetnek anyagköltségek, illetve megmunkálási vagy gyártási költségek. Az adott alkatrészek bekerülési költségét, illetve az előállítási költségeket a **17-1.** táblázat foglalja össze. A táblázatban a felhasznált alkatrészek, alapanyagok is láthatóak.

Az FDM nyomtatással foglalkozó piaci szereplők általában 6000 Ft/óra díj ellenében gyártanak le az alkatrészeket alapanyagokkal együtt, így én is ezt az értéket választottam. A lézervágás kapcsán kicsit nehezebb volt meghatároznom a gyártás díjszabását, hiszen dekor cégektől kezdve ipari szereplők is foglalkoznak lézervágással, és a díjszabásuk nagyon eltérő lehet. Mivel az alkatrészek egyedi gyártásban készülnek, és viszonylag kis teljesítményű lézervágót használok, az idő alapú díjszabások irreálisan magas árakat képeztek volna. Ezért egy dekor manufaktúra szerszám-pálya-hossz alapú díjszabását vettem alapul, amely 110 Ft/m, ez az összeg nem tartalmazza az alapanyag árát.

A piacon megvásárolható alkatrészeket internetes katalógusokból választottam ki, azok árai egyértelműek. Szabványos alkatrészek esetében azonban előfordul, hogy a minimum rendelési tétel magasan meghaladja a szükséges alkatrészek számát. Ez esetben nem tudok mit tenni, muszáj megvenni a szükségesnél jóval több alkatrészt tartalmazó csomagot. Sorozatgyártás esetén ez nem jelentene gondot, hiszen ott sokkal nagyobb tételekben kell rendelni az alkatrészeket. Hasonló a probléma a rétegelt lemezek beszerzése esetében is. Míg egyedi gyártásban minimum 14 db, a munkatérrel azonos méretű lemezre van szükség, addig sorozatgyártásban ez az érték fajlagosan egy burkolatra vetítve biztosan kisebb, hiszen a lemezterveken jól látszik, hogy sok a kihasználatlan terület ahová már nem jutott kivágandó alkatrész. A kihasználtságot tovább rontja, hogy a munkatér méretével megegyező méretű lemezeket nagyobb lemezekből kell darabolni, amelyek további anyagvesztéssel járnak, viszont a táblát meg kell venni. Ezek miatt az egyedi gyártásban készülő burkolat fajlagos költségei jóval magasabbak annál, mintha a burkolat sorozatgyártásban készülne el.

A burkolat betekintő nyílásainak befedésére végül egyszerű színezett plexit választottam, mivel a lézervédett akril anyag a szükséges méretben 308 000 forintba kerülne, míg a színezett plexi csupán 15 300 forintba kerül. Így a burkolat összköltsége

410 520 forintra adódott, amiből csak az additív technológiával készülő alkatrészek előállítási költsége 243 780 forint, mely a legdrágább tétel mind közül.

17-2. táblázat Bekerülési költségek

Bekerülési költség kalkuláció					
Megnevezés	Méret	Szabvány	Mennyiség	Egységár	Ár
3D nyomtatás			40,63 óra	6000/óra	243 780 Ft
Lézervágás			212,6 m	110Ft/m	23 386 Ft
Hatlapfejű alacsony anya	M4	DIN 439	72 db	1,97 Ft/db	3 937 Ft
Alátét	M4	DIN 125	72 db	0,69 Ft/db	1 371 Ft
BKNY Süllyesztett fejű csavar	M4x20	DIN7991	72 db	5,4 Ft/db	54 00 Ft
Körmös anya	M6x9	DIN 987	4 db	8,28 Ft/db	4 140 Ft
Ventilátor	120x120x25mm		2 db	6 587 Ft/db	13 174 Ft
Hatlapfejű csavar	M6x50	DIN 931	8 db	36,84 Ft/db	7 368 Ft
Alátét	M6	DIN 125	8 db	1,38 Ft/db	2 768 Ft
Plexi (nem lézervédett)	1014x1014mm		1 db	15 300 Ft/db	15 300 Ft
Fogantyú			1 db	3 250 Ft/db	3 250 Ft
Hatlapfejű csavar	M6x25	DIN 933	2 db	10,16 Ft/db	12 192 Ft
MDF lap	1,2x280x207cm		1 db	13 700 Ft/db	13 700 Ft
Gömbfejes csavar	M6x24		4 db	1 720 Ft/db	6 880 Ft
Gázrugó	150mm 50N		2 db	10 288 Ft/db	20 576 Ft
Műanyag gömbcsatlakozó	M6		4 db	1 720 Ft/db	6 880 Ft
Peremes fúrópersely	Ø6,1mm	DIN 172	2 db	1 500 Ft/db	3 000 Ft
Elszívó cső	Ø125mmx3m		1 db	4 000 Ft/db	4 000 Ft
Csőbilincs	Ø125		4 db	340 Ft/db	1 360 Ft
Fa ragasztó (Ponal Super 3)	750g		1 db	3 658 Ft/db	3 658 Ft
Nyár rétegelt lemez	4*1870*2520mm		2 db	7 200 Ft/db	14 400 Ft
Összesen					410 520 Ft

18 Eredmények értékelése, összefoglalás

Ebben a fejezetben értékelem a munkám eredményét, és összefoglalom a dolgozatban olvashatókat.

18.1 Az eredmények értékelése

Véleményem szerint a tervezési feladatot a dolgozat terjedelemi korlátain belül a lehető legjobb minőségben készítettem el, mely a lehető legjobban tükrözi a mesterképzés végére megszerzett tudásomat. A dolgozat elérte a kitűzött célokat, egy működő, egyedi lézervágó burkolatot terveztem meg, mely tartalmaz elszívó berendezést, hogy megvédje a lézervágóval egy helyiségben tartózkodókat a megmunkálások során keletkező egyézségre káros gázoktól. Figyelembe vettem, hogy szemvédelem szempontjából érdemes lézervédett anyaggal fedni a betekintő nyílásokat, azonban azok magas ára miatt egy olcsóbb, de nem teljesen kielégítő megoldást választottam, színezett plexit. Ezzel kapcsolatban nagyon fontos, hogy legalább a berendezést felügyelő személy viseljen lézervédett szemüveget, ami egyébként tartozéka a lézervágó berendezésnek. Ám azoknak is ajánlott a viselése, akik egy helyiségben tartózkodnak a lézervágó berendezéssel, hiszen a szórt lézerefény is káros lehet a szemnek. A berendezés végső ára számomra is meglepetést okozott, hiszen próbáltam ésszerű határokon belül egy minél egyszerűbb konstrukciót létrehozni. A 3D nyomtatott alkatrészek esetében, amik a legdrágább elemei az árkalkulációnak, lehetséges, hogy tudtam volna spórolni az anyaggal, de véleményem szerint a további spórolás, egyszerűsítés már az alkatrészek funkcionalitásának rovására ment volna. Az árkalkuláció végösszege, az anyagi támogatás hiánya, illetve a gyártási idők hossza miatt a burkolat a valóságban a dolgozat elkészültéig nem valósult meg, ám a tervek elkészültek, és a burkolat teljes mértékben készen áll a megvalósításra.

18.2 Összefoglalás

A dolgozatom során egy meglévő lézervágó berendezéshez terveztem egyedi burkolatot, mely tartalmaz elszívó berendezést is a vágás, gravírozás során keletkező egészségkárosító hatású gázok szabadba bocsátására.

Az irodalomfeldolgozás során az általánostól az egyre specifikusabb felé haladtam. Először definiáltam, hogy mi az a lézer, és hogyan működik. Ezután bemutattam a gerjesztés típusait, majd a lézersugár jellemzőit, amely jellemzők kedvező feltételeket biztosítanak a fénysugárvezetéshez, fókuszáláshoz, és a fény-anyag kölcsönhatásokhoz. Majd bemutattam

a lézerforrások felhasználási területeit, amiből látható, hogy milyen széles körben használják azokat. A lézertechnológiát általánosságban bemutató fejezet után kitértem a lézertechnológia használatára az anyagmegmunkálásban. A lézer segítségével nem csak új eljárások jöttek létre, de korábbi technológiák is átalakultak. Felsoroltam a lézersugaras megmunkálás előnyeit, hátrányait, majd a lézerek teljesítményét taglaltam, ahol az impulzusüzem és a folyamatos üzem közti különbségeket, és azok hatását tártam fel. A következő fejezetben már a lézersugaras vágással foglalkoztam. Itt szó esett arról, hogy milyen előnyei, illetve hátrányai vannak a lézersugaras vágásnak, mik a vágást befolyásoló technológiai paraméterek. Leírtam a lézervágás folyamatát, bemutattam, hogy mik a lézervágás minőségére vonatkozó jellemzők, valamint megvizsgáltam, hogy milyen technológiai tényezők befolyásolják a vágást. Ezután bemutattam síkágvas, 3D-s, és kisméretű lézervágó gépeket is, hasonló ahhoz, amihez a dolgozatomban a burkolatot terveztem. A későbbiekben a dolgozatomhoz szorosan kapcsolódó irodalomfeldolgozást végeztem. Megvizsgáltam, hogy milyen típusú lézerekkel lehet fát vágni, hogyan befolyásolják a fa szerkezeti jellemzői a fa vághatóságát, mik jellemzőek a vékony anyagok vágására, és milyen folyamatok játszódnak le a fa vágása közben. Megvizsgáltam azt is, hogy vágás után mik a jellemzők az elvágott felületre, melyek közül a vágási rés a későbbiekben is fontos tárgyát képezte a dolgozatomnak. A burkolat kialakításához kutatást kellett végezni, hiszen el kellett döntenem, hogy hogyan kapcsolom egymáshoz a burkolat elemeit. Ezt követően kitértem a lézer biztonságtechnikájára, hiszen ezt is figyelembe vettem a burkolat tervezésekor. Végül bemutattam az FDM technológiát, és az additív gyártást, hiszen az elszívó elemei additív, FDM nyomtatási technológiával készülnek.

Az átfogó irodalomfeldolgozást követően elkezdhettem a saját munkát. Bemutattam a burkolat tervezési peremfeltételeit, az elvárásokat, és a beburkolandó lézervágó berendezést. A következő lépésben piackutatást végeztem, ahol megvizsgáltam, hogy a piacon elérhető termékek milyen tulajdonságokkal rendelkeznek, és hogy azok mely tulajdonságait tudom hasznosítani a saját konstrukcióm kialakítása során. A következtetések levonása után három előzetes konstrukciót alkottam meg, melyekről kézi vázlatok készültek a főbb tulajdonságok megjelölésével. A burkolat megtervezése előtt azonban még meg kellett tervezni az elszívó berendezést, hiszen ennek tudatában tudtam véglegesíteni a konstrukciót. Figyelembe kellett vennem, hogy az elszívó egyedi elemei additív gyártással készülnek. Itt egy rövid számítást is végeztem a ventilátorok elszívási teljesítményének meghatározása érdekében. A következő fejezetben kísérletet végeztem. A célja a megfelelő

kapcsolódások kikísérletezése volt, az elemek közti átfedést kellett meghatároznom. Ám előbb megvizsgáltam a lézervágó pontosságát, annak vágási szélességét, meghatároztam a vágási paramétereket, és a pontatlanságból adódó kontúr kompenzációját. Minden szükséges paraméter, számítás, peremfeltétel tudatában megterveztem a lézervágó berendezés burkolatát, melyet be is mutattam. Előkészítettem a burkolat gyártását oly módon, hogy lemezterveket készítettem, és a nyomtatásra szánt elemek nyomtatási paramétereit is meghatároztam. Végül a gyártási, és anyagköltségek függvényében költségkalkulációt végeztem.

Össességében tehát a dolgozat befejeztével egy gyártásra előkészített, és gondosan megtervezett berendezést készítettem el, amely legyártása után remélhetőleg sokáig szolgálja majd az egyetem munkatársait.

19 Hivatkozások

1. ALL3DP, 2023. *The 7 Main Types of 3D Printing Technology*. [Online]
Available at: <https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/#fused-deposition-modeling-fdm>
[Hozzáférés dátuma: 10 05 2023].
2. Ampul.eu, 2023. *Ventilátor 120x120x25mm, 5V DC USB csatlakozóval*. [Online]
Available at: <https://www.ampul.eu/hu/rajongok/3781-ventilator-120x120x25mm-5v-dc-usb-csatlakozoval>
[Hozzáférés dátuma: 29 04 2023].
3. Andrew, A. & Kovács-Coskun, T., 2016. A LÉZERVÁGÁS BIZTONSÁGTECHNIKAI KÉRDÉSEI. *Műszaki tudományos közlemények*, 5. kötet.
4. Belforte, D., 2019. *Laser Focus World*. [Online]
Available at: <https://www.laserfocusworld.com/industrial-laser-solutions/article/14215474/2018-was-another-record-year-contending-with-turmoil>
[Hozzáférés dátuma: 09 05 2023].
5. Buza, G., 2012. *Lézersugaras technológiák I.*, Budapest: Edutus Főiskola.
6. Carl, M., 2012. *Hybrid Metal to Polymer Joining Methods - Researchgate.com*. [Online]
Available at: https://www.researchgate.net/publication/328190911_Hybrid_Metal_to_Polymer_Joining_Methods
[Hozzáférés dátuma: 05 2023].
7. Chryssolouris, G., 1991. *Laser Machining - Theory and Practice*. New York: Springer-Verlag New York Inc..
8. Csavarlak.hu, 2023. *DIN 987 - Körmös anya*. [Online]
Available at: <https://csavarlak.hu/anya/din-987-kormos-anya-din-7965-tessauer-anya>
[Hozzáférés dátuma: 08 2023].

9. Dr. Ábrahám, G., Dr. Lőrincz, E., Dr. Antal, Á. & Dr. Tamás, P., 2014. *Lézertechnika*. Budapest: BME MOGI.
10. Dr. Pálkás, I., 2010. *Különleges gyártástechnológiák*. Gödöllő: Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar.
11. DXTech, 2021. *10 Essential Components Of Fiber Laser Cutting Machine*. [Online] Available at: <https://dxttech.com/fiber-laser-cutting-machine-components/> [Hozzáférés dátuma: 17 05 2023].
12. Emmanuel Afrane Gyasi, és mtsai., 2022. Prospects of Robot Laser Cutting in the Era of Industry 4.0. *World Journal of Engineering and Technology*, 10. kötet.
13. Formlabs, 2022. *3D Printing Technology Comparison: FDM vs. SLA vs. SLS*. [Online] Available at: <https://formlabs.com/eu/blog/fdm-vs-sla-vs-sls-how-to-choose-the-right-3d-printing-technology/> [Hozzáférés dátuma: 10 05 2023].
14. Frey, S. & Locker, A., 2023. *PETG Filament: All You Need to Know*. [Online] Available at: <https://all3dp.com/2/petg-filament-all-you-need-to-know/> [Hozzáférés dátuma: 07 2023].
15. Gelencsér, K., 2003. A természetes fa vágása lézerrel 2. rész. *Faipar*, 51(4), pp. 16-21.
16. Gosling, R., 2017. *Parametric Butt Hinge*. [Online] Available at: <https://www.thingiverse.com/thing:2187167> [Hozzáférés dátuma: 06 2023].
17. HobbyLaserCutters.com, 2022. *This is Why You NEED a Laser Engraver Enclosure (And Our Best Picks in 2022)*. [Online] Available at: <https://hobbylascutters.com/laser-engraver-enclosures/> [Hozzáférés dátuma: 05 2022].
18. Hubs.com, 2021. *What are the key design elements for 3D printing?*. [Online] Available at: <https://www.hubs.com/knowledge-base/key-design-considerations-3d-printing/> [Hozzáférés dátuma: 07 2023].

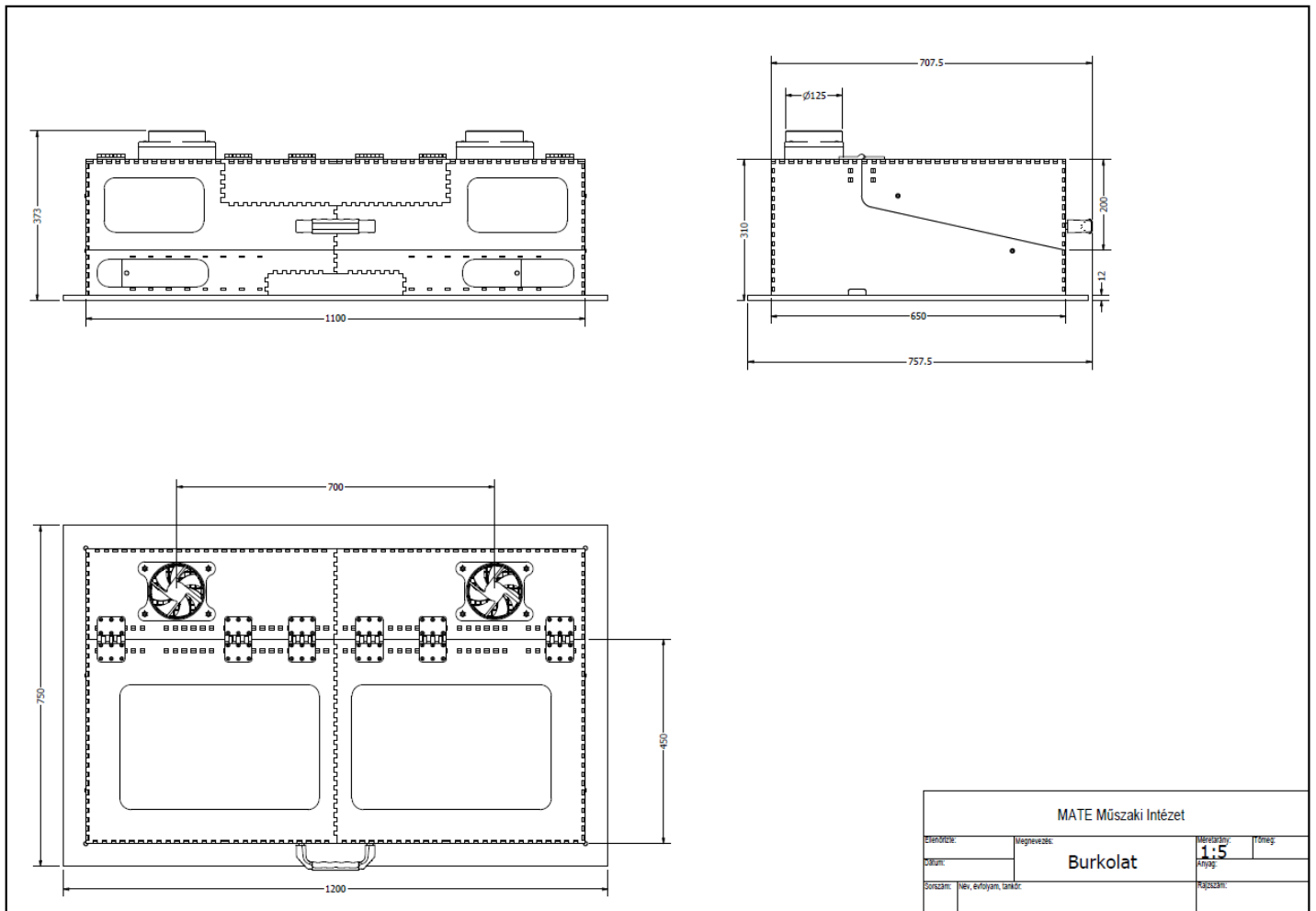
19. J.R. , D., Anirudh R.P & S. Saran, S., 2023. Applications of lasers in industries and laser welding: A review. *Materialstoday: Proceedings*.
20. Jean-Claude, D. & Ladan, A., 2011. *Lasers - The power and precision of light*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
21. Jeff, H., 1999. *The Laser Guidebook*. London: Mcgraw Hill Book Co.
22. Laser Safety Industries LLC, 2023. *Laser Safety Window 410 Acrylic Sheet Class 4 Viewing KTP Argon (190-532nm, 10600nm)*. [Online] Available at: <https://lasersafetyindustries.com/products/windows-acrylic-sheet-class-4-532nm> [Hozzáférés dátuma: 07 2023].
23. Mandy Yan, 2021. *What are the components of a CO2 laser cutting machine?*. [Online] Available at: <https://www.mimowork.com/laser/what-are-the-components-of-a-co2-laser-cutting-machine> [Hozzáférés dátuma: 18 05 2023].
24. Markovits, T., 2018. *Korszerű lézersugaras technológiák*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
25. Mentor.de.com, 2023. *2-COMPONENTS CARRYING HANDLE*. [Online] Available at: <https://www.mentor.de.com/bauelemente/en/product/en-3316-1543/> [Hozzáférés dátuma: 10 2023].
26. Miller, D., 2022. *15 Types of Wood Joints – Names & Pictures*. [Online] Available at: <https://www.finepowertools.com/woodworking/wood-joint-types/> [Hozzáférés dátuma: 07 2023].
27. Muanyag.hu, 2023. *PLEXIGLAS® GS 3C01*. [Online] Available at: <https://muanyag.hu/termekek/plexiglas-gs-3c01> [Hozzáférés dátuma: 09 2023].
28. Myring, L. & Kimmitt, M., 1988. *Lézer - Az első könyvem a lézerekről*. Budapest: Műszaki könyvkiadó Novotrade Rt..

29. NEJE.com, 2023. *NEJE 3 MAX: LARGE AREA PROFESSIONAL DIODE LASER ENGRAVER AND CUTTER.* [Online]
Available at: <https://neje.shop/products/neje-master-2-max-460-x-770-mm-professional-laser-engraving-machine-laser-cutter-lightburn-bluetooth-app-control>
[Hozzáférés dátuma: 05 2023].
30. Ortur.com, 2023. *Ortur Laser master 3.* [Online]
Available at: <https://ortur.tech/olm3/>
[Hozzáférés dátuma: 23 05 2023].
31. Ortur.net, 2023. *Ortur Metal Enclosure for Laser Master 2 Pro.* [Online]
Available at: <https://ortur.net/products/ortur-laser-master-2-pro-metal-enclosure>
[Hozzáférés dátuma: 05 2023].
32. Pozo, J., 2016. *Landscape Shifting for Laser Materials Processing.* [Online]
Available at: https://www.photonics.com/Articles/Landscape_Shifting_for_Laser_Materials_Processing/a60946
[Hozzáférés dátuma: 08 05 2023].
33. Prof. Dr. Paripás, B. és mtsai., 2011. *Lézeres mérési- és megmunkálási eljárások a gépészetben.* Miskolc: Nemzeti Tankönyvkiadó.
34. RS Components, 2023. *Sunon axiális ventilátor, 12 V DC, 120 x 120 x 25mm, 183.8m³/h, 3100rpm.* [Online]
Available at: <https://hu.rs-online.com/web/p/axialis-ventilatorok/1118305?gb=s>
[Hozzáférés dátuma: 06 2023].
35. S.C. Daminabo, és mtsai., 2020. Fused deposition modeling-based additive manufacturing (3D. *Materials Today Chemistry* 16, 10248(16).
36. Sculpfun.com, 2023. *SCULPFUN Official Laser Engraving Machine Enclosure Smoke Exhaust Box.* [Online]
Available at: <https://sculpfun.com/products/sculpfun-enclosure-smoke-exhaust-box>
[Hozzáférés dátuma: 05 2023].

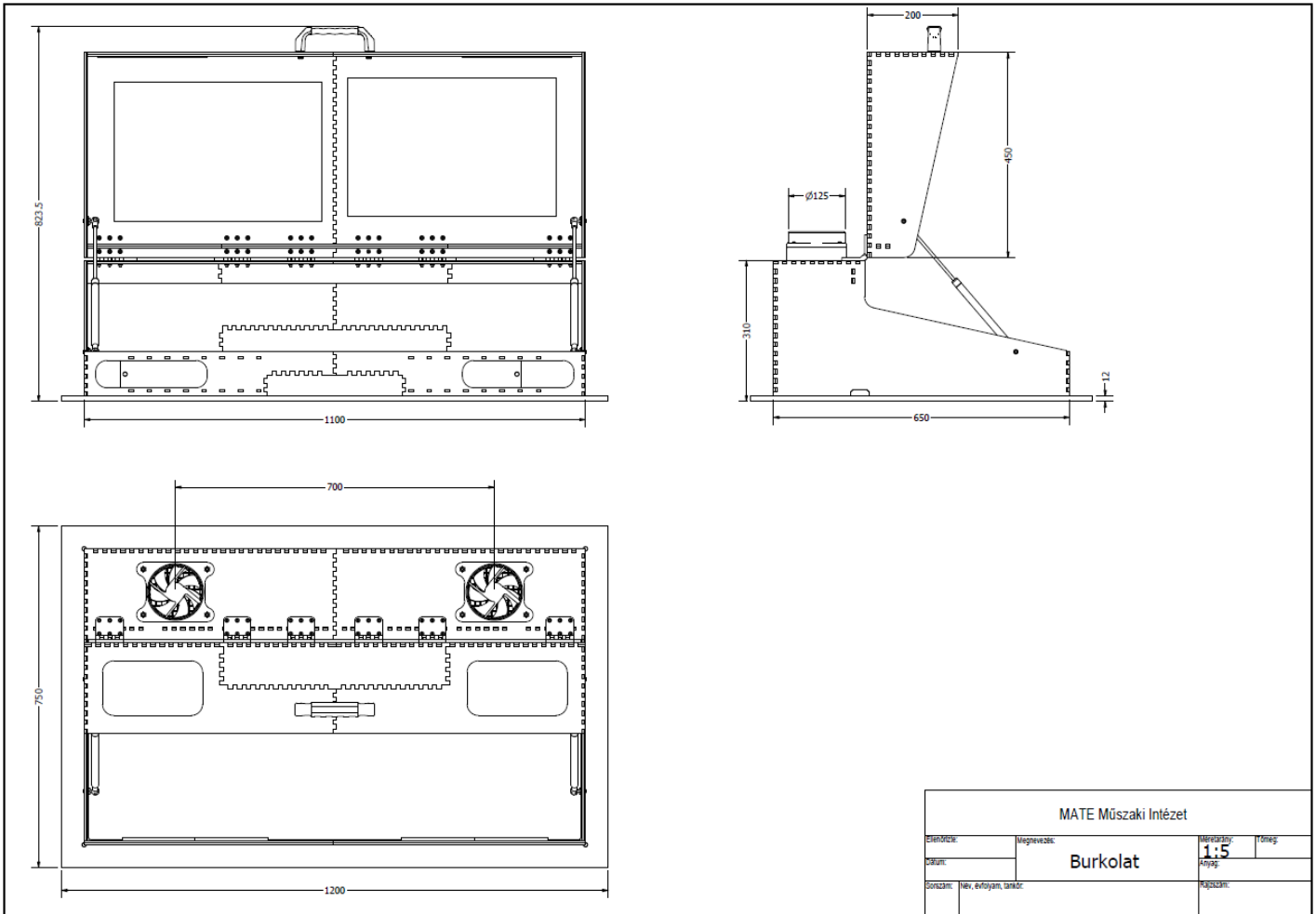
37. Shane Zhang, 2023. *Discover the 13 Essential Components of a Laser Cutting Machine.* [Online]
Available at: https://www.machinemfg.com/laser-cutter-components/?utm_content=expand_article
[Hozzáférés dátuma: 17 05 2023].
38. Ventilatorom.hu, 2023. *Műanyag felxi cső Ø125, 1m.* [Online]
Available at: <https://ventilatorom.hu/aluminium-flexibilis-legcsatorna-1253m-1202>
[Hozzáférés dátuma: 04 2023].
39. Xometry.com, 2022. *All About PETG 3D Printing Filament: Materials, Properties, Definition.* [Online]
Available at: <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/petg-3d-printing-filament/>
[Hozzáférés dátuma: 07 2023].
40. xTool.com, 2023. *xTool Enclosure: foldable and smoke-proof cover for D1/D1 Pro and other laser engravers.* [Online]
Available at: <https://www.xtool.com/products/xtool-enclosure>
[Hozzáférés dátuma: 05 2023].

20 Mellékletek

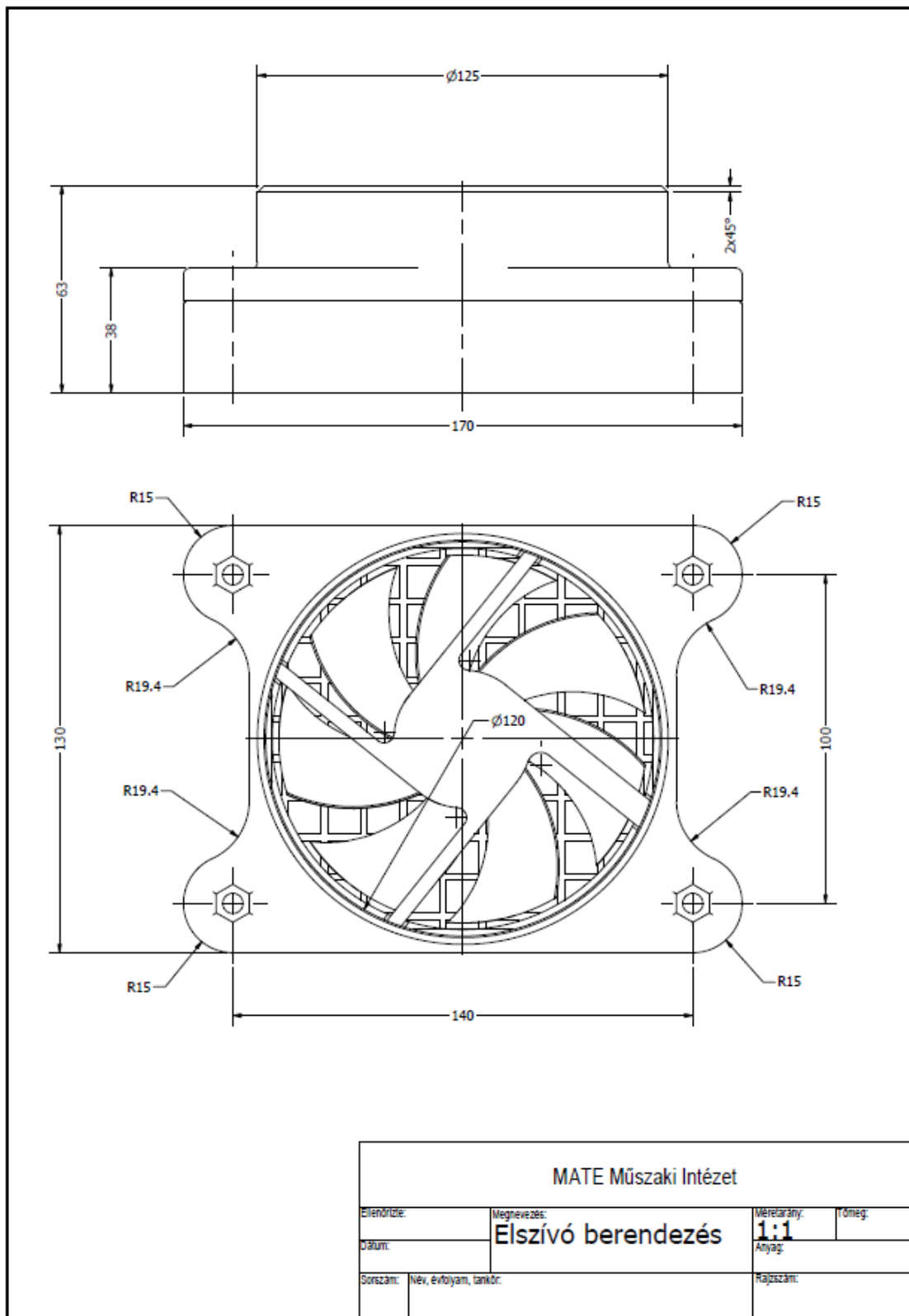
Ebben a fejezetben a lemezterveket mutatom be képek formájában, a burkolat befoglalóméreteit tartalmazó rajzokat nyitott és csukott állapotban, az elszívó berendezés befoglaló méreteit, a zsanérok méreteit, és a szellőző sínjeinek rajzát.



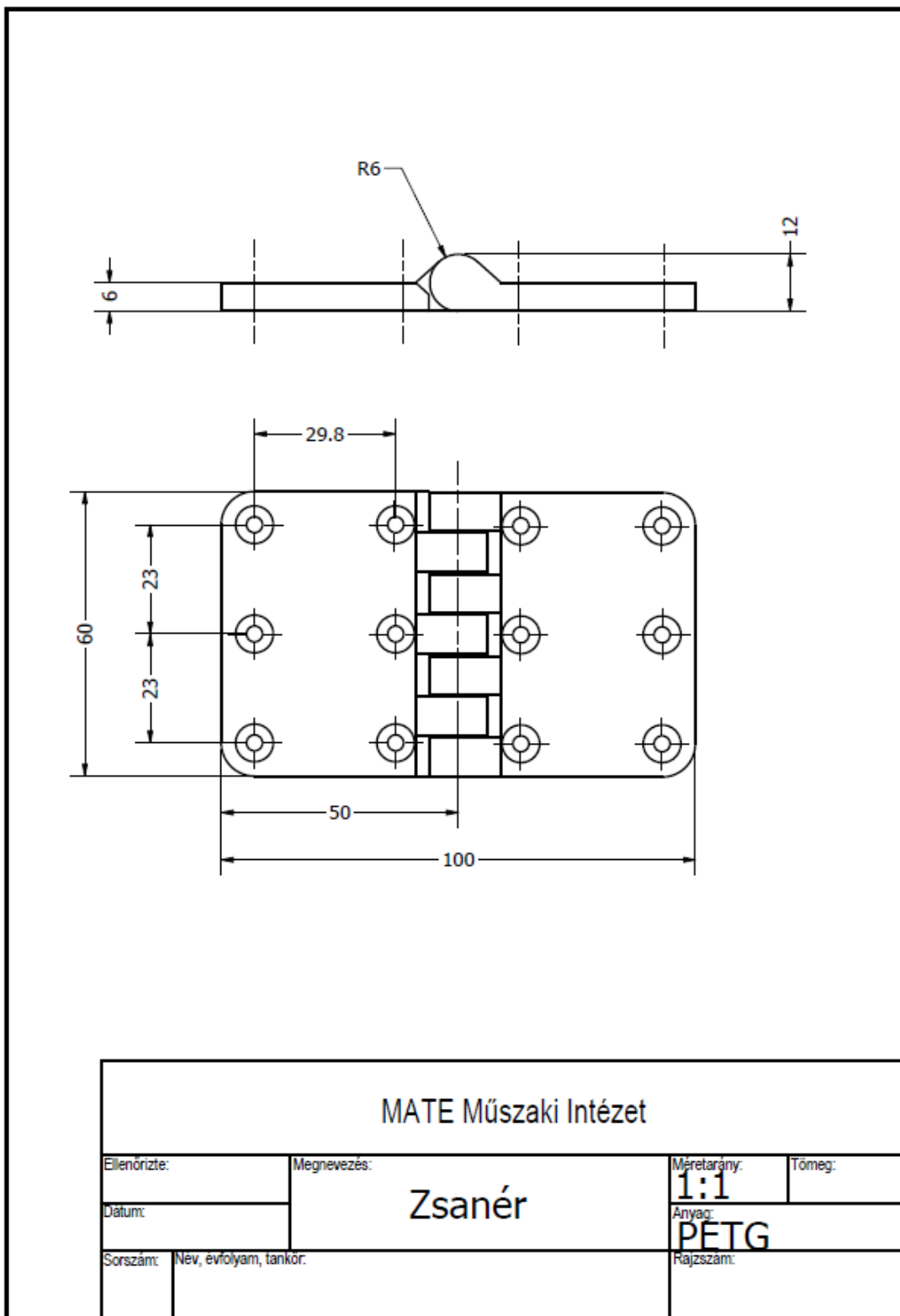
20-1. ábra



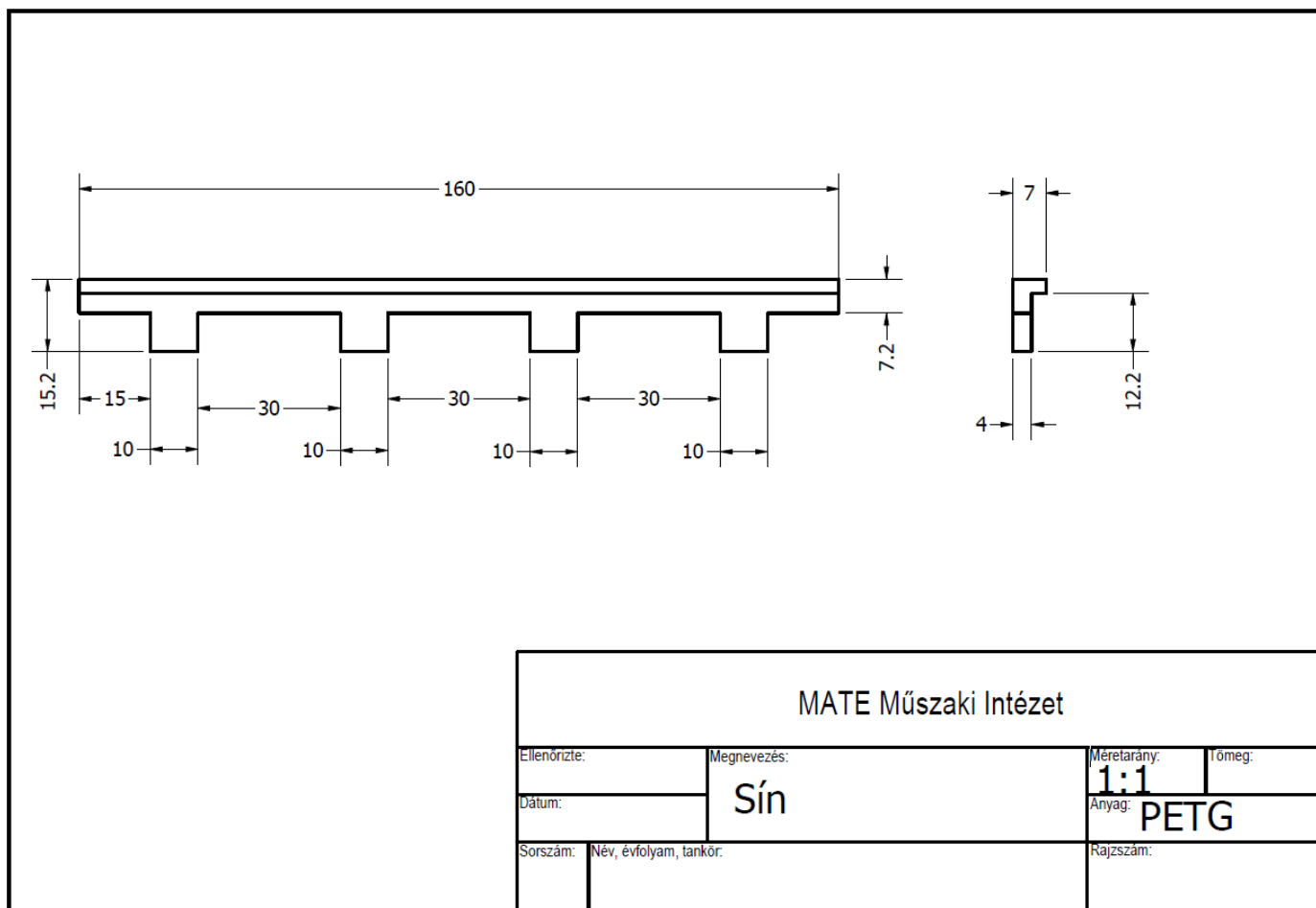
20-2. ábra



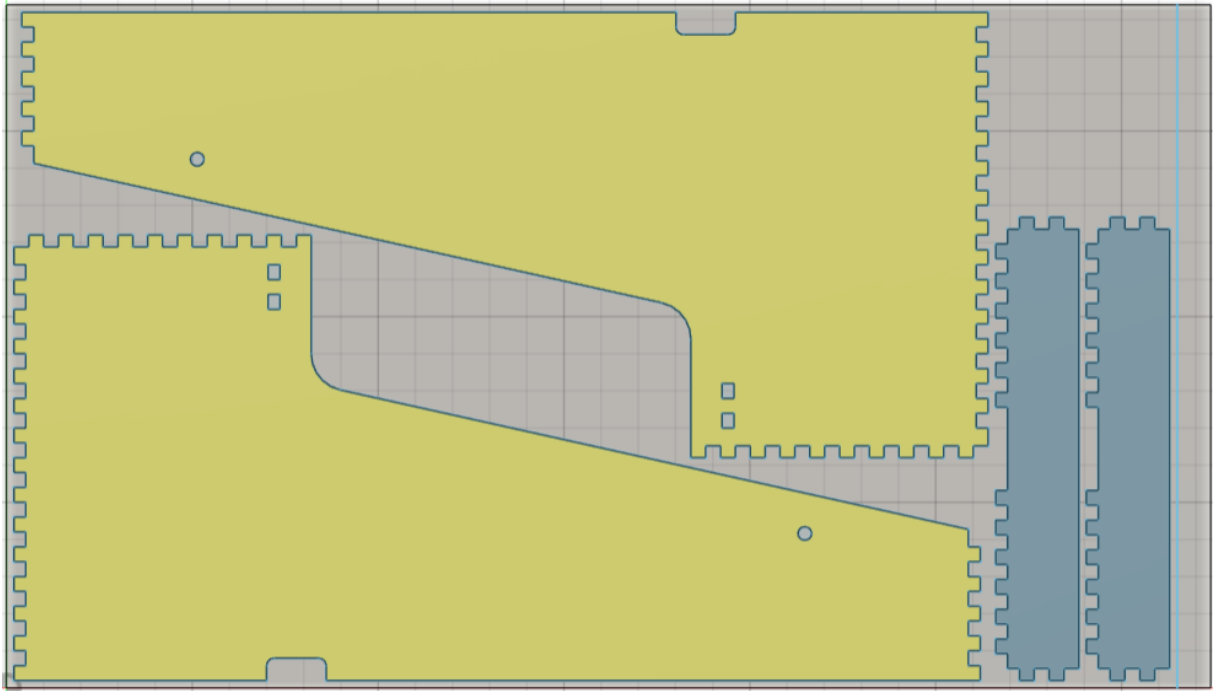
20-3. ábra



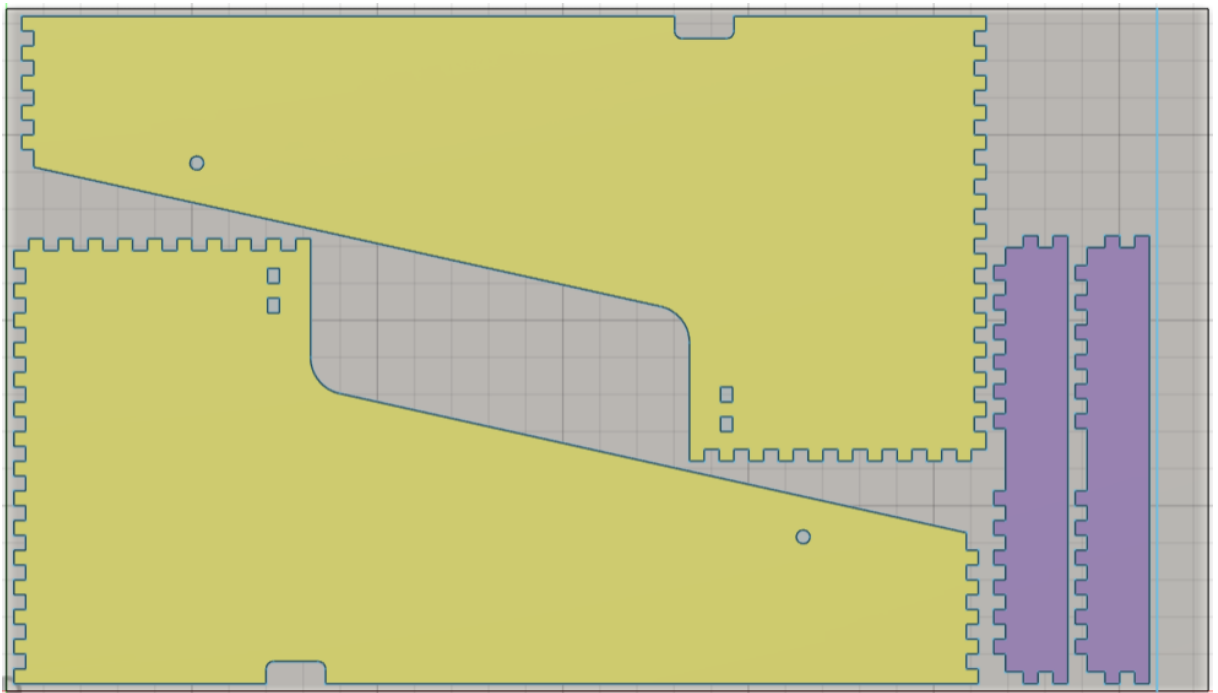
20-4. ábra



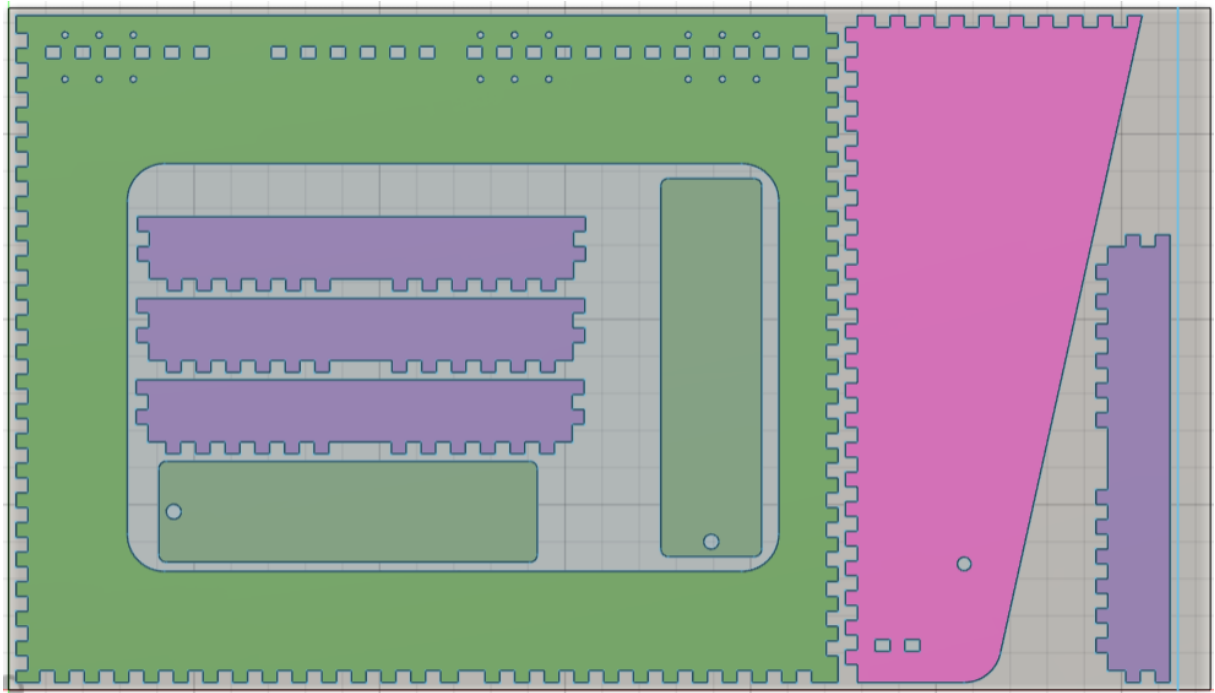
20-5. ábra



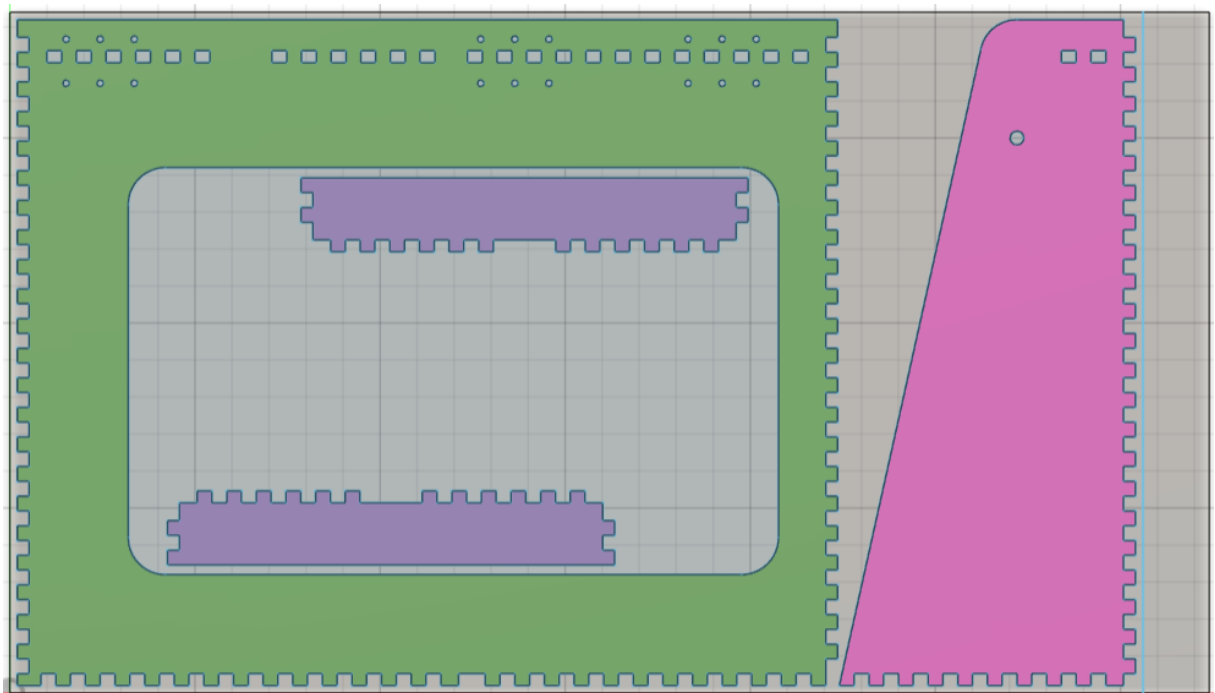
20-7. ábra



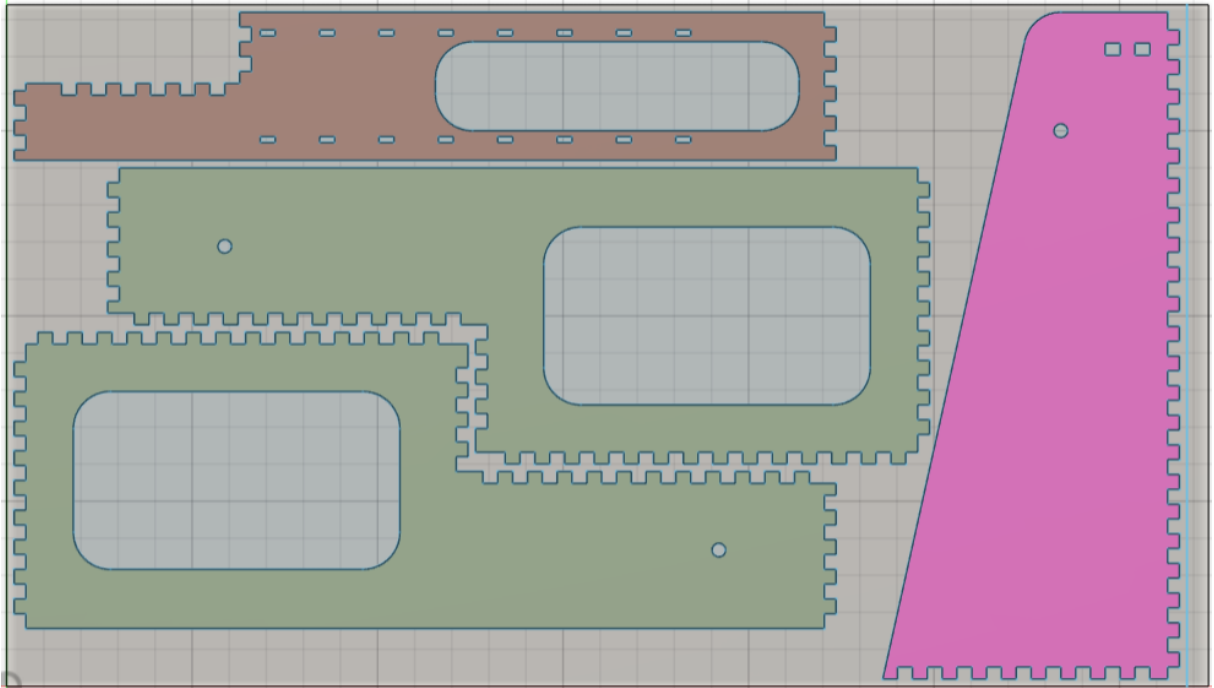
20-6. ábra



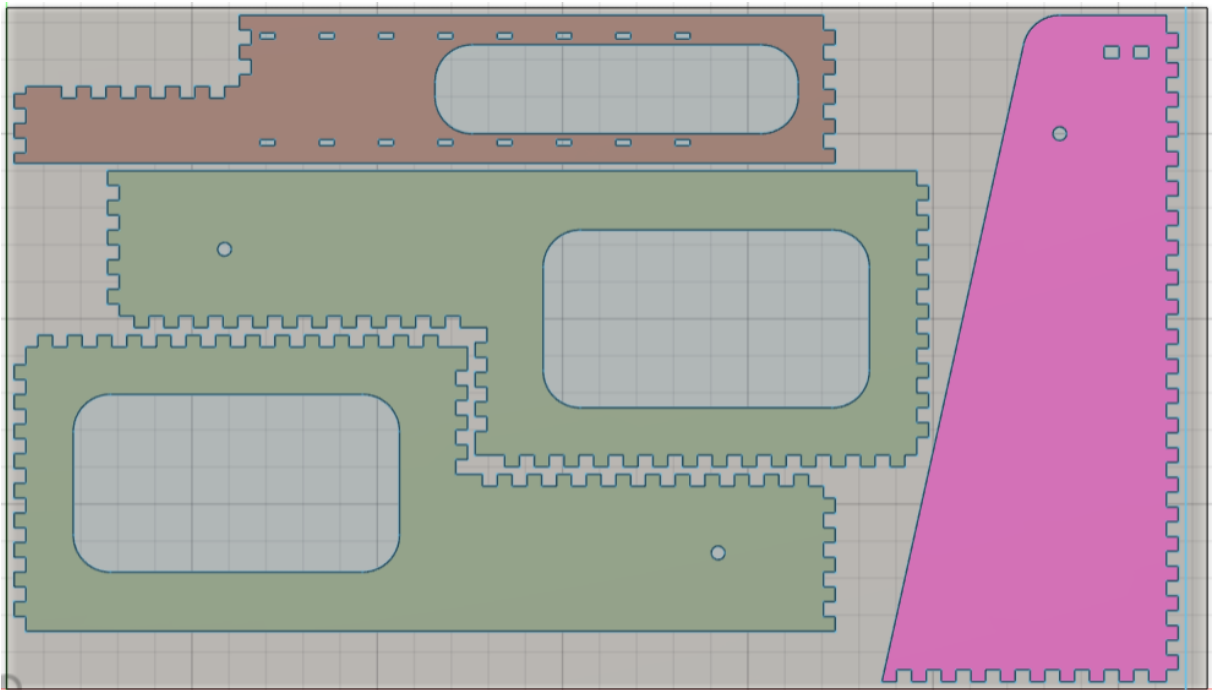
20-8. ábra



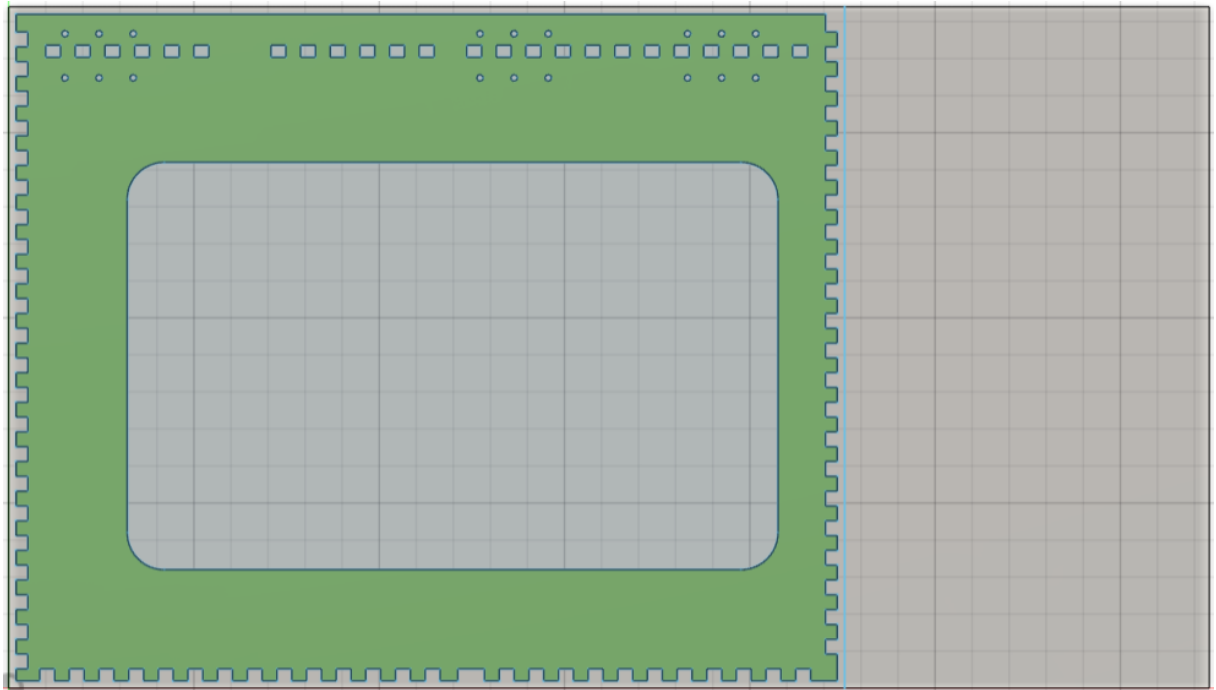
20-9. ábra



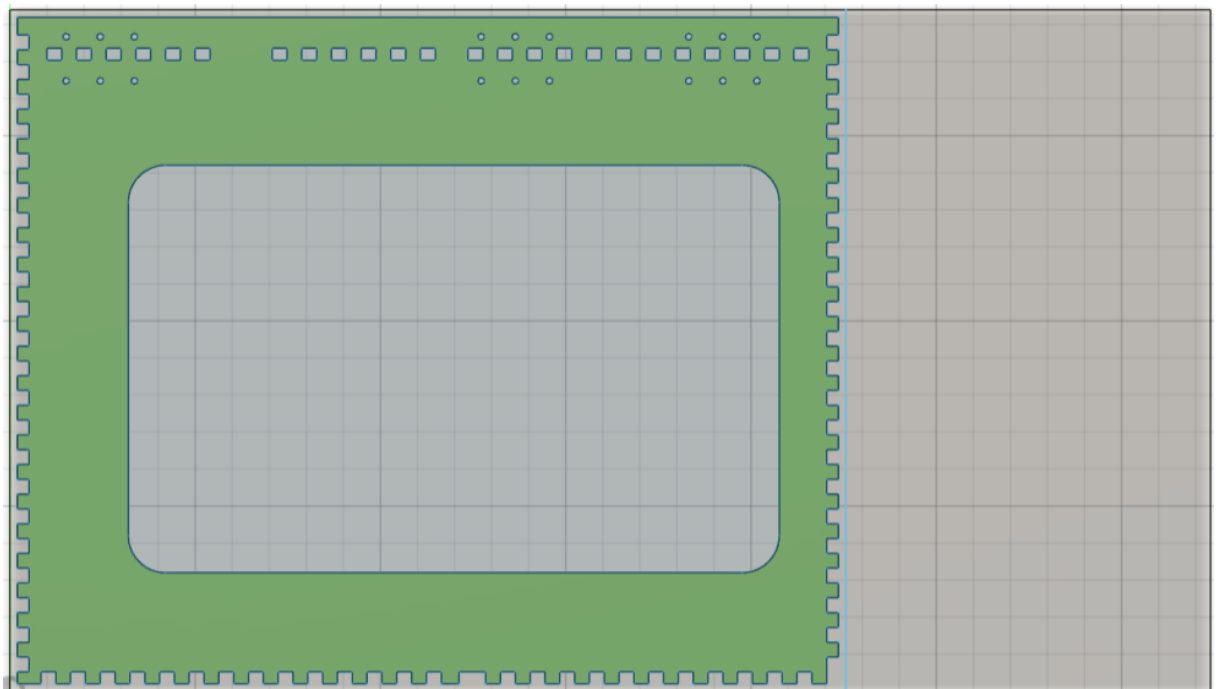
20-10. ábra



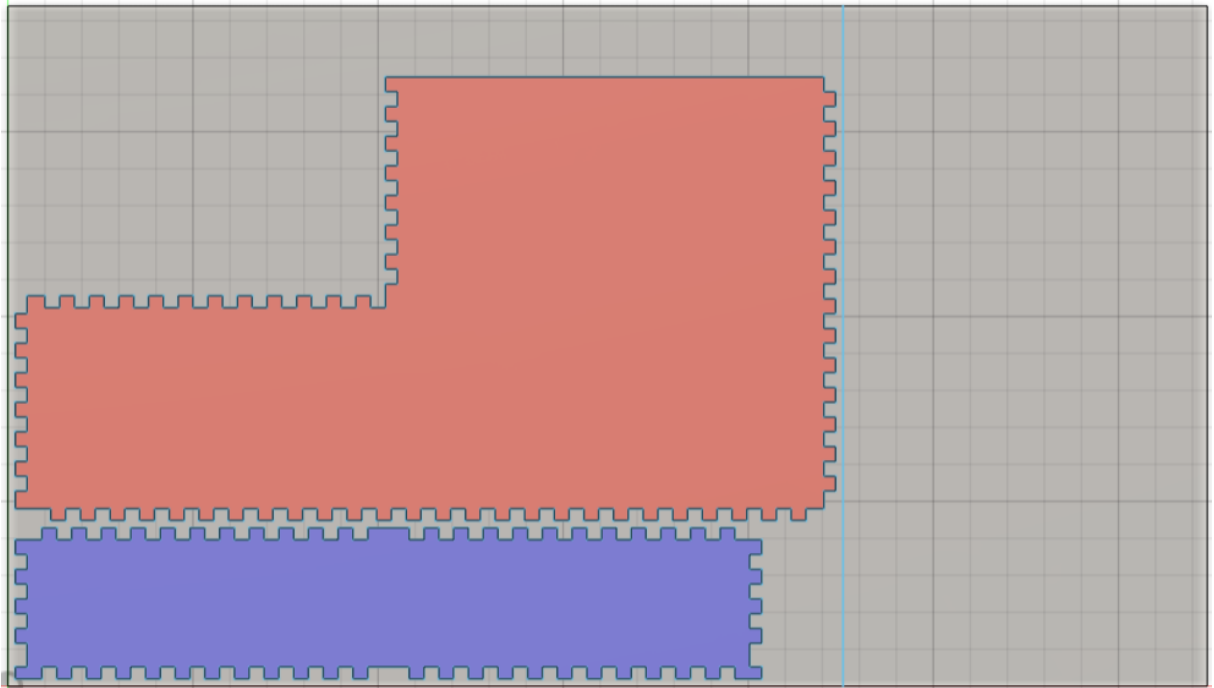
20-11. ábra



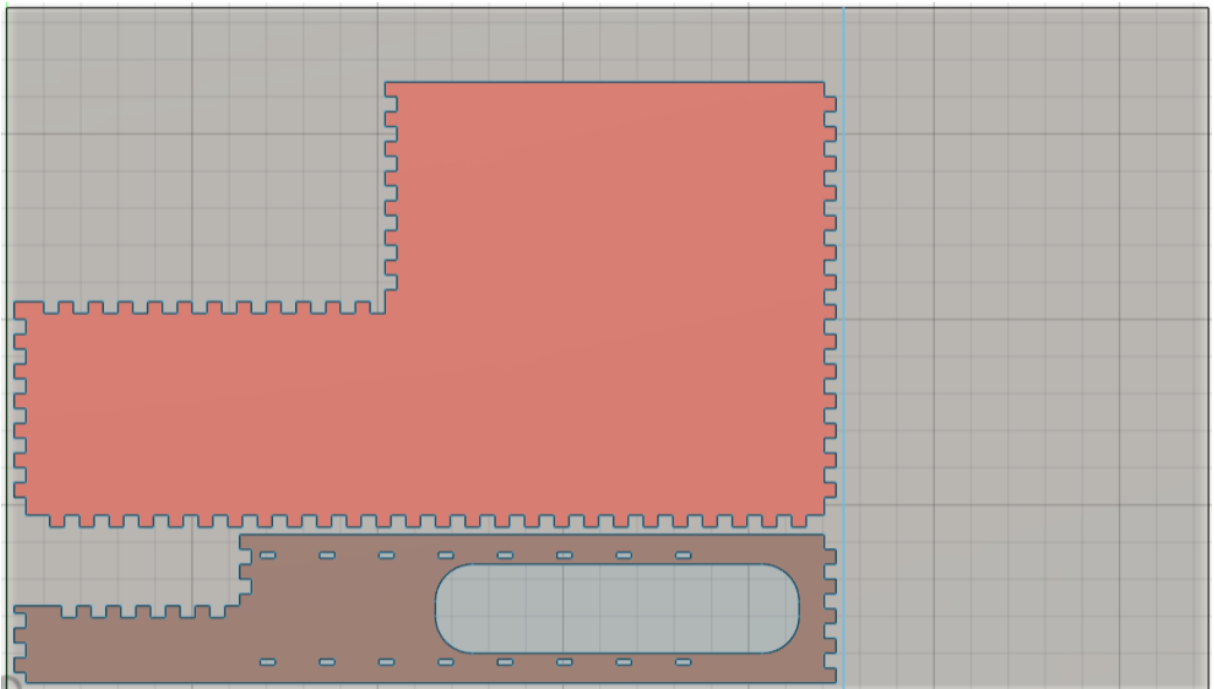
20-12. ábra



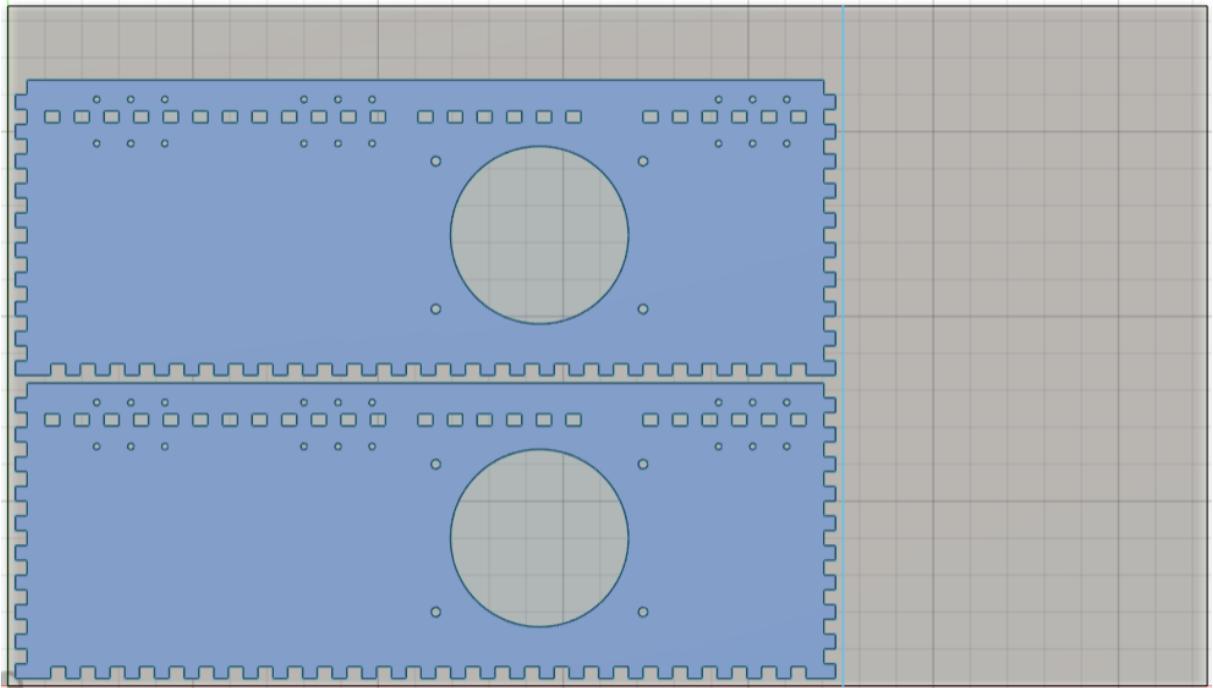
20-13. ábra



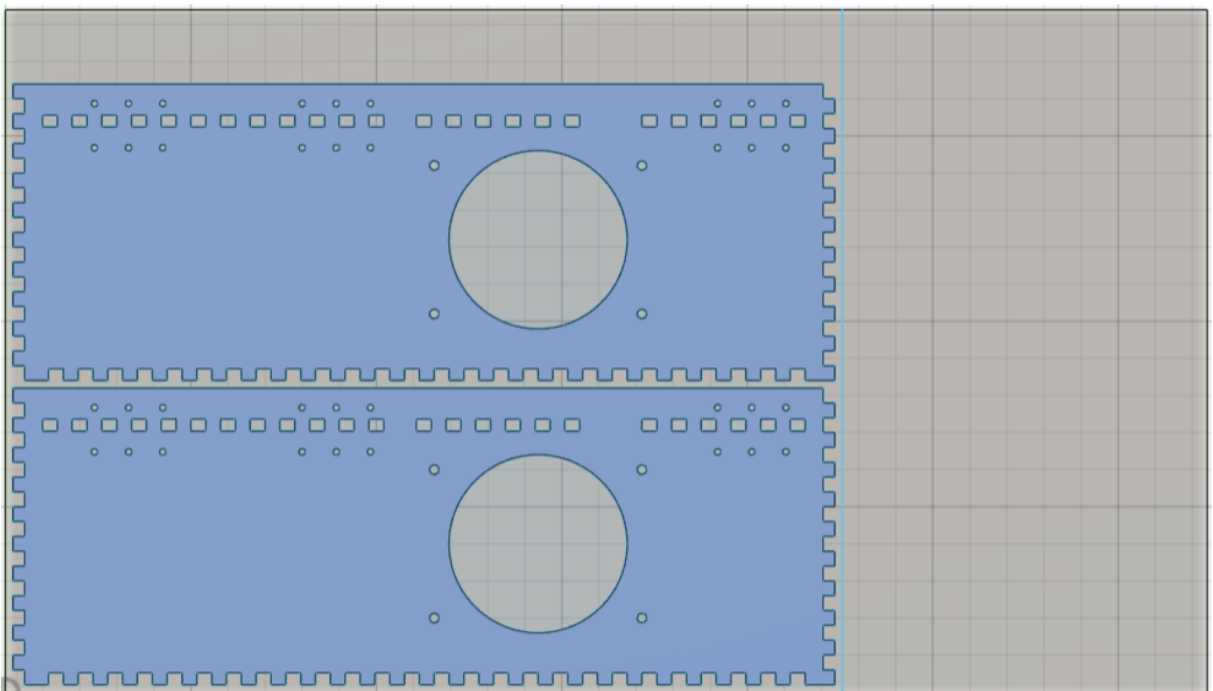
20-14. ábra



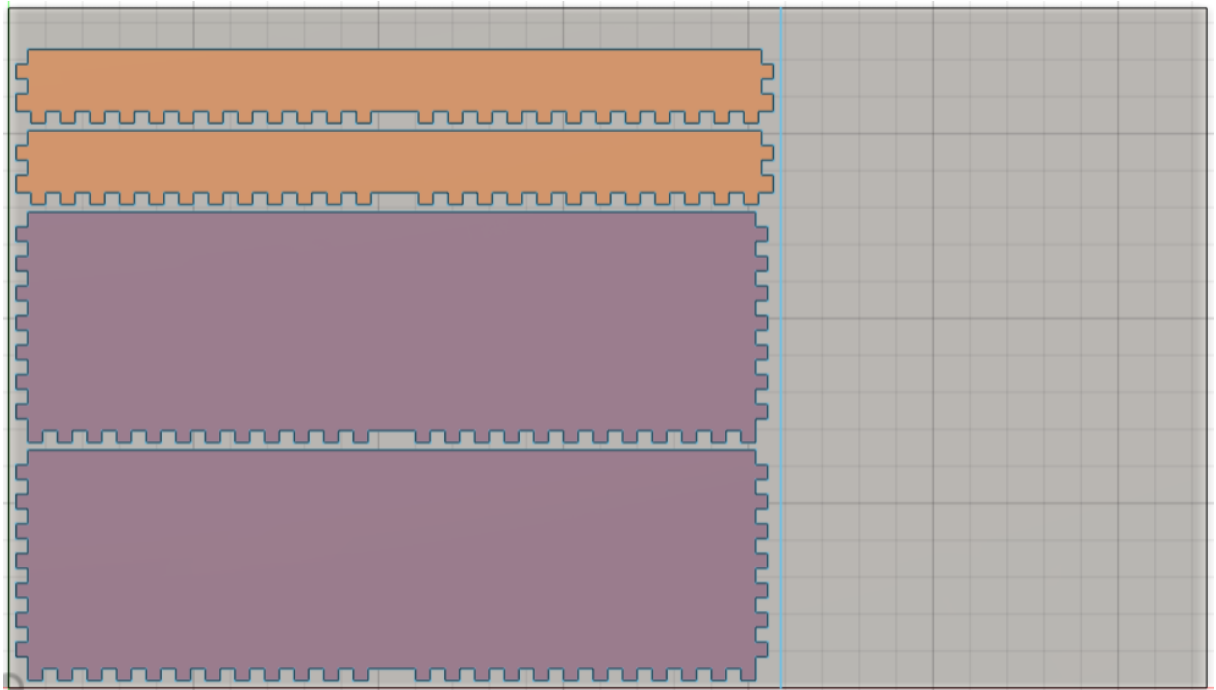
20-15. ábra



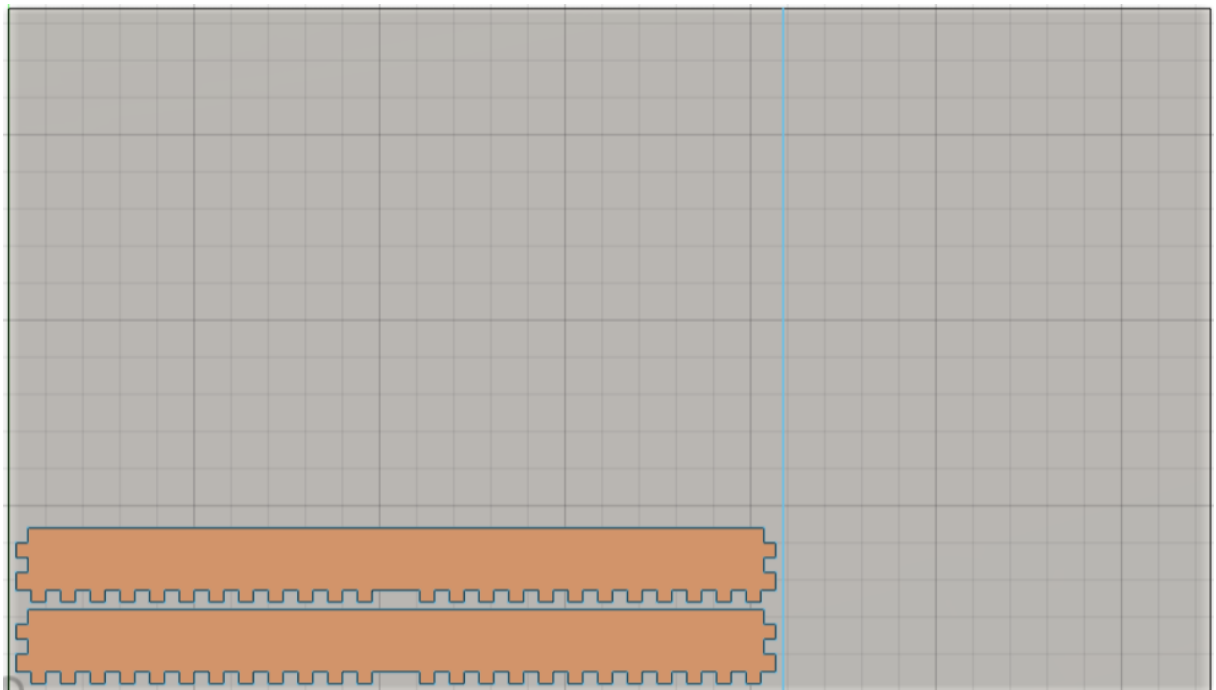
20-16. ábra



20-17. ábra



20-18. ábra



20-19. ábra

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Ónodi Norbert
A Hallgató Neptun kódja: H6BXU5
A dolgozat címe: Egyedi burkolat burkolat tervezése egy lézervágó berendezéshez
A megjelenés éve: 2023
A konzulens intézetének neve: Műszaki Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

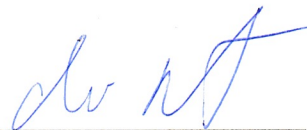
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelté után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2023. 11. 05.



Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

**6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója**

4.1. sz. melléklete: Konzulensi nyilatkozat


NYILATKOZAT

ÓIVÓDI IVORBERT (név) (hallgató Neptun azonosítója: H613XU5)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő
védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: Gödöllő év 10. hó 30 nap


belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendó.

³ A megfelelő aláhúzendó.