

SZAKDOLGOZAT

Helli Domonkos János
Gépészmérnök

Gödöllő

2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Gépészmérnöki Szak

3D nyomtató fűtött munkaterének és borításának tervezése

Belső konzulens: Dr. Szakál Zoltán
egyetemi docens

Külső konzulens: -

Készítette: **Helli Domonkos János**
SGHMFU
Nappali tagozat

Intézet/Tanszék: Műszaki Intézet

Gödöllő
2023

MŰSZAKI INTÉZET
GÉPÉSZMÉRNÖK ALAPSZAK
Gépgyártó specializáció

SZAKDOLGOZAT
feladatlap

Helli Domonkos János (SGHMFU)

részére

A diplomadolgozat címe:

3D nyomtató fűtött munkaterének és külső borításának tervezése

Feladatkiírás:

Bevezetés, szakirodalom feldolgozás, probléma bemutatás, a lehetséges koncepciók felvázolása, a megfelelő konstrukció kiválasztása, a konstrukció legyártása, gazdasági számítás, összefoglalás

Közreműködő tanszék: Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok

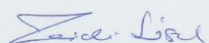
Külső konzulens: -

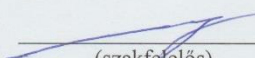
Belső konzulens: Dr. Szakál Zoltán, egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet

Beadási határidő: 2023. május 02.

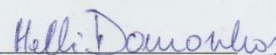
Gödöllő, 2023. március 05.

Jóváhagyom


(tanszékvezető)


(szakfelelős)

Átvettem


(hallgató)

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

Gödöllő, 2023. hó nap

(külső konzulens)

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés	5
2	Irodalom feldolgozás	6
2.1	3D nyomtatás története	6
2.2	3D nyomtatás technológiák	7
2.3	3D nyomtatásban alkalmazott alapanyagok (főként műanyagok, filamentek)	17
2.4	Fűtött munkatér kialakításának fontossága/szükségessége	28
2.5	Fűtött munkatér kialakítások	30
2.6	Fűtési módszerek, lehetőségek 3D nyomtatásban	37
3	Tervezés	42
3.1	Tervezési szempontok, megvalósítási folyamatok	42
3.2	Hőátbocsátás számítása különböző anyagokra	43
3.3	Anyagválasztás kiértékelése:	47
3.4	Falelemek legyártása	49
3.5	3D nyomtatóval legyártott elemek	53
3.6	Fűtőelektronika berendezés tervezése	60
3.7	Szűrőrendszer	62
3.8	Összeállított szerkezet kiértékelése	63
4	Gazdasági számítás	66
5	Összefoglalás	69
6	Summary	70
7	Felhasznált irodalom	71
8	Mellékletek	76

1 BEVEZETÉS

Szakedolgozatom témája 3D nyomtatás, ezen belül a szálolvasztásos (FDM, Fused Deposition Modelling) technológia alkalmazása. Ez a Stratasys által szabadalmaztatott technológia. Az 1980-as évek közepétől kezdtek megjelenni ezek a típusú nyomtatók, és azóta fejlesztik a technológiát. Ez a technológia kezdetben elsősorban a mérnökök munkáját hivatott elősegíteni. Az FDM nyomtatással lehetőség nyílt a prototípus gyártás költséghatékony megvalósítására. Számos anyaggal volt lehetőség a nyomtatásra, többek között a fröccsentésben alkalmazott anyagokkal is. A 3D nyomtatással szinte bármilyen bonyolultságú alkatrész legyártása lehetővé vált. Az idő haladtával az ára mérséklődött a nyomtatóknak, ezáltal a hétköznapi emberek körébe is eljutott. Így lett ez a technológia a legelterjedtebb a 3D nyomtatásban. A 3D nyomtatók terjedésével az interneten elérhető ingyenes, szabadforráskódú fájlok száma is megnőtt, így lehetőség volt a mások által tervezett tárgyakat bárki számára kinyomtatni, tovább fejleszteni.

Szakedolgozatom célja egy Geeetech A20M FDM 3D nyomtatónak (1. ábra) a fűtött munkaterének, a fűtő elektronikájának, a szerkezet 3D nyomtatott alkatrészeinek és lézervágott elemeinek tervezése. Az elemeket Solid Edge tervező szoftverben készítem el, a 3D nyomtatáshoz Cura szeletelő programot és a lézervágáshoz LaserGRBL szoftvert kívánom használni. A szerkezetet az Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok tanszék számára készítem el.



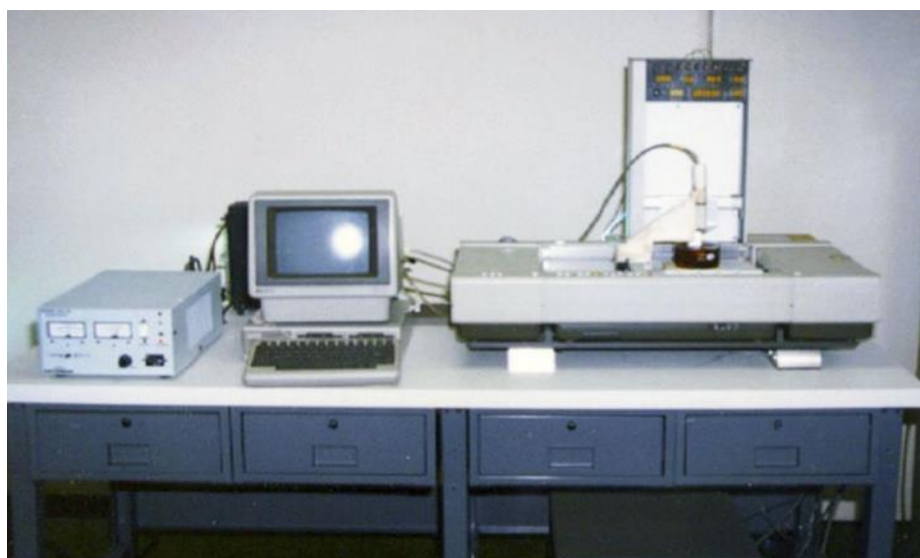
1. ábra Geeetech A20M 3D Nyomtató [geeetech.com]

Ismertetem az FDM technológia felépítését, működését. Bemutatom a lehetséges megoldásokat a konstrukcióra, pontokba szedve részletezem és megindokolom döntéseimet. A végén bemutatom a teljes konstrukció felépülését, javaslatokat teszek a további fejlesztési lehetőségekre. Végül a gazdasági számítást végzek részegységenként (alapanyag és az alkalmazott technológiák költségeiről), majd ezeket összesítve táblázatba foglalom.

2 IRODALOM FELDOLGOZÁS

2.1 3D nyomtatás története

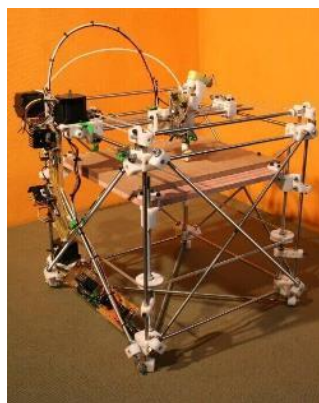
Az eljárás története az 1980-as évekre tehető, ugyanis ilyenkor kezdték meg az additív gyártási folyamatok használatát ipari tevékenységek körében. A legkorábban elkészült nyomtató (1981) Dr. Hideo Kodama nevéhez fűződik. Ez a gép polimerizálható gyanta és UV fény használatával rétegről rétegre építette fel a legyártandó prototípust. Chuck Hull 1986-ban egy általa kifejlesztett szabadalmat nyújtott be az Amerikai Egyesült Államokban „Készülék háromdimenziós tárgyak sztereolitgráfiával történő előállításához” címmel. Ez a szabadalom alapjául szolgált a ma ismert SLA nyomtatási módszernek, és a 3D nyomtatásban használt „stl” fájl formátum létrehozatalában, 1988-ban jelent meg az első ipari SLA nyomtató. Ezeket a nyomtatókat elsősorban az orvostechikai berendezéseket gyártó vállalatok körében, illetve repülőgép-, és autóiipari prototípusgyártásában alkalmazták. A technológiával a lehető leggyorsabban tudtak előállítani prototípusokat, főként ennek köszönhető a sikerét. A technológiát képességei miatt, eleinte RP-nek (Rapid Prototyping- Gyors prototípus) nevezték, főként a General Motors és a Mercedes-Benz járt az élen a használatában.



2. ábra SLA 1 (első SLA nyomtató) [www.nano-di.com/]

A másik sikeres eljárás a Scott Crump által 1987-ben kidolgozott technológia. Lényegében az FDM típusú nyomtatók alapjául szolgált.

A nyílt forráskódú rendszerek megjelenésének köszönhetően vált elérhetővé tömegek számára a 3D nyomtatás. Ez a rendszer a RepRap (Replicating Rapid Prototyper), ami a szálolvasztásos technológia egyik válfaját veszi alapul. Előnyük, hogy számos alkatrésze kinyomtatható egy 3D nyomtatóval és házilag is összeszerelhető. A nyomtatáshoz felhasznált anyagok szemszögéből is olcsóbb, mint az SLA esetében. Az első „Darwin” kódnevű RepRap gép 2008-ban készült el.



3. ábra RepRap 1.0 Darwin [hackaday.com]

Az FDM technológia szabadalmának lejártával több vállalat is elkezdett hangsúlyt fektetni ezen eszközök kutatásába, fejlesztésébe. A MakerBot 2013-ban létrehozott egy weboldalt, a Thingiverse-t, ahol 3D modellek szabadon voltak elérhetők. Egy másik neves gyártó, a Shapeways kihasználva a nyomtatók iránti igényt, a nyomtatószalonok által kibocsátott mintára egy olcsóbb, otthoni felhasználási igényeket tökéletesen betöltő nyomtatót állított elő. Ezen az elméleten indította el a 3D nyomtató modellek árusítását 2014-ben az Amazon Ltd. is.

2.2 3D nyomtatás technológiák

A gyártástechnológia fejlődése révén többféle gyártási és megmunkálási eljárás jött létre. A fémiparban legelterjedtebb a szubtraktív gyártási eljárással végzett munkavégzés. Szubtraktív eljárások alatt az anyagleválasztással, lényegében forgácsolási (fűrés, marás, esztergálás) megmunkálással történő folyamatokat hívjuk. De ide tartoznak a fémiparban előszeretettel alkalmazott öntés, kovácsolás is, amelyek segítségével állítják elő a kívánt munkadarabot. A 3D-s nyomtatásra legtöbbször „additív megmunkálás megnevezésen” szoktak hivatkozni, melynek lényege, hogy a végtermék egymásra épített rétegekből épül fel.

A felhasznált alapanyagok lehetnek: műanyagok, fémek, papírok, kerámiák, szerves anyagok, ételporok, szinte bármilyen anyag felhasználható, amelyet a nyomtatás során egymásba lehet olvasztani.

A 3DP (3 Dimensional Printing), illetve az additív gyártási technológiák hét fő csoportra oszthatók, amelyek különféle eljárást foglalnak magukba.

1. Material extrusion: Olyan eljárás, ahol a hőhatásra megolvasztott anyagot extrudálják. Lényegében az FDM, az FFF technológia, amely a műanyag vagy műanyagalapú kompozitok felhasználását teszi lehetővé.
2. Vat polimerization (VAT): Ide az SLA, DLP és CDLP eljárások tartoznak. Lényegében fotorezisztív műgyantával (resin) történő fotopolimerizáció.
3. Binder jetting: A felhasznált alapanyagtól függetlenül a BJ elnevezést használják a technológiára. Kerámia, homok vagy fém részeket kötnek össze kötőanyagot tartalmazó anyagsugár segítségével.
4. Powdered bed fusion (PBF): Nevéből adódóan porréteg megolvasztásával alakul ki a kívánt munkadarab. Ez a csoport 4 részre osztható a benne levő technológiák szempontjából. MJF- kötőanyag felhasználásával és hőenergiával olvasztott műanyag, SLS-lézersugárral olvasztott műanyag, DMLS/SLM-lézersugárral olvasztott fém, EBM-elektronsugárral olvasztott fém munkadarabok előállítási technológiái.
5. Material jetting (MJ): Ez az eljárás leginkább a 2D-s tintasugaras nyomtatásra hasonlít, csak a tinta helyett anyagsugarat alkalmaznak. Többféle anyag használható fel egyidőben. Gyártási elnevezését a felhasznált alapanyagok adják: MJ, NPJ, DOD.
6. Direct energy deposition (DEP): Közvetlen energiahatással történő anyagolvasztás. LENS-a felhasznált energiát lézersugár biztosítja, EBAM-elektronsugárral történő olvasztás.
7. Sheet lamination (SL): LOM (Laminated Object Manufacturing) kompozit és papír anyagú lemezek összeolvasztása.

FDM technológia

Az elnevezés mindkét esetben egy rövidítés, FDM – Fused Deposition Modeling vagy FFF – Fused Filament Fabrication. Azaz huzalleolvasztásos, vagy más néven ömledék rétegzés módszere. Az egyik legelterjedtebb technológia, ami műanyagszál (filament) leolvasztásán alapul. A filament szál formában egy felcsévelt tekercsről, a száladagoló segítségével bekerül egy fűtött extruderbe, amely megolvasztja az adott polimert. Majd onnan tovább haladva, a fűvókán keresztül, állandó térfogatáramú olvadék formájában kerül a tárgyasztalra, ahol az anyag újra szilárd állapotába kerül. A tárgyasztal a fűvókához képest különböző irányba történő mozgatásával (CAD modell geometriájának megfelelően), rétegről-rétegre hozza létre a kívánt munkadarabot. Az egymásra függőlegesen épülő rétegek folyamatosan összeolvadnak, a tárgyasztal lapjától számítva felfelé. A filament átmérője, valamint a fűvóka furatátmérője határozzák meg a rétegek vastagságát. A 1,75 mm-es huzalátmérő 0,06-1,75 mm rétegvastagságot, míg az 1,25 mm huzalátmérő 0,025-1,25 mm rétegvastagságot tesz lehetővé.

A technológia előnyei:

- csak a nyomtatáshoz szükséges anyagmennyiséget használ a nyomtató
- számos alapanyag megválasztásának lehetősége
- az üzemeltetéshez minimális humán beavatkozás szükséges
- viszonylag könnyű és erős alkatrészek készíthetők, a belső térkitöltésnek köszönhetően
- prototípusok és teszt alkatrészek gyártására a lehető legjobb lehetőség, mivel „szinte” bármilyen bonyolult munkadarab elkészíthető vele, kedvező költségek mellett
- nincs szükség szerszámra vagy segédberendezésre (gépsorok), pl. egy készülék, vagy fröccsöntő szerszám tervezése, legyártása hónapokat vesz igénybe,
- egyszerűen végezhetünk módosításokat a modellen egy CAD szoftver segítségével
- szoftverek segítségével paraméterek szabadon állíthatók, módosíthatók (nyomtatás sebessége, tárgy belső kitöltése)
- egyszerűség miatt nagyobb üzembiztonságot jelent
- nincs szükség utólagos keményítésre, festhetők és ragaszthatók
- minimális hulladék keletkezik

A technológia hátrányai:

- sorozatgyártás szempontjából nem gazdaságos, nem alkalmas (lassú nyomtatási folyamat miatt)
- a tárgyasztal kihasználatlansága (munkadarab méretétől függ)
- magas energiafogyasztás (a nyomtatás időtartama több órát/napot is igényelhet)
- méretbeli korlátok, alsó és felső irányban is
- az elérhető felületi minőség, simaság (nem éri el azt a felületi minőséget amit, egy köszörülés, polírozás után lehet kapni)

SLA technológia

SLA – Stereolithography (sztereolitográfia), ez az első szabadalmaztatott 3D nyomtatási módszer. Folyékony halmazállapotú, koncentrált UV vagy lézerfényre szilárduló (fotoszenzitív) anyagba merül be egy tálca (build plate), ami a nyomtatási folyamat közben felfelé halad. A kád alja és a tálca között egy rétegnyi gyanta van, ami a számítógép által vezérelt kisteljesítményű CO₂ lézer (40 - 400mW) lézersugár megvilágításának hatására kikeményedik, ezzel (térhálós polimerizációval) felépítve az alkatrészt. Az adott réteg megszilárdulását követően a tálca egy rétegnivel tovább emelkedik a kádban, majd felépíti a munkadarab következő rétegét. A művelet során a munkadarab fentről lefelé rétegenként (0,05-0,1 mm) alakul ki, emiatt látszatra olyan, mintha a build plate „kihúzná” a folyadékból a tárgyat. Az elkészült alkatrész a folyamat befejezésével szilárdító UV kezeléssel kell átessen.

A technológia előnye:

- nagy méretpontosságú és bonyolult részletességű alkatrészek előállítására képes
- alkatrészek viszonylag sima felületűek, ezért ideális vizuális prototípusok gyártásához
- speciális alapanyagok megválasztásának a lehetősége, pl. rugalmas, átlátszó és önthető gyanták

A technológia hátránya:

- törékenyek, nem alkalmasak funkcionális prototípusok készítésére
- napfény hatására romlik a munkadarab mechanikai tulajdonsága és a megjelenése
- nem alkalmas mechanikailag megterhelő feladatok ellátására

DLP technológia

A DLP – Digital Light Processing nyomtatási technológia hasonlít az SLA típus működéséhez. Abban különböznek, hogy a megvilágításra nem lézert, hanem név szerint egy DLP projektort használnak. A projektor használata lehetővé teszi, hogy részletesebb tárgyakat lehessen készíteni. A projektor a megvilágítást követően egészréteget készít. Az elkészült alkatrész pontossága a nagymértékben függ, a DLP minőségétől. A nyomtatási folyamat során a vetített fényforrás egyidőben teljes felületet világít meg, amíg a lézer sugárral pontszerű megvilágítás lehetséges. Ennek eredménye, hogy a kívánt munkadarab elkészítéséhez kevesebb idő szükségesebb, mint az SLA nyomtatók esetében.

A DLP technológia előnyeit és hátrányait tekintve az SLA technológiáknál leírt pontokkal megegyeznek. Az eltérést a két technológia között, a használt fényforrás beli különbözetből adódik. A nyomtatási idő hossza és az elkészült prototípus minőségére, pontosságára vonatkozó tulajdonságok minimálisan eltérhetnek. A DLP nyomtatók esetében kiemelendő hátrány a dobozos felületkezelés. A munkadarab nyomatainak lekerekített, ívelt idomai felületminőségüket tekintve nem annyira sima felületűek az SLA-hoz képest. Emiatt több utómunkálat szükséges a prototípus elkészülését követően.

CDLP technológia

CDLP – Continuous DLP- vagy CLIP – Continuous Liquid Interface Production néven is ismert. Ebben az eljárásban a megvilágított felületet folyamatosan fény éri, míg a DLP esetében a fényforrás időszakosan fel-le kapcsol. Ebből az következik, hogy a munkadarab nem rétegződésekből épül fel, hanem a kikeményedési idő függvényében, határozott (lassú) sebességgel emelkedik ki a resinből. Valamint a tartály és a megvilágító ablak között helyezkedik el egy membrán, amibe oxigént juttatva megakadályozzák a resin ablakra történő kikeményedését.

BJ technológia

BJ – Binder Jetting nyomtatás alapanyaga por állagú. A felhasznált port általában kerámia, de használható homok, üveg, műanyag, vagy fémpor is. A szemcséket kötőanyag segítségével ragasztják össze, majd egy hőkezelési eljárás elvégzését követően keményedik ki a munkadarab. A kötőanyag egy fúvókán keresztül jut a porhoz.

Ebben az eljárásban van lehetőségünk különböző színű nyomatokat készíteni, amit a kötőanyagba adagolt pigmentek segítségével érünk el.

MJF technológia

MJF – Multi Jet Fusion. Lényegében vegyi anyag cseppeket (milliók számban) juttatnak a műanyag porrétegre, így kikeményítve az anyagot. Kiemelendő jellemzője, hogy analóg módszerrel szabályozni lehet egy kép pixeleinek térfogatpicleinek paramétereit. Ezzel képesek vagyunk módosítani az anyag színét vagy mechanikai tulajdonságait.

SLS technológia

SLS – Selective Laser Sintering, Szelektív lézer szinterezés. Egy nagy teljesítményű lézersugár (50 W) és egy pásztázó tükörrendszer segítségével szilárdítják meg a polimer réteget. A felhasznált alapanyag porállagú. Az eljárás folyamata a poradagolóban lévő speciális finomszemcsésű műanyag port, (egy henger segítségével) egyenletes vékony rétegben terítik egymásra a tárgyasztalon.

Ez után a lézer egység a CAD fájlból a szelet kontúroknak megfelelően keményíti ki az anyagot. Minden réteg elkészülte után a tárgyasztal lejjebb süllyed, így építve egymásra a rétegeket.

A technológia előnye:

- A munkadarab kiálló részeinek, a folyamat közben nincs szükség alátámasztásra (support), mivel a megszilárdított anyag körül marad a „felesleges” por mennyiség egyfajta támasztékként szolgál.
- Ehhez az eljáráshoz érhető el a legtöbb alapanyag, szinte minden hőre lágyuló és viszkozitását csökkentő anyag alkalmas az efféle nyomtatásra. Pl. kvarchomok, precíziós öntészeti viasz, fémpor, műanyagok.
- Az anyag jellegéből adódóan keverhető, ezáltal számos eltérő anyaggal készíthető alkatrész.
- Az elkészült munkadarabon anyagvizsgálat, és különféle felületkezelési munkálatok végezhetőek.
- Teljes fém alkatrészek is készíthetők.

A technológia hátránya:

- Üreges alkatrészek nem készíthetőek vele (- mert közre fogná a fel nem használt port) csak tömör alkatrészek.
- Anyag felhasználás szempontjából nem takarékos.
- Eljárás során lényeges zsugorodásnak van kitéve, amire ügyelni kell a tervezés során.
- Nyomtatás során a lézer használat miatt káros sugárzás, gáz keletkezhet.

DMLS/SLM technológia

Direct Metal Laser Sintering / Selective Laser Melting. Az eljárás lényegében az SLS eljárásra alapszik. Az SLS technológia kiterjesztése fém alkatrészek alkotására. Az olvasztást, ez esetben is egy nagyteljesítményű lézer (250W) olvasztja meg (szintereli) hozzáadott kötőanyag nélkül. Jó minőség és szilárdságtani tulajdonságok érhetőek el.

EBM technológia

EBM – Electron Beam Melting. Ez a technológia többnyire az SLM technológiára hasonlít. Amiben különbözik, hogy elektronnyaláb segítségével olvasztják meg a nyomtatáshoz használt fémport. A munkafolyamat egy vákuumkamrában történik. A gyártási művelet közben argon védőgáz segítségével óvják a megolvasztott fémeket az oxidációtól. Nagy teherbírású és precíz alkatrészek gyárthatók vele.

MJ technológia

MJ – Material Jetting. Szokták PolyJetnek is nevezni. Lényegében működési elvének alapját a tintasugaras nyomtatók adják. A nyomtatófejek vízszintes irányban (x-y) mozogva, a CAD modellben szereplő alkatrésznek megfelelően készítenek nyomtatványt, és az asztal függőleges irányba történő elmozdulásával készül el a térbeli kiterjedésű munkadarab. A nyomtató rétegről rétegre építi fel a fényérzékeny (fotopolimer) anyagot, amit UV fény segítségével kikeményít. Egyszerre több és különböző színű alapanyaggal képes nyomtatni, ami azt eredményezi, hogy mechanikai tulajdonság szempontjából jól alakítható (rugalmas, merev, biokompatibilis) az elkészíteni kívánt termék. A nyomtatás során bonyolult geometriájú alkatrészeknél alkalmaz a nyomtató támasztást (supportot), amit külön erre a célra szolgáló nyomtatófej végez. A támaszanyag, a nyomtatás befejezése után víz segítségével leoldható az alkatrésztől.

NPJ technológia

NPJ – NanoParticle Jetting. Nanorészecskék sugárzásával történő tárgyalakítási eljárás. Nyomtatáshoz folyadékot használ (hasonlóan, mint a tintasugaras nyomtatók), amiben fém vagy kerámia építő nanorészecskék találhatók. A nyomtatás során, a kinyomott anyagból a hő hatására elpárolog a folyadék és csak a szerkezeti anyag marad a tálcán. Képes 1 mikronos rétegvastagság készítésére.

A technológia előnye:

- Nagy pontosságú és sima felületű alkatrészek készíthetők vele.
- Sokféle anyag megválasztás lehetséges.

A technológia hátránya:

- Az UV-aktivált fotopolimer alapanyagú munkadarabok idővel törékennyé válnak (elveszítik a mechanikai tulajdonságaikat).

DOD technológia

DOD – Drop On Demand. Az MJ technológiára hasonlít leginkább. Anyagsugaras nyomtatási technológia. A nyomtatás során két fűvókát használ. Az egyik fűvóka a szerkezeti anyag, a másik az oldható hordozóanyag pontszerűlerakására szolgál. A CAD modell elkészítéséhez szükséges útvonalon halad a fej. Közvetett 3D nyomtatásnak szokták nevezni, mivel többnyire öntőformák készítésére használják.

LENS technológia

LENS – Laser Engineering Net Shape. Lézersugár segítségével olvasztja meg az alapanyagot. A por mennyiséget egy poradagoló képes szabályozni, majd kellő mennyiségű anyagot juttat a lerakófejbe. Felhasznált alapanyag lehet: ötvözet, kerámia, kompozit. Argonnal töltött hermetikusan zárt kamrában zajlik a nyomtatás, ez biztosítja a szükséges (minimális) páratartalmat és védi a megolvasztott fémeket az oxidációtól.

Előnye, hogy készterméket további eljárásoknak vethetik alá (pl. sajtolás, hőkezelés), illetve nyomtatható titán és rozsdamentes acél is.

EBAM technológia

EBAM – Electron Beam Additive Manufacturing. Elektronsugár segítségével olvasztanak meg fémhuzalt. Kettős huzaladagolóval is működtethető, ezzel lehetővé téve egyedi ötvözetek előállítását. Titán, tantál és nikkel alapanyaggal is nyomtatható. Többnyire nagyméretű fémszerkezetek elkészítésekor alkalmazzák ezt a technológiát.

LOM technológia

LOM – Laminated Object Manufacturing. Rétegelt darabgyártás, egyik legrégebb óta alkalmazott eljárási forma. Lényegében egy (adhéziósan kötődő) fóliaszerű anyagból lézernyaláb segítségével vágják kívánt alakúra és olvasztással (laminálással) erősítik egymáshoz a rétegeket, így felépítve egymásra a rétegeket.

A rétegek egyik oldalán ragasztó található, ami hőhatására (adagoló henger segítségével) aktivizálódik. A rétegek adagoló lap segítségével jutnak a munkaasztalra. Ezt követően a folyamatosan érkező egymásra pakolt laprétegeket egy lézer a kontúrok mentén kivágja a formát, a kieső (selejt) részeket is rács szerűen bevágja, hogy roncsolásmentesen eltávolítható legyen a kész alkatrész. A tárgyasztal a rétegvastagsággal megegyező mértékben halad függőleges irányban lefele, így kialakítva a kívánt munkadarabot. Támasztékot nem igényel, mivel az anyagfölség megtartja a túlnyúlt részeket.

A technológia előnye:

- Masszívkötés létesítésére alkalmas.
- Olcsó, gyors technológia.
- Környezetbarát eljárás.
- Utó munka végezhető rajta.

A technológia hátránya:

- Üreges test korlátozottan készíthető.
- Az anyagfelesleg eltávolítása során megsérülhet a munkadarab, valamint időigényes a folyamat.
- Pontos prototípus elkészítésére nem alkalmas, valamint összetett alkatrészek nem készíthetők vele (üreges alkatrész sem).

ADAM technológia

ADAM – Atomic Diffusion Additive Manufacturing. Egyik legújabb technológia. Többnyire rézalapanyagú fémnyomtatásra alkalmazható. Műanyag alapú hordozóanyag segítségével kötik meg a fémport. A munkadarab nyomtatása közben fontos ügyelni a pontos mérettartásra, mivel a nyomtatás után kimossák a kötőanyagot a munkadarabból, majd hőhatására kemencében megolvasztva szinterezést követően a fémpor összediffundál. Így alakul ki a késztermék.

A technológia előnyei:

- Nagy pontosság érhető el vele.
- Sokféle alapanyag esetében alkalmazható.

A technológia hátrányai:

- Háromszög alakú kitöltést tartalmaznak.

[Huszár István – Tárgyiasult ötletek ; Kalácska Gábor – Műszaki polimerekről gépészmérnököknek]

2.3 3D nyomtatásban alkalmazott alapanyagok (főként műanyagok, filamentek)

A 3D nyomtatás alapanyaga szinte bármilyen anyag lehet, ami a nyomtatás során képes ragadni vagy összeolvadni, anélkül, hogy lényeges méretbeli (pl. zsugorodás) és formális (pl. vetemedés) alakváltozást szenvedne. A felhasználható alapanyagot és azok állagát többnyire, a nyomtatási technológia határozza meg. Ezek alapján a nyomtatásban előforduló komponensek lehetnek: fémek, gyanták, porok, műanyagok, szénrost, grafit, nitinol.

Fém nyomtatásban alkalmazott anyagok

A 3D nyomtatásban a fém az egyik leggyakrabban használt anyag, a műanyag után. A fémlézeres szinterezés (DMLS) eljárásban alkalmazzák legtöbbször a fémek (porok) használatát. Gyorsabb fémnyomtatási feladatokhoz szálolvasztásos (EBAM technológia) eljárást alkalmaznak. Leggyakrabban légi közlekedési eszközök, prototípusok, alkatrészek legyártására használják. Idővel az ékszergyártásban is alkalmazni kezdték a technológiát, ami gyorsabbá tette az előállítást és növelte a legyártott prototípus mennyiségét.

Rozsdamentes acél: Korrózióálló, jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik a keményítést követően. 20 mikronos pontosság érhető el vele. Az elkészült munkadarab alkalmas utómegmunkálásra: szikraforgácsolható, hegeszthető, polírozható, hőkezelhető, valamint készíthető bevonat a munkadarabra. Ideális vízzel érintkező tárgyak elkészítéséhez.

Szerszámacél: Jó hővezető. Magas hőmérsékleti tartományban is lépes megtartani a tulajdonságait. Jó kopásállóság jellemzi. Nehéz és költséges megmunkálhatósága miatt optimális (költséghatékony) 3D nyomtatásra. Szerszámtestek, illetve szerelvények gyártására alkalmazzák (vágó-formázó bélyeg, forrasztószerelvény). (pl. H12 szerszámacél)

Réz: Jó hő és elektromos vezető. Korrozíó álló (víz és sóoldatokkal szemben). Elpusztítja a baktériumokat. Többnyire elektromos ipar használja- hűtőbordákhoz, áramelosztókhoz, hőcserélőkhöz, de repülő hajtóművet és rakéta hajtóművet is nyomtatnak.

Bronz: Kiegészítők (ékszerek) legyártására alkalmazzák. Jó felületi minőség és rugalmasság jellemzi. Jó hő és elektromos vezető. Jó a korrozíóállósága. Képlékenysége olykor hátrány lehet, de hőkezeléssel helyreállítható. Szilárdságnövelő eljárások alkalmazhatók a munkadarabon.

Króm-nikkel: 700 °C-ig jellemzően jó szakítószilárdsági-, fáradási, kúszási- és szakadási tulajdonságokkal rendelkezik. Kiváló korrozíóálló képesség. Alkalmazása, ideális magashőmérsékletű környezetben, többnyire energiaipar alkatrészeként alkalmazzák (pl. gázturbina).

Titán: Jó mechanikai tulajdonság és korrozíóállóság jellemzi. Kis tömege miatt a járműiparban bevett alapanyag (pl. repülőgép, sportautó), de vegyszerállósága miatt gyógyászati célokra (orvosi eszközök) is alkalmazzák. Utómunkálható, valamint bevonat készíthető a készült munkadarabon. (pl. Ti-6Al-4V)

SLA technológiában használt gyanták (resin)

Az SLA technológiában fényérzékeny műgyantákat (resin) használnak. Számos gyantakinálat megvásárolható, ennek kiválasztását az alkatrész szerepe és funkcionalitása határozza meg. A gyanták főként tulajdonságaikban térnek el egymástól. Különböző keménység, viszkozitás, zsugorodási hajlam, sűrűség, UV fény hullámhossz, szilárdsági jellemzők, üvegesedési hőmérséklet, termikus deformációk jellemzik a gyantákat. A resin műanyagok fénygátló palackokban kaphatóak. A gyantát (a benne lévő komponensek miatt) használat előtt fel kell rázni, valamint ügyelni kell a szavatossági időtartamra.

A szavatosság lejáratát követően nem válik használhatatlanná a gyanta, csak minőségbeli különbségek léphetnek fel nyomtatást követően.



4. ábra Anycubic Resin palack [www.anycubic.com]

Minden gyártó az általa kifejlesztett, szabványos gyantákat kínálja eladásra.

Léteznek:

- Szagtalan
- Bio (növényi alapú)
- Áttetsző
- Színezhető
- Kiegeithető
- Vízrel lemosható
- Rugalmas
- Hőálló
- Burnout
- Fogászati (dental) resinek

Áttetsző gyanták: Leginkább a szabványos gyantákra hasonlítanak. Részletes, sima felületű alkatrészek készíthetők el az anyaggal. Utómunkát követve színtelenné válik. Ellenáll a víznek. Élelmiszeripari alkalmazása nem javasolt.

Növényi alapú gyanták: Jó szívósság és szilárdság jellemző rá. Munkadarabok nem deformálódnak nyomtatásközben, kismértékben hajlamos zsugorodásra. Környezetbarát kivonat. Alapanyaga tekintetében növényi alapú (szójakivonat), ezáltal csökkentve a szúrós kellemetlen vegyszerszagot, de a védőfelszerelés (maszk, kesztyű) használata és a helység szellőztetése továbbra is indokolt.

Vízzel lemosható gyanták: Nagy pontosság érhető el vele, alacsony zsugorodás jellemzi, részletgazdag alkatrész gyártható le. Előnye, hogy a nyomtatást követő tisztításra vizet használnak, emiatt nincs szükség további vegyszerre (IPA-izopropil-alkohol). Vízzel történő tisztítással simább felület érhető el. Gyanta alacsony viszkozitásának köszönhetően gyorsabb a nyomtatási sebesség, ezzel csökkentve a nyomtatási időtartamot. Az elkészült munkadarab repedés állóbb, a többianyaghoz képest. Költséghatékony, mivel tisztítása nem igényel vegyszer használatot.

Rugalmas nyomató gyanták: Rugalmas (gumiszerű), erős és bonyolult tárgyak készíthetők belőle. Mozcóalkatrészek készíthetők belőle, amik az erőhatás következtében alakváltozást szenvednek, majd az erőhatás megszűnésével visszanyeri az eredeti alakját. Emiatt hosszúélettartam jellemzi.

Fogászati gyanták: Merev és szívós, gyors szilárdulás jellemzi. Különbség a többi gyantával szemben, hogy szerves elemekből áll (toxin mentes). Ezáltal használható fogászati célokra (hidak, rögzítések, fogpótlás). Csökkenti az orvosi beavatkozás költségeit.

Porállagú műanyag nyomtatási anyagok

A leggyakrabban porállagú anyaggal történő nyomtatás az SLS technológiával történik. Ezzel az eljárással számos anyaggal történhet munkavégzés. Kialakítástól függően léteznek fém, illetve műanyag SLS nyomtatók.

Műanyagok:

Poliamidok (PA): Az anyagpiramisban a műszaki műanyagok csoportját alkotják. Tulajdonságait számos tényező határozza meg: metilén és amid csoport aránya (CH_2/CONH) és helyzete, molekulaszervezet, kristályosodási fok, és a kristály alakja.

Arány csökkenésével

- növekszik a ridegség és a keménység
- szívóssága csökken
- magasabb folyási hőmérséklet
- kopásállósága növekszik
- hőtágulása csökken
- vízfelvétele növekszik (száraz hűvös helyen tárolandó)
- vegyi ellenállóképessége csökken.

Anyagszerkezetük miatt jól kiegészíthető segédanyagokkal (számos kompozit lehetőség). Gépészeti alkalmazásokban elterjedt. Tulajdonságait tekintve: magas szilárdság, szívósság, nagy keménység, jó csúszási tulajdonságok, jó kifáradási szilárdság és csillapítási képesség, jó kopásállóság, kedvező kúszási ellenállás, széles alkalmazási hőmérséklet tartomány jellemzi. Költségvetési szempontok szerint jó választásnak bizonyul.

Felhasználási terület: csapágypersely, támcsapágyak, görgők, ütközők, fogaskerekek.

Polikarbonát (PC): Biszfenol-A és foszgén reakciójával állítják elő. Hőre lágyuló polimer. Lehet amorf vagy krisztallitos (kis mértékben) szerkezetű. Tulajdonságai:

- jó szilárdság jellemzi, kis kúszásihajlam, mérettartás
- víztiszta, átlátszó anyag
- jó ütésállóság
- vízfelvételt szempontjából elhanyagolható
- kiváló elektromos szigetelő képesség
- nagy kopásállóság
- jócsillapítási képesség
- hőre jól alakítható, formázható
- jól megmunkálható

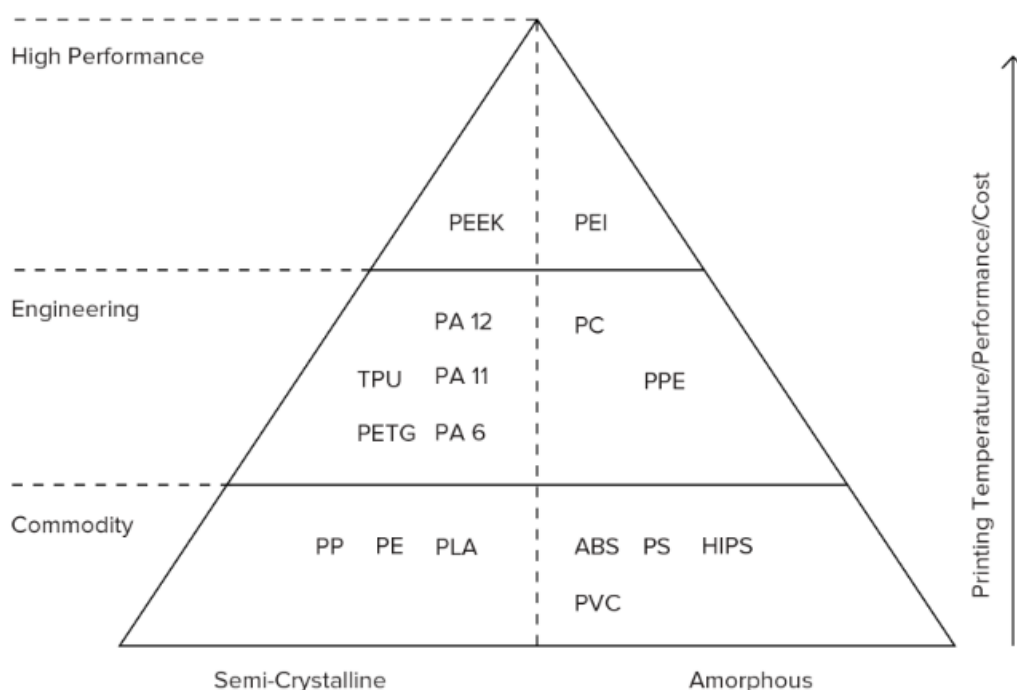
Az építőipar, a műszer- és gépiparban előszeretettel alkalmazzák. Létezik üvegszál-erősítéses kompozitja (GF), ami kedvezőbb mérettartási és szilárdsági tulajdonságot tesz lehetővé. Költségvetés szempontokat tekintve kedvező (olcsó ár).

Kedvezőtlen sajátossága, hogy könnyen karcolóik, illetve fényhatására (fehérfény kék összetevőjét elnyeli) idővel megsárgulnak.

Alkalmazási területek: precíziós műszeripari alkatrészek, orvosi berendezések/kellékek, építészeti alapanyagok, burkolatok, szigetelőelemek.

Az FDM (szálolvasztásos) nyomtatásban alkalmazott anyagok

Az FDM technológia számos előnnyel rendelkezik. Az egyik fő kiemelendő tényező, hogy a nyomtatási technológiák körében a legszélesebb választékot nyújtja alapanyag választék tekintetében. A fröccsöntés technológia terén alkalmazott anyagok közül szinte mindegyikével készíthető munkadarab FDM nyomtatással. A 5. ábrán látható polimer piramis, az FDM nyomtatási technológiában használatos anyagokat mutatja meg osztályozásuk szerint. A piramis több részre van osztva. Megkülönböztetünk (tulajdonság szerint) részben kristályos és amorf anyagokat, valamint teljesítmény, nyomtatási hőmérséklet és ár viszonylatában.



5. ábra Polimer piramis [core77.com]

A piramis első csoportjában (első szint) a műszaki felhasználásra, tömeggyártási célra alkalmazott anyagok vannak. Ezek az anyagok kis szilárdsággal bírnak, viszonylag kishőmérsékleten feldolgozható és alacsony költségvetésű anyagok. A második csoportban (második szint) általános használatú, hagyományos műszaki műanyagok. A piramis ezen területén megtalálható anyagok, jobb mechanikai tulajdonsággal rendelkeznek, magasabb hőmérsékletnek ellenállnak, valamint drágább anyagok. A harmadik csoportban (harmadik szint) a kiemelkedő jellemzőkkel rendelkező műszaki műanyagok vannak. Ezek az anyagok magas szilárdsági tulajdonságokkal rendelkeznek, amik nagy igénybevételnek is kitéhetők, ami mellé komoly pénzügyi költségek társulnak. Jellemzően, műanyagok tekintetében magas hőmérsékleten lágyuló polimerek. Emiatt ezeket az anyagokat csak speciálisabb, a hétköznapiakban alkalmazott nyomtatóktól eltérő berendezésekkel lehet nyomtatni. Olyan fűvókával szerelt nyomtatók, amik képesek 350-400°C -on ezeket az anyagokat megolvasztani. Ezen anyagok esetben szükséges egy zárt, fűtött munkatér (kabin), ezzel biztosítva az anyag egybeolvadását, és óvja a munkadarabot a külső (zárt munkatérrel kívüli) nagyobb légáramoktól, huzattól.

Az felhasznált polimerek hengeres, körkeresztmetszetű szálanyagok (filament), melynek átmérője lehet 1.75 mm vagy 2.85 mm. A filament szálak egy dobra csévélve vásárolhatók meg.



6. ábra Filamentl [3djake.hu]

A hétköznapiakban használt, leggyakrabban használt filamentek a PLA, ABS, PETG. Ezek az anyagok nagy színválasztékkal, különböző kompozit anyagok hozzáadásával eltérő mechanikai tulajdonságokkal érhetőek el. Léteznek szálerősítettanyagok is (pl. szénszál, üvegszál). A filamentek anyagai tartalmazhatnak fém, fa, kőpor vagy elektromos vezetőképeséget okozó anyagokat is. Ezek a különleges, illetve szálerősített műanyagok koptatják a nyomtatófejen lévő fűvókat. Ami idővel kopást, ezáltal eltérő nyomtatási pontosságot eredményez.

PLA (Polyactic acid, politejsav)

Természetes alapú (tejsav), biológiailag lebomló műanyag, amit magas keményítő tartalmú gabonafélékből (kukorica, rizs, búza) tejsavas erjesztéssel állítanak elő. Hulladékkezelés szempontjából előnyös, mivel nedves talajban körülbelül egy év elteltével komposztálódik. Gyors bomláshoz ipari körülmények (nagy nyomás és hőmérséklet) szükségesek. Tárolásakor kerülni kell a párás, napfényes környezetet. Az anyaggal történő nyomtatás egyszerűnek mondható kismértékben vetemedik, illetve zsugorodik. A huzal olvadáspontja 160 °C körül, az ajánlott nyomtatási hőmérséklet 190-220 °C között van. Kemény anyag (szobahőmérsékleten), szakítószilárdsága 50-60 MPa. A hőmérséklet is befolyásolja a mechanikai tulajdonságait, hidegben ridegebb, törékenyebbé válik. Üvegesedési hőmérséklete 55-58 °C körül van, ami különféle adalékokkal, és a kristályossági hányad növelésével 90-100 °C felvihető, de ezzel romlik az anyag keménysége. A szakítószilárdsága a felére csökken. Nyomtatás alatt minimális a gázképződés. Nem igényel fűtött tárgyasztalt, de a jobb letapadás érdekében ajánlott az asztal 60 °C hőmérsékletre melegítése. Oldószerekben nehezen oldódik, emiatt ragasztani sem lehet. Alkatrészek gyártására kevésbé alkalmas, leginkább modellek, prototípusok készítésére használják. Hétköznapi felhasználók körében az ára miatt (alacsony ár) a leginkább elterjedt.

ABS (Akrilnitril-butadién-sztirol)

Szintén népszerű anyag. Háztartási eszközök, járművek karosszéria elemeinek, játékok (LEGO) alapanyagául is szolgál. Sokkal erősebb, rugalmasabb, mint a PLA. Nyomtatás nehezebb, mint a PLA esetében. Magasabb fűvóka hőfok szükséges, 230-250 °C-on lágyul. Amorf, kemény, ütésálló, mérettartó, szakítószilárdsága 35-43 MPa között. Vetemedésre hajlamos. A tapadás javítása, illetve a deformáció csökkentése érdekében szükséges a 80-100 °C -os tárgyasztal hőmérséklet. Zárt munkateret igényel nyomtatás közben (a légmozgás elkerülése érdekében). A nyomtatás során egészségre káros, kellemetlen szagú gőzök keletkeznek, ezért a szellőztetés és az elszívó berendezés használata erősen ajánlott. Vegyszerállósága jó, csak az aceton képes oldani (mivel az ABS fő alkotóeleme), emiatt aceton használatával jól ragasztható. Acetongőz segítségével szép, fényes felület érhető el. Költség szempontjából drágább, mint a PLA, de az ABS is az olcsóbb anyagok közé sorolható.

PETG (Polietilén-tereftalát-glikol)

Harmadik legelterjedtebb az FDM alapanyagok között. A PET (polietilén-tereftalát) glikollal módosított változata. Ötvözi a PLA és az ABS előnyeit: termodinamikai és szilárdsági jellemzők terén. Szakítószilárdsága 50 MPa. Nem vetemedik (hőtágulási együtthatója kicsi), rugalmasabb a PLA-nál. Erős, jó ütésálló anyag, tartós munkadarabok készíthetők belőle. Könnyen nyomtatható, 230-250 °C fűvóka hőfok, valamint alacsony 60-80 °C-os tárgyasztal fűtés szükséges. Nyomtatás során keletkező gőzök szagtalanok. Az anyag erősen nedvszívó képességgel rendelkezik, tárolása odafigyelést igényel.

ASA (Akrilnitril-sztirol-akrilát)

Szerkezetileg az ABS-hez hasonlít. UV álló. Kevésbé zsugorodik, vetemedik, mint az ABS. Magas fűvóka hőfok szükséges az olvasztáshoz, 230-270 °C. Ütésálló, kemény, jó szilárdsági tulajdonságokkal rendelkező anyag 35-50 MPa. Jó rétegtapadás, minimális zsugorodás és alacsony vetemedés jellemző rá. Tárgyasztal 60-100 °C-ra kell fűteni. Zárt munkateret igényel nyomtatás során. Kellemetlen szagú gőzök keletkeznek nyomtatás során.

PA (Poliamid/Nylon)

Erős, ütésálló, hajlékony anyag. Szakító szilárdsága 70-110 MPa. Nagyobb terhelés mellett deformálódhat, ami hőkezeléssel javítható. Szívós, jó kopásálló. Vetemedésre hajlamos. Magas fűvóka hőmérsékletet igényel, 250-290 °C. Tárgyasztal fűtése 70-110 °C. Az anyag erősen nedvszívó tulajdonsággal rendelkezik, bár egyes PA típusok esetében a nedvszívó hatás mértéke között különbségek vannak (PA6-jobban, PA12-kevésbé). Zárt nyomtatótér szükséges, illetve filament szárító alkalmazása (a nyomtatás közben is). Nyomtatás közben nem keletkezik kellemetlen szag. Létezik karbonszálas változat is, bár ehhez megfelelő kemény fűvóka szükséges. Ár tekintetében drágább anyagok körébe tartozik.

PC (Poliakarbonát)

Hőre lágyuló szerves műanyag, melyet bioszfenol A és foszgén reakciójával állítanak elő. Anyag szerkezetét tekintve lehet amorf, vagy kristallitos (kismértékben). Számos kedvező tulajdonsággal bír. Jó hő- és ütésálló anyag. Erős anyag, szakító szilárdsága 60-65 MPa. Nehezen nyomtatható. Zsugorodik, vetemedésre hajlamos. Nedvszívóképessége csekély mértékű. Nagy kopásállóság és jó mérettartás jellemzi. Magas fűvóka hőmérséklet és speciális léptető motor szükséges, 270-300 °C. Tárgyasztalt 100-115 °C szükséges felfűteni. Zárt munkatér használatot igényel (vannak típusok, ahol 80 °C belső hőmérsékletet kell biztosítani). Tapadás segítő szerek alkalmazása szükséges. Szintén a drágább anyagok csoportjába tartozik.

TPU (Hőre lágyul poliuretán)

Rugalmas, hőre lágyuló anyag. Shore A keménység skálán nézve lehet 95A (kemény) és 85A (puha) keménységű anyag is kapható. Puha anyag nyomtatása esetén egy különleges, úgynevezett közvetlen meghajtású extruder (direct drive) szükséges. Lassú nyomtatási sebességgel zajlik a nyomtatás. Nyomtatási hőmérséklet 220-260 °C között történik. A tárgyasztalt alacsony hőmérsékleten 40-50 °C-on elegendő tartani, mivel teflon alapú tárgyasztal esetében képes túlzottan megtapadni. Tároláskor óvni kell a nedvességtől.

PVA (Polivinil alkohol)

Vízben oldódó (érzékeny a nedvességre), hőre lágyuló műanyag. Filament szárító használata ajánlott. Száraz körülmények között történő tárolás indokolt. Az ajánlott fúvóka hőmérséklet a PLA esetében alkalmazott hőmérséklettel megegyezik, 200-220 °C.

Tárgyasztal 50-60 °C -ra történő felfűtése biztosítja a kellő letapadást. Többnyire támasz alapanyagként (support) alkalmazzák. Drága anyag.

HIPS (High Impact Polisztirol)

Szilárdság és hőállóságát tekintve az ABS-hez hasonlít a leginkább. Kiválóan alkalmazható (PVA-hoz hasonlóan) támaszanyagként, annyi különbséggel, hogy nem vízben oldódik, hanem egy limonén nevezetű szerves vegyület segítségével. Az ajánlott fúvóka hőmérséklet 230-250 °C és 70-100 °C-os asztalhőmérséklet igényel.

PEEK (poliéter-éterketon)

Az anyag lineáris aromás polimerláncból áll. Nagy keménység és szilárdság jellemző rá. Szakító szilárdsága 75-130 MPa. Kiváló hőállósággal bír (magas hőmérsékleten is). Jó kopásálló és mérettartó anyag. Ellenáll a radioaktív sugárzásnak. Öregedésálló. Az anyag tömege 70 %-kal könnyebb, mint a hasonló tulajdonsággal rendelkező fémek. Az ajánlott fúvóka hőmérséklete extrém magas 400-450 °C. Vetemedés elkerülése végett a tárgyasztalt 130 °C-ra kell fűteni. Nyomtatás alatt nagymértékben zsugorodik, ezért zárt fűtött kabin szükséges a nyomtatáshoz. Filamentet nyomtatás előtt, és közben is ajánlatos szárítani. Űr- és repülőiparban, illetve a gáz- és olajiparban használatos.

Összefoglaló táblázat

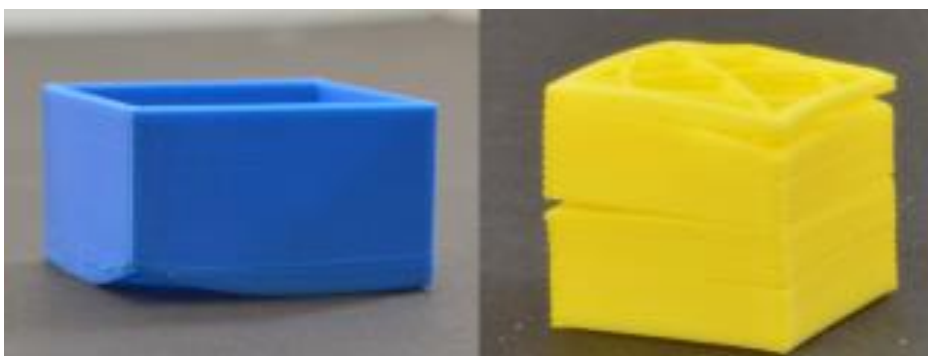
Anyag	Nyomatási hőfok [°C]	Asztal hőfok [°C]	Vetemedés	Keménység	Elaszticitás (rugalmasság)	Nyomtathatóság
PLA	190-220	0-60	alacsony	magas	alacsony	kiváló
ABS	230-250	80-100	magas	közepes	alacsony	közepes
PETG	230-250	60-80	közepes	közepes	magas	jó
ASA	230-270	60-100	magas	közepes	alacsony	közepes
PA	250-290	70-110	közepes	magas	közepes	közepes
PC	270-300	100-115	magas	magas	alacsony	kritikus
TPU	220-260	40-50	alacsony	nagyon alacsony	nagyon magas	kritikus
PVA	200-220	50-60	alacsony	közepes	közepes	közepes
HIPS	230-250	70-100	magas	közepes	alacsony	közepes
PEEK	400-450	130	magas	nagyon magas	közepes	kritikus

[3djake.hu, prusa3d.com, Kalácska Gábor – Műszaki polimerekről gépészmérnököknek, Huszár István Tárgyasult ötletek]

2.4 Fűtött munkatér kialakításának fontossága/szükségessége

A jelenleg kapható és megfizethető árkategóriás nyomtatók burkolat nélkül vásárolhatók meg, részben ezáltal is alacsonyabban tartva az árat; és a legnépszerűbb anyag, a PLA nyomtatása esetében nincs szükség zárt munkatér kialakításra. Ezek az úgynevezett „nyitott” nyomtatók különféle légáramlatoknak, hőmérséklet ingadozásnak vannak kitéve. Számos felhasználható anyag szempontjából ezek a szempontok lényegesen befolyásoló tényezők lehetnek.

A kabinok képesek stabilizálni a nyomtatáshoz szükséges hőmérsékletet. Ezáltal a nyomtatott anyagok nem lesznek kitéve akkora hőmérséklet-ingadozásnak, ezzel elérve a megfelelő térhálósodást, illetve biztosítva a kellő nyomtatási minőséget. A megfelelő nyomtatási minőséggel érhetjük el a CAD modellben szereplő méreteket. A kabin falai bent tartják a szükséges hőt, illetve megakadályozzák az esetlegesen fennálló huzatok bejutását a munkatérbe. Csökkenti a tárgyasztal hőveszteségét. A légmozgás lényegesen több hőt képes elvonni a környezetétől, így a szükségesnél gyorsabban hűl le az anyag. Emiatt a felsőbb réteg gyorsabban húzódik össze, mint az alatta található, ez azt okozza, hogy a felsőbb réteg felfelé húzza az alatta levő réteget. A munkadarab sarkai felkunkorodhatnak az asztalról, sőt esetenként teljesen el is válhatnak a tárgyasztalról (7.ábra), tönkre téve az eddig elkészült nyomtatot. A burkolatok képesek megelőzni a vetemedés, zsugorodás problémáját,



7. ábra Vetemedés [themachinebros.com]

továbbá korlátozza a nyomtatás közben keletkező káros gőzök kijutását. Elszívó berendezés beépítésével ezek a mérgező anyagok eltávolíthatóak. A munkatér a nedvességtől elszigeteli, ezzel meggátolva a filament törékennyé, használhatatlanná válását. Felfogja a helységben található porokat, megakadályozza az elektronikában, a hűtőventillátorokban a por felgyülemelését, továbbá óvja a munkatér a szemeses szennyeződésektől. A zárt kialakítással csökkenthető a nyomtatás során keletkező zajszint is. Professzionálisabb megjelenést kölcsönöz.

Nem csak előny származik a zárt kialakításból. A filament megolvadása nagy hőmérsékleten történik. Ha a zárt téren belül található érzékelők tönkre mennek (hőmérséklet szabályzó, füstérzékelő) könnyen túlmelegedhet rendszer, rosszabb esetben a gyúlékony anyagok akár meg is gyulladhatnak (fontos szempont a burkolat anyag kiválasztása).

Karbantartás szükségessége minimálisan csökkenthető a por kizárásával, de az alkatrészekhez (fűvóka, termisztor, ventilátor) való hozzáférhetőség, szerelés esetén nehézkes, több időt vesz igénybe. A nyitott nyomtatókkal szemben a zárt (a megfelelő biztonsági rendszerrel ellátott) nyomtatók ára magasabb.

[3dsolved.hu, 3dprinterly.com]

2.5 Fűtött munkatér kialakítások

Rengeteg variáció létezik zárt fűthető munkatér kialakítására. Megvásárolhatók az úgynevezett „integrált 3D nyomtatók”, amik teljesen tartalmazzák nyomtatót és a burkolatot. Ezek a berendezések fel vannak szerelve a szükséges érzékelők, ventilátorok és biztonságos működésért felelős eszközökkel. Ezek nyomtatók ár tekintetében a legköltségesebbek.



8. ábra Creality integrált 3D nyomtató [3djake.hu]

Másik opció lehet egy előre legyártott professzionális kész burkolat. Léteznek merevvázaz és „sátor” kialakításúak. Vásárlás előtt szükséges átgondolni különböző szempontok szerint. Elsősorban a nyomtató paramétereit (befoglaló méret, tárgyasztal mozgása), filament tartó elhelyezésének lehetőségét, utólagosan kialakítandó fűtőelemek és fűtő elektronikai berendezések helyét, illetve a biztonságért felelős szenzorok helyét. Továbbá fontos szempont a hozzáférhetőség és a mobilitás.

A munkadarab eltávolítása és a karbantartás során végzendő szerelések (fűvóka és termisztor csere, léptetőmotorok cseréje) helyigényes folyamatok. A túl nagy a burkolat sem optimális a felfűtés és a hőtartás szempontjából. Még fontos tényező a burkolat anyaga és tömege, valamint a takaríthatósága.

Szemponthoz lehet még különleges esetekben alkalmazott berendezések és kényelmi funkciókat szolgáló kiegészítők. Speciális anyag (PETG, PA) nyomtatása esetén szükség lehet filament szárító berendezésre (helyigényes) és filament tekercs tárolására szolgáló tér kialakíthatóságára, illetve a munkafolyamat megfigyelhetősége (biztonsági okokból) végett kamerák felszerelése. Kapható világítással szerelt ház, ami a látványvilág növelését és a (kamerák számára) munkafolyamat láthatóságát segíti elő. Amennyiben szükséges, kapható hangszigetelt nyomtatóház is. Az árat lényegében a felszereltség és az anyaghasználat határozza meg.

- Léteznek nyomtatógyártók által tervezett költséghatékony, a funkcionalitást szolgáló és bárki számára megvásárolható burkolatok. Ezeket egy meghatározott nyomtatójukhoz tervezik pl. Creality.



9. ábra Creality ház [store.creality.com]

Szerkezete alapját alumínium rudak alkotják. Burkolat egy tűzálló, belülről alumínium fóliával borított anyag. Funkcionalitás tekintetében stabilan tartja a hőt, (széles hőmérséklet intervallumon), valamint megakadályozza a külső légáramlatok bejutását a munkatérbe. Nem rendelkezik előre szerelt biztonsági berendezéssel (elszívó, szenzorok, kamera). Ezek felszerelése körülményes, legtöbb esetben nem lehetséges. Utólagosan világítás szerelhető bele. Karbantartás esetén jól hozzáférhető, elegendő zipzárok segítségével leválasztani a burkolatokat. Könnyen tisztántartható. Elbontás esetén tárolhatósága kiváló. Viszonylag olcsó, ára (méret függő) kb. 70-150 dollár.

- Továbbá léteznek merevvázaz (alumínium profil) dobozos kialakítású, plexi oldallappal lezárt terek. Kialakításának köszönhetően masszívabb, testre szabhatóbb szerkezet. A gyártótól (pl. Alveo) megvásárolható, csak önmagában a „doboz”, illetve különféle a speciális anyagok nyomtatásához szükséges berendezésekkel, kiegészítőkkel felszerelt kivitel is.



10. ábra Alveo ház [alveo3d.com]

Előnye, hogy a gyártó az igényeinknek megfelelően, pl. az általunk nyomtatni kívánt speciális anyagok nyomtathatóságának függvényében alakítja ki a szerkezetet. Előre beszerelve elektronikus vezérlő panellel, szűrő rendezéssel, ventilátorokkal, led-es megvilágítással érkezik. Amennyiben szükséges hő- és hangszigetelt kivitel is rendelhető. Utólag beszerelhetők balesetvédelmet szolgáló szenzorok (füstérzékelő, hőérzékelő) és munkafolyamat megfigyelése céljából kamera is.

Hátránya lehet, nehézkes hozzáférés karbantartás és szerelés közben, valamint tisztántartása is körülményes. Költségesebb, mint a „sátor” kialakítású burkolatok.

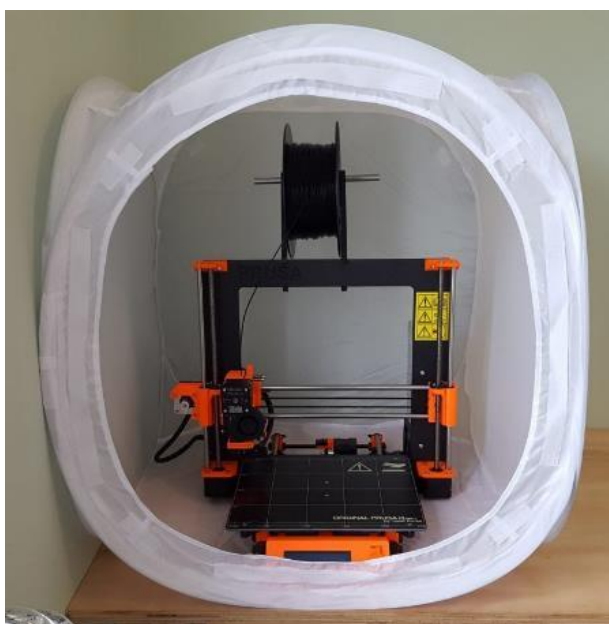
Harmadik opció az úgy nevezett DIY (csináld magad) munkatér kialakítás. Lényegében az ember fantáziájának és elképzelésének megfelelően történik a kialakítás. Kialakításának meghatározói: anyaghasználat, kivitelezés nehézsége, nyomtató szerehetőség és munkatér takaríthatóság, felszerelt kiegészítők (kamera, fűtő elektronika, szűrők), pénzügyi költségek.

- Az egyik legolcsóbb megvalósítás az „IKEA tároló dobozos” nyomtatóház. Könnyen elkészíthető, lényegében dobozokat építünk egymásra. Viszonylag stabil szerkezet. Átlátszó a burkolat, ezáltal könnyen ellenőrizhető a munkadarab nyomtatás közben. A dobozok alapanyaga égésgátló tulajdonsággal rendelkezik, magas hőmérséklet érhető el a munkatérben.



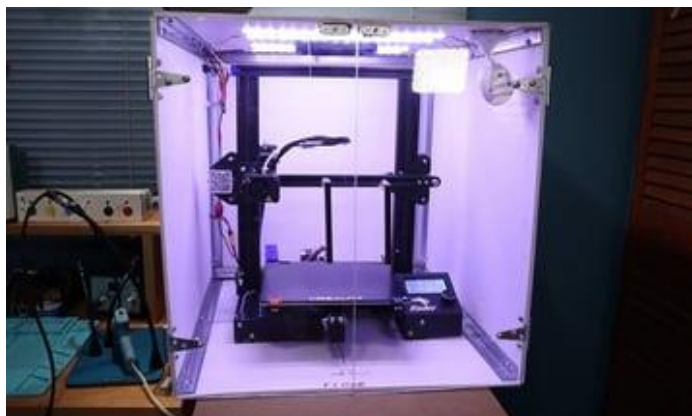
11. ábra IKEA dobozos nyomtatóház [all3dp.com]

- Egy másik költséghatékony megoldás a fotósátorból kialakított nyomtatótér. Lényegében a Creality által kifejlesztett házra hasonlít. Fehér, szintetikus anyagból készülnek, amik jól tartják a hőt és óvják a prototípust a légmozgástól. Tárolás és tisztítás tekintetében is előnyös. Nagy hátránya, hogy gyúlékony az anyag, ezért biztonság szempontjából tágasabb munkatér kialakítása szükséges.



12. ábra Fotósátor [clevercrations.org]

- A korábbiaknál drágább, de az alacsony költségvetésű megvalósításba tartozik a PVC hablapokkal történő kialakítás. Könnyen megépíthető. Mivel egy viszonylag könnyű és törékeny anyag, ezért egy fémlemezről készült (L profil) tokozás szükséges a merevebb szerkezet eléréséhez. Jól tartja a hőt, jól zár, a külső légáramlat nem jut be a nyomtatótérbe.



13. ábra PVC hab nyomtatóház [all3dp.com]

- A korábbiaknál komolyabb, illetve ár tekintetében drágábban megvalósítható, a fából készült burkolat. Nehéz az elkészíthetősége. Masszív, strapabíró szerkezet alakítható ki. Magas hőmérséklet érhető el, a nyomtatótér belsejében. Jól véd a külső légáramlatoktól. Nem újra összeszerelhető, mobilitás tekintetében rossz. Szép megjelenést ad a faerezete miatt.



14. ábra Fa ház [makergadgets.org]

-
- A legkülönlegesebb megvalósítás a DIY zárt munkatér kialakítások közül, a 3D nyomtatással készült alkatrészekből megépített szerkezetek. Ez a leginnovatívabb megalkotás mód. A kivitelezés szempontjából a legszabadabb, mivel teljes mértékben a tervező által tervezett elképzelés alapján készíthető el, a megválasztott anyagtól, a kialakításon át (formavilág), egészen a tervező szoftverben létre hozott CAD fájlorig. Ez nehézség szempontjából a haladó szintű felhasználóknak ajánlott, akik rendelkeznek kellő tapasztalatokkal a zárt munkatér kialakítások terén. Létezik egy Voron nyomtató közösség, aminek a tagjai kifejlesztettek több 3D nyomtató által elkészíthető zárt munkatér kialakításokat. Ezek nyílt forráskódúak, azaz bárki hozzáférhet a CAD fájlokhoz, és kinyomtathatja a munkatérhez szükséges elemeket. Amennyiben nem rendelkezik 3D nyomtatóval az ember, a Voron weboldalán feltüntetett beszerzési listában található boltokban lehetőség adódik az alkatrészek megvásárlására. A honlapon 3D nyomtató alkatrészek is szabadon testre szabhatók (az extrudertől kezdve a léptető motorokig). Lehetőség van profilsínes lineáris csapágyazásra. Ezzel az extruder mozgásából származó kilengések, rezgések csökkenthetők. Így a nyomtatás sebessége növelhető, ezáltal csökkentve a nyomtatási időt, illetve javítható az elkészült alkatrészek minősége (méretpontosabb lesz).
- Masszív alumíniumvázás szerkezet: előnye, hogy az elkészítéshez szükséges alapanyagok árát többnyire az használt filament mennyisége határozza meg. Ha bármely műanyag szerkezeti elem idővel sérülne, bármikor nyomtatható új, ezzel is könnyedén javítható a szerkezet. A munkatér kialakítása lehetővé teszi a nagyhőmérsékleten nyomtatott speciális anyagokkal (pl. PEEK) történő nyomtatást. A tervezése során átgondolt kialakítások lehetővé teszik, a vezérlő elektronika, a kijelző és magas hőre érzékeny elemek a zárttérén kívüli kényelmes elhelyezését. A nagy helykínálat lehetővé teszi szenzorok, fűtőberendezések, ventilátorok, elszívóberendezések, szűrők és kamerák felszerelését a kabinon belül.



15. ábra Voron zárt munkatér [3djake.hu]

2.6 Fűtési módszerek, lehetőségek 3D nyomtatásban

Számos megoldás van, amivel a felmelegíthetjük a kabin belsőterét. A fűtő berendezés kialakítását bizonyos szempontok mentén szükségszerű megvizsgálni. A fűtőelem kiválasztása függ, az elérni kívánt hőmérséklet nagyságától. Figyelembe kell venni a nyomtató és a hozzátartozó elektronika hőállóságát, és hőmérséklettűrését. Tapasztalat szerint, amennyiben a munkatér belsejében 80 °C alatt van a hőmérséklet, nem megy tönkre az elektronika. Bár hosszú távon történő magas hőmérsékletű nyomtatás során érdemes a munkatéren kívül tartani az elektronikát. Az elektronika kiszerezésével a hőmérséklet 100-120 °C fölé is fűthető (a nyomtatott anyag igényeinek megfelelően). Fontos szempont a hőmérséklet szabályozhatósága. Léteznek szabályozható fűtőelemek, amik a hőmérséklet függvényében változtatják a teljesítményüket. Amennyiben nem rendelkezik a fűtőelem beépített szabályzóval, ennek hiányában szükségszerű az utólagos felszerelés, elkerülve az esetleges túlfűtést. Továbbá figyelembe kell venni a fűtőelem és a kabin paramétereit. Célszerű a burkolat méretéhez megfelelő berendezést választani, túlméret esetén csővezetékek segítségével is eljuttatható a meleg levegő a munkatérbe. A legfontosabb szempont, biztosítani a biztonságos üzemelést. A fűtőelemek, helytelen kialakítása a munkatérben, nem megfelelő burkolatanyag választása esetén tüzet okozhatnak.

Munkatér fűtése történhet:

- **Halogén izzó:** Minimális a hőleadás, ezért alkalmazásakor több darabszámra van szükség. Nagyobb teljesítményű izzó magasabb hőmérsékletet eredményez. Előnye, hogy melegítés során nem keletkezik zavaró légáramlat a burkolat belsejében. Jobb nyomtatási minőséget eredményez. Olcsó és egyszerű kialakítás. Hátránya, hogy alacsony hőmérséklet érhető el a burkolat belsejében, és a tér felmelegítése rendkívül időigényes.



16. ábra Halogén izzó [smokingacc.hu]

- **Infravörös izzó (IR):** Lényegében egyfajta izzólámpa, ami infravörössugárzást bocsát ki hőtermelés céljából. Tulajdonságait tekintve hasonló, mint a halogén izzó. Hőtermelése nagyobb, a halogén izzóénál, gyors felfűtést eredményez. Előnye, hogy nem generál légáramlatot, így nem rontja a nyomtatási minőséget. Nagyobb teljesítménye miatt külön tápellátás szükséges a működtetéséhez. Drágább, mint az izzó, de költséghatékony megoldás.



17. ábra IR fűtőpanel [all3dp.com]

- **PTC térfűtő:** Pozitív hőmérsékleti együtthatós (PTC), olyan fűtőberendezés, ami fűtőszál melegítésével és ventilátorral történő levegő áramoltatással, egyenletesen melegíti fel a környezetet. Viszonylag gyors felfűtési idő érhető el. A ventilátorhasználat eredményeként légmozgás keletkezik a tér belsejében, rontva ezzel a nyomtatási minőséget, továbbá zajforrás is. Legtöbb fűtőelem nem rendelkezik beépített hőmérséklet szabályzóval. Emiatt, egy termosztát utólagos beszerelése ajánlatos. Egyszerű a beüzemelése, lényegében a szükséges tápellátást kell biztosítani a berendezésnek. Költséghatékony megoldás, elérhető áron meglehetősen vásárolni ezeket az eszközöket. Zajos, légáramlatot kelt.



18. ábra PTC fűtőelem [amazon.com]

– **DIY megoldások:** Lehetséges egyszerű és bonyolult egyedi megvalósítás.

Egyszerű megoldás lehet egy hajszárító vagy egy hőlégfűvő alkalmazása. Kezdetleges megoldás, mivel ezek használatakor számos probléma merül fel nyomtatás közben. Komplikált a belső tér melegen tartása. Ahhoz, hogy állandó hőmérsékleten tartsuk a bel tér a hőmérsékletét folyamatos hőbevitelre van szükség. Ebből következik, hogy a nyomtatás közben is működnie kell a fűtőeszköznek. Mivel mind a két eszköz nagy légmozgást kelt működés közben (ami lehetetlenné teszi a sikeres nyomtatás), ezért a folyamatos működtetés nem vagy csővezetékeken keresztül lehetséges (ami bonyolítja a szerkezeti felépítést, helyigényes). Továbbá probléma mind kettő eszköz esetében a hőmérséklet szabályozhatósága, valamint külön tápellátást igényelnek.



19. ábra Hőlégfűvő [aktív.hu]

Bonyolultabb, átgondolt megoldás, amikor részegységekre lebontva tervezzük meg a felhasznált alkatrészeket. Szükség van egy külön tápellátásra, ami biztosítja az energiaellátását a rendszer elemeinek (fűtőelem, ventilátor, hőmérséklet szabályzó). Ahhoz, hogy a munkatér hőmérsékletét szabályozni lehessen, szükség van egy termisztorra és egy hőmérséklet szabályzó egységre. A termisztor a hőmérséklet változásának függvényében változtatja az elektromos ellenállását. A termisztor csatlakoztatásával képes a szabályzó egység vezérelni a ventilátorok fordulatszámát és a fűtőelem intenzitását.



20. ábra Egyedi fűtés [all3dp.com]

3 TERVEZÉS

3.1 Tervezési szempontok, megvalósítási folyamatok

A tervezésemet, a szakirodalom kutatás során gyűjtött információk és tapasztalatok felhasználásával készítettem el. A munkateret és a fűtőelektronikát részegységekre lebontva, átgondolt lépések mentén terveztem, illetve választottam meg. Ennek okán állítottam fel egy tervezési peremfeltétel listát. Ebben a listában a kívánt nyomtatási körülményhez megfelelő (módosítható hőfok), illetve szükséges szempontoknak kell megfelelni-e a fűtött munkateret felépítő és a beleépítendő elektronikai egységeknek.

Peremfeltétel lista:

- Zárt, fűthető munkatér kialakítás (60-80 °C-ig)
- Elektronikai elemek megválasztása
- Munkatér hőmérsékletének mérése
- Nyomtató elektronika, fűtőelektronika elhelyezése
- Elszívó berendezés kialakítása, elemeinek megválasztása (szűrők, ventilátor)
- Szerelhetőség, karbantarthatóság
- Utólagos elemek beépítése, fejlesztettség figyelembevétele

Burkolati elemek anyag megválasztására a hőmérséklet számítások elvégzése, valamint a vizsgált anyagokra jellemző tulajdonságok (pozitív-negatív) alapján kerül sor.

3.2 Hőátbocsátás számítása különböző anyagokra

$$\dot{Q} = A \cdot U \cdot \Delta t = A \cdot U \cdot (t_b - t_k)$$

Megnevezés:

A = átadási felület U = hőátbocsátási tényező Δt = hőmérséklet

Hőátbocsátási tényező számítása:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_b} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_k}} = \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Megnevezés:

α_b = belső hőátadási tényező α_k = külső hőátadási tényező δ_n = rétegvastagság
 λ_n = hővezetési tényező

Adatok:

Hővezetőségi tényezők: $\lambda_{rétegelt\ falemez} = 0,15 \frac{W}{m \cdot K}$

$$\lambda_{plexi} = 0,21 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\lambda_{gipszkarton} = 0,2 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\lambda_{levegő} = 0,02 \frac{W}{m \cdot K}$$

Hőátbocsátás számítás gipszkarton esetében:

Hőátbocsátási tényezők:

$$U_{gipszkarton} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,2} + \frac{1}{8}} = 3,33 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$U_{plexi} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,005}{0,21} + \frac{1}{8}} = 3,65 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$U_{duplaplexi} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,003}{0,21} + \frac{0,016}{0,02} + \frac{0,003}{0,21} + \frac{1}{8}} = 0,93 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$U_{duplagipszkartonfal} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,2} + \frac{0,19}{0,02} + \frac{0,01}{0,2} + \frac{1}{8}} = 0,102 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Felületek összeadása:

Gipszkarton falfelületek: $A = A_{Előlap} + 2 \cdot A_{Oldallap} + A_{Alsólap} = (800 \cdot 600 - 650 \cdot 500) + 2 \cdot (800 \cdot 700 - 650 \cdot 500) + (700 \cdot 600) = 155000 + 2 \cdot 235000 + 420000 = 1045000 \text{ mm}^2 = 1,045 \text{ m}^2$

Plexi felületek: $A = A_{Előlap} + A_{Felsőlap} = (650 \cdot 500) + (600 \cdot 700) = 745000 \text{ mm}^2 = 0,745 \text{ m}^2$

Dupla plexi felületek: $A = 2 \cdot A_{Oldallap} = 2 \cdot (650 \cdot 500) = 650000 \text{ mm}^2 = 0,65 \text{ m}^2$

Dupla gipszkarton falfelület: $A = A_{Hátlap} = (800 \cdot 600) = 480000 \text{ mm}^2 = 0,48 \text{ m}^2$

Hőátbocsátás számolása felülettípusonként:

Gipszkarton falfelületek: $\dot{Q} = 1,045 \cdot 3,33 \cdot (60 - 20) = 139,194 = 140 \text{ [W]}$

Plexi falfelületek: $\dot{Q} = 0,745 \cdot 3,65 \cdot (60 - 20) = 108,77 = 109 \text{ [W]}$

Dupla plexi felületek: $\dot{Q} = 0,65 \cdot 0,93 \cdot (60 - 20) = 24,18 = 25 \text{ [W]}$

Dupla gipszkarton falfelület: $\dot{Q} = 0,48 \cdot 0,102 \cdot (60 - 20) = 1,9584 = 2 \text{ [W]}$

Összes hőátbocsátás:

$$\dot{Q} = 132,088 + 108,77 + 24,18 + 1,9392 = 266,9772 \text{ [W]}$$

Hőátbocsátás számítás fa esetében:

Hőátbocsátási tényezők:

$$U_{fa} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,15} + \frac{1}{8}} = 3,16 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$U_{plexi} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,005}{0,21} + \frac{1}{8}} = 3,65 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$U_{duplaplexi} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,003}{0,21} + \frac{0,016}{0,02} + \frac{0,003}{0,21} + \frac{1}{8}} = 0,93 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$U_{duplafafal} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,15} + \frac{0,19}{0,02} + \frac{0,01}{0,15} + \frac{1}{8}} = 0,101 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Felületek összeadása:

Fa falfelületek: $A = A_{Előlap} + 2 \cdot A_{Oldallap} + A_{Alsólap} = (800 \cdot 600 - 650 \cdot 500) + 2 \cdot (800 \cdot 700 - 650 \cdot 500) + (700 \cdot 600) = 155000 + 2 \cdot 235000 + 420000 = 1045000 \text{ mm}^2 = 1,045 \text{ m}^2$

Plexi felületek: $A = A_{Előlap} + A_{Felsőlap} = (650 \cdot 500) + (600 \cdot 700) = 745000 \text{ mm}^2 = 0,745 \text{ m}^2$

Dupla plexi felületek: $A = 2 \cdot A_{Oldallap} = 2 \cdot (650 \cdot 500) = 650000 \text{ mm}^2 = 0,65 \text{ m}^2$

Dupla fa falfelület: $A = A_{Hátlap} = (800 \cdot 600) = 480000 \text{ mm}^2 = 0,48 \text{ m}^2$

Hőátbocsátás számolása felülettípusonként:

Fa falfelületek: $\dot{Q} = 1,045 \cdot 3,16 \cdot (60 - 20) = 132,088 \text{ [W]}$

Plexi falfelületek: $\dot{Q} = 0,745 \cdot 3,65 \cdot (60 - 20) = 108,77 \text{ [W]}$

Dupla plexi felületek: $\dot{Q} = 0,65 \cdot 0,93 \cdot (60 - 20) = 24,18 \text{ [W]}$

Dupla fa falfelület: $\dot{Q} = 0,48 \cdot 0,101 \cdot (60 - 20) = 1,9392 \text{ [W]}$

Összes hőátbocsátás:

$$\dot{Q} = 132,088 + 108,77 + 24,18 + 1,9392 = 266,9772 \text{ [W]}$$

A számítás során ideális környezetet feltételeztem. A nyitható plexi ajtók, a dupla oldalplexi ablakfelületek és az illesztések mentén tökéletesen szigeteltek.

A hőveszteségek mind a két anyag esetében minimálisnak vehetők, így az anyagválasztást tulajdonságaik alapján határoztam meg.

[<https://builder.techinfus.com/>, Némethné Mile Gabriella: Épületgépészeti alapfogalmak]

A fa anyagtulajdonságai:

Előnyei:

- Környezetbarát (megújuló anyag)
- Előállítás és megmunkálási költsége (pénz, energia) alacsony
- Súly/teherbírás aránya egyik legkedvezőbb
- Jó mechanikai tulajdonsággal rendelkezik
- Kis tömegű
- Jó hőszigetelő és hangszigetelő
- Dekoratív (elegáns textúrájú felület)

Hátrányai:

- Idővel a hőingadozás hatására deformálódhat
- Gyúlékonyság
- Szerelhetőség (módosítás esetén)

Gipszkarton anyag tulajdonságai:

Előnyei:

- Nem éghető anyag (tűzálló)
- Minimális zsugorodás (repedés mentes felületnek köszönhetően)
- Jó hő- és hangszigetelő
- Jó teherbírású
- Jó páratartalom kiegyenlítő szerep.

Hátrányai:

- Hulladék képzés (előállítás, megmunkálás során)
- Tömeg
- Tartósan 50°C- fokot meghaladó hőmérséklet nem érheti
- Szerkezeti sérülékenység

3.3 Anyagválasztás kiértékelése:

A számítás és az anyagokra jellemző tulajdonság alapján a munkatér borításának fő elemei fa rétegelt lemezekből készülnek. A nyílászárók és az ablakok átlátszó PMMA-ból (plexiből) lesznek. A szerkezet falvastagsága 10 mm-es. A gipszkarton használata statikailag szilárdabb konstrukciót eredményez, de a szerkezet össztömegét lényegesen megnöveli. A súly/teherbírás aránymutató a különböző anyagok közül, a fa tekinthető a legkedvezőbbnek. Statikailag kevésbé merev, mint a gipszkarton szerkezet, de az összeállított szerkezetnek minimális teherbírásnak kell megfelelni. A szerkezetre ható erőket a szerkezet saját tömegén kívül, a 3D nyomtató váza, elektronikai egységek (alapláp, tápegység, elektromosmotor, ventilátor) és a kiszolgáló elemek (filamenttekercs, zsanérok, szűrőház, szűrőbetétek) adják.

A szükséges teherhordókéesség a fa rétegelt lemez alkalmazása esetén elérhető. Hő és hangszigetelés szempontjából közel azonos tulajdonságokkal rendelkezik a két anyag, hőszigetelés tekintetében minimálisan a fa kedvezőbb. Egy jelentős hátrány gipszkarton esetében, hogy nem képes tartósan 50 °C-ot meghaladó hőmérsékletet elviselni. Mivel alapvető célkitűzés, hogy a jövőben a nyomtatás során a munkatérben levő hőmérséklet legyen 70-80°C, ezért szükséges a fa rétegelt lemezt alapanyagnak választani.

A fának további előnye, hogy természetes anyag. A feldolgozás és az utólagosan történő megmunkálás során keletkező hulladékok (faforgács) teljes mértékben környezetbarátnak tekinthetők.

A fának a legnagyobb hátrányát a gyúlékonysága adja. Mivel a munkatér nagy teljesítményű PTC fűtőelemmel melegítjük fel, (ami fával közvetlenül érintkezve képes tüzet okozni) ezért szükséges ezt megelőző, illetve meggátoló megoldásokat alkalmazni. A fűtőelem körül lévő felületet (alumínium borítású) hővédőlemezzel (hőtükör) szükséges borítani.

Továbbá az anyagválasztást meghatározza a falelemeket legyártandó technológia. A falelemek legyártását lézervágó gép segítségével készítjük el. A gipszkarton vágás lézerrel nem lehetséges, más technológia alkalmazásával lehetséges (pl. marás), ami esetünkben nem áll rendelkezésre, emiatt is indokolt a fa rétegelt lemez alkalmazása alapanyagnak.

Anyag ár szempontjából a gipszkarton kedvezőbb, mint a rétegelt lemez. A tűzgátló gipszkarton 1500 Ft/m² áron, amíg a rétegelt lemez 10 500 Ft/m² áron szerezhető be.

Esetünkben az anyagi szempontok nem döntő szerepűek, mivel a korábban leírt teherbírás, hőmérséklet tűrés és a gyártás megvalósításának lehetőségei miatt a rétegelt lemez bizonyult a megfelelő anyagválasztásnak.

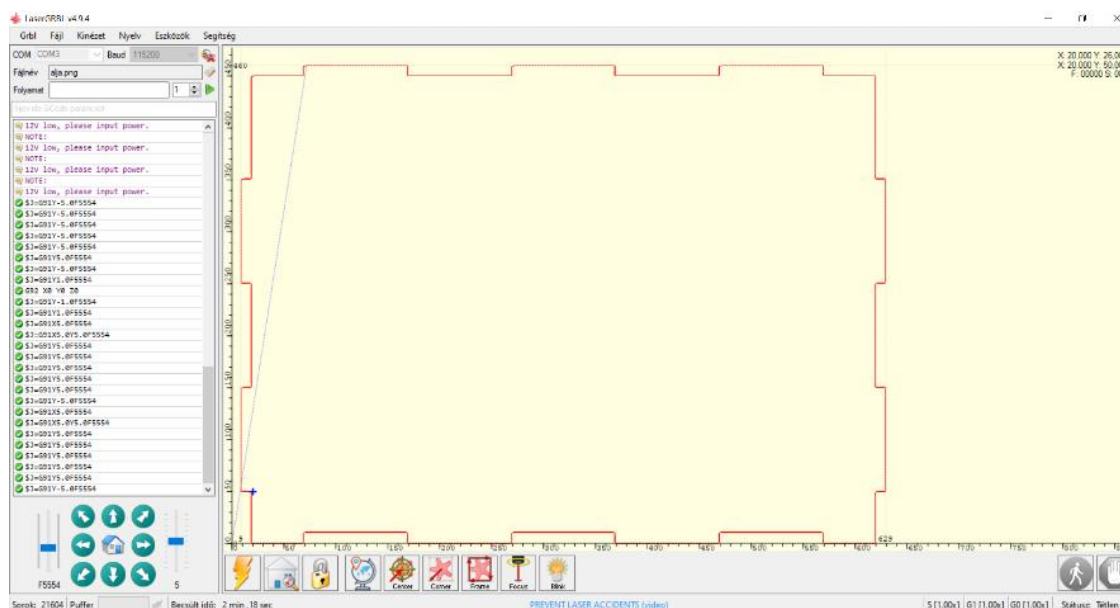
3.4 Falelemek legyártása

A falelemek legyártása fa rétegelt lemezből lesz elkészítve. Az elemek legyártásához használt technológiai eljárásként lézervágást alkalmazunk. Az általunk használt lézervágó munkatere 500 x 800 mm-es. A legyártandó elemek paraméterei nagyobbak, mint a munkatér mérete, ezért az elemeket több darabban készítem el.

Lézervágási folyamat lépései:

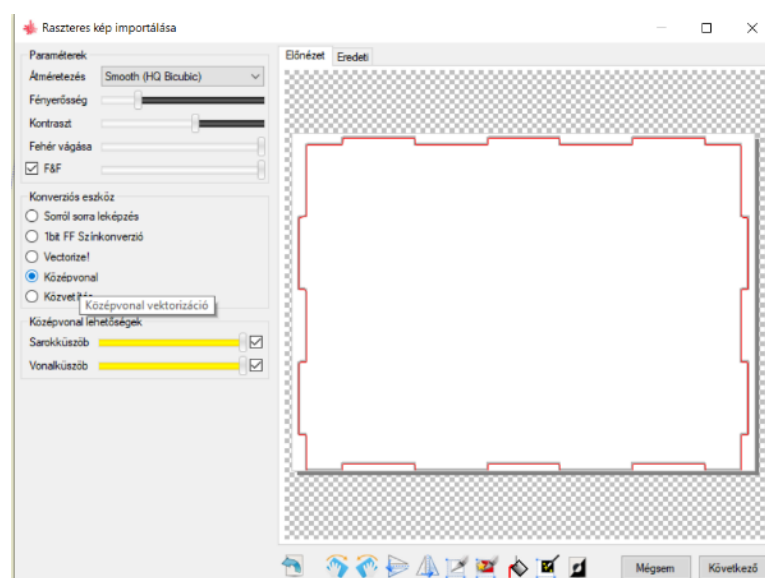
A lézervágás során a „LaserGRBL” nevezetű ingyenes szoftvert használtuk (21-es ábra). Először szükséges a lézervágót egy számítógéphez csatlakoztatni (USB-n keresztül). A csatlakoztatást követően a szoftveren belül be kell állítani, hogy melyik kommunikációs porton keresztül fog zajlani az információ áramlás (estünkben a COM3-as csatornán). A gravírozón található lézerfejegységet G-kóddal vagy a programon belül található manuális vezérlés gombjaival lehet irányítani.

Szükséges beállítani a nullpontot, ezáltal megadva a munkatér sarok pontját (ez a kezdőpont is egyben). A nullpont a munkatér bal alsósarkában található. Megnyitjuk az általunk kivágandó falelem fájl-ját. A program kizárólag „png” fájlokat tud kezelni.



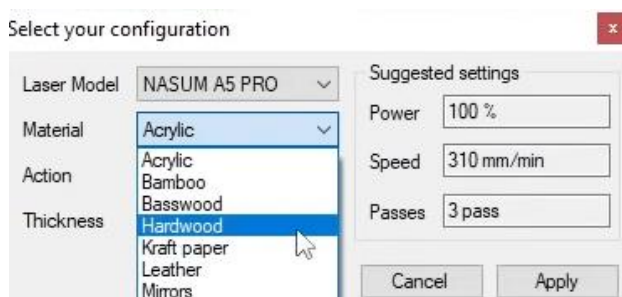
21. ábra LaserGRBL program felület [saját ábra]

A lézer vonala a paraméter beállításoknak megfelelően középvonalon fog végig haladni. A kívánt pontosság elérése érdekében a kivágandó elem a lézerátmérőjének a vastagságával ($2 \cdot 0,25 = 0,5 \text{ mm}$) szükséges volt nagyobbra tervezni az alkatrész és a benne található kivágandó alakelemek (furatok) méreteit. Tudunk módosítani a fényerősség, illetve a kontraszt értékein (22-es ábra).

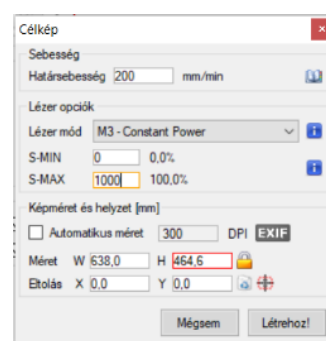


22. ábra Paraméter beállítások [saját ábra]

Ezek után be kell állítani a fejegység sebességét ($\frac{mm}{min}$). A fejegységben egy 15 W-os dióda lézer található. A vágásközben 100%-os lézerteljesítményt használunk. A szoftverben lehetőség van a gyártó által javasolt beállítások alapján végrehajtani a vágást különböző anyagokra (24-es ábra). Majd meg kell adnunk a kivágandó elem képének a méreteit. Esetünkben a vágás során a gép teljes munkaterületét kihasználjuk. A programban való beállítások végén „létrehozzuk” az útvonaltervet (23-as ábra).



24. ábra Ajánlott beállítások
[saját ábra]



23. ábra Sebesség és kép beállítások
[saját ábra]

A beállítást követően a munkatérbe helyezzük a fa rétegelt lemezeket, amikből a dobozelemek kivágásra kerülnek. A rétegelt lemezeket az asztaltól elemelve (távtartók segítségével), ezáltal lehetővé téve a teljes átvágást. A rétegelt lemez alá elhelyeztünk egy fémlamezt, hogy az átvágandó lemez alatti felület ne sérüljön a vágás következtében.

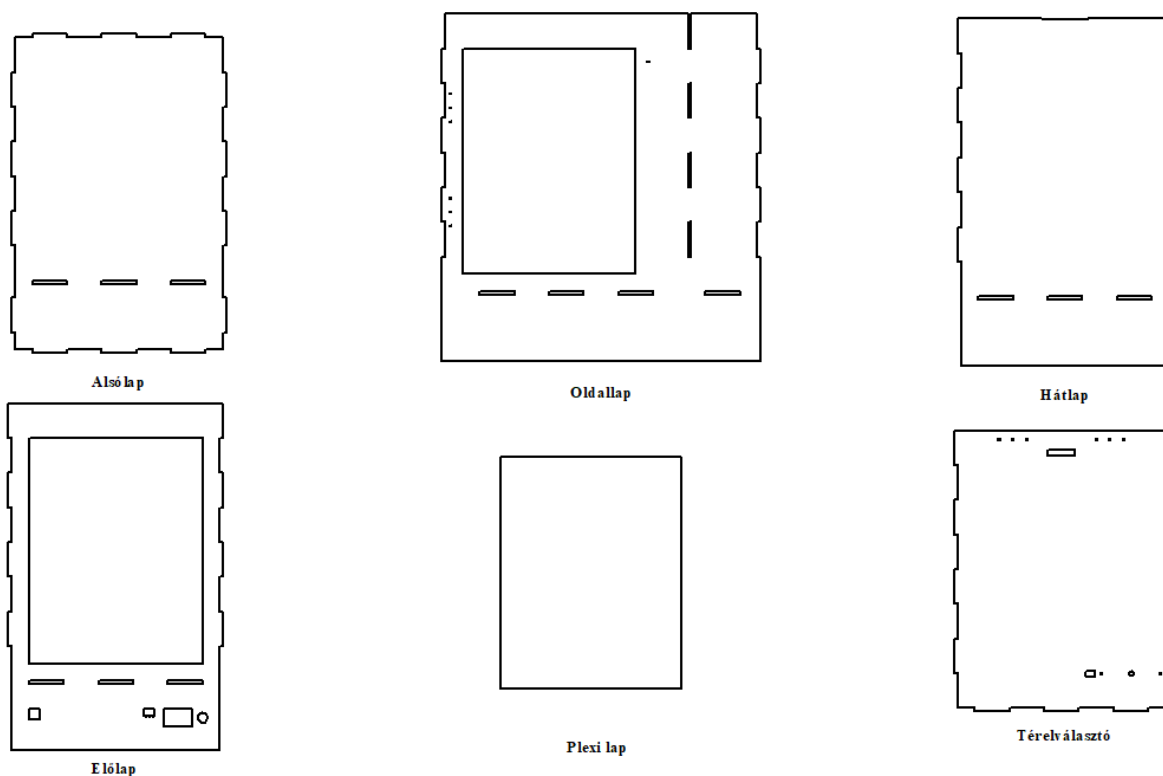
A vágást megelőzően szükség van a lézerfókusz beállítására, mely a lézervágóhoz a gyártó által biztosított kalibráló lapok segítségével történik. A fókusz középpontot érdemes az anyag felszíne alá (az „anyagba”) állítani 2 mm-rel, így tudjuk elérni a vágáshoz szükséges teljesítményt. A lézer átmérője 0,25 mm. A vágás során 100% teljesítményű lég befűvást alkalmaztunk. Légbefűvés használatával gyorsabb vágási sebességet állíthatunk be, elkerülhetjük az anyag meggyulladását vágás közben, illetve szebb vágási felület érhető el.

Indítást követően a kontúr vonalon végig haladva közbevágja a gép. A kivágást követően a körbevágott elem ki fog esni a réteg lapból. Az összes vágandó elem esetében ezeket a beállításokat alkalmazzuk.

Biztonsági okokból a vágás alatt szükséges használni védőszemüveget.

Darabjegyzék

Alsólap: 1 db	Hátlap: 1 db
Oldallap: 2 db	Előlap: 1 db
Térelválasztó: 1 db	Plexi lap: 3 db



25. ábra Szerkezeti elemek [saját ábra]

3.5 3D nyomtatóval legyártott elemek

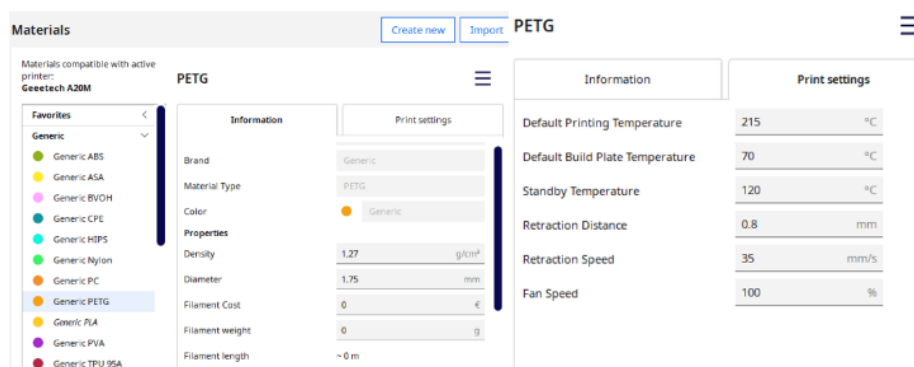
A Solid Edge-ben megtervezett segédelemeket 3 dimenziós nyomtatóval készítjük el. Az FDM nyomtatók a megolvasztott szálakat rétegről-rétegre a tárgy vízszintes metszetének megfelelően építik fel a munkadarabot. Ezért nyomtatáshoz szükséges a választott modellt leszeletelni egy szeletelő program segítségével.

A szeleteléshez a UltiMaker Cura szeletelő programot használom. A program megnyitása után látjuk a nyomtatónk virtuális munkatérét. Minden esetben ebben a munkatérben kerül elhelyezésre a modell. Ahhoz, hogy a szeletelő programban meg tudjuk nyitni a modellt egy „stl” kiterjesztésű fájlra van szükség az adott modelltől. A fájl betöltése után a modellt, a szoftver alapértelmezetten a munkatér közepére helyezi el. Ezután ellenőrizni kell, hogy a nyomtatni kívánt munkadarab egyik része sem lóg túl a munkatéren. Amennyiben nem fér el az alkatrész, a program jelzi írásos formában, illetve szemlélteti színskombinációk mutatójával. Lehetőségünk van a modell mozgatására, illetve elforgatására ezáltal megoldva a modell munkatéren belüli elhelyezését. Amennyiben szükséges, lehetőségünk van a programon belül állítani az arányokat (kicsinyíteni/nagyítani), vagy feldaraboljuk a modellt, és részegységként nyomtatjuk ki. Esetemben a kinyomtatandó alkatrészek úgy lettek megtervezve, hogy elférjenek az általunk használt Geeetech A20M Pro munkatérébe. A munkatér paraméterei 250 x 250 x 250 mm.

A munkadarabot célszerű úgy elhelyezni, hogy minél nagyobb felületen érintkezzen a tárgyasztallal. Az úgynevezett „drop” funkció segít a leoptimalisabban elhelyezni az alkatrészt. Ez minden esetben jobb letapadást biztosít a nyomat számára. Amennyiben munkadarabnak vannak olyan részei, amik nem igényelnek kitöltést (furat), illetve a levegőben vannak vagy nem síkfelület, abban az esetben alátámasztást (support) alkalmazunk. Az elhelyezéskor figyelembe kell venni, hogy az adott munkadarab milyen funkciót fog ellátni a szerkezetben, illetve milyen igénybevételek, erők hatnak rá. Ennek megfelelő szálirányt kell megválasztanunk.

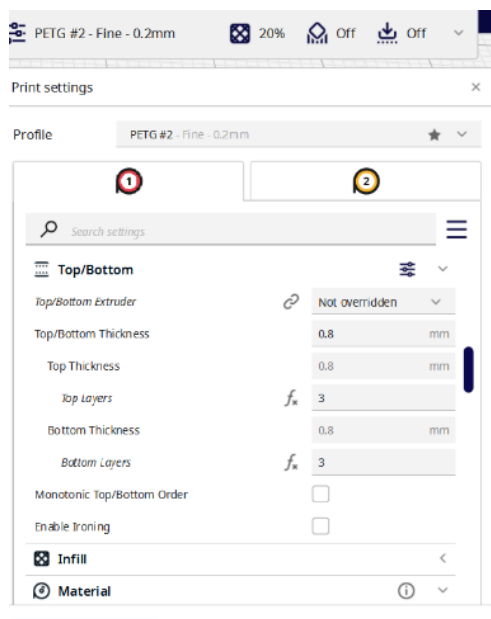
A nyomtatási paraméterek beállítása előtt szükség van anyagválasztásra. Az általam kinyomtatásra kerülő elemek PETG-ből lesznek nyomtatva. Az anyagra vonatkozó paraméterek beállítását a filament gyártó cég mellékelt termékinformációnak megfelelően

kell beállítani. Szálátmérő, nyomtatási hőmérséklet, tárgyasztal hőmérséklet, visszahúzási távolság, visszahúzási sebesség, hűtési sebesség (26-os ábra).



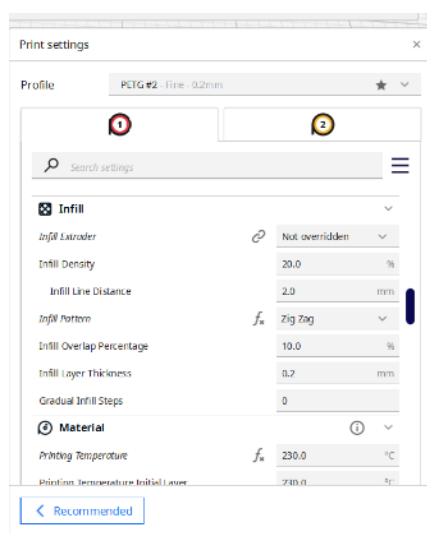
26. ábra Filament beállítások [saját ábra]

A szeletelés során számos nyomtatási paramétert kell beállítanunk. Van lehetőség a program által felajánlott beállításokkal elvégezni a szeletelést, de többször érdemes módosítani és sajátkezűleg kiválasztani a szükséges paramétert, ezzel optimalizálva a nyomtatást. Az egyik legfontosabb beállítás a szükséges rétegvastagság megválasztása. Minél kisebb értéket állítunk be, annál finomabb felületet érünk el, de ezzel megnövekszik a nyomtatási idő. Esetünkben a „draft” típusút választom, 0,2mm-es a rétegvastagság. A tárgy alján és a tetején lévő rétegek külön testre szabhatók. Ezek az úgynevezett kezdő és zárórétegszámok. A kezdő és a lezáró rétegek milliméterben is megadhatók. Az általam beállított értékek a kezdő és a zárórétegszámok tekintetében megegyeznek, 3-ra állítottam (27-es ábra).



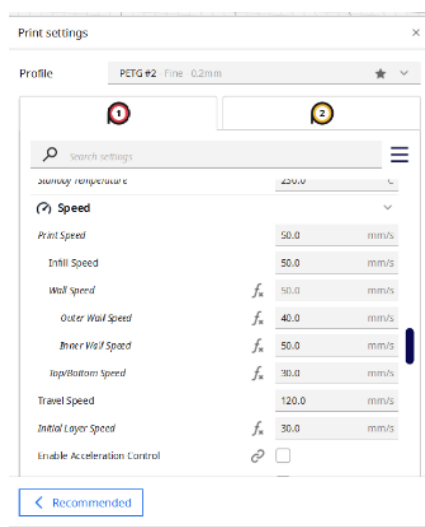
27. ábra Réteg beállítások [saját ábra]

A belső kitöltést 20%-osra választom ezzel csökkentve az alkatrész tömegét, a nyomtatási időt és a felhasznált alapanyag mennyiségét. A kitöltési mintára számos lehetőséget választhatunk, esetemben a „Zig Zag” került kiválasztásra (28-es ábra). A kitöltés sűrűségét és a mintáját a munkadarab szükséges részein változtathatjuk (sűrűthetjük, eltérő mintát választhatunk).



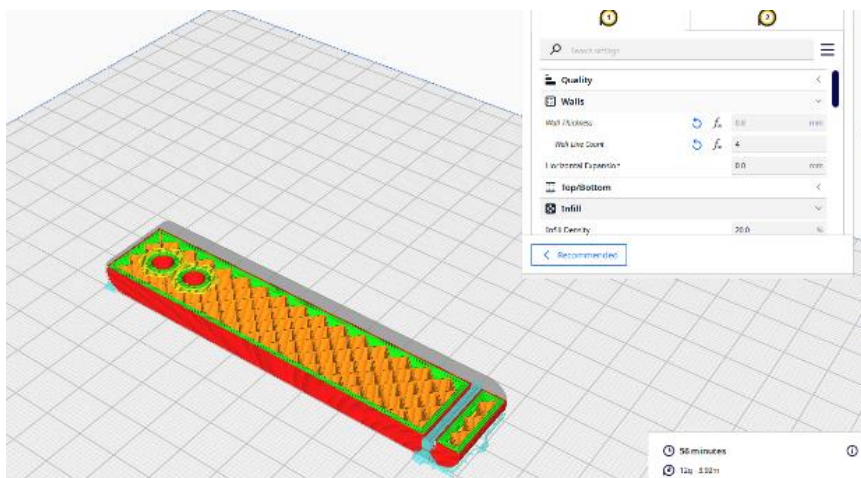
28. ábra Kitöltés beállítások [saját ábra]

A megfelelő nyomtatási sebesség kiválasztása is kulcsfontosságú. A lassabb sebesség szebb felületet és a rétegek között jobb összeolvadást tesz lehetővé. A sebesség nagysága függ a nyomtatott anyagtól. Amennyiben kevésbé „csúszós” a nyomtatott anyag, az gyors nyomtatás közben anyaghiányt okozhat, amennyiben túl lassú a sebesség (a túlhevülő anyag miatt), az beégést idézhet elő. A sebességeket a program által javasoltaknak megfelelően hagytam (29-es ábra).



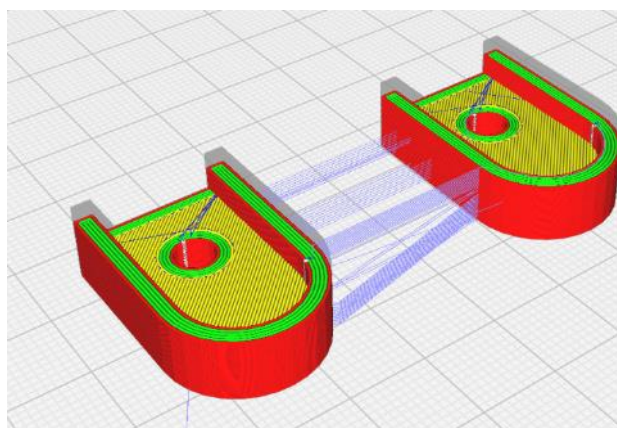
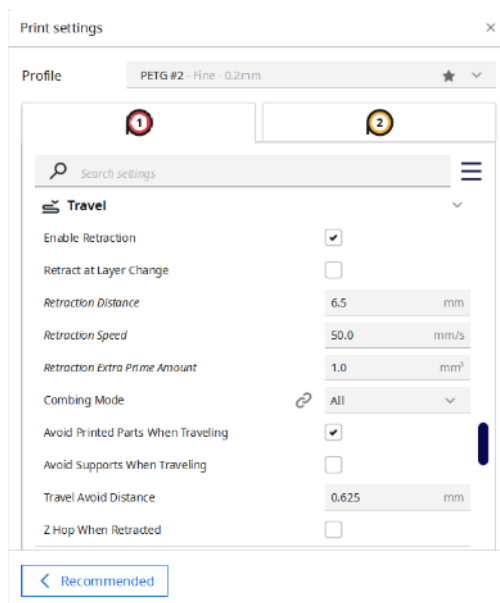
29. ábra Sebesség paraméterek [saját ábra]

A falvastagságát a „Wall thickness” és „Wall line Count” beállításával lehet állítani. Ennek állítását, az alkatrészre ható igénybevételek és az utómunkák (fúrás, köszörülés, hőkezelés) függvényében célszerű megadni. Esetemben a falvastagságot a program által javasolt beállításokon hagytam 0,8 mm-en, amíg a falvonalak számát 4-re módosítottam a merevebb fal elérése céljából és a nyomtatást követő utómunkák miatt. (30-as ábra).



30. ábra Falvastagság beállítások [saját ábra]

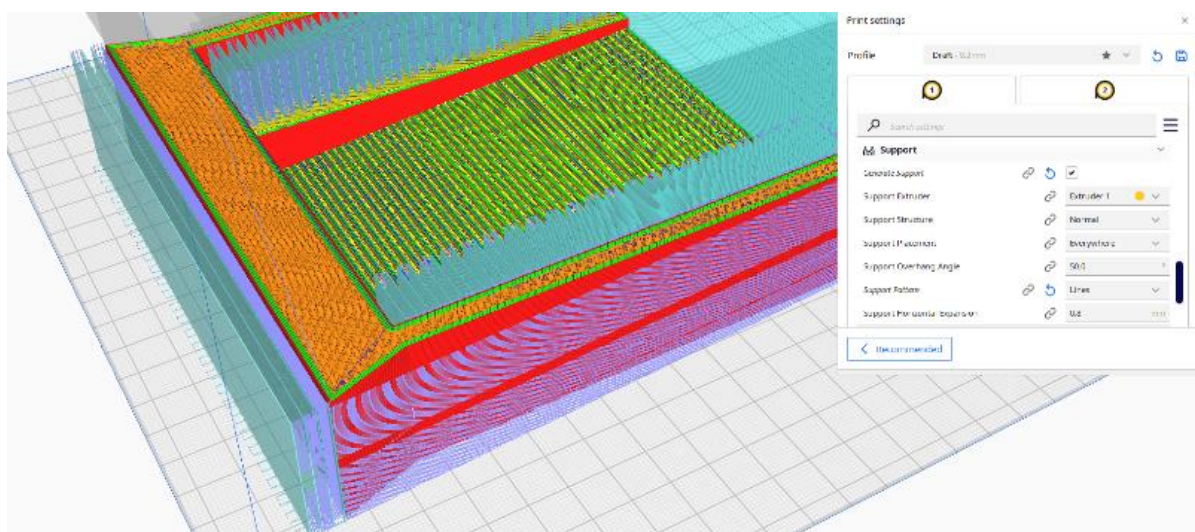
Az „utazás” funkció lényegében azt jelenti, amikor a fejegység nyomtatás nélkül halad. A fejegység csak abban az esetben nyomtat, amikor a nyomtatási szakaszban van. Amennyiben pozíciót vált (pl. másik alkatrészt nyomtat), akkor a befejezett nyomtatási pozíciótól következő nyomtatás kezdeti pontjáig gyorsabb sebességgel halad (32-es ábrán jelölt kék vonalak). A programnak PETG-re javasolt beállításain hagytam ezt a funkciót (31-es ábra).



32. ábra Folyamat bemutatása [saját ábra]

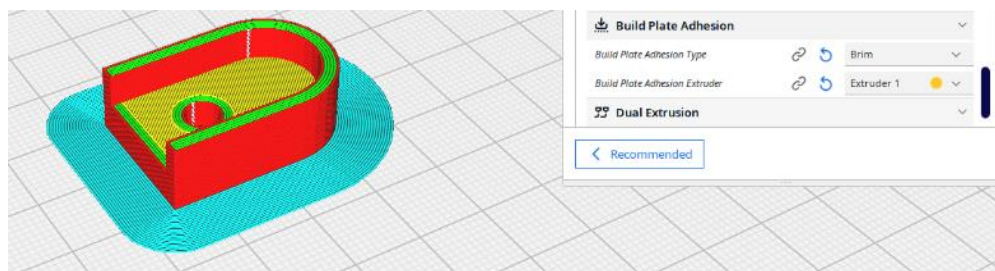
31. ábra Utazás beállításai [saját ábra]

A zsanérok, illetve a nyomtatóház esetében nyomtatásához szükség van alátámasztás használatára (türkizkék elemek). Ezeknek a helyét lehet manuálisan (a kívánt helyekre) és automatikusan elhelyezni. Én az automatikus lehetőséget választottam. A beállításon belül a „mindenhol” opciót választom, ezáltal minden olyan helyre készít támasztékot, ahol szükséges. A támasz túlnyúlási szöget 50-re állítottam. A támasz nyomtatási mintáját is lehetőség van állítani, az anyag és a nyomtatási idő csökkentése érdekében „Lines” struktúrát állítottam (33-as ábra). Lehetőség van a két extrudernek köszönhetően különböző extruderrel készíteni a supportokat. Amennyiben szükséges az alkatrésztől eltérő (pl. vízben oldódó) alapanyagból is el lehet készíteni. Esetemben azonos extruderrel készül az alkatrész és az alátámasztás is, ezzel is csökkentve a nyomtatási időt.



33. ábra Support beállítások [saját ábra]

Lehetőség van segíteni a munkadarab letapadását. Erre akkor van szükség, ha a nyomtatandó tárgynak kevés síkfelülete van, illetve ha kisméretű a munkadarab. Erre különböző beállítások lehetségesek. Számomra a karimás („Brim”) opció beállítása képes biztosítani a biztos letapadást (34-es ábra).



34. ábra Tárgyasztal tapadás [saját ábra]

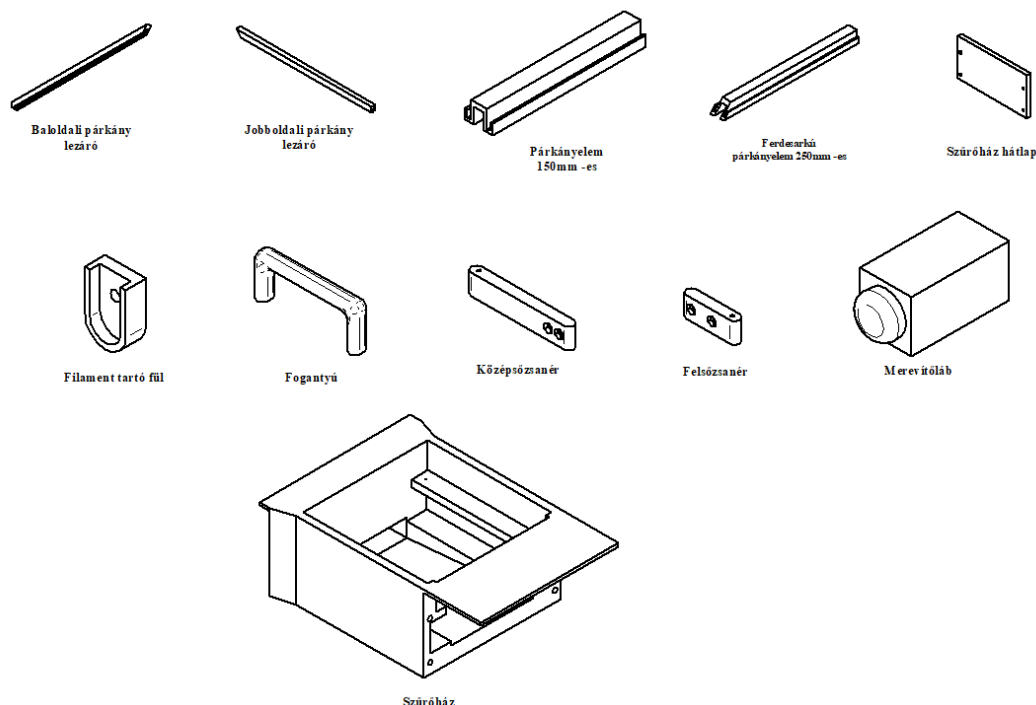
A szeletelést követően a program egy g-kód fájlformátumot készít, ami adathordozóról (SD-kártya) beolvasva képes vezérelni a nyomtatót (35-ös ábra). Egy hosszú időt igénylő nyomtatást megelőzően érdemes lehet egy próbanyomtatást végezni, ezáltal megbizonyosodva, hogy a beállított paraméterek megfelelőek.



35. ábra SD kártya olvasó [amazon.com]

Nyomtatott elemek darabjegyzék:

Baloldali párkánylezáró: 2db	Ferdesarkú párkányelem 250mm-es: 12 db
Jobboldali párkány lezáró: 2db	Filament tartó fül: 2 db
Párkányelem 150 mm-es: 4db	Fogantyú: 2db
Középsőzsanér: 8 db	Felsőzsanér: 12 db
Szűrőház: 1db	Szűrőház hátlap: 1db
Merevítőláb: 4db	



36. ábra Darabjegyzék [saját ábra]

3.6 Fűtőelektronika berendezés tervezése

Az elektronika tervezésének első lépéseként végig vettem a légtér fűtésére alkalmas eszközök lehetőségeit (izzó, hőszugárzó, fűtőelem). Mivel fűtött tér belterében célom volt elérni 80 °C hőmérsékletet, ezért a megfelelő választásnak a PTC fűtőelem bizonyult. Azonban a fűtőelem esetében szükség van ventilátorokra, amik légáramot keltve elveszik az előállított hőt fűtőelemtől. Azonban a ventilátorok nagy légáramot generálnak, ami a nyomtatás szempontjából káros, szinte lehetetlenné téve nyomtatás közben a nyomtatok latpadását a tárgyasztalra. A fűtés nyomtatás közben nem üzemelhet, azaz csak a nyomtatást megelőzően, a légtér felfűtési fázisban használhatjuk. A kívánt hőmérséklet elérése után a fűtőelem lekapcsolása után a nyomtató állandó nagy hőmérsékleten lévő részei (fűtött asztal, extruder) képesek pótolni a szerkezet borításán távozó hőt. Emiatt nem szükséges a fűtésnek nyomtatás közben működnie.

Hőmérséklet vezérlés, szabályzás:

A levegőfűtésére egy 500 W-os PTC fűtőelemet választottam. Működtetésére szükség van egy hálózatra köthető külön tápegységre. Továbbá szükség van egy relére, ami kapcsolja a fűtőelemet és a ventilátort üzem közben. A kívánt hőmérsékletet egy nagy hőmérséklet tűrésű termosztát modul segítségével tudjuk beállítani, illetve szabályozni. A modulra csatlakozó termisztor segítségével az általunk beállított hőmérséklet elérésével a rendszer lekapcsol. A termosztát modul bemeneti feszültsége 12 V. Ezért szükségünk van egy transzformátorra, ami 230 voltos bemeneti feszültséget 12 voltra képes transzformálni. A nyomtatóban levő magas hőmérséklet miatt ventilátornak egy tűzhelyekben is alkalmazott ventilátor használnunk. A ventilátor alapanyaga fém, ezért elhelyezhető a munkatéren belül, közvetlen a fűtőelem mögött. A meghajtó villanymotort a munkatéren kívül kell helyezni. A relé, illetve a termosztát modul a munkatéren kívül kerül elhelyezésre, csak a termosztáthoz csatlakozó termisztor kerül a munkatér belsejébe.

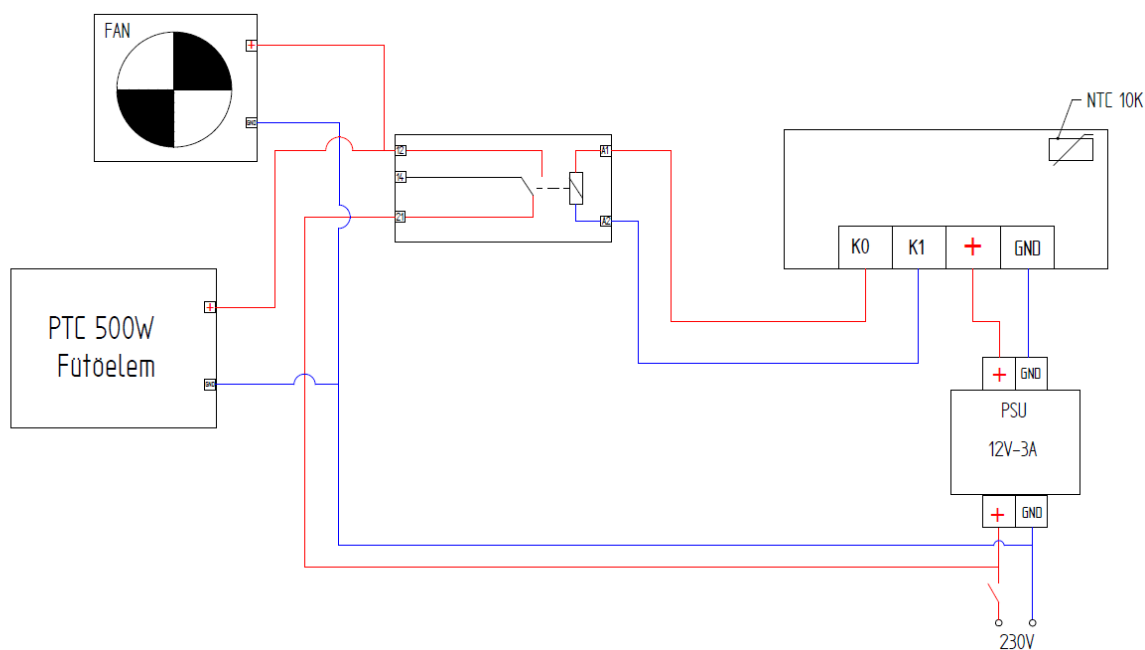
A választottalkatrészek típusa:

Ventilátor: Gorenje K54E318VT Transzformátor: CLD-6012-T2-E25

Termosztát modul: TH-50111 Relé: RM85-12DC 16A

Fűtőelem: Geogong 500W PTC

Elektromos kapcsolási rajz:



37. ábra Kapcsolási rajz [saját ábra]

3.7 Szűrőrendszer

Nem minden anyag esetében van szükség szűrőrendszer használatára. A PLA természetes növényi alapú anyagokból állítják elő, így a nyomtatás során keletkező gázok nem ártalmasak az emberi szervezetre. De a Nylon és az ABS anyag összetétele (olaj alapú műanyag) miatt nyomtatása esetén szükség van szűrők használatára, mivel a nyomtatás során az egészségre káros erős kellemetlen szagú gázok keletkeznek. Az ABS gőzei belélegezve fejfájást okoznak, de a szaglás miatt az agyban és tüdő egyes területein is lerakódhatnak.

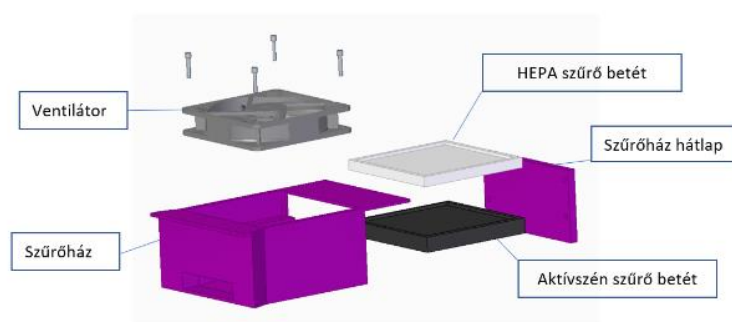
Felépítés:

A szűrő berendezés kialakítását úgy alakítottam ki, hogy egy aktívszénszűrő és egy HEPA (High Efficiency Particulate Air) nagy hatékonyságú papír alapú szűrő kerüljön az elszívó ház belsejébe. A szénszűrő a káros gázok, amíg a HEPA szűrő a keletkező nanorészecskék szűrésére szolgál.

A szűrők felett egy 120 mm-es ventilátort helyeztem el, ami szabályozható fordulatszámú. A berendezést a burkolat hátsó felében helyeztem el, és egy erre kialakított elszívó nyíláson keresztül szívja ki a munkatérből a káros gázokat. Az elszívót a nyomtatási folyamat befejezését követően ajánlatos üzemeltetni, hogy az elszívás során keletkező légáramlatok és a belső hőmérséklet csökkenése, ne tegye tönkre a munkadarab nyomtatását.

A szűrőbetéteket bizonyos időközönként cserélni szükséges a gyártó által meghatározottak szerint. Átlagosan 3-6 hónap élettartamúak a nyomtatási idő és nyomtatott alapanyag függvényében. Munkaórák tekintetében körülbelül 600 munkaóra használatig képesek megfelelő szűrésre, de javasolt 200 munkaóránként a betétek állapotának szemrevételezése.

Robbantott ábra:



38. ábra Robbantott ábra [saját ábra]

A választottalkatrészek típusa:

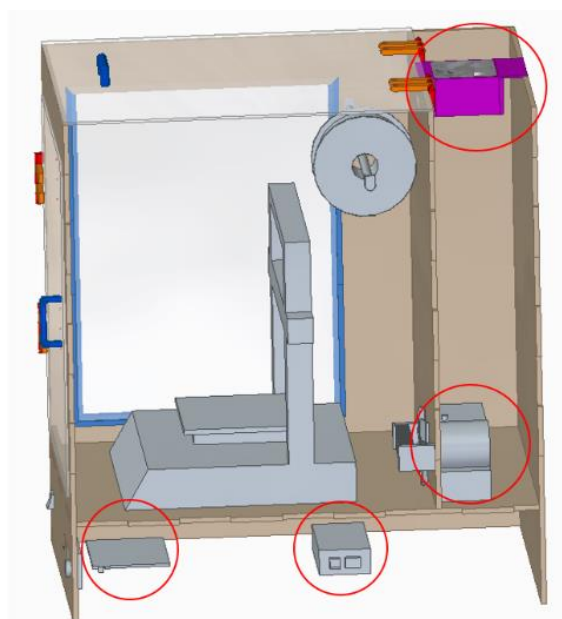
Ventilátor: GDSTIME 120mm

Szűrő betétek: Zortax HEPA 13 szűrő ; Zortax Carbon szűrő

3.8 Összeállított szerkezet kiértékelése

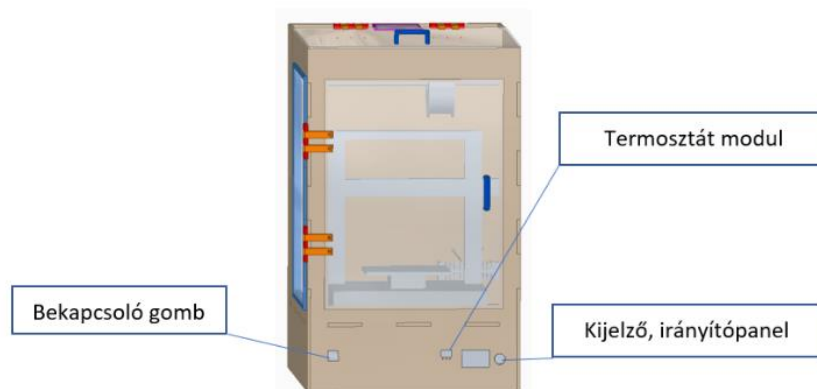
A konstrukció felépítése a nyomtató paramétereinek és a légtér hőmérsékletének fűtéséhez szükséges elemek elhelyezésének megfelelően lett kialakítva. Általam szabadon választott a szerkezet összes eleme, segéd eleme és -berendezése, amely a 3D nyomtató felhasználási igényeinek megfelelően lett megtervezve, kiválasztva. A konstrukció fa elemei lézervágó

segítségével kerülnek legyártásra, míg a segéd alkatrészei 3D nyomtatóval. A nyomtató elektronikai és a fűtésre szolgáló elektronikai egységek a fűtött munkatérén kívül kerülnek elhelyezésre. Erre a munkatérben lévő magas hőmérséklet miatt van szükség. A magas hőmérséklet csökkenti az elektronikai elemek élettartamát és üzembiztosságát. A nyomtató alaplapja és tápellátása a szerkezet alsó részében, amíg a szűrőrendszer és a fűtéshez szükséges egységek a doboz hátulsó felében kerülnek elhelyezésre (39-es ábra).



39. ábra Elektronikai egységek elhelyezése [saját ábra]

Az irányító panel, nyomtató kijelző, a termosztát modul, nyomtatót és az elektronikát bekapcsoló gombok a szerkezet előlapján kapnak helyet (40-es ábra).



40. ábra Előlapi gombok[saját ábra]

A szerkezet méreteit úgy terveztem meg, hogy a filament tekercs a munkatér belsejében helyezkedjen el. Ezáltal lehetőség van erősen nedvszívó anyagokkal való nyomtatásra is (pl. Nylon), mivel a nyomtatás során az anyag szempontjából szükséges nyomtatási és környezeti feltételek vannak kialakítva (állandó hőmérséklet, alacsony páratartalom) a munkatérben belül. Ezért a filamentnek nincs lehetősége a munkatérben kívüli légtérből a nedvességet magába szívni, ezzel biztosítható a jó minőség a nyomtatás kezdetétől a befejezéséig.

A fűtőelektronika képes 70-80 °C-os belsőhőmérséklet létesítésére, de estünkben a nyomtató gyári léptetőmotorjai nem bírják a magas hőmérsékletet. Ezért a gyártó által is feltüntetett hőmérséklet tűrési tartományon belül kell tartani a hőmérsékletet. Emiatt a zárt térben maximum 50 °C-os működtetés lehetséges.

A nyomtató térben elhelyezésre kerül LED világítás, amivel lehetőségünk van sötétben is jól látható módon figyelemmel kísérni a nyomtatást, illetve jobb megjelenést tesz lehetővé.

Javaslatok a szerkezet továbbfejlesztésére:

A későbbiekben érdemes lehet füstjelző szenzort és kamerát a nyomtatótérbe helyezni. Ezzel is növelve a biztonságot, illetve távolról (más helységből) is követhető, felügyelhető a nyomtatás. Amennyiben szeretnénk magasabb hőmérsékleten is nyomtatni, a gyári léptető motorok cseréje mindenképpen szükséges magas hőmérséklettűrőre.

4 GAZDASÁGI SZÁMÍTÁS

Ebben a részben kifejezem a konstrukció legyártási, és beruházási költségeit. A költségeket az interneten fellelhető piaci árak tekintetében határoztam meg.

Alapanyag, lézervágási költség:

Fa rétegeltlemez: ~ 10 500 Ft/m²

Szükséges alapanyag mennyiség: ~ 3 m²

Lézervágás energia költsége: ~ 4000 Ft/óra

Vágási idő elemenként: ~ 10 perc

Vágandó elemek listája:

Alsó elem I. (1db) ~ 11 perc

Alsó elem II. (1 db) ~ 9 perc

Előlapi elem I. (1 db) ~ 8 perc

Előlapi elem II. (1 db) ~ 12 perc

Hátlapi elem I. (1 db) ~ 10 perc

Hátlapi elem II. (1 db) ~ 10 perc

Oldal alsó elem I. (2 db) ~ 5 perc

Oldal alsó elem II. (2 db) ~ 15 perc

Oldal felső elem I. (1 db) ~ 5 perc

Oldal felső elem II. (1 db) ~ 15 perc

Térelválasztó elem I. (1 db) ~ 13 perc

Térelválasztó elem II. (1 db) ~ 7 perc

Lézer vágásra fordított összeit: 2 óra 20 perc

Lézervágás összköltsége:

Rétegelt lemez összára: $3 \cdot 10500 = 31500 \text{ Ft}$

Vágási idő költsége: $2,33 \cdot 4000 = 9320 \text{ Ft}$

Összköltség: $31500 + 9320 = 40820 \text{ Ft}$

3D nyomtatás költségei

A nyomtatási ár függ a nyomtatott alapanyagtól. Esetemben a nyomtatási költséget a piaciárnak megfelelően, az általam választott anyag tekintetében (PETG-re) határoztam meg.

Nyomtatási ár: 4500 Ft/óra

Nyomtatott elemek listája:

Felsőzszer:	31 perc
Középszer:	54 perc
Merevítőláb:	35 perc
Filament tartó fül:	15 perc
Szűrőház:	1 nap 204 perc
Szűrőház hátlap:	171 perc
Párkányelem 250 mm-es:	310 perc
Párkányelem 150 mm-es:	185 perc
Balpárkánylezáró:	75 perc
Jobbpárkánylezáró:	75 perc
Fogantyú:	50 perc

Nyomtatásra fordított összydő:

$$31 + 54 + 35 + 15 + 1644 + 171 + 310 + 185 + 75 + 75 + 50 = 2645 \text{ perc} = 44,08 \text{ óra} \approx 45 \text{ óra}$$

Nyomtatás összköltsége:

$$4500 \cdot 45 = 202500 \text{ Ft}$$

Egyéb berendezések költségei

Fűtőelem: 11090 Ft

Relé: 655 Ft

Termosztát modul: 2409 Ft

12 voltos tápegység: 5012 Ft

Sütőventilátor: 17 800 Ft

Hővédőlemez: 18861 Ft/m²

$$\text{Szükséges felület: } 0,48 \text{ m}^2 = 0,48 \cdot 18861 = 9054 \text{ Ft}$$

Szűrőbetétek (szett): 14260 Ft

Szűrőventilátor 9950 Ft

Vezetékek: 300 Ft/csomag

Egyéb berendezések összköltsége

$$11090 + 655 + 2409 + 5012 + 17800 + 9054 + 14260 + 9950 + 300 = 52730 \text{ Ft}$$

A konstrukció összköltsége

$$40820 + 202500 + 52730 = 296050 \text{ Ft}$$

Költségek összegzése

Megnevezés	Ár [Ft]
Lézervágás összköltsége	40820
Nyomtatás összköltsége	202500
Egyéb berendezések összköltsége	52730
Konstrukció összköltsége	296050

5 ÖSSZEFOGLALÁS

A szakdolgozatom célja egy fűtött munkatér és a hozzá szükséges fűtő elektronika megtervezése volt.

Első lépésként a 3D nyomtatás történelmi előzményeiről kutattam, amiből tudomást szereztem, hogy pontosan milyen célokra használták, illetve miért vált ennyire elterjedtté a 3 dimenziós nyomtatás. Kutatás során megtudtam, hogy milyen célok megvalósítását szeretnék megoldani a jövőben 3D nyomtatással. A második lépésként a 3D nyomtatásban alkalmazott technológiákról és ezek működésének folyamatáról kerestem információkat. Ezen az információk ismeretében utánanéztem, hogy milyen alapanyagok felhasználásával lehetséges nyomtatni. A 3D nyomtatásra felhasználható anyagokat kigyűjtöttem, részleteztem tulajdonságaik szempontjából. Tüzetesebben az FDM technológiában alkalmazott anyagoknak néztem utána. A legtöbb kereskedelemben beszerezhető alapanyagról kigyűjtöttem a tudnivalókat. Valamint leírtam, hogy milyen nyomtatási körülmények kell megteremteni, illetve milyen paramétereket szükséges beállítani bizonyos anyagok nyomtatása során. Ezek az információk ismeretében megfontoltam, hogy mely alkatrészeket szükséges mindenképpen a konstrukcióba beépíteni.

Következő lépésként zárttér kialakításokra kerestem megoldást. Ezáltal információt kaptam az előnyeiről-hátrányáról, illetve, hogy mire szolgálnak a zártterek. A kialakítások ismeretében hőszámításokat végeztem, illetve egyeztetve a Tanszékkal a favázis szerkezetre esett a választás. A szerkezet fal elemei lézervágás technológiával kerülnek legyártásra. A kiszolgáló alkatrészek és segédberendezések egyes elemei 3D nyomtatással készülnek. Az ehhez szükséges modelleket Solid Edge szoftverben készítettem el.

Következő lépésként a fűtött elektronikát és a szűrőberendezést terveztem meg alkatrészekre lebontva. A funkcionalitás és a biztos üzemelési körülmények függvényében helyeztem el a szerkezet részeiben (aljában, hátulsó részében). A tervezés lezárásaként egy összegzést írtam, illetve javaslatot tettem, hogy milyen segédberendezéseket érdemes utólagosan beszerezni (kamerarendszer, füstjelző) és hogy miket lehet érdemes a jövőben fejleszteni a szerkezeten.

A szakdolgozat legutolsó lépéseként költségtervet készítettem részegységekre lebontva.

6 SUMMARY

My thesis was aimed at designing a heated workshop and all the necessary heating electronics to go with it.

The initial step was to carry out some research on the history of 3D printing, which helped with understanding what specific functions it has been used for, and why it has become so widespread. During my preliminary research I acquired some knowledge on what goals this 3D printing is supposed to achieve and solve. In the second phase I looked up some information concerning the technologies applied and how they are used during the operational process. Based on the information, I carried out some further research on the basic material which can be used in the process of printing. I prepared a list of materials to be used in 3D printing describing their characteristics in detail. I prepared a most detailed study about materials used in FDM technology. I collected data on almost all materials commercially available. I also tried to present what conditions are needed to be granted for printing and what parameters must be set during the process of printing the different materials. Bearing these pieces of information and data in mind, I considered carefully which spare part must be fixed into a closed structure.

The next step was to find possible solutions for creating a closed space. This way I managed to get some information on the function of these closed spaces, as well as on their advantages and disadvantages. Based on these possible structures, their development I made some thermo-calculations. After some discussion with the Department, we agreed on choosing the wooden framework structure. The elements of the framework are to be manufactured using the laser cutting technology. The operating spare parts and auxiliary equipment are to be created by 3D printing. The models required for the process were designed with the help of Solid Edge software. The following step meant the planning of heated electronics and filtering device broken down to spare parts, positioning them in different parts of the structure (at the bottom or in the rear part) concerning functionality and safe operation. To conclude, I prepared a summary and some suggestions what kind of auxiliary equipment to fix in (recording system or smoke alarm) and also some ideas on the possible further development of the device. The final step was to prepare a budget broken into the relevant sub-steps.

7 FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] https://www.geeetech.com/Documents/A20M%20User%20Manual_V2.0.pdf
- [2] https://www.geeetech.com/wiki/index.php/Geeetech_A20M_3D_printer
- [3] <https://all3dp.com/1/geeetech-a20m-review-specs/>
- [4] <https://www.closedloopplastics.com/post/tips-tricks-ventilating-your-workspace>
- [5] <https://www.printables.com/model/3673-prusa-enclosure-v2-mmu2s#preview>
- [6] <https://desktopam.com/2020/03/08/diy-3d-printer-enclosures/>
- [7] <https://handisan.wordpress.com/2018/04/19/3d-printer-enclosure/>
- [8] <https://www.thingiverse.com/thing:2685750>
- [9] <https://www.thingiverse.com/thing:2752385>
- [10] <https://www.etsy.com/sg-en/listing/769793038/3d-printer-enclosure-wood-frame>
- [11] <http://www.aclockworkberry.com/making-an-enclosure-for-a-prusa-3d-printer/>
- [12] <https://grabcad.com/library/3d-printer-enclosure-ikea-lack-table-1>
- [13] <https://www.printables.com/model/181097-corner-brackets-for-system20-2020-2040-extrusion>
- [14] <https://www.schweinert.com/perfect-3d-printer-enclosure-for-prusa-i3-mk3/>
- [15] <https://3dprinting.com/tips-tricks/types-heating-enclosures-3d-printers-prevent-warping/>
- [16] <https://3dprintingcanada.com/blogs/news/the-importance-of-ventilation-and-your-3d-printing-workspace>
- [17] <https://ultimaker.com/learn/history-of-3d-printing>
- [18] http://www.pt.bme.hu/futotargyak/94_BMEGEMTBEA1_2021oszi/E4_M4_T9_3D_nyomtatás_2021.pdf

Letöltve: 2023. 03. 08.

- [19] <https://all3dp.com/2/heated-3d-printer-enclosure-heater/>
- [20] <https://all3dp.com/2/3d-print-warping-what-it-is-how-to-fix-it/>
- [21] <https://all3dp.com/2/3d-printer-enclosure-5-cheap-diy-options/>
- [22] https://kgk.sze.hu/images/dokumentumok/kautzkiadvany2016/HorvathA_KuruczA.pdf

Letöltve: 2023. 03.08.

- 72

-
- [et=&adposition=&gclid=CjwKCAjw_YShBhAiEiwAMomsEIwqfM8dJFrlxSJ8oWroCMwfRX7OnhIglQB0jcGMD_CYtBQNxiwbqhoC0PsQAvD_BwE](#)
- [43] <https://tesztarena.hu/resin-gyanta-alapu-3d-nyomtatasi-oktato-sorozat-1-resz/>
- [44] https://www.anycubic.com/collections/uv-resin?utm_source=tesztarena.hu&utm_medium=article&sscid=31k7_147j20&
- [45] <https://www.3dnatives.com/en/different-types-of-resins-3d-printing-281220225/#>
- [46] <https://www.protolabs.com/materials/comparison-guide/?category=metal>
- [47] <https://www.freedee.hu/a-3d-femnyomtatasi-modszerei/>
- [48] <https://www.core77.com/posts/71173/How-To-Find-the-Best-3D-Printing-Material-for-Your-Designs#>
- [49] <https://markforged.com/resources/blog/metal-3d-printing-materials>
- [50] <https://all3dp.com/1/copper-3d-printing-the-ultimate-guide/>
- [51] <https://www.prusa3d.com/product/prusament-asa-signal-white-850g/#printing-setup>
- [52] <https://3dsolved.com/3d-printing-enclosures-are-they-necessary/>
- [53] <https://3dprinterly.com/should-i-enclose-my-3d-printer-pros-cons-guides/>
- [54] <https://twotrees3d.com/3d-printing-warping/>
- [55] <https://themachinebros.com/tips-to-prevent-warping-and-cracking/>
- [56] <https://clevercreations.org/diy-3d-printer-enclosure-cabinet-box-case/>
- [57] <https://store.creality.com/products/3d-printer-multifunction-enclosure>
- [58] <https://www.instructables.com/DIY-3d-Printer-Enclosure-Ender-3/>
- [59] <https://www.instructables.com/3D-Printer-Enclosure-Wood-With-Acrylic-Windows/>
- [60] <https://www.makergadgets.org/enclosures/p/adelina>
- [61] <https://www.makergadgets.org/diy/p/smart-exhaust>
- [62] <https://www.3djake.hu/ldo-motors/voron-24-300-szett>
- [63] <https://3dprinterly.com/best-3d-printer-enclosure-heaters/>
- [64] <https://all3dp.com/2/heated-3d-printer-enclosure-heater/>
- [65] <https://www.amazon.com/Electric-Constant-Temperature-Heating-Element/dp/B07GSZKWX2>
- [66] <https://www.smokingacc.hu/hu/fenyforrasok/moder-lichting-eco-halogen-fenyforras-g9-42w-630-lumen>

-
- [67] https://www.amazon.co.uk/dp/B088ZRN9CL/ref=as_li_qf_asin_il_tl?ie=UTF8&linkCode=gs4&linkId=8db28b4ab56a1f05bcfe41b9f2ad3d2e&creativeASIN=B07YYC1KM6&tag=3dprintge nera-21&creative=9325&th=1
 - [68] <https://www.makergadgets.org/diy/p/smart-exhaust>
 - [69] <https://www.vortex-rc.com/product/reprap-prusa-3d-printer-enclosure-kit/>
 - [70] <https://hackaday.io/project/36669/gallery#85064df43164cbce826db0140aedee9b>
 - [71] <https://all3dp.com/2/heated-3d-printer-enclosure-heater/>
 - [72] <https://3dprinterly.com/best-3d-printer-enclosure-heaters/>
 - [73] <https://3dinsider.com/3d-printer-enclosure-heaters/>
 - [74] <https://dhr.is/diy-3d-printer-enclosure-guide/>
 - [75] <https://cults3d.com/en/3d-model/tool/ptc-heater>
 - [76] <https://4abc.pl/en/ptc-heating-elements/>
 - [77] https://www.ebay.com/itm/195659224827?norover=1&mkevt=1&mkrid=711-167022-144017-7&mkcid=2&itemid=195659224827&targetid=1890534104577&device=c&mktype=pla&googleloc=9063007&poi=&campaignid=19170533258&mkgroupid=142899456414&rlsarget=pla-1890534104577&abclId=9303996&merchantid=119648210&gclid=Cj0KCQjwuLSbHc_ARIsAFod4flltoDM-WV3AF6SbuD0sQfWHX9uXr4eqP9h5zlfH7bwywkZMifZXWsaAgFqEALw_wcB
 - [78] <https://www.metroman.hu/termekek/Auto-Munkagep-elektromos-futes-Beepitheto-24V-hosugarzo-modul-24V-300-Watt-MM7202-24V/Auto-Munkagep-elektromos-futes-Beepitheto-24V-hosugarzo-modul-24V-300-Watt-MM7202-24V>
 - [79] <https://incubatorwarehouse.com/incukit-xl.html>
 - [80] <https://ultimate3dprintingstore.com/collections/enclosure-parts-air-filters>
 - [81] <https://www.fabbaloo.com/2015/03/finally-a-3d-printer-filter-accessory>
 - [82] <https://www.instructables.com/Heated-3d-Printer-Enlosure/>
 - [83] <https://fabacademy.org/2020/labs/ulb/students/quentin-bolsee/assignments/week06/>
 - [84] <https://www.ubuy.com.bh/en/product/2MBKNBM-gdstime-120mm-ac-110v-220v-dc-12v-powered-fan-with-speed-control-for-receiver-amplifier-dvr-playstat>
 - [85] <https://www.alveo3d.com/en/product/p3dl-hepa-filter/>

-
- [86] <https://www.printer-box.com/product/max-filter/>
- [87] <https://www.geeetech.com/24v-15a-dc-power-supply-for-a20-a20m-p-1068.html>
- [88] <https://builder.techinfus.com/hu/uteplenie/teploprovodnost-uteplitelej.html>
- [89] <https://ibuilder-hu.techinfus.com/remont/potolki/iz-fanery/>
- [90] <https://docplayer.hu/6337923-Az-alabbiakban-a-fa-mint-epitoanyag-elonyeit-es-hatranyait-hasonlitjuk-ossze.html>
- [91] <https://www.barabaskft.hu/gipszkarton-rendszerek/gipszkarton-el%C5%91nyei.html>

Könyvek listája:

- [92] Kalácska Gábor – Műszaki polimerekről gépészmérnököknek, Quattroplast kiadó, Gödöllő, 2017
- [93] Huszár István – Tárgyiasult ötletek, BBS-INFO kiadó, Budapest, 2021

8 MELLÉKLETEK

- | | |
|--------------------|------------------------------|
| 1. számú melléklet | Feladatlap |
| 2. számú melléklet | Nyilatkozat 1. |
| 3. számú melléklet | Nyilatkozat 2. |
| 4. számú melléklet | Nyilatkozat 3. |
| 5. számú melléklet | Összeállított konstrukció 1. |
| 6. számú melléklet | Összeállított konstrukció 2. |

1. számú melléklet

MATE
MAGYAR AGRÁR- ÉS
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

Szent István Campus, Gödöllő
Cím: 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.
Tel.: +36-28/522-000
Honlap: <https://godollo.uni-mate.hu>

MŰSZAKI INTÉZET
GÉPÉSZMÉRNÖK ALAPSZAK
Gépgyártó specializáció

SZAKDOLGOZAT
feladatlap

Helli Domonkos János (SGHMFU)

részére

A diplomadolgozat címe:

3D nyomtató fűtött munkaterének és külső borításának tervezése

Feladatkiírás:
Bevezetés, szakirodalom feldolgozás, probléma bemutatás, a lehetséges koncepciók felvázolása, a megfelelő konstrukció kiválasztása, a konstrukció legyártása, gazdasági számítás, összefoglalás

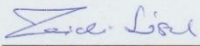
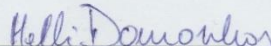
Közreműködő tanszék: Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok

Külső konzulens: -

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

Beadási határidő: 2023. május 02.

Gödöllő, 2023. március 05.

Jóváhagyom	Átvettem
	
(tanszékvezető)	(hallgató)

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

Gödöllő, 2023. hó nap

(külső konzulens)

2. számú melléklet

MATE
MAGYAR AGRÁR- ÉS
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

Szent István Campus, Gödöllő
Cím: 2100 Gödöllő, Péter Károly utca 1.
Tel.: +36-28/522-000
Honlap: <https://godollo.uni-mate.hu>

NYILATKOZAT

Alulírott Helli Dávid, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus, Gyepmunkások szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Budapest 2023 év majus hó 05 nap

Helli Dávid
Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot záróvizsgán történő védésre javaslok / nem javaslok*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő év 2023. 05 hó 01 nap

Szűcs Zoltán
Belső konzulens

*Kérjük a megfelelő aláírni!

3. számú melléklet

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréséről és
eredetiségéről

A hallgató neve: HELLI DOMONKOS
A Hallgató Neptun kódja: SGHMFU
A dolgozat címe: 3D nyomtató feltölti munkahelyek és külső
A megjelenés éve: 2023. 05. 03. bontakoztatás tervezése
A tanszék neve: Ausztrálomagyar és Gépípari Folyamatok

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, s 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 mindenkor szellemi tulajdonkezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

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

Budapest
Kelt: 2023. év augusztus hó 08. nap

Helli Domonkos
Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

4. számú melléklet

**KONZULTÁCIÓS
NYILATKOZAT**

A Helli Dávid (hallgató Neptun azonosítója: SGHMFU) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

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

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: 2023 év 05 hó 01 nap

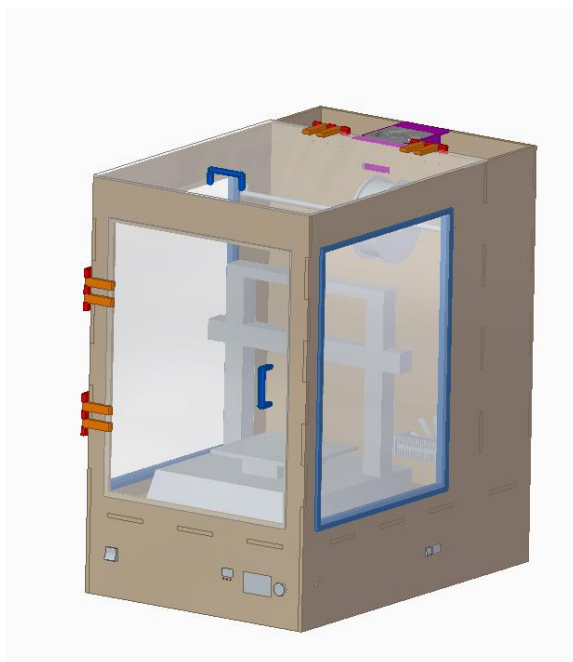

Belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.

5. számú melléklet



6. számú melléklet

