



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Nagysebességű FDM Nyomtató Tervezése

OE-BGK
2022.

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

Bogyó Vencel
000123/FI12904/KVI



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Anyag- és Gyártástudományi Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Bogyó Vencel

Szaktervezési szám: SZD22053013323835

Törzskönyvi száma: T009047/FI12904/B

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: gépészmérnöki

Specializáció: gépészmérnöki - CAD-CAM-CNC

A dolgozat címe: Nagy sebességű FDM nyomtató tervezése

A dolgozat címe angolul: High speed FDM printer design

A feladat részletezése:

1. Ismertesse a rapid prototyping eljárást!
2. Végezzen terhelési vizsgálatokat a vázszerkezet teherbírásának ellenőrzésére!
3. Készítse el a CAD modellt és a tervdokumentációt!
4. Végezzen költségszámítást és megtérülésszámítást!

Intézményi konzulens neve: Varga Bálint

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 05. 15.

Beadási határidő: 2022. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2022. 10. 21.

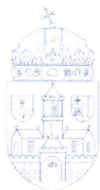


Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2022.09.

.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

Bevezetés	6
1. Rapid prototyping eljárások.....	7
1.1 3D nyomtatási technológia alapjai	7
1.2 FDM (Fused Deposition Modeling).....	7
1.2.1 FDM nyomtó működési elve	7
1.2.2 FDM alapanyagok.....	8
1.2.3 Gyakori nyomtatási hibák	9
1.2.4 Nagyhőmérsékletű nyomtató	12
1.3 SLA (Stereolithography = Sztereolitográfia)	12
1.4 SLS (Selective Laser Sintering = Szelektív Lézer Szinterezés).....	13
1.5 Fémnyomtatás	13
1.5.1 Tisztán fémpór alapú nyomtatás	14
1.5.2 Kötéanyag alapú nyomtatás.....	15
1.6 Épületnyomtatás	15
1.7 Reverse engineering és a 3D nyomtatás.....	16
1.8 3D szkennelés.....	16
1.9 FDM szeletelő szoftverek	17
1.9.1 Rétegmagasság:	17
1.9.2 Falvastagság:.....	17
1.9.3 Felső és alsóréteg:.....	18
1.9.4 Anyag és hűtés beállítás:.....	18
1.9.5 Kitöltés (Infill)	18
1.10 Nyomtatási sebesség összehasonlítás FDM/SLS/SLA.....	24
1.11 Más nagy sebességű FDM nyomtatók.....	28
2. FDM Nyomtató tervezése	29
2.1 Cél	29
2.2 Nyomtató felépítése	29
2.2.1 Váz	29
2.2.2 Nyomtató asztal	30

2.2.3	Nyomtatóasztal mozgatása	31
2.2.4	Nyomtatófej	32
2.2.5	Y irányú mozgás komponensek	33
2.2.6	Elektronika és vezérlés	33
2.2.7	Elektronikus rendszer felépítése	34
3.	Számítások	35
3.1	Vázszerkezet lehajlása	35
3.1.1	Egyszerűsített kihajlás számítás	35
3.1.2	Aszimmetrikus kihajlás számítás	36
3.1.3	Aszimmetrikus kihajlás számítás korrigált l hosszal	37
3.2	Szíjhajtás számítás X és Y tengelyre	38
3.3	Menetesorsó számítás	39
3.3.1	Menetesorsó terhelhetősége és DC motor nyomaték számítás	39
3.3.2	Legkisebb rétegmagasság	41
4.	Megtérüléside számítás	41
4.1	Megtérülés számítás célja	41
4.1.1	Vázszerkezet	42
4.1.2	Nyomtatóasztal	43
4.1.3	Mozgató elemek:	44
4.1.4	Nyomtatófej	45
4.1.5	Elektronika és vezérlés	46
4.1.6	Összköltség	46
4.2	Megtérülés	47
4.2.1	Egyszerűsített számítás	47
4.2.2	Tényleges megtérülés számítás	47
5.	Összefoglalás	49
6.	Summary	50
7.	Irodalomjegyzék	51
8.	Mellékletek	52

Bevezetés

Az iparban az utóbbi évtizedben folyamatosan növekszik az igény a 3D nyomtatási technológiák iránt. Ennek fő oka, hogy a hagyományos megmunkálásokhoz képest sokkal költséghatékonyabban, és kisebb anyagvesztéssel képes termelni. Előszeretettel használják ezeket az additív technológiákat prototípus gyártásra, de akár kis és közepes méretű sorozatgyártásra is alkalmas lehet.

Ami viszont fontos, hogy ennél a technológiánál a hagyományos esztergálás és marási megmunkálásokhoz képest egy teljesen más tervezői és gépkezelői gondolkodás társul. Ez alatta arra gondolok, hogy mind a modellnek igazodnia kell az adott technológiához, vagy akár az adott gép tűréseihez, és a termék orientációja is sokat számít a sikeres és megfelelő végeredmény eléréséhez.

Azért is választottam ezt a címet („Nagysebességű 3D nyomtató tervezése”), mert véleményem szerint van igény arra, hogy a nyomtatások gyorsabban elkészüljenek, akár kétszeres vagy háromszoros sebességgel. Erre a technológia is meg van már, azonban a piacon még csak néhány gyártó indult el ebbe az irányba, inkább a lassabb, de biztosabb gyártási sebesség mellett teszik le a voksukat.

Mára már sok ember hallott a technológiáról, és szeretne is belevágni a 3D nyomtatásba, de a technikai tudása még hiányos a témában. Ezért is fontos beszerezni a megfelelő helyről a megfelelő mennyiségű információt. Erre azért is van szükség, mert a gép optimális kezelése és karbantartása az egyes gépelemek élettartamát nagyban növelheti, és az üzembehelyezésnél elkövethető hibákat is kizárjuk.

1. Rapid prototyping eljárások

1.1 3D nyomtatási technológia alapjai

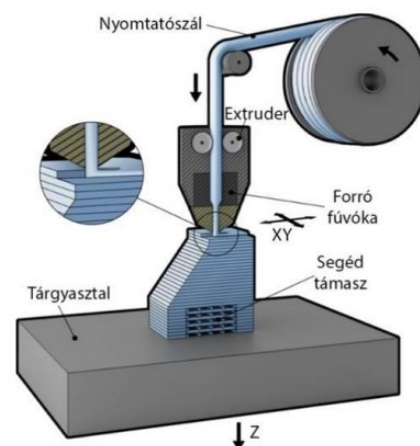
Alapvetően az összes 3D nyomtatási technológia alapja, hogy a meglévő modellt, ez általában egy mesh fájl (STL, OBJ, 3MF), egy szeletelő szoftver segítségével rétegekre bontunk a Z-tengely mentén. Majd a program minden egyes szintre megírja a szükséges G-kódot, és a gép ennek megfelelően egymásra pakolja ezeket. Vannak olyan gépek, amelyek kifejezetten csak a saját szeletelő szoftverüket támogatják, viszont manapság a többség kompatibilis más programokkal is. FDM (Fused Deposition Modeling) technológiában gyakran használt alkalmazások pl.: Cura, PrusaSlicer, SuperSlicer. A legtöbb szoftver általában ingyenes, de vannak fizetős verziók is.

1.2 FDM (Fused Deposition Modeling)

Az FDM-et magyarul szálhúzásos technológiának is szoktuk nevezni. Az alapanyagot, amivel a gép dolgozik filamentnek hívjuk, ezeket általában tekercsekben lehet kapni, (250, 500, 750, 1000g) és hőre lágyuló műanyagokból készülnek. Az egyik nagy előnye ennek a technológiának, hogy rengeteg típusú anyag van már forgalomban és folyamatosan jönnek ki újabbak. A másik pedig, hogy a színválaszték szinte végtelen. A leggyakrabban használt anyagok pl.: PLA, PET-G, ABS, ASA, TPU, PVA.

1.2.1 FDM nyomtó működési elve

A következő (1. ábra)-n a nyomtatószal (filament) fentről egy tekercsről érkezik, ami egy tekercstartón van elhelyezve. Ennek az adagolását végzi az extruder, ami tulajdonképpen egy szabályzott dc motor, ami 2 fogaskerék közé szorítva húzza lefelé az anyagot a megfelelő sebeséggel. Adott esetben vissza is húzza ha szükséges, például Z irányban történő kiemelésnél, hogy az anyag ne folyjon ki a fűvókán.



1. ábra FDM nyomtó működési elve [1]

Ezután következik az az elem, ami az anyag megolvasztásáért felel, idegen néven hotend block-nak hívjuk. Ennek a végén van egy fúvoka, ez készülhet rézből, acélból vagy edzettacélból is. Alapanyagtól függően szokás ezt cseréni. Ennek a fúvókának van egy átmérője, ez többnyire $\varnothing 0,4$ mm szokott, lenni de létezik más méretben is, $\varnothing 0,1$ mm-től egészen $\varnothing 1$ mm-ig 0,05 mm-es osztással. Ezt követően az anyag a legtöbb esetben egy fűtött tárgyasztalra érkezik, ami azért fontos, mert így a letapadás sokkal jobban van biztosítva és ezzel a nyomtatás sikessége is. Emellett azonban fontos az asztal megfelelő szintezése és a fúvoka távolságának pontos beállítása is az első réteg egyenletes letapadásához.

1.2.2 FDM alapanyagok

PLA: Az egyik legnépszerűbb anyag ebben a technológiában, mivel nagyon jól nyomtatható az alacsony olvadáspontja miatt, ami 200°C körül mozog. A PLA nyomtatószálok már $180\text{--}220^{\circ}\text{C}$ között ideálisan nyomtathatók. Emellett relatíve olcsó, vízben nem oldódik, és rengeteg színben elérhető, ezért is használják előszeretettel a hobbisták is. A PLA rövidítés a Polylactic Acid, azaz Politejsav, lényegében ez egy biopolimer. Előállításuk cukorrépából, kukoricából vagy búzából származó keményítőből történik. Szokták mondani, hogy ez a műanyag komposztálható. Ez azonban kizárólag ipari úton tud megtörténni, mivel tartósan 60°C -ra van szükség hozzá.

PVA: Ez tulajdonképpen egy támaszanyag kifejezetten PLA, TPU lapanyagok alátámasztására szokták alkalmazni, de alkalmas lehet PET-G, vagy más anyagoknál is. Egyszerű az eltávolítása mivel vízben oldódik, így elég pár órára beáztatni és kicsivel később csak lemosni a darabot bő vízzel. Hátránya, hogy relatíve drága és nagyon könnyen megszívja magát vízzel, akár a levegőben lévő párából is. Érdekes légmentes helyen tárolni.

PET-G: Tulajdonképpen ez a hagyományos PET anyagnak a módosítása glikol hozzáadásával. Erre azért van szükség, mivel a sima PET anyag önmagában rosszabbul nyomtatható, azonban a PET-G már sokkal jobban kezelhető. Nyomtatásánál előnyös tud lenni a zárt nyomtató tér, a hőingadozásokból származó esetleges vetemedés elkerülése miatt. Ez főleg nagyobb daraboknál tud előfordulni. [2]

ABS (Akrilnitril-butadién-sztirol): A műanyag fröccsöntésnél előszeretettel szokták alkalmazni ezt az anyagot, azonban az FDM technológiában is megjelent a kedvező

mechanikai tulajdonságai miatt. Nyomatás közben egészségre ártalmas gázok keletkezhetnek, ezért mindig zárt térben kell nyomtatni. Az aceton oldja ezt az anyagot, így ennek a párájában jól lehet utókezelni és a rétegeket elsimítani.

ASA (Akrilnitril-Sztirol-Akrilát): Ez egy speciális műanyag, amit az ABS kiváltására fejlesztettek. Nagy előnye, hogy tartós UV sugárzásnak is képes ellenállni és ezáltal az időjárási viszonyokat is jobban tűri. Emellett ezt is lehet acetonos utókezelésnek kitenni.

Speciális alapanyagok: PC, PP, PVC, ESD, HIPS és egyéb carbon vagy aramid ötvözetű anyagok, ez lehet akár sima PLA vagy PET-G is. [3]

1.2.3 Gyakori nyomtatási hibák

A gépek karbantartása és megfelelő beállítása elengedhetetlen az eredményes nyomtatáshoz. A következő (2.) ábrán pár nyomtatás során fellépő hiba látható.



2. ábra Általános nyomtatási hibák [1]

Könnyen kiküszöbölhető hibák:

- **Alul/Felül extrudálás:** Ez a hiba onnan ered, hogy az extruder által kinyomott anyag vagy túl kevés vagy túl sok, ezt orvosolni vagy a szeletelő szoftverében tudjuk, vagy egyes gépeknél ezt a saját kezelő felületén is meg lehet tenni menetközben is.

- **Felső réteg hiba:** Ennek okát okozhatja az alacsony kitöltési százalék, vagy a nem megfelelő számú felsőréteg beállítás.
- **Pókhálózás:** Ez a hibát vagy a megkopott fűvóka eredményezheti, vagy a túl magas hőmérséklet beállítás, vagy nem megfelelő hűtés.
- **Rétegelfmozdulás:** A tengelyek nem megfelelő kenése vagy a szíj megcsúszása okozhatja ezt a jelenséget. Emellett a fej esetleges megakadása is eredményezheti ezt a problémát.
- **Gyenge kitöltés:** Alacsony hőmérséklet beállítás vagy nagy kitöltési sebesség is okozhatja, de a fűvóka esetleges dugulása is eredményezheti ezt a jelenséget.

Nehezebben kiküszöbölhető hibák:

- **Zsugorodás:** Ideális esetben a zsugorodás egyenletesen megy végbe az egész darabban, viszont a gyakorlatban ez ritkán következik be így. Ezért a nyomtatványban feszültség növekedéssel jár polimerek esetén, ez 10-15%-os is lehet. [1]
- **Vetemedés:** A darab méretei nem azonos mértékben változnak, ez a zsugorodás egy drasztikus változata, erre képet a (3. ábra)-n láthattuk. Minél nagyobb darabot nyomtatunk, annál nagyobb az esélye a vetemedésnek. A vetemedést nagyon sok minden befolyásolja a kitöltéstől az anyagon át egészen hőmérsékletig. [1]

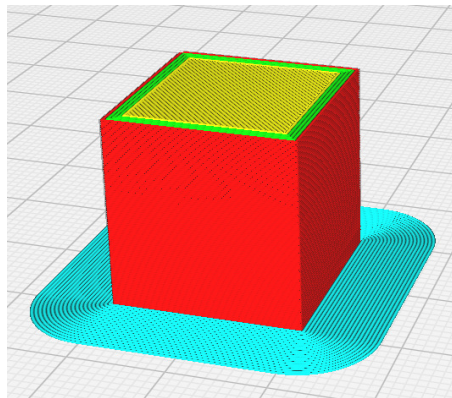


3. ábra Vetemedés [1]

Vetemedés ellen több módszer is van, például a fűtött nyomtató asztal, zárt nyomtató tér, esetleges fűtött nyomtató tér. Emellett lehet használni letapadást

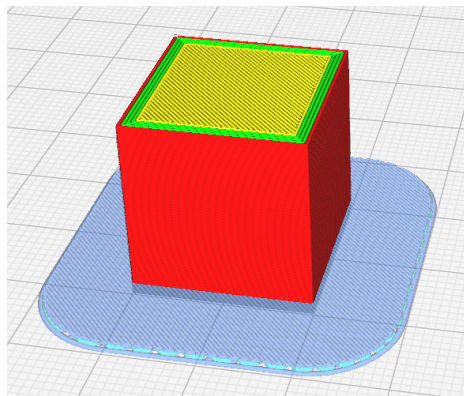
segítő anyagokat, ez nagyon hasonlít a papírragasztóra. Hobbi szinten ezt helyettesíteni szokták esős hajlakkal vagy papírragasztóval.

További lehetőség lehet még a brim, magyarul ezt karimának nevezzük, ez a (4. ábra)-n látható. Tulajdonképpen a legalsó rétegnél x-y irányban extra rétegeket rak hozzá a darabhoz. Ennek az a funkciója, hogy az asztalhoz való tapadás nagyobb felületen jön létre. A végén pedig egy sorjázóval vagy sniccerrel könnyen eltávolítható a brim. [1]



4. ábra Brim (szoftver: Cura)

A brimen kívül még a raft használata merülhet fel. Szó szerinti fordításban tutajt jelent, de inkább nevezném egy szőnyegnek, ami darab alatt helyezkedik el és rácsos szerkezete miatt elősegítheti az egyenletesebb hűlést és hőelvezetést. Az (5. ábra)-n látható egy példa. Ennél a módszernél sokkal több anyagot használ fel a nyomtató a raft elkészítéséhez, viszont az esetleges szintezési eltéréseket képes kompenzálni, így van előnye és hátránya is.



5. ábra Raft (szoftver: Cura)

1.2.4 Nagyhőmérsékletű nyomtató

Az átlagos FDM nyomtatók fűvókáját körülbelül 300°C-ig lehet fűteni, viszont vannak olyan műanyagok, amiknek ennél magasabb az olvadáspontja pl.: NYLON, PEEK, PEKK, PPSU, PSU, ULTEM (PEI). Ezért ezek a nyomtatók képesek akár 500°C-ra is. Ezeknek az anyagoknak a nyomtatására tehát szükséges egy teljesen új gép, ami megfelel ezeknek a kritériumoknak. A vetemedésre való hajlam is magasabb, ezért a gyártók egy teljesen zárt és egyszerre fűtött nyomtatótérrel látják el a készülékeket, ami akár 300°C-ig állítható. Ezzel együtt a nyomtatóasztalt is sokkal magasabb hőmérsékletre lehet felfűteni, az átlagos 100-110°C helyett akár 300°C-ra is állíthatjuk már. Ezek mind a speciális anyagok méretpontosságát segítik elő. Természetesen ezekkel a nyomtatókkal átlagos anyagokkal is ugyanúgy lehet nyomtatni. Ezek már kifejezetten mérnöki felhasználásra szánt gépek és egyre több területen jelennek meg. Bár a magas gépárak és alapanyagköltségek miatt még inkább csak a nagyobb cégek engedhetik meg maguknak.

1.3 SLA (Stereolithography = Sztereolitográfia)

SLA (Stereolithography = Sztereolitográfia) és a DLP (Digital Light Processing Digitális fényfeldolgozás)”. Mindkét technológia alapja, hogy a kiinduló gyantát egy fotopolimerizációs folyamat segítségével megszilárdítsa, és így hozzák létre a végleges modellt. Azonban a levilágítás módja eltér, a DLP-nél egy projektorral történik ez meg, az SLA-nál pedig egy lézer pásztázza végig a darabot.

Az SLA technológia alapanyagát idegen szóval nevezzük resin-nek is. Manapság rengetegféle alapanyag fellelhető már ebben a technológiában is. Azonban egy-egy anyag általában csak egy színben érhető el, vagy extra színezéssel pigment folyadék hozzáadásával tudjuk más árnyalatban kikeverni az anyagot. Így egy nyomtatásban egy anyag és egy szín tud csak részt venni.

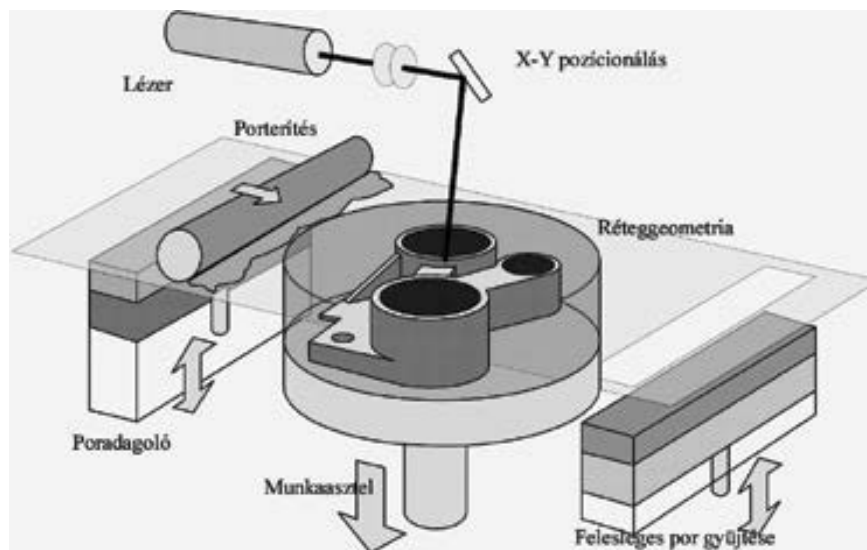
A nyomtatások végén mindig szükséges utókezelés. Először el kell távolítani a darabon maradt gyantát, ez leggyakrabban egy ultrahangos mosóba kerül IPA-ba (izopropil alkohol) áztatva. Relatíve gyorsan elpárolog a darab felületéről a mosás után. Más TPM alapú oldószer is alkalmas lehet a feladatra, viszont ennek a pároldási ideje hosszabb, ami abból a szempontból előnyös, hogy tovább megmarad az anyag, viszont sokkal drágább, és több idő mire egy mosás után teljesen elpárolog a kész darabról az oldószer. Ezután egy végső utókezelés következik egy fűtött UV kamrában, minden anyagnak a saját

beállításainak megfelelően. Erre azért van szükség, hogy az anyag elérje a végső szilárdságát, és mechanikai tulajdonságait. Egyes magas hőmérsékleteket kibíró anyagoknál még egy utólagos hőkezelés is előfordulhat, ehhez a gyártók mindig biztosítanak egy előírást az adott anyagra. [4][5]

1.4 SLS (Selective Laser Sintering = Szelektív Lézer Szinterezés)

Ez a technológia is rétegről rétegre építi fel a kívánt modellt, ahogy ezt az alábbi (6. ábra) is prezentálja. Amiben eltér a többi technológiától, hogy az alapanyag, amivel dolgozik por alapú. Ennek a pornak a megolvasztását egy lézer végzi. A leggyakrabban használt por a poliamid (PA), nagy előnye ennek az anyagnak a magas hőállóság, de éppen ezért nagy energia is szükséges a megolvasztásához. A munkateret a legtöbb esetben felfűtik, hogy a lézernek csak az olvadásponton kelljen átlöknie az anyagot. A darabok a nyomtatás végén kihűlnek és összezsugorodnak. Ilyekor lehetséges, hogy a darabok vetemedhetnek. Ezt a zsugorodást szoftveresen szokták kompenzálni a gyártók.

A lézerrel történő összeolvasztás olyan mértékű kohéziót hoz létre az alkatrészben, hogy szinte vetekszik a fröccsentési technológiával elérhető mechanikai paraméterekkel. Ezért előszeretettel használják például a Forma 1-ben is. [6][7]



6. ábra SLS nyomtató működési elve [6]

1.5 Fémnyomtatás

A fémnyomtatás alapjait tekintve megegyezik a műanyagnyomtatással, tehát itt is rétegről rétegre épül fel a végleges alkatrész. Alapanyagát tekintve a legelterjedtebb a por, de

létezik itt is szálhúzásos technológia, ilyenkor egy fajta mátrix anyag és fémpor keverékével dolgozik a gép. Nagy előnye ennek a technológiának, hogy olyan geometriákat tudunk létrehozni, amiket eddig csak sokkal bonyolultabb és költségesebb eljárásokkal lehetett megoldani. Gondolok most itt például ferde belső furatokra, vagy generatív tervezet elemekre. [9]

1.5.1 Tisztán fémpór alapú nyomtatás

Selective laser melting (SLM), Szelektív lézeres olvasztás:

Az egyik legelterjedtebb technológia ebben a szegmensben. Tulajdonképpen az eljárás folyamata teljesen azonos az SLS technológiával, csak az alapanyag itt már fémpor. Támaszanyagra szükség van a darabok súlya miatt. A használatához szakképzett munkaerő szükséges, mivel fel kell tudni mérni a darab nyomtathatóságát, esetleges áttervezését, és a végén a tárgyasztalról való eltávolításához is érteni kell. Ezenkívül a porral való közvetlen munka alatt fontos a megfelelő védőfelszerelés használata, mert az apró szemcsék a tüdőnkbe és szemünkbe kerülhetnek. Az alapanyag és gép eléggé költséges, a nyomtatási mérete pedig 100 x 100 x 100 mm-től egészen 800 x 500 x 400 mm-ig is terjedhet. Nyomtatási sebesség tekintetében közepesnek mondható, pontossága pedig függ a rétegek magasságától és a lézersugár szélességétől. [9]

Electron beam melting (EBM), Elektronsugaras olvasztás:

A technológia megegyezik az SLM-mel egyetlen apró kivétel, hogy az anyag megolvasztását egy elektron sugár végzi. Az SLM-hez képest a pontosság alacsonyabb, sebessége pedig gyorsabb. A költségek közel azonosak. Jelenleg az egyetlen cég, ami ilyen nyomtatók gyártásával foglalkozik a GE Additive. [9]

Direct energy deposition (DED):

Ennél a technológiánál a por adagolása és megolvasztása azonos helyen történik meg. A végeredmény pedig közel azonos a korábbi technológiákhoz (SLM, EBM). Nagy különbség azonban, hogy nem csak nyomtatni lehet vele, hanem esetlegesen anyag pótlásra is alkalmas lehet. [9]

1.5.2 Kötőanyag alapú nyomtatás

Binder jetting, Kötőanyag-sugaras építés:

Talán az egyik legtöbbet fejlődött fémnyomtatási technológia. Előnye, hogy az SLS-hez hasonlóan már itt is elhelyezhetünk darabokat egymás fölé, így jobban ki tudjuk használni a teljes nyomtató területet. Ezt azért tehetjük meg, mert a fémpor a szinterezés után nem összeolvasztja, hanem egy polimer alapú kötőanyaggal csak összefogja a port. Az utólagos hőkezeléskor kapjuk meg a végleges fém darabot. Másik nagy előny még, hogy az SLM-hez képes sokkal gyorsabban tud dolgozni, mivel egyszerre több polimer fűvókával is tud nyomtatni. [9]

Bound powder extrusion (BPE), kötött por alapú extrudálás:

A használt alapanyag sokkal biztonságosabb, mivel a szálhúzásos FDM technológiához hasonlít. A szál polimerből, fémporból és viaszból áll. A nyomtatási folyamat nagyon hasonlít az FDM technológiához. Ugyanúgy szükségünk van alátámasztásra ezeknél a nyomtatóknál. A nyomtatás végeztével kettő utómunka állomásunk van. Az első egy mosás, ami eltávolítja a viaszt és a polimert. A következő pedig egy hőkezelés, ekkor zsugorodik a darab, mivel a bennmaradt nem fém anyagok kioldódnak. Ami viszont biztos, hogy a darab felületét polírozni kell a kívánt felületi minőség eléréséhez. Az ára jóval kedvezőbb a többi technológiához képest, akár az 1/4 is lehet. [9]

1.6 Épületnyomtatás

Az épületek nyomtatásáról az utóbbi pár évben lehetett többet hallani. Rengeteg megoldást láhattunk már, többnyire betonnal kísérleteznek. A betonba tesznek egy extra adalékanyagot, amittől jobb lesz a szigetelőképesége, vagy 2 betonréteg között elhelyezett szigetelőanyaggal oldják meg ezt a problémát. Akár vályoggal, vagy sárral is tudnak nyomtatni már, ennek nagy előnye, hogy olcsó és akár az építési területen is kitermelhető a falakat alkotó anyag. Ami fontos még, hogy a kötési ideje minél kisebb legyen, hogy a következő réteg mindig stabil alapra érkezhessen. Egy ilyen géppel akár több munkást is kiválthatunk és viszonylag rövidebb idő alatt is elkészülhet egy ház falszerkezete.

1.7 Reverse engineering és a 3D nyomtatás

A reverse engineering magyarul visszafejtést vagy visszatervezést jelent, a mérnökök használják arra, hogy egy már meglévő termék, rendszer vagy szoftver működését megértsék és maguk is elő tudjanak állítani egy hasonlót. Elsősorban a programozók körében elterjedt ez a technika.

A 3D nyomtatás terén akkor jön szóba ez az eljárás, ha egy már létező terméket kell újra legyártani, mert vagy nem lehet olyan alkatrészt kapni, vagy csak sokkal drágábban lehet beszerezni. Ilyenkor fel kell mérni, hogyan lehet a legegyszerűbben visszanyerni a késztermékből egy 3D-s fájlt. Az egyik eset, amikor az alkatrész olyan geometriai elemekből áll, amelyeket képesek lehetünk mérőeszközök segítségével visszamodellezni. Ilyenkor könnyebb dolgunk van. A másik pedig, hogyha ennél komplexebb a darab felépítése, akkor a 3D szkennelés jöhet szóba. Ilyenkor azonban még nem egy szerkeszthető fájlt kapunk vissza, hanem egy mesh-t. Ez a 3D nyomtatásban egyből alkalmazható, azonban, ha szeretnénk módosítani az alkatrészen, akkor még vissza is kell modelleznünk. Erre külön kifejlesztett szoftverek állnak a rendelkezésünkre, mint például a Geomegic Design X. A szkennereknek is több fajtája van, ezeknek a használatát az objektum és az igények határozzák meg. [10]

1.8 3D szkennelés

Az iparban a szkennelési eljárások az 1980-as évekig nyúlnak vissza, akkor alkalmazták először. Azonban csak az 1990-es években kezdett el igazán elterjedni. Ennek oka leginkább a technológiai fejlődésében van. Manapság már olyan szinten képesek pontos mérésekkel szolgálni egyes szkennerek, hogy akár minőségellenőrzésre is alkalmazhatók. A reverse engineering és 3D nyomtatás szempontjából azonban két fontos csoport különböztetnek meg a szkennerek között. [11][12]

Állványos szkennerek (SLS)

Az SLS-t (structured light scanning) magyarul strukturált fény szkennelésnek nevezzük. Ezeknél a készülékeknél általában a darab, amit vissza szeretnénk modellezni, egy körasztalon helyezkedik el. A folyamat során több állásban körbeforgatva két kamera segítségével fotókat készít az alkatrészből miközben egy projektorral különböző mintákat világítunk rá. Ezekből a képekből háromszögeléssel hozza létre számunkra a mesh fájlt.

A pontossága magas, mérettartomány korlátos és nem igazán mobilis az eszköz. A számítógépigénye viszont kisebb, ami egy nagy előnye. [11] [12]

Kézi szkennerek

Nevezhetnénk önpozícionáló 3D szkennerek is. A kézi szkennerek, mint ahogy a nevéből is sejthető, eléggé mobilisak, és a mérési tartománya is sokkal nagyobb lehet. Azonban a pontossága már elmarad az állványos készülékekhez képest. Manapság a legelterjedtebb technológia a „blue reader” vagyis kék lézeres technika. Itt lényegében a tárgyról visszaverődő lézerfény az, amiből a mesh vagyis a modell elkészül. Egyes készülékek emellett még extra kamerákkal is el vannak látva. Gyakori ezeknél a készülékeknél a markerek használata, ami tulajdonképpen egy támpont a szkennerek a térben, és biztosítja a sikeres és pontos végeredményt. Ezeket a darabra, vagy mellé kell helyezni úgy, hogy a folyamat közben legalább három markert lásson a készülék. [11] [12]

Sokkal nagyobb számítógépigénye van, mivel több képet és ezáltal adatot kell feldolgoznia egyszerre, mint egy állványos gépnek. Azonban némelyik kézi szkennert használható állványos üzemmódban is.

1.9 FDM szeletelő szoftverek

Rengeteg szeletelő szoftver található már meg a piacon. A legtöbb program ingyenesen használható, de vannak zárt rendszerek is. A fontosabb beállításokat a Cura szoftveren keresztül mutatom be.

1.9.1 Rétegmagasság:

Ez a beállítás a darab rétegeinek magasságát állítja. Tehát hogy milyen magasan jöjjön létre egy szelet. Itt fontos figyelembe venni, hogy a fűvóka átmérője nagyban meghatározza a maximális magasságot. Íratlan szabály, de célszerű, hogy a fűvóka átmérőjénél 80%-nál ne legyen nagyobb a rétegmagasság. Tehát egy 0,4mm fűvóka esetén ez maximum 0,32mm-s rétegmagasság megengedett. Ugyanis, ha ennél nagyobb értéket állítunk be, akkor a rétegek közötti kapcsolat nem tud létrejönni. A rétegmagasság állításon nagyban befolyásolja a nyomtatási időt, mint ahogy a fűvóka átmérője is.

1.9.2 Falvastagság:

A falakat nem más fogja adni, mint a tömör 3D modell, a külső kérge vastagságát pedig mi határozzuk meg. Ezt akár milliméteres értékben is megadhatjuk, így azonban

figyelnünk kell, hogy a fűvóka átmérővel osztható legyen a szám. A másik lehetőség, hogy a falak számát határozzuk meg. Javasolt legalább 2 rétegben a falat megcsinálni, de inkább 3, persze ez is fűvóka átmérőtől változik jelen esetben a 0,4 - 0,6mm fűvókára értendő.

1.9.3 Felső és alsóréteg:

A nyomtatás során a darab közepén kitöltés található. Ennek alján és tetején elhelyezkedő rétegek számát tudjuk állítani. Itt is relatíve szabad kezdet kapunk, de legalább három réteget érdemes beállítani a sikeres nyomtatás érdekében. Ennél többet akkor célszerű, ha nagyobb merevséget szeretnénk elérni a nyomtatás végén.

1.9.4 Anyag és hűtés beállítás:

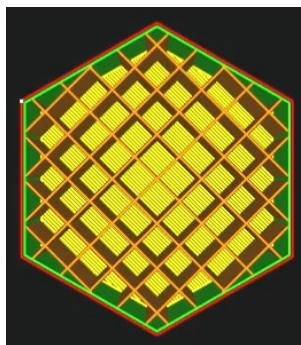
Ezen belül több fontos beállítás is van. Az egyik maga a hotend és nyomtatóasztal hőmérsékletének beállítása, a másik pedig magának a tárgyhűtő ventilátor sebessége. Ezeket mind-mind anyagokra és a nyomtatóra kell optimalizálni.

1.9.5 Kitöltés (Infill)

A kitöltési minta egy struktúrát határoz meg, amely az objektum, vagyis 3D modell térfogatának kitöltésére szolgál. Különféle minták állnak rendelkezésre, amelyek mindegyikének megvannak a maga előnyei. Néhányat ezek közül csak nagyon speciális esetekben alkalmazunk.

Grid (rács):

A Grid vagy rácskitöltési minta két egymásra merőleges vonalkészletet hoz létre és így alkotnak egy mintát. A mintázat látszódik a (7. ábra7. ábra)-n.



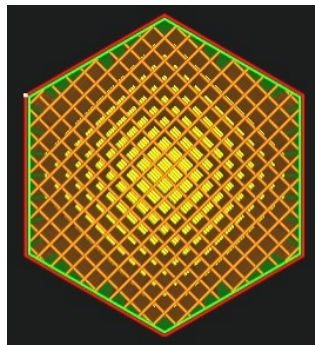
7. ábra Grid (rács) kitöltés (szoftver: Cura)

- Függőleges irányban az egyik legerősebb kitöltés.

- A kitöltési vonalakkal párhuzamos irányában erős.
- A kitöltési vonalakkal 45° -os szögben már nem olyan ellenállóak.
- Nagyon jól megtámasztja a felső réteget és a végeredménynél is egyenletesebb felületet kapunk.

Lines (Vonalak):

A vonalminta párhuzamos vonalakat hoz létre. A (8. ábra)-n így első pillantásra úgy néz ki, mint a rácsminta, azonban itt a vonalak iránya rétegről rétegre váltakozik. Ez azonban módosítható a kitöltési vonal irányainak beállításával, így a vonalak által bezárt szög is módosítható.

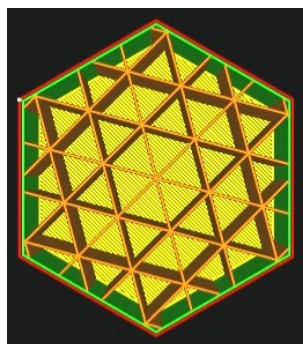


8. ábra Lines (vonalak) kitöltés (szoftver: Cura)

- Függőleges irányban gyenge, mert a rétegeknek kevesebb kötési pontja van.
- Vízszintes irányban is gyengébb, kivéve a vonalak irányában.
- Terhelés alatt sokkal könnyebben meghibásodik

Triangles (Háromszögek):

A Triangles minta három vonalkészletet hoz létre három különböző irányban. Ez együtt háromszögekből álló mintát alkot, ahogyan ez a (9. ábra)-n látszik.



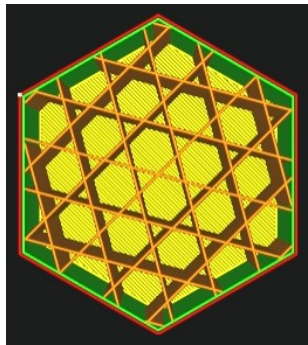
9. ábra Triangles (Háromszögek) kitöltés (szoftver: Cura)

- Ellenálló nyírassal szemben.

- Körülbelül azonos erősségű a szerkezete minden vízszintes irányban.
- A felsőrétegeknek meglehetősen nagy távolságot kell áthidalniuk, ezért érdemes több felsőréteggel nyomtatni, hogy egyenletes külsőréteget kapjunk.
- Az áramlás jelentősen megszakad a kereszteződésekben, ami viszonylag alacsony szilárdságot eredményez a nagy kitöltési százalék mellett.

Tri-hexagon (Három-hatszög):

A Tri-hexagon minta három különböző irányú vonalkészletet hoz létre, csakúgy, mint a triangles minta, de eltolva egymástól, így nem metszi egymást a három vonal ugyan abban a pontban. Ezért jön létre a három és hatszög mintázat is egyszerre ahogy ez a (10. ábra)-n is játszik.

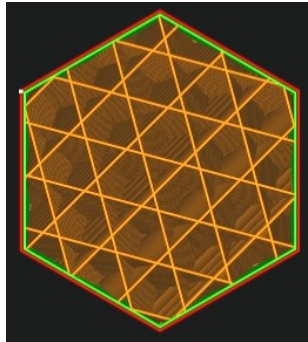


10. ábra Tri-hexagon (Három-hatszög) kitöltés (szoftver: Cura)

- Vízszintes irányú terhelés esetén az egyik legjobb kitöltés.
- Körülbelül azonos erősségű minden vízszintes irányban.
- Ellenálló nyírással szemben.
- A felső rétegen nagy távolságon kell áthidalást alkalmazni, így több felső réteget kell alkalmazni az egyenletes felület érdekében.

Cubic (Kocka alak):

A cubic kitöltés kockákat hoz létre a 3 dimenziós térben, a kockákat pedig a sarkukra állítva helyezi el. Talán a (11. ábra)-n nehezen látható, de minden minta közepén ott van a kocka alsó sarka elhelyezve.

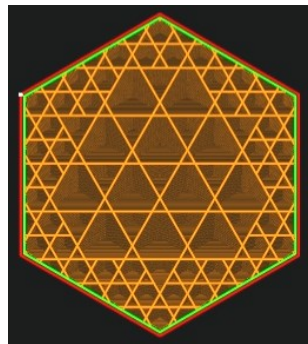


11. ábra Cubic (Kocka alak) kitöltés (szoftver: Cura)

- Körülbelül azonos erősségű minden egyes irányban, beleértve a függőleges irányt is.
- Meglehetősen erős minden irányban.
- Nem hoz létre hosszú függőleges forró levegőzsebeket, ezáltal csökken a „pillowing” (párnázás) effektusának megjelenése is.

Cubic subdivision (Kocka felosztás):

Ez a kitöltés annyiban különbözik a sima cubic-tól, hogy a külső héj mellett sűrűbben alkalmazza a kitöltést, míg a darab közepén kisebb kitöltési százalékot használ.

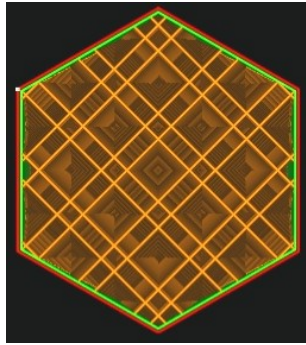


12. ábra Cubic subdivision (Kocka felosztás) kitöltés (szoftver: Cura)

- Erős kitöltési minta emellett kisebb nyomtatási idő és alacsonyabb súly.
- Körülbelül azonos erősségű minden egyes irányban, beleértve a függőleges irányt is.
- A kitöltést a fal mentén sűríti.
- Nem hoz létre hosszú függőleges forró levegőzsebeket, ezáltal csökken a „pillowing” (párnázás) effektus megjelenése is.
- A falakon jobb felületi minőséget biztosít, azonos nyomtatási idő mellett.
- Anyag visszahúzást alkalmaz, ami nem működik jól rugalmas anyagokkal.
- Hosszabb szeletelési idő.

Octet (Oktett):

Az octet minta szabályos tetraéderek és kockák kombinációját hozza létre, háromdimenziós minták formájában. Lényegében ez a cubic tovább gondolása. Időnként több kitöltési sor kerül egymás mellé. Maga a mintázat a (13. ábra)-n látható.

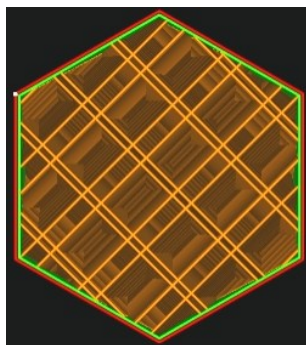


13. ábra Octet (Oktett) kitöltés (szoftver: Cura)

- Erős belső szerkezetet hoz létre, ahol több párhuzamos vonal érintkezik. A terhelés gyorsan eloszlik a belső keretrendszeren.
- Közepes vastagságú, legalább egy centiméteres modelleken érdemes alkalmazni.
- Nem hoz létre hosszú függőleges forró levegőzsebeket, ezáltal csökken a „pillowing” (párnázás) effektus megjelenése is.
- A felső rétegen nagy áthidalással lehet nyomtatni, ami csökkenti a felső felület minőségét.

Quarter Cubic (Negyed kockás):

A Quarter cubic kitöltés tetraéderekből és csonka tetraéderekből áll, ezeket helyezi el a háromdimenziós térben. Bizonyos rétegmagasságban itt is több vonal kerül egymás mellé. A mintázat felépítése a (14. ábra)-n látható.



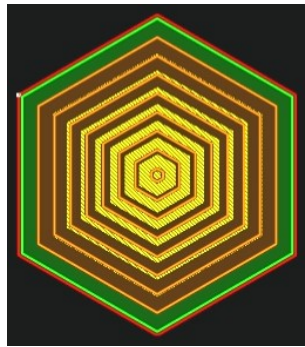
14. ábra Quarter Cubic (Negyed kockás) kitöltés (szoftver: Cura)

- A terhelés gyorsan eloszlik a belső szerkezeten.

- Erős szerkezetet biztosít már néhány milliméter magas modelleknél is.
- Nem hoz létre hosszú függőleges forró levegőzsebeket, ezáltal csökken a „pillowing” (párnázás) effektus megjelenése is.
- A felső rétegen nagy áthidalással lehet nyomtatni, ami csökkenti a felső felület minőségét.

Concentric (Körkörös):

A Concentric kitöltés a falakkal párhuzamos gyűrűket hoz létre.

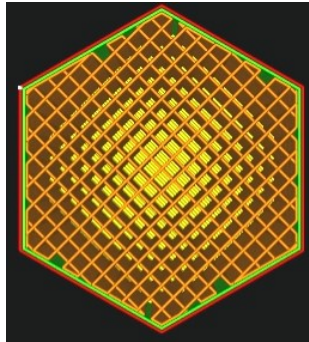


15. ábra Concentric (Körkörös) kitöltés (szoftver: Cura)

- A legerősebb kitöltési minta 100% kitöltési minta esetén, mivel a vonalak egyszer sem metszik egymást.
- Egyenletes a szilárdság minden vízszintes irányban.

Zigzag (Cikcakk):

A zigzag kitöltés lényegében úgy épül fel, hogy a nyomtató egy folyamatos vonalat húz kiemelés nélkül. A kitöltés minden rétegénél váltja az irányt és a falaknál egy extra réteget húz be, ami nagyobb támasztás biztosít. Ahogy a (16. ábra)-n is látszik, nagyon hasonlít a Grid/Lines kitöltésekre. A Lines-hez hasonlóan itt is csak egyirányban mennek a rétegen a kitöltés, viszont a darab kérgénél (zöld kontúr) látszik, hogy hol vált irányt a kitöltés.

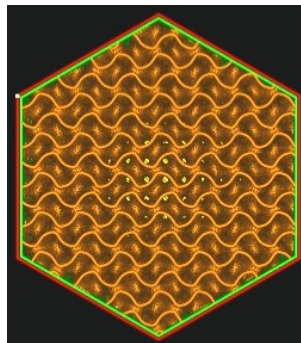


16. ábra Zigzag (Cikcakk) kitöltés (szoftver: Cura)

- A folyamatosság miatt ez a második legjobb stratégia 100% kitöltés esetén.
- A legjobb minta a sima felső felülethez, mivel a vonalak közötti távolság kicsi.
- Függőleges irányban gyenge, mivel a rétegnek csak kis pontokban kapcsolódnak.

Gyroid:

A gyroid kitöltés hullámos mintát hoz létre, amely beállított rétegmagasság után váltja az irányt. A minta a (17. ábra)-n látható.



17. ábra Gyroid kitöltés (szoftver: Cura)

- Nyírásnak ellenálló.
- Nyomtatási idő a nagyobb modellek esetén megnőhet más stratégiákkal szemben a sok irányváltás miatt.
- Hosszabb szeletelési idő és a g-code mérete is megnő.

1.10 Nyomtatási sebesség összehasonlítás FDM/SLS/SLA

Az alábbi (1.) táblázat bemutatja a vizsgálatra használt anyagokat és gépeket. Magához a szeleteléshez pedig a saját gyártó által javasolt szoftvert használtam (FDM: IdeaMaker SLA/SLS: PreForm). A modell egy általam készített 20mm mélységű kocka volt. Mindhárom esetben a sajátmárkás alapanyagokat használtam és a lehető legolcsóbb terméket választottam ki a feladatra. Emellett teljesen gyári beállításokkal dolgoztam,

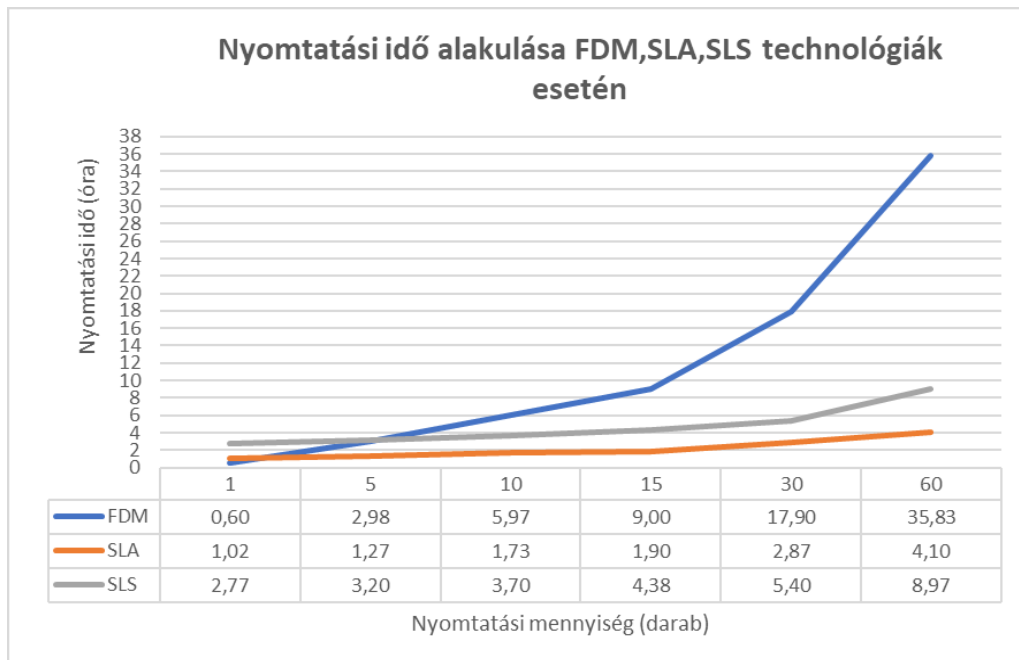
kivéve a Raise3d E2 gépnél. Itt a rétegmagasságot állítottam át, hogy közel azonos paraméterekkel rendelkezessenek a darabok.

1. táblázat Gép és anyag használat

	FDM	SLA	SLS
Gép	Raise3d E2	Form 3L	Fuse1
Anyag	PLA	Model v3	PA12
Rétegmagasság	0,1mm	0,1mm	0,11mm
Ár (2022.10.21)	1.511.300 Ft	6.490.000 Ft	9.290.000 Ft

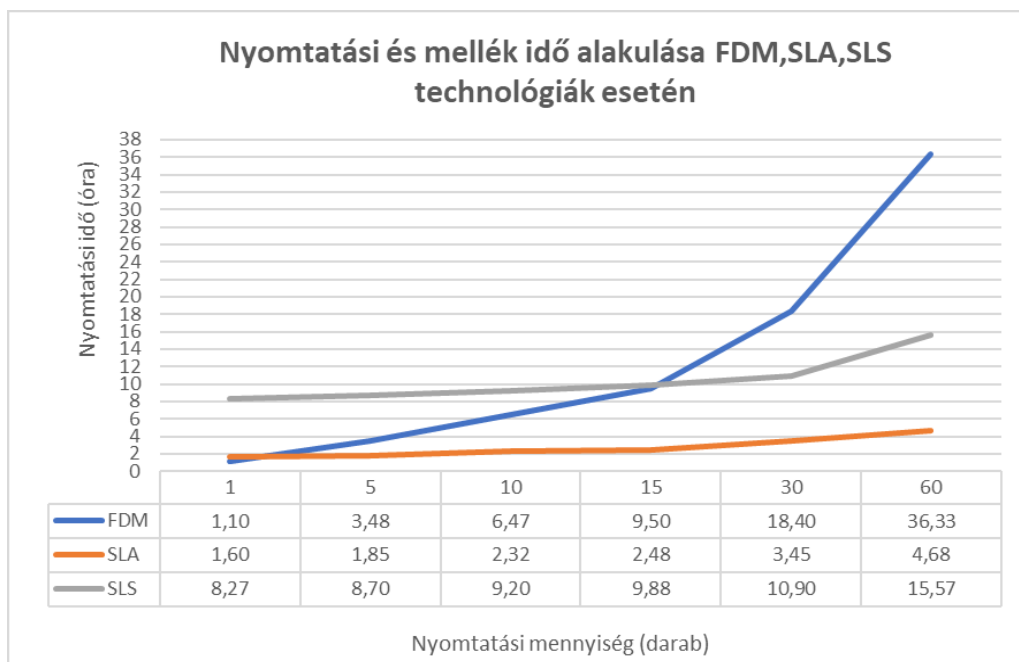
Nyomtatási idő

A (18. ábra)-n jól látszik, hogy a darabszám növekedésével a nyomtatási idő az FDM technológiánál szinte lineárisan növekszik. Míg az SLA és SLS technológiáknál ez nem igaz, mivel ennél a kettő technológiánál az egy rétegen belüli megmunkálási folyamatok gyorsabban zajlanak le. Inkább a Z tengelyen történő mozgás az, ami több időt vesz igénybe. SLS-nél az új porréteg behúzása, SLA-nál pedig a darab kiemelése, majd visszahelyezése a gyantába. Az SLS-hez tartozó grafikonon látszik is, hogy 30 és 60 db között van egy nagyobb ugrás, mivel itt már a darabokat egymás fölé helyeztem el, és így duplájára nőtt a Z tengelyen történő mozgás tartománya. FDM technológia esetén pedig minden darabot egyesével ki kell nyomtatnia a gépnek, ezért is nő a nyomtatási idő egyenletesen.



18. ábra Nyomtatási idő

Ezután a (19. ábra)-n figyelembe vettem az is, hogy az egyes technológiáknál az esetleges utókezelések és mellékidők miként befolyásolják a teljes nyomtatási időt, vagyis a nyomtatás indításától a teljesen kész darabig eltelt időt.



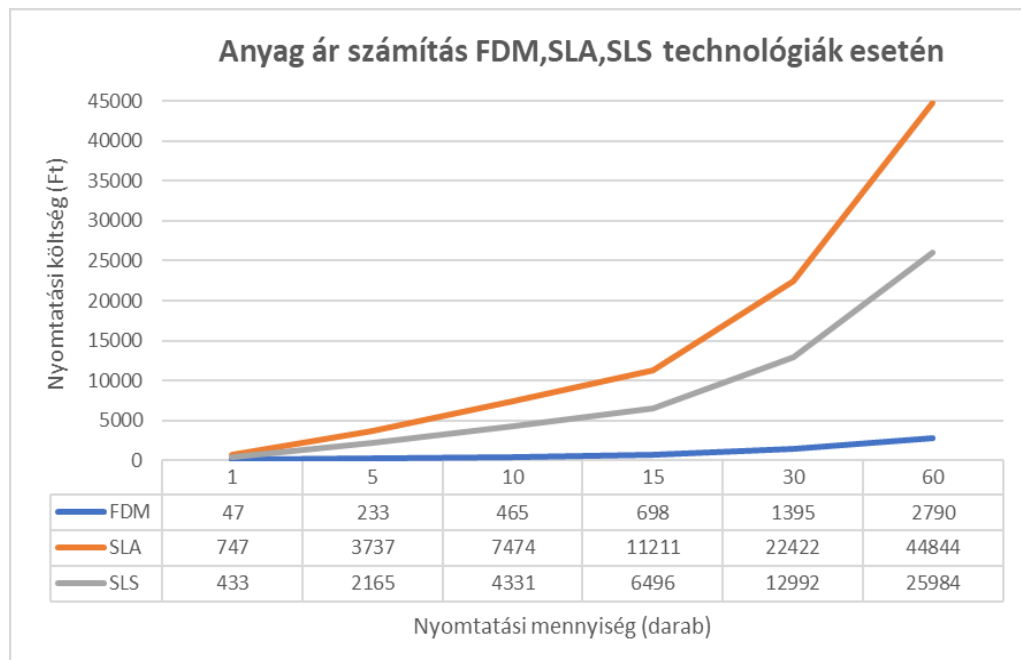
19. ábra Nyomtatási és mellék idő

Jól látható, hogy az SLS és SLA időigényei magasabbak lettek. Ez azért van, mert az SLA-nál még egy mosás és egy utólagos UV kamrás kezelésre még szükség van. SLS-

nél pedig a felfűtött kamrának ki kell hűlnie, mielőtt az utómunkálatot elkezdjük, ami 5-6 órát vesz igénybe ebben az esetben. Ez a grafikon tulajdonképpen már azt mutatja, hogy a gép indítástól a darab kézbe fogásáig mennyi idő telik el.

Nyomtatási alapanyag költségek

Ezek után azt is megvizsgáltam, hogy az alapanyag költségek hogyan alakulnak az egyes technológiáknál ezeken a gépeken, ezt a (20. ábra)-n láthatjuk. Itt fontos megemlíteni, hogy minimális anyagvesztés előfordulhat, így ezt nem lehet teljesen pontosan meghatározni. Én a programok által kiszámított anyag mennyiségeket vettem alapul a grafikon elkészítéséhez.



20. ábra Alapanyag ára technológiák esetén

Látszik, hogy az egyes alapanyagok ára is jelentősen eltér a különböző technológiáknál. Így lehet, hogy az FDM a leglassabb technológia de egyben a legolcsóbb is. Nem véletlen hogy a hobbisták is előszeretettel választják ezt. A következő (táblázat Alapanyag árak2.) táblázat az alapanyagok árait mutatja be.

2. táblázat Alapanyag árak

FDM		SLA		SLS	
PLA, 1kg	14990 Ft	Model v3,1L	73660 Ft	PA12, 6kg	348900 Ft

Konklúzió

Nem elegendő a nyomtatási időt és költségeket alapul venni, fontos a pontos végfelhasználás ismerete is az ideális nyomtatási technológia kiválasztásához. Azonban, ha általános felhasználásra kell és a költséghatékonyság is szempont, akkor mindenképpen az FDM/FFF technológia lesz számunkra a tökéletes választás. Ha viszont kiemelt jelentőségű a pontosság, akkor az SLA/SLS lesz az ideális technológia.

1.11 Más nagy sebességű FDM nyomtatók

Szeretnék bemutatni négy ma is kapható vagy építhető 3D nyomtatott, ami hasonlóan az általam tervezett nyomtatóhoz, a nagysebességével próbál kitűnni a piacot.

Elsun A400

Ez egy delta nyomtató, ami egyszerre nagyon gyors akár 300-400mm/s sebességgel is képes dolgozni. Relatív nagy nyomtató térrel rendelkezik, Ø 300 x 410 mm, viszont a kör alap miatt nagyobb méretű szögletes nyomtatások nem szerencsések. Ez a gép csak a fej mozgatásával nyomtat és a nagy sebesség is ennek köszönhető, mivel így tudja minimalizálni a mozgatót súlyt.

Bambu Lab X1-Carbon

Ez egy viszonylag új fejlesztésű nyomtató, nagy előnye a nagy sebesség mellett, hogy képes akár PA-CF, karbonnal és egyéb más ötvözt anyagokkal is dolgozni. Az egyidejűleg több anyaggal történő nyomtatást egy Bambu Lab AMS nevű szerkezet biztosítja. Tulajdonképpen ez automatikusan ki és befűzi az anyagokat, így akár egyszerre négy különböző színnel vagy anyagtípussal is dolgozhatunk. Emellett egy lidar-ral is fel van szerelve, aminek köszönhetően képes észlelni az esetleges hibákat és leállítja a folyamatot, ha szükséges.

Voron 2.4

Ez a nyomtató közösségi fejlesztésen alapul és több méretben is elérhető (250mm; 300mm; 350mm). A teljes nyomtató megépítése és behangolása azonban már a felhasználó dolga, emellett rengeteg alkatrészt magunknak kell kinyomtatni. Az ilyen típusú nyomtatóknál érdemes rendelkezni már egy saját 3D nyomtatóval és némi nyomtatási tapasztalattal.

Rat Rig V-Core 3.1

A nyomtató nagyban hasonlít az előző modellhez, azonban itt már akár 400 és 500mm nyomtatótétel is elérhető a nyomtató. Nagy előnye ennek a gépnek a hatalmas nyomtató tér.

2. FDM Nyomtató tervezése

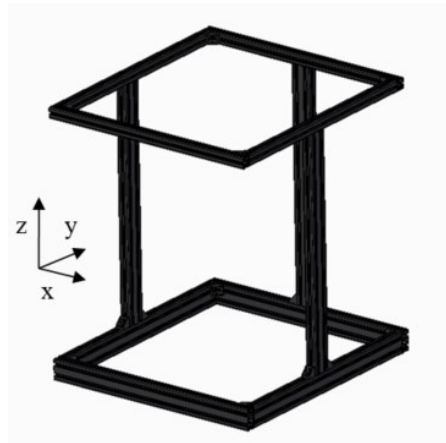
2.1 Cél

Egy olyan nyomtató tervezése, ami képes akár 200-300mm/s nyomtatási sebességre és emellett nagy volumenű nyomtatásokra is akár 500 x 500 x 500 mm méretben. A nagy sebességet leginkább X és Y irányú mozgás során fontos. Ezért elsősorban ezen a két tengelyen mozgatott tömeget kell a leginkább csökkenteni. Ezenkívül még fontos a rezgések minimalizálása és csillapítása is.

2.2 Nyomtató felépítése

2.2.1 Váz

A váz megtervezésekor alumínium profilokat használtam, ebből több különböző méretűre is szükségem volt. A váz szerkezeti felépítése a (21. ábra)-n látható. Alul 4 db 3060 profil helyezkedik el és a Z tengely mentén még három, így ebből összesen hét darabra volt szükség. A váz felső részén pedig 4 db 3030 alumínium szelvényt tartalmaz. Azért lettek alkalmazva alul nagyobb robusztusabb elemek, mert ezzel az egész szerkezet súlypontja is lejjebb kerül. Emellett pedig nagyobb merevséget is biztosít és a dc motorok felől érkező rezgéseket is jobban elnyeli. A profilok közötti kapcsolatot 30 x 30-as sarokelemek biztosítják, a rögzítés pedig M5x12 csavarral és t-hornyos anyával (DIN 508) alakítottam ki.

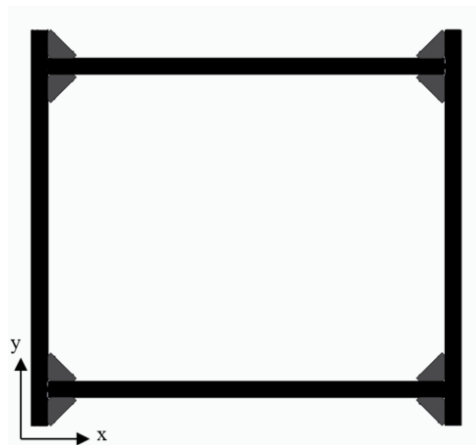


21. ábra Nyomtató vázfelépítés

Ennek a váznak fontos szerepe van, ugyanis minden komponense ehhez lesz rögzítve ezért elégethetetlen a tartósság.

2.2.2 Nyomtató asztal

Az asztal megépítése egy alvázal kezdődött. Ezt a súly csökkentése érdekében már 2020 alumínium profilból készítettem el, aminek hossza 500mm, és négy darabra volt szükség belőle. A négy darab itt is sarokelemekkel lettek összekötve, viszont itt már M3 csavarral és t-hornyos anyával (DIN 508). A váz felülnézeti rajza a (22. ábra)-n látható.



22. ábra Asztal váz szerkezeti felépítés

A nagyobb merevség érdekében 8 darab sarokelemmel kötöttem össze az alumínium profilokat. Maga az asztallap egy 550 x 550 x 5mm alumínium lapból lesz kimunkálva, ami azt jelenti, hogy tíz furatot, négy lekerekítést és egy kimarást kell rajta elvégezni. A nyomtatófelület egy textúrált flexibilis PEI lap lesz, mérete pedig 510 x 510mm. Azért esett erre a PEI lapra a választásom, mert az anyagok letapadása kifejezetten jó ezen a

lapon, és esztétikus felületet is kapunk. Emellett a nyomtatás végén sokkal könnyebben el lehet távolítani a darabokat az asztalról a lap rugalmassága miatt.

A másik fontos eleme a szilikon fűtőbetét, ezt az alumínium lemez aljára ráragasztva helyezzük el. Azért, hogy ez a fűtőegység minél hatékonyabban tudjon dolgozni és gyorsabban is melegítse fel az asztalt, még ráhelyezünk egy extra hőálló fóliát (400x400x10mm), aminek az a feladata, hogy a meleget felfelé irányítsa, így csak az asztal alumínium lapja és PEI lap melegszik majd fel.

Az egész asztalvázat és a mozgatásért felelős elemeket egy tervezett alkatrész köti össze. Ennek az alkatrésznek a gyártása 3D nyomtatásra lett optimalizálva, azon belül is SLS technológiára PA12 anyaggal. Azért esett erre az anyagra a választásom, mert magas a szakítószilárdsága és az olvadáspontja is ahhoz, hogy a 100 °C biztosan el tudja viselni, ami az asztal maximum fűtési hőfoka.

A szilikon fűtőpanel áramellátása AC 220v-tal fog történni. A szabályozása pedig egy SSR-DA szilárdtest relé fogja biztosítani. A vezérlő elektronika pedig a 24v DC jellel fogja tudni ki és bekapcsolni a fűtőpanelt, vagyis szabályozni magát az SSR-DA relét. Azért is előnyösebb ez a megoldás, mivel így nem kell nagyobb és drágább tápegységet beszerezni, tehát költséghatékonyabb. A másik előnye pedig az asztal felfűtési idejének csökkenése, amit ilyen nagy méretnél kifejezetten előnyös. Ha zárt kialakítású lenne a nyomtató, akkor az asztalfűtés egyszerre lenne képes a nyomtatóteret is befűteni.

2.2.3 Nyomtatóasztal mozgatása

A Z irányba történő mozgást kettő darab Nema 17 x 60 mm motor fogja végezni. Ezek egy-egy Ø12-es menetes orsóhoz kapcsolódnak és ez alakítja át a forgó mozgást lineárisra.

A dc motor és a menetesorsó összekötése egy gumicsillagos tengelykapcsolóval van megoldva. Ennek az az előnye, hogy képes elnyelni a minimális szöghibákat.

A végállást a fejen elhelyezett SuperPINDA szenzor fogja majd szabályozni. A nagyobb stabilitás érdekében kettő-kettő lineáris megvezetéssel van ellátva az asztal. Ezzel biztosított az asztal vízszintesége is. A tengely hossza lehetővé teszi, hogy 500 mm magas darabokat is nyomtatni lehessen majd vele.

2.2.4 Nyomtatófej

Maga a nyomtatófej egy már létező nyomtatóról lett felhasználva, egy szabad hozzáférésű modelltől. Ez a Rat Rig v-cast feje annyi módosítással, hogy alkalmassá tettem egy SuperPINDA szenzor befogadására. Ezt a szenzort a Prusa használja, tulajdonképpen ez egy indukciós távolságérzékelő szenzor, amit relatíve kis távolságból, pár milliméterre kell elhelyezni a tárgyasztaltól. Ami fontos, hogy az asztal hőmérséklete befolyásolja a mérési pontosságot. Ezért érdemes a Prusa által alkalmazott kalibrációs folyamatot alkalmazni. Ez lényegében annyit csinál, hogy egy adott pozícióban hideg asztallal készít egy mérést, és ezt referencia pontnak veszi. Ezt követően különböző hőmérsékleteken újra elvégzi a mérést és az eltéréseket rögzíti. Így később az asztal szintezését pontosabban tudja majd végre hajtani.

A fej egy lineáris sínre szerelt kocsihoz van rögzítve, ezt mozgatja egy Nema 17 dc motor. Ezt a forgó mozgást egy GT2 szíjon keresztül alakítja át lineáris mozgássá. Magát a lineáris sínt egy 2020 alumínium profilra rögzítettem. A pontos pozíciót pedig egy sima végálláskapcsoló biztosítja az egyik oldalon. Minden nyomtatás előtt ez lesz a referencia pont az X tengelyen. Maga az egész szerkezet a (23. ábra Nyomtató fej és X tengely23.) ábrán látható.



23. ábra Nyomtató fej és X tengely

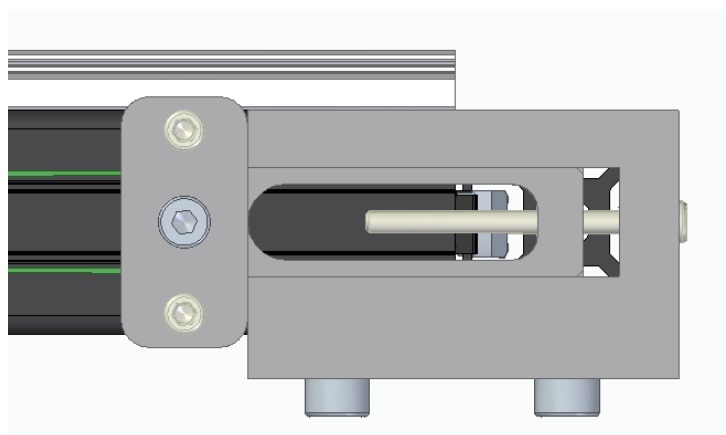
A filament adagolását egy Bondtech Igx lite és ehhez kapcsolt Bondtech LDO Nema14 dc motor végzi. Az eredeti Rat Rig v-cast fej egy sima E3D hotend-el volt felszerelve. Ezt lecseréltem egy Phaetus Dragon hotend-re mivel ennek tapasztalataim alapján gyorsabb a felfűtési ideje, és a dugulásra való hajlama is minimális, ami ki fejezetten előnyös, főleg nagysebességű nyomtatás esetén. A másik fontos dolog, hogy azért alkalmaztam egy fejet, hogy ezzel is csökkentsem a mozgatni kívánt súlyt. Ebben az

esetben, ha több anyaggal szeretnénk dolgozni, akkor manuálisan, vagy egy filament cserélő szerkezettel tudjuk ezt megoldani.

A tárgy hűtésérét egy 5015 24v turbo ventilátor felel, az ehhez csatlakozó hűtőelem célzottan irányítja a levegőt a nyomtatott darabra. Ennek a ventilátornak a fordulatszáma pedig minden esetben szabályozható kell, hogy legyen, mivel nem minden anyagnak kell azonos hűtési teljesítmény. A hotend fölött található hűtőbordák (heatsink) hűtését pedig egy csendes 4010 24v axiális ventilátor fogja biztosítani. Maga a fej is nyomtatott elemekből épül fel. Itt PET-G anyagot alkalmaztam nagyjából 30-40% kitöltéssel, ezzel is a szerkezet tömegét csökkentve.

2.2.5 Y irányú mozgás komponensek

A (23.) ábrán látható két piros kocsival csatlakozik az X tengelyhez és köti össze az Y tengellyel egy lineáris sínen keresztül. A mozgást itt is Nema 17 dc motor végzi, azonban kettő darabot használtam a nagyobb tömeg miatt. Itt is a forgó mozgást egy GT2 szíj viszi át, és ezt alakítja át lineáris mozgássá. A pontos pozicionálást itt kettő darab végállás kapcsoló végzi, hogy mind a kettő dc motor szinkronban legyen. A szíj feszességét először a dc motornál elő tudjuk feszíteni, egy finom hangoló segítségével imbuszkulccsal pedig utána tudunk állítani. Ennek felépítését (24.) ábrán láthatjuk. A zöld elem maga a szíj, a két szürke elem pedig egymásba csúszik és a csavar tekerésével állítható a szíjfeszesség. Egy ehhez nagyon hasonló elem helyezkedik el az X tengely egyik végén is.



24. ábra Y szíjfeszítőelem

2.2.6 Elektronika és vezérlés

A nyomtató teljes vezérlését egy Raspberry Pi 4 Model B fogja végezni. A nyomtatóhoz a számítógépünkön keresztül tudunk csatlakozni. Ez az eszköz lényegében egy miniszámítógép, erre kell telepíteni a klipper vagy marlin nevű rendszert, ami az összes folyamatért felel. Wifi-n keresztül csatlakozva a nyomtatóhoz fel tudunk tölteni új nyomtatásokat, és folyamatosan monitorozni tudjuk a gépen történő folyamatokat valós időben. Ehhez a Raspberry Pi-hoz kapcsolódik az alaplap (Bigtreetech BTT Octopus), ez az egység áll közvetlen kapcsolatban az összes komponenssel, például az 5 db dc motorral, a végállás kapcsolókkal, a Pinda szenzorral, a ventilátorokkal, a szilárd test relével. Maga a Raspberry Pi értelmezi a megkapott g-kódot és az Octopus adja ki a végleges parancsot. Ezeknek az egységeknek az áramellátását egy Weho 250 Watt / 24Volt-os tápegység biztosítja.

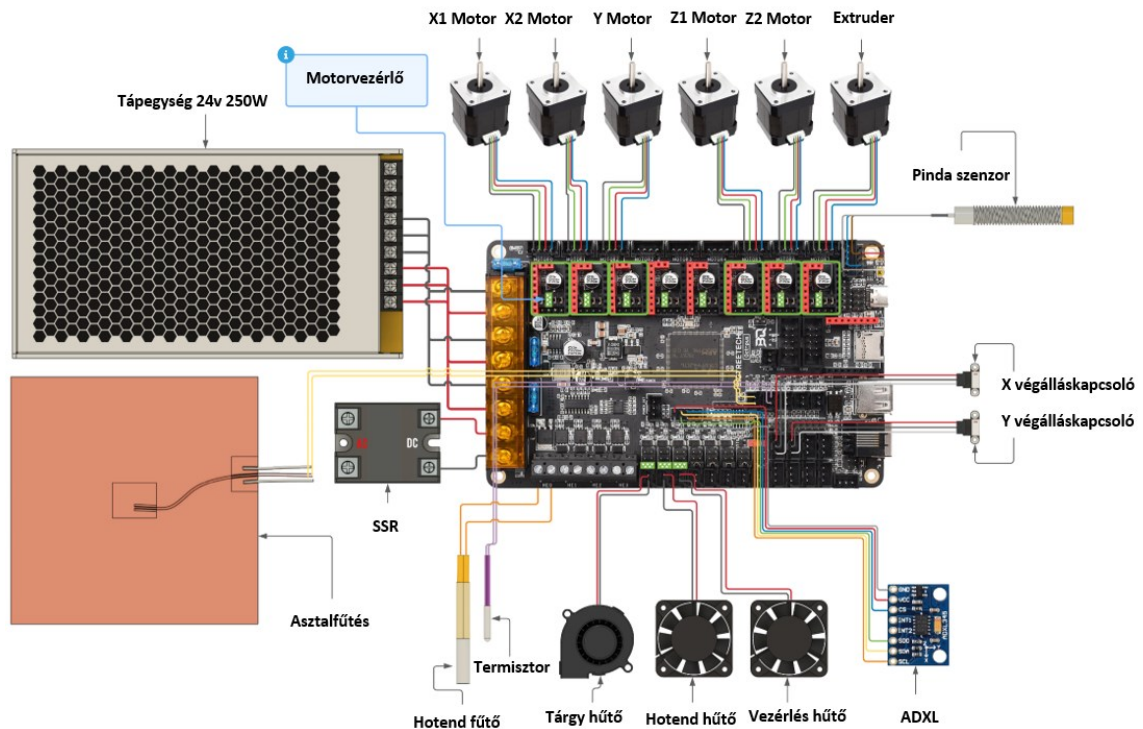
Az egész elektromos rendszer a gép alján helyezkedik el. A hűtés és levegő áramlását 2 db 4010 24v axiális ventilátor biztosítja.

Egy másik fontos elem még a gyorsulás mérő szenzor (ADXL 345). Ezt a kicsi nyáklapot a nyomtató fejére kell rögzíteni és folyamatosan visszajelzéseket küld a vezérlésnek az aktuális X, Y és Z irányú sebességről és gyorsulásról. Azért is fontos ez, hogy ezáltal pontosabban tudjuk szabályozni a nyomtató ezen értékeit, és folyamatosan biztosított legyen a visszajelzés is. A gyorsulásmérő szenzorral akár rezgés diagnosztikát is csinálhatunk, így optimalizálni tudjuk a gyorsulásokat és a rezgéseket is.

A dc motorok felfogatásakor extra rezgéscsillapító alátéttel pedig még egyenletesebb lehet a nyomtatás. Ez a betét készülhet valamilyen gumiból vagy parafából is.

2.2.7 Elektronikus rendszer felépítése

Az alaplap (Octopus) megfelelő bekötése elengedhetetlen az optimális működéshez. Nagy előnye ennek a nyáklapnak, hogy annak ellenére, hogy a lap 24 volt-os. A ventilátorokból be tudunk kötni akár 12 vagy 5 voltosat is. Portok terén sincs hiány, így a későbbi bővítések is megoldhatók. A dc motor vezérlés terén van egy port, ami kettő dc motor szinkronban történő mozgatását teszi lehetővé, azonban ennek a kihasználását elvettem, mivel így pontosabban lehet kompenzálni az esetleges eltéréseket mind az X és Z tengely mentén is. A (25. ábra)-n látszik a korábban említett SSR-40DA elem a bekötése. és az, hogy a dc oldalon hogyan kapcsolódik a vezérléshez.



25. ábra Elektronikai rendszer (Octopus) bekötése [13]

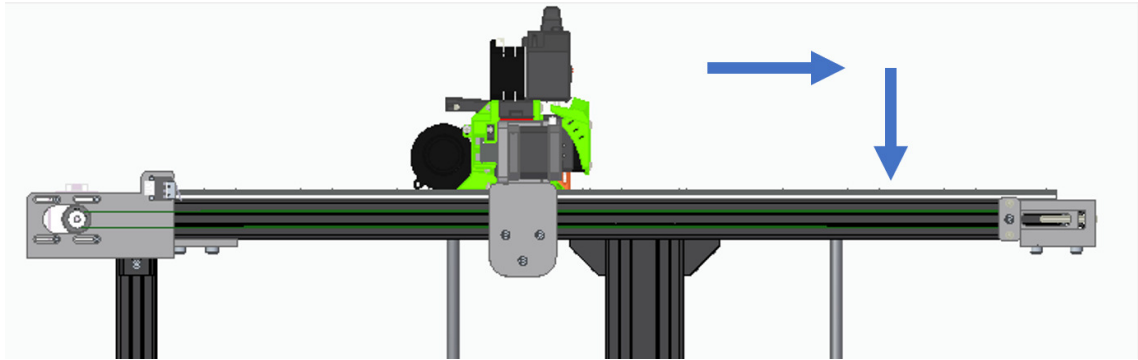
3. Számítások

3.1 Vázszerkezet lehajlása

A váz legkritikusabb pontját fogom vizsgálni annak függvényében, hogy a mozgatott tömeg, ha a legkritikusabb helyen van, akkor ez miképpen befolyásolja a 3030 alumínium profilt a helytállás szempontjából, és ez hogyan befolyásolhatja a nyomtató működését.

3.1.1 Egyszerűsített kihajlás számítás

Lényegében a szerkezet nagyon hasonlít egy befalazott tartóra, csak jelen esetben kettő helyen van rögzítési pont. Ezért az egyszerűség kedvéért a terhelő erőt elosztom kettővel és csak az egyik oldalon vizsgálom a profilt, mivel a statikus terhelés esetén ez is megfelel. A (26. ábra Váz kritikus lehajlási pozíciója 26. ábra)-n a kék nyíllal jelöl helyében vizsgáltam a tartót (asztal szélén).



26. ábra Váz kritikus lehajlási pozíciója

Adatok:

$$\text{gravitációs együthető: } g = 10 \frac{m}{s^2}$$

$$\text{tartó hossza: } l_1 = 179,15 \text{ mm}$$

$$\text{Másodrendű nyomaték(3030): } I_x = 28800 \text{ mm}^4$$

$$m(\text{tömeg})_1 = 2,066 \text{ kg} \rightarrow F(\text{Erő}) = 2,066 \text{ kg} * 10 \frac{m}{s^2} = 20,66 \text{ N}$$

$$F_1 = \frac{20,66 \text{ N}}{2} = 10,33 \text{ N}$$

$$\text{Rugalmassági modulus (Al 6061 T6): } E = 68947,57 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Lehajlás: } f = \frac{F * l^3}{3 * E * I_x} = \frac{10,33 \text{ N} * 179,15 \text{ mm}^3}{3 * 68947,57 \frac{N}{mm^2} * 28800 \text{ mm}^4}$$

$$f = 0,00997 \text{ mm}$$

A számítás végén kapott eredmény elenyésző kihajlást mutat. Ezt teljes mértékben kompenzálható.

3.1.2 Aszimmetrikus kihajlás számítás

Ebben az esetben figyelembe veszem azt is, hogy a terhelés az egyik oldalon mindig nagyobb lesz. Az ezért lehetséges, mert az X tengely irányú mozgásért felelős dc motor az egyik oldalon van. Így azon a 3030 profilon mindig nagyobb lesz a terhelés. A másik tényező pedig a nyomtatófej. Ezért kiszámoltam, hogy ha azon az oldalon van a nyomtató fej is, akkor mekkora lehet a lehajlás.

Adatok:

$$\text{gravitációs együthető: } g = 10 \frac{m}{s^2}$$

Tartó hossza: $l_1 = 179,15 \text{ mm}$

Másodrendű nyomaték(3030): $I_x = 28800 \text{ mm}^4$

$$m(\text{tömeg})_2 = 1,37 \text{ kg} \rightarrow F_2 = 1,37 \text{ kg} * 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 13,7 \text{ N}$$

Rugalmassági modulus (Al 6061 T6): $E = 68947,57 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$\text{Lehajlás: } f = \frac{F * l^3}{3 * E * I_x} = \frac{13,7 \text{ N} * 179,15 \text{ mm}^3}{3 * 68947,57 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 28800 \text{ mm}^4}$$

$$f = 0,0132 \text{ mm}$$

Ekkora mértékű kihajlás több szempontból is megengedhető:

1. Minden nyomtatás előtt egy színtezési program fut majd le és ez kompenzálni fogja ezt az eltérést. Így akár $\pm 0,25 \text{ mm}$ eltérést is kompenzálni tud a rendszer.
2. Az asztalt ezenkívül még lehet színtezni manuális úton is. Az asztallap alján található csavarok ugyanis még egy extra rugóval is meg vannak támasztva. Így a $\pm 0,25 \text{ mm}$ tűréstartományba egyszerűen bele tudjuk állítani az nyomtatóasztal lapját.
3. Ennél a lehajlás számításnál csak a vázszerkezetet vettem figyelembe, viszont az asztalt Z tengelyirányban megvezető $\varnothing 12 \text{ mm}$ tengely még extra merevséget ad majd. Ezért $0,0132 \text{ mm}$ -nél jóval kisebb lesz a kihajlás.

3.1.3 Aszimmetrikus kihajlás számítás korrigált l hosszal

Ebben az esetben figyelembe vettem, hogy nem csak a vázszerkezet és a sarokelemek támasztják meg a 3030 alumínium profilt, hanem maga a $\varnothing 12 \text{ mm}$ tengely is. Így az l_2 hossz már szinte fele akkora értéket vesz csak fel.

$$\text{Gravitációs együthetű: } g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Tartó hossza: $l_2 = 88,05 \text{ mm}$

Másodrendű nyomaték(3030): $I_x = 28800 \text{ mm}^4$

$$m(\text{tömeg})_2 = 1,37 \text{ kg} \rightarrow F_2 = 1,37 \text{ kg} * 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 13,7 \text{ N}$$

Rugalmassági modulus (Al 6061 T6): $E = 68947,57 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$\text{Lehajlás: } f = \frac{F * l^3}{3 * E * I_x} = \frac{13,7N * 88,05 \text{ mm}^3}{3 * 68947,57 \frac{N}{\text{mm}^2} * 28800 \text{ mm}^4}$$

$$f = 0,00157 \text{ mm}$$

Ez a lehajlás érték már tényleg elenyésző ahhoz képest, hogy a Z irányban tervezett legkisebb rétegmagasság is 0,05mm. A másik tényező pedig, hogy a nagy volumenű nyomtatásoknál a 0,3mm rétegmagasságot célszerű alkalmazni a nyomtatási idő csökkentése érdekében.

3.2 Szíjhajtás számítás X és Y tengelyre

Az X és Y irányban alkalmazott GT2 szíjtárcsák esetén hogyan alakul a dc motorok szabályzásra. Az áttétel 1/1, a fogszám 20, így jelen esetben ez nem befolyásoló tényező.

Adatok:

Legkisebb lépeteés értéke x – y irányban: x [mm]

GT2 fogaskerék(20) átmérő: D = 12,2244 mm

*Fogaskerék kerülete: K = π * D = 38,4041 mm*

DC motor minimális léptetési szög: α = 1,8° ± 5%

$$360^\circ = 38,4041 \text{ mm}$$

$$1,8^\circ = x \text{ mm}$$

$$x = \frac{K}{\frac{360^\circ}{1,8^\circ}} = \frac{38,4041}{\frac{360^\circ}{1,8^\circ}} = 0,1920 \text{ mm} \pm 5\%$$

$$x = 0,1920 \text{ mm} \pm 0,0096 \text{ mm}$$

Szíjhajtás Y tengelyen:

Kettő darab dc motor végzi a mozgatót, amiknek egyenként a forgatónyomatéka 0,42N/mm. A szükséges szíjhossz pedig 2 db maximum 1,55m.

Motor teljesítményének ellenőrzése:

Első körben ki kell számolni a gördülési súrlódásból származó erőt.

$$F_s = \mu * F_1$$

$$\mu_g (\text{gördülési súrlódási tényező}) = 0,001$$

forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Súrlódás>

$$F_1 = \frac{20,66 \text{ N}}{2} = 10,33 \text{ N}$$

$$F_{s1} = 0,001 * 10,33 = 0,01033 \text{ N}$$

A kocsí tömités maximális surlodási ellenállása $F_{s2} = 0,2 \text{ N}$

A surlodási ellenállása $F_s = F_{s1} + F_{s2} = 0,01033 \text{ N} + 0,2 \text{ N}$

$$F_s = 0,21033 \text{ N} \approx 0,2103 \text{ N}$$

Motor maximális nyomatéka: $M_{motor} = 0,59 \text{ Nm} = 590 \text{ Nmm}$

GT2 fogaskerés sugara: $R_{GT2} = 7,5 \text{ mm}$

Maximális nyomatéka: $M_{max} = R_{GT2} * F_s = 7,5 \text{ mm} * 0,2103 \text{ N}$

$$M_{max} = 1,5773 \text{ Nmm}$$

$$M_{max} < M_{motor}$$

$$1,5773 \text{ Nmm} < 590 \text{ Nmm}$$

A motor teljesítménye megfelelő.

Szíjhajtás X tengelyen:

Egy dc motor végzi a mozgatót, aminek a forgatónyomatéka 0,42N/mm. A szükséges szíjhossz 1,72m. Mivel ezen a tengelyen egy ugyanolyan erős motor lett elhelyezve, mint az Y tengely mentén is, viszont a mozgató súly sokkal kisebb, ezért a számítás elhanyagolható.

3.3 Menetesorsó számítás

3.3.1 Menetesorsó terhelhetősége és DC motor nyomaték számítás

Ezt a számítást egy erre a célra fejlesztett szoftver segítségével oldottam meg. A program neve Linear Motion Designer (LMD). A bemenő paraméterek (menetemelkedés, sebesség, gyorsulás, hossz és erő) megadása után a program kiszámolja nekünk, hogy a saját adatbázisa alapján melyik menetes orsó felel meg a célra.

Bevitt adatok:

1. Ki kell választani a menetes orsó konstrukcióját, a menetemelkedést ($P=5$), és a csapágyközpont távolságát (L_s).
2. Ezután meg kell adni a teljes mozgástartomány hosszát és az időt, ami alatt szeretnénk, hogy megtegye a gép. Ezt követően ki kell választani egy mozgás profilt, amiből hármat kínál fel a szoftver számunkra. Egy háromszög profil, itt lényegében csak egy gyorsulási és lassulási szakasz van. A másik kettő trapéz profil, azzal a különbséggel, hogy a gyorsulási és lassulási szakaszok eltérő

értékkel mennek végbe. Itt azt a trapéz profilt választottam, aminél a gyorsulás értéke kisebb, így a terhelés is kisebb lesz.

3. Ezt követően meghatározzuk az erő nagyságát és irányát. Itt az irányunk azonos a tengely irányával.
4. Ezután az eredményekhez már csak a pontos kialakítás típusát kellett meghatározni.

Első vizsgálat:

Itt lényegében csak a nyomtatóasztal súlyával vizsgáltam, hogy milyen orsót javasolna a program.

Megadott értékek:

- Menetemelkedés: $P = 5 \text{ mm}$
- Erő: $F_1 = 35,315 \text{ N}$
- Megtett lökethossz: $s = 500 \text{ mm}$
- Megtett löketidő: $t = 25 \text{ s}$

Kapott értékek:

- Orsó átmérője: $d_0 = 16 \text{ mm}$
- Maximális csavarónyomaték: $M_{\max 1} = 0,09 \text{ Nm}$

Az alkalmazott dc léptetőmotor csavarónyomatéka: $M_z = 0,59 \text{ Nm}$

$$M_z \geq M_{\max 1}$$

$$0,59 \text{ Nm} \geq 0,09 \text{ Nm}$$

Megfelel a kikötésnek.

Második vizsgálat:

Ebben az esetben nem csak az asztal, hanem a rajta lévő nyomtatvány súlyával is számolok. A nyomtatott darab egy $500 \times 500 \times 500 \text{ mm}$ kocka lesz, ami 20 % kitöltéssel 32,3 kg lenne.

Megadott értékek:

- Menetemelkedés: $P = 5 \text{ mm}$
- Erő: $F_2 = 196,815 \text{ N}$
- Megtett lökethossz: $s = 500 \text{ mm}$
- Megtett löketidő: $t = 25 \text{ s}$

Kapott értékek:

- Orsó átmérője: $d_0 = 16 \text{ mm}$
- Maximális csavarónyomaték: $M_{\max 2} = 0,23 \text{ Nm}$

Az alkalmazott dc léptetőmotor csavarónyomatéka: $M_z = 0,59 \text{ Nm}$

$$M_z \geq M_{\max 1}$$

$$0,59 \text{ Nm} \geq 0,23 \text{ Nm}$$

Megfelel a kikötésnek.

Még egy kettes biztonsági tényezővel is a rendszer elegendő nyomatékkal rendelkezik.

A program mind a szakaszt (gyorsulás, lassulás, haladás) vizsgálta egyszerre.

3.3.2 Legkisebb rétegmagasság

A Z tengelyen történő mozgás egy menetesorsó forgatásával fog megtörténni. Ennek menetemelkedése (P) 5mm. Az irányváltáskor jelentkező koccanás mértéke 0,003mm, azonban ez csak akkor jelentkezik, ha történik Z-ben kiemelés.

Legkisebb lépeteés értéke z irányban: z [mm]

dc motor minimális léptetési szög: $\alpha = 1,8^\circ \pm 5 \%$

Menetemelkes $P = 5 \text{ mm}$

$$360^\circ = 5 \text{ mm}$$

$$1,8^\circ = ? \text{ mm}$$

$$z = \frac{P}{\frac{360^\circ}{1,8^\circ}} = \frac{5}{\frac{360^\circ}{1,8^\circ}} = 0,025 \text{ mm} \pm 5 \%$$

$$z = 0,025 \text{ mm} \pm 0,00125 \text{ mm}$$

A legkisebb tervezett rétegmagasság 0,05 mm, ezért ez az érték teljesen megfelelő.

4. Megtérülésideő számítás

4.1 Megtérülés számítás célja

Ez egy nagyon fontos számítás, mivel nem mindegy, hogy a nyomtatóba fektetett pénz és idő mennyi munkaóra után térül meg. Ennél a lépésnél figyelembe lehet venni egyes komponensek árat, és így el lehet dönteni, hogy hol lehet spórolni a teljes gép elkészítése során. A költségeket első lépésben nagyobb komponensekre bontom.

Költségek

A mai gazdasági helyzetben, az árak folyamatosan változnak. Ezért az általam használt áraknál mindig feltüntettem a dátumát is, hogy minél hitelesebb legyek. Emellett a szállítási költséget se néztem csak magát a termékárát.

4.1.1 Vázszerkezet

3. táblázat Vázszerkezet költségei

Megnevezés	Darab	Ár (Ft)	Végösszeg (Ft)	Dátum
3060 Alumínium profil 700mm	7	16653	116571	2022.10.21
3030 Alumínium profil 700mm	4	10464	41856	2022.10.21
Sarokelem 3030 10db	2	4451	8902	2022.10.21
Csavar ISO 4762 M5x12	40	10	400	2022.10.21
T-hornyos anya M5 3030 20db	2	1300	2600	2022.10.21

Vázszerkezet végösszege: **177.472 Ft**

4.1.2 Nyomtatóasztal

4. táblázat Nyomtatófej költségei

Megnevezés	Darab	Ár (Ft)	Végösszeg (Ft)	Dátum
Hőfólia 4000x400x10mm	1	869	869	2022.10.21
Fűtő panel 350x350 mm	1	13940	13940	2022.10.21
2020 Alumínium profil 500mm	4	3490	13960	2022.10.21
Csavar ISO 4762 M3x12	16	16,1	258	2022.11.06
PEI nyomtatólap 510x510 mm	1	49993	49993	2022.11.11
T-hornyos anya M 3030 20db	1	1273	1273	2022.11.06
Sarokelem 2020 8db	10	2208	22080	2022.11.06
Asztal lap 550x550x5mm	1	12500	12500	-
SSR-40DA szilárdtest relé	1	1710	1710	2022.11.22
Sls nyomtatott alkatrész	2	3500	7000	-

Nyomtatóasztal végösszege: **123.583 Ft**

4.1.3 Mozgató elemek:

5. táblázat Mozgató elemek költségei

Megnevezés	Darab	Ár (Ft)	Végösszeg (Ft)	Dátum
MGN12C és MGN12H 700mm	3	17109	51327	2022.10.21
BKBF12 és RM1605 szett 650mm	2	29277	58554	2022.12.04
Lineáris tengelytartó SK12 4db	2	2257	4514	2022.10.21
Lineáris tengely Ø12mm 750mm	4	10085	40340	2022.10.21
Nema 17 léptető motor 3db	1	12460	12460	2022.10.21
Szíj 2MGT 2M 2GT 10m	1	3574	3574	2022.10.21
DC motor tartó bak	2	1561	3122	2022.10.21
Nema 17 48mm 42BYGH 1db	2	5023	10046	2022.10.21

Mozgató elemek végösszege: **183.937 Ft**

4.1.4 Nyomtatófej

6. táblázat Nyomtatófej költségei

Megnevezés	Darab	Ár (Ft)	Végösszeg (Ft)	Dátum
2020 Alumínium profil 700mm	1	7143	7143	2022.10.21
Drangon Hotend V6	1	23234	23234	2022.11.11
Pinda Szenzor	1	3422	3422	2022.11.11
Tárgyhűtő ventilátor 5015 24v	1	547	547	2022.11.12
Hotendhűtő axiális ventilátor 4010 24v	1	935	935	2022.11.12
Bondtech LGX Lite Extruder + Motor	1	37550	37550	2022.11.11
Nyomtatott elemek	1	15000	15000	-

Nyomtatófej végösszege: **87.831 Ft**

4.1.5 Elektronika és vezérlés

7. táblázat Elektronika és vezérlés költségei

Megnevezés	Darab	Ár (Ft)	Végösszeg (Ft)	Dátum
Raspberry Pi 4 Model B (2gb)	1	23614	23614	2022.11.11
Végállás kapcsoló (3db)	1	1829	1829	2022.11.11
Tápegység 250W 24V Weho	1	12087	12087	2022.11.11
Vezérlőegység Octopus	1	32420	32420	2022.11.12
Hotendhűtő axiális ventilátor 4010 24v	2	935	1870	2022.11.12
Gyorsulásmérő szenzor ADXL 345	1	634	634	2022.11.22
Kábelezés és kábelcsatornák	1	25000	25000	-

Elektronika/vezérlés végösszege: **97.454 Ft**

4.1.6 Összköltség

1. Nyomtatófej: 87.831 Ft
2. Vázszerkezet: 170.329 Ft
3. Elektronika és vezérlés: 97.454 Ft
4. Mozgató elemek: 183.937 Ft
5. Nyomtatóasztal: 123.583 Ft

Összköltség = Nyomtatófej + Vázszerkezet + Elektronika és vezérlés
+ Mozgató elemek + Nyomtató asztal

Összköltség = 87.831 Ft + 170.329 Ft + 97.454 Ft + 183.937 Ft + 123.583 Ft

Összköltség = 663.135 Ft

4.2 Megtérülés

Ennél a nyomtatónál a nagy nyomtatási sebesége miatt számolhatunk úgy, mintha két nyomtató lenne. A piacon jelenlévő 3D nyomtatással foglalkozó cégek, akik ipari nyomtatással is foglalkoznak, átlagosan 1000 Ft/órával számolják a nyomtatási díjat. Ezért én ennek megfelelően 2000 Ft/órával fogok számolni. Viszont nagyon fontos, hogy az alapanyagár és a gép áramfogyasztása lejön ebből a végén, ezért ezt az összeget még korrigálni kell.

4.2.1 Egyszerűsített számítás

$$\text{Összköltség} = 640.106 \text{ Ft}$$

$$\text{Nyomtatási óradíj} = 2000 \text{ Ft/óra}$$

$$\text{Megtérülési idő} = \frac{\text{Összköltség}}{\text{Nyomtatási óradíj}} = \frac{648.152 \text{ Ft}}{2000 \text{ Ft/óra}}$$

$$\text{Megtérülési idő} = 324,076 \text{ óra} \approx 325 \text{ óra}$$

Ez az idő még ennél nagyobb lesz, ha hozzá kell venni az alapanyagárat és a gép fogyasztását is. Jelen esetben a gépkezelő költségét nem számoljuk hozzá.

4.2.2 Tényleges megtérülés számítás

A gép fogyasztása nagyban függ az asztal fűtési hőmérsékletétől, amit befolyásol a környezet hőmérséklete. Ezenkívül az asztalfűtés, amíg eléri a kívánt hőfokot, addig többet fogyaszt, mint amikor csak szinten kell tartani a hőmérsékletet.

Anyagköltség:

Hozzávetőleg 1 óra nyomtatás alatt Cura szeletelő szoftverrel 0,6mm fűvókával és 0,3mm rétegmagassággal, a korábbi 20x20x20mm kockából 5 darabot nyomtatva óránként 23g anyagot használt fel a gép.

$$\text{Raise3d PLA } 1000g = 14.990 \text{ Ft}$$

$$\text{Raise3d PLA } 23g = 344,77 \text{ Ft}$$

$$\text{Anyagköltség: } \approx 350 \text{ Ft/óra}$$

Áramfogyasztás:

Ebben az esetben a maximális fogyasztást fogom figyelembe venni, a tényleges fogyasztás ennél jelentősen kevesebb lesz. A mai (2022.11.20) lakossági piaci ár feletti áram díja 70,104 Ft/kWh.

Adatok:

- Tápegység maximális teljesítménye: 250 Watt
- Asztal fűtés maximális teljesítménye: 1400 Watt

$$Idő: t \text{ [óra]} = 1 \text{ óra}$$

$$\text{Összes teljesítmény: } P \text{ [Watt]} = 250 \text{ Watt} + 1400 \text{ Watt} = 1650 \text{ Watt}$$

$$\text{Villamos fogyasztás: } E \text{ [kWh]} = \frac{P * t}{1000} = \frac{1650 * 1}{1000} = 1,65 \text{ kWh}$$

$$\text{Áramköltség: } = E * 70,104 \frac{\text{Ft}}{\text{kWh}} = 1,65 * 70,104 \frac{\text{Ft}}{\text{kWh}} = 115,6716 \approx 120 \text{ Ft/óra}$$

Megtérülés számítás:

$$\text{Összköltség} = 640.106 \text{ Ft}$$

$$\text{Nyomtatási óradíj} = 2000 \text{ Ft/óra} - \text{Anyagköltség} - \text{Áramköltség}$$

$$\text{Nyomtatási óradíj} = 2000 \text{ Ft/óra} - 350 \text{ Ft/óra} - 120 \text{ Ft/óra} = 1530 \text{ Ft/óra}$$

$$\text{Megtérülési idő} = \frac{\text{Összköltség}}{\text{Nyomtatási óradíj}} = \frac{648.152 \text{ Ft}}{1530 \text{ Ft/óra}}$$

$$\text{Megtérülési idő} = 423,6289 \text{ óra} \approx 424 \text{ óra}$$

5. Összefoglalás

A 3D nyomtatás a jövőben jelentős mértékben el fog terjedni, mint ahogy ez már ma is látszik. Elsősorban a minimális anyagveszteséggel történő, gyors gyártásnak köszönhetően, ami kis és közepes darabszám esetén nagyon is versenyképes a mai világban. A rohamos fejlődés nem elhanyagolható, mivel ennek köszönhetően egyre nagyobb felhasználási területek nyílnak meg a technológia előtt. A jövőben már az sem elképzelhetetlen, hogy minden háztartásban legyen egy nyomtató és az emberek egy terméket nem megvesznek a boltban, hanem csak a hozzá tartozó modellt veszik meg és nyomtatják ki.

Az általam tervezett gép előnye a nagy nyomtatótér és a mellé párosult sebesség révén hatalmas a termelékenység. Amit még utólag módosítanék az X tengelyen, hogy a nyomtató fejet mozgató dc motort megpróbálnám úgy elhelyezni, hogy ne kelljen azt magával cipelnie. Így a súly csökken ezáltal a sebességben, és a gyorsulásban jobb eredményeket érhet el a gép. A zárt nyomtatótér pedig még egy olyan dolog, ami szükséges lenne, hogy több speciális anyaggal is használni lehessen a nyomtatót.

Jelenleg $1,8^\circ$ -ig szabályozható dc motort alkalmaztam. A nagyobb pontosság érdekében viszont akár $0,9^\circ$ -os dc motort alkalmaznék a jövőben. Ez az összes tengelyen kivitelezhető lenne a nagyobb pontosság érdekében.

6. Summary

3D printing will spread significantly in the future, as it can already be seen today. Primarily thanks to fast production with minimal loss of material, which is very competitive in today's world for small and medium quantities. The rapid development cannot be neglected, as thanks to this, more and more areas of use are opening up for the technology. In the future, it is no longer inconceivable to me that every household will have a printer and that people will not buy a product in the store, but only buy the corresponding model and print it out at home.

The advantage of the machine designed by me is the large printing space and the speed coupled with its enormous productivity. What I would later modify on the X axis is to try to place the dc motor that moves the print head so that it doesn't have to carry it with it. Thus, the weight is reduced and the machine can achieve better results in terms of speed and acceleration. The closed printing space is another feature that would be necessary in order to be able to use the printer with different kind of materials.

Currently, I used a dc motor adjustable up to 1.8° . For greater accuracy, however, I would use a dc motor of up to 0.9° . This could be done on all axes for greater accuracy.

7. Irodalomjegyzék

- [1] Balogh Bence – Szávai Szabolcs– Kovács Péter Zoltán: Multidiszciplináris tudományok, 9. kötet, Miskolc (2019), 4. sz. pp. 535-547
- [2] <http://www.valio-plastics.com/pet-pet-es-pet-g/> (2022.11.06)
- [3] <https://zen3d.hu/fogalomtar/asa/> (2022.11.06)
- [4] Joanna Izdebska-Podsiadły: Polymers For 3D Printing Methods, Properties, And Characteristics. Elsevier. United States. 2022. p. 17-18
- [5] <https://mgstudio.hu/sla-nyomtatás/> (2022.11.06)
- [6] <http://www.cadmonitor.hu/cad-menedzsment/sls-a-3d-nyomtatás-egyik-fontos-variációja-20131004> (2022.11.06)
- [7] How to design parts for SLS 3D printing: [How to design parts for SLS 3D printing | Hubs](#) (2022.11.06)
- [8] Ben Regwood, Filemon Schöffner, Brian Garret: The 3d Printing Handbook, Amsterdam, 2017, Coers & Roest (© 3D Hubs B.V.)
- [9] <https://www.freedee.hu/a-3d-femnyomtatás-modszerei/> (2022.11.06)
- [10] <https://lexiq.hu/reverse-engineering> 2021. (2022.11.06)
- [11] <https://www.muszaki-magazin.hu/2017/03/19/nonkontakt-3d-szkennerek-tipusai-es-alkalmazasuk-gyartásban/> (2022.11.06)
- [12] https://hu.wikipedia.org/wiki/3D_szkennelés (2022.11.06)

8. Mellékletek

[13] https://v-core.ratrig.com/assets/octopus_wiring_huge.png (2022.12.04)

<http://midra.uni-miskolc.hu/document/37766/34823.pdf>

<https://zen3d.hu/cimkek/>

<http://midra.uni-miskolc.hu/document/37766/34823.pdf>

<http://www.valio-plastics.com/pet-pet-es-pet-g/>

<https://www.ensingerplastics.com/en/shapes/products/pa12-tecamid-12-natural#/product-technical-detail-collapse-item-1-lvl-1>

<https://ratrig.com/3d-printing-cnc/3d-printer-kits/all-3d-printer-kits/v-core3configurable.html>

Alkatrészek CAD:

<https://grabcad.com/library/nema17-x-60-1>

<https://grabcad.com/library/mgn12-lineer-guide-1>

<https://grabcad.com/library/trianglelab-phaetus-dragon-hotend-st-sf-and-hf-1>

<https://www.traceparts.com/hu/product/iso-hexagon-thin-nut-iso-4035-m16-14h?CatalogPath=TRACEPARTS%3ATP01001007009&Product=10-10052001-122111&PartNumber=ISO%204035%20-%20d%20M1.6%20-%2014H>

<https://www.traceparts.com/hu/product/hexagon-socket-head-screw-din-912-m5-x-08-20-c3?Product=10-11062001-154695&PartNumber=DIN%20912%20-%20d%20M5%20x%20p%200.8%20-%20l%2020%20-%20C3>

<https://grabcad.com/library/pcb-endstop-1>

<https://grabcad.com/library/nema-17-40mm-stepper-motor-1>

<https://www.traceparts.com/hu/product/hexagon-thin-nut-iso-4035-m6-04?Product=10-10052001-122111&PartNumber=ISO%204035%20-%20d%20M6%20-%2004>

<https://www.traceparts.com/hu/product/hexagon-socket-button-head-screw-iso-7380-m3-x-8-129?Product=10-10052001-163546&PartNumber=ISO%207380%20-%20d%20M3%20x%20l%208%20-%2012.9>

<https://www.traceparts.com/hu/product/hexagon-socket-button-head-screw-iso-7380-m3-x-6-129?Product=10-10052001-163546&PartNumber=ISO%207380%20-%20d%20M3%20x%20l%206%20-%2012.9>

<https://www.traceparts.com/hu/product/hexagon-thin-nut-iso-4035-m3-04?Product=10-10052001-122111&PartNumber=ISO%204035%20-%20d%20M3%20-%2004>

<https://www.traceparts.com/hu/product/hexagon-socket-head-cap-screw-iso-4762-m3-x-8-88?Product=10-10052001-156187&PartNumber=ISO%204762%20-%20d%20M3%20x%20l%208%20-%208>

<https://grabcad.com/library/sunon-mf50152vx-1101c-q99-1>

https://grabcad.com/library/2020-extrusion-2/details?folder_id=11655481

<https://grabcad.com/library/t-nut-drop-in-3030-1>

<https://grabcad.com/library/assembly-of-flexible-shaft-couplings-lxx-mm-x-dxx-mm-configurable-4-12-mm-bore-1>

<https://grabcad.com/library/lm6uu-2>

<https://grabcad.com/library/corner-bracket-20x20-and-20x40-for-3d-printing-1>

<https://grabcad.com/library/aluminum-spacer-20mm-1>

<https://grabcad.com/library/cylindrical-spacers-pass-through-not-threaded-5-3-x-10-mm-1>

<https://grabcad.com/library/linear-bearing-lmh8uu-1>

<https://grabcad.com/library/sk-series-linear-shaft-holder-16-parts-1>

<https://grabcad.com/library/m5-t-slot-nut-2020-1>

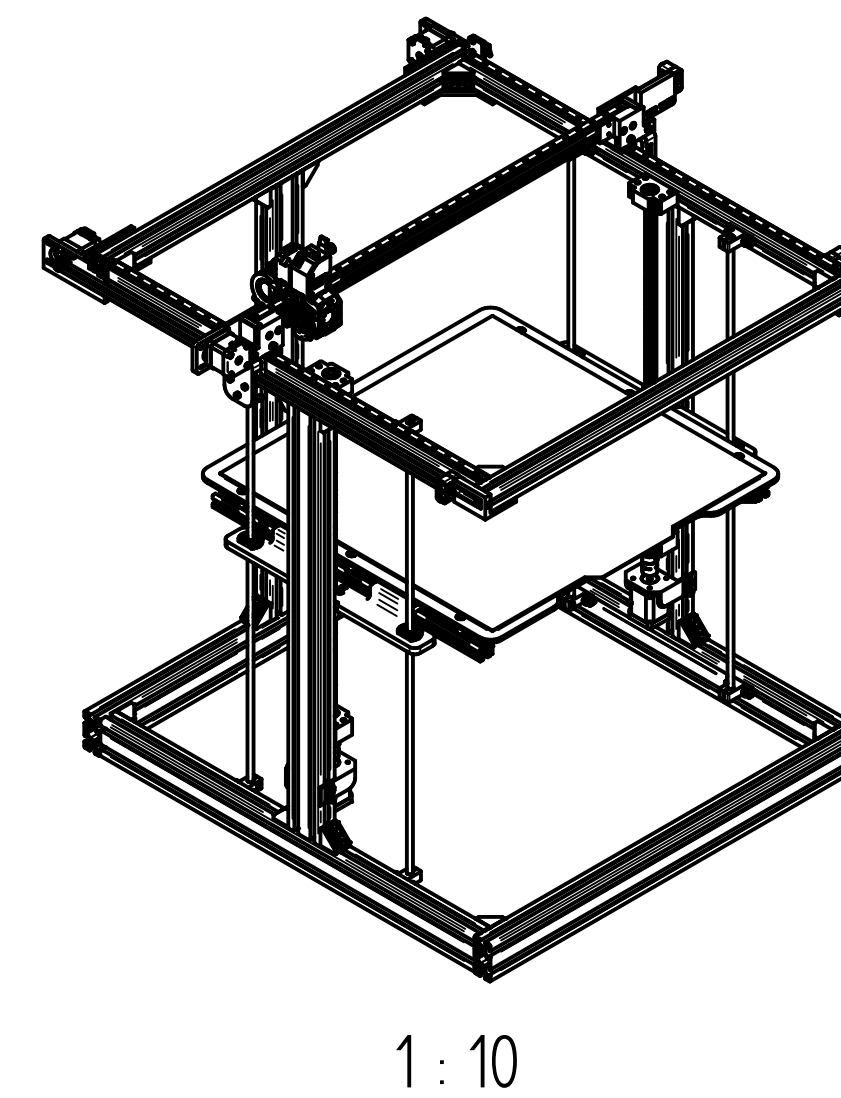
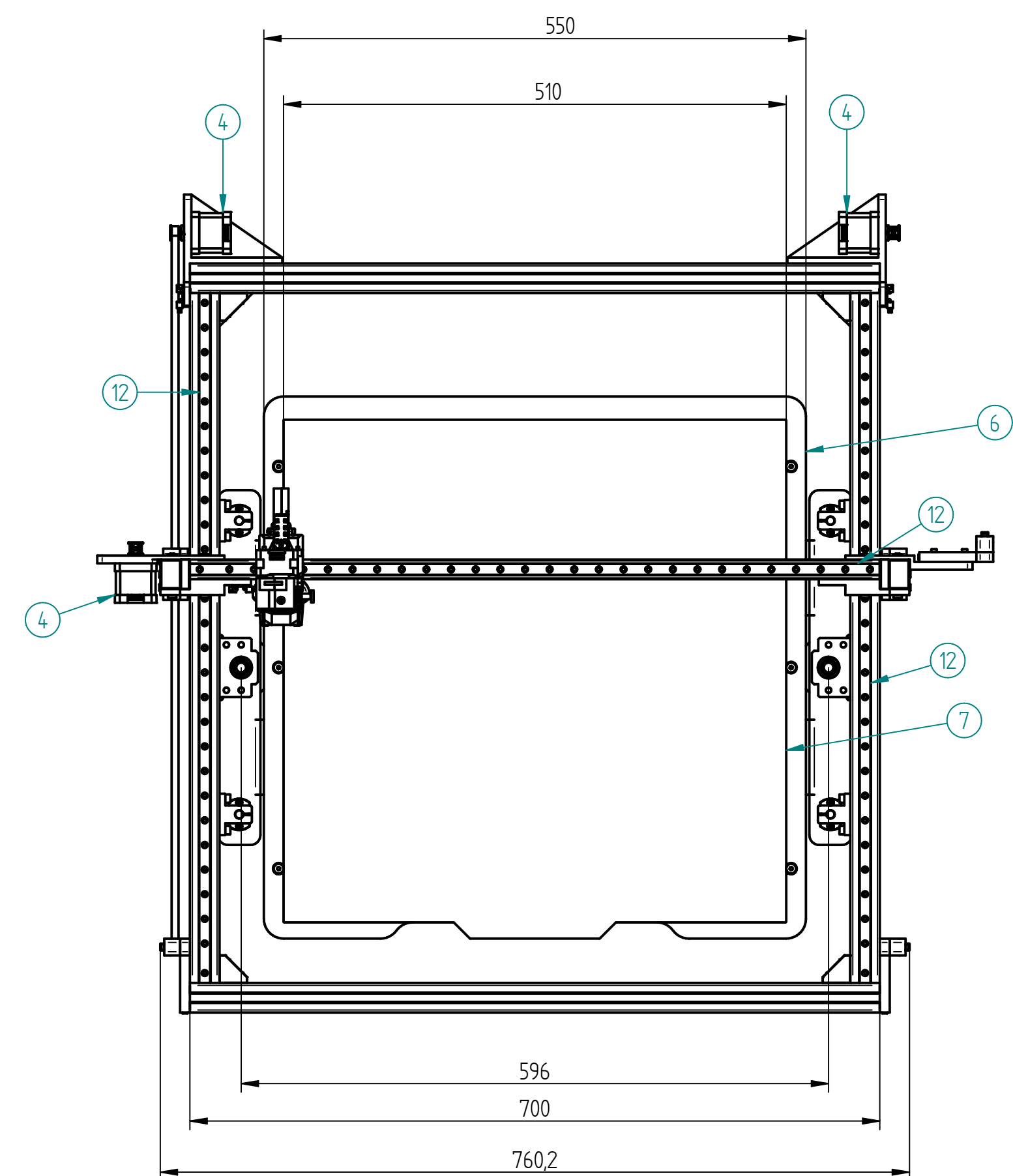
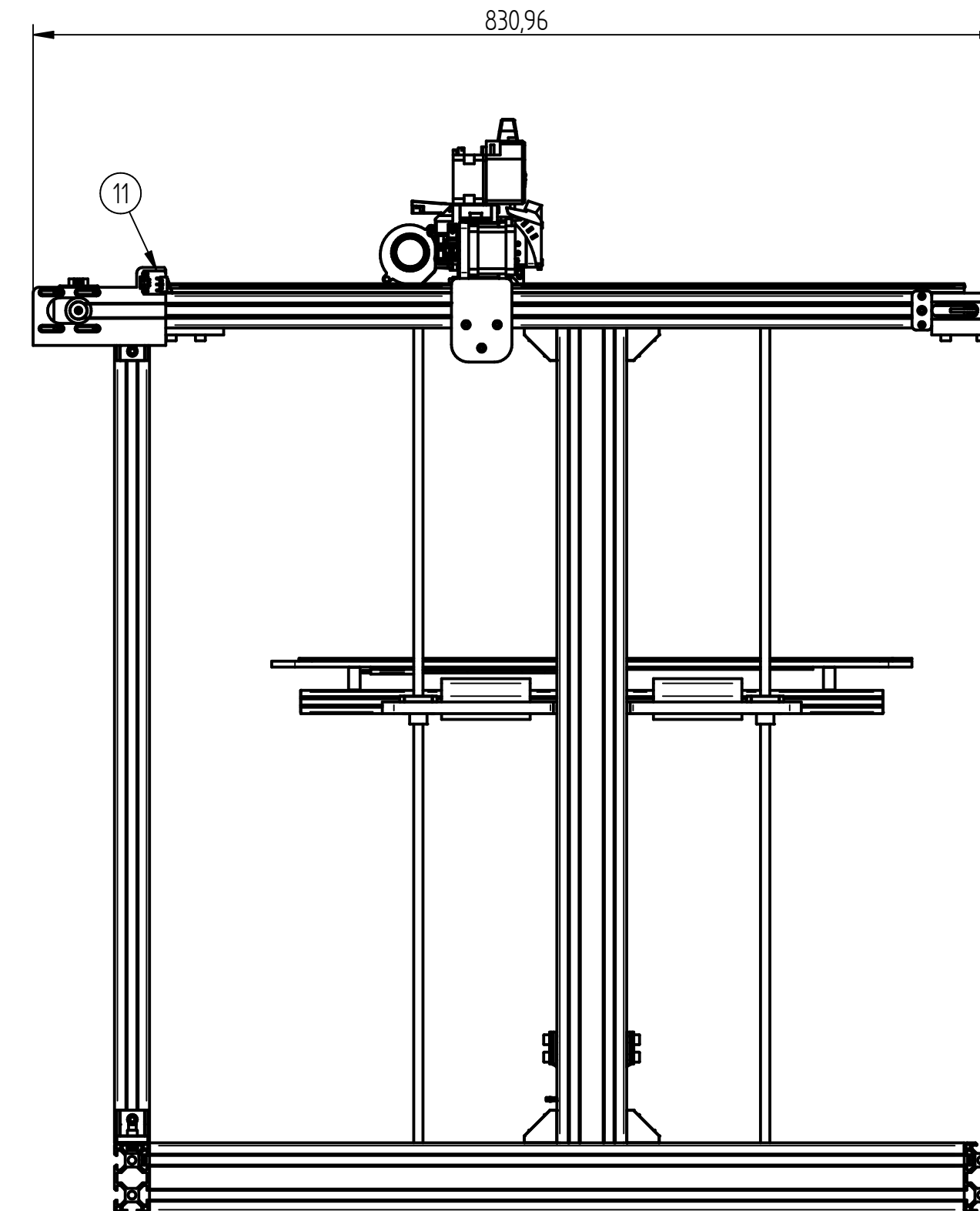
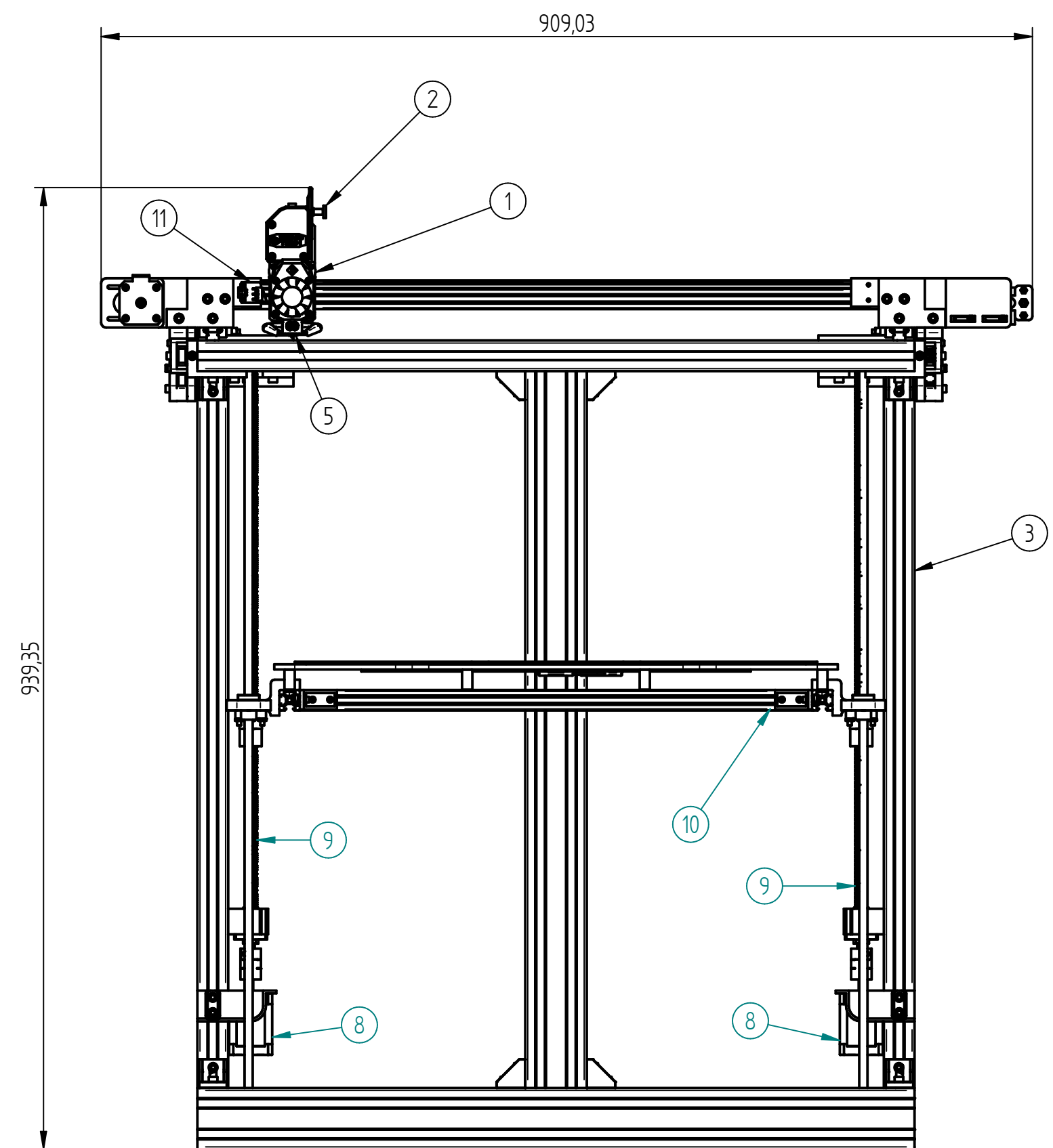
<https://grabcad.com/library/cylindrical-spacers-pass-through-not-threaded-5-3-x-10-mm-1>

<https://pkucmus.github.io/EVA/>

<https://grabcad.com/library/flexible-motor-coupler-5-to-8-millimeter-shaft-1>

Alkatrész árak:

Nyomtató költségelemzés Excel



A tételjegyzék külön oldalon található a rajzhoz mellékelve.

ÓE Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar			
Gépészeti és Biztonságtudományi Intézet			
Ellenőrizte:	Megnevezés:		Méretarány: 1:10
Dátum: 2022.11.10.	3D Nyomtató		Anyag: Al ötvözet
Sorszám: 1.	Név, Neptun kód:	Bogyó Vencel EVZ2QW	Rajzsorszám: SZD2022-100

		Főrajzsám:	Megnevezés:	Tervezte:	Bogyó Vencel		Gépészeti és Biztonságt. Intézet
		SZD2022-100	3D nyomtató	Ellenőrizte:			
				Dátum:	12/13/2022		
Tétel	Db	Rajzsám	Megnevezés	Méret	Szabvány	Anyag	Megjegyzés
1	1		Nyomtató fej			Petg	Nyomtatót elemek + metrikus csavarok
2	1		Bondtech Extruder				
3	1		Vázszerkezet				
4	3		dc motor				X-Y irány
5	1		Dragon hotend				
6	1		Asztallap	500x500x5mm			
7	1		PEI nyomatólap	510x510x2mm			Textúrát PEI lap
8	2		dc motor				Z irány
9	2		Menetesorsó	P = 5mm			
10	1		Asztalváz				
11	3		Végállás kapcsoló				
12	3		Lineáris sín	L = 700mm			

Vázszerkezet	Darabszám	Ár (Ft)	Végösszeg (Ft)	Dátum	link
3060 Aluminium profil 700mm	7	16653	116571	2022.10.21	https://de.aliexpress.com/item/400051https://de.aliexpress.com/item/1005004258852535.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.68da558byWq007&algo_pvid=ba72462d-ab60-4fcd-82a4-761387748182&algo_exp
3030 Aluminium profil 700mm	4	10464	41856	2022.10.21	https://de.aliexpress.com/item/400051https://de.aliexpress.com/item/1005004258852535.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.68da558byWq007&algo_pvid=ba72462d-ab60-4fcd-82a4-761387748182&algo_exp
Csavar ISO 4762 M5x12	40	10	400	2022.10.21	https://pannonpur.hu/spd/00912005001208801000/Hengeresfeju-belsokulcsnyilasu-csavar-DIN-912-M5x1?gclid=CjwKCAjwtp2bBhAGEiwoAZZTuEo9jr43hUci_droZrlebDzVScUHHjc7JgNcNvxjKkqJwu9zi006gho
T-hornyos anya M5 3030 20db	2	1300	2600	2022.10.21	https://de.aliexpress.com/item/33014140496.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.16aa6f2dxQaO1B&algo_pvid=7255dbce-2cd9-463c-bc22-6c6ec825d63f&algo_exp_id=7255dbce-2cd9-463c-bc22-6c6ec825d63f-1
Sarokelem 3030 10db	2	4451	8902	2022.10.21	https://de.aliexpress.com/item/1005003732383623.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.68da558bevCjUl&algo_pvid=d387ebb7-ddd2-459d-9f1d-024a2532de89&algo_exp_id=d387ebb7-ddd2-459d-9f1d-024a2532
			170329		
Lineáris sinek/Meneter orsó/ Dc motor	Darabszám	Ár (Ft)	Végösszeg (Ft)	Dátum	
MGN12C és MGN12H 700mm	3	17109	51327	2022.10.21	https://de.aliexpress.com/item/32861278496.html?fbclid=IwAR050W4TFk7nqrrl8fPMRtQddYvF-6YJvguyGg-PqgzVOYFa8Bqwza_KSU&gatewayAdapt=glo2deu
BKBF12 és RM1605 szett 650mm	2	29277	58554	2022.12.04	https://de.aliexpress.com/item/1005002939905539.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.72cd2b8e2hGgqV&algo_pvid=96ff3fa6-b06a-4aed-a091-0b51071fe128&aem_p4p_detail=2022120410442636494866251168
SK12 Linear Lager 4db	2	2257	4514	2022.10.21	https://de.aliexpress.com/item/1005003744766658.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.5607fcb2MXxGMI&algo_pvid=27393dba-25c3-414f-a04c-9b0b3735b546&algo_exp_id=27393dba-25c3-414f-a04c-9b0b3735
Linear Welle 12mm 750mm	4	10085	40340	2022.10.21	https://de.aliexpress.com/item/32890228043.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.aaea5491TvirXM&algo_pvid=b2818f89-515d-4732-9f88-ef02527fb156&algo_exp_id=b2818f89-515d-4732-9f88-ef02527fb156-2&
Nema 17 Léptető Motor 3db	1	12460	12460	2022.10.21	https://de.aliexpress.com/item/1005001303445983.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.6df26554pUXzy6&algo_pvid=6ca0c83f-a440-4740-8ae3-0ba7e4e3d3cc&algo_exp_id=6ca0c83f-a440-4740-8ae3-0ba7e4e3d3
Szij 2MGT 2M 2GT 10m	1	3574	3574	2022.10.21	https://de.aliexpress.com/item/1005003028561198.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.57fb20f46wqAYn&algo_pvid=79182d79-2384-4882-9766-5980ba9bb4b2&algo_exp_id=79182d79-2384-4882-9766-5980ba9b
DC motor tarttó bak	2	1561	3122	2022.10.21	https://de.aliexpress.com/item/4000381952511.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.b8cc290cTjhd2e&algo_pvid=5fc55935-3c96-434c-a66b-f779d5be70cb&algo_exp_id=5fc55935-3c96-434c-a66b-f779d5be70cb-2
Nema 17 48mm 42BYGH 1db	2	5023	10046	2022.10.21	https://de.aliexpress.com/item/32572890101.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.80941e7eccue2t&algo_pvid=eeff6d26-62a9-4786-874c-b8caa83cad6d&algo_exp_id=eeff6d26-62a9-4786-874c-b8caa83cad6d-8&
			183937		
Nyomatató fej	Darabszám	Ár (Ft)	Végösszeg (Ft)	Dátum	
2020 Aluminium profil 700mm	1	7143	7143	2022.10.21	https://de.aliexpress.com/item/1005004052530425.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.7ae91acbXSSqpt&algo_pvid=770328e3-fa25-4a25-a898-a3be9b3b547d&algo_exp_id=770328e3-fa25-4a25-a898-a3be9b3b5
Drangon Hotend V6	1	23234	23234	2022.11.11	https://de.aliexpress.com/item/1005004478650773.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.40b43326hdVHgr&algo_pvid=90dd7dd2-f4d6-40f6-9fc0-a5ffe54e837c&algo_exp_id=90dd7dd2-f4d6-40f6-9fc0-a5ffe54e83
Pinda Szenzor	1	3422	3422	2022.11.11	https://de.aliexpress.com/item/32967045729.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.7505732f8vnpqG&algo_pvid=dcbc3299-993f-4a5c-b864-748c27a1eaf2&algo_exp_id=dcbc3299-993f-4a5c-b864-748c27a1eaf2-0&
Tárgyhűtő ventilátor 5015 24v	1	547	547	2022.11.12	https://de.aliexpress.com/item/4001345713223.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.3df545a9i2HFmJ&algo_pvid=3ab77e2c-8b3d-4868-9f62-01937a6c7086&algo_exp_id=3ab77e2c-8b3d-4868-9f62-01937a6c7086-
Hotendhűtő axiális ventilátor 4010 24v	1	935	935	2022.11.12	https://de.aliexpress.com/item/1005004221893888.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.3b6858a5FVIH5&algo_pvid=1294b241-cba0-4a13-8edb-aff40b0c9c0f&algo_exp_id=1294b241-cba0-4a13-8edb-aff40b0c9c0
Bondtech LGX Lite Extruder + Motor	1	37550	37550	2022.11.11	https://www.3djake.hu/bondtech/gx-lite-large-gears-extruder?gclid=Cj0KCQiAgribBhDkARIsAASASbutzAmOfwOo-JxMndoCWn49VgeU7g-FxtM69ofyke1ZCYz3SHJ7tXUaAtrFEALw_wcB
Nyomtatott elemek	1	15000	15000		
			87831		
Asztal	Darabszám	Ár (Ft)	Végösszeg (Ft)	Dátum	
Hófolia 4000x400x10mm	1	869	869	2022.10.21	https://de.aliexpress.com/item/32880962532.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.79d04c89Kd6wpw&algo_pvid=08d85938-f018-4c5a-b3de-969f2c8a5450&algo_exp_id=08d85938-f018-4c5a-b3de-969f2c8a5450-8
Fűtő panel 350x350	1	13940	13940	2022.10.21	https://de.aliexpress.com/item/1005003412752602.html?spm=a2g0o.detail.1000014.4.25383ad2ilSgZA&gps-id=pcDetailBottomMoreOtherSeller&scm=1007.40050.281175.0&scm_id=1007.40050.281175.0&sc
2020 Aluminium profil 500mm	4	3490	13960	2022.10.21	https://de.aliexpress.com/item/1005004052530425.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.7ae91acbXSSqpt&algo_pvid=770328e3-fa25-4a25-a898-a3be9b3b547d&algo_exp_id=770328e3-fa25-4a25-a898-a3be9b3b5
Csavar ISO 4762 M3x12	16	16,1	258	2022.11.06	https://pannonpur.hu/spd/00912003001241741000/Hengeresfeju-belsokulcsnyilasu-csavar-DIN-912-M3x1
PEI nyomtatólap 510*510	1	49993	49993	2022.11.11	https://ratrig.com/3d-printing-cnc/all-kits-and-bundles/v-core3configurable.html
T-hornyos anya M 3030 20db	1	1273	1273	2022.11.06	https://de.aliexpress.com/item/33014140496.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.16aa6f2dxQaO1B&algo_pvid=7255dbce-2cd9-463c-bc22-6c6ec825d63f&algo_exp_id=7255dbce-2cd9-463c-bc22-6c6ec825d63f-1
Sarokelem 2020 8db	10	2208	22080	2022.11.06	https://de.aliexpress.com/item/1005003732383623.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.6889132a0LkMMM&algo_pvid=65476d08-f623-46e1-a4d2-7e957796d5a1&algo_exp_id=65476d08-f623-46e1-a4d2-7e95779
Asztal lap 550x550x5mm	1	12500	12500		
SSR-40DA szilárdtest relé	1	1710	1710	2022.11.22	https://de.aliexpress.com/item/1005003670878216.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.67f149eeV9XRip&algo_pvid=68dc64ff-8a17-48eb-bc0d-b48b586f9121&algo_exp_id=68dc64ff-8a17-48eb-bc0d-b48b586f91
Sls nyomtatót alkatrész	2	3500	7000		
			123583		
Elektronika vezérlés	Darabszám	Ár (Ft)	Végösszeg (Ft)	Dátum	
Raspberry Pi 4 Model B (2gb)	1	23614	23614	2022.11.11	https://www.rpibolt.hu/raspberry-pi-4-model-b-2gb
Végállás kapcsoló (3db)	1	1829	1829	2022.11.11	https://de.aliexpress.com/item/1005004030814552.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.62c854c4JwRcqW&algo_pvid=09714bb6-ae87-43ec-8571-618ab22f1f5e&algo_exp_id=09714bb6-ae87-43ec-8571-618ab22f1
Tápegység 250W 24V Weho	1	12087	12087	2022.11.11	https://ratrig.com/3d-printing-cnc/all-kits-and-bundles/v-core3configurable.html
Vezérlőegység Octopus	1	32420	32420	2022.11.12	https://de.aliexpress.com/item/1005002611354177.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.39c37482KGk5mV&algo_pvid=26fb651b-0787-4ee0-9553-e023eff7f8bb&algo_exp_id=26fb651b-0787-4ee0-9553-e023eff7f
Hotendhűtő axiális ventilátor 4010 24v	2	935	1870	2022.11.12	https://de.aliexpress.com/item/1005004221893888.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.3b6858a5FVIH5&algo_pvid=1294b241-cba0-4a13-8edb-aff40b0c9c0f&algo_exp_id=1294b241-cba0-4a13-8edb-aff40b0c9c0
ADXL 345 Gyorsulásmérő szenzor	1	634	634	2022.11.22	https://de.aliexpress.com/item/32452794842.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.17cc6e53bAOLC3&algo_pvid=62753324-3278-4ff3-9651-8fa98a8c8802&algo_exp_id=62753324-3278-4ff3-9651-8fa98a8c8802-0&p
Kábelezés + kábelcsatornák	1	25000	25000		
			97454		
			Összköltség		663134