



DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

**3D NYOMTATÓ HASZNÁLATA,
ÜZEMELTETÉSE ÉS KARBANTARTÁSA
EGY SZEMÜVEGLENCSE GYÁRBAN**
SZAKDOLGOZAT



DEBRECENI EGYETEM
MŰSZAKI KAR
GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK

UNIVERSITY OF DEBRECEN
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF MECHANICAL
ENGINEERING

Varga Gábor

Üzemeltető-karbantartó specializáció

Debrecen

2026

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	1
1 Bevezetés	4
2 A cég és néhány nyomtatott tárgy bemutatása.....	5
2.1 A Hoya Szemüveglencse Gyártó Zrt.	5
2.2 Néhány nyomtatott tárgy bemutatása	7
2.2.1 Biztonsági burkolat hevederes szállító végére	7
2.2.2 Teszteléshez használt merítőkosár.....	7
2.2.3 Fotocellás ajtó alkatrésze	8
2.2.4 Lencsemérést segítő eszközök.....	9
3 A szálolvasztásos 3D nyomtatás és a hozzá tartozó anyagok bemutatása	10
3.1 A 3D nyomtatás története	10
3.2 A szálolvasztásos 3D nyomtatás	11
3.3 A szálolvasztásos nyomtatáshoz használt filamentek	13
3.3.1 PLA.....	13
3.3.2 ABS.....	14
3.3.3 PETG.....	14
3.3.4 PA	15
3.3.5 TPU	15
3.3.6 Kompozitok	16
3.4 A Raise3D Pro3 típusú nyomtató bemutatása.....	18
4 Egy tárgy útja a tervezéstől a nyomtatásig	20

4.1	Tervezés 3D tervező programban.....	20
4.2	A szeletelő szoftver használata	21
4.3	A nyomtatási folyamat követése	25
4.4	Az elkészült tárgy ellenőrzése és utómunkálatok.....	27
4.4.1	A támasztékok eltávolítása	27
4.4.2	Felületsimítási technikák.....	28
4.4.3	Hőkezelés	29
4.4.4	Összerelés.....	29
5	A nyomtató új karbantartási tervének elkészítése.....	30
5.1	A gyártó által kiadott karbantartási és üzemeltetési útmutatók.....	30
5.1.1	Mindennapi teendők.....	30
5.1.2	Teendők 400 üzemóra után	33
5.1.3	Teendők 800 üzemóra után	33
5.2	Gyakran előforduló karbantartási feladatok.....	34
5.2.1	A tárgyasztal lemezén lévő tapadó felület cseréje	34
5.2.2	A fűvóka cseréje	35
5.3	Az eddig használt karbantartási terv.....	36
5.3.1	A reaktív karbantartás előnyei.....	36
5.3.2	A reaktív karbantartás hátrányai	37
5.4	A 3D nyomtató eddigi költségei és használati tendenciái	37
5.5	Diagnosztika a nyomtatott tárgyak minősége alapján	39
5.5.1	Szálasodás	39
5.5.2	Aluladagolás	40

5.5.3	Felválás	41
5.5.4	Sávosodás	42
5.5.5	Réteg eltolódás	42
5.6	Új karbantartási terv készítése.....	43
5.6.1	A megfelelő adatvezetés.....	43
5.6.2	Diagnosztika és prediktív karbantartás	44
5.6.3	Alkatrészek cseréje	45
6	Összefoglalás	46
	Irodalomjegyzék.....	47

1 Bevezetés

A szakdolgozatom célja az, hogy bemutassam vele a 3D nyomtatást, annak hasznosságát, lehetséges felhasználási módjait, valamint a nyomtató üzemeltetését és karbantartását a Hoya Szemüveglencse Gyártó Zrt. Mátészalkán található gyárában. Végezetül feltárom az eddigi karbantartás hiányait és egy új, javított karbantartási tervet hozok létre. A szakdolgozatomat négy fejezetre bontva igyekszem mindezt véghez vinni.

Az első fejezetben bemutatom a vállalatot és a mátészalkai telephelyű gyárat, majd néhány funkcionális 3D nyomtatással készült tárgyat.

A második fejezetben ismertetem a 3D nyomtatás történetét és külön figyelmet fordítok a szálolvasztásos technológiára, ugyanis a szakdolgozatom egy ilyen típusú nyomtatóra fókuszál. Ezt követően kitérek a szálolvasztásos technológiához használt filamentekre és részletezem ezek előnyeit és hátrányait egymáshoz képest. Ezek után rátérek a Raise3D Pro 3 típusú 3D nyomtató tulajdonságaira és képességeire.

A harmadik fejezet a 3D nyomtatás folyamatáról szól tervezéstől egészen az elkészült tárgyig. A kinyomtatott modell kiváló diagnosztikai eszköz lehet, ehhez viszont fontos ismerni a teljes folyamatot és a megfelelő szoftveres beállításokat.

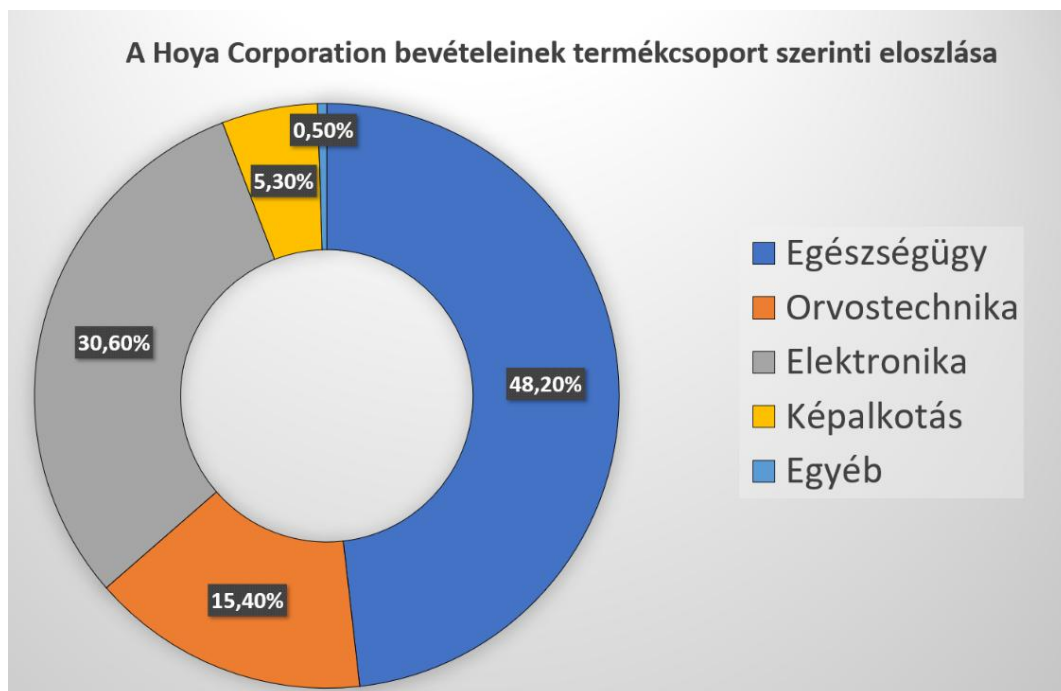
Az üzemeltető-karbantartó specializációból adódóan a negyedik fejezetben az üzemeltetés és a karbantartás kerül a középpontban. Ebben a fejezetben ismertetem a gyártó által meghatározott üzemeltetési és karbantartási lépéseket. Ezt követően bemutatom a jelenleg használt reaktív karbantartási stratégiát, ennek előnyeit és hátrányait. Ezen felül kitérek az ehhez kapcsolódó statisztikákra is, mint például a nyomtató által felhasznált filament mennyisége vagy az eddig cserélt alkatrészek száma megvételétől napjainkig. Bemutatom a nyomtatott modell minősége és a gép állapota közötti összefüggéseket. Feltárom a jelenlegi karbantartás hiányait és a használata során összegyűlt információ alapján egy új, javított karbantartási tervet hozok létre.

2 A cég és néhány nyomtatott tárgy bemutatása

Ebben a fejezetben a céget és pár különböző nyomtatott tárgyat fogok bemutatni, annak érdekében, hogy szemléltessem a 3D nyomtató potenciális felhasználási lehetőségeit.

2.1 A Hoya Szemüveglencse Gyártó Zrt.

A Hoya Szemüveglencse Gyártó Zrt. az 1941 novemberében alapított Hoya Corporation tulajdonában van. A Hoya Corporation székhelye Tokió, Japán. A globális orvostechnikai termékeket gyártó cég az Antarktiszt kivételével minden kontinensen megtalálható több mint 30 országban, vezető üzletága az egészségügy, melyhez tartozik a szemüveglencsék és kontaktlencsék gyártása. Említésre méltóak még az egészségügyi endoszkópok, intraokuláris kontaktlencsék és ortopéd implantátumok. Mindemelett elektronikai termékeket és kameralencsét is gyártanak. [1]



1. ábra A Hoya Corporation bevételeinek termékcsoporthoz szerinti eloszlása [1]

A mátészalkai telephelyű Hoya Szemüveglencse Gyártó Zrt. szemüveglencsék gyártására szakosodott. 1999 szeptember elsején jött létre, ekkor vásárolta fel Buchmann Optical Industries vállalatcsoportot a Hoya Corporation. Jelenlegi nevén 2001 óta működik. A kezdetekben főleg műanyag lencsék színezése és üveglencsék gyártása történt itt. 2005-ben az európai piac igényeihez igazodva megkezdődött az üveglencsék receptúra gyártása. [2]

A 2011-es thaiföldi árvíz következtében a mátészalkai egységet egy fő termelői központtá alakították a növekvő európai piaci igények kielégítése érdekében. Ekkor új technológiák kerültek bevezetésre és az előtérbe a műanyag lencsék gyártása, felületmegmunkálása és felületkezelése került.

2014-ben új lencsealapanyag gyártás kezdődött meg, továbbá speciális vákuumgőzölt rétegek kerültek fel a cég kínálatába.

2021 óta folyamatosan zajlik a telephely jelentős bővítése egy teljesen új épülettel (lásd 2. ábra), amely az eddigi legnagyobb változást hozhatja magával a cég létrejötté óta.

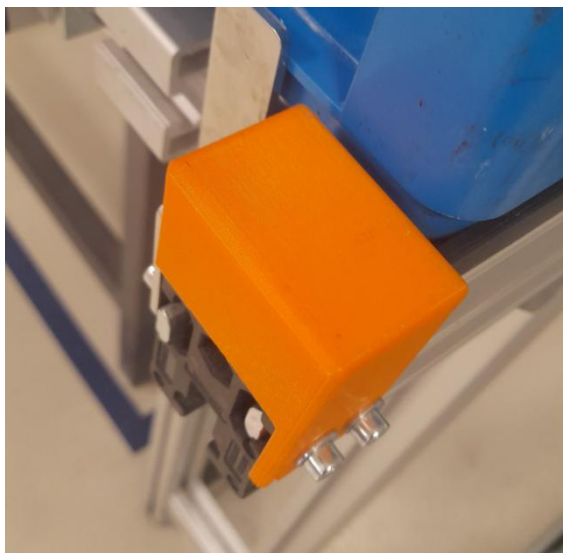


2. ábra A gyár új épülete szemből fényképezve

2.2 Néhány nyomtatott tárgy bemutatása

2.2.1 Biztonsági burkolat hevederes szállító végére

Az első bemutatásra kerülő tárgy egy kétpályás hevederes szállító végére tervezett, becsípődés ellen védő biztonsági burkolat (lásd 3. ábra). PLA-ból készült, mivel terhelésnek, magas hőnek vagy kémiai hatásoknak nincs kitéve. Szerepe csupán annyi, hogy lefedje a potenciálisan veszélyes részt a szállító hevederek végénél, ezzel megakadályozva az esetleges sérülést.



3. ábra Kétpályás hevederes szállító végére tervezett biztonsági burkolat

2.2.2 Teszteléshez használt merítőkosár

Az alábbi merítőkosár (lásd 4. ábra) a lencsék enyhén savas vagy enyhén lúgos közegben való tesztelését könnyítette meg. Ez a tesztelés egy 1000 ml-es főzőpohárban történt, szóval annak határain belül kellett megoldani a feladatot. Tervezése során fontos szempont volt, hogy minden tesztelt lencseméretre alkalmas legyen vastagság és átmérő szerint is. Továbbá cél volt, hogy egyszerre minél több lencsét lehessen vele tesztelni. A lépcsős átmérőkialakítás gondoskodik a lencsék megtámasztásáról, gátolva az oldalirányú elmozdulást. Az egyszerű kivétel érdekében van egy fogantyúja. A megfelelő kémiai ellenállósága miatt ABS-ből készült a végleges tárgy.



4. ábra A lencsék teszteléséhez használt merítőkosár

2.2.3 Fotocellás ajtó alkatrésze

Ez az alkatrész egy fotocellás ajtóhoz tartozik. Az eredeti elem fáradásos törésének következtében az ajtó üzemképtelenné vált (lásd 5. ábra). A 3D nyomtatott replikához szénszállal erősített nejlont használtunk a kiváló mechanikai tulajdonságai miatt. Nyomtatást követően egy 12 órás hőkezelésen esett át 80 °C-on, hogy a lehető leghosszabb legyen az élettartama.



5. ábra A fotocellás ajtó eltört eredeti alkatrésze (bal oldal) és annak 3D nyomtatott replikája (jobb oldal)

2.2.4 Lencsemérést segítő eszközök

Az alábbi 3D nyomtatással készült tárgyak összessége a lencsemérés folyamatát tette egyszerűbbé (lásd 6. ábra). A modell a már meglévő, erre használt eszközök alapján készült néhány specifikus módosítással. Kompatibilis a korábban használt mérőeszközök bizonyos elemivel is. A három elem együttes nyomtatási ideje meghaladta a 70 órát, mivel végleges, funkcionális tárgynak készült. Jelentős terhelésnek semmilyen módon nincs kitéve, szóval a választott anyag a PLA volt.

A lencsét tartó elem kifejezetten a háromszög alakú lencsék méréséhez készült és beállítható többféle fix pozícióba is. A lencse feletti kis lyukból lóg le a mérőműszer vége, ami az oszlop mentén fel-le állítható tartóban foglal helyet a mérés közben.



6. ábra A lencseméréshez használt eszköz egy háromszög alakú lencsével

3 A szálolvasztásos 3D nyomtatás és a hozzá tartozó anyagok bemutatása

A fejezet első részében bemutatom a 3D nyomtatás történetét a feltalálásától kezdődően napjainkig. Ezt követően részletesen ismertetem a szálolvasztásos technológiát és a hozzá tartozó filament típusokat. Végezetül a szakdolgozat fő szereplőjének tekinthető Raise3D Pro 3 típusú 3D nyomtató bemutatására kerül sor.

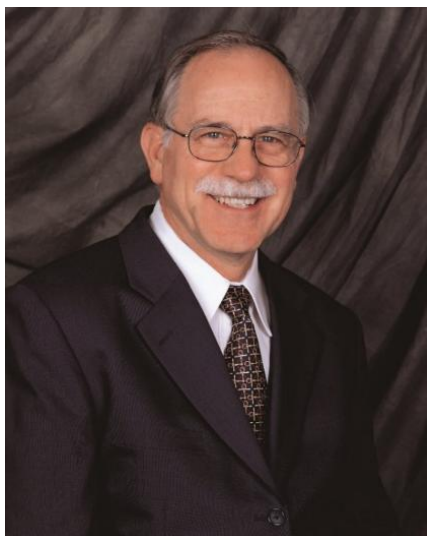
3.1 A 3D nyomtatás története

A tradicionális gyártási eljárások az anyagok utólagos megmunkálásán alapultak. A 3D nyomtatás ezzel szemben egymásra épülő vékony rétegekből építi fel a testet. A 20. század második felében történő számítástechnikai fejlődések jelentősen megváltoztatták a tervezés, prototípus tesztelés és a gyártás folyamatát. A CAD és CAM programok megjelenésével megvalósíthatóvá vált a műszaki tervezési és gyártási folyamatok számítógépen történő kezelése. [3] [4]

A ma ismert 3D nyomtatás eredete egészen az 1980-as évekre tehető. Ebben az időszakban fedezték fel a három legfőbb fajtáját. Ekkoriban főleg a prototípus gyártás szempontjából született igény motiválta a mérnököket. [3]

Charles Hull (lásd 7. ábra) 1984-ben találta fel, majd szabadalmaztatta a sztereolitográfiát (SLA). A módszerrel 3D testeket hozhatunk létre fotopolimerből, azaz fényre érzékeny gyantából. A gyanta UV fénnel való megvilágítása megszilárdítja azt, szóval vékony rétegenként haladva fokozatosan felépíthető egy test. [3] [4]

1986-ban megalapította a 3D Systems nevű céget, ami 3D nyomtatókat, alkatrészeket és nyomtatási anyagokat gyárt. Ez a cég hozta létre a mai napig használt, igazán népszerű STL fájlformátumot 1987-ben. [3] [4]



7. ábra Charles Hull [5]

1987-ben Carl Deckard szabadalmaztatta a szelektív lézerszintezést (SLS). Ez a megoldás folyadék helyett műanyag- vagy fémport olvaszt össze rétegenként egy nagy teljesítményű lézer segítségével. [3]

1989-ben Scott Crump kifejlesztette a szálolvasztásos modellezést (FDM). Ez a megoldás a műanyag szál megolvasztását követően 3 tengelyű robot segítségével precízen kipréseli nyomtatófejen a műanyagot és rétegenként felépíti a testet. A legolcsóbb és a legelterjedtebb a három megoldás közül.[3]

A 2000-es évek közepéig a gépek hatalmasak voltak és szinte csak ipari környezetben, prototípusok gyártására használták őket. A 2010-es évek elejétől a különböző szabadalmak lejártával kezdődött el igazán a 3D nyomtatók elterjedése. A cégek közötti versengés egyre olcsóbb, kisebb helyigényű és precízebb nyomtatókat tett lehetővé az évtized végére. [4]

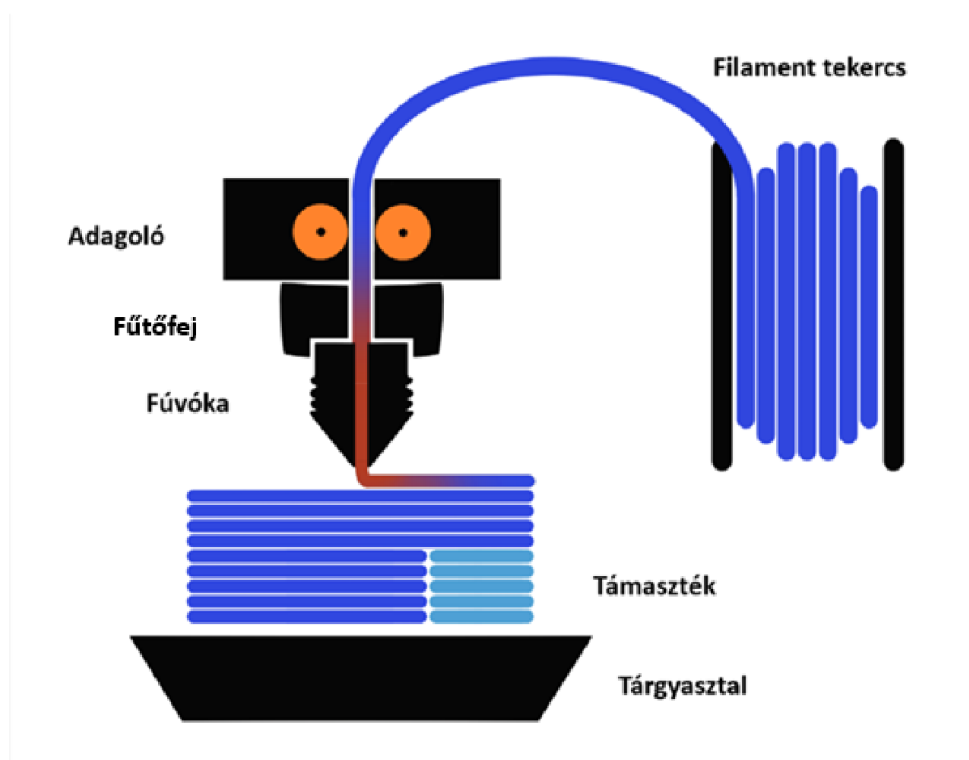
A 2020-as évekre a technológia egyértelműen alkalmassá vált funkcionális, kész termékek gyártására. Az autóiparban, a repülőgépiparban, az építőiparban és az orvostudományban is egyre több felhasználási lehetőséget találnak fel. [4]

3.2 A szálolvasztásos 3D nyomtatás

Az FDM vagy szálolvasztásos nyomtatók képviselik az otthoni 3D nyomtatás jelentős részét. Az SLA és SLS technológiákhoz képest rengeteg előnnyel bír az átlagos kezdő szintű

felhasználó számára. Igazán költséghatékony, ugyanis nagyságrendekkel olcsóbb áron lehet hozzájuk jutni. Használatuk (lásd 8. ábra) is egyszerűbb és nem igényel speciális védőfelszerelést. [6]

Működése nem túl komplikált. Az adagoló fogaskerekek használatával a megfelelő sebességgel lassan és egyenletesen adagolja a hőre lágyuló műanyag filamentszálat egy tekercsről. A szál áthalad a fűtőfejen, ahol cseppfolyóssá válik, majd kinyomódik a választott átmérőjű fúvókán és hozzátapad a tárgyasztalon lévő tálcához. A következő réteg nyomtatásakor a tárgyasztal egy szintet lentebb ereszkedik és az előző, még viszonylag lágy rétegre folytatódik a nyomtatás. A megfelelő beállítások mellett ezek a rétegek igen erősen összetapadnak. [6]

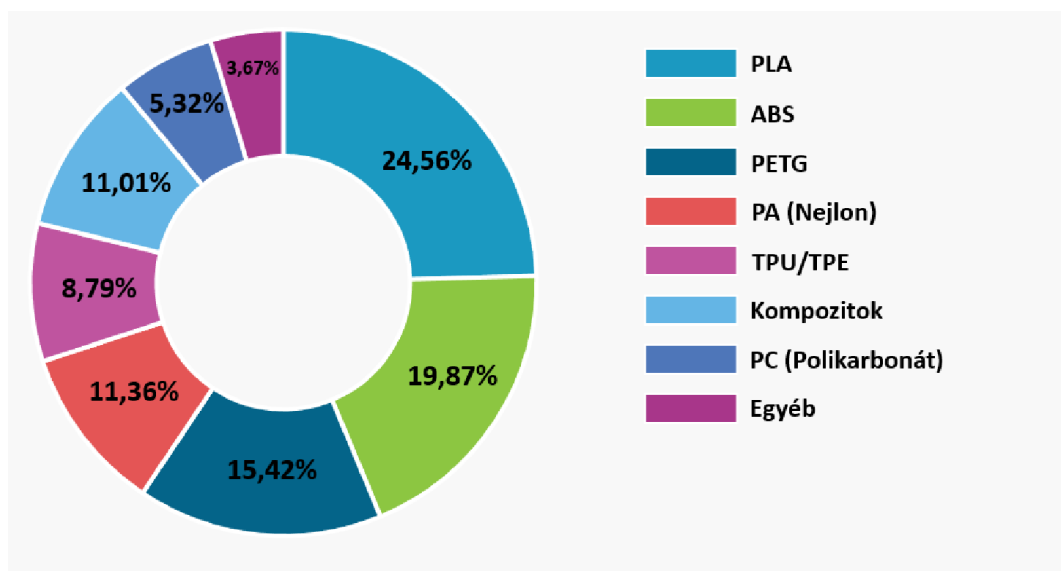


8. ábra A szálolvasztásos nyomtató működése [7]

A nyomtatás egy úgynevezett GCODE alapján történik. A nyomtató ebből tudja hol, mekkora rétegvastagsággal, milyen sebességgel és kitöltéssel végezze a nyomtatást. A létrehozásához szükség van egy szeletelő szoftverre, ami képes matematikailag feldarabolni az STL formátumban lévő 3D modellt és megtervezi a nyomtatási folyamatot. [6]

3.3 A szálolvasztásos nyomtatáshoz használt filamentek

Az FDM eljáráshoz megannyi különböző műanyag filament használható. Köztük számottevő különbségek vannak fizika és kémiai tekintetben is. Ezeken túl a nyomtathatóság is egy fontos szempont, ugyanis bizonyos anyagok nyomtatásához zárt kamrára, fűtött tárgyasztalra vagy magas fűtőfej hőmérsékletre van szükség. Ezen tulajdonságokkal nem rendelkezik minden nyomtató, tehát az otthoni felhasználók többsége, akik az olcsóbb árkategóriába tartozó nyomtatóval rendelkeznek, nem tudják használni az ilyen igényű filamenteket. Emellett a kedvező tulajdonságokkal rendelkező anyagok többbe is kerülnek, szóval ezek együttese lényegesen befolyásolja a különböző filament típusok piaci részesedését. (lásd 9. ábra) [6]



9. ábra A 3D nyomtatáshoz használt filamentek piaci részesedése anyag szerint csoportosítva 2025-ben [8]

3.3.1 PLA

A PLA vagy másnéven politejsav többféle megújuló növényi forrásból is létrehozható, leggyakoribbak a cukornád, cukorrépa, kukorica vagy a manióka. Megfelelő ipari komposztálási körülmények, azaz magas hőmérséklet és páratartalom mellett biológiailag lebontható. Az emberi szervezetben is képes lebomlani, ezért az orvostudományban is használják. [9] [10] [11]

Könnyedén színezhető, ezért kapható akár több száz színben is, ami igazán fontos a dekoratív tárgyak nyomtatása végett. Kielégítő mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik, más anyagokhoz képest viszont alacsony a szakítószilárdsága és a rugalmassága is. [9] [10]

A filamentek között kiemelkedően jól állja az alacsony hőmérsékleteket, teherbíró képessége fagypont alatt is megmarad, azonban egyre ridegebbé és törékenyebbé válik, ami az ütésállóságát drasztikusan csökkenti. A melege azonban igazán érzékeny, 60 °C felett lágyul és deformálódik. Ezen felül tartós UV sugárzásnak kitéve elgyengül, emiatt alkalmatlan szabadtéri vagy hőforrás közeli használatra. [9] [11]

Könnyen nyomtatható, viszonylag alacsony, 200 °C körül és nem igényel fűtött tárgyasztalt vagy zárt kamrát sem. Felhasználóbarát és költséghatékony, aminek köszönhetően ez a legnépszerűbb 3D nyomtatáshoz használt filament. [10] [11]

3.3.2 ABS

Az akrilnitril-butadién-sztirol, röviden ABS egy kőolaj alapú hőre lágyuló polimer. Környezetbarátság szintjén nem éri el a PLA szintjét, viszont igazán újrahasznosítható anyag. [9] [11]

Erős, kemény és jó hőállósággal rendelkezik, ami a PLA-val ellentétben lehetővé teszi ténylegesen funkcionáló és végleges termékek vagy ipari szintű prototípusok gyártására. Az UV sugárzásra kevésbé érzékeny, mint a PLA, viszont hosszú idő alatt károsan hat rá, emiatt kültéri használatra nem ajánlott. Nyomtatás utáni felületkezelésre alkalmas, legyen szó csiszolásról vagy akár aceton gőzzel történő simításról. [11]

Megfelelő nyomtatásához szükséges fűtött tárgyasztal és zárt kamra használata, mert hajlamos a felválásra. A nyomtatás közben felszabaduló gázok miatt érdemes jól szellőző helyiségben nyomtatni. Mindezek ellenére jó tulajdonságainak köszönhetően a PLA mögött a második legnépszerűbb filament típus. [11]

3.3.3 PETG

A glikollal módosított polietilén-tereftalát, azaz PETG egy erős és tartós filament. A PLA és az ABS legjobb tulajdonságait kombinálja, nagyszerű ütésállóság, hajlékonyság és kémiai

ellenállóság jellemzi. Az ABS-től sokkal jobban viseli az UV sugárzást, szóval megfelelő külső használatra is, azonban több év alatt lassan elgyengül, tehát nem optimális. [9] [11]

Nyomtatása egyszerű, nem szükséges zárt kamra, viszont fűtött tárgyasztal használata ajánlott a felválás elkerülése érdekében. A PLA-nál lassabban nyomtatható és valamivel drágább is. Érdemes alacsony páratartalmú helyen tárolni, mert a nedvességre érzékeny. [12]

A tartósság és viszonylag egyszerű használhatóság közötti egyensúlynak hála egy jó választás lehet kezdő és haladó szintű felhasználók körében is. [12]

3.3.4 PA

A poliamid, közismertebb nevén nejlon egy igazán erős, tartós és hajlékony filament. Ütésálló, tartós és kopásálló, ami ideálissá teszi funkcionális végtermékek gyártására. Szakítószilárdsága igazán magas, erősen vegyszerálló és moderáltan hőálló is, aminek köszönhetően felhasználási lehetőségei széleskörűek. Az UV sugárzásának mérsékelten jól ellenáll, viszont gyengébben teljesít a PETG-nél ilyen téren. [11]

Nyomtatni nehezebb a PLA-nál vagy az ABS-nél, ugyanis nagy mértékben nedvszívó anyag. Nedves nyomtatása felválással, gyenge rétegtapadással vagy buborékozással járhat, ezért fontos egy alacsony páratartalmú dobozban tárolni nedvszívó tasakokkal együtt. Nyomtatása zárt kamrában és fűtött tárgyasztallal ajánlott. [11]

Kevésbé felhasználóbarát jellege és viszonylag magas költségei miatt a hobbihasználóknál ritkán fordul elő, az iparban viszont előszeretettel használják kiváló mechanikai és kémiai tulajdonságai miatt. [11]

3.3.5 TPU

A TPU, teljes nevén termoplasztikus poliuretán kombinálja a gumi rugalmasságát és a műanyag tartósságát. Kiváló nyúlékonyság és ütésállóság jellemzi. Jól ellenáll a kopásnak és a vegyszereknek is. Az UV sugárzást mérsékelten tűri, viszont nem javasolt huzamosabb idejű kültéri használatra. [11]

A nedvességre érzékeny, ezért száraz, alacsony páratartalmú helyen kell tárolni. Nyomtatása nehézkes, különleges állaga miatt fennáll az elakadás veszélye, ezért lassabban nyomtatható más filamenteknél. [11]

Drágább az általános filamenteknél, szóval csak olyan helyzetekben érdemes használni, ahol számít a kiváló hajlékonyság, ütésállóság vagy rezgéselnyelés. [11]

3.3.6 Kompozitok

A kompozit filamentek olyan 3D nyomtatáshoz használt anyagok, amely egy hagyományos filamentből és valamilyen hozzáadott adalékból állnak. Ezek az adalékok javítják a filament mechanikai, fizikai vagy esztétikai tulajdonságait. Mivel a lehetséges kombinációk száma jelentős, csak a gyakran előforduló kompozitok lesznek megemlítve. [13]

A fémtartalmú filamentek létrehozásához fémport kevernek általában PLA-hoz vagy ABS-hez. Az adalékanyag sokféle fém lehet legtöbbször réz, bronz, sárgaréz, vas vagy rozsdamentes acél, melyek egyedi kinézetet is javítják az anyag mechanikai tulajdonságait is megfelelő utómunkálatokat követően. Az adalékanyagtól függően mágneses karakterisztikák is elérhetőek. Előszeretettel használják az iparban prototípusok készítésére. [13]

A fahatású filamentben valódi fapor van PLA-hoz keverve, általában 10 és 30% közötti mennyiségben. A nyomtatott darab kinézete és felülete is fára emlékeztet. A kőhatású filament kőpor hozzáadásával ér el kő jellegű kinézetet és matt felületet (lásd 10. ábra). Mindkettőre művészi jellegű felhasználás jellemző, mivel a fapor és a kőpor jelenléte jelentősen ront a PLA mechanikai tulajdonságain. [13]



10. ábra Kőhatású filamentből nyomtatott tárgyak [13]

A szálerősített filamentek PLA, ABS vagy PA alapú, szénzással vagy üvegszással erősített anyagok. Szénzál esetén (lásd 11. ábra) a merevség és szakítószilárdság kiemelkedő, míg az üvegszál megnövelt ellenállást kínál hajlítással, csavarással és ütésekkel szemben. Funkcionális prototípusok, repüléstechnikai és autóiipari végtermékek gyártására használják mindkét típust. [13]

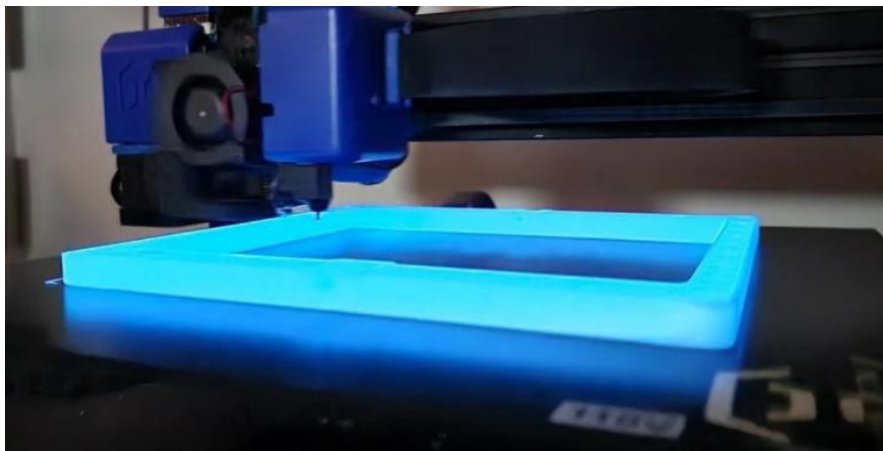


11. ábra Szénzással erősített PA filamentből nyomtatott tárgy

A kerámiát tartalmazó filamentnek nagyszerű a mechanikai szilárdsága, rendelkezik elektromosan szigetelő tulajdonságokkal és ellenáll a magas hőmérsékleteknek is. A kerámiához hasonlóan kemény, merev és kopásálló, viszont rideg is. Főleg az autóiipar és a repüléstechnika használja. [13]

Említésre méltóak még az elektromosan vezető, a mágneses és a sötétben világító (lásd 12. ábra) filamentek is. [13]

Noha minden kompozit anyag jobb az alapanyagoknál valamilyen formában, rendkívül fontos kiemelni, hogy a nyomtathatóságuk igen nehéz. A legtöbb adalékanyag erősen koptató hatású, szóval a hagyományos sárgaréz fűvóka helyett mindenképpen edzett acél, rubin vagy volfrám-karbid fűvóka használata szükséges. Az adalékanyagok jelenléte növeli a dugulás veszélyét és a rétegtapadás is gyengébb lehet az alapanyaghoz képest. Általában az áruk is jóval magasabb a normál filamentekhez képest. [13]



12. ábra Sötétben világító filament nyomtatása [13]

3.4 A Raise3D Pro3 típusú nyomtató bemutatása

A cégnél található 2023 tavaszán vásárolt Raise3D Pro3 (lásd 13. ábra) egy ipari kaliberű, két fejjel rendelkező 3D nyomtató. A népszerű Pro2 szériára véleményei alapján több új felhasználóbarát megoldást is bevezettek a Pro3 szériában, melyek hatékonyabb és egyszerűbb használatot biztosítanak. [14]

A nyomtató közepes méretű, 620 x 626 x 760 mm és rendelkezik zárt kamrával, ami szükséges bizonyos anyagok megfelelő nyomtatásához. Az általa nyomtatható maximális méretű tárgy 300 x 300 x 300 mm egy fej esetén, ami két fej használatkor 255 x 300 x 300 mm-re csökken. A 2 fej akkor igazán hasznos, amikor a nyomtatott tárgyat és az ahhoz tartozó támasztékot 2 különböző anyagból szeretnénk nyomtatni. (Például egy olcsóbb, gyengébb anyagot használni támasztékként vagy egy üreges, nehezen hozzáférhető helyre vízben oldódó PVA+ filamentet használni a támasztékhoz.) [14]

Az előző szériával ellentétben különálló moduláris fejeket találunk, amely lehetővé teszi az egyszerű szétszerelést és az adott esetben hibás fej cseréjét szerszámok nélkül. A fejek első borítása levehető, ami megkönnyítheti az esetleges dugulás pontjának meghatározását. [14]

A fej végén található fűvókák a használt filamenttől függően akár 300 Celsius-fokig is felfűthetőek. Ezek kimenő átmérői lehetnek 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; vagy akár 1 mm-esek is. Értelemszerűen a nagyobb átmérőjűvel szélesebb vonal mentén nyomtathatunk. [14]

A nyomtatóhoz többféle, más és más körülményekhez és felhasználáshoz alkalmas filamentet lehet vásárolni. Néhányat gyakran használt példa felsorolva: PLA, ABS, TPU, PETG, PVA+, PA. Fő megkülönböztető tulajdonságok lehetnek például a kémia ellenállóság, ütésállóság, rugalmasság, hőállóság vagy az alacsony költség. [14]



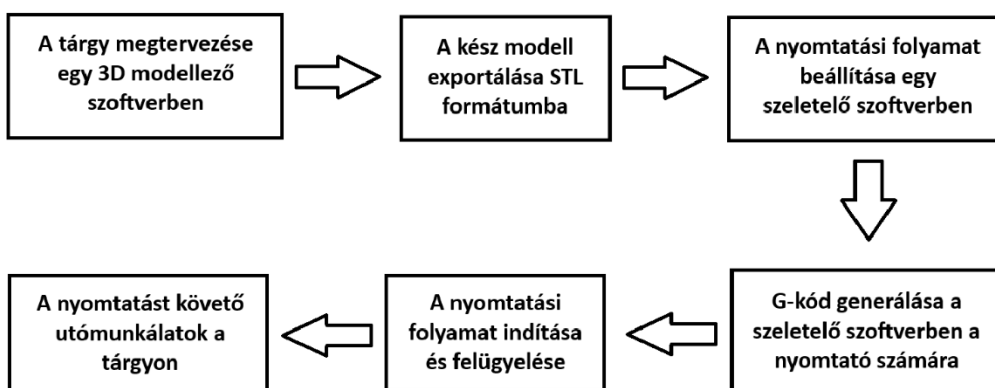
13. ábra A Raise3D Pro3 típusú 3D nyomtató [14]

Maga a nyomtatás egy szilikon réteggel bevont vékony lemezre történik, amelyet mágnesek rögzítenek egy a Z tengelyen precíz fel-le mozgásra képes, fűthető tárgyasztalra. A nyomtatás befejeztével a lemez egyszerűen kivehető és a rugalmasságának köszönhetően a kész nyomtatott tárgy könnyen levehető. [14]

A nyomtató az elején található 7 colos érintőképernyőn keresztül egyszerűen vezérelhető. Az elindított nyomtatás akár távolról is követhető a nyomtatóba épített kamera segítségével. Ha közben esetleg elfogy a filament, a nyomtatás szünetel és néhány perc alatt be lehet helyezni az új tekercset. [14]

4 Egy tárgy útja a tervezéstől a nyomtatásig

Ebben a fejezetben bemutatásra kerül a 3D nyomtatás teljes folyamata. Elsőként a nyomtatni kívánt tárgy modelljét kell megtervezni, majd azt egy szeletelő szoftverbe importálni. Itt a nyomtatás minden lépését és paraméterét igény szerint lehet módosítani. Ezt követően indul a nyomtatás melyet érdemes felügyelni esetleges problémák gyorsabb észrevétele miatt. Végül az elkészült tárgy utómunkálatairól lesz szó.



14. ábra A 3D nyomtatás fő lépései folyamatábrával szemlélítve

4.1 Tervezés 3D tervező programban

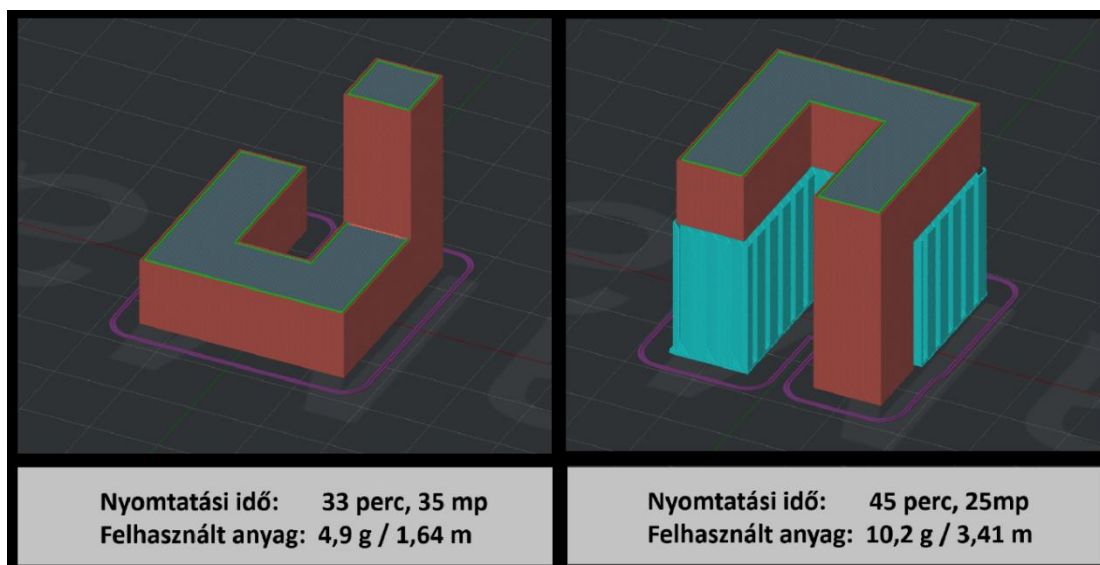
Nyomtatás előtt szükségünk van egy részletesen megtervezett 3D modellre. A tervezés rengeteg különböző szoftverben megoldható, ilyen például az Autodesk Fusion és Inventor, a Blender, a Solidworks vagy a FreeCAD. Miután elégedettek vagyunk a 3D modellel és minden ellenőrzésen túl vagyunk, exportálnunk kell STL formátumba, mely 3D test geometriáját apró háromszögekre bontva menti. A formátum nagy előnye az, hogy univerzális és szinte minden 3D programmal kompatibilis. Erre azért van szükségünk, hogy importálni tudjuk a modellt a nyomtató által használt szoftverbe, az ideaMaker-be.

4.2 A szeletelő szoftver használata

Ez a legfontosabb lépés a 3D nyomtatás szempontjából, ugyanis a nyomtató szeletelő szoftverében lehet beállítani minden paramétert, ami a nyomtatott tárgy tulajdonságait nagyban befolyásolhatja. A korábban létrehozott STL fájlt könnyedén importálhatjuk szeletelő szoftverbe.

A Raise saját szoftverét érdemes használnunk ehhez a készülékhez, mert vannak benne kifejezetten az adott típusú nyomtatóhoz bekalibrált sablonok többféle filamenthez. Ezek a sablonok kiváló kiindulópontot jelenthetnek egy kezdőnek, hiszen a rengeteg módosítható paraméter túlterhelné a felhasználót. Egy haladó szintű embernek is hasznos, hiszen megvannak az alapértékek, amiken nem szükséges drasztikusan változtatni, de kisebb változtatások is sok időt megtakaríthatnak vagy akár jelentősen javítható a kész tárgy felületi minősége.

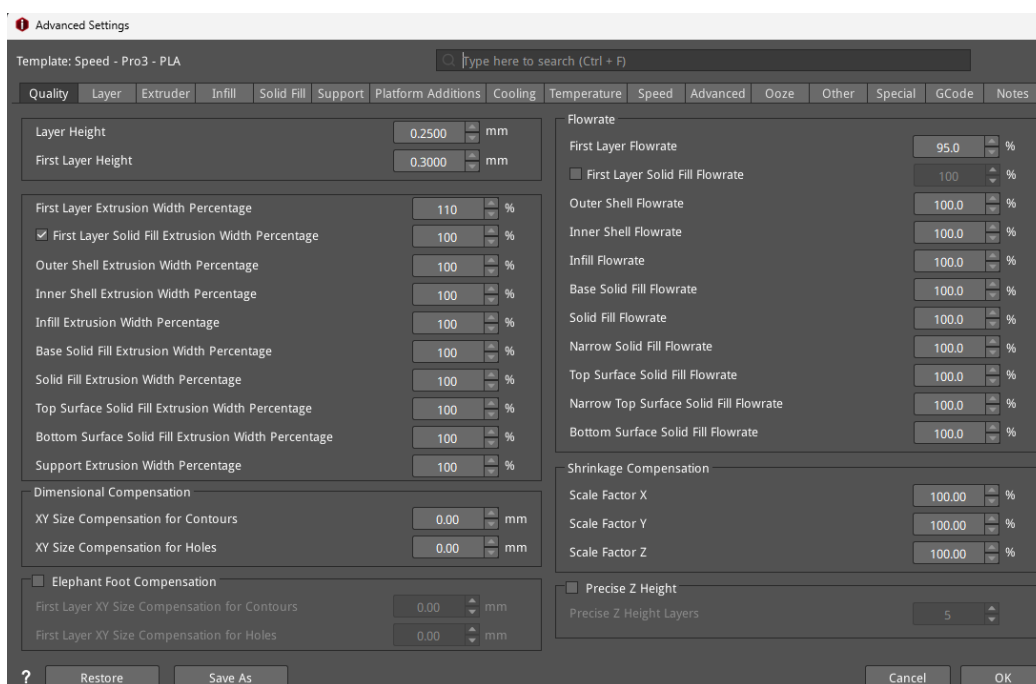
Egy fontos beállítás, amire oda kell figyelnünk, hogy a tárgyasztalon hol és milyen orientációban készüljön el a nyomtatni kívánt tárgyunk. Minden irányban van lehetőségünk forgatni és mozgatni, úgyhogy érdemes úgy beállítani, hogy a lehető legjobb eredményt érjük el a legkevesebb támaszanyag használatával. Az alábbi képen egyértelműen látszik, hogy a különböző orientációk mennyivel több támaszanyaggal járhatnak. (lásd 15. ábra)



15. ábra Az optimális és a pesszimális orientáció közötti különbségek nyomtatási idő és felhasznált anyag szempontjából

Viszont egy másik fontos szempont, hogy a nyomtató a legfelső réteget képes a legszebben nyomtatni. Tehát azokban a helyzetekben, amikor számít a felület minősége a test egyik oldalán, érdemes lehet olyan helyzetbe állítva nyomtatni a modellt, hogy az a felület legyen felül.

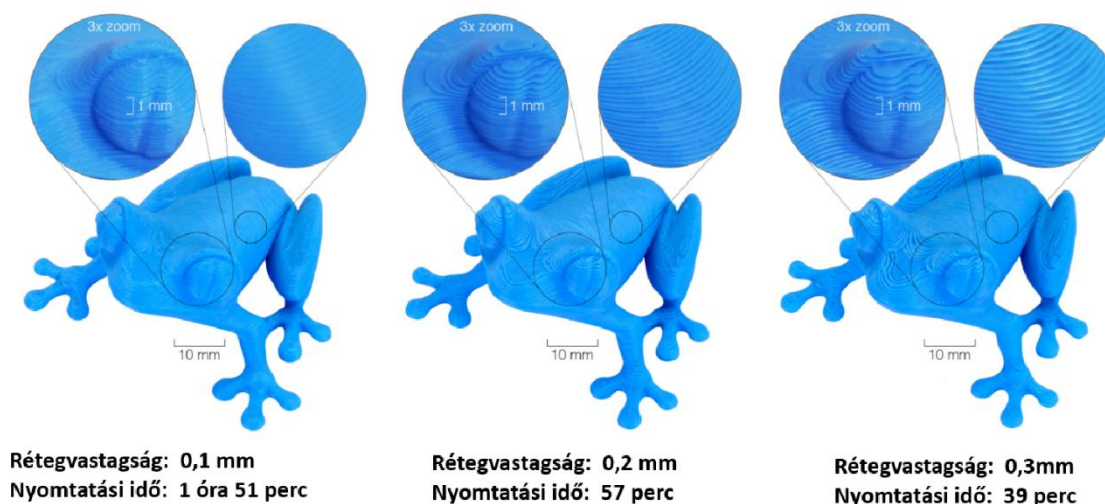
Miután elégedettek vagyunk a test pozíciójával, rengeteg más beállítással tudjuk javítani a végső tárgy minőségét és a teherbírását. Egy nagyobb minőségű nyomtatás egyértelműen növeli a nyomtatási időt, viszont sok esetben nem szükséges, hogy a tárgy esztétikus vagy nagy teherbírású legyen. A különböző filamentekhez különböző fűvóka hőmérsékletet és tárgyasztal hőmérsékletet szükséges használni, szóval azokat nem érdemes a meghatározott intervallumon kívülre állítani. A hűtő ventilátorok sebessége szintén állítható, de nem megfelelő mennyiségű hűtés negatívan befolyásolhatja a nyomtatott darab minőségét, szóval ezt is csak óvatosan szabad kezelni.



16. ábra A haladó szintű beállítások ablaka a szeletelőszoftverben

Azok a beállítások, amiken nagyon is érdemes lehet változtatni, a rétegvastagság, a kitöltési százalék és mintázat, a külső falak vastagsága és mennyisége, a tapadást segítő tényezők, a támasztékok és a nyomtatás sebessége.

A rétegvastagság az egyik legegyszerűbb tényező, ami egyenesen arányosan hat a minőségre és a nyomtatási időre (lásd 17. ábra). Minél kisebb, annál részletesebb és pontosabb lesz a nyomtatott tárgy, azonban annnyival több réteget kell nyomtatni, ami lényegesen növelheti a nyomtatási időt. Egy bizonyos határon belül érdemes mozogni, általában 0,1 mm és 0,3 mm között. (Nagyobb átmérőjű fűvókával nagyobb értékek is megvalósíthatóak.) A 0,3 mm rétegvastagság képes egy viszonylag erős tárgyat nyomtatni, azonban láthatóan és érezhetően rosszabb lesz a felület minősége. Ez ideális lehet ötletek kipróbálására és tesztelésére, ugyanis lényegesen gyorsabban elkészül. 0,1 mm célszerű lehet, ha már egy tesztelt, bizonyítottan jól sikerült modell végleges verzióját szeretnénk nyomtatni. 0,2 mm lehet az arany középút minőség és idő szempontjából is.



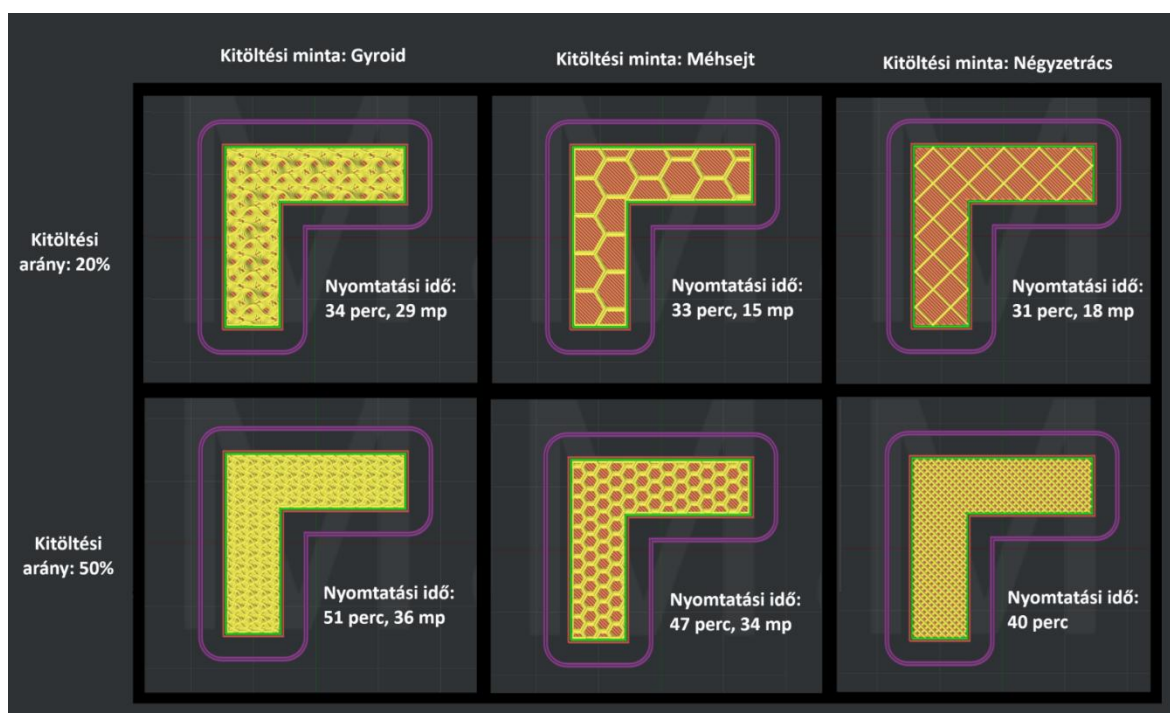
17. ábra A különbség minőség és nyomtatási idő szempontjából különböző rétegvastagságok használatakor [15]

A külső falak, az úgynevezett héj vastagsága és rétegeinek száma jelentősen befolyásolhatja az elkészült tárgy teherbírását. A tárgy belsejével ellentétben ez a rész teljesen kitöltött, tehát több idő nyomtatni, de ha kifejezetten erős tárgyra van szükségünk, érdemes növelni az alapértéket.

A belső kitöltés aránya és mintája szintén egy érdekes beállítás időmegtakarítás és teherbírás szempontjából. Tucatnyi különböző minta közül lehet választani, melyek mind másképpen veszik fel a terheléseket. Ha terhelés nem jön szóba, akkor érdemes az egyszerűbb négyzetes vagy vonalas mintát használni, melyek gyorsabban nyomtathatóak az

összetettebb mintákhoz képest. Ha teherbíró tárgyat nyomtatunk, akkor a méhsejt vagy a négyzetrács minta lehet a legjobb választás. Érdeemes megemlíteni a gyroid típust is, ami viszonylag gyorsan nyomtatható és minden irányból erős a teherbírása.

A következő képen (lásd 18. ábra) látható a gyroid, a méhsejt és a négyzetrács összehasonlítása különböző kitöltési arányokat használva. Jól látszik, hogy jelentősen nő a nyomtatási idő a kitöltési aránnyal, szóval amikor a terhelés nem szempont, felesleges nagy értéket állítani.



18. ábra A gyroid, a méhsejt és a négyzetrács összehasonlítása különböző kitöltési arányoknál

Említésre méltóak még a támasztékok, amiket nagyjából 45° - 50° -nál nagyobb szögben lévő felületek nyomtatásához elengedhetetlenek, azonban ezek mintája és mennyisége szintén változtatható. Ezek szerepe csupán annyi, hogy alátámasszák a testet a szükséges pontokon, nyomtatás után egyszerűen eltávolíthatóaknak kell lenniük, szóval ajánlott viszonylag gyengére állítani őket.

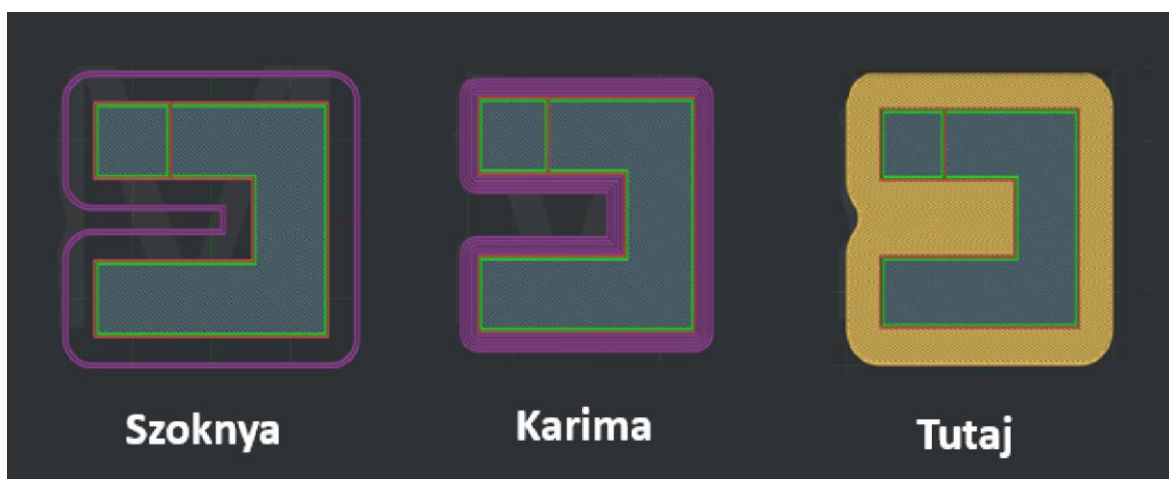
Ha a nyomtatott tárgy nem megfelelően illeszkedik a tárgyasztalhoz és a nyomtatás alatt felválik, az teljesen tönkreteszi az egész nyomtatást és akár a nyomtatóban is kárt tehet. Bizonyos anyagoknál nagyobb, míg másoknál kevesebb ennek a veszélye. Néhány beállítás

azonban képes megoldani az ilyen jellegű problémákat és biztosítja a megfelelő tapadást (lásd 19. ábra).

A szoknya néhány vonalból áll a tárgy körül, célja a fűvóka bejáratása és az egyenletes áramlás biztosítása a tényleges nyomtatás előtt. Mivel nem használ sok anyagot és hamar elkészül, csak akkor érdemes kikapcsolni, ha teljesen biztos a megfelelő tapadás.

A karima szélesebb, több vonalból álló réteg közvetlenül a tárgy talpánál. Kis talpú modelleknél elengedhetetlen a használata és gátolja a sarkoknál való felválást.

A tutaj egy több rétegből álló, enyhén kiemelt alapzat, ami nagy felületének köszönhetően kiváló tapadást biztosít. Hátránya, hogy a tárgy alsó oldalának felülete nem lesz olyan sima, mint használata nélkül és elég sok anyagot is használ, szóval csak komolyabb felválási aggodalmak esetén érdemes használni.



19. ábra A szoknya, karima és a tutaj ugyanazon a tárgyon bemutatva

4.3 A nyomtatási folyamat követése

A nyomtatás indítása utáni néhány percben nagyon fontos alaposan felügyelni a dolgokat. A hibák jelentős része már az első percekben észrevehetőek. Fontos ellenőrizni a megfelelő tapadást, a műanyagnak egyből stabilan hozzá kell ragadnia a tárgyasztalhoz. Ha a műanyag felkunkorodik vagy a szál nem érintkezik, akkor azonnal meg kell szakítani és ellenőrizni a szintezést és a fűvókát. Ha használunk szoknyát, akkor akár már azon is láthatjuk, hogy megfelelően kezdődik-e a nyomtatás.

A belső kitöltés első néhány rétegét még érdemes megvárni, ha még ekkor is rendben zajlanak a dolgok, akkor nyugodtan magára hagyhatjuk a nyomtatót. Innentől kezdve elég bizonyos időközönként ellenőrizni, például óránként. Erre azért van szükség, mert ha mégis valami probléma következne be, akkor a nyomtató azt nem tudja érzékelni és tovább nyomtat, mintha rendben zajlana minden. Ilyenkor a gép tovább nyomja a műanyagot a levegőbe, aminek az eredménye sok elvesztegetett filament vagy akár egy eldugult fűvóka lesz.

Hibák elkerülése érdekében, fontos, hogy a nyomtatási környezet egyenletes legyen. Kerüljük a zárt kamra ajtajának nyitogatását, mert a hűvösebb levegő miatt a túl hamar hűlő műanyag felválhat a tárgyasztalról vagy a rétegek elválhatnak egymástól. Emellett gondoskodni kell róla, hogy a nyomtató stabilan álljon, mert egy hirtelen lökéstől eltolódhatnak a rétegek éppen annyira, hogy nagyobb gondokat okozzon.

Ha nyomtatás közben szeretnénk beilleszteni valamit, például egy fém anyát (lásd 20. ábra), akkor az előre beállított, adott rétegszám elérést követő szünetkor kell megtennünk. Ha túl sokat időzünk vele, akkor a folytatás utáni következő réteg nem tapadna megfelelően, tehát hamar kell cselekedni. Érdemes egy csipeszt használni és óvatosan a helyére tenni az



20. ábra Példa nyomtatás közbeni anya beillesztésre [16]

anyát. Fontos meggyőződni róla, hogy az anya teteje lentebb van, mint az utolsó nyomtatott réteg. Ha fentebb lenne, akkor fennállna a veszélye annak, hogy a fűvóka feje nekiütközik és tönkreteszi az eddigi nyomtatást. Ha minden rendben van, gombnyomással folytatható a nyomtatási folyamat. Érdeemes figyelmesen követni az újraindítás utáni néhány réteget, mert az esetleges problémák ekkor következhetnek be leginkább.

4.4 Az elkészült tárgy ellenőrzése és utómunkálatok

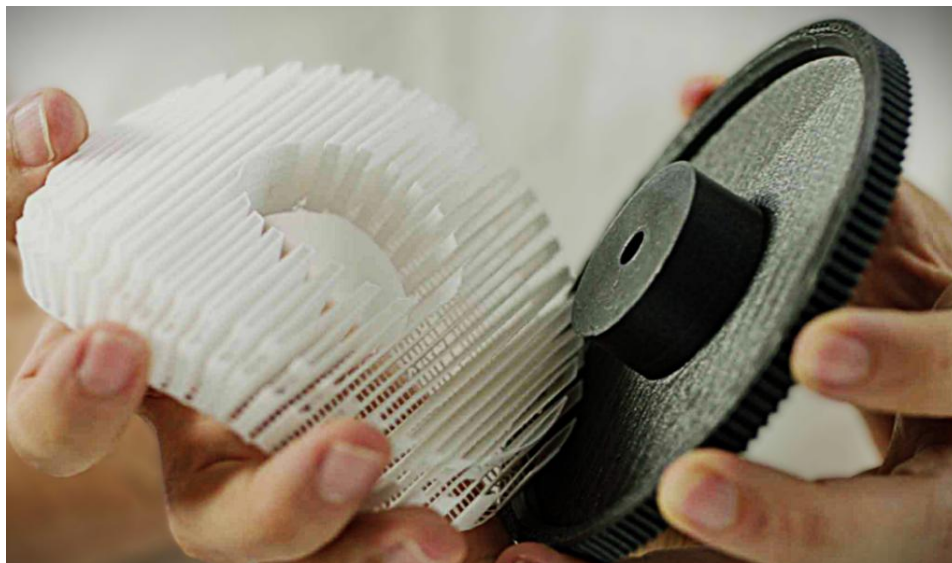
A nyomtatási folyamat befejezésével a nyomtató alaphelyzetbe áll és lehűl a tárgyasztal és a fűvóka. Érdeemes néhány percet várni, mert kisebb égési sérüléseket is okozhatnak, ha egyből benyúlnánk a frissen a nyomtatott tárgyért.

Ha volt ideje hűlni, akkor óvatosan kivehetjük a tárgyasztalon lévő lemezt és a rajta lévő frissen nyomtatott tárgyat. A lemez enyhe hajlításával felvállik a tárgy alja és könnyedén le tudjuk szedni. Kis alapú modellek esetében egyszerűen kézzel is levehetjük a kész darabot, anélkül, hogy kivennénk a tárgyasztal lemezét.

4.4.1 A támasztékok eltávolítása

Ezt követően ideje eltávolítani a támasztékokat (lásd 21. ábra). Erre használhatunk különböző megoldásokat a tárgy alakjától függően. Egy egyszerűbb forma esetén kézzel a legegyszerűbb, míg egy összetettebb alakzat esetén egy kisebb fogó vagy csipesz használata is szükséges lehet. Érdeemes kesztyűt viselni, mert egy rossz mozdulattal könnyen megvághatjuk vagy megszúrhatjuk magunkat.

Miután minden támasztékot sikerült eltávolítanunk, ideje ellenőrizni, hogy a kész darab úgy sikerült-e, ahogy azt elterveztük. Egy rossz méret a tervezés alatt vagy egy kedvezőtlen beállítás a szeletelő szoftverben elég lehet ahhoz, hogy pontatlan legyen valami. Ilyenkor fájó lenne egy több órás vagy akár napos nyomtatást teljesen újrakezdeni, ezért fontos mindent átnézni a nyomtatás elkezdése előtt. Bizonyos esetekben egy szándékosan gyengített és ezzel együtt lényegesen rövidebb idő alatt elkészülő próbadarabot is nyomtathatunk, amit lemérhetünk és bepróbálhatjuk a végleges darab helyére.



21. ábra Támaszték eltávolítása kézzel [17]

4.4.2 Felületsimítási technikák

A felületsimítási technikák legegyszerűbb módja a csiszolás. Érdekes lépésenként, egyre finomabb szemű csiszolópapírt használni. A műanyagok, főleg a hőre érzékeny típusok csiszolása esetén javasolt nedvesíteni a felületet a súrlódási hő okozta deformáció elkerülése érdekében. Időigényes folyamat, viszont precíz eredményeket lehet vele elérni. [18]

A tárgy festéséhez csiszolást követően a felületet érdemes egy réteg szórógittel lefűjni. Ez az alapozó réteg kitölti a megmaradt apró karcokat és megfelelő felület biztosít a festéshez. Festést követően a festék védelme érdekében javasolt egy fényes lakkréteg felvitele is. [18]

A sima felület elérésének egy másik módja kétkomponensű műgyanta használata, ami egy vékony réteget képez a nyomtatott tárgy felületén és kitölti az esetleges hézagokat is. Ez egy sima, fényes felületet hoz létre csiszolás nélkül. [18]

A vegyi simítás, mely legelterjedtebb formája az acetonos gőzölés csak az ABS és az ASA anyagokból készült tárgyakhoz alkalmas. Egyéb anyagokhoz erősebb vegyszerek szükségesek, szóval azoknál ez a módszer nem javasolt. Az aceton megmarja a műanyag felületét és a rétegek teljesen egybeolvadnak, így egy sima, fröccsöntött hatású felületet

kapunk. Ez a megoldás azonban befolyásolhatja a modell méreteinek pontosságát, ugyanis nem lehet pontosan kontrollálni a lemart anyag mennyiségét. [18]

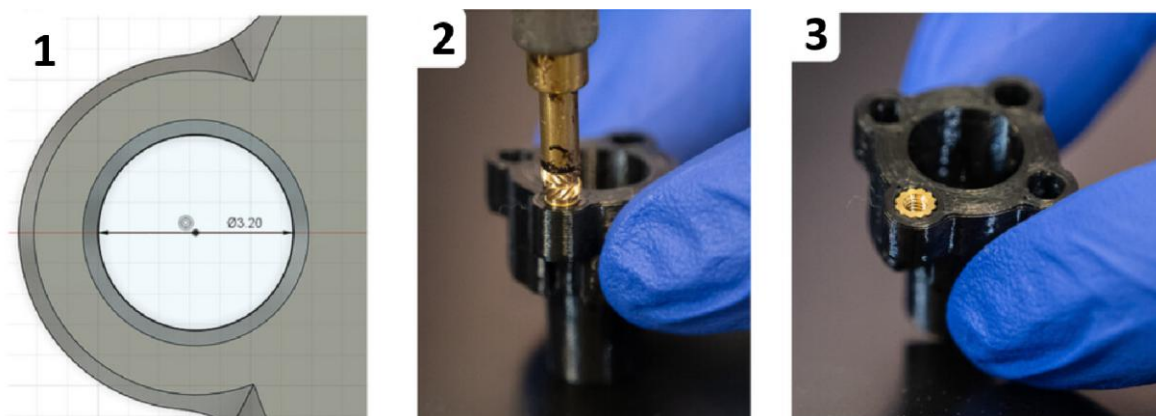
4.4.3 Hőkezelés

Hőkezelés során a kész tárgyat felmelegítik egy meghatározott, az anyag üvegesedési hőmérséklete és az olvadáspontja közötti hőmérsékletre, melynek időtartama 30 perctől akár 12 óráig is tarthat anyagtól függően. PLA esetén a merevség 25%-al, míg a szilárdság akár 40%-al növekedhet 1 óra hőkezelést követően. Ezen felül jelentősen növekedhet az anyag hőállósága is, ami a PLA egyik gyenge pontja alapesetben. [18]

4.4.4 Összeszerelés

Ha a nyomtatni kívánt modell nagyobb, mint a nyomtató maximális kapacitása, akkor több darabban kell kinyomtatni. Ezeket a darabokat pillanatragasztót vagy nagyobb teherbírás eléréséhez műgyanta ragasztót lehet használni.

Funkcionális tárgyak esetén gyakori a sárgaréz menetes betétek használata (lásd 22. ábra). Ezek helyét már a modellezés során előre ki kell alakítani egy, a gyártó által meghatározott átmérőjű lyuk vagy vaklyuk formájában. A nyomtatást követően egy forrasztópáka segítségével felmelegítjük a menetes betétet és az a helyére kerül, amint eléri a műanyag olvadáspontját. Az így keletkező betét lenyűgöző erősséggel rendelkezik. [19]



22. ábra Sárgaréz menetes betétek olvasztással történő behelyezésének lépései [19]

5 A nyomtató új karbantartási tervének elkészítése

Az optimális karbantartási terv létrehozásában egy igazán jó kiindulópont a 3D nyomtató hivatalos oldalán megtalálható részletes útmutató üzemeltetést és karbantartást illetően. [20]

Mivel a Raise3D Pro3 típusú 3D nyomtató már nagyjából három éve használatban van a cégnél, megvizsgálhatjuk az eddigi reaktív karbantartás költségeit. Ezen felül meghatározhatjuk az elhasznált filament mennyiségéből az egyes anyagok felhasználási arányát. Továbbá fontos figyelembe vennünk, hogy bizonyos komponensek az üzemórával nagyjából egyenletesen használódnak el, míg mások a nyomtatott anyagtól függően jobban vagy kevésbé.

Ezt követően megvizsgáljuk a nyomtatott modell minősége és a 3D nyomtató állapota közötti összefüggéseket. Feltárjuk milyen hibák hogyan befolyásolják az elkészült tárgyat.

Az előzők alapján egy új, javított karbantartási tervet hozok létre, majd összefoglalom az előnyeit a jelenleg alkalmazott tervhez képest.

5.1 A gyártó által kiadott karbantartási és üzemeltetési útmutatók

A gyártó hivatalos üzemeltetési és karbantartási útmutatói rengeteg hasznos információt tartalmaznak és szinte minden javítási feladatot leírnak lépésről lépésre.

5.1.1 Mindennapi teendők

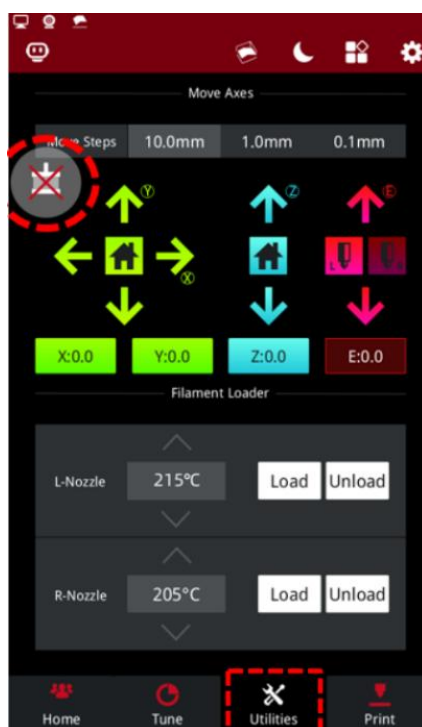
Minden nyomtatást megelőzően fontos elvégezni néhány rutin ellenőrzést, annak érdekében, hogy a tárgy minősége megfelelő legyen. Ez a pár lépés csupán néhány percet vesz igénybe.

Először is a tárgyasztalon lévő lemez (lásd 23. ábra) felületének ellenőrzése és megtisztítása egy alapvető lépés a megfelelő tapadás érdekében. 95%-os alkoholt és egy száraz kendőt használva letöröljük a port és az előző nyomtatás nyomait. Ha az esetleg rátapadt műanyagot nem sikerül letörölnünk, akkor akár kézzel vagy egy arra alkalmas eszközzel kell eltávolítani. A felület felsértését kerülni kell, szóval érdemes egy életlen, de erős eszközt használnunk. [20]



23. ábra A lemez kivétele a tisztításhoz [20]

Ezt követően ellenőrizni kell a rendelkezésre álló filament mennyiségét. A szeletelőszoftver nagyjából képes megjósolni a felhasználásra kerülő anyagmennyiséget és a filament tekercsén látható jelölések segítenek eldönteni, hogy elég lesz a következőhöz. Ha bizonytalan, akkor jobb, ha cseréljük. A nyomtatón lévő érintőképernyőt (lásd 24. ábra)



24. ábra A 3D nyomtató kezelésére alkalmas érintőképernyő „segédprogramok” menüpontja [20]

használva felfűtjük a nyomtatófejet, majd egy gombnyomás segítségével hátramenetbe tesszük az adagoló rendszert és kézzel feltekerjük a kifogyóban lévő tekercsre a vezetőcsőben lévő filamentet. [20]

Az új tekercset (lásd 25. ábra) becseréljük az elfogyóban lévő helyett és a szálát befűzzük a vezetőcsőn keresztül az adagolóig. Ezt követően gombnyomásra elindítjuk az adagoló rendszert és kézzel enyhén nyomjuk a filamentet, amíg a gép egyenletesen nem húzza. A fűvókában és a külső felületén is lehetnek maradványok, tehát azt is meg kell tisztítani melegedés közben egy csipesz segítségével. [20]



25. ábra Egy teljes tekercs filament a nyomtatóban cserét követően [20]

Végezetül ellenőrizni kell a tengelyek mozgását. Ezt megtehetjük a nyomtatón lévő érintőképernyő (lásd 24. ábra) segítségével a segédprogramok menüpontban (Utilities). Ha a mozgás sima és egyenletes, akkor minden rendben van. Egyenetlen mozgás esetén a következő fejezetben leírtak alapján kell eljárni. [20]

5.1.2 Teendők 400 üzemóra után

A tengelyek megfelelő tisztítása és kenése darabos mozgás esetén vagy a 400 üzemóra elérésekor ajánlott. Az érintőképernyő használatával ki kell kapcsolni a motort és le kell törölni a tengelyeken lévő kenőanyagot és a szennyeződések. Ezután egy tiszta kendővel felvihetjük az új kenőanyagot a tengelyek felületére. Finoman, kézzel mozgatva a nyomtatófejet, egyenletesen elosztható a kenőanyag az X-Y tengelyeken. A 4 darab Z irányú menetes orsóra felvitt kenőanyagot a fűthető ág többszöri fel-le mozgatásával kell egyengetni az érintőképernyőn lévő kék nyilak segítségével (lásd 24. ábra). [20]

A fűvóka ellenőrzése és a kopás mértéke alapján tisztítása vagy cseréje. Tisztításához fel kell fűteni, majd egy csipesszel el kell távolítani minden hozzáragadt műanyagot, ami esetleg problémákat okozhat. Bizonyos anyagok jobban koptatják a fűvókát, szóval a csere ideje a nyomtatott filamentek fajtájától függően nagyban eltérhet. Ha a nyomtatott modell minősége romlik vagy a fűvóka túlzottan eldugul és nem lehet tisztítani, akkor cserélni kell. [20]

Az adagoló rendszer ellenőrzése és a nyomtató átfogó tisztítása is ajánlott 400 nyomtatott óra után. [20]

5.1.3 Teendők 800 üzemóra után

800 nyomtatott óra elérést követően ajánlott cserélni a légszűrőt, továbbá letisztítani az összegyűlt port és egyéb szennyeződések a légszűrő ventilátorról és a hűtő ventilátorról. [20]

Egy porszívó segítségével meg kell tisztítani a filament elfogyását jelző szenzort, majd ellenőrizni kell, hogy működése megfelelő-e. [20]

A cserélhető fűtőfejek ellenőrizni kell a csavarokat, ugyanis a sorozatos melegezési és lehűlési ciklus során meglazulhatnak. A hűtőventilátor mögött található, fűtőfejet rögzítő két csavart is ellenőrizni kell. Emellett meg kell bizonyosodni a ventilátorok megfelelő működéséről is. [20]

5.2 Gyakran előforduló karbantartási feladatok

Néhány alkatrész fogyóeszköznek számít a 3D nyomtatás világában, szóval ezek cseréjét igyekszem bemutatni ebben az alfejezetben.

5.2.1 A tárgyasztal lemezén lévő tapadó felület cseréje

A tárgyasztal lemezén lévő tapadó felület cseréje a gyártó javaslata szerint 3 havonta vagy sérülés esetén ajánlott. Ez a fólia egy vékony, hőálló műanyag réteg a lemezre ragasztva. Egyedi felületi mintája a maximális tapadásra és minimális felválásra lett tervezve. Fűtött asztal használatakor élettartama jelentősen gyorsabban csökken. Az ABS vagy egyéb fűtött asztalt igénylő anyagok szemmel látható nyomokat hagynak a felületen, melyek 50-100 óra után repedésekhez és egyenetlen felülethez vezetnek. [20]

A fólia cseréjéhez a lemezt ki kell venni a nyomtatóból, majd egyik sarkánál megkezdve finoman fel kell választani az elhasználódott fóliát (lásd 26. ábra). [20]



26. ábra Az elhasználódott tapadó felület felválasztása a tárgyasztal lemezéről [20]

Ezt követően alaposan meg kell tisztítani a lemezt. Az esetleges visszamaradt ragasztót alkohol és egy spatula segítségével érdemes eltávolítani. Amennyiben ez a folyamat nehézkesnek bizonyul, a lemezt ajánlott visszatenni a helyére és 110 °C-ra felfűteni a tárgyasztalt, majd újra próbálkozni a tisztítással. [20]

Miután a lemez tiszta és száraz állapotba került, alkalmas az új fólia felragasztására. Ezt a folyamatot az egyik oldalon érdemes kezdeni, a fehér védőfólia lehúzása után. Egy lapos, tompa tárgy alkalmas a réteg simítására és a légbuborékok megszüntetésére. Ezzel a csere készen van, a lemez visszatétele után azonban fontos újra kalibrálni az asztal szintezését és a fűvóka magasságát. [20]

5.2.2 A fűvóka cseréje

A fűvóka (lásd 27. ábra) a gyártó javaslata alapján minden 400 üzemóra után cserélendő. A nyomtatott anyagtól függően hamarabb is szükség lehet cserére, főleg egyértelműen romló minőség esetén. [20]



27. ábra Egy 0,4 mm-es sárgaréz fűvóka [20]

Az elkopott fűvóka kiszerezését megelőzően el kell távolítani a filamentet a cserélendő fűvóka oldaláról. Ezután a nyomtatófejet és a tárgyasztalt kell a cseréhez alkalmas pozícióba állítani. A fűvókát az egyszerűbb eltávolítás érdekében érdemes felfűteni 180°C-200°C-ra, majd ezt követően ki kell kapcsolni a 3D nyomtatót. A fűtőfejen lévő hűtőventilátor

kicsavarozását követően hozzáférünk a fűvókához és a fűtőtesthez. A fűvókát egy 8 mm-es dugókulcs segítségével lehet kicsavarni, miközben a fűtőtestet stabilan tartjuk egy csípőfogóval. [20]

Az új fűvóka behelyezése előtt ismét érdemes 180°C -ra felfűteni a fejet, majd kikapcsolni a nyomtatót. Ezt követően egy nyomatékkulcsot használva az új fűvókát 3,9 Nm nyomatékkal kell meghúzni. Az ideális működés érdekében a fűvóka és a fűtőtest között egy 0,1 mm - 0,6 mm-es hézagnak kell lennie. [20]

A fűtőfej hűtőventilátorának visszaszerelése után vissza kell tölteni a filamentet a cserélt oldali adagolóba és ajánlott lefuttatni az öt lépéses bekalibrálási programot. Eközben potenciális kifolyásokra kell figyelni, ami rosszul felszerelt fűvóka miatt következhet be. [20]

5.3 Az eddig használt karbantartási terv

Az elmúlt három év karbantartási terve az igazán egyszerű reaktív stratégiát követte, melynek rövid és közepes távon megvannak a maga előnyei, viszont hosszú távon a hátrányai is gyülekeznek.

5.3.1 A reaktív karbantartás előnyei

A vásárlással járó költségeket követően a nyomtatóra fordított kiadások rövidtávon viszonylag alacsonyak voltak. A filamenteken kívül csak néhány köztudottan gyorsan fogyó cserealkatrészre volt szükség. A karbantartásra fordított munkaórák száma alacsony volt és a nyomtató megfelelően ellátta a feladatát.

Minden alkatrész kihasználtsága eléri a maximumot, ugyanis a reaktív karbantartás során csak a teljesen tönkrement alkatrész van cserélve. Az alkatrészek akár hetekkel vagy hónapokkal tovább is képesek hibamentes üzemre az ajánlott üzemórán túl.

A megelőző karbantartás megtervezéséhez befektetett idő és energia szükséges. Vezetni kell az üzemórák számát és figyelni az alkatrészek állapotát. Ezzel szemben a reaktív karbantartással nem jár semmiféle tervezés vagy adatvezetés, tehát a munkaerő más dolgokkal tud foglalkozni.

5.3.2 A reaktív karbantartás hátrányai

Ugyan rövid és közepes távon, hetekig hónapokig, a reaktív stratégia tűnik a jobb megoldásnak, mert kevesebb ráfordított időt és pénz igényel, hosszú távon megjelennek a problémák.

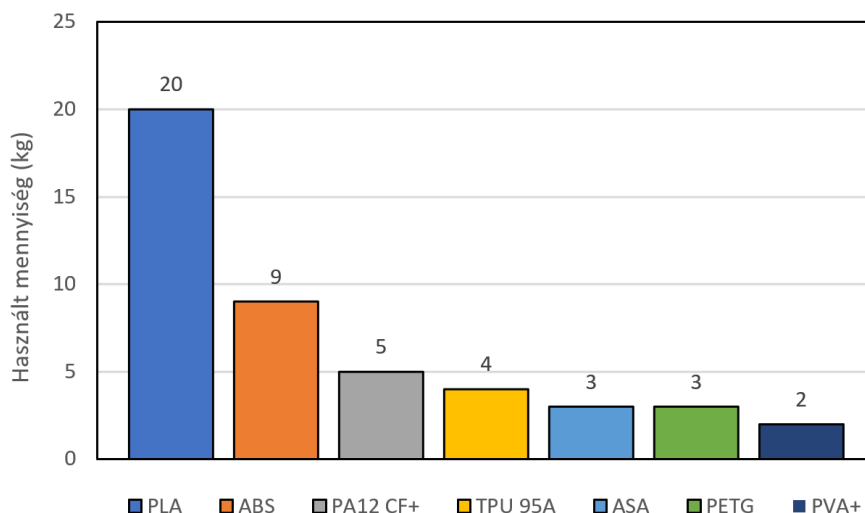
Mivel minden alkatrész a lehető legtovább van üzemben és csak a teljes tönkremenetel esetén van cserélve, nem lehet tudni, hogy mikor és hol fog bekövetkezni a meghibásodás. Ha éppen szükség lenne egy tárgy azonnali nyomtatására, egy meghibásodás és annak javítása akár napokat is igénybe vehet cserealkatrész hiányában.

Egy kellemetlen időben bekövetkezett probléma tönkretehet egy többnapos nyomtatást és az így elpazarolt filament mennyisége azonnal költségesebb lehet az alkatrész cseréjén spóroltakhoz képest. Bizonyos meghibásodások akár károsíthatnak más alkatrészeket is, ami szintén jelentős költségekhez vezethet.

5.4 A 3D nyomtató eddigi költségei és használati tendenciái

Mivel a nyomtató körülbelül három éve van használatban a cégnél, visszamenőleg vannak adatok az eltelt idő alatt cserélt alkatrészekről, felhasznált filamentekről és az elvégzett karbantartási feladatokról. Ezen adatokat felhasználva a gyártó által meghatározott karbantartási terv személyre szabható. Továbbá az új terv figyelembe veszi az eddig felhasznált filamenteket típus szerint, ami alapján nagyjából meghatározható az anyaghasználati arány könnyen és nehezebben nyomtatható anyagok között. Ez egy lényeges információ, hiszen bizonyos anyagok nyomtatása jelentősen jobban megvisel egyes komponenseket, például a könnyedén nyomtatható PLA-hoz képest.

A következő diagram (lásd 28. ábra) ábrázolja a 3D nyomtató megvétele óta felhasznált filamentek mennyiségét anyag szerint. Egyértelműen látszik, hogy a leginkább PLA és ABS nyomtatása történt ebben az időszakban, viszont a többi anyag sem elhanyagolható, mivel némelyik nyomtathatósága lényegesen nehezebb és ezáltal 1 kg nyomtatása több üzemórát vett igénybe a PLA-hoz képest.



28. ábra A felhasznált filamentek mennyisége a nyomtató megvétele óta

A következő táblázatban (lásd 29. ábra) láthatóak az eddig cserélt alkatrészek. Kiugró mennyiségű az elhasznált fűvókák száma, ezek azonban az egyik legolcsóbb cserealkatrésznek számítanak és viszonylag rövid élettartamuk van, főleg a nehezebben nyomtatható anyagok használatakor. Valószínűleg leginkább a szénszállal erősített nejlón nyomtatása viselte meg igazán őket, de alapvetően is javasolt a cseréjük 400 üzemóra elteltével.

Említésre méltó a tárgyasztal fóliák száma is, melynek elhasználódása főleg az ABS nyomtatásához használt fűtött tárgyasztal következménye.

Alkatrészek (db)	
Acél fűvóka	10
Sárgaréz fűvóka	6
Tárgyasztal fólia	4
Fűtőfej	2
Légszűrő	2
Mozgásvezérlő kártya	2
Fűtőfej-vezérlő kártya	1

29. ábra A cserélt alkatrészek száma táblázatba foglalva

A fűtőfejek közül az egyik cserére azért volt szükség, mert a műanyag körbevette a fűtőfej teljes egészét, majd megszilárdult rajta. Ez többféle okból is előfordulhat. Az első pár réteg felválása vagy a fűvóka részleges dugulása következtében a műanyag a tárgyasztal helyett a fűvóka forró felületére kezd el tapadni és szép lassan körbeveszi azt. Egy nem megfelelő módon felhelyezett fűvóka szintén hasonló szituációhoz vezethet, ilyenkor egy résen keresztül nyomódik ki az anyag és úgy veszi körbe a fejet.

Az igazán meglepő és költséges karbantartás a fűtőfej-vezérlő kártya miatt történt, melynek cseréjéhez külsős karbantartásra is szükség volt. Ezen felül már szükséges volt a mozgásvezérlő kártya cseréjére is. A nyomtató elektronikai alkatrészei nem számítanak fogyó alkatrésznek és elméletben a nyomtató teljes élettartama alatt sem kellene cserélni ezeket. Meghibásodásuk oka nem egyértelmű, valószínűleg túlmelegedés, amit egy rossz vagy hibásan beállított ventilátor vagy felgyülemlett por okozhatott.

5.5 Diagnosztika a nyomtatott tárgyak minősége alapján

A 3D nyomtató karbantartásának egyik fő diagnosztikai eleme maga a nyomtatott tárgy. A meghibásodások általában jellegzetes módon befolyásolják a nyomtatott tárgy minőségét és így beazonosíthatóak a problémák forrásai. A jelenleg használt reaktív karbantartás főleg erre épül, de az új tervben is nagy szerepe lesz.

5.5.1 Szálasodás

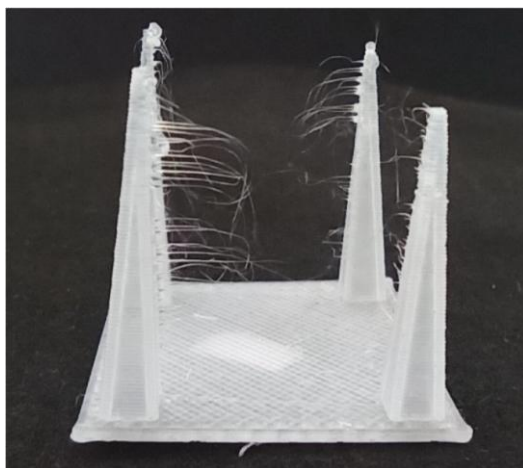
Szálasodásról akkor beszélhetünk, ha a nyomtatott tárgy különböző részein apró, pókhálószerű műanyag szálakat látunk (lásd 30. ábra). [21]

Nedves anyagok nyomtatásánál gyakori hiba, ezért az erre érzékeny anyagokat alacsony páratartalmú szárító dobozokban kell tárolni. [21]

Előfordulhat túl magas fűvóka hőmérséklet és túl gyors nyomtatási sebesség esetén is, de ha a beállítások megfelelőek, akkor mechanikai oka van. [21]

Amikor a nyomtató feje úgy mozog, hogy közben nem nyomtat, az adagoló egy kicsit visszahúzza az anyagot, hogy megszüntesse a nyomást a fűtőfejben. Minél kopottabb a

fűvóka, annál kevésbé hatásos ez a visszahúzás és egyre gyakrabban előfordul a szálasodás. Ebből adódóan egy nagyszerű indikátora lehet annak, hogy cserélni kell a fűvókát. [21]



30. ábra Példa a szálasodásra [21]

5.5.2 Aluladagolás

Ilyenkor a modell falai szivacsosak és a rétegek között réseket lehet megfigyelni (lásd 31. ábra). Szerkezetileg gyenge a tárgy, akár kézzel is könnyen összetörhető. [22]

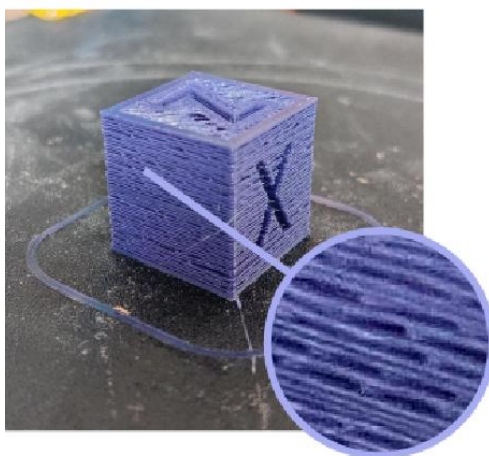
A fűvókán kevesebb anyag jut ki, mint amennyivel a nyomtató számol, mivel a filament megakad. Jellegzetes kattogó hang párosul hozzá, mivel az adagoló fogaskerekei próbálják a meghatározott mennyiségben adagolni a filamentet, viszont a megakadás miatt nem halad olyan tempóban, így a fogaskerekek gyakran megugranak, amitől keletkezik a kattogó hang. [22]

A leggyakoribb oka a fűvóka részleges dugulása valamilyen szennyeződés vagy korábban használt anyag maradványa formájában (például szénszál darabka). Ilyenkor egy arra alkalmas tűt alulról, a fűvóka apró nyílásán keresztül fel kell tolni és finoman megmozgatni azt, miközben a fűtőfej a benne lévő anyag maximális nyomtatási hőmérsékletére van fűtve. [22]

Ha ez nem oldja meg a problémát, a másik opció egy hideg húzás, ami azt jelenti, hogy a betöltött anyagot felfűtjük, majd lekapcsoljuk a fűtést és amikor eléri az ideális hőmérsékletet, akkor egy határozott mozdulattal felfelé kihúzzuk a filamentet az adagolóból. Erre legalkalmasabb a nejlon, ami 130°C körül ajánlott ehhez a manőverhez, mert már nem

folyékony, de még rugalmas ezen a hőmérsékleten. Ha ez sem sikerül, akkor cserélni kell a fűvókát. [22]

Az adagoló fogaskerekei is elkopnak idővel, főleg a koptató hatású anyagok nyomtatásakor. Kopottan már nem képesek a szükséges mennyiségű filamentet a fűvóka irányába juttatni. Ilyen helyzetben csere az egyetlen megoldás. [22]



31. ábra Példa aluladagolásra [22]

5.5.3 Felválás

Ebben az esetben nyomtatás közben a tárgy sarkai vagy akár a teljes felülete felválik a tárgyasztalról és elcsúszik az eredeti helyéről, ezt követően a levegőbe nyomtat a nyomtató (lásd 32. ábra). Ha minden beállítás megfelelő a szeletelő szoftverben és a tárgyasztal fűtése is ideálisan működik, akkor a tárgyasztal fólia elhasználtsága miatt következhet be, melyet ilyenkor cserélni kell. [22]



32. ábra Példa nyomtatás közbeni felválásra [22]

5.5.4 Sávósodás

Sávósodáskor a modell függőleges falain szabályosan ismétlődő vízszintes kidudorodások láthatóak (lásd 33. ábra). Ilyenkor a tárgyasztal nem tud teljesen egyenes vonalban és egyenletes lépésekkel mozogni a Z tengely mentén. [23]

A tárgyasztal Z tengelyű mozgása 4 darab menetes orsó mentén történik. Ha ezek kenése nem megfelelő és összegyűlik a szennyeződés, akkor az orsók és az anyák között túl nagy lesz a súrlódás. Rövid időre megfeszül, majd a motor erejétől hirtelen ugrik egy nagyobbat. Tehát egyenletes mozgás helyett ugrások lesznek a mozgásában, amelyek látszanak a nyomtatáson. [23]

A menetes orsók megfelelő kenésével elkerülhető ez a probléma.



33. ábra Példa sávósodásra [23]

5.5.5 Réteg eltolódás

Egy adott magasságban a nyomtatás eltolódik az X vagy Y tengely mentén és ezt követően elcsúszva folytatja a nyomtatást (lásd 34. ábra). [22]

Előfordul, ha az X vagy az Y tengely szíjai nincsenek megfelelően megfeszítve. Idővel a szíjak is használódnak és bizonyos mértékben megnyúlhatnak. A feszességet érdemes bizonyos időközönként ellenőrizni. [22]

Elektronika probléma is okozhatja a réteg elcsúszását. Ha a motor vezérléséért felelős komponensek túlmelegszenek, akkor az pillanatnyi lekapcsolással járhat, ami lépésvesztést okozhat. [22]



34. ábra Példa elcsúszott rétegekre [22]

5.6 Új karbantartási terv készítése

Az új karbantartási terv magába foglalja a gyártó által javasolt prediktív karbantartási tevékenységeket, de bizonyos módosításokkal. Ezen felül az eddig használt reaktív terv alkalmas folyamatai is részét képezik az új tervnek. Ide tartozik például a modell minősége alapján történő diagnosztika is. Fontos új eleme a pontos adatvezetés, ami alapján meg lehet tervezni a prediktív lépéseket.

5.6.1 A megfelelő adatvezetés

A jelenleg rendelkezésre álló adat elég a kiinduláshoz, azonban egy kiforrott karbantartás tervhez szükség lesz az adatok részletes vezetéséhez. Minél több a rendelkezésre álló adat, annál jobban optimalizálható a karbantartási terv. A gép teljes üzemóráján kívül minden cserélt alkatrész üzemóráját is vezetni kell.

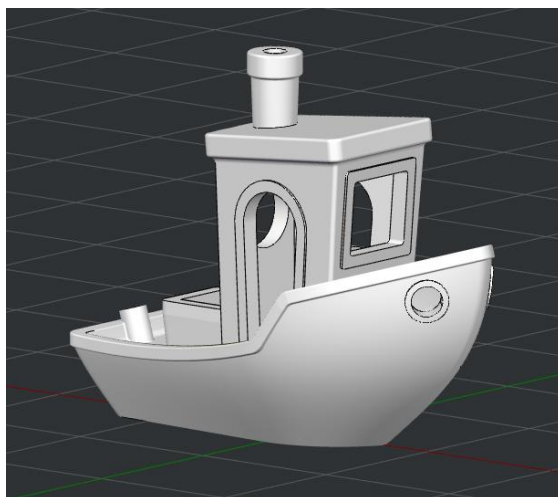
Ezen felül fontos külön vezetni a különböző filamentekkel nyomtatott órák számát is, mivel mindegyik anyag máshogy terheli a komponenseket. A nyomtatott anyag szerint gyűjtött üzemórák tudatában egyszerűbb lenne bizonyos alkatrészek élettartamának meghatározása.

A légszűrő szempontjából az ABS és az ASA használata érdekes, mert minden máshoz képest jelentősen nagyobb mennyiségű káros gőzöket bocsátanak ki.

A szénszállal erősített nejlón használata koptató hatása miatt rövidítheti az élettartamát az olyan alkatrészeknek, mint a fűvóka, az adagoló fogaskerekék és a filamentet vezető cső. A tárgyasztal fólia gyorsabban használódik a nagy asztal hőmérsékletet igénylő ABS és az extrém tapadású TPU és PETG nyomtatásakor.

5.6.2 Diagnosztika és prediktív karbantartás

Az eddigi, főleg reaktív karbantartás fő része volt a modell minősége alapján történő diagnosztika. Mivel mindenre nem lehet felkészülni, ez a folyamat az új karbantartási tervben is szerepet kap. Segítségével pontosíthatóak a gyártó által javasolt prediktív karbantartások időszakai és fény derülhet abban nem említett problémákra is. Egy kifejezetten diagnosztikára tervezett modell, ami elég komplikált és nyomtatása nem tart sokáig, kiválóan segíthetne a hibák meghatározásában. Minden 100 üzemórát követően lehetne egyet nyomtatni és összehasonlítani egy korábban nyomtatott, alkalmas referenciával. Ilyen modell a rendkívül népszerű, diagnosztikára tervezett „3DBenchy” nevű hajócska is (lásd 35. ábra).



35. ábra A népszerű diagnosztikai modell, "3DBenchy"

A gyártó által javasolt megelőző karbantartás lépéseit érdemes betartani, amíg a gyűjtött adatok nem adnak okot a változtatásra. A 400 üzemóra elteltével történő átfogó tisztítás során érdemes lehet az egész nyomtatót alaposan szemügyre venni, bármiféle rendellenesség után kutatva. Elképzelhető, hogy éppen az átfogó tisztítása hiánya okozhatta néhány elektronikai alkatrész meghibásodását.

5.6.3 Alkatrészek cseréje

A nyomtatási folyamatban aktívan résztvevő alkatrészek cseréje megelőző terv alapján történik. Ezzel biztosítható, hogy a gép szinte biztosan üzemkész állapotban legyen, amikor szükség van rá és minimálisra csökken a nyomtatás megszakadása elhasználódott alkatrészek miatt.

Az folyamatosan vezetett adatok alapján egyre jobban átláthatóvá válnak majd az alkatrészek cseréjének optimális időintervallumai. Az optimális esetben egyik komponens sincs túl korán cserélve és egyik sem jut el a teljes tönkremenetelig.

A jelenlegi rendszer reaktív jellege miatt a cserealkatrészek állománya már most is kielégítő, ugyanis három év alatt kitapasztalható volt, nagyjából miből mennyi tartalékra van szükség. Ezen felül a szigorúbb megelőző lépések tovább csökkentik olyan alkatrészek tönkremenetelének esélyét, ami meglepetést jelentene.

6 Összefoglalás

A szakdolgozat keretében a Hoya Szemüveglencse Gyártó Zrt. három éve tulajdonában lévő és napi szinten használt Raise3D Pro 3 típusú nyomtatójának karbantartási tervén igyekeztem javítani a legjobb képességeim szerint. Ehhez megvizsgáltam a témát több szemszögből is, hogy minden szempontból megfeleljen a karbantartás.

Elsőként bemutattam a céget és néhány 3D nyomtatással készült tárgyat, melyek valamilyen formában segítették a termelést. Ezzel szemléltettem a gyárban való hasznosságát és előnyeit egy ilyen gépnek.

Ezt követően bemutattam a 3D nyomtatás történetét, külön figyelmet fordítva a gyárban használt típusra, a szálolvasztásos technológián alapuló nyomtatókra és a hozzájuk használt filament típusokra. A karbantartási terv szempontjából fontos tudni, hogyan működik a gép és hogyan befolyásolják a különböző anyagok az egyes komponensek élettartamát.

A következő fő fejezetben bemutattam a 3D nyomtatás folyamatát tervezéstől a kész tárgyig, ami hasznos információ üzemeltetési és karbantartási szempontból, hiszen az itt vétett hibák minimalizálása kevesebb selejthez vezet és megkönnyíti a tényleges karbantartási problémák feltárását.

Végezetül a 3D nyomtató hosszú távú fenntarthatósága érdekében feltártam az eddigi karbantartási hiányosságait és az összegyűjtött adatok alapján igyekeztem feljavítani a karbantartási tervet. Az új, javított terv a gyártó által javasolt megelőző karbantartásra alapul, melyet a lényegesen részletesebb adatvezetésnek köszönhetően a gyárban használt nyomtatóhoz lehet igazítani. A nyomtatott modell alapján történő diagnosztika továbbra is nagy szerepet játszik a váratlan hibák okának meghatározásában.

Összességében elértem a kitűzött céljaimat és elégedett vagyok a munkámmal.

Irodalomjegyzék

- [1] hoya.com, <https://www.hoya.com/company/> (Letöltés időpontja: 2026.04.11. 18 óra 32 perc)
- [2] P. Goreczky, „The Present and Future Prospects of Japanese FDI in Hungary”, *Foreign Policy Review*, köt. 14, sz. 1, o. 13–29, 2021, doi: 10.47706/kkifpr.2021.1.13-29.
- [3] A. Savini és G. G. Savini, "A short history of 3D printing, a technological revolution just started," *2015 ICOHTEC/IEEE International History of High-Technologies and their Socio-Cultural Contexts Conference (HISTELCON)*, Tel-Aviv, Israel, 2015, pp. 1-8, doi: 10.1109/HISTELCON.2015.7307314.
- [4] Á. Horváth és A. Kurucz, „A 3D NYOMTATÁS TÖRTÉNETE ÉS JÖVŐBELI KÉRDÉSEI”, [researchgate.net](https://www.researchgate.net/publication/328615878_A_3D_NYOMTATAS_TORTENETE_ES_JOVOBELI_KERDESEI)
https://www.researchgate.net/publication/328615878_A_3D_NYOMTATAS_TORTENETE_ES_JOVOBELI_KERDESEI (Letöltés időpontja: 2026.04.13. 9 óra 39 perc)
- [5] iriweb.org, <https://www.iriweb.org/news/inventor-of-3d-printing-charles-hull-recipient-of-2015-iri-achievement-award/> (Letöltés időpontja: 2026.04.15. 11 óra 22 perc)
- [6] L. Gajdács és V. Szűcs, „A 3D-nyomtatás gyártástechnológiái, felhasználási területei, illetve az ebben rejlő potenciál”, *Repüléstudományi Közlemények*, köt. 32, sz. 1, o. 101–110, 2020, doi: 10.32560/rk.2020.1.7.
- [7] Angie Nayeli Osorio, „Introduction to Fused Deposition Modeling (FDM)”
https://dozuki.umd.edu/Wiki/Introduction_to_Fused_Deposition_Modeling_%28FDM%29 (Letöltés időpontja: 2026.04.15. 16 óra 54 perc)

-
- [8] fortunebusinessinsights.com, <https://www.fortunebusinessinsights.com/3d-printing-filament-market-115196> (Letöltés időpontja: 2026.04.16. 13 óra 11 perc)
- [9] C. Agócs, M. M. Hanon, és L. Zsidai, „A comprehensive review of Fused Deposition Modeling (FDM) method using PLA, ABS, and PET-G polymers”, *Gradus*, köt. 11, sz. 1, 2024, doi: 10.47833/2024.1.eng.007.
- [10] R. B. Kristiawan, F. Imaduddin, D. Ariawan, Ubaidillah, és Z. Arifin, „A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: Filament processing, materials, and printing parameters”, 2021. január 1., *De Gruyter Open Ltd.* doi: 10.1515/eng-2021-0063.
- [11] xometry.com, <https://www.xometry.com/resources/3d-printing/types-of-3d-printer-filaments/> (Letöltés időpontja: 2026.04.16. 20 óra 55 perc)
- [12] raise3d.com, <https://www.raise3d.com/blog/petg-3d-printing/> (Letöltés időpontja: 2026.04.16. 22 óra 19 perc)
- [13] A. Kantaros, E. Soulis, F. I. T. Petrescu, és T. Ganetsos, „Advanced Composite Materials Utilized in FDM/FFF 3D Printing Manufacturing Processes: The Case of Filled Filaments”, *Materials*, köt. 16, sz. 18, szept. 2023, doi: 10.3390/ma16186210.
- [14] raise3d.com, <https://www.raise3d.com/pro3-series/> (Letöltés időpontja: 2026.04.18. 14 óra 35 perc)
- [15] help.prusa3d.com, https://help.prusa3d.com/article/layers-and-perimeters_1748 (Letöltés időpontja: 2026.04.20. 8 óra 10 perc)
- [16] instructables.com, <https://www.instructables.com/Make-a-Seamless-Captive-Nut-in-a-3D-Printed-Part/> (Letöltés időpontja: 2026.04.20. 12 óra 41 perc)

-
- [17] snapmaker.com, <https://www.snapmaker.com/blog/how-to-remove-supports-from-3d-prints/> (Letöltés időpontja: 2026.04.21. 17 óra 57 perc)
- [18] J. R. C. Dizon, C. C. L. Gache, H. M. S. Cascolan, L. T. Cancino, és R. C. Advincula, „Post-Processing of 3D-Printed Polymers”, 2021. szeptember 1., *MDPI*. doi: 10.3390/technologies9030061.
- [19] A. S. Pamidi, M. B. Spano, és G. A. Weiss, „A Practical Guide to 3D Printing for Chemistry and Biology Laboratories”, *Curr Protoc*, köt. 4, sz. 10, okt. 2024, doi: 10.1002/cpz1.70036.
- [20] support.raise3d.com, <https://support.raise3d.com/list.html?cid=26&pid=1444> (Letöltés időpontja: 2026.04.24. 21 óra 21 perc)
- [21] K. Paraskevoudis, P. Karayannis, és E. P. Koumoulos, „Real-time 3d printing remote defect detection (Stringing) with computer vision and artificial intelligence”, *Processes*, köt. 8, sz. 11, o. 1–15, nov. 2020, doi: 10.3390/pr8111464.
- [22] B. Subbaraman és N. Peek, „3D Printers Don’t Fix Themselves: How Maintenance is Part of Digital Fabrication”, *Association for Computing Machinery (ACM)*, júl. 2023, o. 2050–2065. doi: 10.1145/3563657.3595991.
- [23] K. Erokhin, S. Naumov, és V. Ananikov, „Defects in 3D Printing and Strategies to Enhance Quality of FFF Additive Manufacturing. A Review”, 2023. október 2. doi: 10.26434/chemrxiv-2023-lw1ns.