MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

INTÉZMÉNYI TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

2023. november 22.

AZ FDM 3D NYOMTATÓ VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI

FDM 3D printer test results

Készítette: **Nagy Bálint**
YYX05Y
Műszaki menedzser, mesterszak
Nappali tagozat
Szent István Campus

Témavezető: Prof. Dr. Peszeki Zoltán,
professor emeritus,
MATE, Szent István Campus,
Műszaki Intézet, Műszaki Menedzsment Tanszék

Lehetséges OTDK szekció: Műszaki Tudományok Szekció

Gödöllő
2023.

Tartalomjegyzék

1 Bevezetés, célkitűzések 1

2 Szakirodalmi áttekintés 2

2.1 Mi is az a 3D nyomtatás? 2

2.2 A 3D nyomtatás története 2

2.2.1 A különböző 3D nyomtatási technológiák rövid ismertetése 4

2.3 Az FDM 3D nyomtató felépítése, működése és tartozékai 5

2.3.1 Az FDM nyomtató működése, elvi felépítése 5

2.3.2 Az FDM nyomtató megjelenése a gyakorlatban 6

2.4 A nyomtatáshoz használandó anyag (filament) bemutatása 8

2.4.1 Mi az a filament? 8

2.4.2 PLA filament 9

2.5 A 3D nyomtatáshoz használatos szoftver ismertetése és lehetőségei 10

2.5.1 A PrusaSlicer szeletelő szoftver története 10

2.5.2 Első réteg (first layer) 10

2.5.3 A támaszanyag (support) 11

3 Anyag és forma 13

3.1 A vállalkozás indításának feltételei, technikai háttere 13

3.1.1 Az FDM nyomtató és tartozékai 13

3.1.2 A nyomtatáshoz használt 3D tervező program 17

3.1.3 A modellek nyomtatását előkészítő szeletelő program 17

3.2 A termékek előállítása és értékelésének felépítése 17

3.3 A prototípus modellek nyomtatása 18

3.3.1 Nyomtatás kevés anyagfelhasználással 18

4 Saját munka, vizsgálatok, értékelések, eredmények 19

4.1 Piackutatásom és annak eredményei 19

4.1.1 A piackutatás elkészítése, részletei 19

4.1.2 Az elvégzett piackutatásom eredményei 20

4.2 Piackutatási eredményeim, a kiválasztott modellek újra nyomtatása 24

4.2.1 Módosításaim a prototípus modelleken 24
4.2.2 A süteménynyomók prototípusai és kamrás javításuk 26
4.2.3 Karácsonyi díszek prototípus modelljei és javításuk 28
4.3 Az összehasonlító vizsgálatomhoz használt filament bemutatása 29
4.4 Kamrában-, és szabadon nyomtatott modellek összehasonlítása 30
4.4.1 Az általam kinyomtatott modellek jellemzői, tulajdonságai 30
4.4.2 Kamrában nyomtatott modellek jellemzői általánosságban 33
4.4.3 Szabadon nyomtatott modellek jellemzői 33
4.4.4 Kamrás-, szabad nyomtatású modellek összehasonlítása, vizsgálataim 34
4.5 A nyomtatás során keletkezett költségeim 39
4.5.1 Az alkalmazott szoftverből származó költségek 39
4.5.2 A nyomtatásaim energiaköltsége 39
4.5.3 A nyomtatásaim anyagköltsége 42
4.6 Teljes megtérülés és nyereség számítása 44
4.6.1 A termékeim egységárainak meghatározása 44
4.6.2 A termékeim eladásából befolyó bevételem 44
4.6.3 Nyereségem meghatározása 47
4.6.4 Megtérülés számítása 49
4.7 A Creality Ender 3 FDM nyomtató amortizációja 50
4.8 Összességében megérné-e ezen területeken vállalkoznom? 51
4.8.1 Vállalkozási formám kiválasztása, értékelésem 51
5 Javaslatok, következtetések 52
6 Összefoglalás 53
7 Felhasznált irodalom 54

1 Bevezetés, célkitűzések

Azért választottam ezt a témát, mert szeretném bemutatni, hogy egy ma már kiforrott, FDM 3D nyomtatóval akár a lakásunkban is létrehozhatunk egy ”kisméretű gyárat”. Elképesztőnek tűnik, hogy ebben az egyre inkább háztartás szinten modernizálódó világban, otthoni körülmények között is lehet gyártást végezni és egy egyszerű, alapszintű 3D nyomtatóval is lehetetlennek tűnő határokat elérni. Tanulmányaim során megismerkedtem a gépészmérnöki oldalról fontos, gyártástechnológiai ismeretekkel, a térbeli látással, számítógépes tervezéssel; most pedig a mesterszakos, menedzseri, gazdasági oldalú ismeretekkel szeretném bemutatni, hogy ezen két, igen sok témakört körülölelő területekkel megvalósítható-e az „otthoni gyártás” fogalma. Előnyösnek tartom a gépészeti és menedzseri területek kombinálását, mert manapság a gyorsan változó vevői igények nemcsak a bonyolult iparágakban mutatkoznak meg, hanem akár egy kis kézműves vállalkozás esetében is. Egyre inkább előtérbe kerül az egyediség, amire a legjobb példa a 3D nyomtatás, ahol nem kell bonyolult öntőforma (szerszám), így könnyedén alkalmazkodhatok a vállalkozásban az egyre változó igényekhez. Továbbá egyszerűen egy személyi számítógépről (PC) könnyedén kezelhető és kevesebb kockázatot jelent élettanilag, szemben a fröccsöntési technológiával.

A vizsgálataim célja, hogy különböző süteménynyomókat, karácsonyi díszeket és medálokat tervezek, majd a tervezett prototípus-modelleket közzéteszem és a szavazatok alapján kinyomtatom az otthoni háztartásban lévő FDM 3D nyomtatómmal. Ez a terület fedi le a „Piackutatást”. Mindhárom területen 10 darab mintából kell a „vásárlónak” 5 darabot kiválasztania. A prototípusokon javításokat végzek, majd az újra nyomtatás során minden modellből két darabot fogok gyártani, egyet nyitott nyomtató-tér állapotban, egyet pedig egy zárt kamrában, miközben mérni fogom az egyes termékek nyomtatási idejét, a felhasznált alapanyagot és az elfogyasztott villamos-energiát. Mindezeket számszerűsítem költségekre és összehasonlítom a kamrában és szabadon nyomtatott modellek előállítási költségeit. Továbbá a két-két kinyomtatott végterméket összehasonlítom minőségbeli szempontból is. Mindezek mellett, szeretném bemutatni, hogy milyen kiegészítők, tartozékok szükségesek ahhoz, hogy a gyárilag vásárolható nyomtató jobb teljesítményt érjen el. Ezeket a tartozékokat költségként számszerűsítem és meghatározom, hogy mekkora alaptőkével kell rendelkezni egy 3D nyomtatással tevékenykedő vállalkozás elindításához. Feladatom végén pedig megtérülést és amortizációt is számítok. Majd minden tényezőt figyelembe véve értékelem, hogy valóban megérné-e egyedi gyártással elkezdeni a vállalkozást egy FDM 3D nyomtatóval háztartási körülmények között, és ha igen, milyen vállalkozási formával.

2 Szakirodalmi áttekintés

Ebben a fejezetben részletesen leírom, milyen történelmi úton fejlődött ki a 3D nyomtatás. Ismertetem a különböző technológiai eljárásokat, kiemelve az FDM technológiát.

2.1 Mi is az a 3D nyomtatás?

A 3D nyomtatás olyan gyártási folyamat, amely során szilárd tárgyak, termékek előállítása valósítható meg számítógép segítségével megalkotott digitális fájlból. Additív gyártástechnológiának is szokás nevezni, amely azt jelenti, hogy adott tárgyat/munkadarabot vékony rétegek lerakásával hozunk létre, szemben a hagyományos megmunkálási eljárással, ahol egy nagy, nyers tömb megmunkálásával leválasztjuk a felesleges anyagot (pl. forgácsolás); a fennmaradó anyag lesz a késztermékünk. Ennek a technológiának legjelentősebb úttörője és élenjárója a 3D nyomtató. Az anyaghozzáadással járó munkadarab készítésnek egyik legnagyobb előnye, hogy akár bonyolult geometriájú alakzatok is nyomtathatók kevés anyagfelhasználással. Továbbá gyorsan képes prototípus munkadarabok előállítására, a kis alkatrészek tervezési és előállítási ideje (átfutási idő) jelentősen lecsökken; ezen felül pedig széles-skálán testre szabható akár a nyomtatási folyamat, akár a nyomtatott termék megjelenése / tulajdonságai [1] [13] [19].

2.2 A 3D nyomtatás története

A 3D nyomtatás eljárása elsőként az 1980-as években mutatkozott meg. Az USA-ban egy bútorgyártó vállalat UV fény segítségével vitt fel vékony polimer réteget bútorlapokra, s ekkor támadt egy ott dolgozó mérnöknek, egy forradalmian új ötlete. Számos alkalommal előfordult, hogy a szükséges műanyag alkatrészek beszerzése hónapokat csúszott, így elkezdett kísérletezni olyan megoldással, hogy sok polimer réteget rakott egymásra, így elérve a kívánt geometriát [12].

Chuck Hull (1939-) 1986-ban szabadalmaztatta az USA-ban az általa kifejlesztett új technológiát. Sztereolitográfiai (SLA) technológiának nevezzük, mely során egy fotopolimerrel töltött edény felületére koncentrálnak UV fénysugarat, ami kikeményíti a folyékony anyagot. Az előállítandó tárgy számítógépes modelljét a 3D tervezés után rétegekre kell bontani, ezután pedig a fotopolimert tartalmazó tartályban egy függőlegesen lefelé-felfelé mozgó tárgyasztalon rétegről-rétegre felépíteni. Ezt az UV fényt számítógéppel vezéreljük a kívánt helyre, így ahol az UV fény a fotopolimert éri, ott térhálósodik a szerkezete, ezáltal megszilárdul [12] [19].

Az első áttörés 1988-ban volt, mikor eladásra került az első 3D nyomtató, SLA-250 néven, melyet elsősorban a járműipar, orvostechnika hasznosított. A 90-es évek közepén már jó néhány 3D nyomtatásra specializálódott szervezet létrejött. Ezek közül a szervezetek közül ma már csupán három maradt fenn: a 3D Systems, az EOS, valamint a Stratasys. A technológia roppant gyorsan kezdett terjedni, így mára Chuck Hull-t hívják a „3D nyomtatás atyjának” [11] [12] [19].

Annak is köszönheti sikerességét a technológia, hogy alkalmazásával gyorsan lehet prototípusokat előállítani. Sok évig RP-nek nevezték ezt a technológiát (Rapid Prototype − Gyors Prototípus). Elsőkként a General Motors és a Mercedes-Benz volt élenjáró a technológiában. Később az RP elnevezés helyett manapság már a 3DP (Three Dimensional Printing − Háromdimenziós Nyomtatás) angol rövidítést használják. Mivel gyorsan lehet prototípusokat előállítani, így az iparban széles körben terjedni kezdett számos előnye miatt. Leginkább a gyorsaság volt mérvadó, vagyis az ötletek rövid idő alatt megvalósíthatók. Fontos megjegyezni, hogy a különböző tervezett modellek „próbálgatása" nem jár számottevő többletköltséggel. Amennyiben sok ötletük van a tervezőknek, nem kell alaposan megválogatni az egyes modelleket (bonyolultságuk, kockázatuk miatt), gyorsan ki lehet nyomtatni bármelyiket és megnézni, hogy melyik a legjobb megoldás. Emiatt a tulajdonsága miatt ösztönzően hat a kreativitásra [12].

A 3D modellek tervezéséhez CAD/CAM (Computer Aided Design/Manufacturing − Számítógéppel Támogatott Tervezés/Előállítás) szoftvereket használtak, ezáltal szükségessé vált egy olyan speciális fájlformátum, amely kapcsolatot teremt a 3D nyomtató és a CAD/CAM szoftverek között. Chuck Hull és csapata kifejlesztette a ma is használatos STL fájlkiterjesztést (neve a STereoLitography névből ered), amely lehetővé tette, hogy a CAD szoftver adatait a 3D nyomtató „nyelvére" lefordíthassák [5] [9] [11].

2.1. ábra: SLA-1, az első kereskedelmi forgalomban kapható 3D nyomtató *[2]*

Az első, kereskedelmi forgalomban kapható 3D nyomtatót a fenti **2.1. ábra** mutatja. Az SLA technológiával párhuzamosan két másik eljárásmód is kifejlesztésre került: az FDM (Fused Deposition Modeling), illetve az SLS (Selective Laser Sintering). Az FDM technológiát Scott Crump-nap (1954-) köszönhetjük, 1988-ban fejlesztette ki, mely után létrehozta Stratasys nevű cégét, hogy népszerűsítse ezt az eljárási módot. Legelső gépüket 1992-ben adták el. Az SLS technológiát dr. Carl Deckard (1961-2019) és dr. Joe Beamen (1950-) fejlesztették ki [11].

A következő mérföldkő 2009 volt, amikor a technológia kereskedelmi forgalomba került. Ekkor a RepRap (Replicating Rapid Prototyper) nyílt forráskódú vállalkozás az FDM technológiát használva megindította a tömeges forgalmazást szerte a világon [19].

2.2.1 A különböző 3D nyomtatási technológiák rövid ismertetése

A 3DP, vagyis háromdimenziós nyomtatás egyre több technológiai megoldásnak szolgál gyűjtőfogalmaként, amely a tárgyalkotás újszerű módjait, az additív gyártáson belül foglalja magába. Igaz, a 3DP és az additív technológia nem teljesen ugyan azt jelentik, a hétköznapi ember nem találkozik mindegyik technológiával, az oktatási célokra és háztartásokban csak néhány megoldás alkalmazható [12].

A 3DP, valamint az additív gyártási technológiákat 7 fő csoportra lehet osztani. Ezen főcsoportok további eljárásokat foglalhatnak magukba. Számos eljárás van jelenleg a világban és elnevezésük a szakirodalmakban sem egységes, nincs egységesen alkalmazott szóhasználat, szakkifejezés. A főcsoportok a következők [12]:

1. **Material extrusion.** Ebben az eljárásban hő hatására megolvasztott anyag extrudálása történik. Ezen technológiák: FDM, FFF vagy FFM. Műanyag vagy műanyag alapú kompozit anyagok felhasználásával működik.
2. **Vat photopolimerization (VAT).** Úgynevezett fotorezisztív műgyantát (resin) tartalmazó tartályban fotopolimerizáció révén alkalmazható technológia. Ezen technológiák: SLA, DPL, valamint CDLP vagy CLIP eljárások.
3. **Blinder jetting.** Kötőanyaggal ellátott anyagsugár, mely kerámiát, homokot vagy fém részecskéket köt össze. A BJ rövidítés elterjedt, függetlenül attól, hogy milyen alapanyagot használnak fel.
4. **Powdered bed fusion (PBF).** Ezen technológiával porréteg olvasztása történik. Ebben a fejezetben sok speciális eljárás foglal helyet, amelyek ipari körülmények között alkalmazhatók. Ezek a technológiák lehetnek: MJF (kötőanyaggal és hőenergiával olvasztott műanyag); SLS (lézersugárral olvasztott műanyag); DMLS / SLM (lézersugárral olvasztott fém); EBM (elektronsugárral olvasztott fém).
5. **Material jetting (MJ).** Sokszor a 2D-s tintasugaras nyomtatás működési elvéhez hasonlítják, azonban ebben az esetben a „tinta” valamilyen anyagsugár. Egyidőben többféle anyag felhasználása is megvalósítható. Ezen technológiák lehetnek: MJ, NPJ, DOD - a felhasznált anyagban különböznek egymástól.
6. **Direct energy deposition (DEP).** Közvetlen energiahatással történő anyagolvasztás. Ezen technológiák lehetnek: LENS (az energiát lézersugár biztosítja); EBAM (ezen technológiával elektronsugárral történik az olvasztás).
7. **Sheet lamination (SL).** Kompozit és papír anyagú lemezek összeolvasztását teszi lehetővé. (LOM = Laminated Object Manufacturing).

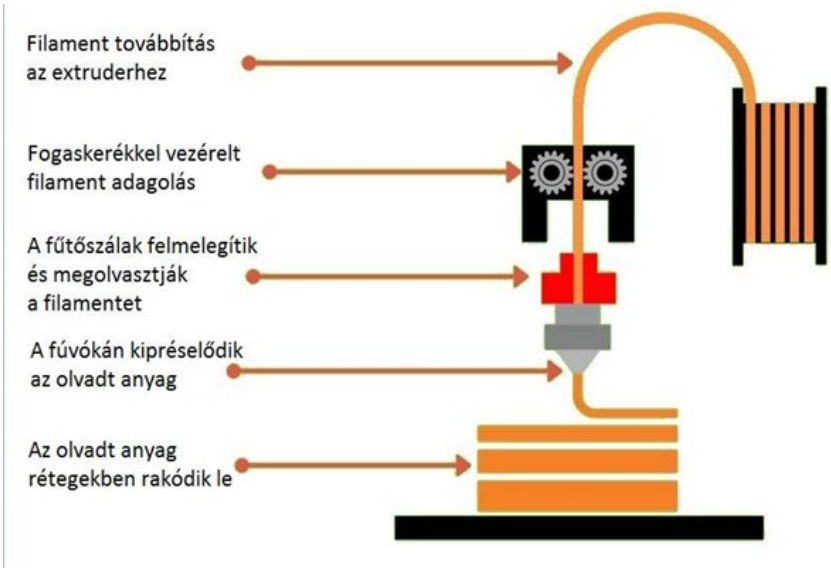
2.3 Az FDM 3D nyomtató felépítése, működése és tartozékai

Vizsgálataim során egy, a kereskedelmi forgalomban kapható FDM 3D nyomtatót fogok használni (Creality Ender 3), így az ilyen elven működő FDM típust szeretném részletesen bemutatni, a működési elvétől egészen a használatának körülményéig, továbbá a kiegészítő berendezéseit. Ez az egyik legelterjedtebb 3D nyomtató-típus az otthoni használat körében.

2.3.1 Az FDM nyomtató működése, elvi felépítése

Az FDM nyomtató számítógép-vezérelt mechanikához kapcsolt fúvókán keresztül juttatja ki a megolvasztott polimert és a felbontott 3D modell alapján rétegről-rétegre építi fel a tárgyat [20].

Összetettebben, az FDM technológiánál hő hatására az alapanyagot megolvasztjuk, majd kiextrudáljuk. A legelterjedtebb technológia, amely a behúzott műanyagszál megolvasztásán alapul. A nyomtatáshoz szükséges anyagot filamentnek nevezzük, melyet egy fogaskerék segítségével adagolunk. A fogaskerék továbbítja az anyagot a fűtőpatronnal ellátott extruderbe, ahol a műanyag megolvad, majd tovább haladva egy fúvókán keresztül távozik (**2.2. ábra**).



2.2. ábra: Az FDM 3D nyomtató működési elve [18]

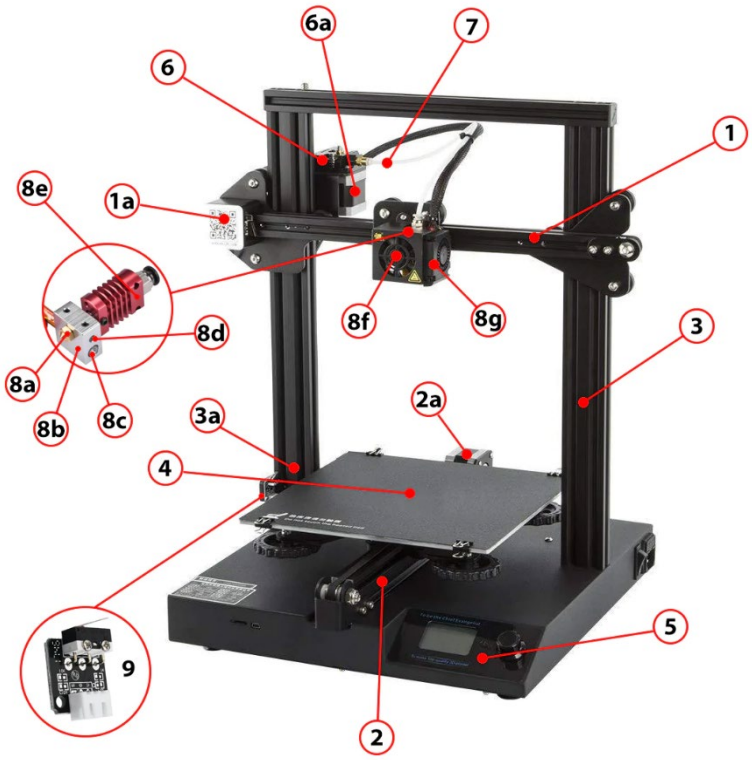
A fúvóka kirajzolja az elkészíteni kívánt testet, jellemzően a külső kerülettel kezdve, majd a belső részeket. Ahová a fúvóka a modellünket építi, tárgyasztalnak nevezzük. A fúvóka és a tárgyasztal egymáshoz képest különböző irányokban tud mozogni, így tudja kialakítani a kívánt modellünket. Egy 3 tengelyes rendszeren keresztül történik meg a fúvóka és nyomtatófej („Hot end") mozgása: az „X" irányba a nyomtatófej („Hot end") mozog – ez a vízszintes irány. Az „Y" irány a tárgyasztal előre-hátra történő mozgásával valósul meg. A „Z" függőleges felfelé mozgást pedig egy orsó végzi. A „Z" mozgás a modell építésétől kezdődően függőlegesen felfelé irányul a modell elkészültéig. Tehát a tárgy alulról felfelé épülve születik. Az otthoni 3D nyomtatók többsége ezen technológiával működik, méretpontosságuk pedig 0,1 ÷ 0,2 mm [11] [12] [20].

2.3.2 Az FDM nyomtató megjelenése a gyakorlatban

Az előző bekezdésben megfogalmazottak, a fenti ábra (**2.2. ábra**) és az alábbi ábra (**2.3. ábra**) összekapcsolásával látható, hogy milyen egy FDM 3D nyomtató elvi felépítése, valamint a gyakorlatban történő megjelenése.

A **2.3. ábra** segítségével a részegységek a következők: A filament megvezetése két fogaskerék között valósul meg – ez az extruder (6) – így kerül a fűtőpatronhoz (8), ahol megolvad, cseppfolyós halmazállapotú lesz. Ezt az olvasztott műanyagot juttatja ki a fúvóka (8a) a tárgyasztalra (4). Ott a megolvadt polimer megkeményedik, közben folyamatosan újabb és újabb rétegek kerülnek rá, így építve a modellünket. Az eljárás során két ventilátor is üzemel, amelyek közül a középső a fúvóka túlmelegedését akadályozza meg (8f). A szélső ventilátor az olvasztott polimer megkeményedéséért felel (8g), ezért „anyagventilátornak” is nevezzük [9].

Az alábbi ábrán (**2.3. ábra**) látható egy FDM nyomtató megjelenése a gyakorlatban. A fent említett, működésből adódó alkatrészeken kívül a technológia miatt, a nyomtató fejlődésével több kiegészítő berendezés is beépítésre került. Ezeket lentebb részletesen ismertetem.



2.3. ábra: Az FDM nyomtató részei a gyakorlatban *[22]*

Az alapvető működésbeli alkatrészek mellett sok másik elem található a nyomtatón, ami szintén elengedhetetlen szerepet tölt be a gép működésében. A továbbiakban összeszedtem a fenti **2.3. ábrán** látható elemeket, részegységeket, amelyek a nyomtató közvetlen működéséért felelnek.

A fenti ábrán (**2.3. ábra**) látható FDM nyomtató kiemelt részegységeit az alábbi táblázatba gyűjtöttem ki (**1. táblázat**). A megjelölt 8-as és 9-es blokkok kinagyítva láthatók, amelyek kisebb alkatrészek jelenlétét mutatják.

1. táblázat: Az FDM nyomtató alkatrészei *[39]*

Megnevezés	Jelölés	Leírás
„X" tengely	1	Az „X" irány mozgása (fogasszíj-hajtás)
	1a	Az „X" irány hajtásáért felelős léptetőmotor
„Y" tengely	2	Az „Y" irány mozgása (fogasszíj-hajtás)
	2a	Az „Y" irány hajtásáért felelős léptetőmotor
„Z" tengely	3	A „Z" irány mozgása az alumínium-profilon
	3a	A „Z" irány hajtásáért felelős léptetőmotor + orsó
Tárgyasztal („Bed")	4	A tárgyasztal (építőfelület)
Elektronika	5	Vezérlő elektronika + kijelző
Extruder	6	Extruder (filament adagoló fogaskerék)
	6a	Extrudert vezérlő léptetőmotor
PTFE-cső	7	Extruderből kilépő filament megvezetése a fűtőtestig
Nyomtatófej („Hotend")	8a	Fúvóka („Nozzle")
	8b	Fűtőblokk („Heat block")
	8c	Fűtőpatron
	8d	Termisztor
	8e	Hűtőborda („Heatsink")
	8f	Túlmelegedést gátló ventilátor
	8g	Anyagventilátor
Mikrokapcsoló („Switch")	9	Az „X", „Y" és „Z" tengely végállás kapcsolója („X" és „Y" esetben a léptetőmotoroknál található)

A fenti táblázatban (**1. táblázat**) összegyűjtött alkatrészek közül kiemelném a tárgyasztalt, az extrudert és a hotend-et. A tárgyasztalnál fontos megjegyeznem, hogy számos kivitel kapható. Elsődleges probléma a tapadás hiánya, a nyomtatott réteg nem tapad megfelelően. Erre a célra alapesetben egy durva, szemcsés rétegű nyomtatólap áll rendelkezésünkre a jobb tapadás érdekében. Azonban a letapadó felület nem lesz szép sima, ezért üveglapra is lehet nyomtatni, vagy PEI (Poliéter-Imid) fóliára. Ezen megoldásokkal szebb minőségű nyomat érhető el. Az extruder esetében a megfelelő megvezetés érdekében többféle kivitel kapható, jellemzően a gyári műanyag extrudert cserélik le tartósabb fém típusra. A hotend esetében szintén számos kivitel kapható a piacon nyomtató márka és típusra szűrve. A legfontosabb szempont ebben az esetben a nyomtatási hőmérséklet megtartása a fúvóka körül, illetve a jobb konvekciós jellemzők a fúvóka és a nyomtatott tárgy között.

2.4 A nyomtatáshoz használandó anyag (filament) bemutatása

Ebben a fejezetben bemutatom az FDM nyomtatókhoz használt alapanyagot, annak megjelenését és különböző fontos tulajdonságait.

2.4.1 Mi az a filament?

A filament a 3D nyomtatók közül az FDM / FFF nyomtatók által használt nyomtatóanyag. Tükörfordítását tekintve „izzószál” -ként értelmezhetjük. A filamenteket dobra feltekercselt kivitelben szokták értékesíteni a gyártók. Általában tiszta polimer valamilyen típusa lehet (jellemzően PLA, ABS vagy PET-G), de előfordulnak adalékanyaggal ellátott filamentek is a piacon vagy teljesen más jellegű anyagokból készültek is [21] [24].

2.4. ábra: Többféle színű filament feltekercselve *[21]*

Ahogyan a fenti ábrán is látható (**2.4. ábra**), számos féle színválaszték megtalálható a piacon, többféle anyag, valamint a dob mérete, ezáltal az anyag mennyisége is változó. Általában tömegben (gramm) adják meg a vásárolható mennyiséget, azonban előfordul, hogy hosszúságra (méter) van megadva a vásárolható filamentek mennyisége.

Fontos megjegyeznem, hogy kétféle típusú szabványosított filament átmérő kapható a piacon:

- Ø1,75 mm,
- Ø2,85 mm (3 mm).

Leggyakrabban az **Ø1,75 mm**-es szabvánnyal működnek a nyomtatók, de erre alaposan figyelni kell a nyomtató beszerzése során, továbbá a filament vásárlásakor, ugyanis előfordulhat, hogy az adott típusból nem kapható a megfelelő átmérőjű kivitel. Az Ø2,85 mm-es típust gyakran szokták 3 mm-esnek is hívni a kerekítési szabály miatt.

2.4.2 PLA filament

A PLA (polilaktid vagy politejsav) olyan polimer, amelyet nem kőolajból, hanem megújuló forrásokból −növényi szénhidrátokból− készítenek. Jellemzőit az alábbi táblázatba (**2. táblázat**) foglaltam össze. Ilyen lehet a kukoricakeményítő vagy cukornád. Tehát bioműanyagról beszélünk. Valójában a PLA ökológiailag lebomlik（fermentorban 3-4 hónap alatt). Továbbá ez az alapanyag a nyomtatás során nem bocsát ki szagot, valamint az egészségre káros, mérgező gőzöket. Egyik legfontosabb tulajdonsága pedig, hogy az élelmiszerekkel való érintkezése biztonságos, vagyis Food safe anyag. Egyes PLA filamentek esetében a szín vagy egyéb másik hozzáadott anyaga miatt nem Food safe, ezért az adott filamentről szóló gyártói dokumentációt mindig ellenőriznünk kell [21] [24] [25]!

2. táblázat: PLA anyagjellemzői és nyomtatási tulajdonságai *[39]*

Anyagjellemzők	
Sűrűség [g/cm^3]	1,24
Szakítószilárdság [MPa]	60
Hajlítószilárdság [MPa]	83
Szakadási nyúlás [%]	6
Hőtűrés [°C]	55
Élelmiszer-biztonsági besorolás	Biztonságos
Nyomtatási jellemzők	
Fúvóka hőmérséklettartománya [°C]	200 ÷ 220
Tárgyasztal hőmérséklettartománya [°C]	50 ÷ 70

Ha a nyomtatását tekintjük, a PLA a legjobb választás kezdőknek, ugyanis felhasználóbarát anyag. Könnyedén megolvad, már ~180 °C hőmérsékleten, valamint nem szükséges fűthető tárgyasztal a nyomtatásakor. Ennek oka, hogy a nyomtatás során nem tágul és nem is zsugorodik jelentős mértékben. Univerzálisan felhasználható, hiszen a legtöbb probléma megoldásához jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik, azonban nem túlságosan rugalmas, ezáltal könnyedén törik. Így nem használható olyan esetekben, ahol hajlító vagy csavaró igénybevételek hatnak rá. További hátránya az 55÷60 °C tartomány közötti, ún. üvegesedési hőmérséklet, vagyis magasabb hőmérsékleten meglágyul a nyomtatvány, valamint az elkészült termék a környezeti hőmérsékletnek nehezen tud ellenállni, ezáltal könnyedén deformálódik. Tehát közvetlen napfénynek nem tehetjük ki, valamint pl. gépjárművek szélvédője körül (műszerfal) alkalmazni sem ajánlott. Továbbá a PLA hasonló tulajdonságokkal rendelkezik, mint a polisztirol (PS), a polietilén (PE) vagy a polipropilén (PP) [21] [24] [25].

2.5 A 3D nyomtatáshoz használatos szoftver ismertetése és lehetőségei

2.5.1 A PrusaSlicer szeletelő szoftver története

A PrusaSlicer szeletelő 3D nyomtatáshoz használatos szoftver. 2011-ben született meg a Slic3r projekt az egyre nagyobb teret kapó 3D nyomtatás miatt. A Slic3r-t, Alessandro Ranellucci (1985 -) szoftverfejlesztő alkotta meg. Mikor Josef Průša (1990 -) szeletelő szoftvert keresett az általa tervezett „Original Prusa" nyomtatójához, a Slic3r-t választotta. Ez egy nyílt forráskódú szoftver, ami hatékony és közkedvelt volt a felhasználók körében. 2016 novemberétől folyamatosan fejlesztették, mígnem 2019-ben PrusaSlicer 2.0 néven elindult a ma is használatos szoftvercsomag, így a Prusa kivált a Slic3r csapatból és önállóan működik. Manapság széles-körben használják. Egyik nagy előnye, hogy nem csak a Prusa gyártmányú nyomtatókkal kommunikál, hanem más márkájú 3D nyomtatókkal is [26].

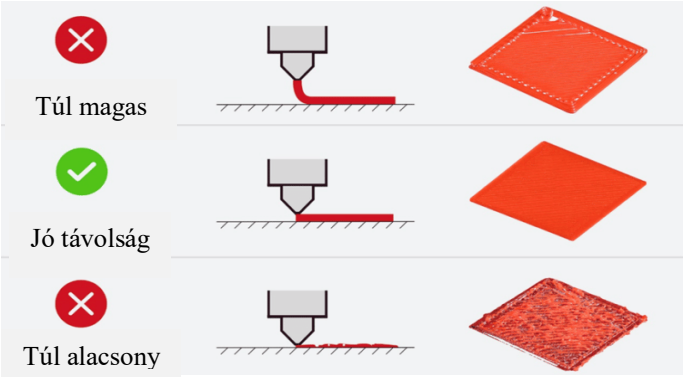
A PrusaSlicer számos lehetőséget kínál a nyomtatási minőség javítására. A fontosabb funkciókat a továbbiakban részletesen bemutatom.

2.5.2 Első réteg (first layer)

Az első réteg, (first layer) a legelső réteg, amit a fúvóka a tárgyasztalra épít. Ennek minősége meghatározza a kész munkadarab minőségét, hiszen a többi réteg erre a rétegre fog épülni [27].

Az első réteg építésében a PrusaSlicer-ben állítható a réteg magassága (alap: 0,16 mm), a nyomtatási sebesség, valamint, az első réteg és a többi réteg nyomtatási hőmérséklete a tárgyasztalra és a fúvókára egyaránt. A megnövelt réteg és hőmérséklet segít a jobb tapadásban. A minőségében közrejátszó további tényezők lehetnek: tapadófelület (ágy) típusa, minősége, fúvóka hőmérséklete, ágy hőmérséklete, fúvóka és ágy távolsága egymástól [14] [15] [17].

Az alábbi ábrán látható (**2.5. ábra**), hogy hogyan néz ki a jól és a rosszul beállított fúvóka-tárgyasztal távolsága és a jó beállításokkal nyomtatott első réteg:

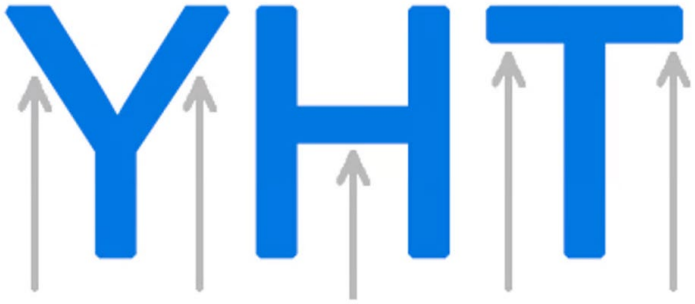


2.5. ábra: Tárgyasztal-fúvóka pozíciója és a kinyomtatott első rétegek (jó/rossz példa) *[16]*

A cél mindig a jó első réteg elérése, mert így lehet a veszteségeket minimalizálni és folyamatosan jó termékeket előállítani. Mindez a fúvóka típusától is függ [23].

2.5.3 A támaszanyag (support)

A támaszanyag (support) olyan esetekben szükséges, amikor túllógás található egy nyomtatott objektumon. Mivel az FDM technológia esetében rétegről-rétegre történik a modell felépítése, ezért egy bizonyos fokban lévő túllógás esetén (> 45°) alátámasztás, vagyis támaszanyag szükséges. Ha nem lenne támaszanyag, akkor a „levegőbe” nyomtatna a nyomtató, tehát ki sem tudnánk nyomtatni az alkatrészünket [3] [6].



2.6. ábra: A túllógás és híd klasszikus példája *[6]*

Jól szemlélteti a fenti ábra (**2.6. ábra**), hogy mely esetekben szükséges támaszanyag: az „Y” esetében nem szükséges support, ugyanis kisebb, mint 45° a túllógás. A „H” és „T” betűk esetében viszont szükség van supportra a nyomtatáshoz.

2.7. ábra: Support nélküli "Y", és supporttal nyomtatott „H” és "T" betűk *[28]*

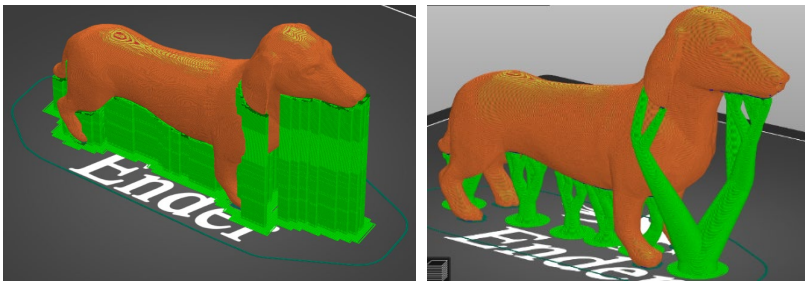
Ahogyan a fenti ábrán látható (**2.7. ábra**) és az előbbiekben ismertettem, az „Y” esetében a túllógás kisebb, mint 45°, így szabadon nyomtatható. A „T” és „H” betűk esetében a képen látható módon készül el a támaszték, ami a nyomtatás után jellemzően könnyedén eltávolítható.

A PrusaSlicer szoftverben számos megoldási lehetőség van a támasztékok beállítására. Fontos, hogy a támaszanyag használatával mind a nyomtatási idő, mind pedig a nyomtatáshoz szükséges anyag mennyisége növekszik és a támaszanyag hulladékként szolgál a nyomtatást követően.

A PrusaSlicer support-lehetőséget kínál számunkra a nyomtatás előkészítése során, amennyiben túllógó kerületet észlel a kinyomtatott modellen. A szoftver jelöli a túllógó kerületeket **kék színnel,** így jól érzékelhető módon figyelmeztet bennünket, hogy a nyomtatni kívánt modell alátámasztás nélkül nem kinyomtatható. A szoftver kétféle típusú alátámasztási lehetőséget kínál: „Háló" típusú-, illetve „Organikus"- támaszték.

A Háló-típusú támaszték

Alapértelmezett támasztékként a PrusaSlicer a „Háló" típusú támasztékot állítja be, amennyiben aktiváljuk a nyomtatás előkészítésekor, hogy támaszanyaggal nyomtassuk ki a modellt. A **2.8. ábra** látható modell ezen a linken keresztül tölthető le: [10].



2.8. ábra: Háló-típusú támaszanyag (balra) és Organikus (jobbra) a PrusaSlicer szoftverben*[37]*

A fenti ábrán jól látszik, a program zöld színnel jelöli a támaszanyag rétegeit, így szemrevételezhető a modell nyomtatás előtt. A **2.8. ábra** jól látszik a különbség a Háló és Organikus támasztékok között. Mindkét típus előnye és hátránya az adott modelltől függ.

A Háló típus előnye, hogy széles területen aládolgozza a támasztékot a szoftver a szeletelés során. Ideális nagy felületek alátámasztásakor, főleg, ha formás modellt nyomtatunk, mint ez a kutya. Hátránya, hogy a nyomtatási idő és az anyagfelhasználás megnövekszik, a többletanyag pedig veszteségként jelentkezik. Eltávolítása nehézkes lehet a részletes felületek körül [6].

„Organikus" támaszték (Tree support)

Az „Organikus" támaszték egy új funkció a PrusaSlicer-ben, ami a Cura népszerű szeletelőben lévő „Tree" (fa) támaszték-típushoz hasonló. Ez a típusú támaszték csak meghatározott pontokon érinti a modell egyes felületeit [6].

Az organikus támaszanyag kiváló, ha több ponton, szabálytalannak tűnő kilógások is vannak a modellen, ahogyan a fenti **2.8. ábra** is látható.

Az organikus támaszték egyik legnagyobb előnye, hogy könnyedén eltávolítható a modell körül, továbbá nem roncsolja nagymértékben a nyomat felületét, szemben a „Háló"-típusú támasztékkal. Azonban fontos szem előtt tartani, hogy nem lapos túlnyúlások esetében alkalmazható. Lapos, nagy felületű túlnyúlásoknál nem nyújt kellő mértékű stabilitást, akkor a „Háló"-típus előnyösebb [6].

3 Anyag és forma

Ebben a fejezetben be szeretném mutatni, hogy milyen technikai háttérrel kell rendelkezni egy esetleges 3D nyomtatással foglalkozó vállalkozás indításához.

3.1 A vállalkozás indításának feltételei, technikai háttere

A technikai oldalát tekintve, voltaképpen egy 3D nyomtató önmagában képes ezt az igényt kielégíteni, azonban vannak olyan alapszintű fejlesztési lehetőségek / kiegészítők, amik csekély összegért ugyan, de jelentősen növelhetik a hatékonyságot.

Vizsgálataim során az előállítandó termékek igényének felmérése, a modellek tervezése és előállítása mellett az egyes tartozékok ráfordításait is bemutatom. Ezen költségek forrásai:

a) A nyomtató beszerzési ára,

b) A nyomtató nyomtatási minőségét javító kiegészítő alkatrészek bemutatása, költségek,

c) A nyomtatott tárgyak előállítási költségei.

Ezen három fő csoportba soroltam a költségeket, amelyeket a továbbiakban részletesen ismertetni és számszerűsíteni fogok.

3.1.1 Az FDM nyomtató és tartozékai

Ebben a részfejezetben be szeretném mutatni, hogy milyen nyomtatóval végeztem a vizsgálataimat, valamint ahhoz milyen beszerezhető tartozékok érhetők el.

A nyomtató beszerzési ára

A nyomtató, amit vásároltam, egy Creality Ender 3, ami egy alap-típusnak számít a piacon (**3.1. ábra**). A nyomtatót 2022. 06. 28.-án vásároltam az Alza.hu oldalról. A nyomtató **54.590 HUF** -ba került. A teljes beszerzési ára: **55.780 HUF** volt szállítási költséggel.

3.1. ábra: A saját Creality Ender 3 FDM nyomtatóm *[36]*

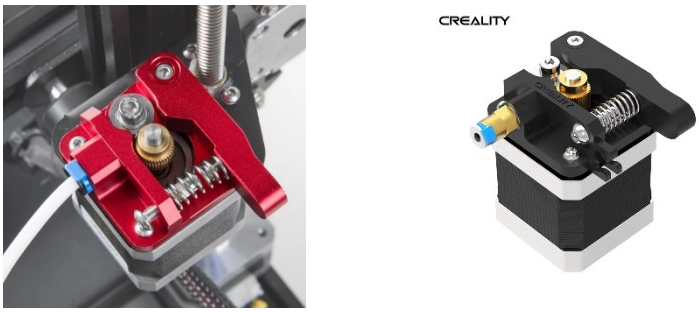
A tesztek nyomtatásához a saját Creality Ender 3 nyomtatómat fogom használni a vizsgálataim bemutatása során.

A nyomtatási minőséget javító kiegészítők ismertetése és beszerzési árai

Számos olyan alkatrész, egyéb kiegészítő kapható a piacon, amely hozzájárul a jobb nyomtatási minőséghez. Én magam is vásároltam néhány kiegészítőt erre a célra. A kiegészítőket az alábbiakban ismertetem.

- **Fém extruder**

A fém-extruder lényege, hogy sokkal jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik, mint a gyári, műanyag extruder, így hosszabb élettartamú, valamint a filament megvezetését, így a nyomtató anyaghoz jutását („etetését") is jobban elősegíti. Az alábbi ábrán a fém és műanyag extruderek láthatók (**3.2. ábra**):

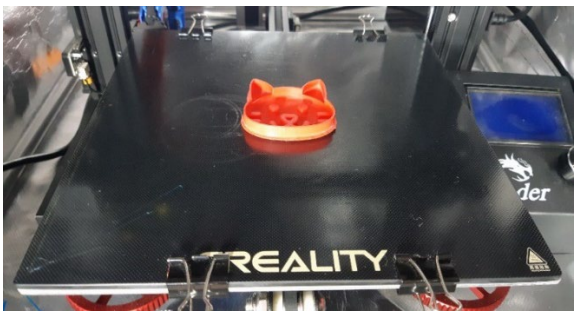


3.2. ábra: Creality Ender 3 fém-extruder balra, gyári, műanyag extruder jobbra *[29] [30]*

A fém extrudert a 3DJake.hu-ról rendeltem, 2023. 01. 17.-én, **5.200 HUF**-ért. A szállítási költség **1.600 HUF** volt, így az extruder teljes beszerzési ára **6.800 HUF**-ba került számomra.

- **Üveglap nyomtató-felület**

Az üveglapra történő nyomtatás sokkal szebb felületet eredményez a letapadó, első réteg szempontjából, továbbá stabil fűtést biztosít, ezzel a letapadást jobban elősegíti a hagyományos nyomtatóágyakhoz képest. Valamint a nyomtatott tárgy vetemedését (feljövetelét a tárgyasztalról) jobban megakadályozza. Az alábbi ábrán látható a vásárolt üveglap (**3.3. ábra**):



3.3. ábra: A vásárolt Creality Carborundum üveglap *[36]*

Az üveglapot (Carborundum üveglap) a 3DJake.hu-ról rendeltem, 2022. 09. 02.-án, **11.130 HUF** -ért, a szállítási költség pedig **0 HUF** volt. Tehát a teljes beszerzési ára **11.130 HUF**-ba került.

- **Szintező készlet**

A szintező készlet (leveling kit) fontos tartozéka a fejlesztéseimnek, ugyanis a gyári rugók gyorsan veszítenek előfeszítési képességükből és a tárgyasztal magassága elállítódik. Ennek megakadályozásában segít a fém beállító kerék és a jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkező (narancssárga) rugók. Az alábbi ábrán látható a szintező kerék és rugó (**3.4. ábra**).

3.4. ábra: Tárgyasztal-szintező fejlesztő készlet *[31]*

A szettet a 3DJake.hu-ról vásároltam, 2022. 11. 28.-án, **4.069 HUF**-ért, valamint a szállítási költség **1.600 HUF** volt, így a teljes beszerzési ára **5.669 HUF** -ba került.

- **Creality hőálló nyomtatóház**

Fontosnak tartom a biztonságot és az energiamegtakarítást. Ebben segít a nyomtatóház, ami egy tűzálló, szigetelt textil-anyag, amit a nyomtató köré épített fém-szerkezetre kell ráhúzni, ezáltal elszeparálja a nyomtatót a külső környezettől. Ezt mutatja be a **3.5. ábra**.

3.5. ábra: Creality Ender 3 tűzálló nyomtatóház *[36]*

A házat a **creality3dofficial.eu** oldalról rendeltem, 2023. 04. 21.-én, **€59**-ért (23.612 HUF), a szállítási költség **0 HUF** volt, így a nyomtatóház beszerzési ára **23.612 HUF** volt.

A nyomtató és tartozékokból / kiegészítőkből származó ráfordításokat és a ráfordítások összes költségét (nem számítva a filament költségeket és a méréshez használni kívánt fogyasztásmérőt) az alábbi táblázatba foglaltam össze (3. táblázat):

3. táblázat: Az eddigi ráfordításaim a nyomtatóra és fejlesztésére leszűkítve *[39]*

Megnevezés	A termék ára [HUF]	Szállítási költség [HUF]	Beszerzési ár összesen [HUF]
Creality Ender 3 FDM nyomtató	54 590	1 190	55 780
Fém extruder	5 200	1 600	6 800
Carborundum üveglap	11 130	0	11 130
Szintező készlet	4 069	1 600	5 669
Creality hőálló nyomtatóház	23 612	0	23 612
Ráfordítások összesen [HUF]			**102 991**

Jól szemlélteti a **3. táblázat**, hogy eddig **kizárólag a nyomtatóra történő költéseim** mindösszesen **102. 991 HUF** volt, amelybe a filament költségét, valamint a fogyasztásmérő műszert nem számítottam bele.

A nyomtatott tárgyak előállítási költségének megvalósítása

A nyomtatott tárgyak tejes előállítási költsége az alábbi részköltségekből tevődik össze:

- Filament (alapanyag) költsége (HUF/m vagy HUF/g),
- Felhasznált villamos-energia (HUF/kWh),

Vizsgálataim során az előzetesen (vásárlói érdeklődés) felmért tárgyak nyomtatási idejét, a felhasznált filament mennyiségét (méter és gramm), valamint az előállításukhoz szükséges villamos energiát mértem és számszerűsítettem költségekre.

A felhasznált filament mennyiségét (HUF/m és HUF/g), valamint a nyomtatási időt a PrusaSlicer szeletelő szoftver meghatározta, így azokat nem volt szükséges mérnem.

A felhasznált villamos-energia esetében egy **ORNO OR-WAT-419 (GS)** hálózati fogyasztásmérőt használtam (**3.6. ábra**).

3.6. ábra: ORNO OR-WAT-419 (GS) hálózati fogyasztásmérő *[36]*

A fogyasztásmérőn előzetesen be lehet állítani a villamos-energia költségét (kWh) €-ban, majd a fogyasztásmérő a beállított érték függvényében méri a teljes elfogyasztott villamos-energiát és számszerűsíti is ezt költséggé. Továbbá kiírja az aktuális teljesítményt (Watt) és a villamos feszültséget (Volt).

3.1.2 A nyomtatáshoz használt 3D tervező program

Az összes prototípus-modell és javított modellek nyomtatása során az Autodesk Fusion 360 3D tervező szoftvert használtam, amely nagymértékben hasonlít az ipari környezetben használt Autodesk Inventorhoz. A két program hasonló vonásai miatt (letisztultság, parancsok, környezet) döntöttem a Fusion 360 mellett, így egy viszonylag ismert környezetben dolgozhattam.

Az Autodesk hivatalos oldalán megtalálható, hogy a szoftvert teljes mértékben ingyenesen használhatja az az újonnan induló cég, amely az alábbi feltételeknek meg kell, hogy feleljen:

- Tíz vagy attól kevesebb foglalkoztatott alkalmazott,
- Vállalkozás éves összbevétele nem haladja meg a 100.000 USD-t (~33.370.500 HUF).

A license egy évre vehető igénybe, megújítására van lehetőség. [32].

3.1.3 A modellek nyomtatását előkészítő szeletelő program

Az általam tervezni kívánt és piackutatás során felmérés segítségével kiválasztott modellek nyomtatásában a PrusaSlicer szeletelő szoftver volt segítségemre, amely teljes mértékben nyílt forráskódú, tehát **legálisan alkalmazható bárki számára, teljesen ingyenesen.**

A PrusaSlicer folyamatosan fejlesztés alatt álló szoftver, rengeteg új funkcióval, így állandó fejlődés valósítható meg, egyre bonyolultabb nyomatokat is képes kinyomtatni, ugyanis nem csak a nyomtatótól függ a jó minőségű nyomtatási eredmény, hanem a szoftvertől is nagymértékben függ a minőség. Vizsgálataim során a **PrusaSlicer 2.6.0-alpha2 + win64** verziót használtam [33].

3.2 A termékek előállítása és értékelésének felépítése

A 3D nyomtatóval való vállalkozás elkezdéséhez szeretnék megbizonyosodni, hogy ténylegesen van érdeklődés, ugyanakkor fontos, hogy a termékek előállításához olyan szoftvert használjak, ami rugalmasan alkalmazkodik az igényekhez, rugalmasan lehet benne tervezni.

Az alábbi felsorolás szerint építettem fel a vállalkozás megkezdésének lépéseit:

1. Piackutatást végzek három területen (előre gyártott prototípus modellekkel): medálok, viselhető díszek (10 db), süteménynyomók (10 db), karácsonyfa-díszek (10 db).
2. A piackutatás eredménye alapján a három terület 5-5-5 db legtöbb szavazatot kapó modelljének újbóli nyomtatása: zárt kamrában nyomtatás, nyitott térben nyomtatás.
3. Zárt kamrában nyomtatott-, és prototípus modellek összehasonlítása javítási pontok.
4. Zárt kamrában nyomtatott modellek és szabadon nyomtatott modellek összehasonlítása: nyomtatáshoz felhasznált energia [kWh]; nyomtatáshoz felhasznált energia költsége [HUF/kWh], nyomtatott tárgyak minőségbeli összehasonlítása (fotók alapján).
5. Értékelés a vállalkozás tényleges elkezdéséhez (megéri-e vállalkozni?).

3.3 A prototípus modellek nyomtatása

A prototípus modellek nyomtatása során megmaradt PLA filamentet használtam, amivel a piackutatáshoz felhasználni kívánt modelleket nyomtattam ki. Kifejezetten nem volt funkciójuk, felhasználásuk oka az volt, hogy a kék PLA (Gembird – kék PLA) esetében majdnem 1 éves anyagról van szó, így mindenképpen fel szerettem volna használni. A zöld PLA-t (3DJake – zöld) a kék anyag elfogyása miatt választottam.

A prototípus nyomatok eseteiben az alábbi szempontok voltak fontosak számomra a tervezés során:

- nyomtatás minél kevesebb anyag felhasználásával,
- megfelelő tapadási felület kialakítása a tárgyasztalon,
- függő geometria (akasztó) kialakítása - medálok és karácsonyfadíszek esetén.

3.3.1 Nyomtatás kevés anyagfelhasználással

Ebben az esetben a modellek tervezése során azt szerettem volna elérni, hogy a nyomtatáshoz minél kevesebb hulladékanyag kerüljön felhasználásra. Ezen hulladékanyagok:

- támaszanyagok (support),
- tapadást segítő tutaj (brim) vagy karima / szoknya,
- kevés kitöltés (infill).

Minden modellt úgy terveztem meg, hogy egyáltalán ne kelljen a kinyomtatásukhoz **támaszanyag**, így olcsóbbá és hatékonyabbá téve a nyomatok legyártását. Hiszen teljesen felesleges support-ot létrehozni, ha az elkészült modell esetében az *veszteségként szolgál.* Továbbá a nyomtatási időt is növeli, ezáltal a felhasznált villamos-energiát is.

Szintén a veszteségek csökkentése érdekében nem szerettem volna **tapadást segítő tutajt / karimát** generálni a PrusaSlicer-ben, hiszen *ez a réteg is veszteségként szolgál*, továbbá a végterméken sorja keletkezik az eltávolítását követően, így jelentős utómunkát is igényelhet. A szoknya a nyomat köré készül, szerepét tekintve az anyag „kijáratásáért", felel. Mindenképp szükséges, minimális veszteségként szolgál.

A nagy és tömör modellek esetében (karácsonyfadíszek és egyes süteménynyomók), a **kitöltés**t a lehető legkisebb értékre állítottam -ésszerű határokon belül-, hiszen a *túl sűrű kitöltés* az *irreálisan sok anyagfelhasználás* mellett a *nyomtatási idő*t is növeli, ezáltal ugyancsak a *villamos-energia fogyasztása is megnövekszik*, tehát nem lesz gazdaságos.

4 Saját munka, vizsgálatok, értékelések, eredmények

Ebben a fejezetben az általam tervezett prototípus-modellek gyenge pontjait, fejlesztéseiket mutatom be. Továbbá az általam összeállított piackutatást értékeltem ki. Mindezek után a kamrában és szabadon nyomtatott modelleket hasonlítottam össze és előállításuk energiaigényét számszerűsítettem költségekké.

4.1 Piackutatásom és annak eredményei

A piackutatás során a Google Űrlap ingyenesen elérhető online kérdőíves felületet használtam, ami számos szempont alapján segítségemre volt, hogy milyen felületet adhatok a vevő elé, aki ennek segítségével tud válogatni a felkínált három témakör 10-10-10 kinyomtatott modell lehetősége közül.

4.1.1 A piackutatás elkészítése, részletei

Az Űrlap elkészítését megelőzte a prototípus modellek gyártása, leginkább a süteménynyomóknál volt fontos, ugyanis gyakran tapasztaltam, hogy az Interneten csak a nyers tésztából kivágott forma képét tették ki, a sütés utáni állapotát nem. Így, ha a forma a sütés után deformálódik, akkor nem bizonyosodunk meg arról, hogy a süteménynyomó ténylegesen jól funkcionál. Ebből adódóan a kérdőívbe a kisütött formákat és a kinyomtatott süteménynyomó modellt fotóztam le. A medálok és karácsonyfadíszek esetében fizikailag „megfogható” modellt fotóztam a „vevőknek”, nem csak egy digitális 3D modell fotóját, ezzel is érzékeltetve számukra, hogy a technológia igenis jól kivitelezhető ezen a területen is. Így mind a három területen saját készítésű fotóval tudtam kikérni a véleményüket, vagyis választásra bíztatni őket. A témaköröket úgy állítottam be, hogy csak 5-5-5 válaszlehetőséggel lehessen elmenteni a kitöltőnek a tesztet.

A kérdőívvel gyűjtött adatok:

- a kitöltő neme,
- a kitöltő életkora,
- 5-5-5 kiválasztott termék a három területről (medálok, süteménynyomók, karácsonyfadíszek).

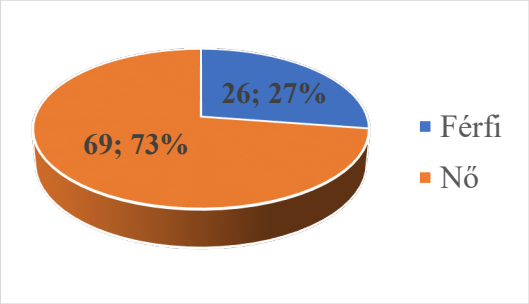
A piackutatás egyes pontjainak összeállítása során elsődleges célom az volt, hogy a „vásárló”, vagyis a szavazó egy átfogó képet kapjon a 3D nyomtatott termékekről és tényleges, fizikális képet láthasson a kinyomtatott modellekről.

4.1.2 Az elvégzett piackutatásom eredményei

A piackutatást felmérő kérdőív **2023. július 11.-től 2023. augusztus 13.-a 23:55-ig** volt kitölthető. Ez idő alatt **összesen 95 válasz** érkezett. A kérdőívvel az volt a célom, hogy „piackutatást” végezzek a 3D nyomtatással készült egyedi termékek kereslete iránt.

A válaszadók eloszlása nemek alapján

Az alábbi **4.1. ábrán** látható a szavazatok eloszlása a nemek alapján. Összesen 95-en szavaztak, ebből 69 nő és 26 férfi töltötte ki a kérdőívet.

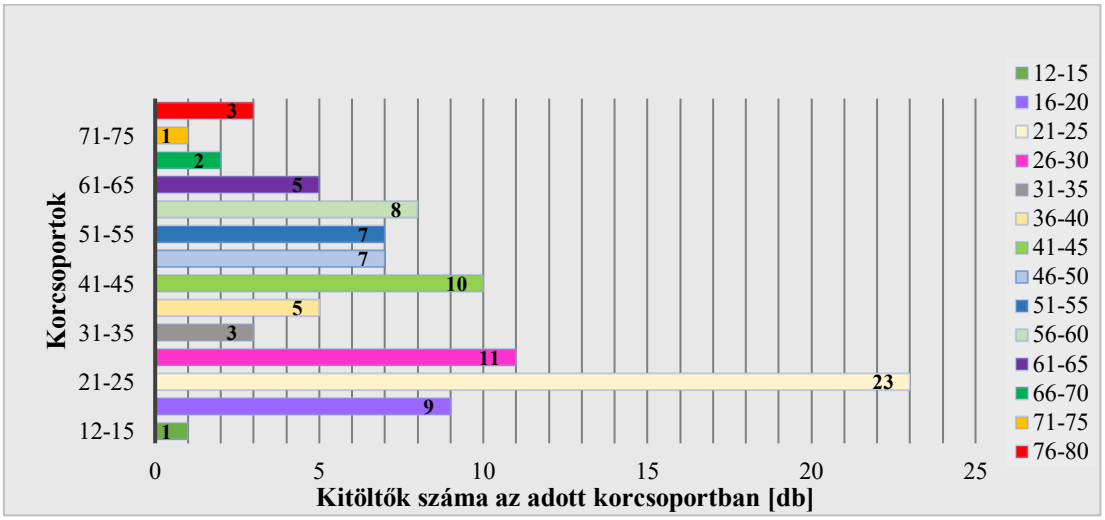


4.1. ábra: A szavazatok eloszlása nemek szerint *[40]*

A **4.1. ábra** alapján egyértelműen a hölgyek mutattak nagyobb érdeklődést a mintákkal kapcsolatban. Úgy gondolom, ha szélesebb áru-palettával rendelkezik a 3D nyomtatással foglalkozó vállalkozás, akkor a termék „műfaját” tekintve a férfi célcsoport is elérhető.

A kérdőívre válaszolók életkorának eloszlása

Az életkor eloszlását is figyelembe vettem, kíváncsi voltam, hogy a technológia jelentős mértékű közelsége a mindennapi életünkben milyen arányokban mutatkozik meg az érdeklődők körében. Ezek alapján az alábbi **4.2. ábrán** 4 éves csoport-osztásokba soroltam a válaszadókat:

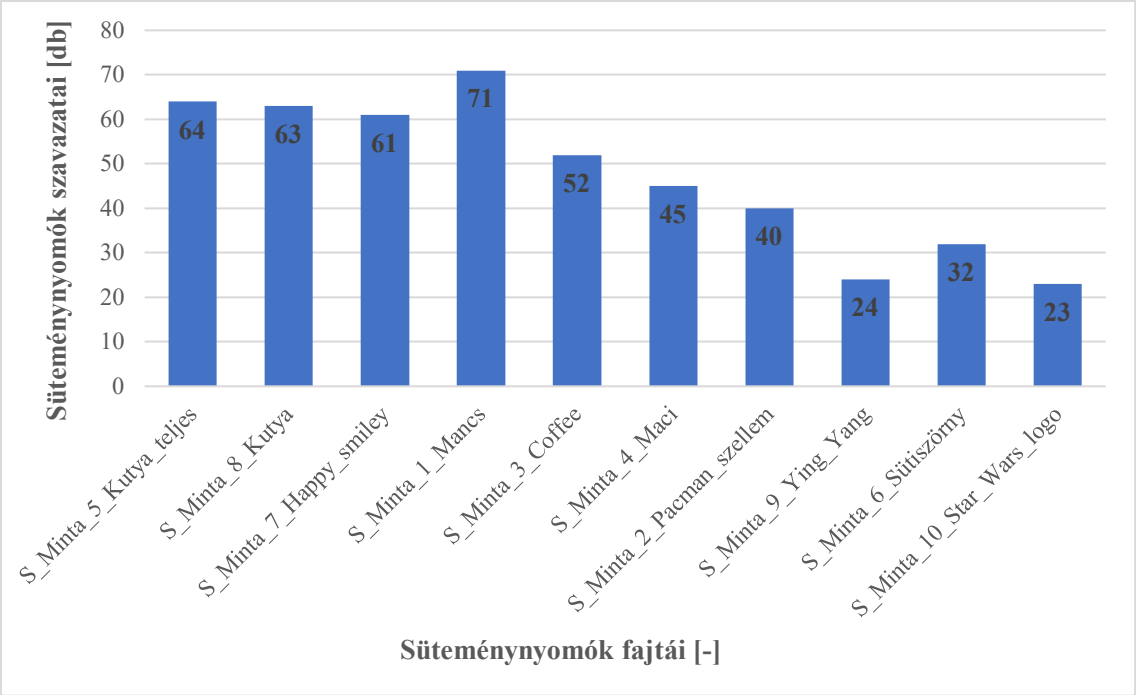


4.2. ábra: A kérdőívet kitöltők életkorai csoportokba rendezve *[40]*

A beérkezett válaszok alapján arra a megállapításra jutottam, hogy leginkább a huszonévesek érdeklődtek a termékek iránt, kisebb arányban, az idősebb generáció(k) is.

A kiválasztott süteménynyomók a válaszok alapján

A süteménynyomókat tekintve minden válaszadónak **10 mintából** kellett választania pontosan **5 mintát**. Kevesebb választlehetőséggel a kérdőív nem volt leadható. A könnyebb kiértékeléshez 1-től 10-ig számoztam be a mintákat, valamint a mintát jellemző névvel láttam el azt. A szavazatok alapján az alábbi diagram (**4.3. ábra**) mutatja a szavazatok eloszlását:



4.3. ábra: A süteménynyomókra leadott szavazatok *[40]*

A beérkezett válaszok alapján a továbbiakban az 5 legtöbb szavazatot kapó süteménynyomót készítettem el kamrában és szabadon nyomtatva, amelynek nyomtatási költségeit (anyag, energia), valamint nyomtatási minőségét hasonlítottam össze. A szavazatok alapján az 5 legtöbb szavazatot kapott süteménynyomót a **4. táblázat** tartalmazza.

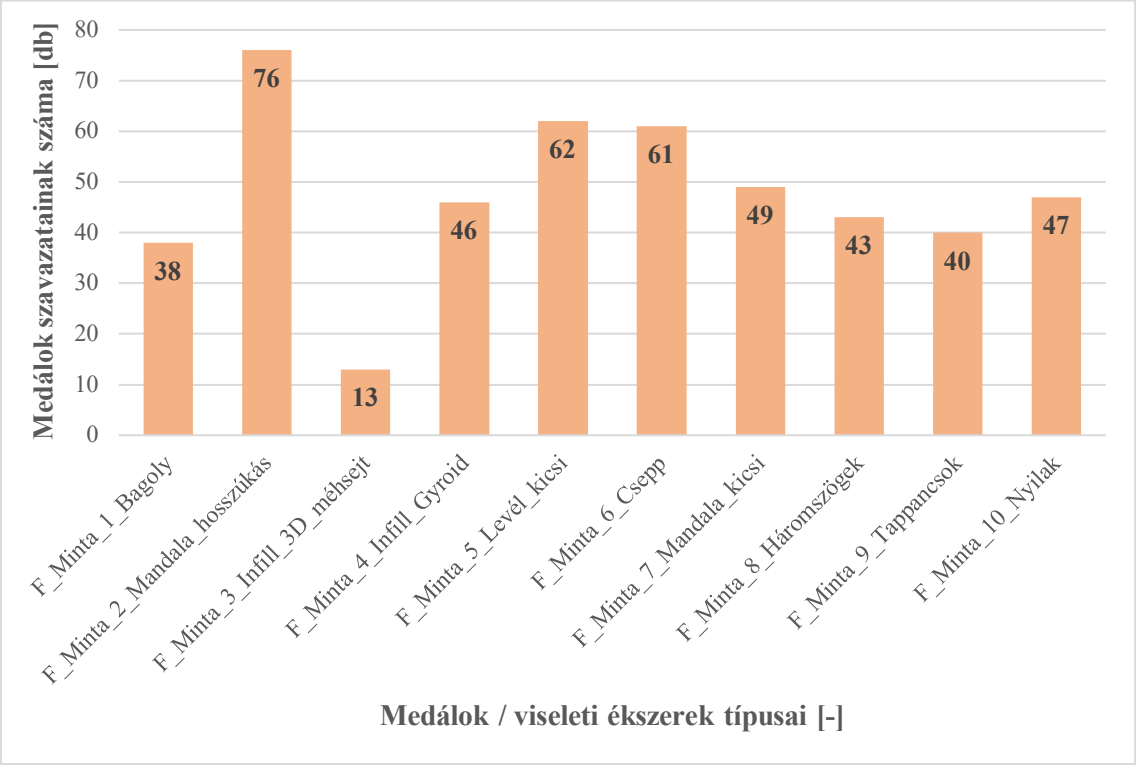
4. táblázat: Az 5 legtöbb szavazatot kapott süteménynyomó mintám *[39]*

Ssz.	Minta megnevezése	Szavazatok száma
1	S_Minta_1_Mancs	71
2	S_Minta_5_Kutya_teljes	64
3	S_Minta_8_Kutya	63
4	S_Minta_7_Happy_smiley	61
5	S_Minta_3_Coffee	52

A továbbiakban ebből az 5 süteménynyomóból kettőt részletesen be fogom mutatni a prototípustól kezdődően, egészen a kamrás-, és szabad nyomtatás összehasonlításáig, kiemelve a kialakult előállítási költségeket.

A kiválasztott medálok, ékszerek a válaszok alapján

A medálok, ékszerek esetében szintén **10 mintából** választhattak a kérdőívet kitöltők. Ugyancsak pontosan **5 mintát** kellett választaniuk a helyes válaszadáshoz. Ebben az esetben is, a könnyebb nyomon-követhetőséghez és kiértékeléshez 1-től 10-ig számoztam a modelleket, valamint egyedi névvel láttam el őket. Az alábbi diagramon (**4.4. ábra**) látható a medálokra, ékszerekre leadott szavazatok eredménye:



4.4. ábra: A medálokra, ékszerekre leadott szavazatok *[40]*

A fenti diagram (**4.4. ábra**) alapján kettő mintát a medál, ékszer csoportban lévő modellek közül a későbbi a későbbiekben részletesen értékeltem az előállítási költség, valamint a nyomtatások minősége alapján. Az 5 legtöbb szavazatot kapott modell az alábbi **5. táblázat**ban látható.

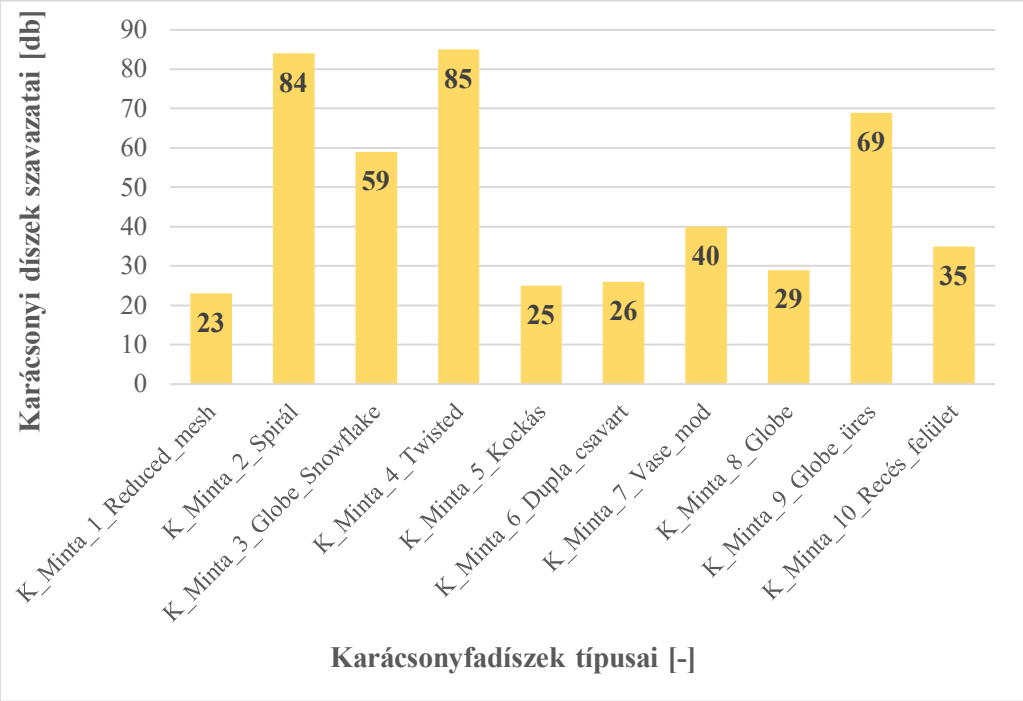
5. táblázat: Az 5 legtöbb szavazatot kapott medál / ékszer mintám *[39]*

Ssz.	Minta megnevezése	Szavazatok száma
1	F_Minta_2_Mandala_hosszúkás	76
2	F_Minta_5_Levél_kicsi	62
3	F_Minta_6_Csepp	61
4	F_Minta_7_Mandala_kicsi	49
5	F_Minta_10_Nyilak	47

Az összes medál, ékszer közül, meglepő módon a kisebb modellek voltak népszerűek. Szerencsére ezek előállítási ideje kevesebb, anyagfelhasználásuk alacsony, mégis dekoratívak.

A válaszadók által kiválasztott karácsonyfadíszek

A karácsonyfadíszek csoportjának esetében, mint az előző két vizsgált terület szerint, itt is **10 darab mintából** választhattak ki pontosan **5 modellt** a válaszadók. Ugyancsak, az előzőekhez hasonlóan, megszámoztam a modelleket, valamint egyedi névvel láttam el azokat a könnyebb azonosíthatóság kedvéért. Az alábbi oszlopdiagramon (**4.5. ábra**) a karácsonyfadíszekre érkezett szavazatok láthatók.



4.5. ábra: A karácsonyfadíszekre érkezett szavazatok *[40]*

Akárcsak a süteménynyomóknál, a karácsonyfadíszeknél is egyhangúnak bizonyult a szavazás, némelyik modell jelentősen több szavazatot kapott a másiknál. A további fejezetekben a karácsonyfadíszeket tekintve szintén a prototípusmodellek bemutatása mellett a már módosított kamrás nyomtatásokat összehasonlítom a szabadon nyomtatott ugyanezen modellekkel, ahol az előállítási költséget (anyag, energia), valamint a nyomtatás minőségét fogom részletesen elemezni. Az 5 legtöbb szavazatot kapott modellt a **6. táblázat** mutatja.

6. táblázat: Az 5 legtöbb szavazatot kapott karácsonyi dísz *[39]*

Ssz.	Minta megnevezése	Szavazatok száma
1	K_Minta_4_Twisted	85
2	K_Minta_2_Spirál	84
3	K_Minta_9_Globe_üres	69
4	K_Minta_3_Globe_Snowflake	59
5	K_Minta_7_Vase_mod	40

A karácsonyfadíszek közül leginkább a csavart, és különlegese modellek voltak népszerűek.

4.2 Piackutatási eredményeim, a kiválasztott modellek újra nyomtatása

A piackutatásra készített prototípus modelleket néhány téren fejlesztésnek, módosításnak vetettem alá, azért, hogy könnyebben nyomtatható legyen, vagy éppen gazdaságosabb nyomat valósulhasson meg (kevesebb anyagfelhasználás). Így, tehát elsőként a kamrában nyomtatott, már javított modelleket hasonlítom össze a prototípus modellekkel, ahol részletesen bemutatom az egyes módosítások pontjait.

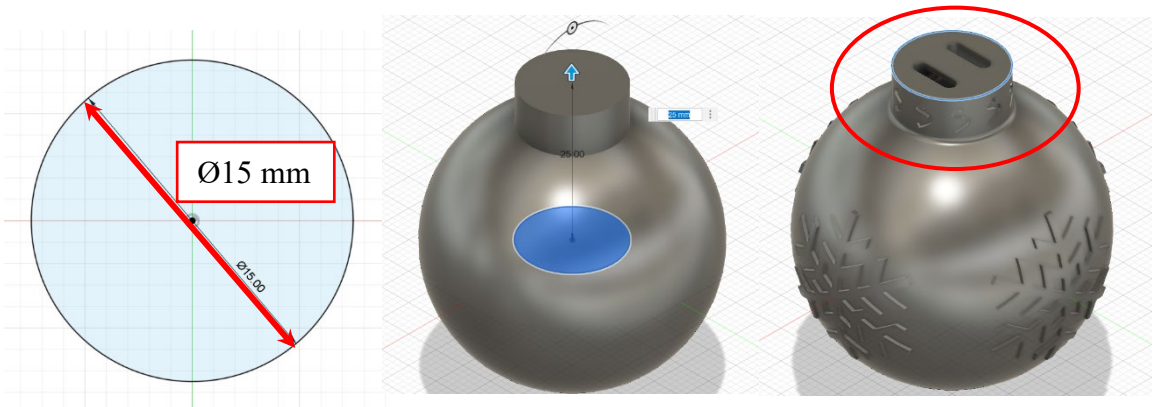
4.2.1 Módosításaim a prototípus modelleken

Ebben a részfejezetben a prototípus modelleken végzett áttervezéseket mutatom be. Ezeket a módosításokat indokolni is fogom. Kizárólag megjelenésüket, funkciójukat tekintve végeztem összehasonlítást a jobb nyomtatás elérése érdekében.

Az összehasonlítás során a prototípus modelleket a kamrás nyomatokkal hasonlítottam össze. **A kamrában nyomtatott modellek és a szabadon (kamra nélkül) nyomtatott modellek teljesen megegyeznek, a prototípusok módosítását követően mindkét nyomat ugyanazon G-kód alapján került kinyomtatásra**, így még a tárgyasztalra való építése is pontosan ugyanazon a helyen valósult meg.

A „15-ös szabály” bevezetése

A 15-ös szabály azt jelenti, hogy a térbeli nyomtatások esetén (gömb, alakos dísz stb.) minimálisan Ø 15 mm-es tapadási felületet alakítottam ki, ezáltal egy gömb alakú tárgy nem lett teljesen gömb, hanem a talpán vagy a tetején lett egy síkfelület (min. Ø15 mm).

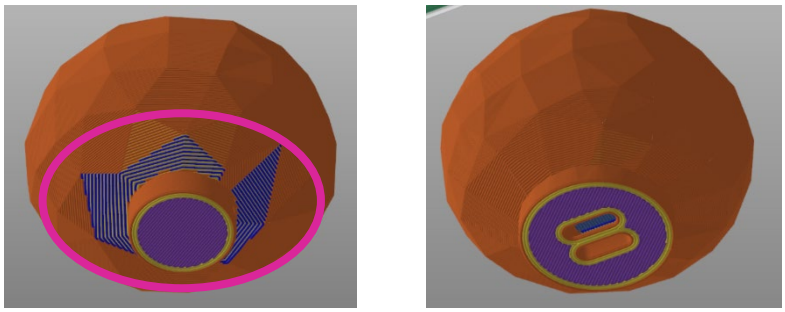


4.6. ábra: A "15-ös szabály" kialakítása *[38]*

Ez tapasztalati érték, ugyanis 15 mm alatt azt tapasztaltam, hogy nem tapad le biztonságosan az első réteg, így nem stabil a nyomtatás. 15 mm-től kezdődően minden modell sikeresen nyomtatható volt. Praktikus, mert ezzel a megoldással támaszanyag nélkül nyomtathattam ki a modelleket, így anyagot és időt spóroltam meg (**4.6. ábra)**.

Túllógások elkerülése

A túllógások elkerülésére a PrusaSlicer nyújtott segítséget, mégpedig úgy, hogy a szeletelést követően „kimutatta” azokat a felületeket, felületelemeket, amelyek x $>$ 40°-osak, ezáltal jelezve számomra, hogy az adott felület szögén javítanom kellett.



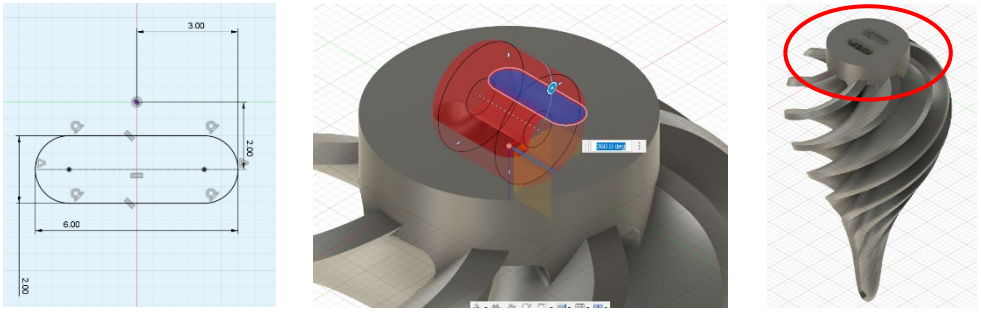
4.7. ábra: Túllógás kimutatása a szeletelő programban (balra) és javítva (jobbra) *[37]*

A PrusaSlicer kék színnel jelöli a túllógó rétegeket. Egy-egy réteg esetében nem jelent problémát, azonban a végeredmény esetében „ráncos”, nem egyenletes felületet eredményezhet, így minden esetben célszerű elkerülni a túllógásokat és korrigálni a modellen. Ezért a modell alsó felületét szélesítettem, így javítottam a mintán (**4.7. ábra**).

Szükségesnek tartom követni ezt a szabályt is, hiszen a „15-ös szabály”-val együtt a felhasznált anyagot tudtam így csökkenteni. Megjegyzem, a támaszanyag nyomtatást követően kizárólag hulladékként szolgál, így voltaképpen a hulladékképződést előztem meg.

Egységes felfűzési geometria tervezése

Az egységes felfűzés esetében egy olyan geometriát alakítottam ki, amely minden karácsonyfadísz felfűzése esetén azonos méretű, azonos pozícióban helyezkedik el, így egységesen fel lehet fűzni a díszeket. Ez praktikus, ugyanis idő takarítható meg a szalagokkal történő felfűzéshez, továbbá a modellek tervezése során is egységes kivitelezést adott.



4.8. ábra: "Tórusz-formájú" felfűzési geometria kialakítása *[38]*

Kialakításakor mindenképp egy olyan geometriát szerettem volna elérni, ami nem nehezíti a nyomtatást, tartós, valamint támaszanyag nélkül nyomtatható. Így döntöttem az ún. „Tórusz geometria” mellett. Ennek kialakítása a fenti ábrasorozaton (**4.8. ábra**) látható.

4.2.2 A süteménynyomók prototípusai és kamrás javításuk

Ebben a részfejezetben a prototípusként elkészült süteménynyomókat fogom részletesen bemutatni, a 10 választhatott modell közül kettőt. Ezen prototípus modelleket összehasonlítottam a már javított és kamrában elkészült modellekkel. Az összehasonlítások során kizárólag a fejlesztési pontokat vettem szemügyre.

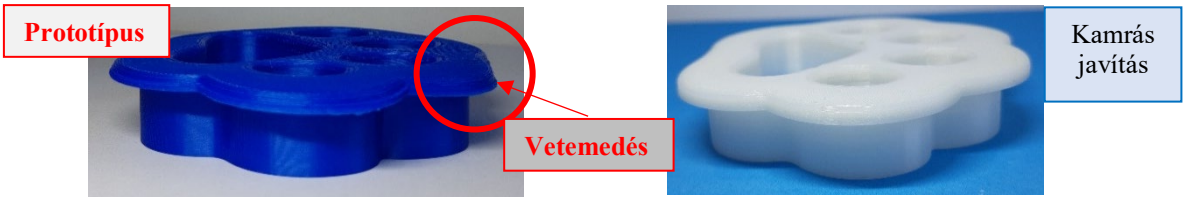
S_Minta_1_Mancs süteménynyomó javítások

A piackutatás során az **S_Minta_1_Mancs** végzett az első helyen **71 szavazattal**. A felmérés során bemutatott képeknél a süteménynyomóknál a sütés utáni tészta látható, ezzel is a deformálódást (vagy annak hiányát) szerettem volna bemutatni. Az **S_Minta_1_Mancs** jól vizsgázott, a tészta nem ragadt bele szaggatás közben, így a geometriáján nem kellett változtatnom a prototípus-modellnek.

Az alábbi összehasonlító ábrán (**4.9. ábra**) látható a függőleges vonalak megjelenése (pirossal bekarikázott rész), amely arra utal, hogy nem tapadt le kellően az első réteg a kék anyag esetében. Ezt okozhatta az, hogy közel 1 éves, bontott anyagot használtam.

4.9. ábra: S_Minta_1_Mancs hibák és fejlesztések *[36]*

Az alábbi **4.10. ábra** oldalnézetben látható a két nyomat, ahol jól látszik, hogy a prototípus anyag esetében vetemedés tapasztalható, a rétegek feljöttek a tárgyasztalról.



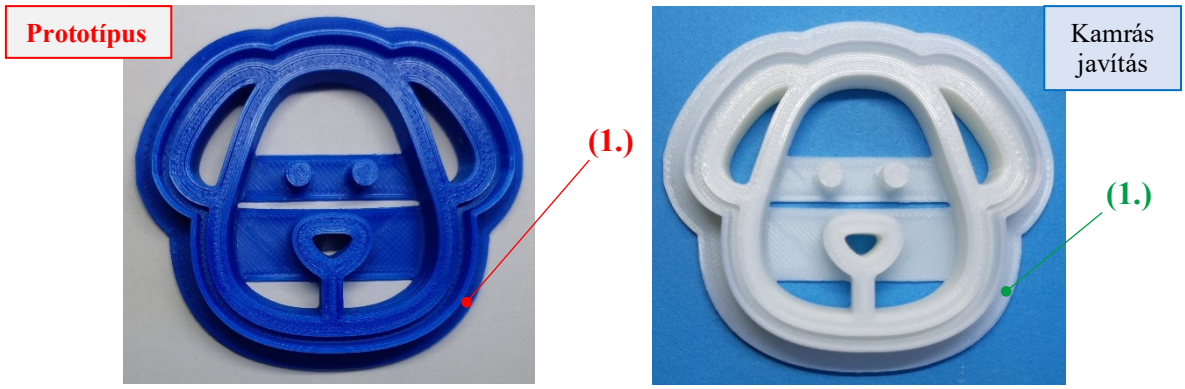
4.10. ábra: S_Minta_1_Mancs_oldalnézeti összehasonlítása *[36]*

Összességében a mintán nem változtattam, a kamrás és majdani szabadon nyomtatott modellek teljesen megegyeznek. Azonban egy ponton fejlesztettem a prototípus modellen, mégpedig a fogó-felületet növeltem, így 1 mm-rel szélesebb lett. A fogás összesen 6 mm-es felületű lett. Ezzel a vetemedést (feljövetel a tárgyasztalról) elkerültem és a kamrában nyomtatott modellen látható is, hogy tökéletes lett a nyomat.

S_Minta_8_Kutya süteménynyomó javítások

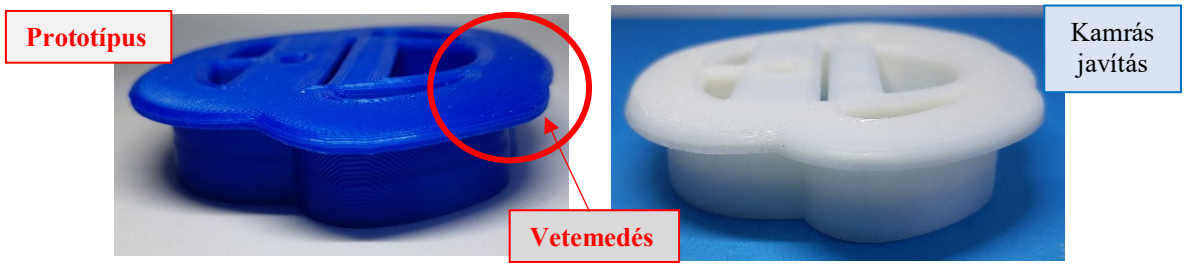
A dobogóra harmadikként felférő **S_Minta_8_Kutya 63 szavazatot kapott a résztvevőktől**. Ez a minta egy kutyus fejét ábrázolja, így célszerű volt a hasonló minták más névvel való ellátása. A tésztaszaggatás során probléma csak a kutyus fülénél adódott, ugyanis, ha túl vastag tésztát préseltem át a nyomón, a füle túlzottan beleragadt a mintába. Ez orvosolható volt, ha a szaggatás során a tésztát még vékonyabbra nyújtottam.

Az alábbi ábrán **(4.11. ábra)** a prototípus modell (kék nyomat) és a kamrás mintaanyaggal nyomtatott, már javított modellje látható.



4.11. ábra: S_Minta_8_Kutya prototípus modellje és kamrás javítása *[36]*

A fenti ábra összehasonlítást tekintve egyetlen eltérést mutat, mégpedig a fogófelület kiszélesítését (1.). Ennek oka oldalnézetben az alábbi ábrán (**4.12. ábra**) látható, ahol jól kivehető, hogy a prototípus modell esetében észrevehető vetemedés (feljövetel a tárgyasztalról) látható. Ennek oka ugyancsak az egy éves mintaanyag nedvességtartalma lehetséges, azonban úgy véltem, hogy a biztonságos nyomtatáshoz szükséges a külső fogófelület kerületét 1 mm-rel megnövelni.



4.12. ábra: S_Minta_8_Kutya oldalnézetben, a fejlesztések bemutatása *[36]*

A fentieket összegezve, a prototípus modellen kizárólag a fogó-felületet szélesítettem ki 1 mm-rel, így 6 mm lett a fogása, akárcsak a többi süteménynyomón, egységesítettem (standardizáltam) ezt az értéket.

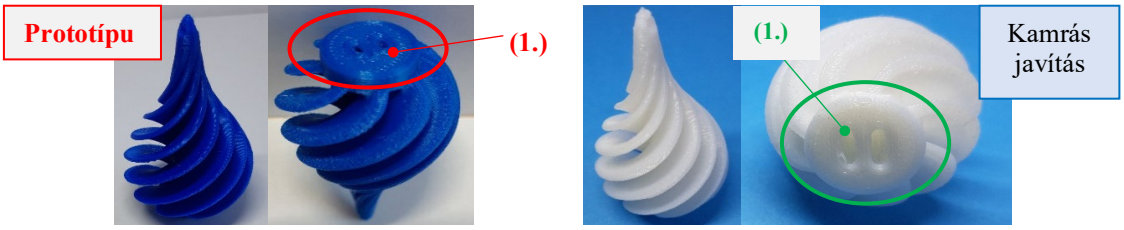
4.2.3 Karácsonyi díszek prototípus modelljei és javításuk

Ebben a részfejezetben két karácsonyi dísz prototípusát és kamrás javítását mutatom be. A prototípus modelleket javítási pontok alapján összehasonlítom a kamrás, javított modellekkel.

K_Minta_2_Spirál karácsonyfadísz prototípus modellje és fejlesztése

A dobogó második helyén a **K_Minta_2_Spirál** karácsonyfadísz foglal helyet, mégpedig **84 szavazattal.** Egy rendkívül egyszerű modellről van szó, amely kevés anyagfelhasználással nyomtatható. Az alábbi ábrán (**4.13. ábra**) a prototípus modell és a módosított verzió látható.

A modell a könnyebb felfűzéshez nagyobb felfűzési hézagot kapott (1.), amelyet az ún. „Tórusz-geometria" kialakításával értem el és standardizáltam minden hasonló modellen.



4.13. ábra: K_Minta_2_Spirál dísz prototípusa és fejlesztése *[36]*

Összességében a modell alsó „Tórusz-geometriáját" módosítottam (1.) az egyszerűbb felfűzés kedvéért. A 15 mm-es alsó tapadási kör átmérője elegendő volt a sikeres nyomtatáshoz.

K_Minta_3_Globe_Snowflake karácsonyfadísz prototípusa és fejlesztése

A negyedik helyet a **K_Minta_3_Globe_Snowflake** karácsonyfadísz foglalja el, amely **összesen 59 szavazatot kapott** a piackutatás során. A legpontosabb modell, hiszen ezen típus kialakításával lehetett csak a tökéletesen teljes gömböt kinyomtatnom. Ennek megoldása a fejjel lefelé nyomtatás volt, tehát a gömb alját nyomtattam ki utoljára. A prototípus modell és a javított, kamrás nyomtatás az alábbi ábrán láthatók (**4.14. ábra**).

4.14. ábra: K_Minta_3_Globe_Snowflake dísz prototípusa és javított nyomata *[36]*

A **4.14. ábra** a prototípus modell bekarikázott teteje Ø12 mm-es, sajnos részben a modell elmozdult a tárgyasztalról. Ezt Ø15 mm-re módosítottam, így stabil nyomtatást kaptam a kamrás nyomatnál. Ezért is döntöttem a „15-ös szabály" mellett, amelyet a „**4.2.1.1 A „15-ös szabály" bevezetése**" fejezetben részletesen bemutattam. **Összességében** a modell tapadási felületét módosítottam a stabilabb nyomtatáshoz.

4.3 Az összehasonlító vizsgálatomhoz használt filament bemutatása

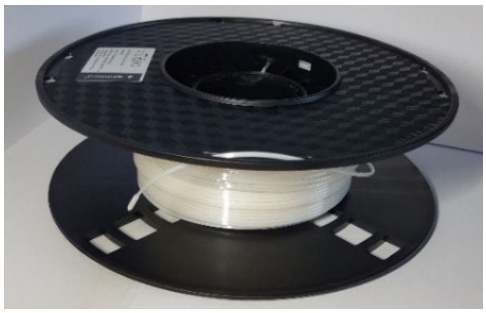
A prototípus modellek elkészítése után a kamrában és szabadon nyomtatott (már javított) modellekhez az alább ismertetett filamentet használtam (**7. táblázat**):

7. táblázat: A tesztek során használt PLA *[39]*

Filament márkája	Gembird
Filament anyaga	PLA
Filament színe	Natural (fehér)
Vásárolt mennyiség [g]	1000
Filament kereskedelmi ára [Ft] (2022. 06.)	7137
Fúvóka nyomtatási hőmérséklete [°C]	207/205
Tárgyasztal nyomtatási hőmérséklete [°C]	70/65

Mindkét modellcsomag nyomtatása során a fent ismertetett, bontatlan csomagolású PLA filamentet használtam fel, így azonos anyagminőség mellett, kizárólag a nyomtatás körülményei alapján „legyártott” modelleket hasonlítottam össze és értékeltem azokat.

A **7. táblázat** elemei közül kiemelném a fúvóka-, és a tárgyasztal hőmérsékleteit. Minden esetben célszerű a legelső rétegnél (first layer) magasabb nyomtatási hőmérsékletet beállítani, így az első réteg jobban tapad a tárgyasztalhoz, ezáltal stabil nyomtatást eredményez. Az első réteg nyomtatása után a hőmérsékletek csökkenthetők, így megakadályozható a további rétegek túlzott megolvadása vagy a húrosodás. Ezért a kezdeti fúvóka hőmérsékletet 207 °C-ra állítottam, a további rétegeken 205 °C volt a fúvóka hőmérséklete. A tárgyasztal esetében PLA nyomtatásakor 70 °C-ra állítottam a legelső rétegnél, a további rétegeknél pedig 65 °C-t alkalmaztam minden modell esetében. Az alábbi **4.15. ábra** az általam használt nyomtatószál látható dobra felcsévélve:



4.15. ábra: A nyomtatásokhoz használt Gembird Natural PLA filament *[36]*

Az alkalmazott anyagon látható, hogy kissé tejszínű. Azért ezt az anyagot választottam, mert a hibák kimutatására a fehér színű anyagok a legjobbak.

4.4 Kamrában-, és szabadon nyomtatott modellek összehasonlítása

Egyik mérföldkőként azt vizsgáltam, hogy a kamrában és szabadon nyomtatott modellek energiafelhasználásai milyen eltéréseket mutattak, melyeket a későbbiekben az előállítási költségek során számszerűsítettem. Továbbá a minőségbeli eltéréseket is megvizsgáltam. A továbbiakban ezt a vizsgált területet mutatom be a piackutatás során mind a három termék-típus 5 legtöbb szavazatot kapott modelljén.

4.4.1 Az általam kinyomtatott modellek jellemzői, tulajdonságai

Mind a kamrában, mind pedig a szabadon nyomtatott modellek esetében a rétegmagasság, a filament típusa, a nyomtatási hőmérsékletek (fúvóka, tárgyasztal) azonosak voltak. Továbbá a nyomtatások teljesítmény-felvételét [kW] és energiafelhasználását [kWh] minden esetben az ismertetett ORNO fogyasztásmérővel mértem és ki is számította. Az alábbi táblázatban az egységes jellemzőket ismertetem (**8. táblázat**):

8. táblázat: Nyomtatott termékek egységes nyomtatási tulajdonságai *[39]*

Megnevezés	**Süteménynyomók**	**Medálok**	**Karácsonyfa-díszek**
Első-, / További rétegek magassága [mm]	0,2 / 0,14	0,2 / 0,14	0,2 / 0,14
Nyomtatási hőmérséklet első rétegnél (Fúvóka / Ágy) [°C]	207 / 70	207 / 70	207 / 70
Nyomtatási hőmérséklet további rétegek (Fúvóka / Ágy) [°C]	205 / 65	205 / 65	205 / 65
Nyomtatási sebesség [mm/s]	40	40	40
Kerületek száma [db]	3	3	3
"Z-tengely" emelés [mm]	Nincs	Nincs	Van (0,2 mm)

<u>Az elfogyasztott villamos-energia számításának módja</u>

Az elfogyasztott villamos-energiát tekintve az alábbi képlettel számoltam:

$$W = \frac{(U \cdot I)}{1000} \cdot t = \frac{P}{1000} \cdot t \,[kWh] \qquad (1)$$

<u>ahol:</u>

- W: az elfogyasztott villamos-energia [kWh],
- U: felvett villamos feszültség [V],
- I: felvett villamos áram [A],
- $P = \frac{U \cdot I}{1000}$: felvett villamos teljesítmény (átlagolt) [kW],
- t: az aktuálisan nyomtatott modell tényleges nyomtatási ideje [óra].

A fenti képletnél látható t [óra] időtartam, mint tényleges nyomtatási időt a 3D nyomtató óra, perc, másodperc pontossággal írja ki [**óó:pp:mm**], angolul: [**hh**:**mm**:**ss**].

Ezt az időtartamot átváltottam óra mértékegységbe az alábbi excel képlet segítségével:

$$= \text{ÓRA}() + \text{PERCEK}()/60 + \text{MPERC}()/3600 \qquad (2)$$

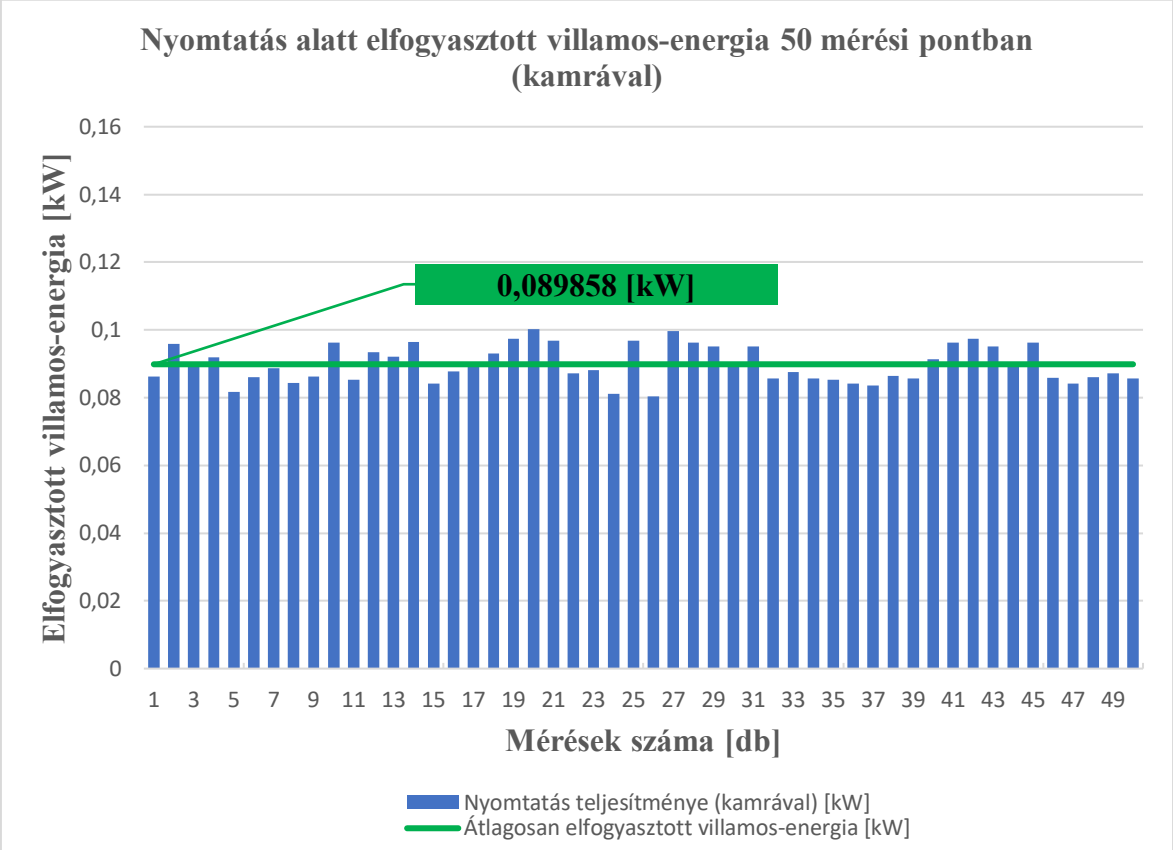
ahol:

- ÓRA(): az órák számát jelenti,
- PERCEK()/60: a percek időtartama átváltása órákba,
- MPERC()/3600: a másodpercek átváltása órákba.

Így a teljes képlet időtartamát összeadva az egyes modellek nyomtatási idejét óra mértékegységben kaptam meg, könnyedén át tudtam váltani az elfogyasztott villamos-energiát [kWh] mértékegységbe.

A kamrás és szabad nyomtatások átlagos energiaigényének meghatározása

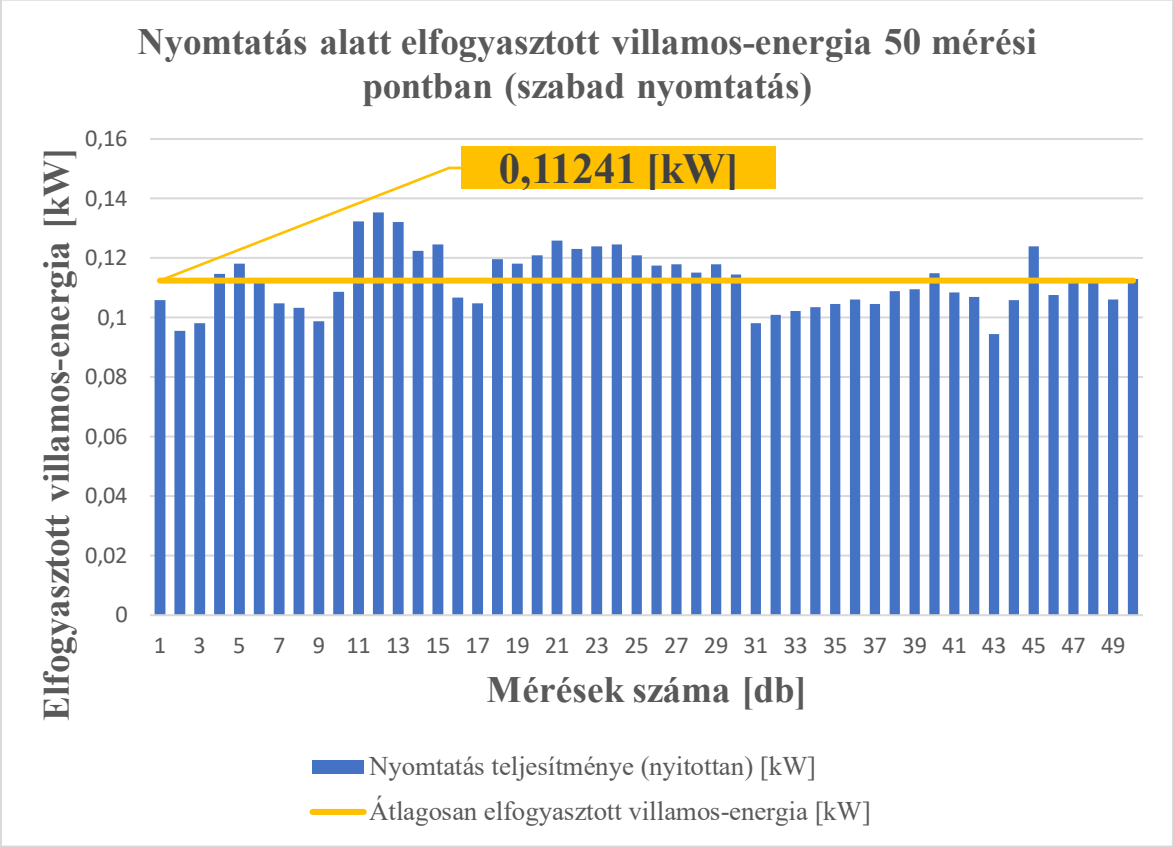
Minden kinyomtatott modell esetében az alábbi ábrákon látható átlagosan elfogyasztott villamos-energiával számítottam ki a nyomtatások energiaigényét. Tehát a kamrás nyomtatás során 50 mérési pontot felvéve határoztam meg az átlagosan felvett villamos-teljesítményt.



4.16. ábra: A kamrában nyomtatott modellek energiafelhasználása és átlagos értéke *[40]*

Az fenti ábrán (**4.16. ábra**) látható a kamrában nyomtatott modelleknél felvett 50 mérési pontban elfogyasztott villamos-energia, valamint az átlagos érték, amellyel a kinyomtatott modellek előállítási költségeit határoztam meg (a továbbiakban ismertetem).

A szabadon nyomtatott modellek esetében az alábbi ábrán (**4.17. ábra**) látható az elfogyasztott villamos-energia:



4.17. ábra: Nyitott állapotú nyomtatási modellek energiafelhasználása és átlagos értéke *[40]*

A két diagramot összehasonlítva tisztán látható, hogy a kamra használata energiafelhasználás szempontjából egyértelműen gazdaságos, hiszen nagyságrendileg 22,55 [W] villamos teljesítmény takarítható meg a használatával, ami hosszú távú nyomtatás esetén jelentős energiamennyiség. Továbbá kiemelném, hogy a szabad nyomtatások esetén (**4.17. ábra**) a nyomtató energiaigénye szinte minden alkalommal 100 [W] felett alakult, ami azt jelenti, hogy gyakrabban is kell felfűtenie a tárgyasztalt, így a környezetét, hogy a szükséges hőmérsékletet tartani tudja, ami az előbbieket alátámasztva, az energiaköltségeket terheli. Kamrás nyomtatás esetén (**4.16. ábra**) a 85 [W] volt jellemző érték.

Kivételes eltérés a modellek nyomtatása során

Egyedüli eltérés a modellek között a „Z emelés” parancs, amely a karácsonyfadíszek eseteiben szükséges módosítás volt. A „Z emelés”-nek köszönhetően a nyomtatófej mozgás közben függőlegesen, a „Z” tengely mentén felemelkedik -beállított érték: 0,2 mm-, így nem érinti a már kinyomtatott rétegeket, ezáltal véletlenül sem mozdul el a modell a tárgyasztalról.

4.4.2 Kamrában nyomtatott modellek jellemzői általánosságban

A kamrában nyomtatás során azt tapasztaltam, hogy a felfűtési idő után (~7 perc), a nyomtató átlagosan $\mathbf{89,85}$ [**W**]-ot fogyasztott, vagyis a zárt térnek köszönhetően kevesebb energiát vett fel a hálózatról, amelyet a tárgyasztal -és zárt környezete- fűtésére fordított (**4.16. ábra**).

A kamrában történő nyomtatás előnyei

- ✓ Előnye az energiamegtakarítás, hiszen egy 59 € (23.600 Ft)-os kamrával a modellek villamos-energia megtakarításával nyomtathatók, így az előállítási költségük olcsóbb.
- ✓ A kamra megóvja a nyomtatott tárgyakat és a nyomtatót a környezeti szennyeződésektől (szálló por, nedvesség, egyéb idegen anyagok - pl.: hajszálak stb.)

A kamrában nyomtatott modellek hátrányai

- × A kamrás nyomtatásnak egyik hátránya, hogy nehezen látható a nyomtatás, ezáltal alaposan figyelni kell, különösképpen az első réteg pontosságára.
- × Nehezen látható, ha a filament a dobon letapad, az extruder nem tud anyagot húzni.
- × A kamrába kevés fény szűrődik be, ezért LED szerelőlámpa használata ajánlott, különösen, ha a filamentet be kell vezetni a nyomtató-fejbe.

Összegezve, a kamra szükséges felszerelés, mert stabil környezetet biztosít a nyomtatónak, megakadályozza a szennyeződések bejutását, ezáltal a nyomtató élettartamát is növelheti.

4.4.3 Szabadon nyomtatott modellek jellemzői

A 3D nyomtatás hobbi szintű kezdésekor a nyomtató mellettem volt az asztalon, így a szabad terű nyomtatással van tapasztalatom. Azonban a „**4.4.1.2**” fejezet eredményei szerint, 50 mérési pont alapján a szabad nyomtatás esetén átlagosan $\mathbf{112,41}$ [**W**] teljesítményt vett fel a nyomtató a hálózatból (**4.17. ábra**). Ez jelentősen megnövelheti az energiaköltségeket hosszú távon.

A szabad nyomtatás előnyei

- ✓ Előnye a kamrával szemben, hogy a nyomtatás első rétege tökéletesen látható, ha bármilyen probléma van a tapadással, azonnal leállítható a nyomtatás, anyag és energia takarítható meg.
- ✓ A filament cseréje könnyedén és kényelmesen megoldható.
- ✓ A nyomtatás végig könnyedén figyelemmel kísérhető.

A szabad nyomtatás hátrányai

- × Hátránya az energiafelhasználás, amelyeket mérésekkel alátámasztottam. A megnövekedett energiaköltség a végtermékbe beépül és a vásárlót terheli, a kereslet csökkenhet.
- × Szennyeződés kerülhet a nyomatra és a nyomtatóba (por és egyéb szennyezők).

Összegezve, a kamra beruházása mellett döntöttem, ugyanis nem jelent nagy beruházást 59 € (23.600 Ft), amely energiahatékonyság mellett védi a nyomtatást és a nyomtatót is.

4.4.4 Kamrás-, szabad nyomtatású modellek összehasonlítása, vizsgálataim

Ebben a fejezetben az általam tervezett modellek, kamrában és szabadon nyomtatott (nyílt tér) változatait hasonlítottam össze, végeztem vizsgálatokat, amelyek ugyanazon 3D modell alapján készültek. Továbbá ugyanazon G-kód fájlból lettek nyomtatva, tehát megegyeznek a nyomtatási-paramétereik, -pozíciójuk és nyomtató-fej mozgásuk is.

Kamrás és szabad nyomtatású süteménynyomókon végzett vizsgálataim

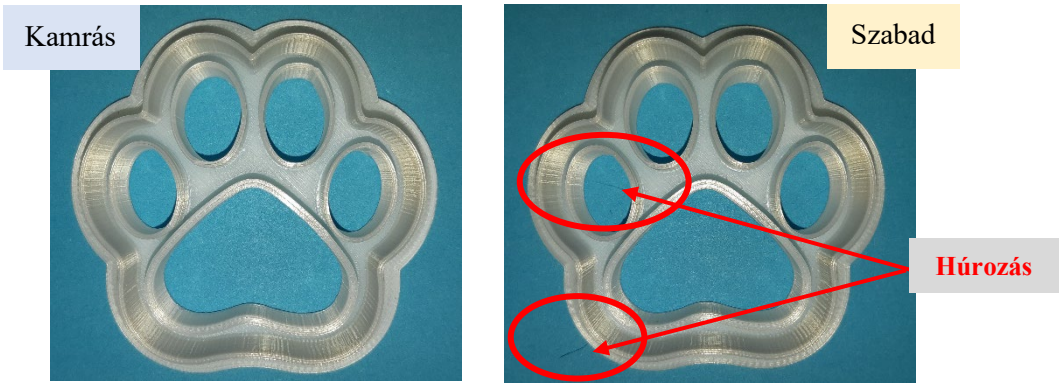
- Az **S_Minta_1_Mancs** süteménynyomó nyomtatási eredményei az alábbi táblázatban láthatók (**9. táblázat**) mind kamrás, mind szabadon nyomtatott esetben.

9. táblázat: S_Minta_1_Mancs süteménynyomó nyomtatási eredményei *[39]*

S_Minta_1_Mancs		
Megnevezés	**Kamrás nyomtatás**	**Szabad nyomtatás**
Nyomtatási idő [hh:mm:ss]	2:07:15	2:07:40
Nyomtatási idő [h]	2,12	2,13
Nyomtatás során elfogyasztott villamos-energia [kWh]	0,19	0,24

A **9. táblázat** jól szemlélteti, hogy szinte teljesen azonos nyomtatási idő mellett a villamos-energia fogyasztás jelentős, $0{,}05\ [\mathrm{kWh}] = 50\ [\mathrm{Wh}]$ különbséget mutatott. Ez számottevő érték, ha kis darabszámban ugyan, de vállalkozás szinten szeretném gyártani.

Az alábbi ábrán (**4.18. ábra**) pedig a fényképes összehasonlítás során szinte semmilyen különbség nem volt tapasztalható, a szabad nyomtatás első rétegénél elenyésző „húrozás" látható a bekarikázott részeken.



4.18. ábra: S_Minta_1_süteménynyomó összehasonlítása *[36]*

Összességében a kamrás nyomtatás élvez előnyt a jelentős energiamegtakarítás végett, hiszen ezáltal az energiaköltség, mint előállítási költség nem épül be akkora arányban az eladási árba. Továbbá pedig a környezetvédelem és fenntarthatóság is fontos.

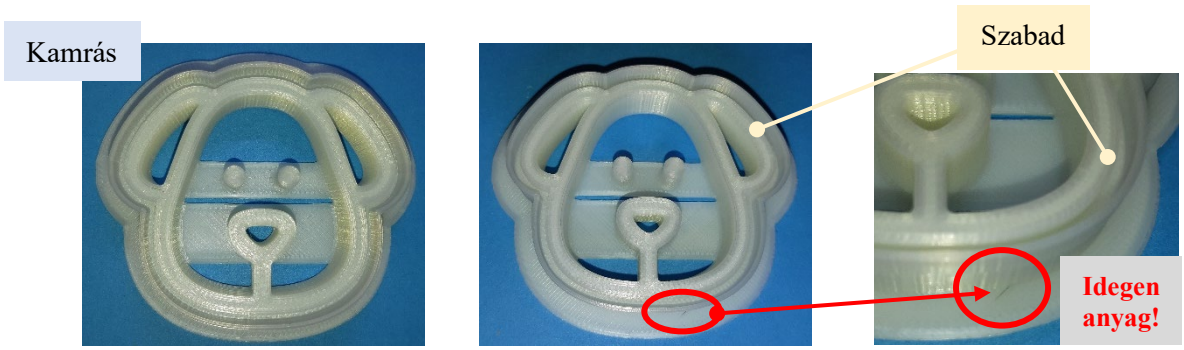
- Az **S_Minta_8_Kutya** minta nyomtatási eredményeit a **10. táblázat**ba foglaltam össze mind kamrás, mind pedig szabad nyomtatásra egyaránt.

10. táblázat: S_Minta_8_Kutya nyomat eredményei *[39]*

S_Minta_8_Kutya		
Megnevezés	**Kamrás nyomtatás**	**Szabad nyomtatás**
Nyomtatási idő [hh:mm:ss]	2:59:26	2:59:00
Nyomtatási idő [h]	2,99	2,98
Nyomtatás során elfogyasztott villamos-energia [kWh]	0,27	0,34

Jól látható a fenti **10. táblázat**ban, hogy a közel azonos nyomtatási idő mellett a szabad nyomtatásnál $0{,}07\ [\mathrm{kWh}] = 70[\mathrm{Wh}]$-val több energiát fogyasztott el a nyomtató.

Az alábbi ábrán (**4.19. ábra**) a kamrában és a szabadon nyomtatott modellek összehasonlítása látható. A nyomtatás szempontjából mindkét modell tökéletes lett, semmilyen hiba nem látható egyiken sem. Azonban a szabad nyomtatású modellen egy hajszál, mint szennyező látható pirossal bekarikázva. Ezért is ajánlott a kamra használata, mert az étellel később érintkező nyomatok gyártása során nem kerül a nyomtatótérbe semmilyen szennyezőanyag a környezetből.



4.19. ábra: S_Minta_8_Kutya kamrás és szabad nyomatok összehasonlítása *[36]*

<u>Összegezve</u> a fentieket, ezen összehasonlítás eredményeképpen a kamra használata szükséges, hogy az idegen anyagok bekerülését megakadályozhassam olyan nyomatok készítéséhez, amelyek később bármilyen módon étellel fognak érintkezni. Továbbá ugyanannyi nyomtatási idő mellett még energiát is takarított meg a kamra.

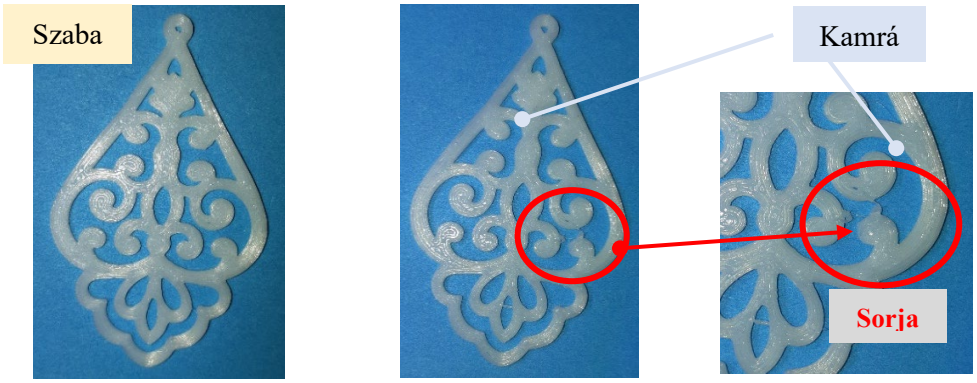
Kamrás és szabad nyomtatású medálok/ékszerek összehasonlítása, értékelése

- Az **F_Minta_2_Mandala_hosszúkás** medál esetében az alábbi táblázat mutatja a két nyomtatás eredményét (**11. táblázat**):

11. táblázat: Az F_Minta_2_Mandala_hosszúkás nyomat összehasonlítása *[39]*

F_Minta_2_Mandala_hosszúkás		
Megnevezés	**Kamrás nyomtatás**	**Szabad nyomtatás**
Nyomtatási idő [hh:mm:ss]	0:37:00	0:32:46
Nyomtatási idő [h]	0,62	0,55
Nyomtatás során elfogyasztott villamos-energia [kWh]	0,06	0,06

A **4.20. ábra** pedig fényképes összehasonlítást végeztem a két modellről. A bal oldali a szabadon-, a jobb oldali kamrában nyomtatott modell. A kamrás nyomtatáson apró sorják láthatók, ezeket piros színnel bekarikáztam. Nem számottevő hibák, utómunkával javíthatók.



4.20. ábra: F_Minta_2_Mandala_hosszúkás kamrás és szabad nyomtatása *[36]*

Összességében a szabad nyomtatás jobban sikerült, ugyanakkor az elfogyasztott villamos-energiát tekintve a két modell megegyező adatot mutat. A kisméretű termékeknél, -a medáloknál is- azt javaslom, hogy a végén célszerű összesített fogyasztást számítani.

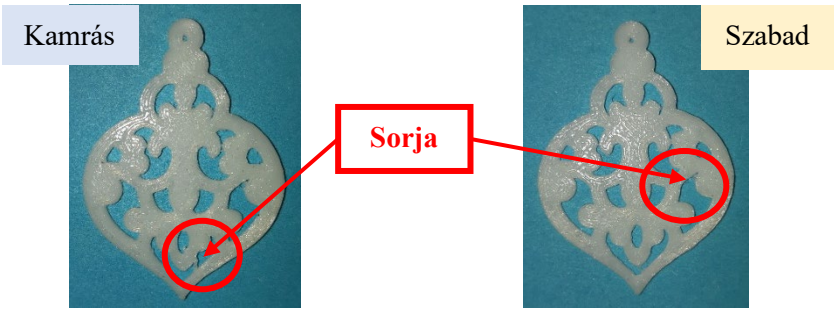
- Az **F_Minta_7_Mandala_kicsi** esetében ugyancsak egy összefoglalást készítettem, amelynek adatait az alábbi táblázatba (**12. táblázat**) gyűjtöttem össze:

12. táblázat: Az F_Minta_7_Mandala_kicsi nyomat összehasonlító adatai *[39]*

F_Minta_7_Mandala_kicsi		
Megnevezés	**Kamrás nyomtatás**	**Szabad nyomtatás**
Nyomtatási idő [hh:mm:ss]	0:24:59	0:25:07
Nyomtatási idő [h]	0,42	0,42
Nyomtatás során elfogyasztott villamos-energia [kWh]	0,04	0,05

Az összehasonlítás során ugyancsak az volt tapasztalható, hogy a szinte teljesen megegyező nyomtatási időket tekintve az ugyanannyi idő alatt elfogyasztott villamos-energia szempontjából a kamrás nyomat gazdaságosabb volt.

A lenti **4.21. ábra** összehasonlítottam a modelleket, mely során a két minta között lényeges különbség nem látható. Kisebb sorja mindkét modellen látszott, de ezek nem voltak számottevőek.



4.21. ábra: F_Minta_7_Mandala_kicsi kamrás (balra) és szabad nyomtatása (jobbra) *[36]*

Összességében a kamrás nyomtatás ebben az esetben is jobb eredményt mutatott az elfogyasztott villamos-energia szempontjából.

Kamrás és szabad nyomtatású karácsonyi díszek összehasonlítása, értékelése

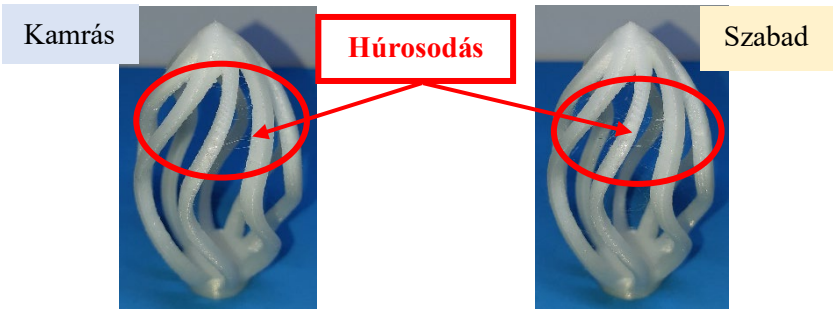
- A **K_Minta_4_Twisted** kamrás-, és szabad nyomtatási eredménye (**13. táblázat**):

13. táblázat: K_Minta_4_Twisted nyomtatási eredményei *[39]*

K_Minta_4_Twisted		
Megnevezés	**Kamrás nyomtatás**	**Szabad nyomtatás**
Nyomtatási idő [hh:mm:ss]	2:09:38	2:09:36
Nyomtatási idő [h]	2,16	2,16
Nyomtatás során elfogyasztott villamos-energia [kWh]	0,19	0,24

Jól látható a **13. táblázat**ban, hogy csupán **2 s** van a két nyomtatási idő között, azonban a szabad nyomtatás $0{,}05\ [\mathrm{kWh}] = 50[\mathrm{Wh}]$-val több energiát igényelt az előállításhoz.

A **4.22. ábra** a két modell összehasonlításán látható, hogy a szabadon nyomtatott modell jóval „húrosabb” lett („stringesedés”), ami a „Z-emelés” miatt, és a külső környezet hőmérséklet-változásának köszönhetően alakulhatott ki.



4.22. ábra: K_Minta_4_Twisted dísz kamrás (bal) és szabad (jobb) nyomtatása *[36]*

Összességében az energiagazdálkodás végett a kamrás nyomtatás eredményesebb lett.

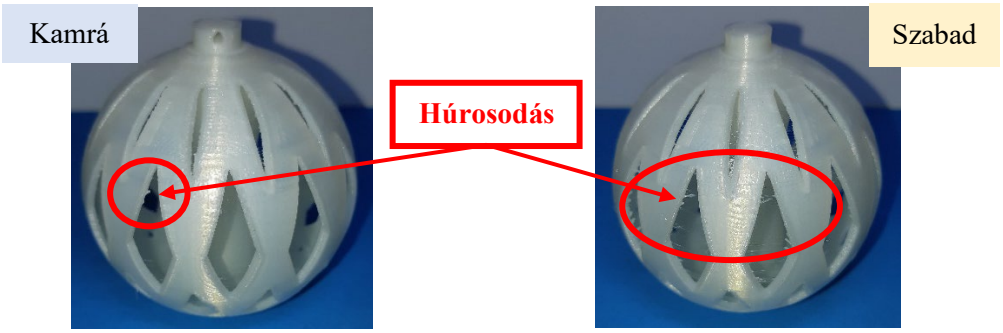
- A **K_Minta_9_Globe_üres** karácsonyi dísz nyomtatási eredményeit az alábbi táblázatba (**14. táblázat**) gyűjtöttem össze:

14. táblázat: K_Minta_9_Globe_üres nyomtatási eredményei *[39]*

K_Minta_9_Globe_üres		
Megnevezés	**Kamrás nyomtatás**	**Szabad nyomtatás**
Nyomtatási idő [hh:mm:ss]	5:29:19	5:28:48
Nyomtatási idő [h]	5,49	5,48
Nyomtatás során elfogyasztott villamos-energia [kWh]	0,49	0,62

A **14. táblázat** jól mutatja, hogy a hosszú nyomtatásoknál, melyek már több órát is igénybe vettek, a kamra használata kulcsfontosságú volt. A két modell között 0,13[kWh] különbség van. Ez az érték már tényleg számottevő kisebb mennyiség előállítás esetén.

A **4.23. ábra** látható a kamrás és szabadon nyomtatott modellek összehasonlítása. Ezen modell esetében mindkét típuson láthatók hibák, a rombusz minta szélei sorjásak lettek. Azonban a szabad nyomat jóval „húrosabb", ez a hőmérsékletváltozásra utal a modell körül. Ezért is jó egy állandó hőmérsékletű zárt teret fenntartani a nyomtatandó modell körül.



4.23. ábra: K_Minta_9_Globe_üres kamrás (balra) és szabad nyomtatása (jobbra) *[36]*

Összességében mindkét modellen láthatók hibák, ez a 3D modell kialakításának hibájából és a szeletelő program „felbontásából" (rétegmagasság) is adódott. Azonban a látható hibák sokasága és az energiafelhasználás végett jelen esetben a kamrás előnyösebb.

A kamrás és szabad nyomtatások kiértékelésének összegzése

Mind a három területen készült modelleket értékelve azt mondhatom, hogy a minőségi anyag nem elég a tökéletes nyomtatáshoz. A gondos tervezés és ellenőrzés nagyon fontos. Ha az anyagfelhasználással takarékoskodok, egy jobb kialakítással vagy a kitöltés módosításával, akkor időt is spórolok meg. Ugyanakkor legtöbb esetben a kamra pozitívan befolyásolta a nyomtatás végeredményét, mind minőségben, mind energiafelhasználásban egyaránt. Jelen gazdasági helyzetet figyelembe véve -legyen az kicsi vagy nagy cég-, az energiafogyasztás redukálása fontos feladat napjainkban.

4.5 A nyomtatás során keletkezett költségeim

A modellek nyomtatása során számos forrásból alakultak ki költségek, amelyeket a továbbiakban részletesen is ismertetni fogok. Ezen három tényező adta költségek a következők:

- A tervező szoftver (Fusion 360) bérleti költsége,
- A nyomtatás során felhasznált villamos-energia költsége,
- A nyomtatás anyagköltsége.

A fenti három költségtípus közül kiemelném az energiaköltséget, ami talán a legfontosabb és legjobban szabályozható. A szoftver költsége (amennyiben fizetni kell érte), statikusnak tekinthető. Az anyagköltség nem feltétlenül befolyásolható, hiszen csökkentése, minőségének módosítása a végtermékem minőségromláshoz vezethet.

4.5.1 Az alkalmazott szoftverből származó költségek

Ahogyan a „**3.1.2 A nyomtatáshoz használt 3D tervező program**” részfejezetben is ismertettem, a tervezéshez az Autodesk Fusion 360, 3D tervező szoftvert használtam, amely egy induló vállalkozás esetében nem jár kiadással, ha a cég éves bevétele nem haladja meg a 100.000 USD-t. Tehát a szoftverből származó bérleti költség **0 HUF**.

4.5.2 A nyomtatásaim energiaköltsége

Az energiaköltségeket tekintve számításokat és méréseket is végeztem. A számítások során a 2023. június 28.-i adatokkal számoltam az összes nyomtatás során, mivel ezen a napon kezdtem el nyomtatni a modelleket [34].

Tehát a 2023. június 28.-i adatokat tekintve a villamos-energia költségei így alakultak:

$$0{,}11\ \frac{€}{\mathrm{kWh}} \rightarrow 41{,}72\ \frac{\mathrm{HUF}}{\mathrm{kWh}}$$

A továbbiakban, a kinyomtatott modellek esetében a $41{,}72\ \frac{\mathrm{HUF}}{\mathrm{kWh}}$ értékkel számoltam az energiaköltségeket minden nyomtatás esetében.

A számításokhoz egy Excel táblázatban minden kinyomtatott modellnél a $0{,}11\ \left[\frac{€}{\mathrm{kWh}}\right]$, valamint HUF-ba is átszámítva a $41{,}72\ \left[\frac{\mathrm{HUF}}{\mathrm{kWh}}\right]$ adattal számoltam. A méréshez a „**3.1.1.3 A nyomtatott tárgyak előállítási költségének megvalósítása**” részfejezetben bemutatott **ORNO OR-WAT-419 (GS)** hálózati fogyasztásmérőt használtam, amely $\left[\frac{€}{\mathrm{kWh}}\right]$-ban mérte a fogyasztást, így a számítási eredményeimet tudtam visszaellenőrizni a műszerrel.

Az Excel számítások során pedig minden kinyomtatott modell esetében az alábbi számítási sorrenddel számítottam ki az elfogyasztott villamos-energiát, melyet végül $\left[\frac{\mathrm{HUF}}{\mathrm{kWh}}\right]$-ban adtam meg:

1. A számításoknál az „**Aktuálisan felvett villamos teljesítmény [kW]**” értékét a nyomtatások során -zárt, nyitott külön-külön-; a műszerről leolvasott, felvett villamos teljesítmény 50 mérési adatból átlagszámítással, az ***„ÁTLAG”*** képlettel határoztam meg. Jele: P.

2. A nyomtatás befejeztével a nyomtató [ÓRA:PERC:MÁSODPERC] szerint kijelezte **„A nyomtatás tényleges idejét”**. Ezt az időt átváltottam csak órába az ***„ÓRA()+PERCEK()/60+MPERC()/3600”*** képlettel -mind a kamrás, mind a szabad nyomtatások esetén. Jele: T_h.

3. Ezek után a P és T_h szorzataként megkaptam a számításokkal meghatározott „**Nyomtatás alatt elfogyasztott villamos-energia [kWh]**” értékét.

4. Végül pedig a 3. pontban kiszámított elfogyasztott villamos-energia [kWh] értékét megszoroztam az előzőekben meghatározott $0{,}11\ \left[\frac{€}{\mathrm{kWh}}\right]$ értékével, valamint a $41{,}72\ \left[\frac{\mathrm{HUF}}{\mathrm{kWh}}\right]$-val egyaránt, így €-ban és HUF-ban is megkaptam az értékeket. Jele: A.

A fenti sorrend szerint ismertetett számítás menetét képletekkel is bemutatom. A kamrás és a szabad nyomtatás ugyanazon képlettel számítható, csupán az **Aktuálisan felvett villamos teljesítmény [kW]**" (P) értéke változik a felvett teljesítmény miatt.

Az energiaköltség kiszámítása a következő:

$$E_K = (P \cdot T_h) \cdot A \,[HUF] \tag{3}$$

ahol:

- E_K: az előállításhoz szükséges energiaköltség [HUF],
- P: az aktuálisan felvett villamos teljesítmény (átlag) [kW],
- T_h: a nyomtatás tényleges ideje [h],
- A: a villamos-energia fogyasztói ára (állandó: $41{,}72 \left[\frac{HUF}{kWh}\right]$).

Például az **S_Minta_1_Mancs süteménynyomó** kamrás nyomtatásának energiaköltségét az előzőleg ismertetett képlettel így számítottam ki:

$$E_K = (0{,}089858\,[kW] \cdot 2{,}12\,[h]) \cdot 41{,}72 \left[\frac{HUF}{kWh}\right] = \mathbf{7{,}95}\,[\mathbf{HUF}] \tag{4}$$

Csupán 8 HUF az energiaköltség kamrás nyomtatás esetén, számítások nélkül többre gondolnánk, azonban még egy ilyen alap-típusú nyomtató is jó energetikai tulajdonságokkal rendelkezik.

Nézzük meg, hogy ugyanez a számítás milyen végeredményt mutat szabad nyomtatás esetén az **S_Minta_1_Mancs süteménynyomó** kinyomtatása során:

$$E_K = (0{,}11241\,[kW] \cdot 2{,}13\,[h]) \cdot 41{,}72 \left[\frac{HUF}{kWh}\right] = \mathbf{9{,}98}\,[\mathbf{HUF}] \tag{5}$$

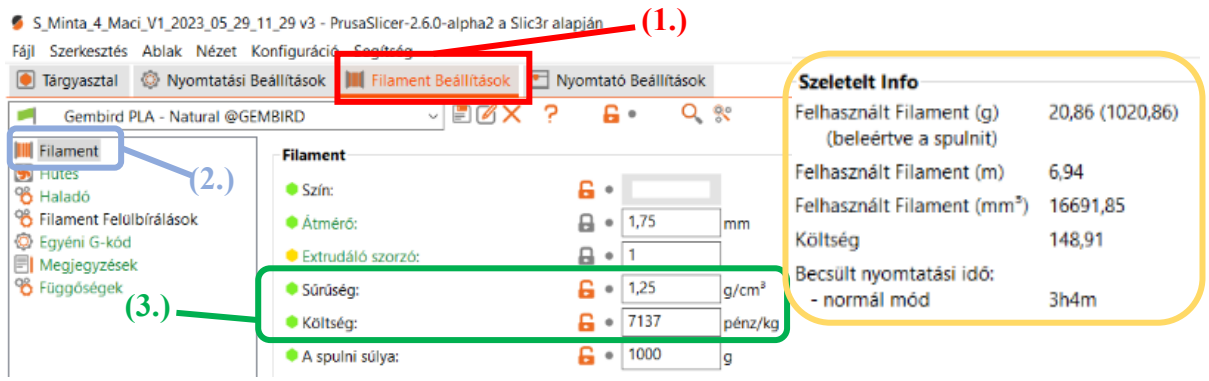
Csupán **2,03 HUF** különbség van a két modell között, azonban egy 15 órás nyomtatás esetén ez az érték sokkal nagyobb különbséget mutathat.

A számított elfogyasztott villamos-energia és a műszerrel mért mennyiséget összehasonlítottam, hogy valóban jól mér-e a műszer, illetve a számításaim helyesek-e. Ennek a műveletnek az egyik oka az volt, hogy a műszer sajnos csak a százados tizedes jegytől kezdődően tud értékeket kijelezni, így egy rövid idejű (~10 perc) nyomtatás esetén $0{,}00$ [kWh]-t mutatott a műszer. Ezért a P értékét átlagszámítással kellett meghatároznom.

4.5.3 A nyomtatásaim anyagköltsége

Az anyagköltségeket tekintve a „**4.3 Az összehasonlító vizsgálatomhoz használt filament** bemutatása” részfejezetben ismertetett Gembird Natural (fehér) PLA-t használtam, amely 1 [kg]-os tekercs beszerzési ára **7.137 HUF** volt. Ezt az értéket (tömeg és ár) a PrusaSlicer szeletelő szoftverben megadtam, így ezzel az adattal az egyes modellek felszeletelése után a PrusaSlicer kiírta végeredményül a felhasznált filament mennyiségét (g) és az így „virtuálisan” kinyomtatott modell felhasznált anyagmennyisége alapján az árát. Mértékegység megadása nem volt szükséges, ugyanis a szoftver a $\left[\frac{\text{Pénz}}{\text{kg}}\right]$ mértékegységet használ, így közvetlenül megadható volt a beszerzési ára.

Az alábbi ábrán (**4.24. ábra**) látható, hogy a PrusaSlicer beállításaiban megadtam a vásárolt filament árát, így a nyomtatások során ezen 1 [kg]-os tekercs mennyiségéből vetítette le az egyes nyomatok árait.



4.24. ábra: Filament adatainak megadása (balra), virtuális nyomtatás adatai (jobbra) *[37]*

A filament anyagköltségének megadásához a fenti ábrán (**4.24. ábra**) az alábbi sorrendben kellett megadnom az adatokat: (1.) „Filament beállítások” fülön belül, a bal oldalon látható (2.) „Filament” fülre kattintással a középen látható terület jelent meg. Itt a (3.) „Költség” mezőben megadtam a filament beszerzési árát [Pénz/kg] mértékegységben, jelen esetben **7.137 HUF**, valamint megadtam a „A spulni súlya” mezőben a vásárolt filament mennyiségét 1.000 [g] = 1 [kg], így a két érték arányával a szoftver a nyomtatott modellek anyagköltségeit kiszámította.

Így tehát a továbbiakban meghatároztam a nyomtatott modell energiaköltségéből és az anyagköltségből a tényleges előállítási költséget, amelyet minden modell esetében az alábbi táblázatban (**15. táblázat**) foglaltam össze.

A **15. táblázat**ban összefoglaltam mind kamrás, mind szabad nyomtatásra a nyomtatási időket és a kialakult energia-, és anyagköltségeket, majd összegeztem azokat, így kaptam meg az előállítási költséget.

15. táblázat: A nyomtatási idők és költségek összefoglaló táblázata *[39]*

Megnevezés	Nyomtatás típusa	Nyomtatási idő (T_h) [h]	Energia költség (E_k) [HUF]	Anyag költség (A_k) [HUF]	Nyomtatás összes ktg. (K_{ny}) [HUF]
S_Minta_1 Mancs	Kamrás	2,12	7,95	102,69	110,64
	Szabad	2,13	9,98	102,69	112,67
S_Minta_5 Kutya_teljes	Kamrás	2,75	10,30	125,62	135,92
	Szabad	2,74	12,87	125,62	138,49
S_Minta_8 Kutya	Kamrás	2,99	11,21	143,10	154,31
	Szabad	2,98	13,99	143,10	157,09
S_Minta_7 Happy_smiley	Kamrás	2,23	8,34	105,40	113,74
	Szabad	2,23	10,45	105,40	115,85
S_Minta_3 Coffee	Kamrás	3,01	11,29	145,33	156,62
	Szabad	3,00	14,09	145,33	159,42
F_Minta_2 Mandala_hosszúkás	Kamrás	0,62	2,31	13,79	16,10
	Szabad	0,55	2,56	13,79	16,35
F_Minta_5 Levél_kicsi	Kamrás	0,32	1,19	12,08	13,27
	Szabad	0,33	1,53	12,08	13,61
F_Minta_6 Csepp	Kamrás	0,56	2,08	11,73	13,81
	Szabad	0,56	2,64	11,73	14,37
F_Minta_7 Mandala_kicsi	Kamrás	0,42	1,56	9,80	11,36
	Szabad	0,42	1,96	9,80	11,76
F_Minta_10 Nyilak	Kamrás	0,20	0,74	3,16	3,90
	Szabad	0,20	0,96	3,16	4,12
K_Minta_4 Twisted	Kamrás	2,16	8,10	42,72	50,82
	Szabad	2,16	10,13	42,72	52,85
K_Minta_2 Spirál	Kamrás	1,87	7,03	58,96	65,99
	Szabad	1,89	8,88	58,96	67,84
K_Minta_9 Globe_üres	Kamrás	5,49	20,58	192,63	213,21
	Szabad	5,48	25,70	192,63	218,33
K_Minta_3 Globe_Snowflake	Kamrás	3,66	13,72	143,38	157,10
	Szabad	3,66	17,15	143,38	160,53
K_Minta_7 Vase_mod	Kamrás	3,82	14,32	129,27	143,59
	Szabad	3,81	17,88	129,27	147,15
Összesen	**Kamrás**	**32,20**	**120,71**	**1239,66**	**1360,37**
	Szabad	**32,15**	**150,76**	**1239,66**	**1390,42**

A fenti táblázatban látható (**15. táblázat**), hogy csak **30 HUF különbség van** a kamrás és a szabad nyomtatások összes előállítási költsége között, azonban meg szeretném jegyezni, ha több órás nyomtatásról van szó, az energiaköltség egyre inkább növekszik a két nyomat között, mint például a „**K_Minta_9**” esetében, ami majdnem 6 órás nyomtatás.

Ha vállalkozás-szinten nézem, jelentős mennyiségű energia és pénz takarítható meg egy kamra használatával, ami mellesleg nemcsak az energiaköltségek visszaszorításában segített, hanem a modellek minőségét is javította, vagy éppen a selejtarányt csökkentette.

4.6 Teljes megtérülés és nyereség számítása

A teljes megtérülés számításához a piackutatás során végeredményül kapott, három területen 5 legtöbb szavazathoz jutott termékhez eladási árakat határoztam meg. Ezt az eladási árat a „költség-plusz árképzéssel" (más néven: haszonkulcsos árképzés) határoztam meg. A termékek előállítási költségei a **15. táblázatban** láthatók. **A termékeket ténylegesen nem értékesítettem!**

4.6.1 A termékeim egységárainak meghatározása

A haszonkulcsos típusú árképzésnél a termék előállítási költségéhez egy haszonkulcsot adnak hozzá, így kapják meg az eladási árat [7].

Az eladni kívánt termékeket haszonkulcsos árképzéssel határoztam meg, amely az alábbi képlettel történik:

$$K_e = (K_{ny} \cdot (1 + 0{,}65)) \cdot (1 + T_k)\ [\mathbf{HUF}] \qquad (6)$$

ahol:

- K_e: egy termék eladási költsége [HUF],
- K_{ny}: nyomtatás összes költsége (**15. táblázat**ból) [HUF],
- $0{,}65$: haszonkulcs, állandó érték (65 %) [%].
- T_k: tervezési költség, állandó érték: 2,5.

A fenti képlet alapján az eladási árakat (egységárak) meghatároztam mind a három terület 5 legtöbb szavazatot kapott modelljére kamrás nyomatok esetében, mindezeket az alábbi **16. táblázat**ba gyűjtöttem össze.

4.6.2 A termékeim eladásából befolyó bevételem

A **16. táblázat** minden termék eladási árai alapján, megszoroztam az eladási árat az egy év alatt előállítandó mennyiséggel (250 db). Így tudtam a továbbiakban teljes megtérülést számolni. A képlet a következő:

$$K_{eb} = K_e \cdot d\ [\mathbf{HUF}] \qquad (7)$$

ahol:

- K_{eb}: összes eladott termékből a bevétel [HUF],
- K_e: egy termék eladási költsége [HUF],
- d: előállított darabszám, állandó érték: 250 [db].

Az előállítandó darabszámot ki szeretném emelni, ugyanis minden érintett termék esetén 1 évre vetítettem le az előállítási darabszámot, így a termékenkénti 250-es darabszám az ideális. Ennek oka az, hogy a kamrás előállítás esetén **32,20 h** minden modell egyszeri nyomtatása, **250 darab** esetén ez **8049,79 órának** felel meg. Egy évben összesen **8760 óra** van, a kettő érték különbsége **710,21 óra**, ami napokba átváltva **29,59 nap**nak felel meg. Vagyis a nyomtató havonta két napot állhat, karbantartás és az átállásokat beleszámítva. Így gazdaságosan és a legjobb kihasználtsággal üzemeltethetem.

Az alábbi képletekkel szemléltetem a 250 darabszámú készletek számítását. Elsőként a 250-es, éves darabszámmal az összes termék előállítási ideje órában:

$$\mathbf{E_{év}} = \mathrm{Gy_h} \cdot \mathrm{L} = 32{,}20 \cdot 250 = \mathbf{8049{,}79\ [h]} \tag{8}$$

Az összes éves üzemidő után kiszámítottam az éves kieső órák számát:

$$\mathbf{K_{óra}} = \mathrm{R_{év}} - \mathrm{E_{év}} = 8760 - 8049{,}79 = \mathbf{710{,}21\ [h]} \tag{9}$$

Majd pedig a kieső órák számát átváltottam napokba, így ezeket a kieső napokat karbantartásra tudom fordítani, ami nagyban megnöveli a hatékonyságot és a nyomtató élettartamát:

$$\mathbf{K_{nap}} = \frac{\mathrm{K_{óra}}}{24} = \frac{710{,}21}{24} = \mathbf{29{,}59\ [nap]} \tag{10}$$

ahol:

- $\mathrm{E_{év}}$: Az összes termék előállítási ideje 250 darab esetén [h],
- $\mathrm{Gy_h}$: A termékek darabonkénti gyártási ideje [h],
- L: Előállítandó összes mennyiség, állandó (250 db) [db],
- $\mathrm{K_{óra}}$: Az éves kieső órák száma, amikor áll a nyomtató [h],
- $\mathrm{R_{év}}$: Rendelkezésre álló órák száma egy évben, állandó (8760 h) [h],
- $\mathrm{K_{nap}}$: A kieső napok száma egy évben, mikor a nyomtató nem üzemel [nap].

A fenti számításokkal éves szinten meghatároztam, hogy a 250 darabos termékenkénti gyártással milyen eladási árak keletkeztek, ezeket a továbbiakban részletesen ismertetem.

A fenti képletek alapján (5) (6), az alábbi táblázatba foglaltam össze (**16. táblázat**) az összes érintett termékem eladási árait a kamrás nyomatokra:

16. táblázat: A bevételeim alakulása, ha a kamrás nyomtatást vizsgáltam egy évben *[39]*

Megnevezés	Eladási ár (Ke) [HUF]	Eladott darabszám (d) [db]	Összes eladott termékből a bevételem (Keb) [HUF]
S_Minta_1_Mancs	639 Ft	250	159 738 Ft
S_Minta_5_Kutya_teljes	785 Ft	250	196 230 Ft
S_Minta_8_Kutya	891 Ft	250	222 787 Ft
S_Minta_7_Happy_smiley	657 Ft	250	164 214 Ft
S_Minta_3_Coffee	904 Ft	250	226 113 Ft
F_Minta_2_Mandala_hosszúkás	93 Ft	250	23 247 Ft
F_Minta_5_Levél_kicsi	77 Ft	250	19 156 Ft
F_Minta_6_Csepp	80 Ft	250	19 942 Ft
F_Minta_7_Mandala_kicsi	66 Ft	250	16 402 Ft
F_Minta_10_Nyilak	23 Ft	250	5 631 Ft
K_Minta_4_Twisted	293 Ft	250	73 371 Ft
K_Minta_2_Spirál	381 Ft	250	95 267 Ft
K_Minta_9_Globe_üres	1 231 Ft	250	307 816 Ft
K_Minta_3_Globe_Snowflake	907 Ft	250	226 814 Ft
K_Minta_7_Vase_mod	829 Ft	250	207 306 Ft
Összesen:			**1 964 035 Ft**

A **16. táblázat** alapján a bevétel **1.964.035 HUF**, ezen bevételt hasonlítottam össze a ráfordításaimmal. Az egységárakat tekintve itt a kamrás előállítási költségek láthatók.

A szabad nyomtatások darabonkénti eladási költségeit, valamint a szabad nyomtatások éves bevételét az alábbi táblázatba (**17. táblázat**) foglaltam össze:

17. táblázat: A bevételeim alakulása, ha éves szabad nyomtatást vizsgáltam *[39]*

Megnevezés	Eladási ár (Ke) [HUF]	Eladott darabszám (d) [db]	Összes eladott termékből a bevételem (Keb) [HUF]
S_Minta_1_Mancs	651 Ft	250	162 665 Ft
S_Minta_5_Kutya_teljes	800 Ft	250	199 938 Ft
S_Minta_8_Kutya	907 Ft	250	226 800 Ft
S_Minta_7_Happy_smiley	669 Ft	250	167 253 Ft
S_Minta_3_Coffee	921 Ft	250	230 163 Ft
F_Minta_2_Mandala_hosszúkás	94 Ft	250	23 607 Ft
F_Minta_5_Levél_kicsi	79 Ft	250	19 645 Ft
F_Minta_6_Csepp	83 Ft	250	20 751 Ft
F_Minta_7_Mandala_kicsi	68 Ft	250	16 983 Ft
F_Minta_10_Nyilak	24 Ft	250	5 945 Ft
K_Minta_4_Twisted	305 Ft	250	76 302 Ft
K_Minta_2_Spirál	392 Ft	250	97 943 Ft
K_Minta_9_Globe_üres	1 261 Ft	250	315 214 Ft
K_Minta_3_Globe_Snowflake	927 Ft	250	231 760 Ft
K_Minta_7_Vase_mod	850 Ft	250	212 447 Ft
Összesen:			**2 007 417 Ft**

Ugyanezt a számítást elvégeztem a szabad nyomtatásokra is, azt kaptam eredményül, hogy a bevételem **2.007.417 HUF**. A szabad nyomtatások eladási árait a **17. táblázat**ba foglaltam össze. Az egységárakat tekintve itt a szabad előállítási költségekkel számoltam.

Meglepően kevés a különbség a kamrás és szabad nyomtatások között. A tesztek megkezdése előtt úgy gondoltam, hogy a jelenlegi villamos-energia kWh-nkénti magas ára miatt komoly különbség alakulhat ki, azonban csupán **43.381 HUF** a differencia. Nem kevés, de nem komolyan számottevő ez az összeg.

A szabad nyomtatások eladási áraival azt szeretném érzékeltetni, hogy a kamra használatával ez az egy év alatt létrejövő **43.381 HUF** „beépül" az eladási áraimba, tehát a vásárló drágábban kapja a termékeket.

A kamrás nyomatok eladási áraira vonatkozó **16. táblázat** alapján ki tudom számolni, hogy mennyi lesz a nyereségem, ha minden termékből **250 db**-ot nyomtatok ki egy év alatt.

4.6.3 Nyereségem meghatározása

A nyereségem meghatározásához ismernem kell az árbevételemet, az állandó és változó költségeimet, ezen adatokból ki tudom számolni a nyereségemet. **Az árbevételem ismert: 1.964.035 HUF**.

Az állandó költségeim: energia-, + csomagolási költség, amelyet az alábbi képlettel számítottam ki:

$$K_{Á} = (E_k \cdot d) \cdot (1 + z) = (120{,}71 \cdot 250) \cdot (1 + 2{,}5) = \mathbf{105.622}\ [\mathbf{HUF}] \qquad (11)$$

ahol:

- $K_{Á}$: Állandó költségem [HUF],
- E_k: Kamrás nyomtatásaim energiaköltsége (**15. táblázat**) [HUF],
- d: előállított darabszám, állandó érték: 250 [db],
- z: szorzó-tényező a csomagolóanyagok költségeihez [-].

A változó költségem: az alapanyagköltség, jelen esetben a PLA filament költsége, amely eltérő a piacon, jellemzően 5.000 HUF-tól minőségi anyagnak tekintettem.

A változó költségemet egy évre vonatkozóan az alábbi képlettel határoztam meg:

$$K_V = (A_k \cdot d) \cdot (1 + f) = (1239{,}66 \cdot 250) \cdot (1 + 0{,}9) = \mathbf{604.334}\ [\mathbf{HUF}] \qquad (12)$$

ahol:

- K_V: Változó költségem [HUF],
- A_k: Nyomtatásaim anyagköltsége (**15. táblázat**) [HUF],
- d: előállított darabszám, állandó érték: 250 [db],
- f: szorzó-tényező a filament anyagok átlagos költségeihez [-].

Az árbevételeim, állandó költségeim, valamint változó költségeim ismertek, így kiszámoltam az egységár hozamot ($eá_H$) és egységár ráfordítást ($eá_R$).

Az egységár hozamot ($eá_H$) a következőképpen számítottam ki:

$$eá_H = \frac{Árb}{15 \cdot 250} = \frac{1.964.035}{3750} = \mathbf{523,74}\ [\mathbf{HUF}] \quad (13)$$

Az egységár ráfordítást ($eá_R$) az alábbi képlettel számoltam:

$$eá_R = \frac{K_V}{15 \cdot 250} = \frac{604.334}{3750} = \mathbf{161,16}\ [\mathbf{HUF}] \quad (14)$$

ahol:

- $eá_H$: egységár hozam [HUF],
- $eá_R$: egységár ráfordítás [HUF],
- $15 \cdot 250$: összes termék típusa x eladási darabszám [db].

Ezek alapján meghatároztam a nyereségemet, amely egy év alatt keletkezik:

$$Ny = Árb - (K_Á + K_V) = 1.964.035 - (105.622 + 604.334) = \mathbf{1.254.079}\ [\mathbf{HUF}] \quad (15)$$

ahol:

- Ny: Nyereségem egy évre vetítve [HUF],
- Árb: Árbevételem egy év alatt (kamrás nyomtatások **16. táblázat**) [HUF],
- $K_Á$: Állandó költségeim [HUF],
- K_V: Változó költségeim [HUF].

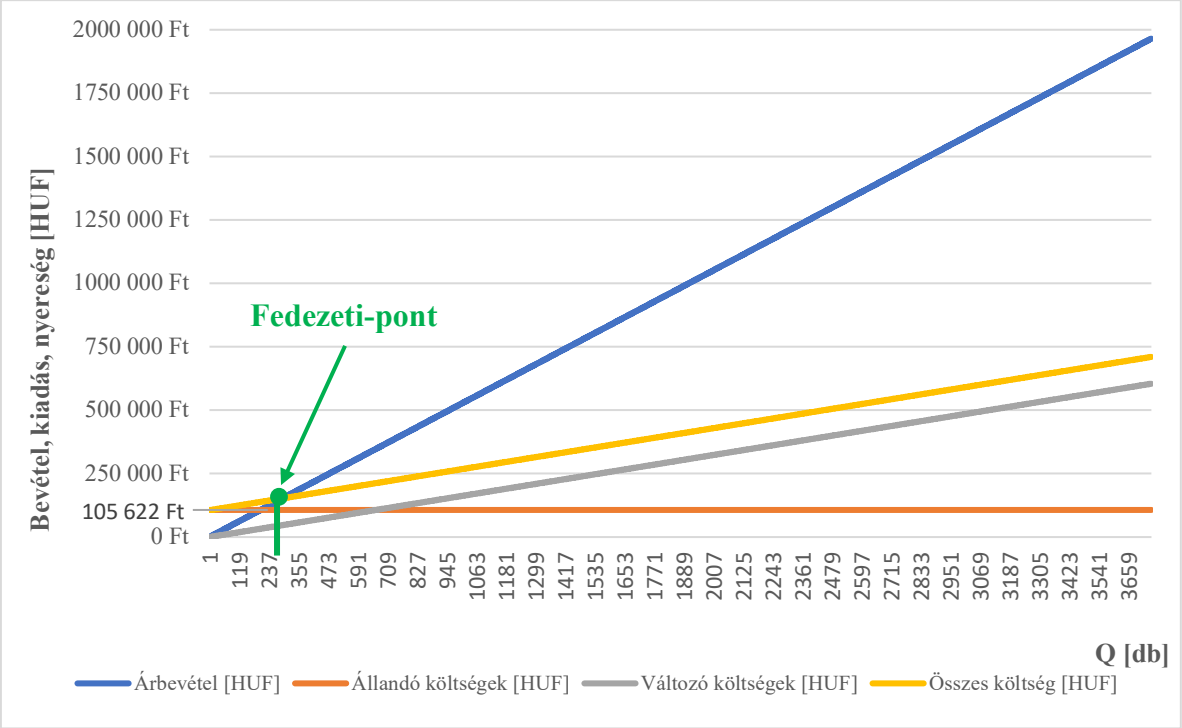
Tehát látható, hogy egy év alatt, ha minden termékből előállítok 250 db-ot, akkor a nyereségem **1.254.079 [HUF]** lesz.

Végül pedig meghatároztam a kritikus volumen értékét (Q_{krit}), ami azt az eladási darabszámot mutatja meg, ahol sem veszteségem, sem pedig nyereségem nem keletkezik.

$$Q_{krit} = \frac{K_Á}{(eá_H - eá_R)} = \frac{105.622}{(523,74 - 161,16)} \approx \mathbf{291}\ [\mathbf{db}] \quad (15)$$

Tehát a számításaim alapján **292 db** terméket kell eladnom ahhoz, hogy nyereségem keletkezzen.

A fenti számításaim alapján így már fel tudtam venni az ÁKFN-struktúrát, ahol egyértelműen látszik az Árbevételem és az Összes költségem metszéspontjánál, hogy **291 db** eladott termék szükséges a fedezeti pont eléréséhez. Ez felett az érték felett a tevékenységemből már nyereségem keletkezik. Mindez az alábbi **4.25. ábra** látható.



4.25. ábra: A 3D nyomtató vállalkozásom ÁKFN-struktúrájának alakulása egy év alatt *[40]*

Ez a **291 darab termék** természetesen az egy év alatt, minden típusból legyártott mennyiségre vonatkozik, nem egy konkrét termék-típusra.

4.6.4 Megtérülés számítása

Tárgyi eszközöket tekintve a **3. táblázat** alapján a nyomtató és kiegészítői összesen **102.991 HUF**, ha ehhez a prototípus filament és a mintaanyag filament árait hozzáadtam, akkor a teljes ráfordítás a következő:

18. táblázat: Ráfordításaim összesen *[39]*

Tárgyi eszközök ráfordításai (Nyomtató és egyéb kiegészítők) [HUF]	102 991 Ft
Prototípus filament ára (kék) [HUF]	6 590 Ft
Mintákhoz felhasznált filament (natural) [HUF]	7 137 Ft
Ráfordítások összesen:	**116 718 Ft**

A **18. táblázat** eredménye alapján már **két hónap alatt** megtérülnek a ráfordításaim. Természetesen ez nagyban függ a nyomtató típusától, hiszen egy alapmodellről van szó. **Amennyiben vállalkozás szinten ténylegesen szeretnék foglalkozni az FDM 3D nyomtatással, egy jobb minőségű, pontosabb nyomtató ideálisabb erre a feladatra.**

4.7 A Creality Ender 3 FDM nyomtató amortizációja

Egy FDM 3D nyomtató amortizációjához fontos volt tudnom, hogy mennyi is a nyomtató várható élettartama. Jellemzően az FDM nyomtatóknak, beleértve a **Creality Ender 3** típust is, **5 év** az élettartamuk. Ez sok tényezőtől függhet, továbbá a nyomtató használatának körülményei is közre játszhatnak. A tényezők többek között lehetnek: használt filament minősége, használati gyakoriság, a megelőző karbantartások, működési környezet stb [4].

A számításaim során **lineáris értékcsökkenési leírást** alkalmaztam, mert ezen nyomtató-típus esetében kis bekerülési költségről van szó, a lineáris értékcsökkenési leírás megfelelő egy ilyen alacsony költségű tárgyi eszköz amortizációjának meghatározásához. A nyomtató lineáris értékcsökkenési leírását az alábbi képlettel határoztam meg [8]:

$$\text{Értékcsökkenési költség} = \frac{\text{Eszköz bekerülési értéke(B)} - \text{Maradványérték (M)}}{\text{Hasznos élettartam (n)}} \quad (16)$$

ahol:

- Értékcsökkenési költség: az FDM 3D nyomtató fizikai kopása, avulása pénzben kifejezve [HUF],
- Eszköz bekerülési értéke: az FDM nyomtató beszerzési ára (bruttó) [HUF],
- Maradványérték: A nyomtató becsült értéke hasznos élettartama végén [HUF],
- Hasznos élettartam: A nyomtató hasznos élettartama, mielőtt elavulttá válik [év],

A fenti képlet alapján az alábbi táblázatban (**19. táblázat**) meghatároztam a nyomtató amortizációs költségét az elkövetkezendő 5 évben:

19. táblázat: A 3D nyomtató amortizációjának alakulása a következő 5 évben *[39]*

Évek száma [év]	Bruttó érték [HUF]	Évenkénti értékcsökkenés [HUF]	Halmozott értékcsökkenés [HUF]	Nettó érték év végén [HUF]
1	55 780	11 156	11 156	44 624
2	55 780	11 156	22 312	33 468
3	55 780	11 156	33 468	22 312
4	55 780	11 156	44 624	11 156
5	55 780	11 156	55 780	0

Lineáris értékcsökkenési leírással minden évben **11.156 HUF**-tal csökken a nyomtató értéke, ami azt jelenti, hogy 5 év múlva **0 HUF** lesz.

4.8 Összességében megérné-e ezen területeken vállalkoznom?

Az adatlapos piackutatást alaposan figyelembe véve, úgy gondolom, hogy az érdeklődés miatt megérné egy üzleti vállalkozást elkezdeni az értintett területeken. Továbbá az általam elvégzett vizsgálatok, számítások alapján a 3D nyomtatóval végzett tevékenységem gyorsan megtérül és gazdaságos. Viszont az éves árbevételeimet értékelve (**1.964.035 HUF**), kiegészítő tevékenység végzésére alkalmas az alacsony árbevételeim miatt. A teljes munkámat értékelve azt mondhatom, hogy ha egy nagyobb volumenű vállalkozást szeretnék indítani, akkor nagyobb teljesítményű gépekre kellene beruháznom. Továbbá különböző, tevékenységi kör bővítési lehetőségeket is fontolóra kell vennem, mert ezek alkalmazásával a nyereségem megnövelhető. Ilyen lehetőségeim lehetnek:

- Jobb minőségű, nagyobb teljesítményű nyomtatók vásárlása,
- Az FDM technológia mellett SLA technológia alkalmazása,
- Bérnyomtatás vállalása cégek számára.

A három lehetőség közül kiemelném a bérnyomtatást, amit egyes országokban már előszeretettel alkalmaznak. A cégektől megkapott modellek nyomtatásával jelentősebb átbevételre tehetek szert, ugyanakkor a vállalati kötöttségek, szerződések komplexebbé teszik a vállalkozásomat.

4.8.1 Vállalkozási formám kiválasztása, értékelésem

Az már tisztázódott, hogy ezen a területen komoly lehetőségek vannak, és jelentős érdeklődés is mutatkozik az additív gyártás és az egyedi termékek előállítása iránt. Tekintve az alacsony árbevételeleimet, úgy gondolom, hogy az **Egyéni vállalkozás** lenne az ideális számomra. Az **Egyéni vállalkozás** tulajdonságait röviden összegyűjtöttem [35]:

- Az Egyéni vállalkozás akkor előnyös, ha kisebb árbevétellel kalkulálok. Jelen esetben ez igaz, nagymértékben függ az éppen előállított termék iránti érdeklődéstől; és fontos, hogy itt nem ipari vállalkozásról van szó. Nincs szükség kezdőtőkére és a főállásomat sem kell feladnom a vállalkozásom működtetéséhez. Viszont a megrendelések mértéke is kisebb lehet, bár itt inkább magánszemélyeknek történő eladásról lenne szó. Továbbá fejlődése nehézkes, de fejlesztésnek jó irány lehet az Egyéni Kft. akár a jövőre tekintve.

Összességében az **Egyéni vállalkozást** választottam, az alacsony árbevételeim miatt (**1.964.035 HUF**), továbbá így a főállásomat sem kell feladnom, a tevékenységemet szabadidőmben is végezhetem. Mindezek mellett az adott egyedi vevői igényeket könnyedén teljesíteni tudom.

5 Javaslatok, következtetések

Ebben a fejezetben összegzem, milyen tényezőkre, részletekre és megoldásokra célszerű figyelni egy FDM 3D nyomtatóval történő, Egyéni vállalkozás indításához, amely egyedi termékeket állít elő, viselési, dekorációs és süteménynyomók készítéséhez.

Javaslataim között elsőként említeném meg a megfelelő FDM nyomtató kiválasztását. Nem minden az ár, inkább a többfunkciós használhatóság a fontos, tehát széles hőmérséklet-tartományban állítható legyen a fúvóka és tárgyasztal hőmérséklete. Továbbá a tárgyasztal legyen kielégítő méretű, a 200 mm x 200 mm x 250 mm jó építési terület. Fontos műszaki-technikai javaslatom, hogy megfelelő alkatrész-készletek álljanak rendelkezésre a karbantartásához, így mind a nyomtatási minőség, mind az állásideje csökkenthető. Mindenképpen javaslom a kamra használatát, nemcsak energiamegtakarítás céljából, hanem a nyomtató védelme érdekében, mert az elektronikát, az építőfelületet és a mechanikus egységeket védi a portól, huzattól, egyéb környezeti szennyeződésektől. Fontosnak tartom a minőségi filament használatát, mert így kisebb selejt-arány érhető el, ugyanakkor nagyságrendileg $5.000\ \left[\frac{\mathrm{HUF}}{\mathrm{kg}}\right]$-ért már jó minőségű filamenteket lehet vásárolni. A modellek tervezése terén azt javaslom, hogy egy „séma” felépítése fontos, különösen a medálok és süteménynyomók tervezésekor, tehát egy szabványosított rajzolási folyamattal a tervezési idő lecsökkenthető, ugyanakkor a termék minősége nem romlik. Javaslom, hogy a modell megtervezése után a „nyers” fájl mindig legyen elérhető az igény szerinti módosításhoz, továbbá, ha a modell bevált, a nyomtatóhoz használatos fájlt (STL fájl) szintén mindig legyen elérhető a gyorsabb előállításhoz.

Következtetéseim között elsőként kitérnék az alacsony nyereségemre. Az egy év alatt **1.254.079 HUF**-os nyereségem nem sok, ezért **kiegészítő tevékenység** végzésére alkalmas. Ugyanakkor számos lehetőségem van a tevékenységem bővítésére, mint például a több nyomtató vásárlása vagy a bérnyomtatás vállalása. Látszik, hogy egy „alap” nyomtató is ideális a kezdeti igényeimre és gyorsan megtérül az ára. Továbbá úgy vélem, az olcsó előállítási költség miatt, valamint az egyediség adta előnyöknek köszönhetően jelentős vevői kört tudok érdekeltté tenni. Az egyedi igények kielégítésével a vevői igényeknek rugalmasan meg tudok felelni, úgy, hogy a technológiai folyamatokat nem kell átterveznem, ezzel költséget is takaríthatok meg. Fontos megjegyeznem, hogy a kamra használata energiamegtakarítás céljából nem számottevő, még egy éves viszonylatban nézve sem, csupán **43.381 HUF** a különbség energiaköltség terén a kamrás előállítás javára. Azonban a műszaki javaslataimat alátámasztva, a kamra segít a nyomtató élettartamának növelésében.

6 Összefoglalás

Kutatásom témájaként azt vizsgáltam, hogy egy FDM 3D nyomtatóval történő vállalkozáshoz milyen szellemi és anyagi ráfordítások szükségesek a sikeres kezdéshez és milyen lehetőségek vannak egy olyan területen, ahol csak a képzeletünk szab határt. A továbbiakban összefoglalom az elért eredményeimet.

Kezdetben felmértem, hogy az általam érdekelt piaci területeken van-e érdeklődés a 3D nyomtatott termékek iránt. Ezért három területet jelöltem ki: süteménynyomók, medálok / ékszerek és karácsonyfadíszek. Azért ezt a három területet választottam, mert a divat folyamatosan változik, manapság egyre inkább az egyedi igények kerülnek előtérbe.

Mind a három területen piackutatást végeztem egy kérdőív összeállításával, ahol az általam tervezett 10-10-10 modellt kinyomtattam és fényképes szavazással az 5-5-5 legtöbb szavazatot kapott modellt meghatározott szempontok alapján összehasonlítottam. A kérdőívet összesen 95-en töltötték ki. A kérdőívhez felhasznált „prototípus-modelleken” fejlesztéseket végeztem, olyan pontokat határoztam meg, amikkel egységesítettem az azonos csoportba tartozó modelleket. Ilyen egységesítések: süteménynyomóknál a fogófelület egységes 6 mm-es körvonala; a kör alapterületű díszeknél az átmérő 15 mm-es tapadási felület a stabil nyomtatáshoz; díszeknél egységes felfűzési furat kialakítása.

Az újra nyomtatáskor kamrában és szabad térben kinyomtattam minden modellt és összehasonlítottam nyomtatási idejük, előállítási költségük alapján, aminek szerves alapja az anyagköltség mellett az elfogyasztott villamos-energia költsége volt. Ezek után meghatároztam az eladási árakat az egy év alatt legyártott mennyiségek szerint, ami minden modellből 250 darab. Így a kamrás nyomtatások árbevétele éves szinten 1.964.035 HUF, míg a szabad nyomtatásoké 2.007.417 HUF, csupán 43.381 HUF a különbség. Mindezek mellett minőségileg is összehasonlítottam a két modellcsomagot és egyértelműen a kamrás nyomatok stabilabbak lettek, mint a szabad nyomatok, ez biztosan a kamra használatának köszönhető.

Végül, a piackutatási eredményem, vizsgálataim, elemzéseim alapján látható, hogy a Creality Ender 3, 3D nyomtatóval végzett tevékenységem gazdaságos és gyorsan megtérülő. A vizsgálataim során a kitűzött célokat elértem. Viszont alacsony árbevételeim miatt az Egyéni vállalkozás lenne számomra ideális választás. Tehát kiegészítő tevékenységek végzésére lenne alkalmas a vállalkozásom. Eredményeim alapján megállapítottam, hogy ha nagyobb vállalkozást szeretnék indítani, akkor, több, nagyobb teljesítményű gépre lenne szükségem, mert azokkal nagyobb nyereséget érhetek el.

7 Felhasznált irodalom

[1] Ádám Balázs, Polgár Balázs, (2019), 3D nyomtatott próbatestek mechanikai vizsgálata, Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Anyagtechnológiai Tanszék, p. 186
ISSN: 2064-8014
http1.: http://real.mtak.hu/109573/1/2019_1_ENG_018_Balazs.pdf
(Utolsó elérés: 2023. 04. 25.; 19:14; Google Chrome)

[2] adlughmin, (2015), You Can Now See the First Ever 3D Printer — Invented by Chuck Hull — In the National Inventors Hall of Fame, 2015. június 10.
http2.: https://3dprint.com/72171/first-3d-printer-chuck-hull/
(Utolsó elérés: 2023. 05. 01.; 19:40; Google Chrome)

[3] asimomagic, (2021), PrusaSlicer Infill Patterns Display
http3.: https://www.thingiverse.com/thing:4831877
(Utolsó elérés: 2023. 05. 21.; 20:55; Google Chrome)

[4] Ben (2022), What Is the Lifetime of a 3D Printer? (2022. szeptember 24.)
http4.: https://printingit3d.com/what-is-the-lifetime-of-a-3d-printer/
(Utolsó elérés: 2023. 08. 15.; 19:27; Google Chrome)

[5] Boda István, (2003), Kódrendszerek, 2003. május 13.
http5.: http://users.atw.hu/nagyimi/pascal/kodrendszerek.html
(Utolsó elérés: 2023. 05. 06.; 10:26; Google Chrome)

[6] Dibya Chakravorty, (2023), 3D Printing Supports – The Ultimate Guide
(Frissítve: 2023. február 27.)
http6.: https://all3dp.com/1/3d-printing-support-structures/
(Utolsó elérés: 2023. 05. 21.; 18:17; Google Chrome)

[7] Econom.hu (2010), Költségalapú árképzés, 2010. december 1.
http7.: http://www.econom.hu/koltsegalapu-arkepzes/
(Utolsó elérés: 2023. 08. 13.; 17:50; Google Chrome)

[8] Econom.hu (2011), Értékcsökkenési leírás módszere és elszámolásának rendje (2011. január 10.)
http8.:http://www.econom.hu/ertekcsokkenesi-leiras-modszere-es-elszamolasanak-rendje/
(Utolsó elérés: 2023. 08. 15.; 19:30; Google Chrome)

[9] Gajdács László, Szűcs Viktor, (2020), A 3D-nyomtatás gyártástechnológiái, felhasználási területei, illetve az ebben rejlő potenciál, Repüléstudományi közlemények, 32. évfolyam (2020) 1. szám 101–110.
DOI: 10.32560/rk.2020.1.7
http9.:http://real.mtak.hu/123352/1/RTK_2020_1_7_Gajdacs_Szucs_101-110.pdf
(Utolsó elérés: 2023. 04. 23.; 14:10; Google Chrome)

[10] gringer, (2023), CGAL-Cleaned ダックスフンド (Dachshund)
http10.:https://www.printables.com/model/79331-cgal-cleaned-datsukusuhundo-dachshund/files
(Utolsó elérés: 2023. 05. 22.; 20:00; Google Chrome)

[11] Háber István Ervin, (2015), 3D adatfeldolgozás és gyártás II., Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar
ISBN: 978-963-429-018-6
http11.: https://docplayer.hu/20132995-3d-adatfeldolgozas-es-gyartas-ii.html
(Utolsó elérés: 2023. 04. 22.; 20:09; Google Chrome)

[12] Huszár I., (2021) Tárgyiasult ötletek–3D nyomtatás és tervezés, BBS-INFO Kft., Budapest
ISBN: 978-615-5477-97-3
E-book ISBN: 978-615-5477-98-0

[13] Ipar 4.0 fogalomtár
http12.: https://www.ipar4.hu/page/tudasbazis-ipar-4-0-fogalomtar
(Utolsó elérés: 2023. 05. 01.; 19:37; Google Chrome)

[14] J. Moody, M. Parenti, (2022), PrusaSlicer Infill Patterns: All You Need to Know, (Frissítve: 2022. december 13.)
http13.: https://all3dp.com/2/prusaslicer-infill-patterns/
(Utolsó elérés: 2023. 05. 21.; 20:52; Google Chrome)

[15] L. Fuentes, (2022), 3D Printing Brim: When Should You Use It (Frissítve: 2022. 09. 03.)
http14.: https://all3dp.com/2/3d-printing-brim-when-should-you-use-it/
(Utolsó elérés: 2023. 05. 23.; 21:13; Google Chrome)

[16] Lexx Farell, (2021), 10 Easy Fix to Get the Perfect First Layer on Your 3D Prints, 2021. július 6. (Frissítve: 2022. szeptember 20.)
http15.: https://howto3dprint.net/3d-print-perfect-first-layer/
(Utolsó elérés: 2023. 05. 26.; 14:17; Google Chrome)

[17] Lütkemeyer M., (2023), 3D Printing Brim: What is it? How & When to use it? – Guide
http16.: https://the3dprinterbee.com/3d-printing-brim/
(Utolsó elérés: 2023. 05. 23.; 21:14; Google Chrome)

[18] Molnár Marcell Ferenc, (2021), Alkatrész előállítás lehetősége FDM 3D nyomtatással, Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Kerámia- és Polimermérnöki Intézet
http17.: http://midra.uni-miskolc.hu/document/37766/34823.pdf
(Utolsó elérés: 2023. 04. 22.; 20:47; Google Chrome)

[19] Robin, Dongguan Roche Industrial, Minden, amit a 3D-nyomtatásról tudni kell
http18.: https://www.cnc.hu/2020/05/minden-amit-a-3d-nyomtatasrol-tudni-kell/
(Utolsó elérés: 2023. 05. 01.; 19:32; Google Chrome)

[20] Stephanie Torta, Jonathan Torta, (2019), 3D printing – An Introduction, Mercury Learning And Information Dulles, Virginia, Boston, Massachusetts, p. 111
ISBN-13: 978-1683922094
http19.: https://terrorgum.com/tfox/books/3dprinting.pdf
(Utolsó elérés: 2023. 04. 22.; 20:09; Google Chrome)

[21] Team Xometry, (2022), 3D Printer Filament: Types, Materials, Uses, and Services
http20.: https://www.xometry.com/resources/3d-printing/3d-printer-filament/
(Utolsó elérés: 2023. 04. 25.; 15:23; Google Chrome)

[22] http21.:https://discountsales.discountshop2023.ru/content?c=3d%20printer%20parts&id=5
(Utolsó elérés: 2023. 05. 01.; 19:41; Google Chrome)

[23] http22.: https://top3dshop.com/blog/3d-printer-nozzle-guide
(Utolsó elérés: 2023. 05. 19.; 18:24; Google Chrome)

[24] http23.: https://www.alza.hu/filamentek-3d-nyomtatas
(Utolsó elérés: 2023. 04. 25.; 19:29; Google Chrome)

[25] http24.: http://kreativ3d.hu/3d-nyomtatas-alapanyagai
(Utolsó elérés: 2023. 05. 01.; 14:58; Google Chrome)

[26] http25.: https://help.prusa3d.com/article/general-info_1910#history
(Utolsó elérés: 2023. 05. 21.; 17:58; Google Chrome)

[27] http26.: https://www.matterhackers.com/articles/3d-printing-essentials-first-layer
(Utolsó elérés: 2023. 05. 26.; 14:02; Google Chrome)

[28] http27.:https://www.hubs.com/knowledge-base/supports-3d-printing-technology-overview/
(Utolsó elérés: 2023. 05. 22.; 19:26; Google Chrome)

[29] http28.:https://www.3djake.hu/creality-3d-nyomtatok-es-alkatreszek/metall-extruder-upgrade-szett?sai=10587
(Utolsó elérés: 2023. 06. 05.; 11:49; Google Chrome)

[30] http29.: https://www.tomtop.com/p-os4703.html
(Utolsó elérés: 2023. 06. 05.; 11:50; Google Chrome)

[31] http30.:https://www.3djake.hu/creality-3d-nyomtatok-es-alkatreszek/leveling-kit?sai=12358
(Utolsó elérés: 2023. 06. 05.; 12:18; Google Chrome)

[32] http31.:https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/How-to-activate-start-up-or-educational-licensing-for-Fusion-360.html
(Utolsó elérés: 2023. 07. 13.; 19:31; Google Chrome)

[33] http32.: https://github.com/prusa3d/PrusaSlicer/releases/tag/version_2.6.0-alpha2
(Utolsó elérés: 2023. 07. 13.; 19:58; Google Chrome)

[34] http33.: https://euenergy.live/country.php?a2=HU
(Utolsó elérés: 2023. 08. 13.; 17:47; Google Chrome)

[35] http34.: https://bplegal.hu/kft-vs-egyeni-vallalkozas/
(Utolsó elérés: 2023. 08. 21.; 19:54; Google Chrome)

[36] Saját fénykép

[37] Saját kép: PrusaSlicer szeletelő szoftverben készült (verzió: 2.6.0-alpha2+win64)

[38] Saját készítésű kép: Autodesk Fusion360 3D tervező szoftverben készült

[39] Saját készítésű táblázat (Office 365 – Microsoft Excelben)

[40] Saját készítésű diagram (Office 365 – Microsoft Excel segítségével)