

DIPLOMADOLGOZAT

NAGY BÁLINT
Műszaki menedzser szak, MSc

Gödöllő
2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

**Műszaki menedzser Szak, Projektmenedzsment
szakirány**

VÁLLALKOZÁS INDÍTÁSA 3D NYOMTATÓVAL

Belső konzulens: Prof. Dr. Peszeki Zoltán
professor emeritus

Külső konzulens: Liszkai Martin
folyamatmérnök

Készítette: Nagy Bálint
YYX05Y
nappali tagozat

Intézet/Tanszék: Műszaki Intézet
Műszaki Menedzsment Tanszék

**Gödöllő
2023**

MŰSZAKI INTÉZET
MŰSZAKI MENEDZSER MESTERSZAK
Projektmenedzsment specializáció

DIPLOMADOLGOZAT
feladatlap

Nagy Bálint (YYX05Y)

részére

A diplomadolgozat címe:

Vállalkozás indítása 3D nyomtatóval

Feladatkiírás:

Készítse el az értékelő szakirodalmi összefoglalást. Készítsen felmérést piackutatással saját tervezésű termékek előállításával (FDM 3D nyomtatóval). Végezze el a legnépszerűbb termékek javítását, újra nyomtatását. Határozza meg a termékek előállítási költségeit és a villamos-energia fogyasztást. Számoljon megtérülési időt, nyereséget és tervezze meg a vállalkozás amortizációs politikáját és határozza meg a vállalkozás formáját.

Közreműködő tanszék: Műszaki Menedzsment

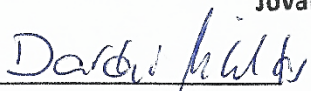
Külső konzulens: *Liszkai Martin folyamatmérnök*, Robert Bosch Elektronika Gyártó Kft., 3000 Hatvan, Robert Bosch út 1.

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

A dolgozat beadási határideje: 2023. november 06. (hétfő) 12:00 óra

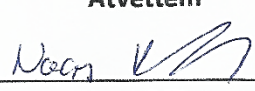
Kelt: Gödöllő, 2023. április 10.

Jóváhagyom


Dr. Daróczy Miklós
tanszékvezető



Dr. Daróczy Miklós
szakfelelős

Átvettem


Nagy Bálint
hallgató

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

Kelt: Gödöllő, 2023. október 30.


(külső konzulens)

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.....	5
2.3	Az FDM 3D nyomtató felépítése, működése és tartozékai.....	6
2.3.1	Az FDM nyomtató működése általánosságban	6
2.3.2	Az FDM nyomtató elvi felépítése.....	7
2.3.3	Az FDM nyomtató megjelenése a gyakorlatban	7
2.3.4	Az FDM nyomtató fűvókátípusai	10
2.4	A nyomtatáshoz használandó anyag (filament) bemutatása	11
2.4.1	Mi az a filament?	11
2.4.2	A filament-típusokról általánosságban	12
2.4.3	PLA filament	13
2.4.4	PET-G filament.....	14
2.5	Az FDM nyomtatóhoz használt G-kód bemutatása.....	15
2.6	A 3D nyomtatáshoz használatos szoftver ismertetése és lehetőségei.....	15
2.6.1	A PrusaSlicer szeletelő szoftver története.....	15
2.6.2	Első réteg (first layer)	16
2.6.3	Kitöltési minták (infill patterns)	17
2.6.4	A támaszanyag (support).....	18
2.7	Szakirodalmi áttekintés összegzés.....	21
3	Anyag és forma.....	22
3.1	A vállalkozás indításának feltételei, technikai háttere.....	22
3.1.1	Az FDM nyomtató és tartozékai.....	23
3.1.2	A nyomtatáshoz használt 3D tervező program.....	28
3.1.3	A modellek nyomtatását előkészítő szeletelő program.....	28
3.2	A termékek előállítása és értékelésének felépítése.....	29
3.3	A prototípus modellek nyomtatása	30
3.3.1	Nyomtatás kevés anyagfelhasználással.....	30
4	Saját munka, vizsgálatok, értékelések, eredmények.....	31
4.1	Piackutatásom és annak eredményei	31

4.1.1	A piackutatás elkészítése, részletei	31
4.1.2	Az elvégzett piackutatásom eredményei.....	32
4.2	Piackutatási eredményeim, a kiválasztott modellek újra nyomtatása.....	37
4.2.1	Módosításaim a prototípus modelleken	37
4.2.2	Az öt legtöbb szavazatot kapott süteménynyomó bemutatása	39
4.2.3	Medálok, fülbevalók legtöbb 5 szavazat prototípusai és javításaim.....	44
4.2.4	Karácsonyi díszek 5 legtöbb szavazatú prototípus modellek, javításuk	44
4.3	Az összehasonlító vizsgálatomhoz használt filament bemutatása.....	47
4.4	Kamrában-, és szabadon nyomtatott modellek összehasonlítása	48
4.4.1	Az általam kinyomtatott modellek jellemzői, tulajdonságai	48
4.4.2	Kamrában nyomtatott modellek jellemzői általánosságban.....	51
4.4.3	Szabadon nyomtatott modellek jellemzői	52
4.4.4	Kamrás-, szabad nyomtatású modellek összehasonlítása, vizsgálataim	53
4.5	A nyomtatás során keletkezett költségeim.....	63
4.5.1	Az alkalmazott szoftverből származó költségek	63
4.5.2	A nyomtatásaim energiaköltsége.....	63
4.5.3	A nyomtatásaim anyagköltsége	66
4.6	Teljes megtérülés és nyereség számítása	68
4.6.1	A termékeim egységárainak meghatározása	68
4.6.2	A termékeim eladásából befolyó bevétel	68
4.6.3	Nyereségem meghatározása	71
4.6.4	Megtérülés számítása	73
4.7	A Creality Ender 3 FDM nyomtató amortizációja	74
4.8	Összességében megérné-e ezen területeken vállalkoznom?	75
4.8.1	Vállalkozási formám kiválasztása, értékelésem	75
5	Javaslatok, következtetések	76
6	Összefoglalás	77
7	Summary	78
8	Nyilatkozat	79
9	Felhasznált irodalom.....	81
10	Mellékletek: Az alkalmazott formák.....	86

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 dolgozatom 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 fedile 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 előállításának 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 elkezdni 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 (PC) segítségével megalkotott digitális fájlból. Additív gyártástechnológiának is szokás nevezni. Az additív gyártás 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); és a fennmaradó anyag lesz a késztermékünk. Ennek az additív technológiának a legjelentősebb úttörője és élenjárója a 3D nyomtató. Az anyaghozzáadással járó munkadarab készítésnek egyik legnagyobb előnye, hogy akár bonyolult geometriájú alkatrészek is nyomtathatók kevés anyagfelhasználással. További előnyei, hogy 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 Egyesült Államokban egy bútorgyártó vállalat UV fény segítségével vitt fel vékony polimer réteget bútorlapokra, s ekkor támadt egy ott dolgozó mérnöknek, Chuck Hull-nak egy forradalmian új ötlete. Mivel számos alkalommal előfordult, hogy a szükséges műanyag alkatrészek beszerzése hónapokat csúszott, így elkezdett kísérletezni egy olyan megoldással, hogy sok polimer réteget rakott egymásra, így elérve a kívánt geometriájú alkatrészt [12].

Chuck W. Hull (1939-) 1986-ban beadta szabadalmát az USA-ban az általa kifejlesztett új technológiára. Ezt a technológiát sztereolitográfiai (SLA) technológiának nevezzük, amely során egy fotopolimerrel töltött edény felületére koncentrálnak UV fénysugarat, amely kikeményíti a folyékony anyagot. Az általunk előállítani kívánt tárgy számítógépes modelljét a 3D tervezés után rétegekre kell bontani, ezután pedig a fotopolimert tartalmazó tartályban egy függőlegesen lefelé-felfelé (oda-vissza) mozgó tárgyasztalon rétegről-rétegre felépíteni. Ezt az UV fényt számítógép segítségével vezérelhetjük a kívánt helyre, így ahol az UV fény a fotopolimert éri, ott térhálósodik a szerkezete, ezáltal megszilárdul [12] [19].

Ez a szabadalom eredményezte az első nagy áttörést 1988-ban, amikor eladásra került az első SLA 3D nyomtató, SLA-250 néven, amelyet elsősorban járműgyártók, a repülőgépipar, valamint orvostechnikai berendezésekkel foglalkozó cégek vásároltak meg. Az 1990-es évek közepén már jó néhány 3D nyomtatásra specializálódott szervezet létrejött, akik a napjainkban használt 3D nyomtatási folyamatok fejlesztésén dolgoznak. Ezek közül a „3D nyomtatás hajnalán” létrejövő szervezetek közül ma már csupán három maradt fenn: a 3D Systems, az EOS, valamint a Stratasys. Fontos kiemelni, hogy ekkoriban még csupán ipari célú felhasználás volt előtérben. A 3D Systems esetében Chuck Hull társalapítóként tevékenykedett, ahol számos másik szabadalom kötődik az Ő nevéhez, jellemzően 3D nyomtatással kapcsolatban. A technológia roppant gyorsan kezdett terjedni, így mára Őt hívják a „3D nyomtatás atyjának”, akinek nevéhez 93 szabadalom köthető az Egyesült Államokban [11] [12] [19].

Többek között annak is köszönheti sikerességét és gyors terjedését a technológia, hogy alkalmazásával gyorsan lehet prototípusokat előállítani. Sok-sok évig RP-nek nevezték ezt a technológiát (Rapid Prototype – Gyors Prototípus). Elsőként 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, hiszen nincs szerszámtervezés, sem gyártási folyamatok, amelyek tesztarabok fröccsöntésére szolgálnának. Ez esetben a fröccsöntési technológia jelentős többletköltséggel bír. 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. Ha mégis kudarcként végződne egy-egy ötlet, akkor sem tetemes a költsége, kisebb „fájdalommal” dobják a szemetesbe a modellt és keresik tovább az optimális megoldást. Emiatt a tulajdonsága miatt ösztönzően hat a kreativitásra [12].

A 3D modellek tervezéséhez CAD / CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing – Számítógéppel Támogatott Tervezés / Előállítás) szoftvereket használtak, ezáltal szükségessé vált egy olyan speciális, erre a célra kifejlesztett fájlformátum, amely kapcsolatot teremt a 3D nyomtató és a CAD / CAM szoftverek között, ennek köszönhetően a modellek kinyomtathatók. 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 [9] [11].



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

Az első, kereskedelmi forgalomban kapható SLA-1 nevű 3D nyomtató a fenti ábrán (2.1. ábra) látható. Az SLA technológiával párhuzamosan két másik eljárás is kifejlesztésre került: az FDM (Fused Deposition Modeling vagy FFF = Fused Filament Fabrication), illetve az SLS (Selective Laser Sintering). Az FDM technológiát Scott Crump-nap (1954-) köszönhetjük, 1988-ban fejlesztette ki, mely után létrehozta saját cégét, hogy népszerűsítse ezt az eljárási módot. Ez a cég volt a Stratasys. Legelső gépüket 1992-ben adták el, amely a „3D Modeler” nevet viselte. Ez mellett az SLS technológiát dr. Carl Deckard (1961-2019) és dr. Joe Beamen (1950-) fejlesztették ki, majd rövidesen alapítottak egy start-up céget, melynek a DTM nevet adták, ahol SLS-elven működő gépeket terveztek és állítottak elő [11].

A kezdetek után a következő mérföldkő 2009-ben volt, amikor a technológia kereskedelmi forgalomba került. Ekkor a RepRap (Replicating Rapid Prototyper) nyílt forráskódú vállalkozás a filament szálhúzásos nyomtatási technológia (FDM) egy új fejezetet nyitott az asztali 3D nyomtatók megszületéséhez. Ezek után megindult a tömeges forgalmazás és manapság számos cég kezdett felhasználói (asztali) gépek gyártásába és forgalmazásába egészen az olcsó kategóriától kezdve a drágább modellekig [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

Diplomadolgozatom készítése során egy, a kereskedelmi forgalomban kapható FDM 3D nyomtatót fogok használni (Creality Ender 3), így a szakirodalmi áttekintés során 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.

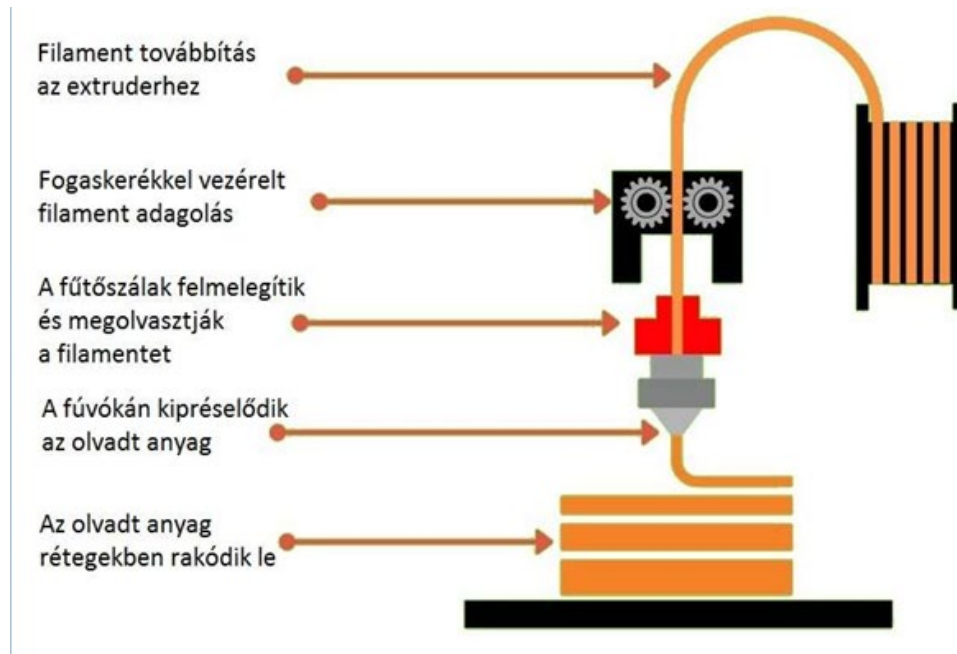
2.3.1 Az FDM nyomtató működése általánosságban

Az FDM 3D nyomtató működése leegyszerűsítve leginkább a ragasztópisztolyhoz hasonlítható. Számítógéppel vezérelt mechanikához kapcsolt fűvókán keresztül juttatja ki a megolvasztott műanyagot és egy, a felbontott 3D modell alapján rétegről-rétegre építi fel a modellünket [20].

Ettől összetettebben megfogalmazva, az FDM nyomtató (Fused Deposition Modeling), ahol hő hatására az alapanyag megolvasztásával, az extrudálhatóvá válik. A legelterjedtebb technológia, amely a behúzott műanyagszál megolvasztásán alapul. Ahogyan már korábban említettem, ezt a technológiát Scott Crump-nak köszönhetjük, aki az 1980-as évek második felében fejlesztette ki. A nyomtatáshoz szükséges anyagot filamentnek nevezzük, amelyet egy fogaskerék segítségével adagolunk. Ezen fogaskerék továbbítja az anyagot a fűtőpatronnal ellátott extruderbe, ahol a műanyag megolvad, majd tovább haladva egy fűvókán keresztül távozik. A fűvóka kirajzolja az elkészíteni kívánt test keresztmetszetét, jellemzően a külső kerülettel kezdve, majd a belső részeket extrudálja ki. Azon felületet, ahová a fűvóka a modellünket építi, tárgyasztalnak nevezzük. A fűvóka és a tárgyasztal egymáshoz képest különböző irányokban tud mozogni, így tudja kialakítani a kívánt modellünket. Egy 3 tengelyes rendszeren keresztül történik meg a fűvóka – és így az egész nyomtatófej („Hot end”) mozgása -, az „X” irányba a nyomtatófej („Hot end”) mozog – ez a vízszintes irány, amelyet egy léptetőmotor-fogasszíj hajtás valósít meg; az „Y” irány a tárgyasztal előre-hátra történő mozgásával valósul meg, amelyet ugyancsak egy léptetőmotor-fogasszíj hajtás valósít meg; a „Z” irány a függőleges felfelé mozgást pedig egy orsó segítségével valósítjuk meg, ugyancsak léptetőmotor-hajtással – ez a mozgás a modell építésétől kezdődően függőlegesen felfelé irányul a modell elkészültéig. Tehát a tárgy alulról felfelé épülve születik meg. Manapság már azonos műanyagokat is képes használni, mint a fröccsöntési technológia (pl.: ABS). Az otthoni 3D nyomtatók többsége ezen technológiával működik, méretpontosságuk pedig hobbi szintűnek tekinthető (0,1 ÷ 0,2 mm) [11] [12] [20].

2.3.2 Az FDM nyomtató elvi felépítése

Ahogy az alábbi ábrán is látható (2.2. ábra), a filament, vagyis a nyomtatáshoz használt alapanyag bejuttatása és megolvasztása egy nagyon egyszerű rendszer segítségével valósítható meg.



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

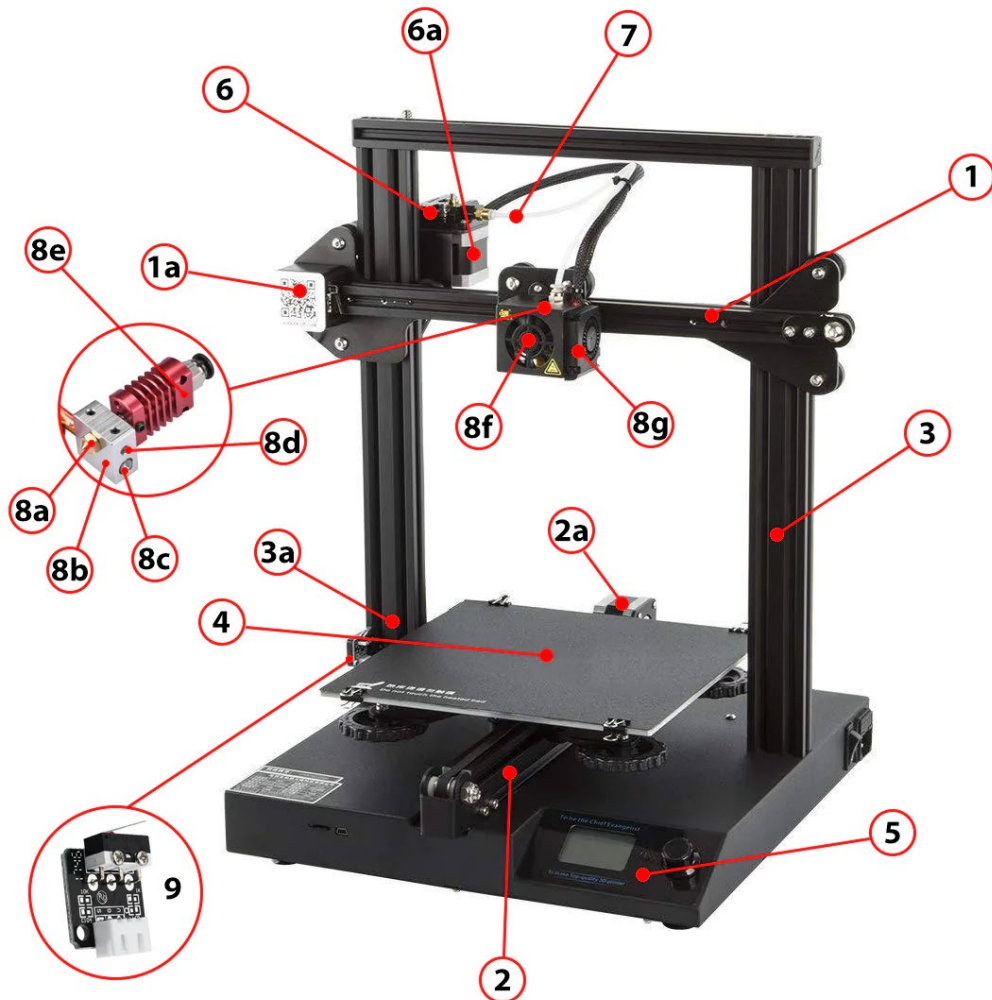
A továbbiakban bemutatom, hogy a valóságban milyen megjelenése van egy FDM nyomtatónak, valamint milyen egyéb kiegészítő berendezések, geometriai kialakítások szükségesek a nyomtatás megvalósíthatóságához.

2.3.3 Az FDM nyomtat 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 fűvóka (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 fűvóka túlmelegedését akadályozza meg (8f). A szélső ventilátor az olvasztott polimer megkeményedéseért 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 alkatrészekon 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 számos olyan másik elem található a nyomtatón, ami szintén elengedhetetlen szerepet tölt be a gép működését tekintve. A továbbiakban összeszedtem a fenti ábrán (2.3. ábra) látható, megjelölt elemeket, részegységeket, amelyek a nyomtató közvetlen működéséért felelnek, valamint olyan alkatrészeket, amelyek a nyomtatás minőségét, a kritikus hibákat küszöbölik ki, ezzel is biztonságosabbá téve a rendszert.

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 [44]

Megnevezés	Jelölés	Leírás
„X” tengely	1	Az „X” irány mozgása (fogasszík-hajtás)
	1a	Az „X” irány hajtásáért felelős léptetőmotor
„Y” tengely	2	Az „Y” irány mozgása (fogasszík-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 megjegyezni, 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.

2.3.4 Az FDM nyomtató fúvókatípusai

Az FDM nyomtatók nyomtatási minőségének szíve-lelke a fúvóka –angol megnevezése a „Nozzle”. Egy kicsi alkatrész a nyomtatófej végén (az extruder részét képezi), ami meghatározza a nyomtatott rétegek méreteit. A felhasznált polimer megolvasztásáért és a tárgyasztalra történő felviteléért felel. A fúvókának két meghatározó tulajdonsága elengedhetetlen a nyomtatás minőségét tekintve: a fúvóka **anyaga** és a fúvóka **átmérője** [23].

Manapság, a nyomtatók kereskedelmi forgalmazásában minden modell lehetővé teszi a fúvókák cseréjét, így azok cserélhetők, ugyanis kopóalkatrészről van szó. Igaz, cseréje nem gyakori, azonban időnként ajánlott leellenőrizni az állapotát (eltömődés, kopás) [23].

Átmérőjét tekintve sokféle típus kapható a piacon, azonban a **legelterjedtebb az Ø 0,4 mm-es fúvóka**. A vásárolható fúvókaátmérők az alábbi ábrán (**2.4. ábra**) láthatók:



2.4. ábra: A vásárolható fúvókák átmérő szerint [23]

Minél kisebb átmérőjű fúvókát használunk, annál „finomabb felbontású” lesz a modellünk, tehát annál élethűbb és részletesebb lesz a végeredmény. Azonban hátránya, hogy a nyomtatási idő megnövekszik, ami több időt és villamos-energiát igényel [23].

Anyagát tekintve, a kereskedelmi forgalomban kétféle típusú fúvóka kapható: sárgaréz-, és rozsdamentes acél-fúvóka. A két anyag tulajdonságai a **2. táblázat**ban láthatók:

2. táblázat: Fúvóka-típusok jellemzői [44]

Fúvóka anyagminősége	Sárgaréz	Rozsdamentes acél
Hővezető képesség	Magas	Alacsony
Korrózióállóság	Korrózióálló	Korrózióálló
Kopásállóság	Alacsony	Magas
Optimális felhasználás	"Puha" filamentek adalékanyagok nélkül	Szilárd adalékanyagú filamentek (fém, fa, kő stb)

A sárgaréz-fúvóka árát tekintve kedvező, jól megmunkálható anyag. Kiváló minőségű nyomatok érhetők el vele. Akkor ütközünk problémába, ha az általános anyagok mellett különleges típusokat is szeretnénk nyomtatni (kő-hatás, fa-hatás), akkor a rozsdamentes acél-fúvókát kell alkalmaznunk [23].

A különböző általános filamentekről és „különleges” típusokról a „**2.4 A nyomtatáshoz használandó anyag (filament) bemutatása**” fejezetben részletesebben írok.

2.4 A nyomtatáshoz használandó anyag (filament) bemutatása

Ebben a fejezetben bemutatom az FDM nyomtatókhoz használatos anyag alapvető 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].



2.5. ábra: Többféle színű filament feltekercselve [21]

Ahogy a fenti ábrán is látható (2.5. 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 megjegyezni, 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 A filament-típusokról általánosságban

Megjelenését, hatását tekintve sokféle anyag kapható a piacon. Lehet különböző hatású filamentet vásárolni: normál, matt, selyem (silk), fa-hatású (wood), kő-hatású, bronz-hatású, arany-hatású, fém-hatású [21].

Típusát (anyagjellemzőjét) nézve pedig számos polimer típusú filament kapható, ezeket név és egyéb tulajdonság szerint az alábbi táblázatba (**3. táblázat**) foglaltam össze.

3. táblázat: Filament anyagok FDM nyomtatókhoz [44]

Filament megnevezése	Ár [Ft/kg]	Tartósság	Rugalmasság	Szilárdság	Élelmiszer biztonság (Food safe)
ABS	3380	Magas	Közepes	Közepes	Nem
PLA	5070	Közepes	Alacsony	Közepes	Igen
Nylon	16900	Magas	Magas	Magas	Igen
PETG	5070	Magas	Magas	Közepes	Igen
PVA	13520	Közepes	Alacsony	Magas	Igen
ASA	10140	Magas	Alacsony	Közepes	Nem
PC	10140	Magas	Közép-Magas	Magas	Nem
TPE	13520	Mérsékelt	Magas	Alacsony	Igen
TPU	15200	Magas	Közép-Magas	Közép-Magas	Igen
Homok-kő hatású (Sandstone)	10140	Alacsony	Alacsony	Alacsony	Nem
Fa-hatású (Wood)	8450	Közepes	Közepes	Közepes	Nem
HIPS	6760	Magas	Közepes	Alacsony	Igen
Szén-rost (Carbon fiber)	10140	Magas	Alacsony	Közepes	Nem

A fenti táblázatban (**3. táblázat**) láthatóak azon anyagok, amelyek FDM nyomtatáshoz használhatók. Az ár másodlagos szempont. A nyomtatott termékek funkciójának szempontjából kiemelném az élelmiszer-biztonság (Food safe) fontosságát, ha konyhai termékeket szeretnék nyomtatni. A 3D nyomtatás területén FDM nyomtatóval a legnépszerűbb anyag a PLA. Nem kimondottan erős anyag, viszont az élelmiszer-biztonság miatt a továbbiakban részletezni szeretném. A PLA mellett elterjedt anyagok: ABS, PET-G.

A továbbiakban a PLA és PET-G anyagokat mutatom be részletesen. Az ABS körülményes, egészségkárosító gázok szabadulnak fel nyomtatás közben és komoly utómunkát igényel. Leginkább prototípus-gyártáshoz ajánlott és műszaki termékek gyártásához, mint az elektromos szerelvények, hiszen RoHS-megfeleléssel rendelkezik (Elektronikus berendezésekben veszélyes anyagok használatának tilalma) [24] [25] [26].

2.4.3 PLA filament

A PLA (polilaktid vagy politejsav) olyan polimer, amelyet nem kőolajból, hanem megújuló forrásokból –növényi szénhidrátokból– készítenek. Jellemzőit az alábbi táblázatba (4. 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]!

4. táblázat: PLA anyagjellemzői és nyomtatási tulajdonságai [44]

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. Sokrétűen, 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, ami azt jelenti, hogy 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].

2.4.4 PET-G filament

Egyre inkább népszerű anyag a PET-G is a filament-alapanyagok területén. A PET-G a PET (Polietilén-tereftalát) egyik módosított, glikollal dúsított változata. A PET rendkívül elterjedt, leginkább a műanyag palackokról ismert polimer-típus. A glikol hozzáadásával néhány extra tulajdonságot tudnak adni az anyagnak. A PET-G előnyös tulajdonsága, hogy viszonylag könnyedén nyomtatható, ugyanakkor tartós, erős, de kissé rugalmas is. Jó ütésálló tulajdonsággal rendelkezik és a hőnek is jobban ellenáll, mint a sima PET. Jól tűri a hajlító és csavaró igénybevételeket is. Ezért előszeretettel alkalmazzák például telefontok nyomtatására. Továbbá jó vegyszerálló tulajdonságokkal is rendelkezik [21] [24].

5. táblázat: PET-G tulajdonságai [44]

Anyagjellemzők	
Sűrűség [g/cm ³]	1,3
Szakítószilárdság [MPa]	42,5
Hajlítószilárdság [MPa]	70
Szakadási nyúlás [%]	20
Hőtürés [°C]	75
Élelmiszer-biztonsági besorolás	Biztonságos
Nyomtatási jellemzők	
Fúvóka hőmérséklettartománya [°C]	215 ÷ 245
Tárgyasztal hőmérséklete [°C]	80 ÷ 90

Jó hőmérséklettűrő-képességét jellemzi, hogy nagyságrendileg a 80 °C-nak is ellenáll, azonban a nyomtatásához fűthető ágyra van szükség, szemben a PLA-val. Az élelmiszerekkel történő érintkezésében megegyezik a PLA-val, szintén Food safe anyagról van szó, de a PET-G esetében is igaz, hogy minden esetben, ha élelmiszerekkel kapcsolatos terméket szeretnénk nyomtatni, a filament gyártói dokumentációját ellenőrizni kell [21] [24] [25]!

Tulajdonságait a fent látható táblázatba (5. táblázat) foglaltam össze, ahol szembetűnő, hogy a PLA és az ABS tulajdonságait ötvözi. Kiváló választás olyan nyomtatási helyeken, ahol a védelem elengedhetetlen, ezáltal tartós anyagot szeretnénk felhasználni. Mindig elsődleges szempontunk a tartósság és megbízhatóság, hogy az adott igényre ne kelljen ismételt újabb alkatrészt nyomtatni, mert az nem bír ellenállni a mechanikai terhelésnek. Manapság már ez a filament-típus is számos színben elérhető. Fontos megjegyezni, hogy valamelyest kisebb sebességen lehet nyomtatni, mint a PLA-t [21] [25].

2.5 Az FDM nyomtatóhoz használt G-kód bemutatása

A G-kódok az USA-ban lettek kifejlesztve az 1950-es években. Az első NC vezérlésű (Numerical Control – Számjegyvezérlés) szerszámgépek működtetésére fejlesztették ki az MIT-n (Massachusetts Institute of Technology). Az 1960-as évek első felében felmerült az igény, hogy egy egyszerűbb és gyorsabb megoldást vezessenek be a lyuk-kártyás technológia helyett. Az MIT-n az informatika irányából közelítették meg a problémát, a szerszámgépbe számítógépet integráltak, hogy a programozás, és a program futtatása gyorsabb legyen. Így az NC programok tárolására és szerkesztésére szükség volt egy szabadon formázható formátumra. Ez a formátum alkalmas tengelyek általi interpolációk vezérlésére. Interpoláció az a matematikai eljárás, amikor egy koordináta-rendszerben található pontokat összekötjük és egy görbét kapunk [27] [28] [29].

Akkoriban csak egyetlen megfelelő formátum állt rendelkezésre; ez volt a Gerber-formátum. A Gerber-formátum egy ASCII-kódszisztemből származó formátum. Az ASCII (American Standard Code for Information Interchange) betűkészlet egy-egy számot és azonosító kódot rendel az angol betűkészlet minden eleméhez. Mikor kialakították a Gerber-formátumot, már képesek voltak 3 tengelyes mozgások vezérlésére is. Így napjainkban is a Gerber-kódok ilyen elven működnek és az ABC betűinek használatával lehetővé tesznek parancsmegadást. Kifejlesztésüket követően, nagy nyomtatók és plotterek vezérlésére alkalmazták. Napjainkban a 3D nyomtatás mellett a NYÁK-ok (nyomtatott áramkörök) áramköri elemeinek beültetésénél is használják [5] [27] [30].

2.6 A 3D nyomtatáshoz használatos szoftver ismertetése és lehetőségei

2.6.1 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 [31].

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

2.6.2 Első réteg (first layer)

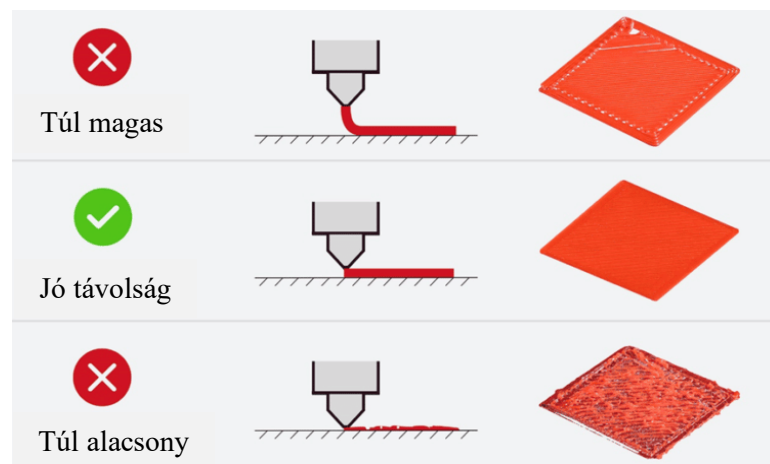
Az első réteg, vagyis „first layer” a legelső réteg, amit a fűvóka a tárgyasztalra épít. Ennek minősége meghatározza a kész munkadarab minőségét, hiszen a többi réteg erre a rétegre fog épülni [32].

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 fűvókára egyaránt. A megnövelt réteg és hőmérséklet segít a jobb tapadásban. A minőségében közrejátszó további tényezők lehetnek:

- tapadófelület (ágy) típusa, minősége,
 - hagyományos nyomtatófólia,
 - üveglap,
 - PEI-fólia (Poliéter Imid).
- fűvóka hőmérséklete,
- ágy hőmérséklete,
- fűvóka és ágy távolsága egymástól.

Bármit is nyomtatunk, minden az első rétegen múlik. Ezért ezt a szakaszt nagyon fontosnak tartom a minőségi termékek előállítására miatt. Ugyanakkor a hibás első réteggel nyomtatott tárgy selejtként, vagyis veszteségként szolgálhat.

Az alábbi ábrán látható (2.6. ábra), hogy hogyan néz ki a jól és a rosszul beállított fűvóka-tárgyasztal távolsága és a jó beállításokkal nyomtatott első réteg:



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

A cél mindig a jó tartomány elérése, mert így lehet a veszteségeket minimalizálni és folyamatosan jó termékeket előállítani. Továbbá fontos, hogy a túl alacsony beállítás mind a fűvókában, mind a tárgyasztalban kárt tehet.

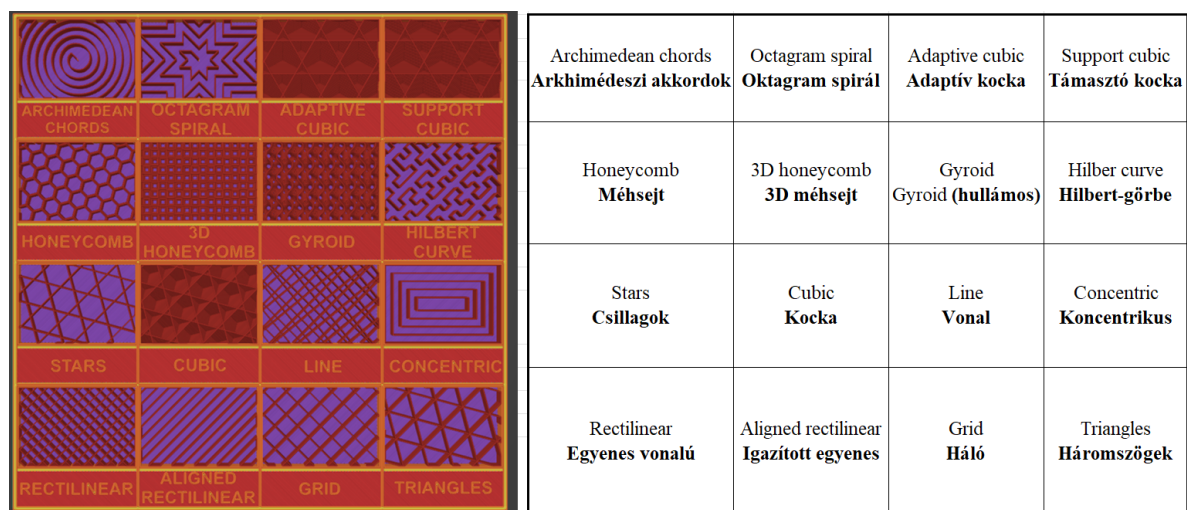
2.6.3 Kitöltési minták (infill patterns)

A kitöltés (infill) az egyik legfontosabb beállítás a 3D nyomtatás során. A nyomtatás előkészítésekor a szoftverekben állítható, hogy milyen kitöltési mintát szeretnénk alkalmazni. Ez lehet üreges, teljesen tömör vagy az előbbieket kombinációja. Segítségükkel a nyomtatási idő és a felhasznált anyag mennyisége csökkenthető, mindemellett a kitöltési minta típusával a szilárdságtani jellemzők javíthatók. Ez egyedülálló a 3D nyomtatásban, mint additív gyártásban, szemben a fröccsöntéssel, ahol a termék teljes mértékben felveszi a minta formáját, ezáltal tömör keresztmetszetű lesz. Így, amennyiben a tervezési konstrukcióban hiba van, fröccsöntés esetén a szilárdságtani jellemzők nem javíthatók [14].

A PrusaSlicer beállításában számos kitöltési minta található. Némelyik gyorsítja a nyomtatást, de a szilárdságtani jellemzőket rontja, míg másik minta sűrű, viszont rugalmatlan. Ezáltal szabadon lehet választani a minták közül, hogy megtalálhassuk számunkra a legmegfelelőbbet. A minták jellemzői [14]:

- **Nyomtatási sebesség:** Milyen gyorsan nyomtatható ki a minta?
- **Sűrűség:** Mennyi filamentet használ fel?
- **Kinézet:** Hogyan néz ki a minta? (átlátszó filamentnél fontos)
- **Felső réteg támasztéka:** Mennyire lesz alátámasztva a minta feletti réteg?
- **Rugalmasság:** Mennyire lesz rugalmas a nyomtatás a mintával?
- **Feltöltés:** Mennyire zár jól? (folyadékkal való feltöltés esetén)

Az alábbi ábrán láthatók (2.7. ábra) a PrusaSlicer által kínált kitöltési minták. A minták ezen a forráson keresztül letölthetők és kinyomtathatók: [3].

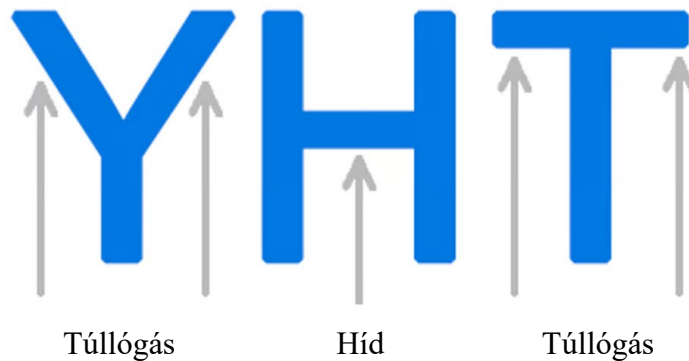


2.7. ábra: A kitöltési minták típusai a PrusaSlicer szoftverben [42]

A fent látható kitöltési minták közül a leginkább használt a „Háló” típus gyorsasága, anyagfelhasználása és szilárdságtani jellemzői miatt. Továbbá ez az alapértelmezett minta.

2.6.4 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 ($> 45^\circ$) alátámasztás, vagyis támaszanyag szükséges. Ha nem lenne támaszanyag, akkor a „levegőbe” nyomtatna a nyomtató, tehát ki sem tudnánk nyomtatni az alkatrészünket [6].



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

Jól szemlélteti a fenti ábra (2.8. 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.



2.9. ábra: Support nélküli "Y", és supporttal nyomtatott „H” és "T" betűk [33]

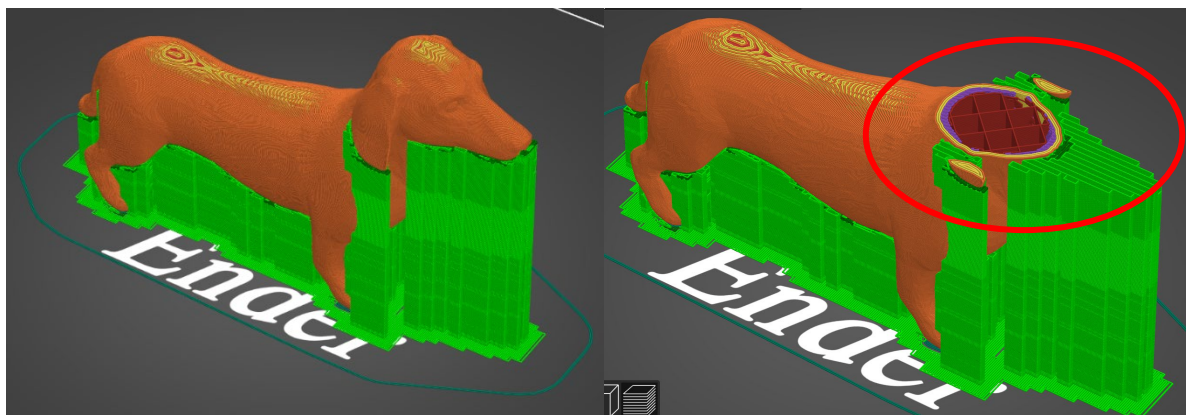
Ahogy a fenti ábrán látható (2.9. ábra) és az előbbieken ismertettem, az „Y” esetében a túllógás kisebb, mint 45° , így szabadon nyomtatható. A „T” és „H” betűk esetében a képen látható módon készül el a támaszték, ami a nyomtatás után jellemzően könnyedén eltávolítható.

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 modell ezen a linken keresztül tölthető le: [10].



2.10. ábra: A háló-típusú support a PrusaSlicer szeletelőben; kész modell (balra), az alsóbb rétegek készítésekor (jobbra) [42]

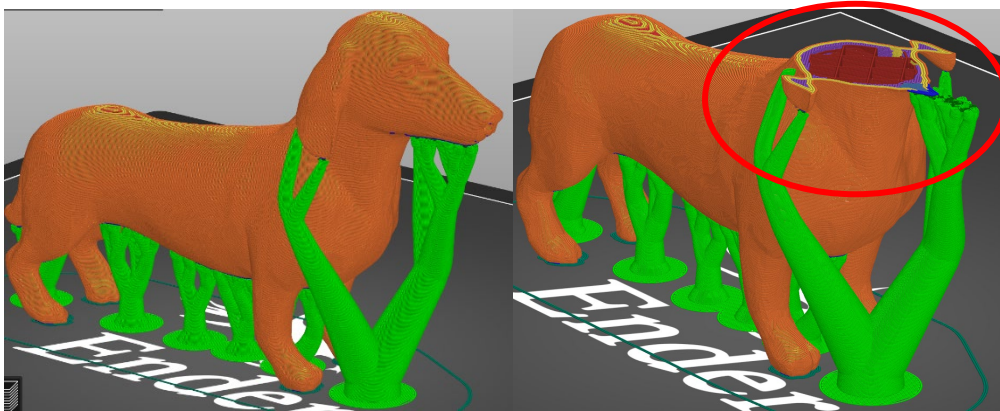
Ahogy a fenti ábrán (2.10. ábra) látható, világoszöld színnel jelöli a program a támaszanyagot. Széles területen, kellő biztonsággal aládolgozza a támasztékot a szoftver a szeletelés során. A „Háló”-típusú support ideális nagy felületek alátámasztásakor, főleg, ha formás modellt nyomtatunk, mint ez a kutya.

Hátránya, hogy a nyomtatási idő és az anyagfelhasználás megnövekszik, a többletanyag pedig veszteségként jelentkezik. Továbbá a „Háló”-típusú support eltávolítása nehézkes lehet, ha nehezen hozzáférhető helyen található, valamint a modellt is roncsolhatja az eltávolítása során, ezért át kell gondolni, hogy mely esetekben és milyen sűrűséggel alkalmazzuk [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 modellt egyes felületeit [6].

Az organikus támaszanyag kiváló, ha több ponton kilógó, szabálytalannak tűnő kilógások, csatlakozások is vannak a modellen, mint ez esetben a tacsó füle és állának az alátámasztása, ahogyan az alábbi ábrán (2.11. ábra) is látható.

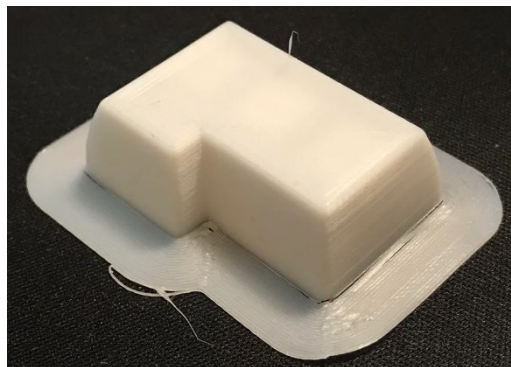


2.11. ábra: Organikus supporttal nyomtatott kész modell (balra), alsóbb rétege (jobbra) [42]

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

Karima (brim)

A karima a nyomat első rétegét (first layer) segít nagyobb felületen letapadni a tárgyasztalra (2.12. ábra). Ha bonyolult geometriájú modelleket nyomtatunk, a nyomtatás előrehaladtával felválhatnak az asztról és vetemedni kezdenek [15].



2.12. ábra: Karimával nyomtatott modell [17]

A vetemedés egy 3D nyomtatási probléma, ami azt jelenti, hogy a nyomat első rétegei összezsugorodnak a fentebb lévő rétegek okozta húzóerők miatt, ami az anyag lehűléséből ered. Ennek hatására a tárgy használhatatlan. Ezt a problémát a karima részben vagy egészben megoldja [15].

2.7 Szakirodalmi áttekintés összegzés

Összességében az FDM nyomtatásnak véleményem szerint a legnagyobb előnyére lehet alapozni egy induló vállalkozást; és az voltaképpen az egyedi gyártás. Mivel manapság divat lett az egyedi termékek vásárlása, viselése, így megnöttek az igények az olyan előállítási lehetőségekre, amelyekkel kis ráfordítással ugyan, de kis mennyiségben bizonyos tárgyakat elő lehet állítani és értékesíteni. Az ipari tömegtermelésben az egyediség általában a magas előállítási költséget jelenti, azonban egy FDM nyomtató esetén könnyedén alkalmazkodni lehet a változó igényekhez. Akár hobbi céllal kezdjük, akár konkrét vállalkozási szándékunk van, minimális CAD / CAM tudással nagyon jó – és ami még fontosabb – egyedi termékeket állíthatunk elő, akár az otthonunkban, laboratóriumi körülmények nélkül. Voltaképpen a tervezés után, rövid időn belül ki is nyomtathatjuk a termékünket és megbizonyosodhatunk a megfelelőségéről és ehhez nem kell komolyabb alaptőkével rendelkezünk a kezdeti, kis darabszámú, prototípusok előállításához. Ezért is említeném meg a műgyantás (SLA) 3D nyomtatókat, mert otthoni körülmények között, megfelelő levegőszűrő rendszer nélkül egészségkárosító lehet, ezért az FDM-technológia sokkal felhasználó-barátabb, továbbá túlnyomó részt lebomló polimereket használ a termékek előállításához (PLA, PET-G).

Mindezek mellett, a PrusaSlicer szeletelő segítségével olyan, az előzőekben ismertetett alapbeállításokkal javíthatunk a nyomtatási körülményeken, amik alapjaiban segítenek a kívánt minőségű termék előállításában.

Mindent összegezve, a mai viszonylatokat figyelve a **minőség**, az **egyediség** és a **gyorsaság háromszöge** egyre inkább előtérbe került és erre egy FDM nyomtató kielégítő választás egy szárnyait bontogató, vevőit kereső vállalkozás számára.

3 Anyag és forma

Ebben a fejezetben be szeretném mutatni, hogy milyen technikai háttérrel kell rendelkezni egy esetleges 3D nyomtatással foglalkozó vállalkozás indításához, valamint milyen alapszintű fejlesztések szükségesek ahhoz, hogy számos mindennapi hibát kiküszöbölhessenek.

3.1 A vállalkozás indításának feltételei, technikai háttere

A technikai oldalát tekintve nem túl összetett berendezésekre van szükség a vállalkozás megkezdéséhez. 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, termelékenységet vagy éppen a minőséget, ideértve a selejtek számának csökkentését.

Diplomamunkám során az előállítandó termékek igényének felmérése, a modellek tervezése és előállítása mellett az egyes technikai eszközök / tartozékok ráfordításait is szeretném bemutatni. Ezen költségek több forrásból adódnak:

- a) A nyomtató beszerzési ára,
- b) A nyomtató nyomtatási minőségét javító kiegészítő alkatrészek ismertetése és beszerzési árai,
- c) A nyomtatott tárgyak előállítási költségei.

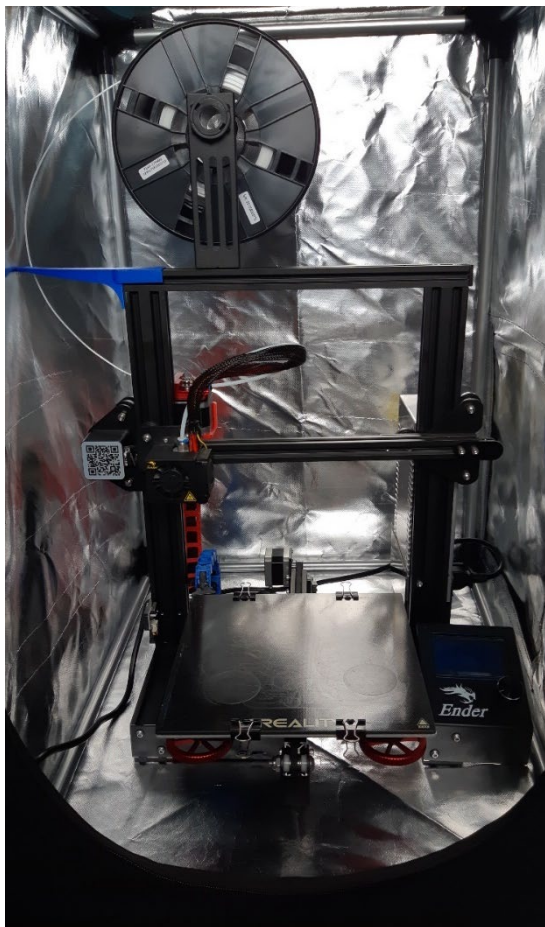
Ezen három fő csoportba soroltam a költségeket, amelyeket a továbbiakban részletesen ismertetni és számszerűsíteni fogok.

3.1.1 Az FDM nyomtató és tartozékai

Ebben a részfejezetben be szeretném mutatni, hogy milyen nyomtatóval végeztem a vizsgálataimat, valamint ahhoz milyen beszerezhető és nyomtatható tartozékok érhetőek el a jobb nyomtatási eredmény elérése érdekében.

A nyomtató beszerzési ára

A nyomtató, amit vásároltam, egy Creality Ender 3, ami egy alap-, hobbi-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 szállítási költség pedig **1.190 HUF** volt, tehát összesen **55.780 HUF** volt a nyomtató beszerzési ára.



3.1. ábra: A saját Creality Ender 3 FDM nyomtatóm [41]

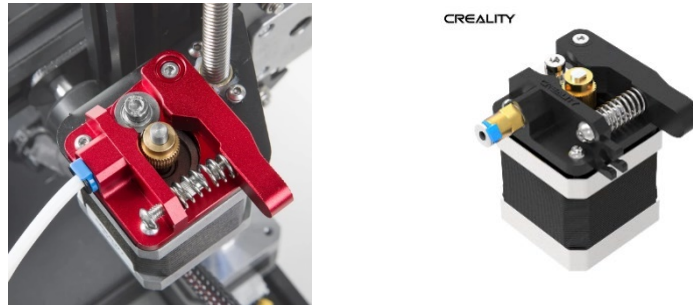
A tesztek nyomtatásához a saját Creality Ender 3 nyomtatómat fogom használni a teljes diplomamunkám bemutatása során.

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 [34] [35]

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 [41]

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 [36]

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 [41]

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 (**6. táblázat**):

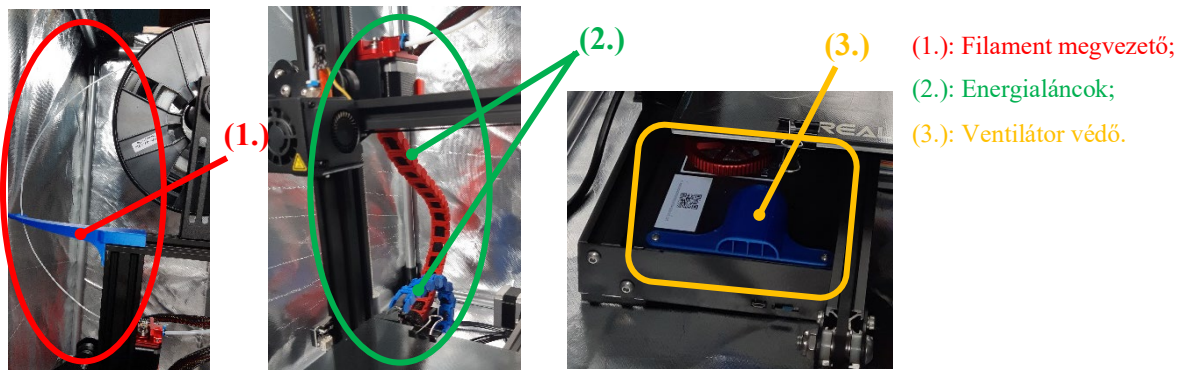
6. táblázat: Az eddigi ráfordításaim a nyomtatóra és fejlesztésére leszűkítve [44]

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 **6. táblázat**, hogy eddig **kizárólag a nyomtatóra történő költségeim** mindösszesen **102.991 HUF** volt, amelybe a filament költségét, valamint a fogyasztásmérő műszert nem számítottam bele. Ez az összeg egy műszaki termékre nézve nem jelentős, különösképpen, ha az valamilyen termelő feladatot lát el egy vállalkozásban.

Továbbá hobbi szinten nyomtatható több olyan modell, ami jelentősen növelheti a nyomtató nyomtatási minőségét. Elsősorban a nyomtató élettartamát növelik, így nem számszerűsíthető teljesítményük a nyomtatás során. Ilyen megoldások láthatók a **3.6. ábrán**:

- filament megvezetés (1.),
- energialánc a vezérlő kábeleken (2.),
- alaplapi hűtő-ventilátor védelme burkolattal (3.),



3.6. ábra: A nyomtatást segítő, ingyenesen nyomtatható kiegészítők [41]

A filament megvezető (1.) segítségével egy ideális karakterisztikájú ívet ad a filamentnek, ezzel a biztonságos anyagáramlás „etetés” valósítható meg. Az energialánc (2.) biztosítja, hogy a vezérlő-kábelek rendezettek legyenek, ne akadhassanak be a lineárisan mozgó tárgyasztalba, továbbá a kábelekben lévő feszültséget is csökkentik. Az alaplapi hűtő-ventilátor burkolata (3.) megakadályozza, hogy olvadt filament jusson a tápegységbe.

A nyomtatott tárgyak előállítási költségének megvalósítása

A nyomtatott tárgyak teljes előállítási költsége ezekből a részköltségekből tevődik össze:

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

Diplomadolgozatom során az előzetesen (vásárlói érdeklődés) felmért tárgyak nyomtatási idejét, a felhasznált filament mennyiségét (méter és gramm), valamint az előállításukhoz szükséges villamos energiát fogom mérni és számszerűsíteni költségekre.

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

A felhasznált villamos-energia esetében egy **ORNO OR-WAT-419 (GS)** hálózati fogyasztásmérőt fogok használni. A készüléket a TESCO áruházban vásároltam, 2023. 05. 18.-án, **6.990 Ft**-ért. A fogyasztásmérő az alábbi ábrán látható (**3.7. ábra**).



3.7. ábra: ORNO OR-WAT-419 (GS) hálózati fogyasztásmérő [41]

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).

A mérések során minden kiválasztott modellből szeretnék egyet a nyomtatóházban, egyet pedig szabadon, ház nélkül nyomtatni és elsősorban a felhasznált villamos-energia alapján a mért értékeket összehasonlítani. Továbbá a két kinyomtatott tárgyat minőségügyi szempontok alapján is összehasonlítom, fotókkal értékelem.

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, vagyis a „kezdő szoftverhasználó” hibákat jelentős mértékben el tudtam kerülni.

Továbbá az Autodesk hivatalos oldalán megtalálható, hogy a szoftvert teljes mértékben ingyenesen használhatja az az újonnan induló cég (start up cégeknek), amely többek között az alábbi feltételeknek meg kell, hogy feleljen:

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

A license egy évre vehető igénybe, megújítására van lehetőség. Bővebb információ az alábbi linken érhető el: [37].

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 (ún. open source), tehát **legálisan alkalmazható bárki számára, teljesen ingyenesen.**

Szerencsére a PrusaSlicer nem csak a Prusa márkájú nyomtatókkal kompatibilis, így más gyártók nyomtatói is képesek az általa generált G-kódot felismerni és kinyomtatni a kívánt modelleket. Az általam használt Creality Ender 3 is kompatibilis a PrusaSlicer szoftverrel.

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.

Diplomadolgozatom során a **PrusaSlicer 2.6.0-alpha2 + win64** verzióhasználtam, amely ezen a linken keresztül érhető el: [38].

3.2 A termékek előállításának és értékelésének felépítése

A 3D nyomtatóval való vállalkozás elkezdéséhez szeretnék megbizonyosodni, hogy ténylegesen van érdeklődés ezen a területen, ugyanakkor fontos, hogy a termékek előállításához egy olyan szoftvert használjak, ami rugalmasan alkalmazkodik az igényekhez, tehát széles-skálán lehet benne tervezni, módosítani és a kimeneten számos fájlformátum található az egyszerűbb tervezés és modern adatmegőrzés céljából – ha az adott termék sikeres és módosítás nélkül sorozatban nyomtatható.

Ezért az alábbi felsorolás szerint építettem fel a vállalkozás megkezdésének egyes lépéseit, mérföldköveit, amelyek segítségével „monitorozni” tudtam az igényeket, illetve általánosságban a megvalósíthatóságot. A felsorolás a következő:

1. Piackutatást végeztem 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 kapott modelljének újbóli nyomtatása két tételben:
 - zárt kamrában nyomtatás,
 - nyitott térben nyomtatás.
3. Zárt kamrában nyomtatott modellek és prototípus modellek összehasonlítása javítási pontok alapján.
4. Zárt kamrában nyomtatott modellek és szabadon nyomtatott modellek összehasonlítása több szempont alapján:
 - nyomtatáshoz felhasznált energia [kWh];
 - nyomtatáshoz felhasznált energia költsége [HUF/kWh],
 - nyomtatott tárgyak minőségbeli összehasonlítása (fotók alapján).
5. Értékeltem a vállalkozás tényleges elkezdésének lehetőségét (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 **kitöltést** a lehető legkisebb értékre állítottam -ésszerű határokon belül-, hiszen a *túl sűrű kitöltés az irreálisan sok anyagfelhasználás* mellett a *nyomtatási időt* 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 tudott 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 modelleket 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 biztatni őket. A témaköröket úgy állítottam be, hogy csak 5-5-5 válaszlehetőséggel lehessen elmenteni a kitöltőnek a tesztet.

A kérdőívvel gyűjtött adatok:

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

A piackutatásban szereplő összes (10-10-10) modellről a „**10. Mellékletek**”-ben sorba szedtem az általam készített fotókat a **10.1. ábrától** egészen a **10.30. ábráig**. **Az elkészített piackutatás az alábbi linken érhető el: [46].**

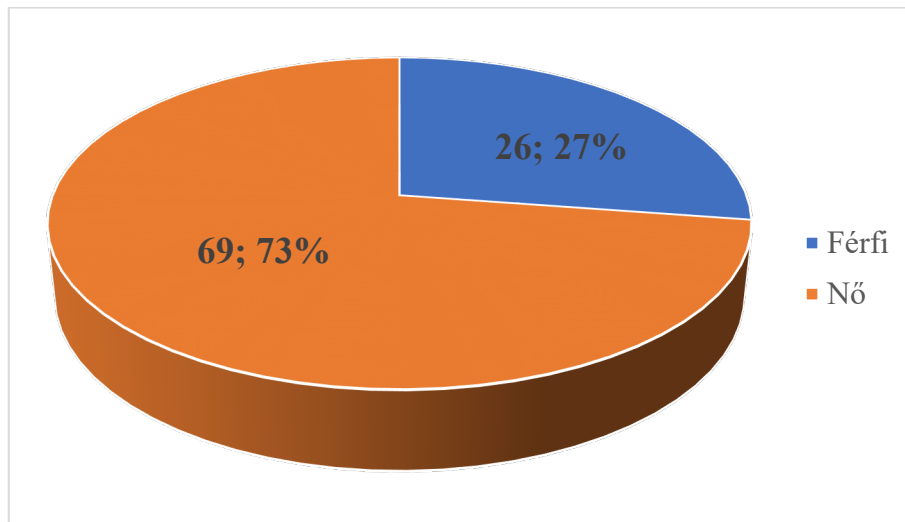
4.1.2 Az elvégzett piackutatásom eredményei

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 kérdőívek alapján a továbbiakban értékeltem az érdeklődők szavazatait, valamint felmértem az érdeklődők csoportját.

A válaszadók eloszlása nemek alapján

Az alábbi torta-diagramon (4.1. ábra) látható az érdeklődők neme alapján a szavazatok eloszlása. Ez szerint a 95 szavazat alapján 69 nő és 26 férfi töltötte ki a kérdőívet, amely esetben a százalékos eloszlás szerint a nők 73% érdeklődött, a férfiak 27%-os érdeklődésével szemben.

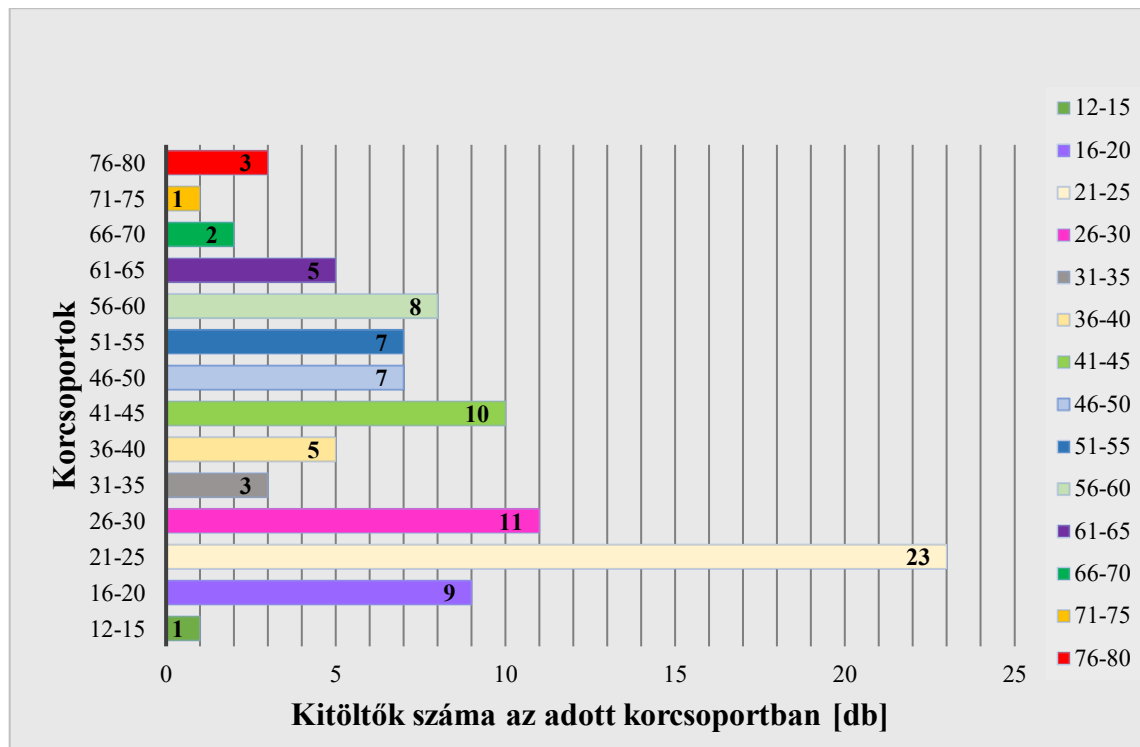


4.1. ábra: A szavazatok eloszlása a nemek szerint [45]

A fenti diagram (4.1. ábra) alapján egyértelműen inkább a hölgyek mutattak érdeklődést a vizsgált termékekkel kapcsolatban. Ettől függetlenül úgy gondolom, ha szélesebb áru-palettával rendelkezik egy 3D nyomtatással, egyedi termékekkel foglalkozó vállalkozás, akkor a termék „műfaját” tekintve a fiú / férfi célcsoport is elérhető.

A kérdőívre válaszolók életkorának eloszlása

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

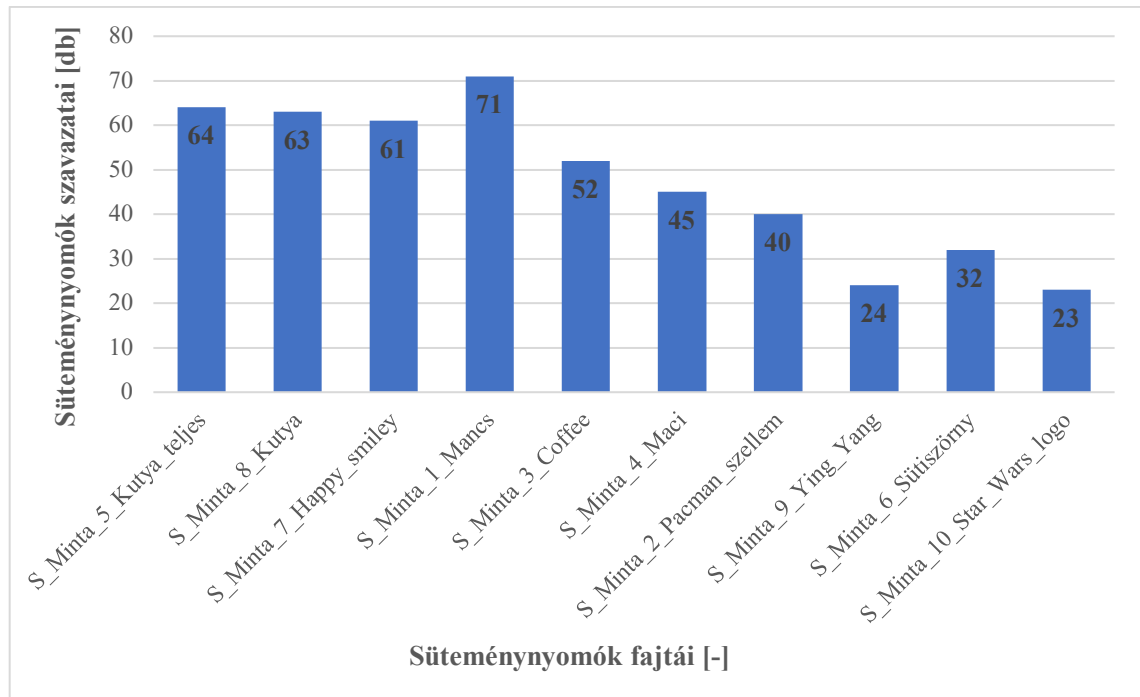


4.2. ábra: A kérdőívet kitöltők életkori csoportokba rendezve [45]

A beérkezett válaszok alapján a fenti diagramot látva (4.2. ábra) arra a megállapításra jutottam, hogy leginkább a huszonévesek érdeklődtek a termékek iránt, ugyanakkor kisebb arányban, de az idősebb generáció(k) is érdeklődtek, egészen a '70-es életévükben járókg bezárólag. Tehát azt mondhatom, hogy széles-körű az érdeklődők halmaza, így nem kifejezetten egy célcsoport van életkor alapján. Voltaképpen ez szerint az adat szerint érdemes a 3D nyomtatást választani, mivel széles keretek között alkalmazható a különböző generációk érdeklődési körei és ízlésükből adódóan. Nincs drága szerszám, nincs bonyolult átállást igénylő technológia, csupán a kinyomtatott termék 3D-s modellje változik széles-skálán tekintve.

A kiválasztott süteménynyomók a válaszok alapján

A süteménynyomókat tekintve minden válaszadónak **10 mintából** kellett választania pontosan **5 mintát**. Kevesebb válaszlehetőséggel 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 [45]

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 **7. táblázat** tartalmazza.

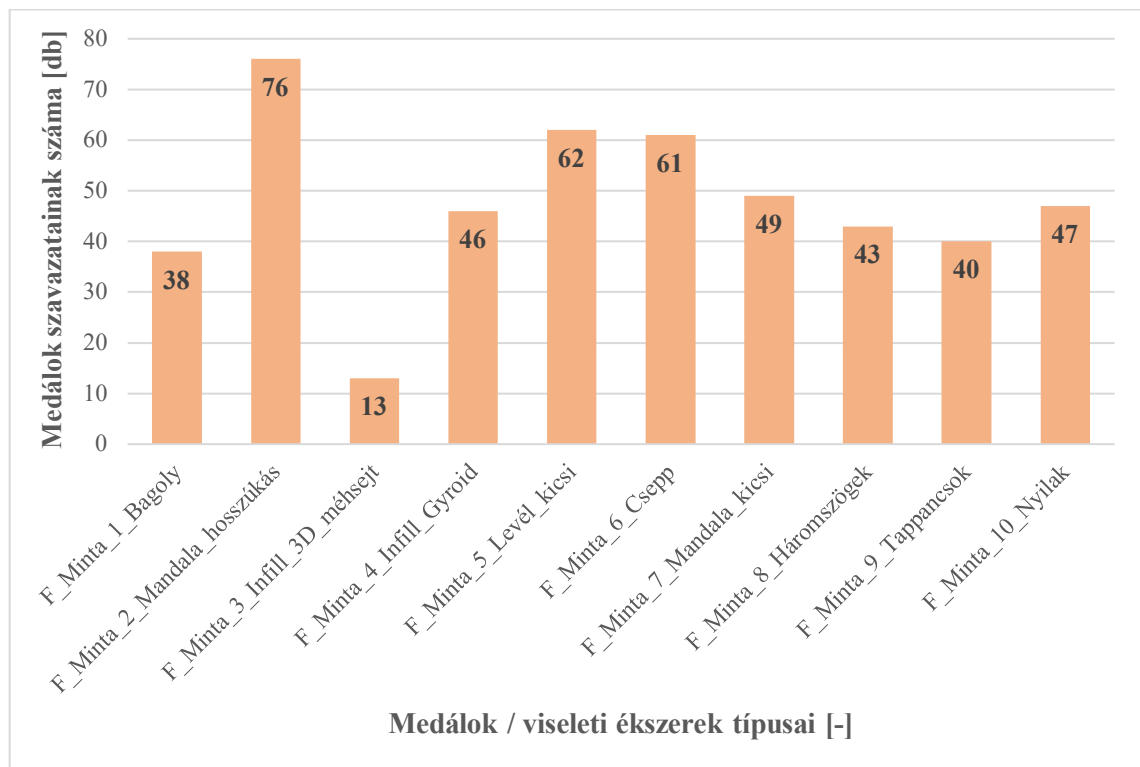
7. táblázat: Az 5 legtöbb szavazatot kapott süteménynyomó mintám [44]

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 ezt az 5 süteménynyomót részletesen be fogom mutatni a prototípustól kezdődően, egészen a kamrás-, és szabad nyomtatás összehasonlításáig, kiemelve a kialakult előállítási költségeket. Az összes süteménynyomó a „10. Mellékletek” **10.1. ábrától a 10.10. ábrával** bezárólag tekinthetők meg.

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 [45]

A fenti diagram (**4.4. ábra**) alapján a legtöbb 5 szavazatot kapott medál, ékszer csoportban lévő modelleket a későbbi prototípussal, valamint a kamrás és szabad nyomtatás során kiértékeltem az előállítási költség, valamint a nyomtatások minősége alapján. Az 5 legtöbb szavazatot kapott modell az alábbi **8. táblázat**ban látható.

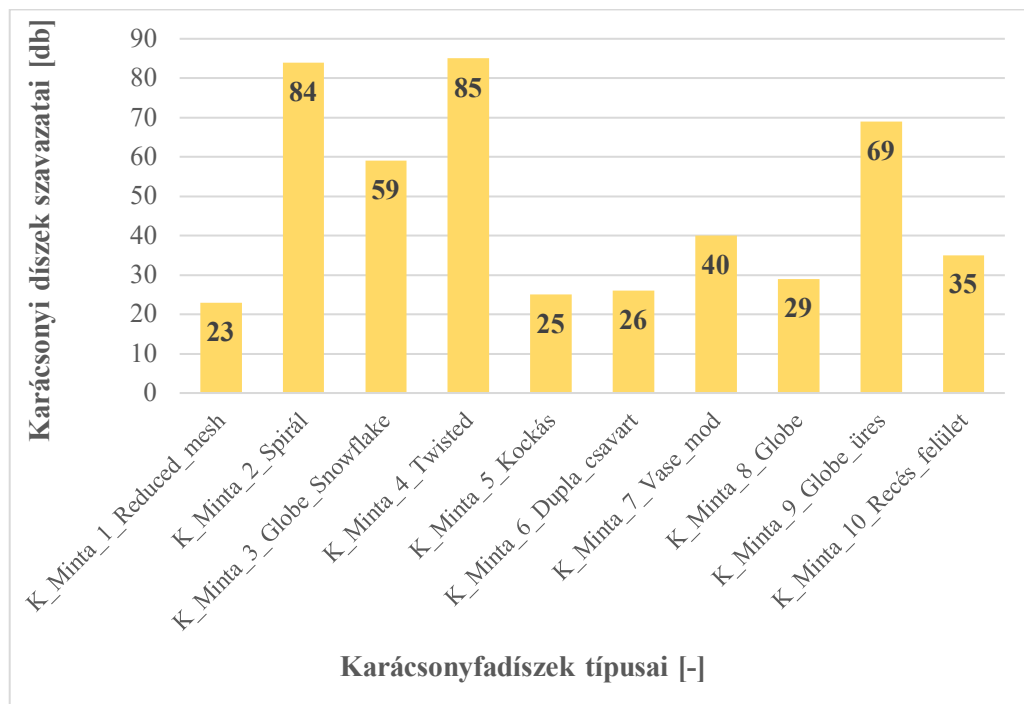
8. táblázat: Az 5 legtöbb szavazatot kapott medál / ékszer mintám [44]

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 megtekinthető a „**10. Melléklet**” **10.11. ábrától** egészen a **10.20. ábráig** bezárólag.

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 oszlopdiaagramon (4.5. ábra) a karácsonyfadíszekre érkezett szavazatok láthatók.



4.5. ábra: A karácsonyfadíszekre érkezett szavazatok [45]

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 9. táblázat mutatja.

9. táblázat: Az 5 legtöbb szavazatot kapott karácsonyi dísz [44]

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

Az összes karácsonyfadísz látható a „10. Mellékletek” 10.21. ábrától a 10.30. ábráig.

4.2 Piackutatási eredményeim, a kiválasztott modellek újra nyomtatása

A piackutatásra készített prototípus modelleket néhány téren fejlesztésnek, módosításnak vettem alá, azért, hogy könnyebben nyomtathatók legyenek, vagy éppen gazdaságosabb nyomatok valósulhassanak meg (kevesebb anyagfelhasználás). Így, tehát elsőként a kamrában nyomtatott, már javított modelleket hasonlítottam össze a prototípus modellekkel, ahol részletesen bemutatom az egyes módosítások pontjait.

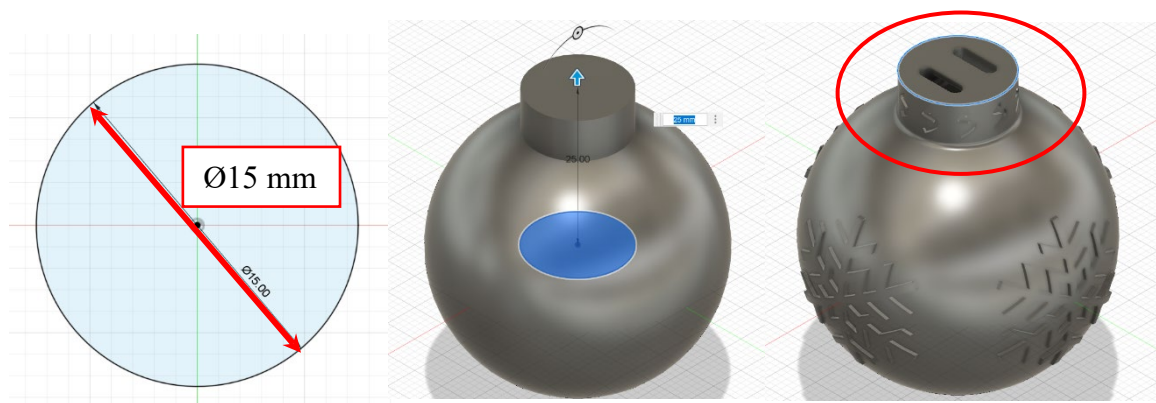
4.2.1 Módosításaim a prototípus modelleken

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

Az összehasonlítás során a prototípus modelleket a kamrás nyomatokkal hasonlítom össze. **A kamrában nyomtatott modellek és a szabadon (kamra nélkül) nyomtatott modellek teljesen megegyeznek, a prototípusok módosítását követően mindkét nyomat ugyanazon G-kód alapján kerül 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 $\varnothing 15$ 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. $\varnothing 15$ mm).

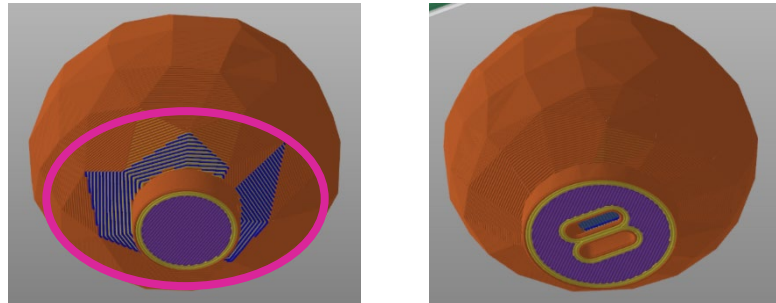


4.6. ábra: A "15-ös szabály" kialakítása [43]

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 $x > 40^\circ$ -osak, ezáltal jelezve számomra, hogy az adott felület szögén javítanom kellett.



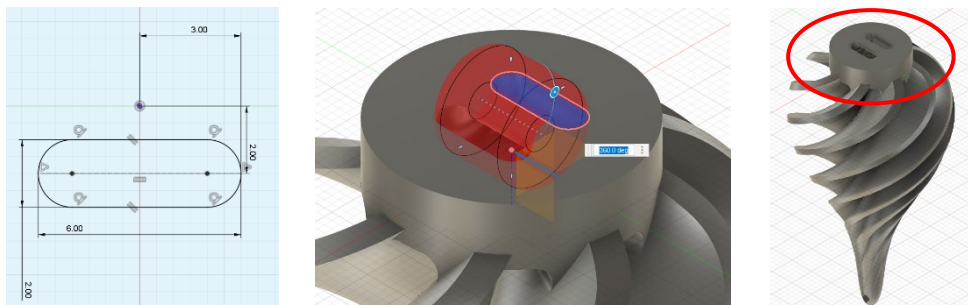
4.7. ábra: Túllógás kimutatása a szeletelő programban (balra) és javítva (jobbra) [42]

A PrusaSlicer kék színnel jelöli a túllógó rétegeket. Egy-egy réteg esetében nem jelent problémát, azonban a végeredmény esetében „ráncos”, nem egyenletes felület 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).

Szükségeselem 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 [43]

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 ábrsorozaton (4.8. ábra) látható.

4.2.2 Az öt legtöbb szavazatot kapott süteménynyomó bemutatása

Ebben a részfejezetben a prototípusként elkészült süteménynyomókat fogom részletesen bemutatni, azon 10 modell közül az 5 darab modellt, amely a legtöbb szavazatot kapta. Ezen prototípus modelleket összehasonlítottam a már javított és kamrában elkészült modellekkel. Az összehasonlítások során kizárólag a fejlesztési pontokat vettem szemügyre. A modelleket a szavazatok szerint csökkenő sorrendben mutatom be.

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-modellen.

Az alábbi összehasonlító ábrán (**4.9. ábra**) jól 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 [41]

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.

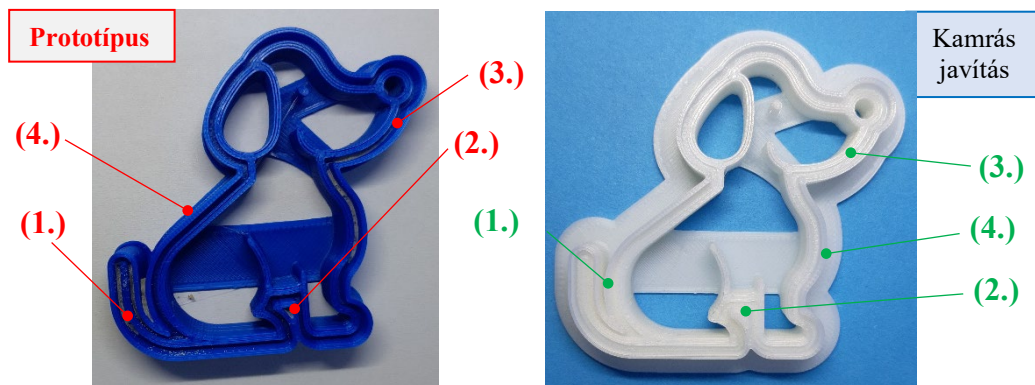


4.10. ábra: S_Minta_1_Mancs_oldalnézeti összehasonlítása [41]

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. Így a fogás összesen 6 mm-es felületű lett. Ezzel a vetemedést (feljövétel a tárgyasztalról) elkerültem és a kamrában nyomtatott modellen látható is, hogy tökéletes lett a nyomat.

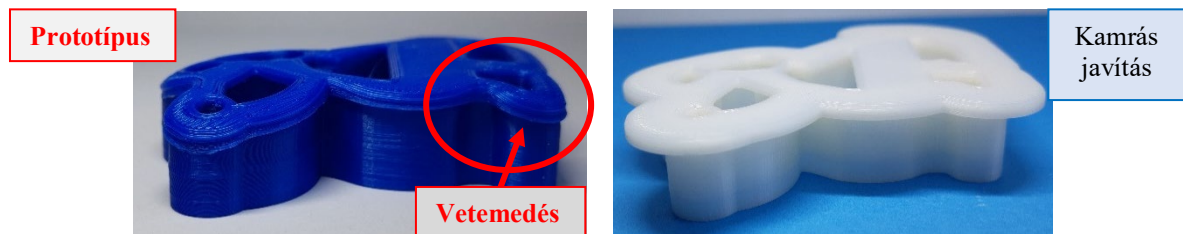
S Minta 5 Kutya teljes süteménynyomó javítások

Második helyen az **S_Minta_5_Kutya_teljes** süteménynyomó végzett **64 szavazattal**. Ez a minta egy teljes kutyust ábrázol oldalnézetben, amely eléggé aprólékos, így a tészta a farkánál (1.) és a (2.) pontban megjelölt területen sokszor beleragadt a mintába a szaggatás során. A (2.) pontnál tervezési hiba van, a területet később teljesen feltöltöttem anyaggal, így ez a probléma megszűnt. A farkánál (1.) pedig szélesebb geometriát alkalmaztam. Továbbá a (3.), körvonalakat jelölő terület kevésbé lett „árkos”, így a tészta nem tudott beleragadni. A prototípus modell és a kamrás nyomtatás az alábbi ábrán (**4.11. ábra**) látható.



4.11. ábra: S_Minta_5_Kutya_teljes javítási pontok és a javított kamrás modell [41]

Továbbá a fenti ábrán (**4.11. ábra**) jól látható, hogy a fogó-felületet (4.) megnagyobbítottam, ugyanis a prototípus modellnél sajnos elég keskenyre sikerült.



4.12. ábra: S_Minta_5_Kutya_teljes oldalnézetben prototípus és javított modellje [41]

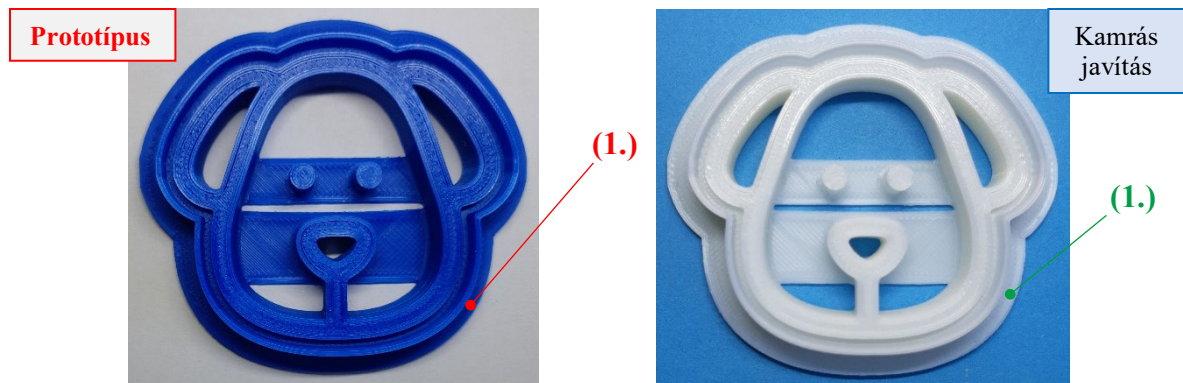
A **4.12. ábra** oldalnézetben látható a két modell, ahol szintén jelentős mértékű vetemedés (feljövétel a tárgyasztalról) látható. Ezért is görbült el a prototípus minta. Ennek a hibának a javítására alkalmaztam a fogás megnagyobbítását, továbbá az áthidalások vastagítását.

Összegezve a fenti megállapításaimat, a modell számos javítást igényelt, így a fogófelületet, valamint az áthidalásokat megnagyobbítottam. A fogófelületet jelentősen, 5 mm-rel megnöveltem, így 6 mm lett. A farokrészt kiszélesítettem, a vágóél melletti vályatot pedig „feltöltöttem” anyaggal, így 1,5 mm mély lett. Továbbá a tervezési hibának minősülő geometriát szintén feltöltöttem anyaggal.

S Minta 8 Kutya süteménynyomó javítások

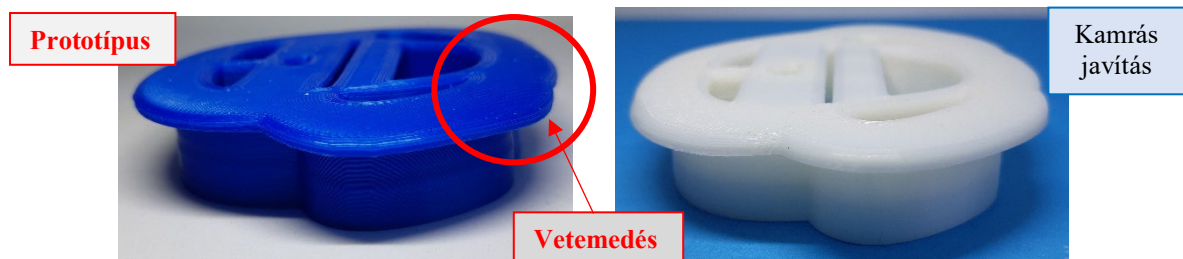
A dobogóra harmadikként felférő **S_Minta_8_Kutya 63 szavazatot kapott a résztvevőktől**. Ez a minta egy kutyaus fejét ábrázolja, így célszerű volt a hasonló minták más névvel való ellátása. A tésztaszaggatás során probléma csak a kutyaus fülénél adódott, ugyanis, ha túl vastag tésztát préseltem át a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

Az alábbi ábrán (**4.13. ábra**) a prototípus modell (kék nyomat) és a kamrás mintaanyaggal nyomtatott, már javított modellje látható.



4.13. ábra: S_Minta_8_Kutya prototípus modellje és kamrás javítása [41]

A fenti ábra összehasonlítást tekintve egyetlen eltérést mutat, mégpedig a fogófelület kiszélesítését (1.). Ennek oka oldalnézetben az alábbi ábrán (**4.14. ábra**) látható, ahol jól kivehető, hogy a prototípus modell esetében minimális, de észrevehető vetemedés (feljövétel 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.

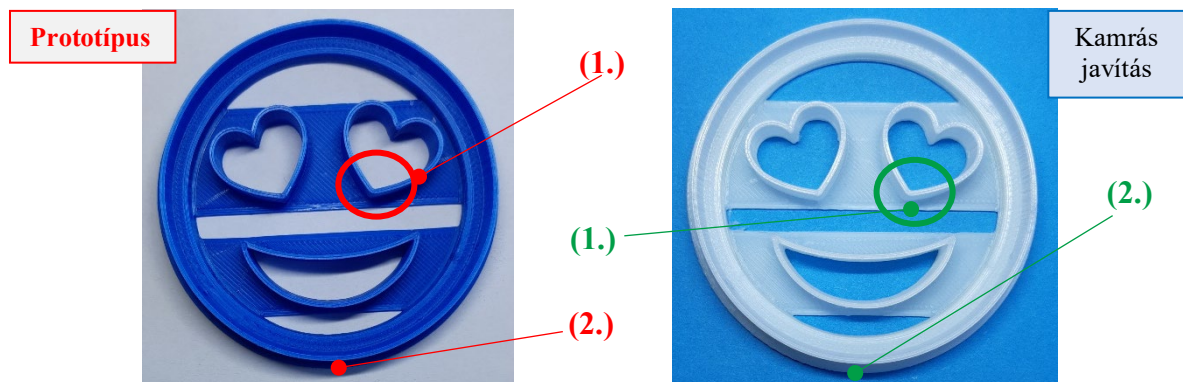


4.14. ábra: S_Minta_8_Kutya oldalnézetben, a fejlesztések bemutatása [41]

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.

S Minta 7 Happy smiley süteménynyomó javítások

Negyedikként a(z) **S_Minta_7_Happy_smiley** süteménynyomó végzett **61 szavazattal**. Az összes minta közül a legegyszerűbb kialakítású és a legegyszerűbben legyártható mintáról van szó. Mindemellett a végeredményt tekintve szép mintát ad a süteményben. A szaggatás során semmilyen probléma nem volt tapasztalható. A kör alakú geometria mutatta meg a legjobban, hogy a sütés során észlelhető deformálódásra a legkevésbé érzékeny. Ezáltal minden kiszaggatott minta jól kisüthető volt, a minta is szépen látszott. Az alábbi ábrán (**4.15. ábra**) a prototípus minta (kék színű) és a kamrában nyomtatott, már javított minta látható.



4.15. ábra: S_Minta_7_Happy_smiley prototípus és javított modellje [41]

A **4.15. ábra** látható, hogy felülnézetben minimálisan a két szívet ábrázoló szemnél (1.) a híd szélességét megnöveltem, hogy a két szív stabilabb anyagmennyiséget kapjon a csücsköknél, ezzel elkerülve a törést. Az alábbi ábrán (**4.16. ábra**) oldalnézetben a prototípus mintán minimális deformálódás „vetemedés” volt tapasztalható, amely feltehetően szintén a közel egy éves, bontott anyag megnövekedett nedvességtartalmának volt eredménye. Azonban úgy véltem, hogy az egységesítés szempontjából jó irány, ha a fogó-felület megnövelem szintén 1 mm-rel így 6 mm-es átmérőjű felületet kaptam. Ez már biztonságos tapadást ad a vetemedés elkerüléséhez.

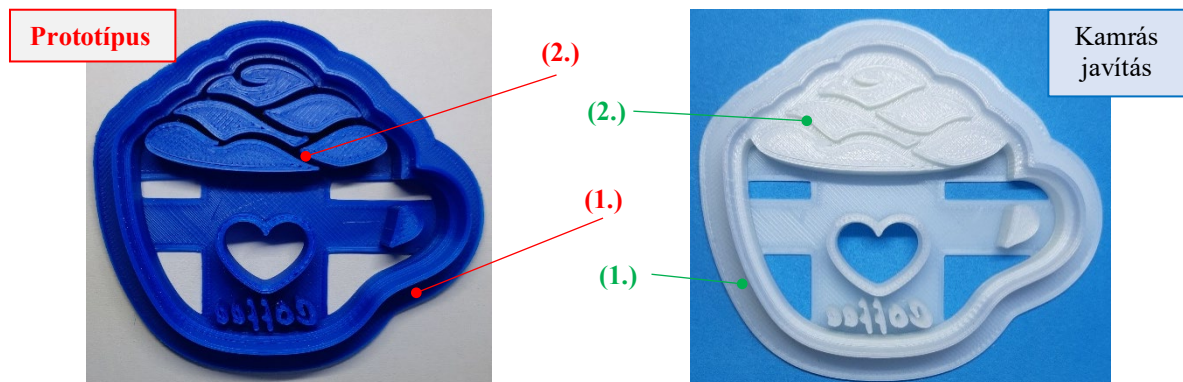


4.16. ábra: Az S_Minta_7_Happy_smiley prototípusán vetemedés látható (oldalnézet) [41]

Összességében a minta két ponton lett módosítva: (1.) a szemek felfekvéséhez szélesebb hidat alkalmaztam (**4.15. ábra**), valamint a fogás, és ezáltal a letapadás növeléséhez a fogó-felület 6 mm-re történő kiszélesítése mellett döntöttem (2.).

S Minta 3 Coffee süteménynyomó javítások

Az ötödik legtöbb szavazatot kapott modell pedig az **S_Minta_3_Coffee** süteménynyomó, **52 szavazattal**. A szaggatás során, vastag tészta esetében nem működött a minta, azonban vékonyabb tészta szaggatásánál jól használható volt. Igaz, eléggé halvány lett a végeredmény sütés után. Ilyen bonyolult minták esetében jól bevált módszer lehet a tészta vastagságának módosítása szaggatás közben.



4.17. ábra: S_Minta_3_Coffee prototípus-, és fejlesztett modellje [41]

A fenti **4.17. ábra** két ponton módosítás látható. Egyik a „habot megformáló felület” esetében a hézagokat egy bizonyos magassáig feltöltöttem anyaggal, ugyanis szaggatást követően, a tisztítás során nehezen jött ki a csapdába esett tészta a hézagok között. Másik módosítás a fogó-felület megnagyobbítása 6 mm-es kerületűre (2.).



4.18. ábra: S_Minta_3_Coffee prototípus modelljén látható vetemedés (balra) [41]

A fenti ábrán (**4.18. ábra**) oldalnézetben jelentős deformálódás látható a prototípus modellen, ennek elkerüléséhez a mintán megnöveltem a fogófelületet, a már standardizált 6 mm-re, így a vetemedés (feljövetel a tárgyasztalról) elkerülhető volt.

Összességében a modell két ponton lett módosítva, amely a **4.17. ábra** látható: az (1.) pont a fogó-felület kiszélesítése 6 mm-re, a már korábbi modelleknél is alkalmazott módon. Továbbá az (2.) pontban a „habot megformáló” területen a hézagokat feltöltöttem, így a tészta nem tud mélyen a minta legalján megtapadni, ezáltal könnyebben kiszaggatható a tészta, valamint higiénikusabb a tisztítást követően.

4.2.3 Medálok, fülbevalók legtöbb 5 szavazat prototípusai és javításaim

A medálok, fülbevalók, nyakékek csoportjába tartozó prototípus modellek mindegyike tökéletes volt, miután a prototípus modelleket megterveztem és kinyomtattam, így semmilyen módosításokat nem végeztem rajtuk a későbbi kamrás és szabadon nyomtatott tesztekhez. Az öt legtöbb szavazatot kapott modell a következő:

- F_Minta_2_Mandala_hosszúkás 76 szavazat,
- F_Minta_5_Levél_kicsi 62 szavazat,
- F_Minta_6_Csepp 61 szavazat,
- F_Minta_7_Mandala_kicsi 49 szavazat,
- F_Minta_10_Nyilak 47 szavazat.

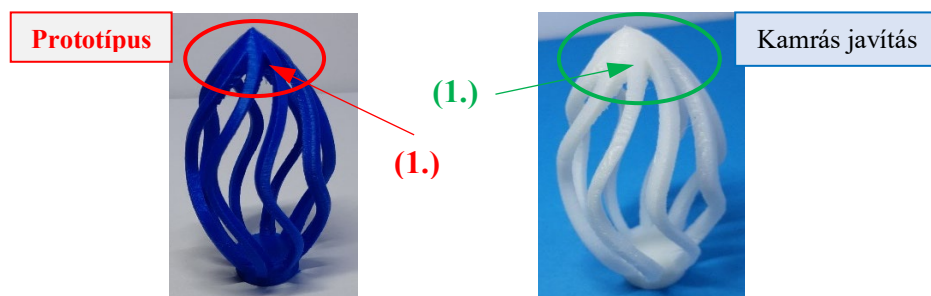
A medálok, nyakékek és fülbevalók prototípus modelljei és kamrás nyomatokról készült fotók a „10. Mellékletek”-ben láthatók a 10.40. ábrától a 10.44. ábráig.

4.2.4 Karácsonyi díszek 5 legtöbb szavazatú prototípus modellek, javításuk

Ebben a részfejezetben azon 5 darab karácsonyfadíszet mutatom be, amely a piackutatás során az 5 legtöbb szavazatot kapta. A modelleket a szavazatok száma szerint csökkenő sorrendben mutatom be, valamint a prototípus modelleket javítási pontok alapján összehasonlítom a már kamrában nyomtatott, javított modellekkel.

K Minta 4 Twisted karácsonyfadísz prototípus modellje, újra nyomtatása

A legelső helyen végzett modell a **K_Minta_4_Twisted** karácsonyfadísz, amely sajátos az összes között, üreges kialakítása és csavart mintája miatt. A **szavazatok közül összesen 85-öt kapott**, amely kiemelkedő aránynak számít. Az alábbi ábrán (**4.19. ábra**) látható a prototípus modell és a kamrában nyomtatott, már módosított modell.



4.19. ábra: K_Minta_4_Twisted dísz prototípusa és újra nyomtatása [41]

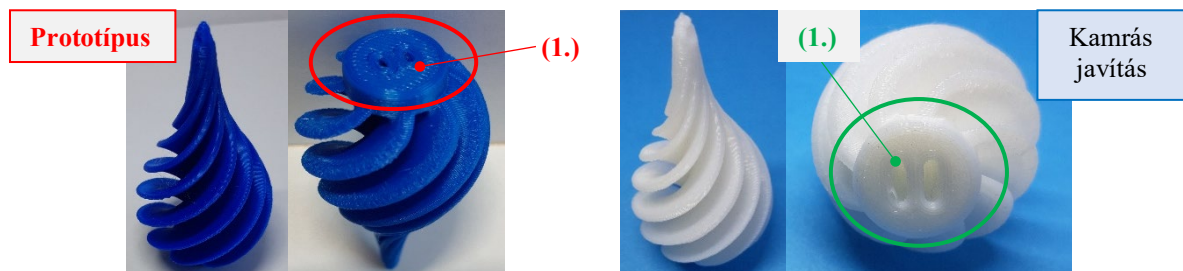
A fenti **4.19. ábra** egyetlen ponton látható módosítás, mégpedig a felső területet tömörebbre terveztem, ezáltal az egyes „gerincek” (1.) előbb elkezdenek összeérni. Ennek oka az volt, hogy a prototípus nyomtatása közben észrevettem, a „gerincek” nem érnek össze, mielőtt a felső csúcs nyomtatása elkezdődik. Ezzel a módosítással stabilabb lesz a nyomat.

Összességében a modellen a felső tömör terület kezdeti pontját módosítottam (1.). Továbbá a „Z-emelés” parancsot aktiváltam, hogy a fej mozgás közben a „gerinceket” ne tudja letörni a hirtelen pozícióváltás miatt.

K Minta 2 Spirál karácsonyfadísz prototípus modellje és fejlesztése

A dobogó második helyén a **K_Minta_2_Spirál** karácsonyfadísz foglal helyet, mégpedig **84 szavazattal**. Mondhatni szoros verseny alakult ki az első és második hely között. Egy rendkívül egyszerű modellről van szó, amely kevés anyagfelhasználással nyomtatható, ugyanakkor mutatós a végeredmény. Az alábbi ábrán (**4.20. ábra**) a prototípus modell és a módosított verzió látható.

Az alábbi ábrán (**4.20. ábra**) az látható, hogy a modell a könnyebb felfűzéshez nagyobb felfűzési hézagot kapott (1.), amelyet az ún. „Tórusz-geometria” kialakításával értem el és standardizáltam minden hasonló modellen, így könnyebben nyomtatható és felfűzhető.



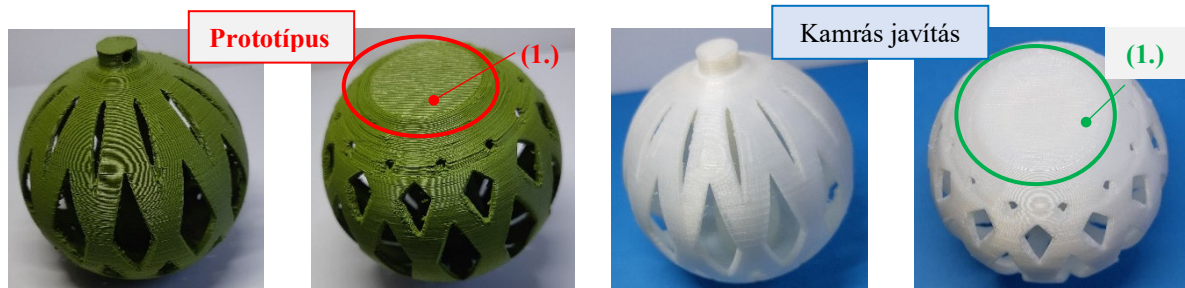
4.20. ábra: K_Minta_2_Spirál dísz prototípusa és fejlesztése [41]

Összességében a modell alsó „Tórusz-geometriája” lett módosítva (1.) az egyszerűbb felfűzés kedvéért, más módosítást nem végeztem rajta. A 15 mm-es alsó tapadási kör átmérője elegendő volt a sikeres nyomtatáshoz.

K Minta 9 Globe üres karácsonyfadísz prototípus modellje és fejlesztése

A harmadik helyen a **K_Minta_9_Globe_üres** karácsonyfadísz végzett, amely **összesen 69 szavazatot kapott** a válaszadóktól. Ebben az esetben az egyik legbonyolultabb modellről van szó, mert az egyik legnehezebben nyomtatható mintadarab. Az alábbi ábrán látható (**4.21. ábra**) a prototípus modell és a módosított, kamrás nyomtatás. Megjegyzem, már a prototípus nyomtatás során a gömb középső területén egy hengeres kialakítás található, hogy a gömböt ne lehessen összeroppantani. Erről a „10. Mellékletek”-ben a 10.83. ábrától a 10.85. ábráig bezárólag láthatók további képek.

A **4.21. ábra** azt szemlélteti, hogy a javított modellen (1.) nagyobb tapadási felületet hoztam létre, ezzel stabilabb nyomtatást értem el. A nagyobb tapadási körrel a modell alsó rétegeinek „ráncosodása” is megszűnt.



4.21. ábra: K_Minta_9_Globe_üres prototípus-, és javított nyomtatása [41]

Összegezve, a prototípus modell méretét a könnyebb nyomtatás miatt módosítottam. A gömb geometria alsó rétegének magasabb levágását pedig a szebb nyomtatás eléréséhez módosítottam. Mindezek mellett aktiváltam a „Z-emelés” parancsot, hogy a nyomtatófej ne deformálja a már kinyomtatott héj rétegeket.

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, ahol a felfűzési terület volt a teteje a modellnek, így a gömb alját nyomtattam ki utoljára. A prototípus modell és a javított, kamrás nyomtatás az alábbi ábrán láthatók (**4.22. ábra**).



4.22. ábra: K_Minta_3_Globe_Snowflake dísz prototípusa és javított nyomata [41]

A **4.22. ábra** a prototípus modell bekarikázott teteje $\varnothing 12$ mm-es, sajnos részben a modell elmozdult a tárgyasztalról. Ezt $\varnothing 15$ mm-re módosítottam, így stabil nyomtatást kaptam a kamrás nyomtatónál. Ezért is döntöttem a „15-ös szabály” mellett, amelyet a „**15-ös szabály bevezetése**” fejezetben részletesen bemutattam.

Összességében a modell tapadási felületét módosítottam, így már stabilan nyomtatható volt a kamrás, javított változat. Mindezek mellett aktiváltam a „Z-emelés”-t, hogy a nyomtatófej ne mozdíthassa el a már kinyomtatott rétegeket a tárgyasztalról.

K Minta 7 Vase mod karácsonyfadísz prototípusa, újra nyomtatása

A K_Minta_7_Vase_mod dísz, amely összesen 40 szavazatot kapott a felmérés során. A prototípus tervezésem és nyomtatásom stabil volt, nem kellett módosítanom a modellt. A „10. Mellékletek” 10.45. ábráján látható a prototípus és a kamrás nyomat.

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 (10. táblázat):

10. táblázat: A tesztek során használt PLA [44]

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 10. 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 4.23. ábrán az általam használt nyomtatószál látható újra felcsévéelve:



4.23. ábra: A nyomtatásokhoz használt Gembird Natural PLA filament [41]

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

Diplomadolgozatomban egyik mérföldköveként azt vizsgáltam, hogy a kamrában és szabadon nyomtatott modellek energiafelhasználása milyen eltéréseket mutatott, melyeket a későbbiekben az előállítási költségek során számszerűsítettem. Továbbá a minőségbeli eltéréseket is megvizsgáltam. A továbbiakban ezt a vizsgált területet mutatom be a piacutatás 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 (fűvóka, tárgyasztal) azonosak voltak. Továbbá a nyomtatások teljesítmény-felvételét [kW] és energiafelhasználását [kWh] minden esetben az ismertett ORNO fogyasztásmérővel mértem és ki is számítottam. Az alábbi táblázatban az egységes jellemzőket ismertetem (**11. táblázat**):

11. táblázat: Nyomtatott termékek egységes nyomtatási tulajdonságai [44]

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 (Fűvóka / Ágy) [°C]	207 / 70	207 / 70	207 / 70
Nyomtatási hőmérséklet további rétegek (Fűvóka / 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)

Az elfogyasztott villamos-energia számításának módja

Az elfogyasztott villamos-energiát tekintve az alábbi képlettel számoltam:

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

ahol:

- 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:

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

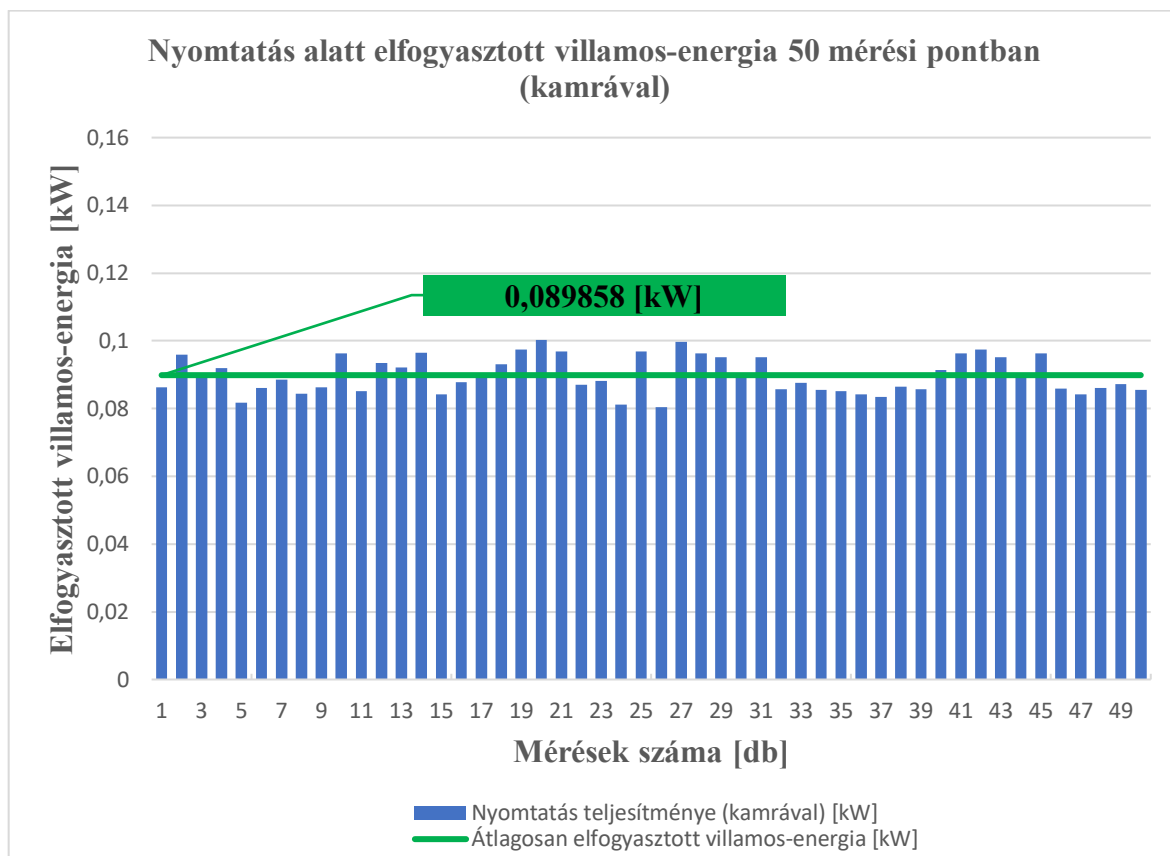
ahol:

- $\text{ÓRA}()$: az órák számát jelenti,
- $\text{PERCEK}()/60$: a percek időtartama átváltása órákba,
- $\text{MPERC}()/3600$: 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

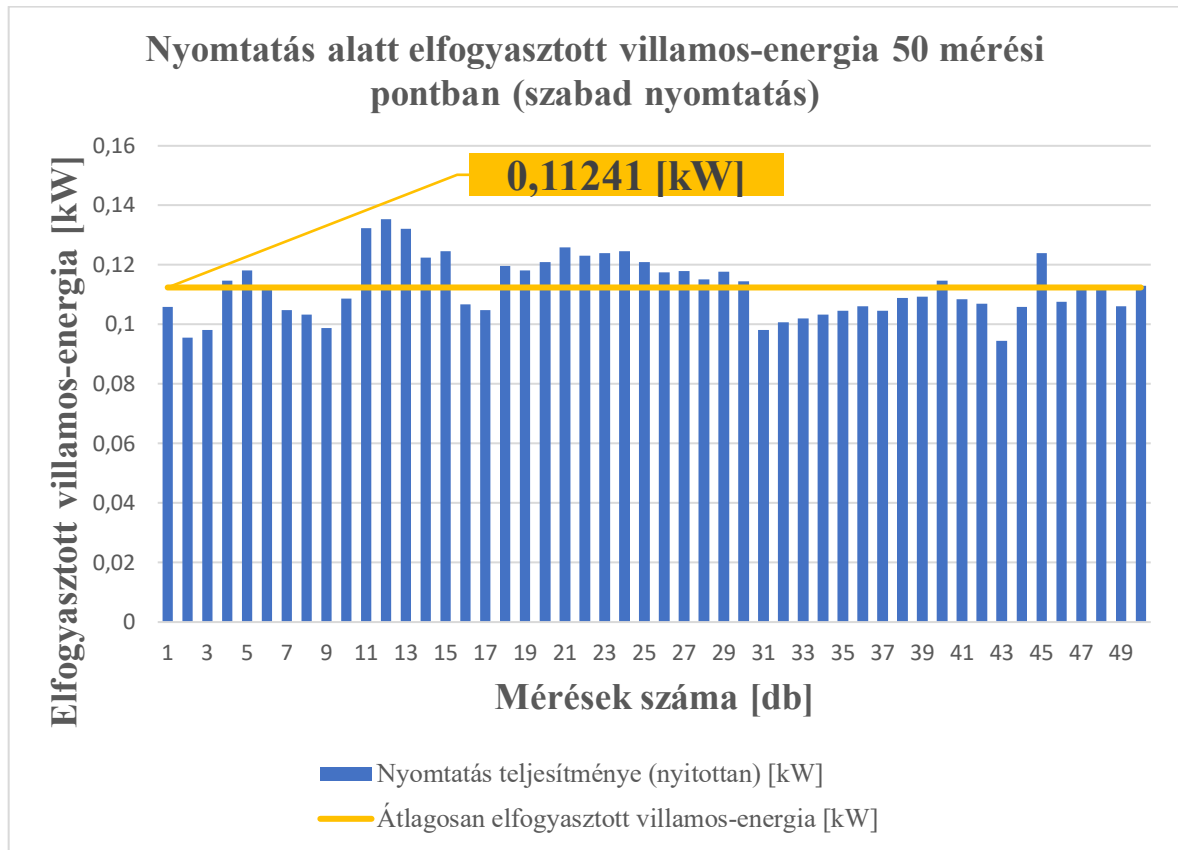
Minden kinyomtatott modell esetében az alábbi ábrákon látható átlagosan elfogyasztott villamos-energiával számítottam ki a nyomtatások energiaigényét. Tehát a kamrás nyomtatás során 50 mérési pontot felvéve határoztam meg az átlagosan felvett villamos-teljesítményt.



4.24. ábra: A kamrában nyomtatott modellek energiafelhasználása és átlagos értéke [45]

Az fenti ábrán (4.24. 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 (4.25. ábra) látható az elfogyasztott villamos-energia:



4.25. ábra: Nyitott állapotú nyomtatási modellek energiafelhasználása és átlagos értéke [45]

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 (4.25. 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 (4.24. 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 történő nyomtatás során azt tapasztaltam, hogy egy bizonyos felfűtési időt követően a nyomtató átlagosan **89, 85 [W]**-ot fogyasztott, ami azt jelenti, hogy a zárt térnek köszönhetően a nyomtató kevesebb energiát vett fel a hálózatról, amelyet a tárgyasztal -és ezáltal a környezete- fűtésére fordított (**4.24. ábra**). Ezt támasztja alá a „**A kamrás és szabad nyomtatások átlagos energiaigényének meghatározása**” fejezet is. Továbbá a kamrában nyomtatás a filamentet is jobban óvja a környezeti hatásoktól, különösképpen a levegő nedvességtartalmától, így megmarad a jó minőségű alapanyag.

A kamrás nyomtatások során kiemelném a nyomtatás előnyeit és hátrányait. A szabad nyomtatások ismertetését követően pedig összehasonlítást végeztem a két módszerről és a nyomtatott tárgyak közül válogatással összehasonlítottam azokat.

A kamrában történő nyomtatás előnyei

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

A kamrában nyomtatott modellek hátrányai

- ✗ A kamrás nyomtatásnak egyik legnagyobb hátránya, hogy nehezen látható a nyomtatás, ezáltal alaposan figyelni kell, különösképpen az első réteg pontosságára.
- ✗ A nyomtatás során, ha a filament a dobon letapad és az extruder nem tud anyagot húzni, a nyomtatott tárgy selejtként végzi.
- ✗ A kamrába kevés fény szűrődik be, ezért LED szerelőlámpa használata ajánlott, különösen, ha a filamentet be kell vezetni a nyomtató-fejbe. Továbbá a nyomtató karbantartása is így nehézkes.

Összességében a kamra szükséges felszerelés egy vállalkozáshoz, mert az egyre növekvő energiaárak miatt stabil környezetet biztosít a nyomtatónak, megakadályozza a szennyeződések bejutását, ami hosszú távon a nyomtató élettartamát is megnövelheti.

A „**4.4.4 Kamrás-, szabad nyomtatású modellek összehasonlítása**” fejezetben fényképes összehasonlítást végeztem, ahol összehasonlítottam a két nyomat végeredményét és minőségbeli szempontból értékeltem az eredményeket.

4.4.3 Szabadon nyomtatott modellek jellemzői

A 3D nyomtatás hobbi szintű kezdésekor a nyomtató mellett foglalt helyet az asztalon, így a szabad körülmények közötti nyomtatás tapasztalatszerzése közel egy évre nyúlik vissza. Azonban meglepődtem a „**A kamrás és szabad nyomtatások átlagos energiaigényének meghatározása**” részfejezet eredményein, ahol az a mérési eredmény jött ki 50 mérési pont alapján, hogy szabad nyomtatás esetén átlagosan **112,41 [W]** teljesítményt vett fel a nyomtató a hálózathoz (4.25. ábra). Ez jelentősen megnöveli az energiaköltségeket, ha hosszú távon, egy vállalkozás keretein belül szeretnék 3D nyomtatásban szolgáltatást nyújtani.

A szabad nyomtatások előnyeit és hátrányait is összegyűjtöttem, ezzel is tisztázva, hogy egy vállalkozás számára valóban megéri-e a kamrára beruházni.

A szabad nyomtatás előnyei

- ✓ Egyik legnagyobb előnye a kamrával szemben, hogy a nyomtatás első rétege (first layer) tökéletesen látható, így, ha bármilyen probléma van a tapadással, azonnal leállítható a nyomtatás, így elenyésző az anyag-, és idővesztés.
- ✓ A filament cseréje könnyedén és kényelmesen megoldható, jól hozzá lehet férni az extruderhez.
- ✓ A nyomtatás végig könnyedén figyelemmel kísérhető (akár több szemszögből), így a tervezési hibák már a prototípus gyártás megkezdésekor kiszűrhetők és javíthatók.

A szabad nyomtatás hátrányai

- ✗ Legnagyobb hátránya az energiafelhasználás, amelyeket mérésekkel alátámasztottam. A megnövekedett energiaköltség a végtermékbe beépül és a vásárlót terheli, a kereslet lecsökkenhet (főként nagy és hosszú nyomtatási idejű modelleknél számottevő).
- ✗ A megolvasztott filament káros anyagokat tartalmazhat, amely nyílt térben egészségre veszélyes lehet (PLA-nál nincs ilyen veszélyforrás).
- ✗ Szennyeződés kerülhet a nyomatra és a nyomtatóba (por és egyéb szennyezők).
- ✗ A nyomtatás során külső zavarok léphetnek fel (ütődés, lelökés stb).

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

A „4.4.4 Kamrás-, szabad nyomtatású modellek összehasonlítása” részfejezetben összehasonlítottam a nyomtatásokat a nyomtatási körülményeik alapján.

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 süteménynyomókön végzett vizsgálataim

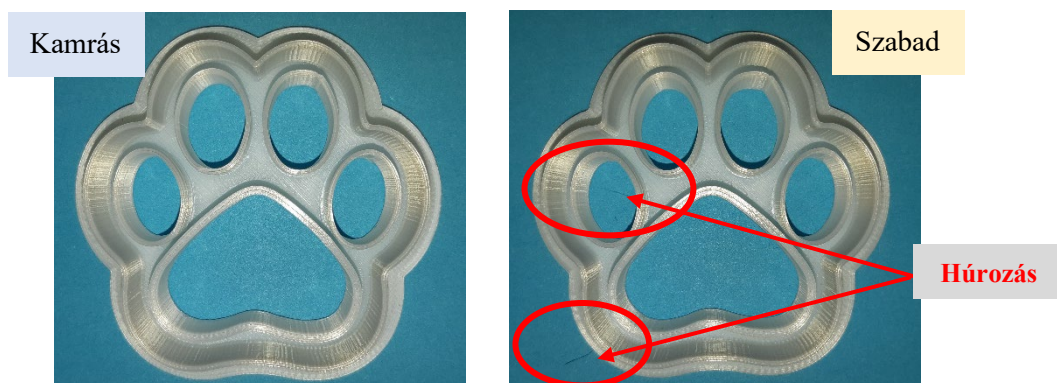
▪ Az **S_Minta_1_Mancs** süteménynyomó nyomtatási eredményei az alábbi táblázatban láthatók (**12. táblázat**) mind kamrás, mind szabadon nyomtatott esetben.

12. táblázat: S_Minta_1_Mancs süteménynyomó nyomtatási eredményei [44]

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

Az alábbi ábrán (**4.26. ábra**) pedig a fényképes összehasonlítás során szinte semmilyen különbség nem volt tapasztalható, a szabad nyomtatás első rétegénél elenyésző „húrozás” látható a bekarikázott részeken.



4.26. ábra: S_Minta_1_süteménynyomó összehasonlítása [41]

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.

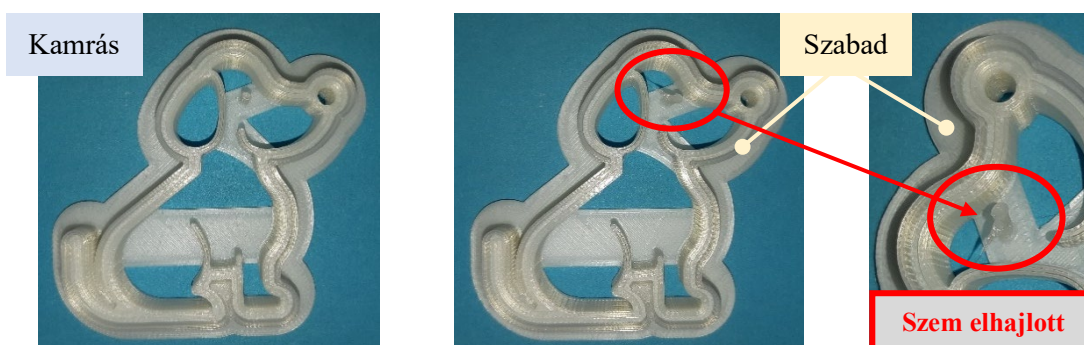
- Az **S_Minta_5_Kutya_teljes** süteménynyomó kamrás és szabadon nyomtatott eredményeit az alábbi táblázatba (**13. táblázat**) foglaltam össze:

13. táblázat: S_Minta_5_Kutya_teljes modell nyomtatási eredményei [44]

S_Minta_5_Kutya_teljes		
Megnevezés	Kamrás nyomtatás	Szabad nyomtatás
Nyomtatási idő [hh:mm:ss]	2:44:48	2:44:36
Nyomtatási idő [h]	2,75	2,74
Nyomtatás során elfogyasztott villamos-energia [kWh]	0,25	0,31

A **13. táblázat** jól mutatja, hogy majdnem másodperc pontosan készült el a két nyomat, azonban mégis a szabad nyomat energiaigénye $0,06 \text{ [kWh]} = 60 \text{ [Wh]}$ -val több lett.

Az alábbi ábrán (**4.27. ábra**) összehasonlítottam a kamrában és szabadon nyomtatott modelleket. A kamrás nyomat ebben az esetben is kiváló lett, azonban a szabad nyomtatásnál a kutyus szeme elhajlott, a rétegek nem lettek jók.



4.27. ábra: S_Minta_5_Kutya_teljes nyomatok összehasonlítása [41]

Összegezve ezt a mintát, a kamrás nyomat egyértelműen jobb eredményeket mutatott, kevesebb energiafelhasználás mellett a termék minősége is tökéletes. Sajnos a szabad nyomat ebben az esetben nem lett jó minőségű.

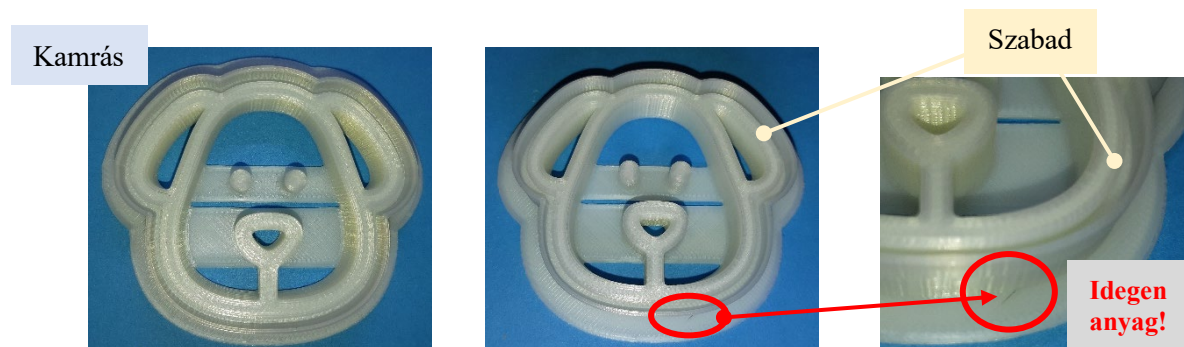
- Az **S_Minta_8_Kutya** minta nyomtatási eredményeit a **14. táblázat**ba foglaltam össze mind kamrás, mind pedig szabad nyomtatásra egyaránt.

14. táblázat: S_Minta_8_Kutya nyomtatási eredményei [44]

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

Az alábbi ábrán (4.28. ábra) a kamrában és a szabadon nyomtatott modellek összehasonlítása látható. A nyomtatás szempontjából mindkét modell tökéletes lett, semmilyen hiba nem látható egyikén 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.



4.28. ábra: S_Minta_8_Kutya kamrás és szabad nyomatok összehasonlítása [41]

Összegezve 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.

- Az S_Minta_7_Happy_smiley modell nyomtatási eredményeit kamrás-, és szabad nyomtatás esetében az alábbi táblázatba (15. táblázat) foglaltam össze.

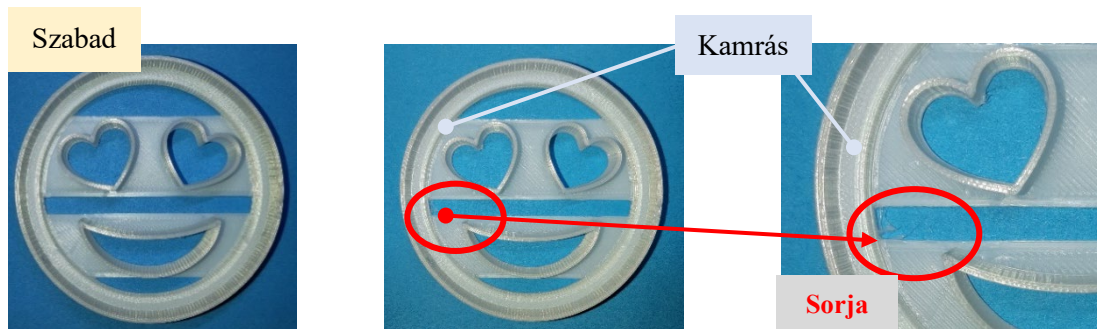
15. táblázat: S Minta 7 Happy smiley minta nyomtatási eredmények [44]

S_Minta_7_Happy_smiley		
Megnevezés	Kamrás nyomtatás	Szabad nyomtatás
Nyomtatási idő [hh:mm:ss]	2:13:30	2:13:39
Nyomtatási idő [h]	2,23	2,23
Nyomtatás során elfogyasztott villamos-energia [kWh]	0,2	0,25

A fenti táblázat (15. táblázat) jól szemlélteti, hogy szintén azonos nyomtatási idő mellett a szabad térben történő nyomtatás jelentős többletenergiával volt előállítható, pedig egy viszonylag egyszerű geometriájú modelltől van szó.

Az alábbi ábrán (4.29. ábra) összehasonlítottam fényképek segítségével a két kinyomtatott modellt kamrás és szabad körülmények között. A 4.29. ábra jól mutatja, hogy ez esetben a kamrás nyomtatásnál jelentős sorja keletkezett a bal középső területen az első réteg építése során.

A szabad nyomtatás hibátlan lett. Egyik modell esetében sem volt vetemedés, vagyis nem jött fel a modell a tárgyasztalról. Viszont a sorja végett a szabad nyomat előnyt élvez.



4.29. ábra: S_Minta_7_Happy_smiley nyomtatások összehasonlítása [41]

Összegezve, a szabad nyomtatás egyik előnye, hogy az első réteg is részletesen látható, a kamra a betekintést némileg megakadályozza, ezért a sorja kialakulását az első rétegnél nem vettem észre. Viszont nem volt számottevő, hogy a nyomtatást leállítsam. Az energiafelhasználás végett azonban ezen minta esetén is a kamra élvez előnyt számomra.

- Az S_Minta_3_Coffee süteménynyomó nyomtatási eredményeit kamrás és szabad nyomtatással az alábbi táblázatba (16. táblázat) foglaltam össze.

16. táblázat: S_Minta_3_Coffee süteménynyomó nyomtatási eredményei [44]

S_Minta_3_Coffee		
Megnevezés	Kamrás nyomtatás	Szabad nyomtatás
Nyomtatási idő [hh:mm:ss]	3:00:37	3:00:16
Nyomtatási idő [h]	3,01	3,00
Nyomtatás során elfogyasztott villamos-energia [kWh]	0,27	0,34

A 16. táblázat mutatja, hogy egyező nyomtatási idővel a két nyomat energiafelhasználása közötti különbség 0,07 [kWh]. Jó példa a kamra használatának fontosságára. A két nyomaton nem volt hiba, a „10. Mellékletek” 10.46. ábrán láthatók.

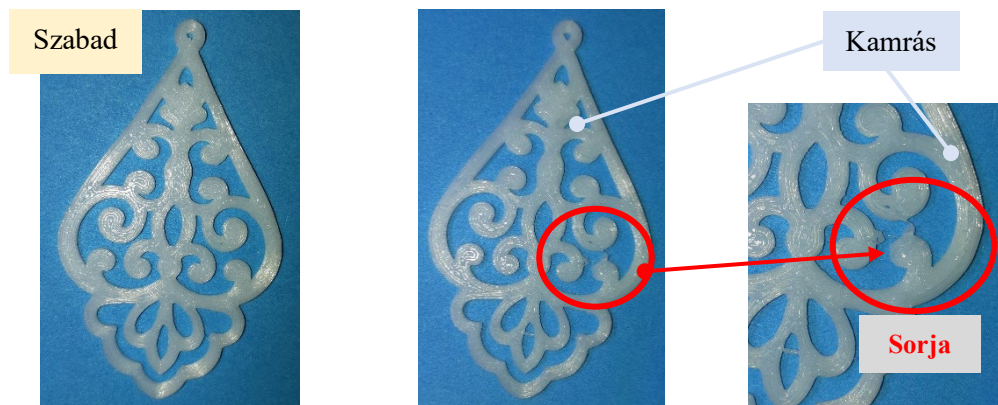
Kamrás és szabad nyomtatású medálok/ékszerek összehasonlítása, értékelése

▪ Az **F_Minta_2_Mandala_hosszúkás** medál esetében az alábbi táblázat mutatja a két nyomtatás eredményét (**17. táblázat**):

17. táblázat: Az **F_Minta_2_Mandala_hosszúkás** nyomtatás összehasonlítása [44]

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 **4.30. ábrán** 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.



4.30. ábra: **F_Minta_2_Mandala_hosszúkás** kamrás és szabad nyomtatása [41]

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

▪ Az **F_Minta_5_Levél_kicsi** minta összehasonlítását a **18. táblázat** mutatja.

18. táblázat: **F_Minta_5_Levél_kicsi** minta nyomtatási eredményei [44]

F_Minta_5_Levél_kicsi		
Megnevezés	Kamrás nyomtatás	Szabad nyomtatás
Nyomtatási idő [hh:mm:ss]	0:19:01	0:19:32
Nyomtatási idő [h]	0,32	0,33
Nyomtatás során elfogyasztott villamos-energia [kWh]	0,03	0,04

A **18. táblázatban** a fogyasztást tekintve a szabad nyomtatás 0,01 [kWh]-tal nagyobb értéket mutatott. Ez nem számottevő, de egy ilyen kis modell esetében látványos eredmény. A két modellen nem láttam eltérést, a „10. Mellékletek” **10.47. ábrán** tekinthetők meg.

▪ Az **F_Minta_6_Csepp** modell esetében szintén egy összefoglaló táblázatot készítettem a nyomtatások legfontosabb eredményeiről (**19. táblázat**):

19. táblázat: Az F_Minta_6_Csepp minta nyomtatási eredményei [44]

F_Minta_6_Csepp		
Megnevezés	Kamrás nyomtatás	Szabad nyomtatás
Nyomtatási idő [hh:mm:ss]	0:33:20	0:33:49
Nyomtatási idő [h]	0,56	0,56
Nyomtatás során elfogyasztott villamos-energia [kWh]	0,05	0,06

A **19. táblázat** jól mutatja az egyre nagyobb „eltolódást” a modellek nyomtatása során, ahogyan a kamrás nyomtatás tartja a felhasznált energia mennyiségét, a szabad nyomtatásnál egyre inkább növekszik a távolság és egy-egy századdal mindig növekszik a fogyasztás.

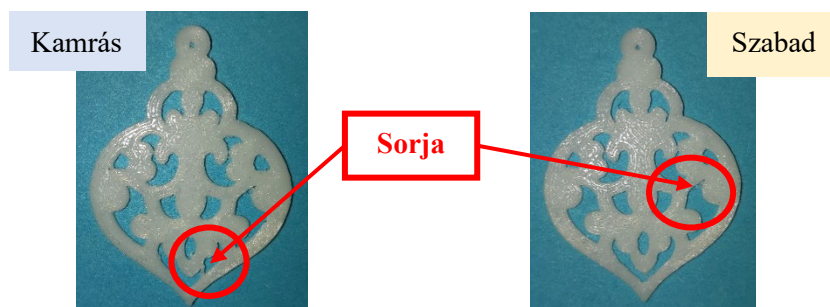
Egyik nyomaton sem láttam hibát, ábrájukat a „**10. Mellékletek**” **10.48. ábra** mutatja.

▪ Az **F_Minta_7_Mandala_kicsi** esetében ugyancsak egy összefoglalást készítettem, amelynek adatait az alábbi táblázatba (**20. táblázat**) gyűjtöttem össze:

20. táblázat: Az F_Minta_7_Mandala_kicsi nyomtatás összehasonlító adatai [44]

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 nyomtatás gazdaságosabb volt.



4.31. ábra: F_Minta_7_Mandala_kicsi kamrás (balra) és szabad nyomtatása (jobbra) [41]

A fenti ábrán (**4.31. ábra**) összehasonlítottam a modelleket, amely során a két minta között lényeges különbség nem látható. Kisebb sorja mindkét modellen látszott, de ezek nem voltak számottevőek. **Összességében** a kamrás nyomtatás ebben az esetben is jobb eredményt mutatott az elfogyasztott villamos-energia szempontjából.

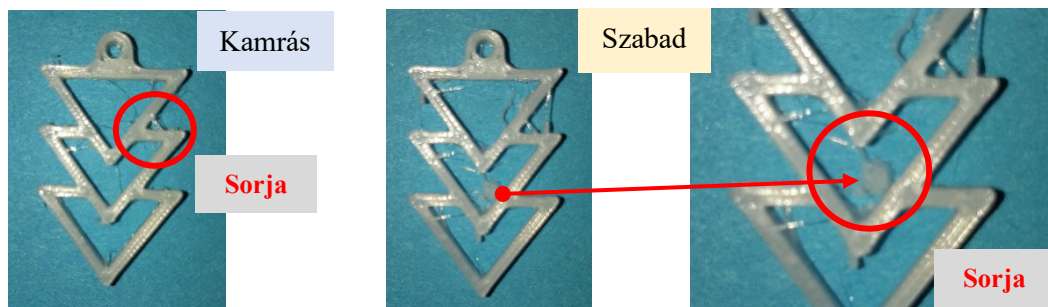
- Az **F_Minta_10_Nyilak** modell esetén az alábbi táblázat mutatja a nyomtatási eredményeket (**21. táblázat**):

21. táblázat: F Minta 10 Nyilak minta nyomtatási eredményei összehasonlítva [44]

F_Minta_10_Nyilak		
Megnevezés	Kamrás nyomtatás	Szabad nyomtatás
Nyomtatási idő [hh:mm:ss]	0:11:51	0:12:15
Nyomtatási idő [h]	0,20	0,20
Nyomtatás során elfogyasztott villamos-energia [kWh]	0,02	0,02

A fenti táblázatban (**21. táblázat**) a legkisebb medál / ékszer-minta esetében szinte tökéletes egyezés látszik a nyomtatási eredményeket tekintve, tehát a kicsit több, mint 10 perces nyomtatás során lényegi különbség nem keletkezett a fogyasztást tekintve.

A két minta összehasonlítása (**4.32. ábra**) azonban mutatott némi eltérést. A kamrás nyomtatás során kevesebb, és kisebb méretű sorják láthatók. Ennek a hibának az oka szabad nyomtatásnál lehetett az, hogy nem volt homogén hőmérsékletű a tárgyasztal.



4.32. ábra: F_Minta_10_Nyilak kamrás (balra) és szabad nyomtatása (jobbra) [41]

Összességében, a nyomtatás minősége miatt a kamrás minta jobb eredményeket mutat. Igaz, a felhasznált energia oldaláról nézve úgy látszik, hogy a közel 10 perces nyomatok között nem alakult ki lényegi különbség.

Kamrás és szabad nyomtatású karácsonyi díszek összehasonlítása, értékelése

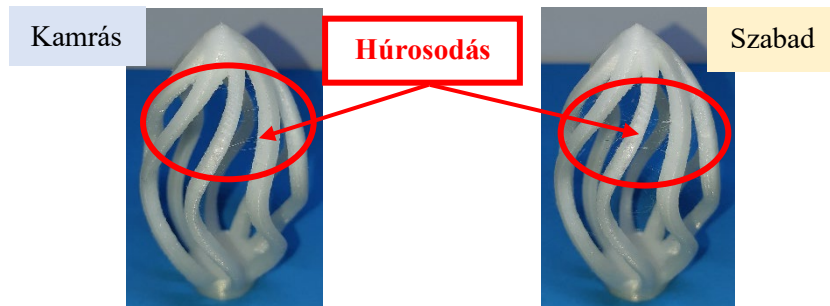
- A **K_Minta_4_Twisted** kamrás-, és szabad nyomtatási eredménye (**22. táblázat**):

22. táblázat: K Minta 4 Twisted nyomtatási eredményei [44]

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 **22. táblázat**ban, hogy csupán **2 s** van a két nyomtatási idő között, azonban a szabad nyomtatás 0,05 [kWh] = 50[Wh]-val több energiát igényelt az előállításához.

A **4.33. 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.



4.33. ábra: K_Minta_4_Twisted dísz kamrás (bal) és szabad (jobb) nyomtatása [41]

Összességében az energiagazdálkodás végett a kamrás nyomtatás eredményesebb.

- A **K_Minta_2_Spirál** dísz nyomtatási eredményeit a **23. táblázat** mutatja:

23. táblázat: K_Minta_2_Spirál dísz kamrás és szabad nyomtatási eredménye [44]

K_Minta_2_Spirál		
Megnevezés	Kamrás nyomtatás	Szabad nyomtatás
Nyomtatási idő [hh:mm:ss]	1:52:27	1:53:36
Nyomtatási idő [h]	1,87	1,89
Nyomtatás során elfogyasztott villamos-energia [kWh]	0,17	0,21

A **23. táblázatban** látható, hogy egy ilyen egyszerű modell esetében, közel azonos nyomtatási idővel is mekkora különbség alakult ki a fogyasztást tekintve (0,04 [kWh]).

A két minta, - kamrás és szabad nyomtatás - teljes mértékben megegyeztek, összehasonlító ábrájuk a „**10. Mellékletek**” **10.49. ábra mutatja**.

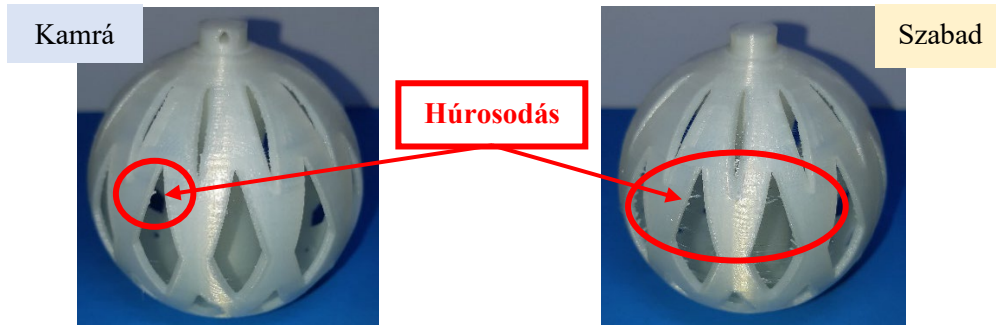
- A **K_Minta_9_Globe_üres** karácsonyi dísz nyomtatási eredményeit az alábbi táblázatba (**24. táblázat**) gyűjtöttem össze:

24. táblázat: K_Minta_9_Globe_üres nyomtatási eredményei [44]

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 **24. 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 **4.34. ábra** látható a kamrás és szabadon nyomtatott modellek összehasonlítása. Ezen modell esetében mindkét típuson láthatók hibák, a rombusz minta szélei sorjások 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.



4.34. ábra: K_Minta_9_Globe_üres kamrás (balra) és szabad nyomtatása (jobbra) [41]

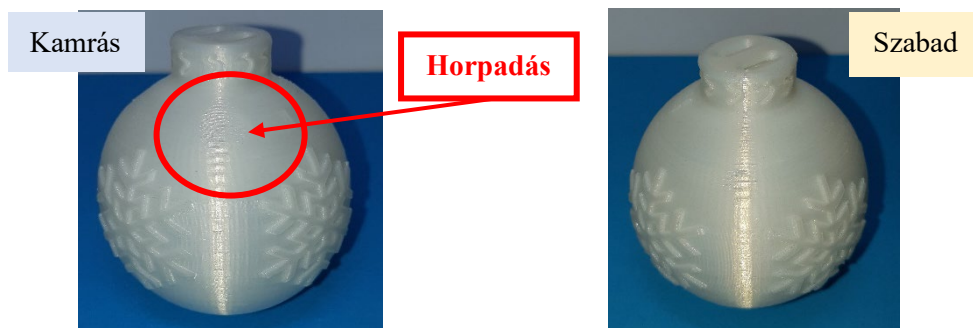
Összességében mindkét modellen láthatók hibák, ez a 3D modell kialakításának hibájából és a szeletelő program „felbontásából” (rétegmagasság) is adódott. Azonban a látható hibák sokasága és az energiafelhasználás végett jelen esetben a kamrás előnyösebb.

▪ A **K_Minta_3_Globe_Snowflake** karácsonyfadísz nyomtatási eredményeit az alábbi táblázatban (**25. táblázat**) foglaltam össze kamrás és szabad nyomtatásra:

25. táblázat: K_Minta_3_Globe_Snowflake dísz nyomtatási eredményei [44]

K_Minta_3_Globe_Snowflake		
Megnevezés	Kamrás nyomtatás	Szabad nyomtatás
Nyomtatási idő [hh:mm:ss]	3:39:36	3:39:22
Nyomtatási idő [h]	3,66	3,66
Nyomtatás során elfogyasztott villamos-energia [kWh]	0,33	0,41

A **25. táblázat** szemlélteti az energiafelhasználás közötti különbséget. A szabad nyomat elkészítéséhez $0,08[\text{kWh}] = 80[\text{Wh}]$ -val több energia kellett ugyanannyi idő alatt.



4.35. ábra: A K_Minta_3_Globe_Snowflake dísz kamrás és szabad nyomtatásai [41]

A **4.35. ábra** mutatja a két modell összehasonlítását, ahol meglepő módon a szabad nyomat felső része sokkal szebb, a kamrás modellen egy matt „horpadás” keletkezett.

Összegezve, a szabad nyomat jobb minőségű, az energiafelhasználásban viszont a kamra jeleskedett. A végeredményt tekintve a szabad nyomtatást tartom előnyösebbnek.

- A **K_Minta_7_Vase_mod** dísz nyomtatási eredményeket a **26. táblázat** tartalmazza.

26. táblázat: K_Minta_7_Vase_mod karácsonyfadísz nyomtatási eredményei [44]

K_Minta_7_Vase_mod		
Megnevezés	Kamrás nyomtatás	Szabad nyomtatás
Nyomtatási idő [hh:mm:ss]	3:49:10	3:48:45
Nyomtatási idő [h]	3,82	3,81
Nyomtatás során elfogyasztott villamos-energia [kWh]	0,34	0,43

A **26. táblázat**ban jól látható, hogy viszonylag kiegyenlített előállítási idő mellett a szabad nyomtatás elkészítéséhez 0,09[kWh]-val több villamos-energiára volt szükség.

Mind a kamrás, mind pedig a szabad nyomat hibamentes volt, összehasonlító ábrájuk a „10. Mellékletek” **10.50. ábrán** tekinthető meg.

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. **A kamrás és szabad nyomatokról a „10. Mellékletek”, 10.60. ábrától a 10.82. ábráig további képek tekinthetők meg.**

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

Ahogy 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 „**10. Melléklet**” **10.51. ábrán** látható 2023. június 28.-i adatokkal számoltam az összes nyomtatás során, mivel ezen a napon kezdtem el nyomtatni a modelleket.

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

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

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

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

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

ahol:

- E_K : az előállításához 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: $41,72 \left[\frac{\text{HUF}}{\text{kWh}} \right]$).

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

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

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:

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

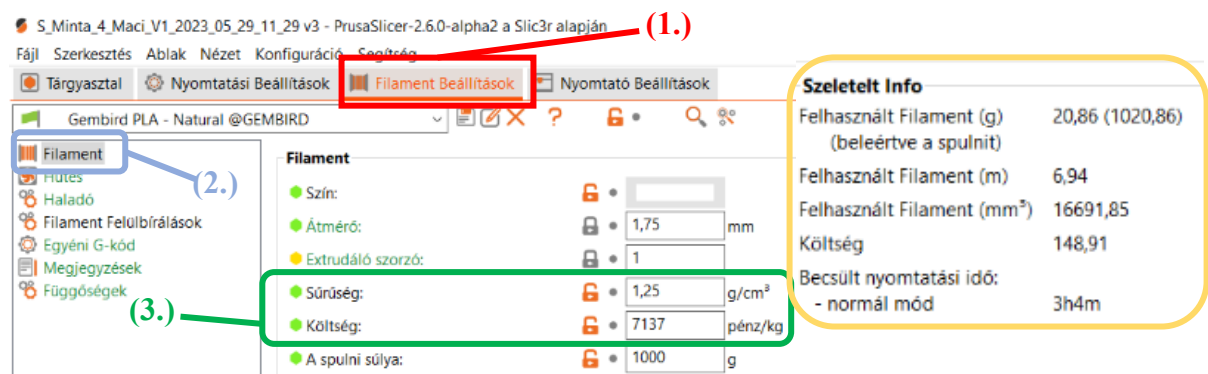
Csupán **2,03 HUF** különbség van a két modell között, azonban egy 15 órás nyomtatás esetén ez az érték sokkal nagyobb különbséget mutathat.

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 megadására nem volt szükség, ugyanis a szoftver a $\left[\frac{\text{Pénnz}}{\text{kg}}\right]$ mértékegységet használja, így közvetlenül megadható volt a beszerzési ár.

Az alábbi ábrán (4.37. 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.



4.36. ábra: Filament adatainak megadása (balra), virtuális nyomtatás adatai (jobbra) [42]

A filament anyagköltségének megadásához a fenti ábrán (4.37. ábra) az alábbi sorrendben kellett megadnom az adatokat: (1.) „Filament beállítások” fülön belül, a bal oldalon látható (2.) „Filament” fülre kattintással a közepén látható terület jelent meg. Itt a (3.) „Költség” mezőben megadtam a filament beszerzési árát $\left[\frac{\text{Pénnz}}{\text{kg}}\right]$ 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 (27. táblázat) foglaltam össze.

A 27. táblázatban összefoglaltam mind kamrás, mind szabad nyomtatásra a nyomtatási időket és a kialakult energia-, és anyagköltségeket, majd összegeztem azokat, így kaptam meg az előállítási költséget.

27. táblázat: A nyomtatási idők és költségek összefoglaló táblázata [44]

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 (27. 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 nyomtatás 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 „kölség-plusz árképzéssel” (más néven: haszonkulcsos árképzés) határoztam meg. A termékek előállítási költségei a **27. táblázat**ban 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:

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

ahol:

- K_e : egy termék eladási költsége [HUF],
- K_{ny} : nyomtatás összes költsége (**27. 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 **28. táblázat**ba gyűjtöttem össze.

4.6.2 A termékeim eladásából befolyó bevétel

A **28. 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:

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

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 napnak** 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:

$$E_{\text{év}} = G_{y_h} \cdot L = 32,20 \cdot 250 = \mathbf{8049,79 [h]} \quad (8)$$

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

$$K_{\text{óra}} = R_{\text{év}} - E_{\text{év}} = 8760 - 8049,79 = \mathbf{710,21 [h]} \quad (9)$$

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:

$$K_{\text{nap}} = \frac{K_{\text{óra}}}{24} = \frac{710,21}{24} = \mathbf{29,59 [nap]} \quad (10)$$

ahol:

- $E_{\text{év}}$: Az összes termék előállítási ideje 250 darab esetén [h],
- G_{y_h} : A termékek darabonkénti gyártási ideje [h],
- L : Előállítandó összes mennyiség, állandó (250 db) [db],
- $K_{\text{óra}}$: Az éves kieső órák száma, amikor áll a nyomtató [h],
- $R_{\text{év}}$: Rendelkezésre álló órák száma egy évben, állandó (8760 h) [h],
- 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 **(28. táblázat)** az összes érintett termékem eladási árait a kamrás nyomatokra:

28. táblázat: A bevételeim alakulása, ha a kamrás nyomtatást vizsgáltam egy évben [44]

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 **28. 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 **(29. táblázat)** foglaltam össze:

29. táblázat: A bevételeim alakulása, ha éves szabad nyomtatást vizsgáltam [44]

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 bevétel **2.007.417 HUF**. A szabad nyomtatások eladási árait a **29. 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 nyomtatok eladási áraira vonatkozó **28. 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 árbevétel ismert: 1.964.035 HUF.**

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

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

ahol:

- K_A : Állandó költségem [HUF],
- E_k : Kamrás nyomtatásaim energiaköltsége (**28. 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 tekintetem.

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

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

ahol:

- K_V : Változó költségem [HUF],
- A_k : Nyomtatásaim anyagköltsége (**28. táblázat**) [HUF],
- d : előállított darabszám, állandó érték: 250 [db],
- f : szorzó-tényező a filament anyagok átlagos költségeihez (állandó érték) [-].

Az árbevételeim, állandó költségeim, valamint változó költségeim ismertek, így kiszámoltam az egységár hozamot (e_{H}) és egységár ráfordítást (e_{R}).

Az egységár hozamot (e_{H}) a következőképpen számítottam ki:

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

Az egységár ráfordítást (e_{R}) az alábbi képlettel számoltam:

$$e_{\text{R}} = \frac{K_{\text{V}}}{15 \cdot 250} = \frac{604.334}{3750} = \mathbf{161,16 \text{ [HUF]}} \quad (14)$$

ahol:

- e_{H} : egységár hozam [HUF],
- e_{R} : egységár ráfordítás [HUF],
- $15 \cdot 250$: összes termék típusa x eladási darabszám [db].

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

$$Ny = \text{Árb} - (K_{\text{A}} + K_{\text{V}}) = 1.964.035 - (105.622 + 604.334) = \mathbf{1.254.079 \text{ [HUF]}} \quad (15)$$

ahol:

- Ny: Nyereségem egy évre vetítve [HUF],
- Árb: Árbevételem egy év alatt (kamrás nyomtatások **28. táblázat**) [HUF],
- K_{A} : Állandó költségeim [HUF],
- K_{V} : Változó költségeim [HUF].

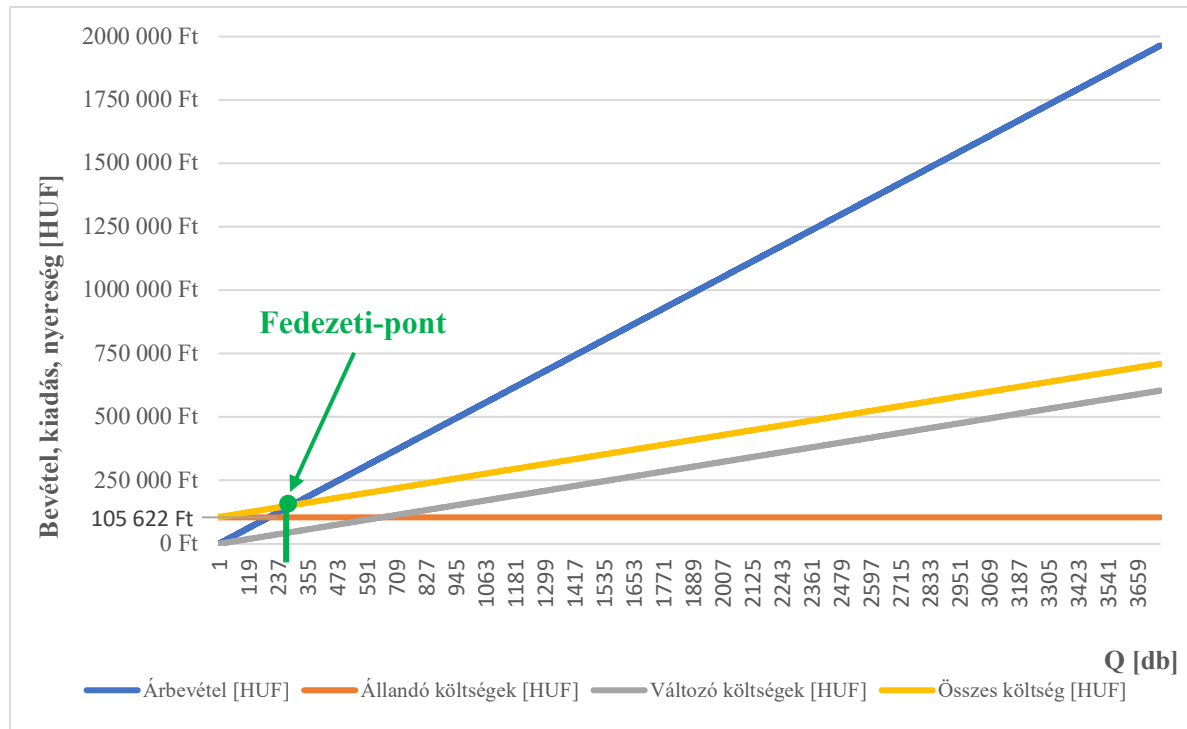
Tehát látható, hogy egy év alatt, ha minden termékből előállítok 250 db-ot, akkor a nyereségem **1.254.079 [HUF]** lesz.

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

$$Q_{\text{krit}} = \frac{K_{\text{A}}}{(e_{\text{H}} - e_{\text{R}})} = \frac{105.622}{(523,74 - 161,16)} \approx \mathbf{291 \text{ [db]}} \quad (16)$$

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 Árbevétel és az Összes költség metszéspontjánál, hogy **291 db** eladott termék szükséges a fedezeti pont eléréséhez. Ez felett az érték felett a tevékenységeből már nyereségem keletkezik. Mindez az alábbi **4.37. ábra** látható.



4.37. ábra: A 3D nyomtató vállalkozásom ÁKFN-struktúrájának alakulása egy év alatt [45]

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 **6. 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:

30. táblázat: Ráfordításaim összesen [44]

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 **30. 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]:

$$\text{Értékcsökkenési költség} = \frac{\text{Eszköz bekerülési értéke(B)} - \text{Maradványérték (M)}}{\text{Hasznos élettartam (n)}} \quad (17)$$

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 (**31. táblázat**) meghatároztam a nyomtató amortizációs költségét az elkövetkezendő 5 évben:

31. táblázat: A 3D nyomtató amortizációjának alakulása a következő 5 évben [44]

Évek száma [év]	Bruttó érték [HUF]	Évenkénti értékcsökkenés [HUF]	Halmazott 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 érintett 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 kötıtségek, 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 árbevételeimet, úgy gondolom, hogy az **Egyéni vállalkozás** lenne az ideális számomra. Az **Egyéni vállalkozás** tulajdonságait röviden összegyűjtöttem [40]:

- 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 fűvóka 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 a nyomtatási minőség javul, 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 $5.000 \left[\frac{\text{HUF}}{\text{kg}} \right]$ -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 fájl (STL fájl) szintén mindig legyen elérhető a gyorsabb előállításához.

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 megjegyezmem, 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

Diplomadolgozatom 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 kialakítása a stabil nyomtatáshoz; díszeknél az egységes felfűzési furat kialakítása.

Az újra nyomtatáskor kamrában és szabad térben kinyomtattam minden modellt és összehasonlítottam azokat 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. Éves szinten vizsgálva ettől magasabb költségre számítottam. Mindezek mellett minőségileg is összehasonlítottam a két modellsomagot 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 diplomadolgozatom készítése 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 Summary

As the topic of my diploma thesis, I investigated what kind of mental and financial expenses are necessary for a successful start for a business with an FDM 3D printer and what opportunities exist in an area where the only limit is our imagination. I will continue to summarize my results.

Initially, I assessed whether there was interest in 3D printed products in the market areas I was interested in. Therefore, I have designated three areas: cookie cutters, pendants/jewelry and Christmas tree decorations. I chose this area because of the three fashionable changes, individual needs are increasingly coming to the fore.

In all three areas, I conducted market research by compiling a questionnaire, where I printed out the 10-10-10 model I had designed and compared the 5-5-5 with the most votes based on the aspects defined by the model using photo voting. A total of 95 people filled out the questionnaire. I made improvements on the "prototype models" used for the questionnaire, defined points that unified the models belonging to the same group. Such unifications: for cookie cutters a uniform 6 mm outline of the gripping surface; for ornaments with a circular base area, the design of a 15 mm diameter adhesion surface for stable printing; for ornaments, the design of the uniform stringing hole.

When reprinting, I printed all the models in the chamber and in open space, and compared them based on their printing time and production cost, the organic basis of which was the cost of the consumed electricity in addition to the material cost. After that, I determined the sales prices according to the quantities produced in one year, which is 250 of each models. Thus, the annual sales revenue of chambered printing was HUF 1,964,035, while that of free printing was HUF 2,007,417, a difference of only HUF 43,381. On an annual basis, I expected a higher cost. In addition to all of this, I also compared the two model packages in terms of quality and clearly the chambered prints were more stable than the free prints, this must be due to the use of the chamber.

Finally, based on the results of my market research, investigations, and analyzes, it can be seen that my activities with the Creality Ender 3, 3D printer are economical and pay off quickly. During the preparation of my diploma thesis, I achieved the set goals. However, due to my low sales income, the Sole Proprietorship would be the ideal choice for me. So my business would be suitable for carrying out additional activities. Based on my results, I found that if I wanted to start a bigger business, I would need more, more powerful machines, because with them I could make more profit.

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Nagy Bálint
A Hallgató Neptun kódja: YYX05Y
A dolgozat címe: Vállalkozás indítása 3D nyomtatóval
A megjelenés éve: 2023
A konzulens intézetének neve: Műszaki Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Műszaki Menedzsment Tanszék

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

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

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

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

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

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

Kelt: Gödöllő, 2023. október 30.


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Nagy Bálint (hallgató Neptun azonosítója: YYX05Y) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

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

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

Kelt: Gödöllő, 2023. október 27.



belső konzulens

9 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] Ditya 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 gyártástechnológiai, 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 István, (2021) Tárgyasult 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] Jackson Moody, Matteo Parenti, (2022), PrusaSlicer Infill Patterns: All You Need to Know,
(Frissítve: 2022. december 13.)
[http13.: https://all3dp.com/2/prusaslicer-infill-patterns/](https://all3dp.com/2/prusaslicer-infill-patterns/)
(Utolsó elérés: 2023. 05. 21.; 20:52; Google Chrome)
- [15] Lauren Fuentes, (2022), 3D Printing Brim: When Should You Use It
(Frissítve: 2022. szeptember 3)
[http14.: https://all3dp.com/2/3d-printing-brim-when-should-you-use-it/](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/](https://howto3dprint.net/3d-print-perfect-first-layer/)
(Utolsó elérés: 2023. 05. 26.; 14:17; Google Chrome)
- [17] Martin Lütkemeyer, (2023), 3D Printing Brim: What is it? How & When to use it?
– Guide
[http16.: https://the3dprinterbee.com/3d-printing-brim/](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](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-nyomtatásról-tudni-kell/](https://www.cnc.hu/2020/05/minden-amit-a-3d-nyomtatásról-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](https://terrorgum.com/tfox/books/3dprinting.pdf)
[http19.: https://terrorgum.com/tfox/books/3dprinting.pdf](https://terrorgum.com/tfox/books/3dprinting.pdf)
(Utolsó elérés: 2023. 04. 22.; 20:09; Google Chrome)

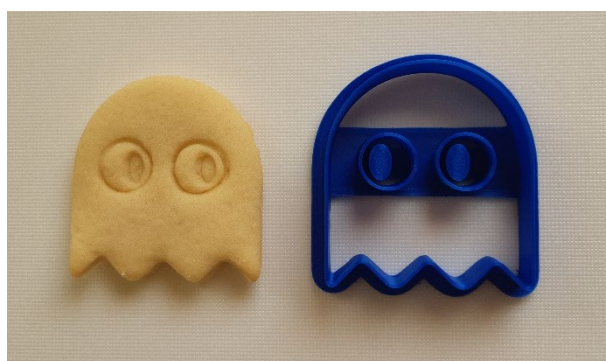
- [21] Team Xometry, (2022), 3D Printer Filament: Types, Materials, Uses, and Services
<http20.: https://www.xometry.com/resources/3d-printing/3d-printer-filament/>
(Utolsó elérés: 2023. 04. 25.; 15:23; Google Chrome)
- [22]<http21.: https://discountsales.discountshop2023.ru/content?c=3d%20printer%20parts&id=5>
(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-nyomtatás>
(Utolsó elérés: 2023. 04. 25.; 19:29; Google Chrome)
- [25]<http24.: http://kreativ3d.hu/3d-nyomtatás-alapanyagai>
(Utolsó elérés: 2023. 05. 01.; 14:58; Google Chrome)
- [26]<http25.: https://support.lenovo.com/my/hu/solutions/rohs-info>
(Utolsó elérés: 2023. 05. 02.; 19:36; Google Chrome)
- [27]<http26.: https://www.cnc.hu/2016/03/g-kod-tortenelem/>
(Utolsó elérés: 2023. 05. 05.; 21:16; Google Chrome)
- [28]<http27.: https://3dee.hu/g-code-attekintes/>
(Utolsó elérés: 2023. 05. 05.; 21:14; Google Chrome)
- [29]<http28.: https://idegen-szavak.hu/interpol%C3%A1ci%C3%B3>
(Utolsó elérés: 2023. 05. 05.; 21:34; Google Chrome)
- [30]<http29.: https://www.muszeroldal.hu/assistance/ASCII.html>
(Utolsó elérés: 2023. 05. 06.; 10:27; Google Chrome)
- [31]http30.: https://help.prusa3d.com/article/general-info_1910#history
(Utolsó elérés: 2023. 05. 21.; 17:58; Google Chrome)
- [32]<http31.: https://www.matterhackers.com/articles/3d-printing-essentials-first-layer>
(Utolsó elérés: 2023. 05. 26.; 14:02; Google Chrome)

- [33] [http32.: https://www.hubs.com/knowledge-base/supports-3d-printing-technology-overview/](https://www.hubs.com/knowledge-base/supports-3d-printing-technology-overview/)
(Utolsó elérés: 2023. 05. 22.; 19:26; Google Chrome)
- [34] [http33.:https://www.3djake.hu/creality-3d-nyomtatok-es-alkatreszek/metall-extruder-upgrade-szett?sai=10587](https://www.3djake.hu/creality-3d-nyomtatok-es-alkatreszek/metall-extruder-upgrade-szett?sai=10587)
(Utolsó elérés: 2023. 06. 05.; 11:49; Google Chrome)
- [35] [http34.: https://www.tomtop.com/p-os4703.html](https://www.tomtop.com/p-os4703.html)
(Utolsó elérés: 2023. 06. 05.; 11:50; Google Chrome)
- [36] [http35.:https://www.3djake.hu/creality-3d-nyomtatok-es-alkatreszek/leveling-kit?sai=12358](https://www.3djake.hu/creality-3d-nyomtatok-es-alkatreszek/leveling-kit?sai=12358)
(Utolsó elérés: 2023. 06. 05.; 12:18; Google Chrome)
- [37] [http36.:https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/How-to-activate-start-up-or-educational-licensing-for-Fusion-360.html](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)
- [38] [http37.: https://github.com/prusa3d/PrusaSlicer/releases/tag/version_2.6.0-alpha2](https://github.com/prusa3d/PrusaSlicer/releases/tag/version_2.6.0-alpha2)
(Utolsó elérés: 2023. 07. 13.; 19:58; Google Chrome)
- [39] [http38.: https://euenergy.live/country.php?a2=HU](https://euenergy.live/country.php?a2=HU)
(Utolsó elérés: 2023. 08. 13.; 17:47; Google Chrome)
- [40] [http39.: https://bplegal.hu/kft-vs-egyeni-vallalkozas/](https://bplegal.hu/kft-vs-egyeni-vallalkozas/)
(Utolsó elérés: 2023. 08. 21.; 19:54; Google Chrome)
- [41] Saját fénykép
- [42] Saját kép: PrusaSlicer szeletelő szoftverben készült (verzió: 2.6.0-alpha2+win64)
- [43] Saját készítésű kép: Autodesk Fusion360 3D tervező szoftverben készült
- [44] Saját készítésű táblázat (Office 365 – Microsoft Excelben)
- [45] Saját készítésű diagram (Office 365 – Microsoft Excel segítségével)
- [46] Piackutatás kérdőív: Vállalkozás indítása FDM 3D nyomtatóval
[http40.:https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeQOKMsvlfa11Afcg7_MA7FhgDSeWM0vFA2AYoobtuZkKOIlg/viewform?usp=sf_link](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeQOKMsvlfa11Afcg7_MA7FhgDSeWM0vFA2AYoobtuZkKOIlg/viewform?usp=sf_link)
(Utolsó elérés: 2023. 07. 22.; 15:53; Google Chrome)

10 Mellékletek: Az alkalmazott formák



10.1. ábra



10.2. ábra



10.3. ábra



10.4. ábra



10.5. ábra



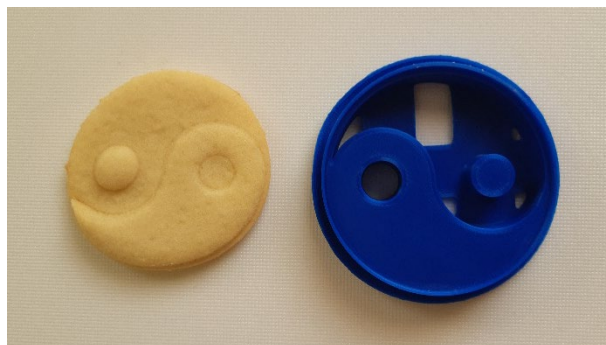
10.6. ábra



10.7. ábra



10.8. ábra



10.9. ábra



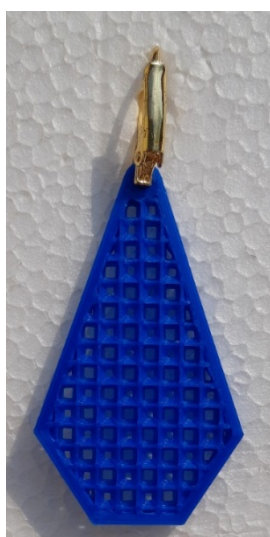
10.10. ábra



10.11. ábra



10.12. ábra



10.13. ábra



10.14. ábra



10.15. ábra



10.16. ábra



10.17. ábra



10.18. ábra



10.19. ábra



10.20. ábra



10.21. ábra



10.22. ábra



10.23. ábra



10.24. ábra



10.25. ábra



10.26. ábra



10.27. ábra



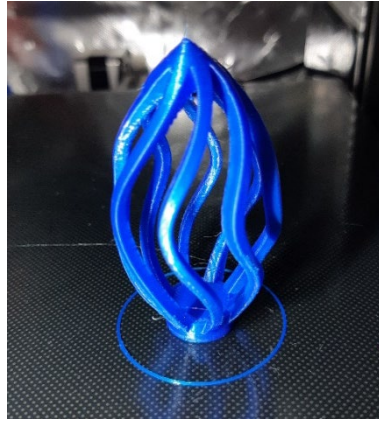
10.28. ábra



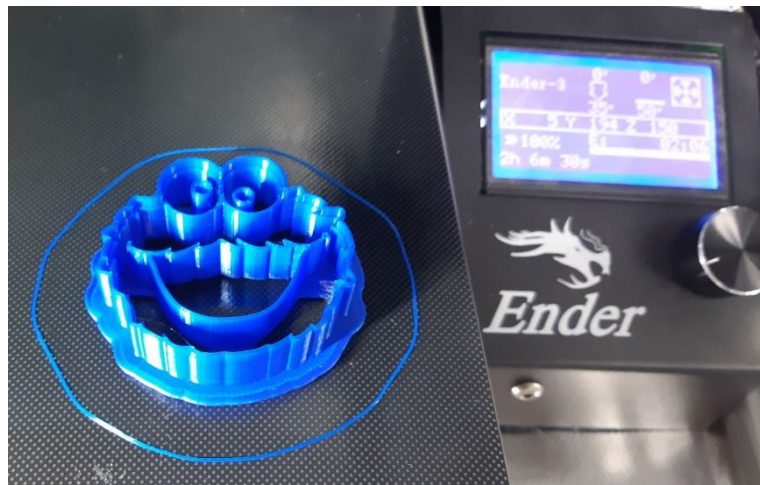
10.29. ábra



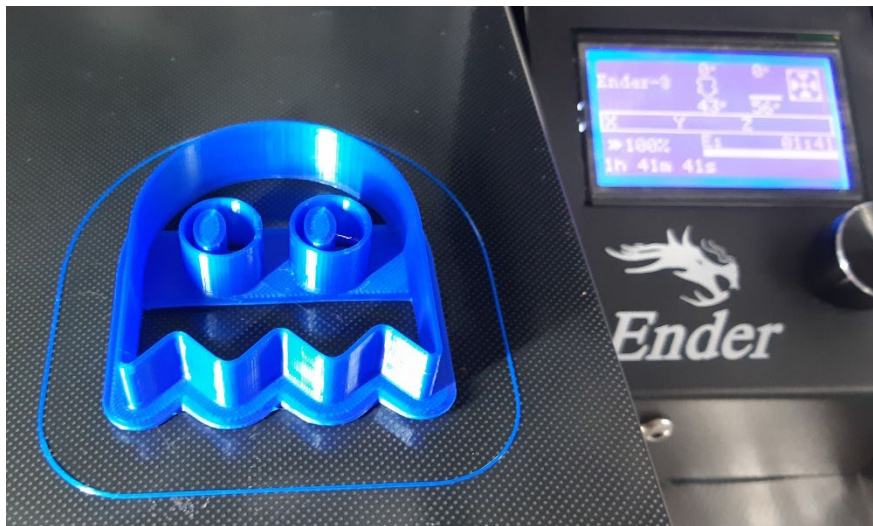
10.30. ábra



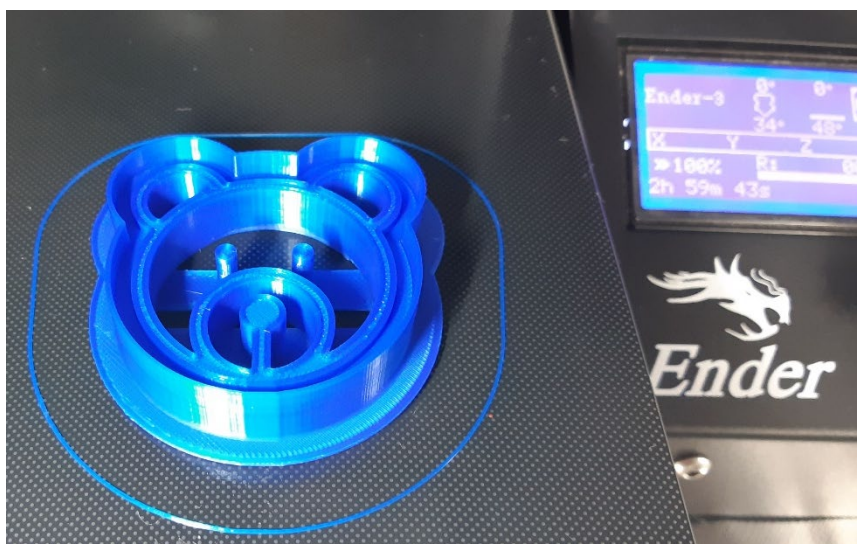
10.31. ábra



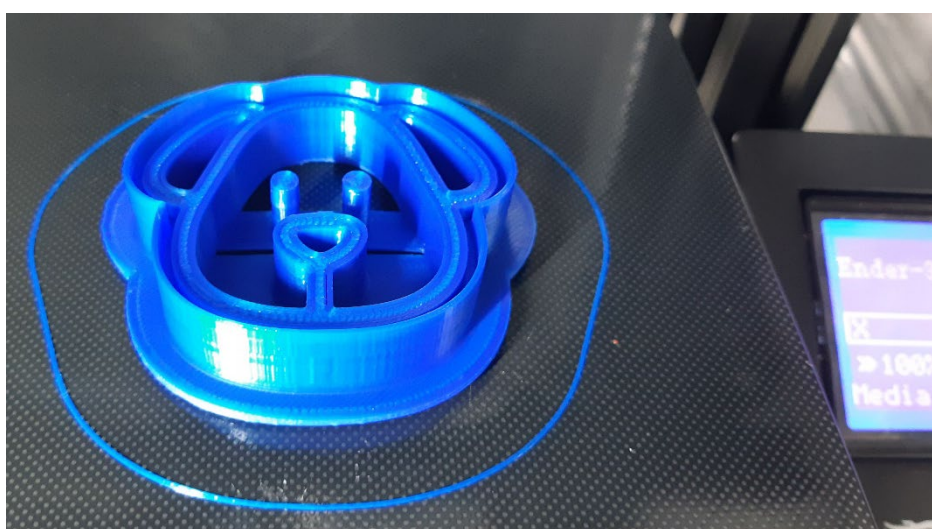
10.32. ábra



10.33. ábra



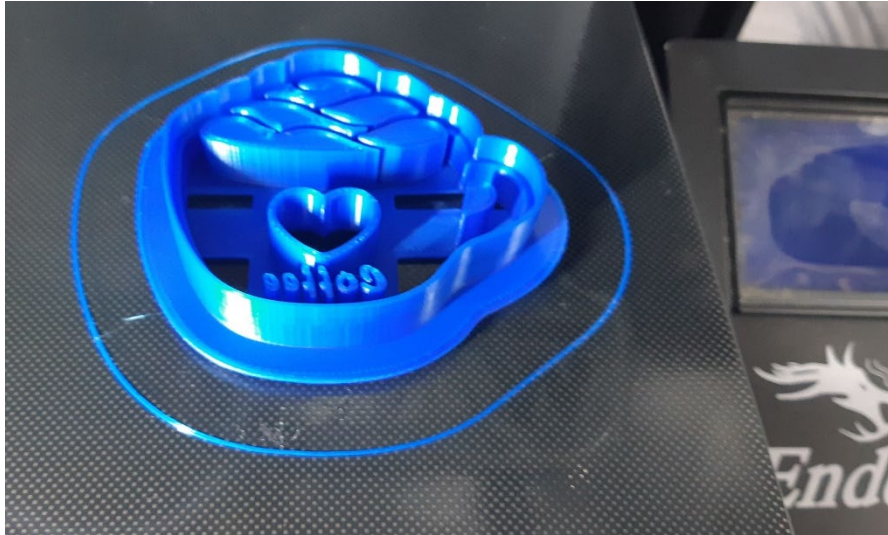
10.34. ábra



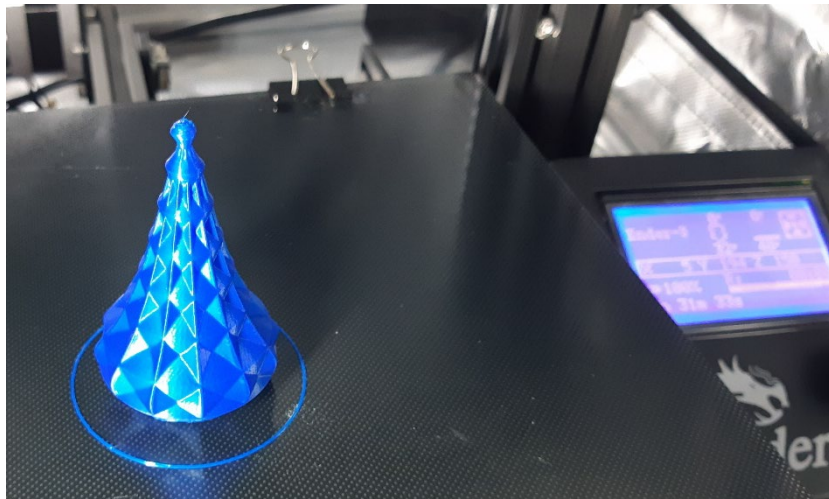
10.35. ábra



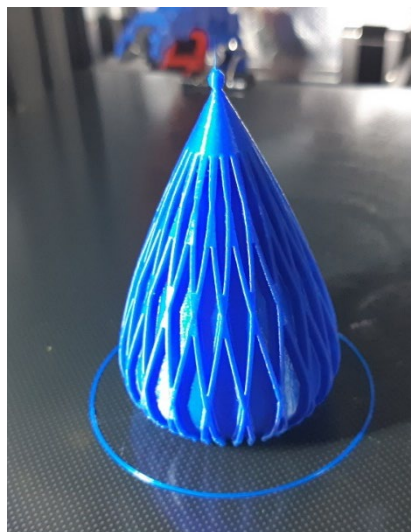
10.36. ábra



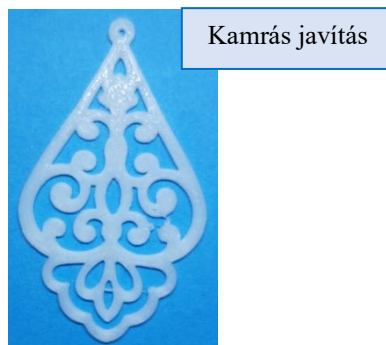
10.37. ábra



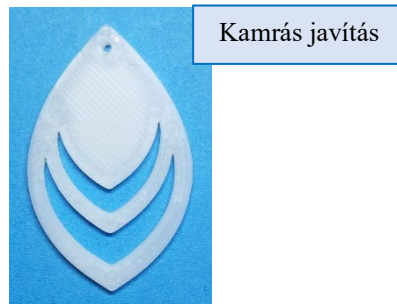
10.38. ábra



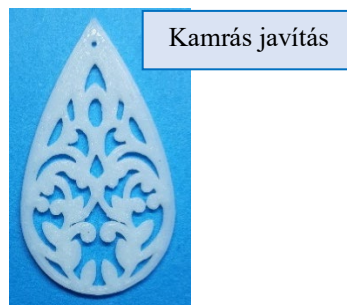
10.39. ábra



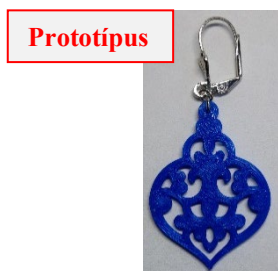
10.40. ábra



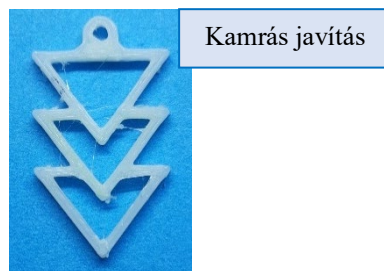
10.41. ábra



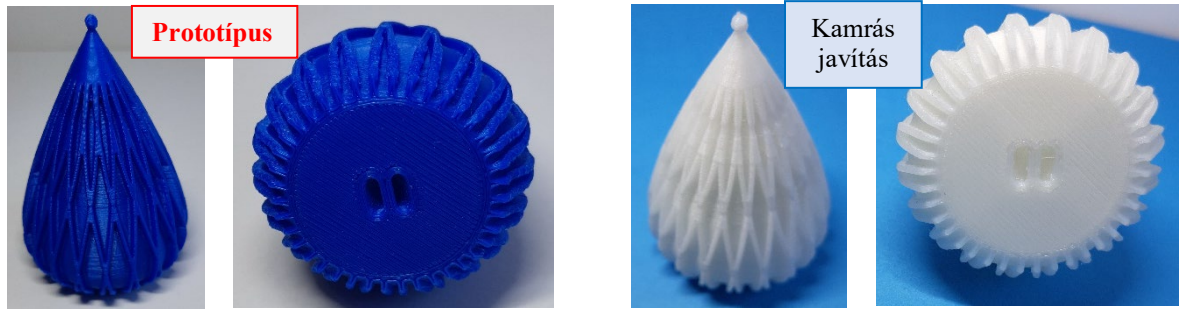
10.42. ábra



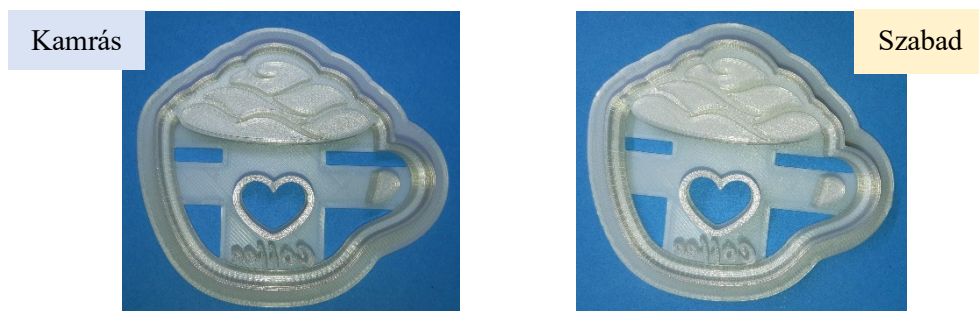
10.43. ábra



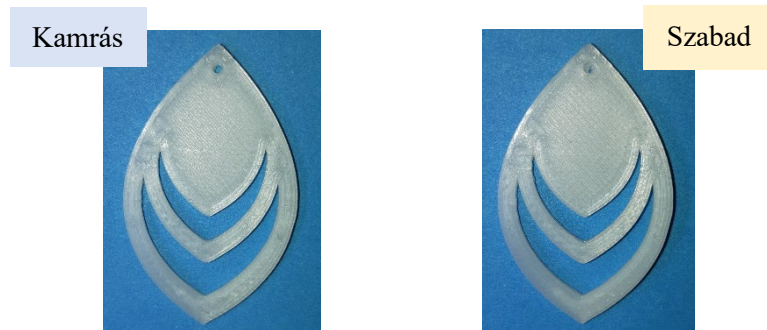
10.44. ábra



10.45. ábra



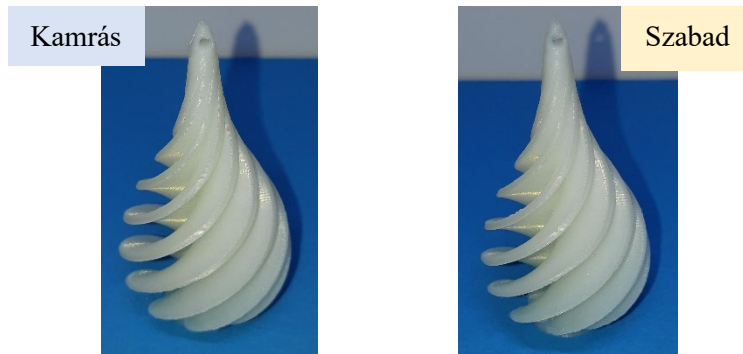
10.46. ábra



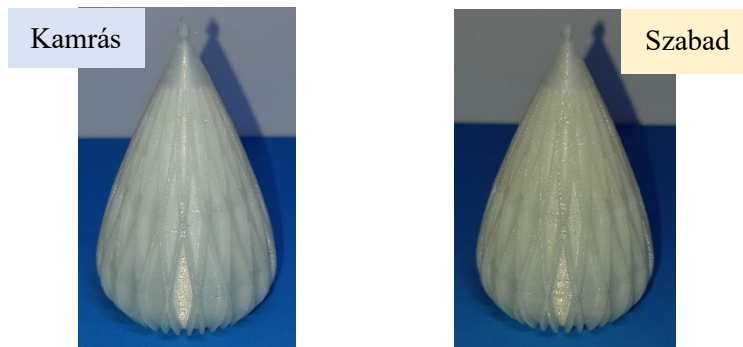
10.47. ábra



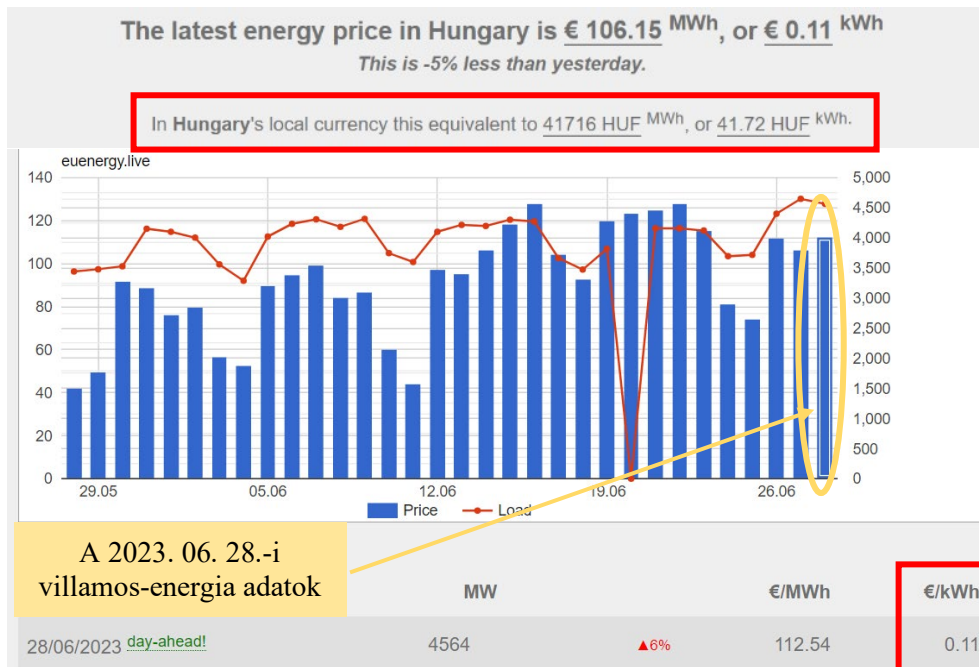
10.48. ábra



10.49. ábra



10.50. ábra



10.51. ábra [39]



10.52. ábra



10.53. ábra



10.54. ábra



10.55. ábra



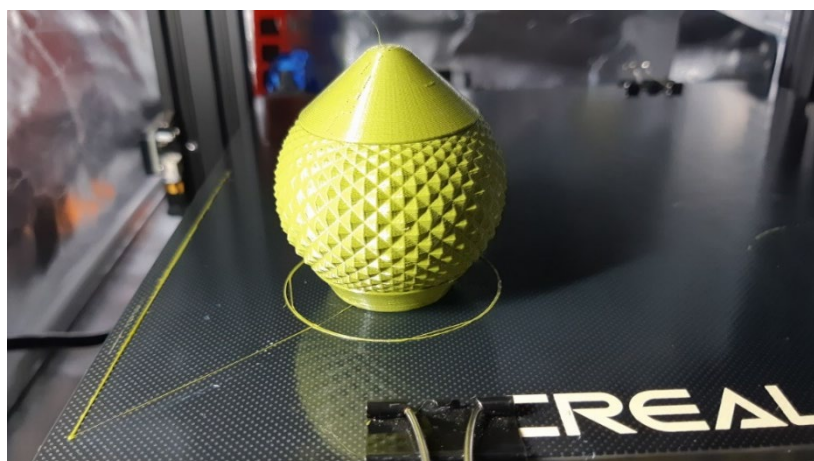
10.56. ábra



10.57. ábra



10.58. ábra



10.59. ábra



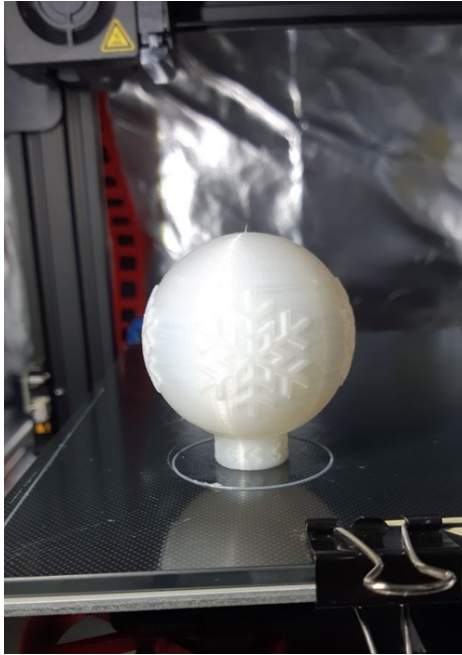
10.60. ábra



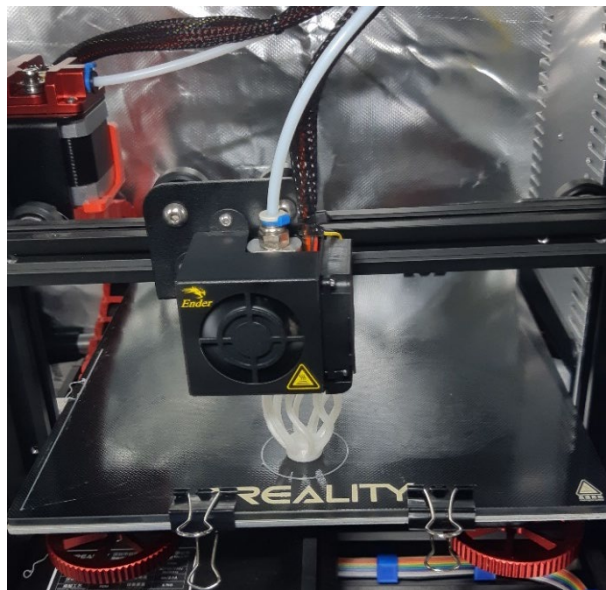
10.61. ábra



10.62. ábra



10.63. ábra



10.64. ábra



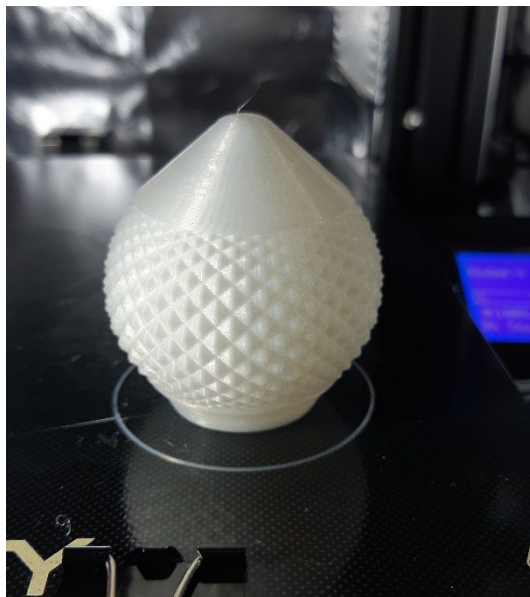
10.65. ábra



10.66. ábra



10.67. ábra



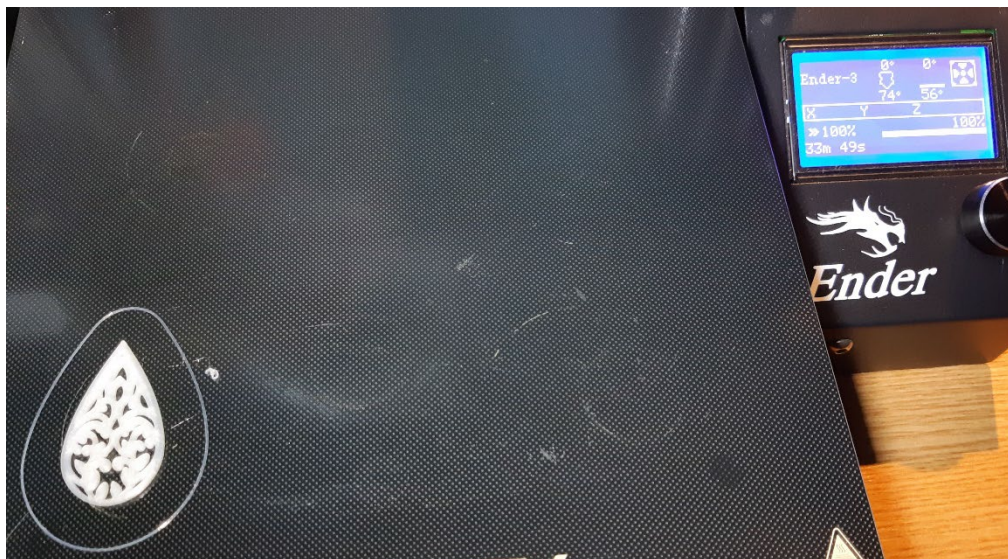
10.68. ábra



10.69. ábra



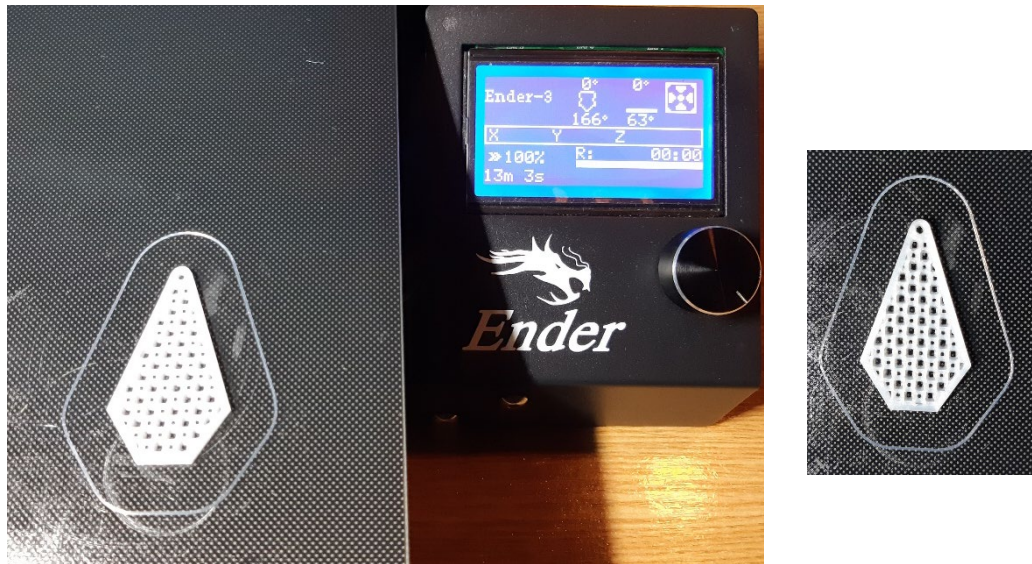
10.70. ábra



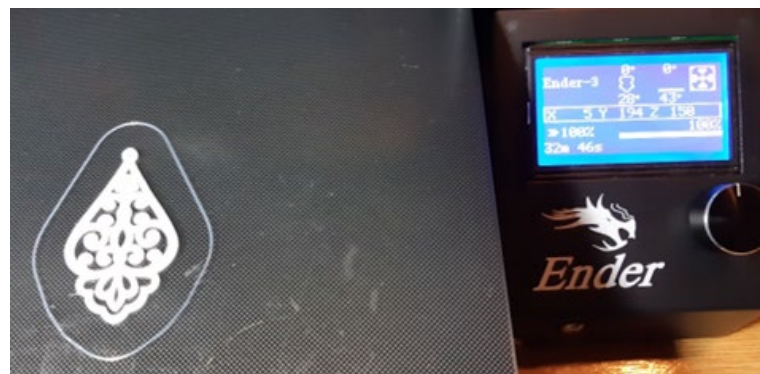
10.71. ábra



10.72. ábra



10.73. ábra



10.74. ábra



10.75. ábra



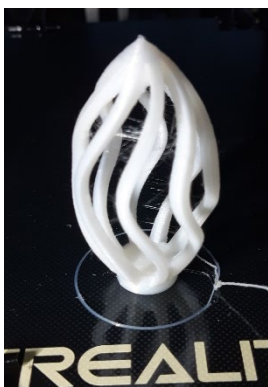
10.76. ábra



10.77. ábra



10.78. ábra



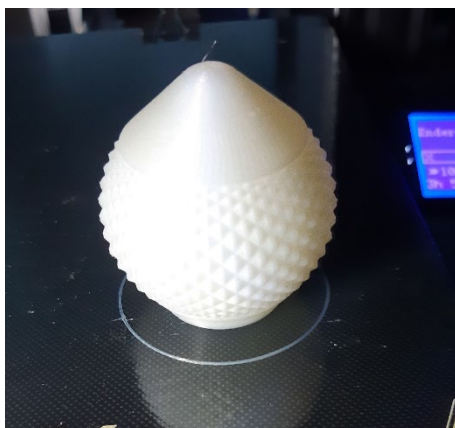
10.79. ábra



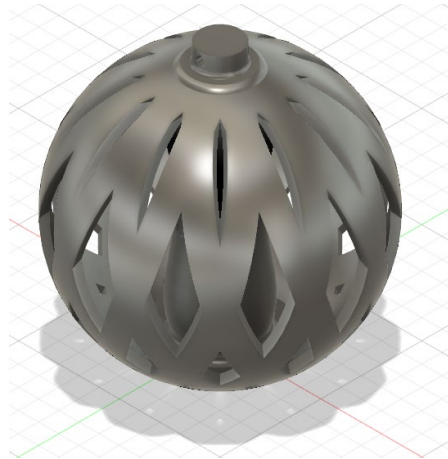
10.80. ábra



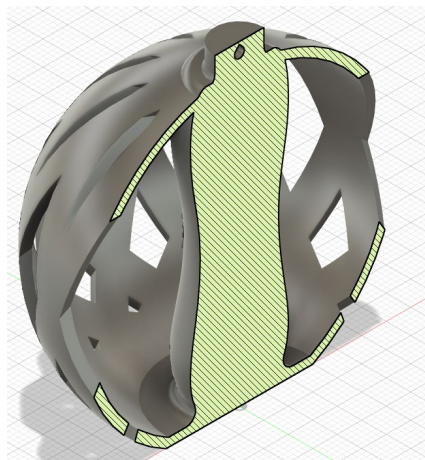
10.81. ábra



10.82. ábra



10.83. ábra



10.84. ábra

Legend			
Részlelem típus	Idő	Százalék	Felhasznált filament
Kerület	2h3m	35,4%	4,36 m 13,12 g
Külső kerület	2h9m	37,2%	3,02 m 9,09 g
Tüllógó kerület	9s	0,0%	0,00 m 0,00 g
Belső kitalítás	21m	6,2%	0,92 m 2,76 g
Tömör kitalítás	31m	8,9%	0,98 m 2,95 g
Felső tömör kitalítás	2m	0,5%	0,05 m 0,15 g
Híd kitalítás	1m	0,3%	0,05 m 0,15 g
Szoknya/Karima	17s	0,1%	0,01 m 0,03 g
Egyedi	12s	0,1%	0,02 m 0,06 g

Becsült nyomtatási idő:
 Első réteg: 3m
 Összes: 5h47m

10.85. ábra