

Miskolci Egyetem



GÉPÉSZMÉRNÖKI- ÉS INFORMATIKAI KAR  
GYÁRTÁSTUDOMÁNYI INTÉZET

TDK DOLGOZAT  
**3D nyomtatási technológiára tervezett termékfejlesztés**

KÉSZÍTETTE:  
**Hablik Zsolt**  
Gépgyártástechnológia szakos hallgató

KONZULENS:  
**Dr. Sztankovics István**  
egyetemi docens

Miskolc, 2024.

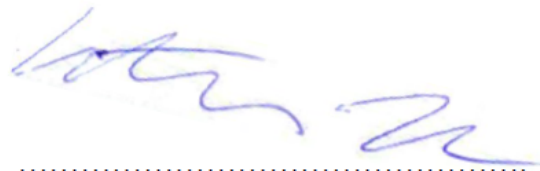
## A konzulens nyilatkozata

Alulírott, Dr. Sztankovics István a Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézetének oktatója a

### *3D nyomtatási technológiára tervezett termékfejlesztés*

című TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem.

Miskolc, 2024. november 05.



.....  
a konzulens aláírása

## Eredetiség nyilatkozat

"Alulírott Hablik Zsolt, a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jelzem – magam végeztem el, és az ismertetett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Miskolc, 2024. 10. 04

  
.....  
a hallgató aláírása

## TARTALOMJEGYZÉK

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TARTALOMJEGYZÉK.....                                                                                  | 4  |
| 1. ELŐSZÓ.....                                                                                        | 5  |
| 2. A 3D NYOMTATÁS BEMUTATÁSA .....                                                                    | 6  |
| 2.1. Az additív nyomtatás elterjedése .....                                                           | 6  |
| 2.2. 2. A 3D nyomtatók típusai .....                                                                  | 7  |
| 2.3. A szeletelő programok bemutatása .....                                                           | 8  |
| 2.4. A 3D nyomtatás költségei.....                                                                    | 9  |
| 3. AZ ORCASLICER ÉS QIDI Q1 PRO VALIDÁLÁSA .....                                                      | 11 |
| 4. TERVEZÉSI SZEMPONTOK .....                                                                         | 13 |
| 4.1. Munkadarabok tájolása és kitöltése .....                                                         | 13 |
| 4.2. Alátámasztások elkerülése .....                                                                  | 18 |
| 4.3. Munkadarab kikönnyítése.....                                                                     | 22 |
| 5. ESETTANULMÁNYOK A 3D NYOMTATÁSI KÖLTSÉGEK CSÖKKENTÉSÉRE A FENTEBB<br>BEMUTATOTT MÓDSZEREKKEL ..... | 28 |
| 5.1. Önöntőző virágcserep .....                                                                       | 28 |
| 5.2. Indító alkatrész áttervezése .....                                                               | 31 |
| 5.3. Tartókonzol áttervezése .....                                                                    | 33 |
| 6. ÖSSZEFOGLALÁS.....                                                                                 | 37 |

## 1. ELŐSZÓ

A TDK dolgozatomban a célom, hogy meghatározzam azokat a tervezési szempontokat, amiket egy 3D nyomtatással létrehozandó alkatrész készítésekor figyelembe kell venni. Először röviden bevezetem az olvasót a 3D nyomtatás technológiájába, majd bemutatom azt a 3D nyomtató gépet és a hozzá ajánlott szoftvert, amellyel a dolgozatomban a nyomtatások elvégeztem.

A számítógépes támogatásnak köszönhetően nem kellett minden modellt elkészítenem, az alkalmazott szoftver segítségével meg tudtam becsülni az egyes munkadarabok előállításának költségeit. Ehhez azonban validálnom kellett magát a gépet és a programot. Azt vizsgáltam, hogy a szoftver által becsült nyomtatási idő és a felhasználó filament mennyisége milyen mértékben térnek el a valós modell súlyától és a tényleges elkészítési idejétől.

Ezt követően bemutatom az általam fontosnak vélt tervezési szempontokat annak érdekében, hogy a nyomtatási költségeken csökkenteni tudjak. Ezek az ajánlások tartalmazzák az időben felmért tájolás fontosságát, valamint a megfelelő kitöltési arány megválasztását. Bemutatom azokat a módszereket, amivel el tudjuk kerülni, hogy a nyomtató olyan elemeket építsen fel a modell köré, amelyeket az utómunkálási fázisban eltávolítanánk. Valamint kitérek arra is, hogy milyen módszerrel érdemes egy modellben a kikönnnyítéseket felépíteni, mert bármilyen ellentmondásosan is hangzik elsőre, de ugyanazon beállítások mellett, ugyanazon modell, kikönnnyítéssel több anyagot és időt is igényelhet, mint könnyítés nélkül.

Végül bemutatok három esettanulmányt arra vonatkozóan, hogy egy átgondolt tervezéssel milyen eredmények érhetőek el az idő és a felhasznált anyag függvényében. Itt újragondolok korábban általam tervezett alkatrészeket, valamint bemutatom a módszerek hatékonyságát mások által tervezett modelleken is. Ezeket az egyik legnépszerűbb 3D modelleket összegyűjtő oldalról lehet beszerezni. Mivel az oldal nyilvános és bárki számára elérhető, az innen letöltött modellt több száz alkalommal is nyomtatásra kerülhetett, de nem a legkedvezőbb költségekkel.

## **2. A 3D NYOMTATÁS BEMUTATÁSA**

### **2.1.AZ ADDITÍV NYOMTATÁS ELTERJEDÉSE**

A 3D nyomtatás, vagy additív gyártás, az elmúlt évtizedek egyik legjelentősebb technológiai fejlesztései közé tartozik. Ez a technológia a digitális modellekből úgy készíti el az objektumokat, hogy rétegről rétegre építi fel azokat, a legkülönbébb alapanyagokból. Már nem csupán a fejlesztési központok és mérnöki irodák számára elérhető a technológia, hanem széles körben használt módszer mind az ipari termelésben, mind pedig a háztartásokban.

Az ipari területen a 3D nyomtatást elsősorban a gyors prototípusgyártásra, speciális alkatrészek és eszközök készítésére alkalmazzák. Az additív gyártás gyorsasága és költséghatékonysága jelentős előnyökkel jár a hagyományos gyártási módszerekkel szemben, különösen olyan iparágakban, mint az autóipar, a repülőgépgyártás és az orvostudomány.

Emellett a hétköznapi emberek számára is egyre hozzáférhetőbbé válnak a 3D nyomtatók. Az árak folyamatosan csökkennek, míg a nyomtatók teljesítménye és pontossága növekszik. Ennek köszönhetően a hobbi felhasználók és kisebb vállalkozások is megengedhetik maguknak, hogy saját tárgyakat készítsenek. Ezek között a leggyakoribb felhasználási módok a törött, elhasználódott alkatrészek javításához, pótlásához használt tárgyak nyomtatása, művészi vagy dekoratív tárgyak, valamint játékok, figurák előállításai, amelyek az internetről akár ingyenesen is letölthetők.

A technológia használata mára olyan szintre egyszerűsödött, hogy az nem igényel különösebb szakmai, technológiai ismeretet. A gép üzembe helyezése után, minimális műszaki képzettséggel is biztonságosan használható a berendezés. Ezen kívül számos olyan ingyenes tervezőprogram is elérhető, mely online felületen keresztül, ingyenesen használható, pl. TinkerCAD. Ez megnyitja az utat a különböző alkatrészek, használati tárgyak tervezéséhez az átlagember számára is. Éppen ezért fontos, hogy jó minőségű, azaz jól megtervezett modelleket szerezzünk be, vagy készítsünk el.

### 2.2.2. A 3D NYOMTATÓK TÍPUSAI

A 3D nyomtatók számos különböző technológiát alkalmaznak, melyek mind más-más anyagot és nyomtatási eljárást használnak. Az alábbiakban röviden bemutatom a legelterjedtebb 3D nyomtatási módszereket.

Az FDM nyomtatók a legelterjedtebb típusú 3D nyomtatók, és a hobbi felhasználók körében is igen népszerűek. Ez a technológia műanyag szálakat, úgynevezett filamenteket használ, amelyek olvadási hőmérsékleten történő megolvasztásával rétegről rétegre építi fel a tárgyakat. Az FDM nyomtatók sokféle anyagot képesek használni, mint például a PLA-t (politejsav), ABS-t (akrilnitril-butadién-sztirol) és PETG-t (polietilén-tereftalát-glikol). Előnyei közé tartozik az egyszerű használat, az alacsony költség és a sokféle alkalmazási lehetőség, míg hátránya lehet a nyomtatás viszonylag alacsonyabb felbontása és a nyomtatási idő hosszúsága.

Az SLA nyomtatók folyékony fotopolimer gyantát használnak, amelyet egy lézer vagy egy (jellemzően UV) fényforrás segítségével keményítenek meg. Az SLA nyomtatók híresek a rendkívül magas felbontásukról és sima felületű végeredményeikről. A gyantás nyomtatás költségesebb, mint az FDM, és a gyanta kezelése külön figyelmet igényel az egészségre káros tulajdonságai miatt.

Az SLS technológia során por alapanyagból, például műanyagból, kerámiából vagy fémből készült tárgyakat állítanak elő. Egy lézer segítségével olvasztják össze a porrétegeket, így alakítva ki a nyomtatandó tárgyat. Az SLS technológia költségesebb, mint az FDM vagy SLA, így főleg az ipari alkalmazásokban népszerű. Erős, tartós alkatrészeket lehet vele előállítani.

A DLP hasonló az SLA-hoz, de itt egy digitális fényforrás, általában egy projektor segítségével keményítik meg a gyantát. A DLP előnye, hogy gyorsabban lehet vele tárgyakat előállítani, mint az SLA-val, és képes rendkívül finom részleteket előállítani. Főként a professzionális felhasználásban népszerű, különösen az orvostudományi alkalmazásoknál, például fogászati eszközök gyártásánál.

## 2.3.A SZELETELŐ PROGRAMOK BEMUTATÁSA

A szeletelő programok a 3D nyomtatás egyik kulcsfontosságú elemei. Ezek alakítják át a 3D modell fájlokat (általában STL formátumú fájlok) olyan utasításokká, amelyeket a 3D nyomtató megért és követni tud a tárgy nyomtatása során. A szeletelő programok a modell rétegekre bontásával dolgoznak, minden réteghez meghatározza a nyomtató mozgáspályáját, azaz a G-kódját, amik a nyomtató mozgását vezérlik. Ezáltal a szoftverek teremtik meg a kapcsolatot a nyomtató és a digitális modell között. A szeletelés folyamán már optimalizálják a mozgáspályákat, de az egyes szeletelő programok más-más algoritmusokat használnak, ezért nem mindegy az, hogy melyik programmal dolgozunk. Több jó minőségű szeletelőprogram is elérhető, ezek közül a legnépszerűbb szeletelő programok az alábbiak:

- Cura: Ingyenes, nyílt forráskódú program, amelyet az Ultimaker fejlesztett. Széleskörűen támogatott és számos beállítási lehetőséget kínál,
- PrusaSlicer: A Prusa Research által fejlesztett szoftver, amely kezdők és haladók számára is ideális.
- OrcaSlicer: Egy sokoldalú, felhasználóbarát szeletelő szoftver, amely gyors fejlődése és precíz nyomtatási optimalizációi révén egyre népszerűbb.

A szoftver lehetővé teszi a felhasználó számára, hogy testre szabja a nyomtatási beállításokat is, mint például a rétegvastagság, alátámasztások felépítése, kitöltés mennyisége, stb., ezekkel optimalizálva a nyomtatás minőségét és sebességét.

A TDK dolgozatomban én az FDM nyomtatásra fogom meghatározni a tervezési szempontokat, PLA filamentet töltök a nyomtatóba, és ezeket az OrcaSlicer 2.1.0 programmal szeletelem.

Az FDM technológia a legelterjedtebb, ezért esett erre a választásom, valamint az választott PLA filament környezetbarát, biológiailag lebomló anyagból készült, ezáltal fenntartható. Ettől függetlenül az általam megadott ajánlások érvényesek az összes technológiára, a hatás mértéke az, amely eltérő lehet.

A gép, amelyen a tárgyakat elkészítettem és az egyes ellenőrzéseket elvégzem egy Qidi Tech Q1 Pro nyomtató.

## 2.4.A 3D NYOMTATÁS KÖLTSÉGEI

A TDK dolgozatomban a célom, hogy olyan megoldásokat kínáljak, amivel a 3D nyomtatás költségeit csökkenteni lehet. Az FDM technológia nyomtatási költségei az alábbi tényezőkből épülnek fel.

- Anyagköltségek a filament költségét jelenti, már 3000 Ft/kg-tól lehet vásárolni, de a minőség növelésével és a specifikusabb, pl. fa hatású filament vásárlásával ez az ár akár 10.000 Ft/kg fölé is növekedhet. Én az egyik nagyobb és megbízhatóbb haza forgalmazó webshopját veszem alapul, ahol 8860 Ft/kg áron kerül értékesítésre [1] Tehát 1g filament költsége felfelé kerekítve 9 Ft.
- Az energiafogyasztás költsége a nyomtató teljesítményétől, a nyomtatási időtől, valamint attól függ, hogy Magyarországon melyik szolgáltatótól vesszük az elektromos áramot. Ezentúl lakossági vagy üzleti felhasználásra vagyunk-e bejelentve, illetve, hogy az éves kedvezményes keretben benne vagyunk-e. Én az MVM Émász Áramhálózati Kft. területén hatályos egységárakat vizsgáltam, lakossági felhasználásra, kedvezményes áron, ami 35,992 Ft/kWh-t jelent [2]. Áramfogyasztás tekintetében a nyomtató, ha már a nyomtatást végzi 103-135 W körül fogyaszt, azaz 0,1- 0,14 kW-ot. Ezt szorozva az áram árakkal, a nyomtatási költség kerekítve 5 Ft/óra.
- Ezzel szemben, ha nem rendelkezünk saját nyomtatóval, a bérnyomtatás költsége PLA esetén 800 Ft/óra [3], így én a költséget mind saját nyomtató esetén, mind bérnyomtatás esetén számolni fogom.

Ezen kívül számos olyan karbantartási, selejt, próbanyomtatási, stb., költséggel lehet számolni, ami pénzben nem kifejezhető. Ilyen például az, amikor egy modell nyomtatása során hiba lép fel. Ez lehet a modell eldőlése a tárgyasztalon, a fűvóka eldugulása, a szál tapadási tulajdonságának elvesztése, vagy áramszünet. Ezek azért jelentenek problémát a 3D nyomtatással foglalkozó vállalkozások és hobby nyomtatók üzemeltetői számára mert a modell nyomtatása nem minden esetben folytatható az utolsó hibamentes rétegtől.

Ha egy test nyomtatása közben a fűvóka eltömődik és a nyomtató nem adagolja a szálát, akkor a nyomtatást nem tudom ettől a pozíciótól folytatni, teljesen előről kell kezdenem. Ehhez még hozzájön, hogy a hiba észlelésének és a nyomtatás megszakítása között mennyi idő telt el, amíg a nyomtató feleslegesen üzemelt. Ha nincs a nyomtató állandó felügyelet alatt, akkor a

ez az idő is veszteség. Jellemzően a hosszabb akár 24 órát meghaladó időtartamú nyomtatások esetén nem megoldható az állandó felügyelet.

A nyomtatásokat határidőre szeretnénk elkészíteni, így minden ezáltal kieső idő olyan veszteség a számomra, amit pénzben ilyen módon nem tudok egyértelműen kifejezni. Azonban a költségek szempontjából mégis figyelembe kell vennem.

A fentiekből látható, hogy a 3D nyomtatás egyik kritikus pontja a nyomtatási idő. A költségek csökkentése során éppen ezért arra törekedem, hogy a nyomtatási időt, minél kisebb időre le tudjam redukálni.

### 3. AZ ORCASLICER ÉS QIDI Q1 PRO VALIDÁLÁSA

A szeletelő programok egyik nagy előnye, hogy a G-kódok generálása után becslést ad a modell elkészítésének a várható idejére és a szükséges anyagmennyiségre, súly [g] és hosszmértékben [m]. Annak érdekében, hogy ne kelljen minden modellt ténylegesen kinyomtatni validálom a szeletelő által megadott értékeket. Így hitelesítve a programot el tudom fogadni az általa megadott nyomtatási időt és felhasznált anyagmennyiséget.

Ehhez próbanyomtatásokat végeztem különböző méretű testekkel, de ugyanazzal a filamenttel, hogy hiteles képet kapjak. Azt tapasztaltam, hogy a becslés során az időt képes percre pontosan meghatározni, azonban a filamentet illetően 10%-al a valós súly felé becsül. Ennek oka a nem hitelesített filamentben keresendő. Léteznek olyan filamentek, amelyekre a gyártó cég külön garanciát vállal, azonban ezek jelentősen drágábbak is. Hobby célú filamentek esetén ez nem jellemző és előfordulhatnak ilyen jellegű eltérések. Azonban mivel a szoftver konstans módon 10%-al túlbecsülte a szükséges súlyt, ezt mint rendszeres hiba veszem figyelembe és a szoftver által becsült értékeket elfogadom.

Az OrcaSlicer programot a következőkben bemutatott beállításokkal fogom használni. Ezeknek tervezési szempontból nincs jelentőségük, így a változtatásuk nem képzik a dolgozatom részét:

- Filament típusa: PLA (Polylactic Acid) egy környezetbarát, biológiailag lebomló műanyag. Azért választottam ezt, mert ez a legelterjedtebb olyan anyag, amellyel fenntartható módon lehet a modelleket kinyomtatni.
- Fúvóka méret: 0,4 mm. A fúvóka mérete azt adja meg, hogy az extrudálás során a filament milyen átmérővel rendelkezik. Ebben az esetben minden szál, amit nyomtatunk 0,4 mm kezdeti átmérővel kerül ki a fúvókából. Ez a paraméter meghatározza a rétegmagasság beállítását is. Feltételezve, hogy a rétegmagasságot, azaz azt az értéket, hogy az egyes rétegek milyen távol essenek egymástól, szintén 0,4 mm-re állítom, akkor a szálak éppen érintik egymást. A jó minőségű nyomtatáshoz ökölszabály, hogy legfeljebb a fúvóka átmérőjének a felét lehet beállítani rétegmagasságnak [4].
- Rétegmagasság: 0,18 mm. Tehát 0,18 mm-re kerülnek egymástól a rétegek. Ez kevesebb mint a fúvóka átmérőjének a fele (0,2 mm), így a fentiek tekintetében a nyomtatás elindítható.
- Nyomtatási hőmérséklet: 220 °C, a filament gyártója által a csomagoláson megadott ajánlott érték

- Asztal hőmérséklet: 60 °C, a filament gyártója által a csomagoláson megadott ajánlott érték
- Falak száma (alsó, felső, oldalfal): 3 db. Ezekkel a paraméterekkel az állítható be, hogy egy létrehozott felületelem legalább mekkora vastagsággal rendelkezzen. A beállítás megadható távolságban és darabszámban is. Utóbbi esetben azt jelenti, hogy a felületelem nyomtatása adott számú szál nyomtatásával fog elkészülni. Ez a beállítás nem vonatkozik arra, ha a modell valamely elemének a nyomtatásához konstrukciósan kevesebb falra van szükség.
- Kitöltési mintázat: Cross Hatch. Keresztező egyeneseket jelent, melyek iránya rétegenként 90°-al fordul. A kezdő réteg 45°-os szöget zár be a nyomtatás során először felépített fallal. OrcaSlicer által ajánlott gyári mintázat.
- Belső tömör kitöltés mintája: Monolitikus, OrcaSlicer gyári ajánlása a 100%-os kitöltés esetén.
- Támasz típusa: normál (automatikus beállítás).
- Dőlésszög küszöbértéke 30°.
- Szoknya: nincs. A nyomtatás elkezdésekor van lehetőség a filament előadagolására és ezen anyag a modell köré építésére. Ez azt a funkciót szolgálja, hogy egyrészt kinyomjuk a fűvókából a régi anyagot, másrészt stabilabbá teszi a modellt a nyomtatás során. Ajánlott használni, azonban a modell méretének függvényében befolyásolja a nyomtatási időt, így a dolgozatomban a könnyebb összehasonlítás miatt nem állítom be.

A nyomtatás során alkalmazott Qidi Q1 pro a dolgozat írásakor kapható egyik legmodernebb hobby filamentes nyomtató, aminek nyomtatási sebessége elérheti a 600 mm/s sebességet [6]. Ezzel összevetve az 5 évvel korábbi modellek sebessége átlagosan 60 mm/s körül változott. Ezen régebbi modellek is megtalálhatóak még mind az ipari felhasználásban, mind a hobby nyomtatással foglalkozó háztatásokban. A dolgozatomban igyekeztem egy modern eszközön bemutatni azt, hogy egy átgondolt tervezéssel mekkora megtakarításra tehetünk szert. Azonban vegyük azt figyelembe, hogy az általam megoldott nyomtatási idő csökkentése egy ilyen típusú régebbi nyomtatóra többszörösen igaz lesz.

## 4. TERVEZÉSI SZEMPONTOK

Annak érdekében, hogy a munkadarabunkat kedvezőbb költséggel nyomtassuk ki, legyen szó bérnyomtatásról, vagy saját nyomtatóval történő gyártásról, bemutatok három módszert, amivel csökkenteni lehet a nyomtatási időt és a felhasznált anyagon. Ezen módszerek alkalmazása minden esetben függ az általunk tervezett munkadarab alakjától, funkciójától, valamint a felhasználási körülményektől.

A következő pontok szem előtt tartása a tervezési fázis során, jelentős mértékben csökkenthet a modell gyártására fordított költségén:

- a munkadarab tájolásának meghatározása és a kitöltés beállítása,
- alátámasztások elkerülése,
- munkadarab kikönnnyítése.

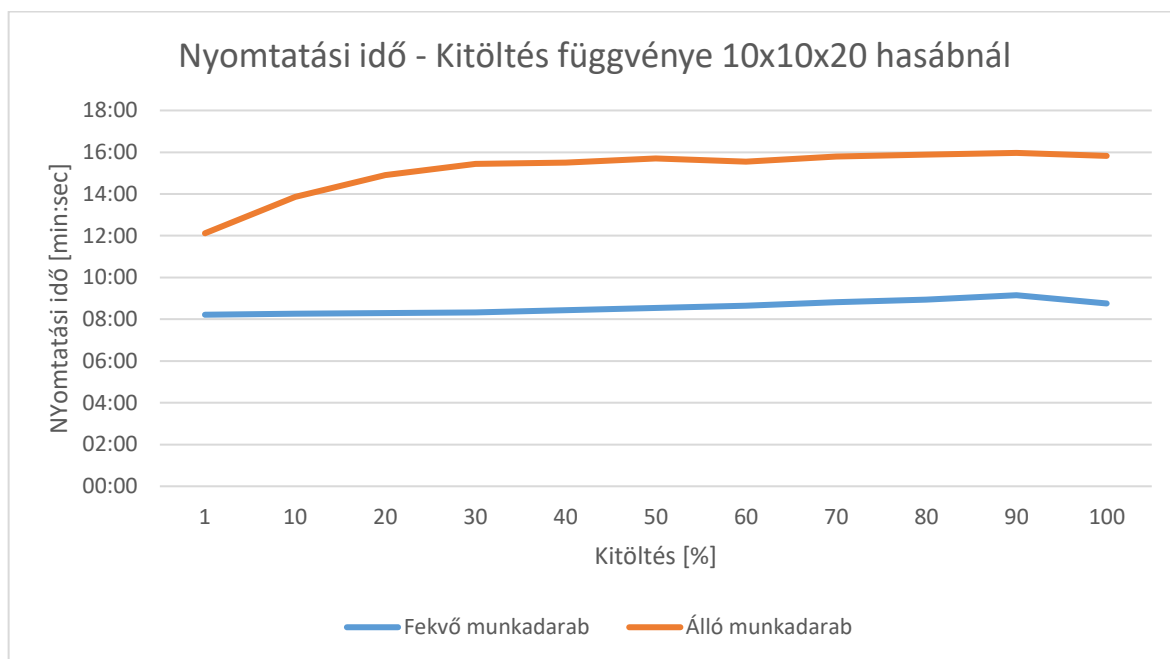
### 4.1.MUNKADARABOK TÁJOLÁSA ÉS KITÖLTÉSE

Már a tervezés folyamán el kell döntenünk, hogy a test, amit ki szeretnénk nyomtatni, milyen pozícióban kerüljön nyomtatásra. Ez azért fontos, mert a később részletezett alátámasztások elkerülését is már az adott nyomtatási pozícióra kell megtervezni, és ezen utólag változtatni már nem célszerű. A tájolásnak azonban vannak olyan ajánlásai, amiket érdemes betartani:

- hosszú, vékony csavarszerű alkatrészeket, nem célszerű állítva nyomtatni, mert az asztal mozgatása miatt ezen munkadarabok könnyen elbillenhetnek.
- A testek súlypontja lehetőleg a tárgyasztalhoz közel essen, szintén az elbillenés elkerülése érdekében.
- Hengeres alkatrészeket, ha fontos a körkörösség és alakhűség, célszerű állítva nyomtatni, mert így pontosabb érték érhető el.
- Amennyiben ismerjük a testre ható erők irányát, vegyük figyelembe azt, hogy a rétegekkel párhuzamosan nagyságrendekkel jobban terhelhető a test, mint a rétegekre merőlegesen. Ennek oka, hogy a rétegek már kisebb erő hatására elválhatnak egymástól, de nagyobb erő szükséges ahhoz, hogy a szálakat eltörjék. Így a nyomtatási pozíciót érdemes ennek a függvényében is mérlegelni.

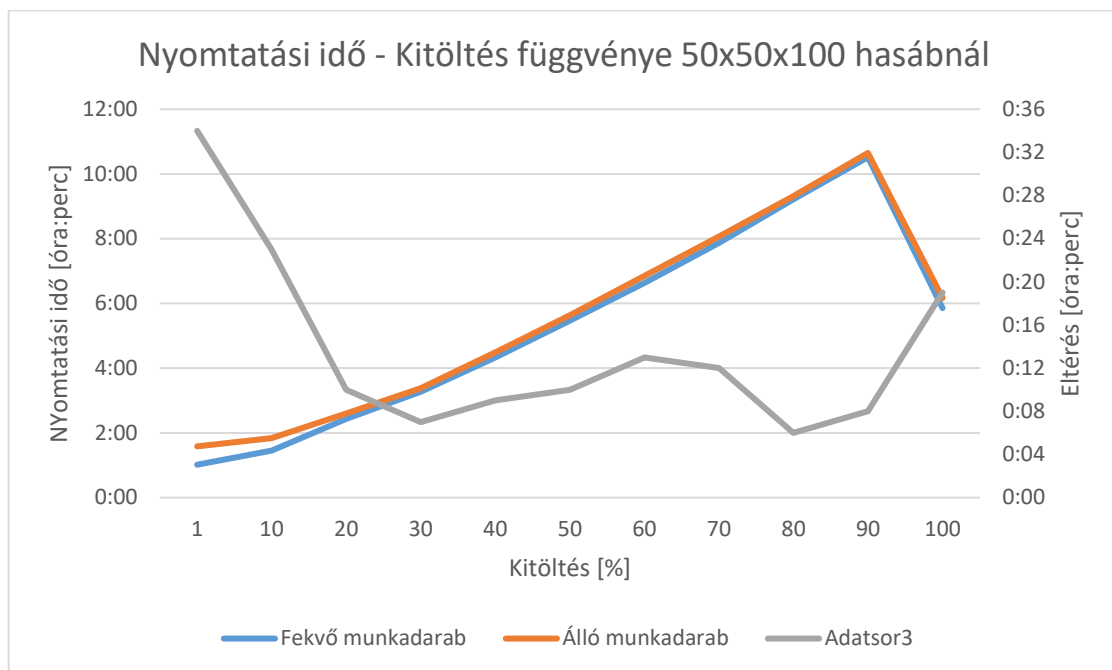
Ettől függetlenül a technikusra és a tervezőre van bízva, hogy milyen pozícióban történik a nyomtatás, ezért először azt vizsgálom meg, hogy van-e hatása a testek állítva vagy fektetve történő nyomtatásának.

Az 1. ábrán látható, hogy egy 10x10x20 mm-es hasáb esetén a tájolás és a kitöltés függvényében a nyomtatási idő, akár a kétszeresére is növekedhet.



*1. ábra a nyomtatási idő a munkadarab tájolása és a kitöltésének a függvényében egy 10x10x20 mm-es hasáb esetén*

Ez a különbség azonban csak 4-6 percet jelent, ami meglehetősen kicsi, ezért megnézem, hogy a modellt növelve hogyan változik a különbség. Ugyanennek a hasábnak növelem meg a méretét az ötszörösére, így a 2. ábrán már az 50x50x100 mm-es hasáb nyomtatási tulajdonságainak a változását mutatom be.



2. ábra a nyomtatási idő a munkadarab tájolása és a kitöltésének a függvényében egy 50x50x100 mm -es hasáb esetén

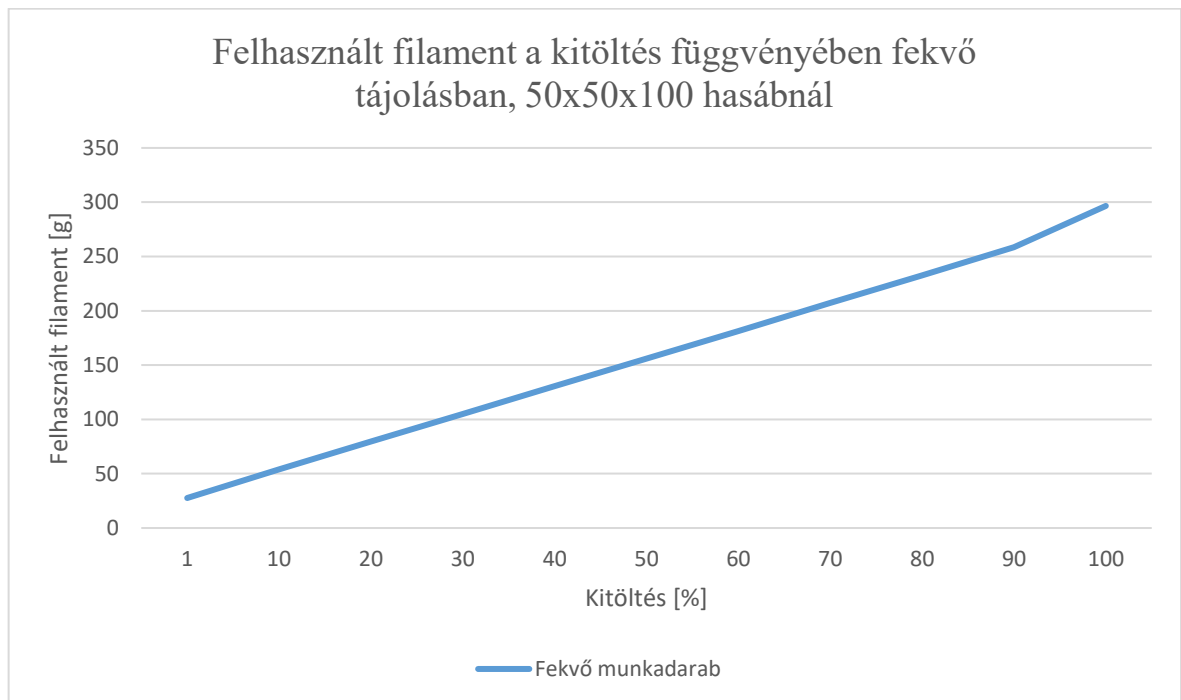
A két ábrát együtt elemezve már meg tudok fogalmazni olyan ajánlásokat, amiket megfogadva csökkenteni lehet a nyomtatási költségeken.

Azt látom, hogy időben van némi jelentősége a tájolásnak, és ez független a kitöltés mennyiségétől. Bár kisebb objektumok nyomtatása esetén, ez az előny szemléletesebb, azonban percben meghatározva 4-6 perccel tudtam az objektum elforgatásával nyerni, ami a nyomtatási idő költségében nem jelentős. Nagyobb testek esetekén még ennyire sem nyilvánvaló az eltérés. A 2. ábrán a másodlagos tengelyen jelölve ezt az eltérést (szürke vonal) azt látom, hogy a kitöltés függvényében 10-15 perccel tart kevesebb ideig a nyomtatás. Ezért azt tudom mondani, hogy a nyomtatási helyzet a nyomtatás költségének szempontjából kevésbé releváns. Mivel a kitöltés kapcsán is van lehetősége a tervezőnek meghatározni a paramétereket, ezért azokat tovább vizsgálom.

Érdemes mefontolni a 3D nyomtatás kitöltésére vonatkozó tanácsokat, amik azt mondják, hogy 15-20%-os kitöltéssel már elégséges a modell szilárdsága a kisebb erőhatások ellen. 20-25%-nál már a legtöbb általános használatnak megfelel. Valamint nagyobb erőhatásoknak kitett testet sem érdemes 50%-osnál nagyobb kitöltéssel nyomtatni. 80% felett pedig már a túl kicsi üregek rontják a nyomtatás kitöltésének a minőségét. Valamint egy 50%-ban kitöltött modell már közel olyan statikai erőhatásoknak eleget tud tenni, mint egy 100%-ban kitöltött modell [6].

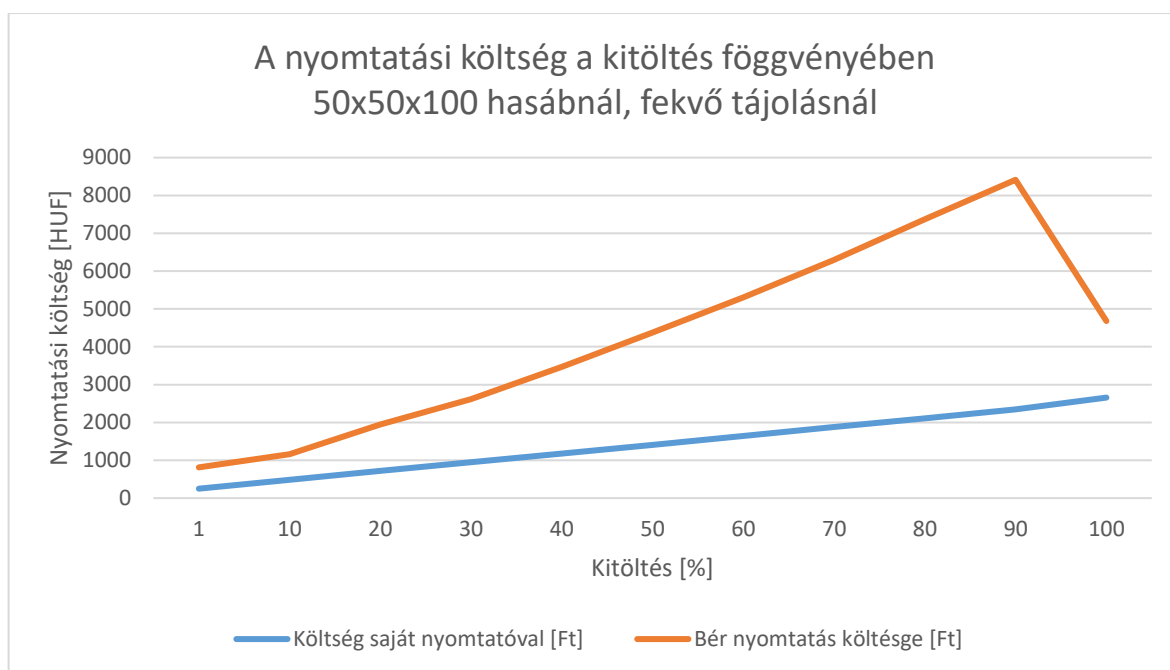
Valóban látható a 2. ábrán, hogy nagyobb testek nyomtatása esetén a kitöltés növelésével egyenes arányban nő a nyomtatási idő. Ez alól kivételt jelent a 100%-os kitöltés, ahol a nyomtatási idő kevesebb. Ez az 1. ábrán is megfigyelhető, főleg a fekvő munkadarab esetén, azonban a 2. ábrán ez drasztikusabb. Logikus lenne, hogy a nyomtatás ideje 100%-os kitöltés alkalmazásával tart a legtovább, azonban figyelembe kell venni a nyomtató vezérlését és az extruder által megtett utat is. A megoldás az, hogy 100%-os kitöltés esetén nincs felesleges mozgás és többlet út, ezért tart a nyomtatás ebben az esetben kevesebb ideig.

Ebből a szempontból semmiképpen sem javasolt 50% és 100%-os kitöltés között nyomtatani, mert azzal sem a szilárdsági tulajdonságokon nem tudunk javítani, sem a nyomtatás időn nem lehet csökkenteni [6]. Azonban nem szabad elfelejteni, hogy a nyomtatásnak anyagköltsége is van, amit fekvő tájolásban az 50x50x100-as hasáb esetén, a 3. ábrán mutatok be.



3. ábra a felhasznált filament a kitöltés függvényében fekvő tájolásban egy 50x50x100-as hasáb esetén

Ez, ahogyan az várható, közel lineárisan növekszik a kitöltés függvényében. A teljes költséget számolva az 1.4 fejeztben bemutatott adatokkal a 4. ábrán szemléltetnek.



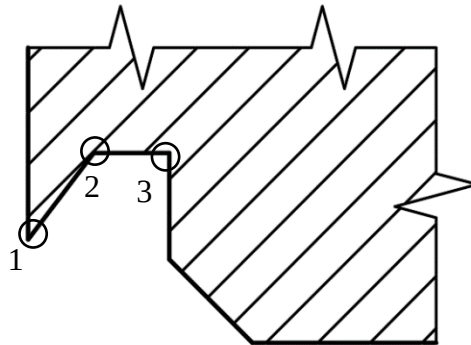
*4. ábra a nyomtatási költség a kitöltés függvényében 50x50x100 hasábnál, fekvő tájolásban*

Tehát ebből azt tudom javasolni, hogy a kitöltést érdemes a fenti ajánlások szerint úgy meghatározni, hogy amennyiben bérnyomtatásban, általános használatra tervezzük a tárgyat akkor 20-25%-os kitöltéssel kérem a nyomtatást. Meg kell jegyezni, hogy még ezzel az opcióval is, a bérnyomtatás kétszer annyiba fog kerülni, mint saját nyomtatóval. Amennyiben tudjuk azt, hogy nagyobb erőhatásnak lesz kitéve a tárgy, válasszuk az 50%-os kitöltést, de itt már közel háromszoros a különbség a bérnyomtatás vagy a saját nyomtatás között. Bérnyomtatás esetén azonban ettől nagyobb kitöltést nem éri meg meghatározni. Inkább 100%-os kitöltéssel kérjük, ha fontos, hogy nagyobb erőhatásnak is ki lehessen tenni. Saját nyomtató esetén továbbra is lineárisan nő a nyomtatási költség a kitöltés növelésével, ezért a kitöltést ennek a figyelembe vételével határozzuk meg.

Idő szempontjából azonban saját nyomtatás esetén sem célszerű 50%-os kitöltés feletti értéket beállítani.

## 4.2. ALÁTÁMASZTÁSOK ELKERÜLÉSE

A 3D nyomtató úgy nevezett alátámasztásokat épít fel a munkadarab mellé annak érdekében, hogy a túlnyúló részeket ki tudja nyomtatni. Ezek nem csak a modell testen nyúlhatnak túl, hanem egy üreges henger felső lapja is ilyen alátámasztást igényel. Előbbire példa az 5. ábrán látható, ahol az 1-es, 2-es és 3-as számmal jelölt csúcsok közötti élek igényelnek alátámasztást.

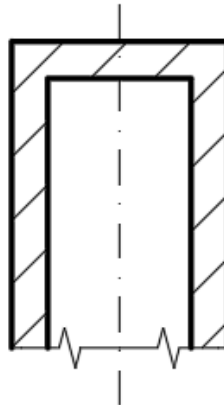


5. ábra példa alátámasztások szükségességére

Az 1-2 szakasz esetben azért, mert alulról építve fel a modellt úgy kell elkezdni a nyomtatónak az 1-es csúcs megépítését, hogy az valójában nem csatlakozik sem a modell más pontjához, sem a tárgyasztalhoz. Alátámasztás nélkül nincs semmi, ami a megolvasztott filamentet a helyén tartsa, így az extruderből kinyomva az szabadon mozog tovább.

A 2-3 szakasz esetében pedig azért szükséges az alátámasztás, mert bár a 3-as számmal jelölt csúcs már a nyomtatás pillanatában csatlakozik a modellhez, a megolvadt filament nem képes az alakját tartani, amíg a nyomtató feje eljut a 2-es csúcsba, így az meghajlik. Kisebb távolságok áthidalhatók alátámasztások nélkül, azonban 5-6 mm-től nagyobb távolság esetén már a nyomtatás minőségének a romlásával kell számolni.

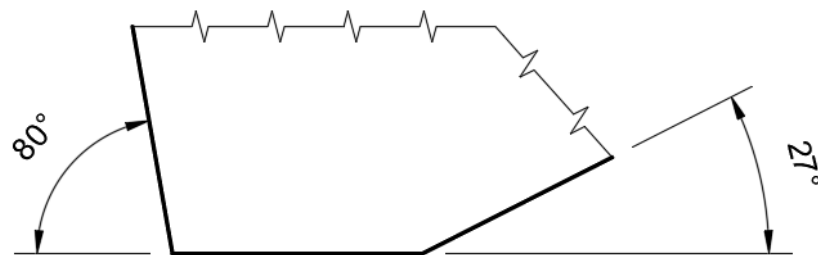
A 6. ábrán szintén láthatunk egy hasonló példát az alátámasztás szükségességére, a hengeres felület felső síkjának a nyomtatása szintén nem oldható meg e nélkül, vagy csak a minőség romlásával.



6. ábra példa alátámasztása belső hengeres test esetén

A nyomtató beállításában meg lehet adni, hogy milyen dőlésszög esetén nyomtasson alátámasztást. A Qidi Q1 pro nyomtatónál a szeletelő programban a PLA filamentre beállított alapértelmezett érték ez  $30^\circ$ , így ezt a beállítást tartottam meg.

A dőlésszög a függőleges tengelyhez mért szögelfordulást jelent, így a 7. ábrán látható  $80^\circ$ -os szög  $10^\circ$  dőlésszöget jelent. Ez a gyári ajánlott érték alatt van, így ehhez a falhoz még nem szükséges alátámasztást nyomtatni. A másik,  $27^\circ$ -os szög viszont már  $63^\circ$  dőlésszög, ami már igényli az alátámasztást a biztonságos nyomtatáshoz.



8. ábra a dőlésszög meghatározása az alátámasztáshoz

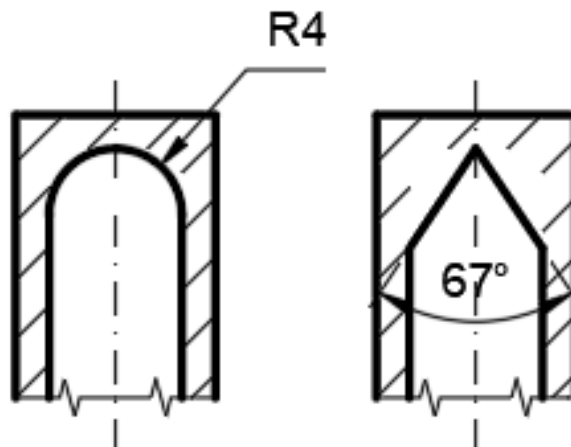
A nyomtató ezekre az alátámasztásokra, mint pillérekre építi fel a modell ilyen szempontból kritikus részeit. A támaszok azonban többlet anyag és idő költséget jelentnek, valamint többlet utómunkát is kell végezni a modellel. Az eltávolításra vonatkozóan a modern ipari nyomtatók képesek egyszerre több filamenttel dolgozni, így lehetőség van olyan vízben oldódó anyagot betölteni, amit később fel lehet oldani. Az olyan nyomtatók, amelyek csak egyetlen anyaggal dolgoznak, ugyanazt az anyagot használják az alátámasztások nyomtatására is, azonban ezek szerkezete szándékosan gyengébb, hogy utólag ki lehessen törni, el lehessen távolítani. Az ilyen módon történő eltávolítás azonban könnyen károsíthatja a modellt, mind

szerkezetileg mint pedig a felületi érdesség szempontjából Előfordul, hogy nehezen elérhető helyre lettek építve, amik szerszám segítségével is csak hosszas munka után távolítható el, vagy nem is biztonságos az eltávolítása. Ezen kívül probléma, hogy mivel ugyanabból az anyagból lett nyomtatva, nem minden esetben lehet eldönteni, hogy hol ér véget az alátámasztás és hol kezdődik a modell, azaz könnyen kárt tehetünk a kinyomtatott tárgyban.

Ezek után belátható, hogy veszteségnek számít a támaszok nyomtatása, amit a modell jó tervezésével el is lehetne kerülni. Az alátámasztások egy-egy hibás konstrukció esetén a nyomtatási idő ... százalékát is kitehetik, amint azt a xxx. ábrán is látjuk. A célom tehát azáltal csökkenteni a nyomtatási költséget, hogy alátámasztások készítése nélkül is nyomtatható legyen a test.

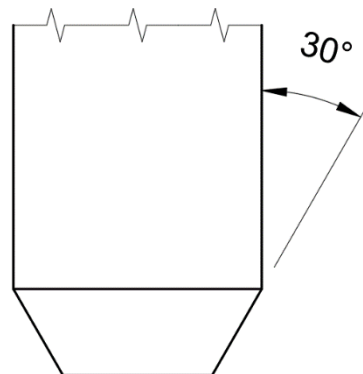
Azért, hogy ne nyomtassunk feleslegesen kitöltéseket, a legkézenfekvőbb megoldás, a nyomtatási irány helyes megválasztása, ezért is fontos az, hogy már a tervezési fázis elején tisztázzuk azt, hogy milyen állapotban lesz a test kinyomtatva. Ahogyan azt az előző fejezetben bemutattam, a nyomtatási iránynak nincs jelentős hatása a költségre, ezért válasszuk azt, amelyik a mechanikai tulajdonságok szerint kedvezőbb. Amennyiben ezt helyesen meg tudjuk választani, úgy számíthatunk rá, hogy hol lesz szükség alátámasztásra, amiket majd a különböző módszerekkel el tudunk kerülni. A 6. ábrán látható test esetén nem szükséges az alátámasztás, ha azt ki tudjuk nyomtatni 180°-al elfordítva.

Másik megoldás, hogy a támasztást magunktól oldjuk meg, letörések vagy lekerekítések alkalmazásával, a 9. ábrán is látható módon. Ilyen módon elkerülve a szögletes elemek nyomtatását. Amennyiben ismerjük a nyomtató paramétereit vagy tudjuk azt, hogy milyen dőlésszög az, amit ki tudunk vele nyomtatni, akkor alkalmazhatunk letörést, azonban a körív által lekerekített felületek is jó megoldást jelenthetnek, mert ezeket a nyomtatók többsége alátámasztás nélkül is kellő pontossággal ki tudja nyomtatni.



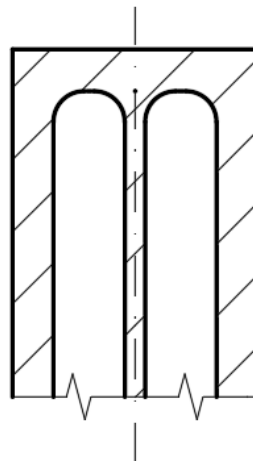
9. ábra alátámasztás elkerülése lekerekítés vagy letörés alkalmazásával

Külső letörések esetén figyeljünk arra, hogy amennyiben lehetséges, olyan módon vállaszuk meg, amit a nyomtató alátámasztás nélkül még el tud készíteni. Ezt a 10. ábrának megfelelő módon tudjuk megtenni



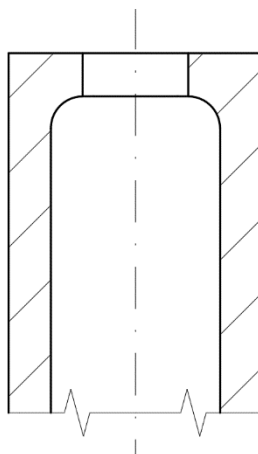
*10. ábra a nyomtató által még elfogadott dőlésszög alátámasztás nélkül*

Ezen kívül megoldás lehet hogy már a tervezés folyamán úgy készítjük el a modellt, hogy az konstrukciósan is tartalmazza az alátámasztást, amit mi magunk optimalizálunk. Ezt mutatja be a 11. ábra, ahol a 6. ábrán látott alkatészt alakítottam át. úgy, hogy kisebb lekerekítési sugarat adtam meg, de azért, hogy ki lehessen nyomtatni, terveztem egy pillért.



11. ábra konstrukciósan alkalmazott alátámasztás

Utolsó megoldás, a felületelem elhagyása, amennyiben az funkcióval nem rendelkezik. A 6. ábrán látható hengeres test esetén, amennyiben felső sík rész nem tölt be funkcionális szerepet, akkor egyszerűen elhagyható, vagy egy furatot készítve rajta kisebb lekerekítési sugarral nyomtatható, amint az a 12. ábrán látható.



12. ábra alátámasztást igénylő felület elhagyása

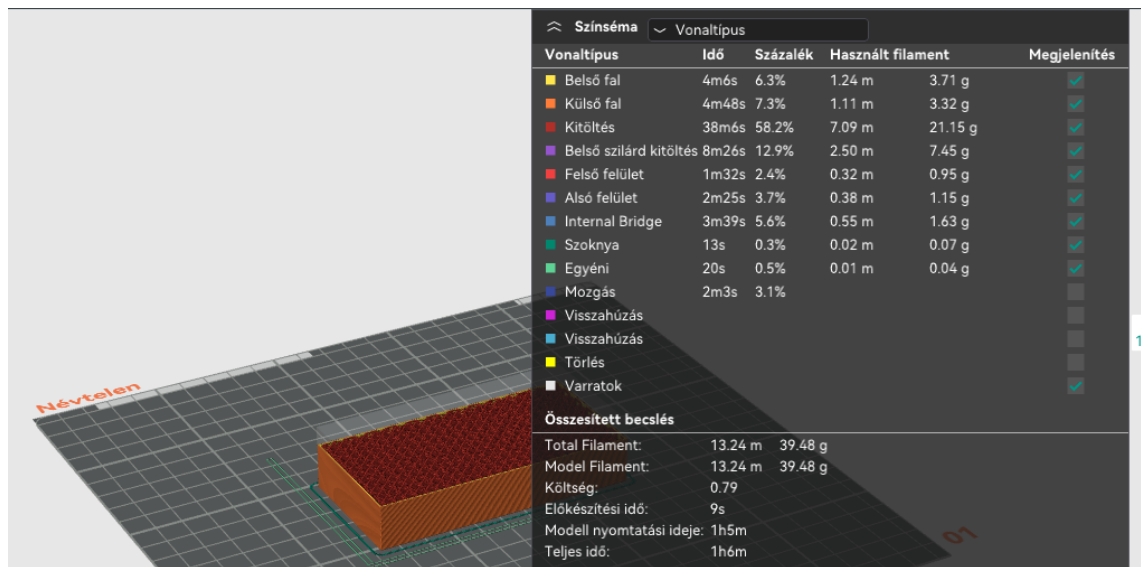
### 4.3.MUNKADARAB KIKÖNNYÍTÉSE

A harmadjára bemutatott módszer a munkadarab kikönnnyítésére vonatkozik. Itt bemutatom azt, hogy milyen esetekben és hogyan kell a módszert alkalmazni. A forgácsolással ellentétben a készterméket 3D nyomtatás esetén nem forgács leválasztással, hanem anyag hozzáadásával készítjük el, így logikusnak tűnhet, hogy minden esetben amikor egy modellbe a megszokott módon könnyítéseket tervezünk, azzal a nyomtatási idő és anyagfelhasználás csökken. Azonban a gyakorlat azt mutatja, hogy a kikönnnyítések alkalmazása nem jelenti egyértelműen a nyomtatási költségek csökkenését, ahogy ez a 13. és 14. ábrát összehasonlítva látható. Könnyítéssel a hasáb nyomtatási ideje 5 perccel nőtt, valamint anyagból is közel 2 grammal többet használt fel.

The image shows a 3D model of a printed rectangular object with internal structures, overlaid with a table of material usage and a summary of estimated costs and time.

| Színséma                 |         | Vonal típus |                   |         |                                     |  |
|--------------------------|---------|-------------|-------------------|---------|-------------------------------------|--|
| Vonal típus              | Idő     | Százalék    | Használt filament |         | Megjelenítés                        |  |
| Belső fal                | 9m35s   | 13.5%       | 2.72 m            | 8.10 g  | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| Külső fal                | 11m11s  | 15.7%       | 2.40 m            | 7.16 g  | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| Kitöltés                 | 30m41s  | 43.2%       | 5.11 m            | 15.24 g | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| Belső szilárd kitöltés   | 7m3s    | 9.9%        | 1.56 m            | 4.66 g  | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| Felső felület            | 1m39s   | 2.3%        | 0.21 m            | 0.63 g  | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| Alsó felület             | 2m37s   | 3.7%        | 0.23 m            | 0.69 g  | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| Internal Bridge          | 2m33s   | 3.6%        | 0.34 m            | 1.01 g  | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| Szoknya                  | 13s     | 0.3%        | 0.02 m            | 0.07 g  | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| Egyéni                   | 20s     | 0.5%        | 0.01 m            | 0.04 g  | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| Mozgás                   | 5m19s   | 7.5%        |                   |         | <input type="checkbox"/>            |  |
| Visszahúzás              |         |             |                   |         | <input type="checkbox"/>            |  |
| Visszahúzás              |         |             |                   |         | <input type="checkbox"/>            |  |
| Törlés                   |         |             |                   |         | <input type="checkbox"/>            |  |
| Varratok                 |         |             |                   |         | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| Összesített becslés      |         |             |                   |         |                                     |  |
| Total Filament:          | 12.61 m | 37.61 g     |                   |         |                                     |  |
| Model Filament:          | 12.61 m | 37.61 g     |                   |         |                                     |  |
| Költség:                 | 0.75    |             |                   |         |                                     |  |
| Előkészítési idő:        | 9s      |             |                   |         |                                     |  |
| Modell nyomtatási ideje: | 1h11m   |             |                   |         |                                     |  |
| Teljes idő:              | 1h11m   |             |                   |         |                                     |  |

13. ábra 100x50x25 méretű hasáb nyomtatása kikönnnyítéssel



14. ábra 100x50x25 méretű hasáb nyomtatása könnyítés nélkül

A 13.ábrán és a 14.ábrán a nyomtatási adatok vizsgálva látni is lehet, hogy látszólag kevesebb anyag nyomtatásával miért tart mégis tovább a darab elkészítése:

- a „Belső fal” nyomtatási ideje a könnyítés alkalmazva öt és fél perccel nőtt meg. A belső fal azt jelenti, hogy milyen vastag falat készítsen a nyomtató az anyagba nyúlva. Ez egy olyan paraméter, amit a dolgozatomban elején állandónak tekintettem és 3 db-ra állítottam. Így 3 db egybefüggő szálát húz ki a nyomtató egymás utána az anyagba irányulóan minden felület létrehozásakor.
- A „Külső fal” nyomtatási ideje szintén emelkedett közel hat és fél perccel. A külső fal gyakorlatilag az újonnan létrehozott, egybefüggő külső felületet jelenti, ami így a könnyítéssel pluszban megjelent a modellben.
- A „Mozgás” értéke három perccel növekedett, ami azt jelenti, hogy ennyivel több időt mozog az extruder feje, anélkül, hogy filamentet adagolna.
- Ehhez képest a hét és fél perccel kevesebb az az érték, amennyivel kevesebb anyagot kell nyomtatni a belső kitöltésre.
- Valamint a „Belső szilárd” kitöltés értéke csökkent másfél perccel. Ezt a réteget a szeletelő program a beállított kitöltés függvényében határozza meg annak érdekében, hogy a kitöltéshez kapcsolódó felületelemeket stabilan ki tudja nyomtatni.

A többi érték nem változott jelentős mértékben, de a fenti adatokból is látható, hogy közel 15 perccel több időt kell a falak nyomtatására fordítani. Azonban csak kicsivel több mint 9 percet

tudtam azzal megtakarítani, hogy belső kitöltést nem kell nyomtatni. Ebből adódik az kerekítve 5 perces időtöbblet, ami miatt nem éri meg a kikönnnyítést a modellbe építeni.

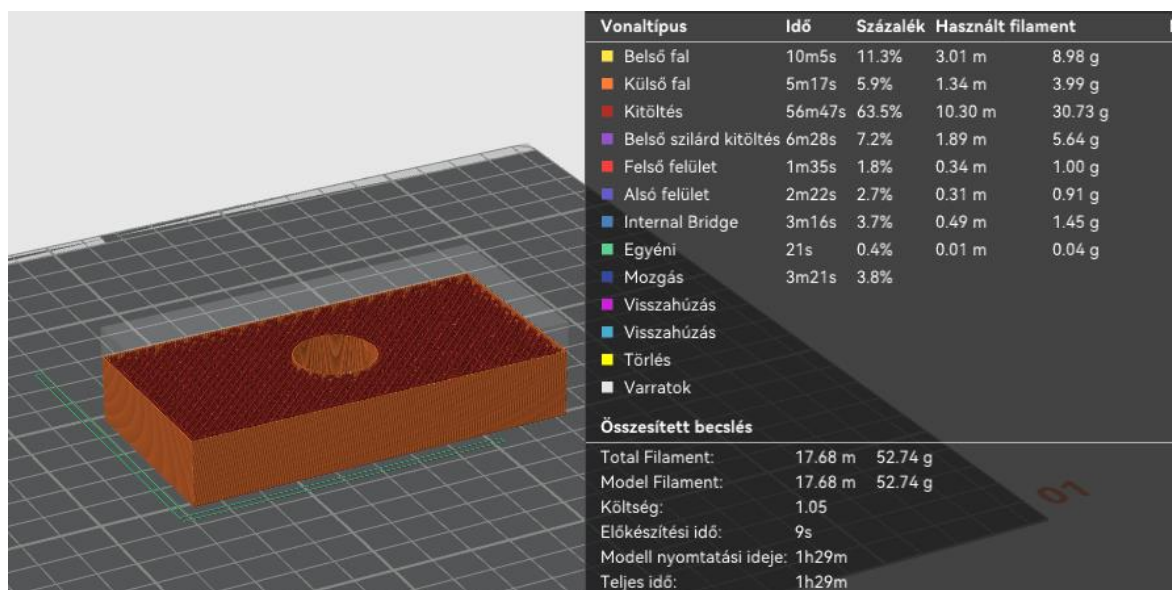
Ennek az időkülönbségnek a mértéke azonban számos dologtól függ. Az, hogy egy anyag könnyítés kevesebb vagy többköltséget jelent-e a 3D nyomtatásban, az alábbi főbb paraméterektől függhet:

- a kitöltés mértékétől,
- a kitöltés mintázatától,
- a falvastagságtól,
- az alsó, valamint felső rétegek számától,
- attól, hogy mekkora méretű részt távolítottunk el a modellből,
- valamint attól, hogy bérnyomtatással vagy saját nyomtatóval gyártunk.

Ahogy az 2. fejezetben bemutattam, számos paramétert állandónak tekintek a nyomtató beállításai közül és csak azokat vizsgálom, amivel jelentősebb mértékű hatást tudok elérni. Így ezek alapján ebben a fejezetben is csak azt elemzem, hogy milyen mértékű kitöltés esetén, mekkora anyagrészt kell leválasztanom ahhoz, hogy a költséget csökkenteni tudjam.

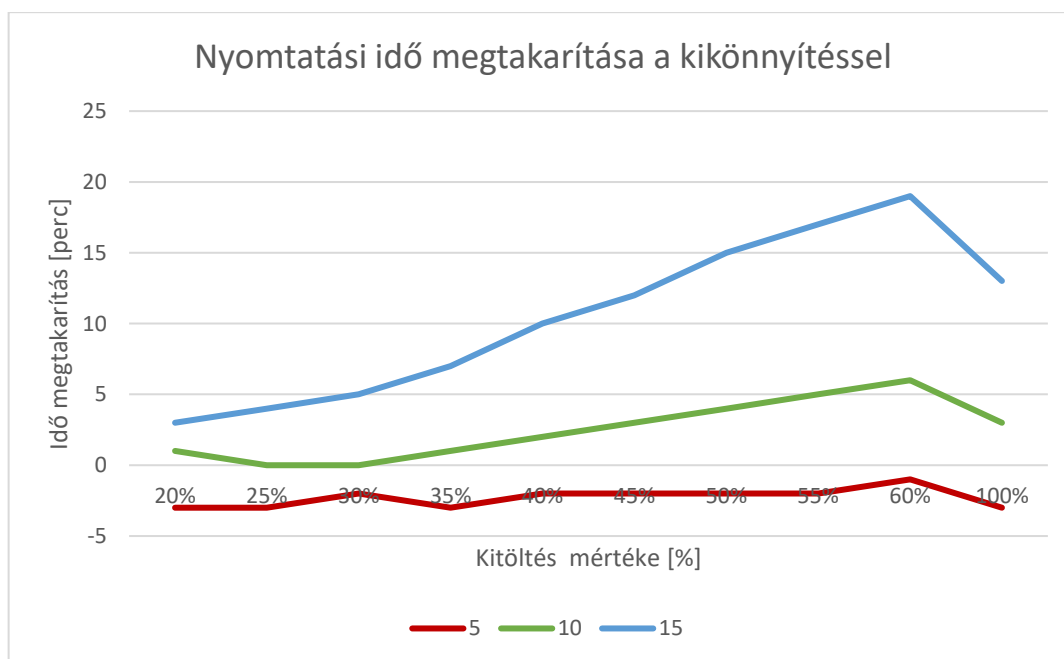
A továbbiakban az eltávolított térfogatot, a kitöltés függvényben, össze fogom hasonlítani az újonnan létrehozott felülettel, amihez még hozzá kell adni a mozgáspálya változása miatti többlet időt. Ezért egy diagramot készítettem és azon elemeztem azt, milyen sugarú henger alakú kitöltést kell alkalmaznom ahhoz, hogy a nyomtatást gazdaságosabbá tudjam tenni. Illetve csak és kizárólag átmenő furat esetén vizsgálódom, zsákfurat szerű könnyítést azért nem teszek bele, mert eleve a létrehozandó felületek miatt fog a nyomtatás tovább tartani. Abban az esetben pedig extra felületet kell létrehozni a zsákfurat alsó felületén. Valamint a nyomtatási pozícitól függően egy zsákfurat további alátámasztásokat is igényelne, amit az előző pont szerinti megoldásokkal meg kellene próbálni kiküszöbölni.

Továbbá, tekintve, hogy a 3.1-es fejezetben már megállapítottam, hogy 20%-60% valamint 100%-os kitöltéssel van értelme a modellt elkészíteni, így ezekre az esetekre vizsgálom a kikönnnyítés mértékét is. A vizsgálathoz a 100x50x25 dimenzóval rendelkező hasáb közepére készítek el egy henger alakú furatot, ez lesz a könnyítés az anyagban. A henger alapkörének a sugarát növelem az egyes vizsgálatok között, rendre 5 mm, 10 mm majd 15 mm értékeket felvéve. Az így kapott henger alakú furat magassága megegyezik a hasáb magasságával, azaz 25 mm. Ezt a 15. ábrán szemléltetem.



15. ábra, A kikönnyítés a hasáiban:  $r=10\text{ mm}$

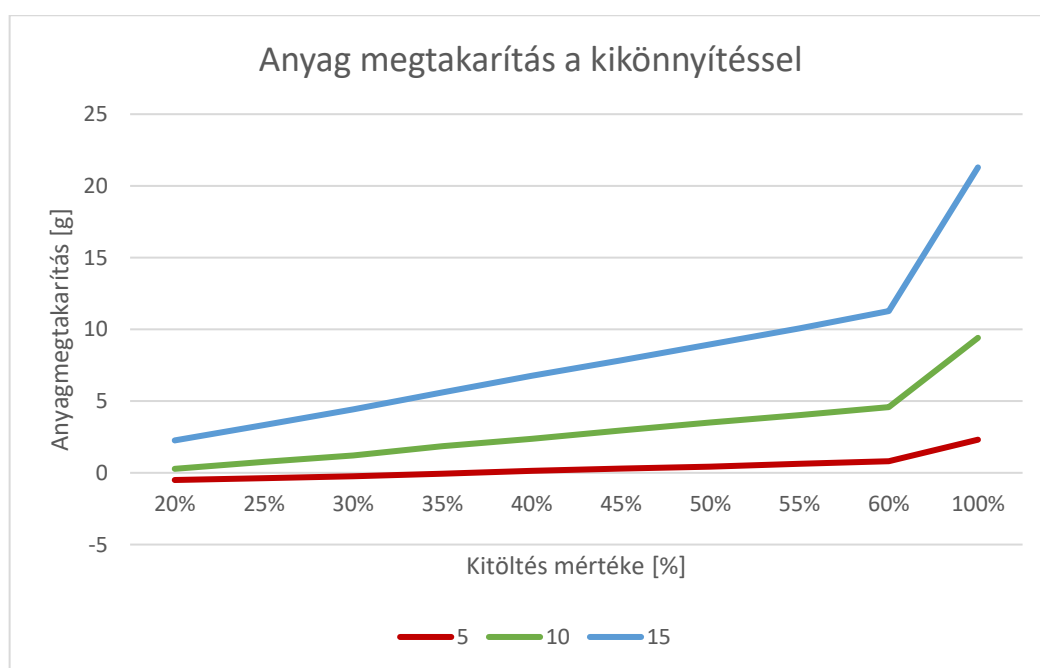
A 16. ábrán azt vizsgálom, hogy az egyes esetekben mennyivel tart kevesebb ideig a test kinyomtatása, azaz mekkora a nyomtatási idő megtakarítása a kikönnyítéssel.



16. ábra, A nyomtatási idő megtakarítása a kikönnyítéssel

Ezen a diagramon az látható, hogy 5 mm-es sugárt alkalmazva a henger alakú kikönnyítésen (piros vonal), a megtakarított idő a negatív tartományban van, azaz több ideig tart a nyomtatás. Amennyiben 10 mm-es sugárral készítem el a furatot (zöld vonal), akkor 20%-os kitöltés esetén csekély mértékben javul a nyomtatási időm, de 25%-30%-os kitöltés esetén pont ugyanannyi ideig tart mint ha a test elkészítése mint könnyítés nélkül. Azaz, ha csak az a

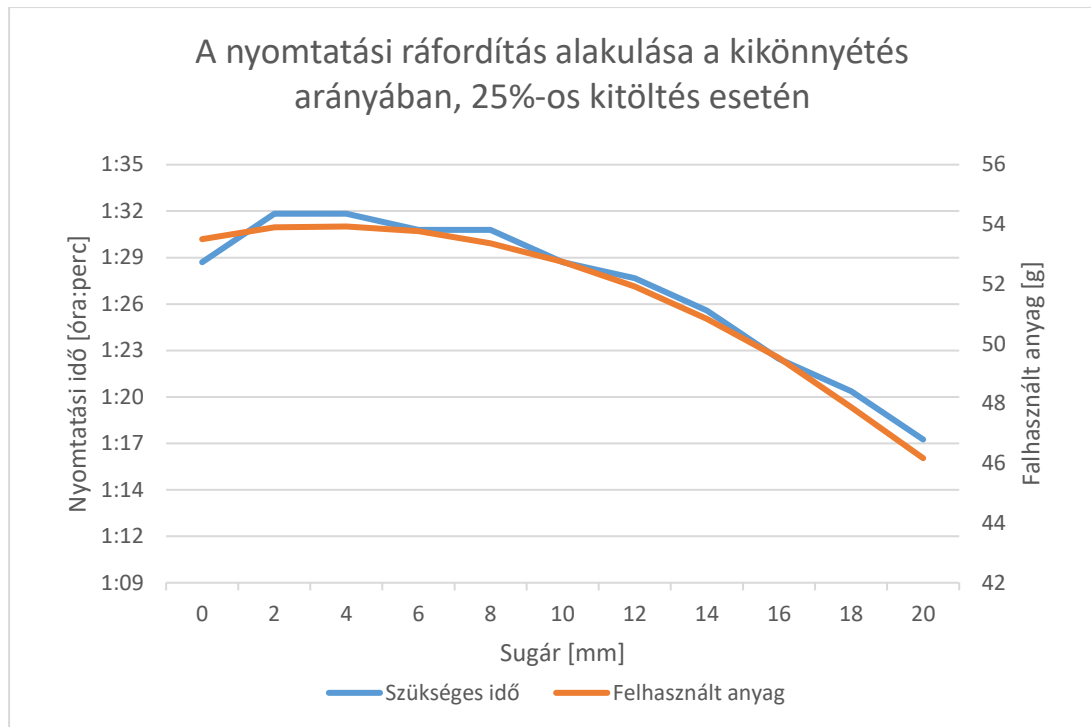
célom a kikönnyítéssel, hogy a nyomtatási időn csökkentsék, akkor nincs értelme foglalkozni vele. A nyomtatási időm nem fog kedvezően alakulni, azonban az anyag szerkezetét gyengítem. A 16.ábrát tovább elemezve az látható, hogy 15 mm-es sugárral elkészítette könnyítés esetén nincs ilyen problémám az adott kitöltési tartományokban. A 17. ábrán a felhasznált anyag mennyiségét vizsgálom, ami a várakozásoknak megfelelően alakul, azaz egyrésztől minél nagyobb a kikönnyítés átmérője, annál kevesebb anyagot kell felhasználni. A másik szempont pedig, hogy minél nagyobb a modell kitöltése, egy kikönnyítéssel annnyival több anyagot tudok megtakarítani. Itt is ki kell emelni, hogy 5 mm-es sugarat alkalmazva 35%-os kitöltés felett kezd el a nyomtató kevesebb anyaggal dolgozni!



17. ábra, A megtakarított anyag a kikönnyítés és kitöltés függvényében

A fenti két elemzés számomra azért fontos, mert ez minden egyes ilyen módon létrehozott kikönnyítés esetén érvényes. Azaz, ha több 5 mm sugarú kikönnyítést teszek a modellbe, akkor a nyomtatási időm a kikönnyítések számának megfelelően fog növekedni. Így megvizsgálom azt, hogy ha ilyen módon szeretnék csökkenteni a nyomtatási időt, akkor az adott beállítások mellett, legalább milyen sugarú hengert kell létrehoznom.

Ezt vizsgálom a 18. ábrán, 25%-os kitöltés esetén. Azért választottam a 25%-os kitöltést, mert a gyakorlatban ez a leggyakrabban alkalmazott érték. Másrészt a 16. ábrán látható, hogy 10 mm-es sugarat alkalmazva, ettől az értéktől kezd el stagnálni, majd emelkedni a megtakarítható idő így várható a hatása is ebben ad átfogó képet.



18. ábra, A nyomtatási ráfordítás alakulása 25%-os kitöltés esetén

A kék vonalat vizsgálva azt látom, hogy a nyomtatáshoz szükséges idő hogyan változik az alkalmazott sugár függvényében. Ebből azt a következtetést tudom levonni, hogy adott beállítások mellett legalább 12 mm sugárral kell elkészítenem a könnyítés céljából szolgáló furatot ahhoz, hogy a nyomtatási időn csökkenteni tudjak. Ettől kisebb sugár alkalmazás esetén az is előfordulhat, hogy a nyomtatási időm növekedni fog. A narancssárga vonal ugyanezen nyomtatások anyagszükségletét ábrázolja, ami már 10 mm sugarú furat esetén is kevesebb anyagköltséget jelent.

A kikönnyítéssel kapcsolatos ismereteket összefoglalva azt a tervezési szempontot javaslom, hogy alkalmazzunk átmenő furatos könnyítéseket és először vizsgáljuk meg, hogy a modellt milyen kitöltéssel kívánjuk létrehozni. Amennyiben elegendő a 25%-os kitöltés, akkor legalább 12 mm sugarú furatos könnyítéssel dolgozzunk, ellenkező esetben a nyomtatási időnk nem, hogy nem csökken, hanem még akár növekedhet is!

A következőben bemutatom azt, hogy a 3. pontban elemzett tervezési szempontokat hogyan ültettem át a gyakorlatba és milyen modelleket terveztem át úgy, hogy azok nyomtatási költsége kedvezőbbé váljon.

## 5. ESETTANULMÁNYOK A 3D NYOMTATÁSI KÖLTSÉGEK CSÖKKENTÉSÉRE A FENTEBB BEMUTATOTT MÓDSZEREKKEL

Ebben a fejezetben bemutatok pár esettanulmányt arra vonatkozóan, hogy a fentebb javasolt módszerek alkalmazásával hogyan terveztem át internetről ingyenesen letölthető, vagy korábban általam létrehozott modelleket. Az 1.4 fejeztben használt költségszámítás alkalmazásával meghatározom, hogy mennyit lehet megtakarítani abban az esetben, ha már modellek tervezésénél alkalmazom a dolgozatban felsorolt elveket.

A modellek áttervezést a Solid Edge 2024-es programmal végeztem, ennek ugyanis van egy „Reverse Engineering” modulja, amely képes az .stl fájlok újrachálózására, ezzel szerkeszthetővé tenni a már nyomtásra szánt modelleket. **ÖNÖNTÖZŐ VIRÁGCSERÉP**

Az első modellt, amit bemutatok, egy öntöző virágcserep a Thingiverse weboldáról [5]. A weboldal ingyenesen letölthető modelleket tartalmaz és azért esett erre a választásom, mert egy igen népszerű termék, amit sajnos rosszul lett megtervezve. A mindenkori legnépszerűbb termékek szerint rendezve a modelleket, ez áll a 4. helyen, azonban mikor letöltöttem a modellt azt vettem észre, hogy a nyomtatása nem gazdaságos. Ebből kifolyólag sokáig nem is próbálkoztam a létrehozásával. A modell a 19. ábrán látható két egységből áll.



19. ábra, Öntöző virágcserep a Thingiverse weboldáról [4]

A probléma az ábrán kék színnel nyomtatott „POT” egységgel van. A nyomtatási pozíció meghatározásakor a következőket vettem észre:

- állítva (a képen is látható pozícióban) nem célszerű nyomtatni, ugyanis a súlypontja magasra kerül. Ezzel kiteszem annak a veszélynek, hogy a tárgyasztal mozgása közben feldől. Alátámasztások nyomtatásával ez elkerülhető lenne, de az felesleges extra költséget jelentene.
- Az állított pozícióhoz képest x-tengely irányába  $90^\circ$ -al elforgatva szintén nem célszerű nyomtatni. Ennek oka, hogy az alsó perforációs rész így a levegőbe kerül, ami szintén alátámasztást igényelne. Másrészt hengeres testeket a pontosabb nyomtatás érdekében állítva célszerű nyomtatni [x]
- Fejjel lefelé, azaz  $180^\circ$ -al az x-tengely mentél elforgatva ki lehetne nyomtatni azonban a perforált hengeres rész le van zárva egy fedéllel, aminek a nyomtatása ebben a pozícióban szintén alátámasztást igényelne.

Ezért átdolgoztam a modellt a 3-as pontban bemutatott szempontok sorrendjében:

- a modell tájolási irányának a x-tengely szerint  $180^\circ$ -al elforgatott verziót választottam, ugyanis is csak egy olyan felület van, ami alátámasztást igényel
- az alátámasztás elkerülése érdekében megvizsgáltam azt, hogy funkcionális szempontból szükség van-e a lezáró fedélre. A válasz, hogy részben szükséges, mert a földet ez tartja meg a cserépben, azonban nem okoz gondot, ha készíték rajta egy nagyobb furatot
- ennek a furatnak a sarkait lekerekítéssel láttam el, hogy azokra a helyekre se kelljen alátámasztást alkalmazni
- majd megvizsgáltam, hogy a furat sugara legalább 10 mm legyen. A modell falvastagsága az adott felületen 15 mm, az eltávolított henger alapkörének átmérője 25 mm, így ezek a feltételek teljesültek

Az általam módosított test 3D modellje a Solid Edge programban az 20. ábrán látható.



20. ábra, A módosított „POT” test

Hátránya, hogy a nagyon apró szemű földet nem tartja meg, de általános célú virágfölddel tesztelve a modell tökéletesen bevált. Amennyiben szükséges lenne, hogy finomabb földet is megtartsa, alternatív megoldás lehetett volna a belső felület teljes sugárban történő lekerítése.

Jelen megoldásom eredményeit az 1. táblázatban foglaltam össze, a költség az 1.4 fejezetben alkalmazott képletek szerint számoltam. Ebből látható, hogy a nyomtatási időn 50 percet (jelen modell esetén ez 25% nyomtatási idő) lehet megtakarítani egy átgondolt tervezéssel. Ez számomra az a kritikus tényező, amely ilyen mértékű csökkentésével már elégedett lehetek.

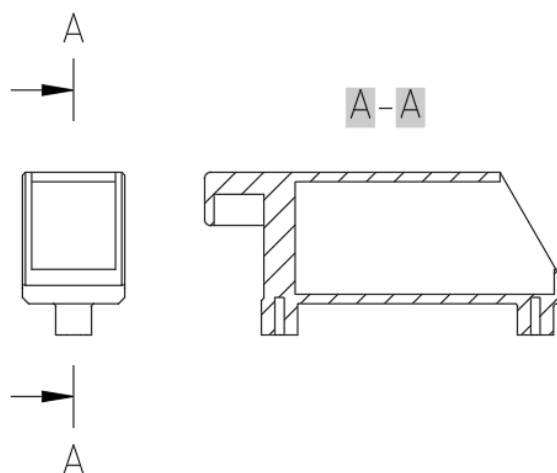
|                           | <b>Eredeti</b> | <b>Módosított</b> | <b>Változás</b> |
|---------------------------|----------------|-------------------|-----------------|
| <b>Idő [perc]</b>         | 197            | 147               | 25%             |
| <b>Súly [g]</b>           | 94,59          | 73,59             | 22%             |
| <b>Saját költség [Ft]</b> | 852            | 662               | 22%             |
| <b>Bérköltség [Ft]</b>    | 2627           | 1960              | 25%             |

1. táblázat az újratervezett „POT” általi megtakarítás

## 5.2.INDÍTÓ ALKATRÉSZ ÁTTERVEZÉSE

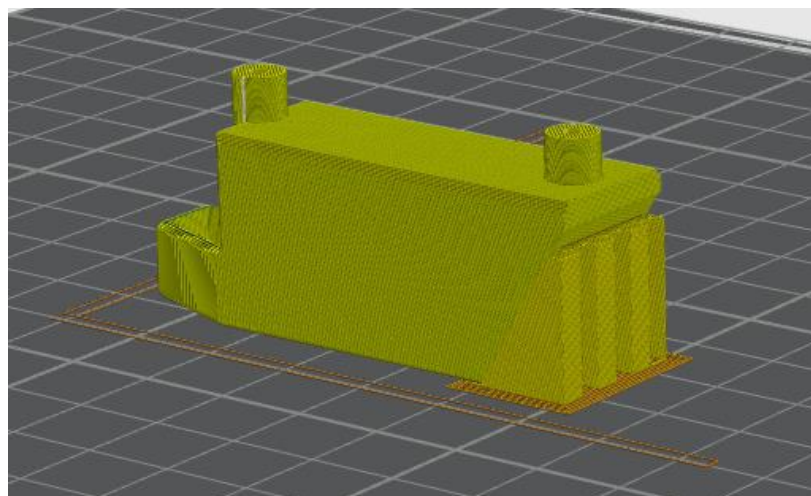
Ebben a fejezetben egy olyan alkatrész tervezését fogom bemutatni, ami eredetileg öntéssel készült. Egy játékpálya része, az autók indítására szolgáló eszköz volt, ami a használat közben eltört.

Az eltört alkatrész méreteit felvéve elkészítettem a modellt, azonban itt nem az időmegtakarítás volt a kulcs, hanem a megfelelő minőség. Az alkatrész rajza a 21. ábrán látható, a fő problémát a nyomtatás során a belső üreges rész alátámasztásokkal való kitöltése jelenti.



21. ábra, Az autók indítására szolgáló alkatrész

Azért okoz gondot, mert ugyanabból az anyagból nyomtatva az alátámasztást mint a modellt, egyrésztől nem lehet egyértelműen megkülönböztetni azt, hogy hol ér véget az alátámasztás és hol kezdődik a modell. Ez látható a 22. ábrán is.

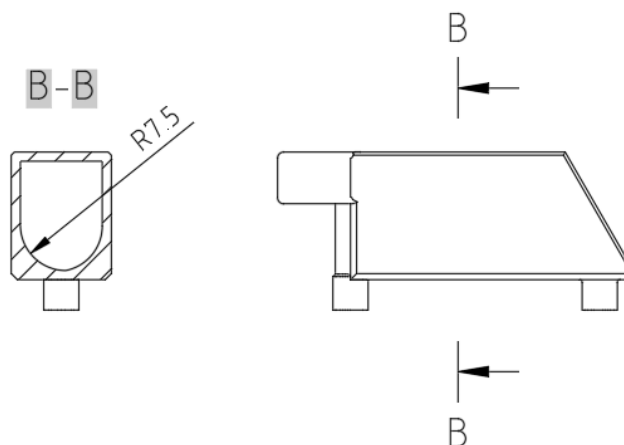


22. ábra, A vizsgált alkatrész kitöltéssel nyomtatva

Másrészt a probléma, hogy a belső üreg nehezen hozzáférhető, szerszámmal is. Így onnan meglehetősen bonyolult eltávolítani a kitöltést úgy, hogy közben a modell biztosan sértetlen maradjon.

Ezért szintén az 3. pontban meghatározott szempontokat vettem figyelembe és azok alapján újraterveztem az alkatrészt:

- a nyomtatási pozíciót a 22. ábrán is látható módon határoztam meg. A 21. ábrára szerint nyomtatva a lábak miatt még egy helyen szükség lett volna alátámasztásra, 90°-al elforgatva az x-tengely mentén pedig nehezebben lehetett volna áttervezni a konstrukciót
- az alátámasztások elkerülésére szintén lekerekítést alkalmaztam 7,5-ös sugárral a 23. ábrán látható módon



23.ábra, A vizsgált alkatrész javított változata

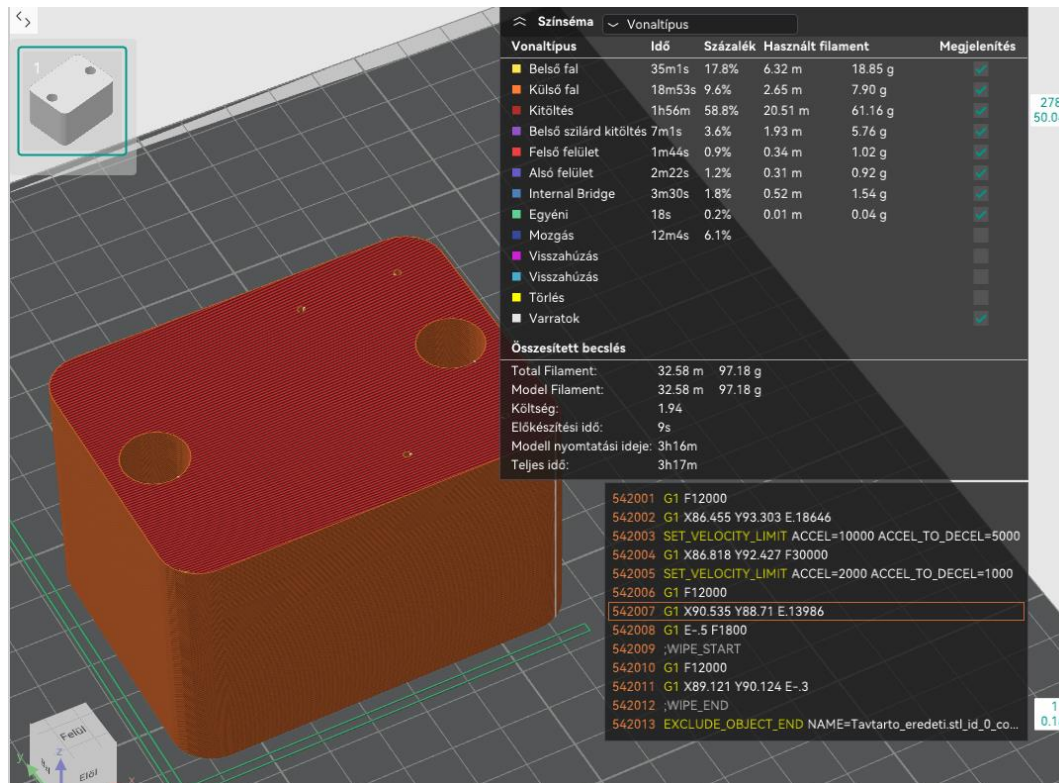
Ezzel sikerült elérnem azt, hogy utómunka nélkül előállítható a modell, és időt és költséget is megtakarítottam, amit a 2. táblázatban foglaltam össze.

|                           | Eredeti | Módosított | Változás |
|---------------------------|---------|------------|----------|
| <b>Idő [perc]</b>         | 26      | 25         | 4%       |
| <b>Súly [g]</b>           | 10      | 9          | 10%      |
| <b>Saját költség [Ft]</b> | 92      | 83         | 10%      |
| <b>Béreköltség [Ft]</b>   | 347     | 333        | 4%       |

2. táblázat, Az újratervezett indító alkatrész

### 5.3.TARTÓKONZOL ÁTTERVEZÉSE

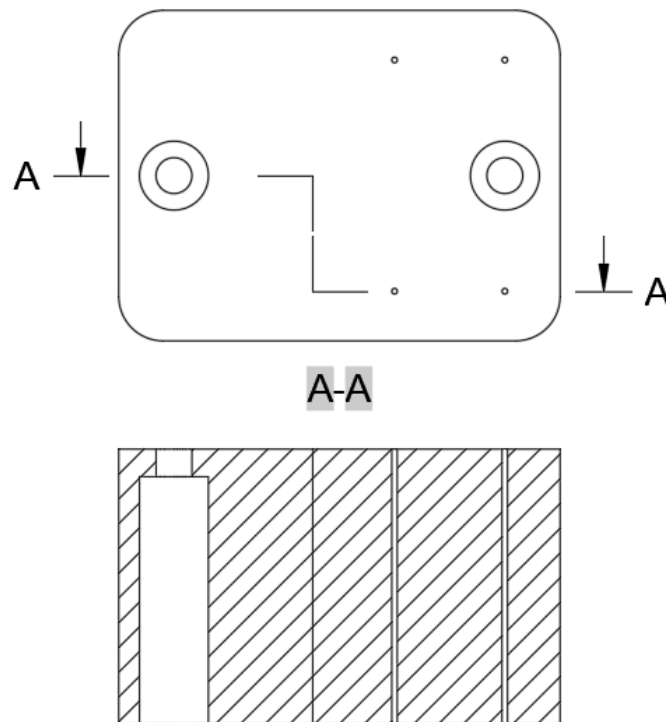
Az utolsónak bemutatott alkatrész áttervezésénél a hangsúly szintén a nyomtatási idő csökkentésén volt. Ebben az esetben nem az alátámasztások jelentették a többlet időt, hanem a belső kitöltés létrehozása. Amint az a 24. ábrán is látható a belső kitöltésre fordított idő a teljes nyomtatási idő közel 60%-a.



24. ábra, A tartókonzol nyomtatási adatai

Az alkatrész egy tartókonzol, amit kettő csavarral tudunk egy falfelületre rögzíteni. Annak érdekében, hogy rövidebb csavarokat tudjunk használni, a furatok süllyesztéssel rendelkeznek. A tartókonzolra négy további furat segítségével rögzítünk egy könnyebb, elektronikai eszközt. Ez látható a 25. ábrán.

Az eszköz súlya nem jelentős, ezért a modellt 25%-os kitöltéssel nyomtattuk ki. Azonban mint az a 24. ábrán is látható, a teljes nyomtatási idő 3 óra 17 perc, amit elsőre soknak ítélt meg, ezért szükséges volt a modell áttervezése.



25. ábra, A tartókonzol metszeti ábrázolása

Ismét a 3. pontban leírtaknak megfelelően kezdtem el átgondolni a modell szerkezetét:

- a kitöltés elegendő 25%-on, azonban ez alá nem szerettem volna menni, mert csavarokkal rögzíttem a modellt és a kisebb kitöltés esetén a csavar nyomatékra húzása közben könnyebben kárt tehet a modellben.
- A tájolásra több lehetőségem is volt, azonban a kisebb furatok átmérője csupán 1 mm, így célszerű ezeknek a furatoknak a Z-tengellyel párhuzamos nyomtatási pozíciót meghatározni. A nagyobb furatokban lévő süllyesztés pedig adja, hogy először a kis átmérővel kezdjük a nyomtatás, így nem szükséges a furatokban az alátámasztás alkalmazása. Tehát a nyomtatási pozíciót a 24. ábrán is látható elrendezésben állapítottam meg.
- Ezzel sikerült elérnem, hogy alátámasztások nélkül kerüljön a modell nyomtatásra, így további teendőm nem volt.
- A könnyítésre vonatkozóan viszont azt látom, hogy van lehetőségem átmenő furatokat tenni a testbe

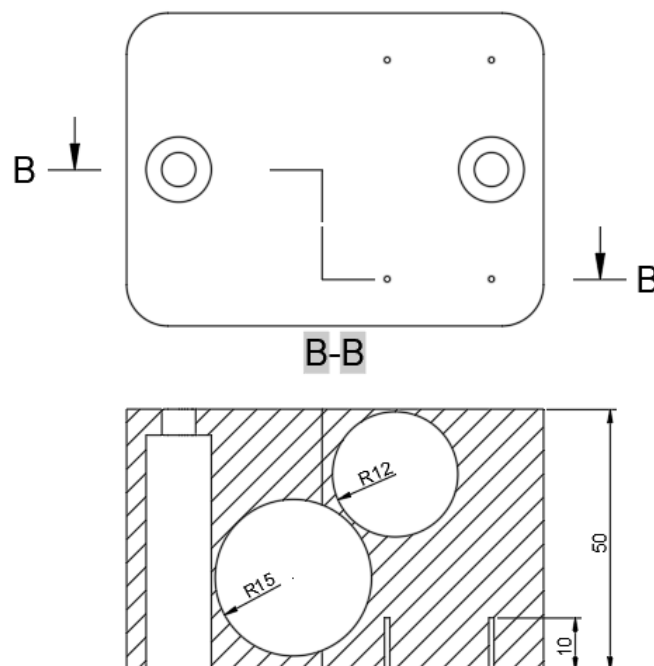
Ezekhez először megvizsgáltam a 18. ábrán látható diagramot, ami egyértelműen mutatja, hogy egyetlen nagyobb furattal kevesebb ideig fog tartani a nyomtatás, mint ha több kisebb furatot helyeznék el. Ezért megvizsgáltam a felületet és azt vettem észre, hogy a

legnagyobb furat amit el tudok helyezni úgy, hogy a rögzítésre szolgáló furatokat ne akadályozza 15 mm.

Ezt követően, mivel megállapítottam, hogy 12 mm sugarú furat alatti furatok nyomtatása időtöbbletet jelent, megvizsgáltam az eszköz rögzítésére szolgáló 0,5 mm sugarú furatokat. Ezen értelemszerűen növelni nem tudtam, hogy elérje a kritikus értéket, azonban a hosszon tudtam csökkenteni. Azt vettem észre, hogy alkalmazható olyan zsákfurat aminek a mélysége 10 mm. Ezért ezek hosszát 10 mm-re csökkentettem. Itt létrehoz egy többlet falat, azonban 40 mm hosszon nem hoz létre palástfelületet. Csak ennek az egy módosításnak köszönhetően közel 20 perccel lett rövidebb a nyomtatási idő.

Ezen kívül az így keletkezett új, egybefüggő térfogatba szintén el tudtam helyezni egy legalább 12 mm sugarú furatot, amivel tovább tudtam csökkenteni a költségeken

Összességében a módosított metszeti kép a 26. ábrán látható.



26. ábra, A módosított tartókonzol metszeti ábrázolása

Az így elért eredményeket pedig a 3. táblázatban összegeztem. Ebből látható, hogy 40 perccel sikerült csökkentenem a nyomtatási időn, ami 20%-al kevesebb időkötséget jelent. A teljes költség, saját nyomtatás esetén, pedig 16%-al lett kevesebb.

|                           | <b>Eredeti</b> | <b>Módosított</b> | <b>Változás</b> |
|---------------------------|----------------|-------------------|-----------------|
| <b>Idő [perc]</b>         | 197            | 157               | <b>20%</b>      |
| <b>Súly [g]</b>           | 97,18          | 82,93             | <b>15%</b>      |
| <b>Saját költség [Ft]</b> | 891            | 746               | <b>16%</b>      |
| <b>Béreköltség [Ft]</b>   | 2626           | 2093              | <b>20%</b>      |

*3. táblázat, A tartókonzol módosításának eredményei*

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A 3D nyomtatás a 2020 napjaink egyik legjelentősebb technológiájává vált, amely mára nem csak az ipar, hanem az átlagember számára is megfizethető vált. Egyre többen foglalkoznak 3D nyomtatott termékek előállításával és hobby szinten új modellek tervezésével. Az így létrehozott modelleket pedig bárki, ingyenesen letöltheti és a saját nyomtatójával létrehozhatja.

Azonban az így létrehozott modellek minősége nem minden esetben teljesíti az elvárásokat, így előfordul, hogy azok nem kerülnek nyomtatásra. Ennek egyik legfőbb oka a nyomtatási idő hossza, ugyanis az emberek jelentős része nem szereti hosszabb időre, akár egész estére felügyelet nélkül hagyni a berendezést, amíg az dolgozik.

A dolgozatomban én a hobby célú nyomtatók közül az egyik legmodernebbel dolgoztam, egy Qidi Q1 pro típussal, melynek nyomtatási sebessége elérheti a 600 mm/s sebességet is. Azonban ez a sebesség egyáltalán nem számít általánosnak, és egy korábbi, 5 éves, de még mindig tökéletesen működő modell sebessége ennek tizede lehet.

A célom tehát az volt, hogy a dolgozatomban az modellek tervezésére olyan tanácsokkal szolgálja, amik a nyomtatási költségeken, elsősorban a nyomtatási időn képesek csökkenteni. Ezt négy, módon tudom elérni:

- gyártástechnológiai szempontokat figyelembe véve:
  - o a nyomtatási irány, azaz a modell tájolásának jó meghatározásával,
  - o a modellhez tartozó kitöltés helyes megválasztásával.
- Tervezési szempontokat figyelembe véve pedig:
  - o olyan tervezéssel, aminél a szeletelő szoftver kevesebb alátámasztást generál a modell elkészítéséhez,
  - o a modelleken alkalmazott kikönnyítések alkalmazásával.

A dolgozatom azért érdekes, mert a megírása közben kettő olyan észrevételt is tettem, ami elsőre logikátlanak tűnik, azonban az egy alaposabb elemzés után egyértelművé vált. Az első ilyen, hogy a modellek nyomtatási ideje lineárisan változik a kitöltés függvényében, de 100%-os kitöltés esetén az időszükséglet visszaesik az 50%-os nyomtatás időszükségletére.

A másik észrevétel pedig az volt, hogy egy átmenő furat elhelyezése egy munkadarabban többlet idő- és anyagköltséget jelent, ahelyett, hogy ezek csökkennének.

Ezen ellentmondások feloldásával és a további általam javasolt módszer alkalmazásával képesek vagyunk, a modellek nyomtatási idejének 20%-os csökkentésével. Valamint általánosságban a nyomtatási költségek is csökkenthetőek 15%-al.

## 7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] 3D filament webshop. Internetes forrás: <https://www.3djake.hu/3djake/ecopla-fekete>, megtekintés dátuma 2024.10.15.
- [2] MVM Next díjszábsí táblázat,. Internetes forrás: <https://www.mvmnext.hu/aram/servlet/download?type=file&id=15882>, megtekintés dátuma 2024.10.15.
- [3] Rocket3D ajánlat. Internetes forrás, <https://rocket3d.hu/3d-nyomtatás/>, megtekintés dátuma 2024.10.15.
- [4] Stout KJ, Sullian PJ, Dong WP, Mainsah E, Luo N, Mathia T, Zahyouni H: The development of methods for the characterization of roughness in three dimension, Commission of the European Communities (ISBN 0 70441 313 2) 1993
- [5] Qidi termékek bemutatása. Internetes forrás: <https://qidi3d.com/en-eu/products/q1-pro-3d-printer>, megtekintés dátuma 2024.10.18
- [6] Wyatt, Neil, 3D Printing for Model Engineers, 2018, Crowood
- [7] <https://www.thingiverse.com/thing:903411>