

Drón tervezés a mesterséges intelligencia segítségével

Szerző: **TÓTH Szilárd**, IV. évfolyam (tothszilard000@gmail.com)

Témavezető: **Dr. TARJÁN László** egyetemi professzor

Intézmény: Újvidéki Egyetem, Műszaki Tudományok Kara, Mechatronika Tanszék, Újvidék;
Európa Kollégium Egyetemista Központ, Újvidék

Napjaink egyik legfelkapottabb technológiai témája a mesterséges intelligencia. Rendkívül sok helyen alkalmazzák már és folyamatosan fejlődik. Emellett a 3D nyomtatás is nagy figyelmet kapott az utóbbi időben, mivel egy gyors és anyaghatékony gyártási folyamat. Az additív gyártási eljárások elterjedésével sokkal bonyolultabb alakzatú, de adott funkciók ellátására optimálisabb alkatrészek tervezésére van szüksége az iparnak. Ezen darabok tervezése a hagyományos tervezési módszerekkel és szoftverekkel igen nehezen megvalósítható. Ilyen alkatrészek tervezésében segítenek a mesterséges intelligencia alapú Generatív Tervezés megoldások.

Mindemellett a drónok is jelentősen elterjedtek. Alkalmazzák őket a mezőgazdaságban, hadiparban, filmiparban ezenfelül számos ipari szektort forradalmasítottak, ami kevés technológiára igaz. A drónok nem csak hatékonyak, hanem olcsóbban, gyorsabban és ami a legfontosabb, biztonságosabban is képesek olyan feladatok elvégzésére, amihez egyébként szakképzett munkaerőre lenne szükség, vagy amelyek veszélyt jelentenének a munkásokra.

Ezen technológiák metszeteként választottam a munkát. A kutatómunka célja létrehozni egy drónvázatot, amely a mesterséges intelligencia segítségével lett megtervezve és 3D nyomtató által lett legyártva. Ezt követően letesztelni a Generatív Tervezés szimulációs eredményeit a valóságban, és megállapítani a tervezői eszköz hatékonyságát.

Kulcsszavak: drón, mesterséges intelligencia, 3D nyomtatás

Előszó

A mesterséges intelligencia napjaink egyik legizgalmasabb és legdinamikusabban fejlődő technológiai területe, amelynek alkalmazása egyre szélesebb körben elterjed. Hasonlóan nagy figyelem övezi a 3D nyomtatást is, amely gyors és anyaghatékony gyártási lehetőségeket kínál az ipar számára. Az additív gyártási technológiák előretörése új, komplexebb, és adott funkciókhoz optimalizált alkatrészek tervezését igényli. A hagyományos tervezési módszerek gyakran nehezen boldogulnak ezzel a feladattal, itt lépnek előtérbe a mesterséges intelligenciára épülő Generatív Tervezés megoldások, amelyek jelentős segítséget nyújtanak az ipari tervezés területén.

Egy másik jelentős technológiai előrelépés a drónok elterjedése, amelyek forradalmasították a mezőgazdaságot, hadipart, a filmipart, valamint számos egyéb ipari ágazatot. Ezek a járművek nem csupán hatékonyak, de olcsóbban, gyorsabban és – ami különösen fontos – biztonságosabban tudnak végrehajtani olyan feladatokat, amelyek egyébként szakképzett munkaerőt, vagy veszélyes körülmények között történő munkavégzést igényelnének.

Munkám során e három technológia találkozási pontját szerettem volna megvizsgálni. Kutatásom célja egy olyan drónváz megalkotása volt, amely a mesterséges intelligencia segítségével tervezett és 3D nyomtatási technológiával készült. Az elkészült váz valódi körülmények közötti tesztelése révén vizsgálom a Generatív Tervezés szimulációs eredményeinek helytállóságát és a tervezőeszköz hatékonyságát a gyakorlatban.

1. BEVEZETŐ:

1.1 Fizikai fogalmak

A drón vázszerkezet tervezés folyamatában a legfontosabb fizikai fogalmak a motorok által generált **tolóerő**, és a **tolóerő-tömeg arány**. „**Tolóerő** az az erő, ami egy repülőgépet, rakétát, saját hajtással rendelkező repülő lövedéket, hajót a közegellenállással szemben mozgat, illetve gyorsít. Más szóval azt a hajtóerőt nevezik tolóerőnek, melyet a reaktív hajtóművek fejtenek ki a járműre. A szilárd pályán mozgó járművek (például gépkocsi, mozdony) hajtásához szükséges erőt nem szokás tolóerőnek nevezni. A folyékony vagy gáz halmazállapotú közegben mozgó tárgy vízszintes irányú állandó sebességű mozgásban tartásához is szükség van tolóerőre. Többet tolóerőre van szükség a mozgó tárgy emeléséhez és gyorsításához.” A mértékegysége az SI rendszerben **Newton** [N]. 1 Newton az az erőmennyiséget jelenti, amely szükséges ahhoz, hogy 1 kilogramm tömeget 1 méter per szekundum négyzet sebességgel gyorsítson.

„A **tolóerő-tömeg arány** dimenzió nélkül használt számérték, mely kifejezi, hogy egy rakéta, repülőgép vagy sugárhajtómű tolóereje hányszorosa a rá ható súlyerőnek. Jellemzően ilyen szerkezetek teljesítményének, illetve a repülési tulajdonságok összehasonlítására használják. A repülőgépek tolóerő-tömeg aránya 0 (például vitorlázó repülőgépek) és 1,2 (vadászipülőgépek) között alakul, a repülőgép-hajtóművek hasonló adata ennél lényegesen nagyobb (mivel tolóerejük – egyhajtóműves repülőgép esetén – ugyanakkora, mint a repülőgép tolóereje, tömegük ennél lényegesen kisebb). A földről való függőleges felszálláshoz legalább 1,0 tolóerő-tömeg arány szükséges (azaz a hajtómű tolóereje legyen képes a repülőeszköz tömegének legyőzésére). A tolóerő-tömeg arány egyúttal megadja a repülőeszköz legnagyobb vízszintes gyorsulását is (a földi nehézségi gyorsulás ennyiszerezését eléri).”

1.2 A drón vázszerkezet tervezés lépései

1. Az első lépés a **drón modell** kiválasztása volt. Többféle drón is elérhető a piacon kezdve az apró hobbi drónoktól, a professzionális nagyméretű drónokig, amelyeket a mezőgazdaságban használnak. A választásom egy **Freestyle FPV** (First Person View) drón vázszerkezet lett, ezen belül az **5 hüvelyk méretű**.



1. ábra: A képen egy 5 hüvelykes FPV drón látható

2. Ezek után következett a **motorok** kiválasztása, ami rendkívül fontos a modellezéskor a megfelelő erőhatások kiszámítása érdekében. A különböző drón méretekre különböző motorokat használnak. A kiválasztott motor az egyik leggyakrabban használt motor a piacon. A motor neve: **T-MOTOR V2207.5 V2 KV1750 5"Freestyle Fpv Racing Drone Motor**, melynek specifikációja látható az Adalékok részben. A legfontosabb adat a tervezés szempontjából a maximális tolóerő, amely e motor esetében **1507.96 [g]** amely átszámítva **14,79 [N]** erőnek felel meg. Természetesen a tolóerő számítását a propeller (légcsavar) méretétől, és fajtájától. A specifikációban szintén látható, hogy ezt az erőt a **T-MOTOR T5143S 6S** propellerrel éri el a motor.



2. ábra: A képen a T-MOTOR T5143S 6S propeller és a T-MOTOR V2207.5 V2 KV1750 5"Freestyle Fpv Racing Drone Motor látható

3. A drón **tolóerő-tömeg** arányának kiválasztása. A Freestyle FPV drónok minimum 5:1 arányban vannak tervezve, ami azt jelenti, hogy a négy motor tolóerejének összege a tömeg 5-szöröse. Az egyszerű repüléshez elegendő a 2:1 arány is, de ezeknél a drónoknál gyakori a 10:1 és a 14:1 arány sem. Ahhoz, hogy a drón váz maximális tömegét megfelelően megtudjuk határozni, ki kell választani a drón többi elemét is. Ezek az elemek a következők:

Repülésvezérlő: *Speedybee F405 V3*

Motorok: *T-MOTOR V2207.5 V2 KV1750 5"Freestyle Fpv Racing Drone Motor*

Videójeladó: *Happymodel OVX303 25-300mw*

Kamera: *Foxeer Razer Micro 1200tvl 4:3 camera*

Vevőegység: *Happymodel 2.4ghz EP1*

Propellerek: *T-MOTOR T5143S 6S*

Elem: *Tattu 1050mah 6s*

Ezeket az elemeket az Adalékok részben található link alapján választottam ki, ahol ezen elemekkel létrehozunk egy drónt. Az elemek össztömege **445 [g]**. A négy motor tolóerejének összege **6031.84 [g]** azaz **59,15 [N]**. A kiválasztott tolóerő-tömeg arány a **10:1**, ami azt jelenti, hogy a váz tömege nem haladhatja meg a **155 [g]** tömeget.

Fontos megjegyezni, hogy a tolóerő-tömeg arálynak nem csak a drón sebességére és gyorsulására van kihatása, hanem a hatótávra is. Minél nagyobb ez az arány, annál kevesebb befektetett energiával tudunk repülni, amely nagyobb hatótávot biztosít.

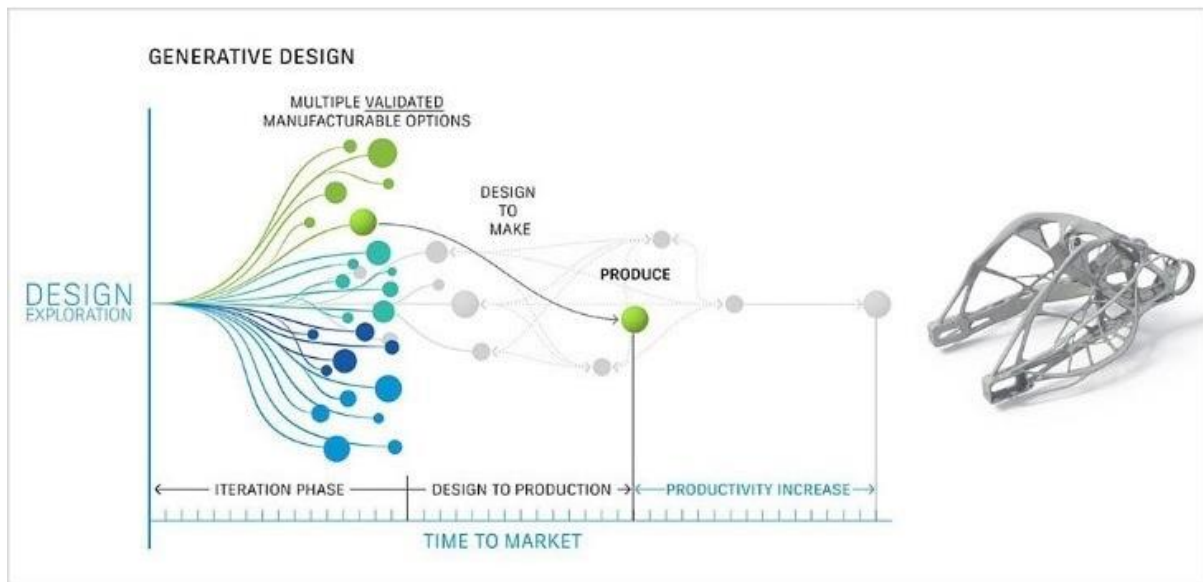
1.3 Generatív Tervezés

A **Generative Tervezés** egy mesterséges intelligencia alapú tervezési megközelítés, amely forradalmasítja a hagyományos formatervezési módszereket azáltal, hogy számítógépes algoritmusokat használ a tervezési folyamat támogatására és irányítására. Ennek a módszernek az alapja, hogy a tervező előzetesen meghatároz bizonyos paramétereket, például anyagokat, méretbeli korlátokat, súlyhatárokat, valamint az alkatrész terhelési és szilárdsági igényeit. A szoftver ezek alapján, szimulációs és optimalizációs eszközökkel számos alternatív megoldást hoz létre, amelyeket különböző szempontok, például erősség, anyaghasználat vagy gyártási költség szerint lehet összehasonlítani.

A Generative Tervezés lehetővé teszi, hogy az iparban olyan alkatrészek készüljenek, amelyek hagyományos tervezési technikákkal nehezen vagy egyáltalán nem lennének megvalósíthatók. Gyakran előnyben részesítik additív gyártási technológiákkal, például 3D nyomtatással kombinálva, mivel ez lehetőséget ad bonyolult, organikus alakzatok előállítására, amelyek anyaghatékonyak és ugyanakkor erősek. Így például az autó- és repülőgépiparban jelentősen csökkenthető az alkatrészek tömege és az anyagfelhasználás, anélkül, hogy ez kompromisszumot jelentene a tartósság terén.

A Generative Tervezés előnye, hogy a mérnökök gyorsabban, költséghatékonyabban és innovatívabban tervezhetnek. Az algoritmus által javasolt formák sokszor intuitív módon nem érhetők el, mivel figyelembe veszi az anyagok tulajdonságait és a terhelési mintákat is, így optimális megoldásokat kínálhat.

A Generative Tervezés egy modern, adattal vezérelt megközelítés, amely a kreativitást és a mérnöki precizitást ötvözi, elősegítve a hatékonyabb, robusztusabb és környezetbarátabb megoldások létrehozását számos iparágban.

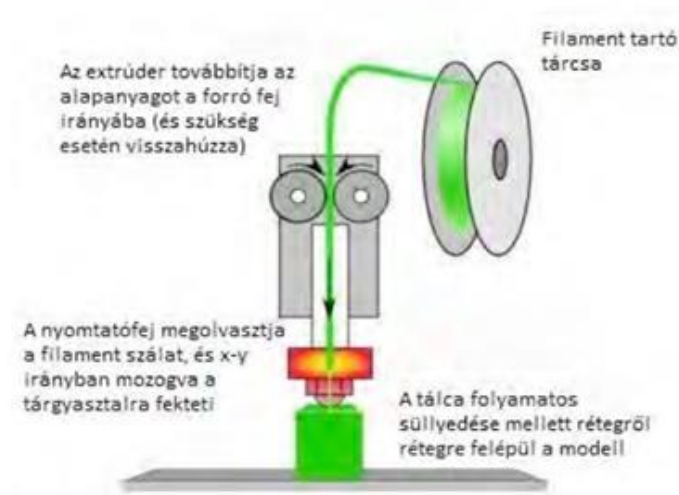


3. ábra: Egy koncepció megvalósulása az ötlettől a gyártásig

Forrás: <https://www.symetri.co.uk/insights/blog/what-is-generative-design-and-what-does-it-mean-to-manufacturers>

1.4 3D Nyomtatás

A 3D nyomtató valójában egy digitális modellből egy valós tárgyat hoz létre. A 3D rövidítés a három dimenziót takarja maga mögött. A 3D nyomtatásnak több fajtája van. A munkában szálolvasztásos technológia lett használva. Az **Ömledékrétegezés vagy szálolvasztásos technológia (FDM)** nyomtatók thermoplasticot használják alapanyagul. Két fő kategóriája van az ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) egy mesterségesen előállított polimer és a PLA (Polylactic Acid, politejsav). A lényege az eljárásnak, hogy a műanyag szálát a nyomtató 180-235 fok C-ig felfűthető, két vagy három tengelyen mozgatható fejébe vezetjük a léptetőmotoros továbbítás segítségével. A műanyag itt megolvad, és a fej kialakításának megfelelő, 0,2-0,4 mm vastag formálható szál képződik, mely a nyomtatófej mozgásának következtében rétegről rétegre rakódik le a tárgyasztalra. A ragasztóanyag használata nem szükséges mivel gyakorlatilag egymásba olvadnak a rétegek. Ezek napjainkban a legolcsóbb nyomtatók és egyszerűségük miatt, és szabadon fejleszthetőségüknek köszönhetően a leginkább elérhetőek. Az eljárás hátránya, hogy a részletgazdagság és a pontosság korlátozott, a nyomtató működése lassú nagyobb darabok elkészítése esetén, a felületi minőség néhány esetben nem kellően megfelelő, esztétikai utómunkálatok szükségessége előfordul.



4. ábra: A képen az ömledékrétegezés működési elve látható

1.4.1 A 3D nyomtatással való gyártás lépései

1. Tervezés (CAD)
2. Konverzió STL fájlba
3. Átalakítás gépi kóddá
4. A nyomtató felkészítése
5. Építés
6. Termék tisztítása

1. A 3D modell tervezése

A tervezés hasonló a hagyományos eljárásokhoz, többnyire iteratív folyamat akár az elkészült modell hibái, hiányosságai alapján is visszatérhetünk a tervezőasztalhoz. Ami nem megszokott, hogy lehet 3D szkennelésből és CAD tervezésből a forrás. A CAD (Computer Aided Design) olyan programok melyek segítik a mérnöki munkát, 2 és 3 dimenziós modellek elkészítésében. Rendkívül fontosak a modellező szoftverek, mivel valójában ott történik az egész munka, a nyomtatás már egy automatizált folyamat. Ezek elsajátítása időigényes folyamata, ami napjainkban kifizetődő, mivel egyre keresettebb szakma a modellezés. Ennek megfelelően vannak komolyabb és egyszerűbb programok, használati módtól függően. Egyik program az Autodesk Fusion 360, amelyet a munkában használtam. A legtöbb CAD rendszer tömörnek mondható modelleket készít, ugyanakkor ezek legtöbbször 2D felületek kombinálásából, azok 3D térbe húzásával jönnek létre. Bár a szemléltető számára tömörnek tűnnek, matematikailag nem feltétlen zárttestek, ezért előfordulhatnak anomáliák a nyomtatási folyamatban. Az előbb említett programban elérhető a hagyományos tervezési folyamat is, és a Generatív Tervezés is, valamint a Terhelési Szimuláció.

Konverzió STL fájlba

A CAD programból létrejött tömör modelleket a 3D nyomtatók által általánosan használt dróthálós formátumba kell alakítani. Többféle formátum létezik a legelterjedtebb az STL, de ez mellett létezik AMF, 3MF és még több másik. Az átalakító folyamat a tesszaláció, amikor is a tömör modell felületét leegyszerűsítjük és háromszögekkel közelítjük azt. A felület minőségének változtatása a háromszögek számának növelésével érhető el. A különböző problémákat, melyek az átalakítási folyamatban jelentkeznek, a nyomtató szoftver kezeli.



5. ábra: A képen egy modell háromszögekkel való leegyszerűsítése látható

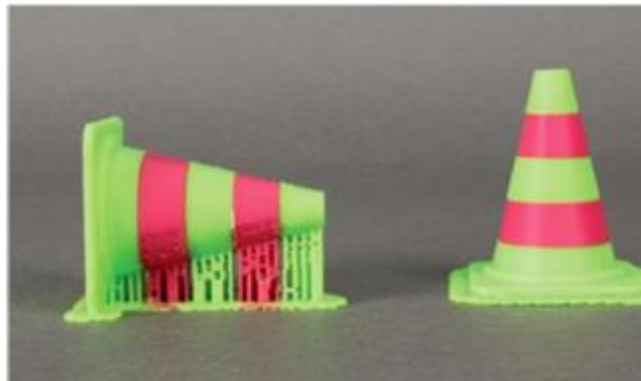
Átalakítás gépi kóddá

A 3D nyomtatók már nem STL fájlok alapján nyomtatnak, hanem többnyire valamilyen, már esztergagépekben elterjedt, G-code-hoz hasonló gépi kód szerint. Ez a folyamat azért szükséges, hogy a 3D modell fájlunkat lefordítsuk a nyomtató által értelmezhető programnyelvre. Ezt felszeletelésnek (slicing) nevezik. Ez a folyamat leegyszerűsítve abból áll, hogy a nyomtatandó 3D modellt a program felbontja nagyon vékony szeletekre, és ezeken a szeleteken belül meghatározza az extrúder útját és működését, miközben a tárgyasztal minden elkészült réteg után a szoftverben beállított rétegmagasságnak megfelelően távolodik a nyomtatófejtől. A G-code lesz a kimeneti fájlformátum, ezt hozza létre a szeletelő program. A G-code egy numerikus vezérlésű programozási nyelv, amit már régóta a számítógéppel támogatott gyártástechnológiák alkalmazása során használnak. Ez a folyamat után rendkívül fontos a **támasztó struktúrák** elhelyezése.

```
M03
G00 X2.012176 Y-0.000028
G01 F15 Z-0.001
G02 F300 X1.870461 Y-0.740932 I-1.999488 J-0.001556
G02 X1.481845 Y-1.356568 I-1.865996 J0.747422
G02 X0.901111 Y-1.792156 I-1.47533 J1.362021
G02 X0.183056 Y-1.992898 I-0.887602 J1.790346
G02 X-0.574636 Y-1.91265 I-0.171449 J1.998346
G02 X-1.222538 Y-1.57365 I0.588588 J1.913563
G02 X-1.70244 Y-1.030477 I1.242599 J1.581443
G02 X-1.959544 Y-0.337942 I1.708798 J1.028384
G02 X-1.942268 Y0.427086 I1.987973 J0.337818
G02 X-1.655536 Y1.104596 I1.954611 J-0.427791
G02 X-1.152582 Y1.626155 I1.680277 J-1.117055
G02 X-0.488204 Y1.936976 I1.161573 J-1.617388
G02 X0.274668 Y1.982985 I0.500894 J-1.957725
G02 X0.979122 Y1.751164 I-0.259957 J-1.976203
G02 X1.539692 Y1.291073 I-0.977669 J-1.762725
G02 X1.901581 Y0.65751 I-1.525463 J-1.291475
G02 X2.012176 Y-0.000028 I-1.903004 J-0.658147
G00 Z0.125
G00 X1.317526 Y-0.4665
G01 F15 Z-0.001
G03 F300 X1.353012 Y-0.613573 I0.166635 J-0.037611
```

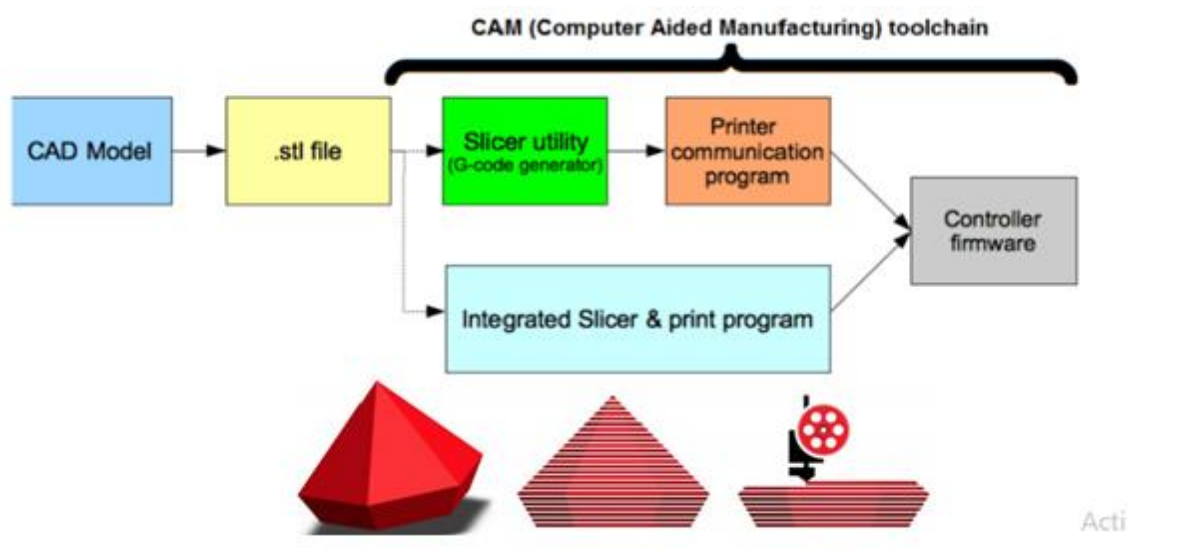
6. ábra: A képen egy G-code látható

Támasztó struktúrák



7. ábra: A képen egy támasztó struktúra látható

Támasztékokra azért van szükség, mert a levegőbe sajnos nem tudunk nyomtatni. Bizonyos modelleken vannak hidak (bridge) vagy túlnyúlások (overhang), amelyek technológiától függően alátámasztást igényelhetnek. Egy fejes nyomtatók esetében ezek a támasztékok a modellanyagból, kétfejes 3D nyomtatók esetében pedig valamilyen másik, a modell anyagról később könnyen eltávolítható alapanyagból készülnek.



7. ábra: A képen az elmondottak algoritmusos ábrázolása látható

A nyomtató felkészítése

A megfelelő alapanyag kiválasztása, annak nyomtatóba való töltése. Rétegvastagság beállítása, fűtési beállítások.

Építés

Ez már egy automatizált folyamat ebben a folyamatban nem feladata a tervezőnek, mikor elkészült a tárgy, akkor többnyire szükséges a tisztítás. A többletanyag eltávolítása, támasztóstruktúrák eltávolítása.

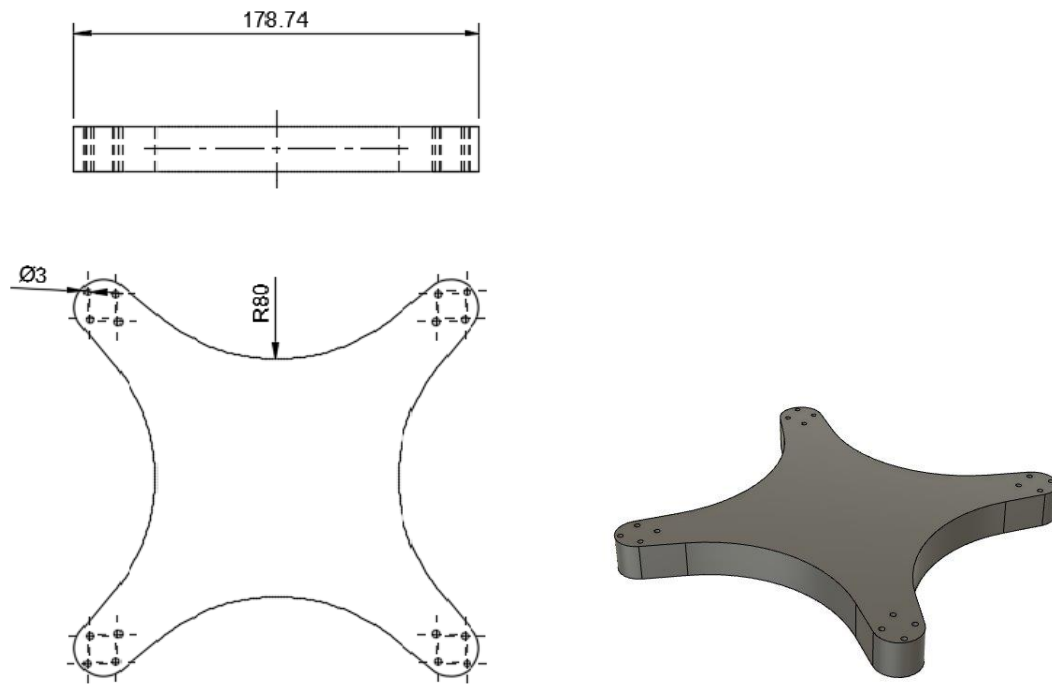


8. ábra A képen a tisztítás folyamatai láthatóak

2. A drón vázszerkezet elkészítése

2.1 Előkészítés

Az előző részben említett lépések után következett a drón váz elkészítése. A program, amelyben dolgoztam az Autodesk Fusion 360. Az **első lépés** egy alapmodell elkészítése, ez a modell szolgál a Generative Tervezés alapjának, tartalmazza a maximális méreteket, és később e modell lesz optimalizálva a már említett algoritmussal.



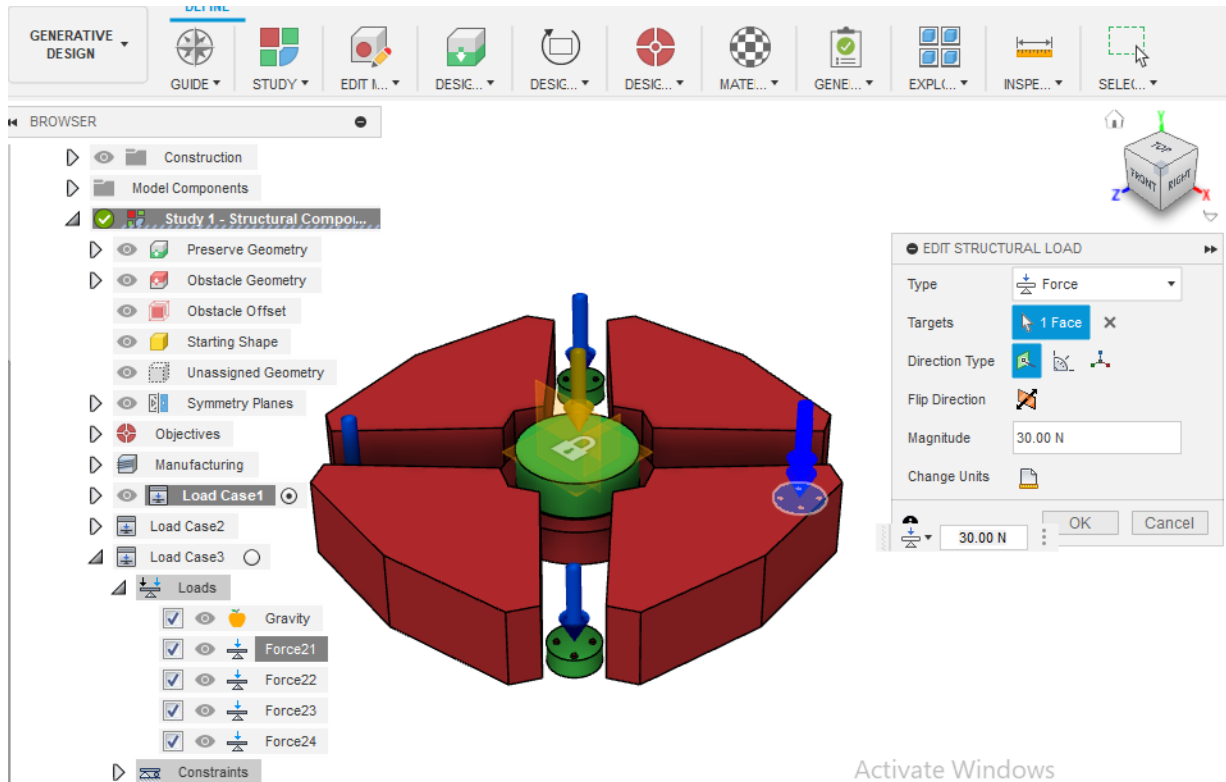
9. ábra: A képen az alapmodell technikai rajza és 3D modellje látható

Amint láthatjuk a szimmetria tengelyekből, a drón teljes mértékben szimmetrikus. Még egy fontos szempontja volt a tervezésnek, amely az, hogy a drónra minkét oldalról fel lehet szerelni a propellereket, ezt a folytatásban láthatjuk.

A **második lépés** a modell optimalizálása. Ez a már említett Generatív tervezéssel lett elérve. A munka elején elvégzett számítások alapján, és kétszeres biztonsági faktorral, **egy** propeller tolóereje **15 [N]**, biztonsági faktorral **30 [N]**. Ezeket a terheléseket a programba be tudjuk vinni, és ezek alapján végzi el az optimalizációt az algoritmus. Emellett ki kellett választani a gyártás módját és anyagát. A gyártás módja a már említett **additív gyártási mód**, az anyag pedig ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene). Fontos megemlíteni, hogy sajnos PLA (Polylactic Acid, politejsav) nem volt elérhető a programban, ezért a választás az ABS-re esett, mivel ennek az anyagnak vannak a leghasonlóbb mechanikai tulajdonságai. Az additív gyártási módnál az algoritmus úgy optimalizál, hogy a terhelés és a 3D nyomtatott rétegek merőlegesek legyenek, mivel ekkor tudunk a legnagyobb terhelést elérni egy 3D nyomtatott elemnél. Természetesen ezt nyomtatáskor be kell tartani, mivel hiába végez számításokat az algoritmus, ha mi nem olyan orientációban nyomtatjuk ki az elemet.

A **harmadik lépés** meghatározni azokat a régiókat, amelyeket az algoritmus **nem változtathat** meg. A képen a zöld színnel jelölt régiók a **megmaradó régiók** (Preserve Geometry). A piros színnel jelölt felületek, pedig a **határai** a modellnek, ezek az akadály régiók (Obstacle Geometry). Emellett ki kell választani egy régiót, amely le van rögzítve. A képen ez a régió a **“lakattal”** ellátott terület. Ezek után következik a **Célok**, ahol be tudjuk állítani, hogy maximális terhelést vagy minimális tömeget szeretnénk és a biztonsági faktort. Mivel a

munkában a terhelés számításánál már be lett számítva, biztonsági faktor **egy** és **minimális tömeget** szeretnénk a minél nagyobb hatótáv, és tolóerő-tömeg arány okán.



10. ábra: A képen a Generatív Tervezés felületét láthatjuk

Ezek után következik a **Generálás**, amely egy automatizált folyamat, és a felhasználó csak az eredményeket látja. Az Autodesk Fusion 360 programban ez a folyamat egy **felhőben** készül el, ami fontos abból a szempontból, hogy nem a saját számítógépünket terheljük a számításokkal.

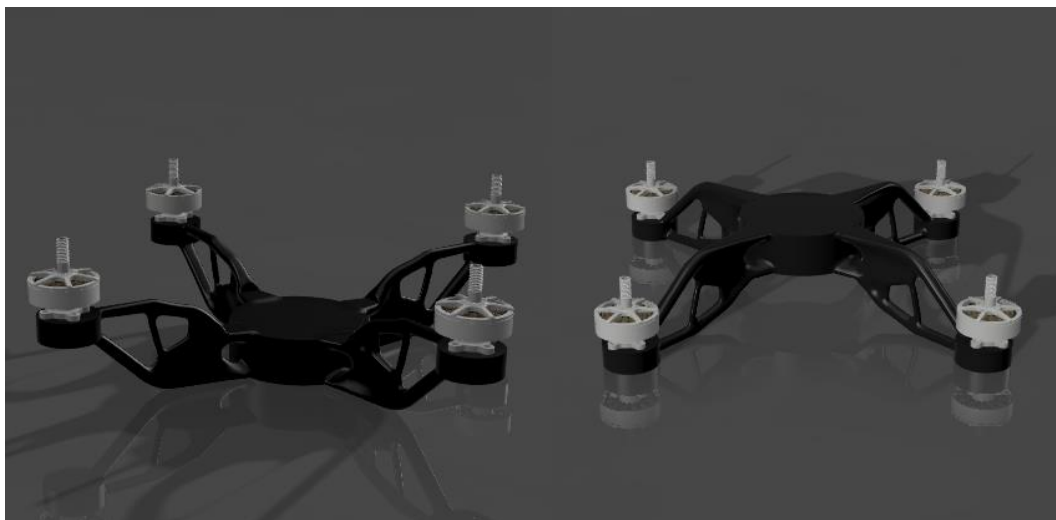
2.2 Eredmények

A Generálást követően a Generatív Tervezés több lehetséges modellt is elkészít, ezek közül tudjuk kiválasztani a számunkra legmegfelelőbbet. Ezeknek a modelleknek a mechanikai tulajdonságai változnak, és ezzel együtt az alakjuk is. A választásom az 5. modellre esett, amely következő képen látható. A specifikációja az Adalékok fejezetben található.



10. ábra: A képen a Generatív Tervezés eredménye látható

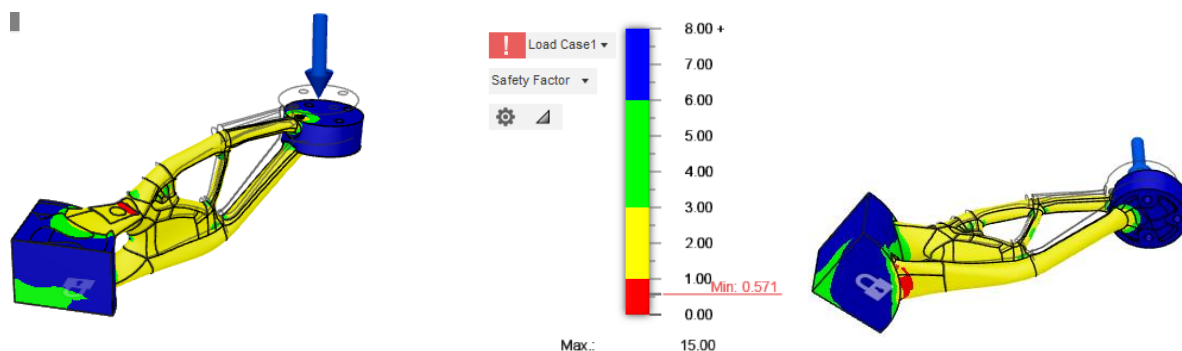
Ezt követően leteszteltem, hogy az optimalizálás után maradt-e elég hely a propellereket mindkét oldalról.



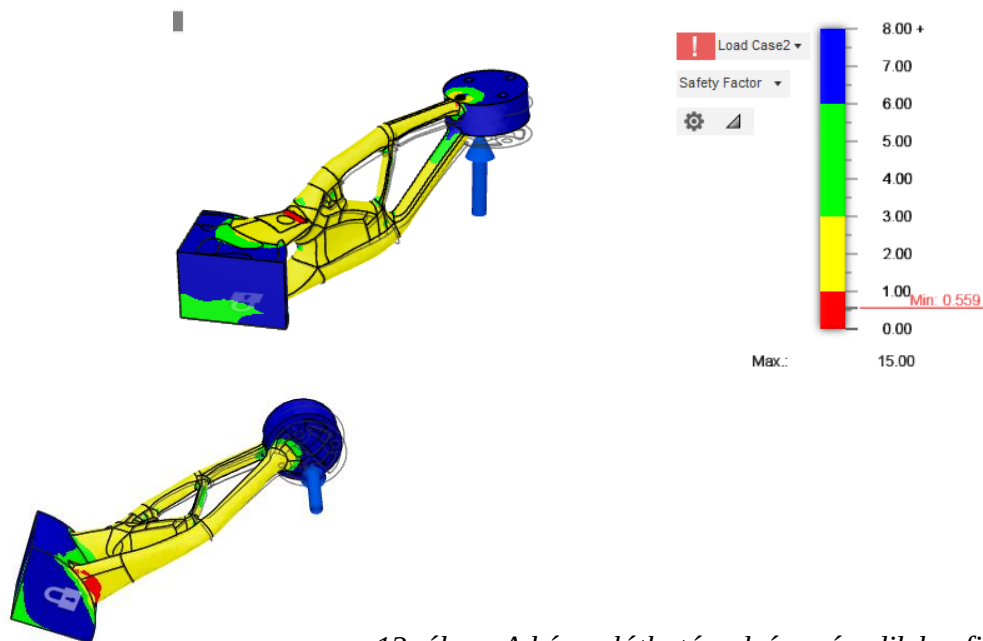
11. ábra: A képen látható a drón két konfigurációja

2.3 Terhelés szimuláció

A 3D nyomtatás és törés tesztek előtt még elvégeztem terhelés szimulációt. Egy rendkívül jó lehetőség, mivel a terhelés szimuláció és a törés tesztek eredményeit így összehasonlíthatom. A terhelési szimulációkat, mindkét oldal terhelésére elvégeztem, mivel a drónnak, az előző fejezetben említett, két konfigurációja is van. Az eredmények a következő képeken láthatóak.



12. ábra: A képen látható a drón első konfigurációjának a terhelési eredménye

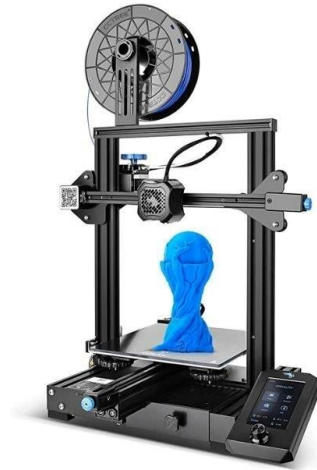


13. ábra: A képen látható a drón második konfigurációjának a terhelési eredménye

Mindkét esetben a kritikus terhelés a **350 [N]**. Ez a tervezett terhelésnek **30 [N]** a **11.5-szerese**, ami rendkívül jó eredmény, mivel az **Előkészítés** fejezetben említett, hogy minimális tömegre lett optimalizálva a modell nem maximális terhelésre. Fontos megfigyelni, hogy a **modell gyenge pontjai** ott vannak, ahol az alapmodell és az algoritmus által generált régiók találkoznak.

3. A drón vázszerkezet 3D nyomtatása

A drón vázszerkezet egy Creality Ender 3 V2 FDM nyomtató segítségével lett kinyomtatva. A nyomtató specifikációja az Adalékok fejezetben találhatóak.



14. ábra: A képen a Creality Ender 3 V2 3D nyomtató látható

A 3D nyomtatott elemek később törés teszten estek át, ezért egy jó lehetőség adódott válaszolni arra a kérdésre: **Mekkora terhelési különbség van az adott kitöltöttségi százalékok között?** Fontos megjegyezni a terhelési szimuláció eredményei a 100%-os kitöltöttséggel egyeznek, mivel a tervező programban a megtervezett modell tömör. A nyomtatás **PLA** anyaggal, **200 fok [C]**-on és **60 fok [C]**-os fűtött ágyon készültek el.

A kinyomtatott modellek 20%-tól 100%-ig 10%-os lépcsővel lettek kinyomtatva, így 9 modell került tesztelésre. Felmerülhet a kérdés, hogy miért nincs 0% és 10% ezek rendkívül alacsony kitöltöttségek, és nem alkalmasak funkcionális dolgok elkészítésére. A nyomtatás irányában lévő erőkre jelentősen érzékenyek.

4. A törés teszt

4.1 A teszt felépítése

A törés tesztet egy műhelyben végeztem el. A felhasznált műszer egy húzómérő. A képen látható módon történt a tesztelés.



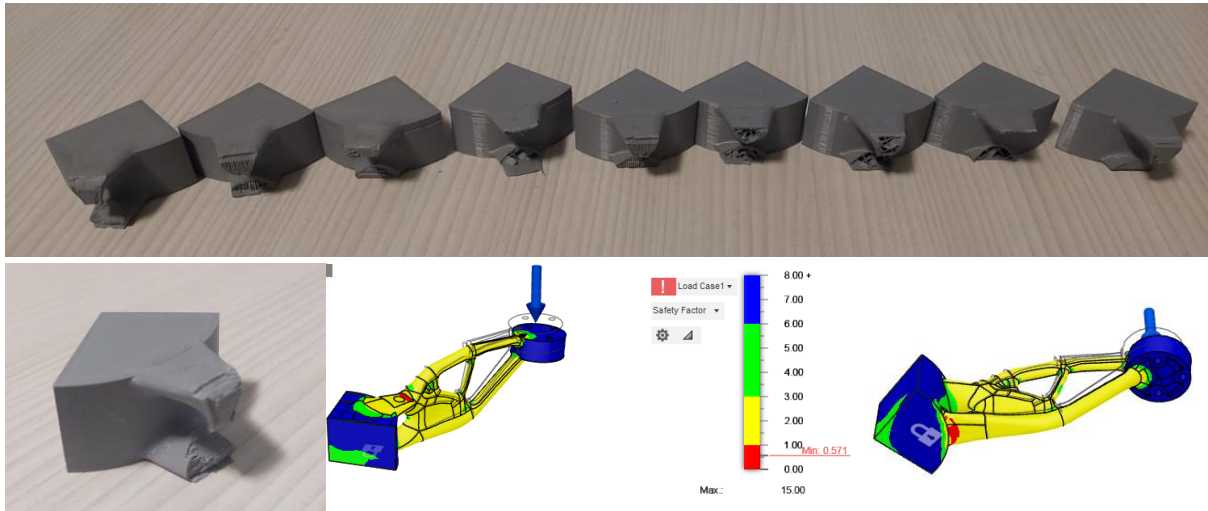
15. ábra: A képen a törés teszt felépítése látható

Amint a képen láthatjuk, a húzómérőt fordított állapotban használtam, így a húzómérő testére tudtam felerősíteni a súlyokat.

4.2 Eredmények

Kitöltöttségi százalék	Tömeg	Kritikus terhelés
20%	14.4g	18,6 kg (182,5 N)
30%	16.6g	19,2 kg (188,4 N)
40%	18,5g	19,6 kg (192,3 N)
50%	19,8g	21,3 kg (208,9 N)
60%	22,3g	22,4 kg (219,7 N)
70%	24,2g	26,8 kg (262,9 N)
80%	26,0g	27,9 kg (273,7 N)
90%	27,7g	29,3 kg (287,4 N)
100%	30,1g	35,5 kg (348 N)

A terhelés szimuláció pontosan megállapította a 100%-os modellnek a kritikus terhelését, emellett pontosan megállapította a törés helyét is.

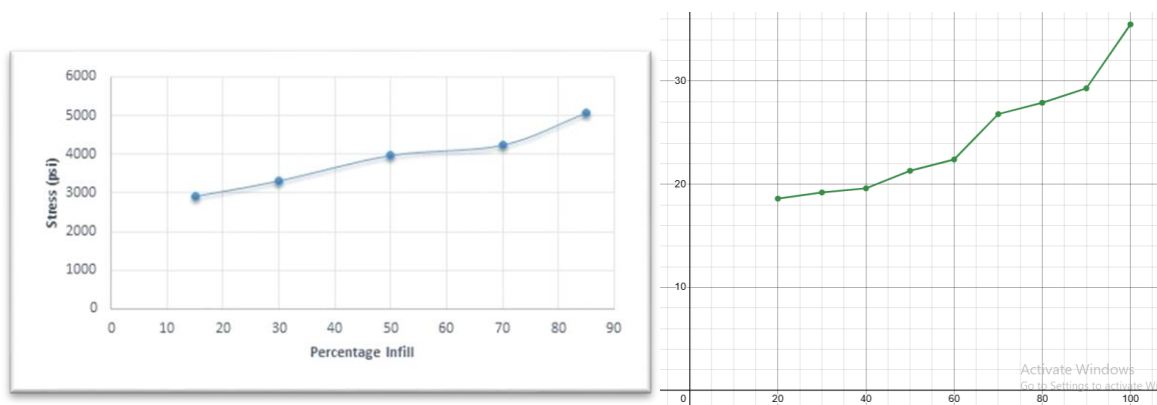


5. Adatok elemzése

Három eredményt is fel kell dolgozni. Mivel a munka **első célja** a **Generatív Tervezés hatékonyságának** bemutatása, ez lesz az első. Amint láthatjuk az adatokon az algoritmussal optimalizált modell a valóságban is a bevitt terhelés 11,5-szeresét bírja ki. Ezt az adatot a 100% kitöltöttségénél láthatjuk. Ez 10-szeres biztonsági faktort biztosít, ami valójában a túlméretezett kategóriába esik. Az ideális biztonsági faktor 3-tól 6-ig lenne a funkcionális elemeknek. Esetemben ez annak is a hibája lehet, hogy előre beszámoltam kétszeres biztonsági faktort. Mindenesetre ez azt jelenti, hogy a Generatív Tervezés **kiemelkedően jóminőségű modellt** hozott létre, **amely a tolóerő 1,5 [kg] (15 [N]) 23-szorosát is akár kibírja 35,5[kg] (348 [N])**. Az adatokból láthatjuk, hogy a **20% kitöltöttség lenne az ideális** a drón vázszerkezetének, mivel a bevitt terhelés 6-szorosát bírja ki, ami **6-szoros biztonsági faktort jelent**, amely a gyakorlatban használt felső határ. **A drón vázszerkezet tömege így 57,6 g**. A bevezetőben kiszámolt **155g volt a felső határ**, hogy elérjük a 1-10-hez tolóerő-tömeg arányt. **A tolóerő-tömeg arány így 11,9 lenne, amellyel teljes mértékben alátámasztom a hipotézisem.**

Második cél a **terhelés szimuláció** és a **valódi kritikus terhelés** összehasonlítása volt. A terhelés szimulációban a **kritikus terhelés a 350 [N]**, a valóságban a **kritikus terhelés 348 [N] volt**. Amely esetben **99.4% pontosságot** jelent. Ez kifejezetten jó eredmény, mivel a törés tesztet nem professzionális körülmények között végeztem el, mivel nem volt rá lehetőség. Az eredmény alátámasztja a terhelés szimuláció pontosságát és egyben a törés tesztek eredményeit is. Mindemelett pontosan megállapította a törés helyét is.

A **harmadik cél** pedig a **kitöltöttségi százalékok közötti terhelési különbség** megállapítása volt. A hipotézis a lineárisan növekedés volt, mivel számos ilyen kutatás van az interneten, amiből egy látható a következő képen a saját grafikonom mellett. Az eredmény alátámasztja a kutatást.



16. ábra: Az első képen: <https://engineerdog.com/2015/09/02/mechanical-testing-3d-printed-parts-results-and-recommendations/> kutatásai alapján létrejött grafikon látható, a másodikon a saját kutatás alapján, szintén a terhelés a kitöltöttség függvényében

6.Összegzés

A munka célja a Generatív Tervezés hatékonyságának letesztelése volt, amely sikeres lett. A munka elkészítése közben eszméltem rá, hogy még két dolgot le tudok tesztelni egy kísérlet segítségével. A terhelés szimulációs teszt is sikeres volt, kiemelkedő pontosságot kaptam, emellett a törés helyét is pontosan megállapította a szimuláció. Végül de nem utolsó sorban a 3D nyomtatás egyik kérdését is megválaszoltam, hogy milyen módon változik a kitöltöttség függvényében a modell teherbírása.

Összességében egy sikeres kutatás áll mögöttem, rengeteget megtanultam a 3D tervezésről, a 3D nyomtatásról, és természetesen a drónokról is. A munka tovább fejlesztése több irányba is mehet. Az első irány, amelyet tervezek is megcsinálni, összerakni a drónt és tesztelni a repülési adatait, és összehasonlítani egy gyári vázszerkezettel ezeket az információkat. A másik irány a 3D nyomtatással kapcsolatos. A munkában csak egy anyagból nyomtattam, ez nem más, mint a PLA, a piacon többféle anyag is elérhető (ABS, PETG). Ezek tesztelése, és az adatok feldolgozása után érdekes kérdés lenne, hogy melyik anyag a legoptimálisabb a drón vázszerkezet elkészítésére.

Források

<https://3dpros.com/guides/settings-infill>

<https://www.edutus.hu/wp-content/uploads/2021/10/Acta-Periodica-XXIII-masolat.pdf>

https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/43461/TFG_Antu%F1a_Herrero.pdf;jsessionid=DF044D510DDE0DE3DD352BCAADE5CAF9?sequence=3

<https://hu.m.wikipedia.org/wiki/Szak%C3%ADt%C3%B3szil%C3%A1rds%C3%A1g>

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Tol%C3%B3er%C5%91#L%C3%A9gcsavar>

<https://oscarliang.com/table-prop-motor-lipo-weight/#Whats-a-Freestyle-FPV-Drone>

<https://www.unitconverters.net/force/newton-to-gram-force.htm>

https://store.tmotor.com/product/v2207_5-v2-fpv-motor.html

<https://www.freedee.hu/wp-content/uploads/2017/01/FreeDee-kisokos-A-3D-nyomtat%C3%A1s-alapjai-2017.pdf>

Adalékok

A 3D nyomtató specifikációja: Creality Ender 3 V2

Product Parameters		
Machine size: 475*470*620mm	Package weight: 9.6kg	Supported OS: MAC/WindowsXP/7/8/10
Print size: 220*220*250mm	Hotbed temperature: ≤100°	Slicer software: Simplify3d/Cura
Molding technology: Fused diposition modeling	Layer thickness: 0.1-0.4mm	Print precision: ±0.1mm
Product weight: 7.8kg	Filament: PLA/TPU/PETG	Filament diameter: 1.75mm

T-MOTOR V2207.5 V2 KV1750 5"Freestyle Fpv Racing Drone Motor specifikációja:

Features

- One-Piece Bell Design
- Titanium Shaft
- N52 Arc Magnet
- Lightweight: 2-3g

Specifications

V2 V2207.5 1750KV Motor:

- KV: 1750
- Dimensions: 27.6*31.45mm
- Lead: 20#AWG 150mm
- Internal Resistance: 74mΩ
- Configuration: 12N14P
- Rated Voltage (Lipo): 6S
- Peak Current (60s): 35.7A
- Shaft Diameter: 4mm
- Idle Current(10V): 1.15A
- Max.Power (the 60s): 794W
- Weight (Excl. Cable): 30.8g

<https://www.youtube.com/watch?v=ZaBlsTkxKIM> - A drón részeinek a kiválasztására használt oldal

A drón vázszerkezet modelljének a specifikációja:

Properties	
Mat...	Tough 2000 (with Formlabs SLA 3D ...
Orientation	-
Manufacturing method	Unrestricted
Visual similarity	Ungrouped
Volume (mm ³)	105,133.596
Mass (kg)	0.123
Max von Mises stress (MPa)	4.585
Safety factor limit	1
Min safety factor	8.943
Max displacement global (mm)	1.04