

# DRÓN TÖMEGÉNEK CSÖKKENTÉSE ÉS HATÓTÁVJÁNAK NÖVELÉSE GENERATÍV TERVEZÉSSSEL

## WEIGHT REDUCTION AND RANGE INCREASE OF UAV USING GENERATIVE DESIGN

Seregi Bálint Leon demonstrátor, [balint.seregi@gmail.com](mailto:balint.seregi@gmail.com)  
Dr. Ficzer Péter, egyetemi adjunktus, [ficzer.peter@kjk.bme.hu](mailto:ficzer.peter@kjk.bme.hu)

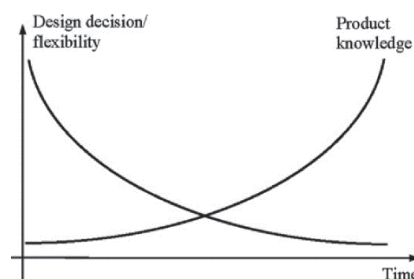
**ABSTRACT** Generative design has the potential to be optimized with different parameters by a design method based on artificial intelligence, by defining the design problem. The use of this method on a drone frame is to be presented with an explanation of the various design phases. The goal of the optimisation was to be able to fit a battery with a larger capacity onto the UAV and compensate its increasing weight with the reduction of the drone frame using a generative algorithm. As the production possibilities were limited, the adaptation to the selected manufacturing technology was also taken into account during the optimization.

### 1. BEVEZETÉS

A gépészeti tervezés egy komplex folyamat. A mérnöknek egy konstrukció tervezése során nem csak a funkcionális elvárások kielégítésére és a biztonságra kell tervezni, hanem a költségekre, felhasználói igényekre, élettartamra és gyárthatóságra is figyelnie kell. Éppen ezért egy termék tervezésekor több fajta változat megalkotása után választja ki a legoptimálisabb, minden igénynek elégségesen megfelelő verziót. A rapid prototyping elterjedésének köszönhetően már lehetőség van gyorsan legyártani és tesztelni mindegyik változatot. Ennek ellenére megfigyelhető a tervezési paradoxon jelensége, mely a termék ismeretének és a tervezési döntések viszonyát mutatja az idő függvényében a termék tervezésétől a gyártásig (1. ábra) [1]. Ennek a mérnöki hatásnak szintén kiemelkedő befolyása van a költségekre, legnagyobb részt a tervezési fázisban és a gyártás előkészítésben. A paradoxon kiküszöbölésére alkalmas a rapid prototyping. Ennek főbb okai:

- növeli a hatékonyabb kommunikációt a tervezők között a több és gyorsabb iterációkkal
- csökkenti a fejlesztési időt
- csökkenti a költséges hibák esélyét (rejtett hibák)

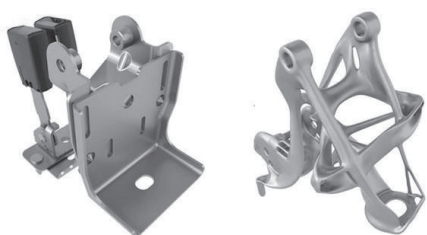
- növeli a termék élettartamát a szükséges funkciók hozzáadásával és a felesleges funkciók kiküszöbölésével a tervezés elején
- lehetővé teszi a termék korai javítását már a koncepció fázisában



1. ábra A tervezési paradoxon

Az additív, azaz anyaghozzáadással járó gyártástechnológia merőben különbözik az elődje, a szubtraktív technológiától. A forgácsolás történetében, mikor megjelent a számítógépes vezérlés (Computer Numeric Control), a technológia nagyot ugrott előre hatékonyságban, termelékenységekben és pontosságban is. Megjelentek az 5-tengelyes gépek, valamint a 6-tengelyes robotkarok is, melyek esetében a szerszám és a megmunkálandó anyag a korlátozó tényezők. Vannak ugyanis olyan geometriák, melyet nem tud legyártani még a 6-tengelyes robotkar sem, mivel egyszerűen a szerszám nem fér oda egyes konkáv területekre. Az a keményebb, nehezen megmunkálható anyagok esetén pedig szükség van erősebb anyagból készült szerszámra, szerszám kialakításra és különleges megmunkálási paraméterekre is. Továbbá a leválasztott anyagmennyiségtől függően a forgács, mint veszteség jelenik meg. [2] Korunk technológiai ipari kihívásai egyre nagyobb méreteket öltenek. Egyre kisebb tömegű és térfogatú alkatrészekre van szükség a megfelelő szilárdsági tulajdonságok megtartása vagy javítása mellett. Ezek mellett a

szűkülő határidők betartása is egyre nagyobb kihívást jelent. Ezekre a generatív tervezés kínál megoldást. A technológiával több külön részegységből álló összeállításokat egy alkatrészre lehet összevonni, ami a szerelési és gyártási időt csökkenti. Gyakran az így megtervezett alkatrészeknek kedvezőbb szilárdsági tulajdonságaik vannak, mint a több részegységből álló összeállításoknak. A kisebb tömeg kevesebb anyagfelhasználást jelent és a járművekben hatékonyabb. Mivel ez egy automatizált tervezési folyamat, ezért jelentősen kevesebb időt igényel, mint a hagyományos tervezés, így sok munkaórát meg lehet spórolni és lerövidül a termék piacra kerülési ideje.



2. ábra. Az eredeti és a generatív konstrukció

Leggyakrabban a járműipari felhasználásokról lehet olvasni, ahol egy vagy több alkatrészből egy tömeg csökkentett konstrukciót alkotnak. Ez közlekedési szempontból nyilvánvaló, hiszen környezeti hatást és költségeket csökkentő megoldás a kisebb fogyasztás és nagyobb fékteljesítmény miatt. A General Motors-nál például egy új optimalizált üléstartót terveztek, amely egy szabványos autóalkatrész, amely rögzíti a biztonsági öv rögzítőit az ülésekhez és az üléseket a padlóhoz. Míg előzőleg ez konzol nyolc darabból volt összeillesztve, a generatív szoftver több mint 150 alternatív mintával állt elő, amelyek érdekes formákból álltak (4. ábra). A nyolc helyett egy rozsdamentes acélból készült darab, a GM által választott 40 %-kal könnyebb és 20 %-kal erősebb konstrukció lett mint ez előző hagyományosan tervezett konzol. [3] A tömegcsökkentés bemutatására egy kisméretű drón vázának átalakításához a generatív algoritmust használjuk fel. A cél, létrehozni egy kisebb méretű röpképes drónt egy generatív tervezett vázzal, ezzel csökkentve a gép tömegét. Az ok pedig, hogy egy adott teljesítményt leadó motorral felszerelt gépnek a maximális sebessége nagyrészt a gép össztömegétől is függ, tehát ennek minimalizálása kulcs szempont. Az akkumulátor tömegét sajnos nem lehet elég effektíven csökkenteni, mivel ennek változtatása

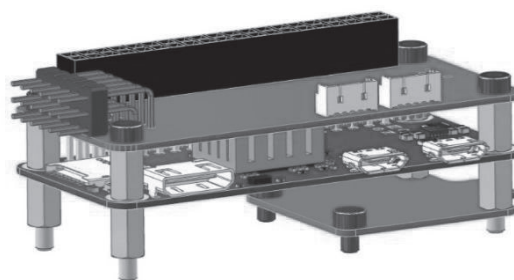
negatívan jelentkezik az elérhető hatótávon, ha kisebb akkucsomagot alkalmazunk. Éppen ezért a vázat akkora tömeggel szeretnénk csökkenteni, hogy az egy nagyobb akkucsomaggal is azonos tömegű legyen, ezzel növelve a hatótávot. A motor mérete szempontjából kedvező, hogy kereskedelmi forgalomban kaphatóak nagy teljesítményű, de kis méretű kivitelek. A vezérlés és elektronika szempontjából pedig a szükséges ESC-ket (Electronic Speed Controller) tartalmazza és egy PXFmini autopilot kártyát, ami a Raspberry Pi Zero fedélzeti számítógéphez csatlakoztatva elvégzi a létfontosságú funkciókat, mint a stabilizálás és az RC kapcsolat létrehozás.

## 2. MÓDSZER

Mivel a négy motor teljesítménye 2800 grammos teherbírást eredményez, ez jelenti a drón kritikus tömegét, ami alatt kell maradni a tervezés során. A váz nélküli tömeg, tehát az egyéb alkatrészek, mint a motorok, nyomtatott áramkörök és az akkumulátor összesen 404 grammot nyomnak. Ez a megengedett tömeg egy hetede, mely azt is jelenti, hogy a drón nagyobb sebességet is el tud érni, valamint a fogyasztása is kedvezőbb még a váz minimalizált tömegével is. A váz anyaga ABS műanyagból készül, melynek paramétereit (1. táblázat) fogjuk felhasználni a váz generálásakor is

1. táblázat ABS műanyag mechanikai tulajdonságai [4]

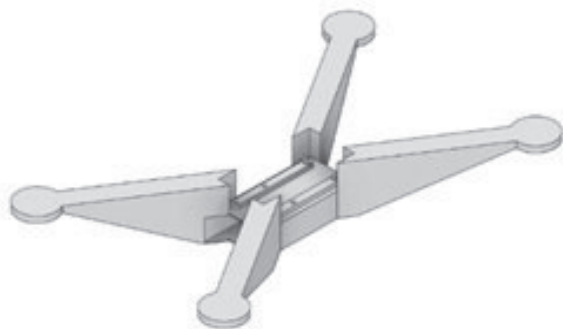
|                              |      |
|------------------------------|------|
| Young modulus [GPa]          | 2.24 |
| Szakítószilárdság [MPa]      | 29.6 |
| Sűrűség [g/cm <sup>3</sup> ] | 1.06 |
| Poisson együttható           | 0.38 |



3. ábra. Az elektronika a drón agya, melyről a jármű teljes vezérlése történik

Először egy alapkoncepció létrehozása szükséges. Az elektronikát lehetőség van egy tömbként kezelni a kialakításuknak köszönhetően. (3. ábra). Az akkumulátor elhelyezése az elektronika alá kerül a motorok síkjá alatt 38 mm-

rel, mivel ezzel a tömegközéppont is ez alá a sík alá kerül, így egy stabilabb repülést biztosítva egy adott fokig, mint egy inga. A tervezés szempontjából szükség van egy alap modellre, melyen meg kell adni a megmaradó régiókat, rögzítési pontokat és terheléseket. A megmaradó régiók jelentik azokat a területeket, melyhez az algoritmus nem nyúlhat, nem módosíthatja. Esetünkben ez a motorok rögzítési pontjai, melyen a kerek tárcsák a nagyolt modellen. Továbbá az elektronikát két bordához szeretnénk rögzíteni, melyeket szintén megmaradónak adunk meg, az akkumulátor dobozának a falával egyetemben. Rögzített kényszerként a bordákban elhelyezett furatokat adtuk meg, ezzel lekötve a modell összes szabadsági fokát. A terheléseket a motorok rögzítési pontjaira adtuk meg, 7 N-nal felfelé, mellyel a motorok felhatjőerejét szimuláljuk. Egy másik terhelési esetben pedig az akkumulátor súlyát szimulálva, a korongokat rögzítettük és a központi sík felületre került a terhelés 14 N nagysággal. Mivel a legveszélyesebb terhelések nem a tervezett, normál menetciklus alatt keletkeznek, hanem a váratlan meghibásodásokból vagy repülési balesetekből adódó erők, így a legrosszabb eset (Worst-case-scenario) kockázatelemzési elvét felhasználva, további három terhelési esetet definiáltunk, melyek frontális, oldal és 45 fokos irányból való becsapódást vizsgálnak akkora terheléssel, mely a drón vázát érné egy 6 méterről való zuhanás végén a becsapódás pillanatában. Ennek értéke kb. 307 N, melyet a tárcsákra definiáltunk, esetenként különböző szögekkel.



4. ábra. A nagyolt modell, melyet kezdőformának használunk fel

A szimulációhoz kezdeti geometriaként a nagyolt modellt sdtuk meg, hogy az algoritmus egy ilyen jellegű geometriával kezdje az optimalizálást. Ez a megmaradó és akadály régiók mellett engedi kissé befolyásolni a geometriát. Ha az általunk

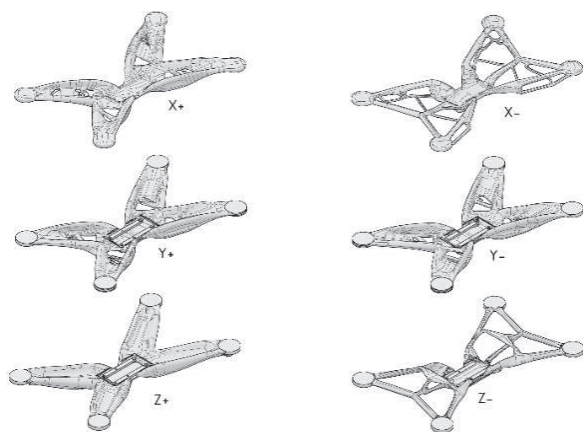
megadott kezdeti geometria eleve nem felel meg a terheléseknek, akkor az algoritmus ettől el fog térni, tehát a kialakuló geometriát csak a megmaradó és akadály régiókkal lehet kontrolálni, ha például kritikus, hogy a generált modellnek milyen irányú és mekkora kiterjedése lehet.



5. ábra. A megmaradó régiók (zölddel) és az akadály geometria (pirossal)

### 3. VIZSGÁLAT

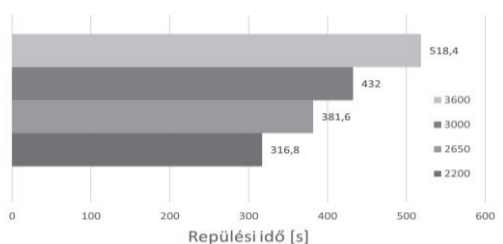
A tömegcsökkentésnek köszönhetően lehetőség van egy nagyobb kapacitású akkumulátort helyezni a drónra, mellyel több repülési időt érhetünk el.



6. ábra. A generált eredmény a lehetséges építési irányukkal

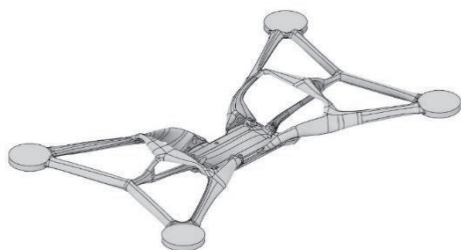
Az alap koncepció szerint a 2200 mAh-s akkumulátort tartalmaz a drón, de a tömegcsökkentésnek köszönhetően egy nagyobb kapacitású csomag felhasználása is lehetőség nyílt úgy, hogy az össztömeg nem növekszik. A 2200 mAh-ás csomagnak 168 gramm a tömege, az ennél egy lépcsővel magasabb kapható kapacitás a 2650 mAh-ás csomag, melynek tömege 232 gramm. Az össztömeg ezzel csökken, mivel a váz tömegén többet csökkentettünk, mint amennyi a két akkumulátor tömegének a különbsége. A generatív váz tömege 79 g. A

kapacitásnövekedéssel elért repülési idő pedig ezzel akár 65 másodperccel növekedhet. (7. ábra)



7. ábra. Elérhető repülési idő a különböző kapacitású akkumulátorokkal

Kiválasztásra a Z- építési irányú modell lett kiválasztva. (8. ábra) A legnagyobb ébredő feszültség ott jelentkezett, ahol a felhasználó által megadott megmaradó régiók és a program által generált részek találkoznak. Ennek további csökkentése érhető el a megmaradó régiók pontosabb megválasztásával, valamint a szimulációk többszöri iterálásával, illetve a biztonsági tényező növelésével. További fontos tervezési paraméter, az orientáció gyártás esetén. Mivel az ABS ma már igen elterjedt a hobbi 3D nyomtatós körökben és a piacon kapható FDM nyomtatók is megfelelő minőségben tudnak nyomtatni, így az algoritmust additív gyártásra való optimalizálásra is be lett állítva. Ez esetben a szoftver figyelembe veszi a rétegek orientációját a terhelésekhez képest, így a kialakult geometriát ennek megfelelően a lehető legerősebbre kívánja alakítani. Ez mind a tervező, mind a szoftver részéről fontos paraméter, mivel az egyes orientációk között a megengedett legnagyobb feszültség értéke akár a másfélszerese is lehet [5]



8. ábra. A kiválasztott váz, mely tömegben és merevségben is megfelel a meghatározott feladathoz

#### 4. ÖSSZEGZÉS

A generatív tervezéssel történő tömegcsökkentés került bemutatásra egy drón esetében. Látható volt, hogy ezzel a módszerrel egy hatékonyabb koncepció létrehozására tettünk szert. A generatív tervezés megfelelő használata számos téren nyújt segítséget egy új vagy egy már meglévő koncepció

kialakításában. A járművek tömegének csökkentése mindig is fontos szempont volt az iparban, így ennek egyre szélesebb használata ezen a téren várható. Az e-mobilitás terén is sok segítséget jelenthet, mivel a legnagyobb probléma mindig az akkumulátorok mérete és tömege, mely nagyban kihat a fogyasztásra és a hatótávra is. Bár egy személyautó esetében a tömegcsökkentés komplexebb, a bemutatott példa jól tükrözi, hogy ez egy forradalmi megoldás lehet a jövő járműiparára nézve. Más szempontból pedig fontos az is, hogy a megnövekedett számítási kapacitásoknak köszönhetően már sokkal több típusú koncepciót tudunk összehasonlítani, ezzel is megadva a lehetőséget, hogy a lehető legoptimálisabb megoldást válasszuk tervezéskor.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka az Arkance Systems HU Kft. támogatásával valósult meg.

#### 6. IRODALOM

- [1] Chang, K.H.: Product Performance Evaluation using CAD/CAE (Academic Press), 2013, URL <https://books.google.hu/books?id=tc47vqyr4GACL>.
- [2] Siva Rama Krishna and P.J. Srikanth. Evaluation of environmental impact of additive and subtractive manufacturing processes for sustainable manufacturing. Materials Today: Proceedings, 45:3054–3060, 2021. ISSN 2214-7853. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.060>. , International Conference on Advances in Materials Research - 2019.
- [3] Alderton, M.: Driving a lighter, more efficient future of automotive part design, 2021, <https://www.autodesk.com/customer-stories/general-motors-generative-design> Accessed: 2021.06.21
- [4] Martinetti, Margaryan, van Dongen: Simulating mechanical stress on a micro Unmanned Aerial Vehicle body frame for selecting maintenance actions, Procedia Manufacturing, 2018, p 61-66, ISSN 2351-9789
- [5] Y. Tanoto, J. Anggono, I. Siahaan, W. Budiman: The effect of orientation difference in fused deposition modeling of ABS polymer on the processing time, dimension accuracy and strength, AIP Conference Proceedings, 2017, <https://doi.org/10.1063/1.4968304>