

# KRITÉRIUMOK ÉS LEHETŐSÉGEK ADDITÍV GYÁRTÁSRA OPTIMÁLT ALKATRÉSZEKNÉL

## REQUIREMENTS AND POSSIBILITIES FOR COMPONENTS OPTIMIZED FOR ADDITIVE MANUFACTURING

*Dr. Dömötör Csaba\**

### ABSTRACT

*This article presents the requirements for the redesign of spare parts made with additive manufacturing and the possibilities of their simplification. Through a few examples, it examines in detail the steps taken to meet the requirements and the utilization of the potential possibilities in 3D printing.*

### 1. BEVEZETÉS

Napjainkban az egyre szélesebb körben elérhető additív gyártástechnológiák új távlatokat nyitottak a meghibásodott alkatrészek pótlásának megoldásában. Ahogyan a meghibásodott részegység 3D modelljének újra alkotásában is új lehetőségeink vannak, ezek legyártása is jóval gyorsabb és egyszerűbb lehet.

Az első lépés az adott alkotóelem rekonstrukciója, ami régóta a legalapvetőbb mérnöki feladatok közé tartozik. Ezen alkotó tevékenység lényege, hogy egy kézzel fogható, de legtöbb esetben elhasználódott (kopott, törött, károsodott) alkatrésznek meghatározzuk az eredeti geometriáját. A folyamat fontos része, hogy a kijelölt alkatrészről az újragyártáshoz szükséges méret-, tűrés- és alapanyag-információkat tartalmazó műszaki rajz készüljön, ha nem áll rendelkezésre a gyártási dokumentáció.

A modern additív gyártástechnológiákkal a rekonstrukciós folyamatból a vetületi ábrázolási lépés elhagyható. De például 3D nyomtatással történő megvalósítás esetén is törekedni kell az adott technológia által létrehozható geometria és elérhető maximális szilárdság optimumára.

### 2. A REKONSTRUKCIÓ CÉLJA

Alkatrészek rekonstrukciójára több esetben is szükség lehet. Ilyenek okok lehetnek az alábbiak. [1]:

- *Nincs pótalkatrész* és terméktámogatás.
- *Kieső idő csökkentésének* igénye a meghibásodott alkatrész hosszú beszerzési ideje miatt.
- *Gazdaságos javítás* igénye túlságosan drágán beszerezhető gyári alkatrész esetén.

A felsorolt esetek mindegyikénél elengedhetetlen a szerelhetőség és működtetés szempontjait figyelembe vevő pontossággal bíró geometria meghatározása. [2]

### 3. A REKONSTRUKCIÓ FELADATA

Az *eredeti geometria ismerete*, valamint a normál működésből, eseti túlterhelésből vagy környezeti hatásokból adódóan *várható feszültségállapot meghatározása* elengedhetetlen a gyártandó pótalkatrész CAD modelljének megtervezése, módosítása, illetve szükség esetén VEM vizsgálattal támogatott optimalása során. A geometriát a károsodás mértékétől függően hagyományos mérőeszközökkel, 3D koordináta mérőgépekkel, illetve az érintkezéses vagy érintkezés nélküli, optikai felület digitalizáló eszközökkel is meghatározhatjuk. További alternatív megoldást jelenthet a digitális 2D képalkotás eszközeinek használata is. [1] [3]

A 2D profil felhasználásával létrehozott vagy pl 3D szkenneléssel generált térbeli geometria több utómunkát is igényelhet. Ezek egyrésze egyszerűen csak a szkennelési hibák javítását jelenti. Viszont jelen cikk azt vizsgálja, hogy a geometria milyen további áttervezést *igényel*, illetve *tesz lehetővé* a legyártáshoz alkalmazott additív technológia alapvető tulajdonságai miatt. Fontosnak tartom kiemelni, hogy mind a 3D modell javítása és pontosítása, mind pedig annak valódi áttervezése átfogó konstrukciós ismereteket és tervezési tapasztalatot igényel.

### 4. ÁTTERVEZÉS

Miután tehát megkaptuk az eredeti alkatrész-geometriát, legyártás előtt lehetőségünk van annak fejlesztésére. Akár VEM segítségével vizsgálatokat végezve, akár csak a várható terheléseket, a bekövetkezett meghibásodást, illetve az alkatrész számára a termékben rendelkezésre álló helyet figyelembe véve – többnyire anyaghozzáadással – erősíthetünk a tönkremenetel szempontjából kritikus keresztmetszeteken. [1] Esetenként még hatékonyságnövelésre vagy új funkció kialakítására is sor kerülhet.

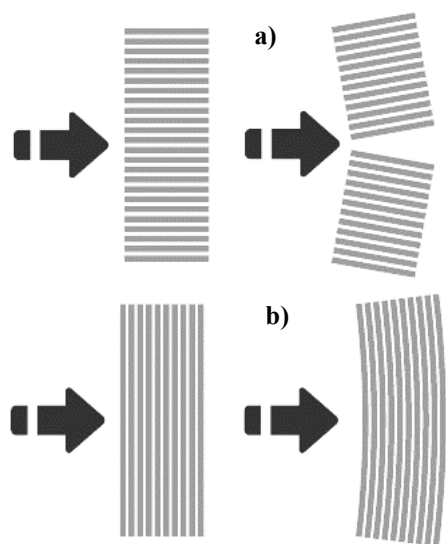
\* *egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet*

## 4.1 Követelmények

Az átervezés során az *alapanyag*, valamint az *alakadó eljárás megváltozása* következtében első közelítésben az ezekből származó követelmények és peremfeltételek betartására kell koncentrálni.

### 4.1.1 Rétegek iránya

A kutatások rávilágítottak, hogy az alkatrészek felépítésének iránya, vagyis az, hogy a nyomtatási rétegek mely síkkal párhuzamosan követik egymást, releváns hatással bírnak a késztermék mechanikai tulajdonságaira. [5] Könnyű belátni, hogy egy olyan technológiánál, ahol a rétegek szétválása valós probléma, az azok mechanikus szétválasztását eredményező terhelési irányokat kerülni kell. Rétegekből felépülő termék esetén tehát ügyelni kell rá, hogy például a nyírőerők a rétegekre merőlegesen alakulhassanak ki.



1. ábra a) Rétegirányú és b) rétegekre merőleges irányú nyírófeszültség hatása a nyomtatott próbatestre [6]

### 4.1.2 Szálorientáció és kitöltés

Ugyanígy a szálorientáció és a belső kitöltés mértéke is olyan paraméterek, amelyeket tudatosan kell megválasztanunk. A GAMF Anyagtechnológia Tanszékén végzett mérési sorozat eredményei szerint például a 45°-os szálorientáció minden mért esetben nagyobb ütő-hajlító szilárdsággal, nagyobb szakító szilárdsággal és nagyobb szakadási nyúlással rendelkező próbatesteket eredményezett. [7]

### 4.1.3 Felületi érdesség

Szintén az additív eljárásokkal létrehozott termékek jellemzője a felületi anizotrópia. Ez a felületi érdesség irányfüggő mivoltát jelenti, amit egymással érintkező, de még inkább egymáshoz képest relatív elmozdulással működő alkatrészek esetében kell figyelembe venni a rétegződés irányának megválasztásakor. [8]

### 4.1.4 Anyagválasztás

Az FDM nyomtatás alapanyagának kiválasztása is döntő szempont, ha relatíve hosszú élettartamú termék készítése a cél. A leggyakrabban használt alapanyagok az ABS, ASA és PLA [9], illetve ezek adalékolt változatai. Ezek közül a könnyű (alacsonyabb hőmérsékletű) nyomtathatóságáról ismert PLA talán a legnépszerűbb. Persze ennek megfelelően a hőtűrése is a megszokottnál alacsonyabb, maximum 60°C-ra korlátozódik. Ezt szem előtt kell tartani olyan késztermékek nyomtatásánál, amelyek a beépítési helyükön, illetve működés közben ennél magasabb hőmérsékletnek lehetnek kitéve, melyet akár az erős napsütés is kiválthat hétköznapi körülmények között. Megoldást jelenthet a CPLA (kristályos PLA), mely alapanyagot magasabb hőigényű termékekhez terveztek. A CPLA-ból nyomtatott munkadarabok hőállósága 80°C -ig terjed. [10]

Ha nagyobb igénybevételre számítunk, akkor a megnövelt mechanikai teljesítménnyel rendelkező TPLA (kemény PLA) jelent jó választást. A TPLA elnevezés talkummal adalékolt PLA-ra utal, ahol a talkum egy természetes ásvány, amely segít a PLA-nak keményebb anyag kialakításában. Így a könnyű nyomtathatóságot megőrizve kaphatunk megnövelt ütésállóságot, de csak a PLA-ra jellemző alacsonyabb hőállóság mellett. [11]

### 4.1.5 Alkatrészspecifikus vizsgálat

Az általános alapelveken túl a konkrét alkatrészeket célirányosan is meg kell vizsgálni, hogy például Szükséges-e / Lehetséges-e / Indokolt-e:

- ...a falvastagság növelése?
- ...egyes teherviselő részek kiváltása? (pl.: fém tengellyel)
- ...a teherviselő részekben merevítő betétek befogadására alkalmas üregek kialakítása?
- ...merevséget javító összekötő elemek betervezése a funkcionális részek közé?
- ...a nyomtatáskor létrejövő támasz minimalizálása, helyette maradó támasztékok tervezésével?

## 4.2 Lehetőségek

Az anyagból és technológiából adódó peremfeltételeken túl a nyomtatandó termék modelljének további átervezése is lehetséges, de ezek már nem követelményként, hanem inkább lehetőségként fogalmazhatók meg.

### 4.2.1 Egyszerűsítés

A meghibásodott és cserélni kívánt alkatrész eredeti gyártástechnológiájából ugyanis származhatnak olyan alaksajátosságok, melyek az új technológia esetén már elhagyhatók vagy leegyszerűsíthetők. Mindezt csak akkor tehetjük meg, ha ezen részek nem hordoznak használati funkciót és nem vesznek részt a terhelések felvételében sem. Ilyen lehet például a kúposág és oldalferdeség elhagyása, ami a fröccsöntött műanyag

alkatrészek gyártásakor szükséges a szerszámok nyitására, valamint a késztermék kilökésének megkönnyítéséhez, de indokolatlanná válik additív eljárással létrehozott termékek esetén.

#### 4.2.2 Egyedi gyártás és kézi szerelés

Szintén az eredeti alakadási és szerelési folyamatok változása miatt nyílik lehetőségünk például a gépi szerelhetőség miatt felbontott alkatrészek összevonására, vagy a gépi megfogást és automata orientációt segítő alakelemek elhagyására, illetve egyszerűsítésére is.

#### 4.2.3 Új funkciók

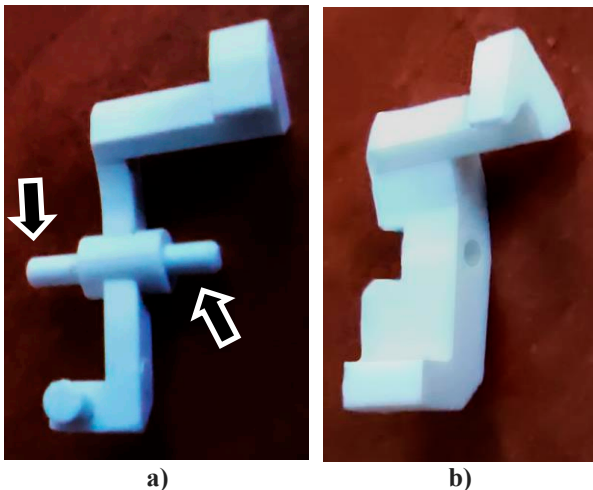
Az új technológia és anyag nemcsak a pótalkatrészek gyártási idejének vagy költségének csökkentésében játszik szerepet, de lehetőséget teremthet új funkciók kialakítására is. Így például kihasználható az additív gyártással készülő termékek terhelésekkel szembeni irányfüggő viselkedése.

### 5. PÉLDÁK

Érdekes megvizsgálni az előző bekezdésekben tárgyalt alapelvek alkalmazását néhány szemléletes példán keresztül. A bemutatott alkatrészek minden esetben egy tönkrement eredeti termék kiváltására készültek és így valós rekonstrukciós tervezési feladatot jelentett az újbóli legyártásuk.

#### 5.1 Kapcsolókar

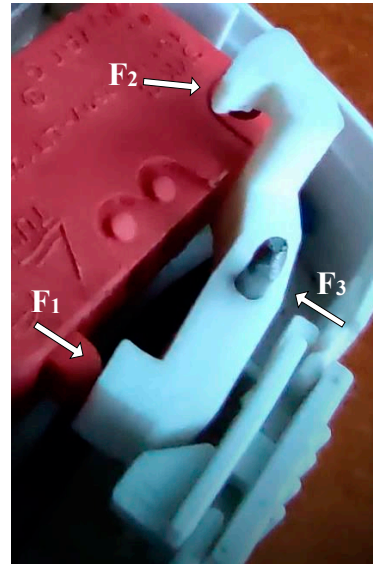
A 2. ábra egy kis alapanyagigényű alkatrészt mutat be, ami egy mechanikus idővezérelt kapcsolóra billenőkarja. Az eredeti geometria ezen elem esetében több szükségszerű átalakításon is átesett, melyeket minden esetben a választott technológia indokolt.



2. ábra a) Eredeti és b) áttervezett billenőkar

A hajlító igénybevétel minél jobb elviselése érdekében az eltört kis keresztmetszetű kar maximális

vastagságot kapott a rendelkezésre álló hely, a beépítési pozíció és az alkatrész mozgástartományának figyelembevételével. További változtatás, hogy az eredetileg fröccsöntéssel készülő alkatrészen ugyanazon anyagból kialakított, 2.a ábrán nyilakkal jelölt forgási tengelyvégek helyére egy azokkal azonos átmérőjű furat került, amibe később egy acél tengely illeszthető, ezzel növelve a gépelem várható élettartamát. (3. ábra)



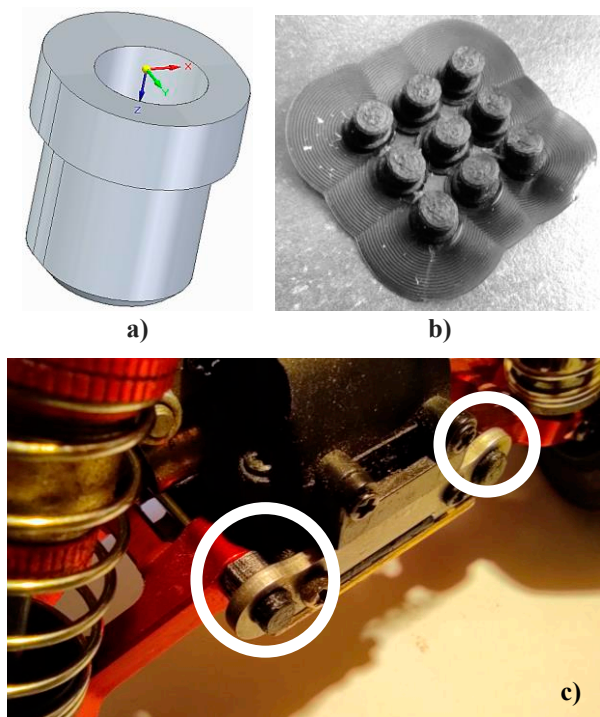
3. ábra Nyomatott billenőkar fém tengellyel

Az így módon előállított pótalkatrész esetén magától értendő, mégis fontos kiemelni, hogy a várható terheléseket figyelembe véve fektetett állapotban célszerű nyomtatni. Természetesen azt egyfajta funkcióvesztésként kell értékelni, hogy a 3D nyomtatással készült pótalkatrész az alapanyagául szolgáló TPLA-ra jellemző alacsonyabb hőállóság miatt ~40-50°C-nál melegebb környezetben nem üzemeltethető megbízhatóan és hosszú élettartammal. A működése során ugyanis folyamatos hajlítófeszültségnek van kitéve az általa vezérelt, 3. ábra bal oldalán is látható elektromos kapcsoló (F<sub>1</sub>) rugóereje, az alkatrész túloldalán lévő siklófejnél átadódó (F<sub>2</sub>) kapcsolóerő és a közepén átfutó tengelynél fennálló támasztóerő (F<sub>3</sub>) miatt. Tapasztalatként elmondható, hogy az így legyártott munkadarab a beépítéstől számított 2 éven belül nem hibásodott meg és folyamatosan megfelelően működik.

#### 5.2 Modellautó alkatrész

Az új funkciók létrehozására mutat szemléletes példát a 4.a. ábrán látható alkatrész, ami egy rádió távirányítású modellautó első lengővilla tengelyének játégmentes befogására szolgáló, egyik végén zárt, peremes hüvely. A futóműgeometria változtathatósága miatt a kialakítása nem forgásszimmetrikus, hanem enyhén lapított, valamint a benne kialakított kör keresztmetszetű üreg sem közepén helyezkedik el. (4.a ábra)





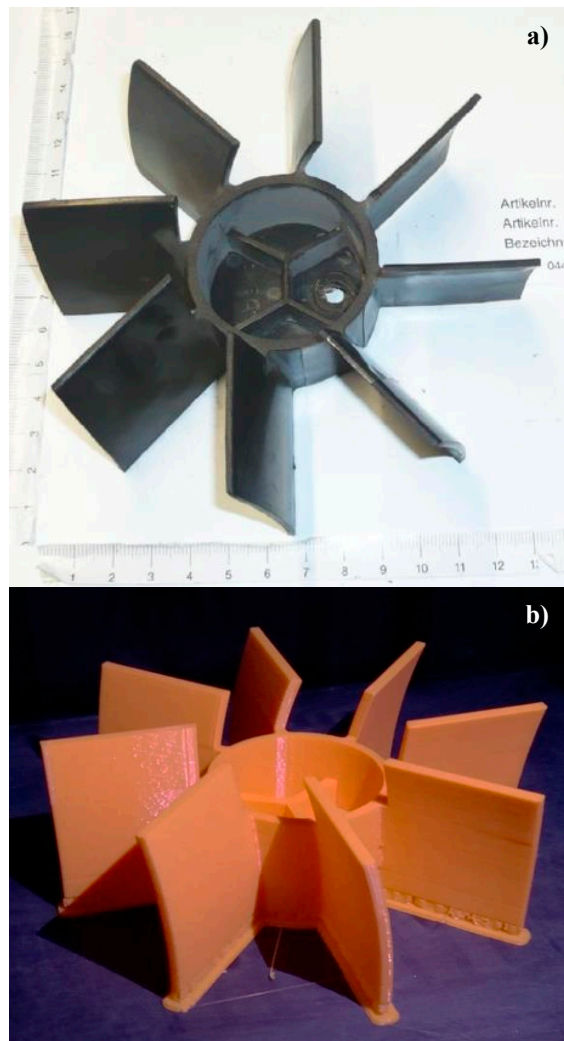
4.ábra.

- a) Tengely pozícionáló hüvely CAD modellje
- b) Több példányban nyomtatott pótalkatrészek
- c) Beépített állapot a modellautóban

A használati tapasztalat azt mutatja, hogy 3D nyomtatáskor a furat tengelyére merőleges rétegződéssel gyártva ez az egyszerű alkatrész új funkciót is kaphat. Normál működés esetén ugyanis az eredeti alkatrészhez hasonlóan hosszú élettartammal bír, ütközéskor viszont törőelemként működik, hiszen a rétegek mentén könnyebben elpattanva képes megakadályozni a drágább alkatrészek (pl a benne forgó tengely vagy a lengővilla) deformációját vagy törését.

### 5.3 Hűtőventilátor

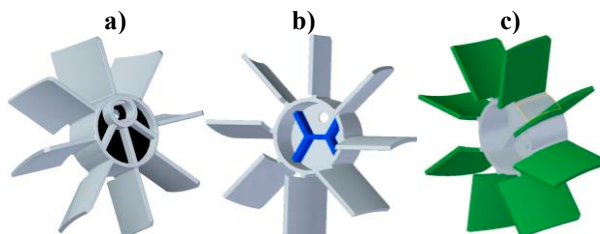
A következő vizsgált gépelem egy kompresszor hűtőventilátora, ami működéskor szintén intenzívebb hőterhelésnek van kitéve. Ennél az alkatrésznél azonban nem statikus erőhatásokkal kell számolni, hanem alacsony frekvenciájú rezgéssel. Ezzel egyidőben a nagy fordulatszám következtében fellép egy centrifugális erő, amit sugárirányban kifelé irányuló, fiktív tehetetlenségi erőnek tekintünk. Rosszul megválasztott rétegződés esetén ez a centrifugális erő a rázkódással együtt a ventilátor lapátjainak letörését okozhatja. Viszont az 5.b ábrán látható módon, az alkatrészt tengelyére merőleges síkokból felépítve már nem okoznak problémát ezek a hatások.



5.ábra.

- a) Eredeti Einhell pótalkatrész [12]
- b) Elkészült alkatrész a nyomtatási munkatérben

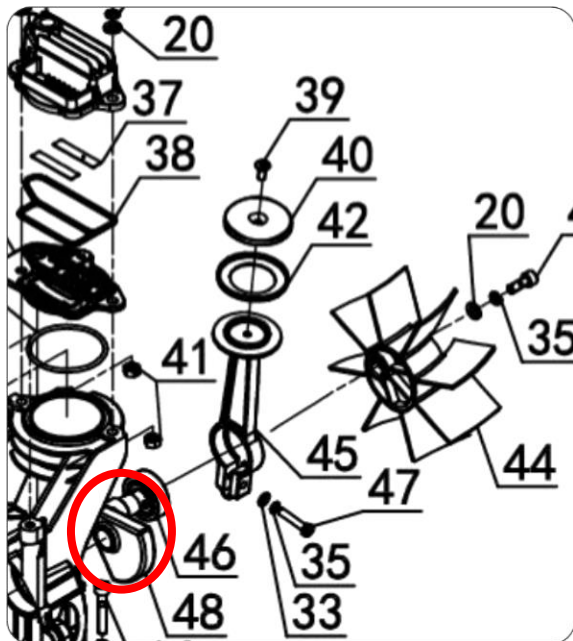
Az alkatrész hosszú élettartamának eléréséhez több helyen is érdemes növelni a falvastagságot. Így a kiindulópontként az eredeti geometriát lekövetve megtervezett CAD modell több módosításon is átesett, melyekből hármat a 6.ábra mutat be.



6.ábra. A ventilátor megerősített részei

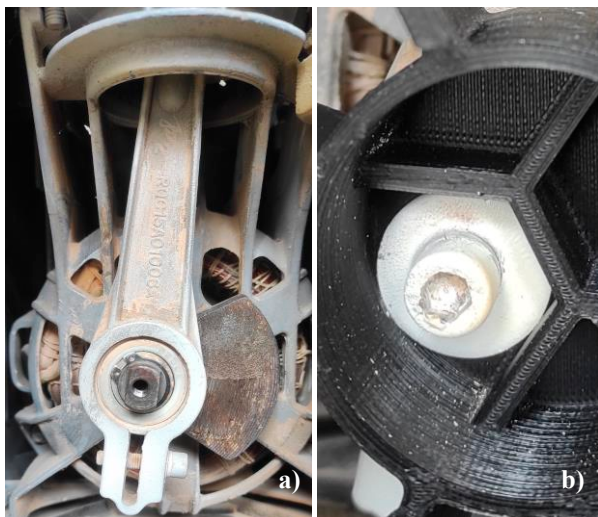
- a) Ventilátor alapsík erősítés
- b) Szélesített merevítőbordák
- c) Megvastagított lapátok

A forgástengelyre merőleges alapsík (6.a ábra) az alkatrész legfontosabb csatlakozó felülete, mert ez fekszik fel a motor excentrikus tengelyvégén, ami a 7. ábrán látható 3D robbantott nézet 48-as tételszámmal jelzett alkatrésze.



7. ábra. A robbantott ábra részlete [13]

Az 8.a ábrán jól látható, hogy a kompresszor ventilátora egy forgattyús mechanizmus excentrikus tengelyvégére illeszkedő alkatrész. A rekonstrukciós mérések során az ütésmentes járás érdekében a minél pontosabb furatpozíció meghatározása elengedhetetlen volt. Az excentricitás mértékére 12,8 mm adódott, vagyis ekkora távolság mérhető a központi forgástengely és az alkatrészen kialakított furat tengelye között.



8. ábra.

- a) Forgattyús mechanizmus excentrikus tengelyvéggel
- b) Stabil rögzítést támogató fém alátét

A nagyobb stabilitást és jobb hőtűrési igényt szem előtt tartva a sík felfekvő felület 1,2 mm-ről 1,7 mm-re lett növelve. Emellett a felületi nyomás csökkentése érdekében a tengelyvéghöz történő rögzítést ellátó belsőkulcsnyílású csavar alá egy nagyméretű fém alátét került. (8.b ábra)

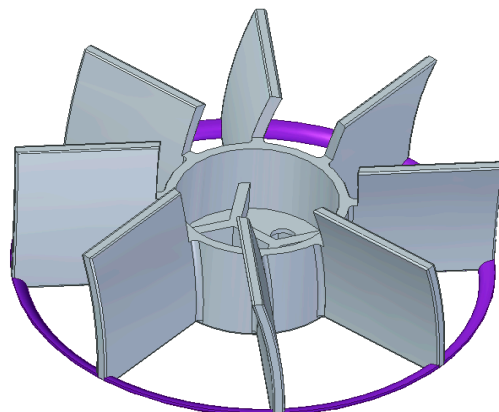
Ahhoz, hogy a járókereket nagyobb alátéttel lehessen a helyén tartani, az agy merevítésére szolgáló bordák nyomvonalai kisebb átalakításon estek át, miközben a falvastagság is növelve lett a felfekvő felület mindkét oldalán lévő bordaháló esetében, amit a 6.b ábrán sötétebb színnel kiemelt részek szemléltetnek.



9. ábra. Járókerék a beépítés helyén

Ezen kézenfekvő és szükségszerű változtatásokon túl még egy fontos módosítás történt az alkatrészen, ami a lapátok vastagságának növelését jelentette (6.c ábra). Ennél a változtatásnál már egy optimumkeresés is része volt a folyamatnak. A vastagabb lapátoknak ugyanis nemcsak előnyös hatásuk van a járókerékre, de közben a forgástengelytől távolabb eső anyag többletből származó tömegnövekedés miatt a működtetés közben fellépő centripetális gyorsulás növekedését is okozzák. Emellett a túlságosan vastag lapátok áramlástani szempontból is hátrányt jelentenek.

Az üzemeltetés során továbbfejlesztési javaslatként merült fel a lapátok peremmel történő merevítése is, amit a 10. ábra szemléltet



10. ábra. Lapátok merevítése karimával

Ez egy olyan körbefutó karima, ami merevítő hatása miatt alkalmas élettartamnövelésre, de nem gátolja a radiális irányban kilépő, hengertér felé áramló levegő útját. A lapátsort kizárólag az egyik, a nyomtatáskor alulra eső külső sarkainál kötjük össze azért, mert így az alapvető elvárást jelentő nyomtatási támasz minimalizálása is megvalósul.

A modellen végrehajtott változtatások eredményeként a termék – időközönkénti használat mellett – évek óta problémamentesen működik. (9. ábra)

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az additív gyártástechnológiák új távlatokat nyitottak a pótalkarész-gyártás terén. Az eredeti alkatrész-geometriák azonban gyakran áttervezést igényelnek. Ennek oka, hogy egyszerre változik meg az alapanyag és az alakadó eljárás is. Ezeket figyelembevéve általános alapelvek is megfogalmazhatók, de legtöbb esetben az egyedi alkatrész geometriáját, terhelésállapotát, funkcióit és működését is figyelembe vevő speciális változtatások szükségesek és lehetségesek.

## 7. SUMMARY

Additive manufacturing technologies have opened new horizons in the field of spare parts production. However, original part geometries often require redesign. The reason for this is that both the material and the forming process change at the same time. Based on these, general principles can also be formulated. But in most cases, special changes are necessary and possible, considering the geometry, load condition, functions and operation of the individual part.

## 8. IRODALOM

- [1] Dömötör, C.: Reconstruction of Simple Parts Using FDM Technology. *Design of Machines and Structures*, 13(2), 13-21. (2023) ISSN 2064-7522 <https://doi.org/10.32972/dms.2023.013>
- [2] Bihari Z; Sente J: Speciális geometriájú gépelemek rekonstrukciója, *Multidiszciplináris Tudományok*, 1pp. 143-150. (2011) ISSN 2786-1465 <https://ojs.uni-miskolc.hu/index.php/multi/article/view/74/71>
- [3] Sarka, F.; Tóbis, Zs.: A 3D scannelés és prototípusgyártás alkalmazási lehetősége csomagoló szerszámok gyártásában -esettanulmány, *GÉP* 68: 4 pp. 47-52. (2017) ISSN 0016-8572 <https://www.gepujsag.hu/2017/11/10/2017-4/>

- [4] Topa M., & Dömötör Cs.: Fröccsöntő szerszám tervezése. *Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye*, 9(3), 44-56. (2019) ISSN 2786-1465 <https://doi.org/10.35925/j.multi.2019.3.4>
- [5] Konya G.; Ficzere P.: The Effect of Layer Thickness and Orientation of the Workpiece on the Micro- and Macrogeometric Properties and the Machining Time of the Part during 3D Printing, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering* 67: 2 pp. 143-150. (2023) ISSN 0324-6051 <https://doi.org/10.3311/PPme.21473>
- [6] Craig Alexander: How Part Orientation Affects a 3D Print, *Formero*, <https://formero.com.au/blog/how-part-orientation-affects-a-3d-print/> (2023.07.26.)
- [7] Ádám B., Polgár B.: 3D nyomtatott próbatetek mechanikai vizsgálata, *Gradus Vol 6, No 1*, (2019) 185-191 ISSN 2064 8014 [https://gradus.kefo.hu/archive/2019-1/2019\\_1\\_ENG\\_018\\_Balazs.pdf](https://gradus.kefo.hu/archive/2019-1/2019_1_ENG_018_Balazs.pdf)
- [8] P. Ficzere: Surface Anisotropy on 3D Printed Parts, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 68(3), pp. 272–277, (2024) ISSN 0324-6051 <https://doi.org/10.3311/PPme.37770>
- [9] Marada I.; Bihari J.: A kisméretű műanyag fogaskerek FDM és SLA elven történő 3D nyomtatása során szerzett tapasztalatok, *GÉP* 73: 3-4 pp. 60-65. (2022) ISSN 0016-8572 <http://www.gepujsag.hu/wp-content/uploads/2022/04/gep-2022-3-4.pdf>
- [10] What's the Difference Between PLA and CPLA? <https://www.ecopulppak.com/info/what-s-the-difference-between-pla-and-cpla-74277848.html> (2022.08.22)
- [11] Which UltiMaker material should I use? <https://support.makerbot.com/s/article/1667337612208> (2024.04.22)
- [12] Einhell Service - Spareparts / Accessories, Article number: 02050502044, [https://www.einhell-service.com/en\\_DE/402050502044.html](https://www.einhell-service.com/en_DE/402050502044.html)
- [13] Einhell Compressor TH-AC 200/40 OF spareparts [https://www.isc-gmbh.info/nl\\_NL/4020516-th-ac-200-40-of.html](https://www.isc-gmbh.info/nl_NL/4020516-th-ac-200-40-of.html)
- [14] O.Diegel, A. Nordin, D. Motte: A Practical Guide to Design for Additive Manufacturing, Springer, (2020), ISBN 978-981-13-8283-3 (printed) <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8281-9>