

Gávy György Viktor<sup>1</sup>

## LOGISZTIKAI JÁRMŰVEK ALKATRÉSZPÓTLÁSA 3D NYOMTATÁSI TECHNOLÓGIA ALKALMAZÁSÁVAL

### REPLACEMENT OF PARTS FOR LOGISTIC VEHICLES USING 3D PRINTING TECHNOLOGY

[HTTPS://DOI.ORG/10.30583/2023-3-4-208](https://doi.org/10.30583/2023-3-4-208)

#### **Absztrakt**

*A haditechnikai eszközök és azon belül a katonai járművek, harcjárművek alkatrészeit, javítóanyagait az alkalmazás, illetve rendszerben tartás ideje alatt a hadrafoghatóság érdekében biztosítani kell. A publikáció célja az alkatrészpótlás megvalósításának lehetősége az egyik legkorszerűbb és folyamatosan fejlődő technológiával, a 3D nyomtatás segítségével.*

**Kulcsszavak:** hadfelszerelés, alkatrészpótlás, alkatrészfejlesztés, 3D modellezés, 3D nyomtatás

#### **Abstract**

*The components and repair materials of military equipment, including military and combat vehicles, must be ensured during their use and maintenance in order to support their reliability. The purpose of this publication is to provide the opportunity to implement component replacement with the help of 3D printing, one of the most modern and continuously developing technologies.*

**Keywords:** armaments, component replacement, component development, 3D modelling, 3D printing

---

<sup>1</sup> Dr. Gávy György Viktor őrnagy, PhD, NKE Hadtudományi es Honvédtisztképző Kar, Haditechnikai Tanszék, adjunktus.  
ORCID: 0000-0003-0632-5650

## Bevezetés

A haditechnikai eszközök és azon belül a katonai járművek, harcjárművek alkatrészeit, javítóanyagait az alkalmazás, illetve a rendszerben tartás ideje alatt a hadrafoghatóság érdekében biztosítani kell. A katonai szervezetek a várható problémákra már a hadfelszerelések, eszközök rendszerbe állításának idejében, illetve a felszerelések beszerzésekor felkészülnek, ezáltal a megfelelő polgári vállalatokkal megkötött szerződésekkel vagy saját képességekkel biztosítják az eszközök üzemképességét, készletteljességét, illetve azok technikai hadrafoghatóságát. Béketerületen az alkatrészpótlás és a technikai jellegű logisztikai nehézségek könnyebben megoldhatóak, de műveleti területen az előre nem tervezett problémák ideiglenes vagy tartós megoldása már komoly technikai felkészültséget és sok esetben kreativitást igényel. Egyértelmű cél a szabályzóknak való megfelelés, de a feladatellátás minden esetben prioritást élvez. Angol eredetű kifejezés a „field-modified”, azaz „harctéren módosított”, melyet az eszköz alkalmazhatóságának vagy képességeinek javítása érdekében végeznek el. Amennyiben ez dokumentált technikai módosítást jelent, a későbbiekben a tapasztalatokat az eszközmodernizációk során fel lehet használni. Valós és nemzetközi szinten is általánosnak mondható probléma a 20-40 éves eszközök alkatrészellátása, mivel a legváratlanabb esetekben történhetnek alkatrészcsere- és törések, ezáltal a haditechnikai eszközök alkalmazhatóságát befolyásoló meghibásodások kockázata megnő. A műanyag alkatrészek elöregednek, rideggé válnak, a gumi alkatrészek megrepednek, a fém alkatrészek kopnak, korrodálnak, törnek. Az üzemfenntartási tevékenységre fordított munkaórák számának növelésével, a részletesebb ellenőrzések, technikai kiszolgálások bevezetésével a meghibásodások száma csökkenthető. Az eszközök megbízhatóságának ilyen módon történő javítása csak úgy érhető el, ha a nem megfelelő állapotban lévő alkatrészeket cserélni, illetve pótolni lehet. Ez a publikáció olyan lehetőséget mutat be egy logisztikai eszköz problémáját alapul véve, mely nagyobb területen is alkalmazható lehet a katonai eszközök tekintetében.

## Az alkatrészpótlás lehetőségének vizsgálata

A publikáció témája a műveleti területen jelentkező alkatrész és javítóanyag ellátási problémák csökkentési lehetőségének vizsgálata. A megválaszolandó kérdés az, hogy lehet-e, illetve milyen módon

lehet pótolni egy sérült alkatrészt 3D nyomtatási technológia segítségével, továbbá, milyen feltételek kialakítása szükséges ehhez műveleti területen.

A megvalósíthatóság érdekében az alkatrészpótlásra irányuló javaslat kidolgozásához fel kell mérni a technikai lehetőségeket és a korlátozó tényezőket. A cikkben kidolgozott vizsgálat alanya egy relatíve egyszerű geometriával rendelkező alkatrész, egy hűtőfolyadékcső tartója, melynek szerepe speciálisnak mondható egy Mercedes-Benz Unimog 1300 terepjáró tehergépkocsi alkatrészeként.

Egy alkatrész-beszerzés esetén korlátozó tényező, hogy a katonai harc- és gépjárművek, azok beszerzési és rendszerbe állítási eljárása eredményeképpen tartozhatnak hadfelszerelés vagy felszerelés kategóriákba. A hadfelszerelés és azon belül a haditechnikai eszközök kiemelt katonai célra fejlesztett és gyártott eszközök halmazát jelentik. A Mercedes-Benz Unimog 1300 típusú terepjáró tehergépkocsi a Bundeswehr számára gyártott és a Magyar Honvédség által a 2000-es években megvásárolt haditechnikai eszköz, mely hadfelszerelésnek minősül. A hadfelszerelés fogalma egyértelműen jelzi, hogy polgári forgalomba nem, vagy csak külön engedéllyel kerülhet, és ez nagymértékben korlátozza az alkatrészpótlás lehetőségeit is. A Bundeswehr számára legyártott jármű saját típusszámot kapott, a gyártmányokat forgalmazó kereskedői hálózatok ezeket a jelöléseket általában nem ismerik, vagy megfelelő engedélyek nélkül az információt nem adják tovább. Természetesen egy ilyen eszköz alkatrészeinek jelentős része valamelyik polgári célú járműben megtalálható, de a pótlás során az alkatrészt egyértelműen be kell azonosítani, sok esetben a hibás alkatrészt egy kereskedelmi egységben éppen raktáron lévővel kell összehasonlítani. Az alkatrészbeszerzés engedélyét az illetékes katonai szervezettől meg kell kérni, és a pótalkatrész beazonosítását szolgáló adatot, például a cikkszámot érdemes adatbázisban rögzíteni a későbbi felhasználhatóság érdekében.

Az alkatrészpótlás előírásainak és a jogszabályi háttér előírásainak betartása különös figyelmet igényel béketerületen is, de műveleti területen az ellátási lánc bonyolultsága, a feladatellátás körülményei esetleg lehetetlenné teszik a hibás eszköz javítását és annak visszatérítését az üzemeltető alegységhez. Műveleti, különösen harci viszonyok között az eszközök igénybevétele tág határok között változhat, az üzemeltetési biztonságot nem veszélyeztető mértéktől egészen a meg nem térülő veszteség állapotának bekövetkezéséig. A fokozottabb igénybevétel alapja a terepakadályok leküzdése vagy például az

intenzívebb manőverezési kényszer okozta váratlan erőhatások. A „háborús sérülések” esetében többnyire a kézfegyverek, repeszek stb. által okozott kisebb, a helyben javítható esetekről beszélhetünk. Ezek olyan javítási módot igényelhetnek, mely hozzáilleszthető a logisztikai helyzethez. Az ilyen jellegű problémák leküzdésére jelenthetnek megoldást az új, additív gyártástechnológiák, ez esetben a 3D modellezés és nyomtatás alkalmazása. A 3D nyomtatás katonai műveleti területen történő alkalmazásával kapcsolatban már jelenleg is folynak reménykeltő kísérletek.<sup>2</sup>

## **A 3D nyomtatásos technológiák rövid áttekintése az alkalmazhatóság szempontjából**

A publikáció célja az alkatrészpótlás lehetőségének vizsgálata, ezért célszerű a gyártási módszereket áttekinteni eljárás, anyaghasználat, pontosság és költség szempontjából.<sup>3</sup>

A 3D nyomtatás, mint additív gyártástechnológia, napjainkban rohamosan fejlődik, felhasználási területe folyamatosan növekszik. Ilyen területek többek között az egészségügyi, orvostechikai termékek gyártása, a hadiipar vagy az oktatás.<sup>4</sup> Ez a technológia kis méretű (1-10 mm), bonyolult geometriájú, egymásba illeszkedő, illetve üreges tárgyak előállításától egészen a több tízméteres nagyságú, egyenes falú műtárgyak, például épületek nyomtatásáig alkalmazható.<sup>5</sup> Az eljárás a munkadarabot egy nulla helyzetből kiindulva állítja elő, azaz az alkatrész anyagának hozzáadása és a kialakítása egy időben, rétegről rétegre történik. A 3D nyomtatási technológia megjelenésekor az egyik első és jelentős alapanyag a műanyag volt, mely a mai napig fontos maradt, elsősorban az alacsony gyártási költségeknek köszönhetően. A különböző műanyagokon kívül akár fém, valamilyen szálerősítésű kompozit vagy speciális beton is lehet az alapanyag.

---

<sup>2</sup> Végvári Zsolt: A 3D nyomtatás felhasználási lehetőségei a műveleti logisztikában – *Katonai Logisztika* 33. évf. (2023) 1-2. szám 177-198. o.

<sup>3</sup> Kónya Gábor, Ficzer Péter: A rétegvastagság és az alkatrész tájolásának hatásai az alkatrész mikro- és makrogeometriai jellemzőire a 3D nyomtatás során *Gradus* Vol 9, No 2 (2022) ISSN 2064-8014

<sup>4</sup> Gyarmati József, Hegedűs Ernő, Gávay György: Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó: Harckocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomtatással oktatási célból *Műszaki Katonai Közlöny* 32: 3 pp. 113-126. 14 p. (2022)

<sup>5</sup> Ember István, Ádám Balázs: Kumulatív töltetek 3D nyomtatása *Hadmérnök* 17. 3. 35-44

A 3D nyomtatás során figyelembe kell venni:

- a felhasznált alapanyag fizikai tulajdonságait;
- a gyártási folyamat közben az alapanyag viselkedését;
- a kész tárgy várható mechanikai tulajdonságait már a tervezés-kor;
- a gyártási eljárás munka- és környezetvédelmi aspektusait.<sup>6</sup>

A megfelelő 3D eljárás kiválasztásához vagy a rendelkezésre álló lehetőségek vizsgálatához fel kell mérni az ismert 3D gyártástechnológiai eljárásokat. A nem fémes alapanyagot alkalmazó 3D eljárások:

- PolyJet – azaz „többszörös sugárral való nyomtatás” (továbbiakban: PolyJet). A PolyJet technológiával működő 3D nyomtatóeszközök 16 mikron vastagságú rétegekben nyomtatnak, pontosságuk a sima felszínnek, a vékony falak és az összetett geometriák esetében pedig eléri a 0,1 mm-t a teljes munkatérben. Kisebb modellek esetén ennél nagyobb pontosság is elérhető.<sup>7</sup> A technológia alapanyaga speciális műgyanta, mely több szín és anyagösszetétel egyidőben történő kialakítását is lehetővé teszi. A nyomtatott rétegeket UV fény segítségével keményítik ki. A munkadarab merevsége, illetve rugalmassága az alapanyag használati módosításával széles határok között változtatható. Hátrányt jelent, hogy a nyomtatóeszköz nagyméretű, az alapanyagok szállítása és tárolása körülményes.
- SLS – „selective laser sintering”, azaz szelektív lézeres szinterezéses eljárás (továbbiakban: SLS). Az eljárás során polimerporból szinterelve és lokálisan összeolvasztva hozza létre a rétegeket. Az eljárás pontossága jó, az alkalmazható nyersanyagok száma magas, de költségigénye is, és a gyártáshoz szükséges gép fizikai mérete nagy.
- SLA - „stereolithography”, azaz sztereólitográfia (továbbiakban: SLA), amely a minták és gyártási részek rétegenkénti létrehozására használt fotokémiai eljárás, mely során a fény a kémiai monomerek és oligomerek térhálósodását idézi elő, vagyis polimerekké változtatja. A gyártás során a munkadarabot egy kádban folyékony fotopolimer gyantából rétegenként kikeményedve alakítják ki. A munkadarabot a gép rétegenként süllyeszti. A

---

<sup>6</sup> Rákosi Sára, Sebők, István, Szalai Tamás, Vég Róbert László: A 3D-nyomtatás biztonságtechnikai és környezetvédelmi aspektusai. Műszaki Katonai Közlöny, 33 (1). pp. 133-148. ISSN 1219-4166 (2023)

<sup>7</sup> <https://3dnyomtatás.varinex.hu/polyjet-3d-nyomtatok/> (letöltve 2023.05.10.)

módszerrel átlagosan 50 mikron vastagságú rétegek alakíthatók ki. Az eljárás egyértelmű hátránya a nagy rétegvastagság.

- FDM - „fused deposition modelling”, olvasztott leválasztásos modellezés (továbbiakban FDM). Az FDM olyan additív eljárás, amely során a felhevített polimerszálat vagy -szálakat extrudálják. A nyomtatás közben az éppen nyomtatott réteget a nyomtatófej „X” és „Y” tengely mentén való mozgással alakítja ki. A következő réteg kialakításához a munkadarabot tartó platform a „Z” tengely mentén süllyed. Az eljáráshoz alkalmazható alapanyagok száma magas, többféle rugalmasság, anyagminőség, szín választható.

Alapvetően fémeket alkalmazó technológiák:

- LMD - „laser metal deposition”, azaz lézeres fémleválasztás (továbbiakban: LMD). Az LMD egy lézeralapú DED-technika (közvetlen energia depozíció), amely szelektíven, rétegről-rétegre adagolja a fémanyagot egy alap munkadarabra. A poralapú LMD (p-LMD) során egy fúvóka fémport aggregál a munkadarabra, ahol a lézer (a fúvókéval párhuzamosan) megolvasztja a port és a munkadarabot egy olvadéktócsává változtatja. Ez a fúvóka mozog az építési síkban, lerakja a porított anyagot és a kívánt alakban a munkadarabhoz olvasztja. Létezik az úgynevezett huzalos lézeres fémleválasztás (w-LMD) is, amely ugyanígy működik, kivéve, hogy fémhuzalt használ a porított fém helyett. Hátránya a fém alapanyagból 3D nyomtatással készített munkadarabok utókezelésének igénye, mely külön eszközöket, energiát és munkaidőfordítást jelent.<sup>8</sup>

A különböző 3D nyomtatáson alapuló gyártási eljárások alkalmazhatósági vizsgálatakor a fentiek figyelembevételével még egy szempont szűrőként alkalmazható, ez pedig az alátámasztás igénye, kialakítása. A nyomtatás során kialakítandó vízszintes vagy ferde felületek alátámasztással, külön alátámasztás nyomtatásával alakíthatóak ki, és egyszerűen belátható, hogy ha nincs megfelelő hely az új anyag hozzáadásához, a gyártás nem kivitelezhető. Az alátámasztás kialakításakor számolni kell annak eltávolítási lehetőségével is. Ezt vagy kémiai úton, oldószerrel vagy mechanikai úton, anyagleválasztással lehet elérni.

---

<sup>8</sup> Zentay Péter, Hegedűs Ernő, Végvári Zsolt: A 3D nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei III. rész Haditechnika 57 2023/2 57-62. o.

## A hibás alkatrész és annak pótlása

A Mercedes-Benz Unimog 1300 terepjáró tehergépkocsi motorterében a hűtőfolyadékcsöveket támasztékok, tartók, és bilincsek rögzítik. Ezeknek a rögzítéseknek a szerepe, hogy a motor rendeltetésszerű üzemelése által keltett rezgések elviselése mellett a csövekre ható dinamikus terhelést másíki, a karosszériához (felépítményhez), az alvázhhoz, illetve a motorhoz rögzített tartóelemeknek átadják.



1.számú ábra. Az eredeti, sérült alkatrész beszerelt és kiszertt állapotban<sup>9</sup>

A tartókat jellemzően több évtizedes tapasztalat alapján tervezik és gyártják, de a 20–30 éves járművek esetében már könnyen törnek, utánpótlásuk a korábbiakban már említett okok miatt nehézségekbe ütközik. Az alkatrész anyaga lehet ABS (akrilnitril-butadién-sztirol) vagy valamilyen poliamid műanyag.

A publikációban szereplő alkatrész (1. ábra) feladata az eddig említetten kívül speciális, mivel a karbantartások és javítások elvégzéséhez szükséges a jármű fülkéjének emelése, billentése, és ilyenkor a csöveket a tartóból ki kell venni. A csőtartó nyitott kialakítása és rugalmassága ezt lehetővé teszi, mivel nem teljes mértékben fogja körbe a csöveket, ezért ideiglenes rögzítéssel az alkatrész nem pótolható.

Amennyiben az utólagosan alkalmazott, nem szakszerű megoldás a csöveket fixen rögzíti, a fülke billentésekor a cső vagy az ahhoz

<sup>9</sup> A szerző által készített kép.

csatlakozó alkatrész sérülni fog, amely további meghibásodáshoz, ezáltal javítási igényhez vezet.

## Alkalmazható alapanyagok

Az eredeti alkatrész alapanyaga nagy valószínűséggel valamilyen poliamid műanyag. A poliamidok több évtizede alkalmazott alapanyagok az autóiparban, amelyek számtalan kombinációs lehetőséget kínálnak, üvegszállal vagy fémekkel való együttes alkalmazáskor. A poliamid előnye a jó hőállóság, így motortérben is jól alkalmazható, illetve a gyors gyártási folyamat. A fröccsöntéses eljárások gyártási ideje néhány tíz másodperc, és a jó melegalakíthatóságnak, jó folyóképességnek köszönhetően a munkadarabok lég- és zárványmentesek.<sup>10</sup> Az új alkatrésznek a korábbiakban tárgyalt alapanyagigények szerint kell az anyagát megválasztani, amennyiben az eredeti tulajdonságait nem ismerjük.

AZ FDM ELJÁRÁS ESETÉN FIGYELEMBE VEHETŐ ALAPANYAG TULAJDONSÁGOK <sup>11</sup>

1. számú táblázat

Funkcionális tulajdonságok	ABS	PLA	TPLA	PA	PA6 (Onyx)
Szakítószilárdság	-	+	++	+++	++++
Ütésállóság	++	-	+	++	++
Hajlítószilárdság	-	+	+	++	++
Hőtűrés	++	+	++	+++	+++
Nyomtatási eredmény	+/-	+	++	++	++

## A pótalkatrész 1.0 verziójának nyomtatásakor alkalmazott alapanyag

A nyomtatáshoz alkalmazott anyag Ultimaker Tough PLA, mely egy műszaki célokra kialakított, módosított PLA<sup>12</sup> (politejsav, polylactic acid).

<sup>10</sup> Bánhegyi György: Műanyagok Alkalmazása Poliamidok autóiipari alkalmazása <https://quattroplast.hu/muanyagipariszemle/2006/03/poliamidok-autoipari-alkalmazasa-08.pdf> (letöltve 2023.05.12.)

<sup>11</sup> A szerző által készített táblázat, a gyártói termékadatlapok információi alapján.

<sup>12</sup> A PLA növényi keményítőből készülő komposztálható anyag, melyet leginkább kukoricából állítanak elő.



A TPLA fontosabb tulajdonságai:

- szilárdsága és merevsége az ABS-hez (akrilnitril-butadién-sztirol) hasonló;
- normál, jó minőségű PLA-hoz hasonló egyszerűséggel 3D nyomtatható;
- ideális választás nagyobb funkcionális prototípusok és nagyobb méretű szerszámok 3D nyomtatásához;
- a PLA-nál nagyobb megmunkálhatóság több utófeldolgozási technikát tesz lehetővé;
- alkalmazásával elkerülhető a rétegvesztés vagy vetemedés a nagyobb alkatrészek megbízható nyomtatásakor;
- kompatibilis a PVA és a Breakaway hordozóanyagokkal a teljes geometriai szabadság érdekében;
- vízben nem oldható;
- olvadáspontja 150-160 °C;
- oldószere lehet etil-acetát.

### **Az eredetinek megfelelő, azzal azonos célú, de nem megegyező alkatrész tervezése**

Egy eredeti alkatrész pótlása, gyártása akár anyagszétválasztó, például forgácsoló technológiával, akár additív technológiával nem jelenti annak szükségszerű másolását.

A cél az, hogy az új alkatrész képes legyen a régi funkcióját ellátni, ezért:

- a méretek pontos megtartása csak a csöveket befogó, a más felülethez illeszkedő szerelési felületeken elengedhetetlen,
- a csövek és a tartó felfogatási területe közötti távolság több mm-es méreteltérést is megenged,
- minden más méret esetében törekedni kell arra, hogy a pótalkatrész más szerelési műveleteket ne akadályozzon,
- a gyártás lehetőleg gazdaságos, munkabiztonság és környezetbiztonság szempontjából problémamentes és kedvező legyen.

AZ EREDETI ALKATRÉSZ FŐBB MÉRETEI<sup>13</sup>

## 2. számú táblázat

Tulajdonság	Méret (mm)
szélesség	20
csőtartó belső átmérő	28
teljes magasság	75
első csőtartó középpontjának távolsága a tartó felszerelésének síkjától	23
a csőtartók középtengelyének távolsága	30

Az eredeti alkatrész méretvételezése egy vázlatrajz és egy tolómérő segítségével lehetséges, de a gyakorlat, a szaktudás és a szakértelem jelentősége nem elhanyagolható.

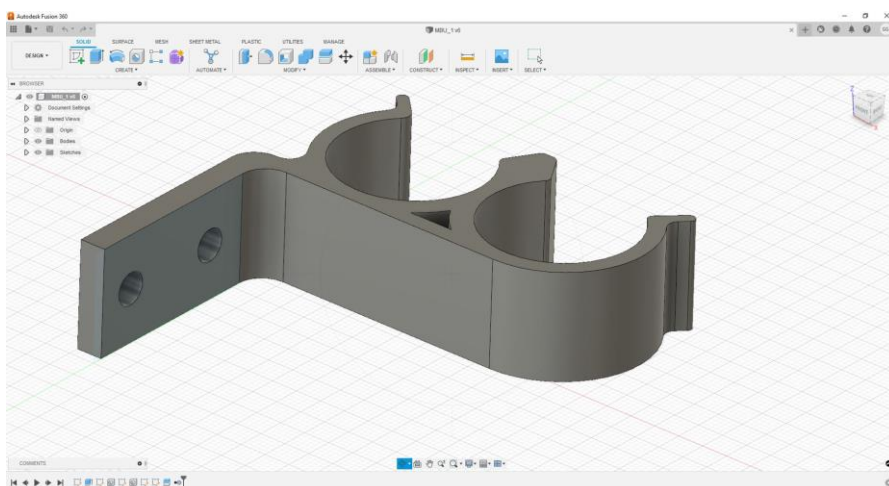
Az adatok alapján az alkatrész 3D modellezése az alkalmazott AutoDesk Fusion 360 3D szoftver segítségével alacsony hardverigénnyel lehetséges. A tervezéskor egy egyszerű, irodai célokra összeszerelt asztali számítógép is elégségesnek bizonyult. Fontosabb paraméterek:

- processzor: Intel Core i3-7100;
- memória mérete: 8 GB;
- alaplapba integrált videómegjelenítő.

A munkadarab modellezése a méretezett vázlatrajz alapján egy gyakorlott felhasználó által mintegy 20 perc alatt elkészíthető, a munka „.stl” formátumba exportálható.

A tervezőprogram egyetlen hátránya, hogy felhő alapú, és internetkapcsolat szükséges hozzá. Egyértelmű, hogy műveleti területen célszerűbb egy offline működésre is képes, hasonlóan alacsony gépigényű tervezőprogram alkalmazása, de az ukrajnai konfliktus tapasztalatai alapján az internetkapcsolat nem megoldhatatlan feladat.

<sup>13</sup> A szerző által készített táblázat.



2. számú ábra. A próbadarab 3D modellezése, itt még merevítés nélkül<sup>14</sup>

A próbadarab nyomtatási beállításai az Ultimaker Cura 5.2.1 szoftverrel, az ajánlott beállítások ellenőrzése után azok elfogadásával készültek el. A szoftver az alkalmazott Ultimaker S3 3D nyomtatót felismeri, azonosítja, képes annak lehetőségeit, képességeit felmérni, és a nyomtatási adatokat ez alapján automatikusan felajánlja. A nyomtatási pontosság 0,1 mm-ben lett meghatározva.

A nyomtatáshoz szükséges adatokat egy „.ufp” fájlba menti a program, amely vagy adathordozón vagy hálózaton keresztül vihető át a nyomtatóba.

A tervezés és előállítás lehetősége felveti a többféle kialakítású pótalkatrész nyomtatását.

### **A pótalkatrészek 1.0 sorozatának nyomtatásához alkalmazott eszköz**

A nyomtatás során alkalmazott eszköz az Ultimaker S3 3D nyomtató volt. Ez a típus kétféjes, kompakt, egyszerűen kezelhető, érintőképernyős kezelőfelülettel rendelkező 3D nyomtató.<sup>15</sup> Alkalmas két különböző műanyag szál adagolására és extrudálására, a tálcaszintezés automatikus. Az alapanyagrendszere nyílt, és több mint 110 féle alapanyag kezelésére képes az előre beállított anyagkezelési profiloknak köszönhetően. Különösen előnyös tulajdonsága, hogy vízzeloldható

<sup>14</sup> A szerző által készített kép.

<sup>15</sup> <https://shop.freedee.hu/Ultimaker-S3-ketfejes-3D-nyomtato> (letöltve 2023.05.10.)

támaszanyagot is képes használni. Ez a típus ipari minőségű munkadarabok előállítására alkalmas.

A nyomtató fontosabb jellemzői:

- FDM (szálhúzásos) technológiát alkalmaz;
- rétegmagassága 20–600  $\mu$ ;
- munkaterének mérete 230 x 190 x 200 mm;
- külső méretei: 394 x 489 x 637 mm (bowdenekkel és filament tartóval együtt);
- tömege 14,4 kg;
- dupla fogaskerekes, kopásálló, kompozitra felkészített adagolóval rendelkezik;
- üzemi hőmérséklet: 10–32 °C;
- teljesítményigény maximum 350 W;
- adatkapcsolat: Wi-Fi, LAN, USB port;
- beépített kamerával rendelkezik;
- ajánlott nyomtatófej-hőmérséklet: 210–220 °C, a nyomtatótálca hőmérséklete: 60 °C.



3. számú ábra. Az 1.0 pótalkatrész első legyártott próbadarabja<sup>16</sup>

<sup>16</sup> A szerző által készített kép.

AZ 1.0 PRÓBADARAB NYOMTATÁSI BEÁLLÍTÁSAI<sup>17</sup>

3. számú táblázat

Tulajdonság	Adat
falvastagság (mm)	0,9
faltávolság (mm)	3
kitöltés (%)	20
kitöltés mintázata	háromszög
alapanyag tömege (g)	14
nyomtatás várható időtartama (min)	190
felhasznált filament hossza (mm)	2050
próbadarab anyagköltsége a nyersanyag kiskereskedelmi árával számolva (Ft)	50

**Az 1.0 nyomtatott munkadarab tapasztalatai**

A kinyomtatott munkadarab az eredeti alkatrészhez nagymértékben hasonló, a csőbefogó méretében és szélességében teljesen megegyező alkatrész lett. Tapasztalatok:

- Az új alkatrész felülete az eredetinél érdesebb.
- A rögzítőcsavarok furatai a modellezés szerint 6 mm átmérőjűek, de a nyomtatott eredmény alapján nem teljesen alakpontosak és a nyomtatás „z” tengelyében mérve 0,1–0,2 mm-rel kisebbek. A beszereléskor egyértelművé vált, hogy a rögzítőcsavarok szorulnak. Ez a méreteltérés két okból adódhat:
  - o a nyomtató pontossága +/- 0,1 mm (azaz akár 0,2 mm eltérés is lehetséges);
  - o a nyomtatáskor alátámasztás nem volt beállítva, ez a furatok alakpontoságára negatív hatással lehet. Amennyiben alátámasztást alkalmazunk, azt el kell távolítani, ki kell törni a furatból.

---

<sup>17</sup> A szerző által készített táblázat.



4. számú ábra. A merevítés nélküli 1.0 próbadarab beszerelt állapotban<sup>18</sup>

A beszerelt alkatrész a szemrevételezés során megfelelőnek tűnik, anyaga Tough PLA, amely az ABS anyagminőségét megközelítheti, de 100 °C hőmérséklet feletti esetleges túlterhelés esetén a tartóssága kérdéses. Az alkatrész tartósságának javítására az egyik lehetőség egy merevített alkatrész elkészítése.

#### **A pótalkatrész 1.1 verziója (merevítéssel ellátott alkatrész)**

Az 1.0 verzió áttervezése mindössze néhány perc alatt lehetséges az alkalmazott programmal. Kis mértékben módosított beállításokkal ki is lett nyomtatva. A nyomtatás mintegy 67 perccel tartott tovább. A merevebb szerkezet miatt a nyomtatáskor teljes kitöltés lett alkalmazva.

---

<sup>18</sup> A szerző által készített kép.



5. számú ábra. Az eredeti alkatrész és a merevítéssel ellátott 1.1 verziószámú pótalkatrész első legyártott próbadarabja<sup>19</sup>

AZ 1.1 VERZIÓSZÁMÚ PÓTALKATRÉSZ ADATAI<sup>20</sup>

4. számú táblázat

Tulajdonság	Adat
falvastagság (mm)	0,8
faltávolság (mm)	3
kitöltés (%)	100
alapanyag tömege (g)	23
nyomtatás várható időtartama (min)	257
felhasznált filament hossza (mm)	2290
próbadarab anyagköltsége a nyersanyag kiskereskedelmi árával számolva (Ft)	55

### Az 1.1 nyomtatott munkadarab tapasztalatai

A kinyomtatott munkadarab az eredeti alkatrészhez nagymértékben hasonló, a csőbefogó méretében és szélességében teljesen megegyező alkatrész lett.

<sup>19</sup> A szerző által készített kép.

<sup>20</sup> A szerző által készített táblázat.

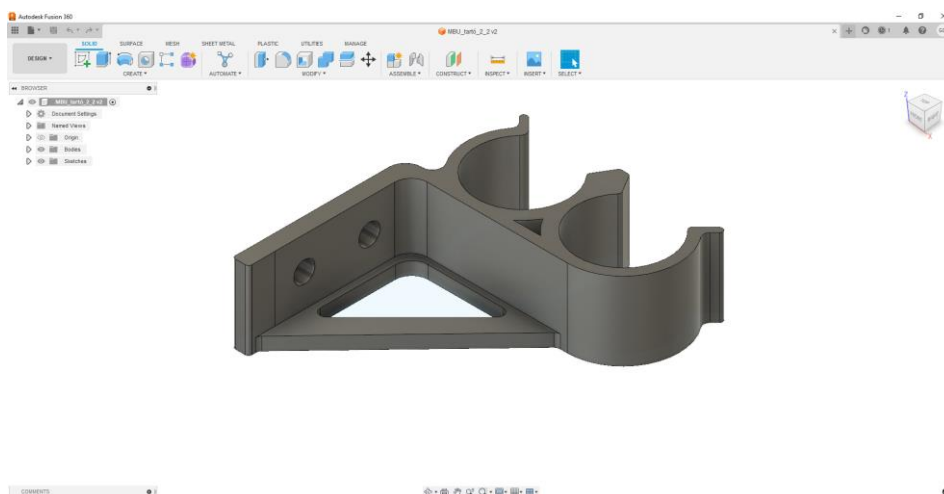
### Tapasztalatok:

- Az új alkatrész felülete az eredetinel szintén érdesebb.
- A rögzítőcsavarok furatai a modellezés szerint 6 mm átmérőjűek, de a nyomtatott eredmény alapján nem teljesen alakpontosak és 0,1 – 0,2 mm-rel kisebbek. A beszereléskor egyértelművé vált, hogy a rögzítőcsavarok szorulnak.
- A felszereléskor a dugókulccsal való munkavégzés jól kivitelezhető, de a merevítés miatt a villás- vagy csillagkulcs alkalmazása nehézkes. A merevítés a beépítés tapasztalata szerint útban van.
- A merevítés láthatóan sok alapanyagot igényelt.

### A pótalkatrész 1.2 verziója (könnyített merevítéssel ellátott alkatrész)

Az 1.1 alkatrészverzió után megtervezésre került az 1.2 pótalkatrész. Az 1.1 próbadarab tapasztalati alapján az áttervezett 3D modell különbségei:

- 3 mm-rel szélesebb (a rajzon „z” koordináta értékben magasabb), hogy a merevítés a beszereléskor ne akadályozza a munkát, így a felfekvő felület 3 mm-rel lett megnövelve;
- a rögzítőcsavarok furatainak mérete 0,5 mm-rel lett nagyobb;
- A merevítés ki lett könnyítve.



6. számú ábra. Az 1.2 pótalkatrész változat tervezése<sup>21</sup>

<sup>21</sup> A szerző által készített kép.





7. számú ábra. Az 1.2 pótalkatrész változat kinyomtatott darabja<sup>22</sup>

AZ 1.2 VERZIÓSZÁMÚ PÓTKATRÉSZ ADATAI<sup>23</sup>

5. számú táblázat

Tulajdonság	Adat
falvastagság (mm)	0,4
faltávolság (mm)	3
kitöltés (%)	100
alapanyag tömege (g)	28
nyomtatás várható időtartama (min)	302
felhasznált filament hossza (mm)	2540
próbadarab anyagköltsége a nyersanyag kiskereskedelmi árával számolva (Ft)	60

<sup>22</sup> A szerző által készített kép.

<sup>23</sup> A szerző által készített táblázat.

Az 1.2 alkatrész furatainak átmérője a tervezéskor 0,2 mm-rel megllett növelve. A beszerelés akadálymentesen végrehajtható volt.

A pótalkatrész termikus igénybevételét rövid időtartamban elviselő alapanyagról van szó, mivel a motortérben üzemben kívül a külső hőmérsékletnek megfelelő üzem közben 80–90 °C hőmérséklet lehetséges.



8. számú ábra. A megnövelt méretű és kikönnyített merevítéssel 1.2 pótalkatrész beszerelt állapotban<sup>24</sup>

Nincs viszont tapasztalat a többszöri felmelegedési és lehülési fázisból, esetleg túlmelegedésből adódó anyagminőségi változásokkal kapcsolatban.

A másik lehetséges alapanyag a PA, illetve annak kompozit változata a PA6. Egy alkatrész sérülése lehetőséget ad arra is, hogy annak pótlásakor felmerül egy jobb minőségű, erősebb alkatrész beszerelésének a lehetősége, de elvégezhető az alkatrész módosítása is, amennyiben erre megvan a szükséges infrastruktúra.

---

<sup>24</sup> A szerző által készített kép.

## Az alkatrész 2.0 változatának elkészítése szálerősítéses PA6 (Onyx) alapanyagból

A PA alapanyag alkalmas a gépjárművek motorterében elhelyezett alkatrészek, tartók gyártására. A PA6 Onyx kompozit nyomtatósál kis méretű szénszálakat tartalmaz, mellyel jelentős terhelhetőség és alkatrésztartósság is elérhető, miközben az alkatrész hőmérséklettűrése 130-140 °C fölé is növelhető.<sup>25</sup> A várható nyomtatási felület a TPLA alapanyaghoz képest kevésbé érdes.

A NYOMTATÓ FONTOSABB JELLEMZŐI<sup>26</sup>

6. számú táblázat.

Tulajdonság	Adat
technológia	FDM (szálhúzásos)
rétegmagasság (μ)	20 - 600
munkaterének mérete (mm)	230 x 190 x 200
külső mérete bowdenekkel és filament tartóval (mm)	394 x 489 x 637
tömeg (kg)	14,4
adagoló	dupla fogaskerekes, kopásálló, kompozitra felkészített
üzemi hőmérséklet (°C)	10 - 32
teljesítményigény (W)	maximum 350
adatkapcsolat	Wi-Fi, LAN, USB port
beépített kamera	van
ajánlott nyomtatófej-hőmérséklet (°C)	210 - 220
a nyomtatótálca hőmérséklet (°C)	60

<sup>25</sup> Hegedűs Ernő: Szálerősítéses anyagok 3D-s nyomtatásának hadiipari alkalmazási lehetőségei I. rész: UAV-k és könnyűjárművek a haderőben és a katonai logisztikában. Haditechnika 2023. évi 57. évf. 4. szám p. 62.

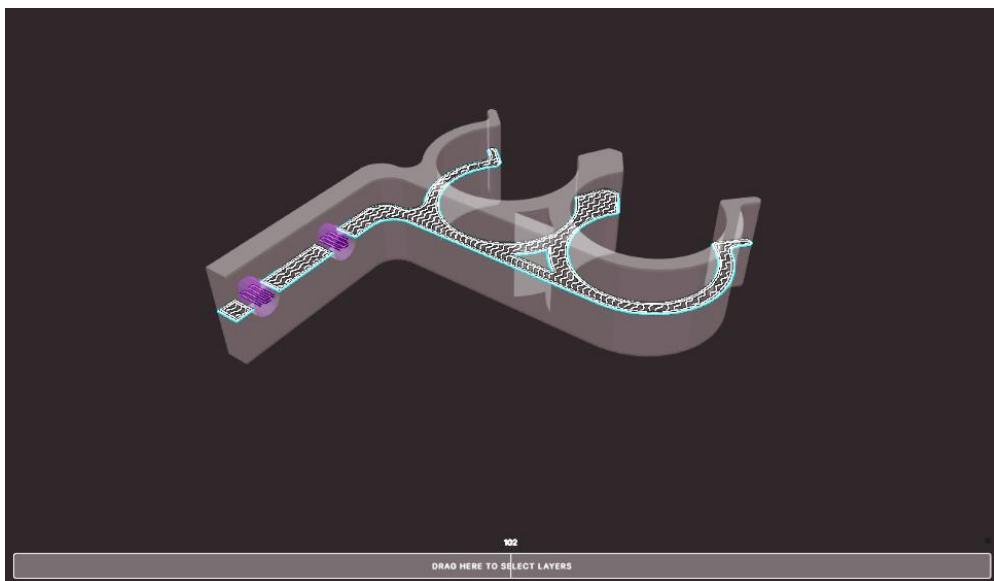
<sup>26</sup> A szerző által készített táblázat.

Az alkatrész 3D modellje már elkészült, azon csak kis módosítás lett elvégezve, mégpedig az élek kis mértékű letörése annak érdekében, hogy a csöveket a tartó pereme a lehető legkisebb mértékben kop-tassa.

Az alkalmazott alapanyag az Onyx nyomtatószál, mely alkalmazása egy szempontból jelent problémát, ez pedig az alapanyag tárolása. Ez az anyag nagymértékben érzékeny a levegő nedvességtartamára, ezért speciális dobozban kell tárolni a tekercset, illetve a bontott cso-magolású anyagot ajánlott néhány hónapon belül felhasználni.

Az alkalmazott eszköz a Markforged Onyx Pro nyomtató, mellyel széles felhasználási körben készíthetőek funkcionális alkatrészek a vágott szénszálas Onyx filamenttel. Ezzel a nyomtatóval lehetőség van az üvegszál-erősítés alkalmazására is.<sup>27</sup>

Az alkalmazott szeletelőprogram az Eiger szoftver, mely a Markfor-ged nyomtatóval együttműködik, de ismét jelentkezik az a probléma, hogy a szoftver felhő alapú. A szeletelő program lehetőséget biztosít a modellezett tárgy röntgenképének elemzésére, rétegenként látható a munkadarab falvastagsága és belső szerkezete.



9. számú ábra. A 2.0 verziószámú alkatrész röntgenrajza<sup>28</sup>

<sup>27</sup> A második tekercs kizárólag a szálerősítés lehetőségét adja.

<sup>28</sup> A szerző által készített kép.

Tulajdonság	Adat
falvastagság (mm)	1
faltávolság (mm)	3
kitöltés (%)	gyroid, 40%
nyomtatás várható időtartama (min)	229
felhasznált filament hossza (mm)	105,1
próbadarab anyagköltsége a szoftver szerint meghatározva (USD)	15

## A 2.1 változatú alkatrész tervezése és nyomtatása

A kompozit alapanyagú alkatrészbe az Eiger szoftver segítségével a nyomtatott rétegekkel megegyező síkokba szálerősítést,<sup>30</sup> jelen esetben üvegszál-erősítést is be lehet illeszteni. Ezt a szoftver a röntgenrajzon mutatja meg. A tervezés során látható, hogy a szálerősítés a kritikus helyen nem fut végig, illetve olyan helyre is kerülhet üvegszál, amelyre ott valójában nincs szükség.

A szoftverben a szálerősítést adott területről eltávolítani nem lehet, ezért az alkatrészt módosítani kell. Ettől a ponttól viszont az új tervet 2.1 sorszám jelöli, annak ellenére, hogy a 2.0 verzió nem került ki-nyomtatásra.

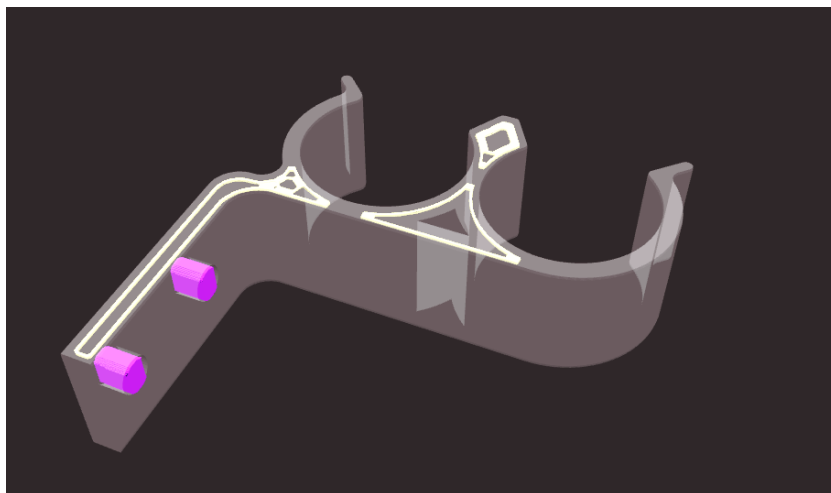
Módosítások:

- A modellező programban a két csőtartó rész által közrefogott területről anyagot lehet eltávolítani, így az üvegszál nem fér el.
- A csőbefogó rész alsó oldalának vastagságát meg kell növelni, hogy az anyagvastagság elérje a 3,8 mm -t, akkor már az üvegszál elhelyezhető a kritikus helyen is.

<sup>29</sup> A szerző által készített táblázat.

<sup>30</sup> Told Roland, Marada Gyula, Rendeki Szilard, Pentek Attila, Nagy Balint, Molnar Ferenc Jozsef, Maroti Peter: Manufacturing a First Upper Molar Dental Forceps Using Continuous Fiber Reinforcement (CFR) Additive Manufacturing Technology with Carbon-Reinforced Polyamide POLYMERS 13: 16 Paper: 2647 , 15 p. (2021)

- A szálerősítésnek köszönhetően lehetőség van az alkatrész méretének csökkentésére, ezért 20 helyett 17 mm lett az alkatrész vastagsága.



10. számú ábra. Üvegszál-erősítés tervezése és a felmerülő hibák a 2.0 pótalkatrészben<sup>31</sup>

A Fusion 360 szoftverben lehetőség van a szerkesztési fázisokban módosításokat végezni, és célszerű, ha ezeket a változtatásokat az eredeti felhasználói fiókban a modellt készítő szakember végzi el. Amennyiben a nyomtatót kezelő és a modellt készítő személy azonos, akkor nem áll fent a lehetősége, hogy a modellt nem lehet módosítani, vagy fontos információk torzuljanak.

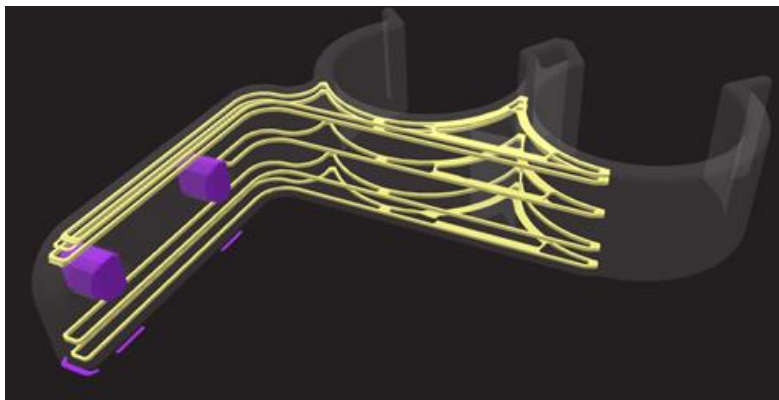
A 2.1 VERZIÓSZÁMÚ PÓTALKATRÉSZ ADATAI<sup>32</sup>

8. számú táblázat

Tulajdonság	Adat
falvastagság (mm)	1
faltávolság (mm)	3
kitöltés (%)	gyroid, 40%
nyomtatás várható időtartama (min)	260
felhasznált filament hossza (mm)	92
próbadarab anyagköltsége a szoftver szerint meghatározva (USD)	22

<sup>31</sup> A szerző által készített kép.

<sup>32</sup> A szerző által készített táblázat.



11. számú ábra. A 2.1 verziószámú, alkatrész röntgenrajza<sup>33</sup>

### A 2.1 verziószámú alkatrész tapasztalatai

A PA6 (Onyx) alapanyagból készült alkatrész 5 helyen tartalmaz üvegszál-erősítést, és 3 mm-rel lett csökkentve a szélessége. A nyomtatásnál a furatok kialakításához támasztékot kellett alkalmazni, melynek eltávolítása egyetlen mozdulat. Ez az alkatrész az eredeti csőtar-tónál nagyobb terhelhetőségű, ezért további szerkezeti könnyítés le-hetséges. Az alkatrész beszerelése akadálymentesen, gyorsan zajlott, a beszerelt állapotot a 12. ábra mutatja.



12. számú ábra. A 2.1 verziószámú, végleges alkatrész beszerelt ál-lapotban<sup>34</sup>

<sup>33</sup> A szerző által készített kép.

<sup>34</sup> A szerző által készített kép.

## Összegzés

A haditechnikai eszközök alkatrészpótlása sok esetben fizikai és jogi akadályokba ütközik. (Jelen cikk a jogi vonatkozásokat nem tárgyalja. A lektor megjegyzése.) A kényszerhelyzetekben a műveleti területen olyan akadályokat kell leküzdeni, amelyekre nem mindig lehet előre felkészülni, de pontosan ezek azok a helyzetek, amelyek a jövőre nézve hasznos tapasztalatokat eredményezhetnek. A technikai lehetőségek ma már adottak egy jól felszerelt hadsereg számára, hogy olyan alkatrészeket tudjon pótolni a funkciójukat tökéletesen betöltő, de az eredetivel nem megegyező pótalkatrészekkel, amelyek gyártása bonyolult és nagyméretű eszközöket igénylő műanyaggyártási vagy anyagleválasztó (forgácsoló) eljárásokat igényelne. A tapasztalat szerint nem megkerülhető a próbadarab legyártása, a tapasztalatok feldolgozása és a kész alkatrész ellenőrzése. Egyértelműen kijelenthető, hogy a legcélszerűbb olyan szakembernek végeznie a feladatot, aki elméletben és gyakorlatban jól ismeri:

- az alkatrész anyagát, igénybevételét,
- a szerelési folyamatokat,
- a 3D modellezés menetét, (a későbbi javítások igénye miatt),
- a 3D nyomtatóeszközt és az alapanyagot.

Lehetséges, hogy a folyamatot több részre bontva több személy is elvégezze, de az előbbiekben felsorolt ismeretekre és tudásra minden esetben szükség van, ha rövid időn belül, kevés próbadarab elkészítésével jó minőségű alkatrészt szeretnénk előállítani.

## Köszönetnyilvánítás

A cikk a TKP2021-NVA-16 számú project keretében az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatással, a Tématerületi Kiválósági Program 2021 TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

## Felhasznált irodalom:

Bánhegyi György: Műanyagok Alkalmazása Poliamidok autóiipari alkalmazása <https://quattroplast.hu/muanyagipariszemle/2006/03/poliamidok-autoipari-alkalmazasa-08.pdf> (letöltve: 2023.05.12.)



Gyarmati József, Hegedűs Ernő, Gávay György: Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó: Harckocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomtatással oktatási célból Műszaki Katonai Közlöny 32: 3 pp. 113-126., 14 p. (2022)

Ember István, Ádám Balázs: Kumulatív töltetek 3D nyomtatása Hadmérnök 17. 3. 35-44

Kónya Gábor, Ficzer Péter: A rétegvastagság és az alkatrész tájolásának hatásai az alkatrész mikro- és makrogeometriai jellemzőire a 3D nyomtatás során Gradus Vol 9, No 2 (2022) ISSN 2064-8014

Rákosi Sára, Sebők István, Szalai Tamás, Vég Róbert László: A 3D-nyomtatás biztonságtechnikai és környezetvédelmi aspektusai. Műszaki Katonai Közlöny, 33 (1). pp. 133-148. ISSN 1219-4166 (2023)

<https://3dnyomtatás.varinex.hu/polyjet-3d-nyomtatok/> (letöltve 2023.05.10)

Zentay Péter, Hegedűs Ernő, Végvári Zsolt: A 3D nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei III. rész. Haditechnika 57 2023/2 57-62. o

Hegedűs Ernő: Szálerősítéses anyagok 3D-s nyomtatásának hadiipari alkalmazási lehetőségei I. rész: UAV-k és könnyűjárművek a haderőben és a katonai logisztikában. Haditechnika 2023. évi 57. évf. 4. szám p. 62.

Végvári Zsolt: A 3D nyomtatás felhasználási lehetőségei a műveleti logisztikában – Katonai Logisztika 33. évf. (2023) 1-2. szám 177-198. o.

Told Roland, Marada Gyula, Rendeki Szilárd, Pentek Attila, Nagy Balint, Molnar Ferenc Jozsef, Maroti Peter: Manufacturing a First Upper Molar Dental Forceps Using Continuous Fiber Reinforcement (CFR) Additive Manufacturing Technology with Carbon-Reinforced Polyamide POLYMERS 13: 16 Paper: 2647, 15 p. (2021)