

Gávay György¹ 

Honvédségi járművek kezelőszerveinek pótlása, módosítása 3D-nyomtatási technológia alkalmazásával²

Replacement and Modification of Controls for Defence Vehicles Using 3D Printing Technology

A honvédségi járművek, harcjárművek alkatrészeit, javító anyagait az alkalmazás, illetve rendszerben tartás ideje alatt az üzemeltethetőség és hadrafoghatóság érdekében biztosítani kell. A publikáció célja egy vizsgálat bemutatása, amely a katonai járművek kezelőszerveinek alkatrészpótlásával, azok módosításának lehetőségével foglalkozik, az egyik legkorszerűbb és folyamatosan fejlődő technológia, a 3D-tervezés és -nyomtatás segítségével.

Kulcsszavak: alkatrészpótlás, 3D-modellezés, 3D-nyomtatás

The spare parts and repair materials of military vehicles and combat vehicles shall be secured during their deployment or maintenance in order to ensure their operability and combat readiness. The aim of this paper is to present an investigation into the possibility of modifying and replacing military vehicle controls using one of the most advanced and constantly evolving technologies, 3D design and printing.

Keywords: component replacement, 3D modeling, 3D printing

¹ Adjunktus, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: gavay.gyorgy@uni-nke.hu

² A cikk a TKP2021-NVA-16 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Bevezetés

A honvédségi járművek, harcjárművek alkatrészeit, javító anyagait az alkalmazás, illetve rendszerben tartás ideje alatt az üzemeltethetőség és hadrafoghatóság érdekében biztosítani kell. A haditechnikai eszközök technikai problémáit, meghibásodásait – amelyek a rendszerben tartás ideje alatt jelentkeznek – a Magyar Honvédség (MH) vagy már a rendszerbe való felvétel ideje alatt kiválasztott módon, vagy új módszerekkel kell hogy megoldja, javítsa, az üzemképesség és hadrafoghatóság visszaállításának érdekében. Ez történhet saját kapacitással vagy szerződött polgári vállalatok képességeinek igénybevételevel, esetleg műveleti területen, az ottani lehetőségeket figyelembe véve, szövetséges nemzet segítségével. Műveleti területen az előre nem tervezhető technikai problémák tartós vagy akár csak ideiglenes megoldása is magas szintű technikai felkészültséget és sok esetben kreativitást igényel, míg béketerületen az alkatrészpótlás és az ilyen jellegű logisztikai problémák könnyebben megoldhatók. Amennyiben lehetőség adódik, az új technikai megoldásokat, módszereket érdemes kipróbálni, és a megvalósíthatóságukat megvizsgálni még békekörnyezetben. Minden esetben figyelembe kell venni a javításokra és alkatrészpótlásokra vonatkozó érvényben lévő szabályzókat, de a javítási lehetőségeket érintő kutatások során a módszerek vizsgálata kísérleti jellegű alkatrészeket eredményezhet. Ezeket az alkatrészeket haditechnikai eszközökbe nem lehet beépíteni a megfelelő engedélyek nélkül.³ Műveleti területen a szükség szerinti és a körülményekhez képest elvégzett javítások, az alkatrészek helyettesítése vagy pótlása a feladatellátás érdekében történik, de a megfelelően dokumentált technikai módosítások, a későbbiekben a modernizációk, üzemfenntartási előírások átdolgozása során felhasználhatók. Ma már általánosnak mondható logisztikai probléma a 20–30 éves eszközök alkatrészellátása, mivel bármilyen jellegű használat esetén könnyen történhet alkatrészsérülés, törés, azaz az eszközök alkalmazhatóságát korlátozó, akadályozó meghibásodások kockázata megnő. A műanyag alkatrészek elöregednek, rideggé válnak, a gumi alkatrészek megrepednek, a fém alkatrészek kopnak korrodálnak, törnek.⁴

A 3D-nyomtatáson alapuló gyártási technológia mint lehetséges alternatíva

A 3D-nyomtatás már több évtizedes múltra visszatekintő additív gyártástechnológia, amely napjainkban rohamosan fejlődik. Ez a technológia alkalmas lehet:

- 1–10 mm méretű egyszerű geometriával rendelkező tárgyak (több példányban, egy időben);
- 1–500 mm méretű bonyolult geometriájú, egymásba illeszkedő, illetve üreges tárgyak;
- generatív tervezésű tárgyak;

³ A Nemzeti Köszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar (NKE HHK) Haditechnikai Tanszék tanalvázai jó alapot nyújtanak a publikáció témáját jelentő kísérletekhez.

⁴ GÁVAY 2023: 209.

- de akár a több tízméteres nagyságú, egyenes falú műtárgyak, például épületek nyomtatására, gyártására.

A 3D-nyomatási eljárás a munkadarabot nulla helyzetből kiindulva, rétegről rétegre állítja elő, azaz a munkadarab anyagának hozzáadása és a munkadarab kialakítása azonos időben történik. Lehetőséget biztosíthat az „alkatrész az alkatrészben” konstrukciók kivitelezésére, illetve megfelelő 3D-modellező szoftver alkalmazásával generatív tervezésre. A generatív tervezés lényege, hogy az alapanyag és a teherviselő, illetve terhelte munkadarab felületeinek és részeinek a meghatározásával az optimális forma és szerkezet adható meg, ezzel jelentős alapanyag- és tömegcsökkentés érhető el. Továbbá ezzel a megoldással lehetőség van a funkcionalitáson túl az esztétikai szempontokat figyelembe vevő tervezésre is.

Az alapanyagok igen nagy változatosságot mutatnak. Az alapanyagokat a kész tárgy mechanikai, kémiai és termikus igénybevételének megfelelően kell kiválasztani, így lehetnek többek között:⁵

- gyanta alapú anyagok;
- műanyagok;
- fémek;
- kompozitok, esetleg valamilyen szálerősítésű kompozit;⁶
- speciális beton;
- élelmiszer-alapanyagok.

A 3D-nyomatási technológiák közös tulajdonsága, hogy a kész tárgy várható fizikai tulajdonságait, annak viselkedését szem előtt tartva már az alapanyag jellemzőinek kiválasztásakor, a tervezéskor ismerni kell a gyártás során történő változásokat, és természetesen annak környezetvédelmi aspektusait.⁷ Valójában ezek várható hatását előre meghatározni jelenleg nagy pontossággal nem lehet. A kísérletek dokumentálásával és a tapasztalatok feldolgozásával csökkenthető a végeredményt jelentő tárgyak anyagminőségi, felületi minőségi és méret-, illetve alakpontossági eltéréseinek mértéke.

A 3D-nyomatási technológia egyik első és legelterjedtebb alapanyaga a műanyag volt, amely a mai napig megőrizte fontos szerepét, elsősorban az alacsony gyártási költségeknek köszönhetően. Az alkalmazott műanyagok lehetnek többek között:

- PLA (politejsav, *polylactic acid*): gazdaságos alapanyag és jó az utómegmunkálható képessége, kezelőszervek számára elégséges a hőtűrése, illetve nedvességálló;
- TPLA (*tough PLA*): az ABS-hez hasonló mechanikai terhelhetőséggel rendelkezik;
- poliamidok;
- ABS (akrilnitril-butadién-sztirol);
- az előbbi alapanyagok valamelyike szén- vagy üvegszál-erősítéssel együtt alkalmazva.

⁵ EMBER-ÁDÁM 2022.

⁶ HEGEDŰS 2023: 62.

⁷ RÁKOSI et al. 2023.

Az ABS és a poliamidok a járműiparban meghatározó alapanyagok.

1. táblázat: FDM-eljárással alkalmazható alapanyagok

Funkcionális tulajdonságok	ABS	PLA	TPLA	PA	PA6
Szakítószilárdság	-	+	++	+++	++++
Ütésállóság	++	-	+	++	++
Hajlítási szilárdság	-	+	+	++	++
Hőtűrés	++	+	++	+++	+++
Nyomatási eredmény	+/-	+	++	++	++

Forrás: GÁVAY 2023: 215.

A publikáció alapját adó technológia az FFF (*fused filament fabrication*), azaz szálolvasztásos gyártás.⁸ Az FFF olyan additív eljárás, amely során a felhevített alapanyagszálat vagy -szálakat extrudálják. A nyomtatás közben az éppen nyomtatott réteget a nyomtatófej a vízszintes x és y tengely mentén való mozgással alakítja ki. A következő réteg kialakításához a munkadarabot tartó platform a z tengely mentén süllyed, vagy a nyomtatófej emelkedik a z tengely mentén. Az eljáráshoz alkalmazható alapanyagok száma magas, többféle rugalmasság, anyagminőség és szín választható.⁹

A 3D-nyomtatás katonai alkalmazásai közül az egyik legfontosabb annak műveleti területen történő felhasználása. Ilyen esetekben sokszor olyan alkatrészeket kell pótolni, amelyek normál használatból, kopásból eredő sérülése nem jellemző, így például nincs is készletezve hozzá javítóanyag, viszont egy harctéri sérülés komoly kihívások elé állítja a logisztikai ellátórendszert, adott esetben több ezer kilométerről kell leszállítani a pótalkatrészt. Az ilyen problémákra adhat választ a „digitális raktárkészlet” műveleti területen történő megvalósítása, illetve ennek alapján a 3D-nyomtatók műveleti területen való üzemeltetése.¹⁰

3D-nyomatási kutatások az NKE Hadtudományi és Honvédtiszképző Kar (HHK) Haditechnikai Tanszékén

Az NKE HHK-n több pályázati forrás lehetővé tette, hogy a karon több tanszék is 3D-nyomatási képességet alakítson ki, amelynek célja a lehető legkorszerűbb oktatási lehetőségek kiaknázása és a műszaki területet is érintő képzetek fejlesztése.¹¹

A 3D-nyomtatást jelenleg is használjuk az NKE HHK oktatási, valamint újításokhoz vezető fejlesztői munkájában.¹²

⁸ Az FFF FDM néven is ismert eljárás (*fused deposition modeling*, szálolvasztásos modellezés). Az FDM védjegyet a Stratasys vállalat bírta.

⁹ GÁVAY 2023: 212.

¹⁰ VÉGVÁRI 2023.

¹¹ DARUKA et al. 2024a; GYARMATI–HEGEDŰS–GÁVAY 2022; GYARMATI 2023.

¹² DARUKA et al. 2024b.

Az oktatási lehetőségek spektruma széles, és kiterjed:

- a hallgatók ismereteinek gyakorlati oldalú bővítésére;
- új szemléltető eszközök kialakítására, amelynek tervezésébe a hallgatókat is be lehet vonni;
- új technológiák kutatására és anyagtechnológiai ismeretek megszerzésére;
- az additív gyártástechnológia felhasználására a katonai és polgári célok elérésében (kutatás, fejlesztés, innováció, prototípusgyártás).¹³

Ezek a fejlesztések lehetővé tették az FFF-alapú műanyag és kompozit nyomtatási eljárások mellett a fém alapanyagú nyomtatásokat is. A Haditechnikai Tanszéken alkalmazott FFF-fémnyomatási technológia lehetővé teszi többféle acél-, réz- és például inconelötvetek alapanyagként való alkalmazását.

A katonai járművek kezelőszerveinek ergonómiája, kialakítása, elhasználódása

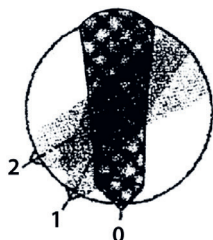
A publikáció témája katonai járművek kezelőszervei pótlásának és lehetséges fejlesztésének, módosításának vizsgálata. A kezelőszervek a munkavégzéshez (jelen esetben jármű-, illetve harcjárművezetéshez) szükséges beállító és kezelő alkatrészek, kapcsolók stb. Ezek kialakításához az emberi méreteket, nevezetesen a kéz méretét és használatát kell alapul venni.¹⁴ A kéz méretén túl fontos szerepet kap a kialakítás mellett az elhelyezés és a láthatóság, vagy éppen a látómezőből való kizárás. Az egyes alkatrészek megtervezésekor a használatukhoz szükséges testi erő, az alak- és a felületi kidolgozás is fontos szerepet játszik. Ezeket a kéz számára optimálisan kell megválasztani. Nem szabad megfeledkezni arról, hogy a katonai eszközök esetében a fokozott stresszhelyzetben meghozott rossz döntés, figyelmetlenség vagy a kiképzés nem megfelelő szintje okozhatja az eszközök kezelőszerveinek rongálódását. Ebben a publikációban két ilyen kezelőszerv, egy infravető kapcsoló és egy világításfőkapcsoló fogantyúinak pótlására és módosítására tett kísérletet, ismertet és értékelt a szerző. A vizsgálat tárgyát jelentő alkatrészek egy Mercedes Benz Unimog 1300 terepjáró tehergépkocsi tanalváz hiányzó kezelőszervei.

Az infravető kapcsoló és annak pótlására tett kísérlet

Az alkatrészpótlásra tett kísérlet első része a Mercedes Benz Unimog 1300 terepjáró tehergépkocsi infravető kapcsolófogantyújának, illetve annak módosított változatának megtervezése és additív gyártástechnológiával való előállítás. Az alkatrész, kezelőszerv formája, alakja több évtizedes tapasztalat során kialakított egyszerű fogantyús kapcsoló elem. A hiba lehetőségét elsősorban az adja, hogy a kapcsoló nemcsak elforgatható (1. ábra), hanem azt a használat során tengelyirányban is mozdítani (benyomni, illetve kifelé húzni) kell.

¹³ GYARMATI–VÉG 2016; GYARMATI–VÉG 2019; VÉGVÁRI–HEGEDŰS–ZENTAY 2022: 56.

¹⁴ SZABÓ 2005.



1. ábra: Mercedes Benz Unimog 1300 L terepjáró tehergépkocsi infravető kapcsolója

Forrás: MH Páncélos és Gépjárműtechnikai szolgálatfőnökség 2003: 77. (37. kép)

Az infravető kapcsolásának leírását a 2. táblázat tartalmazza. A speciális működési mód, a nem megfelelő kiképzés, illetve a stresszhelyzetben dekoncentráltásgból eredő rossz mozdulat a kapcsoló töréséhez vezethet.

2. táblázat: Kapcsolóhelyzetek és -mozgások

Kapcsolóhelyzet	Kapcsoló mozgás 0-1-2	Kapcsoló mozgás 2-1-0
0 – kikapcsolt állás		A 0 állásba kapcsoláshoz a forgatás elég, a reteszelés csak egy irányban működik.
1 – Az infravörös sugárvető bekapcsolva	Az 1-es álláshoz a kapcsolót a forgástengelyének irányában befele kell elmozdítani, azaz benyomni, ekkor lehet elfordítani.	Visszafele az 1-es állásba kapcsoláshoz szintén kifelé kell húzni.
2 – Az infravörös sugárvető és a fő fény-szórók bekapcsolva (a hátsó helyzetjelző lámpa nincs bekapcsolva)	A 2-es állás kapcsolásához forgástengelyének irányában kifelé kell elmozdítani, azaz kihúzni, ekkor lehet elfordítani.	

Forrás: a szerző szerkesztése

A hiányzó alkatrész már nem volt elérhető, még törött állapotban sem. Az alkatrész méretvételezése egy másik járműben beszerelt kapcsolóról történt meg vázlatrajz és tolómérő segítségével. A fontosabb méretek pontossága 0,1 mm-en belül van, de a lekerékítések értéke esetében túl bonyolult és valójában szükségtelen lett volna azokat helyesen felvenni. A kapcsoló méretei mellett szükséges még a kapcsolószerkezet csatlakozó profiljának méretvételezése is. Részletes méretvétel szükséges a kapcsolószerkezet csatlakozó felületéről (villa) és a kapcsolási módoknak megfelelően a fogantyú mozgását meghatározó elemekről (2. ábra).



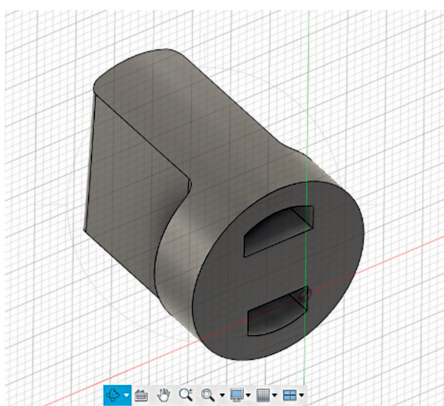
2. ábra: Az infravető kapcsoló csatlakozó felülete

Forrás: a szerző felvétele

A vázlatrajz és a felvett méretek alapján lehetséges volt a kapcsolófogantyú prototípusának megtervezése. A tervezési munka az Autodesk Fusion 360 3D tervező szoftver és egy asztali számítógép segítségével történt több lépésben.¹⁵ Az informatikai eszközök fontosabb paraméterei:

- processzor: Intel Core i3-7100;
- memória mérete: 8 Gb;
- alaplapba integrált videomegjelenítő.

A kapcsolófogantyú részleteinél a csatlakozó villa profilja jelenti a legnagyobb nehézséget, mivel annak gyártási pontatlanságból eredő méreteltérése (a villa alja és teteje között) 0,2–0,3 mm volt. A tervezés ennek a csatlakozófelületnek a beállításával kezdődött, és a várható méreteltérések miatt szükséges volt egy próbatest tervezése és nyomtatása (3. ábra).

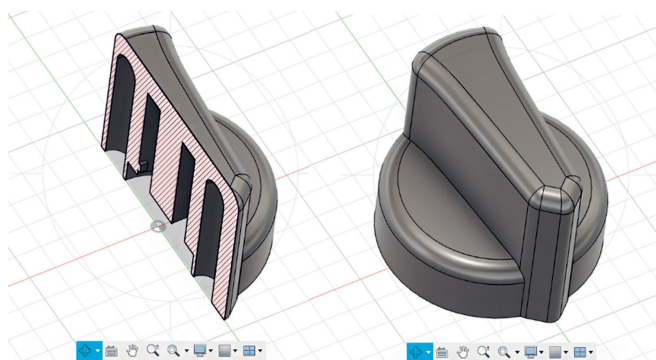


3. ábra: A kapcsolófogantyú villafoglalata

Forrás: a szerző felvétele

A próbadarab esetében csak a csatlakozó profilt tartalmazó kör alakú szelet megrajzolása nem elégséges, mivel a villára való felfekvést, illeszkedést teljes mértékben ellenőrizni kell. A próbadarab célszerűen a kapcsolófogantyú 3D-modelljéből lett kivágva. A rajzfájl „.stl” formátumba exportálása után az Ultimaker Cura 5.2.1. szeletelőprogramban lett létrehozva és beállítva a nyomtatási fájl. A nyomtatási beállítások esetében a felületi minőségre kellett nagy hangsúlyt fektetni. A prototípus alapanyaga fekete színű PLA volt. A próbadarab nyomtatása mintegy 80 perc alatt elkészült az Ultimaker S3 nyomtató segítségével. A méretpróba alkalmával beigazolódott az a feltevés, hogy a méretpontatlanság miatt nem lesz megfelelő a csatlakozó felület. Ebből a tapasztalatból azt a következtetést lehetett levonni, hogy a tervezéskor be kell kalkulálni a méreteltéréseket.

¹⁵ A hardver és a szoftver ugyanaz volt, mint a GÁVAY 2023 irodalomban alkalmazott eszközök.



4. ábra: Az infravető kapcsolófogantyú metszete és egész alakos 3D-modellje

Forrás: a szerző felvétele

3D-modell elkészítésekor lehetőség volt a méret pontatlanságainak megfelelően a villa csatlakozó profiljának falait mintegy 0,15 mm-rel eltolni, illetve a próbatest elkészítésekor és próbájakor látható volt a szükséges alapanyag-mennyiség csökkentésének módja is. A 3D-modellbe kikönnnyítések lettek tervezve. A teljes kapcsolót merevre kell készíteni, de a kikönnnyítésekkel együtt a nagyobb mértékű kitöltés ellenére is kevesebb alapanyagra van szükség. A merevséget jelentős mértékben javíthatja a falvastagság növelése.

A nyomtatás előkészítése, a paraméterek beállítása az eddigi tapasztalatok felhasználásával történt. A kapcsolófogantyú aljának kialakítása miatt szükségessé vált az alátámasztások alkalmazása, de a kikönnnyítések esetében ez elkerülhető volt azok végeinek lekerekítésével, illetve az alátámasztás alkalmazási szögértékének beállításával. A külső falvastagságot 2 mm-re állítottuk, így a nyomtatás 4 óra 38 percet vett igénybe, és 19 g alapanyagra volt szükség.

A kapcsolófogantyú a méretpróba alkalmával teljesen megfelelt, de a felületi minőség elmaradt az elvárt szinttől. Újranyomtatáskor a nyomtatófej sebessége 40 mm/s-ra csökkent, ezzel a vártan megfelelően javult a felület, de mintegy 20 perccel megnőtt a nyomtatási idő. A második nyomtatás eredményét és a beszerelt kapcsolófogantyút az 5. ábra mutatja be.

Az infravető kapcsoló fém részének tengelye más okból megsérült, ezért annak cseréje később elkerülhetetlen lesz, de a pótalkatrész méret- és alakellenőrzését ez nem befolyásolta.

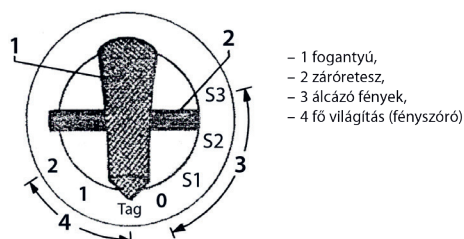


5. ábra: Az infravető kapcsolófogantyú nyomtatás után és beszerelt állapotban

Forrás: a szerző felvétele

A világításfőkapcsoló pótlására tett kísérlet

A vizsgálat második részét a tehergépkocsi világításfőkapcsoló fogantyújának, illetve a fogantyú átalakításának megtervezése és legyártása jelenti. A világításfőkapcsoló mind a normál, mind az álcázó fények kapcsolására szolgál. Ez a kapcsoló még bonyolultabb kezelést igényel, mert nem csak elforgatni, illetve tengely irányban mozgatni lehet, van rajta még egy záróretesz is (6. ábra).



6. ábra: A világítás főkapcsoló részeit és állásait bemutató ábra

Forrás: MH Páncélos és Gépjárműtechnikai szolgálatfőnökség 2003: 75. (34. kép)

3. táblázat: A világításfőkapcsoló zónaváltási helyzetei és mozgatása

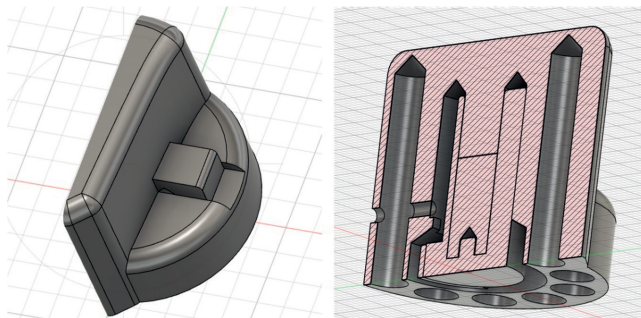
Kapcsolóhelyzet	Kapcsolómozgatás (Tag – 0)	Kapcsolómozgatás (0 – Tag)
Tag – kikapcsolt állás		0 állásból a fogantyút (1) benyomva jobbra fordítani és a reteszt (2) jobbra tolni
0 – Álcázófény zóna alaphelyzete	Tag állásból a fogantyút (1) benyomva balra fordítani és a (2) reteszt balra tolni	

Forrás: a szerző szerkesztése

A normál, nappali üzemmódban a Tag állásból a 4-es zónában a kapcsolófogantyú minden a 2-es és 1-es állásba szabadon forgatható. Az átkapcsolás után a 0 állásból az S3 állásig és vissza szintén szabadon forgatható el minden állásba a 3-as zónában.

A fényszóró távolsági és tompított állása közötti kapcsolás a kormány alatt elhelyezett többcélú bajuszkapcsolóval történik.

A kapcsoló összetettségéből adódóan annak 3D-modellje elkészítése már más szempontok szerint kezdődött. A kapcsolófogantyú-test az infravető kapcsoló alapján már adott volt, de a villa más méretű és elhelyezkedésű volt. A kész rajzon a villahelyek és a középső rész „sketch” rajza átalakítva a megfelelő helyzetre és méretre. Ennek a „sketch”-nek a felhasználásával lett modellezve a csatlakozó felület, így lehetőség volt a kapcsolófogantyú belső méreteinek módosítására, mivel a 3D-modellen, a metszetnézet alkalmazásával láthatóvá vált az alkatrészdarabok kapcsolódása, illeszkedése.

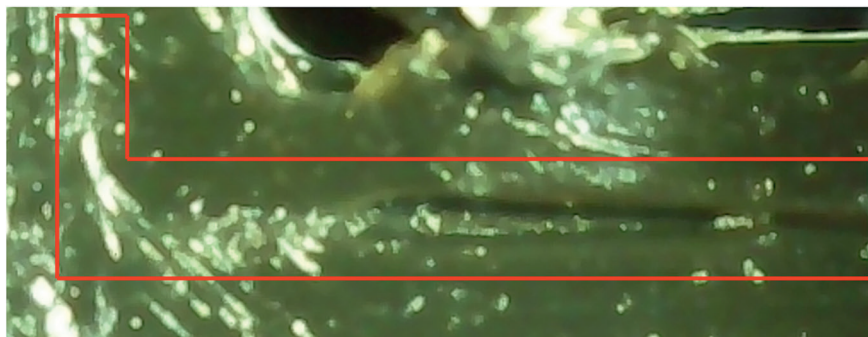


7. ábra: A módosított világításfőkapcsoló modellezésének ábrái

Forrás: a szerző saját készítésű 3D-modelljei

A villa részleges modelljének kettős szerepe lett volna. Az egyik, hogy az alsó részen elhagyható legyen a támasztékok egy része, mert annak eltávolítása körülményes, és a támasztott felület minősége nagyon rossz, érdes. A másik feladat az esetleges méretproblémában érintett felületek beazonosítása. A 7. ábrán jól látható, hogy ki lett alakítva a retesz is, és a nyomtatás a kapcsoló egészét tekintve „alkatrész az alkatrészben” kialakítással lett volna végrehajtva. A kísérlet nem megfelelő eredményére felkészülve viszont előzetesen ki lett alakítva egy technológiai furat is azért, hogy a kapcsolófoglatat leszerelhető legyen a villa rögzítőlemezeinek benyomásával.

Az első nyomtatási kísérlet jelentősen felgyorsított és csökkentett kitöltésű prototípus volt. A nyomtatás végeredménye nem volt megfelelő, annak ellenére, hogy a villa, a kapcsolófogantyú és a retesz függőleges felületei a modell szerint 0,2 mm-es távolságban voltak, a vízszintes érintkező felületek minimálisra lettek csökkentve, és a szeletelőprogram beállításai között a pontosság 0,1 mm-re volt állítva. A prototípus alkatrészeit nem lehetett szétválasztani egymástól. Ennek oka a különálló alkatrészek felületeinek összeolvadása volt (8. ábra).



8. ábra: A két külön alkatrész összeolvadt felületei

Forrás: a szerző felvétele

A második nyomtatási kísérlet előtt a függőleges felületek még további 0,05 mm-rel lettek távolítva egymástól. Ez a 3D-modellező szoftverben az érintett felületek kijelölésével, a „húzás-nyomás” paranccsal egyszerűen kivitelezhető.

A nyomtatás lassabb nyomtatósebességgel, de más tekintetben változatlan beállításokkal történt meg. A nyomtatási folyamatot le kellett állítani, mert a felületek egybeolvadása jól láthatóan ismét megtörtént (9. ábra).

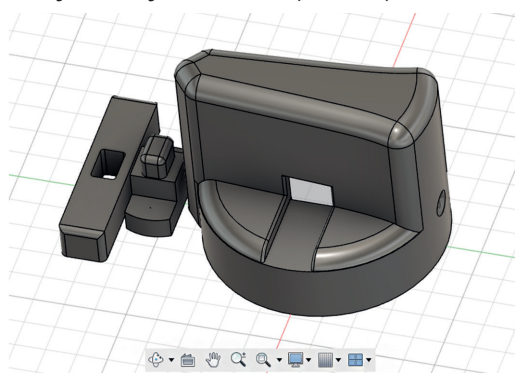


9. ábra: A nyomtatás során összeolvadt alkatrészek

Forrás: a szerző felvétele

Az eddig ismertetett folyam konklúziója volt, hogy az „alkatrész az alkatrészben” kialakítás a jelenlegi eszközökkel és alapanyaggal ennél a munkadarabnál nem kivitelezhető. Át kellett térni egy új megközelítésre. Az első kísérleti elgondolásban a retesz egy közel T betű alakú alkatrész volt, amely a kapcsolófogantyúban kialakított kényszerpályán mozog, és a villa alsó részén lévő tűske határolja be a mozgását. Az új elgondolásban a villák el lettek távolítva, a reteszt szerelhetővé kell alakítani, és a fogantyú belső felületén az alátámasztás-igényt jelentő vízszintes, illetve a vízszintestől 15°-ban eltérő felületek mértékét le kell csökkenteni.

A 3D-modellező szoftverben lehetőség van a szerkesztési fázisok módosítására. Ennek segítségével a retesz ki lett emelve, két részre lett választva, és olyan csatlakozó felületeket kapott, amelyek a két részt összeilleszthetővé teszik. Ebben az összeállításban az alkatrészeket egymás mellé kellett elhelyezni a nyomtatáshoz (10. ábra).



10. ábra: A világításfőkapcsoló alkatrészeinek 3D-modellje

Forrás: a szerző saját készítésű 3D-modellje

A 3D-nyomatás beállításainál már a lehető legjobb felületi minőség volt a legfontosabb szempont. A kinyomtatott alkatrész a kapcsoló villára csak részben volt felhelyezhető, illetve a támasztékok eltávolítása után az alkatrészek összeszerelése nehézkes maradt.

A kapcsolófogantyú áttervezése egyértelműen szükséges volt. Az illeszkedő felületek további 0,15 mm-rel lettek eltávolítva, illetve a retesz számára kialakított nyílás felső szélét megemeltük.

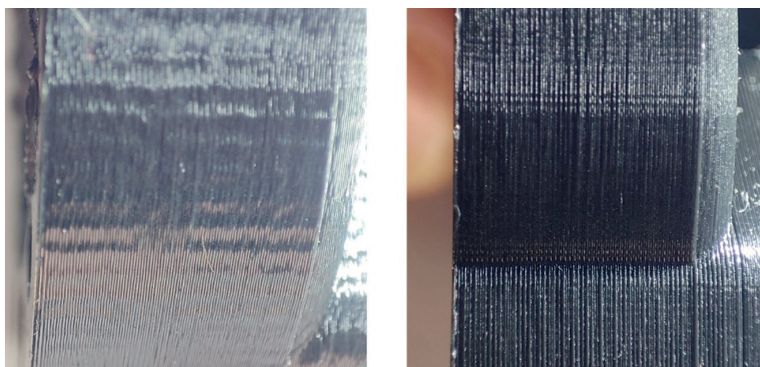
Az utolsó kapcsolófogantyú-verzió nyomtatása már 8 óra 10 percet vett igénybe. Ez a kapcsolófogantyú – a támasztékok eltávolítása és támasztott felületek csiszolása után – a villára megfelelően illeszkedett. A retesz összeszerelhető és beszerelhető volt. A kapcsolófogantyú a beszerelés után a feladatait ellátta, a retesz is megfelelően mozgott, és korlátozta a forgás irányát, az előírásoknak megfelelően.



11. ábra: A világításfőkapcsoló beszerelt fogantyúval és a kapcsoló végállása

Forrás: a szerző felvételei

A létrejött kapcsolófogantyú felületi minősége elfogadható volt, az nem sokban maradt el a gyári darabtól, ugyanakkor jól megválasztott és egyszerűen kivitelezhető utómegmunkálással (például vegyszeres mosás) ez még sokban javítható lenne.¹⁶



12. ábra: A különböző nyomtatási beállításokkal elérhető felületi minőség

Forrás: a szerző felvétele

¹⁶ ZENTAY-HEGEDŰS-VÉGVÁRI 2023.

A világításfőkapcsoló tervezésének és nyomtatásának tapasztalatai

A kísérletek során a publikációban bemutatottnál több alkatrész nyomtatása kezdődött meg. Nem fejeztünk be minden nyomtatási tevékenységet. A kész munkadarabok (világításfőkapcsoló) nyomtatási tapasztalatai szerint:

- a nyomtatási időtartamok 8 óra 10 perc és 8 óra 44 perc időtartam között zajlottak le;
- 21–22 g tömegű alapanyagot kellett felhasználni nyomtatásonként;
- a nyomtatási sebesség változtatása jelentős különbséget mutatott az anyagfelület minőségében.

Összegzés

Az alkatrészpótlásra és -módosításra tett kísérlet eredménye részben sikeres volt. Mindkét kapcsolófogantyú pótolható, módosítható volt a rendelkezésre álló 3D-nyomatási eljárással. Mindkét alkatrész, az eredeti alkatrészek hiányának ellenére, egy másik alkatrész és a csatlakozó felületek, illetve a mozgásukat korlátozó alkatrészek méretének pontos levételével az alkalmazott 3D-tervező programmal jól modellezhetőnek bizonyult. Lehetőség volt az egyik fogantyú alapjainak felhasználására a másik alkatrész modellezéséhez, és ez jelentős munkaidő-megtakarítást eredményezett. Negatív tapasztalat, hogy az alkatrész az alkatrészben kialakítás nem volt megvalósítható a rendelkezésre álló eszközökkel. Ez további kísérletezésre ad lehetőséget. Feltételezés, hogy a nyomtatási hőmérséklet és a nyomtatási sebesség további módosításával, illetve a felületek méreteinek, alakjának változtatásával kivitelezhető lenne az alkatrész az alkatrészben konstrukció megvalósítása. Pozitív eredmény, hogy megtervezett és 3D-nyomatott alkatrészek beszerelhetők, a szükséges mértékben méretpontosak lettek, továbbá a működésük az előírásoknak megfelelően történt. A nyomtatási beállítások egyértelműen befolyásolták a kinyomatott alkatrészek felületének minőségét, még igen kis eltérések esetén is. A 12. ábrán jól látható az alkatrészek felületi minőségének különbsége.

A katonai logisztika területén új elgondolás, hogy a 3D-nyomatás technológiájára alapozva olyan adatbázist hozzanak létre, amely csak „.stl”, illetve szeletelőprogramok számára szükséges fájlkiterjesztéseket tartalmaz. Ez a bemutatott kísérlet alapján önmagában nem lesz elégséges. A nyomtatóeszközök képessége, az alapanyagok tulajdonságai biztosan befolyásolják a 3D-nyomatott alkatrész mérethelyességét, alakpontosságát és felületi minőségét. Ez azt jelenti, hogy egy jól alkalmazható adatbázis számára szükséges egy jóval összetettebb műszaki dokumentáció, illetve a módosítható 3D-modellt tartalmazó fájl is. A műszaki dokumentációnak tartalmaznia kell a nyomtatáshoz szükséges, illetve ajánlott eszközöket, a szoftverek megjelölését, akár frissítések utáni verziószámot megadva, illetve a szeletelő-program beállításait részletesen.

Felhasznált irodalom

- DARUKA Norbert et al. (2024a): A 3D-nyomatási technológia oktatásának lehetőségei és feltételei a műszakitiszt-képzésben. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(1), 5–18. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.1.1>
- DARUKA Norbert et al. (2024b): A 3D nyomtatási képesség kialakításának lehetőségei és korlátai a Magyar Honvédségben. *Hadtudomány*, 34(E-szám), 27–39. Online: <https://doi.org/10.17047/Hadtud.2024.34.E.27>
- EMBER István – ÁDÁM Balázs (2022): Kumulatív töltetek 3D nyomtatása. *Hadmérnök*, 17(3), 35–44. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.3.2>
- GÁVAY György (2023): Logisztikai járművek alkatrészpótlása 3D nyomtatási technológia alkalmazásával. *Katonai Logisztika*, 31(3–4), 208–232. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-3-4-208>
- GYARMATI József (2023): Lánctalpas jármű kormányzása és ennek 3D modellezése. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(3), 51–61. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.3.5>
- GYARMATI József – HEGEDŰS Ernő – GÁVAY György (2022): Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó: Harckocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomtatással oktatási célból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 113–126. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.7>
- GYARMATI József – VÉG Róbert László (2016): A katonai logisztika alapképzési szak páncélos- és gépjármű-technikai moduljának felépítése a korábbi képzések tükrében, szakmai szemszögből. *Hadmérnök*, 11(2), 1–7. Online: <http://dx.doi.org/10.32567/hm.2019.1.4>
- GYARMATI József – VÉG Róbert László (2019): A Katonai logisztika alapképzési szak páncélos és gépjárműtechnikai modulján végzett hallgatók tanulmányi eredményei összehasonlítva a korábbi képzésekkel. *Hadmérnök*, 14(1), 42–49. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.4>
- HEGEDŰS Ernő (2023): Szálerősítéses anyagok 3D-s nyomtatásának hadiipari alkalmazási lehetőségei. *Haditechnika*, 57(4), 62–66. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.5.12>
- Magyar Honvédség Páncélos és Gépjárműtechnikai szolgálatfőnökség (2003): *Kézikönyv: Mercedes Benz U 1300 L TGK. Technikai szolgálati előírásai.*
- RÁKOSI Sára et al. (2023): A 3D-nyomatás biztonságtechnikai és környezetvédelmi aspektusai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(1), 133–148. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.1.10>
- SZABÓ Ildikó (2005): *Új lehetőségek az emelővillás targonca ergonómiai optimalására – Műszaki információ.* Munkavédelem, ergonómia. Műegyetemi digitális archívum. BME OMIKK 11. Online: <https://repozitorium.omikk.bme.hu/server/api/core/bitstreams/8bf6f95f-b8e7-4bdf-bee9-2d586642e022/content>
- VÉGVÁRI Zsolt (2023): A 3D nyomtatás felhasználási lehetőségei a műveleti logisztikában. *Katonai Logisztika*, 33(1–2), 177–198. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-1-2-177>
- VÉGVÁRI Zsolt – HEGEDŰS Ernő – ZENTAY Péter (2022): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei I. rész. *Haditechnika*, 56(6), 56–60. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.09>
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2023): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei, 3. rész. *Haditechnika*, 57(2), 57–62. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.2.11>