

Ember István,¹ Ádám Balázs²

Kumulatív töltetházak 3D nyomtatása

Shaped Charge Body Producing with 3D Printer

A kumulatív töltetek alkalmazása az ipari és katonai robbantások során esetenként jelentős előnyöket hordozhat. A különböző rombolások és tűzszerészek által végzett hatástalanítások meghatározó módszereihez szükségesek ezek a töltetek. A feladatok jelentősen eltérhetnek, ami eltérő típusok alkalmazását teszi szükségessé. Tanulmányunkban megvizsgáljuk a lehetőségeit a töltetházak 3D nyomtatásának, ezzel bemutatva egy 21. századi lehetőséget. A vizsgált nyomtatási lehetőségek megmutatták, hogy az alkatelemek megfelelő minőségű tervezéséhez jártasság-szintű tervezőprogram-ismeret szükséges. A nyomtatások során több esetben nehézségekbe ütköztünk, de sikerült elérni a kitűzött célokat és kinyomtatni több változatban kumulatív-töltet-házat. A gyártás idő- és anyagigénye igazolja, hogy ennek a módszernek van létjogosultsága a hadi és ipari alkalmazás során.

Kulcsszavak: kumulatív töltet, 3D nyomtatás, robbantás, PLA

The use of shaped charges during industrial and military blasting process may provide significant benefits. The different destructions and disarming tasks accomplished by sappers or explosive disposal operators demand special methods with shaped charges. There may be some notable difference among those tasks which determine the engagement of different types of charges. We examine the possibilities of 3D printed shaped charge bodies in our study presenting an up-to-date solution. These examined possibilities showed that it is necessary to know well a sketcher software to execute a proper planning process. During the printing procedures we faced with several problems, however, we managed to achieve our goals and multiple types of charge body were printed. The claim of time and material certifies that this method is applicable in industrial and military blasting processes too.

Keywords: shaped charge, 3D printing, blasting, PLA

¹ Egyetemi tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti Támogató Tanszék; doktorandusz, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Hadtudományi Doktori Iskola, e-mail: Ember.Istvan@uni-nke.hu

² Honvédtisztjelölt, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, e-mail: Adam.Balazs@uni-nke.hu

1. Bevezetés

Korunk fejlett technológiai szintje lehetőséget biztosít rengeteg területen, hogy egyedi eszközöket, alkatelmeket használjunk hétköznapijaink vagy munkánk során. Nincs ez máshogy a robbantástechnikában sem. A különböző speciális eszközök, töltetek kialakítása – alapszintű számítógépes tervezési ismerettel és némi jártassággal a 3D nyomtatás világában – gyakorlatilag egy irodában is lehetséges a szakemberek számára. Természetesen a robbanóanyag-töltet és a gyújtószer ezekben az esetekben csak az alkalmazás helyszínén kerülhet bele a kinyomtatott alkatelmelekbe.

A műszaki támogatás³ keretében végrehajtott robbantások sokfélék lehetnek, és helye van köztük a kumulatív tölteteknek. Helye lehet a különböző rombolási feladatok során és a tűzszerész szakfeladatok végrehajtásakor egyaránt. Az előző két terület alapján meghatározható, hogy vizsgálatunk kiterjed a Magyar Honvédség (MH) által kijelölt több fő kutatási irányba is, mint a terrorizmus elleni harc, egyes nemzetközi feladatok és az országvédelem.⁴ Ez azt is mutatja, hogy a lehetséges eredmények több vonatkozásban segíthetik majd a szakemberek munkáját.

Feltételezésünk szerint lehetséges olyan töltetházat kialakítani ezekkel a modern eszközökkel, amely alkalmas lehet a kumulatív töltetek többi elemének hordozására, valamint a helyszíni vagy alkalmazás előtti készre szerelés feltételeit is biztosítja.

A fenti feltételezések igazolásán túl célkitűzésünk, hogy a katonai felsőoktatásban műszaki specializáción tanuló honvédtisztjelöltek képzésébe is integrálható eljárást alakítsunk ki, ezzel emelve a felkészítés egyébként is magas színvonalát.

2. A 3D nyomtatás technológiai

Napjainkban a 3D nyomtatás különböző technológiáival már nemcsak műanyagokat, hanem fémeket és egyéb építőanyagokat is lehet nyomtatni. 2021-ben Németországban már egy kétszintes családi házat is sikeresen kinyomtatottak, speciális betonkeverék segítségével. Az új technológia alkalmazásához csupán két kezelőre volt szükség, és a normál építési feladatok időtartamához képest annak töredék ideje alatt sikerült elkészíteni az épületet, amelynek minden egyes betonrétege 2 cm vastag volt. Alapvetően viszont a 3D nyomtatást először műanyagok nyomtatására fejlesztették ki. Csak később váltak vele nyomtathatóvá más anyagok, mint például a fémek vagy a fent említett beton.

Mivel a műanyagokat kezdték el legelőször 3D nyomtatásra felhasználni, így napjainkra már számos nyomtatási mechanizmus vált ismertté. Mivelhogy a töltetház anyagának kiválasztása megtörtént, így már csak az alkalmazott nyomtatási eljárást kellett kiválasztani. Minden nyomtatási technológiának megvannak a maga előnyei és hátrányai, így több technológia összehasonlításának eredményeként született meg

³ Kovács Zoltán: Gondolatok a műszaki támogatás és a műszaki zárás alapjairól. *Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények*, 6. (2002), 1. 30–46.

⁴ Boda József et al.: A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök. *Államtudományi Műhelytanulmányok*, (2016), 16. 1–23.

a döntés a szálhúzásos (FDM⁵-) módszer mellett. A vizsgált típusok között voltak még a poralapú (SLS⁶-) és folyadék alapú (SLA⁷-) technológiák. Minden kétséget kizáróan a műanyagok nyomtatása jár a legkisebb költségekkel, valamint az eltérő műanyag típusok alkalmazását is a konkrét feladathoz lehet igazítani. Viszont fontos leszögezni, hogy ennek költségei még így is jelentősen nagyobbak, mint a műanyag fröccsöntésé, ezért a 3D nyomtatást csak a tesztelesek és prototípusok előállítására, továbbá egyedi geometriák kialakítására érdemes használni korlátozott mennyiségben. Azt nagyipari termelésre sem a munkaidő, sem az előállítási költségek nem teszik alkalmassá.

Az SLS-technológia lényege, hogy egy fúvóka zárt térben 50–200 mikron⁸ vastagságú porréteget képez, amelyet egy meghatározott pályán mozgó lézer pontként kiéget. Ahol a lézer kiégette a műanyag alapú port, ott az megszilárdul, ahol nem, ott továbbra is por halmazállapotú marad. Mivel a port rétegenként viszi fel, így a legkülönbözőbb geometriai alakzatok nyomtatásához sincsen szükség támasztékok beépítésére a 3D modellbe. Viszont pontosan ennek köszönhetően a nyomtatás befejezésekor a tárgyak előhívásához utómunkaként el kell a felesleges (nem megszilárdult) pormennyiséget távolítani, ami az egészségre rendkívül káros, így csak fokozott munkavédelmi előírások betartása mellett történhet. SLS-technológiával csak nylon anyagok nyomtathatók különböző változatokban, ezeknek színe leginkább szürkés barnás, ezáltal rendkívül könnyen felismerhetők az ilyen típusú nyomtatók termékei. Alapvető tulajdonságai a törésmentesség, szakadásmentesség és a rugalmasság, ezért rendkívül jól használható kis terhelésű mozgóalkatrészek gyártására.

Az SLA-technológia alkalmazása során a lézer fényre érzékeny folyadékba sugároz, ahol a 3D nyomtatott modell megfelelő pontjain a fényérzékeny műanyag folyadék megszilárdul. A megszilárdult pontokból rétegről rétegre jön létre a 3D modell. Alapvetően a folyadék miatt itt sincs szükség statikai támasztékokra, viszont a folyadékból való kiemeléshez a tárgynak a megfelelő pontokon kapcsolódnia kell az azt mozgató tálcához, ezért vannak beépítve támasztékok, viszont ezek könnyen és egyszerűen eltávolíthatók. A nyomtatási eljárások közül a galvófejes lézer segítségével lehet a legpontosabban nyomtatni, ugyanis ennél a technológiánál mikronos pontosságról beszélhetünk. Éppen ezért rendkívül részletes, egymáshoz illeszkedő alkatrészeket lehet vele nyomtatni, így előszeretettel alkalmazzák a technológiát a fogászatban. Színes és átlátszó kivitelben is lehet kapni a nyomtatáshoz szükséges, fényre érzékeny folyadékot, amelyet színezékekkel a kívánt színűre lehet festeni. A folyadék kiszorítását tekintve általában 500 g vagy 1000 g,⁹ illetve fontos, hogy megfelelő időközönként a gépben lévő tálcákat is – amelyek a folyadékokat felfogják – cserélni kell.

Az FDM- vagy szálhúzásos technológia segítségével lehet a legegyszerűbben és legolcsóbban előállítani 3D-s tárgyakat, ezért a nyomtatók e fajtája a legelterjedtebb. Legnagyobb választékban az FDM-típusú eszközök kaphatók, amely nyomtatók bekerülési értéke mellett a fenntartási és alapanyagköltségek is a legkisebbek a korábban említettekhez képest. Működése egyszerű. Egy filamentnek nevezett

⁵ Angol elnevezése: *fused deposition modeling*.

⁶ Angol elnevezése: *selective laser sintering*.

⁷ Angol elnevezése: *stereolithography*.

⁸ FreeDee: *SLS-nyomtatás (szelektív lézerszinterezés) útmutató*. (é. n.).

⁹ Lásd: www.3djake.hu/resin

tekerceslt műanyagot használ, amely műanyag típusa rendkívül változatos lehet. A filament egy fogaskerekes adagolóegységen megy keresztül, amely azt belenyomja a melegítő egységbe,¹⁰ ahol a műanyag megolvad, folyékony halmazállapotúvá válik. Az adagolóegység által létrehozott nyomás hatására a „hotend” végén lévő fúvókán keresztül jut ki a műanyag a nyomtatófejből a fűtött asztalra vagy tálcára. Az eltérő filamenttípusok eltérő nyomtatástechnológiát kívánnak, így mind a „hotend”, mind a fűtött tálca hőmérséklete szabályozható. A feladathoz mért megfelelő részletességű nyomtatáshoz ki kell választani a megfelelő méretű fúvókát, amelyből számtalan méret létezik. Rendelkezésünkre állt több változat: 0,25 mm, 0,4 mm és 0,8 mm. Ezekből alapvetően a legnagyobbat használtuk ennél a vizsgálatnál. A fúvóka átmérőjének megfelelő kiválasztása azért is fontos, mivel a nagyobb átmérővel felére vagy harmadára lehet csökkenteni a nyomtatási időt. Éppen ezért, ha nem kívánt a modell tökéletes és részletgazdag nyomtatása, nagyobb fúvókaátmérővel érdemes nyomtatni. A filamenteknek rendkívül sok változata ismert. Találhatunk farostokkal vagy rézzel, illetve olyan gipsszel dúsítottakat is, amelyeket makettezőknek fejlesztettek ki, hogy azokat festéssel lehessen színezni.

Mivel a kutatás során az egyik fő feladat a kumulatív töltetházak nyomtatása volt, így a feladathoz legjobban illeszkedő nyomtatótípus kiválasztása volt a feladatunk. A követelményeket a viszonylagosan nagyszámú nyomtatás, a költséghatékony fenntarthatóság és a pontosság mérésének nem a pár tíz mikronos, hanem az annál jóval nagyobb mértékek használata jellemezte. Így a feladathoz legjobban illeszkedő technológiát és nyomtatót, egy Craftbot 3 típusú FDM-nyomtatót választottunk a feladathoz.

3. A töltetházzal szemben támasztott követelmények

Mivel egy robbantási feladathoz tervezett eszközzel van szó, az esztétikai szempontokat minden esetben jelentéktelennek tekinthetjük. A kialakítás során az alkalmazhatóság és a töltet hatékonyságának növelése a meghatározó. Mindezeken túl a kész alkatrészeknek minimális utómunkálattal (sorják eltávolítása) egymásba illeszkedőnek kell lenniük, és pillanatragasztóval megbízhatóan kell rögzülni a részegységeknek. A gazdaságosság szintén meghatározó szempont, valamint az, hogy képes legyen elviselni a készre szerelés erőhatásait.

A ház falának kialakítása az alkalmazott anyagok és az észszerűen méretezett vastagság miatt nincs hatással a hatékonyságra. Készíthető olyan töltetház, amely kibírja a robbanás dinamikus terheit és ezáltal a fellépő energiákat tovább erősíti, de ezek alkalmazása nem praktikus. Nem is igazán fellelhető ilyen a piacon, inkább mint elvi lehetőség említettük meg. Az viszont nem kérdés, hogy kellően erős töltetházra van szükség a helyszíni, kézi készre szerelés végrehajtásához.

Az anyag tekintetében a hadi felhasználás a tartós, időjárásálló és egyszerűen alapanyagokat részesíti előnyben. Ezek jelentősége vitán felül áll. Azonban egy prototípus gyártásakor meg kell találni a legolcsóbb, de használható anyagokat. A PLA

¹⁰ Angol és szakmai elnevezése: „hotend”.

ilyennek bizonyult annak ellenére, hogy korlátozott ideig eltartható. Mivel a gyártás vagy nyomtatás esetén ilyen töltetknél nem telik el hosszú idő (technikailag 1–2 nap), valamint a helyszíni alkalmazás és készre szerelés sem időigényes (néhány óra), úgy gondoljuk a hadi alkalmazása is megfontolandó. Mindezekon túl nagyon stabilan ragaszthatók¹¹ a PLA-alapanyagok egymáshoz és fémekhez egyaránt. A későbbiekben természetesen lehetőség van a kész terveket más alapanyagokkal is reprodukálni.

Mivel az ilyen töltetek a különböző robbantási feladatoknál különböző ipari robbanóanyagokkal,¹² bináris robbanóanyag-keverékekkel¹³ és katonai robbanóanyagokkal¹⁴ egyaránt készülhetnek, a végleges alapanyagot meghatározza majd azok összeférhetősége egymással. Várhatóan a hadi alkalmazás miatt valamilyen plasztikus robbanóanyag lesz majd a fő töltet, mint például a Semtex.

4. Kumulatív töltetházak 3D-modellezése

A végső változatok „FreeCAD” program alkalmazásával készültek el. Ez a szoftver lehetőséget biztosít, hogy professzionális módszerrel alakítsuk ki az alkatelemeket. Kifejezetten ez utóbbira optimalizált felülettel is rendelkezik, de klasszikus tervezési lehetőségeket is biztosít. Az elkészült 3D-modellt exportálni kell és „.stl” formátumban elmenteni, amit a továbbiakban a nyomtatás előkészítése során, az alkatelem modelljének úgynevezett „szeletekre” bontásánál használni tudunk.

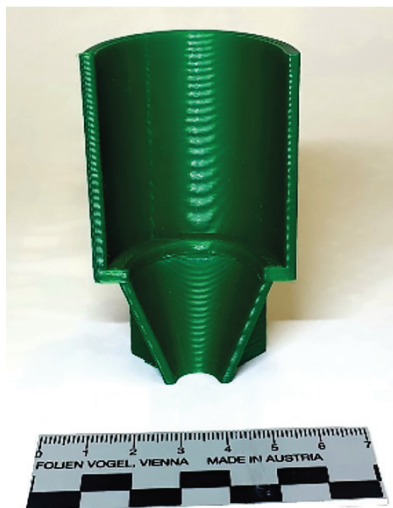
A kumulatív töltetházak több méretben készültek, ezeket a bennük elhelyezett kumulatív béléstestek belső átmérője alapján neveztük el. Az elnevezésük nem fedi a tényleges paraméterüket, de ragaszkodnunk kellett ehhez a változathoz, mert a béléstest átmérője alapján lehetett könnyen azonosítani az egymáshoz megfelelő méretű alkatelemeket. A kinyomtatott változatok a fent jelzett elnevezések mentén készültek 40 mm-es, 35 mm-es, 30 mm-es, 25 mm-es és 20 mm-es béléstestekhez. Ahogy az 1. ábrán látszik, a töltetházak felső része henger alakú volt, amely feladata a kumulatív béléstest, illetve a robbanóanyag pontos rögzítése. Ez alatt egy belső átmérőjében és vastagságában kisebb henger helyezkedett el, amely támaszt biztosított és pozicionálta is a béléstestet. A töltetház aljára egy, a töltet alja felé szűkülő, üreges csonkakúp visszaáramlását került, amelynek feladata a kumulatív sugár kialakulásának optimalizálása, ezzel az elvi penetrációs képesség növelése. A töltetházak két típusú eltartással készültek. Ez azt jelenti, hogy a kumulatív béléstest alsó síkja, illetve a céltárgy között a béléstest belső átmérőjének egyszeres vagy kétszeres távolsága van. E köré négy téglatest került, amelyek a töltetház stabil és megbízható feltámaszkodását és rögzítését biztosítják a céltárgyon.

¹¹ Loctite Power Flex és Loctite Super Bond termékek alkalmazásával vizsgálva.

¹² Daruka Norbert: Robbanóanyag-ipari alapanyagok és termékek osztályozásának lehetőségei. *Műszaki Katonai Közlöny*, 26. (2016), 1. 26–43.

¹³ Kugyela Lóránd: A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője. *Katonai Logisztika*, 28. (2020), 4. 58–75.

¹⁴ Lukács László: *Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből. Különös tekintettel a továbbfejlesztés várható irányaira és a kor új kihívásaira*. Budapest, Dialóg Campus Kiadó, 2017. 26. 1. ábra.



1. ábra: Töltetház metszete

Forrás: a szerzők szerkesztése

A töltetházakhoz készült egy gyutacsfészek készítésére alkalmazható kupak. A kupak középső részén 1 cm magas, 0,8 cm átmérőjű henger van, amely a gyutacs pontos elhelyezését szolgálja a robbanóanyagban. Így a gyutacs a kör közepén való, megfelelő mélységű elhelyezésével egyenletes iniciálás érhető el plasztikus robbanóanyagok alkalmazása esetén. A későbbiekben egy gyutacstartó kupakot is kialakítottunk. Ennek a középső hengeres részében 8 mm-es furat található, valamint a furat felett 1 cm magas henger, amelyben szintén megegyező 8 mm-es furat van. A kupakot és a hengert külön alkatelemként nyomtattuk ki és pillanatragasztóval rögzítettük véglegesen egymáshoz.

5. 3D-modellek szeletelése és a G-kód előállítása

A töltetházak nyomtatásának legfontosabb követelményei a strapabíró, erős kialakítás és a minél gyorsabb előállíthatóság volt. A strapabíróságot a filament anyagának és a töltetház falvastagságának változtatásával lehet módosítani. Mivel a töltetházakat tárolásból kivétel után egyből felhasználják, nem kitétel a környezeti hatásoknak ellenálló anyag, mint az ABS¹⁵-filament használata, ezáltal a legzsdáságosabb filamentból, a PLA-ból¹⁶ dolgoztunk a házak gyártása során. Mivel a lehető legrövidebb nyomtatási időt szerettük volna elérni, a 0,8 mm-es fúvókaátmérőt használtuk nyomtatás során.

A 3D-modellek szeleteléséhez, a G-kód előállításához több felhő- és nem felhőalapú szoftver is használható. Jelen feladathoz a „Craftbot” cég által fejlesztett

¹⁵ Angolul: *acrylonitrile butadiene styrene*, magyarul: akrilnitril-butadién-sztirol.

¹⁶ Angolul: *polylactic acid*, magyarul: politejsav.

CraftWare alkalmazást használtuk. A gyorsabb nyomtatás érdekében párhuzamos, tehát egyszerre két fejjel való eljárást választottunk. Ekkor a két fej egymással szinkronban mozog, így megegyező idő alatt két test is kinyomtatható, viszont hiba esetén könnyen mindkettő test hulladékká válhat.

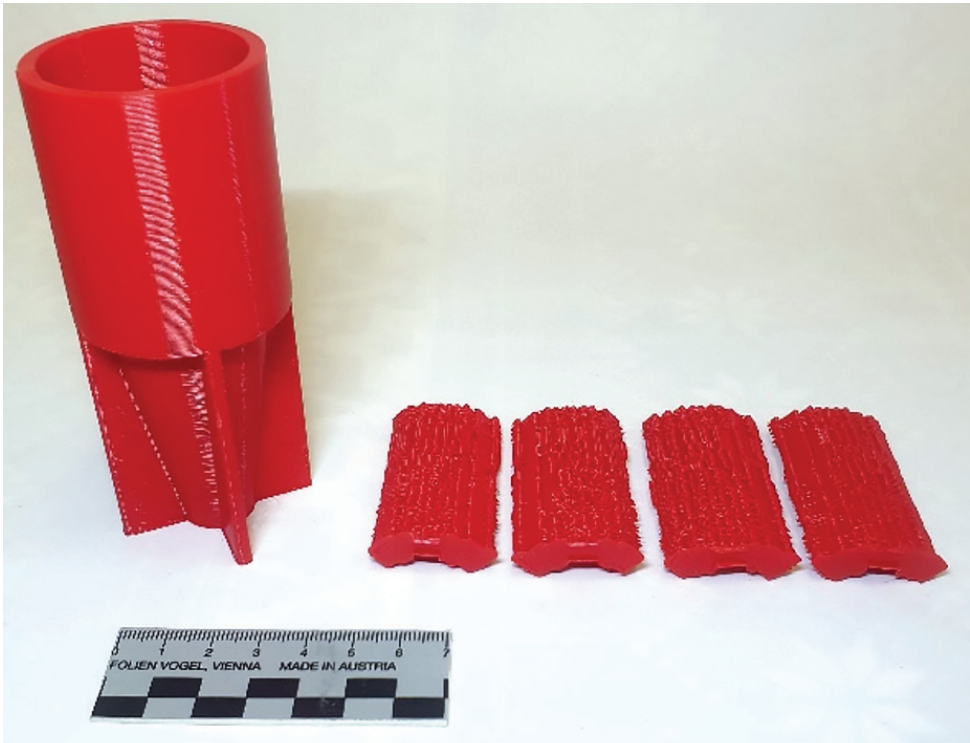


2. ábra: Töltetház a nyomtatási támasztékokkal

Forrás: a szerzők szerkesztése

A töltetházak nyomtatásához szükség volt támasztékok generálására is a béléstest felfekvését biztosító henger alá (2. ábra), mivel ellenkező esetben ezek a levegőben szabadon lógtak volna. Ennek kiküszöbölésére szóba került a 180°-os „fejjel lefelé” nyomtatás is, viszont így is kellett volna támasztékokat generálni, csak azok a testen belülrre kerültek volna, ami nehezítené azok eltávolítását. A támasztékok eltávolítását megkönnyítette volna, ha azokat vízben oldódó filamentből (PVA)¹⁷ készítjük, viszont így egy tárgy nyomtatásához két nyomtatófejet kellett volna használni, továbbá a felhasznált anyagok sokkal költségesebbek lettek volna. Ezért inkább a támaszszlopok méretét kellett megfelelően kiválasztani úgy, hogy a PLA-anyagú támasztékokat egyszerűen, fizikai erővel is ki lehessen törni a töltetházból (3. ábra).

¹⁷ Angolul: *polyvinyl acetate*, magyarul: polivinil-acetát.



3. ábra: Töltetház az eltávolított nyomtatási támasztékokkal

Forrás: a szerzők szerkesztése

A különböző gyártók eltérő hőmérsékletértékeket határoznak meg a PLA-anyagok felhasználásához, de mi ezektől függetlenül általános értékeket, tehát 215 °C-os „hotend” és 60 °C-os tálcahőmérsékletet alkalmaztunk minden nyomtatásnál. A töltetház belső kitöltését a lehető legnagyobb szilárdság elérése érdekében párhuzamos vonalokból álló 100%-os kitöltésre állítottuk. Célszerű karima használata a test körül, amely nyomtatása során a nyomtatófej valamennyire kalibrálja magát, valamint ezáltal az esetleges kezdeti hibák is hamar kiderülhetnek.

6. Kumulatív töltetházak nyomtatásának sajátosságai

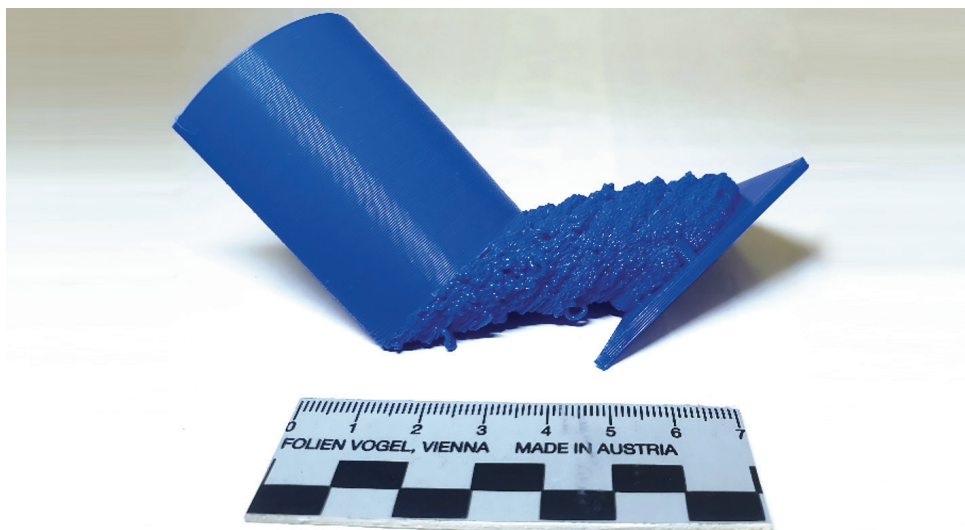
A töltetházak nyomtatásához két darab Craftbot 3 nyomtatót használtunk. Bár a CraftWare alkalmazás a „szeletelés” során ad egy hozzávetőleges nettó értéket a nyomtatás időtartamát illetően, ezt a tapasztalatok alapján 15–20%-kal növelve kapjuk csak meg a tényleges időtartamot. Viszont ez függ a nyomtatófejek és a tálca hőmérsékletétől, a szünetektől és a G-kódtól is, így az erről szóló táblázatban (1. táblázat) a CraftWare által megadott nettó értékek szerepelnek.

1. táblázat: Töltetházak nettó nyomtatási ideje

Fsz.	Töltettípus	Átmérő	Magasság	Nyomtatási idő
1.	20 mm-es béléstesthez	36 mm	61 mm	40 perc
2.		36 mm	81 mm	59 perc
3.	25 mm-es béléstesthez	41 mm	70 mm	54 perc
4.		41 mm	95 mm	92 perc
5.	30 mm-es béléstesthez	46 mm	80 mm	71 perc
6.		46 mm	110 mm	108 perc
7.	35 mm-es béléstesthez	51 mm	90 mm	90 perc
8.		51 mm	125 mm	139 perc
9.	40 mm-es béléstesthez	60 mm	100 mm	131 perc
10.		60 mm	140 mm	207 perc

Forrás: a szerzők szerkesztése

A töltetházak nyomtatása során kevés hibát tapasztaltunk. Leginkább annak köszönhetően, hogy a nyomtatófej körkörösén tudott dolgozni a 3D-modell szerkezete miatt, így nem kellett a nyomtatás irányát folyamatosan változtatnia. Néhányszor a tálca szennyeződése miatt nem volt megfelelő a tapadás, valamint előfordult, hogy a támaszszlopok helytelen méretezése miatt a visszaáramlást gátló rész teljesen elferdült a nyomtatás során (4. ábra). De ezeket leszámítva kis hibaarányal készültek el az alkatrészek.



4. ábra: Hibás nyomtatás eredménye

Forrás: a szerzők szerkesztése

7. Összegzés

A nyomtatások eredményei bebizonyították, hogy az alkalmazott nyomtatótípussal lehetséges elkészíteni ezeket a töltetházakat. Az elkészült változatok felülete ugyan nem esztétikus, de egy felrobbantásra tervezett alkatelem esetében ez nem lehet szempont. Az alkalmazhatóság azonban már sokkal fontosabb tényező, és mivel a különböző alkatelemek egymásba illeszthetők lettek, valamint kellően erősek szerkezetileg, véleményünk szerint megfelelnek a kitűzött elvárásoknak.

Érdekes lehet a terület további vizsgálata más anyagokkal is, amelyek ellenállnak a vegyi hatásoknak és az időjárásnak. Egy-egy ilyen típus akár hosszú tárolási időt is elviselhet szerkezeti károsodás nélkül.

Más tekintetben lehetőség van a töltetházak kialakításában további alkatelemek beillesztésére, mint az úgynevezett inert lencse. Ennek a szakszerű pozicionálása komoly technológiai feladat, de a töltet hatékonyságában jelentős szerepe lehet. Továbbá érdemes megvizsgálni a zárókupak rögzítése csavarmentes vagy bajonettzárás kialakításának lehetőségeit is.

Véleményünk szerint a fenti tapasztalatok jó alapot biztosítanak az eljárás beemelésére a katonai felsőoktatásba, amennyiben a technikai lehetőségek széles körben adottak lesznek a feladathoz.

Felhasznált irodalom

- Boda József – Boldizsár Gábor – Kovács László – Orosz Zoltán – Padányi József – Resperger István – Szenes Zoltán: A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök. *Államtudományi Műhelytanulmányok*, (2016), 16. 1–23. Online: www.med.u-szeged.hu/download.php?docID=90702
- Daruka Norbert: Robbanóanyag-ipari alapanyagok és termékek osztályozásának lehetőségei. *Műszaki Katonai Közlöny*, 26. (2016), 1. 26–43. Online: https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2016_1_03_Robbanoanyag-ipari%20alapananyagok.pdf
- FreeDee: *SLS nyomtatás (szelektív lézerszinterezés) útmutató*. (é. n.) Online: www.freede.hu/sls-nyomtatás-szelektív-lezerszinterezés-utmutató/
- Kovács Zoltán: Gondolatok a műszaki támogatás és a műszaki zárás alapjairól. *Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények*, 6. (2002), 1. 30–46.
- Kugyela Lóránd: A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője. *Katonai Logisztika*, 28. (2020), 4. 58–75. Online: <https://doi.org/10.30583/2020.4.058>
- Lukács László: *Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből. Különös tekintettel a továbbfejlesztés várható irányaira és a kor új kihívásaira*. Budapest, Dialóg Campus Kiadó, 2017.