

Szalkai László¹ 

Additív gyártási technológiával előállított idomtöltetek alkalmazhatóságának kérdése a rendvédelmi, speciális feladatokat ellátó egységeknél

The Applicability of Additively Manufactured Charges in Law Enforcement and Special Task Units

Az additív gyártási (3D-nyomatás) technológia alkalmazásának lehetőségére egyre több területen figyelnek fel a kutatók. Az elmúlt években jelentős újításokról értesülhettünk az ipari vagy katonai területen elért eredményekről. A technológia felhasználásával rendvédelmi területen új lehetőségek adódnak a kiképzési feladatok végrehajtása vagy akár a műveleti egységek feladatvégrehajtása során. Ezzel a technológiával gyors, költséghatékony, kreatív, egyedi elemek gyárthatók, amelyek alkalmazhatóságát a kutatómunkám során dokumentálni fogom. A rendvédelmi feladatokat támogató speciális idomtöltetek prototípusait – a műveleti feladatok sajátosságainak figyelembevételével – megtervezem, előállítom, majd a kutatásom későbbi szakaszában tesztelni is fogom. Az additív technológia előnyeit kihasználva – ha szükséges, korrekciók alkalmazásával – új tervezési irányok valósíthatók meg a kívánt cél elérése érdekében. Célom, hogy a rendvédelmi szektor számára az eddigieknél jobb eszközök alkalmazására tegyek javaslatot.

Kulcsszavak: 3D-technológia, idomtöltetek, rendvédelem, kutatás

Researchers are increasingly focusing on the potential applications of additive manufacturing (3D printing) technology in a wide range of fields. In recent years, we have heard about significant innovations in industrial and military applications. Its use in law enforcement opens up new possibilities for training exercises and even for operational units. This technology allows for

¹ Doktori hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: szalkai.laszlo81@gmail.com

the rapid, cost-effective, creative production of unique items, the applicability of which I will document in my research. I will design and produce prototypes of special charges to support law enforcement tasks, taking into account the specificities of operational tasks, and will test them in a later stage of my research. Taking advantage of the benefits of additive technology, new design directions can be implemented with corrections if necessary to achieve the desired goal. My goal is to propose better tools for the law enforcement sector than those currently available.

Keywords: 3D technology, charges, law enforcement, research

A 3D-nyomtatás fogalma és jelentősége

A 3D-nyomtatás vagy additív gyártás olyan folyamat, amely során anyag hozzáadásával – vékony rétegek egymásra helyezésével készít 3 dimenzióban érzékelhető tárgyakat, szemben a hagyományos megmunkálással – CNC (*computer numerical control*) munkafolyamat –, amelynek során nagyobb nyers darabból választják le a felesleges anyagot, és a megmaradó rész lesz a kész termék. Nagyszerűsége abban rejlik, hogy az így előállított termékek új dimenziókat nyitnak meg az anyagmegmunkálás területén, úgynevezett bennszülött alkatrészek készíthetők. Ezek az elemek hagyományos esztergálási technikákkal jelenleg nem állíthatók elő.

„A bennszülött alkatrész olyan alkatrész, amely csak tervrajzon megvalósítható, mert átgondolatlan tervezése vagy a hibás műszaki rajz miatt lehetetlen legyártani, szétszedni vagy használni. Az alkatrész fizikai mérete miatt a valóságban nem beszerelhető, az azt körülvevő alkatrészen nincs megfelelő méretű nyílás.”²

Ezzel a technológiával mind a katonai, mind pedig a rendvédelmi területen új lehetőségek nyílnak meg, amelyeket a hozzám hasonló kutatók igyekeznek felfedni.

Maga a technológia számos területen jelenik meg és olyan lehetőségeket is megteremt, mint például a biztonsági kéziszerszámok gyárthatósága, ahol a szikramentesség kritikus követelmény. Speciális környezetekben – mint például egyes rendvédelmi operatív helyzetekben – a műszaki és anyagbiztonsági kritériumok különösen magasak, így a megfelelő módon legyártott, megbízható eszközök, alkatrészek akár életeket is menthetnek, és szavatolják az alkalmazók biztonságát.³

Kutatómunkám során olyan magas biztonsági fokozatú ajtók nyitására alkalmas terméket tervezek 3D-nyomtatási technológiával előállítani, amely elsősorban a speciális rendvédelmi feladatokat ellátó egységek kiképzéséhez és tevékenységéhez nyújtana segítséget. E törekvés célja, hogy a kiképzés, illetve műveleti tevékenység során alkalmazott összeállítási idő csökkenjen, mindemellett a biztonság ne sérüljön. Továbbá az is fontos számomra, hogy a termék egyszerűsége egyben nagyszerűsége is legyen. Ez alatt a hibalehetőségek

² VÉGVÁRI–HEGEDŰS–ZENTAY 2023a: 56; ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2023b: 52–53; ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2023c: 57–59.

³ EMBER et al. 2024: 56–61.

kiszűrését értem, hiszen a fokozott stresszhelyzet, izgalmi állapot legtöbbször csökkenti a hatékonyságot. Az ilyen területen feladatokat ellátó személyek számára ez nem megengedhető, mert minden hiba, rossz mozdulat emberélelet követelhet. A harmadik fő szempont, hogy az összeszerelési folyamat ne igényeljen semmilyen eszközt, amelynek esetleges hiánya a műveletet szabotálná. Ez többek között a szerelési időt is csökkenti. A jelenleg a szakmában alkalmazott magas biztonsági fokozatú ajtókra kifejlesztett támasztó- és rögzítőelemeket igyekszem elhagyni, mert azok jelentős biztonsági kockázattal járnak a közvetlen környezetre.

A 3D-nyomatási módszerek csoportosítása

A 3D-nyomatási módszerek többféleképpen osztályozhatók, a kutatás relevanciája alapján a következő csoportokat különböztethetjük meg:

1. a felhasználási terület alapján,
2. a nyomatás módszere, folyamata alapján,
3. az alapanyag típusa alapján.

A nemzetközi katonai és rendvédelmi gyakorlatban a 3D-nyomatás egyre nagyobb figyelmet kap. Az Észak-atlanti Szerződés Szervezete (NATO) több tanulmányában kiemelte, hogy a decentralizált, helyszíni additív gyártás stratégiai előnyt jelenthet válságövezetekben és béketámogató műveletekben. Az Amerikai Egyesült Államok hadserege például tábori körülmények között már sikeresen alkalmazta a technológiát pótalkatrészek és fegyverkiegészítők előállítására, míg Izraelben a rendvédelmi egységeknél speciális, kiképzési célokat szolgáló eszközöket állítottak elő. Oroszország és Kína szintén intenzíven kutatja a katonai felhasználási lehetőségeket, különösen a drónok, robotikai rendszerek és speciális lőszer területén. Ezek az irányok azt mutatják, hogy a technológia stratégiai szinten is komoly hatással lehet a védelmi képességek fejlesztésére.

A felhasználási terület alapján történő csoportosítás

Az additív gyártási technológia számos területen alkalmazható. Folyamatosan bővülő felhasználási köre újabb és újabb területekre gyakorol hatást. Ezek közül néhány:

- orvostudomány: egyedi protézisek, implantátumok, fogászati termékek, orvosi eszközök költséghatékony előállítása;
- autópár: alkatrészek, szerszámok, prototípusok készítése;
- repülőgépipar: speciális alkatrészek gyártása;
- építészet: egyedi 3D-nyomatási eljárással készített házak gyártása;
- divat- és ékszeripar: egyedi ruházati cikkek, ékszerek tervezése és gyártása.

Az additív gyártási technológia a védelmi szektorban is egyre nagyobb szerepet kap.

Rendvédelmi felhasználása: egyedi felszerelések, fegyverek és kiegészítők, valamint a képzési eszközök előállításának területén történtek jelentősebb előrelépések. Katonai

felhasználása: többek között alkatrészek és javítások, drónok és robotok, építési és az infrastruktúra területeit érintő fejlesztések zajlanak. A 3D-nyomatási képesség kialakítása a Magyar Honvédség (MH) műszaki egységei számára is stratégiai fontosságú lehet. Van olyan tanulmány, amely SWOT- (*strengths, weaknesses, opportunities, threats*) analízisen keresztül mutatja be a technológia ellátásbiztonsági előnyeit és katonai-logisztikai alkalmazhatóságát.⁴ Ez azért is fontos, mert párhuzam fedezhető fel a rendvédelmi idomtöltetek prototípusai és a katonai műszaki felhasználásuk között, hiszen hasonló ellátási és operatív követelményeket szolgálhatnak ki. A 3D-nyomatás jelentősen csökkentheti a szállítási és raktározási kockázatot a logisztikai láncban. A rendvédelmi prototípusok helyszíni legyártásának lehetősége erősítheti a műveleti egységek reagálóképességét és önállóságát.⁵

Meggyőződésem, hogy az additív gyártási technológia további kutatása számottevően növelheti a védelmi szektor hatékonyságát és rugalmasságát.

A nyomtatás módszere alapján történő csoportosítás

A 3D-technológiában leggyakrabban alkalmazott nyomtatási módszerek nem mindegyike alkalmas a kutatómunkám elvégzésére, ezeket a szélesebb körű kitekintés okán említem meg:

1. Az FDM/FFF (*fused deposition modelling/fused filament fabrication*) olyan 3D-nyomatási technológia, amely során a nyomtató extruderén (nyomtatófej) keresztülvezetett, hőre lágyuló filamentek a nyomtatási tálcán rétegekben, összeolvadva rakódnak le. Az egyik leggyakoribb nyomtatási eljárás a polgári felhasználásban.
2. Az SLA- (*stereolithography*) technológia során fényre szilárduló, folyékony fotopolimer műgyanta alapanyagokat használnak, amelyeket egy lézer segítségével rögzítenek egymáshoz. Ez az eljárás lehetőséget biztosít az apró részletek megjelenítésére.
3. Az SLM- (*selective laser melting*) technológia során fúziós elven fémporok összeolvasztását végzik lézer segítségével. Ez az eljárás nagy reményeket ébreszt a hadikutatás területén.
4. Az SLS (*selective laser sintering*) alkalmazása során a por állagú alapanyag rétegeit a szelektív lézeres szinterezés technológiájával kötik össze. Az alapanyag teljesen kitölti a munkateret, ezért nincs szükség támaszokra sem.
5. A PolyJet-nyomatás során folyékony fotopolimer cseppeket kötnek össze egy UV-fényforrás segítségével. Előnye, hogy nagy méretű, részletes prototípus-alkatrészek is gyárthatók kiváló felületi minőséggel, a színkeverés lehetősége mellett.
6. A *binder jetting*-eljárásban por alapanyagra rétegenként kötőanyagot permeteznek, így alakul ki a megtervezett termék. Több szín és alapanyag használata lehetséges egy nyomtatás során.
7. A DLP- (*digital light processing*) nyomtatók fotopolimer alapanyagot használnak fel a tárgyak felépítésére. Ezáltal az eljárás nagy felbontású, egyedi modellek, alkatrészek gyártására alkalmas (például a fogtechnikában vagy az ékszeriparban).

⁴ DARUKA et al. 2024b: 31–36.

⁵ DARUKA et al. 2024c: 250–252.

8. Az EBM (*electron beam melting*) 3D-nyomatók fémpor alapanyagot olvasztanak fel egy elektronnaláb segítségével, így építik fel a tárgyat rétegről rétegre. Ez a technológia elsősorban fém alkatrészek gyártására használható.
9. A DMLS- (*direct metal laser sintering*) technológia az SLS-módszer szerint működik, azonban fém alapanyagokat használ fel a termék elkészítéséhez.
10. A CJP- (*color jet printing*) eljárással többszínű eszközök gyártása lehetséges. Felhasználása az ember fantáziáján múlik.

A fentebb felsorolt nyomtatási technológiákon kívül számos lehetőség nyílik ezen a területen, amely különféle iparágak igényeit elégítheti ki, emellett új kutatási irányokkal is szolgálhat. Általuk a tudomány robbanásszerű fejlődésére számíthatunk.

A honvédelmi és rendvédelmi szektorban is felismerték a 3D-nyomatásban rejlő lehetőségeket. A MH 2021-ben kiadott *Nemzeti Katonai Stratégiája*⁶ külön hangsúlyozza a modern technológiák adaptációját a hadművelleti és logisztikai képességek növelése érdekében. Az additív gyártás ehhez közvetlenül hozzájárulhat azzal, hogy gyorsan, költséghatékonyan és rugalmasan képes pótolni vagy kiegészíteni a speciális felszereléseket. Hazai kutatóhelyek és ipari partnerek – egyetemek, technológiai központok – már elindítottak olyan projekteket, amelyek szorosan kapcsolódnak a védelmi szektorhoz. Ez a kutatás így jól illeszkedik a MH modernizációs törekvéseihez.

Meg kell jegyezni, hogy a 3D-nyomatási technológia oktatása integrálható a katonai műszaki képzésbe. Ez nemcsak az elméleti alapokat biztosítja, hanem a gyakorlati, operatív környezetben történő alkalmazhatóságot is elősegíti, egyben alátámasztja a speciális idomtöltetek fejlesztésének oktatási és szervezeti legitimitását.⁷

1. táblázat: Összehasonlító táblázat – 3D-nyomatási technológiák előnyei és hátrányai

Technológia	Előnyök	Hátrányok	Lehetséges rendvédelmi alkalmazás
FDM/FFF	Olcsó, könnyen hozzáférhető, széles anyagválaszték	Gyengébb mechanikai tulajdonságok, hőmérséklet-érzékeny	Prototípusok, kiképzési eszközök
SLA	Nagy pontosság, részletgazdag modellek	Drága alapanyag, gyenge UV-állóság	Kisebb precíziós alkatrészek
SLM/DMLS	Nagy szilárdságú fém alkatrészek	Magas költség, ipari környezet szükséges	Fegyver- és járműalkatrészek
SLS	Nincs szükség tartószerkezetre, erős végermék	Drágább és bonyolultabb berendezés	Komplex kiképzési eszközök
PolyJet	Kiváló felületminőség, színkeverés lehetősége	Anyagok tartóssága korlátozott	Realisztikus kiképzési makettek

⁶ 1393/2021. (VI. 24.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiájáról.

⁷ DARUKA et al. 2024a: 7–11.

Technológia	Előnyök	Hátrányok	Lehetséges rendvédelmi alkalmazás
Binder jetting	Többféle alapanyag, színes modellek	Mechanikailag gyengébb darabok	Gyakorlati modellek
EBM	Erős fém alkatrészek	Drága, ipari környezet kell	Repülőgépipari, katonai komponensek
CJP	Sokszínű modellek	Gyenge szilárdság	Oktatási szemléltetőeszközök

Forrás: a szerző szerkesztése

Az additív eljárásokkal gyártott kumulatív idomtöltetek tesztrobantásait figyelembe véve megállapítható, hogy csak nagyon kevés kutató vizsgálja ezt a területet. A fellelhető kutatások, vizsgálatok és teszteredmények mechanikai és operatív hatékonyság szempontjából relevánsak lehetnek az ajtórobantó kazetta (ARK) tervezéséhez. Kumulatív töltetekkel végrehajtott elemzések eredményei⁸ jól illeszthetők az általam kitűzött célokhoz, különösen a szerkezeti integritás és a robbanásmechanika elemzésében.

Az alapanyag típusa alapján történő csoportosítás

A 3D-nyomtatáshoz felhasználható alapanyagok is igen sokrétűek, ezek egy-egy sajátos tulajdonságuk alapján bizonyulnak a legmegfelelőbbnek az adott célú felhasználásra. Ezek a tulajdonságok szavatolják a célterületen a tökéletes helytállásukat. A speciális rendvédelmi területen történő alkalmazáshoz az anyagoknak különféle kritériumoknak kell megfelelniük. Ezek többek között a szilárdság, az UV-állóság, a vegyi anyagokra való érzéketlenség, a méretpontosság és a tartósság. A nyomtatás során a 3D-nyomtatónak, a használt filamenteknek és a nyomtatni kívánt tárgynak összhangban kell lenniük. Gyakran megtörténik, hogy egy jelentéktelennek tűnő paraméter hiánya miatt hiúsul meg a céltárgy elkészítése.

Az úgynevezett filamentek az elkészült tárgyak minősége mellett befolyásolják a nyomtatási folyamatot is. Ahhoz, hogy a céltárgy előállítása sikeres legyen, szükséges ismerni a filamentek tulajdonságait, hogy melyik igazodik a kívánt cél eléréséhez, azaz, melyik anyag biztosítja a végtermékkel szemben elvárt fizikai tulajdonságokat.

A 3D-nyomtatási technológia alkalmazása ugyanakkor számos kihívással is jár. A nyomtatott alkatrészek szilárdsága és tartóssága gyakran eltér a hagyományos gyártási eljárásokkal készülő elemekétől. A nyomtatási hibák, a rétegek közötti tapadás hiányosságai vagy a nem megfelelő hőmérséklet-szabályozás mechanikai gyengeségeket eredményezhetnek. A környezeti hatások – például magas hőmérséklet, nedvesség vagy UV-sugárzás – szintén befolyásolhatják a végtermék élettartamát. Ezeknek a tényezőknek a figyelembevétele elengedhetetlen, különösen akkor, ha a technológiát rendvédelmi vagy katonai környezetben alkalmazzák.

Az általam kifejtett téma szempontjából releváns alapanyagok a következők:

⁸ EMBER 2024: 18–21.

- ABS (*acrylonitrile butadiene styrene*): az egyik legelterjedtebb, megfelelő szilárdságú, kopásálló műanyag, amelyet főként alkatrészek nyomtatására alkalmaznak;
- PLA (*polylactic acid*): alacsony hőmérsékleten is jól nyomtatható, merev és erős műanyag, amely kevésbé hajlamos a torzulásra; jó UV-állósággal rendelkezik;
- PETG (*polyethylene terephthalate glyco*): tartós, megfelelő szilárdságú műanyag, amely egyaránt ellenáll különböző vegyszereknek és az UV-sugárzásnak.

Ezek az anyagokon kívül – felsorolás szintjén – megemlítem azokat a termékeket, amelyek a 3D-nyomtatás során alkalmasak lehetnek tárgyak nyomtatására. Ezek az anyagok a nylon, az ASA (*acrylonitrile styrene acrylate*), a DIRAN, a TPU (*thermoplastic polyurethane*), a PC (polikarbonát) és a HIPS (*high-impact polystyrene*).

Ezekon kívül a fémek és a kompozitok – bronzötövetek és egyéb fémek, fémporok és műanyagok keverékei – használhatók a megfelelő technika kiválasztásával 3D-nyomtatási feladatokra, azonban ezekkel a kutatásom során egyéb biztonsági okokból nem foglalkozom.

Kutatómunkám során az FDM/FFF szálhúzásos nyomtatási módszert alkalmazom elsődlegesen, olyan filamentekkel, amelyek megfelelnek a rendvédelmi alkalmazásban és területen támasztott elvárásoknak. Az első megfelelő alapanyag az ABS, amely erős kopásállósággal rendelkezik, és gyakran használják alkatrészek nyomtatására. Noha kényes a nyomtatási terület állandó hőmérsékletére, a nyomtatás minősége kompenzálja a nyomtatási folyamat egyéb hátrányait.

A másik, számomra alkalmasnak tűnő anyag a PETG, amely erős, hőálló, kopásállósága és jó mechanikai tulajdonságai miatt az anyag alkalmassá válhat arra, hogy a kutatómunkámban használjam. További előnye, hogy a nedvességgel és a különböző vegyszerekkel szembeni ellenálló képessége nagy.

Az általam használt filamentekkel szemben támasztott elvárások a következők:

- a nyomtatott termék alapanyaga ne lépjen kémiai reakcióba a kétkomponensű robbanóanyaggal;
- a felhasználásából kifolyólag rendelkezzen jó szerkezeti tulajdonságokkal;
- legyen ellenálló a hővel és az UV-sugárzással szemben;
- és végül, de nem utolsósorban a nyomtatás hibaszázaléka elenyésző legyen.

2. táblázat: Anyagtulajdonság-táblázat – ABS, PLA, PETG összehasonlítása

Anyag	Szilárdság	UV-állóság	Vegyszerállóság	Felhasználhatóság
ABS	Jó, kopásálló	Gyenge	Korlátozott	Tartós alkatrészek, nagy igénybevételű elemek
PLA	Merev, erős	Jó	Gyenge	Oktatási, kiképzési eszközök
PETG	Nagyon jó, rugalmas	Jó	Jó	Kültéri és vegyi környezetben használt elemek

Forrás: a szerző szerkesztése

A kutatási feladat leírása

A kutatás módszertani alapját három szakaszra osztottam:

- laboratóriumi vizsgálatok, amelyek során az elkészített prototípusokat anyagszilárdsági és biztonsági szempontok alapján értékelem;
- terepi tesztek, amelyek során a valós környezetben, kiképzési jellegű helyzetekben próbálom ki az eszközt;
- műveleti szimulációk, ahol a cél a prototípus gyakorlati alkalmazhatóságának és megbízhatóságának vizsgálata.

A prototípus értékelése során az alábbi mutatókra támaszkodom: az összeállítási idő csökkentése, a felhasználói biztonság, a mechanikai stabilitás és a robbantási hatékonyság. Az adatgyűjtést a videófelvételek, az érzékelők és a szakértői értékelés együttesen biztosítják.



1. ábra: Folyamatábra – kutatási és fejlesztési lépések

Forrás: a szerző szerkesztése

Célul tűztem ki egy olyan, 3D-nyomatási technológiával elkészített robbantókazetta megalkotását, amely a rendvédelmi speciális feladatokat ellátó egységeknek, illetve a speciális katonai egységeknek a feladat-végrehajtásában segítséget nyújt, képes a magas fokozatú biztonsági nyilászárók megnyitására robbantással. Célom továbbá, hogy ezek az eszközök kiképzési és műveleti feladatok ellátására egyaránt alkalmasak legyenek.

Ennek szükségességét abban látom, hogy a behatoláshoz kellő robbantási előkészítési folyamat időigényes. Ez főként a robbanótöltet összetett összeállítási folyamatából ered. Meggyőződésem, hogy az általam kifejlesztett – egyelőre – prototípus az összeállításhoz szükséges időt töredékére rövidíti, mindeközben a biztonságos feladatvégrehajtást nem veszélyezteti.

Általánosságban elmondható, hogy a robbanótöltet összeállítása a legtöbb nemzetközi rendvédelmi egységnél a helyszínen történik, ami több szempontból is biztonsági kockázatot jelent a helyszínen tartózkodó állomány számára.

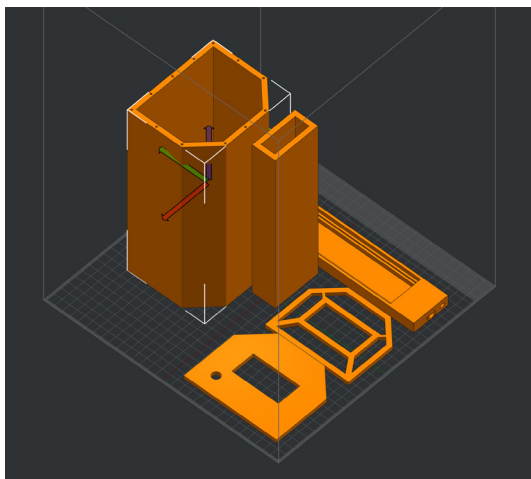
Ezzel a termékkel elhagyhatók olyan másodlagos repeszhatást keltő elemek (cseréplécmerevítés, támaszték), amelyek indokolatlan sérüléseket okozhatnak a környezetünkben. Felfogatása speciális, erre a célra gyártott kétoldalú ragasztószalaggal történik, amennyiben indokolt, további, 3D-nyomatással előállított tapadásnövelő felületek helyezhetők el a testen.

A korábbi végrehajtási módot nem hibaként, hanem az új technikai eszközök innovatívabb alkalmazási lehetőségeként kívántam bemutatni. Fontos kitérni az összeállításhoz szükséges eszközök, felszerelések helyszíni alkalmazására, ezek hiánya a feladatvégrehajtás kimenetelét erősen befolyásolja.

Távolabbi célom, hogy az általam előállított ajtórobbantó kazetta – egy előzetes helyszíni műszaki felmérést követően – az adott ajtóhoz legalkalmasabb technikai megoldások megvalósítását tegye lehetővé. Tehát az ismert ajtó védelmi képességeihez mérten a legalkalmasabb eszköz készülhessen. Az új termék helyszíni összeállításához a személyi védőfelszereléseken kívül más eszköz nem szükséges.

Úgy vélem, hogy már önmagában ez a tény is rövidíti az összeállítási időt. Ezenfelül mérsékli a felmerülő biztonsági kockázatokat mind a robbantómester, mind a környezetében lévők számára.

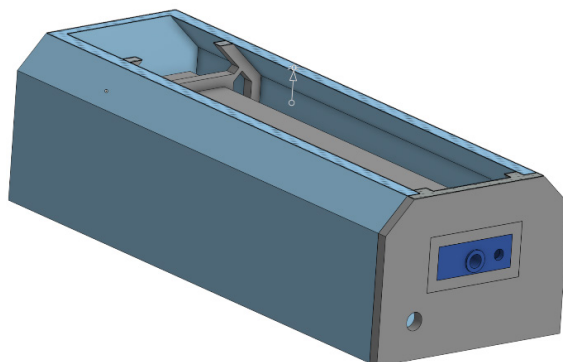
A robbantókazettához alkalmazott robbanóanyag innovatív termék, megalkotója dr. Kugyela Lóránd. Kísérleteim során az általa kifejlesztett, folyékony halmazállapotú tixotróp robbanóanyagot használom. Ez az anyag 1 : 1 arányú összekeverését követően közel szilárd halmazállapotúvá alakul át, ez számomra alkalmassá teszi a felhasználásra. Mivel az összeszerelési idő – a rendszeresített eljáráshoz képest – jelentősen megrövidül, a feladatvégrehajtás is biztonságosabbá válik.



2. ábra: Az ajtórobbantó kazetta 3D-nyomatási elrendezése

Forrás: a szerző szerkesztése

A robbanóanyagok A és B komponenseit egymástól elkülönítve tárolják. Összekeverésük egy speciális betöltőpisztolyon keresztül történik, amelynek végében egy keverőszár egyesíti az anyagot. Az így kapott keverék rövid idő alatt megdermed és halmazállapotot vált. Ez biztosítja, hogy a betöltőtálcában megfelelően helyezkedjen el.

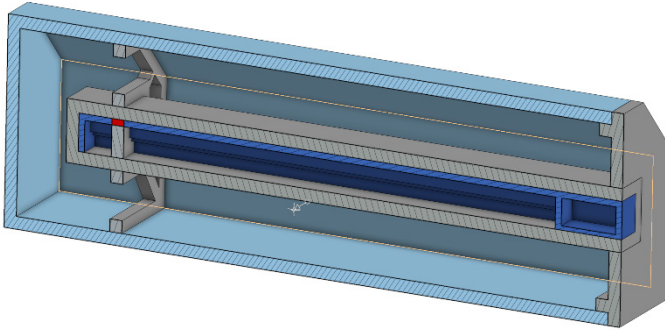


3. ábra: Az ajtórobbantó kazetta felső metszeti képe

Forrás: a szerző szerkesztése

A robbanóanyag-tálca elején egy bemeneti „furat” található, amelybe a NonEl iniciálási rendszer kap helyet. A gyutacs vége a robbanóanyagban minimum 30 mm hosszúságban érintkezik. Ez biztosítja a lökéshullám továbbhaladását és a kísérlet sikerét.

A robbanóanyag detonációsebessége 3000 m/s, így alkalmassá válhat magas biztonsági fokozatú fém bejárati ajtók erőszakos megnyitására. A robbanószerkezet felhelyezése, telepítési módszere alapvetően megegyezik az ilyen típusú ajtónyitások végrehajtási módjával, az erre vonatkozó biztonsági rendszabályok maradéktalan betartása mellett. A végrehajtás során keletkező információkat fénykép- és videófelvétellel dokumentálni fogom. A keletkezett információkat rögzítem, szakértőtársaimmal kiértékelem, és ha szükséges, ezt követően elvégzem a módosításokat.



4. ábra: Az ajtórobbantó kazetta hosszanti metszete

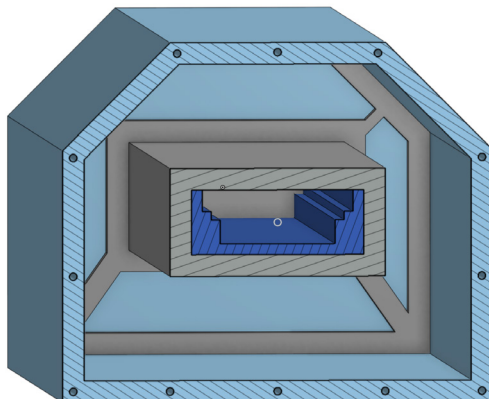
Forrás: a szerző szerkesztése

Az elkészített prototípustest, az ARK formailag és technikailag egyaránt alkalmas lehet az ilyen típusú ajtónyitások végrehajtására. Az eszköz összeállítása több részben történik, alkatrészeit ragasztóanyaggal rögzítem.

Hosszanti irányú megerősítésére a fenti képen látható „furatok” szolgálnak. Azokba ragasztóanyaggal 1,75 mm vastagságú filamenteket kell erősíteni. Az így kapott test már jobban ellenáll a keresztirányú feszítésnek.

Az ajtórobbantó kazetta részei:

- üreges alaptest;
- tálcaüreg-központosító lemez;
- testfedőlap;
- tálcatartó hasáb;
- robbanóanyag-tálca;
- robbanóanyagtálcafedő-lap.



5. ábra: Az ajtórobbantó kazetta keresztmetszeti képe

Forrás: a szerző szerkesztése

A test megtervezéséhez egy online tervezőszoftvert alkalmaztam (Onshape), amellyel a legapróbb részletekig meg lehetett tervezni az elképzelt test szerkezetét. A prototípus alkatrészeit szeletelőprogrammal történő feldolgozás után készítettem el.

A próbarobbantásokat késő tavasszal, nyár elején rendezik meg, és minden bizonnyal jó tapasztalatokat szerezhethünk az ilyen típusú eszközök alkalmazásával kapcsolatban.

Összefoglalás

Az additív gyártás rendvédelmi és katonai alkalmazása etikai és jogi kérdéseket is felvet. A 3D-nyomtatott eszközök tipikus példái a *dual-use* technológiáknak, amelyek civil és katonai célokra egyaránt felhasználhatók. Ez különösen fontos, amikor robbanóanyagokkal vagy fegyveralkatrészekkel összefüggő fejlesztésekről van szó. Az Európai Unióban és Magyarországon szigorú jogszabályok vonatkoznak a robbanóanyagok előállítására, tárolására és felhasználására, valamint a fegyveralkatrészek gyártására. A kutatás során ezért elengedhetetlen a jogi és a biztonsági előírások betartása, valamint annak vizsgálata, hogyan illeszkedik a technológia a szabályozási környezetbe.

A 3D-nyomtatás mára a mindennapok részévé vált, alacsony fenntartási költségei miatt már szinte mindenki számára elérhető, a legmodernebb nyomtatókkal pedig az ipari szereplők jelentősen tudják csökkenteni a fejlesztésre fordított időt és költségeket. A technológia rendvédelmi alkalmazása, felhasználása a folyamatos kísérletezéseknek köszönhetően egyre sokoldalúbbá válik. Célom, hogy az FDM-technológia felhasználása egyre nagyobb szerepet kapjon a speciális rendvédelmi területen. Meglátásom szerint a nyílászáró robbanóanyaggal történő megnyitása ezzel a folyamattal rendkívül költséghatékonyra válhat, így a felkészítő gyakorlások során az állománynak több lehetősége nyílik az új ismeretek magas szintű

elsajátítására. Az általam kutató új eljárás költséghatékonyasága és biztonságos felhasználása mellett az összeszerelési időt is töredékére csökkenti.

Az FDM-nyomatási technológiában rejlő lehetőségek, alapanyagok sokfélesége és könnyű hozzáférhetősége, felhasználása nemcsak a rendvédelmi, hanem a katonai területen is megtörtént. Jelentős kutatások és fejlesztések mentek végbe. A 3D-nyomatási technológiában rejlő, még kiaknázatlan lehetőségek a kutatókat e terület megismerésére ösztönzik, ahogyan azt saját kutatómunkám során is bemutattam.

A jövőben a kutatás több irányba is továbbfejleszhető. A mesterséges intelligenciával támogatott generatív tervezés lehetővé teheti olyan idomtöltetek létrehozását, amelyek optimalizált formájuknál fogva kisebb anyagfelhasználás mellett is nagyobb hatékonyságot biztosítanak. A kompozit és intelligens anyagok – például önjavító polimerek – további biztonsági előnyt jelenthetnek. A digitális iker technológia pedig lehetőséget adhat arra, hogy a tényleges terepi tesztek előtt szimulációs környezetben vizsgáljuk meg a prototípus működését. Ezek az irányok hosszú távon hozzájárulhatnak ahhoz, hogy a 3D-nyomatás a rendvédelmi és katonai szektorban is nélkülözhetetlen technológiává váljon.

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-nyomatási 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>
- DARUKA Norbert et al. (2024c): A 3D-nyomatás alkalmazásának lehetőségei az ellátási lánc kockázatainak csökkentése érdekében. *Katonai Logisztika*, 32(1–2), 248–266. Online: <https://doi.org/10.30583/2024-1-2-248>
- EMBER István (2024): Investigation of the Efficiency of Cumulative Cones Manufactured by Additive Processes from Various Materials. *Hadmérnök*, 19(3), 17–27. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2024.3.2>
- EMBER István et al. (2024): Az additív gyártástechnológia alkalmazásának lehetőségei és korlátai szikramentes kéziszerszámok készítése során. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(2), 55–71. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.2.4>
- VÉGVÁRI Zsolt – HEGEDŰS Ernő – ZENTAY Péter (2023a): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei – I. rész. *Haditechnika*, 56(6), 56–60. Online: https://real.mtak.hu/175716/1/HT_2022-6_cikk_09.pdf
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2023b): A 3D-nyomatás és katonai alkalmazásának lehetőségei – II. rész. *Haditechnika*, 57(1), 49–55. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.1.09>
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2023c): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei – III. rész: A gyártási hibák hatásának mérséklése, hibakiküszöbölési megoldások. *Haditechnika*, 57(2), 57–62. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.2.11>

Jogi forrás

Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiája (2021). 1393/2021. (VI. 24.) Kormányhatározat Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiájáról. *Magyar Közlöny*, 2021. évi 119. szám, 5075–5077.