

Kovács Zoltán,¹ Ember István,² Daruka Norbert,³
Vég Róbert,⁴ Kálmán Dénes⁵

Harctéri 3D-nyomtatók alkalmazási lehetőségei és alapvető technikai követelményei⁶

Application and Basic Technical Requirements of 3D Printers Operating on the Battlefield

Absztrakt

Napjaink rohamosan fejlődő technológiai közül a 3D-nyomatás az egyik legizgalmasabb terület. A széles körű alkalmazhatóság, a tervezési szabadság olyan előnyöket hordoz, amelyeket minden haderő ki szeretne használni. Ezekre a képességekre azonban nem csupán ipari létesítményekben, hanem tábori körülmények között is szükség lehet. Írásunkban megvizsgáljuk az additív gyártástechnológia terepen történő alkalmazhatóságának feltételrendszerét, és megfogalmazzuk azokat a legfontosabb tulajdonságokat és képességeket, amelyek a harctéri üzemelésre alkalmassá tehetik az ehhez szükséges technikai eszközöket.

Kulcsszavak: additív, 3D-nyomatás, katonai, gyártástechnológia

¹ Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti Támogató Tanszék, e-mail: kovacs.zoltan@uni-nke.hu

² Tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti Támogató Tanszék, e-mail: ember.istvan@uni-nke.hu

³ Robbanóanyag-ipari szakmérnök, e-mail: daruka.norbi@gmail.com

⁴ Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: vegh.robort@uni-nke.hu

⁵ Építőmérnök, e-mail: denes.kalman.1975@gmail.com

⁶ A cikk a 2022-2.1.1-NL-2022-00012 számú „Kooperatív Technológiák Nemzeti Laboratórium” projektnek a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási és Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Laboratóriumok pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Abstract

Among today's rapidly developing technologies, 3D printing is one of the most exciting areas. Wide applicability and design freedom bring advantages that every military force wants to take advantage of. However, these skills may be needed not only in industrial facilities, but also in field conditions. In our article, we examine the conditions for the field applicability of additive manufacturing technology and outline the most important features and capabilities that can make the necessary technical devices suitable for battlefield operation.

Keywords: additive, 3D printing, military, manufacture technology

Bevezetés

A technológia egyre nagyobb léptékben hat mindennapi életünkre. Vannak olyan megoldások, amelyek néhány éve még kiforratlanok voltak, jelenleg pedig elterjedtek és széles körben alkalmazottak. A 3D-nyomtatás mint az additív gyártás egyik válfaja szintén a gyorsan fejlődő és terjedő eljárások közé sorolható. Egyik hadsereg sem engedheti meg magának, hogy lemaradjon a technológiai versenyben. A hadtudományok meghatározó kutatási területei között⁷ ezért kap helyet ennek az iránynak az egyre mélyrehatóbb vizsgálata.

Írásunkban áttekintjük a 3D-nyomtatásos additív gyártás lehetséges katonai alkalmazási területeit. Megvizsgálunk két, kifejezetten terepen történő alkalmazásra kifejlesztett 3D-nyomtatót, és képességeiket elemezve meghatározzuk azokat a legfontosabb tulajdonságokat, amelyeket általánosságban a katonai és szűkebb értelemben a tábori körülmények indukálnak.

Feltételezésünk szerint a katonai rendszer kialakítása után fogunk találni olyan technikai eszközöket, amelyek alkalmasak lehetnek arra, hogy meghatározzuk a szükséges követelményrendszert. Ebben a tekintetben nem lesz mérvadó, hogy azok külön-külön vagy együtt megfelelnek-e ezeknek a feltételeknek, az elemzésünkben pusztán kiindulópontnak tekintjük őket.

A 3D-nyomtatás

A 3D-nyomtatás egy kifejezetten elterjedt technológia napjainkban. Manapság a háztartásokban is felfedezhető egy-egy ilyen eszköz, mert egyre többen foglalkoznak az eljárással hobbiszinten. Ez a tény fontos tudományos szempontból is, hiszen a széles körben elterjedt technológiák esetében rengeteg gyakorlati tapasztalatot gyűjthetünk össze nyílt forrásokból. Ezek elsősorban szálhúzásos (FDM)⁸ vagy fotopolimerizációs (SLA)⁹ eljárások,

⁷ BODA et al. 2016: 1–23.

⁸ Fused deposition modelling.

⁹ Stereolithography.

mert ezekhez viszonylag olcsón beszerezhetők a technikai eszközök és alapanyagok. De a kisebb költségnek sok esetben a gyengébb minőség lehet a következménye.

Az ipari és katonai felhasználásnak már egyedi és sajátos követelményei vannak, amelyeket csak komoly minőségű technológiával lehet megvalósítani. Széles skálán mozognak ezek az eszközök, de ki kell emelni közülük a porágyas nyomtatási megoldást, amelynek az alapanyagát (fém vagy polimer) illetően több változata lehetséges. Fémtárgyak készítésére az elterjedtebb *binder jetting* (BJ) kötőanyagos és *directed energy deposition* (DED) elektronsugaras eljárások mellett a fémporok nagy sebességű befúvásával (például *cold spray additive manufacturing*, CSAM) is van lehetőség, ez a technológia szintén elérhető már a piacon. Visszatekintve az olcsóbb megoldásokra, elterjedőben vannak az FDM-módszerrel üzemelő, folyamatos szálerősítésre képes, vagy éppen fémtartalmú filamentet felhasználó eszközök is. Utóbbiak esetében a végtermék oldószeres mosást és szinterelési ciklust is igényel.¹⁰ Ezek viszont már korántsem nevezhetők anyagilag könnyen elérhető, olcsó rendszernek.

A 3D-nyomtatásos additív gyártás esetében a színvonalas és magas minőségű alkatrészek elkészítésének előfeltétele valamilyen CAD¹¹-szoftver alkalmazása. Ezek az applikációk megteremtik annak a lehetőségét, hogy az egyes technológiákhoz optimalizált – akár kifejezetten összetett¹² – terveket készíthessünk. A klasszikus folyamatokon túl a generatív tervezés is nagy jelentőségű, mert egy újszerű módszer a komplex geometriák kialakításánál.¹³ Az első lépés tehát egy viszonylag nagy szakértelmet igénylő tervezési munka a gyártást megelőzően. Másfelől egyes alkatrészek visszafejtése is lehet a folyamat kiindulópontja. Az iparjogi kérdésektől eltekintve meg kell említenünk, hogy egy-egy alkatrészt 3D-szkenner alkalmazásával digitalizálhatunk, majd egy CAD-szoftverrel akár módosíthatunk is, hogy a végén akár jobb minőségű vagy kiegészített, módosított gyártmányokat kapjunk.

A 3D-nyomtatásos additív eljárás még akár épületek vagy élelmiszerek elkészítésein is – ha nem is széles körben, de – mindenképpen számításba vehető mint jövőbeli kiaknázandó lehetőség. Nemcsak az alkalmazási területek, hanem a gyártási mértékek, méretek is jelentősen változnak, finomodnak. Egyes fejlett nyomtatókészülékek akár mindössze 20 µm vastag rétegek elkészítésére is alkalmasak,¹⁴ ezzel megnyitva a lehetőséget újabb kutatásokhoz, lehetőségekhez.

A katonai alkalmazás

A haderő fenntartása kifejezetten nagy költségekkel jár. Különösen egy háborús helyzetben igaz ez a megállapítás. Ilyenkor ugyan prioritást élvez a védelmi szféra az állami büdzsében, azonban egy-egy költséghatékony megoldás rendkívül hasznos lehet.

Mivel a modern haderő technikai eszközei kifejezetten széles palettán mozognak, rengeteg alkatrésze van szükség a folyamatos üzemeltetésükhöz, karbantartásukhoz.

¹⁰ HEGEDŰS 2023: 62–64.

¹¹ *Computer-aided design*.

¹² GYARMATI–HEGEDŰS–GÁVAY 2022: 125.

¹³ MARKOVITS–ERŐSS–FENDRIK 2023: B50.

¹⁴ KAJNER et al. 2023: 4.

Fegyveres konfliktus esetén számuk a sokszorosára növekszik, és fokozott igénybevételük, valamint az ellenség pusztító eszközei hatására az utánpótlási igény szintén a többszörösére nőhet.

Az akadozó globális ellátási láncoktól való függés kiküszöbölése elengedhetetlen ilyen esetben, éppen ezért nagyon fontos, hogy országhatáron belül legyen megfelelő kapacitás, képesség és tudás ezeknek az alkatrészeknek a pótlására.

Ennek érdekében nem szükséges feltétlenül minden egyes apró alkatrészhez gyártási kapacitást létrehozni, hiszen ezek száma több ezer egy adott típusú haditechnikai eszköz esetében. Olyan eszközök szükségesek inkább, amelyek – ha nem is az eredetivel tökéletesen egyező minőségben, de – mennyiségben és gyártási sebességben képesek a pótlási igények kielégítésére.

Az additív gyártás során alkalmazott eszközök jórészt alkalmasak betölteni ezt a fent említett szerepkört. Több ígéretes technológia is ismert, amelyek akár a hadiipar alkatrészellátásában is felhasználhatók, természetesen a megfelelő mértékben. Egy harckocsi motorját jelenleg nem fogjuk tudni reprodukálni minden részegységére kiterjedően, azonban a benne található alkatrészek közül jelentős számban vannak olyanok, amelyeket 3D-nyomatással legyárthatunk.

Ez a példa jól érzékelteti a problémát: akár egy jelentéktelen beszerzési költségű csatlakozó elem vagy fogaskerék is meggátolhatja egy fontos haditechnikai eszköz ismételt harcba vetését, viszont ezeket a nélkülözhetetlen alkatrészeket manapság aránylag gyorsan elkészíthetjük saját magunk, bonyolult beszállítói háttér nélkül is. Erre az elgondolásra alapozva az alábbi feladatok esetében tartjuk elsősorban lehetségesnek a 3D-nyomatók katonai alkalmazását:

- csere- vagy pótalkatrészek gyártása;
- műszaki harcanyagok alkalmazásához készített elemek gyártása;
- különleges geometriájú, egyedi vagy továbbfejlesztett alkatrészek gyártása;
- általános és célszerszámok készítése;
- orvosi eszközök és protézisek gyártása;¹⁵
- építmények és védművek készítése;
- oktatási, kiképzési célú eszközök és alkatrészek gyártása;
- élelmiszerek készítése additív eljárással.

Az előbbieken már említett csere- vagy pótalkatrészek gyártása különböző fémekből és polimerekből egyaránt lehetséges. A nagy teljesítményű és kiváló teherbírás-tömeg, valamint szilárdság-tömeg aránnyal rendelkező polimer kompozitok is tökéletes gyártási alapanyagok lehetnek.¹⁶ Egy eredeti alkatrész helyettesítésekor azt a tényezőt azonban minden esetben figyelembe kell venni, hogy az utángyártott termék élettartama eltérhet az eredetiétől. De ez természetesen akár minőségjavulást is jelenthet, nem kizárólag romlást!

A fegyverzettechnika területén is fontos szerepet játszik az alkatrészek gyors pótlása. Egy hiányzó markolat vagy sérült tűzváltókar elkészítése additív módszerekkel manapság nem megoldhatatlan feladat. A rugalmasság és a gyorsaság pedig fontos tényezők, mert a katonai siker elérésének alapkövei lehetnek. Természetesen

¹⁵ Bővebben: MIKOŁAJEWSKA et al. 2016: 132.

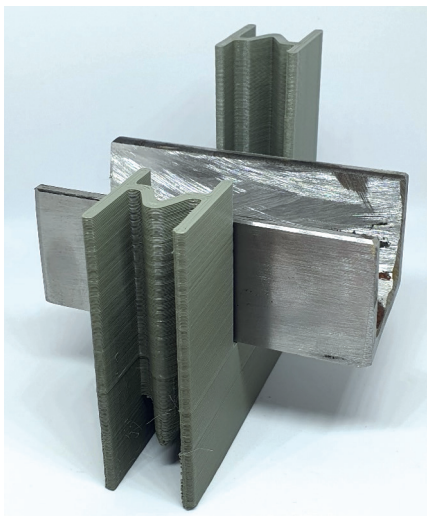
¹⁶ HLIVA-SZEBÉNYI 2023: 2.

fegyverek komplex utángyártása is megvalósítható, ebben az esetben a fém és polimer technológiák egyes alkalmazása lehet a célszerű megoldás.¹⁷

De nem csak a törött, elromlott elemek reprodukciójára kell gondolnunk. Felmerülhet olyan harctéri tapasztalat egyes eszközök használata során, amely egyedi fejlesztést indukálhat. Ilyenkor azonban nem szükséges hosszú hónapokat várni a kívánt végtermékre, hanem az akár néhány óra vagy nap leforgása alatt elkészíthető, és az alkalmazás közbeni működése tesztelhető.

A különleges geometriákat, egyedi alkatrészeket azért tartjuk fontosnak külön is megemlíteni, mert előfordulhatnak olyan igények, amelyek nem kötődnek egyik területhez sem, de megvalósításuk valamilyen okból (csekély darabszám, drága fröccsöntő szerszám stb.) csak additív módszerrel lehetséges. Ehhez azonban elengedhetetlen, hogy az igénytámasztó ismerje az egyes technológiák korlátait, lehetőségeit.

A műszaki harcanyagok, robbanóanyagok és gyújtószerkezetek felhasználása szabályok és előírások alapján végrehajtható tevékenység. A veszélyes anyagokat szigorú szabványoknak megfelelően készítik el, de a plasztikus robbanóanyagok alkalmazásakor például a 3D-vel nyomtatott alkatrészek korábban nem is gondolt utakat nyithatnak meg a szakemberek előtt. Olyan töltetkategóriákat is kialakíthatunk, amelyeket jelenleg egyáltalán el sem tudunk helyezni a katonai terminológiai rendszerben (1. ábra),¹⁸ mert a szabályzatok elkészítésekor még nem volt realitása az ilyen formájú tölteteknek.



1. ábra: Polimerből készített vágó idomtöltet a fém céltárggyal
Forrás: a szerzők felvétele

Egyes célszerszámok esetében a gyors pótlás szintén nélkülözhetetlen. Az egy-egy tűzérési lőszer gyújtószerkezetének beszereléséhez és eltávolításához alkalmazott, egyedi kialakítású szerelőkulcsok például nem lehetnek hiánycikkek. Számításba vehető

¹⁷ GÁL-NÉMETH 2019: 239.

¹⁸ Ilyen töltetcsoport például a kumulatív vagy vágó idomtöltet, amelyet korábban nem volt lehetséges elkészíteni.

olyan helyzet is, amikor háború esetén más országokból – akár segélyként, támogatásként – érkező technikai eszközökhöz nem mérethelyesek a helyi szerszámok, így ebben az esetben is gyors és kézenfekvő megoldás lehet a 3D-nyomatás.

Additív módszerekkel képesek lehetünk orvosi eszközök és protézisek gyártására is. A sérült vagy beteg katonák ellátása, gyógykezelése, harcképességük visszanyerése érdekében nélkülözhetetlen tárgyak esetében szintén fontos, hogy azok azonnal rendelkezésre álljanak. A 3D-nyomatást nemcsak a gyorsaság, hanem az egyediség is jellemzi. Egy-egy végtagrögzítést például egyedileg a páciens alakjához, testméreteihez lehet szabni, ami komfortosabbá és hatékonyabbá teheti a gyógyulás folyamatát.

Építmények és különböző védművek is készíthetők additív technológiával. Az alapvetően betonszerkezetek kivitelezését lehetővé tevő eljárás sok hasznos tulajdonsággal rendelkezik, de a katonai alkalmazásnak korlátai is vannak. Az alapanyag miatt csak stacioner építmények kivitelezése lehetséges. Az előnyei közé tartozik viszont, hogy a nyomtató helyszíni telepítése után már nagyon gyorsan elkészül a kívánt épületszerkezet. Nyomatással ugyancsak elkészíthetők a mobil építmények elemei, paneljai, amelyeket megfelelő szállítóeszközökkel lehet az építés helyszínére eljuttatni és daruzással beépíteni.

Az additív gyártás egyes erődítési feladatokat is hatékonyabbá tehet. A különböző védművek építésekor nagy szilárdságú akadályokat lehet létrehozni, amelyek megfelelően illeszkednek a környezetükbe. Természetesen ebben az esetben is lehetséges mobil elemek gyártása és helyszínre szállítása.

Egy másik kiemelt terület a haderőben a kiképzés. A különböző kiképzést segítő modellek, makettek (2. ábra), metszetek és gyakorlóeszközök hiánya jelentős minőségromlást okozhat a katonák felkészítésében, ami elkerülhető, ha ezeket 3D-vel nyomtatott tárgyakkal pótoljuk. A drága, nehezen pótolható alkatrészek vagy szerszámok használatának begyakorlásához gyengébb minőségű oktatási változatok készíthetők 3D-nyomatással, ezzel ugyanolyan hatékonyság mellett csökkenthető a felkészítés költsége.



2. ábra: Polimerből 3D-nyomatással készített robbanótest makettje
Forrás: a szerzők felvétele

Harctéren alkalmazható nyomtatók

A katonai alkalmazásnak tehát sok (lehetséges) területe van, amelyek egy része a harctéren, tábori körülmények között is előfordul. Az akár mostoha viszonyok között is használható eszközök széles körének katonai minőségű megjelenésére még hosszú fejlődési folyamat vár, azonban néhány gyártó már felismerte a területen megjelenő igényt, ezek termékeiből villantunk fel az alábbiakban néhányat.

A tábori körülmények között is alkalmazható egyik eljárás a hideg befúvásos additív gyártás.¹⁹ Ilyen eljárást alkalmaznak azok a nyomtatók is, amelyeket egy ausztráliai gyártó²⁰ biztosított az ukrán haderő számára.²¹ Ez a vállalat kifejezetten hadi alkalmazású nyomtatótípusokat is készít, amelyek használatával kiküszöbölhetők az ellátási láncokban megjelenő nehézségek, akadályok. Maga az eljárás nem forradalmian új, viszont a megvalósítás kifejezetten újszerűvé teszi a módszert. A katonai alkalmazásra optimalizált XSPEE3D típusú 3D-nyomtató főbb jellemzői a következők:²²

- maximális alkatrész-geometria ~1000 × 700 mm (a legnagyobb átmérőnek ebben a mezőben el kell férnie);
- lehetséges nyomtatási alapanyagok: alumínium, alumínium-bronz, rozsdamentes acél, nikkell-karbid, réz, titánium;
- a nyomtatható alkatrész maximális tömege: 40 kg;
- a lerakódási méret: 6 mm;
- beviteli fájlok formátuma: stl;²³
- építési sebesség: akár 100 g alapanyag percenként;
- elektromos tápellátás: 415 V (3 fázis) / 80 A;
- kivitel: terepi használathoz megerősített;
- elhelyezés: 20 lábas szabványkonténerben;
- tömege: 10 t;
- színe: olívaöld.

A finom fémszemcséket egy fúvókán keresztül szuperszonikus sebességgel (3–4 Mach)²⁴ juttatja az építőtálcára. A fúvóka elhelyezése fix, mozgásra nem képes. Az építőtálcára egy több csuklópontos robotkaron helyezkedik el, amely nagy sebességgel és szabadságfokkal képes megvalósítani a három dimenzióban való elmozdulást. A fémszemcsék a felületen megtapadnak, és a rétegek kötésben rögzülnek egymáshoz. A módszer lehetővé teszi, hogy akár több tíz kilogramm tömegű alkatrészeket készítsenek vele néhány óra leforgása alatt. Fontos megjegyezni, hogy szükség esetén a végleges felület kialakítása utómunkálatokat igényelhet.²⁵

¹⁹ Cold spray additive manufacturing (CSAM).

²⁰ SPEE3D Pty. Ltd.

²¹ 3D battlefield printing in Ukraine 2024.

²² XSPEE3D [é. n.].

²³ Számítógépes tervezőszoftverrel előállítható formátum.

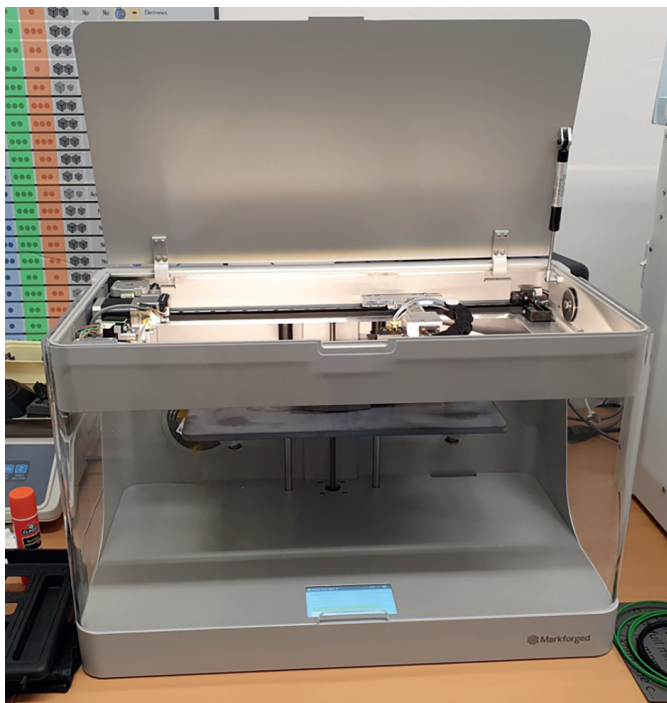
²⁴ Mach-szám: egy dimenziómentes mennyiség, egy objektum haladási sebességének (vagy az áramló közeg áramlási sebességének) és az áramló közeg (folyadék vagy gáz) helyi hangsebességének hányadosa. A Mach-számot használják mind egy objektum esetében, amely nagy sebességgel halad egy közegben, mind pedig nagy sebességű közegeknek olyan csatornában áramlása során, mint fúvókák, diffúzorok vagy szélcsatornák.

²⁵ XSPEE3D [é. n.].

Maga a 3D-nyomató jelentős méretű, viszont kialakítása lehetővé teszi, hogy tábori körülmények között is alkalmazható legyen. Szabványkonténerben telepítve viszonylag könnyen szállítható, amelynek még a színét is a katonai felhasználáshoz választották ki, ugyanis zöld festést kapott.

Egy másik, tábori alkalmazáshoz kialakított nyomató a Markforged X7 Field Edition típus. Ez a nyomató a széles körben elterjedt FDM/FFF²⁶ technológiát alkalmazza, azonban jelentősen egyedi kiegészítő tulajdonsággal. Az elkészített alkatrészek magasabb minőségét, ellenállóságát nem csupán az alapanyagba kevert úgynevezett „mikroszálak”²⁷ biztosítják, hanem akár a folyamatos szálerősítés is. Ez nem igazán elterjedt technológia, mert az átlagos felhasználók számára irreálisan drága, és nem is minden esetben szükséges magas szakítószilárdságú vagy nagy hajlítási terhelést elviselő alkatrészeket készíteniük. Az ipari szereplőknek vagy a védelmi szektornak azonban ezek a tulajdonságok különösen fontosak lehetnek, amikor speciális alkatrészek gyártását kell megoldásítani.

A nyomató a képességeit tekintve hasonlóságot mutat a gyártó Mark Two típusú 3D-nyomatójával (3. ábra), de az nincs felkészítve terepi alkalmazásra.



3. ábra: Markforged Mark Two nyomató nyitott fedéllel
Forrás: a szerzők felvétele

²⁶ Fused filament fabrication.

²⁷ A Markforged Onyx elnevezésű alapanyag poliamidba kevert, mikron méretű szénszálakat tartalmaz.

Az X7 Field Edition nyomtató főbb jellemzői a következők:²⁸

- építőtér mérete: 330 × 270 × 200 mm;
- teljes méret: 914 × 914 × 762 mm;
- bruttó tömeg: 86 kg;
- elektromos tápellátás: 100–240 V / 2 A;
- kivitel: tábori használathoz megerősített;
- elhelyezés: hordlájában;
- építési rétegmagasság: 50–250 µm;
- mátrix alapanyagok: fehér vagy mikrokarbonszállal kevert poliamid (több változatban);
- folyamatos szálerősítés: aramid,²⁹ üvegszál (két változat), karbonszál (két változat).

A technológia sajátossága, hogy „hőre lágyuló mátrixszal előre impregnált szálköteget helyez az ömledékrétegbe.”³⁰ Ténylegesen az adott formába illesztett és pontosan elvágott szálak kerülnek az alkatrészekbe. A CAD-tervek feldolgozása során a szoftver³¹ javaslatot tehet a szálerősítés elhelyezésére a kritikus pontokon (gyári ajánlás),³² amennyiben a tervező ezt az opciót kiválasztja. Ezenkívül a technikusnak, mérnöknek lehetősége van minden egyes réteg esetében felülvizsgálni a szálerősítést, és a technológiai korlátok figyelembevételével változtatni a szoftver által felajánlott elhelyezésen.

A bemutatott nyomtatótípusok sem technológiában, sem alapanyagban, sem méretben nincsenek azonos kategóriában. Okkal választottuk azonban ezeket, mert így látható a jelenlegi harctéri vagy tábori alkalmazási lehetőségek határa. Ezeket az ismereteket és a megszerzett tapasztalatainkat felhasználva kísérletet teszünk a harctéri 3D-nyomtatók katonai szempontból legfontosabb tulajdonságainak megfogalmazására:

- legyen könnyen szállítható: méretfüggő, ami egyedileg mérlegelhető szempont, de alapkövetelmény, hogy eljuttatható legyen a polgári infrastruktúrától távoli helyszínre is;
- kezelése ne igényeljen jelentős felkészítést: viszonylag gyorsan, néhány nap alatt elsajátítható legyen a telepítés, az üzembe helyezés, a gyártás és a bontás, illetve a szállításra kész tétel minden mozzanata;
- legyen könnyen kezelhető: legyen kiegészítve a felhasználást segítő funkciókkal, például automatikus színtezés, alapanyag elfogyásának figyelése, a gyártmány folyamatos monitorozása, karbantartási feladatok előrejelzése stb.;
- legyen egyszerű a karbantartása: tábori körülmények között is karbantartható legyen, beleértve egyes fő alkatrészdarabok cseréjét is;
- legyen könnyen javítható: lehetőleg ne igényeljen gyakori javítást, ha viszont szükséges, legyen megoldható a telepítési helyén vagy annak elérhető közelségében (maximum néhány 100 km);

²⁸ Markforged [é. n.].

²⁹ Kevlár néven is ismert alapanyag.

³⁰ SZEDERKÉNYI et al. 2022: 83.

³¹ Markforged Eiger.

³² TOLD et al. 2021: 2.

- energiaellátása biztosítható legyen tábori körülmények között;
- lehetőség szerint legyen felszerelve az energiaellátás megszűnésének esetére olyan szünetmentes egységgel, amely képes legalább a gyártási folyamat szüneteltetését és biztonságos mentését elvégezni;
- kialakítása legyen képes ellenállni a tábori körülményeknek, feleljen meg a vonatkozó katonai környezetállósági szabványoknak (STANAG 4370 és 2582, illetve MIL-STD-810);
- feleljen meg a katonai alkalmazás váltakozó ütemének és terhelésének.

Összegzés

Írásunkban röviden áttekintettük a 3D-nyomatás általános jellemzőit, ismertettük a katonai alkalmazásának főbb lehetőségeit. Röviden bemutattuk két tábori körülmények között is használható 3D-nyomató jellemzőit, képességeit, majd ezekre és gyakorlati tapasztalatainkra támaszkodva meghatároztuk a harctéri vagy tábori alkalmazásra képes 3D-nyomatókkal szemben támasztható legfontosabb elvárásokat. A megfogalmazott követelmények jó alapot szolgáltathatnak a további elemzésekhez és a jövőben tervezett beszerzések specifikációs jegyzékeinek összeállításához. A 3D-nyomatás ezen területe további figyelmet és elemzést érdemel, mert folyamatosan jelennek meg egyre fejlettebb technológiák, amelyeket érdemes lehet beilleszteni a haderő rendszerébe, ezekkel az eszközökkel pedig az összeállított képességcsomag tovább bővíthető.

Felhasznált irodalom

- BODA József et al. (2016): A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök. *Államtudományi Műhelytanulmányok*, (16), 1–23. Online: www.med.u-szeged.hu/download.php?docID=90702
- GÁL Bence – NÉMETH András (2019): Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére. *Hadmérnök*, 14(1), 231–249. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.19>
- 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>
- HEGEDŰS Ernő (2023): ADAM-technológiájú 3D-s fémnyomatás. Technológiai jellemzők és alkalmazási lehetőségek a hadiiparban, a haderőben és a katonai logisztikában, különös tekintettel az UAV-kra és a könnyűjárművekre. *Haditechnika*, 57(6), 61–66. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.6.13>
- HLIVA, Viktor – SZEBÉNYI, Gábor (2023): Non-Destructive Evaluation and Damage Determination of Fiber-Reinforced Composites by Digital Image Correlation. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 42(43), 1–15. Online: <https://doi.org/10.1007/s10921-023-00957-7>

- KAJNER, Gyula et al. (2023): Design, Optimization, and Application of a 3D-Printed Polymer Sample Introduction System for the ICP-MS Analysis of Nanoparticles and Cells. *Nanomaterials*, 13(23), 1–16. Online <https://doi.org/10.3390/nano13233018>
- MARKOVITS Tamás – ERŐSS László Dániel – FENDRIK Ármin (2023): Analysing the Generative Design of Payload Part for the 3D Metal Printing. *Komunikacie/Communications*, 25(1), B45–B51. Online: <https://doi.org/10.26552/com.C.2023.010>
- MIKOŁAJEWSKA, Emilia et al. (2016): Medical and Military Applications of 3D Printing. *Journal of Science of the Military Academy of Land Forces*, 48(1), 128–141. Online: <https://doi.org/10.5604/17318157.1201744>
- SZEDERKÉNYI Bence Boldizsár et al. (2022): Additív gyártástechnológiával készített, folytonos szállal erősített kompozitok szimulációs elemzése. *Gép*, 73(3–4), 82–87. Online: http://gepujsag.hu/images/ujsgok_2022/gep%202022%203-4.pdf
- TOLD, Roland et al. (2021): Manufacturing a First Upper Molar Dental Forceps Using Continuous Fiber Reinforcement (CFR) Additive Manufacturing Technology with Carbon-Reinforced Polyamide. *Polymers*, 13(16), 1–15. Online: <https://doi.org/10.3390/polym13162647>

Internetes források

- 3D Battlefield Printing in Ukraine (2024). *Verdict*, 2024. január 15. Online: www.verdict.co.uk/3d-printing-ukraine-battlefield/?cf-view&cf-closed
- Markforged [é. n.]: *Product Specification. X7 (GEN2) Field Edition*. Online: https://s3.us-east-2.amazonaws.com/markforged.com/craft/3d_printers_detail/x7-field-edition/F-PR-3013_X7-Field-Edition.pdf
- XSPEE3D [é. n.]: *Make Metal Anywhere. Containerised Metal 3D Printer*. Online: www.spee3d.com/wp-content/uploads/2023/11/SPEE3D_Consolidated_CorporateBrochure_A4_4pp_V8.pdf