

Dr. Daruka Norbert,[♦] Dr. Dénes Kálmán,^{*} Dr. Ember István,[•]
 Dr. Kovács Zoltán,[^] Szabó András,[♥] Dr. Vég Róbert^{*}

Az additív gyártás során alkalmazott szálerősített kompozitok katonai alkalmazásának lehetőségei

DOI 10.17047/Hadtud.2024.34.E.183

Minden rohamosan fejlődő technológia megérdemli a kiemelt figyelmet a katonai alkalmazás területén, különösen akkor, ha már bizonyított is a mindennapok során. Az additív gyártás ilyen technológia, alkalmazása már a háztartások számára is elérhető. A speciális alapanyagok, mint a szálerősített polimerek azonban különösen érdemesek a vizsgálatokra. Írásunkban ezt a vizsgálati irányt elemezzük katonai szempontok szerint, figyelembe véve a speciális igényeket. Sikeresen meghatároznunk és rendszerezünk ezeknek az anyagoknak az alkalmazási lehetőségeit a katonai körülményekhez igazítottan.

KULCSSZAVAK: additív, 3D nyomtatás, katonai, gyártástechnológia, szálerősítés

Possibilities of Military Applications for Fiber-Reinforced Composites Used in Additive Manufacturing

Every rapidly advancing technology deserves special attention in the field of military applications, especially if it has already proven itself in everyday use. Additive manufacturing is such a technology, with its applications now available even for households. However, special materials like fiber-reinforced polymers deserve particular attention. In our paper, we analysed defence usecases, considering the specific military requirements. We have successfully identified and organized the application possibilities of these materials adapted to military conditions.

KEYWORDS: additive, 3D printing, military, manufacture technology, fiber reinforcement

Bevezetés

Az ellátási láncok sérülékenysége és a digitális raktárak terjedése fókuszban helyezett az olyan technológiákra, melyek csökkentik a függést a külső piacoktól. Az egyik ilyen terület az

[♦] Robbanóanyag-ipari szakmérnök, PhD – *Explosives industrial engineer*; daruka.norbi@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7102-1787>

^{*} Építőmérnök, PhD, – *Civil engineer*; denes.kalman.1975@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2951-7172>

[•] Nemzeti Közszerológálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Múveleti Támogató tanszék, tanársegéd, PhD – *University of Public Service, Faculty of Military Science and Officer Training, Department of Operations and Support, Assistant lecturer*; ember.istvan@uni-nke.hu, <https://orcid.org/0000-0002-9877-0366>

[^] Nemzeti Közszerológálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Múveleti Támogató tanszék, egyetemi docens, PhD – *University of Public Service, Faculty of Military Science and Officer Training, Department of Operations and Support, Associate professor*; kovacs.zoltan@uni-nke.hu; <https://orcid.org/0000-0001-9098-1997>

[♥] Nemzeti Közszerológálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Elektronikai Hadviselés tanszék, tanársegéd – *University of Public Service, Faculty of Military Science and Officer Training*, e-mail: szabo.andras@uni-nke.hu; <https://orcid.org/0000-0002-8750-8557>

^{*} Nemzeti Közszerológálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Haditechnikai tanszék, egyetemi docens PhD – *University of Public Service, Faculty of Military Science and Officer Training, Department of Military Technology*, Associate professor; vegh.robort@uni-nke.hu; <https://orcid.org/0000-0002-9786-6702>

additív gyártás vagy 3D-nyomtatás, mely egy rohamosan fejlődő technológia volt és ezt a reziliencia iránti igény még tovább fokozta az elmúlt években.

Manapság az additív gyártás kéz a kézben jár a CAD¹ rendszerű tervezéssel, melyet az adott technológiára optimalizáltan hajtanak végre a mérnökök, akár nagyon összetett alkatrészekből álló szerkezeteket² is kialakítva. Ezt a folyamatot generatív tervezéssel emelhetjük magasabb szintre,³ mellyel kiaknázhatjuk a technológiában rejlő mélyebb lehetőségeket. Ezek a lehetőségek a méretekben is kikristályosodhatnak, hiszen akár 1 m³-es térfogatban is képesek lehetünk műanyag alkatrészeket készíteni, betonnal akár építményeket is, de egy-egy fejlett nyomtatókészülék akár mindössze 20 µm vastag rétegek elkészítésére is alkalmas lehet,⁴ bár ez utóbbi nem nevezhető hétköznapiaknak.

Mivel a fegyveres testületeknek is lépést kell tartania a technológiai fejlődéssel így az additív eszközök megjelenésére számítani lehetett a katonai alkalmazási környezetben is. Éppen ezért fontosnak tartjuk, hogy részletesen megvizsgáljuk az alkalmazhatóság lehetőségeit, hogy a hadtudomány elé kitűzött fő irányvonalak⁵ közül több esetében is újszerű módszerekkel mutassunk be eredményeket.

Célkitűzésünk, hogy áttekintsük a szálérősítéses 3D-nyomtatás katonai alkalmazásának lehetséges technológiáit és a potenciálisan felhasználó alapanyagait. Ezt követően pedig rendszerezzük a technológia katonai szempontból releváns paramétereit és meghatározzuk a szálérősítéses additív gyártás legfontosabb irányait a Magyar Honvédségen, illetve tágabban a hazai védelmi iparon belül.

Az additív gyártás témához kapcsolódó technológiai

Az additív gyártástechnológia fejlődése olyan ütemben zajlik, hogy folyamatosan jelennek meg az egyes, már kiforrott technológiák fejlesztett, kiegészített és kombinált változatai. Mivel a folyamatos változás jelentős nehézségeket hordoz egy terület rendszerezésében, ezért írásunkban nem teszünk kísérletet a lehetséges eljárások teljes feltérképezésére, kizárólag a legelterjedtebb, bevált és megbízható módszereket vizsgáljuk.

A 3D-nyomtatás világában napjainkban a szálhúzásos vagy szálolvastásos technológiát tekinthetjük alapnak (FFF⁶). Ez a módszer főleg polimerek esetében elterjedt, de a fémnyomtatás⁷ világában is fellelhető. Az alapanyag dobra csévélt formában beszerezhető. Ezek a filament⁸ alapanyagok többféle polimerből és kompozitból készülhetnek. Legismertebb és legelterjedtebb hobby célból vásárolt alapanyag talán a politejsav (PLA⁹), mely nagyon jól építhető, megfelelő körülmények között komposztálható, viszont időtállósága, mechanikai tulajdonságai elmaradhatnak más alapanyagoktól. További elterjedt

² Gyarmati – Hegedűs– Gávay 2022, 125.

³ Markovits – Eröss – Fendrik 2019, B50.

⁴ Kajner et al. 2023, 4.

⁵ Boda et al. 2016, 1–23.

⁶ Angolul Fused Filament Fabrication, elterjedt rövidítése: FFF.

⁷ Angolul: Atomic Diffusion Additive Manufacturing, rövidítve: ADAM. Bővebben: Hegedűs 2023, 62–64.

⁸ Az alapanyag elterjedt elnevezése, az angol szál vagy rost kifejezés átvételéből ered.

⁹ Angolul: Poly Lactic Acid, elterjedt rövidítése: PLA.

polimerek a PET,¹⁰ PET-G,¹¹ az ABS,¹² az ASA¹³ és a PA¹⁴ vagy nylon, de ezeken kívül is még széles terítékből választhatunk. Ezeket az anyagokat akár kompozit formában is felhasználhatjuk mikron méretű szén-szálakkal dúsítva, de gipsszel vagy fémporokkal dúsított változatokat is beszerezhetünk.

A technológia tehát megköveteli, hogy szálszerű alapanyagokat alkalmazzunk, melyek két méretben találhatók meg a piacon. A méret esetében nem a kiszérelés méretét értjük, mert az igen széles spektrumban változik. A szálak átmérőjében viszont az 1,75 mm-es és 2,85-mm-es méretekkel számolhatunk. A felcsévált polimert fogaskerekerek húzzák be¹⁵ a „hotend” nevű alkatrészbe. Itt a polimerre jellemző hőmérsékletre hevített környezetben a keletkezett olvadék az extrúderbe kerül, ahonnan egy a fűvókán keresztül áramlik ki az építőtérben elhelyezett tálcára.¹⁶ Ez utóbbi alkatrészhármast szokás nyomtatófejnek is nevezni.

Mivel a technológia lényege a rétegről-rétegre építés, elengedhetetlen, hogy három dimenzióban történjen mozgás az építőtérben. Ennek elterjedt megoldása, amikor a nyomtatófej vízszintesen két dimenzióban képes elmozdulni miközben a tálca képes a függőleges irányban pozíciót váltani. Más változatoknál a nyomtatófej csak egyik vízszintes irányt és a függőlegest képes kezelni és a tálca mozgatása biztosítja a másik vízszintes irányú pozicionálást. Léteznek rögzített tálcás alternatívák és olyanok is, ahol az építőtérben robotkar segítségével egyszerre több irányból lehetséges az alkatrész felépítése, de ez utóbbi még nem elterjedt a széles közönség előtt.

Az FFF technológia sajátossága, hogy a gyártásnál akadhatnak nehézségek egyes geometriák felépítésénél. Az asztallal párhuzamos, vagy eszközre jellemzően megfelelő szöget bezáró felületek kialakítását támaszték építéssel lehet megoldani. Ezek a kiegészítő elemek a késztermékről eltávolíthatók, minőségük jóval gyengébb, mint az alkatrészé és könnyen törnek. Az eltávolítás után viszont az illeszkedési felületek utólagos megmunkálást igényelhetnek. Ezt tudják megkönnyíteni a két független fejes 3D-nyomtatók (IDEX¹⁷). A két fejjel eltérő színekkel, anyagokkal lehet készíteni a támaszokat, ami segíthet az eltávolításukban, valamint lehetőségünk van vízben oldódó PVA¹⁸ támasztékot vagy támasztékrészletet is építeni. Ez utóbbi olyan 3D-nyomtatóknál is alkalmazható, ahol egy közös fejben van két elkülönített extrúder (*1. ábra*). Ilyen esetben a végtermékről vízben kell leoldani a felesleges elemeket.

¹⁰ Polietilén-tereftalát.

¹¹ Polietilén-tereftalát-glikol.

¹² Akrlinitril-butadilén-sztirol.

¹³ Akrlinitril-sztirol-akrilát.

¹⁴ Poliamid.

¹⁵ Elterjedt olyan megoldás is, ahol nem csak húzás, hanem alapanyagtolás is történik, mert a hajtást biztosító alkatrész a dob és a hotend között van elhelyezve, viszonylag jelentős távolságban.

¹⁶ Gál – Németh 2019, 233.

¹⁷ Angolul: Independent Double Extrusion System.

¹⁸ Polivinil-alkohol.



1. ábra.

Ultimaker S5 FFF nyomtató

[Forrás: a szerzők felvétele]

A következő bemutatásra tervezett technológia a szelektív lézeres szinterezés (SLS¹⁹). A technológiát porágyas nyomtatásnak is szokás nevezni (2. ábra), mely közérthetőbb a folyamat bemutatása szempontjából. Ebben az esetben az alapanyagok skálája már korlátozott, a műanyagok esetében általában valamilyen PA kerül az építőtérbe, de PP²⁰ is előfordulhat, ha könnyebb alkatrészekre van szükség, illetve TPU²¹ is, ha a rugalmasság is fontos követelmény.

A gyártási folyamat során a por alapanyag kerül egy tartályból az építőtérbe, ahol vékony rétegekben²² elterítik. Az egyenletesen elterített por felületét lézerrel megvilágítják a megfelelő pontokon, ahol az megszilárdul. Az építőtérben lévő tálca lefelé mozdulása után újabb vékony réteg következik és a lézer alkalmazása is megismétlődik. Az eljárás és az alapanyag megköveteli a folyamatos magas és egyenletes hőmérsékletet, ezzel garantálva a végtermék minőségét.²³

Vannak azonban hátrányai is az SLS nyomtatásnak, de az alapanyag aránylag magas árát nem sorolnánk ide, mert ez az FFF technológiánál is megjelenhet.

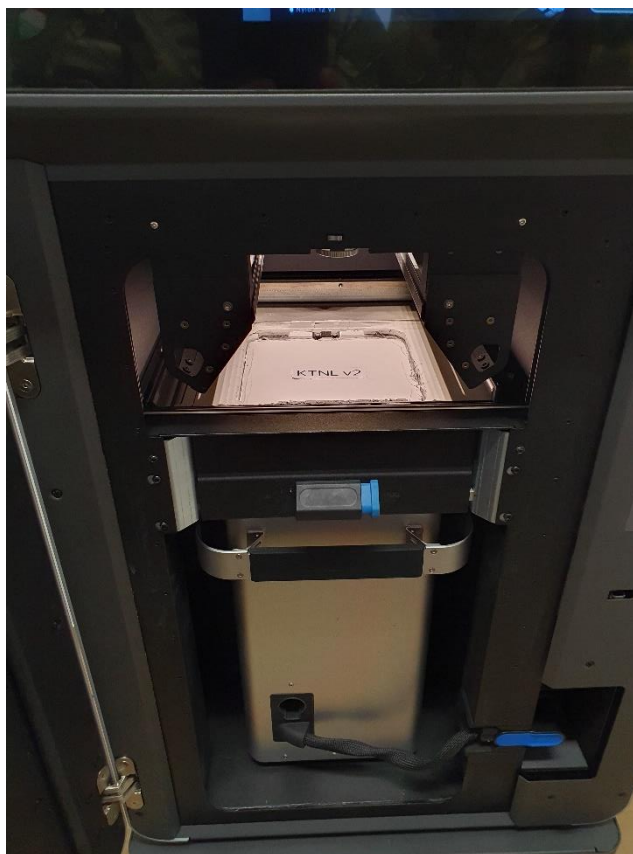
¹⁹ Angolul: Selective Laser Sintering, rövidítve: SLS.

²⁰ Polipropilén.

²¹ Termoplasztikus poliuretán.

²² Általában 50 és 200 mikrométer közötti vastagságú rétegeket alakítanak ki.

²³ Gál – Németh 2019, 234.



2. ábra.

Formlabs Fuse 1 SLS nyomtató építőtere kiemelés előtt

[Forrás: a szerzők felvétele]

Szálerősített polimerek az additív gyártásban

A szálerősítéses alapanyagok a fent bemutatott technológiák mindegyike esetében elérhetők és szeretnénk ezekből bemutatni néhányat, amelynek katonai alkalmazása előnyökkel járhat a jövőben. Mindezt azért, mert a nagyteljesítményű, kiemelkedő teherbírás-tömeg és szilárdság-tömeg aránnyal rendelkező polimer kompozitok kiváló gyártási alapanyagok lehetnek²⁴ akár katonai alkalmazás során is.

Az FFF technológiához készített filamentek esetében nagyon széles körben alkalmazzák a karbonszálakat a polimerek adalékaként. Leggyakrabban PET, PETG, ASA, ABS és nylon polimerekbe keverik, általában 15–20% körüli²⁵ mennyiségben. A szénszálaknak több esetben is jelentős hatásuk lehet a végtermékekre. Mivel szilárdabbá teszik a tárgyakat, ezért a gyártási folyamat egyik kritikus pontjánál a lehülésnél is hordozhat előnyöket. A lehülés során a hőmérsékletvesztés térfogatváltozást eredményez, mely problémát hordozhat. A kész tárgyak alkalmazási hőmérséklete nem fogja elérni a fúvókából történő kiáramlás, tehát az építés hőmérsékletét, azaz a felhasználáskor valamelyest zsugorodott méretű alkatrésszel

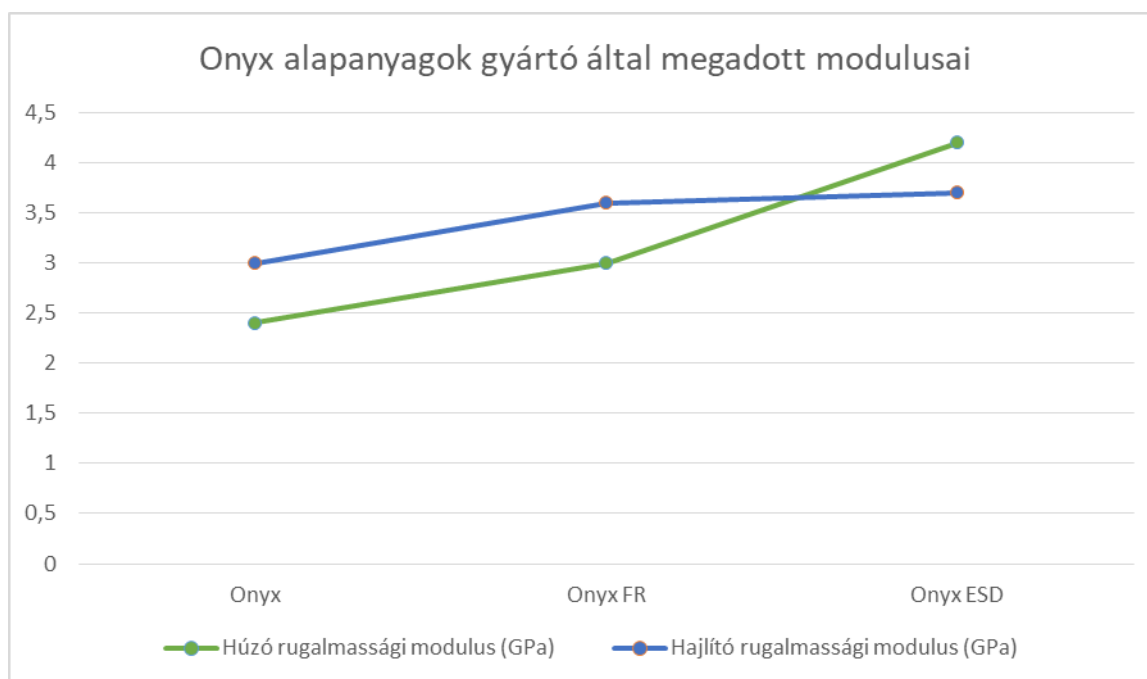
²⁴ Hliva – Szabéni 2023, 2.

²⁵ Ez az interneten forgalmazói oldalakon bemutatott termékleírásokból származó adat. Természetesen ettől eltérő arányban készült filamenteket is lehetséges beszerezni és más alapanyagba is keverhető az erősítő szénszál.

számolhatunk. Az alapanyagban lévő szénszálak segíthetnek ennek a problémának a csökkentésében, ezzel a kész tárgy minőségének javításában. A kész termékek továbbá kevésbé érzékenyek a nedvességre és kiválóan alkalmasak magasabb hőmérsékletű alkalmazásra is.²⁶

A technológiánál maradva ki kell emelnünk egy gyártót, mely a szálerősítésre kiemelt figyelmet fordít. Egyedi megoldásként nem csak a filament anyagába kevert mikroméretű szénszálak, hanem az építési rétegekbe helyezett folyamatos szálerősítés is elkészíthető a Markforged egyik termékcsaládjával. A gyártás során a nyomtató „hőre lágyuló mátrixszal előre impregnált szálköteget helyez az ömledékrétegbe”,²⁷ ezzel erősítve meg a kívánt geometriát.

A vizsgált filament, mint mátrix anyag nyolból készül, melyet mikro szénszállal dúsítottak fel, melynek piaci fantázianeve „Onyx”. Ennek az alapanyagoknak a továbbfejlesztett változatai is elérhetők már a gyártó újabb nyomtatóihoz,²⁸ azonban a régebbi és elterjedtebb verziók csak az alap filamentet²⁹ tudják használni. Az Onyx alapanyagok kifejezetten jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek (3. ábra), melyet a folyamatos szálerősítés tovább javíthat (4. ábra). Önmagában ez a kompozit anyag 1,4-szer erősebb, mint az ABS.³⁰



3. ábra.

Onyx alapanyagok gyártó által megadott modulusai

[Forrás: szerzők szerkesztése, Markforged 2023: Material Datasheet – Composites alapján]

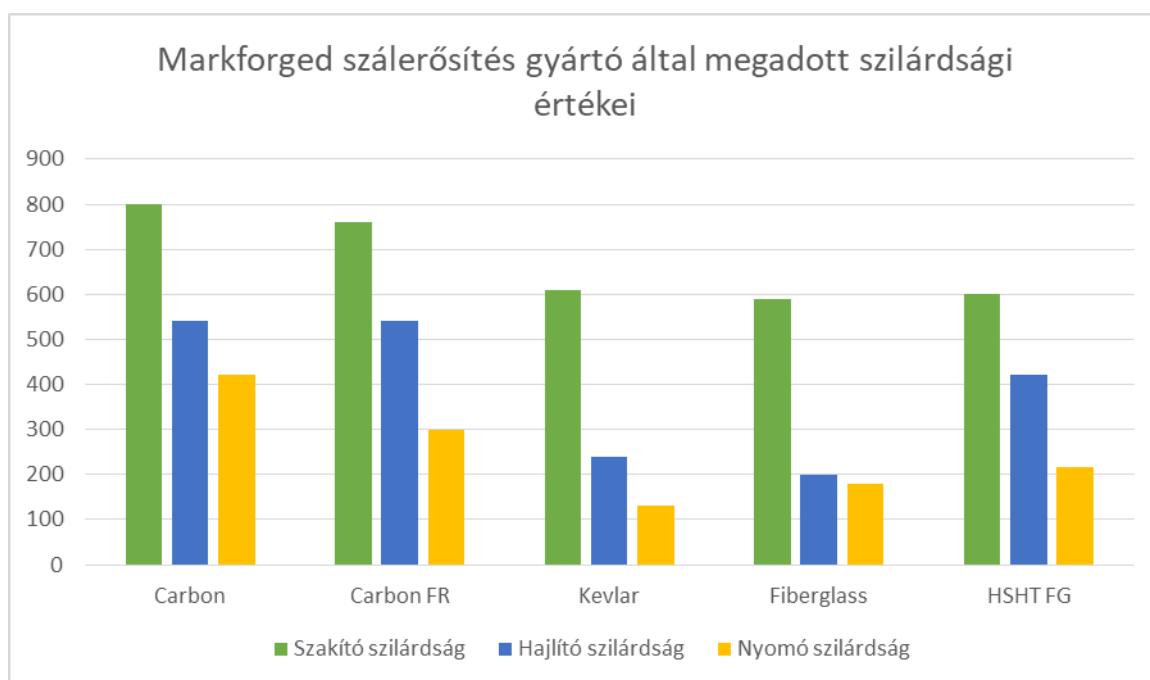
²⁶ Bővebben: <https://shop.freedee.hu/Polymaker-PolyMide-PA-12-nyomatoszal-fekete;> [https://www.turtle3d.hu/hu/65/62/pet-g-filament-carbon-1kg-szenszal;](https://www.turtle3d.hu/hu/65/62/pet-g-filament-carbon-1kg-szenszal) [https://eu.store.bambulab.com/en-hu/products/pet-cf.](https://eu.store.bambulab.com/en-hu/products/pet-cf)

²⁷ Szederkényi et al. 2022, 83.

²⁸ Onyx FR – tűzálló, Onyx ESD – elektrosztatikus feltöltődés ellen védett.

²⁹ Szénszállmentes, tiszta nylon is elérhető, de ez az alapanyag írásunk szempontjából nem releváns.

³⁰ Markforged 2023: Material Datasheet – Composites.

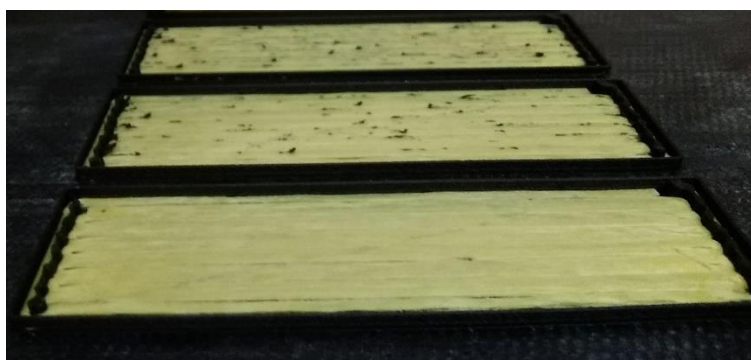


4. ábra.

Markforged szálerősítés gyártó által megadott szilárdsági értékei

[Forrás: szerzők szerkesztése, Markforged 2023: Material Datasheet – Composites alapján]

A folyamatos szálak esetében is van lehetőség válogatni³¹ attól függően, hogy milyen jellegű alkatrészt szeretnénk készíteni, milyen célból és igénybevételre tervezzük. Érdeemes tehát átgondolni és az adott feladatra leginkább megfelelőt alkalmazni, mert a polgári termékek gyártásánál már széles körben alkalmazzák az alumíniumból készült testek leváltására a szénszálas műanyag alkatrészeket. Az üvegszállal robusztus és erős termékeket készíthetünk, míg az aramid (5. ábra) betét jobban elviseli a hajlításból és húzásból eredő erőket.³²



5. ábra.

Aramid folyamatos szálerősítés az alkatrész belső szerkezetében

[Forrás: a szerzők felvétele]

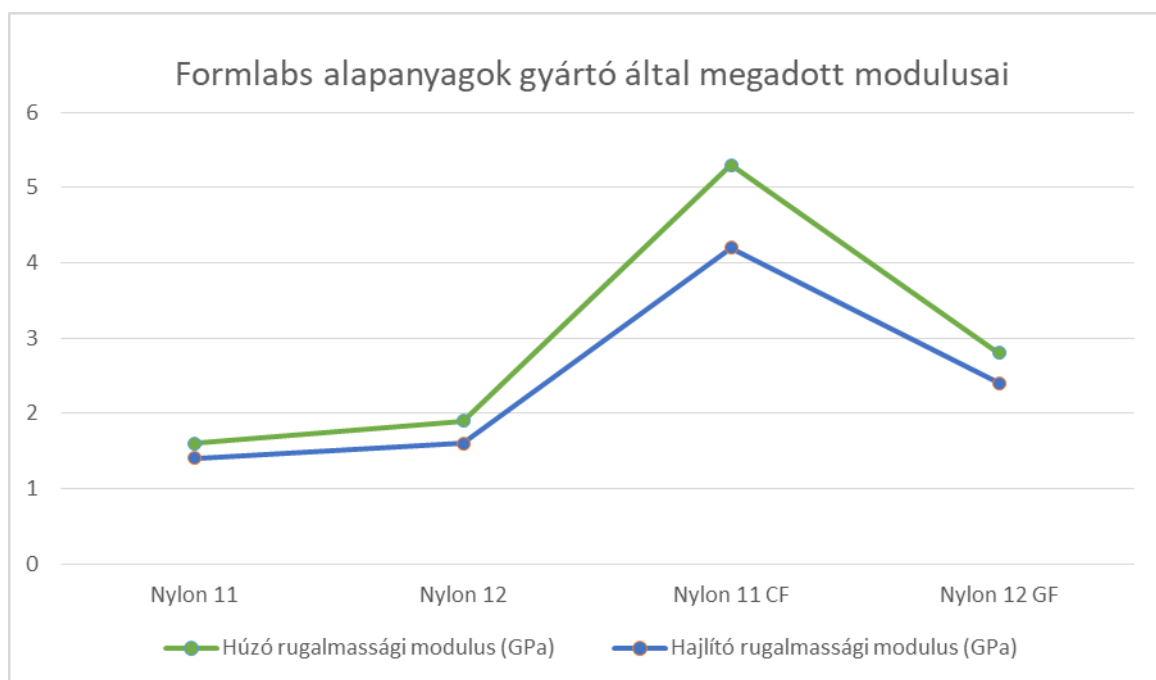
³¹ Carbon – szénszál, Carbon FR – tűzálló szénszál, Kevlar – kevlár, vagy aramid, Fiberglass – üvegszál, HSHT FG – hőálló és nagy szilárdságú üvegszál.

³² Markforged 2023: Material Datasheet – Composites.

Mivel nem csak az FFF, hanem az SLS technológia is bemutatásra került korábban, ezért ehhez kapcsolódóan is szeretnénk bemutatni egy szálerősített alapanyagot.

A Formlabs által gyártott SLS nyomtatókhöz két olyan alapanyag is elérhető, mely szálerősítést tartalmaz. Ezek a kompozit anyagok a Nylon 11 CF (mikro szén-szál) és a Nylon 12 GF (üvegszál). Más alapanyagok, mint a színezett nylon és a polipropilén szintén megtalálhatók a kínálatban, azonban ezek a témánkhöz nem releváns alapanyagok. Az SLS technológia sajátja, hogy egy gép esetében egyféle alapanyag-típust lehetséges felhasználni. A váltás ugyan nem lehetetlen, de költséges és kétséges lesz a gyártmányok minősége, mert a por eltávolítása a belső alkatrészekről, tárolókról üzem közben szinte lehetetlen feladat.

A 6. ábrán jól látható, hogy a gyártó által közölt adatok szerint a szén-szál poliamid akár háromszoros, az üvegszál pedig majdnem kétszeres modulus értékeket produkál.

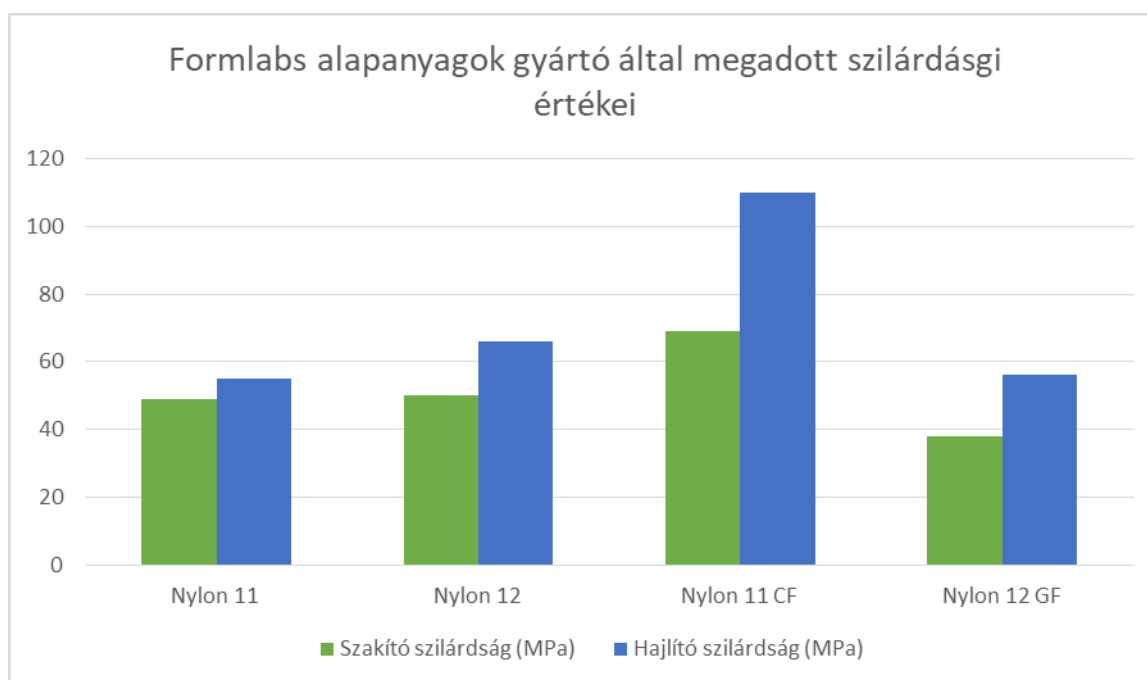


6. ábra.

Formlabs alapanyagok gyártó által megadott modulusai

[Forrás: szerzők szerkesztése, Formlabs: Explore Material Properties alapján]

Az előnyös tulajdonságok a szilárdsági értékek esetében is jól láthatók (7. ábra). A Nylon 11 szén-szállal erősítve duplázza hajlító szilárdságát és szakítószilárdsága is jelentősen nő.



7. ábra.

Formlabs alapanyagok gyártó által megadott szilárdsági értékei

[Forrás: szerzők szerkesztése, Formlabs: Explore Material Properties alapján]

A szénszállal erősített alapanyagból készült alkatrészeket a nagy termálstabilitás és könnyű tömeg teszi praktikussá és ráadásként az ismétlődő erőhatásoknak is jól ellenállnak. Az üvegszálal változatot olyan esetekben használhatjuk, amikor a termálstabilitás, hőállóság kritikus szempont a prototípusoknál és a végfelhasználásra készített alkatrészeknél.³³

A katonai felhasználás módszerei és lehetősége

A polgári és a katonai felhasználás sok esetben teljesen megegyező, de vannak, lehetnek eltérések. A hadiipar számára készített alkatrészeket lehetséges ipari körülmények között is előállítani 3D-nyomtatók alkalmazásával, melyeket piaci szereplők készítenek. Ilyen esetekben a gyártás célja jelenthet markáns különbséget, esetleg a megválasztott alapanyag. A kutatásunk szempontjából azok a lehetőségek érdekesek, ahol tehát a piaci szereplők kihagyásával, önellátásra kell termelnie egy fegyveres testületnek.

Ezen a területen ki kell emelnünk, hogy érdemes lehet a dolog jogi hátterét is vizsgálat alá venni a jövőben, hiszen Magyarországon a katonai célú alkatrészek gyártása alapvetően haditechnikai engedély köteles és további engedélyek is szükségesek lehetnek, esetleg korlátozások is találhatók a jogszabályok között. Ezek egy része éppen azért található meg a normatívák között, mert a Magyar Honvédség számára szükséges alkatrészek minőségében fontos a megfelelő színvonal, valamint sok területen speciális ismeret³⁴ és eszközök szükségesek. Egy fegyveres testület nem feltétlenül van berendezkedve arra, hogy minden a gyártáshoz szükséges feltétellel rendelkezzen, még akkor sem, ha a jogszabályok nem

³³ Formlabs: Materials Catalog.

³⁴ Például: robbanóanyagok, gyújtószerek, robbanótetek gyártása.

gördítenek akadályt ezek elé. Érdemes tehát figyelmet fordítani a minden részletre kiterjedő jogi elemzésre a jövőben.

A polgári gyakorlattól tehát eltérő alkalmazási körülmények is előfordulhatnak a katonai alkalmazási példákat vizsgálva. Ezek esetében a fegyveres szervezet a saját érdekében, önellátásra végez termelést 3D-nyomtatókkal, mely történhet:

- a hátszágban;
- műveleti területen a védelmünk mélységében kialakított telephelyen, üzemben;
- a tervezett beépítés, alkalmazás helyszínén.

Ezekhez a feladatokhoz a katonai keretek között alkalmazott 3D-nyomtatók lehetnek:

- stacionerek: ritkább eset, leginkább a hátszágban alkalmazható technikai eszközök;
- könnyen mobilizálhatók: összetettebb telepítést igényelnek, de áttelepítésük gazdaságosan megvalósítható;
- mobilak: kialakításuk, hordozó eszközük lehetővé teszi, hogy gyorsan telepíthetők legyenek egy-egy helyszíni gyártás elvégzésére, mely feladatra leginkább az FFF technológia alkalmas.

A szálerősítés alkalmazására tehát a fent bemutatott rendszeren belül van lehetőség az additív gyártástechnológiák esetében. Véleményünk szerint az alábbi esetek tekinthetők az ilyen mikroszállal vagy folyamatos szállal erősített polimerek alkalmazására:

- csere- vagy pótalkatrészek gyártása;
- műszaki harcanyagok alkalmazásához készített alkatelemek gyártása;
- különleges geometriájú, egyedi vagy továbbfejlesztett alkatrészek gyártása;
- általános és célszerszámok készítése;
- speciális, nagy igénybevételre tervezett orvosi eszközök³⁵ gyártása.

Összegzés

A szálerősítéses 3D-nyomtatás katonai lehetőségeit megvizsgálva sikerült azonosítanunk néhány fontos részletet. Található olyan technológia, mely elérhető lehetőség a katonai felhasználásra (SLS és FFF) a szálerősítéses polimerek területén. Természetesen érdemes folyamatosan figyelemmel kísérni a technológia fejlődését, mert várható, hogy újabb, hatékonyabb eszközök is megjelennek a piacon.

Az alapanyagok közül több olyat is sikerült azonosítani, mely alkalmas lehet magas minőségű, nagy igénybevételre tervezett alkatrészek, tárgyak, eszközök készítésére. A bemutatott termékekkel kapcsolatban kijelentjük, hogy vélhetően más gyártók is képesek hasonló minőségű polimerek és szálerősítés gyártására.

Írásunkat kizárólag a tudományos munka motiválta. Összegezve, elértük kitűzött célunkat és sikerült beazonosítani a kutatásunk szempontjából legfontosabb gyártási területeket, ahol a szálerősített műanyagok katonai alkalmazása 3D-nyomtatással lehetséges. Megjegyezzük, hogy ez a későbbiekben nem csak lehetőségként, hanem leginkább

³⁵ Told et al 2021, 2.

szükségként fog jelentkezni, kifejezetten műveleti környezetben. Éppen ezért további kutatásra, elemzésre alkalmasnak tartjuk ezt az irányt.

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

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Boda József et al. 2016. A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök. *Államtudományi Műhelytanulmányok*, 16. 1–23. Online: <http://www.med.u-szeged.hu/download.php?docID=90702> (Letöltés: 2024. 05. 20.)
- Gál Bence – Németh András 2019. Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére. *Hadmérnök*, 14 (1): 231–249.
<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.
<https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.7>
- Hegedűs Ernő 2023. Az ADAM-fémnyomtatási technológia alkalmazási lehetősége a hadiiparban – 3D-s eljárás az UAV-k és könnyűjárművek gyártásában. *Haditechnika*, 57 (6): 61–66.
<https://doi.org/10.23713/HT.57.6.13>
- Hliva, Viktor – Szabó, Gábor 2023. Non-Destructive Evaluation and Damage Determination of Fiber-Reinforced Composites by Digital Image Correlation. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 42 (43): 1–15.
<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) : 3018.
<https://doi.org/10.3390/nano13233018>
- Szederkényi Bence Boldizsár et al. 2022. Additív gyártástechnológiával készített, folytonos szállal erősített kompozitok szimulációs elemzése. *GÉP*, 73 (3–4): 82–87.
http://gepujsag.hu/images/ujzagok_2022/gep%202022%203-4.pdf (Letöltés: 2024. 05. 20.)
- 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): 2647.
<https://doi.org/10.3390/polym13162647>

INTERNETES FORRÁSOK

<https://shop.freedee.hu/Polymaker-PolyMide-PA-12-nyomatoszal-fekete> (Letöltés: 2024. 05. 20.)

<https://www.turtle3d.hu/hu/65/62/pet-g-filament-carbon-1kg-szenszal> (Letöltés: 2024. 05. 20.)

<https://eu.store.bambulab.com/en-hu/products/pet-cf>. (Letöltés: 2024. 05. 20.)

Markforged 2023: Material Datasheet – Composites. Online: <https://s3.amazonaws.com/mf.product.doc.images/Datasheets/Material+Datasheets/CompositesMaterialDatasheet.pdf> (Letöltés: 2024. 05. 20.)

Formlabs: Explore Material Properties. Online: <https://formlabs.com/store/materials/nylon-12-gf-powder/> (Letöltés: 2024. 05. 20.)

Formlabs: Materials Catalog. Online: https://formlabs.com/materials/?print_technology%5B0%5D=SLS (Letöltés: 2024. 05. 20.)