



1. ábra. Az ADAM-technológiájú Markforged Metal-X fémnyomtató szinterező kemencéjének alkalmazása az Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszékének additív laboratóriumában (Fotó: Szalai Tamás)

Hegedűs Ernő\*

## ADAM-technológiájú 3D-s fémnyomtatás

Technológiai jellemzők és alkalmazási lehetőségek a hadiiparban, a haderőben és a katonai logisztikában, különös tekintettel az UAV-kra és a könnyűjárművekre

### TÉMATERÜLETI KUTATÁS

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kara 2022-ben több – különféle technológiájú – 3D-s nyomtatót szerzett be. Ennek oka, hogy a 3D-s nyomtatás napjainkban találja meg a helyét, mind a hadiiparban, mind a katonai logisztika és az üzemben tartás területén, illetve a katonai felsőoktatásban. [1] [2] A kar Haditechnikai Tanszéke „3D nyomtatás alkalmazása katonai logisztikában és hadiiparban” (Tématerületi Kiválósági Program TKP2021-NVA-16) tárgyú kutatása kiemelt kutatási terület. A beszerzett 3D-s nyomtatók egyike ADAM (Atomic Diffusion Additive Manufacturing – atomi diffúziós additív gyártás) technológiájú, MarkForged Metal-X típusú fémnyomtató. A jelen publikáció az ADAM-fémnyomtató bemutatásával foglalkozik. A tanulmány – az ADAM-technológiájú fémnyomtatás gyártástechnológia bemutatása mellett – kitér a magas olvadáspontú fémek nyomtat-



2. ábra. Az NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Karon kialakított 3D-s nyomtató laboratórium fémnyomtató terme ADAM-technológiájú nyomtatóval, mosóval és szinterező kemencével (Forrás: NKE HHK Haditechnikai Tanszék)

**ÖSSZEFOGLALÁS:** A tanulmány bemutatja az ADAM-technológiájú 3D-s fémnyomtatást. Kitér a magas olvadáspontú fémek nyomtathatóságára, az ADAM 3D-s nyomtatás lehetőségeire, illetve a fémek megjelenésének a haditechnika fejlődésére gyakorolt hatására. Kitér a zárt belső szerkezetek, cellák előállításának lehetőségére és előnyeire. Ismerteti az UAV-k sárkány- és hajtómű-rendszereinek, illetve egyes könnyűjárművek fémszerkezeti elemeinek gyárthatósági előnyeit ADAM-technológiájú 3D-s nyomtatással.

**KULCSSZAVAK:** additív gyártástechnológia, 3D-s nyomtatás, fémnyomtatás, ADAM technológia, UAV, könnyűjármű

**ABSTRACT:** This article describes 3D metal printing with ADAM technology. It discusses the printability of high melting point metals, the potential of ADAM 3D printing in this field, and the impact of the emergence of these metals on the development of military technology. The potential and advantages of closed internal structures and cells. It describes the advantages of the feasibility of manufacturing UAV kite and propulsion systems and some light vehicle metal structures using ADAM 3D printing.

**KEY WORDS:** additive manufacturing, 3D printing, metal printing, ADAM technology, UAV, light vehicle

\* Alezredes, PhD, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Haditechnikai Tanszék, adjunktus. ORCID: 0000-0001-8457-5044



hatóságára, e területen az ADAM 3D-s nyomtatás lehetőségeire, illetve a fémek megjelenésének a haditechnika fejlődésére gyakorolt hatására, valamint a zárt belső szerkezetek, cellák előállításának lehetőségére és előnyeire. Bemutatja az UAV-k sárkány- és hajtóműrendszereinek, illetve egyes könnyűjárművek fémszerkezeti elemei gyártásának előnyeit ADAM-technológiájú 3D-s nyomtatással. Ismerteti a harcjárművek páncélzatának additív gyártástechnológia alkalmazása esetén adódó tömegcsökkentési lehetőségeit.

Nemzetközi kitekintésként példaként említjük, hogy a 3D-s nyomtatás harctéri alkalmazása az utóbbi évtizedben dinamikus fejlődést az Egyesült Államok haderejében. Az Egyesült Államok Haderejének Kutatási, Fejlesztési és Mérnöki Központja (U.S. Army Armament Research, Development and Engineering Center – ARDEC) már 2014-ben jelentős szerepet tulajdonított a 3D-s nyomtatásnak a haderő logisztikai folyamataiban. [3] Az amerikai haderő Afganisztánban 20 lábás konténerekben elhelyezett mobil expedíciós laboratóriumot, (ún. Ex Laboratóriumot) telepített különféle elszigetelt helyeken szolgálatot teljesítő egységekhez. A konténeres laboratóriumokat Stratasy Fortus 250 3D-s nyomtatóval, és egy marógéppel szerelték fel. Az Egyesült Államok légieroje 3D-s nyomtatott kerámiák felhasználásával emelte magasabb szintre a hiperszonikus repülőgép-fejlesztéseit. Emellett New Yorkban kísérleti tanulmányokat végeztek a 3D-s technológiával nyomtatott orvosi eszközök harctéri felhasználhatóságának vizsgálatára. Továbbá az „Additive Manufacturing Feasibility Study & Technology Demonstration” projekt során sikeresen telepítettek egy 3D-s nyomtatási laborot Zaragozába (Spanyolország), a 2017 júniusában megrendezett harmadik Európai Harcászati Légi Szállítási Gyakorlat (European Advanced Airlift Tactics Training Course – EAATTC) idejére.

A fejlődés néhány éven belül a műanyag nyomtatástól eljutott a fémmnyomató műveleti területre történő telepítésig. 2019 decemberében az Amerikai Tengerészgyalogság III. Expedíciós Erőinek (III. MEF – Marine Expedition Forces) alegységei megkapták a Markforged Metal X 3D-s fémmnyomatót. Egyes elemzők szerint ugyanis „a műveleti környezetben végzett, logisztikai biztosítási célú 3D-s nyomtatás alatt 99%-ban fémmnyomatást kell érteni”. [4] 2021-ben az Amerikai Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma aláírt egy 1,4 millió dolláros szerződést az ExOne nevű amerikai céggel, amely egy konténeres kialakítású, terepen is üzemeltethető 3D-s nyomtatóállomás kifejlesztését tűzte ki célul. [5] Ennek során egy nagyobb méretű, 40 lábás konténerbe rendeznek be, amelyben helyet kap egy 3D-s szkenneregység is, illetve – a fémmnyomatás mellett – ugyanott lehetőség lesz kerámia és műanyag alapú nyomtatások legyártására is.

Napjaink páncélozott harcjárműveinek kétségtelenül az egyik legjelentősebb problémája – szállítás, hidakon történő átkelés, laza talajon mozgás stb. szempontból – az egyre kezelhetlenebbé váló szerkezetitömeg-növekedés. A 3D-s nyomtatás hadiipari alkalmazásában ezért kiemelkedő szerepet játszik a szerkezeti elemek tömegcsökkentésének lehetősége. Erre példa az EDA (European Defence Agency – Európai Védelmi Ügynökség) kutatás-fejlesztési szervezet harcjármű-páncélzat tömegének csökkentése érdekében 2022 óta folytatott AMALIA (Additive Manufacturing of Metallic Auxetic Structures and Materials for Lightweight Armour – auxetikus<sup>1</sup> fémszerkezetek és anyagok additív gyártása könnyű páncélzathoz) projektje. [6] Az EDA egy 3D-s fémmnyomatáson alapuló fejlesztési projektet indított könnyített szerkezetű páncélzat kifejlesztése érdekében (Additive Manufacturing of Metallic Auxetic

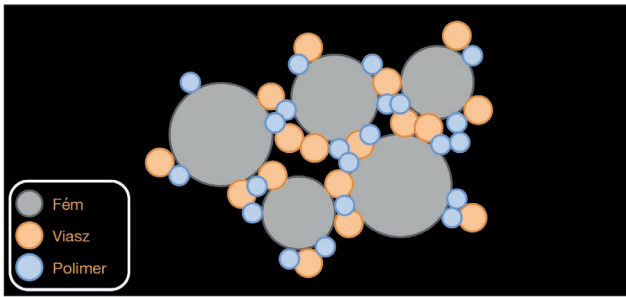
Structures and Materials for Lightweight Armour – AMALIA). Becsapódás hatására az alkalmazott auxetikus (nyújtáskor mindkét irányban méretüket növelő) anyag előnye, hogy nagyobb energiaelnyelést tesz lehetővé, így nagyobb védelmet nyújt. Az EDA 2021-ben mutatta be az AMALIA-project eredményeit egy, az európai haderők additív gyártási tapasztalatait összegző konferencián. [7] De megemlítenéd a főként ugyanezen tömegcsökkentési célból az Amerikai Egyesült Államok Hadserege által szponzorált *Jointless Hull Project* is, [8] amelynek keretében az amerikai haderő a világ legnagyobb méretű 3D-s fémmnyomatóját építi. A nyomtató 30 láb hosszú, 20 láb széles és 12 láb magas (9144 × 6096 × 3658 mm) fémmalkatrészek nyomtatására lesz képes, különös tekintettel a harcjárművek monolitikus páncélzatelemeinek nyomtatására. [9] A nyomtató megépítésén az amerikai haderő Szárazföldi Járműrendszerek Központja, a DEVCOM (Army Ground Vehicle Systems Center) az ASTRO America, az Ingersoll Machine Tool vállalat, a Siemens és a Rock Island Arsenal MELD Manufacturing cégének Összhaderőnemi Gyártási és Technológiai Központja (Joint Manufacturing and Technology Center) segítségével dolgozik. Szintén a harcjármű-gyártáshoz és az additív fém-gyártástechnológiához egyaránt kapcsolódó fejlesztési eredmény, hogy Németországban a Könnyűszerkezetes motor (Leichtbau Motor) elnevezésű kutatási projektben szelektív lézerolvasztással, AlSi10Mg alumínium-ötvözetpor alapanyag felhasználásával készítették dízelmotor-alkatrészeket, amely közel 21%-os súlymegtakarítást eredményezett. [10] A jövő 3D-s technológiával nyomtatott alkatrészeket és elemeket is tartalmazó páncélzatai és dízelmotorja a korábbiaknál jóval könnyebb konstrukciók lehetnek majd, ami a harcjárművek, a könnyűjárművek (quadok, könnyű terepjárók, motorkerékpárok és akár az UAV-k) szempontjából is kedvező. Általában a 3D-s nyomtatott alkatrészek alkalmazásának előnyei az UAV-kon sokrétűek, mivel elsősorban a légi járművek szerkezeti elemeinek tömegcsökkentése érhető el ezzel a gyártástechnológiával. Fontos szerepet játszik a fém 3D-s nyomtatás a komplex geometriájú – pl. összetett hűtőcsatornákat tartalmazó – rakétahajtóművek, vagy akár hőcserélők gyártásában is.

## Az ADAM-TECHNOLÓGIA

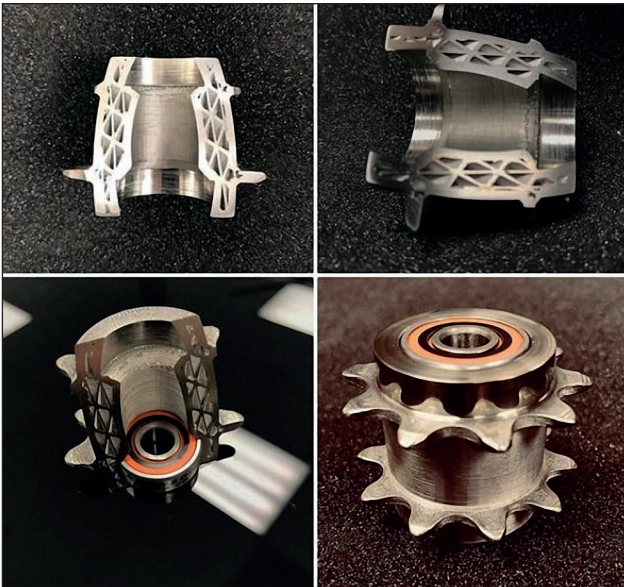
Az ADAM 3D-s fémmnyomatási eljárás három lépésben valósul meg: nyomtatás, mosás, majd kemencében történő szinterezés.

A nyomtatás során az ADAM-technológia a tárgyakat rétegről rétegre, hőre lágyuló polimerrel és viasszal kötött fémporból gyártja le. Egyéb okok mellett a fémpor kezelési nehézségei – egyes biztonságtechnikai, egészség- és környezetvédelmi aspektusai – miatt fejlesztettek ki egy olyan eljárást, amelyben kötőanyagot használnak, amely lehet valamiféle polimer, illetve viasz. [11] Ebbe a kötőanyagba keverték bele a fémport, és nyomtatáskor ezt a másodlagos anyagot olvasztják meg, amelyhez nem szükséges túl nagy mennyiségű energia. Az ADAM-technológiájú Markforged Metal X 3D fémmnyomató tehát polimer mátrixba kötött fémporokat extrudál, a műanyag 3D-s nyomtatáshoz hasonló, hagyományos olvasztott szálleválasztásos módszerrel. A nyomtató második feje egy vékony kerámia elválasztóréteget nyomtat.

A nyomtatás után a kötőanyag eltávolítása következik, mosással. A kinyomtatott „zöld” alkatrészt egy kötőanyagmentesítő alkatrészmossó állomásba helyezik. A kötőanyagot ekkor kivonják a munkadarabból olyan módon, hogy



3. ábra. Az ADAM-technológiájú nyomtató alapanyaga fémpor, viaszt és polimert tartalmaz, amelyből a mosás eltávolítja a viaszt, a szinterezés pedig a polimert [15]



4. ábra. Az ADAM-fémnyomtatási technológia zárt belső cellák létrehozására alkalmas a gépelemen belül, ami csökkenti a tömeget [24]

gépi úton, melegített (50–54°C hőmérsékletű) és 12-23 órán keresztül áramoltatott oldószerben kimossák belőle a viaszt. A számított időtartamú mosás megfelelőségét a modell tömegcsökkenésének mérésével ellenőrzik. A mosási fázisban a zöld alkatrészből az oldószeres fürdetés során csak a viasztartalom oldódik ki, a megmaradó polimertartalom „tartja egyben” a szinterezésig a barna alkatrészt, a polimer csak a kemencében, a kiégetési ciklus első, „Debonding” fázisában ég ki. A mosás során esetleg még visszamaradt kötőanyag a szinterezés során kiég az alkatrészből.

Végül az alkatrész hőkezelő kemencében történő szinterezés során éri el az ötvény minőséget. Ennek során az immár „barna”, mosott alkatrészeket helyezik a szinterező kemencébe, amely mintegy 22–27 órán keresztül, és maximum 1482° C-on szinterezi a fém alkatrészeket, így szilárd fém alkatrészek keletkeznek. A modellt – argon védőgázban – a fém olvadáspontjáig hevítik egy kamrában, hogy megkapják a kész alkatrészt. A technológia jellegzetessége, hogy a kamrás hevítés (szinterezés) során az elkészített modell térfogata csökken, bizonyos geometriák mellett esetleg deformálódhat is. A technológia alkalmazása során a nyomtatvány – például szerszámacél alapanyag esetén – az eredeti méretéhez képest akár mintegy 10%-os zsugorodást is elszenvedhet, amit az alkalmazott tervezőprogram (Eiger) számított méretrahagyással kompenzál. E fo-

lyamat befolyásolhatja a méretpontosságot, és belső feszültségek keletkezéséhez is vezethet. (Azonban az egyik opció szerint a kemence nemcsak a szinterezést, hanem hőkezelést is végezhet. A szinterzési idő így mintegy 37 órára növekszik, az anyagtulajdonság javítására vonatkozó lehetőségek azonban bővülnek.) Ugyanakkor minden nem fémes adalékanyag kiég a modellből a szinterező kemencében, amely argon védőgázzal védi meg a fémeket az oxigénnel való reakciótól. A szinterzés utolsó fázisában 2,4% hidrogéntartalmú argon gázkeveréket alkalmaznak a kemencében. A távozó gázokkal együtt távoznak a szinterezett alkatrészből kiégő maradék műanyagtartalmak is. A mosott 3D-s nyomtatott alkatrészek a kemencében fém formátumú alkatrészre alakulnak át, majd lehűlés közben – a fent leírt módon – zsugorodnak. Mivel a zsugorodás mértékével a nyomtatást vezérlő szoftver (Eiger) a tervezési fázisban számol és korrekciókat végez, a termék a kívánt (tervezett) méretben állítható elő. Egy tervezési segédlet ad támpontot pl. ahhoz, hogy 1:6 átmérő-magasság arány felett figyelembe kell venni a függőleges tájolású szinterezés esetleges deformáló hatását. Az ADAM-technológiával gyártott szinterezett alkatrész tájolásának szilárdságra gyakorolt hatását is részletesen megvizsgálták a kutatók. [12] Így összességében a technológia korlátai és lehetőségei egyaránt dokumentáltak, jellemzői ismertek.

Az ADAM-technológiával készült alkatrészek alkalmasak további gépi megmunkálásra, felületkezelésre vagy akár hőkezeléssel történő szilárdságnövelésre is.

Az alkalmazható alapanyagok: szerszámacélok, rozsdamentes acél, hőálló inconel, réz.

Az ADAM-eljárás képes:

- komplex geometriák, például zárt cellás belső szerkezet gyártására (pl. giroid kitöltéssel);
- magas olvadáspontú fémek (pl. inconel – nikkel tartalmú hőálló ötvözet) nyomtatására (pl. turbinalapát, rakétahajtómű, hőcserélő) is, amelyekre más fémnyomtatási technológiák nem, vagy csak kevésbé alkalmasak.

A huzalos technológia jelentős előnye, hogy alkalmazása közben nincs esetleges minőségromláshoz vezető porszítálás. Ugyanakkor gazdaságossági szempontból éppen ez lehet a hátránya is: a nyomtatás során keletkezett fém támaszok és az alaplap újra felhasználására jelenleg még nincs ismert lehetőség.

Az ADAM-technológiájú 3D-s fémnyomtatás alkalmazása jelenleg (inconel) és a jövőben is előnyös az olyan hőálló, nehezen önthető és nehezen megmunkálható ötvözetek esetén, amelyek 1500–2000 °C-ig hőállóak, és ott is szilárd, 1000–1200 HV (Vickers) keménységű fémek. Ezek alkalmazása gázturbinák és turbófeltöltők turbina-alkatrészeinél egyaránt fontos. A 3D-s fémnyomtatás – különösen a magas olvadáspontú anyagok nyomtatására alkalmas ADAM-technológia – fejlődésének egyik kulcsterülete a nyomtatható fém alapanyagok anyagtudományi szempontú fejlesztése, a paletta bővítése. „A fém 3D nyomtatás esetén az alkalmazható alapanyagok alapvetően nem színtérfémek, hanem ötvözetek. A technológia felfutási szakaszban van, így alkalmazási területei is folyamatosan bővülnek, ahogy az alkalmazható anyagok is. A bővülés alapját számos anyagtudományi, valamint technológiai kutatás-fejlesztés képezi. Ezen alakadási technológia térhódítását alapvetően meghatározza – számos egyéb tényező mellett – az alkalmazható anyagok fajtaszámának növekedése. Itt is – mint sok helyen – az anyagtudományi és technológiai kutatás-fejlesztéseket ipari problémák indukálják azzal a céllal, hogy minél különlegesebb anyagokból, egyedi szerkezeteket, struktúrákat lehessen létrehozni. Ezenkívül a technológia előnyeit kihasználva, új anyagtulajdonságok



vagy meglévő tulajdonságok optimalizálása legyen elérhető. Ezáltal lehetőséget biztosítva jelenlegi és jövőbeli technológiai problémák megoldására vagy technológiai ugrások megvalósítására. Néhány példa a kapcsolódó anyagtudományi és technológia kutatás-fejlesztési területekre, célokra: ... Ötvözet tulajdonságok optimalizálása, javítása... Új generációs szuperötvözetek tervezése, előállítása, valamint alkalmazása a fém 3D nyomtatásban .... Más módon nem megmunkálható speciális vagy új generációs ötvözet típusok alakadás megvalósítása”. [13] A magas olvadáspontú fémek jelentős szerepet játszanak a turbinalapátok, gázturbina gázsebesség-fokozók és gázsugárkormányok, rakétahajtóművek, hőcserélők gyártásában. Emellett – az Inconelen túlmenően – rozsdamentes acél, alumínium, szerszámacélok és titán, továbbá réz is nyomtatható ADAM-technológiával, amelyhez jelenleg zajlik az alapanyag-paletta bővítése, fejlesztése.

### A 3D-S NYOMTATÁS HARCTÉRI ALKALMAZÁSÁNAK FEJLŐDÉSE AZ EGYESÜLT ÁLLAMOK HADEREJÉBEN AZ UTÓBBI ÉVTIZEDBEN, A MŰANYAGNYOMTATÓTÓL AZ ADAM-TECHNOLÓGIA TELEPÍTÉSÉIG

2019 decemberében az Amerikai Egyesült Államok Tengerészgyalogsága III. Expedíciós Erőinek (III. MEF – Marine Expedition Forces) tengerészgyalogosai egy Markforged Metal X 3D fémnyomatót kaptak. A 3D-s fémnyomatással – az ADAM-technológia többlépcsős felépítése ellenére is – képesek a korábbi alkatrészgyártási ütem négyszeresével gyártani a végfelhasználásra szánt pótalkatrészeket. „Az amerikai hadsereg nemrég mutatta be az új Metal X rendszerét... Decemberben a III. Tengerészgyalogsági Expedíciós Erők elkezdtek a Metal X rendszer üzemeltetését a 3. karbantartó zászlóalj műhelyében Camp Kinserben, az Egyesült Államok egyik katonai bázisán, Okinawa szigetén. A műhelyben 12 tengerészgyalogos dolgozik, akik az amerikai fegyverrendszerek és járművek alkatrészeit javítják az összes III. MEF-egység számára, amelyek számos bázist foglalnak el a kis japán szigeten, valamint több bázist a nagyobb Honshu-szigeten, és további helyszíneken Dél-Koreában és Hawaiiin. Korábban kizárólag CNC-megmunkálógépeket használtak az alkatrészek gyártásához. Ez a folyamat esetenként költséges, időigényes és anyagpazarló is lehet. A Metal X rendszer lehetővé teszi a hadsereg számára, hogy igény szerint fém alkatrészeket 3D nyomtasson. Eddig ezek az alkatrészek közé tartoztak az .50 kaliberű (12,7 mm űrméretű) géppuskákhoz való mérőeszközök, a csavarkulcsokhoz való csatlakozóelemek és a fegyverraktárban a fegyverek optikájának tesztelésére szolgáló etalon. ... A 3D-s nyomtató berendezés alkalmazásával értékes időt lehet megtakarítani, illetve egy kész munkadarabot kapunk... ami nem igényel további jelentős mértékű megmunkálást. A hadsereg hosszú távú célja, hogy a lehető legközelebb tudjon alkatrészeket gyártani a műveleti területhez, esetleg hordozható laborokban.” [14] „Az additív gyártás lehetővé teszi a decentralizált gyártást. A vezető szerepet részben az USA hadereje tölti be az additív technológia alkalmazásában. ... Megvizsgálták, hogy a műveleti területre telepített additív gyártás hogyan minimalizálja az ellátási lánc kockázatait, figyelembe véve az amerikai tengerészgyalogság eredményeit, valamint azt, hogy ez a technológia hogyan alkalmazható más fegyvernemekre”. [16] Az Egyesült Államok Haderéjének Kutatási, Fejlesztési és Mérnöki Parancsnokságának (U.S. Army Research, Development and Engineering Command – ARDEC) folyóirata, az Army Technology 2014-ben egy „3D-s nyomtatás a haderőben” tematikájú különszámot



5. ábra. Az Aurora Flight Sciences sugárhajtású, tolóerővektor-vezérléses UAV 3D-s nyomtatott gázsugár-kormányval [18]

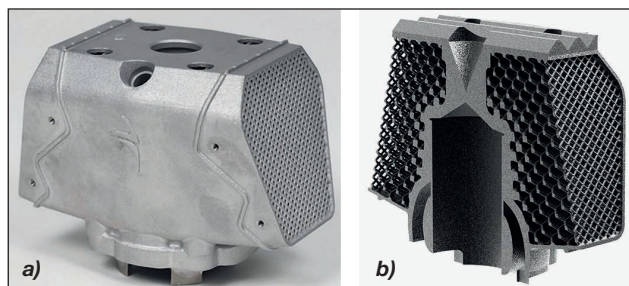
készített. (Az ARDEC napjainkban már Combat Capabilities Development Command – DEVCOM néven tevékenykedik.) Az ARDEC (DEVCOM) kezdeményezte a hadsereg 3D-s technológiával nyomtatott alkatrész-katalógusának létrehozását. [17]

### UAV-K ÉS KÖNNYŰJÁRMŰVEK 3D-S NYOMTATOTT FÉM ALKATRÉSZEI

A 3D-s fémnyomatott UAV-alkatrészek ADAM-technológiájú nyomtatóval hőálló ötvözetből is előállíthatók, amely pl. gázturbinás hajtású, tolóerővektor-vezérléses drónok gázsugár-kormányja esetében jelenthet kedvező megoldást. Az Aurora Flight Sciences UAV-kat – azaz pilóta nélküli repülőgépeket – fejleszt mind polgári, mind pedig katonai célokra, immár 30 éve. Az Aurora egy sugárhajtású, tolóerővektor-vezérléses, egybeépített szárnyú (hagyományos kormánysszervek nélküli), távirányítással vezérelt repülőgépet épített. A gép 98 N tolóerejű gázturbinás hajtóműve és a tolóerővektor-eltérítő mechanizmus biztosítja nagy sebességét és irányíthatóságát.

Az UAV szárnyfesztávolsága 2,9 méter, tömege 6,4 kg. A 240 km/h maximális sebességre képes UAV tolóerővektor-eltérítő mechanizmusa direkt fém szinterézéssel (Direct Metal Laser Sintering – DMLS), magas hőállóságú Inconel 718 alapanyagból készült, mivel a kilépő sugár hőmérséklete a 700 °C-ot is elérheti. A tolóerővektor-vezérléses drón 3D-s nyomtatott fém gázsugár-kormányja – az aerodinamikai elven működő kormánysszervek kitérítési mértékének csökkentésével, illetve e kormánysszervek elhagyásával, rés nélküli kormányzás megvalósításával – a lopakodó-képesség növelésében, illetve a manőverező képesség fokozásában, és a kormányzás egyszerűsítésében is szerepet kaphat. Az Inconel alkatrész előállítására az ADAM-technológiájú 3D-s fémnyomatás fokozottan alkalmas. Ugyan-

6. ábra. A Cobra Aero léghűtéses, kétütemű UAV benzinmotorjának új geometriájú, 3D-s nyomtatással előállított, optimalizált hűtésű hengere [19] [20]





7. ábra. Az Airbus 3D-s nyomtatott fém motorkerékpár váza, amely mindössze 6 kg tömegű [21]

akkor az additív gyártástechnológia dróniparban betöltött jövőbeni lehetséges kiemelt szerepére utal az is, hogy az Aurora Flight Sciences UAV szerkezetének 80%-át 3D-s nyomtatással állították elő.

Jelentős szerepet játszhat a 3D-s fémnyomtatás alkalmazása a léghűtéses, kétütemű benzinmotorok gyártásának területén is. (6. ábra)

Napjainkban is alkalmazást nyernek – elsősorban a különleges műveleti erőknél, de más területen is – a katonai motorkerékpárok (a legmodernebbek már elektromos hajtással). Ha általános összefüggéseiben vizsgáljuk a motorkerékpár-építésben alkalmazott 3D-s nyomtatást, akkor célszerű rövid kitekintést tennünk a fémnyomtatásra is.

8. ábra. 3D-s nyomtatott titánalkatrészek a hajtásláncban, és szénszálás hátsókerék az amerikai Graft elektromos endurónál [23]



Ugyanis összességében a korszerű kompozitanyag-technológia, illetve a szálerősítéses és a 3D-s fémnyomtatás együttes alkalmazása és bevezetése vezethet eredményre a könnyűjárművek – jelen esetben a katonai alkalmazású villamos motorkerékpárok tömegcsökkentésre irányuló fejlesztése esetében – ami a hatótávolság-növelés egyik tényezője. Az Airbus egy olyan 3D-s nyomtatott vázú motorkerékpár-fejlesztésében vett részt, amely a hagyományos megmunkálású motorkerékpár-váz szerkezetekhez képest a fém váz szerkezeti tömegének 30%-os csökkentését érte el, így a váza mindössze 6 kg tömegű. [22]

Mintegy 25%-os tömegcsökkenést értek el a kaliforniai Graft cég elektromos enduró motorkerékpárjának hajtásláncánál, amelynek a 25 kW (34 LE) teljesítményű elektromos motor 440 Nm forgatónyomatékát kell továbbítania a talajra. A hajtáslánc egyes elemeinek titán 3D-s nyomtatásával és a hátsó kerék karbonszálás erősítésű kompozitanyag konstrukciójával érték el a tömeg csökkenését, az ezáltal mindössze 50 kg tömegű motorkerékpárnál, amelynek akkumulátorai 3 óra üzemelést tesznek lehetővé.

A TKP2021-NVA-16 számú project az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatással, a Tématerületi Kiválósági Program 2021 TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.



INNOVÁCIÓS ÉS  
TECHNOLÓGIAI  
MINISZTERIUM



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI  
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL



HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Gyarmati József. Lánctalpas jármű kormányzása és ennek 3D modellezése. Műszaki Katonai Közlöny 33. évf. 3. szám (2023) <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.1.9>;
- [2] Gyarmati József – Hegedűs Ernő – Gávay György. Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó: Harkocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomtatással oktatási célból. Műszaki Katonai Közlöny 32. évf. 3. szám pp. 113–126., (2022) <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.7>;
- [3] Rider, Timothy. ARDEC investigates how 3-D printed metals could transform Army logistics. Army Technology, U.S. Army Research, Development and Engineering Command, 2014. évi július-augusztusi szám. <https://api.army.mil/e2/c/downloads/353505.pdf> (Letöltve: 2023.5.15);
- [4] Végvári Zsolt. A 3D nyomtatás felhasználási lehetőségei a műveleti logisztikában. Katonai Logisztika 2023. évi 1–2. sz. 177–198. pp. <https://doi.org/10.30583/2022-3-4-177>;
- [5] „ExOne Developing Portable 3D Printing Factory in Shipping Container for Department of Defense”, ExOne, 2021, <https://www.exone.com/en-US/Resources/news/ExOne-Developing-Portable-3D-Printing-Factory-in-S> (Letöltve: 2023.5.15);
- [6] EDA project seeks lighter ballistic armour. <https://eda.europa.eu/news-and-events/news/2022/10/21/eda-project-seeks-lighter-ballistic-armour> (Letöltve: 2022.10.21.);
- [7] European Military Additive Manufacturing Symposium. German Association for Defence Technology. [https://veranstaltungen.dwt-sgw.de/anlage?i=3266&c=GZNVHVKHEbTUFx&n=000025\\_programme.pdf](https://veranstaltungen.dwt-sgw.de/anlage?i=3266&c=GZNVHVKHEbTUFx&n=000025_programme.pdf) (Letöltve: 2021.10.4.);
- [8] ASTRO America to manage U.S. Army’s new Jointless Hull Project and deliver a hull-scale tool using Metal 3D Printing. Manufactur3D Magazine. [https://manufactur3d.com/astro-america-jointless-hull-project-metal-3d-printing/#google\\_vignette](https://manufactur3d.com/astro-america-jointless-hull-project-metal-3d-printing/#google_vignette) (Letöltve: 2022.6.24.);
- [9] Clemens, M. The Use of Additive Manufacturing in The Defense Sector. <https://www.3dnatives.com/en/the-use-additive-manufacturing-defense-sector300620224/#!> (Letöltve: 2022.10.10.);
- [10] Stark, Alexander. 3D printed engine is 20 percent lighter. ETMM 2021.02.09 <https://www.etmm-online.com/3d-printed-engine-is-20-percent-lighter-a-998651/> (Letöltve: 2023.1.25.);
- [11] Rákosi Sára – Sebők István – Szalai Tamás – Vég Róbert László. A 3D nyomtatás biztonságtechnikai és környezetvédelmi aspektusai. Katonai Műszaki Közlöny 32. évf. 4. sz. (2022);
- [12] Alkindi, Tawaddod – Alyammahi, Mozah – Susantyoko, R. A. – Atatreh, Saleh. The effect of varying specimens’ printing angles to the bed surface on the tensile strength of 3D-printed 17-4PH stainless-steels via metal FFF additive manufacturing. MRS Communications volume 11, p. 310–316 (2021) <https://doi.org/10.1557/s43579-021-00040-0>;
- [13] Temesi Ottó. A fém 3D nyomtatás anyagtudományi vonatkozásai. H-ION Kft. [http://elft.hu/wp-content/uploads/2022/08/Veszpr%C3%A9m-kiv.-minta\\_2022\\_08\\_18\\_programf%C3%BCzet.pdf](http://elft.hu/wp-content/uploads/2022/08/Veszpr%C3%A9m-kiv.-minta_2022_08_18_programf%C3%BCzet.pdf) (Letöltve: 2022.10.10.);
- [14] Molitch-Hou, Michael. Metal X 3D Printer Begins Operations at U.S. Military Base. <https://3dprint.com/263151/metal-x-3d-printer-begins-operations-at-u-s-military-base/> (Letöltve: 2020.2.7.) <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.1.10>;
- [15] Forrás: <https://www.freedee.hu/> (Letöltve: 2023.9.7.);
- [16] US Military Overcomes Supply Chain Risks with 3D Printing. <https://markforged.com/resources/videos/3d-printing-military> (Letöltve: 2020.2.7.);
- [17] Asclpiadis, Adam. Rapid Equipping Force uses 3-D printing on the frontline. Army Technology, U.S. Army Research, Development and Engineering Command, 2014. július-augusztusi szám, pp. 14–15. <https://api.army.mil/e2/c/downloads/353505.pdf> (Letöltve: 2020.2.7.);
- [18] ‘World’s fastest’ 3-D printed drone takes flight. <https://www.cnbc.com/2015/11/09/worlds-fastest-3-d-printed-drone-takes-flight.html> (Letöltve: 2023.6.13.);
- [19] Drone Engine Maker Illustrates How Additive Manufacturing Well Suited to OEMs. <https://www.additivemanufacturing.media/articles/drone-engine-maker-illustrates-how-additive-manufacturing-well-suited-to-oems> (Letöltve: 2023.6.13.);
- [20] Combustion engine cylinder heat sink designed by Cobra Aero. <https://www.ntop.com/innovation/combustion-engine-cylinder-heat-sink-designed-by-cobra-aero/> (Letöltve: 2023.6.13.);
- [21] Airbus-APWorks 3D printed Light Rider bike. <https://www.carbodydesign.com/gallery/2016/05/airbus-unveils-3d-printed-motorcycle-with-bionic-design/4/> (Letöltve: 2023.6.13.);
- [22] Airbus APWorks launches the ‘Light Rider’: the world’s first 3D-printed motorcycle <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2016-05-airbus-apworks-launches-the-light-rider-the-worlds-first-3d-printed> (Letöltve: 2023.6.13.);
- [23] Graft Releases 34-Horsepower, 110-Pound Electric Off-Road Bike 2023, Roadracing World Publishing, Inc. February 22, 2023. <https://www.roadracingworld.com/news/graft-releases-34-horsepower-110-pound-electric-off-road-bike/> (Letöltve: 2023.6.13.);
- [24] Forrás: <https://www.solidxperts.com/en/blog/designing-for-metal-x-3d-printing/> (Letöltve: 2023.9.7.).

JEGYZETEK

1 A terhelésre duzzadó anyagokat a szakirodalomban „auxetikus” a görög „növekedés”-t jelentő szóval jelölik. Az ilyen különleges anyagok mérete nyújtáskor nemcsak hosszirányban, hanem keresztirányban is nő. Először 1987-ben állítottak elő politetrafluor-etilénből (PTFE – teflon) ilyen polimerhabot.