

Végvári Zsolt\* – Dr. Hegedűs Ernő\*\* – Dr. Zentay Péter\*\*\*

# A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei I. rész

## A 3D-s NYOMTATÁS ELŐZMÉNYEI

A 3D-s nyomtatás fejlesztése az 1980-as évek elején kezdődött. Elterjedése az ezredforduló után gyorsult fel a polgári gyártástechnológiában. A 3D-s nyomtatás fejtett, az Ipar 4.0-hoz<sup>1</sup> kapcsolódó gyártástechnológia. Ezen belül a fémnyomtatás napjainkban találta meg helyét az iparban, a hadiiparban és a katonai logisztika, a haditechnikai eszközök üzemben tartása területén.

A 3D-s nyomtatás kezdetben a gyors prototípusgyártás révén nyert teret az iparban, de napjainkban már a kis sorozatoknál a sorozatgyártásban is egyre gyakrabban alkalmazott technológia. Egyelőre a polimer alapú eljárások az elterjedtebbek, de a növekvő igény következtében kezd teret hódítani a fém alapanyagú gyors prototípusgyártás, illetve sorozatgyártás is. Ezen eljárások közös ismérve, hogy a bonyolult, a 3D-s modelleket rétegről rétegre építik fel az adott modell szeletelésével, és a vékony, az alkalmazott technológiától függő kb. 0,02–0,15 mm vastagságú szeletek (rétegek) egymásra építésével.

A fém 3D-s nyomtatás alkalmazásával bonyolult geometriák, csatornák és furatrendszerek, összetett szerkezetű rács szerkezetek alakíthatók ki, illetve bennszülött alkatrészek<sup>2</sup>, összetett geometriák. Míg a hagyományos (szubtraktív<sup>3</sup>) eljárások alkalmazása mellett az ilyen formák csak több alkatrészből állíthatók össze, addig a 3D-s nyomtatással ez egyetlen munkafolyamat, amely a komplex geometriájú alkatrészek gyártása terén komoly előny. Mivel a technológia lehetővé teszi, hogy csak a teherviselő részeket alakítsák ki, és nem maradnak eltávolíthatatlan részek, alkalmazása a gépelemek fajlagos tömegének csökkenéséhez vezethet, amely a repülőipari alkalmazás területén kiemelten fontos. A technológia szélesebb körű elterjedésének korlátai egyelőre a magas fajlagos költségek és egyes, a termékek szilárdságával kapcsolatos problé-

mák. A hagyományos anyagelvételes megmunkálási eljárásokkal nagy tételben viszonylag gyorsan és olcsón állítható elő sokféle alkatrész, a kutatás-fejlesztés során azonban egy-egy prototípus 3D-s nyomtatásos előállítására mégis olcsóbb lehet, mivel nem szükséges hozzá drága megmunkológépek alkalmazása (öttegelyes CNC-megmunkálóközpont programozása, felszerszámozása stb.). A 3D-s nyomtatás ipari kivitelű berendezéseit ma már közvetlen gyártásban is felhasználják. Ekkor additív gyártásról (Additive Manufacturing-ről)<sup>4</sup> beszélünk.

Jelen tanulmány kitékint a katonai alkalmazás lehetőségeire is, amelyek elsősorban a harctéri katonai logisztika területén lehetnek jelentősek. Vizsgálja, hogy milyen esetekben válthatók ki a hagyományos megmunkálási (és szerszám-, vagy öntőformagyártási) technológiák ipari 3D-s nyomtatással.

## A 3D-s NYOMTATÁS, MINT GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA POLGÁRI ÉS KATONAI ALKALMAZÁSA

### A 3D-s NYOMTATÁS LEHETŐSÉGEI A POLGÁRI IPARBAN

A 3D nyomtató digitális (3D-s CAD<sup>5</sup>) modellekből *műanyag* vagy *fém* termékek, gépelemek gyártására alkalmas eszköz. A 3D-s nyomtatás *additív gyártástechnológiai eljárás*, vékony rétegek lefektetésével készít alkatrészeket, termékeket. A 3D-s nyomtatók lehetővé teszik termékfejlesztő csoportok számára, hogy asztali méretű berendezésekkel tudjanak *prototípus alkatrészeket* készíteni a gyors prototípusgyártás (Rapid Prototyping – RP) során.

A prototípusgyártáson kívül a 3D-s nyomtatás már jelenleg is széles körben alkalmazott végtermékek előállítására néhány speciális területen:

**ÖSSZEFOGLALÁS:** A cikk ismerteti a 3D-s nyomtatás – mint additív gyártástechnológia – alkalmazási lehetőségeit, különös tekintettel az olyan területekre, mint a 3D-s fémnyomtatás és a szálerősítéses műanyag nyomtatás. Napjainkban e technológia a prototípusgyártás mellett fokozott szerephez jut az összetett geometriájú alkatrészek, komplex rács szerkezetek, alkatrészen belüli rétegelt (szendvics-) szerkezetek gyártásában, amellyel a szerkezeti elemek fajlagos tömegcsökkentése érhető el. Az additív gyártástechnológia – a harctéri alkatrészellátás egyik módszereként – szerepet kaphat a katonai logisztika folyamataiban is. A Magyar Honvédség számára a NATO és az EDA (Európai Védelmi Ügynökség) javaslatai, illetve a 2021. évi NKS (Nemzeti Katonai Stratégia) egyaránt előíranyozzák a 3D-s nyomtatás fejlesztését.

**KULCSSZAVAK:** 3D-s fémnyomtatás, 3D-s nyomtatás, additív gyártástechnológia, prototípusgyártás, összetett geometria gyártása

**ABSTRACT:** The article describes the application possibilities of 3D printing - as an additive manufacturing technology - with particular attention to areas such as 3D metal printing and fiber reinforced plastic printing. Nowadays, in addition to prototype production, this technology plays important role in the production of complex geometry components, complex grid structures, and sandwich structures within components, which can be used to reduce the mass of structural elements. Additive manufacturing technology - as one of the methods of supplying parts on the battlefield - can also play a role in the processes of military logistics. Regarding to the Hungarian Defense Forces, the proposals of NATO and the EDA (European Defense Agency) and the 2021 National Military Strategy prewise development of 3D printing.

**KEY WORDS:** 3D metal printing, 3D printing, Additive manufacturing, Fast prototyping, Production of complex geometry structures

\* Mk. alezredes, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Műszaki Doktori Iskola, tanársegéd. ORCID: 0000-0003-2543-6049

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

\*\*\* Egyetemi docens, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar. ORCID: 0000-0002-3161-8829

- az orvosi felhasználás területén (sebészeti, fogtechnikai implantátumok) mivel ott minden gyártmány a betegre szabottan egyedi, így sorozatgyártásra eddig sem volt lehetőség, a 3D-s nyomtatás révén azonban kiváltható a fáradságos és drága kézi megmunkálás;
- a repülőiparban a tömegcsökkenés, illetve minőségbiztosítási okok miatt, ugyanis a 3D-s nyomtatott alkatrészekkel elkerülhető sok hagyományos gyártású alkatrész összeillesztése;
- a logisztika egyes területein:
  - elavult technológiájú, kifutott típusok pótalkatrész-utánpótlása, ahol már nem gyártanak és nem forgalmaznak pótalkatrészt egy adott típushoz,
  - „digitális raktárkészlet” alkalmazásának lehetősége a kis tételben előállítandó és/vagy komplex geometriájú alkatrészek esetében. Ennél a technológiánál csak az alkatrész gyártási dokumentációját tárolják elektronikusan a cégnél (digitális raktár), és igény esetén nyomtatják az alkatrészt.

A gyártásrentabilitás korlátai: a hagyományos gyártási eljárások (például a fröccsöntés) polimer alkatrészek tömeggyártása esetén általában olcsóbbak, de kis darabszám esetén az additív gyártás gyorsabb, rugalmasabb és olcsóbb. Milliós darabszámnál a 3D-s műanyag nyomtatás



1. ábra. Összetett geometriájú 3D-s fémmnyomtatott hőcserélő [8]

2. ábra. Hagományos és 3D-s fémmnyomtatott repülőgépalkatrész [9]



nem lehet a fröccsöntés vetélytársa, de egyedi és kis sorozatú gyártás esetében napjainkban már versenyképes.

A fémmnyomtatás előnye bonyolult geometriánál: például olyan gázturbina üzemenyag-befecskendező elemet nyomtattak ki, amelynek bonyolult belső furatrendszerét más technológiával csak igen nehezen, vagy egyáltalán nem lehetett volna legyártani hőálló acélból. Az eredmény: a gázturbina jelentős üzemenyag-megtakarítása.<sup>6</sup> Idesorolhatók a komplex áramláscsatorna-rendszerekkel gyártott, 3D-s nyomtatott integrált hőcserélők, (1. ábra) amelyek előállítására hagyományos technológiával igen bonyolult, és költséges lenne.

Tömegcsökkentés lehetősége: 3D-s fémmnyomtatással olyan rácsos tartókat lehet előállítani, amelyek bonyolult térrácsszerkezete más technológiával nem előállítható. Az ilyen tartók fő előnye az akár 20-30%-os fajlagos tömegcsökkenés, amely miatt elsősorban a repülőgépiparban lehet jelentősége.

Melyek azok a tényezők, amelyek elősegítik az ipari szintű 3D-s nyomtatás nagyobb arányú bevonását a sorozatgyártásba:

- a nyomtatási sebesség növekedése;
- a nyomtatók méretnövekedése miatt az egy munkatérben elhelyezhető termékek nagyobb száma;
- a professzionális (ipari) műanyagnyomtatók és alapanyagaik esetében a Z tengely menti szilárdságszökkenés 95% alá redukálása;
- olyan új alapanyagok (főként szálerősítésű műanyagok) alkalmazása, amelyek szilárdsága megközelíti a könnyűfémekét;
- különféle utókezelési technológiák megjelenése (pl.: műanyag termékek felületkezelés).

Összeségében a 3D-s műanyagnyomtatás napjainkban már nemcsak a prototípus gyártásban, de a sorozatgyártásban is szerephez jut. Például az Airbus utasszállító repülőgépein mintegy 1200 műanyag alkatrészt már 3D-s műanyagnyomtatással állítanak elő.

### A 3D-S NYOMTATÁS LEHETŐSÉGEI A KATONAI ALKALMAZÁS TERÜLETÉN

A technológia részben katonai eredetre tekint vissza, mivel az SLA 3D-s nyomtatási rendszert a DARPA<sup>7</sup> támogatásával fejlesztették ki 1980-ban.

A 3D-s nyomtatás, bevezetendő diszruptív technológiaként szerepel Magyarország 2021. évi Nemzeti Katonai Stratégiájában. [1] Katonai alkalmazásának lehetséges területei:

- prototípusgyártás a hadiiparban (pl. Gestamen fegyvercsalád). Egyes hadiipari termékek prototípusának egyszerűbb és gyorsabb elkészítése. A prototípuson elvégzendő vizsgálatok (szerelhetőség, ergonómiai működés) lehetővé tétele gyorsabban és gazdaságosabban;
- hadszíntéri pótalkatrész-ellátás kényszerhelyzetben, pl. missziós műveleteknél;
- egyedi alkatrész, részegység, prototípus gyártása a katonai logisztika és a hadiipar számára: a hadiipar jellemzője egyes területeken a csekély darabszám, amelyhez a hagyományos gyártás elkészítése jelentősen növelné a költséget és a ráfordított munkaóramennyiséget is. Ez a folyamat gyorsítható az additív (3D-s) gyártástechnológiával;
- a haditechnikai eszközök alkatrészeinek egy bizonyos hányada a sorozatgyártásban is 3D-s nyomtatással készülhet a jövőben, különösen a repülőiparban (Airbus, BME-UAV), hiszen az elérhető tömegcsökkenés 10-20%-os is lehet;





3. ábra. Solid Concepts 1911 DMLS az M1911 pisztoly 3D-s nyomtatott lőfegyverváltozata [10]

– olyan, a KGST<sup>8</sup> és a Varsói Szerződés időszakából megmaradt gépek, berendezések pótalkatrész-utánpótlása, ahol már nem gyártanak és nem forgalmaznak pótalkatrészt a típushoz.

A 3D-s nyomtatás NATO kutatás-fejlesztési fókuszterület, [2] és az EDA<sup>9</sup> is kiemelt technológiaként kezeli. A 3D-s nyomtatással a Magyar Honvédségen belül korábban az MH Modernizációs Intézet is foglalkozott, 2022. november 1-től ezt a tevékenységet a Haderőmodernizációs és Transzformációs Parancsnokság vette át.

A 3D-s nyomtatással megvalósítható különféle fémalkatrészek pótalkatrész-előállítás célú gyártása, amely a vonatkozó NATO kutatás-fejlesztési célokkal összhangban jelentős mértékben elősegítheti a missziós területen tevékenykedő katonai szervezetek alkatrészellátását, lényegében utánszállítás nélkül, illetve a kritikus alkatrészhány esetén.

Lőfegyveralkatrészek additív gyártására az utóbbi években több eredményes kísérletet is láthattunk, elsősorban műanyag szálolvasztásos, és szelektív léze-



4. ábra. 3D-s műanyag nyomtatással előállított fegyvermarkolat (Fotó: Dr. Hennel Sándor)

res szinterezős megoldások alkalmazásával. [3] (3. ábra). Az ilyen technológiával nyomtatott lőfegyverek hátránya (egyelőre) a rövid élettartam.

Összességében az innovatív, forradalmi technológiáként számon tartott 3D-s fémnyomtatás a lehetőségek széles skáláját biztosítja, lehetővé téve a hadiipari és haditechnikai alkalmazások széles spektrumát, amelyek alapjaiban változtatják meg korunk hadviselésének haditechnikai-logisztikai támogatását. A katonai alkalmazás területén a 3D-s nyomtatásnak a katonai logisztika lehet a legfőbb alkalmazója, mivel egyes esetekben gyorsabb és olcsóbb lehet egy-egy meghibásodott fegyver- vagy gépjárműalkatrész helyben történő kinyomtatása, mint a hazai tártérből történő (légi) szállítása.

Az Amerikai Egyesült Államok (USA) hadseregének egyik kutatás-fejlesztéssel foglalkozó központja az ARDEC (US Army Armanent Research, Development and Engineering Center) sikeresen tesztelt egy szelektív lézeres szinterezés eljárással készült gránátvetőt, amely arra enged következtetni, hogy az USA komolyan gondolja az additív gyártástechnológiák hadiipari alkalmazását. [4]

Oroszországban lézeres szinterezős technológiával fémorból előállított lőszeret teszteltek, amelyek több szempontból is hasonlóan jó eredményeket értek el, mint a ha-



5. ábra. 3D-s fémnyomtatással előállított gránátvető alkatrészei [4]

gyományos módszerrel készített eszközök. A Távlati Kutatások Orosz Alapítványa (Российским фондом фундаментальных исследований – РФФИ) számolt be a sikeres tesztekéről. [5]

Napjainkban már elterjedt hadiipari gyakorlat a gyakorlófegyverek és lőszer 3D-s nyomtatása műanyagból.

### A KUTATÁS IRÁNYAI A NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM HADTUDOMÁNYI ÉS HONVÉDTISZTKÉPZŐ KAR HADITECHNIKAI TANSZÉKÉN

A 3D-s fémnyomtatás napjainkban találta meg helyét az iparban, a hadiiparban és a katonai logisztika, a haditechnika üzemben tartása területén. A 3D-s nyomtatás technológia alkalmazhatóságának kutatása a polgári és a hadiiparban egyaránt jelentős fajsúllyal bír. Katonai területen igen fontosak az ún. diszruptív technológiák, amelyek alkalmazásától, illetve elterjedésétől a szakértők a hadviselés jelentős változását várják. A NATO Szövetséges Transzformációs Parancsnoksága (Allied Command Transformation – ACT) 2019. évi iránymutatása szerint a NATO-nak a közeljövőben az olyan új, diszruptív technológiai területeken zajló fejlesztésekre kell koncentrálnia, mint a mesterséges intelligencia, a kvantum-számítástechnika, a Big Data vagy a hipersebességű fegyverrendszerek, a fegyverek és a csapatok gyors mozgását elősegítő fejlett logisztikai eljárások, a drónok segítségével történő logisztika és nem utolsósorban a fegyveralkatrészek 3D-s nyomtatása.

Az NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék „3D fémnyomtatás alkalmazása katonai logisztikában és hadiiparban” tárgyú kutatása – mint kiemelt kutatási terület – célja a 3D-s fémnyomtató berendezés alkalmazásának vizsgálata haditechnikai eszközök alkatrészyártás, képzés és K+F+I tevékenység érdekében. További feladat a fémnyomtatás alkalmazásának vizsgálata a katonai logisztikában és a hadiiparban. Kiemelt figyelmet érdemelnek az olyan új additív technológiák, mit például az ADAM- (Atomic Diffusion Additive Manufacturing)

6. ábra. ADAM fémnyomtatási technológiával készült belső rácsos kitöltés [12]



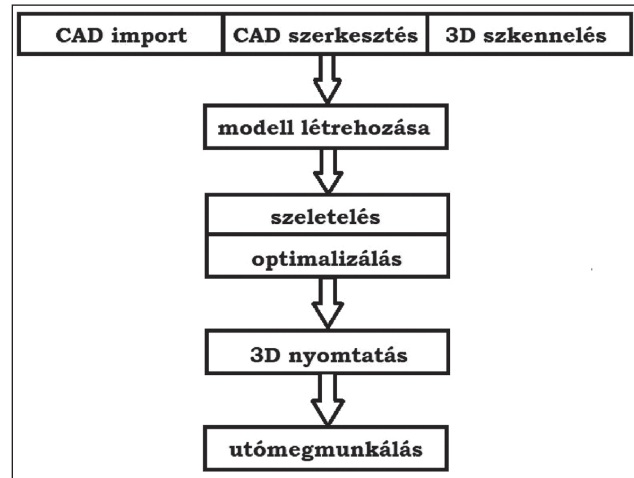
technológia. Az ADAM-technológiájú 3D-s fémnyomatás alkalmazása – a fejlesztők reményei szerint – nagyban csökkenti majd a fémnyomatás költségeit.

Az ADAM-eljárás lényege, hogy a nyomtató a tárgyakat rétegről rétegre, hőre lágyuló polimerrel és viasszal kötött fémporból gyártja le. A kötőanyagot a nyomtatás után eltávolítják, majd az alkatrész szinterezés során éri el az öntvény minőséget. Az így készült alkatrészek alkalmasak további gépi megmunkálásra, felületkezelésre vagy akár hőkezeléssel történő szilárdságnövelésre is. [6] Az ADAM-eljárás gyors, költséghatékony és olyan geometriák, például rácsos belső szerkezet gyártására is képes, amelyre más fémnyomatási technológiák nem, vagy csak nagyon bonyolultan képesek megvalósítani. A technológia alkalmazása során a nyomtatvány az eredeti méretéhez képest mintegy 20%-os zsugorodást szenved el, ez befolyásolja a méretpontosságot (és belső feszültségek keletkezéséhez is vezethet). A kutatás várt eredményei, célkitűzései: gyakorlófegyverekkel és lőszerrel kapcsolatos alkalmazói igények részleges kielégítése, a hadszíntéri logisztika lehetőségeinek bővítése, prototípusgyártás, nem teherviselő fegyveralkatrész nyomtatása, könnyített UAV-alkatrész gyártása.

### A 3D-s NYOMTATÁS GYÁRTÁSFOLYAMATA

A 3D-s modellezés során az additív gyártási eljárást megelőzi egy digitális modell elkészítése, amelyet egy számítógépes modellezőszoftver (CAD) segítségével állítanak elő. A leggyakoribb adatformátum a CAD-szoftver és a 3D-s printer között az STL- (Standard Tessellation Language / StereoLithography) fájl, amely a térbeli test felületét apró közelítő háromszögekre bontja. Kevésbé általános a VRML-formátumú (Virtual Reality Modeling Language - virtuális valóságot modellező nyelv) fájlok használata, mivel a 3D-s nyomtatást támogató szoftverek fejlődésével a VRML-formátum háttérbe szorult. A 3D-s modellek létrehozására leggyakrabban használt szoftverek: PTC Creo, Solid Edge, Autodesk Inventor, CATIA, FreeCAD, OpenSCAD, TinkerCAD, DesignSpark, Fusion 360, SketchUp. Amennyiben nem áll rendelkezésre semmilyen digitális információ, egy-egy térbeli forma digitális megfelelője előállítható egy 3D-s szkennelők segítségével is. Ebben az esetben a tényleges nyomtatás felbontásán kívül a szkennelők felbontása is korlátozza a pontosságot. Arról nem is beszélve, hogy a szkennelők természetesen csak a külső felületet látja, a belső szerkezetet nem, így ha nem elégszünk meg a tömör alkatrészszel, üregeket csak a modell utólagos kézi módosításával lehet előállítani.

**Szeletelő program:** a 3D-s modell előnézeti képéből a szeletelő program állítja elő a tényleges nyomtatási fájlt. A beolvasott 3D-s modellt rétegekre szeleteli, és legenerálja a hozzájuk tartozó szerszámpályát. A kimenete általában a CNC-gépeknél használt G-Code<sup>10</sup>. Néhány nyomtatógyártó saját formátumot használ, ezek egyedi szeletelő programot mellékelnek a nyomtató mellé. A szabad szoftver- és hardveralapú nyomtatók kompatibilisek a legtöbb szeletelő programmal, mint például a Slic3r és a Repetier. A szeletelő programban történnek a technológiai és nyomtatási beállítások. Itt lehet kiválasztani, hogy milyen technológiát alkalmazva kívánjuk kinyomtatni a modellt. Akarunk-e alapot, illetve alátámasztásokat adni a modellhez. Kívánjuk-e menet közben tisztítani a nyomtatófejet. Sok esetben változtatható a nyomtatási alap hőmérséklete, a nyomtatás hőmérséklete, és sebessége is. A modell hűtése, a várakozási idő két réteg nyomtatása között, és egyéb paraméterek is beállíthatók. A fémnyomatók a különféle



7. ábra. A 3D-s nyomtatás technológiai folyamata (A szerzők szerkesztése)

fémporok megmunkálásához további különféle paramétert állítanak (a munkalap hőmérséklete, lézerteljesítmény, expozíciós idő). A korai fémnyomatók esetében ezeket sokszor szabadon lehetett módosítani, de napjainkban a legtöbb esetben komplex szupport stratégiákat alkalmaznak és mentenek el, vagyis a gyártó által az adott alapanyaghoz tartozó beállításokat nem lehet módosítani, ez az opció többnyire csak a kutatók számára érhető el, jelentős licencdíj ellenében.

A 3D-s fémnyomatásnál alkalmazott gyártási tesztelőszoftverek: a 3D-s gyártásfolyamat egyik fő kockázati tényezője, hogy a gyártás során a gyártmány a konstrukcióból adódó hőgyűjtő helyek létrejötte, illetve – hőelvezető szupportok alkalmazásának hiánya – miatt egy adott helyen túlmelegszik, a szerkezetében torzulások jönnek létre, az ötvöző kiég vagy az anyag túlzottan beedződik, reped stb. E gyártási hibák kiküszöbölése érdekében a megtervezett terméket a nyomtatást megelőzően egy tesztelőszoftveren ellenőrzik, elsősorban helyi túlmelegedéseket keresve a gyártás virtuális modellezése során. Ha ilyen túlmelegedési helyekre bukkannak, még mindig beépíthető nagyobb számú hőelvezető szupport, vagy növelhető a termék anyagvastagsága a kritikus helyen. Egy példa a tesztelőszoftverre: Materialise Magic amely a 3D-s modell elkészítésén túl, egyben a hőterhelés modellezésre is alkalmas.

A generatív tervezés jellemzően CAD-végelem alapon realizálódik. A CAD-tervezés fejlődésével – a várakozások szerint – a közeljövőben széles körben teret nyer a generatív tervezés, részben a mesterséges intelligenciában rejlő lehetőségeket kihasználva. A generatív tervezés során az általunk megadott paraméterek és peremfeltételek alapján a szoftver több lehetséges megoldást hoz létre egy termékre vonatkozóan. Alkalmazásával lehetővé válik:

- egyes alkatrészek fajlagos tömegének csökkentése,
- a gyártási költség leszorítása.

A topológiai optimalizáció<sup>11</sup> során első lépésben a mérnök megtervezi az alkatrészt, megadott terhelésekkel, kényszerekkel. A szoftver ezután topológiailag optimalizált hálómódellet készít. A topológiai optimalizálás képességével egyes CAD-szoftverek már rendelkeznek.

A generatív tervezés és a topológiai optimalizáció kapcsolatban áll a 3D-s nyomtatással. A generatív tervezés egyes geometriáknál lényegében igényli is a 3D-s nyomtatás alkalmazását. Ugyanis a generatív tervezés eredménye gyakran rendkívül nagy hatékonyságú, de igen komplex forma (pl.: rácsszerkezet). Az ilyen összetett geometriák





8. ábra. Egy alkatrész generatív változatai, ahol az első változat hagyományos gyártástechnológiai módszerekkel, a további változatok additív gyártástechnológiával készíthetők el [13]

legyártása hagyományos módszerekkel bonyolult, lassú, rendkívül költséges, illetve adott esetben véges számú darabból összeillesztve is lehetetlen. Akár fröccsöntéssel, akár forgácsolással generatív tervezés során létrehozott topológiailag optimalizált, nagy komplexitású geometriával rendelkező szerkezeteket, alkatrészeket létrehozni egyszerűen nem kifizetődő. Az olyan additív gyártási eljárás, mint a 3D-s nyomtatás jelenti a megoldást az ilyen komplex geometriák gyártásához. [7]

(Folytatjuk)

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] Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiája (2021). 1393/2021. (VI. 24.) Kormány határozat Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiájáról. Magyar Közlöny 2021. évi 119. szám. pp. 5075–5077.;
- [2] Korom Ferenc. „Feladataink egy új, hatékony, modern haderő létrehozása érdekében” *Honvédségi Szemle*, 2020/1. 3–4. <https://kiadvany.magyarhonvedseg.hu/index.php/honvszemle/article/view/9/7> (Letöltve: 2020.3.23.);
- [3] Gál Bence; Németh András. „Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére”. *Hadmérnök*, 2019. XIV. évfolyam 1. szám;
- [4] Saunders, S.: US Army Successfully Tests 3D Printed Grenade Launcher with 3D Printed Grenades; <https://3dprint.com/167567/3d-printed-grenade-launcher/> (Letöltve: 2018.6.8.);
- [5] FRE3DEEblog. [http://freedee.blog.hu/2016/11/15/nyomtatott\\_lovedek#more11959853](http://freedee.blog.hu/2016/11/15/nyomtatott_lovedek#more11959853) (Letöltve: 2018.6.7.);
- [6] „Fémnyomtatás elérhetőbb áron”, *GyártásTrend Technológiai Magazin* május 02. (2019) <https://gyartastrend.hu/cikk/femnyomtatasi-elertobbi-aron>;

- [7] Tóth, B.; Andó, M. (2020). Generatív tervezés kombinálása 3D nyomtatással. *Mérnöki és Informatikai Megoldások*, 1(1.), pp. 61–68. <https://doi.org/10.37775/EIS.2020.1.9>;
- [8] Industry 4.0 Policy Department Economic and Scientific Policy, 2016, pp. 22–23. <https://www.ipar4.hu/page/ipari-forradalmak-ipar-4-0> (Letöltve: 2022.9.9.);
- [9] Forrás: Application Spotlight: 3D Printing for Heat Exchangers. <https://amfg.ai/2019/07/17/3d-printing-for-heat-exchangers-application-spotlight/> (Letöltve: 2021.11.30.);
- [10] Forrás: Tomas Kellner: 3D-Printed ‘Bionic’ Parts Could Revolutionize Aerospace Design <https://www.ge.com/news/reports/3d-printed-bionic-parts-revolutionize-aerospace-design> (Letöltve: 2021.11.30.);
- [11] Forrás: HEXUS. <https://hexus.net/tech/news/peripherals/62261-direct-metal-laser-sintering-used-3d-print-working-metal-pistol/> (Letöltve: 2022.8.29.);
- [12] Forrás: [https://www.muszaki-magazin.hu/media/2019/05/ADAM-femnyomtatasi-keszult-belső-racsos-kitoltes\\_2-768x319.jpg](https://www.muszaki-magazin.hu/media/2019/05/ADAM-femnyomtatasi-keszult-belső-racsos-kitoltes_2-768x319.jpg) (Letöltve: 2022.8.29.);
- [13] Forrás: <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/topology-optimization/> (Letöltve: 2022.8.29.).

## JEGYZETEK

- 1 Az ipar 4.0 a termelési folyamatok olyan szervezését írja le, amelynek keretében az eszközök önállóan kommunikálnak egymással az értéklánc mentén: a jövő egy olyan „okos” gyárát hozva létre ezzel, amelyben a számítógép-vezérelt rendszerek nyomon követik a fizikai folyamatokat, létrehozzák a fizikai valóság virtuális mását, és decentralizált döntéseket hoznak önszervező mechanizmusok alapján. [1]
- 2 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. (A szerk.)
- 3 Anyagelvételes eljárások, pl. forgácsolás, esztergálás, marás.
- 4 Anyag hozzáadásán alapuló eljárás. A 3D-s nyomtatásként is ismert additív gyártás során a legkülönbözőbb méretű, formájú és struktúrájú alkatrészeket állítanak elő úgy, hogy rétegenként olvasható anyag kerül felhordásra, a megadott digitális konstrukciós adatok alapján. 3D-s nyomtatási eljárással – például a szelektív lézeres olvasztás (SLM), a Fused Deposition Modeling (FDM) vagy a Binder Jetting – munkadarabok prototípusai, vagy kis darabszámú sorozatok készíthetők el gyorsan és kedvező áron. (A szerk.)
- 5 (CAD) Computer-Aided Design jelentése: számítógéppel segített tervezés.
- 6 Kivitelező: Varinex Zrt., együttműködő: GE Aviation.
- 7 A DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency – Fejlett Védelmi Kutatási Projektek Ügynöksége) az Egyesült Államok Védelmi Minisztériumának kutatásokért felelős részlege. (A szerk.)
- 8 A Kölcsönös Gazdasági Segítség Tanácsa a közép- és kelet-európai szocialista országok gazdasági együttműködési szervezete volt a hidegháború (1949–1991) alatt. (A szerk.)
- 9 European Defence Agency (EDA) „Additive Manufacturing – A Capability Enabler for Logistic Support”. October 8. 2021. Hazánk is képviselteti magát az EDA említett munkacsoportjában.
- 10 A G-kód (RS–274) a legszélesebb körben használt számítógépes numerikus vezérlésű (computer numerical control – CNC) programozási nyelv. Főleg a számítógéppel segített gyártásban használják automatizált szerszámgépek vezérlésére. (A szerk.)
- 11 Topológia optimalizálás egy matematikai módszer, amely optimalizálja az anyag elrendezését egy adott tervezési térben, egy adott terhelési halmazhoz, peremfeltételek és korlátok a rendszer teljesítményének maximalizálása céljából.