REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK
32. évfolyam (2020) 1. szám 101–110. • DOI: 10.32560/rk.2020.1.7

Gajdács László,[1] Szűcs Viktor[2]

A 3D-nyomtatás gyártástechnológiái, felhasználási területei, illetve az ebben rejlő potenciál

A 3D-nyomtatás korunk egyik legforradalmibb technológiájának bizonyul. Alkalmazásának és elterjedésének ékes bizonyítéka, hogy szinte minden iparágban megtalálható, legyen szó autó- vagy repülőgépalkatrész-gyártásról egyaránt. Felhasználásuk a pilóta nélküli repülőgépek gyártása, illetve kiegészítése terén is jelentősen megmutatkozik. A technológia gyors elterjedésének oka az alacsonyabb előállítási költség, a gyorsabb végrehajtás és a precízebb munkavégzés. A cikkben bemutatjuk a nyomtató által használt anyagok típusait, különféle gyártástechnológiákat, illetve ezeknek a folyamatoknak a felhasználási területeit, valamint lehetőségeit a jövőre nézve.

Kulcsszavak: *UAV, 3D-nyomtatás, gyártástechnológia*

3D Printing Production Technologies, its Areas of Application and its Potential

3D printing is one of the most revolutionary technologies of our time. The proof of its application and spread is that it can be found in almost every industry from car production through production of aircraft parts. Their use is also significant in the production of unmanned aerial vehicles. The reason for the rapid spread of the technology is lower production costs, faster execution and more precise work. The article describes the types of materials used by the printer, the different manufacturing technologies, the areas of use of these processes and the possibilities for the future.

Keywords: *UAV, 3D printing, production, technology*

[1] Gyakorlati oktató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék; e-mail: gajdacs.laszlo@uni-nke.hu, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2334-6859
[2] BSc egyetemi hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék; e-mail: szucsviktor69@gmail.com, ORCID: https://orcid. org/0000-0001-9408-0360

1. Bevezetés

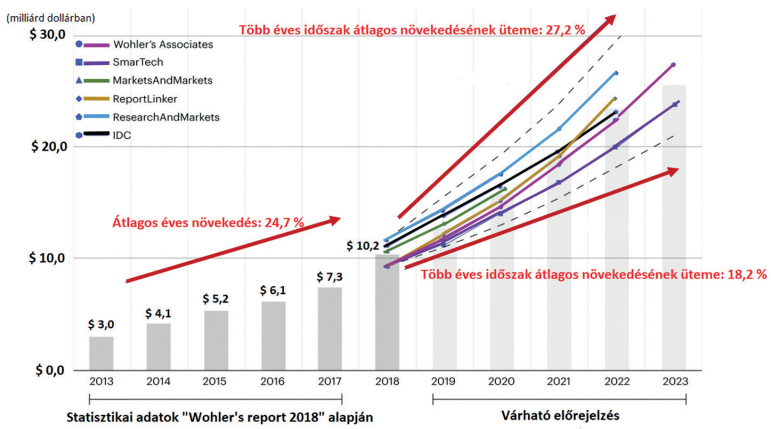
A három dimenzióban való nyomtatás egyre szélesebb területeken érezteti hatását. Napjainkban ez a viszonylag új gyártástechnológia számos iparágban jelenik meg egyre intenzívebben.[3]

A 2018-ban publikált Wohler-jelentés szerint, ez a 3D-nyomtatási iparág globális szinten meghaladja a 20 milliárd dollár bevételt 2021-re.[3] Ennek a robbanásszerű növekedésnek többek között az egyik oka az, hogy sikerült olyan mintadarabokat létrehozni ezzel a technológiával – anyagát és összetételét illetően –, amelyet korábban elképzelni sem tudtunk.[3]

Az adalékanyagokkal való gyártástechnológia egy olyan technológiai folyamat, amely során egy tervezőprogrammal elkészített tárgyat közvetlenül nyomtatnak ki 3D-nyomtatón keresztül. A tervezőprogram megalkotja a nyomtató által értelmezhető kódnyelvet, amelyet az felhasznál, így különféle eljárásokkal elkészíthető a számítógépen létrehozott modell. Például megalkotunk egy adott szoftverrel egy kockát, amit ki szeretnénk nyomtatni. A program a kockát „lefordítja" arra a nyelvre, amit a nyomtató is megért, így ezt felhasználva készíti el a testet.

2. A 3D-nyomtatás piaci mérete és várható előrejelzése

Az eddigi statisztikai adatok és várható adatok előrejelzése szerint a jövőben növekvő tendencia prognosztizálható e technológiák felhasználását illetően. Az alábbi diagramon (1. ábra) több neves piaci elemző jelentéseinek az összesítése látható, és egyben megfigyelhető, hogy a viszonylag monoton fejlődést 2017-ig egy ugrásszerű növekedés követte. Ennek következtében 2018-ban a 3D-technológiát alkalmazó cégek rendelésszáma megugrott, ami miatt jelentős profittöbbletet könyvelhettek el. Az 1. ábrán feltüntetett adatok tartalmazzák a gyártáshoz szükséges anyagokat, technológiákat, szoftvereket és a különböző szolgáltatások értékesítését egyaránt.



1. ábra

3D-nyomtatás piaci elemzése és előrejelzése. Forrás: Gajdács László szerkesztése 3D Printing Trends Q1 2019. 3D HUBS. Elérhető: https://downloads.3dhubs.com/3D_Printing_Trends_Q1_2019.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 05. 08.) alapján

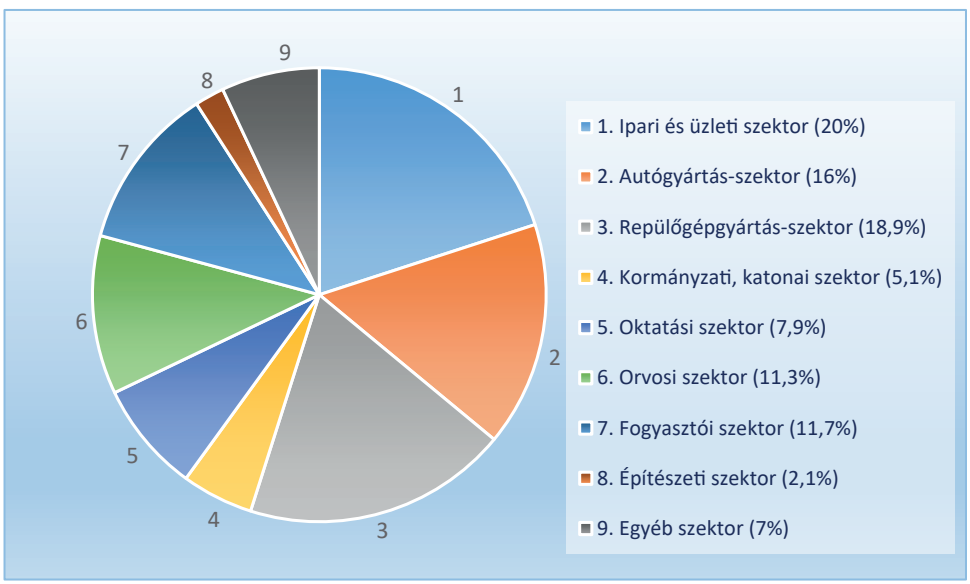
[3] Daniel Leong: *Introduction to 3D Printing.* Elérhető: https://markforged.com/learn/3d-printing-introduction/ (A letöltés dátuma: 2020. 05. 03.)

Milyen megállapítások vonhatók le a fenti adatok alapján, illetve milyen irányban várható az említett technológia felhasználása? Ahogy korábban már említettük, a 2018-as évben egy nagy ugrás volt észlelhető a felhasználásukat illetően. Jelentős különbség a korábbi évek felhasználásával kapcsolatban, hogy már nemcsak prototípusdarabok gyártása a fő cél, hanem egyre inkább a sorozatgyártás felé tendálnak az iparágak. Felhasználásukat illetően elsősorban az autóipar és a repülőgépipar a legfőbb szegmensek.

Legnagyobb megrendelői ezen iparágnak jelenleg az amerikaiak, angolok, németek és a hollandok. Az elkövetkezendő ötéves ciklusban ezen üzleti ágon mintegy 24%-os piaci növekedés várható.

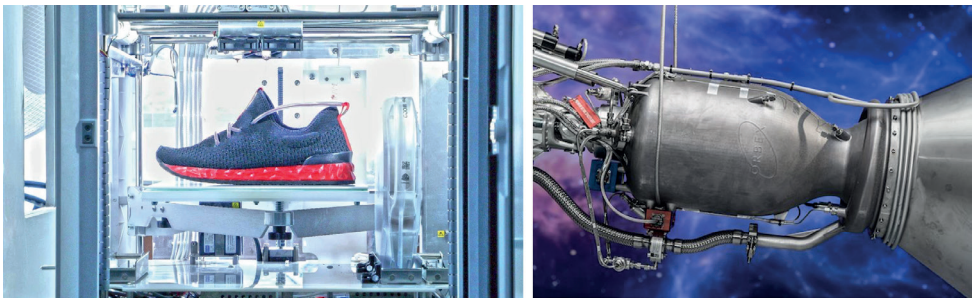
3. A 3D-nyomtatás alkalmazásának fontosabb területei

Adalékanyagokkal készült gyártástechnológiák felhasználásának főbb területei a 2. ábrán láthatók. Az ipar és az élet számos területén is jelen van ez a dinamikusan növekvő technológia.



2. ábra
Az adalékanyagokkal való gyártástechnológia alkalmazása. Forrás: Gajdács László szerkesztése Investors meet additive manufacturing. 2019. Elérhető: www.market-steel.com/assets/images/8/Wohlerst-6f4c35d5.jpg (A letöltés dátuma: 2020. 05. 20.) alapján

A 2. ábrán megfigyelhetjük a 3D-nyomtatás szerteágazó alkalmazási területeit. A kördiagramon jól látható az a három fő felhasználási terület, ahol a legjelentősebb a 3D-technológia megjelenése és felhasználása, úgymint az autó-, repülőgép- és egyéb ipari, továbbá üzleti szegmens. A következőkben (3. ábra) szemléltetünk egy párat 3D-nyomtatóval kinyomtatott mintadarabok közül.



3. ábra
3D-nyomtatástechnológiákkal készült termékek. Forrás: Carolo, Lucas: 3D Printed Shoes in 2020: Big Brands Are on Board. Elérhető: https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1284,h=722,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2020/02/14145234/3D_Printed_Shoes1.jpg; www.3dnatives.com/en/wp-content/uploads/sites/2/Orbex_cover.jpg (A letöltés dátuma: 2020. 05. 25.)

A bal oldali képen innovatív megoldásként vezette be az Adidas a 3D-nyomtatással készült sportcipőket. A jobb oldali képen pedig szintén egy 3D-technológiával készített termék látható a brit Orbex repülőgépgyártó cégtől, amely a világ legnagyobb 3D-nyomtatással készített rakétahajtóműve. Maga a hajtómű egy német cég – az SLM Solutions – által gyártott fém alapanyagot felhasználó SLM800 3D-nyomtatóval készült. Az Orbex különböző kis méretű műholdakat indít Föld körüli pályára rendszeresen. Az így előállított hajtómű mintegy 50%-os költségmegtakarítást eredményezett a cégnek, a hagyományos CNC-megmunkálásokhoz képest.[4]

4. A 3D-nyomtatásban leggyakrabban használt gyártástechnológiák bemutatása

Az adalékanyagokkal történő gyártástechnológia vagy más néven 3D-nyomtatás egy olyan folyamat, amelyben egy számítógépes tervezői programmal létrehozott mintadarabból, egy 3D-s modellt alkotunk egymásra épülő rétegrendekkel. Ennek kivitelezése különböző technológiák megválasztásával és alkalmazásával valósulhat meg. A 3D-nyomatók egyik legfontosabb jellemzője, hogy nyomtatótípustól és gyártástechnológiától függetlenül készül el egy tárgy három dimenzióban. Így kijelenthető, hogy egy termék gyártásánál alapvetően csak a gyártástechnológiák és az alapanyagok között van különbség. A „végtermék" minden esetben egy látható, élekkel körülhatárolt, beazonosítható nyomtatott termék.[5]

A gyártástechnológiai folyamatok közös jellemzői: a) A nyomtatandó tárgy 3D-s modellből készül, amit tervezőprogramban való szerkesztés előz meg. b) A gyártás folyamán a megolvasztott adalékanyag kerül hozzáadásra a már kinyomtatott rész elemekhez. c) A nyomtatás folyamán a tárgy egymásra épülő rétegekből készül.

4 *Orbex unveiled largest 3D printed rocket engine in the world.* 2019. Elérhető: www.3dnatives.com/en/orbex-3d-printed-engine-130220195/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 02.)

5 *3D printing.* Wikipedia the Free Encylclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing (A letöltés dátuma: 2020. 06. 05.)

5. 3D-nyomtatás gyártástechnológiák csoportosítása

Munkánkban alapvetően három gyártástechnológiai módszert szeretnénk részletesebben bemutatni, amelyek a leginkább használatosak ezen a területen. A 4. ábrán szemléltettük egy kinyomtatott termék különböző gyártástechnológiával készült változatait, amelyekről első ránézésre nem állapítható meg egyértelműen, hogy melyik milyen technológiával készült.

4. ábra
Síszemüvegkeret nyomtatva FDM-, SLA-, SLS-technológiával (balról, jobbra). Forrás: 3D Printing Technical Guide O1A1. (2017) i. m. (6. lj.)

5.1. FDM- (Fused Deposition Modelling) gyártástechnológia

Az egyik leggyakrabban és széles körben használt gyártástechnológia az olvasztott lerakódás modellezése vagy FDM (*Fused Deposition Modelling*). Ezt a módszert a későbbiekben részletesen ismertetjük.

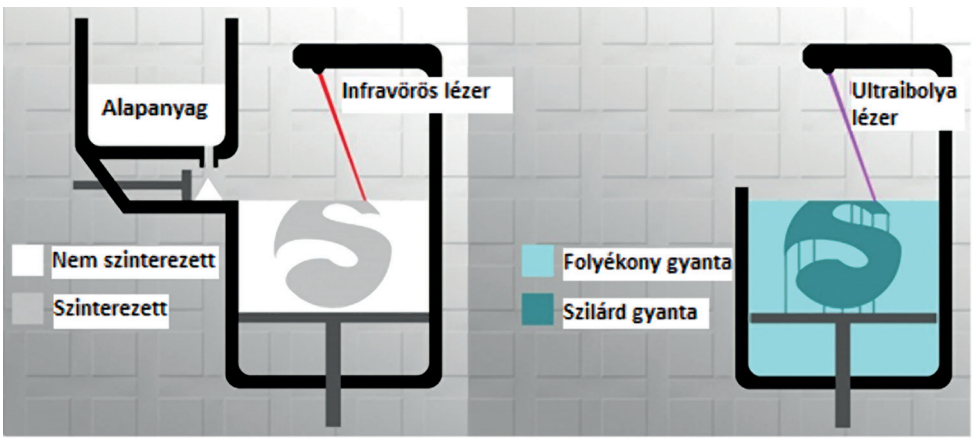
5.2. SLS- (Selective Laser Sintering) gyártástechnológia

A szelektív lézeres megolvasztás technológia kidolgozása az 1980-as évekhez köthető. Ennél a technológiánál a szinterezés a kulcs, ami lényegében az anyag szilárd tömegének tömörítését jelenti, amit úgy érnek el, hogy az anyagot adott nyomáson és hőmérsékleten tartják. Majd irányított lézernyaláb segítségével egy 2D-s metszetet alakítanak ki egy rétegben (síkban), ezt követően minden egymást követő réteggel ez történik, amelyek egymásra épülnek, végül elkészül a nyomtatott termék. Ehhez az adalékanyag nem merev formájú, mint a PLA (PLA, vagy más néven *polylactic acid,* egy olyan műanyagfajta, amelyet kukoricakeményítőből és cukornádból készítenek) vagy az ABS (ABS, vagy *acrylonitrile buta dienestyrene*, tulajdonképpen ugyanaz az anyag, amelyből a LEGO-építőkockák is készülnek) az előzőekben, hanem egyfajta granulátum. Ezt a granulátumréteget megolvasztva szintenként alakul ki

végeredményképpen egy 3D-s szilárd forma. A folyamat végén a nyomtatott darab felhevül, amire fokozottan figyelni kell.

Az SLS-gyártástechnológiának előnyei a következők: a) nyomtatás folyamán nem igényel a nyomtatandó darab segédstruktúrákat (ideiglenes megtámasztásokat – *support materials*), mivel teljesen önhordó; b) anyagfelhasználást tekintve gazdaságosabb eljárás; c) alkalmas több alkatrész összekapcsolására; d) komplex, bonyolult darabok is készíthetők.

Az 5. ábrán az SLS és SLA nyomtatási technológiák működéséhez szükséges alapösszetevők láthatók.



5. ábra
SLS- és SLA-technológiák nyomtatásának folyamata. Forrás: Gajdács László szerkesztése 3D printing technology: SLA vs SLS. Elérhető: www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/3d-printing-technologies/sla-vs-sls/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 17.)

5.3. SLA – sztereolitográfiás gyártástechnológia

Ez a technológia is az 1980-as évekhez vezethető vissza. Lényege abban rejlik, hogy a nyomtatni kívánt modelleket fényre keményedő műgyanta-alapanyagból állítják elő rétegről rétegre. A technológiához folyékony fotópolimer-gyantát használnak fel, amely érintkezve az ultraibolya lézersugárral, megszilárdul. Hasonlóan, mint a többi technológiánál itt is rétegenként történik a 2D-metszet leképezése. Megismételve a folyamatot – amelynek folyamán egymásra helyeződnek a gyantarétegek – alakul ki a végleges 3D-s forma. Ezt követően már csak a tisztázása marad a kinyomtatott testnek, amikor is folyékony gyantába mártják a formát, aminek következtében eltávolíthatóvá válnak a felesleges anyagok, élek.

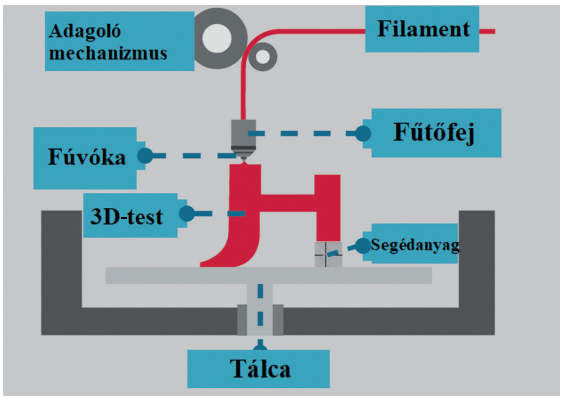
Az 1. táblázatban összefoglaljuk az SLS- és az SLA-technológiákra jellemző tulajdonságokat.

1. táblázat
SLS- és SLA- gyártástechnológiák jellemzői. Forrás: Gajdács László szerkesztése 3D printing technology: SLA vs SLS. Elérhető: www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/3d-printing-technologies/sla-vs-sls/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 17.)

	SLA	SLS
Alapanyag	Fényérzékeny gyanták	Ált. poliamid (nejlon)
Végtermék minősége	Kiváló	Magas
3D-forma felszíne	Sima	Kissé durva
Támaszték	Szükséges	Nem szükséges
Kopásállóság	Változó	Kiváló
Gazdaságosság	Nyomtató • olcsóbb Alapanyag • drágább	Nyomtató • drágább Alapanyag • olcsóbb

6. A Fused Deposition Modeling (FDM-) technológia

Az otthoni 3D-nyomtatók döntő többsége műanyag filamentet használ. Ezt a nyomtatási módszert FDM- (*Fused Deposition Modeling*) technológiának nevezzük. FDM-módszerrel készült az általunk létrehozott UAV-be integrálható szenzorcsatorna is, amelyet a következő fejezetben mutatunk be. Ez az eljárás azt jelenti, hogy a nyomtató hőre lágyuló (200-215°C) polimer anyagot extrudál egy fűtött fúvókán keresztül, amely ezt követően lerakódik a nyomtató tálcájára. Az FDM-technológia 3D-modell (elsősorban STL – *stereolitography file*) fájlokból készít valós objektumokat úgy, hogy az olvasztott műanyagot rétegről rétegre lehelyezi a tálcára. A lehelyezés előtt a nyomtató egy parancssort azonosít, amelyet GCODE-nak nevezünk. Ez a kódsorozat határozza meg a nyomtató számára, hogy mikor, milyen sebességgel, mekkora rétegvastagsággal, kitöltéssel végezze el az adott nyomtatást. A GCODE generálásához szükség van egy szoftverre, amely matematikailag feldarabolja a 3D-modellt és megtervezi a nyomtatási folyamatot. Időnként, ha szükség van rá, a szoftver képes támogató struktúrákat létrehozni abban az esetben, ha a 3D-modell azt megkívánja. Legtöbbször tehát a nyomtatási eljárás során nemcsak a kívánt modell igényel filamentet, hanem a szükséges segédstruktúrák megalkotása is. Ezért úgy kell a CAD-szoftveren beállítani a 3D-modell állásszögét, hogy az a nyomtatás során a lehető legkevesebb segédanyagot vegye igénybe.
Maga az eljárás egy műanyag szál megvezetésével indul, amelyet két fogaskerék továbbít a fűtött fúvókához, ahol az anyag cseppfolyósodik, és ezzel az olvasztott anyaggal „rajzol" a nyomtató. Amint az olvasztott anyag hozzáér a szintén felfűtött tálcához, megkeményedik, miközben fokozatosan rakódnak rá az újabb és újabb rétegek. Az eljárás során a fúvóka mellett üzemel három ventilátor is, amelyből a középső a fúvóka túlmelegedését gátolja, a két szélső pedig az olvasztott műanyag megkeményedését segíti elő. Amint a nyomtató végez egy réteggel, a tálca egy szintet leereszkedik, hogy teret adjon az újabb réteg kialakítására. A folyamat a 6. ábrán látható.



6. ábra
Az FDM-technológia. Forrás: Szűcs Viktor szerkesztése 3D Printing Technical Guide O1A1. (2017) i. m. (6. lj.) alapján

Az FDM-eljáráshoz számos különböző anyag használható. A felhasználás célja szempontjából megkülönböztethetünk otthoni és ipari felhasználású anyagokat. A leggyakrabban használt anyagok között szerepel az ABS, a PLA (poliaktinsav), illetve a nejlon, de más egzotikusabb anyagokat is lehet 3D-nyomtatásra használni, mint például a fát, a műanyag és fa keverékét vagy a szenet.[6]

Az alábbiakban egy táblázatban összefoglalva láthatók a PLA- és ABS-anyagfajtákra jellemző technikai adatok.

2. táblázat
PLA- és ABS-anyagok összehasonlítása. Forrás: Gajdács László szerkesztése 3D Printing Technical Guide O1A1. i. m. (6. lj.) alapján

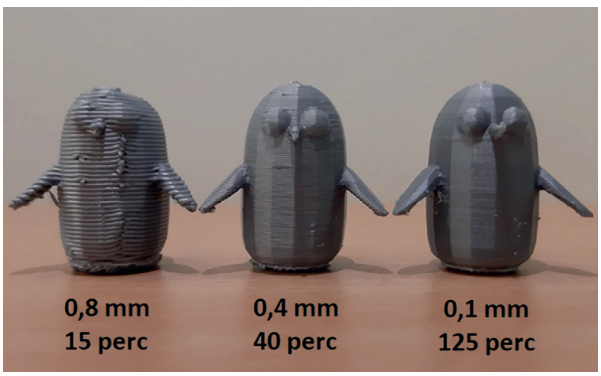
PLA		ABS	
Nyomtatási hőmérséklet:	190–220°C	**Nyomtatási hőmérséklet:**	230–250°C
Asztal hőfok:	0–70°C	**Asztal hőfok:**	70–100°C
Keménység:	magas	**Keménység:**	közepes
Rugalmasság:	alacsony	**Rugalmasság:**	alacsony
Nyomtathatóság:	kitűnő	**Nyomtathatóság:**	közepes

Az FDM-technológia egyik legnagyobb előnye, hogy kiválóan alkalmazható nem funkcionális, illetve funkcionális modellek, prototípusok, gyártási szerszámok megalkotásához. Ez az eljárás alkalmas szélturbinák elkészítésére, valamint az orvosi szektorban használatos anatómiai modellek létrehozására is. Valószínűnek tűnik, hogy a jövőben sebészeti célokra is felhasználják a 3D-nyomtatást olyan eszközök készítésére, amelyeket a kórházakban napi szinten használhatnak.

Ahhoz, hogy a technológia eljusson erre a szintre, megfelelő precizitás szükséges. A 3D-nyomtatás egyik legfontosabb paramétere a rétegvastagság. Ez határozza meg a nyomtatás idejét, valamint a nyomtatott test minőségét. A rétegvastagság figyelembevételekor

[6] *3D Printing Technical Guide O1A1.* 2017. Elérhető: www.e3dplusvet.eu/wp-content/docs/O1A1-EN.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 06. 12.)

a nyomtató fúvókarészét is szükséges cserélni. Sajnálatos tény azonban, hogy a felhasználók csupán 22%-a tartja fontosnak a fúvóka cseréjét.[7] Gondoljunk csak bele: van egy fényképezőgépünk, amelyen sohasem cseréljük ki az optikát. A gép tökéletesen működik, azonban korlátok közé szorulunk. Ugyanez a helyzet a 3D-nyomtatóval is. A megfelelő fúvóka kiválasztása nagyban javíthat az eredményen. A 7. ábra szemlélteti a rétegvastagságok közötti különbségeket.



7. ábra
A rétegvastagság közti különbségek szemléltetése. Forrás: Szűcs Viktor szerkesztése

A kiválasztott testnek az Adventure Time (Kalandra fel!) című rajzfilmsorozat Gunter nevű szereplőjét választottuk. A 3 objektum jól szemlélteti a rétegek vastagsága és a nyomtatás időtartama közti fordított arányosságot. A nagyobb precizitás hatványozottan több időt vehet igénybe, mint a gyengébb minőségű testek elkészítése.

A 3D-nyomtatás témáját azonban szükséges pénzügyi oldalról is megközelíteni. Általánosságban elmondhatjuk, hogy az anyagok hosszú távú használata magas költségekkel járhat, éppen emiatt kerülnek előnyös helyzetbe azok, akik elköteleződnek az FDM-technológia mellett, mivel ma már az FDM-nyomtatók a legolcsóbb 3D-nyomdagéptípusok a piacon. Tökéletes különösen azok számára, akik otthoni környezetben szeretnék alkalmazni. Napjainkban már több neves cég is árusít FDM-nyomtatókat a lehető legkedvezőbb áron. A MakerBot, valamint az Ultimaker a két legnépszerűbb cég az asztali 3D-nyomtatók terén.

Pozitívum, hogy összetett geometriákat és üregeket is képes előállítani, ami más (3D-nyomtatáson kívüli) gyártástechnológiával igen bonyolult folyamat lenne. Ami a pontosságot illeti, az FDM nem éri el azt a pontosság–minőség-szintet, mint a korábban említett SLA-metódus, ennek ellenére az eredmény, függetlenül attól, hogy milyen ágazatban alkalmazzák, így is figyelemreméltó.

7. Összegzés

A 3D-nyomtatás különböző gyártástechnológiai módszerei évről évre nagyobb teret hódítanak a különböző szektorokban. Mind a három metódus, az FDM-, SLS-, SLA-technológiák

[7] *Everything about NOZZLES with a different diameter.* Elérhető: www.youtube.com/watch?v=XvSNQ7rVDio (A letöltés dátuma: 2020. 06. 25.)

a jövőben a gyártási folyamatok leggyakrabban használt eljárásaivá válhatnak. Cikkünkben azt szerettük volna igazolni, hogy a 3D-nyomtatás nemcsak saját célra felhasználható figurák, tárgyak készítésére alkalmas, hanem hasznos, az iparágakat fellendíteni képes eszközök gyártására is képes. Amikor a laikus olvasó először hall a 3D-nyomtatásról, könnyen lehet, hogy a „haszontalan játékok" gyártása jut először eszébe. Célunk, hogy cikkünk elolvasása után a 3D-gyártástechnológia mint kifejezés a hasznos, a közösség érdekeit nagymértékben szolgáló eszközök előállítását jelentse.

Felhasznált irodalom

3D Printing Technical Guide O1A1. 2017. Elérhető: www.e3dplusvet.eu/wp-content/docs/O1A1-EN.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 06. 12.)

3D printing technology: SLA vs SLS. Elérhető: www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/3d-printing-technologies/sla-vs-sls/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 17.)

3D Printing Trends Q1 2019. 3D Hubs. Elérhető: https://downloads.3dhubs.com/3D_Printing_Trends_Q1_2019.pdf (A letöltés dátuma: 2020. 05. 08.)

3D printing. Wikipedia the Free Encylclopedia. Elérhető: https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing (A letöltés dátuma: 2020. 06. 05.)

Carolo, Lucas: *3D Printed Shoes in 2020: Big Brands Are on Board.* Elérhető: https://all3dp.com/2/3d-printed-shoes/ (A letöltés dátuma: 2020. 05. 25.)

Everything about NOZZLES with a different diameter. Elérhető: www.youtube.com/watch?v=X-vSNQ7rVDio (A letöltés dátuma: 2020. 06. 25.)

Investors meet additive manufacturing. 2019. Elérhető: www.market-steel.com/news-details/investors-meet-additive-manufacturing.html (A letöltés dátuma: 2020. 05. 20.)

Leong, Daniel: *Introduction to 3D Printing.* Elérhető: https://markforged.com/learn/3d-printing-introduction/ (A letöltés dátuma: 2020. 05. 03.)

Orbex unveiled largest 3D printed rocket engine in the world. 2019. Elérhető: www.3dnatives.com/en/orbex-3d-printed-engine-130220195/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 02.)

A GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légiközlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen – VOLARE" című projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A kutatás a fenti projekt „UAS_ENVIRON" nevű kiemelt kutatási területén valósult meg.