

Szűcs Viktor,¹ Gajdács László²

A 3D nyomtatás lehetőségei a repülőgépiparban

A technológiai fejlődés területén az innováció egy új arculata mutatta meg magát. A 3D nyomtatás korunk egyik legforradalmibb gyártástechnológiai közé sorolható, mindazonáltal története már az 1980-as évekre is visszavezethető. Olyan események eredményezték a fellendülést, mint a 3D nyomtatáshoz kapcsolódó szabadalmak lejáratása, illetve az Ipar 4.0-nak nevezett ipari forradalom jelensége. A technika által kínált lehetőségeket nemzetközi szinten több különböző repülőgépipari vállalat is kihasználta. Elterjedését követően olyan cégek és vállalatok kezdték el nagymértékben alkalmazni a 3D nyomtatást, mint az Airbus vagy a Boeing. Cikkünkben a technológia nemzetközi felhasználásán túl, az általunk készített pilóta nélküli légi járműbe integrált szenzorcsatorna elkészítését szeretnénk bemutatni, amely egy igazán érdekes példája a 3D nyomtatási technológia hazai szintű felhasználásának.

Kulcsszavak: 3D nyomtatás, repülőgépipar, UAV, szenzorcsatorna

Possibilities of 3D Printing in the Aircraft Industry

In the field of technological development, a new image of innovation has emerged. 3D printing is one of the most revolutionary manufacturing technologies of our time, yet its history can be traced back to the 1980s. Events such as the expiration of patents related to 3D printing and the phenomenon of an industrial revolution called Industry 4.0 led to a boom. The opportunities offered by the technology have been exploited internationally by several different repertoire companies. Following its spread, companies such as Airbus or Boeing began to make extensive use of 3D printing. In our article we would like to present, in addition to the international use of the technology, the construction of a sensor channel integrated in our unmanned aerial vehicle, which is a really interesting example of the use of 3D printing technology at the domestic level.

Keywords: 3D printing, aircraft industry, UAV, sensor channel

¹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék, BSc egyetemi hallgató, e-mail: szucsviktor69@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9408-0360>

² Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék, kiemelt gyakorlati oktató, e-mail: gajdac.szaszlo@uni-nke.hu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2334-6859>

1. Bevezetés

A 3D nyomtatás által kínált lehetőségek fellendülése a szabadalmak egy részének lejáratának tudható be, és így számos 3D nyomtatással kapcsolatos technológia vált elérhetővé. Már nemcsak a feltalálók és csapataik dolgozhatnak az eszközzel, hanem az egyetemi tanárok, hallgatók, amatőr mérnökök, illetve azok is, akik hobbicélből szeretnék üzni ezt a tevékenységet.³

A technológia közel 40 éve létezik, amelyről már annak idején is forradalmi újításként beszéltek. A gyors fejlődése a reményektől eltérően elmaradt, részben a technológia bonyolultsága, részben az akkor megfizethetetlen eszközök miatt. A fellendülést a szabadalmak lejáratán túl a digitalizáció jelentette. Az újabb ipari forradalom, azaz az Ipar 4.0 jelenséget követően a piaci előrejelzések is optimistán álltak a 3D technológia fejlődéséhez.⁴

Az elmúlt 5–6 évben a világ repülőgéppalkatrész-gyártó cégei, illetve azok vállalatai ráeszméltek a 3D gyártástechnológiában rejlő potenciálra, így az évek során fokozatosan egyre nagyobb mértékben használták ki a szóban forgó lehetőségeket. A kezdeti időben a 3D nyomtatás csupán a számítógépen megtervezett tárgyak vizualizálására szolgált, de ahogy fejlődött a technológia (nőtt a sebessége, javult a felbontása, és új, az iparban használható alapanyagok jelentek meg), egyre több helyen bukkantak fel a 3D nyomtatott tárgyak. Mára pedig kiérdemelte a helyét a gyártási technológiák sorában.

2013-ban nagy áttörést ért el Kína, amikor a repülőgépek öntött titán alkatrészeit megpróbálták 3D nyomtatott anyagokkal helyettesíteni. A kivitelező cég az AVIC Laser volt, amely az AVIC Heavy Machinery leányvállalata. Kína felismerte a gyártástechnológia anyagi előnyeit. Az eredeti titán alkatrészek költségeinek csupán 5%-át teszik ki a 3D nyomtatott alkatrészek előállítási költségei. Ez számokban kifejezve (amerikai dollárba átváltva) 4 millió dolláros költség helyett, közel 210 000 dollár. Anyagvizsgálati szempontból is kifizetődő volt, hiszen a technológia lehetővé tette a nagyméretű strukturális elemek nyomtatását is titánötvözetből. Jelenleg a cég hét különböző repülőgéptípushoz gyárt alkatrészt az említett forradalmi módszerrel, köztük a Y-20 stratégiai teherszállító repülőgéphez és a C919 utasszállítóhoz.⁵

2016-ban létrejött a világ legnagyobb 3D nyomtatott repülőgép-alkatrésze.⁶ Az Airbus,⁷ az Autodesk⁸ és az APWork⁹ kooperációjával kifejlesztettek egy válaszfalat, amely elválasztja az utasteret a repülőgép konyhájától, valamint az utaskísérők felhajtható ülései szintén ezen a falon vannak rögzítve. A fal nagyon nehezen volt megtervezhető és legyártható, mivel helyet kellett adnia a vészhelyzet esetén használt hordálynak. A 3D nyomtatással bonyolult struktúrák megtervezése nem jelentett gondot a cégek számára, így a lézeresen nyomtatott, titánból készült válaszfal könnyedén elkészülhetett.¹⁰ Nemcsak a tervezés gördülékenységét befolyásolhatja a 3D nyomtatás, hanem az anyag minőségét is. A legyártott válaszfal közel 50%-kal könnyebb volt, mint a korábbi változatok, ráadásul erősebb is. A csökkentett súly

³ *Hogyan működik az asztali 3D nyomtató?* Tone Partners.

⁴ Sági Gyöngyi: *Mitől lesz bomba üzlet a 3D nyomtatás?* Digitrend-i, 2019.

⁵ *3D nyomtatás a kínai repiparban.* Haditechnikai Kerekasztal, 2013.

⁶ *A világ legnagyobb, 3D nyomtatott repülőgép alkatrésze.* CNC Media.

⁷ Francia repülőgépgyártó vállalat.

⁸ Amerikai 2D, illetve 3D tervezőszoftverekkel foglalkozó vállalat.

⁹ Német 3D technológiával foglalkozó vállalat.

¹⁰ Ken Micallef: *Airbus Continues to Innovate Bionic Design for Future Sustainable Flights.* Redshift by Autodesk, 2019.

környezetvédelmi szempontból is előnyös helyzetbe hozta a gyártástechnológiát. A súlyvesztés alacsonyabb üzemanyag-fogyasztást igényelt, ami alacsonyabb károsanyag-kibocsátást (CO₂) eredményezett. Jelenleg a cég az A320 repülőgépekbe integrálta a válaszfalakat, de nem kizárt, hogy a jövőben több repülőgép is új, 3D nyomtatott falakat fog kapni.¹¹



1. ábra

A válaszfal és a rá rögzített utaskísérő székek (A320). Forrás: Airbus A320 3D Printed Bionic Wall Picture.

A General Electric 2017-ben kezdte meg a repülőgép külső alkatrészei helyett a repülő hajtóművének forradalmasítását. A légsaváros gázturbinás hajtóműnek több mint 30%-a a korábban említett additív gyártástechnológiával készült.¹² 3D nyomtatással hozták létre például a motor fogaskerék-hajtóművét, valamint az égésteret is. Az eszköz 1300 lóerővel, valamint 16:1 teljes nyomásviszonnyal rendelkezik. Ezenfelül a csökkentett súlyából adódóan 15%-kal kevesebb üzemanyagot is használ. A hajtómű 2018-ban került használatba a Textron Aviation vállalat Cessna Denali nevű repülőgépében.¹³

2. A meteorológiai adatgyűjtés lehetősége UAV-eszközön¹⁴

Munkánkban a 3D gyártástechnológia segítségével élve bizonyítjuk be a tényt, miszerint az időjárás-előrejelzés adatgyűjtésének egyik lehetséges módja egy pilóta nélküli légi járműbe (UAV)¹⁵ implementált szenzorcsatorna alkalmazása. A csatorna használatával nemcsak

¹¹ Airbus Uses Autodesks to Create a Space-Saving 3D Printed Organically Structured Dividing Wall. 3Dprint.com.

¹² A repülőgép hajtóműveket is elérte a 3D nyomtatás. Gyártástrend, 2017.

¹³ Andrew Moseman: GE Made a Real 3D-Printed Plane Engine and Here's a Gorgeous Look at It. Popular Mechanics, 2017.

¹⁴ Bottyán Zsolt: A közfeladatot ellátó repülések meteorológiai biztosításának kérdései. In Szilvássy László (szerk.): Repüléstudományi Szemelvények. Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2017. 75–98.

¹⁵ Unmanned Aerial Vehicle.

a numerikus adatok pontosítása érhető el, hanem a légi időjárás felderítésében is nagy szerepet játszhat. A repülésbiztonság megnövelése, illetve az előrejelző modellek valós idejű hibájának feltérképezése is része az UAV által végzett meteorológiai felderítés előnyeinek.

Ezen eszközön alkalmazott szenzorcsatornának rendelkezni kell legalább hőmérséklet, statikus légnyomás és légnedvesség mérésére alkalmas szenzorokkal. Az érzékelők legfontosabb feladata a minél gyorsabb mérések végrehajtása, hiszen az UAV mind horizontálisan, mind vertikálisan komoly sebesség-, illetve helyzetváltozásokon megy keresztül. A lassabb mérés komolyan befolyásolhatja az előrejelzések pontosságát. Ebből az okból kifolyólag szükséges feltétel, hogy a berendezések képesek legyenek legalább 10 Hz-es frekvenciával elvégezni az adott mérési folyamatokat. A fedélzet további berendezései (GPS-pozíció, IAS) által végzett adatgyűjtéssel közvetlenül számíthatók az adott helyen a 3D-s szélvektorok is.

Adódik a kérdés, hogy mi az a méréshatár, ami elegendőnek bizonyulhat egy pontos mérés elvégzése kapcsán. Hőmérséklet esetében 0,2–0,3 °C, statikus nyomás mérésekor 0,2–0,3 hPa. A levegő relatív nedvességével kapcsolatos adatok gyűjtése során 5–6%-os méréshatár-pontossággal célszerű számolni.

Az említett célra alkalmazandó UAV-eszköz legyártásánál figyelembe kellett venni a szenzorrendszer, illetve a szenzorcsatorna méreteit és tömegét, hogy minimálisan képes legyen 0,5–1,5 órát a levegőben tartózkodni, valamint legalább 0,5–3 kg hasznos tömeget szállítani. A 3D nyomtatási technológia egyik legnagyobb előnye pont a hagyományos alkatrészek súlyának jelentős csökkentésében rejlik. Cikkünkben nem a predikció metódusát szeretnénk kifejteni, hanem az UAV merevszárnyú eszközön alkalmazott levegőcsatorna gyártástechnológiáját, valamint gyártásának folyamatát.

3. A legyártott mintadarab fedélzetre történő integrálása merevszárnyas UAV-eszközön

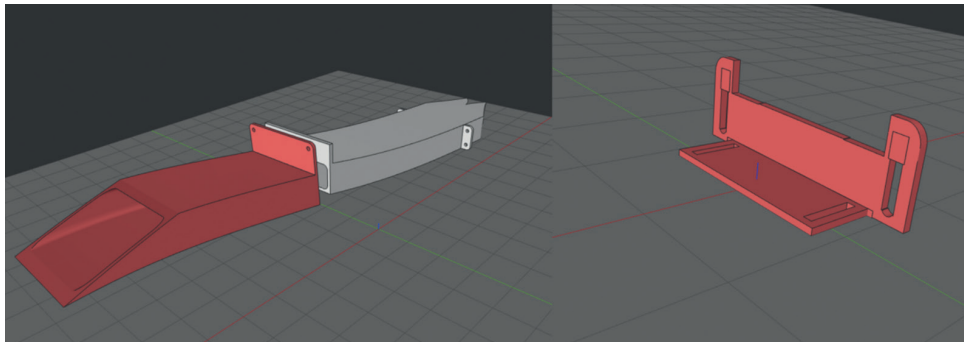
Az UAV-be integrálható szenzorcsatorna gyártása, majd integrálása több lépcsőből épült fel. Ez a hosszadalmas folyamat magában foglalta a szükséges 3D szoftver meghatározását, a levegőcsatorna áttervezését,¹⁶ a megfelelő szoftverbeállítások megalkotását, a próbatestek kinyomtatását, majd tesztelését; a kész termékek utómunkálatait; végezetül pedig az összerakott szenzorcsatorna fedélzetre történő implementálását. Fontosnak tartom megjegyezni, hogy a fejezetben szereplő csatorna az úgynevezett FDM (Fused Deposition Modelling) módszerrel készült.¹⁷

Első lépésként programról programra kutattunk, mígnem megtaláltuk a megfelelő 3D szoftvert, amely nemcsak egy „slicer”, azaz nemcsak arra jó, hogy feldarabolja a kívánt testet, hanem minimális áttervezési lehetőségeket is biztosít. Ez a slicing engine arra használatos elsősorban, hogy a háromdimenziós fájlt (leggyakrabban STL-fájlt) felbontja a nyomtató által is értelmezhető utasításokra. A folyamat röviden a nyomtatandó tárgy felbontását jelenti (körülbelül 0,05–0,4 mm vastagságú szeletekre), és ezeket lefordítja a nyomtató extruder fejének, illetve tárgyasztalának X, Y és Z tengely mentén való mozgására.¹⁸

¹⁶ Az alapsémát illetően fontos kiemelni, hogy az eredeti elem teljes körű megtervezése nem a mi eredményünk. A mi dolgunk az adott séma átdolgozása volt.

¹⁷ A 3D nyomtatásról. 3D nyomtató Shoppe.

¹⁸ A Replicator G és a Skeinforge használata. 3D nyomtató Shoppe.



2. ábra

Az eredeti légcsatorna, valamint az említett 3. elem (L fül). Forrás: Szűcs Viktor

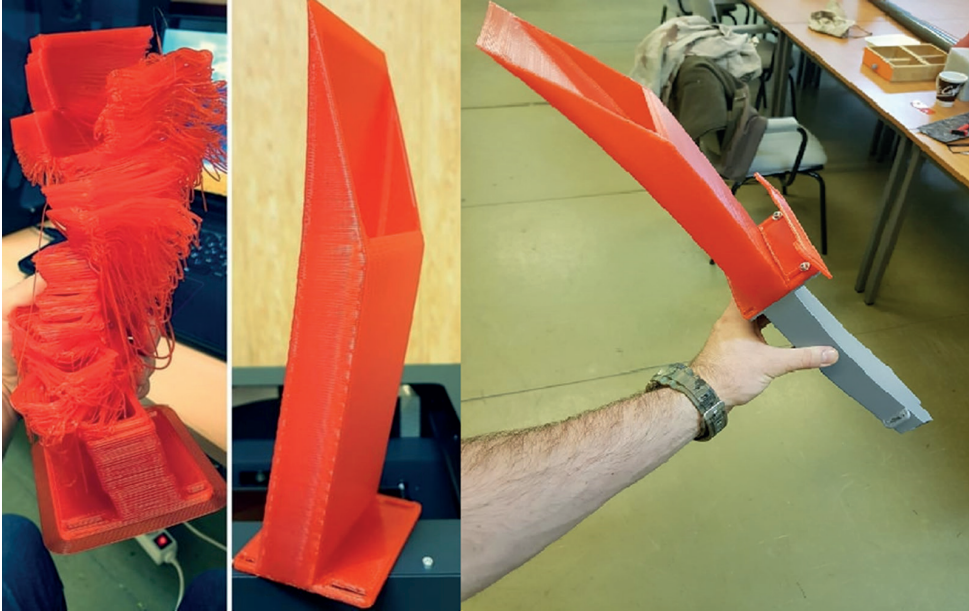
A Matter Hackers Matter Control nevű szoftver segítségével sikerült az alapsémát olyan módon átalakítani, hogy az beilleszthetővé vált a légi jármű sárkányszerkezetébe. Az alapséma kezdetben két részből állt: egy első és egy hátsó részből. Ezt követően a program segítségével eltávolítottuk a felesleges elemeket a testről, 10-15%-kal megnöveltük annak hosszát, valamint létrehoztunk egy harmadik, „L” betűre hasonlító részt is. Ez a rész szolgálja a fő rögzítési pontot a szenzorcsatorna, valamint a légi jármű között.

Amikor befejeződtek a munkálatok a 3D tervezéssel, megkezdődhetett a megfelelő beállítás megválasztása. A 3D szoftver több lehetőséget is biztosított arra, hogy teljes mértékben megvalósítsa a felhasználó elképzeléseit. Az első problémába akkor ütköztünk, amikor meghatároztuk a kellő rétegvastagságot. A 3D nyomtatás során a rétegvastagság befolyásolja a legtöbb tényezőt, attól függ a nyomtatás időtartama és a test minősége is.

A rétegvastagság határozza meg, hogy a tárgyfelbontáskor (azaz a slicing engine alkalmazása során) egy réteg milyen vastag legyen mm-ben. Minél kisebb az érték, annál aprólekosabb lesz egy réteg, és annál kevésbé fognak látszani az átmenetek. De az átmeneteket bizonyos esetben felületkezeléssel (acetonnal, akrilfestékkel) is el lehet tüntetni, ezért nem feltétlen szükséges mindig alacsony rétegvastagságot választani. Az alapértelmezés szerinti érték 0,27 mm, ami sok esetben (főleg nagyobb tárgyaknál) már elegendő minőséget biztosít.

Szerencsére a csatorna mérete lehetőséget biztosított számunkra, hogy magasabb rétegvastagságot használjunk, ezzel komoly órákat tudtunk megtakarítani. A tökéletes eredmény elérése érdekében a nyomtató fűvókáját is cserélni kellett. A nyomtatás során a 0,4 mm-es rétegvastagságot választottuk, amely idő-minőség arányban a legjobbnak bizonyult.

Ezt követően sorozatosan készültek a hibás termékek, azonban a probléma forrása már nem a rétegvastagságban volt keresendő. A test az első két-három órában tökéletesen készült, utána viszont szétesett (3. ábra). Ismételten megvizsgáltuk a nyomtató beállításait, és arra jutottunk, hogy feltehetően a tálcahőmérséklet, valamint a fűvóka melletti ventilátor helytelen beállítása volt a zavaró tényező. A tálcát tíz Celsius-fokkal (60-ról 70-re) melegítettük, a ventilátort gyorsabb mozgásra állítottuk, hogy az olvadt műanyag a lehető leghamarabb megkeményedjen. A Feedrate-beállításokon is változtattunk (a program legmagasabb sebességét 25%-kal csökkentettük), mivel a tárgyunk dőlésszöge viszonylag nagy volt, így ez a döntés helyénvalónak bizonyult.



3. ábra

A hibás és a javított első rész, valamint a kész csatorna. Forrás: Szűcs Viktor

A hibaelhárítást követően a jelenlegi beállítások megfelelőnek látszottak. Felfedeztük a testen, hogy a fúvóka gyakran magával húzza az olvadt műanyagot, mintegy pókhálószerű képződményt létrehozva a test belsejében, illetve elvétele annak külsején.¹⁹

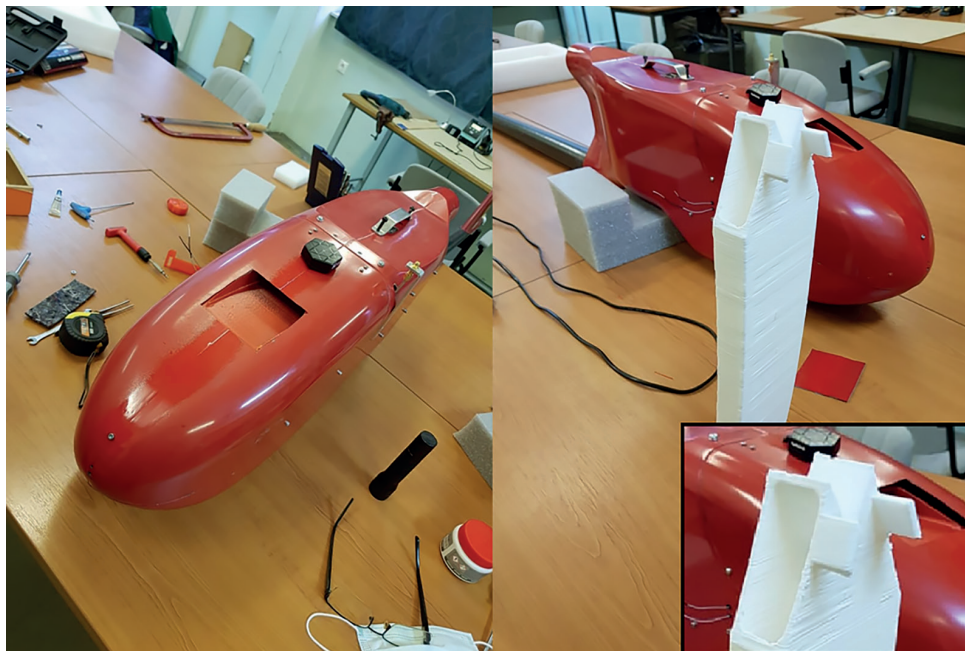
A retractionfunkció azt jelenti, hogy a nyomtató extrudere „visszaszívja” a szálát extrudálás nélküli mozgásoknál és egyéb esetekben, amikor nem történik nyomtatás. Ha a firmware-ben szoftveresen már be van kapcsolva a Deprime (a műanyag sajtolás nélküli fejmozgások, illetve más esetekben előforduló szálhúzást csökkentő) funkció, akkor javasolt ezt az értéket 0-ra állítani, de kísérletezhetünk vele, ha azt tapasztaljuk, hogy nagyon „szöszös” a nyomtatás, vagy a külső peremeknél üres részek vannak. Munkánk során 1 mm-re állítottuk a visszahúzás mértékét, azaz a fúvóka a mozgás időtartamára 1 mm-re visszahúzza a filamentszálát azért, hogy ne vigye magával mozgás közben. A slicingszoftver, amit mi alkalmaztunk, nem élt a Deprime-funkció lehetőségeivel, így manuálisan állítottuk be ezt a funkciót.

A következő lépcsőfok a kész 3D test kinyomtatása volt, az eljárás időigényessége miatt azonban a szenzorcsatorna teljes elkészítése több napba telt. Ez 24 óra nyomtatási időtartamot jelentett, amelyből 13 órát a hátsó rész, 9 órát az első, illetve 2 órát az L fül vett igénybe. A kész termék a 3. ábra jobb oldalán látható.

Miután végbement a nyomtatás, már csak a szénszálas anyaggal borított sárkányszerkezet orrát (4. ábra), valamint a hátsó részét kellett két ponton kivágni, amire azért volt szükség, hogy a levegő a repülő orrán keresztül jusson be a szenzorcsatornába, illetve hogy a hátsó részen el is tudja hagyni azt. A beillesztés során kiderült, hogy a csatorna további nyújtást igényelt,

¹⁹ Print Troubleshooting Pictorial Guide. *RepRap*.

valamint a hátsó elem megfelelő rögzítéséhez szükséges volt további két fül megtervezése is (4. ábra jobb alsó sarka). Miután a tervezés és az új, javított hátsó elem nyomtatása megtörtént, sikeresen beillesztettük a már szenzorokkal ellátott, 3D nyomtatási eljárással készült levegőcsatornát.



4. ábra

Az UAV-be integrált kész levegőcsatorna (bal), illetve a javított hátsó elem (jobb). Forrás: Szűcs Viktor

4. Összegzés

A 3D nyomtatás technológiája évről évre fokozódó térhódítása elérte a repülőgépeket is. A gyártástechnológia komoly változásokat hozott el mind anyagi szempontból, mind tervezés/legyártás szempontból az ipart illetően. Cikkünkben kiemeltük a 3D nyomtatás előnyeit nemzetközi, illetve hazai szinten. Nemzetközi szinten kínai, amerikai cégek nyomtatott repülőgép-alkatrészeit helyezték előtérbe, míg hazai szinten egy saját projekttel demonstráltuk a 3D nyomtatás lehetőségeit. A légi időjárás felderítésének folyamatát könnyítő eszközzel, egy nyomtatott szenzorcsatornával mutattuk be a gyártástechnológia számos pozitívumát, illetve negatívumát. Célunk a 3D nyomtatás létjogosultságának kiemelése a repülőgépek tervezésénél és gyártásánál, illetve megismertetni az olvasókkal a technológiában rejlő potenciált.

Köszönetnyilvánítás

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.

Felhasznált irodalom

3D nyomtatás a kínai repiparban. Haditechnikai Kerekasztal, 2013. Elérhető: <https://htka.hu/2013/06/01/3d-nyomtatás-a-kínai-repíparban/> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 13.)

A 3D nyomtatásról. 3D nyomtató Shoppe. Elérhető: <https://3dnyomtato.shoppe.hu/pages/a-3d-nyomtatásról> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 20.)

Airbus A320 3D Printed Bionic Wall Picture. Elérhető: www.innofrator.com/wp-content/uploads/2017/08/Airbus-Bionic-Partition-picture-8-web-1-1024x518.jpg (A letöltés dátuma: 2020. 06. 21.)

Airbus Uses Autodesk to Create a Space-Saving 3D Printed Organically Structured Dividing Wall. 3Dprint.com. Elérhető: <https://3dprint.com/109310/airbus-autodesk-dividing-wall/> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 16.)

A Replicator G és a Skeinforge használata. 3D nyomtató Shoppe. Elérhető: <https://3dnyomtato.shoppe.hu/pages/a-replicator-g-program-es-a-skeinforge-hasznalata#ch2> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 21.)

A repülőgép hajtóműveket is elérte a 3D nyomtatás. Gyártástrend, 2017. Elérhető: http://gyartastrend.hu/muveltmernok/cikk/a_repulogep_hajtomuveket_is_elerte_a_3d_nyomtatás (A letöltés dátuma: 2020. 06. 16.)

A világ legnagyobb, 3D nyomtatott repülőgép alkatrésze. CNC Media. Elérhető: www.cnc.hu/2018/03/a-vilag-legnagyobb-3d-nyomtatott-repulogep-alkatresze/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 15.)

Bottyán Zsolt: A közfeladatot ellátó repülések meteorológiai biztosításának kérdései. In Szilvássy László (szerk.): *Repüléstudományi Szemelvények.* Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2017. 75–98.

Hogyan működik az asztali 3D nyomtató? Tone Partners. Elérhető: www.tonerpartners.hu/blog/hogyan-m-kodik-az-asztali-3d-nyomtato-alapveto-3d-nyomtatasi-technologi-ak-25590hu39018/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 15.)

Micallef, Ken: *Airbus Continues to Innovate Bionic Design for Future Sustainable Flights.* Redshift by Autodesk, 2019. Elérhető: www.autodesk.com/redshift/bionic-design/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 15.)

Moseman, Andrew: *GE Made a Real 3D-Printed Plane Engine and Here's a Gorgeous Look at It.* Popular Mechanics, 2017. Elérhető: www.popularmechanics.com/flight/news/a27495/ge-3d-printed-aircraft-engine/ (A letöltés dátuma: 2020. 06. 17.)

Print Troubleshooting Pictorial Guide. RepRap. Elérhető: https://reprap.org/wiki/Print_Troubleshooting_Pictorial_Guide#Material_Feed (A letöltés dátuma: 2020. 06. 30.)

Sági Gyöngyi: *Mitől lesz bomba üzlet a 3D nyomtatás?* Digitrend-i, 2019. Elérhető: <https://digitrendi.hu/mitol-lesz-bomba-uzlet-a-3d-nyomtatás/> (A letöltés dátuma: 2020. 06. 18.)