

A 3D nyomtatással minden előállítható

Everything is feasible by 3D printing

Kutasi Csaba, igazságügyi szakember
kutasicsa@gmail.com

Initially submitted March 10, 2018; accepted for publication April 18, 2018

Abstract

3D printing is one of the 21st century's revolutionary new technologies. 3D printing allows you to create a digital model of an object with the help of a computer design program or a scanner. The special printer uses thin threads made of – among many others - liquid plastic or metal and it builds the object by stratification of layers. In the industry its application spreads from creating prototypes quickly to manufacturing medical implants, medical aid facilities or it is used for surgical preparation as well. In clothing industry, it is mainly used for creating new structures or testing the visual impact.

Kulcsszavak: UV Additív eljárás, Digitális modell, Rétegmetszet, Lézer, Prototípus, Fotopolimerizáció, Polilaktid, Akrlitril-butadién-sztirol, Implantátum, Divatipar

Keywords: Additive procedure, Digital model, Layer sections, Laser, Prototype, Photo-polymerisation, Polylactide, Acrylonitrile- butadiene-styrene, Implant, Fashion industry

A 3D nyomtatással digitális modellekből háromdimenziós tárgyakat lehet előállítani. Olyan additív (hozzáadott, összegző) gyártási eljárás, amely vékony rétegek egymásra helyezésével hoz létre tárgyakat [a hagyományos – szubtraktív (lebontó, kivonó) - megmunkálás során, egy nagyobb nyers darabból választják le a felesleges anyagot, a megmaradó rész alkotja készterméket]. Egyelőre főleg a gyors prototípus készítés céljából használják, azonban a technológia fejlődésével az ipari és orvostechikai alkalmazás is várhatóan egyre jobban elterjed. Ezt az eljárást a 21. század forradalmian új technológiai egyikének, a harmadik ipari forradalom kezdeteként is említik. Az előállított tárgyak lehetnek bármilyen alakúak, belső szerkezetűek.

R. F. Housholder már 1979-ben egy ilyen jellegű rendszert szabadalmaztatott, de ennek gyakorlati alkalmazása elmaradt. Az 1980-as években kezdtek működni a korai additív berendezések, amelyek nagyméretűek és drágák voltak korlátozott felhasználási lehetőségekkel. A 3D-s nyomtatás fogalom arra vezethető vissza, hogy 1995-ben Jim Bredt és Tim Anderson doktoranduszok olyan tintasugaras nyomtatót hoztak létre, amely nem tintát fecskendített, hanem olvasztott polimerből egymásra rétegeket lövellt, amivel térbeli tárgyakat lehetett előállítani. 1987-ben Chuck Hull szabadalma nagy érdeklődésre tartott számot, ez a sztereolitográfián alapuló korábbi módszert hasznosította. Ennek alapján 1990-re készült el a piacképes 3D nyomtató.



Chuck Hull
(1939 -)

3D-s nyomtatás feltalálója és így készült mellszobra

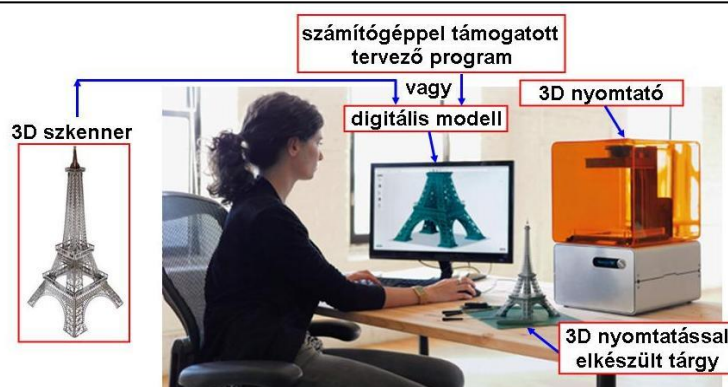
1. ábra Chuck Hull a 3D nyomtatás feltalálója

A 3D-s nyomtatás előkészítése és alkalmazása

Az additív gyártási eljárás előtt a gyártandó térbeli alakzatról digitális modellt kell készíteni. Ehhez számítógéppel támogatott tervező [pl. CAD (Computer-aided design)], vagy egy 3D animációs szoftverre van szükség. Az adott testről digitális modell 3D szkennel segítségével is készíthető. A szoftverek a különböző térbeli alakzatú modelleket vékony, azonos vastagságú vízszintes virtuális rétegmetszetekre „szeletelik”. A CAD szoftver és a 3D nyomtató kapcsolatában többek között olyan adatformátum az elterjedt, amely a térbeli tárgy felületét apró - közelítő - háromszögekre bontja és az ennek megfelelő adathalmazt rögzíti (egyértelmű, hogy minél kisebbek a háromszögek, annál pontosabb a leképezés). A színes 3D-s nyomtatás esetén a VRML (Virtual Reality Modeling Language) modellezőnyelvet használják, amely nemcsak a geometriai formát, hanem a színeket is tartalmazza.

A berendezés a nyomtatás során beolvasott adatok alapján egymásra illeszkedő rétegeket alakít ki a polimer vagy fém folyékony halmazállapotú változatából, így fokozatosan felépíti a testet a metszetjellegű rétegfelvételekből (egymáshoz kötötten vagy automatikusan egymáshoz tapadóan). A szokásos rétegvastagság kb. 100 μm , de ismertek olyan nyomtatók is, melyek 16 μm vastag rétegekből végzik a felépítést. A képződő 3D pontok – mint részecskék - kb. 50-100 μm -es átmérővel jellemezhetők, a réteg síkjában történő felbontás a lézernyomtatókéhoz hasonlítható.

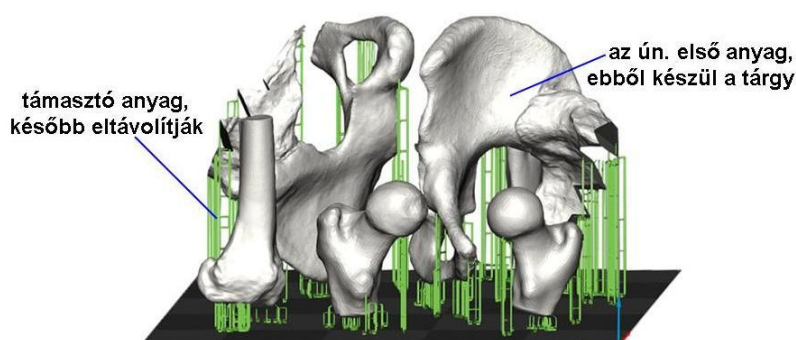
A 3D-s nyomtatási technológiával egy tárgy időbeni létrehozása az alkalmazott módszertől, továbbá a test méretétől és annak bonyolultságától függően változik. Egyértelmű, hogy polimer alkatrészek tömeggyártása esetén a hagyományos gyártási eljárások (pl. fröccsöntés) általában olcsóbbak, azonban kis szériaszám esetén a 3D nyomtatás gyorsabb és rugalmasabb.



A 3D nyomtatás előkészítése és folyamata

2. ábra 3D nyomtatás számítógépes előkészítése

Amennyiben igen pontos háromdimenziós alakzatra van igény, úgy a készítendő tárgyat a felbontásnak megfelelő ráhagyással kell kinyomtatni, majd a felesleges anyagrészekről hagyományos módszerrel kell szabadítani. Vannak olyan additív gyártási technológiák, amelyek kétféle anyagot használnak fel. Az ún. első (fő) anyagból alakul ki a tárgy, a másik – átmenetileg szükséges felépítő - a nyomtatás során az egyes részeket alátámasztja (utóbbit végül leolvasztással, vagy oldószeres módszerrel távolítják el). Ehhez kettős-extruderes 3D nyomtatóra és melegített tálcára van szükség.



3D nyomtatás kétféle anyag felhasználásával

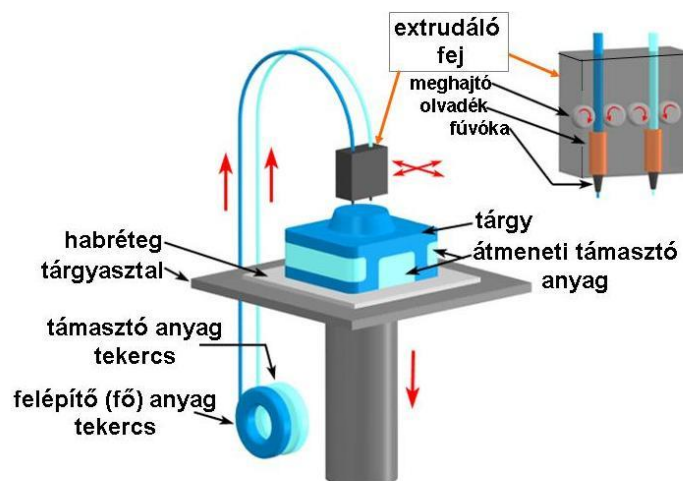
3. ábra nyomtatáshoz szükséges anyagok

Nyomtatási eljárások

Az FDM (Fused Deposition Modelling) módszernél a - kisméretű gyöngyökből felépülő, ill. vastag szálszerű - hőre lágyuló anyagot melegítéssel fokozottan lágyítják, vagy megolvasztják. Ez lehet alkalmas műanyag, vagy akár fémhuzal, ami folyékony állapotban kerül az extrudáló végén levő fűvókaféjbe, amely egy numerikusan vezérelt mechanizmussal vízszintes és függőleges irányban mozog. A léptető- vagy szervomotorok főként X-Y-Z egyenesvonalú mozgást biztosítanak, ritkábban egyedi összetett pályán mozogva. A vezérlőegység be- és kikapcsolja az anyagáramlást, az előállítandó – alulról felépített - tárgy adott rétegmetszete szerint. Előállítási módként a szelektív lézeres szinterezés [SLS (Selective laser sintering)] (szinterezés: elektrosztatikus rétegfelhordás) is kínálkozik. A felvitt alapanyag port nagy energiájú lézersugárral olvasztják meg, az így kialakuló tárgy a fémből hagyományosan gyártott tárgyakhoz hasonló tulajdonságú lesz. Az elektronsugaras olvasztásos technikánál [EBM (Electron Beam

Melting]] pl. a fémporréteget vákuumban elektronsugárral teszik folyékonyá (többek között titánötvözet anyagú tárgyakat így állítanak elő).

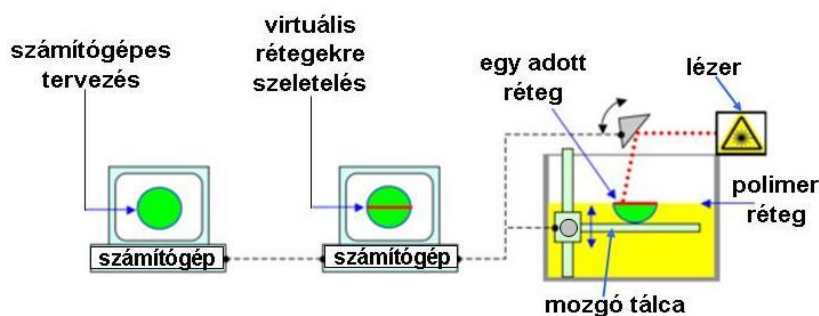
Az FDM eljárást általában a normál légtérben végzik, az olvadt polimert levegő hűti le. Az inert gáztérben (pl. nitrogén, argon) történő működtetés esetén jelentősen fokozódik a rétegtapadás.



Az FDM eljárás elve

4. ábra olvadt polimer eljárás

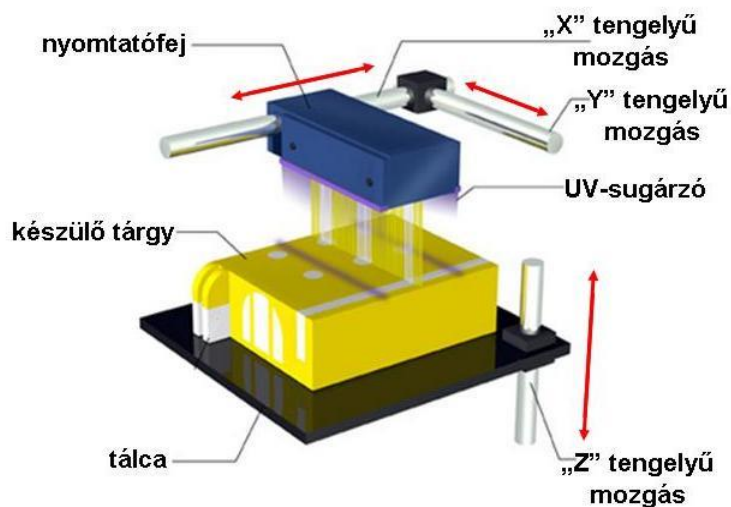
Egy másik jellegzetes módszer a sztereolitográfiát [SLA (stereolithography apparatus), vagy SL] alkalmazza a 3D-s nyomtatáshoz. A folyékony anyag szilárdítását fotopolimerizációval végzik.



A sztereolitográfiás eljárás menetére példa

5. ábra sztereolitográfiai eljárás

Az ún. építési tálcára a tintasugaras nyomtató vékony (16-30 μm) rétegben permetezi a fotopolimer anyagot, majd rétegenként UV-sugárzásos keményítés következik (a nem aktivált anyagrészt mosással eltávolítható). A maszkkép-vetítéses sztereolitográfiában a 3D-s digitális modellt vízszintes síkok halmazával szeletelik (minden szeletből kétdimenziós maszkkép lesz). A készülék tárgylemeze egy UV-sugárzást átteresztő, átlátszó fenéklappal kialakított – a folyamatos rétegek kapcsolatának megfelelően lassan felemelkedő - tartályszerű tálca. Ide kerül a folyékony fotopolimer műgyanta alapvegyület, erre a felületre vetítik az adott maszkképet. A poreszívásos irányított lerakódás módszerénél a nagyteljesítményű, fókuszált lézersugár olvasztja meg a felületre továbbított fémport.

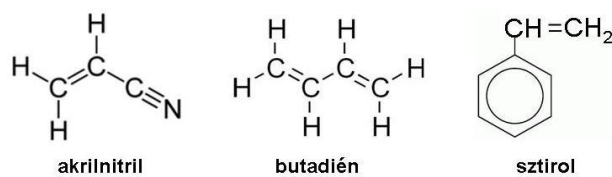


A 3D nyomtatás fotopolimerizációval

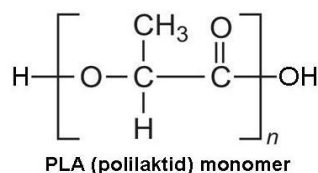
6. ábra fotopolimerizációs eljárás

Nyomtató anyagok

A 3D nyomtatókban döntően műanyag-, vagy akár fémből készült monofilamenteket alkalmaznak. A gyakran használt műanyagok közé a polilaktid (PLA), és az akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) tartozik (utóbbiból készülnek a közkedvelt LEGO® elemek). A PLA azért kiemelten alkalmas, mert az egyik legalacsonyabb hőmérsékleten olvadó műanyag (a nyomtatás utáni hőmérsékletváltozásnál kismértékű az összehúzódása). Környezetkímélő polimer, miután gabona-keményítőből (pl. kukoricából) nyerik az alapanyagot, amiből fermentációval jön létre a biokompatibilis polimer. A kis sűrűségű, nagy szilárdságú és aránylag olcsó ABS nehezebben kezelhető műanyag, mert nagyobb hőmérsékleten olvad, mint a PLA (ezért a nyomtatáshoz melegített tálcát kell használni). A nyomtatás során kisebb erővel továbbítható az extruderen, ezért apróbb tárgyak nyomtatására is előnyös.



ABS: hosszú polibutadién láncok, rövidebb polimerizált akrilnitril-sztirol kopolimer keresztkötésekkel



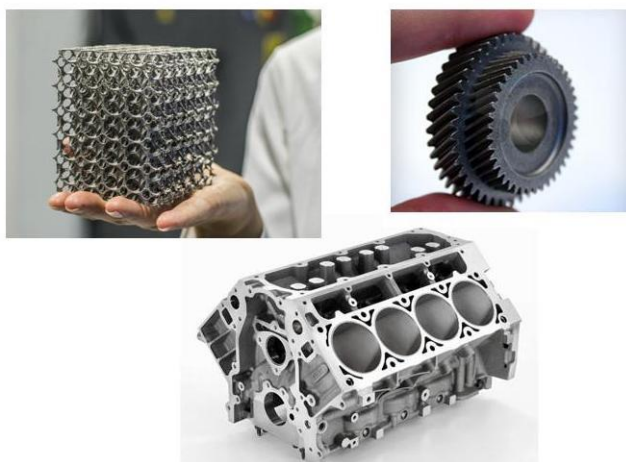
Jellegzetes 3D-s nyomtatásra alkalmas műanyagok szerkezete

7. ábra Műanyagok szerkezet 3D nyomtatásban

Használják még polikarbonátot (PC), polisztirolt (PS), ill. polifenil-szulfont (PPSU). A kompozit filament típusok alapanyaga a PLA és az ABS, ezekhez más hozzáadatok adagolásával alakítanak ki egyedibb megjelenésű műanyagokat. Adalékanyag lehet bronz-, szén-szál részecske, akár fareszelék is. Az ütésálló

polisztirolt (HIPS), valamint a polivinil-alkoholt (PVA) ideiglenes támasztóanyagként használják olyan geometriájú tárgyak nyomtatásánál, amelyekről a kiugró részek a nyomtatás közben leválnának. A nylon típusú speciális, biokompatibilis poliamidokat főleg orvostechikai eszközök előállítására alkalmazzák.

A fémből történő nyomtatás [AM (Metal Additive Manufacturing), ill. DMLS (Direct Metal Laser Sintering)] során a nagy teljesítményű fémrétegeket lézer segítségével helyezik egymásra. Az így előállított alkatrészek nagy szilárdságúak és könnyűek, igény szerint komplex belső funkciókkal (belső üregek, csatornák stb.) rendelkeznek. Költséghatékony, gyors és pontos módszer prototípus gyártására és a kis sorozatú alkatrészek tesztelésre.

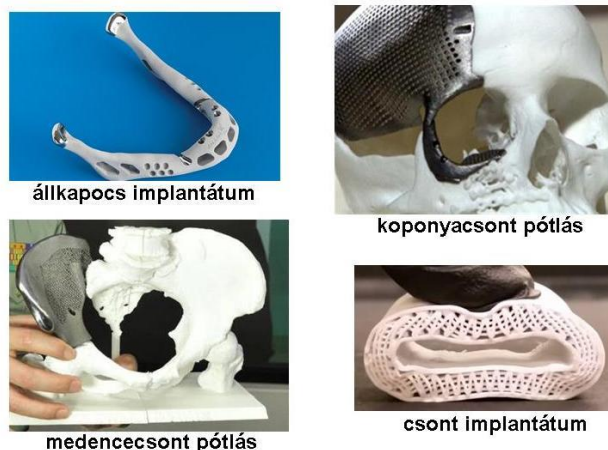


Példák fémből készült 3D nyomtatású tárgyakra

8. ábra Fém nyomtatás 3D-ben

Orvostechikai és egyéb egészségügyi alkalmazások

Az egészségügy területén számos lehetőség kínálkozik a 3D-s nyomtatásra. Az implantátumok készítésénél csökkennek a költségek, nincs szükség drága gyártósorok felépítésére és acélszerszámok legyártására, továbbá az esetleges hibák korrekciói is olcsóbban megoldhatók. Emellett az implantátumok előkészítése kevesebb időt vesz igénybe, ami szintén lényeges tényező. CT felvételek alapján tudják – hazánkban is – a koponya- és egyéb protézisek mintáit előkészíteni. 2012-ben Hollandiában 3D nyomtatóval előállított, titánötvözetből készült állkapcsot ültettek be, ez volt az első ilyen jellegű beavatkozás a világon. A 3D nyomtatóval létrehozott implantátum törött csontok gyógyítására és helyettesítésére gyors és olcsóbb megoldást kínál a sebészek számára. Az ilyen protézisek alapanyaga egy rugalmas polimer és a hidroxipapatit $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_3]$ az emberi csontokban előforduló, szilárdságért felelős kalciumkristály. A beültetett anyag serkenti a csontok regenerálódását, így az implantátum már akár egy hónappal a műtét után el is távolítható.



3D nyomtatással készült implantátumok

9. ábra orvosi alkalmazások- implantátumok

Egyes nagy szilárdságú kompozitok azért előnyösek, mert a hagyományosan használt féanyagokkal szemben biológiailag lebomlóak lesznek. Így az emberi testben fokozatosan felszívódik az átmeneti céllal beépített anyag, a csont meggyógyulása után nincs szükség az invazív (testbe behatoló) műtéti beavatkozásra. Számos traumatológiai végtagsérülésnél a külső rögzítéshez szintén 3D-s nyomtatású, testreszabott merevítő segédeszközök alkalmazhatók. A hallásjavító készülékek fülbe helyezett eszközeinek burkolata is így készíthető



alkar rögzítésénél alkalmazott, 3D-s nyomtatású segédeszközök



hallásjavító készülékekhez szükséges műanyag házak (támasztó anyaggal)

3D nyomtatással készített orvostechnikai eszközökre példák

10. ábra Orvostechnikai eszközök 3D nyomtatással

A rekonstrukciós plasztika területén is fontos szerepe van a 3D-s nyomtatásnak. Pl. daganateltávolítás miatti arcrész veszteség után, digitális szkenneléssel lemodellezik az illető arcának ép felét, ennek alapján 3D nyomtató segítségével minta, majd viselhető szilikon-protézis készül. Amerikai kutatók élő sejtekből álló, különleges hidrogél alkalmazásával, mesterséges emberi fület állítottak elő 3D-s nyomtatás segítségével. A fülről készített, háromdimenziós felvételek alapján kinyomtatott öntőformákba borjúfűlből vett élő sejteket tartalmazó kollagén-gélt juttattak (ezekből 3 hónap alatt erős porcokat sikerült növeszteni).

Kísérletek folynak a szervek 3D-s bionyomatóval való elkészítésére. Sikeres eredmények után, a későbbi jövőben a páciensek saját sejtjei alapján elkészített szervek transzplantációjával elkerülhető lesz a kilökődés veszélye.

A sebészek és a fogorvosok számára nagy segítség a műtétek tervezésében a 3D-s nyomtatóval készíthető gyors prototípus. A „rapid prototyping technika” egyszerűsíti és gyorsítja a komplex törések és deformitások műtéti korrekcióját, miután a rögzítésre szolgáló csavarok pozíciójára, hosszára és lefutásának irányára a 3D-modell segítségével előre fel tudnak készülni. A szív és az ebből induló nagy erek születési rendellenességeit korrigáló, optimális műtéti technika megválasztásában a 3D-modellek komoly segítséget nyújtanak a beavatkozási lehetőségek kivitelezhetőségének előzetes megítélésében, csökkentve a kockázatokat.



szív sebészeti beavatkozás előtt



ortopéd sebészeti beavatkozások előtt

3D-s modellezéssel műtétek előkészítésére példák

11. ábra műtéti előkészítésekre használt modellek 3D -vel

Egyedi 3D-s alkalmazások

A 3D-s nyomtatás technikája a ruházat területén abban látszik előnyösnek, hogy gyorsan új struktúrákat lehet előállítani. Lehetőség van bármilyen stílusú modellek kialakítására és a vizuális hatás valódi nyomon követésére. Így a legfrissebb trendeknek megfelelő formák tesztelhetők a 3D nyomtatási technológiával. A divatipar számára fontos előzetes információk szerezhetők adott termék kereskedelmi és várható fogyasztói fogadtatásáról. A 3D-s technológia alapján sikeres ruházati megoldásokat a textil- és ruházati szakma optimális anyagok felhasználásával képes lesz legyártani. Széleskörű fejlesztések folynak annak érdekében, hogy egyes textilipari szálanyagot is képező műanyagok felhasználása megvalósuljon a 3D-s nyomtatással előállított ruházatok területén. Ilyen pl. a polilaktid (PLA), az ebből a szálanyagból készült termékek közismerten kevésbé szennyeződnek, bőrbarátok és életciklusuk végén biológiailag lebomlanak. Kedvező lehetőség, hogy a PLA nyomtatásra is kiválóan alkalmas műanyag.



3D nyomtatással készült textilszerkezetek

42. ábra textilek készítése 3D-vel



3D nyomtatással készült ruházatok

5. ábra Ruhák 3D módszerrel készítve

A cipő- és öltözék kiegészítő tervezők számára is értékes visszacsatolást nyújtanak a 3D-s nyomtatású termékekre érkezett előzetes kereskedelmi vélemények.



3D nyomtatással készült cipők

6. ábra Cipők készítése 3D módszerrel

A 3D-s nyomtatás alkalmazásainak összefoglalása

A jelenlegi helyzetben a funkcionális prototípuskészítés területén (28,0 %) legnagyobb az elterjedés, amit a mintadarab-előállítások (összesen 22,1 %, amelyből a prototípus szerszámozáshoz szükséges minták 11,3 %-ban, a fémöntvények formamintái 10,8 %-ban) követnek. A különböző illesztéseknél és összeszereléseknél alkalmazott 3D-s nyomtatású tárgyak 17,5 %-ot, a szemléltető eszközök (ide tartoznak a sebészi beavatkozások előtti szerv- és egyéb másolatok is) 10,4 %-ot tesznek ki. A bemutató modellek (ahova egyelőre a textil-, ruházati- és cipőipari alkalmazásokat is lehet sorolni) 9,5 %-os, az oktatás és kutatás területén tapasztalható 6,4 %-os felhasználás egyaránt kedvező. A sort a szerszámalkatrész célú nyomtatott termékek 4,8 %-os részarányal zárják (az 1,3 %-ot kitevő egyéb kategória előtt)



A 3D-s nyomtatás felhasználási területei

75. ábra Statisztika 3D felhasználási területeiről

BIBLIOGRÁFIA

Matthew WHITAKER: The history of 3D printing in healthcare The Bulletin of the Royal College of Surgeons of England volume 96 issue 7 on pages 228 to 229. <https://doi.org/10.1308/147363514X13990346756481>

Kerang HAN, Shunliang JIANG, Chuck ZHANG, Ben WANG: Flow modeling and simulation of SCRIMP for composites manufacturing. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing volume 31 issue 1 on pages 79 to 86. [https://doi.org/10.1016/s1359-835x\(99\)00053-6](https://doi.org/10.1016/s1359-835x(99)00053-6)

T. SPAHIU, N. GRIMMELSMANN, A. EHRMANN, E. PIPERI, E. SHEHI: Effect of 3D printing on textile fabric. 1st International Conference "Engineering and Entrepreneurship" Proceedings ICEE-2017.