

# A 3D nyomtatás otthoni lehetőségei, avagy mire is használható a technológia a mindennapokban?

Krupa Gábor

Gábor Dénes Főiskola, Budapest, Magyarország  
krups.hun@gmail.com

**Absztrakt:** Kutatásaim és az általam továbbfejlesztett „RepRap” 3D nyomtató átalakítása során szerzett tapasztalataim segítségével bemutatom, hogy a 3D nyomtatásban, mint napjaink egyik leginkább fejlődő iparágában milyen lehetőségek rejlenek az otthoni felhasználásra vonatkozóan, valamint, hogy mire is képes egy kifejezetten otthoni használatra épített „RepRap” – azaz önmagát részben reprodukálni képes, bárki által hozzáférhető szerkezet.

Tapasztalataim szerint szinte mindenki hallott már valamilyen formában a 3D nyomtatásról, de csak kevesen tudják, hogy mire használható ez a technológia a mindennapi életben, mire képesek valójában az átlagfelhasználók számára is elérhető, alacsony beszerzési árú, otthoni 3D nyomtatók, illetve milyen kihívásokat rejtenek magukban ezek a rendszerek?

A fenti kérdések megválaszolása mellett saját eszközümm tesztelését alapul véve bemutatom, hogy milyen minőség érhető el egy otthoni használatra tervezett szerkezettel, milyen problémákkal szembesülhetünk a nyomtatás folyamata során, milyen gyermekbetegségek fordulnak elő még a legnagyobb nevű gyártók típusai esetében is. Végül pedig szeretnék rávilágítani, hogy mire számíthatunk a közeljövőben az otthoni 3D nyomtatók terén, mekkora a létjogosultsága ennek az irányvonalnak az elkövetkező években.

**Kulcsszavak:** 3D nyomtatás a mindennapokban, RepRap, FDM.

## I. BEVEZETÉS

A 3D nyomtatásban, mint napjaink egyik leginkább fejlődő iparágában rejlő lehetőségek száma szinte korlátlan. Az első 3D nyomtató megjelenésétől – az 1980-as évek közepétől kezdődően – a technológia dinamikus fejlődésének köszönhetően mára már nem csak ipari körülmények között találkozhatunk a gyors prototípusgyártás, illetve az additív technológia ezen ágával, hanem a hétköznapi felhasználók körében is egyre gyakrabban jelennek meg az egyszerűbb felépítésű 3D nyomtatók. A műszaki nagyáruházak polcain már nem ritka egy-egy szépen csomagolt printer felbukkanása, és a manapság terjedő startup vállalkozások is mindinkább építenek a 3D nyomtatásra. A közösségi pénzgyűjtő oldalakon megjelentek az ipari rendszereket asztali változatokká konvertáló kezdeményezések, és ennek eredményeképp a szálvasztásos típusok mellett a középvállalkozások számára is elérhetővé válik mind a sztereolitográfiával (stereolithography, SLA), mind a szelektív lézer szinterelés (selective laser sintering, SLS) technológiájával működő típusok beszerzése és üzemeltetése.

Néhány évvel ezelőtt még csak sci-fi filmekben láthatunk bárhol és bármikor előállítható, egy gombnyomással reprodukálható tárgyakat és eszközöket, napjainkban azonban egyre inkább elérhetővé válik ez a technológia,

és talán rövid időn belül a háztartások elengedhetetlen kelléke lesz a 3D nyomtató – hasonlóan ahhoz, ahogy a személyi számítógépek hódítottak teret maguknak.

## II. MI IS AZ A 3D NYOMTATÁS?

Az első 3D nyomtató szabadalma és a sztereolitográfia feltalálása szorosan összekapcsolódik. Magát az eljárást – és ezzel a 3D nyomtatást – az amerikai Charles W. Hull találta fel és szabadalmaztatta 1986. március 11-én [1] [2] [3]. Ettől kezdve az additív eljárások és a 3D nyomtatókat kifejlesztő, illetve a technológiát hasznosító vállalatok száma mind a mai napig folyamatosan növekszik, a világ szinte minden iparágában megjelent és elterjedt az új irányvonal, a prototípusgyártási eljárások fokozatosan átalakultak (és alakulnak) szubtraktív irányvonalból felépítő technológiává.

A 3D nyomtatást *additív* (vagy felhordó) gyártási eljárásnak nevezzük a hagyományos (vagy szubtraktív) ipari technológiákkal szemben, mivel a 3D nyomtatás során a tárgyat apró alkotóelemek (gyakran mikronnyi részecskék, tizedmilliméter átmérőjű szálak) összeragasztásával vagy összeolvasztásával *rétegről rétegre felépítve* hozzuk létre, így a végeredmény apró részletekből áll össze. Ezzel szemben a hagyományos gyártási eljárás során egy – az elkészítendő modellnél nagyobb – tömb nyersanyagból a felesleges részek rétegenkénti szelektív eltávolításával, marással, forgácsolással, csiszolással, vágással, különböző *lebontó megmunkálásokkal* készül el a mintadarab. Az additív technológia alkalmazása során nem keletkezik hulladék – vagy csak minimális mértékben, például támasztóelemek alkalmazása esetén a ráolvasztásos rendszereknél (Fused Deposition Modeling, FDM) –, míg a hagyományos megmunkálásnak az alapját képezi a felesleges részek eltávolítása. Mindemellett a 3D nyomtatás segítségével lehetőségünk van kifejezetten bonyolult geometriájú, egyedi felépítésű, üreges, akár több különálló alkatrészt tartalmazó termékek egy darabban, utólagos szerelést nem igénylő, rövid határidővel történő költség-hatékony elkészítésére (erre példák: bolygóművek, üreges zárt testek, csavart absztrakt formák, egy darabban nyomtatott működő alkatrészek). Jelen esetben nincs szükségünk különböző szerszámok használatára, legyártására, cseréjére, illetve gépállításra sem [1] [4].

Legyen szó bármilyen típusú 3D nyomtatóról, kivétel nélkül mindegyik rétegről rétegre építi fel a céltárgyat egy előre megtervezett CAD (computer-aided design) modell alapján, függetlenül attól, milyen anyagból és milyen eljárással készíti el a szilárd modellt.

A 3D nyomtatás legfőképp a gyors prototípusgyártás területén bír kiemelkedő jelentőséggel. Míg a technológia megjelenése előtt a prototípusok csak a terméktervezési

ciklus legvégén kerültek legyártásra – amiből következik, hogy igen drágák voltak, mivel az előállításukhoz szükséges szerszámok még nem álltak rendelkezésre –, a 3D nyomtatás megjelenésével a prototípusok már igen korán, a tervezés első szakaszában megjelennek, lényegesen lecsökkentve az adott termék piacra kerülési idejét.

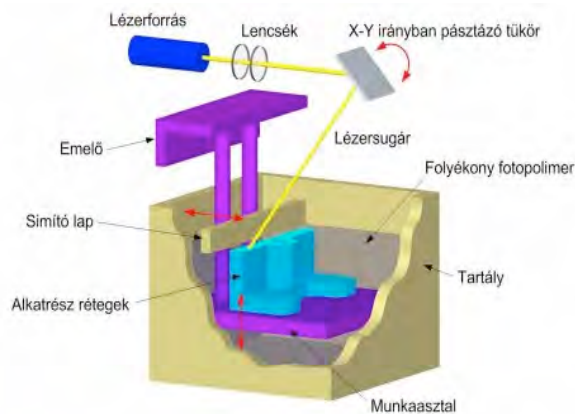
Összefoglalva: a 3D nyomtatás olyan additív technológia, melynek során számítógépes modell alapján, veszteség nélkül (vagy elhanyagolható hulladék keletkezése mellett), rétegről rétegre haladva építjük fel egyedileg megtervezett modellünket.

### III. A LEGFŐBB ELJÁRÁSOK RÖVID ISMERTETÉSE

Az egyes 3D nyomtatási technológiák megkülönböztethetőek az egymásra felhordott vékony rétegek anyaga és felépítési eljárása alapján. Ebben a fejezetben áttekintjük a napjainkban széles körben használt eljárás módokat.

#### A. Lézer sztereolitográfia (Stereolithography, SLA)

A legelső 3D nyomtatási technológia működési elve az 1. ábrán látható. Az eljárás lényege a sugárzással iniciált polimerizáció, azaz az alapanyagul szolgáló folyékony fotopolimer UV-fény segítségével kerül megszilárdításra a következőképpen: A folyékony, fényérzékeny műanyag gyantát tartályban egy függőlegesen mozgatható munkaasztal található. A nyomtatás megkezdésekor az asztal a folyadék felszíne alatt helyezkedik el egy rétegvastagságnyi távolságra, melynek értéke többnyire 0,05-0,15 mm közötti. A tárgyasztal fölött elterülő folyadékréteget a számítógéppel vezérelt lézersugár szoftveres modellből nyert keresztmetszet területén belül végigpásztázza, térhálósítja, és megszilárdítja. Ezután a munkaasztal egy rétegvastagságnyi lesüllyed, és a simító lap friss, egyenletes gyantaréteget terít a már elkészült rétegre. A lézer az új keresztmetszetnek megfelelően pásztázza végig a felületet, létrehozva és az előzőhöz tapasztva a következő réteget. A leírt folyamat addig ismétlődik, amíg a modell rétegenkénti felépítése be nem fejeződik. Miután az alkatrész elkészült, kiemelik a kádból, és kiszáradják. A felesleges alapanyagot kémiai fürdőbe merítve lemosják a modelltől. Gyakran szükséges UV-kemencében egy végső megszilárdító kezelés; majd ezután távolítják el a támaszanyagot. A felület minősége csiszolással vagy homokszórással szükség esetén tovább javítható [5] [6] [7].

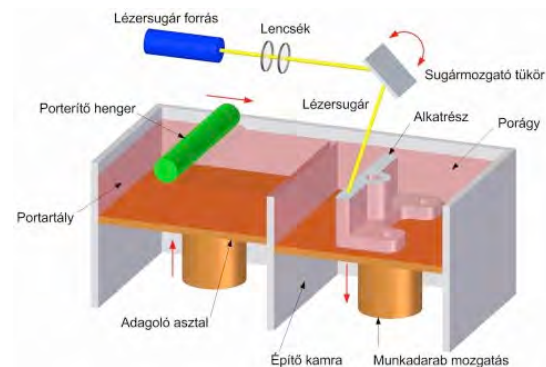


1. ábra: Lézer sztereolitográfia működési elve

#### B. Szelektív lézer szinterezés (Selective Laser Sintering, SLS)

A szelektív lézer szinterezés eljárás módját a 2. ábra szemlélteti. A sztereolitográfiahoz hasonlóan itt is mozgó asztalra, lézersugár segítségével építjük fel rétegenként a mintadarabot azzal a lényeges különbséggel, hogy a rendszer nem folyadékot polimerizál, hanem por alapú szemcséket olvaszt össze. A munkaasztalra rétegenként felhordott szemcséket a pásztázó lézersugár a megadott kontúrvonalak mentén összeolvasztja, ezután a tárgyasztal egy rétegnyi lesüllyed, a félkész alkatrészt egy henger újabb porréteggel borítja be, és az eljárás így folytatódik a modell elkészültéig [5] [6]. Az alapanyag alapesetben hőre lágyuló műanyag, de léteznek fémmel dolgozó SLS nyomtatók is.

Amennyiben különböző olvadáspontú porokat egyszerre használunk (például közvetve fémporokkal dolgozunk), a kisebb olvadáspontú műanyag a lézer hatására megolvad, ami által biztosítja a fémszemcsék közvetítő anyaggal történő egymáshoz kötését. Ebben az esetben szinte korlátlan anyagválasztékkal dolgozhatunk [7]. Az SLS eljárással a környezeti hatásoknak ellenálló, szilárd, tartós modellek készíthetők, melyek mechanikusan és termikusan is terhelhetők. Nincs szükség támasztóelemekre, viszont az elkészült mintadarab esetenként jelentős mértékű zsugorodást mutathat, a felületek utólagos megmunkálása a szemcsés-porózus szerkezet miatt nehézkes. Maga az SLS eljárás pedig igen költséges. [6] [8]



2. ábra: Szelektív lézer szinterezés működési elve

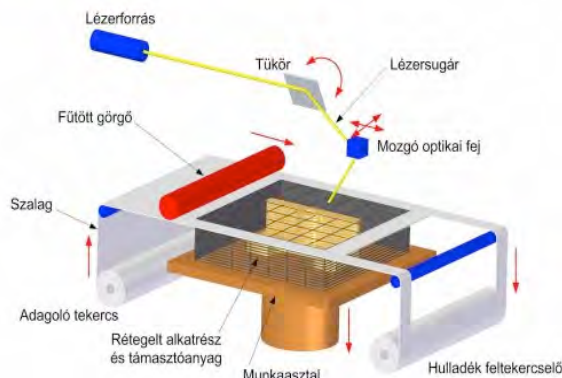
#### C. Lemezelt (vagy rétegelt) darabgyártás (Laminated Object Manufacturing, LOM)

A 3. ábrán látható LOM eljárás lényege, hogy az alapanyagot (mely lehet különböző tulajdonságokkal bíró papír, műanyag, fém, fólia, kompozit) vékony laponként, rétegenként felépítve, ragasztással és hengereléssel egymáshoz rögzítik, miközben minden egyes frissen hengerelt réteget lézersugár segítségével a megadott kontúr mentén kivágnak. A lézersugár a felesleges részeket – azok eltávolításának megkönnyítése érdekében – kis darabokra/kockákra szelektál. A felesleges anyag a modell elkészültéig a helyén marad, ott támasztófunkciót tölt be. Eltávolítása csak az építési folyamat befejezését követően, kézi erővel történik meg [7] [9].

A LOM technológia előnye, hogy az alapanyagok költsége viszonylag alacsony, nagyméretű mintadarab is előállítható (egyes típusok akár 810x560x500 mm modellnagyságra is képesek). Nem szükségesek támasztó-

elemek, az elkészült modell pedig megmunkálható (ragasztható, festhető). Hátrány viszont, hogy csak korlátozott felületminőség érhető el, a belső üregek nem gyárthatók, a z tengely mentén történő építési irányban jelentősen eltérő mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik a kész modell, továbbá – egyes anyagok alkalmazása esetében – rossz nedvességtűrő, és rengeteg hulladékanyag keletkezik [6] [8].

Bár a LOM eljárás a 3D nyomtatás alkategóriája, és az additív gyártási eljárások közé tartozik, a munkamenet ismertetése során látható, hogy – bár a modell felépítése valóban rétegről rétegre történik – a kész munkadarabról jelentős mennyiségű hulladékanyagot kell eltávolítanunk, ezért ez az irányvonal jelentős mértékű szubtraktív megmunkálási módot is igényel.

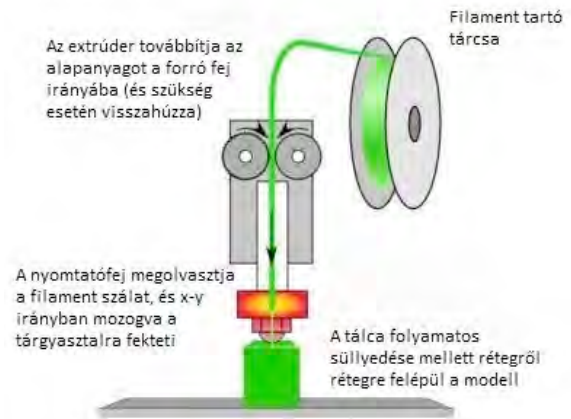


3. ábra: LOM technológia működési elve

#### D. Ömledékrétegezés vagy szálolvasztásos technológia (Fused Deposition Modelling, FDM)

Az FDM nyomtatók leginkább alkalmazott alapanyaga hőre lágyuló műanyag, melyeknek két fő kategóriája terjedt el napjainkra, az ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene, mesterségesen előállított polimer) és a PLA (Polylactic Acid, politejsav) [10] [11] [12]. Az eljárás lényege, hogy a műanyag szálát a nyomtató 180-235°C-ig felfűthető, két vagy három tengelyen mozgatható fejébe vezetjük léptetőmotoros továbbítás segítségével – ahogy a 4. ábra mutatja. A műanyag itt megolvad, és a fej kialakításának megfelelő, 0,2-0,4 mm vastag képlékeny szál képződik, mely a nyomtatófej mozgásának következtében rétegről rétegre rakódik le a tárgyasztalra. A műanyag gyorsan kihűl, aminek következtében megszilárdul, így az egyes rétegek ragasztóanyag alkalmazása nélkül gyakorlatilag egymásba olvadnak.

Jelenleg az ezen az elven működő berendezések a legolcsóbbak, és a technológia egyszerűségének, illetve számos típus szabadon fejleszthetőségének köszönhetően a leginkább elérhetőek. A PLA alapanyag kifejezetten kedvező árú és környezetbarát, nem képződik hulladék (leszámítva azt az esetet, amikor szükség van támasztóelemek alkalmazására). Az eljárás hátránya, hogy a részletgazdagság és a pontosság korlátozott, a nyomtató működése lassú nagyobb darabok elkészítése esetén, a felületi minőség néhány esetben nem kellően megfelelő, esztétikai utómunkálatok szükségessége előfordul [10]. Minden jelenlegi RepRap nyomtató FDM rendszerű, vagyis szálolvasztásos technológiával működik.

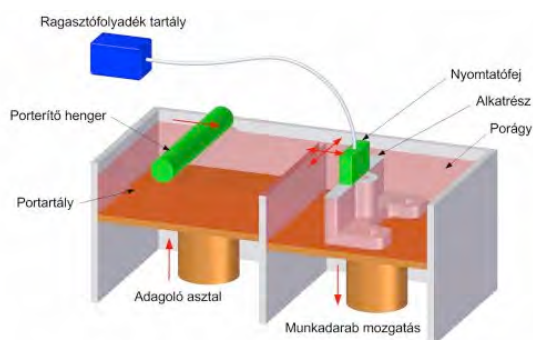


4. ábra: Az ömledékrétegezés működési elve

#### E. Térbeli nyomtatás (3D printing/Binder Jetting)

Jogosan vetődhet fel a kérdés, hogy ha a 3D nyomtatók kategóriái kerülnek felsorolásra, miképpen lehet a „3D nyomtatás” elnevezés önmagának alkategóriája. Ezen eljárás megjelenése 1995-re datálódik, amikor az MIT egyetem két hallgatója, Jim Bredt és Tim Anderson egy normál tintasugaras nyomtatót alakítottak át oly módon, hogy az finom porrétegeket ne csak síkban, hanem térben is képes legyen egymáson elhelyezni. Napjainkban ez az eljárás a Binder Jetting nevet viseli.

Az SLS-hez, vagyis szelektív lézer szinterezéshez hasonlóan ezen technológia esetében is por megkötése történik, de itt lézersugár helyett a „tintasugaras” nyomtatófejhez hasonló – abból kifejlesztett – számítógép-vezérelt kötőanyag-adagolófej működik. Ez apró cseppeként ragasztóanyagot fecskendez a mintadarab alapját képező, por alapanyagra, így építi fel rétegről rétegre a modellt az 5. ábrán látható módon. Ebben az esetben is lehetőség nyílik többféle anyag használatára. Napjainkban egyes nyomtatók akár acél vagy titánporból is képesek terméket létrehozni. [5] [13] [14]



5. ábra: 3D printing működési elve

#### F. PolyJet technológia

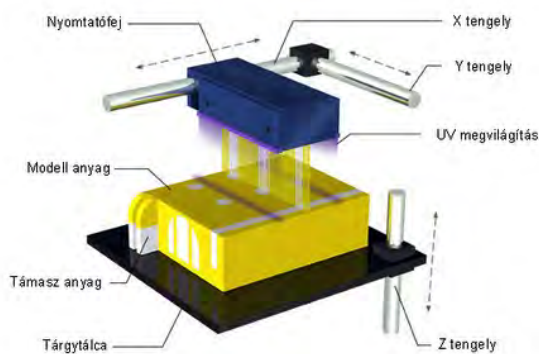
Az Objet vállalat<sup>1</sup> 2000-ben fejlesztette ki a PolyJet eljárásmódot, melynek működési elve lényegében az SLA rendszer és a 3D nyomtatás előnyeit ötvözi. Gyakorlatilag tintasugaras elven történik meg a fotopolimer anyagok nyomtatása.

<sup>1</sup> www.stratasys.com



A PolyJet készülékek két nyomtatófejjel működnek, melyek apró cseppek formájában helyezik el a felépítő anyagot és a támaszanyagot, így hozva létre a modell rétegeit. A nyomtatás alapanyaga az SLA-hoz hasonlóan folyékony, akrilát alapú fotopolimer<sup>2</sup>, ami a rétegek felhordása után UV-lámpa fényével kerül megszilárdításra. Bár nagyon pontos eljárásról van szó (egyes készülékek esetében akár 16 mikron rétegvastagság is elérhető), azonban az elkészült modell részleteinek és anyagának minősége még mindig nem éri el a sztereolitográfias eljárással létrehozottét.

A PolyJet technológia esetében a felhasználható anyagok tulajdonságai rendkívül széles skálán mozognak, készíthetők elasztikus, rugalmas, gumyszerű modellek, vagy szilárd, különböző színű, áttetsző testek is – mindez csupán az alapanyagok alkalmazásának függvénye. A technológia hátránya, hogy csak fotopolimerekkel működik, ez pedig igen drága és érzékeny alapanyag. Továbbá a modellkészítésnél minden esetben támaszték alkalmazása szükséges – melyet valamilyen utókezeléssel (vízes oldással vagy olvasztással) kell eltávolítani [5] [6]. A 6. ábrán látható a PolyJet nyomtató működése.

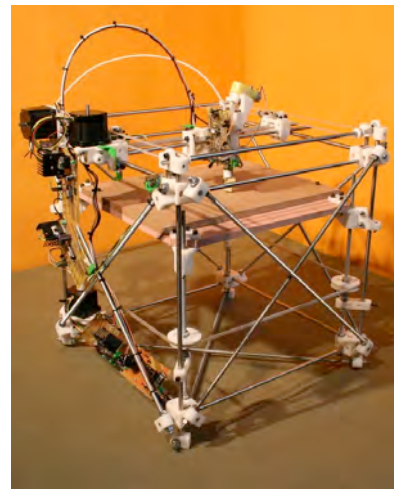


6. ábra: A PolyJet technológia működési elve

#### IV. MIT JELENT A REPRAP TECHNOLÓGIA, ÉS HOGYAN MŰKÖDIK?

Az újabbnál újabb 3D nyomtatási technológiák – bár az ipari termelésben rendkívül jelentős változásokat hoztak – mind a berendezés, mind az alapanyagok magas költségei, valamint a gyakran szükséges technikai körülmények miatt a szélesebb tömegek számára egészen a 2000-es évek elejéig, az FDM-et védő szabadalmak lejártáig nem voltak elérhetőek. 2005-ben a Bathi Egyetem professzora, Dr. Adrian Bowyer létrehozta a RepRap elnevezésű nyílt forrású, azaz szabadon fejleszhető 3D nyomtatási eljárást. A RepRap kifejezés a REplicating RAPid Prototyper szavak összevonásából keletkezett. Amint a szóösszetétel is mutatja, a cél olyan 3D nyomtatók létrehozása volt, amelyek képesek saját alkatrészeik jelentős részét legyártani. Az ilyen elven működő, első RepRap nyomtató Darwin néven 2008-ban került bemutatásra – a 7. ábrán látható –, majd ezt követte továbbfejlesztett változata, a Mendel [13]. Ezzel megkezdődött egy rendkívül költségkímélő új irányzat kifejlődése a 3D nyomtatás területén. Az úgynevezett „otthoni kitek” tér-

hódítása mindinkább teret nyert. Napjainkra a párszáz dollárért beszerezhető, „szereld magad” rendszerek már – hazánkban főképp külföldi forrásból – általánosan elérhetővé váltak.



7. ábra: Darwin, az első RepRap 3D nyomtató

A RepRap nyomtatók tervezői minden esetben arra törekedtek, hogy a számos újragyártható elem mellett a szerkezet a lehető legegyszerűbb módon épüljön föl, és a nem nyomtatható részegységek minél több könnyen beszerezhető, általános, szabványos alkatrészből álljanak. Így a csapagyak, tengelyek, léptetőmotorok, végálláskapcsolók, kábelek, kijelzők, szíjak, csatlakozók, vezetékek és ventilátorok kis utánajárással beszerezhetőek a szakáruházak polcairól. Speciális elem egyedül a nyomtatófej és a vezérlőegység két része (esetemben a számítógépet végző Arduino Mega 2560 alaplap és a motorokat vezérlő RAMPS 1.4 fedpanel), de a vezérlőprogram szintén nyílt forrású, szabadon változtatható. Mindemellett a kategóriába tartozó gépek könnyen módosíthatók, átalakíthatók, fejleszhetőek.

A RepRap nyomtatók szinte kivétel nélkül csak szét szerelt állapotban érhetőek el, ezért az ilyen kategóriájú gépek beszerzése azoknak ajánlott, akik műszaki alapismeretekben jártasak, vállalják az összeállítással járó szerelési munkálatokat, és a szerkezet tökéletesítése érdekében hajlandóak bizonyos mértékű és irányú hardvertechnikai, mind szoftveres változtatásokat végrehajtani. Mivel a RepRap eszközök nyílt forrású, szabadon módosítható rendszerek, nincs sem egységes gyártás, sem egységes értékesítés. Ebből az is következik, hogy nincs márkabolt vagy szerviz, ahová vissza lehet vinni a meghibásodott szerkezetet, a keletkező hibákat mindenkinek saját magának kell megoldania. A különböző alkatrészeket a felhasználók szabadon cserélik, azok tulajdonságait módosítják. Az így szerzett tapasztalataikat a RepRap közösségeken belül egymással megosztják, így tökéletesítve saját 3D nyomtatójukat. Ez a szabadság az elmúlt években lehetőséget adott a vállalkozó szellemű felhasználóknak, hogy gépeiket mindinkább tökéletesítsék, eredményeiket pedig nyilvános szakmai fórumokon és közösségi oldalakon megosszák egymással, biztosítva az ágazat folyamatos fejlődését.

A RepRap elnevezés létjogosultságát saját készülékem is többször bizonyította: 2015-ös szakdolgozatom egyik

<sup>2</sup> UV-fényre keményedő műgyanta.

tárgyaként sikeresen reprodukáltam az egyik 3D nyomtatott főalkatrészt, a 8. ábrán látható fejvezető kocsi, melyet magam rajzoltam SolidWorks programmal. Ezt követően az alapanyag-továbbító extruder nyomtatott alkatrésze igényelt újragyártást, illetve a folyamatos igénybevétel miatt elhasználódott tengelyrögző elemek kinyomtatását is printerem végzi – így képes önmaga folyamatos karbantartását és megújulását biztosítani.



8. ábra: RepRap nyomtatóm reprodukált és felszerelt alkatrésze

#### V. ÁLTALÁNOS ÉS KÜLÖNLEGES ALAPANYAGOK

Az otthoni szálolvasztásos (FDM) nyomtatók kategóriájában mind Magyarországon, mind nemzetközi viszonylatban két különböző tulajdonságokkal bíró alapanyag-típus terjedt el leginkább: az ABS és a PLA, melyek jellemzői röviden összefoglalva a következők.

Az **ABS** (Acrylonitrile Butadiene Styrene) mesterségesen előállított polimer. Ebből az anyagból készülnek a LEGO kockák is. Tartós, a külső behatásoknak ellenáll. Az ABS-ből készült nyomatok utólag jól megmunkálhatóak, felületkezelhetőek. UV-sugárzásra érzékeny anyag, tartós napsugárzás hatására színe megfakul, „öregszik”. Alkalmazása csak szellőztethető terekben javasolt, mert a felolvasztása során keletkező gőz egészségkárosító hatású.

Az ABS-szel kapcsolatos gyakorlati tapasztalatok a következők: ezzel az anyaggal készült modellek felülete a PLA-hoz képest mattabb, simább, egybefüggő, a szálak pontosabban kapcsolódnak egymáshoz, nyomtatás után kevésbé kivehetőek. Könnyen csiszolható, a felületi egyenetlenségek látványosan kiegyenlíthetőek. A kinyomtatott modell anyaga alacsony rétegvastagság esetén (például vékony oldalfalak) könnyen megbontható, a szálak felválhatnak. Használatához mindenképpen fűtött tárgyasztal szükséges, mivel a tálcahoz való tapadása még körtámasz nyomtatása esetén is rossz, könnyen felválk és deformálódik. [12] [15]

A **PLA** (Polylactid Acid), azaz politejsav a legnépszerűbb, magyarországi piacon is elérhető bioműanyag. Alapanyaga lehet búza, kukorica, cukorrépa, cukornád stb. A PLA egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy képes a biológiai úton történő lebomlásra, emellett komposztálható is. Szilárdsága az ABS-nél nagyobb, a nyomatok felületkezelése nehezebb. Nem mérgező, így zárt térben történő nyomtatásra is gond nélkül felhasználható. Gyakorlati tapasztalatok: a PLA-ból készített 3D modellek az ABS-szel szemben fényesebbek, csillogóbbak, a felületek durvábbak, szemcsésebbek, a nyomtatási szálirányok

könnyen kivehetőek. Szilárdsága az ABS-nél nagyobb, ezért bizonyos kialakítású modellek erősebb behatásokra eltörhetnek. A rétegek szabadkézzel nem megbonthatóak, egymáshoz megfelelően tapadnak. Használatához nem szükséges fűtött tárgyasztal, a rétegek – megfelelő előkészítés esetén – kellőképpen letapadnak, nem válnak fel [12] [15].

Fentiek mellett elérhetőek különleges alapanyagok, melyekből bár nagyon szép és különleges modellek nyomtathatók, használatuk különös körülményt és megfelelő előkészületeket igényel.

**Rugalmas/elasztikus alapanyagok** alkalmazásával gumyszerű nyomatok készíthetők, megfelelő nagyságú nyomtatási felület esetén akár saját tervezésű cipőt nyomtathatunk.

**Különböző anyagokkal kevert szálak** tekintetében elérhetőek olyan PLA alapú nyomtatószálok, melyek fa-/bronz-/kő-/rézporral keverték. A nyomtatás során a PLA kötőanyagként funkcionál, de az elkészült modell látványban a hozzáadott anyag tulajdonságait mutatja.



9. ábra: Fával kevert alapanyag

**Különleges színű alapanyagok** mind PLA-ból, mind ABS-ből elérhetőek. Ezek az alapszínektől eltérő, különleges változatok. Lehetnek bronz, foszforeszkáló, sötétben világító vagy áttetsző külsővel rendelkezők.

A **támaszanyagokat** kétféles nyomtatókhoz fejlesztették ki alátámasztási céllal. Alkalmazásával megszűnik az FDM nyomtatók alámetszési korlátja, így gyakorlatilag bármilyen forma kinyomtatható. Hátránya, hogy nagyon érzékeny, az ideális 210°C nyomtatási hőmérsékleten nem megfelelően megválasztott sebesség esetén könnyen beéghet a fejbe, maradandó károsodást okozva.

**Extra erős alapanyagok** is léteznek, ezek kőolaj alapú, extrém magas olvadáspontú filamentek. Nagyon erős, merev, szinte törhetetlen anyagok, használatuk viszont gyakorlatot és kiemelt odafigyelést igényel [16] [17].

#### VI. AZ ALAPMODELLNÉL FELMERÜLŐ NEHÉZSÉGEK, HIBÁK ÉS AZOK JAVÍTÁSA

Az otthoni RepRap nyomtatók esetében megkülönböztetünk úgynevezett hagyományos rendszerű berendezéseket, mely esetben a fej mozgása a vízszintes tengelyeken x–y irányú, z irányban a tálca mozdul el. Illetve delta típusú nyomtatókat, amelyeknél a fej mindhárom irányba elmozdul a három pár függőleges tengelyen z +/- irányban csuklós mechanizmusok által mozgatott „kocsik” segítségével, a tálca pedig rögzített. Saját nyomtatóm az utóbbi kategóriába tartozik, mely bár kevésbé elterjedt, a

hagyományostól lényegesen eltérő kialakításmódú. A könnyűszerkezetes anyagok alkalmazása, a csuklós mozgatómechanizmus modern, szinte futurisztikus megjelenést biztosít ennek a változatnak, kiemelve a hasonló árkategóriájú készülékek közül. Ezért is döntöttem ezen típus megépítése mellett.

A nyomtatóm alapkitjének megérkezését követően, az összeszerelés és kalibrálás után végzett tesztnyomatások során láthatóvá vált számomra, hogy a gép megfelelő működését és minőségi nyomatok készítését számos hiba akadályozza:

- Előfordult, hogy már az első rétegek sem tapadtak megfelelően a tárgyasztalra, a modell felvált.
- A nyomtatás során a fej – főleg az apró felületi egyenetlenségek következtében – megugrott, a rétegek így elcsúsztak.
- A modellek (alkalmanként) torzulást, vetemedést mutattak.
- Az alapanyag a nyomtatófejbe beleragadt és megszorult.
- A későbbiekben felléptek a szoftveres tervezés hibáiból, illetve a szeletelő program helytelen beállításaiából fakadó problémák is (például élek találkozásai mentén anyagfolytonossági hiány jelentkezett).

Ahhoz, hogy a nyomtatóm képes legyen olyan minőség elérésére, mellyel tizedmilliméteres pontossággal alkothatók meg a 3D modellek, számos lépés megtételére volt szükségem, legfőképp a hardver felépítésében változtatva:

- A fej kottyanását egy vékony lapnyi hőálló támasztóanyag beszorításával meg kellett szüntetni – ezáltal a nyomtatás során (legfőképp az irányváltások esetében) a folytonosság nem tört meg, a modellek felülete egyenletessé, szabályossá vált.
- Az anyag tárgyasztalról való felvételét megakadályozandó szükség volt a tálcát az alsó laphoz hozzárögzíteni úgy, hogy annak magassága és dőlése – minimális szinten – szabályozható, korrigálható legyen. A nyomtatás pedig nem közvetlenül az üveglapra, hanem egy felkasírozott, vízdoldású ragasztóval átítított papírlapra történik, mind a jobb feltapadás elősegítése, mind a nyomtatás utáni könnyű eltávolítás miatt.
- A tengelyeket tehermentesítő merev külső keret megépítése a nyomatok minőségének javítása érdekében fontos lépés volt. A kivitelezést követően a printer nyomtatás közben tapasztalható remegése teljességgel megszűnt, a rétegek elrajzolása sokkal pontosabbá vált, kevesebb hiba keletkezett, így a selejtek száma jelentősen csökkent.
- Világítás felszerelése is időszerűvé vált. A beépített fényforrás segítette mind az éjszakai munkát, mind pedig ellensúlyozta a merevítő keret árnyékolását.
- Ahhoz, hogy az extruder<sup>3</sup> biztonságosan, akadás nélkül továbbíthassa a nyomtatófejbe az alapanyagot, egy saját nyomtatású, csapágyazott tartóelemet a keretre rögzítve felkerült a filamentdob<sup>4</sup>. Ezt az

extruder már könnyedén forgatja, így nem szükséges folytonosan az anyag haladását egyengetni.

- A nyomtatófej irányába alapanyagot továbbító tefloncső és az azt rögzítő pneumatikus gyorscsatlakozók cseréjére szorultak túlmelegedés miatti anyagelakadás következtében (a filament beleragadt, és beleszakadt a bowdenbe).

Fentiek mellett – mint korábban említettem – szükség volt az extruder anyagtovábbító alkatrészének újragyártására, mivel az a folytonos használat során elkopott, valamint a tengelyrögzítő tartóelemeket is ki kellett nyomtatni, mivel a háromból kettő a folyamatos terhelés következtében elhasználódott és eltört. Mindemellett szükséges volt a nyomtatást vezérlő, szeletelő szoftver számos teszt alapján elvégzett finomhangolására (kifejezett hangsúlyt fektetve az anyagáramlás sebességére, a hőmérsékletre, a fej sebességére), valamint az úgynevezett „hidak” (a nyomtatott modell csúcsai között keletkező felesleges szálak) elkerülése érdekében a retraction<sup>5</sup> opció megfelelő beállítására. A 10. ábrán látható az átalakított 3D nyomtató.



10. ábra: Az átalakított nyomtatóm

Az elmúlt két év során számos alkalommal kerestem fel a magyarországi 3D nyomtató forgalmazókat kiállításokon, rendezvényeken, bemutatókon és nyílt napokon. Tapasztalataim azt mutatják, hogy – bár a hazai forgalomban is kapható, márkanévvel ellátott készülékek letisztult külsővel bírnak, mégis rendelkeznek számos alapvető hiányossággal, melyek közül sokkal nyomtatóm építése során magam is szembesültem. Nenek említése nélkül bizonyos gyártók típusai

- magas áruk ellenére nem rendelkeznek fűtött tárgyasztallal;
- csak az előre adathordozóra kiírt G-kóddal<sup>6</sup> vezérelhetők, közvetlenül (USB-n vagy WIFI-n keresztül) nem, így a nyomtatás menete közben nincs mód a paraméterek megváltoztatására;
- nincs merev váz, így a szerkezet nyomtatás közben rezonál;

<sup>3</sup> Extruder: léptetőmotoros anyagtovábbító szerkezet.

<sup>4</sup> Filamentdob: a nyomtató oldalára rögzíthető felcsévélő alapanyag-tároló.

<sup>5</sup> Retraction: az extruder a fejtől ellenkező irányba húzza vissza az alapanyagot.

<sup>6</sup> G-kód: a nyomtatófej mozgását vezérlő programkód.



- csak saját alapanyagokkal működnek, az elterjedt típusokkal nem (az összetétel megegyezik, a kiszereles nem);
- a tálca bizonyos típusoknál nem eltávolítható, így ha a kész modell erősen odaragad, az eltávolítás következtében történő behatások a tárgyasztalt deformálhatják;
- a folyamatos mechanikus igénybevétel miatt a fejhez kapcsolódó elektromos vezetékek elszakadnak;
- az anyagtovábbítás a nem megfelelő kiképzés miatt gyakran elakadással jár.

Összefoglalva: bár a 3D nyomtatás otthoni felhasználási iparága az elmúlt rövid időszakban jelentős fejlődésen ment keresztül, és ez az előrehaladás a közeljövőre vetítve mindinkább növekvő tendenciát mutat, az otthoni készülékek mind a mai napig rendelkeznek alapvető hiányosságokkal, megoldásra váró problémákkal. És bár a saját márkánévvel rendelkező termékek gyártói bizonyos szintű garanciaszolgáltatást is nyújtanak termékeik mellé, az nem váltja ki a felmerülő kisebb-nagyobb buktatókat.

Ha igazán szép és minőségi nyomtatásokat szeretnénk előállítani, maximálisan kihasználva szerkezetünk lehetőségeit, akkor egy előre összeszerelt 3D nyomtató megfelelő beállítása is jelentős időbefektetésbe (és próbálkozásba) kerül, egy szabadon változtatható kit pedig már az összeszerelés megkezdésétől fokozott mértékű felkészültséget, türelmet és kitartást igényel. Elengedhetetlen a műszaki beállítottság és a téma iránti érdeklődés, így lelkesedésünk akkor sem hagy alább, ha első próbálkozásaink nem hozzák meg az elvárt eredményt.

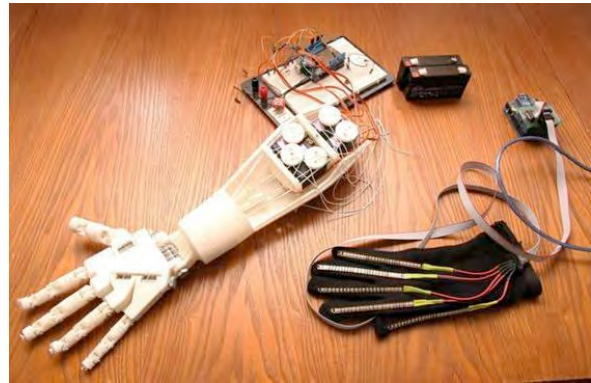
## VII. MIRE HASZNÁLHATÓ AZ OTTHONI 3D NYOMTATÁS?

Az előző fejezetben összefoglaltam, hogy milyen nehézségek fordulhatnak elő az otthoni 3D nyomtatásban. Most rávilágítok arra, hogy mire is képes egy kifejezetten otthoni használatra épített RepRap gép, valamint milyen lehetőségek rejlenek ebben az ágazatban. Az otthoni 3D nyomtatás még annyira új irányvonal, hogy felhasználási területe lényegében a végfelhasználók egyéni kreativitásán múlik. Számos közösségi oldal jött létre, ahol az alkotók megoszthatják egymással modelljeiket, ötletet meríthetnek, csiszolhatják elképzeléseiket.

Mivel a helyesen beállított nyomtatóval elkészített elemek minősége a fröccsöntött műanyagok szilárdságát közelíti, és felületi minősége is megfelel a támasztott elvárásoknak, valamint a kész tárgyak szilárdak, tartósak, a környezeti hatásoknak ellenállnak, és jól bírják a mechanikai igénybevételt is (lásd a nyomtató rögzítő-tartó elemeit), a felhasználási lehetőségek tárháza szinte korlátlan. Mind esztétikai, mind funkcionális modellek is megfelelő minőségben előállíthatók, bár az előbbieket a tökéletes látvány érdekében némi utókezelést igényelhetnek (polírozás, festés).

RepRap nyomtatónkkal előállíthatunk olyan alkatrészeket, melyek önmagukban nem pótolhatók, külön nem beszerezhetők. Így nyomtathatunk eltört/elvesztett csatlókat háztartási gépeinkhez, fogantyúkat, kiegészítőket telefonhoz, műszaki berendezésekhez. Lehetőségünk van autók belteréből hiányzó, letört elemeket pótolni, vagy akár saját emblémát tervezni. Kinyomtathatjuk kedvenc akcióhősünket, tervezhetünk egyedi telefontokot, vagy előállíthatunk magunknak saját Oscar-díjat eredeti méret-

ben. Gyárthatunk durvább felbontású építészeti maketteket, előállíthatjuk 3D szoftverrel készített vizsgaanyagok, szakdolgozat-témák modelljeit. Készíthetünk drónt vagy saját tervezésű mini robotot (leszámlítva persze a nem műanyag alkatrészeket), továbbá – megfelelő tervek esetén – akár szemléltető anatómiai modelleket is kinyomtathatunk. És nem utolsósorban előállíthatjuk RepRap nyomtatónk számos alkatrészét. A 11. ábrán egy otthoni technológiával nyomtatott, működő és vezérelhető robotizált alkar látható.



11. ábra: Otthoni technológiával nyomtatott, működő és vezérelhető robotizált alkar

Az FDM technológiákat sikerrel alkalmazzák a művészetek és divat terén is, használják eszköz- és szerszámgyártásra és az oktatásban éppúgy, mint játékok készítésére. A felsorolás szinte a végtelenségig folytatható, a közösségi kreativitásban rejlő lehetőségek száma korlátlan.

## VIII. KITEKINTÉS AZ IPARI FELHASZNÁLÁSRA

A 2000-es évekre egyre több iparágban váltotta fel a 3D nyomtatás a hagyományos gyártástechnológiákat. A repülőgépipar, autóipar és a legkülönbözőbb gyártási területek ekkorra már szinte nélkülözhetetlen eljárás módokként alkalmazták a 3D nyomtatást mind szemléltető, mind prototípus-tesztelési céllal. Az ezredfordulót követően a luxusiparban is megjelentek a 3D nyomtatók: az i.materialise<sup>7</sup> vállalat a világon elsőként alkalmazta a technológiát 14 karátos aranyat, illetve 92%-os tisztaságú ezüstöt használva alapanyagként [13]. Ma már a filmipar is előszeretettel használ 3D nyomtatási eljárás módokat: a Vasember című mozifilmek főhőse, Robert Downey Jr. páncéljének elemei, illetve a Mars, Mentőexpedícióban látható űrruhák sisakjainak speciális részei is 3D nyomtatási technológiával készültek [10].

Az Objet-PolyJet technológia jóvoltából lehetőségünk van a színes (azaz több színből álló) nyomtatásra, illetve a felhasználható anyagok tulajdonságai is rendkívül széles skálán mozognak: gumyszerű tárgyakat, rugalmas testeket is nyomtathatunk. Más technológiák (SLS, FDM) segítségével pedig felhasználhatunk különböző fémeket, fa, illetve kerámia alapú anyagokat, de akár ehhez adalékot is.

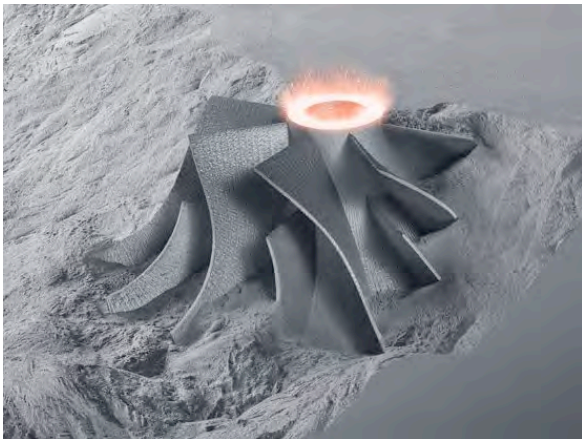
Fontos irányvonal az orvostudomány, mely kiemelt jelentőséggel bír a 3D nyomtatás területén. Mivel teljes egyezés két ember között még egytetű ikrek esetében sem lehetséges, minden implantátum és protézis elkészí-

<sup>7</sup> <https://i.materialise.com/>

tése csak egyedileg, prototípusgyártásként történhet. Az eljárás folyamata során a beteg testrészéről célirányosan készített 3D-s CT-felvételek alapján megtörténik a digitális CAD modell elkészítése, melyből különböző eljárások segítségével, gyors prototípusgyártási eljárással előállítható a kívánt pótlásra szolgáló elem (legyen az csipőprotézis, gipszet helyettesítő merevítés, koponyaacsont-pótlás, fogba helyezendő inlay vagy titánból készült állkapocs. Az orvosi alkalmazásra használt anyagok kiváló röntgenáteresztő képességgel rendelkeznek, az alkalmazott műanyagok biológiailag összeférhetőek, és kiválóan rögzülnek a csontokhoz [6] [13].

És most rugaszkodjunk el kicsit a földtől. A NASA először 2013-ban kezdte alkalmazni a 3D nyomtatás módszerét rakétaalkatrészek előállításához, majd 2014-ben a fejlődés újabb fontos állomásához ért: a Made In Space névre keresztelt, 2010-ben alapított vállalat által speciálisan mikrogravitációs környezetre készített 3D nyomtatója 2014. szeptember 21-én kijutott a világűrbe, és megkezdte munkáját a Nemzetközi Űrállomáson. Az asztronauták többek között működő és felhasználható szerszámokat készítettek vele [18] [19].

2016 év elejére elkészült az eddigi legnagyobb 3D nyomtatott repülőgép-alkatrész: az Airbus, a The Living, az Autodesk és az APWorks közösen elkészített egy bionikus térelválasztót, ami az A320-as gépeken az utasteret választja el a repülőgép konyhájától. Az elkészült alkatrész majdnem 50%-kal könnyebb és jóval erősebb is, mint a hagyományos változat, emellett – figyelembe véve, hogy az Airbus a világ egyik vezető repülőgépgyártója, az A320-as pedig az egyik legnépszerűbb típus a légitársaságok körében – a CO<sub>2</sub> kibocsátás csökkentésével sokkal környezetbarátabbá teheti a légiközlekedést [21]. Ezt az eljárását az alábbi ábra szemlélteti:



12. ábra: Fémalatrész készül szelektív lézer szinterezés eljárással

2016 májusában pedig megérkezett Angliába Európa legnagyobb SLS gépe, mely 550x550x500 mm-es munkatérrel rendelkezik, változatos polimerekkel és porokkal működik.<sup>8</sup>

## IX. MIRE SZÁMÍTHATUNK A JÖVŐBEN AZ OTTHONI KÉSZÜLÉKEK TERÉN?

Jelenleg a szálolvasztásos (FDM) 3D nyomtatási technológia a legolcsóbb, bonyolultságát tekintve pedig a leginkább használható az otthoni felhasználók körében is. A nyomtatási alapanyag (ABS és PLA, illetve egyéb, speciális tulajdonsággal rendelkező szálak egyaránt) olcsón beszerezhető; egy 750 gramm súlyú tekercset 7 500 Ft-tól már megvásárolhatunk. Az ilyen típusú gépek üzemeltetéséhez pedig nem szükséges ipari környezet, kiemelt szakértelem, és a filamentek sem mérgezőek. Az irányzatban szereplő FDM készülékek és alapanyagok utóbbi 5 évben történt hirtelen árcsökkenése az ide vonatkozó szabadalmak lejártával, és az ezáltal kiélesedő piaci versennyel, új szereplők belépésével magyarázható.

A szelektív lézer szinterezést védő szabadalmak 2014-ben lejártak [22]. Ez pedig az FDM technológiához hasonlóan nagy valószínűséggel ebben a szegmensben is lényeges árcsökkenést, és az SLS alapú gépek terjedését fogja maga után vonni. Erre máris láthattunk példákat: a Kickstarter<sup>9</sup> ötletmegvalósításra létrejött közösségi gyűjtőoldalon a közelmúltban két kezdeményezés is létrejött az első alacsony költségű SLS 3D nyomtató piacra dobására. Mindkét készülék ára nagyságrendileg 2 millió Ft, és műanyag alapú porral működik. Bár ez az összeg még messze áll az otthoni megvalósítás lehetőségétől, de ahhoz képest lényeges előrelépés, hogy ez a technológia a sokszor nagyobb bekerülési költsége miatt mindeddig kizárólag ipari felhasználásra volt elérhető. A megszülető kezdeményezésekből látható, hogy a 3D nyomtatás technikájának szinte minden fő és mellékágában újabb és újabb fejlesztések történnek, illetve új szereplők lépnek be a versenybe, ezáltal még inkább fokozva annak erősését.

Ha lehetőségünk lesz elérhető áron felhasználóbarát 3D nyomtatót vásárolni, átalakulhatnak szokásaink, mivel sok terméket saját magunknak is előállíthatunk, illetve 3D nyomtatással helyettesíthetünk. Már most számtalan szabadon letölthető és használható STL alapú 3D modell találunk különböző internetes oldalakon, így még csak megterveznünk sem kell a modellünket, elég annak rajzát letöltenünk valamelyik honlapról. Az alapanyagok széleskörű alkalmazási lehetőségei pedig egyes nyomtatók esetében azt is lehetővé teszik, hogy akár ehető dolgokból, például csokoládéból karikat nyomtassunk.

Az eddig leírtakat összefoglalva kijelenthetjük, hogy a 3D nyomtatás otthoni lehetőségei az elmúlt években végbement változásokat alapul véve hatalmas potenciált rejtenek magukban, és a háztartásokban megjelenő 3D nyomtatók a következő években alapjaiban formálhatják át a fogyasztói szokásokat, a termelést, a kereskedelmet, és talán az egész gazdasági rendszert – a mobiltelefonok vagy a személyi számítógépek elterjedéséhez hasonlóan. A pár éve még csak a sci-fikben látott jelenetek már ebben az évtizedben valósággá válhatnak. Elképzelhetőnek tartom egy olyan rendszer kialakulását, amikor a termék gyártója csak nyomtatóját juttatja el a fogyasztóhoz, aki a megvásárolt licenck alapján a gyártó honlapján kiválasztott árut egy gombnyomással otthonában ki is nyomtathatja. És ha még ennél is tovább gondolkodunk, elképzelhetjük, ahogyan pizzarendelés helyett csak letöltjük az étel „receptjét”, ami alapján printerünk a behelyezett

<sup>8</sup> Ricoh AM S5500 [20]

<sup>9</sup> <https://www.kickstarter.com/>



alanyagok felhasználásával elkészíti mirelit jellegű ételünket.

Az áttéréshez már minden adott, a technológia elérte a megfelelő fejlettségi szintet. Csupán az alkotóelemek összeillesztésére van szükség, és ezáltal egy utolsó lépés megtételére, mely a kibontakozóban lévő új ipari forradalomnak mindent elsőprő lendületet adhat.

#### HIVATKOZÁSOK

- [1] Braun Tibor: Guttenbergtől egy új kémiaig? 3D nyomtatás és nyomtatók térben és időben. In: Magyar kémikusok lapja LXVIII. Évfolyam 11. szám, 2013. november (338-343. oldalig)
- [2] Wikipedia.com: Charles W. Hull élettörténete és munkássága. [https://en.wikipedia.org/wiki/Chuck\\_Hull](https://en.wikipedia.org/wiki/Chuck_Hull). Utolsó látogatás: 2016. május 22.
- [3] Charles W. Hull: Sztereolitográfia szabadalmi bejegyzése. 1984. augusztus 8. <http://www.google.com/patents/US4575330> Utolsó látogatás: 2016. május 22.
- [4] Parametric-art - Új ipari forradalom: 3D nyomtatás. A 3D nyomtatás a 21. század egyik legnagyobb találmánya. [www.parametric-art.com](http://www.parametric-art.com) Utolsó látogatás: 2016. május 22.
- [5] Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János: A polimertechnika alapjai, Kempelen Farkas Hallgatói Információs Központ, 2007. (tankonyvtar.hu). A tankönyv elektronikus formában is elérhető: <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/polimertechnika-alapjai/ch15s02.html> Utolsó látogatás: 2016. május 22.
- [6] Ficzere Péter okleveles gépészmérnök: Gyors prototípus numerikus és kísérleti szilárdsági analízise – Doktori értekezés a Ph.D. fokozat megszerzésére, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar, Járműelemek és Járműszerkezetanalízis Tanszék, Budapest, 2014.
- [7] Sarka Ferenc, Dr. Sente József: Interaktivitás a tervezésben és a prototípusgyártásban. Nemzeti Tankönyvkiadó (Sanoma company), Budapest, 2009.
- [8] Kovács Norbert Krisztián doktorandusz: Additív gyártástechnológiák, Gyors prototípus-és szerszámgyártás, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék, Budapest, 2013. október 2.
- [9] Kovács József Gábor – Gyors prototípusgyártás, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem /előadás, prezentáció 2012. október.
- [10] Kalani Kirk Hausman, Richard Hore: 3D printing for dummies, John and Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2014.
- [11] Szerző ismeretlen, Útmutatás és segítség 3D nyomtatási kérdésekben. Freedee Printing Solutions <http://www.freedee.hu/nyomtatasi-utmutato-2> Utolsó látogatás: 2016. május 22.
- [12] Szerző ismeretlen, Alanyagok összehasonlítása. A megfelelő anyag kiválasztása, útmutató és tulajdonság-ismertetés az FDM alanyagokkal kapcsolatban. 3D nyomtató shoppe <http://3dnyomtato.shoppe.hu/pages/3d-nyomtato-alanyagok-osszehasonlitasa> Utolsó látogatás: 2016. május 22.
- [13] Ihács Ferenc: 3D nyomtatás: mi van a motorháztető alatt? Összefoglalás a 3D nyomtatás fejlődéséről, az egyes különálló ágak kialakulásáról 2013. július 30 <http://www.hsw.hu/hirek/50690/3d-nyomtatasi-objekt-makerbot-repraptudomany.html> Utolsó látogatás: 2016. május 20.
- [14] Jamillah Knowles: Behind the rise of the 3D printing revolution. 2012.12.08. <http://thenextweb.com/insider/2012/12/08/behind-the-rise-of-the-3d-printing-revolution/#gref> Utolsó látogatás: 2016. május 22.
- [15] Szerző ismeretlen, Herz Hungária Kft. A PLA műanyag szálak tulajdonságai <http://herz-filament.com/1-PLA-muanyag-szal/Az-osszes-termek-megtekintese.html> Utolsó látogatás: 2016. május 22.
- [16] Szerző ismeretlen, Amorff Factory: Miből nyomtassam ki magam? 2014. November 14. <https://amorffactory.wordpress.com/2014/11/14/mibol-nyomtassam-ki-magam/> Utolsó látogatás: 2016. május 22.
- [17] Dienes Endre, Bitshapes Kft: 3D nyomtató alanyagok <http://bitshapes.hu/shop/alanyagok> Utolsó látogatás: 2016. május 22.
- [18] Made in space project: The first 3D printer in space <http://www.madeinspace.us/> Utolsó látogatás: 2016. május 21.
- [19] Szerző ismeretlen, Origo Techbázis: Már az űrben is lehet 3D nyomtatni. A Nemzetközi Űrállomás térbeli printerével próbaalkatrészeket gyártanak. 2014. 11.26 <http://www.origo.hu/techbazis/20141126-mar-az-urben-is-lehet-3d-nyomtatni.html> Utolsó látogatás: 2016. május 22.
- [20] Szerző ismeretlen, Freedee Blog: Megérkezett Európába a Ricoh csúcnyomtatója. 2016. május 18. <http://freedee.blog.hu/2016/05/18/megerkezett-europaba-a-ricoh-csucsnyomtatoja> Utolsó látogatás: 2016. május 22.
- [21] Gönczy Tamás: Az eddigi legnagyobb 3D nyomtatott repülőgép alkatrész. 2016. február 1. <http://www.cnc.hu/2016/02/az-eddigi-legnagyobb-3d-nyomtatott-repulegep-alkatresz/> Utolsó látogatás: 2016. május 22.
- [22] Szerző: 3D nyomtatás különböző technológiákkal II. – az SLS eljárás. 2013. augusztus 14. <https://3dnyomtato.wordpress.com/2013/08/14/3d-nyomtatasi-kulonbozo-technologiakkal-ii-az-sls-eljaras> Utolsó látogatás: 2016. május 22.

#### ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Lézer sztereolitográfia működési elve, Sarka Ferenc, Dr. Sente József: Interaktivitás a tervezésben és a prototípusgyártásban. Nemzeti Tankönyvkiadó (Sanoma company), Budapest, 2009.
2. ábra: Szelektív lézer szinerezés működési elve, Sarka Ferenc, Dr. Sente József: Interaktivitás a tervezésben és a prototípusgyártásban. Nemzeti Tankönyvkiadó (Sanoma company), Budapest, 2009.
3. ábra: LOM technológia működési elve, Sarka Ferenc, Dr. Sente József: Interaktivitás a tervezésben és a prototípusgyártásban. Nemzeti Tankönyvkiadó (Sanoma company), Budapest, 2009.
4. ábra: Az ömledékrétegzés működési elve <http://www.slideshare.net/chadmairn/introducing-3d-design-and-printing-50569271>
5. ábra: 3D printing működési elve, Sarka Ferenc, Dr. Sente József: Interaktivitás a tervezésben és a prototípusgyártásban. Nemzeti Tankönyvkiadó (Sanoma company), Budapest, 2009.
6. ábra: A PolyJet eljárás működési elve, <http://www.hsw.hu/hirek/37203/object-alaris-30-3d-polyjet-photopolymer-printer-nyomtato.html>
7. ábra: Darwin, az első RepRap 3D nyomtató <http://hup.hu/cikkek/20080408/onreplikalo-3d-nyomtato-gp-l-alatt>
8. ábra: RepRap nyomtatóm reprodukált és felszerelt alkatrésze, saját fotó
9. ábra: Fával kevert alanyag, [http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product\\_id=1093#.V0NCOvmLSCg](http://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=1093#.V0NCOvmLSCg)
10. ábra: Az átalakított nyomtatóm, saját fotó
11. ábra: Otthoni technológiával nyomtatott, működő és vezérelhető robotizált alkar <https://www.rt.com/news/324744-robot-arm-for-iss/>
12. ábra: Fémalkatrész készül szelektív lézer szinerezés eljárással <http://www.tctmagazine.com/tct-show-3d-printing-exhibition/trumpf-set-to-combine-tech-for-new-metal-3d-printing-system/>