

3D printing technologies

Gábor Zakhar

Data Talks AB, Kungsbrolan 3A, Stockholm 112 27, Sweden, g.zakhar@gmail.com

Abstract

The rapid development of the 3D printing industry in the recent period resulted in several different technologies appearing on the market. All of these technologies are technologies intended to specifically meet the expectations of industry or other customers (private individuals, small and medium-sized companies). Each of them has different advantages and disadvantages, so that each user can select and put into operation the most suitable machine for the intended purpose. This article presents the following common technologies.

Keywords: 3D printing; FDM/FFF; SLA; SLS; PolyJet; LOM

3D nyomtatás felhasznált technológiái

Zakhar Gábor

Data Talks AB, Kungsbrolan 3A, Stockholm 112 27, Svédország, g.zakhar@gmail.com

Absztrakt

A 3D nyomtatási iparág rohamos fejlődése az elmúlt időszakban azt eredményezte, hogy a piacon több, egymástól eltérő technológia is megjelent. Ezek a technológiák mindegyike egy az ipar vagy más vevők (magánemberek, kis- és középvállalatok) elvárásainak specifikusan megfelelni kívánó technológiák. Mindegyik más-más előnyökkel és hátrányokkal rendelkezik, így az egyes felhasználók a gyártani kívánt célnak legmegfelelőbb gépet tudják kiválasztani és üzembe állítani. Jelen cikk az alábbi elterjedt technológiákat mutatja be: FDM/FFF, SLA, SLS, PolyJet, LOM.

Kulcsszavak: 3D nyomtatás; FDM/FFF; SLA; SLS; PolyJet; LOM

1. Bevezető

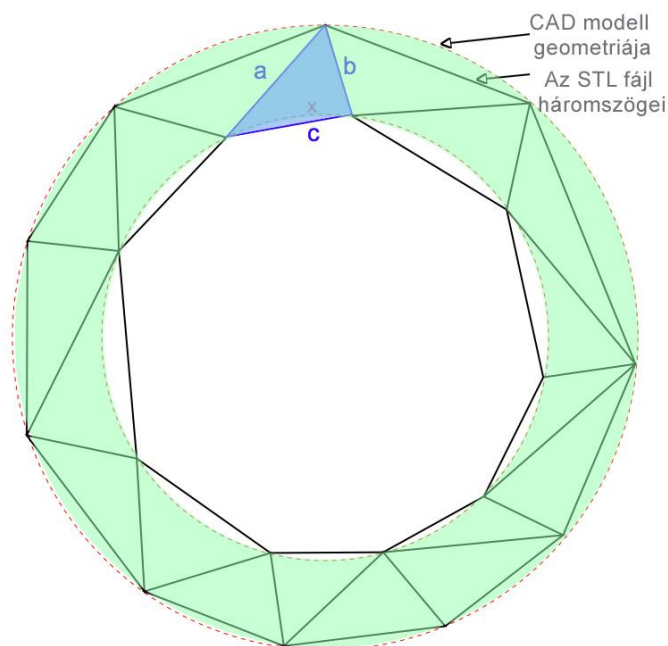
A 3D nyomtatási iparág rohamos fejlődése az elmúlt időszakban azt eredményezte, hogy a piacon több, egymástól eltérő technológia is megjelent. Ezek a technológiák mindegyike egy az ipar vagy más vevők (magánemberek, kis- és középvállalatok) elvárásainak specifikusan megfelelni kívánó technológiák (Horváth és Kurucz 2017). Mindegyik más-más előnyökkel és hátrányokkal rendelkezik, így az egyes felhasználók a gyártani kívánt célnak legmegfelelőbb gépet tudják kiválasztani és üzembe állítani. Felsorolás formájában megemlítem a jelenlegi főbb technológiákat, azonban bővebben csak azokat mutatom be, amelyekkel volt szerencsém „személyesen” is találkozni, és amelyekkel a későbbiekben elkészített és letesztelt alkatrészek leggyártódtak. Jelen cikk az alábbi elterjedt technológiákat mutatja be: FDM/FFF, SLA, SLS, PolyJet, LOM.

2. Polyjet (Objet) technológia

Ez a technológia többek között ötvözi a később bemutatásra kerülő sztereolitográfias eljárás (SLA) alapjait (Stratasys 2022), illetve a 3D nyomtatás rétegről rétegre történő építkezési módszerét. Az alapanyagok (egyszerre akár több színű és fajtájú is lehet) fényérzékeny műgyanták, melyeknek megszilárdítását egy UV tartományban sugárzó fényforrás végzi. Az eljárás során több nyomtatófejből, akár csak a papírra való nyomtatás során, apró cseppek formájában érkezik a szobahőmérsékleten folyékony halmazállapotú modell- és a támaszanyag.

2.1. Felépítés

Maga a Polyjet eljárás egy szoftveres feldolgozással kezdődik, ahol a kész modellt egy STL (stereolithography file format, az STL nyelv más néven szabványos háromszögek nyelve vagy szabványos tesszalációs nyelv) fájlformátumban kell megnyitni a nyomtató szoftverében (Stratasys 2022). Ez a fájlformátum egy standard, ami az összes tervező szoftverben megtalálható, de manapság az ingyenesen elérhető 3D szoftverek alap „tartozéka” is lett a 3D nyomtatás térnyerésének köszönhetően. A fájlformátum a már említett Chuck Hull és cége, a 3DSystems nevéhez fűződik. A fájl lényege, hogy a végleges, kész, megrajzolt háromdimenziós tárgyunkat, háromszögekből álló rétegekre bontja (1. ábra) (Stratasys 2022).



1. ábra Az STL fájl felépítése

A modellt felépítő felületek e háromszögekből épülnek fel, melyeket a nyomtató szoftvere képes olyan rétegekre és koordinátákra bontani, amely kezelhetővé válik egy Polyjet vagy FDM nyomtató számára (2. ábra). A szoftver a 3D nyomtatás előkészítése során létrehozza a beállított rétegvastagságnak megfelelő vízszintes keresztmetszeteket. Ebből a szempontból is ideális az STL fájl, ugyanis a modell vízszintes metszetei nagyon pontosan készíthetők el. Az egymás fölé kerülő vízszintes keresztmetszetek alapján állapítja meg a program, hogy hová kerül modellanyag és mely részekre szükséges támaszanyagot nyomtatni. Majd ez alapján optimalizálja a nyomtató fejmozgását, figyelembe véve az egyes fűvókák (abban az esetben, ha a nyomtatónk több fejjel is rendelkezik) egyenletes terhelését is.



2. ábra Polyjet nyomtató munka közben

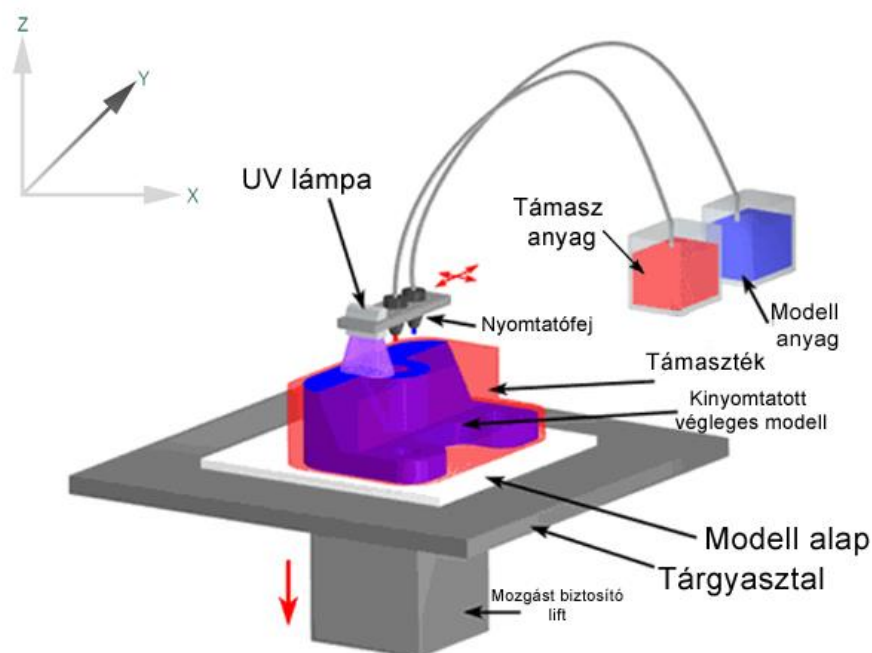
A nyomtatás alapanyagai a Polyjet technológiánál, úgynevezett alapanyag kazettákban tárolódnak (3. ábra). A kazetták különleges fényzáró borítással vannak ellátva, annak érdekében, hogy a nyomtatás megkezdéséig semmilyen fény ne érhesse az alapanyagokat. A nyersanyagok ezekben a kazettákban folyadék formában találhatóak meg. Ez a folyadék halmazállapotú anyag fog a későbbiekben 16 mikron méretű cseppek formájában kilökődni a nyomtató fejéből (Stratasys 2022).



3. ábra Polyjet alapanyag kazetta

Bizonyos geometriai formák esetén annak érdekében, hogy a modell elkészíthető legyen, szükséges a végleges forma megtámasztása támaszanyag segítségével. A támaszanyag általában eltérő összetételű, mint a végleges kívánt anyag, egyértelműen abból a célból, hogy a folyamat végén maradéktalanul eltávolítható legyen. A támaszanyagok helyét, mennyiségét és fajtáját a nyomtatási folyamatot megelőzően a szoftveres beállításokban szükséges beállítani, de lehetőségünk van, a szoftver automatizmusát választunk. Ekkor a szoftver automatikusan határozza meg a nyomtatás paramétereit alapján, hogy hova és milyen mennyiségű támasztékot célszerű elhelyezni.

Nyomtatás során magában a nyomtató fejben nem jön létre magas hőmérséklet mint az FDM nyomtatók esetében, a nyomtatás itt kizárólag szoba hőmérsékleten történik (4. ábra) (Stratasys 2022). Egyes korai típusú 3D nyomtatóknál a folyamat közben a nyomtatófej fix és kizárólag tárgyasztal végez mozgást X, Y és Z irányban. Azonban a napjainkban használatos és elterjedt ipari célú nyomtatókban a folyadékot szállító fej az, amely a tér X és Y irányában mozog, miközben a tárgyasztal a Z tengely mentén függőleges mozgást végez (Stratasys 2022).



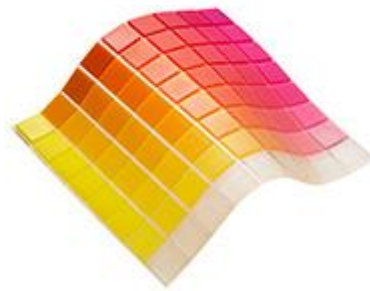
4. ábra Polyjet nyomtatás

Ahhoz, hogy a végleges kész modellünk sérülés nélkül levehető legyen a tárgyasztalról, szükségünk van egy alapra, amelyről könnyen eltávolítható. Ez az alap, nyomtató típusonként eltérő lehet, de bizonyos esetekben használható erre a célra egy támasz anyagból felépített vékony alapréteg is.

2.2. Polyjet technológiánál felhasználható anyagok

A Polyjet technológia talán az a 3D nyomtatási technológia ahol a felhasználható alapanyagok száma igen jelentős (Stratasys 2022). Már napjainkban is több száz különböző végeredményre képes ez a nyomtatási technológia és a lehetőségek tárháza rohamosan bővül. Az alapanyagok tekintetében fontos megemlítenünk ennél a technológiánál, hogy lehetőségünk van keverni a különböző színű és tulajdonságú anyagokat. Így már pusztán a végeredmény színét tekintve is több száz alternatívánk van és még csak a színeknél tartunk. A Polyjet technológiával lehetőségünk van különböző anyag típusok szimulálására is (Stratasys 2022). Nyomtathatunk gumyszerű anyagokat, válogathatunk a Shore értékek közül a célunknak megfelelően, elérhetünk üvegszerű átlátszó anyagot, hő ellenállású propilént és különböző merevséggel bíró polimereket (Czvikovszky és Nagy és Gaál 2003). Ezeket röviden digitális anyagoknak nevezzük. Ebben a pontban a teljesség igénye nélkül (terjedelmi okokból, hisz több mint 140 anyagról beszélünk) felsorolásra és bemutatásra kerül néhány olyan Polyjet technológiánál használatos alapanyag, amellyel szerencsém volt megismerkedni a dolgozatom elkészítése során (Czvikovszky és Nagy és Gaál 2003).

Digitális anyagok: Ezek az anyagok kettő vagy három fotopolimer ötvözése során jönnek létre. Lehetőségünk van nem csak a színeket keverni, de a végleges árnyalatnak tulajdonságot is adni. Itt készülhetnek a gumyszerű, digitális ABS vagy különböző Shore értékű nyomtatott darabok (5. ábra).



5. ábra Polyjet technológiával nyomtatott digitális színpaletta

Fogászati alapanyagok: A Polyjet technológiával lehetőségünk nyílik orvosilag engedélyezett és biokompatibilis anyagok nyomtatására. Ezek az anyagok orvosilag bevizsgáltak és engedélyezettek, a 16 mikronos pontosságnak köszönhetően pedig alkalmasak bármilyen forma vagy lenyomat készítésére.

Szimulált polipropilén: Fejlett, szimulált polipropilén anyag, amely magas tartósságot, keménységet és gyors prototípusgyártást tesz lehetővé. Shore A keménységre képes és

kifejlesztésüknel szem előtt tartották, hogy az alapanyag „iroda barát” legyen. Nyomatás közben semmilyen káros anyag nem szabadul fel, így a prototípusgyártás akár a tervező asztalunk mellett is történhet.

Digitális ABS: Az iparban használt ABS anyagok szimulálására szolgál. Az olyan elemeknél, amelyek végleges formájukban ABS anyagból fognak készülni, ezzel az anyaggal már a tervezés első percétől kezdve érezhetjük, tapinthatjuk azokat a tulajdonságokat, amiket el szeretnénk érni a végleges terméknel. Nagy hőállóságú és teherbírású anyagok nyomtatására is alkalmas.

Természetesen az itt felsorolt anyagok csak töredéke annak a palettának, amiből ennél a technológiánál válogatni lehet. Érdekes szem előtt tartanunk, hogy a különböző nyomtatókhoz különböző, a gyártó által meghatározott anyagok használhatóak. A nyomtatót a kívánt alapanyaghoz kell megválasztanunk és nem fordítva. Érdekes tehát olyan 3D nyomtatókat gyártó és forgalmazó cégeknél érdeklődnünk, amelyeknél a nyomtatható anyagok skálája széles, így biztosan megtalálhatjuk azt a nyomtatót, amely a számunkra kívánatos anyagot nyomtatni képes (6. ábra) (Stratasys 2022).



6. ábra Kombinált anyagok nyomtatása Polyjet technológiával

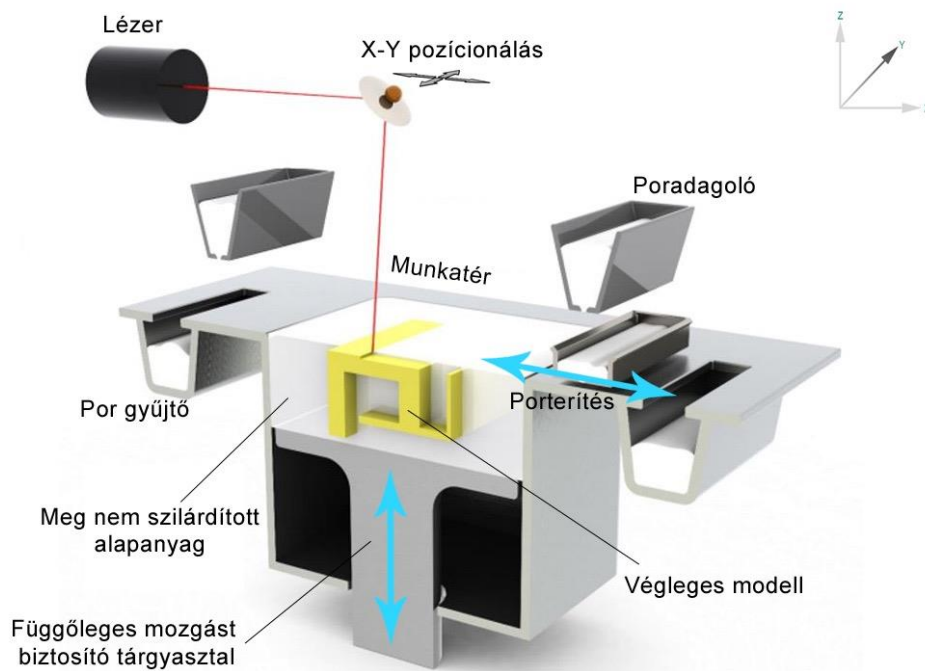
3. SLS technológia

Az SLS technológia, más néven Szelektív Lézer Szinterezés, szintén az 1980-as években került bemutatásra. Itt is ismerős nevekkel találkozhatunk, hisz a technológiát Carl Deckard és Joe Beaman fejlesztette és jegyezte be a texasi egyetemen. Az SLS merőben eltérő technológia mint az előbb megismert Polyjet, habár a felhasznált bemeneti forrásai (STL fájl) azonosak. Az eltérő

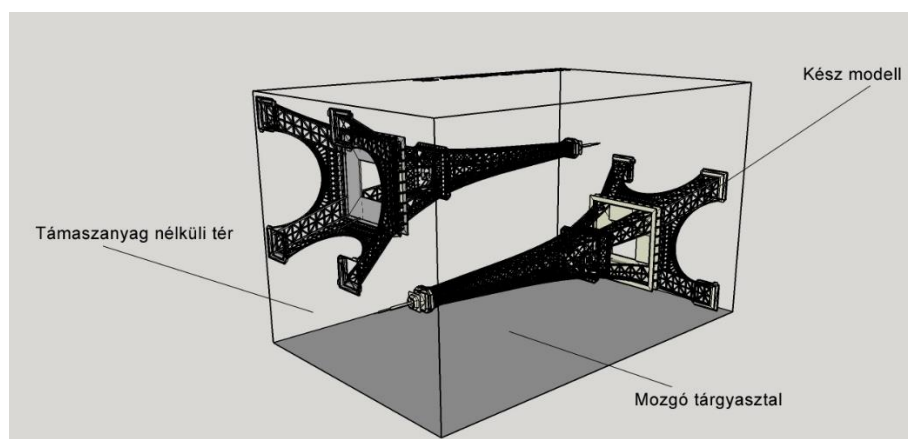
technológiának köszönhetően a felhasznált anyagok tárháza is megváltozott és olyan anyagokat használhatunk fel ebben a technológiában, mint a fémek, kerámiák vagy az üveg.

3.1. *A technológia alapjai*

Az előzetesen megrajzolt 3D modellünket ennél az eljárásnál is a már ismert STL formátumú fájlban, megfelelő rétegekre kell felbontani, amiket később a nyomtató saját vezérlő szoftvere használni tud a nyomtatás során (Stratasys 2022). Az eljárás lényege, hogy a 3D nyomtató munkafelületén a kívánt rétegvastagságban (ez akár 10 mikron is lehet!) a készülék finom por (általában poliamid) állagú alapanyagot terít el, amelyet aztán rétegről rétegre a modell geometriájával közös keresztmetszeteken egy lézersugárral megolvaszt, minden egyes réteg vonatkozásában „szelektíven”, vagyis csak azon a területen, ahol az adott modell adott magasságban lévő „szeletének” területe azt megkívánja. Az olvadást követően pedig az alapanyag azonnal megszilárdul. Ez a technológia különösen nagy pontosságot tesz lehetővé, lévén, hogy a lézersugár jelentősen pontosabban pozícionálható, mint például a Polyjet rendszereknél megismert nyomtatófej, amely tengelyek mentén, mechanikusan mozog. További pozitívuma ennek a poliamidporral történő lézeres 3D nyomtatásnak, hogy segítségével – a szomszédos részecskék nagy hőmérsékleten történő megolvasztásának és összeragasztásának köszönhetően – a már jól ismert fröccsöntött darabokat megközelítő mechanikai tulajdonságokkal fog rendelkezni az így készült alkatrész vagy prototípus. Mivel az alapanyag ennél a technológiánál megolvad, így alakítva ki a végleges rácsszerkezetét, ezért itt szükséges a megfelelő hőmérséklet. Ezt a hőmérsékletet nagy energia felhasználása miatt nem 100%-osan a gépben lévő lézerrel érik el, hanem egy zárt térbe helyezik a nyomtatási folyamatot, ahol akár egy sütőben, az alapanyag olvadáspontjának közelébe emelik a hőmérsékletet. Így a tényleges munkát végző lézernek töredék energia is elég, hogy a megadott helyen olvadásig hevítse az alapanyagot. Ennek a munkatérben uralkodó folyamatos emelt hőmérsékletnek „köszönhető” az a kellemetlenség, hogy az ilyen technológiával készült termékek, a nyomtatás végeztével nem vehetőek azonnal kézbe (7. ábra) (Stratasys 2022).



7. ábra Az SLS technológia elméleti ábrája. A munkatér zárt, előfűtött munkaterület. Ahogy az elméleti ábrán is láthatjuk, az SLS technika egyik fontos eltérése a Polyjet technológiával szemben, hogy a késztermék bármilyen geometria mellett elkészíthető támaszanyag felhasználása nélkül. Mivel a munkateret teljes egészében rétegről rétegre feltöltjük porral, így az elkészült végleges modellt megtartja az alatta elterülő, felhasználatlan alapanyag. Ez a tulajdonság azon felül, hogy támaszanyagot spórolunk, azt is eredményezi, hogy a teljes munkaterületet kihasználhatjuk egy nyomtatás során. Amíg az FDM vagy Polyjet technológiáknál szükséges egy alap, amelyre felépül a modell és a bonyolultabb vagy vékonyabb geometriák megtámasztásra szorulnak, addig az SLS technológiánál szabadon helyezhetjük el a nyomtatni kívánt tárgyakat a rendelkezésre álló tér bármely pontján (8. ábra). Ezen tulajdonsága miatt alkalmas ez a technológia akár sorozatgyártásra is (Stratasys 2022).



8. ábra Lehetséges munkatér az SLS technológiával

A 7. ábrán láthatjuk, hogy a rendelkezésre álló egész teret kitölthetjük egyetlen nyomtatás során. A támaszanyag nélküli teret a meg nem szilárdított por alapanyag tölti ki. Természetesen az alkatrészek egymástól való távolsága, egy a gép által meghatározott minimumnál nem lehet kevesebb (Stratasys 2022).

Hátrányaként említhető meg ennek a technológiának, a kész munkadarabok „kibányászása” a munkatérből. Mivel a nyomtatás végeztével a teljes munkatérünket por tölti ki, ezért a végeredmény kiszedése során nagy mennyiségű hulladék keletkezik a helységben ahol a nyomtató üzemel. Ezért a gyártók és forgalmazók javaslata szerint is, az ilyen SLS technológiájú gépeket egy külön erre a célra fenntartott helységben célszerű üzemeltetni. A nyomtatás során fel nem használt alapanyagpor újrahasonosítása nem célszerű, mivel az esetlegesen a porrészecskék közé keveredő szennyező anyagok ronthatják az olvadás során létrejövő anyag minőségét, bizonyos esetekben teljesen tönkre is tehetik a nyomtatott alkatrészt. Ebből az okból kifolyólag célszerű az SLS gépeket nem egy alkatrész vagy prototípus kinyomtatására használni, hanem a lehető legtöbb szükséges elemet elhelyezni a munkatérben és egyszerre akár több száz alkatrészt is kinyomtatni egy futásban.

Ezzel a technológiával is lehetséges színes alapanyag nyomtatása, azonban a gép felépítéséből adódóan egyszerre csak egy színt tud használni. Több színű modellek elkészítésére ilyen formában nincs lehetőségünk.

3.2. Az SLS technológiánál felhasználható anyagok

A felépítendő modell alapjaként szolgáló por anyaga lehet hőre lágyuló polimer (PA, PC, PVC, ABS), azonban alkalmazhatunk fémport, illetve kötőanyaggal ellátott kerámiaporokat is. A felhasználható anyagok listája itt sem rövid, azonban sajnálatos módon a technológia ritkasága és a különböző technikai licenzek miatt, a gyártók által elérhető alapanyagokról fellelhető információk limitáltak. Azonban egy rövid felsorolásban és néhány ismertető leírás kíséretében, bemutatom a technológiához elérhető leginkább felhasznált anyagokat.

SLS Nylon 12: Az egyik legnépszerűbb LS anyag. Gyors nyomtatást tesz lehetővé ezzel csökkentve a költségeket. Egyaránt erős és tartós valamint kémiai ellenálló. Mechanikai tulajdonságainak köszönhetően nem csak prototípusok gyártására alkalmas, hanem akár végleges kész termékeket is készíthetünk belőle. Tulajdonságait tekintve az FDM technológiánál használatos Nylon 12 testvére, por alakban, így az extrudáláshoz képest nagyobb pontosság érhető el azonos anyagi tulajdonságok mellett.

Nylon 11: Szintén gyors és tartós gyártást érhetünk el vele, azonban pozitív tulajdonságai közé tartozik, hogy Nylon 12-től eltérően több olyan adalékanyag került hozzáadásra, amely tűzállóságot biztosít. Az ebből az anyagból készülő alkatrészek megfelelnek a FAR25.853-as repülőipari szabványnak, mely a tűz elleni védelem és a hő hatására kipárolgó toxikus anyagok illetve füst mennyiségét szabja meg. Ezen tulajdonságai miatt kerül felhasználásra jelenleg is olyan nagy cégeknél, mint az Airbus.

A6 acél: Ez az alapanyag valójában egy keverék szerszámacélból és bronzból. Lehetőségünk van a technológiához képest gyors gyártásra nem csak prototípus, hanem késztermék végeredménnyel is. Felhasználható végleges szerszámokhoz vagy kopó igénybevételnek kitett betétekhez egyaránt. Utólagosan bármilyen felületi megmunkálás végrehajtható az ebből az anyagból készült alkatrészeken.

CastForm™ PS műanyag: Kimondottan öntőformák készítéséhez kifejlesztett (polystyrol bázisú) alapanyag, amely a végleges öntés előtt viasszal átítható így növelve az öntött felületi minőséget.

„Alumide“: Olyan különleges keverék, melynek alap összetevője poliamid, azonban olyan anyagokkal párosítják mint az alumínium vagy karbon, üveg és az ezüst. Ezáltal a felület nyomtatás után, a kizárólag poliamidból készült alkatrészekhez képest, merőben más felületi tulajdonságokkal rendelkezik.

Az SLS technológiához hasonló, de specializálódott eljárás a DMLS (Direct Metal Laser Sintering, Fémporok Lézeres Szinterezése). Ezen eljárásban olyan különleges anyagokat használhatunk fel tisztán, ötvözés nélkül, mint a réz, ezüst, alumínium, rozsdamentes acél, szerszámacél vagy arany. Természetesen a gyors fejlődés és a rengeteg kielégítendő elvárásnak megfelelően a felhasználható anyagok mennyisége és azok tulajdonságai rohamtempóban szaporodnak napjainkban is. Ezért a témában érdeklődőknek vagy a téma felé kíváncsian tekintő gyártásban érdekelt piaci szereplőknek, érdemes szemmel tartani az iparágat, hisz lehetséges, hogy a ma még nem elérhető anyagok, holnap már nyomtatható formátumba kerülnek (9. ábra) (Stratasys 2022).



9. ábra Az Airbus A380-as egyik eleme, amely DMLS technológiával készült rozsdamentes acélból. A gyártási technológiának köszönhetően a háttérben látható régi alkatrészhez képest merőben optimalizált változatban.

4. Összefoglalás

Napjainkban a rohamosan fejlődő technika világában elkerülhetetlen és tulajdonképpen szükségzerű, hogy a technológiák fejlődésével párhuzamosan új gyártástechnológiák is megjelenjenek, a még pontosabb, egyszerűbb, gyorsabb, költséghatékonyabb, additívabb gyártások érdekében. Egy ilyen viszonylag fiatal és új gyártástechnológia a 3D nyomtatás. Kezdeti gondolatok ellenére egy igen-igen összetett, bonyolult és többrétű, a mai napig folyamatosan fejlődő technológiával találjuk szembe magunkat. A cikkben bemutatott technológiák mindegyike adott alkalmazásokban előnyös, így optimális alkalmazási területük eltérő.

Irodalomjegyzék

Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J. (2003). A polimertechnika alapjai. Műegyetemi Kiadó, Budapest.

Horváth Á., Kurucz A. (2017). A 3D nyomtatás története és jövőbeli kérdései. "Ifjúság - jövőképek", pp 1-11.

Stratasys (2022). Industrial, Commercial, & Professional 3D Printers, 3D Printers by Stratasys - Unlock Endless Possibilities [online]. Link: <https://www.stratasys.com/3d-printers/technologies>

Stratasys (2022). FDM Technology (2022) [online]. Link: <<https://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/fdm-technology>>

Stratasys (2022). PolyJet Technology. [online]. Link:

<<https://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/polyjet-technology>>

Stratasys (2022). Materials. [online]. Link:

<<https://www.stratasys.com/materials>>

Rövid szakmai életrajz

Zakhar Gábor webfejlesztőként dolgozik Stockholmban. Felsőfokú tanulmányait a Dunaujvarosi Egyetemen végezte gépészmérnök alapszakon, de mindig is érdeklődött az informatika iránt. Érdekli a hegymászás, síelés és a nagy ponty horgászat Magyarország vad vizein.