



B4

Változat: 7

Kiadva: 2026. április 21.

**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
POLIMERTECHNIKA TANSZÉK**

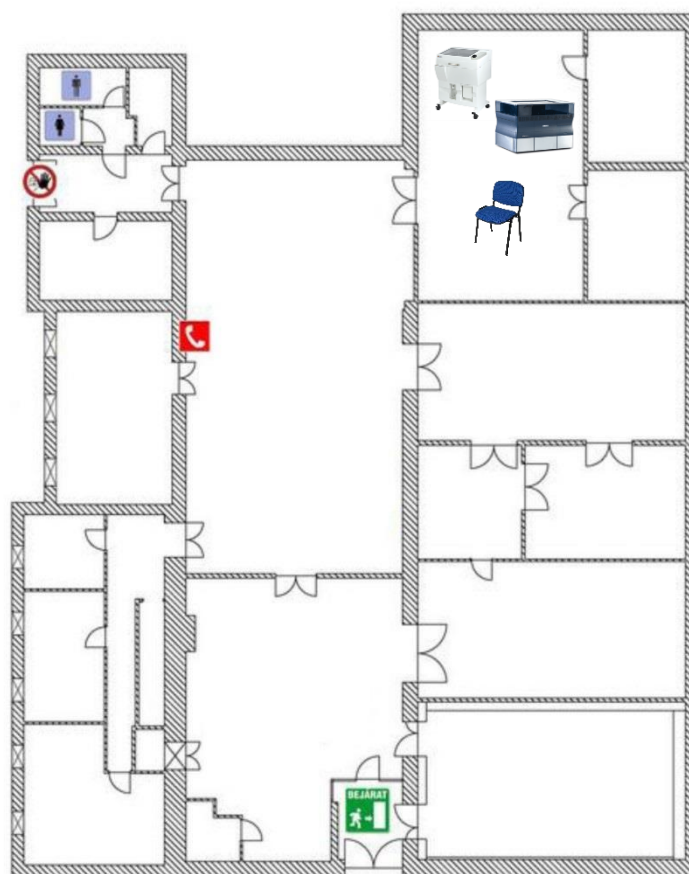
MT épület

RPT/RT

POLIMER TERMÉKEK KISSZÉRIÁS GYÁRTÁSA

**A JEGYZET ÉRVÉNYESSÉGÉT A TANSZÉKI WEB OLDALON KELL ELLENŐRIZNI!
WWW.PT.BME.HU**

A LABORGYAKORLAT HELYSZÍNE AZ MT ÉPÜLET!



MT
épület

TARTALOMJEGYZÉK

1. A GYAKORLAT CÉLJA	3
2. ELMÉLETI HÁTTÉR	3
2.1. A GYÁRTÁS ELŐKÉSZÍTÉSÉHEZ SZÜKSÉGES DIGITÁLIS MODELLADATOK	4
2.2. ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁK	5
2.3. JELLEMZŐ FDM/FFF HIBÁK TECHNOLÓGIAI BEÁLLÍTÁSOK SZERINT	12
2.4. KISSZÉRIÁS TERMÉKGYÁRTÁS	16
3. A LABORGYAKORLAT SORÁN HASZNÁLT GÉPEK, BERENDEZÉSEK	19
3.1. A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB SZAVAK ANGOLUL, NÉMETÜL	20
4. FELHASZNÁLT IRODALOM.....	21
MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV	22

1. A gyakorlat célja

A gyakorlat célja, hogy a hallgatók laboratóriumi környezetben közvetlenül is megismerkedjenek a különböző polimer alapú additív gyártási technológiákkal, különös tekintettel a MEX (extrúzió alapú) 3D-nyomtatásra. A gyakorlat során a hallgatók rövid áttekintést kapnak az SLA és a PolyJet technológiákról is, valamint betekintést nyernek abba, hogy a 3D-nyomtatás miként támogathatja a kisszériás termékgyártást és a gyors szerszámozást.

A gyakorlat központi eleme a MEX technológia működési elvének, fontosabb beállítási paramétereinek, valamint a leggyakoribb nyomtatási hibák felismerésének és értelmezésének megismerése. Ennek keretében a hallgatók hibás nyomtatási paraméterekkel előállított terméket vizsgálnak, azonosítják a kialakult hibát, meghatározzák annak valószínű okát, és javaslatot tesznek a hiba megszüntetésére.

2. Elméleti háttér

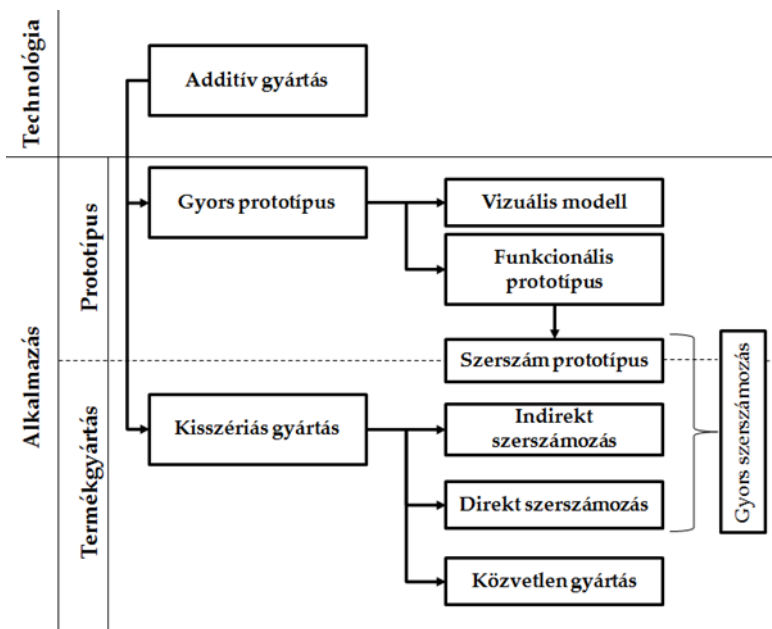
Napjaink termékfejlesztési folyamataiban egyre nagyobb szerepet kapnak azok az eljárások, amelyek lehetővé teszik, hogy a digitálisan megtervezett alkatrészek rövid időn belül fizikai formában is előállíthatók és vizsgálhatók legyenek. Ennek különös jelentősége van a tervezési változatok gyors ellenőrzésében, a konstrukciós hibák korai felismerésében, valamint a gyártás előkészítésében.

Az additív gyártástechnológiák (AM, Additive Manufacturing) olyan eljárások összefoglaló neve, amelyek a digitális 3D-modell alapján, rétegről-rétegre építik fel a kívánt testet. Az additív gyártás jelentősége abban rejlik, hogy a virtuális modell viszonylag rövid idő alatt fizikai alkatrésszé, prototípussá vagy bizonyos esetekben akár késztermékké alakítható.

Az additív gyártás egyik legfontosabb alkalmazási területe a prototípusgyártás, mivel jelentősen lerövidíti a digitális terv és a kézzel fogható modell közötti időt. A prototípusok segítségével a tervezett alkatrész alakja, mérethelyessége, szerelhetősége, illetve bizonyos esetekben működése is ellenőrizhető. A prototípus lehet szemléltetési célú úgynevezett vizuális prototípus, de készülhet olyan kivitelben is, amely funkcionális vizsgálatok elvégzésére is alkalmas.

Az additív gyártás szerepe ugyanakkor nem korlátozódik a prototípusok előállítására. Megfelelő technológia és alapanyagválasztás mellett lehetőség van kisszériás termékgyártás támogatására, valamint olyan gyártás-előkészítési feladatok megvalósítására is, amelyek során az additív gyártás közvetlenül vagy közvetve a szerszámkészítésben kap szerepet. Ennek megfelelően

az additív gyártás a termékfejlesztés, a prototípuskészítés és a kis darabszámú gyártás területén egyaránt fontos eszközzé vált (1. ábra).



1. ábra Additív gyártástechnológiák alkalmazási területei

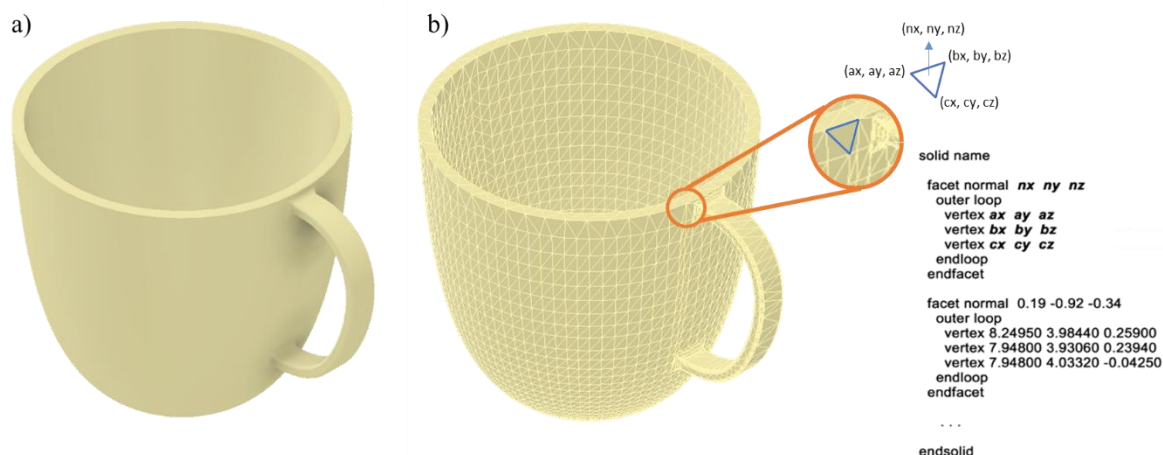
Az additív gyártási folyamatok közös jellemzője, hogy minden esetben egy digitális 3D-modellből indulnak ki. A gyártás megvalósításához ezért szükség van olyan adatállományra, amely a modell geometriáját a berendezés számára értelmezhető formában írja le. Ennek egyik legelterjedtebb formátuma az STL-fájl.

2.1. A gyártás előkészítéséhez szükséges digitális modelladatok

Az additív gyártástechnológiák közös jellemzője, hogy minden esetben szükség van a gyártani kívánt termék **digitális 3-dimenziós modelljére**. 3D-s modell előállítására többféle lehetőségünk van: készíthetjük modellező szoftverrel (tetszőleges CAD-programokkal), már meglévő tárgyat 3D-szkennelhetünk vagy készíthetjük CT- vagy MRI-felvételek alapján is.

Mivel az additív gyártástechnológiák rétegről-rétegre építik fel a terméket, ezért szükséges a 3D-s modellünk felületének ismerete, majd a modell rétegvastagságnak megfelelő szeletekre történő darabolása. Ahhoz, hogy a modell a gyártóberendezés vagy a szeletelő szoftver számára feldolgozható legyen, a geometriát megfelelő fájlformátumban kell exportálni. A gyakorlatban az egyik legismertebb formátum az **STL (Standard Tessellation Language)**, amely hosszú ideje elterjedten használatos a 3D-nyomtatásban.

Az STL-fájl (2. ábra) a test felületét háromszögelt hálóval közelíti. Előnye, hogy egyszerű, széles körben támogatott, és a legtöbb CAD- és szeletelőprogram képes kezelni. Hátránya ugyanakkor, hogy elsősorban csak a geometriai alak leírására szolgál, ezért nem tárol részletes gyártási vagy anyaginformációkat. Emiatt a mai gyakorlatban az STL sok esetben inkább egy egyszerű átmeneti formátumként jelenik meg a tervezés és a szeletelés között.



2. ábra A 3D-s modell (a) és a felületet közelítő (leíró) STL formátum (b)

A modern additív gyártási munkafolyamatokban egyre nagyobb szerepet kap a 3MF (3D Manufacturing Format) fájlformátum. A 3MF-et kifejezetten additív gyártási adatcserére fejlesztették, és a geometria mellett további információkat is képes kezelni, például színt, anyagjellemzőket és egyéb gyártáshoz kapcsolódó metaadatokat. Ennek gyakorlati előnye, hogy a modellhez tartozó fontos információk nagyobb biztonsággal megőrizhetők a tervezéstől a szeletelésig. Ez különösen akkor előnyös, ha az alkatrész több testből áll, többféle anyagot vagy színt használ, illetve ha a nyomtatás orientációjához vagy egyéb gyártási jellemzőihez kapcsolódó információkat is meg kell őrizni.

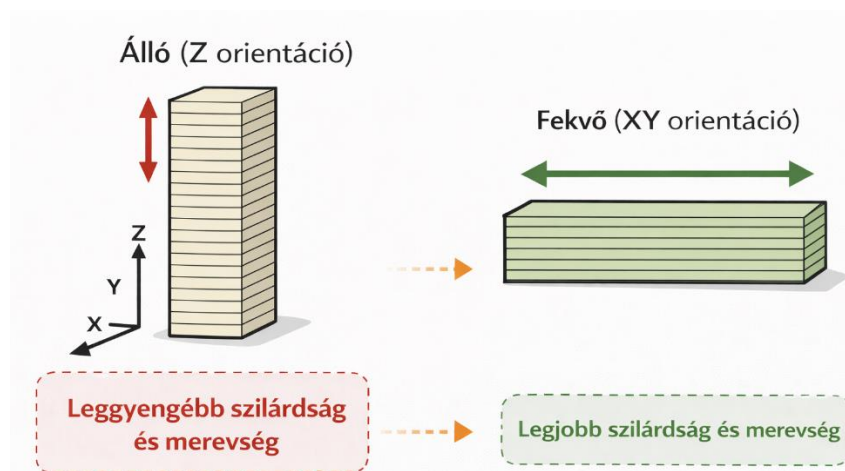
Összefoglalva azt mondhatjuk, hogy az STL egy egyszerűbb, klasszikus formátum, amíg a 3MF korszerűbb megoldás, mert nemcsak a geometriát, hanem a gyártás szempontjából fontos kiegészítő információkat is képes együtt kezelni.

2.2. Additív gyártástechnológiák

Amíg a legtöbb gyártástechnológia **lebontó** jellegű, azaz a kívánt geometria előállítását az alapanyag eltávolításával – pl. forgácsolás, marás esetén – érik el, addig az additív gyártástechnológiák esetén a kívánt alakot **rétegről-rétegre** (layer-by-layer), **anyaghozzáadás** útján

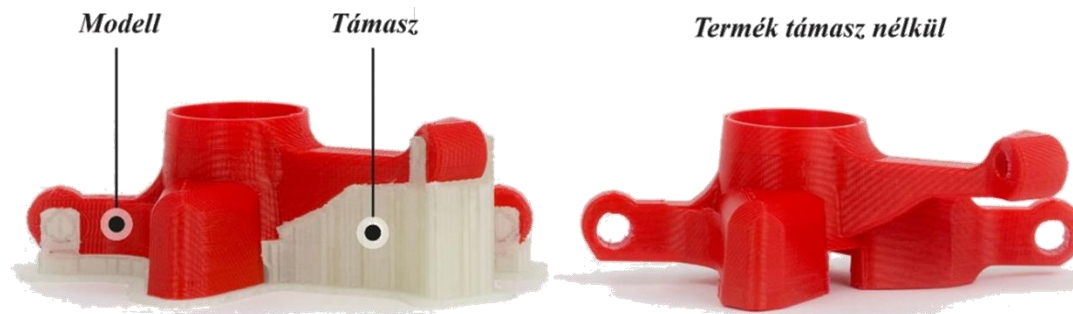
hozzák létre. Ez a felépítési mód az additív gyártás egyik legfontosabb sajátossága, amely számos technológiai és szerkezeti következménnyel jár.

A réteges felépítés következtében az additív gyártással készült alkatrészek tulajdonságai sok esetben irányfüggők, azaz anizotróp jellegűek (3. ábra). Ennek oka, hogy a rétegek közötti kapcsolat gyakran gyengébb, mint a rétegen belüli kapcsolat. Az anizotrópia mértéke az alkalmazott technológiától, az alapanyagtól és a gyártási orientációtól is függ.



3. ábra Az anizotrópia szemléltetése additív gyártással készült alkatrészek esetén

A rétegről rétegre történő felépítés további sajátossága, hogy bizonyos geometriai elemek — például túlnyúlások, üregek vagy nagyobb áthidalások — esetén a gyártás során megtámasztásra lehet szükség. A támaszrendszer kialakítása az alkalmazott technológiától függ: egyes eljárásoknál külön támaszanyag készül (4. ábra), amíg más esetekben a körülvevő porágy vagy az adott eljárás sajátosságai részben kiválthatják azt. A támaszok alkalmazása jelentősen befolyásolja a gyárthatóságot, a felületminőséget, az utómunkálatok szükségességét és a gyártási időt is.



4. ábra Modell gyártás közbeni megtámasztása

Az **additív gyártástechnológiák (AM-technológiák)** sokféleképpen csoportosíthatók. A jelen gyakorlat szempontjából ezek legegyszerűbben a felhasznált alapanyag formája alapján tekinthetők át. Ennek megfelelően megkülönböztethetünk poralapú eljárásokat, amelyeknél a modell

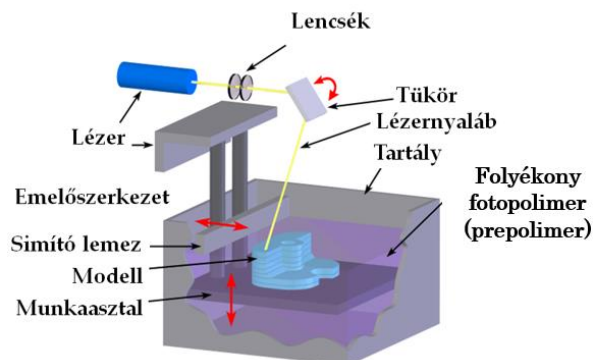
porszemcsék összeolvasztásával épül fel, mint például a szelektív lézeres szinterezés (SLS), illetve kötőanyaggal történő egyesítésével, mint a 3D printing eljárás esetében; fotopolimer alapú technológiákat, amelyeknél a folyékony gyanta sugárzás hatására szilárdul meg; extrúzió alapú eljárásokat, amelyek során a megömlesztett anyag rétegről rétegre kerül lerakásra; valamint olyan technológiákat is, amelyek lapokból vagy lemezekből építik fel a kívánt testet, például a réteges kivágás és felépítés elvén működő LOM (Laminated Object Manufacturing) eljárást. A laboratóriumi gyakorlat során ezek közül a hallgatók közvetlenül a fotopolimer alapú és az extrúzió alapú technológiákkal találkoznak, ezért a továbbiakban ezek kerülnek részletesebb bemutatásra.

2.2.1. Fotopolimer alapú gyártástechnológiák

A fotopolimer alapú technológiák közé több eltérő működési elvű eljárás tartozik. Közös jellemzőjük, hogy folyékony, fény hatására térhálósodó gyantából indulnak ki, amely sugárzás hatására megszilárdul. A modellépítés során **kémiai folyamat játszódik le**, azaz a monomereket és oligomereket tartalmazó **gyanták térhálósodnak**. **Fotopolimerek esetében a térhálót eredményező, jellemzően polimerizációs láncreakció sugárzás hatására indul meg**, és rövid idő alatt (a másodperc tört része alatt) végbe is megy. A gyakorlatban a megszilárdításhoz használt sugárzás jellemzően az UV-tartományba esik, hullámhossza pedig többnyire 385–405 nm.

A fotopolimer alapú eljárások egyik csoportját a kádas fotopolimerizációs technológiák alkotják, amelyek közös jellemzője, hogy a folyékony fotopolimer alapanyag egy tartályban helyezkedik el. E csoport legfontosabb képviselői a **sztereolitográfia (SLA)** és a **digitális képfeldolgozás (DLP)** eljárások.

Az **SLA** az egyik legkorábbi, iparilag is elterjedt additív gyártástechnológia. Az eljárás során a folyékony fotopolimer alapanyagot UV lézer segítségével térhálósítják ([videó](#)). Az alapanyag egy tartályban helyezkedik el, amelyben a munkaasztal is található. A lézer a modell adott keresztmetszetét követve megszilárdítja az adott réteget, majd a munkaasztal egy rétegvastagságnak megfelelően elmozdul és a következő réteg kialakítása megtörténik (5. ábra). A folyamat a termék elkészültéig ismétlődik.



5. ábra SLA eljárás elve

Az SLA technológiával előállított alkatrészek általában jó felületi minőséggel és nagy pontossággal készíthetők el, ugyanakkor a gyártást követően utókezelésre is szükség van. Ennek része a felesleges, nem térhálósodott gyanta eltávolítása, valamint az utótérhálósítás, amely hozzájárul a végleges tulajdonságok kialakulásához. A technológia során szintén szükség lehet támasz alkalmazására.

Előnyei:

- kiváló felületi minőség jellemzi a termékeket,
- nagy pontosság érhető el,
- a gyanta töltő- vagy erősítőanyagokat is tartalmazhat,
- összetett geometriák is előállíthatók,
- a térhálósítatlan gyanta újrahasznosítható.

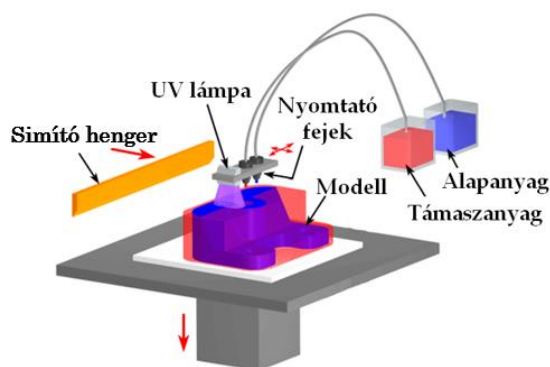
Hátrányai:

- támasz alkalmazása szükséges,
- a berendezés és az alapanyag költséges,
- utókezelést és utótérhálósítást igényel.

A **DLP** szintén kádas fotopolimerizációs eljárás. Működési elve hasonló az SLA technológiához, azonban itt nem lézer rajzolja ki pontonként a keresztmetszetet, hanem a rendszer a teljes réteget egyszerre világítja meg projektorral vetített fény segítségével. Emiatt a DLP egyes esetekben gyorsabb lehet, mint a lézeralapú megoldások, különösen akkor, ha nagyobb felületű rétegeket kell előállítani.

A fotopolimeres eljárások másik csoportját a **tintasugaras (inkjet)** eljárások képviselik, amelyek közé a **PolyJet** tartozik.

A **PolyJet** eljárás ([videó](#)) során a nyomtatófej apró folyékony műgyanta-cseppeket juttat a tárgyasztalra, amelyeket UV-sugárzás rétegről-rétegre megszilárdít (6. ábra). A polimerizációs láncreakció szabad gyökös, a gyantában lényegében csak a besugárzás alatt alakulnak ki kötések, térhálós polimert hozva létre. A technológia sajátossága, hogy a modell bizonyos részeinek gyártásához támaszanyagra is szükség lehet, amelyet az alapanyagtól eltérő anyagból hoz létre a berendezés. A támaszanyag a gyártást követően lemosással távolítható el. Egyes esetekben a könnyebb eltávolítás érdekében nátrium-hidroxid vizes oldatában történő előkezelésre is szükség lehet. A további fejlesztések eredményeként ma már akár több különböző mechanikai és fizikai tulajdonságú anyag is nyomtatható egy munkadarabon belül a felhasznált alapanyagok kombinálásával.



6. ábra: PolyJet eljárás elve

Előnyei:

- kiváló felületi minőség jellemzi a termékeket,
- nagy pontosság és jó részletvisztaadás érhető el,
- kis rétegvastagság mellett is dolgozhat,
- lehetőség van többféle anyag egy munkacikluson belüli alkalmazására,
- alkalmas színes és többanyagú modellek előállítására.

Hátrányai:

- a berendezés és az alapanyag költséges,
- a támaszanyag eltávolítása utókezelést igényel,
- a gyártási idő a nagy pontosság miatt kedvezőtlenebb lehet.

2.2.2. Extrúzió alapú eljárások (MEX) ([videó](#))

Az additív gyártástechnológiák egyik fontos csoportját az extrúzió alapú eljárások alkotják. Ezek közös jellemzője, hogy a berendezés a kiinduló anyagot felmelegíti, majd egy fűvókán keresztül

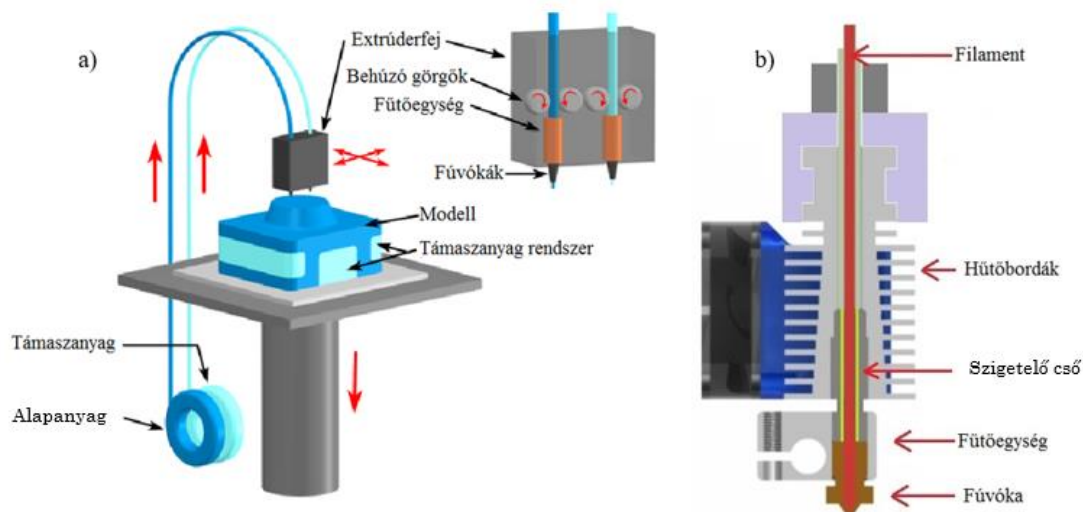
adagolja, és a lerakott anyagból rétegről rétegre építi fel a modellt. Ebbe a csoportba többféle anyagellátási megoldás is tartozik, ezért a technológia ma már nemcsak a filamentes 3D nyomtatást jelenti, hanem a granulátum alapú rendszereket is magában foglalja.

A granulátum alapú extrúziós eljárások során a berendezés nem előre gyártott filamentet használ, hanem közvetlenül granulátumból dolgozik. Ennek előnye lehet az alacsonyabb alapanyagköltség, a nagyobb lerakási sebesség és a szélesebb anyagválaszték, ezért ez a megoldás különösen a nagyformátumú, ipari rendszereknél terjed. A jelenlegi ipari trendek alapján ez a megoldás elsősorban ott válik egyre fontosabbá, ahol nagy méretű alkatrészek, gyors gyártás vagy újrahasznosított anyagok közvetlen feldolgozása a cél.

A filament alapú extrúziós technológiák a legelterjedtebb extrúzió alapú additív gyártási megoldások közé tartoznak. E technológia megnevezésére a gyakorlatban gyakran használják az **FDM** és az **FFF** rövidítéseket. Az **FDM (Fused Deposition Modeling)** a Stratasys által használt és védjegyzett elnevezése, amíg az **FFF (Fused Filament Fabrication)** ugyanennek a működési elvnek az általános, szabadon használható megnevezése. Működési elve, hogy a berendezés a **szál formátumú, hőre lágyuló polimert (filamentet) vezet be az extruderfejbe (7/a ábra), ott megömleszt, majd egy szűk fúvókán a modellterbe sajtolja azt, ahol összeheged az előző réteggel és megszilárdul.**

A technológia szempontjából kritikus kérdés a megfelelő átmérőjű filament alkalmazása, mert egyrészt ez biztosítja a szükséges alapanyag utánpótlást, másrészt pedig a még szilárd filament mintegy dugattyúként kitolja a maga előtt már ömledék állapotban lévő anyagot. Ennek a kettős funkciónak a biztosítását szolgálja a megfelelően kialakított extruderfej, amelyet esetenként nyomtatófejnek is neveznek (7/b ábra).

Jól látható, hogy a szál csak a fúvóka környezetében ömlik meg, így a fölötté lévő hűtött filament, mint egy dugattyú, át tudja tolni maga előtt a fúvókán az ömledéket. A fej x–y síkban történő mozgása során építi fel a modell egy rétegét, majd a következő réteg kialakításához a rendszer a rétegvastagságnak megfelelően elmozdul. Fontos tényező az anyag megfelelő tapadása mind a munkaasztalhoz, mind pedig az előzőleg legyártott réteghez. A megfelelő adhézió a feldolgozott alapanyaghoz illeszkedő *hőmérséklet, előtolás és hűtési viszonyok* megválasztásával biztosítható. A hőt az ömledék biztosítja, amíg a nyomást az előtolással hozza létre a berendezés.



7. ábra FDM gyártástechnológia: a) működési elv; b) az extruderfej felépítése

A gyártás során előfordulhat, hogy a modell egyes részein megtámasztásra van szükség. A filament alapú rendszereknél a támasz készülhet a termék anyagával megegyező anyagból, de készülhet attól eltérő anyagból is. Ehhez a berendezésnek kétféle anyag kezelésére kell alkalmasnak lennie, ami történhet például második nyomtatófej vagy filamentcserélő rendszer alkalmazásával. A támaszrendszer alkalmazása javítja a gyárthatóságot, ugyanakkor növeli az utómunka igényét és hatással van a felület minőségére is.

A munkatér kialakítása szempontjából megkülönböztetünk fűthető, illetve nem fűthető munkatérű gépeket. A fűtött munkatérrel rendelkező berendezések sokkal többféle – akár műszaki – alapanyag feldolgozására is alkalmasak, amíg a fűtetlen rendszerű gépek többnyire kisebb zsugorodású anyagok nyomtatására használhatók eredményesen.

Előnyei:

- viszonylag egyszerű gépfelépítés,
- széles körben elérhető alapanyagok,
- jó hozzáférhetőség és egyszerű használat.

Hátrányai:

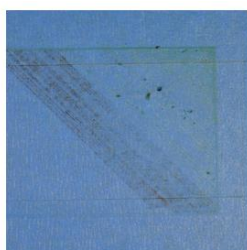
- a réteges felépítésből adódóan szerényebb felületi minőség,
- a gyártott alkatrészek gyakran utólagos megmunkálást igényelnek,
- a mechanikai tulajdonságok és a pontosság jelentősen függenek a feldolgozási paraméterektől.

2.3. Jellemző FDM/FFF hibák technológiai beállítások szerint

A filament alapú nyomtatás során a gyártás minőségét elsősorban az első réteg helyes beállítása, a nyomtatási hőmérséklet és hűtés, a nyomtatási sebesség, az anyagáramlás egyenletessége, valamint az anyagellátás megbízhatósága határozza meg. Ha ezek közül valamelyik nincs megfelelően beállítva, annak a nyomaton jól felismerhető következményei lehetnek. Az alábbiakban a leggyakoribb hibák a technológiai okok szerint kerülnek összefoglalásra.

2.3.1. Nem megfelelő első réteg

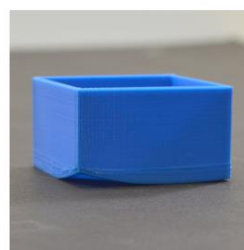
Az FDM/FFF nyomtatás egyik legkritikusabb fázisa az első réteg lerakása. Ha a fűvóka és az asztal távolsága túl kicsi, a fűvóka részben elzárhatja az anyagáramot (8/a ábra). Fordított esetben, ha ez a távolság túl nagy, az ömledék nem tapad le megfelelően, hanem a fej előtt sodródik (8/b ábra). A tapadást tovább rontja a szennyezett vagy zsíros felület, a nem megfelelő munkaasztal-hőmérséklet, valamint a túl nagy első rétegsebesség. A nem megfelelő letapadás következménye lehet az első réteg hibás kialakulása, a kitöltés felszakadása, valamint a modell vetemedése is (8/c ábra). A vetemedés az anyag hűlés közbeni zsugorodásából ered, amelynek hatására a darab szélei vagy sarkai felemelkedhetnek.



a)



b)



c)

8. ábra: Nem megfelelő első réteg

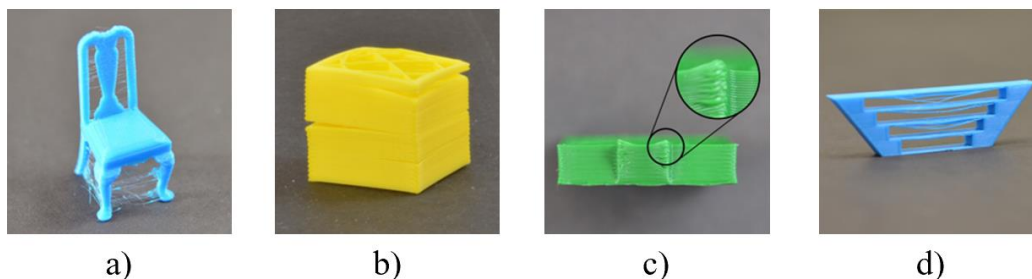
a) túl alacsony első réteg b) túl magas első réteg c) vetemedés

Megoldási lehetőségek:

A megfelelő első réteg kialakulását segíti a fűtött munkaasztal (tálca) használata, a peremek alkalmazása, a hűtőventilátor kikapcsolása az első rétegnél, valamint nagy zsugorodású anyagok esetén (pl. ABS, ASA, PA) a zárt nyomtatótér használata. Szintén javíthatja a tapadást a tálcák megfelelő felületi kialakítása, például PEI bevonat vagy tapadást fokozó anyagok alkalmazása.

2.3.2. Nem megfelelő nyomtatási hőmérséklet és hűtés

A hőmérséklet és a hűtés együttesen határozzák meg az anyag folyási és megszilárdulási viselkedését. Túl alacsony nyomtatási hőmérséklet esetén a rétegek közötti kapcsolat gyenge lesz, a nyomat törékennyé válhat. Túl magas hőmérsékleten az anyag túlságosan folyóssá válik, a részletek elnagyolódnak, a modell szélei felkunkorodhatnak és a hídképzés minősége is romlik. A nem megfelelő hűtés ugyancsak ronthatja a hídképzést, mert az áthidalt szakasz nem tud elég gyorsan megszilárdulni. Ugyanebbe a csoportba sorolható a szárazság is, amely gyakran túl magas hőmérséklet, nem megfelelő visszahúzás vagy nedves filament következménye (9. ábra).



9. ábra Nem megfelelő nyomtatási hőmérséklet és hűtés

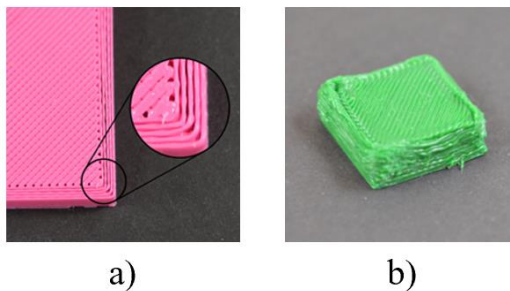
a) szálhúzóadás b) rétegek szétválása c) felkunkorodó sarok d) rossz hídképzés

Megoldási lehetőségek:

A megfelelő hőmérsékletet célszerű az adott alapanyag ajánlott tartományán belül megválasztani és szükség esetén hőmérséklet-toronnyal ellenőrizni. A hídképzés és a kisebb részletek minősége általában javítható hatékonyabb hűtéssel, mérsékeltebb nyomtatási sebességgel és a túl magas fűvókahőmérséklet csökkentésével. Szárazság esetén segíthet a nyomtatási hőmérséklet csökkentése, a filament szárítása és a visszahúzás megfelelő beállítása.

2.3.3. Nem megfelelő nyomtatási sebesség és anyagáram

Ha a nyomtatási sebesség nincs összhangban az alkalmazott hőmérséklettel és az anyagárammal, a lerakott anyagmennyiség eltérhet a kívánatostól. Túl nagy sebesség esetén előfordulhat, hogy az anyag nem olvad meg megfelelően, ezért alulextrudálás jelentkezik: a rétegek hiányosak, a felület lyukacsos, a falak nem tömörek (10/a ábra). Ellenkező esetben anyagfelhalmozódás, méretnövekedés és egyenetlen felület is kialakulhat (10/b ábra). Az első réteg kitöltésének felszakadása is gyakran visszavezethető arra, hogy a rendszer túl nagy sebességgel próbál nyomtatni az adott tapadási és hőmérsékleti feltételek mellett. A sebesség a hídképzés és a felső záróréteg minőségére is hatással van.



10. ábra Nem megfelelő nyomtatási sebesség és anyagáram

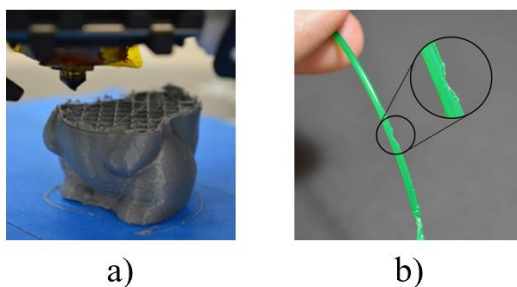
a) alulextrudálás b) túlextrudálás

Megoldási lehetőségek:

A nyomtatási sebességet mindig az adott anyaghoz, hőmérsékletéhez és rétegvastagsághoz kell igazítani. Ha a rendszer nem tud elegendő anyagot megolvasztani és továbbítani, a sebesség csökkentése általában javítja a nyomat minőségét. A felső rétegek és az első réteg kitöltése esetén különösen fontos, hogy a sebesség ne legyen túl nagy, mert ez felszakadást, hiányos zárást vagy gyenge felületet eredményezhet.

2.3.4. Anyagellátási és adagolási problémák

Az extrúziós hibák egyik gyakori oka, hogy a rendszer nem tudja a szükséges mennyiségű anyagot egyenletesen a fűvókához juttatni (11. ábra).



11. ábra Anyagellátási és adagolási problémák

a) eldugult fűvóka vagy elakadt filament, b) elforgácsolt filament

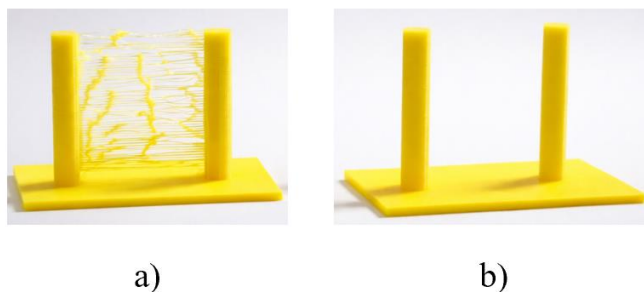
Ennek oka lehet a filament átmérőjének eltérése a szelvényben megadott értéktől, a részben eldugult fűvóka, a szennyezett vagy kopott anyagtovábbító rendszer, illetve az anyagban lévő idegen szemcse. Ilyenkor a nyomtatás alulextrudálttá válik, a rétegek hiányosak lesznek vagy a gyártás teljesen meg is hiúsulhat. Ha a filament elakad, az adagoló fogaskerék belevájhat a szálba ahelyett, hogy továbbítaná azt.

Megoldási lehetőségek:

Segíthet a megfelelő és egyenletes átmérőjű filament használata, a fűvóka rendszeres tisztítása, valamint az adagolórendszer ellenőrzése és karbantartása. Fontos, hogy a szeletelőprogramban megadott filamentátmérő egyezzen meg a tényleges értékkel, és az alapanyag ne tartalmazzon olyan szennyeződést, amely az áramlást akadályozhatja. Eltömődés gyanúja esetén a fűvóka tisztítása és a megfelelő hőmérséklet-profil alkalmazása általában első lépésként javasolt.

2.3.5. Nem megfelelő visszahúzás és fejmozgás

A visszahúzás feladata, hogy a nyomtatófej üresjáratú mozgása közben csökkentse a fűvókából kilépő anyag mennyiségét. Ha a visszahúzás nem megfelelő, a fej két pont között vékony anyagszálát húzhat maga után, vagyis szálazás alakul ki (12. ábra). Túl nagy vagy rosszul időzített visszahúzás esetén viszont az anyagellátás is bizonytalanná válhat, szélsőséges esetben a hajtás megforgácsolhatja a filamentet. A szálazás mértékét jelentősen befolyásolja a filament nedvességtartalma és a nyomtatási hőmérséklet: nedvesebb anyag és magasabb feldolgozási hőmérséklet mellett a jelenség általában erősebben jelentkezik.



12. ábra Nem megfelelő visszahúzás és fejmozgás

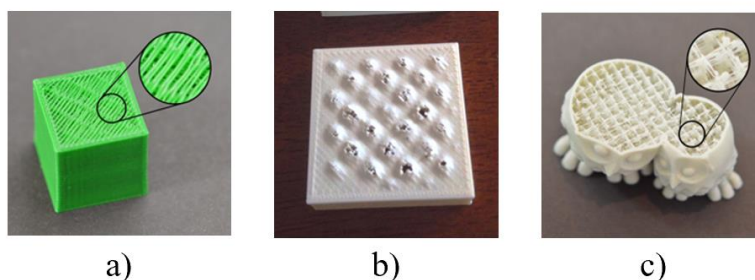
a) nem megfelelő visszahúzás; b) megfelelő visszahúzás

Megoldási lehetőségek:

Azt, hogy a nyomtatófej milyen hosszan és milyen sebességgel húzza vissza a szálát, az adott géphez és alapanyaghoz kell igazítani. Szálazás esetén érdemes a retrakciót finoman növelni, a fejmozgást gyorsítani, illetve szükség esetén a fűvókahőmérsékletet csökkenteni. Ha az anyagtovábbító rendszer roncsolja a filamentet, akkor túl nagy visszahúzásra, hibás előtolásra vagy részleges eltömődésre is gyanakodni kell.

2.3.6. Nem megfelelő felső záróréteg és kitöltés

A felső záró réteg akkor maradhat lyukas, egyenetlen vagy „párnás” jellegű, ha a kitöltési struktúra nem nyújt elegendő alátámasztást, túl kevés a felső rétegek száma vagy a nyomtatási paraméterek nem megfelelőek (13. ábra). Ilyenkor a felső felület nem tud teljesen összezárni, és a darab tetején rések maradhatnak. A jelenséget ronthatja a túl ritka kitöltés, a túl nagy sebesség és az elégtelen hűtés is.



13. ábra Nem megfelelő felső záróréteg és kitöltés

a) rések a felső rétegen b) felszakadozott felső réteg c) gyenge infill

Megoldási lehetőségek:

A hiba általában mérsékelhető a felső rétegek számának növelésével, a kitöltési sűrűség emelésével, a felső rétegek sebességének csökkentésével és megfelelő hűtés alkalmazásával. Ha a felső felület (záróréteg) még így sem zár megfelelően, érdemes ellenőrizni az anyagáramot és a rétegvastagságot is.

2.4. Kiszériás termékgyártás

Az additív gyártástechnológiákkal feldolgozható alapanyagok termikus és mechanikai tulajdonságainak fokozatos javításával lehetőség nyílt nemcsak prototípus szintű termékek, hanem kész termékek legyártására is. Ezt **kétféle módon** tehetjük meg: az egyik, amikor **közvetlenül a terméket gyártjuk le** AM-technológia segítségével, a másik, amikor **szerszámot hozunk létre**. Ez **utóbbi eljárást gyors szerszámozásnak (Rapid Tooling, RT) hívjuk**. A gyors szerszámozással előállított szerszámok többnyire csak **kis sorozatok gyártására** alkalmasak, azonban az így előállított darab **tulajdonságában, anyagában, sőt esetenként gyártástechnológiájában is megegyezik a sorozatgyártott termékkel**, ugyanakkor a **szerszámozási költség jóval kisebb**. Manapság egyre inkább arra irányulnak a fejlesztések, hogy ezt a gyors szerszámkészítési módszert ne csak a prototípuskészítéshez, hanem a sorozatgyártáshoz is fel lehessen használni.

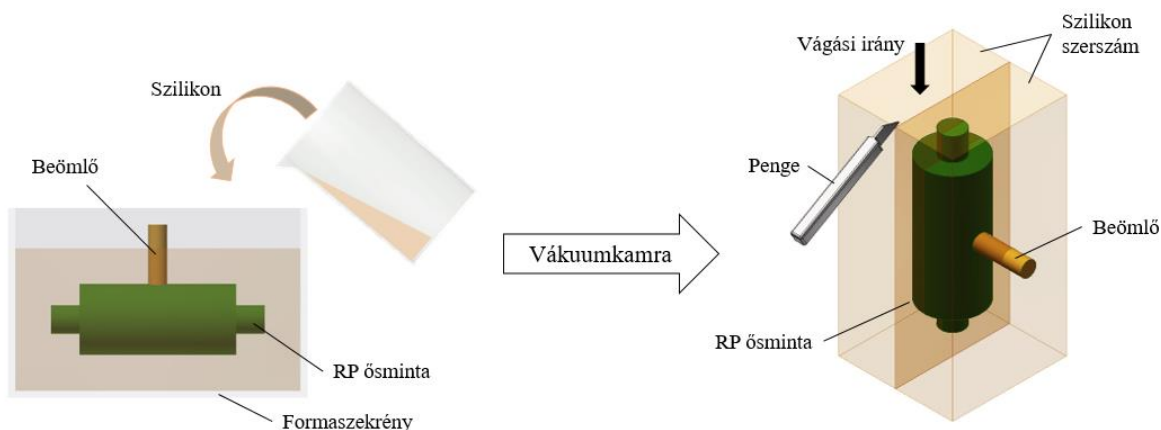
A gyors szerszámkészítésnek számos lehetséges változata megtalálható a piacon, akár a prototípusgyártásból kiinduló indirekt módszert, akár a közvetlen (direkt) szerszám előállítási technikákat tekintjük (14. ábra).



14. ábra Gyors szerszámozás csoportosítása

2.4.1. Indirekt szerszámozás (videó)

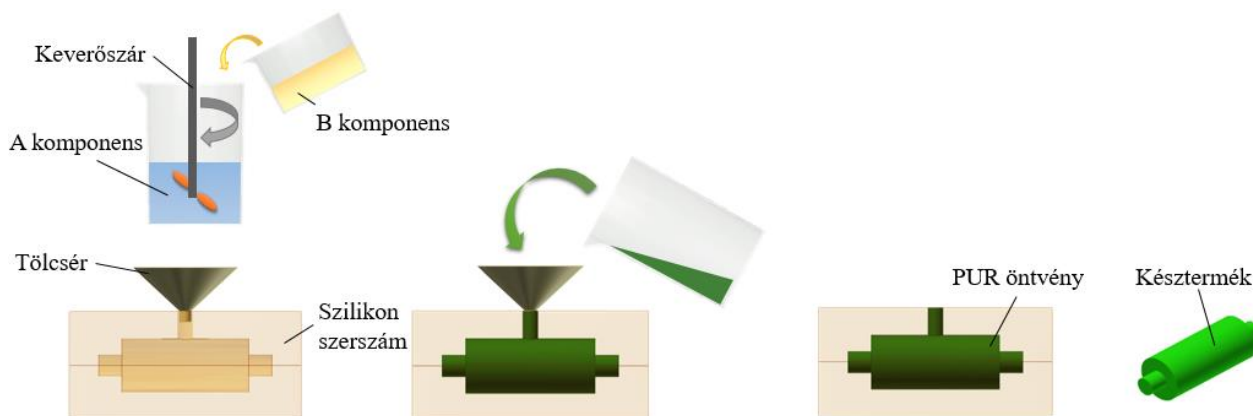
A gyors szerszámkészítés indirekt módjának alapja, hogy valamelyik prototípusgyártási módszerrel elkészített munkadarabot használjuk fel úgy, mint alakadó mestermintát. Ez sokkal gyorsabb, mintha a szerszámot forgácsolással készítenék el, és a **geometriai pontosság is kielégítő (felületkezelést követően)**. Ezt követően a mesterminta felületét egy másik anyaggal (pl. szilikonnal) körül öntve (12. ábra) elkészíthető a szerszám, amely ellenáll a sorozatgyártáskor kialakuló nyomásnak, hőmérsékletnek, mechanikai koptató hatásnak.



15. ábra A formaszekevény kitöltése szilikonnal, majd a kész szerszám kettéválasztása a szilikon térhálósodása után [3]

A **szilikon szerszámozás az indirekt technológiák közé tartozik**, amellyel olyan viasz, műanyag és alacsony olvadáspontú fém alkatrészek készíthetők, amelyek nem támasztanak nagy követelményeket a szerszám anyagával szemben, vagyis kicsi a szerszámban ébredő nyomás és a

hőmérséklet a termék előállítása során. Az egyik legnépszerűbb alkalmazása a szilikon szerszámoknak, hogy gyorsan térhálósodó PUR gyantát öntenek bele. Ebben az esetben egy szerszámmal **legalább 20-30 db alkatrész készíthető**. Nagy előnye ennek az eljárásnak, hogy alámetszett termékek is gyárthatók, mivel a rugalmas szilikon szerszám szétfeszíthető a darabok kivételekor (16. ábra).



16. ábra A komponensek összekeverése, valamint a szerszámüreg kitöltése, és a késztermék a megszilárdulás után [3]

2.4.2. Direkt szerszámozás

Direkt szerszámozás során nem alkalmazunk mestermintát, hanem magát a szerszámot készítjük valamilyen gyors prototípusgyártási módszerrel, így a folyamat gyorsabb, egyszerűbb és jobban automatizálhatóvá válik. Ezek az eljárások jellemzően a hagyományos SLA és PolyJet alapokra épülnek, azok valamilyen továbbfejlesztett, illetve módosított változatai.

A segédletben szereplő, a tananyag megértését segítő videók QR-kódja:

FDM



PolyJet



SLA



Indirekt szerszámozás



3. A laborgyakorlat során használt gépek, berendezések

OBJET 30 PRO TÍPUSÚ ADDITÍV GYÁRTÓBERENDEZÉS (17. ÁBRA)

modelltér mérete: 300x200x150 mm
rétegvastagság: 0,016; 0,028 mm
építési sebesség: ~6 mm/óra
nyomtatófejek száma: 2 db



17. ábra Objet 30 Pro típusú AM berendezés

FORMLABS FORM2 TÍPUSÚ ADDITÍV GYÁRTÓBERENDEZÉS (18. ÁBRA)

modelltér mérete: 145x145x175 mm
rétegvastagság: 0,025/0,050/0,1 mm
építési sebesség: ~6 mm/óra



18. ábra Formlabs Form2 típusú AM berendezés

CRAFTBOT PLUS FFF ALAPÚ ADDITÍV GYÁRTÓBERENDEZÉS (19. ÁBRA)

modelltér mérete: 250x200x200 mm
rétegvastagság: 0,100 – 0,300 mm
építési sebesség: 50-200 mm/s
nyomtatószál átmérő: 1,75 mm



19. ábra Craftbot Plus AM berendezés

BAMBULAB P1S FFF ALAPÚ ADDITÍV GYÁRTÓBERENDEZÉS (20. ÁBRA)

modelltér mérete: 256 × 256 × 256 mm

rétegvastagság: 0,08 – 0,28 mm

építési sebesség: 100–500 mm/s

nyomtatószál átmérő: 1,75 mm



20. ábra Bambulab P1S AM berendezés

3.1. A témához kapcsolódó fontosabb szavak angolul, németül

Magyar	Angol	Német
Additív gyártástechnológia	Additive Manufacturing (AM)	*
Gyors prototípusgyártás	Rapid Prototyping (RPT)	Schnelle Prototypentwicklung
Gyors szerszámkészítés	Rapid Tooling (RT)	*
STL	Standard Tessellation Language	*
3D nyomtatás	3D printing	*
Kádas polimerizációs eljárás	Vat photopolymerization process	
Sztereolitográfia	Stereolithography (SLA)	Stereolithographie
Szelektív lézer szinterezés	Selective Laser-sintering (SLS)	Selektiv-Leaser Sintern
Extrúzió alapú eljárás	Material Extrusion (MEX)	*
Filament alapú extrúziós eljárás	Fused Deposition Modeling (FDM) or Fused Filament Fabrication (FFF)	*
Réteges kivágás és felépítés	Laminated Object Manufacturing (LOM)	*
Számítógéppel segített tervezés	Computer Aided Design (CAD)	*
Direkt szerszámozás	Direct Tooling	*
Indirekt szerszámozás	Indirect Tooling	*
Poliuretán (PUR)	Polyurethane	Polyurethan
Epoxi gyanta	Epoxy resin	Epoxidharze
Szilikon	Silicone	Silikongießmasse

* Az angol kifejezés a használatos

4. Felhasznált irodalom

1. Dunai A., Macskási L.: Műanyagok fröccsöntése, Lexica Kft, Budapest, 2003
2. A. Gebhardt: Understanding Additive Manufacturing, Hanser Publishers, Munich, 2011
3. I. Gibson, D.W. Rosen, B. Stucker: Additive Manufacturing Technologies, Springer, New York, 2010
4. Kovács J. G.: Gyors prototípus eljárások II. Gyakorlati megvalósítások, Műanyag és Gumi, 39, 2002, 103-107
5. Falk Gy., Bartha L., Kovács, J. G.: Rapid Prototyping – Rapid Tooling a gyakorlatban, Műanyag és Gumi, 42, 2005, 84-87
6. Schwarz P.: Ósminta- és szerszámkészítés epoxi és poliuretán alapú műanyagokból, Műanyag és Gumi 41, 2004, 167-170
7. <http://www.custompartnet.com>
8. <https://www.3dhubs.com>

MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV



Név:

Pontszám:

Neptun kód:

Dátum:

Ellenőrizte:

Gyakorlatvezető:

1. Feladat

- Termékgyártás FFF-nyomtatókon.
- Nyomtatási hiba azonosítása FFF-technológiával gyártott terméken.
- Megoldási javaslat meghatározása.

2. Alapadatok

Gép típusa	
Alapanyag	
Fúvóka hőmérséklet [°C]	
Munkaasztal hőmérséklete [°C]	
Rétegvastagság [mm]	

Ezt az oldalt
kinyomtatva
hozza
magával!

3. Megfigyelt hiba és annak jellemzői

Megfigyelt hiba és annak jellemzői (szöveg + vázlat)

A hiba feltételezett oka

Megoldási javaslat