



B4

Változat: 5

Kiadva: 2023. április 7.

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

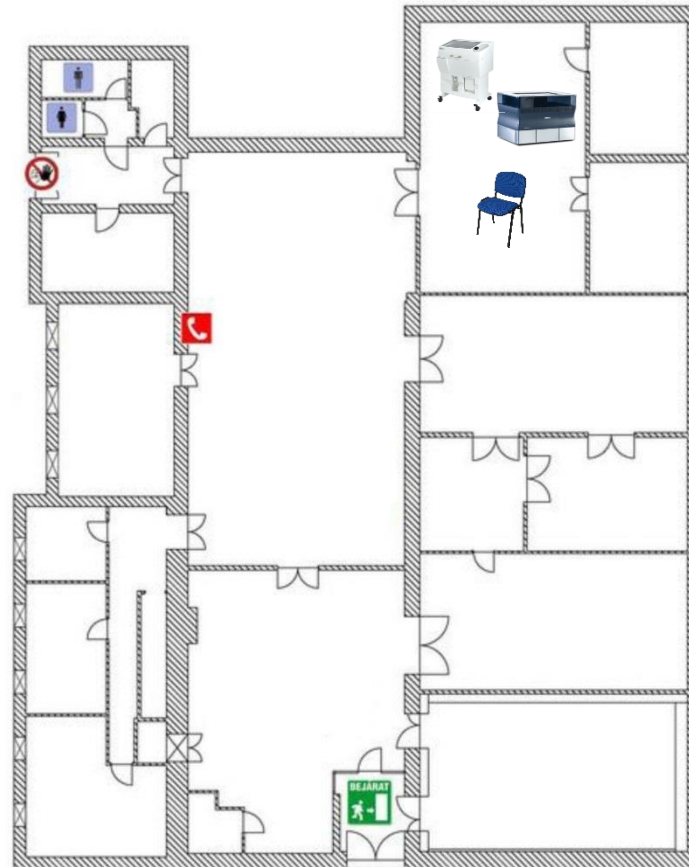
MT épület

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

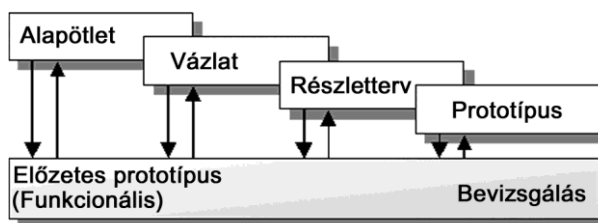
1. A GYAKORLAT CÉLJA	3
2. ELMÉLETI HÁTTÉR	3
2.1. AZ STL FÁJL FORMÁTUM	5
2.2. ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁK	6
2.3. KISSZÉRIÁS TERMÉKGYÁRTÁS	12
2.4. REAKTÍV FRÖCCSÖNTÉS	14
3. A LABORGYAKORLAT SORÁN HASZNÁLT GÉPEK, BERENDEZÉSEK	17
3.1. A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB SZAVAK ANGOLUL, NÉMETÜL	19
4. AJÁNLOTT IRODALOM	19
MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV	20

1. A gyakorlat célja

A gyakorlat elsődleges célja a kisszériás gyártástechnológiák, valamint az ehhez szükséges gyors szerszámozási technológiák megismerése. A gyakorlat során tanulmányozandók az additív gyártórendszerek, azon belül a 3D nyomtatás, az FDM, az SLA, valamint az PolyJet berendezések és azok részegységei, valamint a kisszériás gyártástechnológiákhoz kapcsolódó alapanyagok és azok tulajdonságai.

2. Elméleti háttér

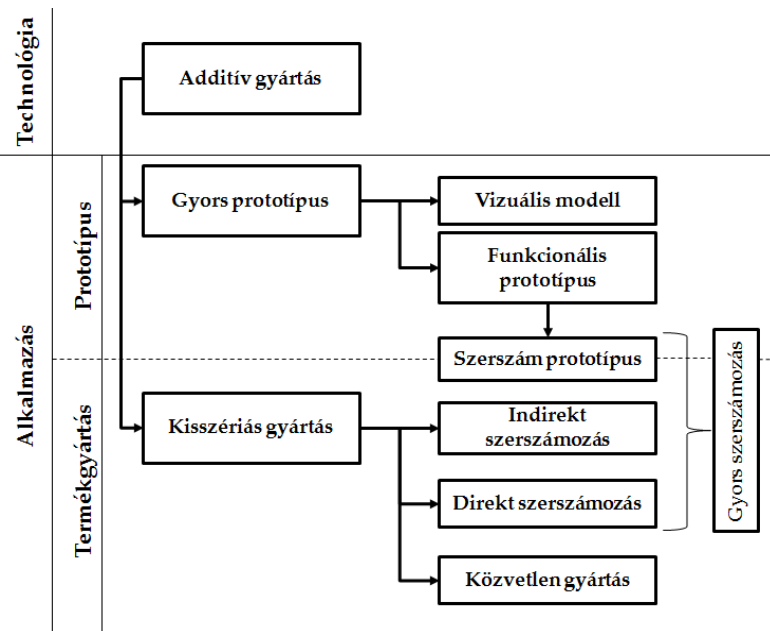
Napjaink egyre gyorsuló világában a tervezési és gyártási folyamatoknak is együtt kell haladnia a korrallal. Ennek köszönhetően a gyártmányfejlesztés hagyományos módját, amelyben az egyes tervezési és gyártási folyamatok egymást követték, átvette az egyidejű, úgynevezett *SZIMULTÁN TERVEZÉS* . Igen nagy szerepe van a tervezési folyamatban a gyorsaságnak, amelyet a tervezés közbeni gyors ellenőrzésekkel érhetünk el (1. ábra). Ezek alapját a prototípusok jelentik, amelyekkel elvégezhetjük a kívánt vizsgálatokat.



1. ábra. Szimultán tervezés

A 3D-s számítógépes tervezés ma már elengedhetetlen a korszerű polimer alkatrésztervezésben. A számítógéppel tervezett test láttatására gyakran alkalmazzák a különböző számítógépes térbeli megjelenítéseket, amelyeknek igen széles választéka áll rendelkezésünkre. Ez a megjelenítési forma lehetővé teszi a virtuális térben létező test szemléltetését, geometriai és mechanikai vizsgálatát is, azonban egy kézzel fogható modell (prototípus) gyakran elengedhetetlen a terv teljes átlátására.

Az additív gyártástechnológiák (AM, Additive Manufacturing) segítségével a tetszőleges CAD rendszer felhasználásával megtervezett 3D-s modell közvetlenül valós fizikai modellé, sőt akár terméké alakítható. Az AM technológiák alkalmazásának két fő célja van: az egyik a **GYORS PROTOTÍPUSGYÁRTÁS (RPT)**, a másik pedig a **KISSZÉRIÁS TERMÉKGYÁRTÁS (2. ábra)**.



2. ábra: Additív gyártástechnológiák alkalmazási területei

GYORS PROTOTÍPUSGYÁRTÁS tekintetében két esetet különböztetünk meg:

- *VIZUÁLIS MODELL*: A termék megjelenését, külsejét bemutató, valós, 3D-s termék vagy test. Elősegíti a termék formájának, megjelenésének (design) tervezését azáltal, hogy felfedi, láthatóvá teszi az esetleges tervezési hibákat. A vizualizációs modellel szemben támasztott mechanikai követelmények csekélyek.
- *FUNKCIONÁLIS MODELL*: Ebben az esetben jóval nagyobbak a modellel szemben támasztott követelmények: a szilárdság, a merevség és egyéb fizikai jellemzők, valamint a geometriai méretpontosságnak is nagy jelentősége van.

Számos esetben követelmény lehet, hogy a tervezett termék anyagában esetenként gyártástechnológiájában is meg kell egyezzen a későbbi sorozatban gyártandó termékkel, ekkor kerül előtérbe a **KISSZÉRIÁS TERMÉKGYÁRTÁS**, amely tekintetében három esetet különböztetünk meg:

- *KÖZVETLEN TERMÉKGYÁRTÁS* ebben az esetben közvetlenül a készterméket hozzuk létre.
- *DIREKT SZERSZÁMOZÁS* során nem a terméket, hanem közvetlenül magát az alakadó szerszámot (vákuumformázó, fröccsöntő szerszám, stb.) hozzuk létre (nyomatjuk ki).
- *INDIREKT SZERSZÁMOZÁS* esetén a termékkel megegyező geometriájú ősmintát (mestermintát) hozzuk létre, majd ennek segítségével egy külön lépésben készül az alakadó szerszám (pl.: szilikon öntés).

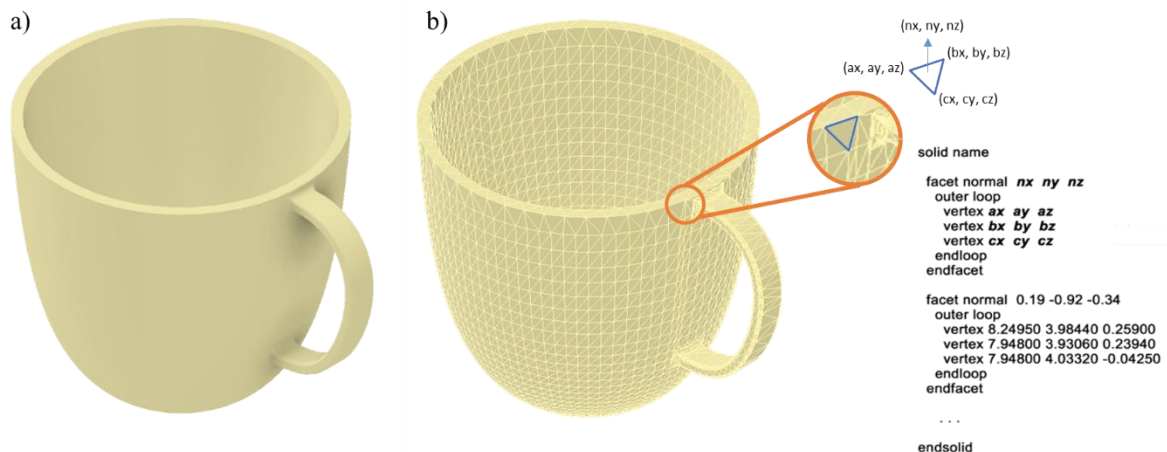
2.1. Az STL fájl formátum

Az additív gyártástechnológiák közös jellemzője, hogy minden esetben szükség van a gyártani kívánt termék **virtuális (3D-s) modelljére**. 3D-s modell előállítására többféle lehetőségünk van:

- készíthetjük modellező szoftverrel (tetszőleges CAD programok),
- 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. Erre szolgálnak a prototípus berendezések saját programjai, amelyek szabványos bemenete az **STL (Standard Tessellation Language)**.

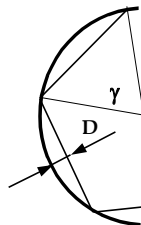
Az STL fájl felületleíró adatformátum, amely kapcsolatot teremt a 3D-s modell és az additív gyártórendszerek között. Az STL fájl háromszögek segítségével írja le a felületet (3. ábra). Minden egyes háromszög esetén definiálja a csúcsponti koordinátákat az x,y,z irányokban, valamint az összes háromszög-felületemhez hozzárendel egy-egy, a felületből kifelé mutató normálvektort is. A normálvektor iránya adja meg, hogy a modell felületének melyik részét nyomtatjuk, általánosan a test előállítása („kinyomtatása”) során a gyártóberendezés mindig a normálvektorral ellentétes irányban található térrészbe helyez el anyagot.



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

Az STL fájlok generálásánál a CAD programok két paraméter figyelembevételével készítik el a modell felületén a háromszögeket (4. ábra). Az egyik a húrhiba, ami a legnagyobb távolság, amely a valós kontúr és a generált háromszögek között lehet (D), a másik az a legnagyobb központi szög, amely a kontúrt közelítő élhez húzható (γ).

Az STL fájl, lévén egy közelítési módszer eredménye, ezért 100%-ban sosem fogja tudni visszaadni a 3D modellt kivéve a síklapokkal határolt eseteket (pl. kocka, hasáb, stb.).



4. ábra. Az STL fájl értelmezése (D – húrhiba, gamma – legnagyobb központi szög)

Sok esetben a CAD rendszerek nem képesek megfelelően generálni az STL fájlt, így előfordulhatnak helyi problémák, hibák a felületi közelítés folyamán. Ilyen hibák lehetnek:

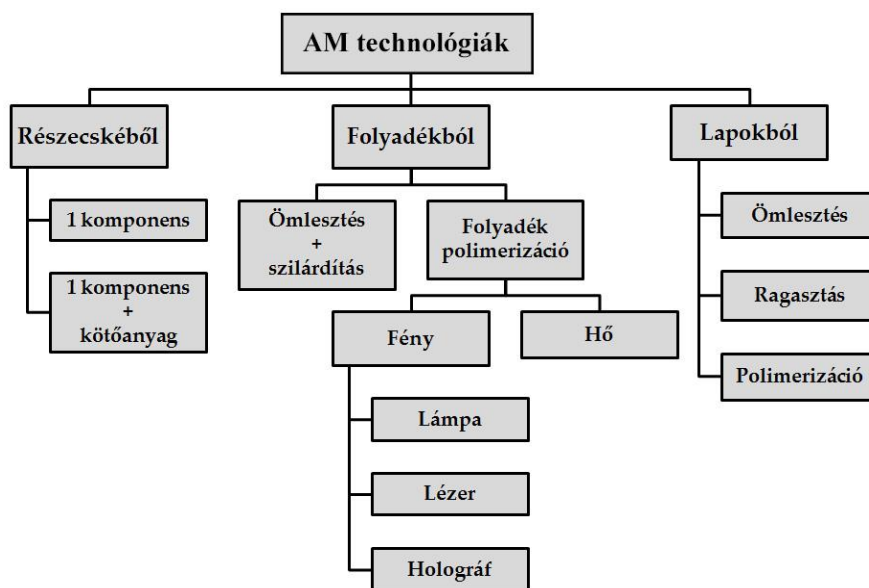
- a hálón keletkező rések,
- felület hiányok, felülettorzulások, felületek átlapolódása,
- alul- vagy túlhatározott pont, vonal, illetve felület.

Ezeknek a hibáknak a javítása azonban ma már nem jelent gondot, mivel számos célszoftver létezik, mint például a Materialise cég Magics RP programja.

Az STL fájlok előnyei között érdemes megemlíteni, hogy ez az egyik legegyszerűbb módja a 3D CAD modellek ábrázolására, a legtöbb RPT berendezés bemenete ezt a formátumot részesíti előnyben, valamint ezzel az eljárással a legkönnyebb a geometriai alakokat adatfájlba transzformálni. Hátrányai közé sorolható hogy a fájl mérete esetenként nagyobb lehet, mint maga a CAD fájl, ami a leírás módjából adódik.

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. Az **additív gyártástechnológiákat (AM technológiák)** többféle szempont szerint lehet csoportosítani, ezek közül leginkább elfogadott a felhasznált alapanyagok szerinti csoportosításuk (5. ábra).



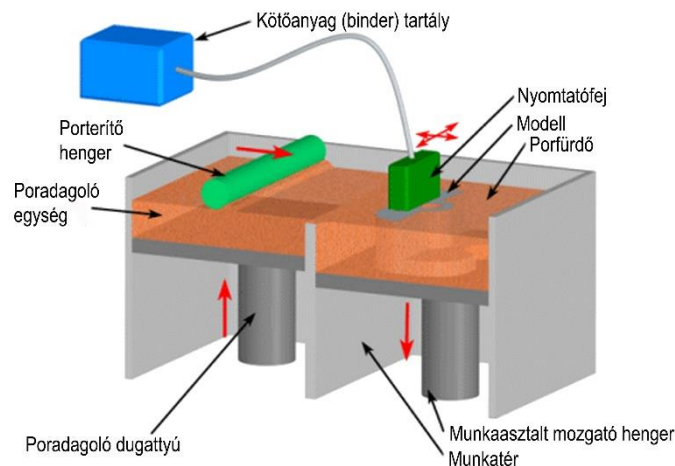
5. ábra RPT technológiák csoportosítása alapanyagok szempontjából

Napjainkban elterjednek mondható a folyadék alapú additív gyártástechnológia, amely tipikusan polimer alapú anyagokat jelent, egyrészt a sugárzás hatására térhálósodó anyagok (fotopolimerek) felhasználásával (*SLA – sztereolitográfia*, PoyJet), másrészt az egyszerűbb termoplasztikus anyagok alkalmazásával (*FDM - ömledékrétegzés*). Ez utóbbi az anyag megolvasztását, majd újra megszilárdítását jelenti. További technológiák por formátomú alapanyagból építik fel a modellt, az egymás melletti részecskék összeolvasztásával (*SLS – szelektív lézer-szinterezés*), esetleg valamilyen ragasztóanyaggal való egyesítéssel (*3D printing*). Léteznek ezen kívül olyan technológiák, amelyek rétegezéssel, lapokból, vékony lemezekből hozzák létre a prototípust. A legegyszerűbb ezek közül, amikor lapokat (általában: papírlapokat) vágunk megfelelő méretre, majd egyszerűen összeragasztjuk azokat (*LOM – réteges kivágás és felépítés*).

2.2.1. 3D printing technológia [\(videó\)](#)

A **3D Printing** eljárást az MIT (Massachusetts Institute of Technology) kutatói fejlesztették ki, főleg prototípusok előállítására, valamint valós termékek rugalmas gyártására, az utóbbi időben azonban direkt szerszámkészítésre és precíziós öntőformák előállítására is alkalmazzák. Ezzel a technológiával előállítható bármilyen alakú modell, szinte bármilyen anyag (kerámiák, polimerek, fémek vagy akár kompozitok) felhasználásával. A termék gyártása a számítógépen elkészített 3D-s modell szoftveres környezetben történő szeletekre bontásával, valamint a munkatér és az adagolótér portároló egységeiben elhelyezkedő porfürdő elegyengetésével kezdődik. Ezután a tintasugaras nyomtatókhoz hasonló elv szerint működő berendezés felviszi az első réteg kötőanyagot a

munkatérben található porfürdő tetejére. Ezután a munkaasztal egy mozgató mechanika segítségével lesüllyed egy rétegvastagságnak megfelelő mértékben, a porterítő henger pedig a poradagoló egységből egyenletes vastagságban port terít a lehelyezett kötőanyagra. Ezeket a lépéseket addig ismételi a berendezés, amíg a darab teljes kialakítása meg nem történik (6. ábra). A darab a végleges formáját a felesleges (meg nem kötött) por eltávolítása, valamint utókezelés (gyantával, ragasztóanyaggal történő átitatás, hőkezelés) után nyeri el.



6. ábra 3D Printing működési elve

Előnyei:

- az eljárás gyors, egyszerű, olcsó és megbízható,
- a terméket por veszi körül, így alátámasztást nem igényel,
- a gyártásban részt vevő, de fel nem használt por korlátlanul újra felhasználható,
- gyorsan lehet vele előállítani kerámia öntőformákat precíziós öntéshez közvetlenül,
- színes termékeket is tudunk a technológia segítségével gyártani.

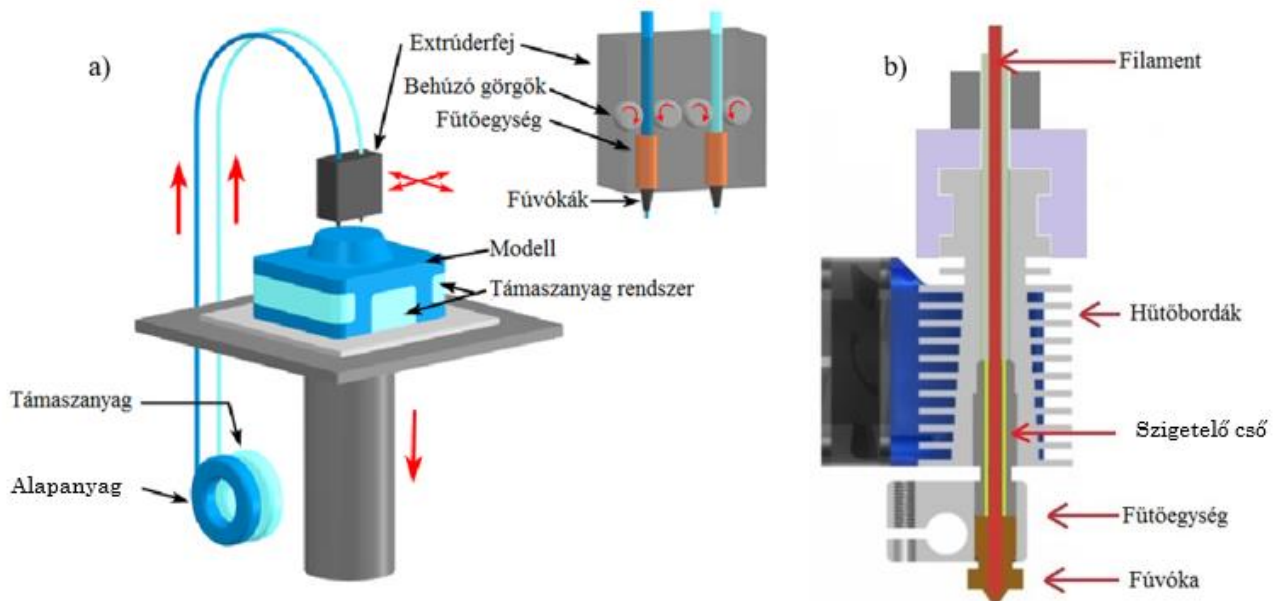
Hátrányai:

- utólagos kezelés (infiltrálás, utótérhálósítás, stb.) szükséges,
- pontossága és mechanikai tulajdonságai korlátozottak,
- a belső felületekhez nem lehet hozzáférni.

2.2.2. FDM – Ömledékrétegezés ([videó](#))

Az FDM technológiát a Stratasys cég szabadalmaztatta. Működési elve, hogy a berendezés a **szál formátumú, hőre lágyuló polimert (filamentet) vezet be az extruderfejbe (7/a ábra), ott megömlesztzi, majd egy szűk fúvókán a modelltérbe 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).



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

Jól látható, hogy a szál csak a fűvóka környezetében olvad meg, így a fölötté lévő hűtött filament, mint egy dugattyú, át tudja tolni maga előtt a fűvókán a megolvadt anyagot. A fej x-y síkban történő mozgása során építi fel a modellt egy réteggel. Fontos tényező az anyag megfelelő adhéziója mind az asztalhoz (első réteg esetén), mind pedig az előzőleg legyártott réteghez. A megfelelő adhéziót a feldolgozásra kerülő alapanyag szempontjából megfelelő *hőmérséklet* és *nyomás* megválasztásával lehet létrehozni. A hőt az ömledék biztosítja, míg a nyomást az előtolással hozza létre a berendezés.

A gyártás során előfordulhat, hogy szükség van a modell bizonyos részein megtámasztásra, annak érdekében, hogy az megfelelően gyártható legyen (8. ábra). Az FDM rendszerű gépek esetén, a megtámasztást (támaszrendszert) legyárthatjuk a termék anyagával egyező anyagból (otthoni nyomtatók), de van lehetőségünk másodlagos, az alapanyagtól eltérő anyagból létrehozni, ebben az esetben viszont szükség van egy második nyomtatófejre (ipari nyomtatók).



8. ábra Modell gyártás közbeni megtámasztása

A munkatér (építési tér) kialakítása szempontjából megkülönböztetünk fűthető, illetve nem fűthető munkatérű gépeket. A fűtött munkatérrel rendelkező berendezések sokkal többféle – akár műszaki – alapanyag feldolgozására alkalmasak, amíg a fűtetlen terű gépek többnyire kis zsugorodású anyagokat tudnak feldolgozni.

Előnyei:

- jó ár-érték arány, ami miatt ma Magyarországon ez az egyik legelterjedtebb technológia,
- csendes működés,
- sokféle feldolgozható alapanyag (PLA, ABS, PC, PMMA, PEEK, stb.)
- egyszerű használat.

Hátrányai:

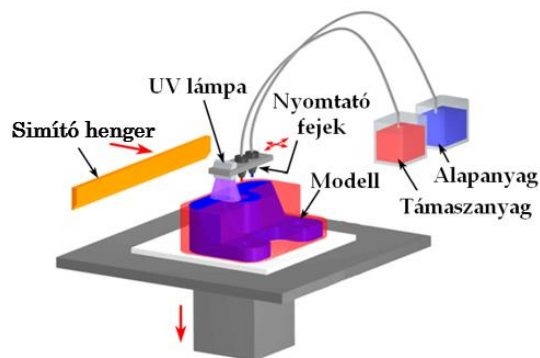
- szerény pontosság (XY irányban 100-300 mikron, Z irányban 100-150 mikron)
- nem túl jó felületi minőség
- utólagos megmunkálás szükséges (támaszanyag eltávolítás, felületkezelés)

2.2.3. Fotopolimer alapú gyártástechnológiák

A fotopolimer alapú technológiák közé tartozik többek között a **PolyJet**, a **Sztereolitográfia (SLA)** és a **Digitális képfeldolgozás (DLP)**. 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 a másodperc tört része alatt végbe is megy. Leggyakrabban UV sugárzást alkalmaznak, amelynek forrása lehet lézer (SLA), vagy lámpa (PolyJet, DLP).

A PolyJet ([videó](#)) eljárást az Objet Geometries cég fejlesztette ki a 2000-es évek elején. A tintasugaras nyomtatófejből kinyomtatott műgyanta rendszert **UV sugárzással polimerizálják**,

amelynek forrása egy 250 W-os halogén izzó (9. ábra). A polimerizációs láncreakció szabad gyökös, a gyantában lényegében csak a besugárzás alatt alakulnak ki kötések, térhálós polimert hozva létre. Az FDM technológiánál már ismertetett okból kifolyólag itt is szükség lehet a modell bizonyos részeinek a megtámasztására, amelyet **az alapanyagtól eltérő támaszanyag alkalmazásával old meg a berendezés. A támaszanyagot a gyártást követően egyszerű mosással távolítanak el.** A további fejlesztések eredményeként, ma már akár több különböző mechanikai és fizikai tulajdonságú anyag is nyomtatható egy munkadarabon (munkacikluson) belül a felhasznált alapanyagok kombinálásával (Connex).



9. ábra: PolyJet eljárás elve

Előnyei:

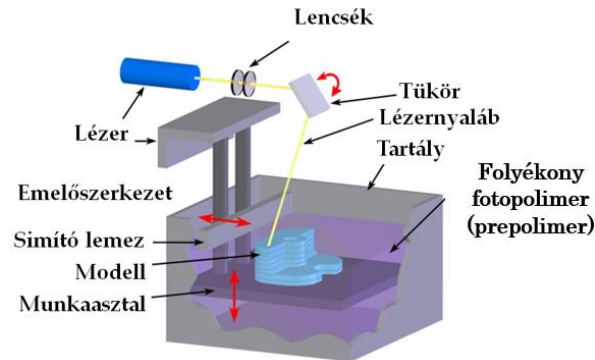
- a támaszanyag vízzel oldható, így könnyebb és egyszerűbb az eltávolítása,
- jó ár-érték aránya miatt a legkedveltebb eljárás a fotopolimer rendszerek közül,
- az AM technológiák közül az egyik legpontosabb, a teljes modell pontossága $\pm 0,05$ mm,
- 16-30 μm -es építési rétegvastagság.
- 0,6 mm-es minimális bordavastagság.

Hátrányai:

- időigényesebb gyártás a nagy pontosság miatt,
- a berendezés, valamint az alapanyag drága.

Az első AM eljárás a sztereolitográfia (SLA) (videó) volt, amelyet 1987-ben mutattak be (10. ábra). A fotopolimer alapanyagot lézer segítségével térhálósítja. A hatásmechanizmus ebben az esetben is szabad gyökös polimerizáció. Az alapanyag egy tartályban helyezkedik el, amelyben a munkaasztal található. Első rétegnél a munkaasztal csak egy rétegvastagsággal helyezkedik el a folyadékszint alatt. A lézer befutja a modell adott keresztmetszetét, így térhálósítja a réteget. Ezt követően a munkaasztal egy rétegvastagságnak megfelelő süllyedésével és a kialakult felszínnek a simító lemezzel történő elegyengetését követően a következő réteg kialakítása

meztörténik és kezdődhet az újabb keresztmetszet elkészítése a lézer segítségével. A folyamat a termék elkészültéig ismétlődik.



10. ábra SLA eljárás elve

Előnyei:

- a teljes modell pontossága $\pm 0,045$ mm,
- kiváló felületi minőség jellemzi a termékeket,
- a gyanta tartalmazhat akár töltő-erősítőanyagokat is,
- a térhálósítatlan gyanta újrahasznosítható.

Hátrányai:

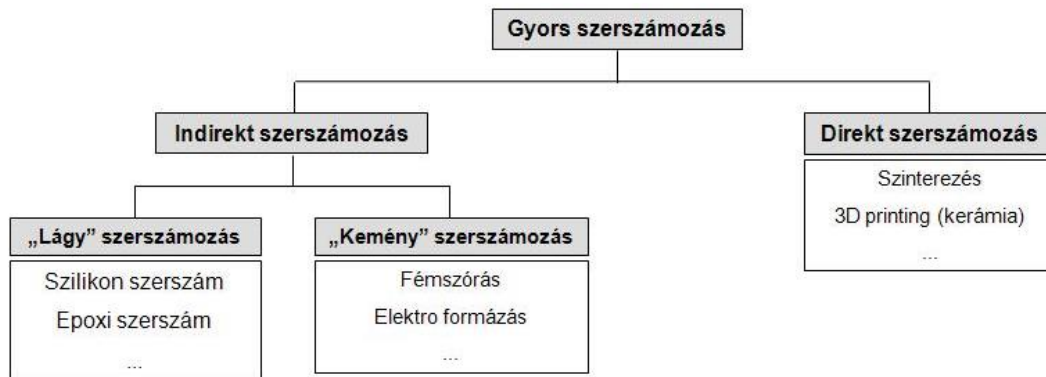
- támasz alkalmazása szükséges
- drága alapanyag és berendezés.
- költséges üzemeltetés
- szükség van utótérhálósításra.

2.3. Kiszériás termékgyártás

Az additív gyártástechnológiákkal feldolgozható alapanyagok termikus és mechanikai tulajdonságainak fokozatos javításával lehetőség nyílt nem csak 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.

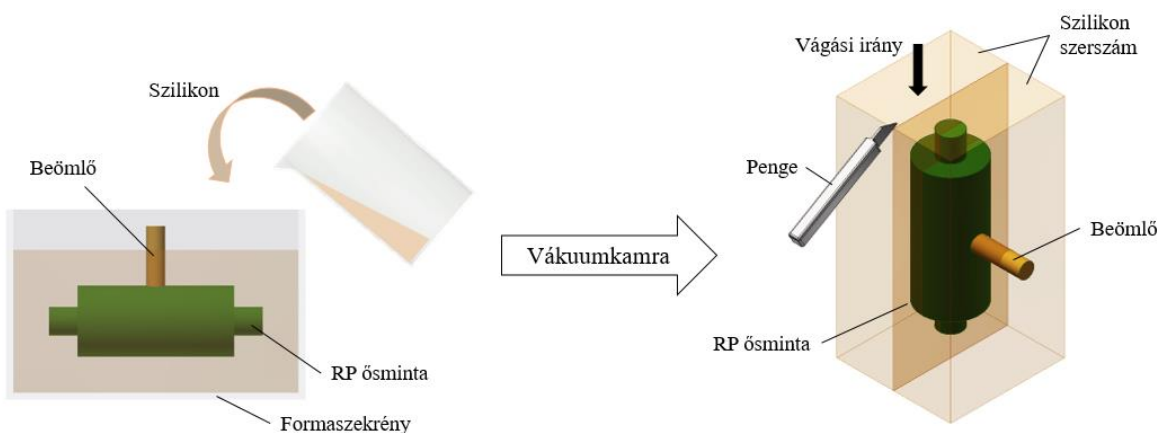
A gyors szerszámkészítésnek számos lehetséges változata megtalálható a piacon, akár a prototípusgyártásból kiinduló indirekt módszert, akár a közvetlen (direkt) szerszám előállítási technikákat tekintjük (11. ábra).



11. ábra Gyors szerszámozás csoportosítása

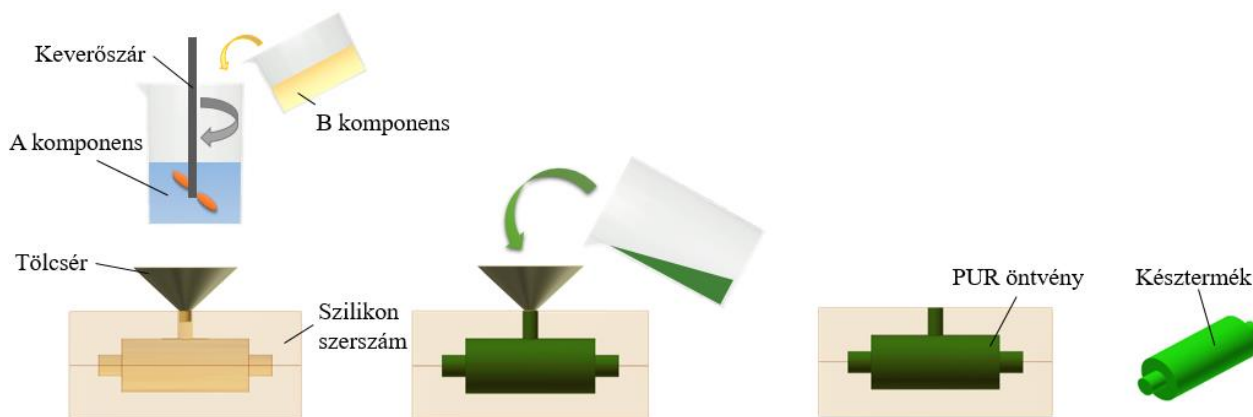
2.3.1. Indirekt szerszámozás [\(videó\)](#)

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.



12. ábra A formaszekrény 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 előállításakor. 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 kivételkor (13. ábra).



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

2.3.2. 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 SLS alapra épülnek, azok valamilyen továbbfejlesztett, illetve módosított változatai.

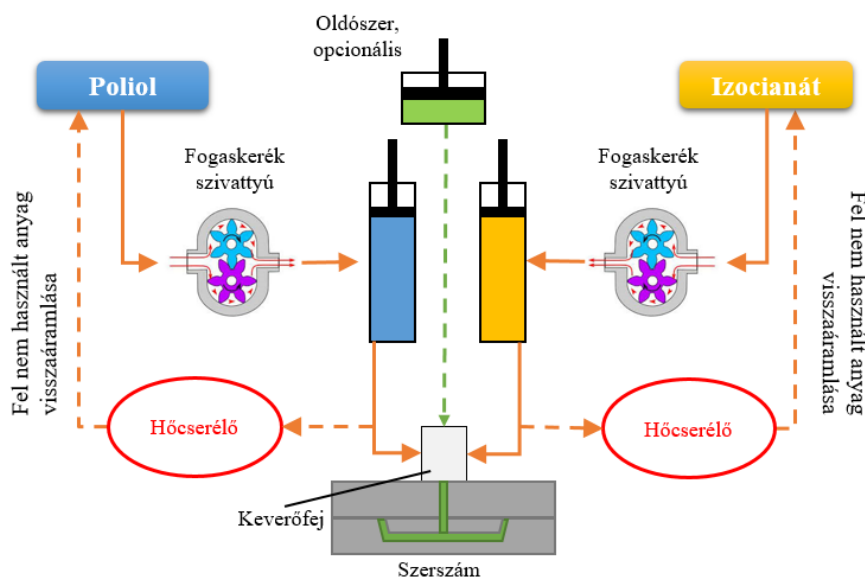
2.4. Reaktív fröccsöntés [\(videó\)](#)

A fröccsöntés a polimer késztermékek előállítására szolgáló eljárások közül az egyik legsokoldalúbb és legdinamikusabban fejlődő szakaszos eljárás. A hagyományos fröccsöntési technológia mellett számos különleges fröccsöntési mód (berendezés) ismert, kezdve a több komponensű fröccsöntéssel a por fröccsöntésen át egészen a hőre keményedő anyagok fröccsöntéséig.

A reaktív fröccsöntés (RIM) során hőre keményedő, leggyakrabban PUR anyagokat dolgozunk fel. A folyamat lényege, hogy két kis viszkozitású, egymással reagálni képes (monomer,

esetleg oligomer) folyadékot kevernek össze, és az elegyet azonnal egy zárt szerszámba injektálják, ahol az polimerizálódik (rendszerint térhálósodik). A poliuretán a szerszámban jön létre, az izocianát és a polioli poliadddíciója révén. A szerszámba fektetett erősítő szövet, esetleg szálaplan, vagy valamelyik komponenssel együtt a szerszámba juttatott vágott szálak segítségével kompozit alkatrészek is előállíthatók ilyen módon. A komponenseket tartalmazó tartályokból a folyadék – az adagolást is szabályozó – szivattyúkon keresztül jut el a keverőfejhez, amely a két komponent összekeveri, majd a szerszámba injektálja. Nagyobb gépeknél (14. ábra) gondoskodnak a nem összekevert komponensek feleslegének visszavezetéséről is.

A kisebb gépek felépítése az előzőekben leírtaktól abban tér el, hogy a fogaskerék szivattyúval a befecskendező-pisztolyhoz eljuttatott komponensek csak egy, a pisztolyhoz erősített egyszer használatos keverőszárban elegyednek. A befecskendező pisztoly szelepeinek nyitása és zárása sűrített levegő segítségével szabályozható. Kisebb berendezéseknél a kisebb kihozatal és adagsúlyok miatt nincs szükség visszavezetésre, így ezt a rendszert és a hőcserélőket nem építik be. A gépek kihozatala és a fröccségység nyomása a motor fordulatszámának változtatásával szűk határok között állítható. A kisebb berendezések kihozatala mintegy 1 liter/percre tehető, míg a komoly ipari berendezéseké akár az 50 liter/percet is elérheti.



14. ábra RIM berendezés vázlata

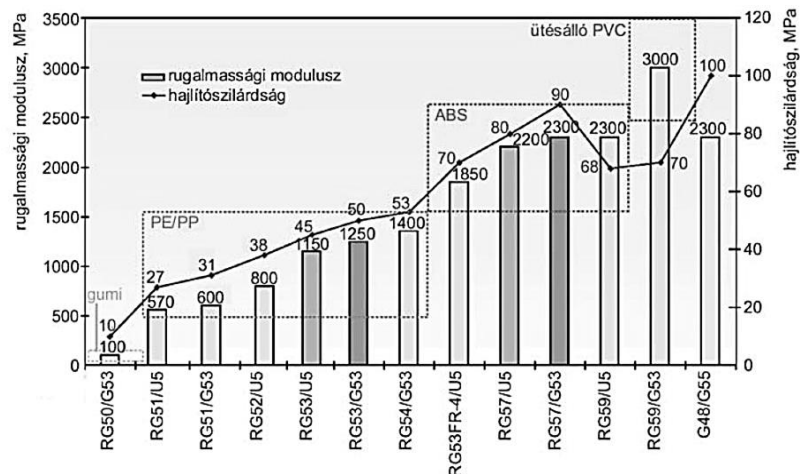
A reaktív fröccsöntésnek számos előnye van a hagyományos fröccsöntéssel szemben, úgy mint az alacsonyabb feldolgozási hőmérséklet, fröccsnyomás illetve záróerő szükséglet (1. táblázat). Hátrányként azonban meg kell említeni a bonyolultabb (nagyobb odafigyelést igénylő) szerszám és folyamat tervezést, hisz a szerszámban kémiai folyamatok játszódnak le, amelyeket mindig megfelelő

kontroll alatt kell tudni tartani, valamint jelentős problémát jelent a térhálós termékek újra-feldolgozhatósága, újrahasznosítása, és a keverő eszközök tisztán tartása.

1. táblázat RIM és a hőre lágyuló fröccsöntés fontosabb paramétereinek összehasonlítása

	Reaktív fröccsöntés (RIM)	Hagyományos fröccsöntés (Hőre lágyuló)
Feldolgozási hőmérséklet (°C)	40–60	150–370
Viszkozitás (Pa·s)	0,1–1,0	100–10000
Fröccsnyomás (bar)	1-2 (nem habosított) 10–200 (habosított)	800–1000
Ciklusidő (min)	10-60	0,02-5

Alapanyagát tekintve a technológia alkalmas többek között szilikon, epoxi, vagy poliuretán alapú keverékek feldolgozására egyaránt. Leggyakrabban a poliuretán alapanyagokat használják, mert anyagi tulajdonságai (15. ábra) – így felhasználási területei is – adalékokkal és monomerekkel tág határok között, tetszés szerint megváltoztathatók. A RIM technológiával készített habosított (struktúrhab) termék összetettségére jellemző példa a gépkocsi műszerfala, amelynek belseje habosított, felszíne műbőrszerűen strukturált, lágy tapintású és összefüggő.



15. ábra RIM alapanyagok

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

3D printing



FDM



Poly Jet



SLA





Indirekt számozás



Reaktív fröccsöntés



3. A laborgyakorlat során használt gépek, berendezések

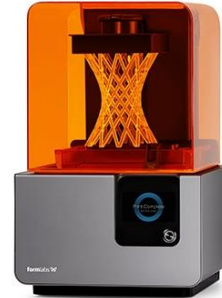
Z650 3D PRINTER (16. ÁBRA)	
<p>modelltér mérete: 254x381x203 mm</p> <p>rétegvastagság: 0,089 – 0,102 mm</p> <p>építési sebesség: ~ 10-25 mm/óra</p> <p>nyomtatófejek száma: 5 db (HP 11)</p>	 <p>16. ábra Z650 3D Printer</p>
OBJET 30 PRO TÍPUSÚ ADDITÍV GYÁRTÓBERENDEZÉS (17. ÁBRA)	
<p>modelltér mérete: 300x200x150 mm</p> <p>rétegvastagság: 0,016; 0,028 mm</p> <p>építési sebesség: ~6 mm/óra</p> <p>nyomtatófejek száma: 2 db</p>	 <p>17. ábra Objet 30 Pro típusú AM berendezés</p>
CRAFTBOT PLUS FDM ALAPÚ ADDITÍV GYÁRTÓBERENDEZÉS (18. ÁBRA)	
<p>modelltér mérete: 250x200x200 mm</p> <p>rétegvastagság: 0,100 – 0,300 mm</p> <p>építési sebesség: 50-200 mm/s</p> <p>nyomtatószál átmérő: 1,75 mm</p>	 <p>18. ábra Craft Bot Plus AM berendezés</p>

FORM2 TÍPUSÚ ADDITÍV GYÁRTÓBERENDEZÉS (19. ÁBRA)

modelltér mérete: 145x145x175 mm

rétegvastagság: 0,025/0,050/0,1 mm

építési sebesség: ~6 mm/óra



19. ábra FormLabs Form2 típusú AM berendezés

ZWICK Z005 TÍPUSÚ SZÁMÍTÓGÉP VEZÉRLÉSŰ UNIVERZÁLIS SZAKÍTÓGÉP (20. ÁBRA)

a gép méréshatára: 5 kN

vizsgálati sebesség tartomány:
0,0005 – 3000 mm/min.



20. ábra Zwick Z005 típusú univerzális szakítógép

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	*
Sztereolitográfia	Stereolithography (SLA)	Stereolithographie
Szelektív lézer szinterezés	Selective Laser-sintering (SLS)	Selektiv-Leaser Sintern
Ömledékrétegzés	Fused Deposition Modelling (FDM)	*
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

Ezt az oldalt
kinyomtatva
hozza
magával!

Név:

Pontszám:

Neptun kód:

Dátum:

Ellenőrizte:

Gyakorlatvezető:

1. Feladat

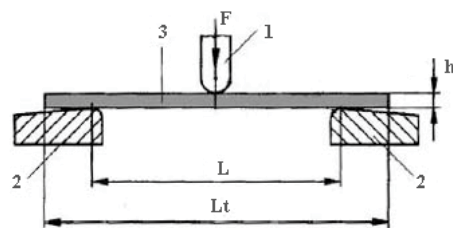
- Termékgyártás különböző additív gyártástechnológiákkal, illetve kisszériás gyártási módszerrel.
- FDM gyártástechnológiával készült különböző térkitöltésű és fröccsöntött próbatetek hárompontos hajlító vizsgálata.

2. Alapadatok

Hőmérséklet:[°C]

Relatív légnedvesség: [%]

Alátámasztási távolság (L) [mm]



Hárompontos hajlítás elvi vázlata

1: nyomófej; 2: alátámasztás; 3: próbatest;
h: próbatest vastagsága [mm]; L az alátámasztási távolság [mm]
Lt próbatest hossza [mm]

No	Gyártás- technológia	Térkitöltés [%]	Próbatest adatai				
			h [mm]	b [mm]	L _t [mm]	m [g]	ρ [g/cm ³]
1	FDM	10			80	1,23	
2	FDM	50			80	2,41	
3	FDM	100			80	3,79	
4	Fröccsöntött	100			80	4,06	

3. Mért és számított eredmények

A hajlító vizsgálatot a szakítógépeknél szokásos módon, állandó sebességű deformáció gerjesztéssel, azaz időben egyenletesen növelt lehajlás mellett végezzük, és a lehajlás függvényében regisztráljuk az ébredő erőt.

Hajlító szilárdság meghatározása:

A σ_{bh} hajlító szilárdság [MPa], vagyis a töréskor elérhető maximális hajlító feszültség meghatározásához a szabvány alapján az (1) összefüggést használhatjuk:

$$\sigma_{bh} = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (1)$$

ahol: ahol F a töréshez tartozó erő [N], L az alátámasztási távolság [mm], b a próbatest szélessége [mm], h a próbatest vastagsága [mm].

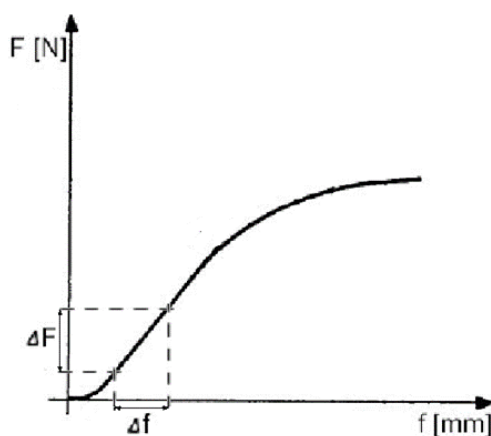
Amennyiben a próbatest az alátámasztási távolság 10%-ának megfelelő lehajlás esetén sem törik el, akkor jellemzésére a hajlító szilárdság helyett a σ_h határhajlító feszültséget használhatjuk. Számítása az előbbivel azonos, kivéve, hogy törőerő helyett a határlehajláshoz tartozó erőt használjuk.

Hajlító rugalmassági modulus meghatározása:

Az E_h hajlító rugalmassági modulus [MPa] meghatározását a szabvány alapján a (2) összefüggéssel határozzuk meg:

$$E_h = \frac{L^3 \cdot \Delta F}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta f} \quad (2)$$

ahol L az alátámasztási távolság [mm], b a próbatest szélessége [mm], h a próbatest vastagsága [mm], $\Delta F/\Delta f$ az erő–lehajlás görbe meredeksége [N/mm].



21. ábra Húrmodulusz meghatározása (erő-lehajlás diagram)

Ezt az oldalt
kinyomtatva
hozza
magával!

No	Mért és számított eredmények						
	F [N]	ΔF [N]		Δf [mm]		σ_{bh} vagy	E_h [GPa]
		F_1 [N]	F_2 [N]	f_1 [mm]	f_2 [mm]	σ_h [MPa]	
1	40,39	1,13	4,94	0,095	0,479		
2	70,74	1,60	7,37	0,090	0,456		
3	115,98	2,16	10,77	0,092	0,462		
4	169,28	2,77	13,68	0,086	0,431		