



**T6**

Változat: 1.1

Kiadva: 2020. szeptember 11.

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

**MT épület**

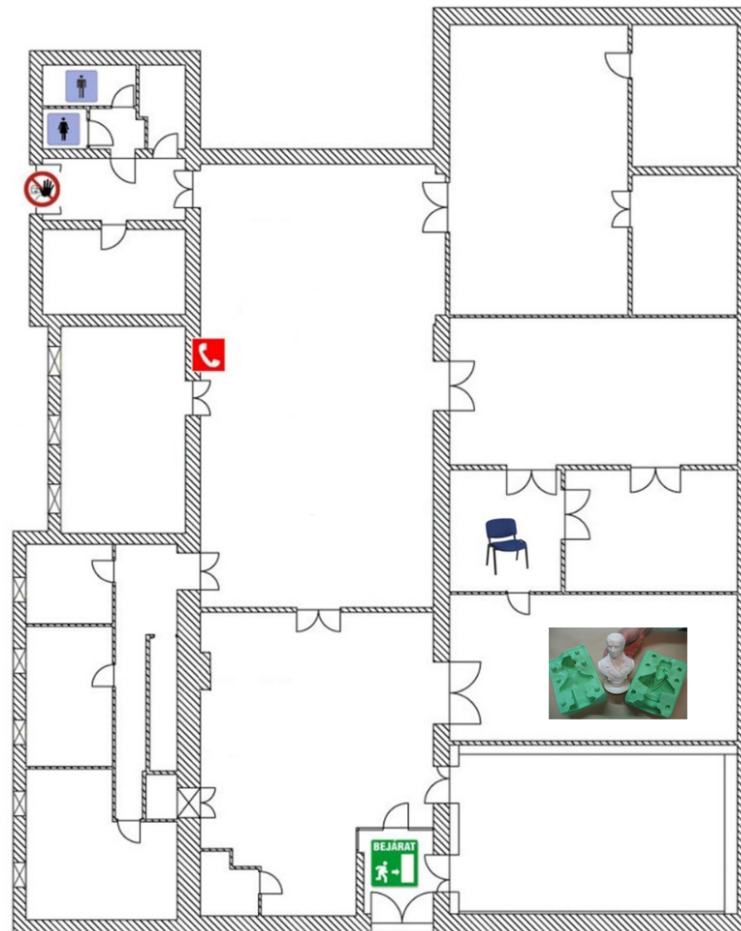
# **Kisszériás szerszámozás**

írta: Magyar Balázs, Hliva Viktor, Dr. Hajba Sándor, Dr. Molnár Kolos,

**A JEGYZET ÉRVÉNYESSÉGÉT A TANSZÉKI HONLAPON KELL ELLENŐRIZNI!**

**WWW.PT.BME.HU**

**A LABORGYAKORLAT HELYSZÍNE**



**MT  
épület**

**TARTALOMJEGYZÉK**

<b>1. A LABORGYAKORLAT CÉLJA</b>	<b>3</b>
<b>2. ELMÉLETI HÁTTÉR</b>	<b>3</b>
2.1. INDIREKT SZERSZÁMOZÁS:	4
2.2. DIREKT SZERSZÁMOZÁS:	5
<b>3. A GYORS SZERSZÁMOZÁSNÁL HASZNÁLT FŐBB ALAPANYAGOK</b>	<b>6</b>
<b>4. A SZILIKON SZERSZÁM KÉSZÍTÉSÉNEK LÉPÉSEI, ÉS TERMÉKGYÁRTÁS A SZERSZÁMMAL</b>	<b>8</b>
<b>5. A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB SZAVAK ANGOLUL, NÉMETÜL</b>	<b>11</b>
<b>6. AJÁNLOTT IRODALOM</b>	<b>11</b>
<b>7. FELHASZNÁLT FORRÁSOK</b>	<b>11</b>
<b>MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV</b>	<b>12</b>

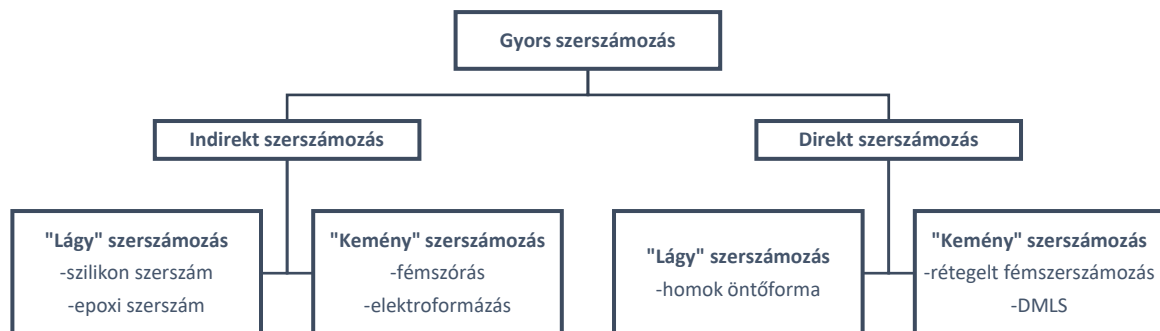
## 1. A laborgyakorlat célja

A laborgyakorlat elsődleges célja a gyors (prototípus) szerszámozási technológiák, valamint az ehhez szükséges alapanyagok megismerése. A gyakorlat során tanulmányozandók a direkt és indirekt szerszámozási technológiák, az ehhez kapcsolódó anyagok tulajdonságai, alkalmazhatósága. Továbbá a feladatok közé tartozik a laborgyakorlat során egy adott termékhez történő szerszám elkészítése.

## 2. Elméleti háttér

Az additív gyártástechnológiákkal (AM, additive manufacturing) feldolgozható alapanyagok termikus és mechanikai tulajdonságainak fokozatos javításával lehetőség nyílt nem csak prototípus-szintű, hanem késztermékek gyártására is. Ezt kétféle módon tehetjük meg: az egyik, amikor közvetlenül a terméket gyártjuk le AM technológia segítségével, a másik, amikor szintén AM technológia segítségével egy szerszámot hozunk létre, majd azt felhasználva hozzuk létre a terméket. Ez utóbbi eljárást gyors szerszámozásnak (Rapid Tooling, RT) hívjuk [<https://www.youtube.com/watch?v=PYg7Qeo5-QY>].

A gyors szerszámozással előállított szerszámok többnyire csak kis sorozatok gyártására alkalmasak, azonban az így előállított darab anyagában, tulajdonságában, sőt gyártástechnológiájában is hasonlíthat a sorozatgyártott termékre, ugyanakkor a szerszámozási költsége jóval kisebb. Manapság egyre inkább arra irányulnak a törekvések, 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 (1. ábra), akár a prototípusgyártásból kiinduló közvetett (indirekt) módszert, akár a közvetlen (direkt) szerszám előállítási technikákat tekintjük.



1. ábra A gyors szerszámozási eljárások csoportosítása

## 2.1. Indirekt szerszámozás:

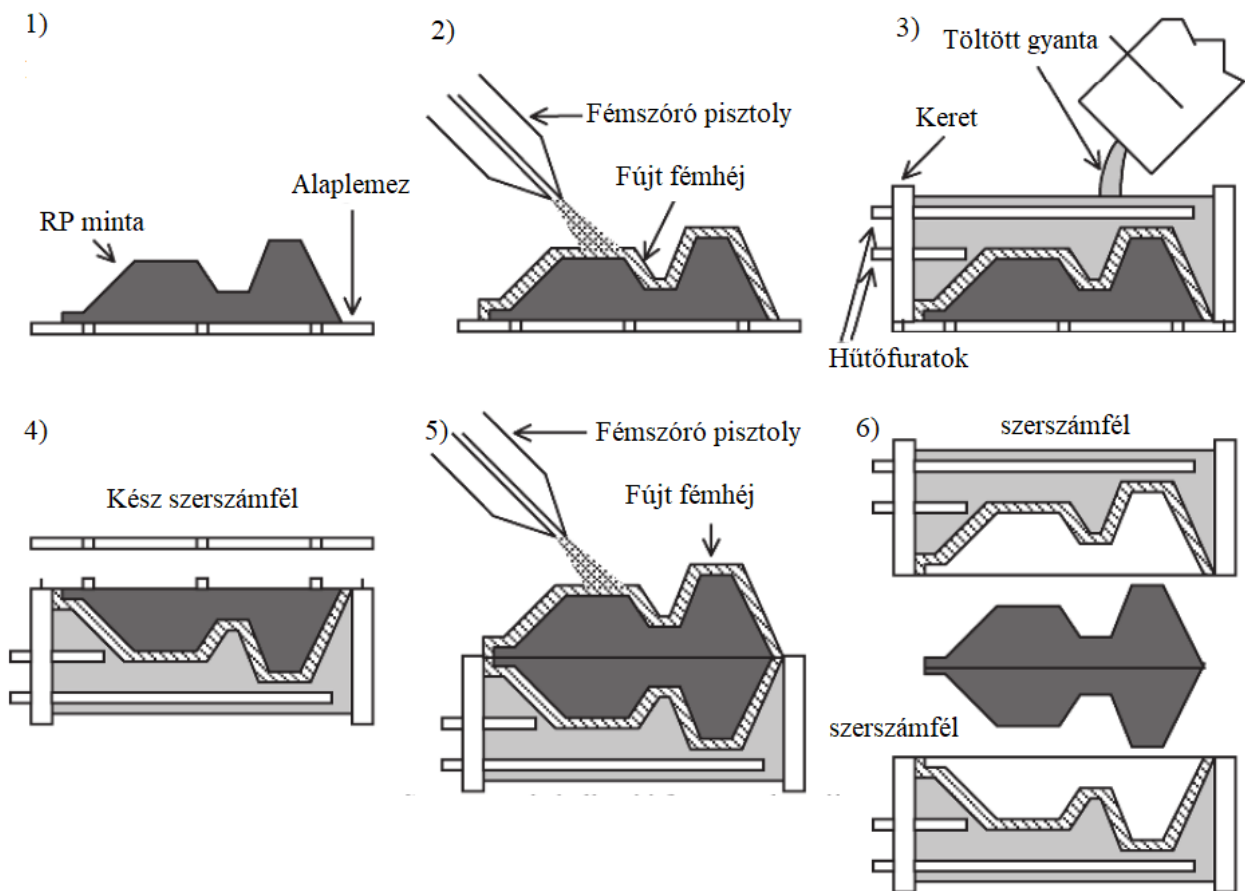
A gyors szerszámkészítés indirekt módjának alapja, hogy valamelyik AM módszerrel elkészített munkadarabot használjuk fel alakadó mestermintának (ősminta). Ez gyakran sokkal gyorsabb és olcsóbb, mintha a szerszámot forgácsolással készítenék el, és a geometriai pontosság (a felületkezelést követően) is kielégítő. Ezután a mestermintát egy másik anyaggal (pl. szilikonnal) körülöntve elkészíthető a szerszám, amely ellenáll a sorozatgyártáskor kialakuló nyomásnak, termikus igénybevételnek, mechanikai koptató hatásnak. A késztermék előállítása három fő lépésből épül föl:

1. az ősminta előállítása,
2. a szerszám elkészítése,
3. a késztermék/alkatrész gyártása.

Mivel az ősminta alaktulajdonságai a késztermékre öröklődnek: az ősminta méreteit, valamint felületi minőségét a késztermék leképzi, ezért fontos a kiváló minőségű ősminta használata.

Indirekt szerszámozás esetében tehát egy mesterdarab köré építjük fel a szerszámot. A felhasznált szerszám alapanyagát tekintve megkülönböztetünk lágú (fémszórás, szilikon szerszámok, rotációs öntött szilikonszerszámok [<https://www.youtube.com/watch?v=DEVi0mEaJJQ>], öntött gyanta) és kemény indirekt szerszámozást (3D Keltool™, Copy milling [<https://www.youtube.com/watch?v=yw8UrFPXZdA>]). A szerszámok keménysége (bővebben: Keménység- és sűrűségmérés laborgyakorlat) befolyásolja az életciklusuk hosszát. A keményebb szerszámok több gyártási ciklust viselnek el. Ezeknél a termikus igénybevételekkel is gyakran számolni kell, amely szintén jelentősen befolyásolja a szerszám élettartamát.

A fémszórás során (2. ábra) egy elektromos ív segítségével a fém alapanyagot kisméretű cseppekre olvasztják. A megolvasztott cseppek egy porlasztófejből, sűrített levegő segítségével kerülnek fel az ősminta felületére mintegy 0,5 mm rétegvastagságban. Az így elkészített fémháj köré alumínium porral töltött műgyantát (duromert) öntenek a megfelelő merevség és hővezető képesség elérésének érdekében. A duromer térhálósodását követően (bővebben: Kompozitok laboratóriumi gyakorlat) hasonló módon készítik el a zárt szerszám másik felét is. A technológia segítségével relatíve nagy élettartamú szerszámok gyárthatók le, amelyek a hőhatásoknak is mérsékelten ellenállnak.



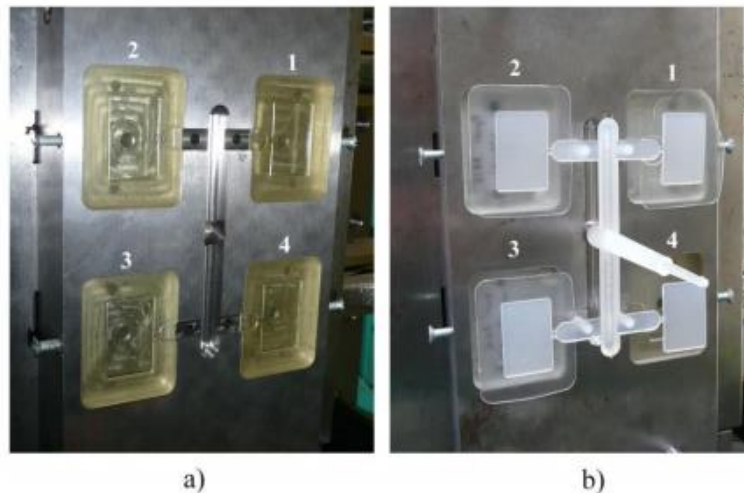
2. ábra Fémcsórt szerszám gyártása osztott kivitelben

## 2.2. Direkt szerszámozás:

Direkt szerszámozás során nem alkalmazunk mestermintát, hanem magát a szerszámot készítjük el közvetlenül, valamilyen gyors prototípusgyártási módszerrel, így a folyamat gyorsabb, egyszerűbb és jobban automatizálhatóvá válik. Ezek az eljárások jellemzően a hagyományos SLA (sztereolitográfia) és SLS (szelektív lézer szinterezés) alapra épülnek (Bővebben: 3D nyomtatás laborgyakorlat), azok valamilyen továbbfejlesztett, illetve módosított változatai. Így egy lépéssel csökken a késztermék legyártásához szükséges technológiai lépcsőfokok száma. A direkt szerszámozást is szét lehet bontani két csoportra a szerszámok keménysége alapján: lágyra (SLS technológiával készült homoköntőforma, Direct AIM, SL composite tooling) és keményre (RapidTool™, Laminated Metal Tooling, DMLS, ProMetal™).

Direktszerszámozás segítségével kisebb darabszámú fröccsöntött vagy vákuumformázott termékek legyártásához alkalmas betéteket lehet előállítani (3. ábra). Így a megmunkálás költségei

lényegesen alacsonyabbak, mint a hagyományos forgácsolás esetében, illetve a betétek legyártása is kevesebb időt vesz igénybe. Előnye a direkt prototípus-gyártott szerszámoknak, hogy bonyolult geometriájú, formakövető hűtőfuratokat lehet létrehozni, így a termékek zsugorodása kedvezőbb lehet egy szikraforgácsolt betéthez képest. A nagy nyomás- és hőterhelések miatt azonban nagyobb igen korlátozott ciklusszámú gyártás valósítható meg.

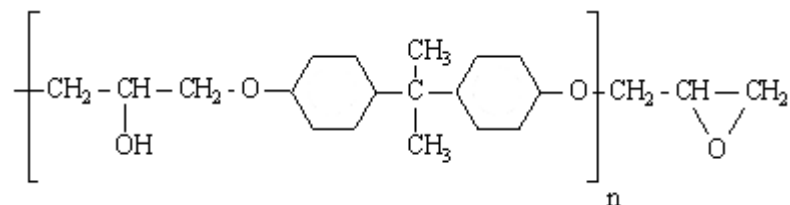


3. ábra Fröccsöntés Polyjet technológiával nyomtatott szerszámokba a) PolyJet szerszámbetétek;  
b) fröccsöntött termékek

### 3. A gyors szerszámozásnál használt főbb alapanyagok

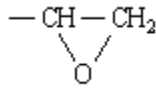
#### 3.1. Az epoxi:

Az EP *epoxigyanták* termoreaktív (hőre keményedő) rendszerek, amelyek oligomer formában kerülnek forgalomba. Az oligomer epoxigyanta tipikus molekulája:



4. ábra Epoxigyanta felépítése

Ez egy közepes méretű molekula, amelyben  $n$  csak néhány (max. 10-100) lánctagot jelent és szobahőmérsékleten folyékony. Megfelelő, többnyire amin típusú, térhálósítószer (*hárter*) és hő hatására a lánc végén lévő epoxigyűrű (5. ábra) felnyílik és *poliaddíciós* mechanizmussal építi fel a térhálós szerkezetet.



5. ábra Az epoxigyűrű

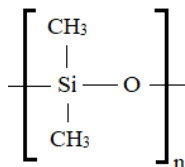
Ennek az addíciós polimerizációba lépő, feszített gyűrűnek köszönhető az epoxigyanták egyik legnagyobb műszaki előnye: miközben a kitűnő tapadást biztosító, ragasztóként is hasznosítható vagy kompozit mátrix (beágyazó) anyag térhálósodik, gyakorlatilag nem változik a fajtérfogata, tehát alig zsugorodik. Az Araldit, Epokite stb. márkanevű epoxigyanták mérnöki alkalmazása a számítástechnikától a legváltozatosabb gépészeti alkalmazásokon át az űrtechnikáig terjed [1].

### 3.2. A poliuretán:

Manapság kifejezetten elasztomer funkcióban, műszaki és köznapi célokra rendkívül sok poliuretánt alkalmazunk. Lineáris változatuk, amely kétfunkciós *diol*-ból és *di-izocianát*-ból indul ki, fröccsönthető, hőre lágyuló elasztomer. Nincs akadálya azonban a kívánság szerinti, „testre szabott” (*tailor-made*) térhálósításnak sem, amely során a kívánt rugalmassági moduluszú, hőre nem lágyuló, *kémiai* térhálóval rendelkező elasztomerek sora állítható elő, megfelelő mennyiségű *háromfunkciós* monomer adagolásával. Az autóipartól a cipőtalp-gyártásig sokféle poliuretánt használunk, a leggyakrabban *habosítással* egybekötve. A habosításhoz elég, hogy – előre számított mennyiségű – víz legyen a rendszerben. [1]

### 3.3. A szilikonok:

A szilikonok abban térnek el a leggyakrabban alkalmazott műanyagoktól, hogy a főláncuk nem szerves szénváz (C), hanem szilícium (Si) alapú. A szilikonok egy nagy anyagcsaládot alkotnak, egészen változatos tulajdonságokkal és megjelenéssel. Léteznek például hosszú láncokból felépülő szilikonok, amelyek olajszerűen folynak, illetve gyakoriak a térhálós szilikonok, amelyek gumiszerűek. A poli-dimetil-sziloxánok a legegyszerűbb és legnépszerűbb szilikonok. Ismétlődő egységüket a (6. ábra) mutatja be.



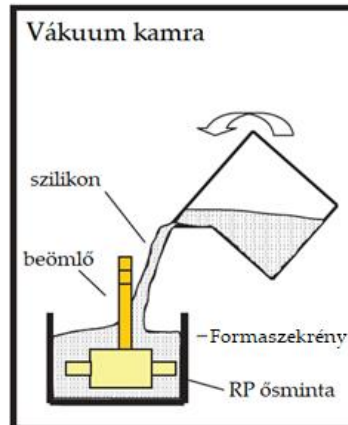
6. ábra A poli-dimetil-sziloxán ismétlődő egysége

A szilikon polimer alapvázát a szervesetlen sziloxánlánc alkotja, amely a szilikátok és a kvarc építőeleme is. A szilikonokban általában nagyobb a szervesetlen részek aránya, mint a szerves részeké. Ez az anyag ennek ellenére még így is gyakran gumyszerűen elasztikus tulajdonságokkal rendelkezik. Alkalmazási területekre bontva a kémiai-, ill. kaucsuk - és műanyagipar áll az első helyen (36%), dinamikus fejlődő terület az építőipar (20%), majd a gépjárműipar (12%), a villamos- és elektronikaipar (10%), a textilipar (10%), a papíripar (7%), és végül egyéb iparágak (5%). Százalékban ugyan csekély, de jelentőségében óriási szerepe van a szilikonoknak a gyógyászatban is, elsősorban, mint lágy (soft) implantátumok, ahol vezető szerepet töltenek be. A szilikonok, mint nagyobb részben szervesetlen anyagok, tehát sok területen helyettesíthetik a szerves polimereket (elektronikai ipar, élelmiszeripar, gumiipar, építőipar, gyógyászat) [2].

#### **4. A szilikon szerszám készítésének lépései, és termékgyártás a szerszámmal**

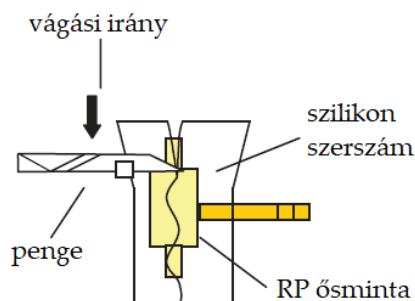
A gyártás első lépése az ősminta létrehozása indirekt szerszámozás esetében, amelyet a laborgyakorlat keretein belül valósítunk meg. Ezt követően az előállított ősminta felületét kezelni kell a megfelelő felületi érdesség elérésének érdekében (csiszolás, maratás). Harmadik lépésben az ősminta köré formaszekrényt kell felépíteni, a folyékony szilikon körülölelésének érdekében. Miután a szilikon térhálósodott, el lehet távolítani körüle a formaszekrényt. Az öntés során a késztermék legyártásához szükséges elemeket is elhelyezünk, köztük a késztermék öntéshez szükséges beömlő, valamint kilevegőztető furatok helyeit biztosító elemeket. A szilikonnal kiöntött szerszámházat vákuumkamrába kell elhelyezni, hogy az öntés során keletkezett esetleges pórusok, buborékok méretei és száma minimalizálódjon (7. ábra).





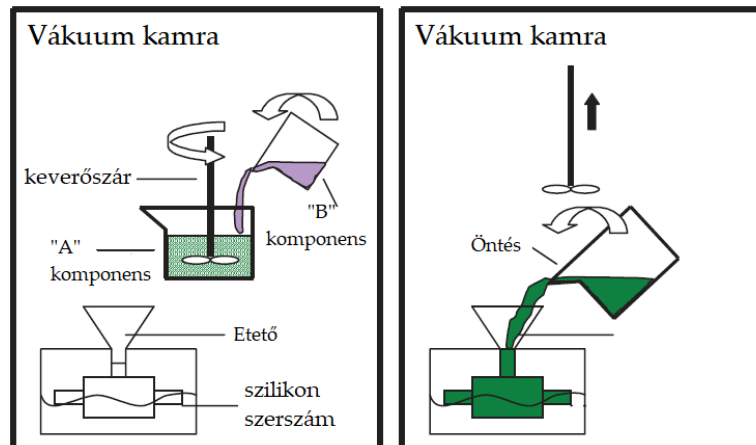
7. ábra A formaszekrény kitöltése szilikkonnal [3]

A negyedik lépés a szilikon térhálósodása után következik. Az öntött tömböt ketté kell vágni (8. ábra). Ezt a lépést ki lehet váltani, ha az ősminta köré a szilikon alapanyagot két lépésben öntjük a fémszört szerszámoknál bemutatott módon. Ilyenkor az alsó szerszámfelet formaleválasztóval kell kezelni a felső szerszámfél öntését megelőzően, nehogy a felek egymáshoz térhálósodjanak (összekössenek). Egyszerűbb termékek esetében (az ősminta egyik oldala sík) elegendő egyoldalú szerszám alkalmazása.



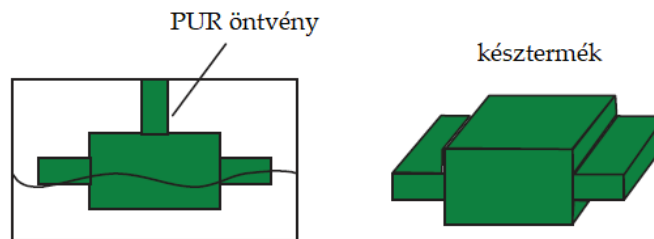
8. ábra A szerszám szétválasztása [3]

Az ötödik lépés során a szerszámot előkészítjük az öntéshez. A szerszám felületét védő, valamint a formaleválasztást szolgáló szilikonolajjal kezeljük azt. Továbbá opcionálisan etetőtölcsért is alkalmazhatunk az öntés megkönnyítésének érdekében. Az öntéshez használandó anyag (jelen esetben PUR) komponenseit összekeverjük, majd vákuum alá helyezzük a keverés során bekevert levegő eltávolításához, majd a szerszámüreget feltöltjük a bekevert alapanyaggal a hatodik lépés során.

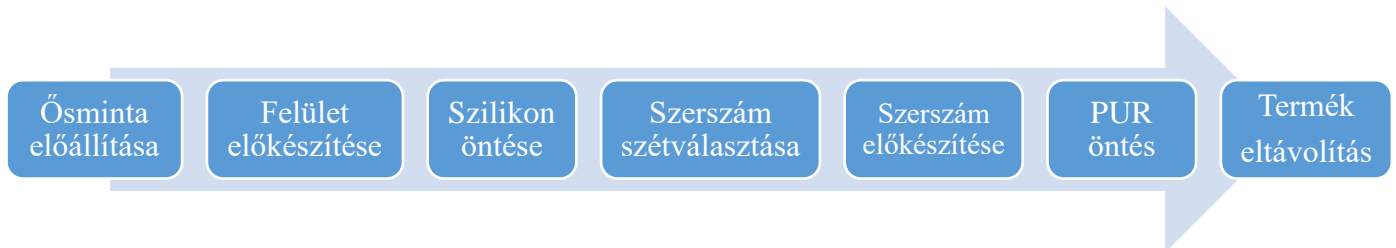


9. ábra A komponensek összekeverése, valamint a szerszámüreg kitöltése [3]

A PUR térhálósodásának sebességét a hőmérséklet emelésével lehet gyorsítani, ám ebben az esetben a zsugorodás mértéke is nagyobb lesz. A térhálósodás (kb 10 perc) befejeztével a késztermék eltávolítható a szerszámüregből, így lezárva az első termék legyártásához szükséges ciklust.



10. ábra A gyártási ciklus utolsó pontja, a PUR alapanyag térhálósodása [3]



11. ábra Az első termék legyártásához szükséges gyártási lépcsőfokok

A következő termékek gyártási ciklusa már lényegesen kevesebb elemből épül fel, az előbb ismertetett lépésekből az utolsó hármat kell ciklikusan megismételni (szerszám előkészítése, öntés, valamint a késztermék eltávolítása).

## 5. A témához kapcsolódó fontosabb szavak angolul, németül

Magyar	Angol	Német
gyors szerszámozás	rapid tooling	*
indirekt szerszámozás	indirect tooling	*
direkt szerszámozás	direct tooling	*
additív gyártástechnológia	additive manufacturing	*
szilikon	silicone	Silikon
epoxi	epoxy	Epoxy
poliuretán	polyurethane	Polyurethan
*az angol kifejezés használatos		

## 6. Ajánlott irodalom

- Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai
- Nagy J.: Biokompatibilis anyagok
- Chua C. K., Leong K. F., Lim C. S.: Rapid prototyping
- A. Gebhardt: Understanding Additive Manufacturing
- I. Gibson, D. W. Rosen, B. Stucker: Additive Manufacturing Technologies
- J. A. McDonald, C. J. Ryall, D. I. Wimpenny: Rapid Prototyping Casebook

## 7. Felhasznált források

1. Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai. Műegyetem Kiadó, Budapest (2007).
2. Nagy J.: Biokompatibilis anyagok című tantárgy előadás segédlete, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vegyészmérnöki Kar, Szervetlen Kémia Tanszék, Budapest, (2007)
3. Chua C. K., Leong K. F., Lim C. S.: Rapid prototyping, World Scientific Publishing Co., London (2010)

## MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV

Név: .....

Jegy: .....

Neptun kód: .....

Dátum: .....

Ellenőrizte: .....

Gyakorlatvezető: .....

### 1. Gyakorlaton elvégzendő feladatok

- ősminta előkészítése
- szerszám előkészítése
- a termékgyártáshoz felhasznált alapanyag kiválasztása, bekeverése
- termékek gyártása különböző módon
- elkészített termékek összehasonlítása egymással és az eredeti ősmintával

Ezt az oldalt  
kinyomtatva  
hozza  
magával!

### 2. Mérések kiértékelése

- gyártott termékek geometriai méreteinek és minőségének ellenőrzése