

# Gyors prototípusgyártás, mint újszerű fröccsöntő szerszámozási technológia

A gyors prototípusgyártás (RPT) és gyorszerszámozás (RT) megjelenése alapjaiban változtatta meg a termékfejlesztés és a kisszériás termékgyártás menetét. RPT segítségével 1-2 óra alatt a virtuális modellből valós 3D-s modellt, amíg RT technológiák alkalmazásával akár 1 nap alatt tetszőleges bonyolultságú szerszámot, szerszámbetétet hozhatunk létre. A műanyagipar egyik legnépszerűbb gyártástechnológiája a fröccsöntés. Cikkünkben eltérő RPT technológiákkal (FDM, 3DP, Objet) állítottunk elő fröccsöntő szerszámbetéteket, amelyeket fröccsöntési kísérleteknek vetettünk alá.

The appearance of rapid prototyping and rapid tooling changed the way of product development and short production fundamentally. With the assistance of RPT real 3D model can be produced only in a few hours or by using RT technology any kind of complex mold or mold insert can be made. Injection molding is one of the most widely used plastic part processing technology. In this paper mold inserts made with different RPT technologies (FDM, 3DP, Objet) and tested by real injection molding are presented.

Die Erscheinung des Rapid-Prototyping-Verfahrens (schneller Prototypentwicklung) und Rapid Toolings (schneller Werkzeugbau) hat den Verlauf der Produktentwicklung und die Kleinserienproduktion grundsätzlich verändert. Mit Hilfe des Rapid-Prototyping-Verfahrens kann von einem virtuellen Modell in 1-2 Stunden ein reelles Modell, und mit der Anwendung des Rapid Toolings sogar in einem Tag ein beliebig kompliziertes Werkzeug oder Werkzeugeinsatz gefertigt werden. Einer der bevorzugten Herstellungstechnologien der Kunststoffindustrie ist das Spritzgießen. In unserem Artikel haben wir Spritzgießwerkzeug-Einsätze mit verschiedenen Rapid-Tooling-Technologien (FDM, 3DP, Objet) gefertigt, die wir Experimenten unterworfen haben.

## 1. Bevezetés

A napjainkban megfigyelhető kiélesedett gazdasági verseny, valamint az évek óta elhúzódó gazdasági válság egyre inkább megköveteli a termékek piacra jutási idejének csökkentését. Ennek eredményeként a hagyományos, egymást követő tervezési és gyártási folyamatok helyét átvette az egyidejű szimultán gyártástervezés, amelyben kiemelt szerepe van a közbelső ellenőrzéseknek, illetve a tervezési folyamatban részt vevők közötti hatékony kommunikációnak [1-5]. A ma már közismert gyors prototípusgyártási eljárások (rapid prototyping, RPT) és a belőlük kialakult gyors szerszámozási módszerek (rapid tooling, RT) ehhez nyújtanak hatalmas segítséget.

A gyors prototípusgyártás technológiájának megjelenésével megnyílt a lehetőség a tervezőmérnökök előtt, hogy a hagyományos gyártási módok korlátait

megkerülve közvetlenül a 3D-s modellből állítsák elő a valós fizikai modellt. A prototípus készítésnek alapvetően három célja lehet. Az első, amikor csupán a termék geometriáját (formáját) szeretnék megvizsgálni (vizuális modell). A második a funkció vizsgálata (funkciós modell), ahol nem csak a küllem, hanem a fizikai tulajdonságok (merevség, szilárdság stb.) is számítanak. A harmadik pedig, amikor a prototípus egy előzetes gyártás alapja, tehát egy olyan minta, amelyből az adott terméket előállító szerszám készül [6-7].

Az utóbbi években egyre nagyobb igény mutatkozott arra, hogy a készülő termékek funkcióinak érdemi teszteléséhez ne csak anyagában, hanem gyártástechnológiájában is megegyező prototípusokat (production intent material) lehessen előállítani, a hagyományos technológiák nyújtotta időtartam töre-

déke alatt. Közismert, hogy a polimerek egyik legelterjedtebb feldolgozás-technológiája a fröccsöntés, amelynek szerszámozási költsége a termék bonyolultságától függően a több százezer eurótól a több millió eurót is elérheti. Ezért ahhoz, hogy a prototípus terméket is fröccsöntéssel tudjuk előállítani szükség van olyan alternatívákra, amelyekkel gyorsan és a végleges szerszám költségeihez képest olcsóbban előállítható a szerszám, szerszámot. A megoldást a gyors szerszámozás technológiája (RT) jelentheti, amelynek legfontosabb fejlesztési iránya az olyan szerszámok gyors előállíthatóságának kidolgozása, amelyek funkcionalitásukban hasonlítanak a hagyományosan alkalmazott, forgácsolt, szikraforgácsolt, hőkezelt és köszörült acélszerszámokéhoz, de az acél helyett más anyagokkal és az ehhez igazodó gyártási technológiákkal állítják elő a szerszám kívánt alakadó betéteit.

Cikkünkben különböző RPT technológiákkal előállított szerszámotételek alkalmazhatóságát vizsgáltuk fröccsöntő szerszámotételeként. Ahhoz, hogy vizsgálatokat el tudjunk végezni meg terveztünk és legyártottunk egy cserélhető betétes szerszámot. Továbbá megterveztünk és a későbbiekben eltérő RPT technológiákkal legyártottuk a szerszámotételeket. A fröccsöntési vizsgálataink során elemeztük az elérhető maximális ciklusszámot, a tönkremeneteli módokat, valamint a gyártott termékek tömegének változását a ciklusszám függvényében. Továbbá vizsgáltuk az Objet betétek hőterhelését a fröccsöntési folyamat során.

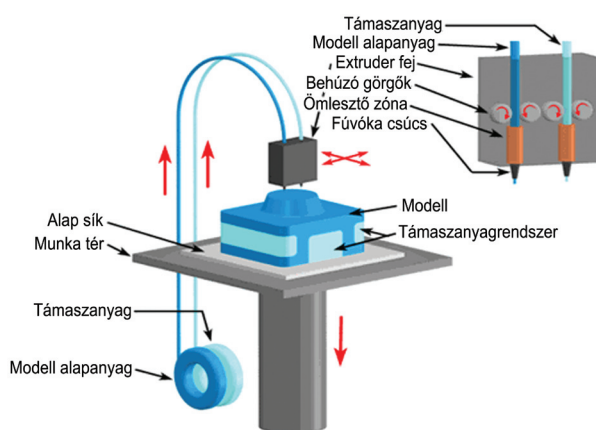
## 2. Alkalmazott RPT és RT technológiák bemutatása

A gyors prototípusgyártási (RPT) eljárások közös elve, hogy tetszőleges 3D-s tervezőrendszerben előállított modelltől 3D-s fizikai modellt állítanak elő az eddig ismert anyageltávolítási módok helyett anyaghozzáadás útján rétegről-rétegre. Az RPT technoló-

giák a felhasznált alapanyag alapján csoportosíthatók úgy mint folyadék alapú (SLA / lézer sztereolitográfia / Stereolithography, FDM / ömledékrétegzés / Fused Deposition Modeling), por alapú (SLS / szelektív lézer-szinterezés / Selective Laser Sintering, 3D nyomtatás), illetve rétegeléses (LOM / réteges kivágás és felépítés / Laminated Object Manufacturing). Kísérleteink során ezek közül az FDM, az Objet és a 3D nyomtatás technológiáit használtam fel [4-5].

### 2.1. Ömledékrétegzéses technológia (FDM)

Az ömledékrétegzéses technológiát S. Scott Crump fejlesztette ki az 1980-as évek végén, majd 1990-ben adta el a szabadalmat. Végül elsőként a Stratasys Inc. cég hozta kereskedelmi forgalomba az ilyen eljárás alapuló gépeket, amelyek mára az egyik legszélesebb körben alkalmazott technológiává váltak.



1. ábra Az ömledékrétegzés (FDM) technológiájának elve [8]

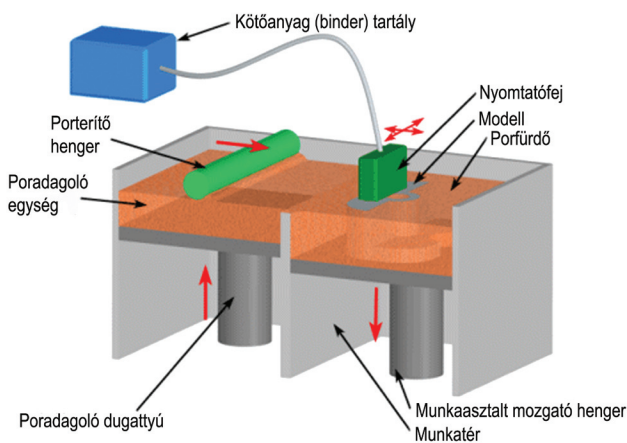
A módszer alapelve (1. ábra), hogy a megfelelő termoplasztikus szálak anyagot egy x-y-z irányban mozgatható extruderhez hasonló berendezés kevesével az anyag olvadáspontja fölé melegít, így ömledék állapotban az előző réteghez tapad, illetve külső hűtés nélkül gyorsan, néhány másodperc alatt megszilárdul. Az x-y mozgás az adott rétegben lévő forma kialakítását szolgálja, amíg a z irányú mozgással az

újabb felvitelre kerülő réteget határozza meg. Látható, hogy a technika igen precíz vezérlést igényel, így a legtöbb gyártó az "extruderfej" mozgatásához léptető-, vagy szervomotort alkalmaz [9-11].

Elméletileg minden hőre lágyuló polimer alkalmazható, de manapság főleg ABS-t, PA-ot és PC-ot használnak. Előnye, hogy a gép kicsi, csendes és gyors, akár irodákban is lehet alkalmazni. Ezt annak köszönheti, hogy a modell nem igényel utólagos keményítést és hűtést sem, nem szükséges sem UV, sem pedig lézertény. Az adott modellhez több szín és anyag is alkalmazható. Hátránya a z irányú pontatlanság ( $256 \mu\text{m}$ ) és a korlátozott felületi minőség [12].

## 2.2. 3D nyomtatás (3DP)

Ezt az RPT módszert, az MIT (Massachusetts Institute of Technology) kutatói fejlesztették ki. A licencet ma már több cég is megvette, úgy, mint például a ProMetal, Aprecia Pharmaceuticals vagy a legismertebb, a Z Corporation. Az utóbbi vállalat nagy eredményeket ért el a fejlesztésekben, amit például a 2004-ben bemutatott 24-bites színes nyomtatásra alkalmas gépe is bizonyít. Ez a színes nyomtatási lehetőség segítséget nyújthat a tervezőknek akár a 3D-s modellek feszültséganalíziseiből kapott eredmények megjelenítésére is.



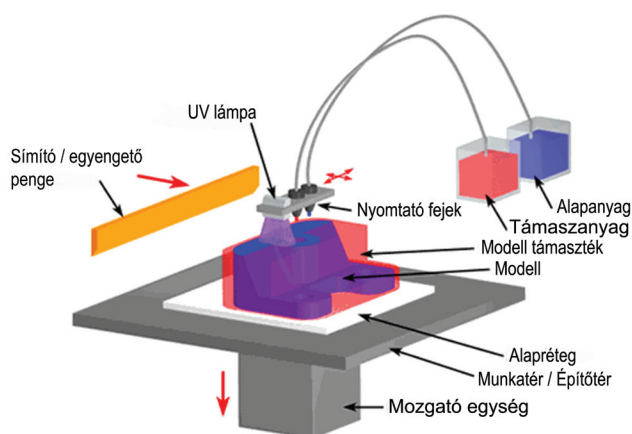
2. ábra A térbeli nyomtatás eljárás elve [13]

A 3D nyomtatással bármilyen forma előállítható, szinte bármilyen anyagból, egyetlen fontos kritérium, hogy megfelelő finomságú legyen a por ( $50 - 100 \mu\text{m}$ ). A Z Corporation gépein jellemzően cellulóz, gipsz vagy kerámia port alkalmaznak. A termék felépítése az előzőleg elkészült rétegre való porfelvitellel kezdődik, ami után a nyomtató eszköz kötőanyagot juttat a szükséges keresztmetszetbe. Ezután a tálca egy rétegnyt lesülyed és újabb porréteget terít el az egész felületen. Ezeket a lépéseket ismételve alakul ki a végső darab (2. ábra).

Az eljárás gyors, egyszerű, olcsó és megbízható. Mivel a terméket por veszi körül, így alátámasztást nem igényel. Hatalmas előnye, hogy igen gyorsan lehet vele előállítani kerámia öntőformákat precíziós öntéshez. Hátrány viszont, hogy utólagos kezelés szükséges, pontossága korlátozott (építési irányban  $100 \mu\text{m}$ ) és a belső felületekhez nem lehet hozzáférni [2, 11].

## 2.3. PolyJet technológia

Az PolyJet eljárás neve az Izraelben működő Objet Geometries céghez köthető. Ez a merőben új eljárás magába foglalja a legtöbb RPT technológia előnyét. Valójában az SLA anyagait és a 3D nyomtatási technológiát egyesíti. A tintasugaras nyomtatófejből kinyomtatott fényérzékeny műgyantát nem lézertel, hanem UV fényforrással szilárdítják meg (3. ábra). Mivel térben nyomtatunk, így támaszanyagra is szükség van. Nagy előny viszont, hogy a támaszanyag vízzel oldható, így könnyebb és egyszerűbb eltávolítani. További előny, hogy az UV fényforrásnak köszönhetően olcsóbb és gyorsabb, mint a hagyományos RP technológiák.



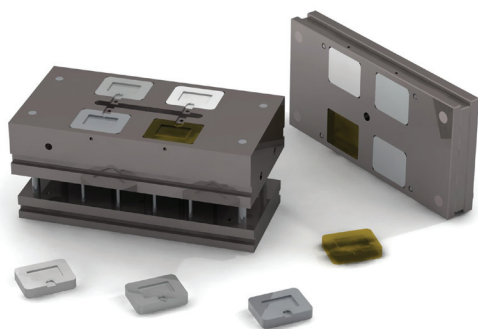
3. ábra *Objet - PolyJet eljárás elve [14]*

Egy évvel ezelőtt került bemutatásra az újabb fejlesztések eredményeként született Connex gép, amelyben már akár két különböző mechanikai tulajdonságú anyag is nyomtatható egy munkadarabon belül. A berendezés precizitását a 16 µm-es építési rétegvastagság jól jellemzi, a legvékonyabb függőlegesen elkészíthető falvastagsága 0,6 mm, a teljes modell pontossága pedig  $\pm 0,05$  mm [15, 16]. Ezek a gépek Magyarországon is elérhetők, hazai forgalmazója a Varinex Zrt.

### 3. Kísérleti rész

#### 3.1. Fröccsöntő szerszám- és szerszámbetét




Ahhoz, hogy fröccsöntési kísérleteket tudjunk végrehajtani, meg kellett terveznünk, és le kellett gyártanunk a cserélhető szerszámbetéteket és az ezeket magába foglaló szerszámblökköt (4. ábra).



4. ábra *Fröccsöntő szerszám 3D-s modellje*

A betétek megtervezésénél nagyon körültekintően kellett eljárunk. Ügyelni kellett arra, hogy a termék ne legyen túl bonyolult geometriájú, továbbá, hogy alkalmas legyen további vizsgálatok – például zsugorodás és vetemedés vizsgálatok – elvégzésre is. Ezért esett végül a választásunk 20x30x2 mm méretű lapka próbatestre.

A fröccsöntő betéteket három eltérő (FDM, 3D nyomtatás, Objet – PolyJet) gyors prototípus berendezésen gyártottuk le (1. táblázat). Referencia betétként alumínium és acél betéteket is használtunk.

Eljárás		Anyag
PolyJet		modell: FullCure720
FDM		modell: ABS
3DP		modell: Gipsz (ZP102)

1. táblázat *RPT és RT technológiával készült betétek*

### 3.2. Alkalmazott anyagok és berendezések

#### 3.2.1. Fröccsöntött alapanyag

A szerszámbetétekbe a TVK H116F jelű PP-t fröccsöntöttünk, amelynek a tulajdonságait a 2. táblázatban foglaltuk össze.

Polipropilén (PP)	
Sűrűség	0,905 g/cm <sup>3</sup>
Olvadási hőmérséklet	165 °C
Vicat lágyulási hőmérséklet	72 °C
Viszkozitás 1000 s <sup>-1</sup> -nél, 230°C-on	35 Pa·s
Hővezetési tényező	0,067 mm <sup>2</sup> /s
Zsugorodás	1,2 - 2,5 %
Nedvességfelvétel	<0,1 %
Előszárítás	nem szükséges
Anyagbeömlő garat hőmérséklete	30-50 °C
Plasztikáló henger hőmérséklete	160-300 °C (zónától függően)
Szerszámhőmérséklet	20-70 °C
Fröccsnyomás	800-1400 bar
Utónyomás	a fröccsnyomás 30-60%-a
Csiga maximális kerületi sebessége	0,9 m/s

2. táblázat TVK H116F -PP tulajdonságai [2]

### 3.2.2. Fröccsöntő gép

A fröccsöntéseket az ARBURG 320C 600-250 fröccsöntőgépen végeztük (5. ábra), amelynek főbb paramétereit a 3. táblázat tartalmazza.

ARBURG 320C 600-250 paramétereit [2]	
záróerő	600 kN
nyitási út	350 mm
szerszám beépítési magassága	200 mm
felfogólapok távolsága	550
szabad oszloptávolság	320 x 320 mm
felfogólap méretei	446 x 446 mm
csigaátmérő	35 mm
elméleti lökettérfogat	144 cm <sup>3</sup>
fröccsnyomás	1820 bar
befröccsöntési áram	154 cm <sup>3</sup> /s

3. táblázat ARBURG 320C fröccsöntőgép  
paramétereit



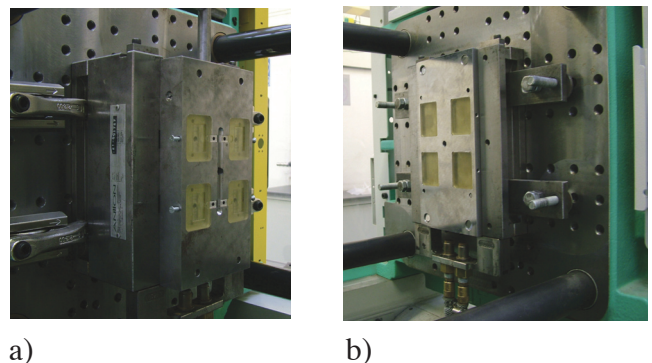
5. ábra ARBURG 320C 600-250 fröccsöntőgép

## 4. Eredmények

Munkánkban azonos fröccsöntési paraméterek mellett vizsgáltuk az eltérő technológiákkal előállított betétek fröccsöntés közbeni viselkedését. Mértük a gyártott termékek tömegének alakulását a fröccsöntési ciklusszám függvényében, továbbá az Objekt betétek esetén mértük a formaüreg felületi hőmérsékletének alakulását.

### 4.1. Fröccsöntési és tömegmérési eredmények

Első lépésként a betéteknek a szerszámokba illesztését kellett elvégezni. A vizsgálatunk során mind az álló mind a mozgó oldal betétezett volt. A mérési összeállítást 6. ábra mutatja.



6. ábra Fröccsöntő szerszám objekt betétekkel

a) mozgó oldali, b) álló oldali

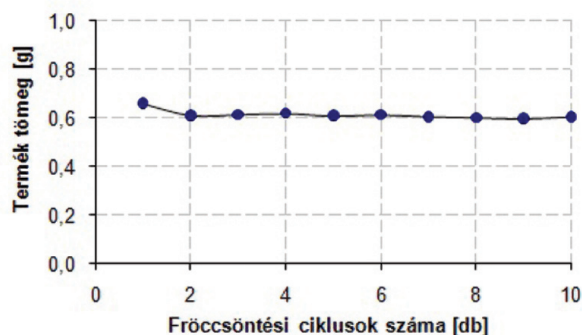
A fröccsöntéseket a 3.2.2-es fejezetben bemutatott fröccsöntő gépen végeztük, a technológiai paramétereit a 4. táblázat tartalmazza.

Feldolgozási paraméterek	
$T_{\text{ömledék}}$	190°C
$v_{\text{kerületi}}$	15 m/min
$P_{\text{torló}}$	0 bar
$V_{\text{adag}}$	35 cm <sup>3</sup>
$V_{\text{átkapcsolás}}$	25 cm <sup>3</sup>
$V_{\text{dekompresszió}}$	5 cm <sup>3</sup>
$v_{\text{befröccs.}}$	20 cm <sup>3</sup> /s
$P_{\text{befröccs.}}$	200 bar
$P_{\text{utóny.}}$	200 bar
$t_{\text{utóny.}}$	10 s
$t_{\text{maradékűtés}}$	0 s
záróerő	200 kN

4. táblázat A feldolgozási paraméterek

A 3DP betétek esetén a rossz felületi minőség miatt nem sikerült értékelhető terméket gyártanunk, ezért további vizsgálatokat nem végeztünk ezekkel a betétekkel.

Az FDM technológiával készült betétekkel azonban sikerült tíz cikluson keresztül jó terméket előállítanunk. A 10. ciklust követően azonban már csak hiányos termékeket tudtunk előállítani, aminek oka, nagy valószínűséggel a fröccsöntés során fellépő nagy felületi hőterhelés és fröccsöntés közbeni belső nyomás. Az első tíz termék tömegét megmérve (7. ábra) azt tapasztaltuk, hogy a ciklusok számának növekedésével a termékek tömege közel állandó volt.



7. ábra FDM betétekben gyártott termékek tömegének változása

Közismert tény, hogy a polimer anyagok hővezetési tényezője több nagyságrenddel kisebb, hőtágulásuk pedig egy nagyságrenddel nagyobb a fémekénél. Mivel a betétek nem tudják olyan gyorsan elvezetni a hőt, mint a hagyományos acél, vagy alumínium betétek, a ciklusok számának emelkedésével a szerszám hőmérséklete nő. A magas hőtágulás és a formaüregben fellépő belső nyomás hatására a prototípus betétek olyan mértékben torzulhatnak, hogy a formaüreg egyes részein az álló és mozgó oldalak összeérhetnek. Ennek köszönhetően előállhat olyan eset is, hogy bár a hőmérséklet növekedésével nem tapasztalunk terméktömeg csökkenést (7. ábra), a termék hiányos, ezáltal selejt lehet.

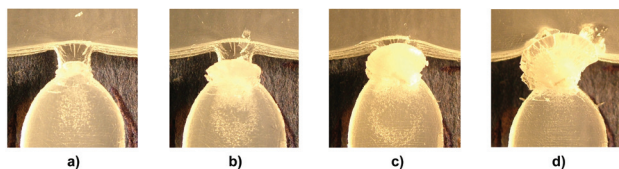
Objet betét esetén több mint 100 terméket tudtunk előállítani folyamatos üzemmódban. Itt is mértük az egyes fröccsöntött termékek tömegeit (8. ábra) minden ciklusban, és azt tapasztaltuk, hogy a tömegek folyamatosan csökkentek, aminek az oka a betétek gyártás közbeni felmelegedése és hőtágulása. A 37. ciklus környékén látható hirtelen tömegcsökkenést, a gát a tönkremeneteleként értékeltük.



8. ábra Próbatestek tömegének változása a ciklusok során

Ahhoz, hogy vizsgálni tudjuk a gátnál bekövetkezett változásokat a ciklusok során, fényképe-

ket készítettünk minden egyes termék gátjáról, amelyből néhány a 9. ábra látható.

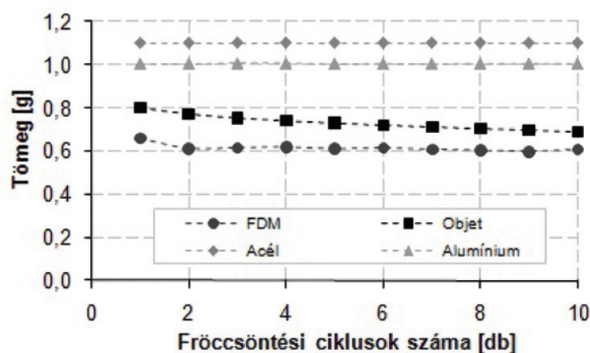


9. ábra *Objet* betét gátjának tönkremenetele a ciklusok folyamán

a) 35. ciklus, b) 37. ciklus, c) 38. ciklus, d) 39. ciklus

Az elkészült képek jól mutatják, hogy a 35. ciklustól kezdődően a fellépő nagy nyíróerők következtében a gátból kiszakadhattak kisebb darabok, amelynek következtében több anyagot sikerült bejuttatni a formaüregbe, amelyet a kismértékben megnövekedett terméktömeg (8. ábra) is alátámaszt. A további ciklusok során hasonló jelenséget nem tapasztaltunk. A következő hirtelen tömegnövekedés (46-47. ciklus környékén) egy a termék beszorulásából adódó ciklus leállásnak köszönhető, amely során a betétek kismértékben visszahűltek, ezáltal formaüregük térfogata megnőtt (8. ábra).

Amennyiben összevetjük a prototípus betétekben gyártott termékek tömegét a referenciaként használt alumínium és acél betéttel, akkor a 10. ábrát kapjuk eredményül.

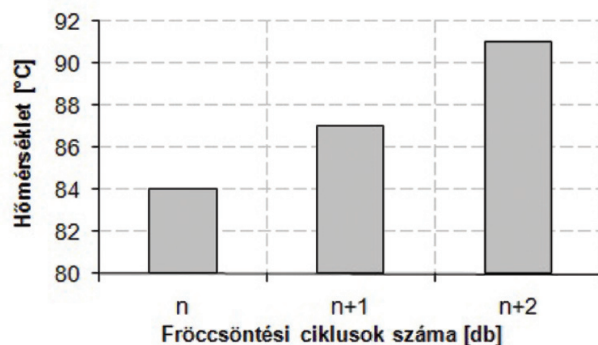


10. ábra *Eltérő betétekben gyártott termékek tömegeinek alakulása*

Jól látható az ábrán, hogy mind a két prototípus betét esetén a fröccsöntött termékek tömege jelentősen (20-40%-al) alacsonyabb, mint a referenciaként használt acél, illetve alumínium betétekkel gyártott termékek tömege. Ennek a magyarázata a korábban már kifejtésre került eltérő hőtágulás.

#### 4.2. Hőterhelési vizsgálat

Második lépésként már csak az *Objct* betét hőterhelését vizsgáltuk, amely során a betétek felmelegedését, lehűlését és a termék zsugorodásának hatásait elemeztük. Mivel nem alkalmaztunk szerszámhűtést, a fröccsöntési folyamat során a szerszámüregbe beáramló magas hőmérsékletű polimerömladék folyamatosan melegítette a szerszámot. A fröccsöntő betétek felületének három ciklus alatti felmelegedését a 11. ábra oszlopdiagramjai mutatják.

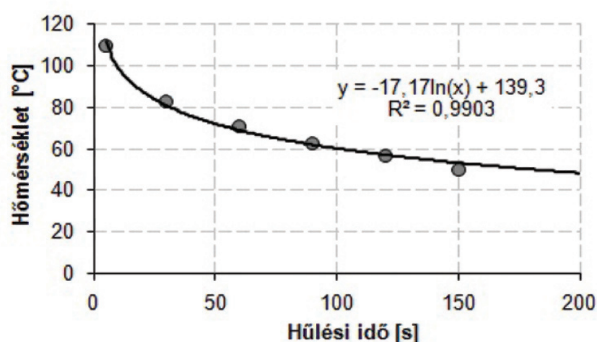


11. ábra *Az Objct betét felmelegedése*

A betét gyors felületi felmelegedése valószínűsíthetően az anyag rossz hővezetőképessége miatt következett be. Köztudott, hogy magasabb hőmérsékleten rosszabbak az anyagok mechanikai tulajdonságai (szilárdsági értékei), ami alól a polimerek sem kivételek. Így ha a betéteket nem tudjuk a megadott hőmérsékleten tartani (temperálni), vagy a ciklusok között visszahűteni, akkor rövid időn belül tönkremennek. Ahhoz, hogy a szerszám megengedett maximális hőmérsékle-

tét meghatározzuk, további méréseket kell végeznünk a szerszámbetét saját anyagából készült próbatesteken több különböző hőmérsékleten.

Méréseket végeztünk még a holtidő számítására, amely során érintésmentes hőmérsékletmérővel 30 másodpercenként mértük a befröccsöntések során felmelegedett, szabad levegőn hűlő szerszámbetét hőmérsékletét. Ezt az időbeli változást a 12. ábra mutatja.



12. ábra Szerszámbetétek lehülése

Megállapítható, hogy a rossz hővezetőképességű betétek lassan hűlnek csak vissza arra a hőmérsékletre, ahol már alakadásra alkalmasak, illetve megfelelő mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Szabad levegőn hűlve ez akár 2-3 percet is igénybe vehet. Ez alapján kijelenthető, hogy a ciklusok közötti holt idő (a betét szabad levegőn történő hűlése) nagymértékben befolyásolja a betétek élettartamát, valamint a gyártási folyamat gyorsaságát. Az RT szerszám alapanyagának hőmérsékletfüggő mechanikai tulajdonságainak és a lehülési folyamatnak (12. ábra) az ismeretében maximálható a betétek élettartama.

## 5. Összefoglalás

A fröccsöntések során három eltérő (FDM, 3DP és Objet) gyors prototípus eljárással készült betétek élettartamát vizsgáltuk. Megállapítottuk,

hogy a 3DP technológiával nem sikerült hibátlan terméket előállítani, az FDM technológiával előállított betétek esetén tíz, az Objet betét esetén pedig az első 37 ciklus során sikerült hibátlan terméket gyártani. A fröccsöntött termékek tömegét vizsgálva megállapítottuk, hogy a termék tömege folyamatosan csökkent a befröccsöntések számának emelkedésével. Valamint azt is megállapítottuk, hogy az általunk mért értékek közel 20-30% alacsonyabbak az acél és alumínium betétekben gyártott termékek tömegeinél. Ennek az oka a szerszámbetét felmelegedéséből származó nagy hőtágulásból és a fröccsöntés során felépő nagy belső nyomásból származó betét deformáció. Ezt a nagymértékű deformációt azonban ki lehet küszöbölni a szerszámok egyenletes hőmérsékleten tarásával. Mind a felmelegedési, mind a lehülési vizsgálatokból jól látható, hogy a betétek termikus állapota jelentősen befolyásolja azok teherviselő képességét, illetve alkalmazhatóságát a fröccsöntésben. Éppen ezért a későbbiekben vizsgálni kell a gyors prototípus technológiák alapanyagának mechanikai tulajdonságait a hőmérséklet függvényében, hogy a működési (üzemelési) tartományt meg tudjuk pontosan határozni.

A fröccsöntő betétek élettartamának növelésére megoldást jelenthet a termékek ciklusonkénti visszahűtése, például a szerszám nyitott állapotában történő hőelvonással, vagy a betétekben történő speciális hűtés kialakításával.

Az elvégzett fröccsöntési kísérletek alapján belátható, hogy ezekből az anyagokból készült betétekkel is lehet több, hibátlan terméket előállítani, ami a gyártási eljárás vizsgálatához és kisszámú prototípusdarabok előállításához elegendő lehet.



## 6. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A cikk a Bolyai János Kutatási ösztöndíj támogatásával készült. Ezúton fejezzük ki köszönetünket a Varinex Zrt-nek folyamatos támogatásáért, az Arburg Hungária Kft-nek a fröccsöntő gépért, valamint a Lenzkes GmbH-nak a szerszámfelfogókért.

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen” c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az ÚMFT TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja. A projekt megvalósítását a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal Jedlik Ányos (ENGPL\_07) programja támogatja.

**KOVÁCS NORBERT KRISZTIÁN\*** –

*doktorandusz*

**SUPLICZ ANDRÁS\*** – *egyetemi hallgató*

**KOVÁCS JÓZSEF GÁBOR\*** – *egyetemi docens*

*\*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi*

*Egyetem, Polimertechnika Tanszék*

## 7. IRODALOMJEGYZÉK

1. Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: *A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2006*

2. Dunai A., Macskási L.: *Műanyagok fröccsöntése, Lexica Kft, Budapest, 2003*

3. C. K. Chua, K. F. Leong, C. S. Lim: *Rapid Prototyping: Principles and Applications, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2003*

4. Kovács J. G.: *Gyors prototípus eljárások I. Az elmélet és annak felülvizsgálata, Műanyag és Gu-*

*mi, 39/2, 2002, 46-50*

5. S. Upcraft, R. Fletcher: *The rapid prototyping technologies, Assembly Automation, 23, 2003, 318-330*

6. A. Rosochowsky, A. Matuszak: *Rapid tooling: the state of the art, Journal of Materials Processing Technology, 106, 2000, 191-198*

7. C. M. Cheah, C. K. Chua, C. W. Lee, C. Feng, K. Totong: *Rapid prototyping and tooling techniques: a review of applications for rapid investment casting, Advanced Manufacturing Technologies, Vol. 25, 2005, 308-320*

8. <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>

9. S. H. Masood, W. Q. Song: *Development of new metal/polymer materials for rapid tooling using Fused deposition modeling, Materials and Design, 25, 2004, 587-594*

10. Deák T., Kovács J. G.: *Gyors prototípus vákuumformázó szerszám kifejlesztése, Műanya és Gumi, 43/3, 2006, 111-114*

11. Kovács J. G.: *Gyors prototípus eljárások II. Gyakorlati megvalósítások, Műanyag és Gumi, 39/3, 2002, 103-105*

12. Gombos A.: *A 3 dimenziós nyomtatás, Műanyag és Gumi, 42/3, 2005, 89-93*

13. <http://www.custompartnet.com/wu/3d-printing>

14. <http://www.custompartnet.com/wu/jetted-photopolymer>

15. Z. G. Baki-Hari, C. G. Bacila: *Objet PolyJet – New rapid prototyping technology, Fascicle of Management and Technological Engineering, Vol. 7, 2008, 1211-1214*

16. Falk Gy.: *PolyJet a Rapid Prototyping új dimenziója, Műanyag és Gumi, 43/11, 2006*