

Korszerű gyártástechnológiák szerepe az egyszer használatos orvostechnikai eszközök  
fejlesztésében

Szűcs N. A., Szép G., Szabó F., Kovács N. K.

Accepted for publication in Polimerek

Published in 2016

DOI:

# Korszerű gyártástechnológiák szerepe az egyszer használatos orvostechnikai eszközök fejlesztésében

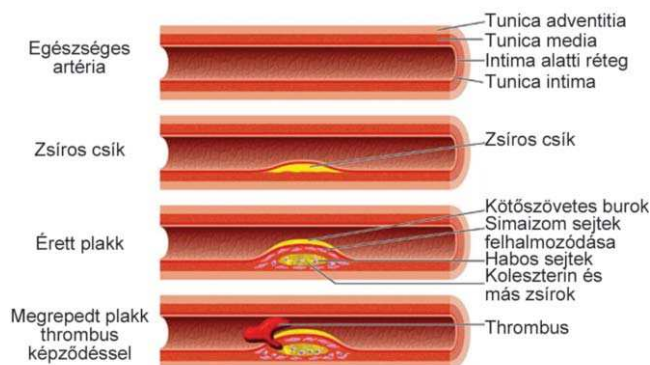
Szűcs Nóra Alexandra, Szép Gergely, Szabó Ferenc, Kovács Norbert Krisztián

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, Budapest

*Kutatómunkánk során egy, a gyógyászatban elterjedten alkalmazott luer csatlakozó fejlesztését végeztük el. A fejlesztés első lépéseként a megtervezett és 3D nyomtatással legyártott luer csatlakozókat minősítettük, majd a végleges termékkonceptió kiválasztását követően megterveztük és PolyJet technológiával legyártottuk a termék fröccsöntő szerszámát. Az elkészült szerszámmal fröccsöntési kísérleteket végeztünk, amely során elemeztük a fém és a polimer betétek deformációját, majd a kapott eredményeket összevetettük a szimulációs vizsgálatokéval.*

## 1. BEVEZETÉS

Napjainkban az orvostudomány hatalmas fejlődésen megy keresztül, ami nagyban köszönhető az ipar fejlődésének. Az iparban már kipróbált technológiák egyre inkább teret hódítanak az orvostechnikai eszközök gyártásában, amely nem csak az eszközök hihetetlen gyors fejlődésével jár, de az ezekhez kapcsolódó eljárásokkal is, így egyre több olyan problémára találunk megoldást, amely pár évtizede még lehetetlennek tűnt. Az orvostechnikában nagy számban használnak luer csatlakozókat, amelyek az egyes katéteres eljárások csatlakozó eszközeiként szolgálnak. A világ számos területén, sajnos Magyarországon is, egyre inkább vezető halálozási ok az infarktus. Kialakulásában jelentős szerepe van az érfal görcsös összehúzódásának, amelynek hatására az elmeszesedett érfalon található lerakódás, más néven plakkképződés, így egy erősen trombozissra hajlamos, az érbelnyálkahártyától fedetlen érszakasz jön létre (1. ábra). A leszakadt lerakódás rontja a vér áramlását, turbulenciát idéz elő. A sérült érfal és a rossz áramlási viszonyok hatására vértrombusz képződés indul meg, amelynek egy része a seb regeneratív gyógyulását szolgálja, azonban másik része megindul és trombozist, érelzáródást okozhat [1, 2].



1. ábra. Érszűkület kialakulásának folyamata [1]

A trombozissra már az 1980-as évek óta próbálnak megoldást találni. Kezdetben nagy mennyiségű thrombus oldó enzimet (lízis) fecskendeztek be vénásan a betegnél, ennek előnye, hogy már a kórházba szállítás alatt megkezdődhetett a beteg kezelése, azonban hátránya volt, hogy az elzárt érszakaszba nem mindig tudott eljutni a hatóanyag, illetve gyakran vezetett vérzéses szövődményekhez. Ezt követően kombinálták a szívkátéterezést és a lízist, melynek eredményeképpen kisebb mennyiségű enzim is elegendő volt, hiszen közvetlenül az elzáródás helyére tudták azt bejuttatni. A vérzéses szövődmények száma továbbra is magas maradt, főleg a combverőéren keresztüli beavatkozások során, azonban a kátéterezés és a lízis együttes használata még így is hatékonyabbnak bizonyult. Ezzel egy időben a katéter eljáráshoz használatos orvostechnikai eszközök (sztent, vezetődrot, luer stb.) gyűjtőnéven rekanalizációs eszközök, nagy fejlődésnek indultak, megjelentek az első direkt sztentek, amelyek alkalmazása során már nem a vérrög szerkezetéből történő eltávolítása volt a cél, hanem annak rögzítése az érfalhoz történő préseléssel, ezzel helyreállítva a keringés útját. Ennek az eljárásnak a koszorúerekben való lerakódások kezelésére alkalmazott formájának a neve az angioplasztika. Az összes említett megoldás közös kulcsfontosságú eszköze a katéter cső. A mi esetünkben a luer (2. ábra) feladata ezeknél az eljárásoknál a katéter csövek, és esetenként az enzim adagoláshoz, vagy más beavatkozáshoz a testen kívüli orvosi eszközök közötti kapcsolatteremtés [1–3].

Ennek az egyszer használatos orvostechnikai eszköznek a példáján keresztül vizsgáltuk, hogy a ma ismert additív gyártástechnológiák egyike alkalmas-e luer csatlakozók kisszériás gyártására.

Az additív gyártástechnológia egy rétegezéssel alapuló automata gyártási folyamat. Alapja, hogy egy valós fizikai 3D-s objektumot hozunk létre rétegről rétegre, közvetlen CAD modell használatával, köztes műveletek és eszközök felhasználásával.



2. ábra. Luer csatlakozó típusok [2]

nálása nélkül, anyaghozzáadás útján [3–6]. Additív gyártástechnológiákat napjainkban elsősorban műszaki vonatkozásban alkatrészek fejlesztéséhez, esetenként kisebb szériák gyártásához használják. Fejlesztés közben vizuális- és funkcionális modelleket készítenek, amelyek segítenek vizsgálni a későbbi termék megjelenését, és adott esetben annak egyes funkcióit. Ennek köszönhetően a gyártási folyamat felgyorsul, mivel már a fejlesztés során gyors korrigálásokat végezhetnek a mérnökök.

Nem véletlen tehát, hogy a lassan három évtizedes múltra visszatekintő AM technológiák fejlődése napjainkig is töretlen maradt. Ebből a dinamikus növekvő piacból a *PolyJet* gépeket gyártó STRATASYS INC. 14,3%-os részesedést tudott felmutatni [7]. A *PolyJet* technológia egy folyadék alapú eljárás, amely lényegében a tintasugaras nyomtató elvén működik, ahol a nyomtató fejek a vezérlés által meghatározott helyekre fényérzékeny fotopolimert nyomtatnak, amit UV fényforrással szilárdítanak meg.

A kisszériás gyártásnak két alapvető módját különböztethetjük meg, a direkt- és az indirekt gyártást. A direkt gyártás, mint ahogy a neve is mutatja, a termék közvetlen gyártását jelenti az általunk készített számítógépes modell alapján, additív gyártástechnológiával. Az indirekt gyártás során nem magát a végterméket fogjuk legyártani additív úton, hanem annak ösmintáját, vagy pedig a negatívját (szerszámát). Ez alapján az indirekt gyártásnak két fő típusa létezik, a direkt- és az indirekt szerszámozás. Direkt szerszámozás során magát az alakadó szerszámot nyomtatjuk ki. Indirekt szerszámozásnál valamely additív gyártástechnológiát alkalmazva alakadó mesztermintát készítünk, amely felületét körülötvén egy másik anyaggal (szilikon) megkapjuk a későbbi szerszámot [6–9]. Az utóbbi években a nemzetközi kutatások egyre inkább eltolódtak abba az irányba, hogy a kisszériás prototípusok anyagukban és gyártástechnológiájukban is teljesen megegyezők legyenek (production intent material) a sorozatban készülő termékekkel.

Munkánk során egy, a gyógyászatban nagy mennyiségben használt luer csatlakozó eszközön keresztül tanulmányoztuk, hogy az additív gyártás milyen módon tudja segíteni egy ilyen eszköznek a fejlesztési és a kisszériás gyártási folyamatát.

## 2. ALKALMAZOTT GÉPEK ÉS BERENDEZÉSEK

Az általunk megtervezett luer csatlakozókat *Alaris 30* típusú berendezésen (3a. ábra) *FullCure 720* alapanyagból, míg a fröccsöntési tesztekhez szükséges szerszámot *Connex 500*-as típusú gépen (3b. ábra) *ABS like* alapanyagból gyártottuk le.

3. ábra. 3D nyomtatáshoz felhasznált, *PolyJet* elven működő nyomtatók: a) *Alaris 30*, b) *Connex 500*

A fröccsöntési kísérleteinket *ARBURG Allrounder 370S 700 290* típusú fröccsöntőgépen végeztük el (4. ábra). A gép hidraulikus záróegységgel és pozíciószabályozott csigával rendelkezik. Főbb jellemzőit az 1. táblázat foglalja össze.



4. ábra: Az Arburg Allrounder 370S 700 290

### 1. táblázat.

#### Arburg Allrounder 370S 700 290

Nettó oszloptáv	370 mm
Maximális záróerő	700 kN
Maximális fröccsnyomás	2500 bar
Csigátmérő	30 mm
Fröccsmunka	290 J

A fröccsöntőszerszám tervezését megelőzően fröccsöntési szimulációkat végeztünk az ideális meglövési pont, valamint a megfelelő fészekszám és elosztócsatorna kialakítása érdekében. Az általunk összeállított szimulációk *DELL Precision T7600* számítógépen futottak, amelyek adatai a 2. táblázatban láthatók.

### 2. táblázat.

#### DELL Precision T7600 adatai

Processzor típusa	Intel Xeon CPU E5-2687W
Magok száma	16
Memória	256GB DDR3 ECC RDIMM

### 3. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Ebben a fejezetben ismertetjük az általunk elvégzett kísérleteket, azok eredményeit, valamint értékelésüket.

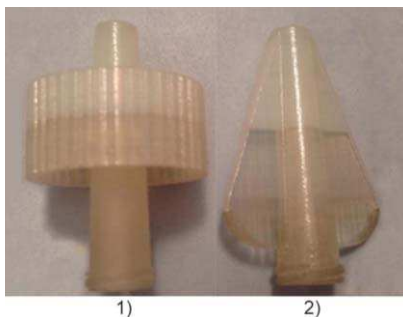
#### 3.1. LUER CSATLAKOZÓ TERVEZÉSE

Első lépésként különböző kialakítású luer csatlakozókat terveztünk. A tervezés alapjául az ISO 594-1 belső kialakításokra vonatkozó, és az ISO 594-2 menetes kapcsolatra vonatkozó szabványokat használtuk. A belső kúp és a menet mellett a másik fontos szempont a jó megfoghatóság volt, hiszen nem szabad, hogy csatlakoztatás közben kiforduljon az orvos kezéből az eszköz. Ezek alapján először három különböző termékformát alakítottunk ki (5. ábra). A szabványban található belső kialakítást annyiban módosítottuk, hogy a 6°-os kúp éppen az előre meghatározott 1,65 mm-es katéter számára kialakított furatba fusson bele, ezzel elkerülve az esetlegesen kialakuló turbulenciákat a lueren belül.



5. ábra. Első generációs luer csatlakozók

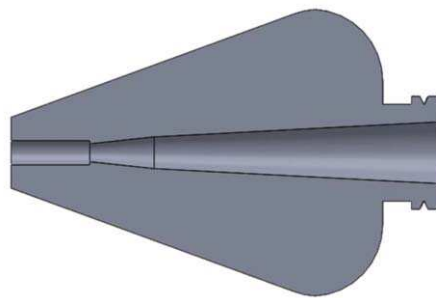
A kialakítás szempontjából az 1-es és 2-es típusok bizonyultak a legjobbaknak, azonban a többszörös szerelési kísérlet hatására az 2-es típusú luer szárnyai deformálódtak, majd el is törtek. 1-es típus, bár megfogás szempontjából ergonomikusnak bizonyult és a szerelési kísérleteket is jól bírta, azonban tömör kialakításából adódóan – hirtelen falvastagság változás – fröccsöntés szempontjából nem gyártható. Az első tesztek követően az 1-es modell hengeres része kikönytyítésre került, míg a 2-es modell esetén a deformáció elkerülése érdekében a szárny falvastagságát növeltük (6. ábra).



6. ábra. Áttervezett luer csatlakozók

Az így készült darabokat vizsgáltuk fröccsöntés helyesség, megfoghatóság és szabványosság alapján. Végző döntésünket a fröccsöntés szempontjából való könnyebb gyárthatóság, illetve a minél kevesebb anyagfelhasználást figyelembe véve hoztuk meg. Választásunk a 2-es kialakításra esett, mert annak térfogata, így tömege kisebb volt, mint az 1-esé, ezáltal gaz-

daságosabban és kisebb ciklusidővel gyártható. A szerszám-kialakítás szempontjából is kedvezőbb, hiszen a 2-es konstrukció esetében elegendő egy két lapos szerszám és egy mag alkalmazása. A választott luer végső kialakítását a 7. ábra mutatja.



7. ábra. Végleges luer kialakítás

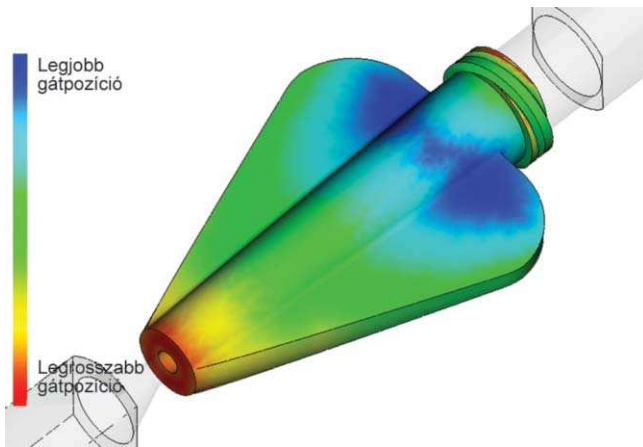
daságosabban és kisebb ciklusidővel gyártható. A szerszám-kialakítás szempontjából is kedvezőbb, hiszen a 2-es konstrukció esetében elegendő egy két lapos szerszám és egy mag alkalmazása. A választott luer végső kialakítását a 7. ábra mutatja.

A luer végét úgy alakítottuk ki, hogy egy második kúp segítségével egy katéter felütközött hoztunk létre a furaton belül, ezzel segítve a katéter azonos mélységben történő rögzítését. A végső modell méretét a továbbiakban még az alapanyag (ABS) zsugorodásával kompenzáltuk. Ezt követően egy végső ellenőrzés céljából ezt a modellt is kinyomtattuk.

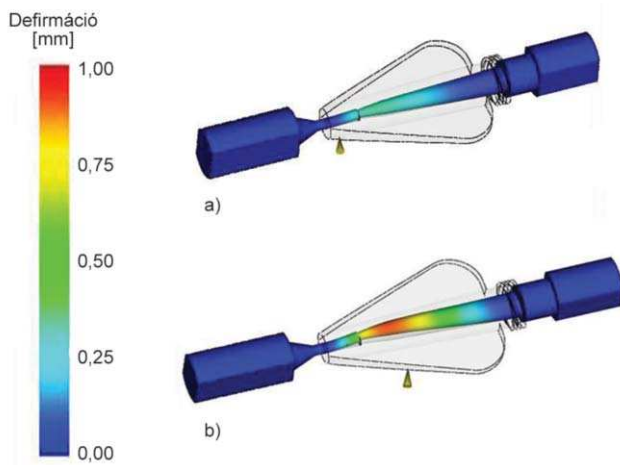
#### 3.2. KISSZÉRIÁS SZERSZÁMOZÁS

Az így kiválasztott véglegesített szárnyas luer alapján elkezdtük a szerszám megtervezését. Ehhez segítségként a *Moldflow Insight 2016* nevű szimulációs programot használtuk. Elsőként megterveztük a luer belső kialakításáért felelős szerszám-betétet. A betét kivehető, kétoldalt lelapolással a könnyebb megfoghatóság céljából, illetve két részből tevődik össze az alámetszés elkerülése érdekében. Egytengelyűségét a bal felének végében található furat, illetve a jobb oldal kúpjának egymásba futása biztosítja. A betéteket később fémből hagyományos megmunkálással, illetve polimerből 3D nyomtatással is elkészítettük. A betétek és a luer együttes modelljei alapján megkezdhetjük a szimulációkat. A szimulációk során egyaránt vizsgáltuk a betéteket fém, illetve polimer alapanyag esetén. Először az optimális befroccsöntési pontot határoztuk meg. A program által javasolt gát helyét elvetettük, mivel az a termék legvékonyabb keresztmetszetéhez tette, ahogy az a 8. ábrán látszik, így nem tudta volna az utónyomás a hatását kifejteni, mivel a gát környezetében gyorsabban megszilárdulhatott volna az alapanyag, mint a termék vastagabb részein.

Két másik lehetséges gátpozíciót a szárny mentén találtunk, ezekből a későbbiekben a szerszám-betét legkisebb deformációjával járó választottuk a szimulációk alapján (9. ábra), ami a csatlakozó elején, annak legvastagabb keresztmetszeténél található. A gát pozíciójának meghatározását követően a fröccsöntési paraméterek változtatásával figyeltük annak a betét deformációjára gyakorolt hatását. Növeltük az ömledék- és a szerszám hőmérsékletét, ezzel csökkentve a polimer ömledék viszkozitását. Csökkentettük a befroccsöntési sebességet, mivel prototípus szerszám esetén a minél kíméletesebb kitöltésre kell törekednünk. Megmértük a gát helyén a



8. ábra. A program által ajánlott gátpozíciók

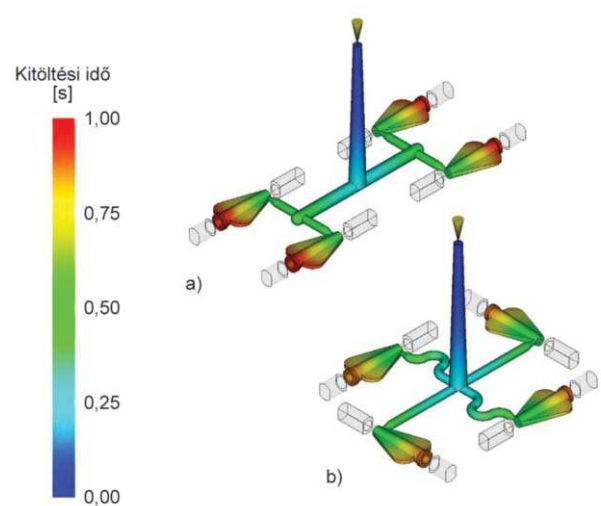


9. ábra. Polimer betét deformációja a csatlakozó elején (a) és közepén (b) való megfröccsöntési pontok esetén

termék falvastagságát, amelynek ökölszabály szerint 30–80%-ának kell lennie a gát méretének, így ez alapján a maximális, 80%-os gátméretet választottuk, hogy minél inkább csökkentjük a gátnál fellépő nyírás mértékét.

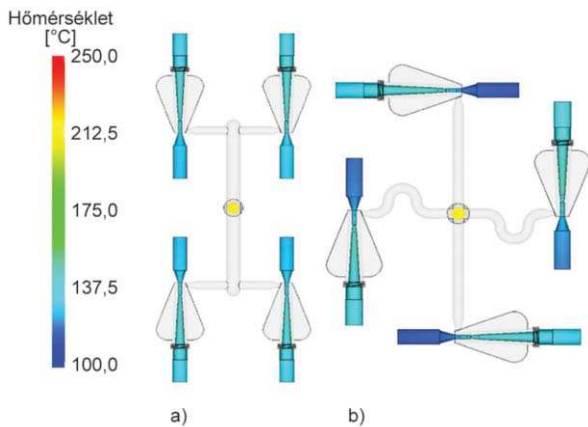
Meg kellett még határozni a szerszám fészekszámát, amelyhez lemértük a meglévő cserebetétes szerszámházat. Ez és a termék betéttel együttes mérete alapján a négy fészkes elrendezés mellett döntöttünk, hogy biztosítani tudjuk a megfelelő fröccsöntési térfogatot, továbbá a szerszám mindenhol a kellő falvastagsággal rendelkezzen. Az elosztó csatorna méretének, a szakirodalom szerint, ABS alapanyagból készült termék esetén 4–10 mm közé kell esnie: 4 mm-nek választottuk, mivel a kis falvastagságú termékünkhöz mérten ez is elegendő [10, 11]. A beömlő csatorna mérete adott volt, mivel egy meglévő cserebetétes szerszám álló oldalát használtuk az egyszerűbb szerszámrögzítés érdekében. Megterveztük a megadott méretekkel az elosztó csatornákat úgy, hogy kiegyensúlyozott legyen a szerszám, azaz az egyes termékekhez vezető utak hossza azonos legyen. Két különböző konstrukciót alakítottunk ki, egy csillag, illetve egy T csomóponti elrendezést (10. ábra).

Első szempont a betétek deformációja volt a különböző elrendezések hatására. Fém betét esetén a deformáció elhanyagolható volt. A polimer betétek deformációja 0,08 mm körüli,

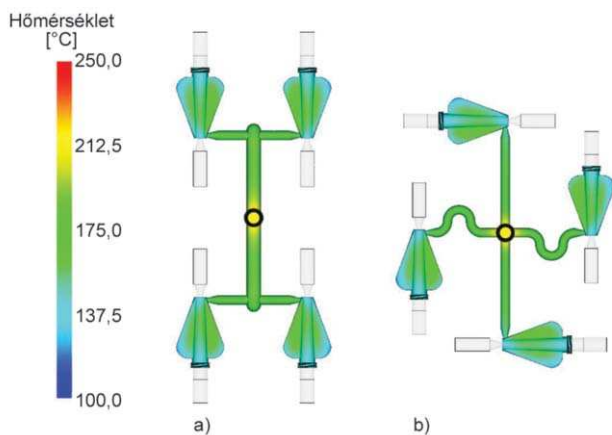


10. ábra. A T csomópont (a) és csillag alakú (b) elrendezés kitöltési képe

amely bár nagyobb, de mégsem jelentős mértékű. T csomóponti elrendezés esetén a csillag elrendezéssel szinte megegyező nagyságú deformációt tapasztaltunk, így ahhoz, hogy választani tudjunk a két konstrukció közül további vizsgálatokra volt szükség. Mivel gyártás során mindig törekszünk a legrövidebb ciklusidő elérésére, így megvizsgáltuk a kitöltési időket. A csillag elrendezés mindössze 0,06 másodperccel töltődik fel gyorsabban, mint a T csomóponti elrendezés. Továbbá vizsgáltuk a nyomás eloszlását a befroccsöntési pontban, ahol szinte teljesen ugyanazok a maximális nyomásértékek adódtak (18,5 MPa) mindkét esetben, így ez alapján szintén nem tudtunk egyértelmű döntést hozni. További szimulációkat futtattunk a szerszámban uralkodó hőmérsékletek tanulmányozására 60 másodperces hűtési idő mellett. Megvizsgáltuk a termékek hőmérsékletét, amely szintén nem hozott nagy eltéréseket, de a T csomóponti elrendezés minimálisan melegebbnek bizonyult, mint a csillag elrendezés egyes helyeken. A szerszámüreg hőmérséklet eloszlását is megvizsgáltuk 60 másodperces hűtési idő után. Az itt tapasztalt eltérések elhanyagolhatóak voltak. Ezek után újabb szimulációt futtattunk, amely a betétek és a munkadarabok hőmérséklet eloszlását mutatták be. 60 másodperces hűtési idő után vizsgáltuk a hőmérsékleteket. A fröccsöntésnél megszokott hűtési időknél (ilyen kicsi munkadarab esetén 10–20 másodperc) hosszabb idő a polimer szerszámnak köszönhető, mivel annak a hővezetése két nagyságrenddel rosszabb, mint a szerszámacélé. A szimulációs eredményeken jól látható volt, hogy a T csomóponti szerszámban található betétek hőmérséklete a hűtési idő eltelte után legalább 20–30 °C-kal magasabb, mint a csillag elrendezésű szerszámban található betéteké, ahogy az a 11. ábrán látható. A munkadarabok hőmérsékletében nem tapasztaltunk eltérést (12. ábra). Összességében megállapítható az elvégzett szimulációk alapján, hogy nincs kritikus eltérés a két elrendezés között. Mindkét konstrukció megfelelőnek bizonyult, hiszen alacsony deformáció, nyomásviszony és gyors kitöltési jellemezte, hasonló hőmérséklet eloszlások mellett. A döntést

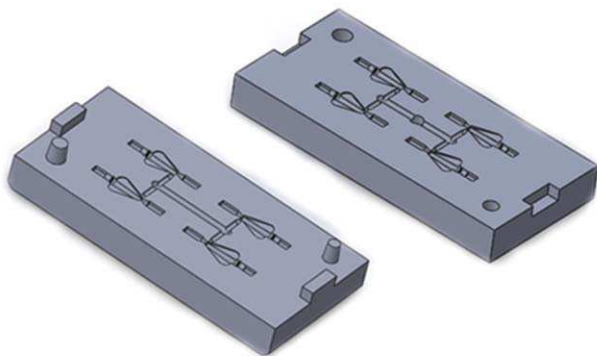


11. ábra. A betétek hőmérséklet eloszlása 60 másodperc hűtés után T csomópontú (a) és csillag alakú (b) elrendezés esetén



12. ábra. A darabok hőmérséklet eloszlása 60 másodperc hűtés után T csomópontú (a) és csillag alakú (b) elrendezés esetén

végül szerszámkonstrukciós megfontolások alapján hoztuk meg. Mivel az egyik szerszám elosztócsatornájában egy görbület található, a szerszám ezen a részen feltehetően nagyobb igénybevételnek van kitéve, amihez lokálisan vékony falvastagság társul, így a T csomóponti szerszám mellett döntöttünk. A szerszámtervezés utolsó lépéseként a már elkészült fém betétek pontos méreteit tolmérő segítségével megmértük, majd ezek alapján korrigáltuk a betétek üregméretét a fröccsöntő szerszámban. Ezt követően már véglegesíteni tudtuk a szerszám modelljét a nyomtatáshoz. A betétek, az elosz-



13. ábra. A végleges fröccsöntőszerszám

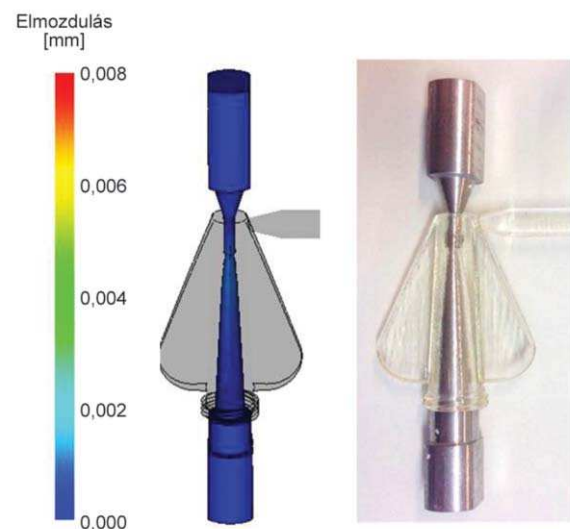
tócsatorna és a beömlő üregelését követően két összevezető kúpot és további két központosítót helyeztünk el a szerszámon a biztos csatlakozás érdekében, ezek illesztési hézagját 0,15 mm-re vettük. A végső szerszám kialakítást a 13. ábra mutatja.

### 3.3. FRÖCCSÖNTÉSI KÍSÉRLETEK

A 3.2. fejezetben bemutatott tervezési folyamatot követően a szerszámot PolyJet technológiával gyártottuk le. A fröccsöntési kísérleteink elsődleges célja annak a vizsgálata volt, hogy kiválthatóak-e kis széria esetén néhány egyedi darab erejéig az acél szerszámok és betétek PolyJet technológiával készültre ABS alapanyag esetén.

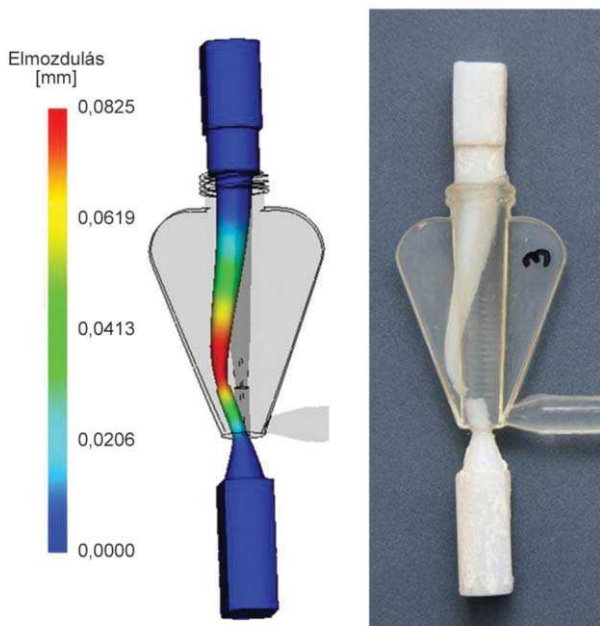
Bár a szimulációkat kimondottan ABS alapanyagra futattuk le, a gyártási kísérleteket mégis polipropilén felhasználásával kezdtük, mivel a PP alacsonyabb viszkozitása révén kevésbé terheli meg a szerszámot, mint az ABS, így jól használható a technológia beállításához. A fröccsöntést utónyomás nélküli üzemben kezdtük, hogy megtaláljuk azt a pontot, ahol a szerszám már teljesen kitöltődik, azaz meg akartuk keresni az utónyomásra való átkapcsolás pontját. Ezután az utónyomás profilját optimalizáltuk, amíg nem kaptunk megfelelő, sorjától mentes terméket. A PP alapanyaghoz tartozó optimális paraméterek megtalálása után ABS alapanyagra váltottunk. Ennek a polimernek a viszkozitása nagyobb, mint a polipropiléné, ezért további beállításokra volt szükség, így csökkenttük az átkapcsolási térfogat értékét az utónyomási profil változtatása nélkül. Több tökéletes termék legyártása után M-ABS alapanyagra váltottunk, amely egy víztiszta polimer, így a betétek deformációját is lehetőségünk volt vizsgálni mind a fém, mind a PolyJet technológiával készült betétek esetén. Minden esetben, a jobb láthatóság és vizsgálhatóság érdekében, a deformációk mértékét a szimulációs eredmények esetén harmincszoros nagyítás mellett ábrázoltuk. A fémbetéteknél nem történt látható deformáció, amely egybevág a szimulációban tapasztalttal, ahogy az a 14. ábrán látszik.

PolyJet technológiával készült betétnél az eredmények jel-



14. ábra. Fémbetét valós és szimulált deformációja fröccsöntést követően M-ABS alapanyag esetén

legre ugyan egyezést mutattak a valósággal, azonban nagyságrendileg jelentősen eltértek (15. ábra). Ennek oka, véleményünk szerint, a szimulációs peremfeltételek és az általunk alkalmazott anyagmodell pontatlansága. A PolyJet technológiával történő gyártás egyik sajátossága, hogy az alapanyag mechanikai tulajdonságai anizotróp jelleget mutatnak [12], sajnos azonban ennek figyelembe vételére a szoftverben nem volt lehetőségünk, így izotróp anyagmodellel kellett dolgoznunk. Továbbá, az általunk elvégzett szimulációk esetén a betétet egy darabból állónak feltételeztük, így annak szilárdsága sokkal nagyobbra adódott, mint amit a valóságban tapasztaltunk.



15. ábra. PolyJet technológiával készült betét valós és szimulált deformációja fröccsöntést követően M-ABS alapanyag esetén

Véleményünk szerint, amennyiben a szimuláció során a polimer betétet két különálló félként kezeljük, és az alkalmazott anyagmodell esetén figyelembe tudjuk venni az anizotróp jelleget, úgy a kapott elmozdulás értékek sokkal jobban közelítenék a valóságot.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során többféle geometriai kialakítású luer csatlakozót terveztünk meg és gyártottunk le 3D nyomtatással. Az elvégzett tesztek alapján kiválasztottuk a végleges formatervet, majd ezt követően megterveztük a fröccsöntéshez szükséges betéteket és magát a prototípus fröccsöntő szerszámot. Szimulációs program segítségével meghatároztuk az ideális meglővési pontot a darabon, amelynek hatására a betét a legkisebb deformációt szenved el. Ennek függvényében két szerszámkonstrukciót alakítottunk ki, amelyek közül az elvégzett szimulációk, valamint szerszámkonstrukciós megfontolások alapján hoztunk döntést a végső kialakításról. Ezt követően a szerszámot kinyomtattuk. Munkánk zárásaként fröccsöntési kísérleteket végeztünk, amely során vizsgáltuk, hogy a szimu-

lációs eredmények mennyiben térnek el a valós fröccsöntés során kapott eredményektől. Elmondható, hogy a valós kitöltési képek jó egyezést mutattak a szimulációs eredményekkel, azonban a PolyJet technológiával készült betétek deformációját illetően a szimulációs eredmények csak jellegre egyeztek meg a valóságban fellépő deformációkkal. Ennek oka egyrészt az általunk a szimulációs során alkalmazott egyszerűsítés, amelynél a betétet egy darabból készültnek tekintettük, másrészt az általunk használt anyagmodell. Sajnos a szimulációs programban nem tudjuk figyelembe venni a 3D nyomtatott alkatrészek anizotróp tulajdonságát, így izotróp anyagmodellel kellett dolgoznunk. Összességében elmondható, hogy a PolyJet technológiával készült prototípus fröccsöntő szerszám alkalmas kis szériában ABS alapanyagból készült termék legyártására, azonban a polimer betétek mechanikai tulajdonsága nem megfelelő ahhoz, hogy minőségi termékgyártást tegyen lehetővé.

*Ezúton szeretnénk köszönetet mondani az Arburg Hungaria Kft.-nek, hogy rendelkezésünkre bocsátotta az Arburg Allrounder 370S 700-290 típusú fröccsöntő gépet, köszönjük továbbá a Lenzkes GmbH-nak a szerszámfeldogókat, valamint az R-Design Studio Kft.-nek a 3D szkennelésben nyújtott segítségét. Kiemelt köszönettel tartozunk Falk Györgynek, a Varinex Zrt. elnökének, aki lehetővé tette számunkra a fröccsöntő szerszám PolyJet technológiával történő legyártását. Továbbá szeretnénk megköszönni Kiss Istvánnak, a Kiss Kft. ügyvezetőjének a munkánk során nyújtott nélkülözhetetlen szakmai segítségét.*

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Kónyi, A.; Komócsi, A.; Ungi, I.: Szívkatéterezés artéria radiális behatolásból, Akadémia Kiadó, Budapest (2009).
- [2] Czvikovszky, T.; Nagy, P.: Polimerek az orvostechikában, Műegyetem Kiadó, Budapest (2003).
- [3] Czvikovszky, T.; Gaál, J.; Nagy, P.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi kiadó, Budapest (2000).
- [4] Dunai, A.; Macskási, L.: Műanyagok fröccsöntése, Lexica Kft, Budapest (2003).
- [5] Andreas, G.: Understanding Additive Manufacturing, Hanser Publishers, Munich (2011).
- [6] Gibson, I.; Rosen, D. W.; Stucker, B.: Additive Manufacturing Technologies, Springer, New York (2010).
- [7] Wholers, T.: Wholers report 2012, Wohlers Associates, Colorado, USA (2012).
- [8] Kovács, N. K.; Kovács, J. G.: Objet-PolyJet technológiával gyártott fröccsöntő szerszámok vizsgálata, Műanyag és Gumi, 48/7, 269–272 (2011).
- [9] Szenti, A.; Tuba, F.; Kovács, N. K.: Rapid Tooling technologies in the processing of thermoplastic polymers, Materials Science Forum, 659, 97–102 (2010).
- [10] Dominic, V. R.; Donald, V. R.; Marlene, G. R.: Injection Molding Handbook, Kluwer Academic Publisher Group, Boston (2000).
- [11] Campo, E. A.: The Complete Part Design Handbook: for Injection Molding of Thermoplastics, Hanser, München (2006).
- [12] Ficzer, P.: Gyors prototípus numerikus és kísérleti szilárdsági analízise, PhD dolgozat, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (2014).