

Fröccsöntött termékek vetemedésének vizsgálata  
Sikló B., Kovács J. G.

Accepted for publication in Műanyag- és Gumiipari Évkönyv  
Published in 2008

DOI:

# Fröccsöntött termékek vetemedésének vizsgálata

**A fröccsöntött termékek sarkainál kialakuló vetemedést több tényező is befolyásolhatja. Szimulációs vizsgálatokkal mutattuk be a sarokhatás, valamint az eltérő temperálás vetemedésre gyakorolt befolyását. A vetemedési folyamat általánosan vizsgálhatóvá válik az ismertetett termék- és szerszámgeometrián.**

**At the corner of the injection molded parts warpage could occur, which is infected by many parameters. The authors present the influence of the corner effect and the cooling effect on the warpage of the part with simulation analysis. In the publication the authors also represent a new design for a part and a mold geometry which make the generalized warpage measurements possible.**

**An der Ecken der gespritzten Kunststoffteilen entsteht Verzug vor, der durch mehreren Parameter beeinflusst werden kann. Wir demonstrieren mit Simulationsanalysen, wie der Eckeneffekt und der zwischen den Werkzeughälften vortretender Temperaturunterschied an den Verzug wirken können. Weiterhin werden durch die Autoren konstruierte neue Produktgeometrie und neues Spritzgießwerkzeug präsentiert, mit denen generellen Verzugsuntersuchungen durchgeführt werden können.**

## Bevezetés

A műanyag alapanyagok egyre nagyobb teret hódítanak mind a műszaki alkalmazásokban, mind a hétköznapi használati eszközök terén, amelyeknek feldolgozási technológiáiban a fröccsöntés az egyik legjelentősebb alakadási eljárás. Az egyre szigorúbb követelményeknek való megfeleléshez a fröccsöntő szerszámok előállításánál már nem elegendő a tapasztalatokra hagyatkozva tervezni, hanem korszerű tervezési és szimulációs eljárásokat kell alkalmazni [1-3].

A termékfejlesztésben és a különböző technológiai problémák feltárásában különösen nagy szerepe van a szimulációnak. Szimulációs programokkal a fröccsöntés technológiájának virtuális megvalósítása végezhető el, amely lehetővé teszi a szerszám tényleges legyártása nélküli számításokat, vizsgálatokat. Optimalizálható a termékkialakítás, az alapanyag választása, valamint a feldolgozási paraméterek. Képet kaphatunk a fröccsöntés során kialakuló ömledékfrontokról, a szerszámokban létrejövő nyomásokról, ill. hőmérséklet-eloszlásokról. Előidézhető vele az ömledék orientációk, az összecsapási vonalak és a légzárványok is [1, 4-6].

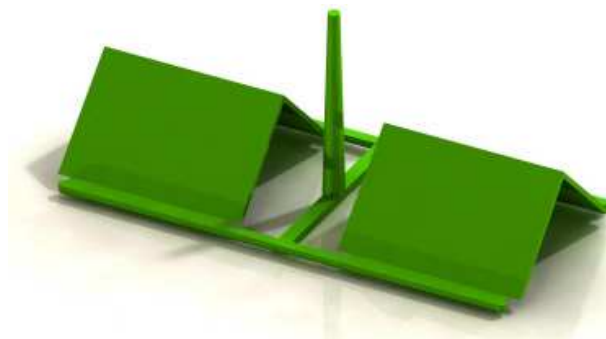
Műanyag termékek gyártásakor a vetemedési hiba kiküszöbölése komoly kihívást jelent a szakemberek számára, mivel a deformációt számos technológiai paraméter együttesen határozza meg. Ilyen az egyenetlen temperálás, az eltérő zsugorodás, valamint az orientációs hatás. A szerszám egyenletes hűtése a termékek összetett geometriája következtében a gyakorlatban sokszor nehezen kivitelezhető, aminek következtében a műanyag alkatrész oldalai eltérően hülnek le, és ezáltal zsugo-

rodás és vetemedés alakul ki. Ez figyelhető meg sarkos alkatrészek esetén is, ahol a formaadó szerszámokban a csésze és a mag eltérő geometriájú. A formamag hűtése kevésbé hatékonyan oldható meg, ezért a hőmérséklete magasabb lesz, mint a szerszám ellenkező oldaláé. Ennek eredményeképpen a termék belső falai lassabban hülnek le, nagyobb mértékben zsugorodnak, és így az oldalak jelentősen egymás felé dőlnek.

Nagyon fontos tehát, hogy a méretpontosság és az alakhűség megőrzéséhez általánosítható mérési módszert használva meg tudjuk állapítani a deformáció mértékét. Bár már sokan kísérletet tettek kidolgozására, a problémát még nem sikerült megoldani. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimertechnika Tanszékén az általunk tervezett próbatestet típussal és fröccsöntő szerszámmal vizsgáljuk a vetemedést és a kialakulását befolyásoló tényezőket.

## Termékgeometria a vetemedés méréséhez

A műanyag termékek sarkainál kialakuló vetemedési folyamatok elemzéséhez olyan próbatestet (1. ábra) terveztünk, amelynek két oldala 90°-os szöget zár be egymással. A technológia okozta deformációk ehhez a szöghöz képest mérhetők. Annak érdekében, hogy a termékvastagság vetemedésre kifejtett hatását is mérhessük, a darabot két falvastagságban hoztuk létre (1 mm, ill. 2 mm).

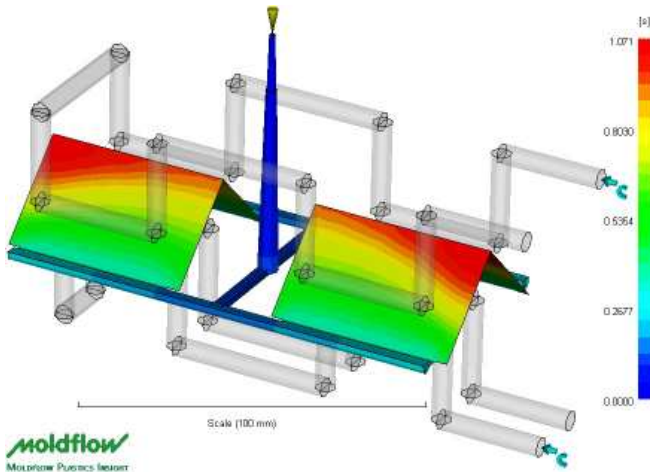


1. ábra. Próbatest elosztórendszerrel kétfézes változatban

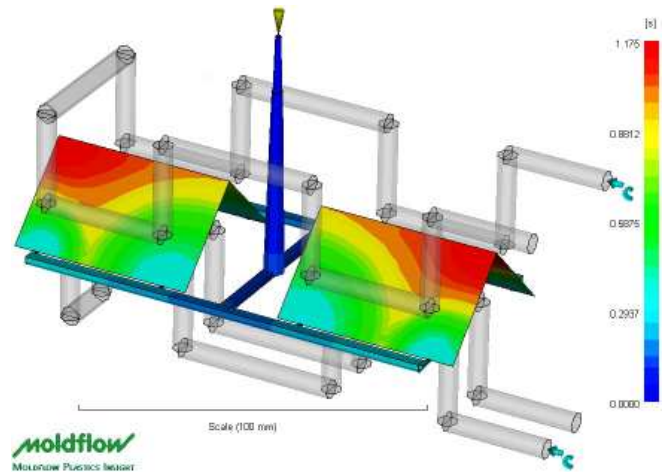
## Szimulációs vizsgálatok a próbatestmodellen

A vetemedés vizsgálatához tervezett 2 mm vastagságú próbatestváltozat modelljén az egyes gáttípusok és befröccsöntési pontok kitöltésre gyakorolt hatását szimuláltuk film beömlés, valamint standard gátkialakítású befröccsöntés esetén Moldflow Plastics Insight (MPI) 6.1 szimulációs programmal. A kitöltési analízis vizsgálatához a választott alapanyag PP, az ömledék hőmérséklete 230 °C, a szerszám hőmérséklete 40 °C volt. Az MPI szoftvercsomag alkalmas a fröccsöntés átfogó vizsgálatára és optimalására. A kitöltési fázis mellett vizsgálható az utónyomási és hűtési fázis, de a vetemedések és a hűtőkörök is átfogóan elemezhetőek.

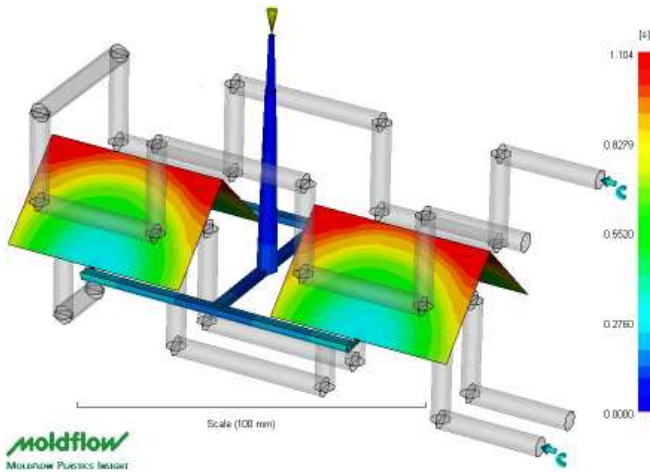
Vizsgálatainkban rámutattunk, hogy filmgát esetén az ömledék közel egyenletesen töltötte ki az üreget a gát teljes szélessége mentén (2. ábra), amíg a termékoldal közepén történő befröccsöntés esetén sugár irányban áramlott a fészekbe (3. ábra).



2. ábra. Ömledékfrontok haladása az idő függvényében (filmgát alkalmazása esetén)

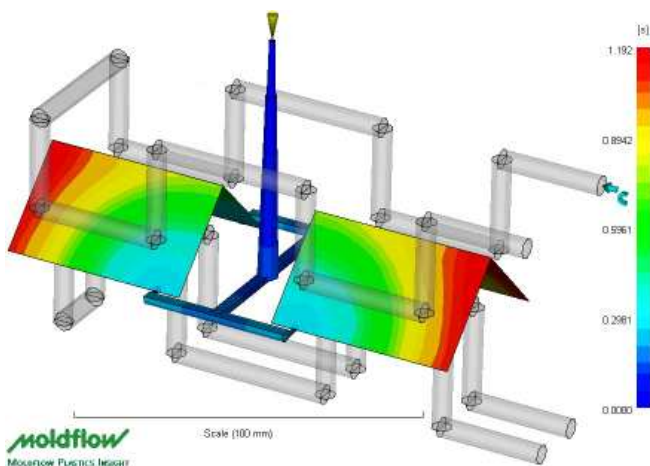


5. ábra. Ömledékfrontok haladása az idő függvényében (az oldalél mindkét szélénél lévő standard gátak alkalmazása esetén)



3. ábra. Ömledékfrontok haladása az idő függvényében (az oldalél közepén lévő standard gát alkalmazása esetén)

Amennyiben ez a beömlési pont a darab szélén volt, az ömledék szintén sugár irányú áramlással, azonban egyenetlenül töltötte ki a fészket (4. ábra). A próbatest két sarkánál való befröccsöntés esetén szembevetendő, hogy a polimer ömledék egyenetlenül töltötte ki a próbatestet (5. ábra), ráadásul – a várt módon – összecsapási hibahely is kialakult.

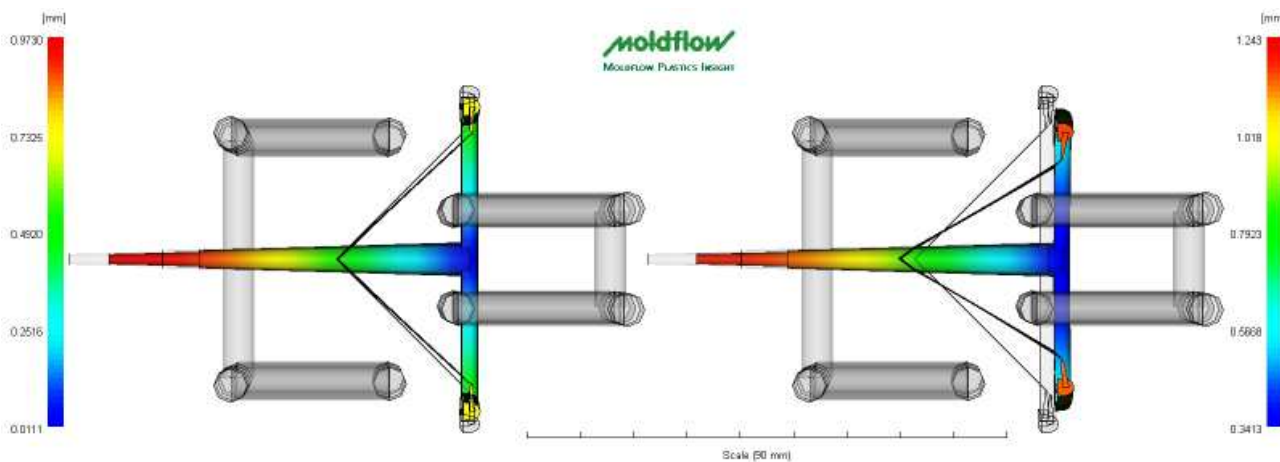


4. ábra. Ömledékfrontok haladása az idő függvényében (az oldalél szélén lévő standard gát alkalmazása esetén)

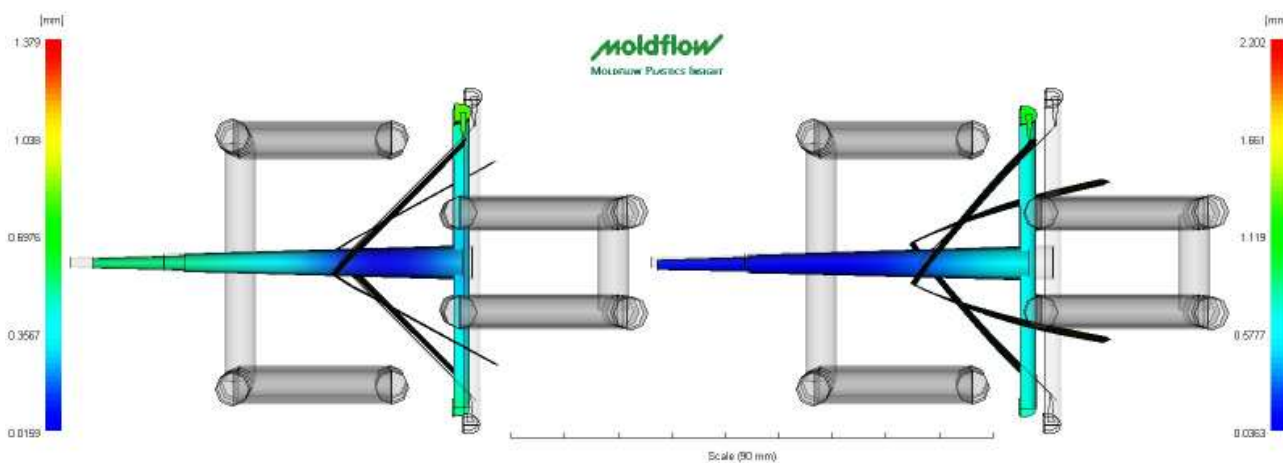
A sarokhatás deformációra gyakorolt hatását ugyancsak megvizsgáltuk az MPI szimulációs programcsomag segítségével. A program alkalmas a sarokhatást figyelembe vevő és az azt figyelmen kívül hagyó vizsgálatok végrehajtására, amelynek eredményei jelentősen eltértek egymástól (6. ábra). Vizsgáltuk a sarokhatás, az eltérő temperálás, az eltérő zsugorodás, valamint az orientációs hatás okozta vetemedés mértékét is, mivel a Moldflow-program képes az egyes befolyásoló tényezők okozta deformáció-komponenseket különválasztani a vizsgálatokban. A vetemedést kétoldali befröccsöntés mellett vizsgáltuk, először a sarokhatás figyelmen kívül hagyásával, majd pedig azt figyelembe véve. Első esetben a darab kis mértékben zsugorodott a magra (6. a ábra) és a maximális deformáció a lapok sarkainál alakult ki (0,4 mm), úgy, hogy a deformáció szimmetrikus volt a sarokéltre. A zsugorodás okait vizsgálva megállapítottuk, hogy a legnagyobb mértékben (89%) az anizotrop zsugorodás befolyásolta azt, az eltérő temperálásból eredő deformáció a lapélek mentén okozta a legnagyobb méreteltérést és az orientáció csak kis mértékben befolyásolta a azt.

A sarokhatás figyelembevételével végzett szimuláció esetében a sarok próbatest erősebben rázsugorodott a magra (6. b ábra), mivel a deformáció közel háromszorosára növekedett (1,2 mm). Az eltérő hűtésből és az eltérő zsugorodásból származó deformáció csak kis mértékben, az orientációs hatásból eredő vetemedés az előző vizsgálatokhoz képest azonban lényeges mértékben megnőtt a sarokél végeinél. A deformáció legnagyobb hányadát a sarokhatás tette ki, amely a lapélek mentén 0,8 mm nagyságú volt.

Az eltérő temperálás vetemedésre kifejtett hatását szintén modelleztük a terméken. Ebből a célból a formamagon áthaladó temperálókör hőmérsékletét az álló oldalhoz képest 15, 30, ill. 45 °C-kal megemeltük. A szimulációs eredmények azt mutatták ki, hogy a vetemedés mértéke a hőmérsékletkülönbség emelkedésével nőtt, és ezt főképp a hűtés okozta deformáció befolyásolta, viszont a zsugorodás és az orientáció hatására létrejövő vetemedés a vizsgálatok alkalmával alig változott. A két szerszámfél azonos temperálás esetén a deformáció legnagyobb része a sarokhatásból származott. A sarokhatás jelentősége a hőmérséklet különbség növekedésével csökkent. Ezzel ellentétben a hőmérséklet-különbség növekedésével a hűtés okozta deformáció az alig 9%-ról közel 54%-ra emelkedett. A vetemedést befolyásolja az is, ha a terméknek csak egyik oldalára helyezünk el gátat. Ebben az esetben az elosztócsatorna gátolja a deformációt, és ennek hatására aszimmetrikusan vetemedik (7. ábra).



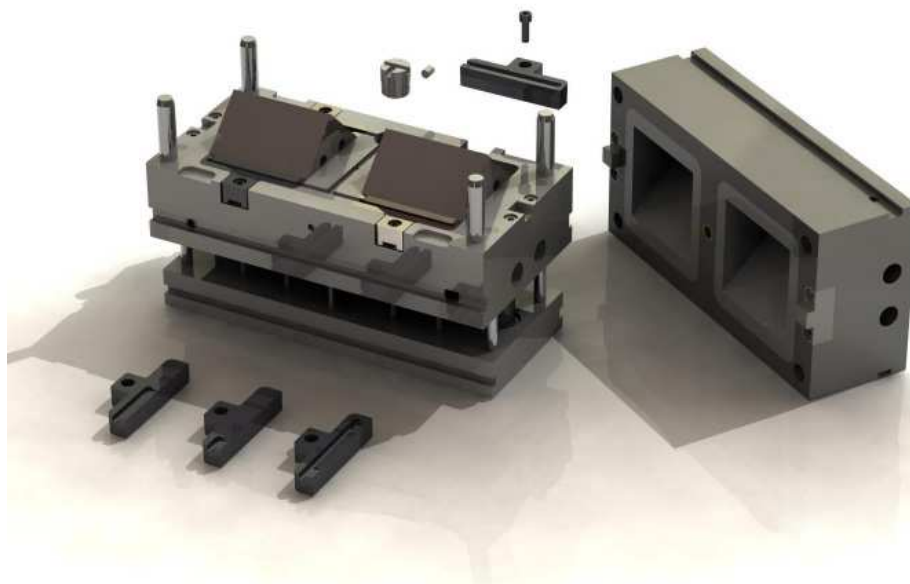
6. ábra. Próbatess deformációja oldalnézetben tízszeres nagyítás esetén.  
 a) sarokhatás figyelembevétele nélkül; b) sarokhatás figyelembevételével



7. ábra. Próbatess aszimmetrikus deformációja oldalnézetben tízszeres nagyítás esetén  
 a) 0 °C-os; b) 45 °C-os hőmérséklet-különbség esetén

### A fröccsöntő szerszám

Ahhoz, hogy a vetemedést és az egyes befolyásoló tényezőit ne csak szimuláció keretében tudjuk vizsgálni, a próbatesshez kétfézeskes, cserebetétes szerszámot terveztünk. Ezzel a különböző temperálási és szerszámkialakítási esetek vetemedésre kifejtett hatását tudtuk vizsgálni. A tervezés során a kitöltési szimulációk alapján választottunk olyan különböző beföccsöntési módokat, amelyek a deformációra eltérő módon hatnak. Ezeknek az eltérő változatoknak az alkalmazását a különböző gáttípusokat tartalmazó, felülről rögzíthető cserélhető betétekkel valósítottuk meg. Az elosztócsatorna-elágásokba terelőbetétek kerültek, így a próbatesseteket egyoldali, illetve kétoldali kitöltés mellett is lehet fröccsönteni, illetve elemezni (8. ábra).

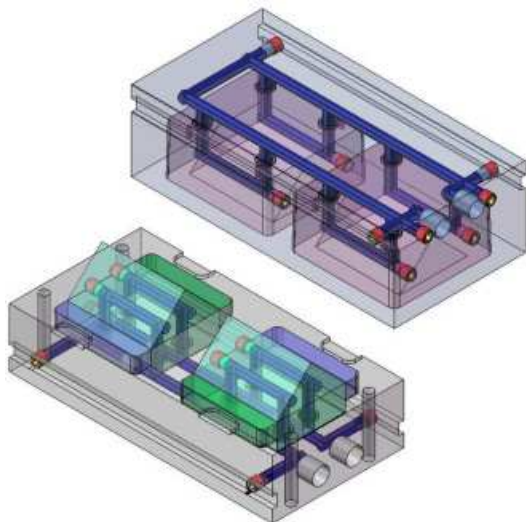


8. ábra. Cserebetétes fröccsöntő szerszám, kiemelve a cserélhető gáttbetéteket és az elosztócsatorna terelőelemeit



A gát után kialakuló nyomást a betétekbe épített Kistler 6157BA nyomásérzékelő szenzorok mérik, amelyekkel nyomon követhetővé tettük a formaüregben lejátszódó folyamatokat.

Az eltérő temperálás alapvetően befolyásolja a vetemedést, ezért különösen nagy hangsúlyt kellett fektetni a megfelelően hatékony hűtés kialakítására, amellyel vizsgálhatóvá lehetett tenni az eltérő hűtés deformációra gyakorolt hatását. Ennek érdekében az álló- és a mozgóoldali formabetéteket lehetőség szerint teljesen egyenletesen kellett temperálni (9. ábra), aminek a nyomon követésére és ellenőrzésére Kistler 6192A típusú



9. ábra Fröccsöntő szerszám temperálóköre



10. ábra. Tanszékünk fröccsöntőgépe (Arburg 320C 600-250) a kiegészítő berendezéseivel (Wittmann Tempro Plus 2/90 típusú temperáló, Wittmann W711C típusú robot, Wittmann D30-30/30-M szárazlevegős szárító, teljes kiépítésű Kistler nyomás- és hőmérő szenzorrendszer)

sú hőmérsékletszenzorokat építettünk be. Tanszékünk Wittmann Tempro Plus 2/90 típusú kétkörös temperálójával a szerszámfelek hőmérsékletét két különböző, állandó értéken tudtuk tartani (10. ábra).

A próbatetek gyártását a Tanszékünk – NAT által akkreditált – laboratóriumában található ARBURG 320C 600-250 típusú fröccsöntő gépen végezzük, a próbatetek eltávolítását pedig Wittmann W711C típusú, 3 szervóhajtású tengellyel rendelkező robottal, hogy a próbadarabok a kidobásnál minél kevésbé sérüljenek, deformálódjanak (10. ábra).

## Összefoglalás

Az általunk tervezett termék- és szerszámgeometria modelljén a fröccsöntött termékek sarkainál kialakuló vetemedést és az egyes paraméterek deformációra gyakorolt hatását vizsgáltuk szimulációval. Elemeztük a sarokhatás vetemedést befolyásoló szerepét, valamint az eltérő temperálás deformációra gyakorolt hatását, amelyről megállapítottuk, hogy a szerszámfelek temperálása közti hőmérsékletkülönbség növelésével a vetemedés mértéke arányosan nőtt. Végül bemutattuk az általunk tervezett fröccsöntő szerszámot, amellyel a deformációs vizsgálatok – széles paramétertartományban – a gyakorlatban is végrehajthatóak.

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton fejezzük ki köszönetünket *Strack Mátyásnak*, a **Strack Szerszámgyártó Kft.** tulajdonosának szakmai segítségéért és a cikkben szereplő szerszám elkészítéséért. Köszönjük továbbá az **Arburg Hungária Kft.**-nek a fröccsöntőgépet, a **Wittmann Robottechnikai Kft.**-nek a robotot, a **Lenzkes GmbH**-nek a szerszámfelfogókat, a **ProMet Méréstechnika Kft.**-nek a támogatását a Kistler-szenzorok beszerzésénél, valamint a **Moldflow Vertriebs-GmbH**-nek a sokéves támogatását.

**Sikló Bernadett**  
okleveles gépészmérnök

**Dr. Kovács József Gábor**  
egyetemi adjunktus

## Irodalom

1. Kovács J. G.: Fröccsöntési szimulációs programok elemzése, *Műanyag és Gumi*, 38/9, 2001, 350-358
2. J. P. Beaumont, R. Nagel, R. Sherman: *Successful injection molding*, Hanser Publishers, Munich, 2002
3. Robert A. Malloy: *Plastic Part Design for Injection Molding*, Carl Hanser Verlag, Munich Vienna New York, 1994
4. J. Shoemaker: *Moldflow Design guide*, Hanser Publishers, Munich, 2006
5. J. G. Kovács, T. Tábi: Experimental and simulation analysis on shrinkage properties of fiber reinforced polymer parts, *Proceedings of the Fifth Conference on Mechanical Engineering*, Budapest, Hungary, 2006, p4
6. J. G. Kovács, T. Tábi: New method for warpage characterization of injected parts, *Proceedings of the Fifth Conference on Mechanical Engineering*, Budapest, Hungary, 2006, p5
7. J. M. Fischer: *Handbook of molded part shrinkage and warpage*, Plastics Design Library, 2003
8. G. Menges, W. Michaeli, P. Mohren: *How to make injection molds*, Hanser Publishers, Munich, 1998