

PÁRIZS RICHÁRD DOMINIK<sup>1</sup>, TÖRÖK DÁNIEL<sup>1,2</sup>

# FRÖCCSÖNTÖTT TERMÉKEK ZSUGORODÁSÁBÓL ADÓDÓ ALAK-DEFORMÁCIÓ KOMPENZÁLÁSA, SZERSZÁMÜREG-NYOMÁS ALAPJÁN

SHRINKAGE COMPENSATION OF INJECTION MOLDED PARTS USING CAVITY PRESSURE DATA

A fröccsöntési technológia utónyomási paramétereinek nyomásmérő szenzor alapú meghatározásával foglalkoztunk. Elemeztük a paraméterek hatását a termék zsugorodására, amit összevetettünk a fészkekben mért nyomásgörbékkel. A kidolgozott módszer alkalmas lehet a technológiai automatikus beállítására.

We defined the parameters of holding pressure by in-mold pressure measurement. The effect of the parameters on the shrinkage of the product was investigated and compared with the pressure curves measured in the cavities. The developed method may be suitable for automatic adjustment of the process.

## 1. BEVEZETÉS

Az egyik legelterjedtebb polimer feldolgozási technológiaként a fröccsöntés már több éve számos kutatás alapja az anyag-tudományok területén. Az eljárás bár rendkívül termelékeny, de a polimerek tulajdonságaiból következően és a technológia összetettségének köszönhetően számtalan nehézség állhat fel a fröccsöntő gép beállításakor. A fröccsöntött termékek közül számos csatlakozó elemként szolgál egy másik eszközhöz, ahol az egyes elemek méretpontossága kifejezetten fontos.

A fröccsöntött termékek méretpontosságát elsősorban a termék zsugorodása és vetemedése határozza meg [1]. A számban végbemenő zsugorodás a hőmérséklet csökkenés miatt létrejövő fajtérfogat változás következtében megy végbe, amit a  $pV$  görbék remekül szemléltetnek [2]. Ennek mértéke gyakran olyan nagy is lehet, hogy akár kamerás megfigyelő berendezéssel is detektálható [3]. A zsugorodás azonban egyrészt az alapanyag irányfüggő tulajdonságai, másrészt a technológia nyújtotta

egyenetlenségek miatt általában anizotrop folyamat [4]. A folyásút hosszától függően az ömledék hőmérséklete és nyomása a szerszámüreg más-más pontjaiban egyre inkább eltérő, ami a lokális zsugorodások között is különbséget eredményez. A vetemedés az egyenetlen zsugorodás következménye, mely során a terméknek nem csak a mérete, de az alakja is megváltozik [5]. Mivel a zsugorodással és vetemedéssel már a szerszámgyártás során számolni szükséges, ezért érthető, hogy számos irodalom foglalkozik a fröccsöntött termékek zsugorodásának mérésével [6] és modellezésével [7].

A zsugorodás csökkentésére több módon van lehetőség. Az egyik legalapvetőbb az alapanyag [8] megválasztása vagy a töltőanyag tartalom változtatása [9]. Kelly és társai [10] rámutattak, hogy a gyártáshoz alkalmazott fröccsöntő gép típusa vagy kora ugyancsak fontos hatással lehet a fröccsöntött termék minőségére, valamint a technológia stabilitására. A szerszámot persze lehet úgy tervezni végelemek szimulációk segítségével, hogy adott zsugorodású terméket állítsanak vele elő, de ez nagyon érzékeny lesz a technológia és alapanyag változtatására, valamint a számszámon belüli viselkedés modellezésének pontosságára [11]. A legkézenfekvőbb megoldás a technológia változtatása, ugyanis a korábban említettek közül talán ez lehet a legolcsóbb és leggyorsabb megoldás. Ebből adódóan a technológiai paraméterek hatását a zsugorodásra számos kutatás vizsgálta [12, 13]. A kutatásokból látható, hogy az utónyomási fázis beállításai lényeges paraméterek [14].

Az utónyomás és utónyomási idő különösen fontos paraméterek, azonban ez a termék geometriától és funkciójától is nagyban függ. Az utónyomási időt optimalizálni a legegyszerűbben tömegmérés segítségével lehet [15]. Az utónyomási idő növelésével a termék tömege egyre nagyobb lesz, majd miután a gát lefagyott, a termék tömege elméletileg nem tud tovább növekedni. Ezzel gyakorlatilag a maximális kompenzáció ideje megadható és a zsugorodás a lehető legkisebb lesz adott beállításokon. Azonban amennyiben egy másik beállítás megváltozik, a

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék

<sup>2</sup> MTA-BME Lendület Könnyűszerkezetes Polimer Kompozitok Kutatócsoport

kompenzálhatóság maximális ideje változhat. Erre egy megoldás a kísérlettervezés, ahol a beállítások terében feltérképezik a zsugorodás vagy éppen vetemedés értékeit. Barghash és Alkaabneh [16] egy teljes faktoriális kísérlettervet végeztek, amelyben 4 beállítási paramétert vizsgáltak 3 szinten, majd a főhatások elemzéséből egyértelműen látható volt, hogy az utónyomás és az ömledékhőmérséklet a zsugorodásra és vetemedésre kifejezetten nagy hatással van. Amennyiben túl sok beállítási paraméter áll rendelkezésre és ezek közül nem mind között feltételezünk kölcsönhatást, a kísérletterv nagyon sok beállítás kombinációt igényelhet, és ezért érdekesebb lehet frakcionális kísérlettervet alkalmazni [17]. Bizonyos esetekben azonban nem csak az a fontos, hogy minimális legyen a zsugorodás, hanem inkább a gyártott termék zsugorodásának stabilitása van előtérben. A Taguchi módszerrel ilyen beállítások kereshetők, és ami különösen fontos, hogy sokkal kevesebb kísérleti pont is elegendő hozzá, mint egy hasonló beállítást vizsgáló teljes faktoriális kísérletterv esetén. Ez lehet az oka, hogy számos kutatás a vizsgálatához a Taguchi módszert alkalmazza [1, 16, 18].

A kísérletekhez használt gépi beállításokat és mérési eredményeket felhasználva már különböző módszerekkel prediktálható a zsugorodás és vetemedés akár közbülső pontokban is. Amennyiben viszonylag egyszerűbb modell is elegendő, az optimális beállítások lineáris regresszió analízissel is megbecsülhetők [16, 19]. Azonban a fröccsöntött termékek viselkedése gyakran ilyen modellekkel nem könnyen becsülhető elég pontosan. A nemlineáris kapcsolat kezelésére ezért neurális hálózatokat szokás alkalmazni [20, 21].

A szenzortechnika fejlődésével szerencsére már nem csak a gép oldalán vizsgálhatjuk a fröccsöntési folyamatot, hanem a szerszámon belül is, ahonnan még pontosabb információt lehet kapni a termék minőségéről, akár a gyártás közben is. Thomas és Bur [22] egy optikai szálás szenzort alkalmaztak a zsugorodás és annak sebességének mérésére. Chen és társai [23] úgy vélték, hogy az általuk alkalmazott kapacitív jelátalakító alkalmas lehet a gátfagyás meghatározására. Panchal és Kazmer [24] olyan szenzort fejlesztettek ki, ami egy kilökö csap alá helyezhető és a zsugorodást méri.

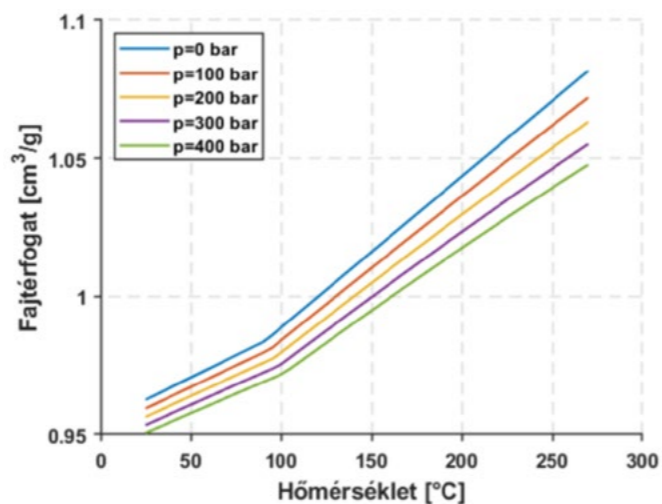
A kutatásunk során szerszámüregben elhelyezett nyomásmérő szenzorokat alkalmaztunk, hogy a fröccsöntött termékeink alaktényezőjét optimalizáljuk. Kísérleteinkben a szakirodalomban talált utónyomás fázist befolyásoló két legfontosabb tényezőt, az utónyomás nagyságát és az utónyomás idejét vizsgáltuk két alapanyagánál, hogy mindkét esetben meghatározzunk olyan optimális beállítás kombinációkat, ahol a termék zsugorodása azonos lesz a gát közelében és a folyásút végén is, így elkerülve a trapézosodás jelenségét.

## 2. FELHASZNÁLT ANYAGOK ÉS ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

### 2.1. ANYAGOK

A gyártás során Terluran GP-35 akrilnitril-butadién-sztirol (Ineos Styrolution, Frankfurt am Main, Németország) alapanyagot használtunk fel. Ez az ABS alapanyag általános felhasználási célú,

főként fröccsöntésre használt típus. A gyártói irányelvek alapján a feldolgozási hőmérséklete 220-260 °C között van, az ajánlott szerszámhőmérséklet tartomány pedig 30-80 °C. Az alapanyagot a feldolgozás előtt 4 órán keresztül 80 °C-on szárítottuk. Lineáris zsugorodása az ajánlott feldolgozási paraméterek mellett 0,4-0,7% közötti tartományba esik, azonban erősen függ a technológiai paramétereiktől, ráadásul a folyási- és keresztirányba eső zsugorodás mértéke sem azonos. Az anyag fajtérfogatát, ami szoros kapcsolatban van a zsugorodással, az 1. ábra szemlélteti a hőmérséklet és a nyomás függvényében.



△ 1. ábra: Terluran GP-35 ABS alapanyag pvT diagramja

### 2.2. FRÖCCSÖNTŐ GÉP, SZERSZÁM ÉS EGYÉB BERENDEZÉSEK

A próbatetek gyártásához egy Arburg (Lossburg, Németország) Allrounder 420 C 1000-290 típusú fröccsöntő gépet használtunk. A gép maximális záróereje 100 tonna, az alkalmazható maximális fröccsöntési nyomás pedig 2000 bar. A 80x80x2 mm-es próbatesteket kétfézeskes, hidegcsatornás szerszámban fröccsöntöttük. A szerszám CavityEye (Kecskemét, Magyarország) típusú indirekt nyomásmérő szenzorokkal felszerelt, amelyek az osztósíkban, illetve a két fészekben szimmetrikusan helyezkednek el. A fészekiosztást és a szenzorok helyeit a 2. ábra mutatja. A szerszám állandó hőmérsékletéről egy Wittmann (Bécs, Ausztria) típusú temperáló gondoskodik.

A zsugorodás méréséhez egy Keyence (Mechelen, Belgium) IM-7020 mérőmikroszkópot használtunk. Ennek a segítségével tudtuk a 24 órás zsugorodást mérni.

A nyomás- és zsugorodásméréshez tartozó adatokat Matlab R2020b szoftverrel értékeltük ki.

### 2.3. PRÓBATESTEK GYÁRTÁSA ÉS MÉRÉSI MÓDSZEREK

A munkánk célja az utónyomás nagyságának és idejének a termékek zsugorodására gyakorolt hatásának a vizsgálata volt. A próbatetek gyártása során tehát az utónyomás időt és az utónyomás nagyságát változtattuk, míg a többi paramétert előre meghatározott, fix értéken tartottuk. A gyártás közben beállított technológiai paramétereket az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: Gyártási paraméterek

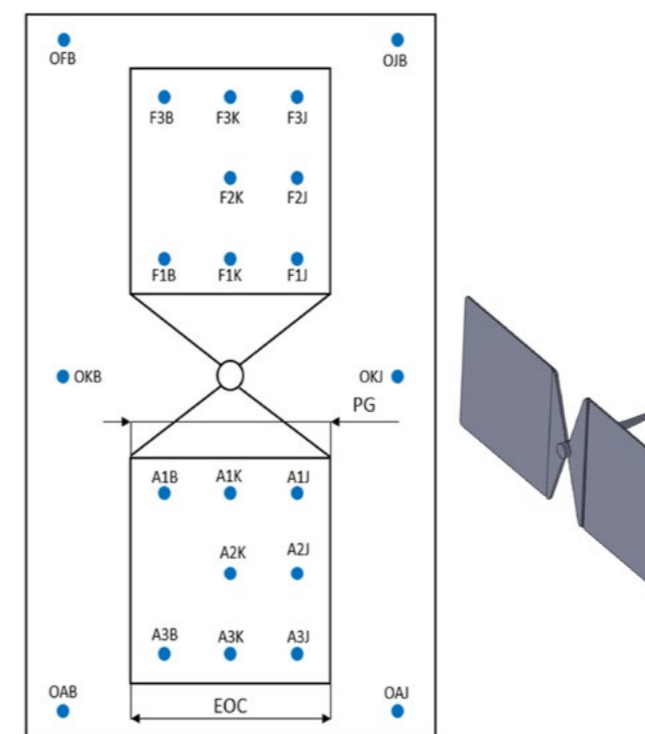
Állandó gyártási paraméterek	
Adagolási térfogat [cm <sup>3</sup> ]	40
Dekompresszió [cm <sup>3</sup> ]	5
Csigaforgási sebesség [m/perc]	25
Tortónyomás [bar]	50
Hengerhőmérséklet [°C]	225
Befröccsöntés sebessége [cm <sup>3</sup> /s]	50
Átkapcsolási térfogat [cm <sup>3</sup> ]	7
Szerszámhőmérséklet [°C]	40
Maradék hűtési idő [s]	30
Ciklusidő [s]	41
Utónyomás paraméterei	
Utónyomás idő [s]	200, 300, 400
Utónyomás nagysága [bar]	0-8, fél másodperces lépésekkel

Minden beállítási paraméterrel 5 próbatestet gyártottunk. A termékeket gyártás után azonnal levágtuk az elosztócsatornáról.

A termékek valós méretét 24 órával a gyártás után mértük meg mérőmikroszkóp segítségével. A mért értékekből számoltuk a keresztirányú zsugorodást az (1) és (2) egyenlet alapján, ahol PG a keresztirányú méret a gátnál, míg EOC a keresztirányú méret a folyási út végén (2. ábra).

$$S_{PG} = 1 - \frac{PG_{valós}}{PG_{névleges}} \quad (1)$$

$$S_{EOC} = 1 - \frac{EOC_{valós}}{EOC_{névleges}} \quad (2)$$

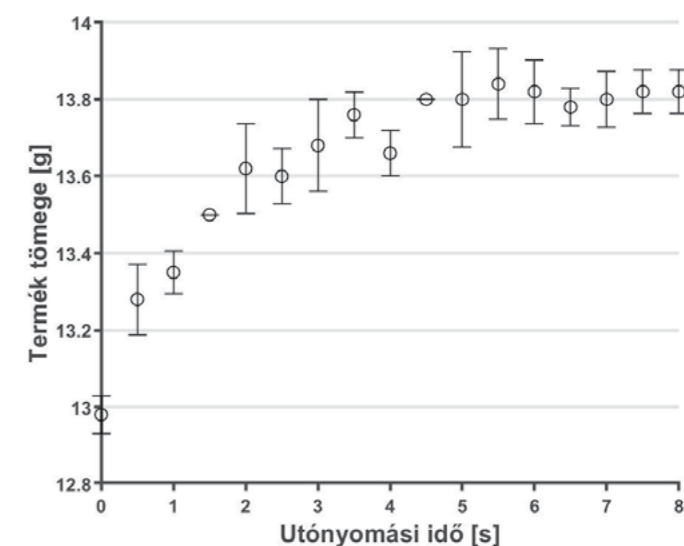


△ 2. ábra: Gyártószerszám sematikus ábrája és a szenzorok pozíciói, valamint a lapka próbatest az elosztócsatornával

## 3. EREDMÉNYEK

### 3.1. AZ UTÓNYOMÁSI IDŐ MEGHATÁROZÁSA HAGYOMÁNYOS MÉRÉSI MÓDSZEREKKEL

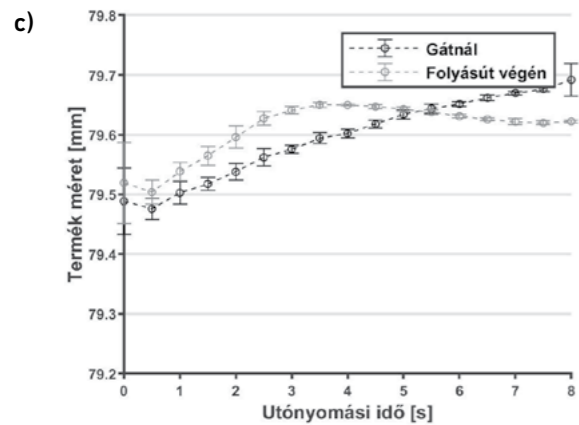
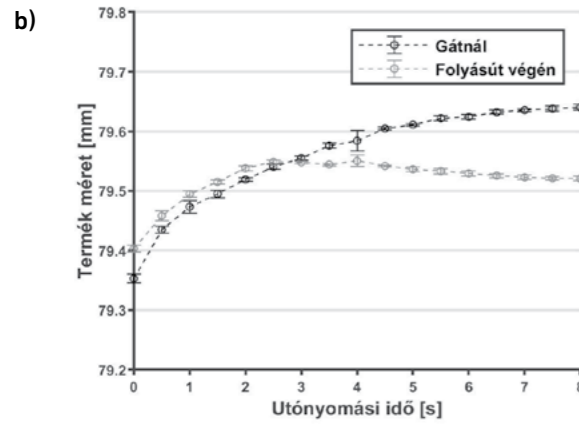
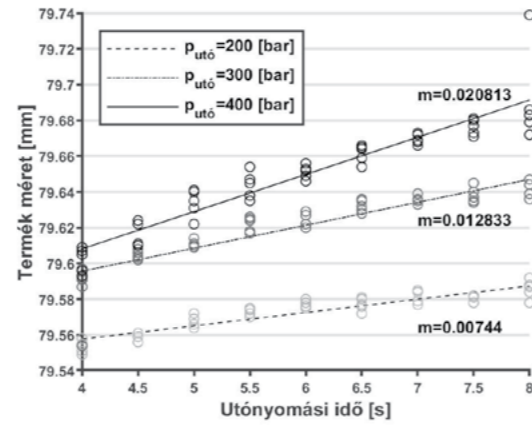
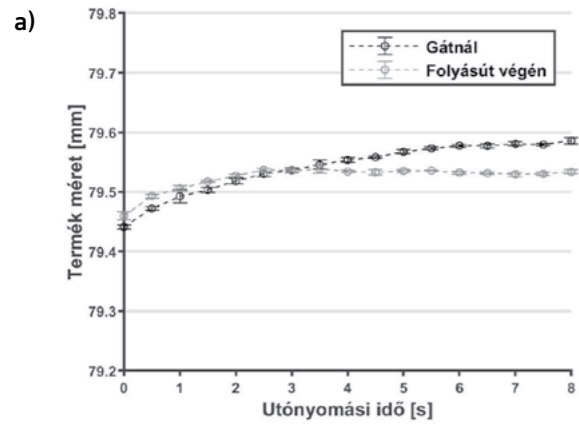
A gátfagyási idő meghatározása többféle módszer alapján is lehetséges. Ezek a módszerek lehetnek közelítő számítások, amelyek analitikus vagy szimulációs modellen alapszanak, de lehetnek méréseken alapuló empirikus becslések is. Az egyik legegyszerűbb, mérésen alapuló módszer, amikor az utónyomás szint meghatározása után termékeket készítünk különböző utónyomás idő alkalmazásával és mérjük a termékek elosztócsatorna nélküli tömegét. Amennyiben ábrázoljuk a terméktömeget az utónyomás idő függvényében, látható, hogy a terméktömeg az utónyomás idő növelésével tart egy határértékhez. Az az időpillanat, ahol ezt a határértéket a terméktömeg eléri, az lesz a gátfagyási idő. Ezzel a mérési módszerrel meghatározott gátfagyási idő azonban nem tekinthető univerzálisnak, mert nagyban függ a technológiai paramétereiktől, továbbá az elosztócsatorna, a termék és a gát kialakításától. A 3. ábrán az általunk mért 80x80x2 mm-es próbatesthez tartozó utónyomás idő-terméktömeg görbe látható.



△ 3. ábra: 80x80x2 mm-es lapka próbatest tömege az utónyomás idő függvényében a felső fészkekből

A 3. ábra alapján megállapítható, hogy az ideális utónyomás idő körülbelül 3 és 4 másodperc körül van (leszámítva a 400 baros utónyomást, ahol ez 5 másodperc környékére adódott) abban az esetben, ha a terméktömeg a minőségi paraméter. Azonban, ha a termék geometriai méreteinek vagy a zsugorodásnak az optimalizálása a cél, abban az esetben más lehet az optimális utónyomás idő. A 4. ábrán az előbb említett termékhez tartozó gát után és a folyási út végén mért keresztirányú méretek láthatók az utónyomás idő függvényében, különböző utónyomás szinteken. A termék méreteinek mérése azonban időigényesebb, mint a tömegmérés.

Amennyiben megfigyeljük a leggyártott próbatetek gát után mért keresztirányú méreteit, akkor láthatjuk, hogy az utónyomás



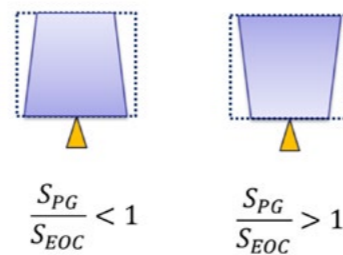
△ 4. ábra: 80x80x2 mm-es lapka próbatest gát után és a folyási út végén mért keresztirányú méretei az utónyomási idő függvényében a) 200 bar, b) 300 bar, c) 400 bar utónyomási szinteken a felső fészekben

△ 5. ábra: 80x80x2 mm-es lapka próbatest gát után mért, keresztirányú méretei az utónyomási idő függvényében 200 bar, 300 bar és 400 bar utónyomási szinteken

átlagos zsugorodást minimalizáljuk. Ha csak ezt tartanánk szem előtt, akkor a lehető leghosszabb utónyomási időt kellene választanunk. Ezzel azonban azt érnénk el, hogy a termék a kidobás után egyenetlenül zsugorodna és alaktartási hibák merülnének fel.

Amennyiben a termékeknek csak a keresztirányú zsugorodásait vizsgáljuk a gát után, illetve a folyási út végén, akkor az egyenetlen zsugorodásnak két esete fordulhat elő. Mindkétszer a négyzet alakú termék trapéz alakúvá deformálódik. Abban az esetben, ha a gát utáni zsugorodás a kisebb, akkor a 7. ábra bal oldalán, míg ha a folyási út végi zsugorodás a kisebb, akkor az ábra jobb oldalán látható eset fog bekövetkezni.

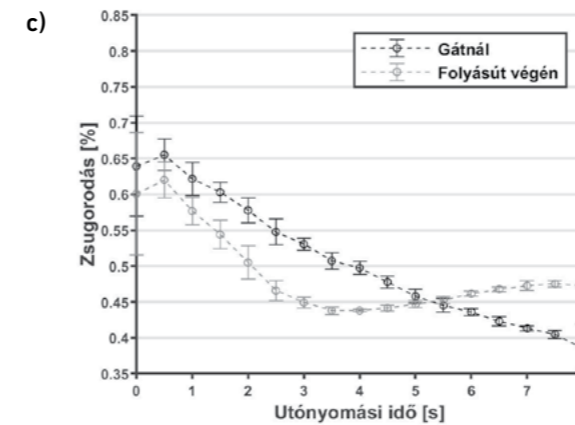
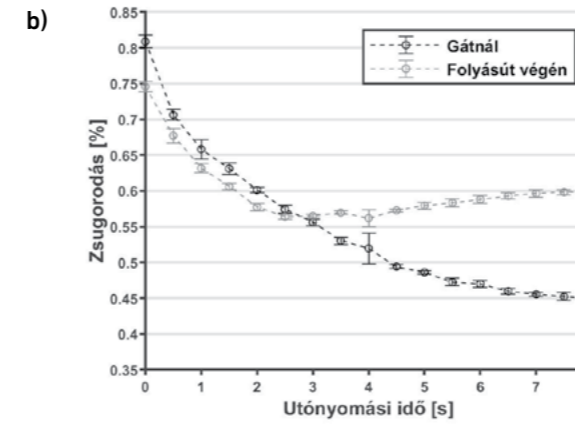
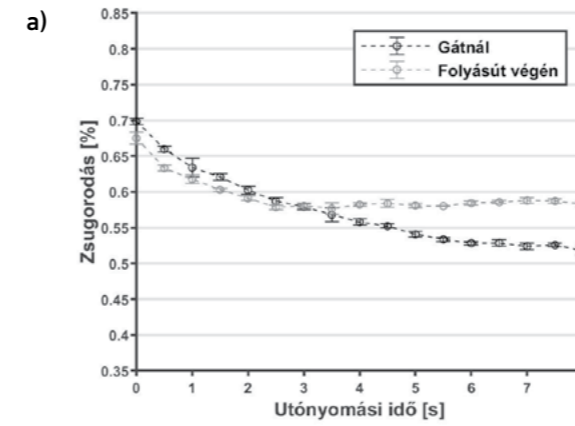
Az eddigiek alapján belátható, hogy az utónyomás nagyságának és idejének megválasztásakor a célunk, hogy a zsugorodást minimalizáljuk a termék alaktorzulása nélkül. A termék alaktorzulása akkor tekinthető elhanyagolhatónak, ha a zsugorodás a gát után és a folyási út végén megegyezik, azaz arányuk 1. A jobb szemléltetés érdekében a gát utáni és a folyási út végén mért zsugorodás hányadosát ábrázoltuk az utónyomási szint és az utónyomási idő függvényében (8/a. ábra). Ez alapján hasznos információt kaphatunk arról, hogy mi történik a termék zsugorodásával a mért nyomásszinteken. Annak érdekében, hogy a zsugorodás alakulásáról globális képet kapjunk a vizsgált mérési tartományban, polinomiális felületet illesztettünk a mérési adatpontokra. Az illesztett felület alapján már az is becsülhető, hogy a köztes nyomásszinteken hogyan alakul a gát utáni és a folyási út végi zsugorodás aránya (8/b. ábra).



△ 7. ábra: 80x80x2 mm-es lapka próbatest egyenetlen zsugorodása és alaktorzulása

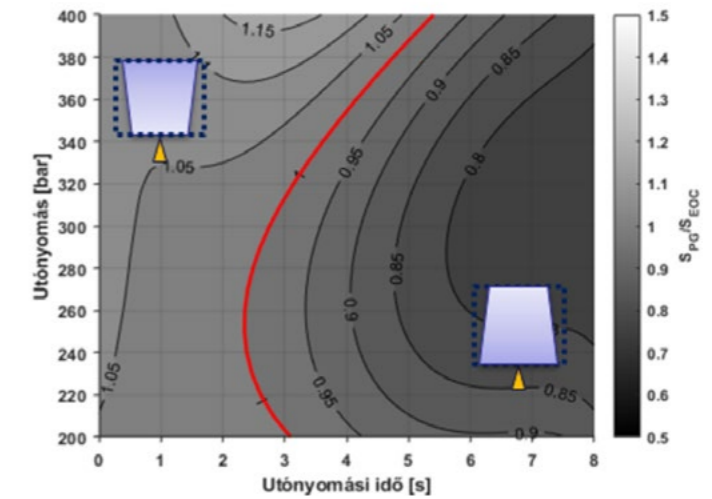
idő növelésével ez a méret nem egy határértékhez tart, hanem tovább nő. Ebből arra lehet következtetni, hogy hiába történik meg a gát részleges vagy akár teljes lefagyása, még plusz alapanyag jut a termékbe. Ez abból adódhat, hogy a lefagyott gátat belenyomjuk a termékbe, így a gátnál nagyobb mértékű kompenzáció tud megvalósulni (5. ábra).

A termékek zsugorodása a termékmérettel egyértelmű kapcsolatba hozható az 1-es és a 2-es összefüggés alapján, azonban mind a mérések, mind a kiértékelés sok időt vesz igénybe. Az eredmények jellegre ugyanazt mutatják, mintha a termékméreteket használnánk (6. ábra). Emellett a zsugorodások alapján az is látható, hogy nem feltétlen az a legjobb célkitűzés, hogy az



Az optimalizálás utolsó lépése azoknak a paraméterpárokak a megkeresése, ahol a zsugorodások aránya pontosan egy. Ábrázolva az előbbieken illesztett felületet felülnézetben, kontúrvonalas ábrán, könnyen kivethető az a szintvonal, amelyre eső utónyomási szint és idő értékek esetén ez a feltétel teljesül (9. ábra). Esetünkben ennél a szerszámnál a zsugorodás 400 bar nyomásnál a legkisebb, így az optimális utónyomási idő a vizsgált tartományban 5 másodperc lesz. Az optimális beállítási kombinációk szintvonalát pirossal kiemeltük.

A hagyományos mérési elveken alapuló utónyomási fázis optimalizálása, mint láthatjuk rendkívül időigényes, bonyolultabb, gyártásindítás során nehezen kivitelezhető méréseken alapul. Ezeknek a módszereknek az alkalmazása egyáltalán nem életszerű.

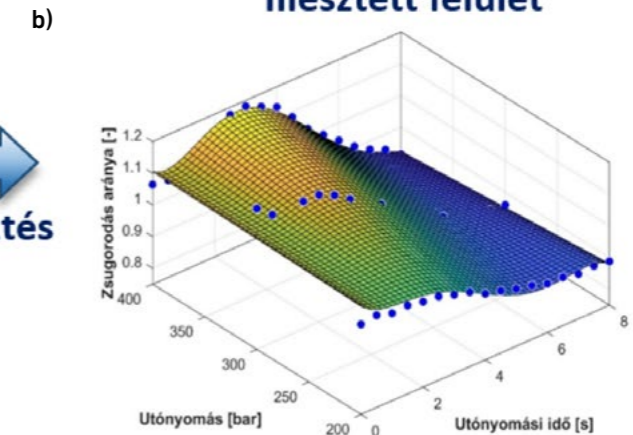
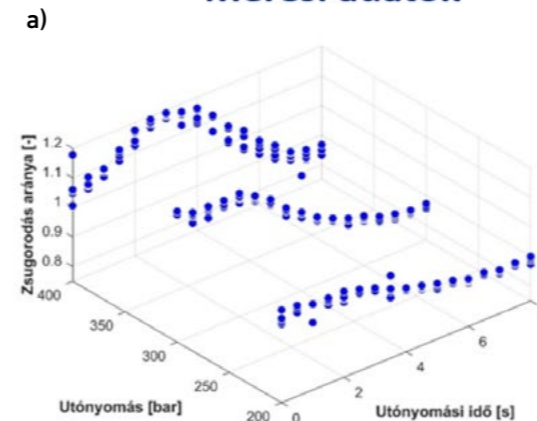


△ 9. ábra: 80x80x2 mm-es lapka próbatest egyenetlen zsugorodása és alaktorzulása a felső fészekben

△ 6. ábra: 80x80x2 mm-es lapka próbatest gát után és a folyási út végén mért keresztirányú zsugorodása az utónyomási idő függvényében a) 200 bar, b) 300 bar, c) 400 bar utónyomási szinteken a felső fészekben

▽ 8. ábra: 80x80x2 mm-es lapka próbatest gát után és a folyási út végén mért zsugorodásának aránya: a) diszkrét mérési pontok, b) illesztett felület a felső fészekben

## Mérési adatok



Felületillesztés

### 3.2. AZ UTÓNYOMÁSI IDŐ MEGHATÁROZÁSA SZERSZÁMÜREG NYOMÁS MÉRÉSE ALAPJÁN

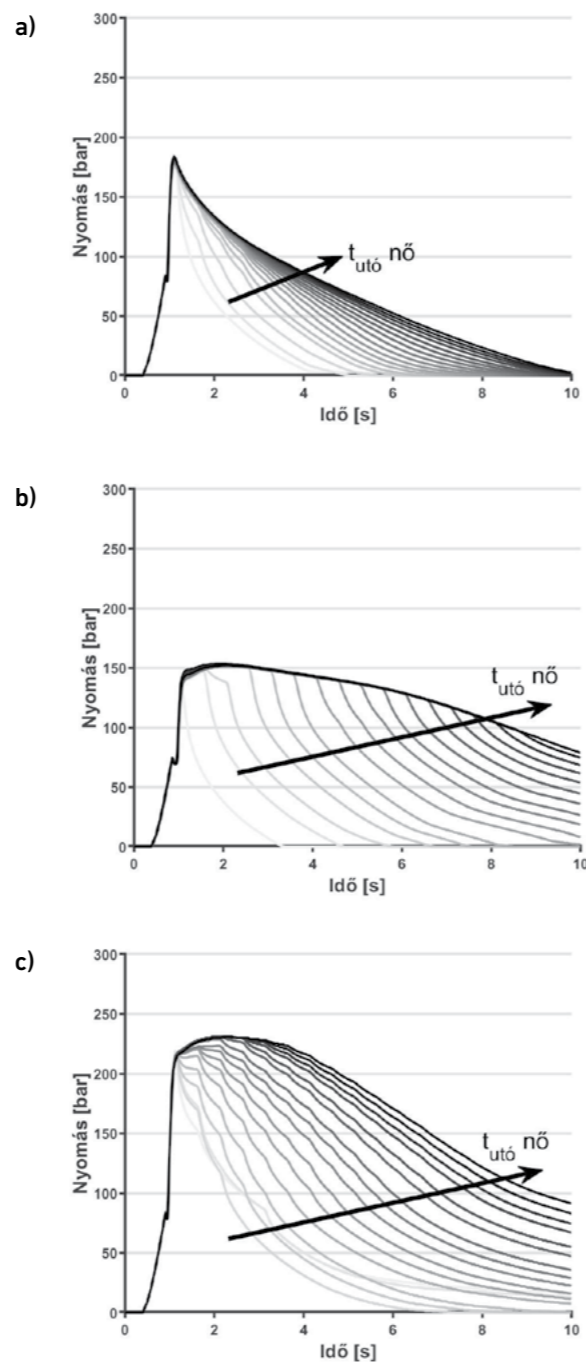
A szerszámüreg nyomásának mérése, az eddig bemutatott mérési módszerekkel szemben, nem a próbatestek gyártása után történik, hanem a fröccsöntési folyamat közben, és ráadásul teljes mértékben automatizálható. Amennyiben a nyomásmérő szenzorokat a megfelelő pozíciókban helyezzük el, akkor a mért nyomásgörbékkel rendkívül hasznos adatokat nyerhetünk ki. A nyomásgörbékkel kinyerhető adatok szinte azonnal a rendelkezésünkre állnak, és a számítások eredményei alapján akár a fröccsöntési folyamat szabályozására is felhasználhatók.

A méréseink során nyomásmérő szenzorok segítségével a termék több pontján rögzítettük a formaüregben kialakuló nyomáslefutásokat. A kiértékeléskor az utónyomási idő meghatározásához a gát utáni és a folyási út végi szenzorpozíciókat használtuk fel. A nyomásgörbék lefutását a folyási út végén a 10. ábra szemlélteti a különböző utónyomási szinteken.

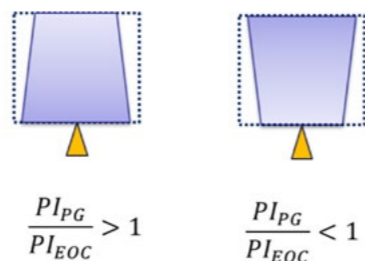
A nyomásgörbék egyértelműen látszik, hogy az utónyomási idő növelésével a görbék egyre elnyújtottabbak lesznek, tehát a kialakult nyomás hosszabb idő alatt cseng le. A görbék alatti terület növekedése, azaz a nyomásgörbék integrálja, jól mutatja a görbék bekövetkező változást (11. ábra). A nyomásintegrálok alakulása nagyon hasonlít a terméktömegkéhez és a termékméretekéhez, amiből arra következtethetünk, hogy a nyomásintegrál, mint mérőszám jól használható a termékek zsugorodásának előrejelzésére. Ennek bizonyításaként megvizsgáltuk a korrelációt az összetartozó nyomásintegrál és zsugorodás görbék között. A korreláció minden esetben erős kapcsolatot mutatott a vizsgált értékek között (-0,9 és -1 közötti korrelációs együttható). A korreláció előjele negatív, tehát ha az egyik érték növekszik, akkor a másik az ellentétes irányba változik. A görbék közti kapcsolat egy esetben volt gyengébb, amikor az utónyomás értéke 400 bar volt. Ebben az esetben is csak a folyási út végén található szenzorból származó eredmények mutatták a gyengébb összefüggést. Ezek alapján kijelenthető, hogy a nyomásintegrálok alkalmasak a zsugorodás előrejelzésére.

Hasonlóan a zsugorodásnál bemutatott arányszámhoz, a nyomásintegrálok hányadosát is megvizsgáltuk. Ez a hányados az alaktorzulással (trapézosodással van kapcsolatban). Amennyiben a gát után lévő nyomásszenzor által mért görbe integrálja nagyobb, mint a folyási út végén lévő szenzoré, akkor a 12. ábra bal oldalán látható eset áll fent, míg ellenkező esetben a jobb oldalon látható.

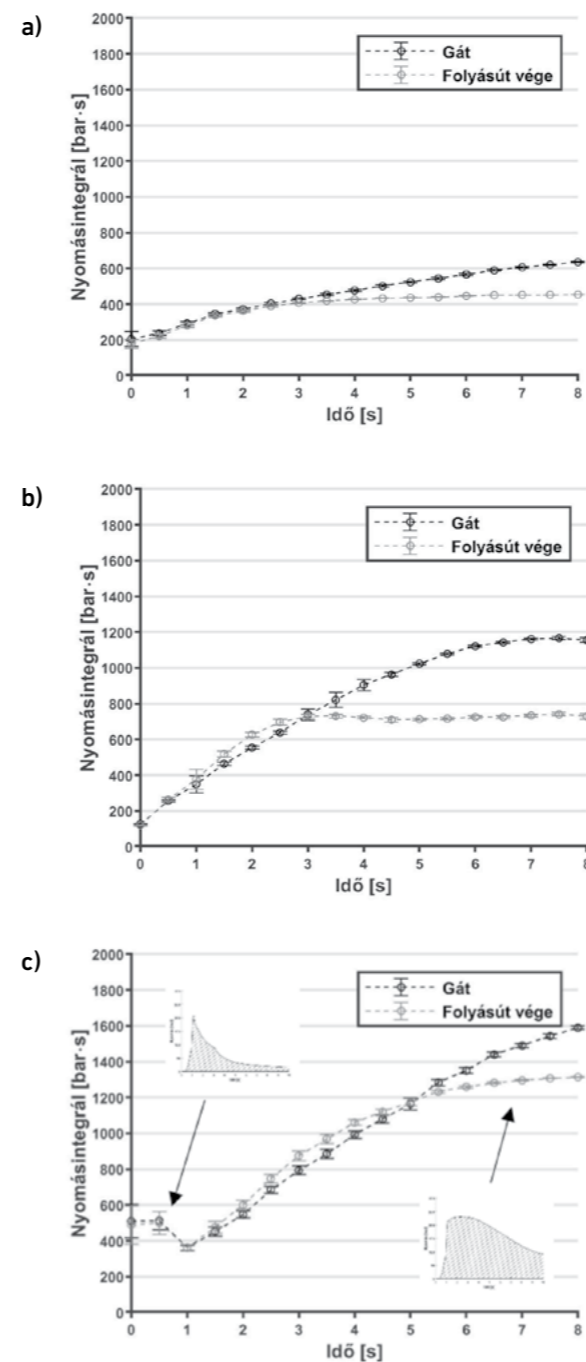
Az utónyomási idő meghatározásához elvégeztük az előző fejezetben bemutatott felületillesztést, aminek az eredményét a zsugorodáshoz hasonlóan felülnézetben, kontúrvonalasan ábrázoltuk. A nyomásintegrálok esetén is könnyen kivehető az a vonal, amely mentén található utónyomási szint és utónyomási idő alkalmazásakor a nyomásintegrálok aránya egy. Összevetve a zsugorodásból kapott szintvonalas ábrázolással, megfigyelhető a nyomásintegrálok és a zsugorodások közti negatív korreláció (13. ábra). A szintvonalak pozíciója, ahol a gát utáni és a folyási út végi zsugorodások aránya, illetve nyomásintegrálok aránya jó közelítéssel megegyezik. Az optimális utónyomási idő meghatározásához meg kell találnunk azt a pontot, amely esetén a nyomásgörbék alatti terület a legnagyobb. Ez a 400 bar-os utónyomás esetén teljesül ennél a szerszámnál, majd az ehhez tartozó utónyomási időt leolvashatjuk a szintvonalas ábráról (piros



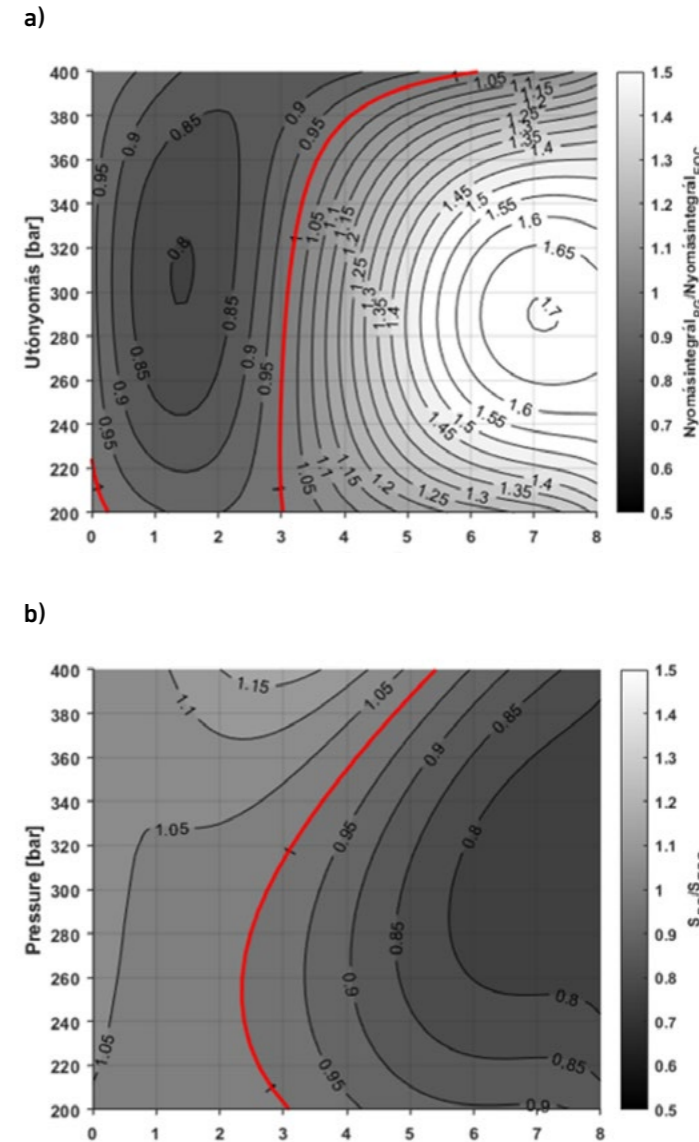
△ 10. ábra: A gátnál mért nyomáslefutások (F1K szenzor) a) 200 bar, b) 300 bar, c) 400 bar utónyomási szinteken (Az utónyomási idő a világos görbektől a sötétek irányába növekszik 0,5 s lépésközzel)



△ 12. ábra: 80x80x2 mm-es lapka próbatest egyenetlen zsugorodása és alaktorzulása különböző nyomásintegrál-arányok esetén



△ 11. ábra: A gát után és a folyási út végén mért nyomásgörbék integráljai (F1K és F3K szenzorok) különböző utónyomási szinteken: a) 200 bar, b) 300 bar, c) 400 bar



△ 13. ábra: 80x80x2 mm-es lapka próbatest egyenetlen zsugorodása és alaktorzulása: a) nyomásintegrálok aránya, b) zsugorodások aránya

A két módszer közötti csekély eltérés ellenére belátható, hogy a nyomásintegrálok alkalmazása egy sokkal egyszerűbb, folyamat közben kivitelezhető és rendkívül gyors mérési eredményez. A nyomásintegrálokból kinyert adat jó alapját képezheti egy lehetséges folyamatot szabályozó rendszer kiépítésének.

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során a fröccsöntött termékek zsugorodásából adódó alakdeformáció kompenzálásával és a megfelelő utónyomási szint és idő megválasztásával foglalkoztunk. Mérések alapján bemutattuk az utónyomási fázis optimalizálásának lehetőségeit a hagyományos fröccsöntött terméken mért jellemzők alapján. Megállapítottuk, hogy ezek a mérési és kiértékelési módszerek nehezen alkalmazhatók ipari környezetben a gyártás indításakor időigényességük és bonyolultságuk miatt. A hagyományos

vonat, ami 6 másodperc körül van. A zsugorodásokból meghatározott utónyomási szint és utónyomási idő páros kis mértékben eltér a nyomásintegrálokból meghatározottal. A különbségek a nagyobb utónyomási szint esetén jobban kivehetőek. Ennek az oka feltételezhetően abban keresendő, hogy a gátfagyás után a formaüregbe belepréselt gát, illetve többlet alapanyag hatása a közvetlen méréssel pontosabban kimutatható. Ezen felül a felületillesztés pontossága is lehet a probléma, hiszen csak 3 utónyomási szinten állt rendelkezésünkre mért adat. A mérések elvégzése több utónyomási szinten valószínűleg javítana a modell pontosságán.

mérési módszerek alapján, üregnyomás mérésén alapuló mérőszámot és optimalizáló módszert dolgoztunk ki, aminek mérésére és kiértékelésére a fröccsöntési folyamat közben van lehetőség. A méréseink alapján bebizonyítottuk, hogy az általunk javasolt mérési és optimalizáló módszerrel kapott eredmények csak kismértékben térnek el a hagyományos módszerek eredményeitől. Az általunk javasolt módszer előnye az eddigiekkel szemben, hogy nagyon gyors és kiértékelése viszonylag egyszerű, valamint a mérési módszer jellege lehetővé teszi, hogy a fröccsöntési folyamat szabályozására, automatizáláshoz használjuk.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Kutatásunk a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) 2018-1.3.1-VKE-2018-00001 pályázatának a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Köszönjük az ARBURG Hungária Kft-nek az Arburg Allrounder 420 C 1000-290 típusú fröccsöntő gépet, a Cavity Eye Hungary Kft-nek a szenzoros mérőrendszert, valamint a TOOL-TEMP Hungária Kft-nek, a LENZKES GmbH-nak és a PIOVAN Hungary Kft-nek a kiegészítő berendezéseket.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Chang, T. C.; Faison, E.: Shrinkage behavior and optimization of injection molded parts studied by the taguchi method, *Polymer Engineering and Science*, 41, 703-710 (2001).
- [2] Hienle, M.; Drummer, D.: Temperature-dependent coefficient of thermal expansion (CTE) of injection molded, short-glass-fiber-reinforced polymers, *Polymer Engineering and Science*, 55, 2661-2668 (2015).
- [3] Fathi, S.; Behraves, A. H.: Visualization of in-mold shrinkage in injection molding process, *Polymer Engineering and Science*, 47, 750-756 (2007).
- [4] Speranza, V.; Pantani, R.; Besana, G. B.; Titomanlio, G.: Anisotropic shrinkage of injection molded poly vinylidene fluoride samples, *Polymer Engineering and Science*, 47, 1788-1795 (2007).
- [5] Wu, C-H.; Huang, Y-J.: The influence of cavity deformation on the shrinkage and warpage of an injection-molded part, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32, 1144-1154 (2007).
- [6] Koppi, K. A.; Barger, M. A.; Chang, D.; Shields, C.: In-mold part shrinkage rate measurement, in Annual Technical Conference – ANTEC, Conference Proceedings, Cincinnati, USA, 561-565 (2007).
- [7] Pomerleau, J.; Sanschagrín, B.: Injection Molding Shrinkage of PP: Experimental Progress, *Polymer Engineering and Science*, 46, 1275-1283 (2006).
- [8] Jansen, K. M. B.; Van Dijk, D. J.; Husselman, M. H.: Effect of processing conditions on shrinkage in injection molding, *Polymer Engineering and Science*, 38, 838-846 (1998).
- [9] Mamat, A.; Trochu, T. F.; Sanschagrín, B.: Analysis of shrinkage by dual kriging for filled and unfilled polypropylene molded parts, *Polymer Engineering and Science*, 35, 1511-1520 (1995).
- [10] Kelly, A. L.; Woodhead, M.; Coates, P. D.: Comparison of injection molding machine performance, *Polymer Engineering and Science*, 45, 857-865 (2005).
- [11] Menges, G.; Michaeli, W.; Mohren, P.: Shrinkage, in 'How to make injection moulds' (Third edition), Carl Hanser Verlag GmbH. München, 335-350 (2001).

[12] Kwon, K.; Isayev, A. I.; Kim, K. H.; van Sweden, C.: Theoretical and experimental studies of anisotropic shrinkage in injection moldings of semicrystalline polymers, *Polymer Engineering and Science*, 46, 712-728 (2006).

[13] Leo, V.; Cuveliez, C. H.: The effect of the packing parameters, gate geometry, and mold elasticity on the final dimensions of a molded part, *Polymer Engineering and Science*, 36, 1961-1971 (1996).

[14] Pontes, A. J.; Oliveira, M. J.; Pouzada, A. S.: The effect of holding pressure on the shrinkage and birefringence of injection moulded polypropylene plates, *Materials Science Forum*, 455, 814-817 (2004).

[15] Santis, F. D.; Pantani, R.; Speranza, V.; Titomanlio, G.: Analysis of shrinkage development of a semicrystalline polymer during injection molding, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 49, 2469-2476 (2010).

[16] Barghash, M. A.; Alkaabneh, F. A.: Shrinkage and warpage detailed analysis and optimization for the injection molding process using multistage experimental design, *Quality Engineering*, 26, 319-334 (2014).

[17] Annicchiarico, D.; Attia, U. M.; Alcock, J. R.: A methodology for shrinkage measurement in micro-injection molding, *Polymer Testing*, 32, 769-777 (2013).

[18] Liao, S. J.; Chang, D. Y.; Chen, H. J.; Tsou, L. S.; Ho, J. R.; Yau, H. T.; Hsieh, W. H.; Wang, J. T.; Su, Y. C.: Optimal process conditions of shrinkage and warpage of thin-wall parts, *Polymer Engineering and Science*, 44, 917-928 (2004).

[19] Postawa, P.; Koszkuł, J.: Change in injection moulded parts shrinkage and weight as a function of processing conditions, *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163, 109-115 (2005).

[20] Altan, M.: Reducing shrinkage in injection moldings via the Taguchi, ANOVA, and neural network methods, *Materials and Design*, 31, 599-604 (2010).

[21] Manjunath, P. G. C.; Krishna, P.: Prediction and optimization of dimensional shrinkage variations in injection molded parts using forward and reverse mapping of artificial neural networks, *Advanced Materials Research*, 463-464, 674-678 (2012).

[22] Thomas, C. L.; Bur, A. J.: In-situ monitoring of product shrinkage during injection molding using an optical sensor, *Polymer Engineering and Science*, 39, 1619-1627 (1999).

[23] Chen, X.; Chen, G.; Gao, F.: Capacitive transducer for in-mold monitoring of injection molding, *Polymer Engineering and Science*, 44, 1571-1578 (2004).

[24] Panchal, R. R.; Kazmer, D. O.: In-situ shrinkage sensor for injection molding, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 132, 064503 (2010).

## MACH-TECH és IPAR NAPJAI szakkiállítások

– Magyarország legjelentősebb üzleti találkozója az iparban

**Helyszín:** HUNGEXPO Budapest Kongresszusi és Kiállítási Központ

A MACH-TECH és IPAR NAPJAI kiállítás-együttes évről évre teret ad az ipari ágazatok, az egyedülálló innovációk bemutatkozására, valamint az üzleti kapcsolatépítésre.

**Betétkiállítás: VÉDŐHÁLÓ Budapest** - munkavédelmi kiállítás

**Egyidejű rendezvény: AUTOMOTIVE HUNGARY** Nemzetközi járműipari beszállítói szakkiállítás

**Bővebb információ és látogatói regisztráció az ingyenes belépésért:**  
[www.iparnapjai.hu/polimerek](http://www.iparnapjai.hu/polimerek)

**Szakmai partnerek:** 

### MACH-TECH

15. Nemzetközi gépgyártás-technológiai és hegesztéstechnikai szakkiállítás

### IPAR NAPJAI

9. Nemzetközi ipari szakkiállítás

**2022. május 10-13.**

## ÚJ IDŐPONTBAN!

A 10. Automotive Hungary 2022 májusában kerül megrendezésre a HUNGEXPO Budapest Kongresszusi és Kiállítási Központban

#### FÓKUSZPONTOK:

- DIREKT és INDIREKT beszállítók
- „ÜZLET, TUDOMÁNY, KARRIER” tematikai pontokra épülő programok
- Automotive Hungary TechTogether mérnökverseny
- Beszállítói fórumok
- Magas színvonalú szakmai konferenciák
- Mérnöki továbbképzések

#### Társrendezvények:

**MACH-TECH** Nemzetközi gépgyártás-technológiai és hegesztéstechnikai szakkiállítás

**IPAR NAPJAI** Nemzetközi ipari szakkiállítás

**Bővebb információ és látogatói regisztráció az ingyenes belépésért:**

[www.automotivexpo.hu/polimerek](http://www.automotivexpo.hu/polimerek)



### AUTOMOTIVE HUNGARY

10. Nemzetközi járműipari beszállítói szakkiállítás

**2022. május 10-13.**

## A technológia az átalakuláshoz itt van.



## A jövőhöz vezető út itt van.

