

Különböző elemszámú és átmérőjű StaMixCo statikus keverők vizsgálata
Török D., Zsíros L., Kovács J. G.

Accepted for publication in Műanyag és Gumi

Published in 2014

DOI:

Különböző elemszámú és átmérőjű StaMixCo statikus keverők vizsgálata

Török Dániel* MSc hallgató, Zsíros László* doktorandusz, Dr. Kovács József Gábor* egyetemi docens

1. Bevezetés

A keveredési folyamatokban mindig jelen van diszperzív és disztributív keveredés is, amelyek aránya esetenként eltérő lehet. A legalapvetőbb keveredést segítő alkatrész maga a fröccsöntő csiga. Az általános célú, 20L/D arányú csigák mellett manapság egyre több helyen jelennek meg a különböző keverőelemekkel ellátott, nagyobb L/D viszonyú csigák a jobb keverőhatás elérése érdekében. A csiga behúzó zónájában nem történik diszperzív keveredés, mert az alapanyag még szilárd állapotban van, és a disztributív keveredés is elhanyagolható. A kompressziós zónában fellépő nagy nyíró- és súrlódó erők hatására az alapanyagban jelentős diszperzív keveredés megy végbe. Az általános célú csigák homogenizáló zónájában a diszperzív keveredés már nem jelentős, és a disztributív keveredés is korlátozott. A homogenizáló zóna végére fontos, hogy az ömledék reológiaiailag homogén állapotba kerüljön, ezért ha a csiga homogenizáló képessége nem elegendő, akkor különböző típusú keverők alkalmazása szükséges [1–3].

A keveredési hibák megoldása a különböző alapanyagok esetében eltérő gépet, más összetételű színezőanyagot, illetve különböző technológiai beállítást igényelhet. A technológiai paraméterek hatása a színegyenetlenségre korlátozott [4]. Új gép vásárlása, a meglévő módosítása, valamint új színezőanyag kifejlesztése időigényes és költséges megoldás, ezért kézenfekvő a célirányos keverők alkalmazása. Ezek a gyártórendszerbe illeszthetőek, költség- és energiatakarékos módszert megvalósítva. Működési elvük alapján, a fröccsöntéshez használt keverőket két nagy csoportra, a statikus és a dinamikus keverők csoportjára oszthatjuk. A statikus keverőelemek a feldolgozás során nem végeznek mozgást. Az ömledék keverését a zeg-zugos kialakításuk biztosítja, ami az ömledékáramot szétválasztja, majd újra egyesíti és közben folyamatos irányváltoztatásokra kényszeríti azt. A dinamikus keverők azonban valamilyen mozgást végeznek a keveredési folyamat közben, jellemzően a fröccsöntésnél ezek a csigával együtt mozogva valósítják meg a keverést [5, 6].

A statikus keverők előnye, hogy a plasztifikáló henger fűvóka felőli oldalára beépítve nem csökkentik a plasztifikálási teljesítményt. Továbbá, nem tartalmaznak mozgó

alkatrészeket, így a meghibásodás valószínűsége kisebb. A technológiai változtatásokra – mint például a gyártási sebesség változtatására, vagy az alapanyag színének cseréjére – nem érzékeny [5, 6]. Kereskedelmi forgalomban sokféle statikus keverő létezik, amelyeket más-más folyamatokhoz fejlesztettek ki, felhasználásuk nem korlátozódik kizárólag a fröccsöntés területére. Thakur [6] összefoglalta a statikus keverők típusait és azok felhasználási területeit, összehasonlította a különböző keverőket és részletesen foglalkozott a statikus keverők működésének fizikai hátterével. Meier [7] számszerűen vizsgálta a különböző keverők homogenizáló képességét. Li [8] a SULTZER cég által kifejlesztett SMX keverőn fellépő nyomáseséseket vizsgálta, számos ismert megállapítást tett, miszerint a keverőelemek számának növelése, valamint a viszkozitás növekedése a nyomásesés növekedésével jár, amíg a keverő falának hőmérséklete fordítottan arányos a nyomáseséssel. A vizsgálatok eredményeként egy korrekciós tényezőt definiált, amit a látszólagos viszkozitásból levezetett Reynolds-számtól tett függővé. Ennek segítségével a nyomásesés az üres csövekre alkalmazott reológiai összefüggéssel és ezzel a korrekciós tényezővel egyszerűen számíthatóvá válik. Többet szimuláltak az SMX keverőn kialakuló nyomásesés és a keveredés hatékonyságának kapcsolatát. Liu [9] CFD (Computational Fluid Dynamics) program segítségével megállapította, hogy a nyírósebesség a nyomáseséssel nem arányosan változik. A keveredés minőségét, Szalaihoz [10] hasonlóan, CFD program segítségével, részecske követés módszerével minősítette. Zalc [11] átlátszó csőben szemrevételezés alapján tett megállapításokat az SMX keverő hatásosságával kapcsolatban.

A dinamikus keverők a csiga szerves részeként vagy arra utólag rászerezelt külön egységként valósítják meg a keverést [3]. Csigacsúcsra szerelhető keverőtípus többek között a cavity transfer mixer-ek (CTM) csoportja, ezekkel Hindmarch [12] foglalkozott részletesen. Az iparban ma már több mint 150féle kialakítás megtalálható, melyek közül többet a műanyagiparban alkalmaznak. A CTM mixerek egy, a csigacsúcsra szerelhető forgó részből, valamint a körülötte lévő gyűrűből állnak, amelyekbe félgömb alakú üregeket alakítottak ki. A CTM keve-

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

rők jó keverési hatásfokkal dolgoznak [12], ezekhez hasonló a keverő funkciót is ellátó visszaáramlás gátlók működése [13].

A keverők összehasonlítása összetett és bonyolult feladat, mivel a keveredés mértéke nehezen határozható meg objektív módon. A jelenleg alkalmazott szubjektív módszerek az emberi érzékelésen alapulnak. A vizsgálatok függenek több emberi és környezeti tényezőtől, így nem szolgáltatnak globálisan elfogadható eredményeket. Ennek javítására Zsíros [14] dolgozott ki egy mérési eljárást, ami a színegyenetlenség mérésére alkalmas. Két szín közti árnyalatbeli, világosságbeli vagy telítettségükben fellelhető eltérést a színekhez tartozó pontok Euklédieszi távolsága jellemzi a CIE Lab színtérben. Hasonló képfeldolgozó eljárással textíliákat vizsgált van Dalen [15], aki a folt-tisztítás hatékonyságát tanulmányozta, amelyet spektroszkópiai mérésekkel igazolt.

Korábbi cikkünkben vizsgáltuk a különböző keveredést befolyásoló elemek hatásfokát [16], amelyben rámutattunk a statikus keverők kedvező hatására. Mivel nem foglalkoztunk az egyes statikus keverőtípusok hatásával, ezért jelenlegi munkánk célja a különböző átmérőjű és elemszámú statikus keverők összehasonlítása.

2. Felhasznált alapanyagok és gépek

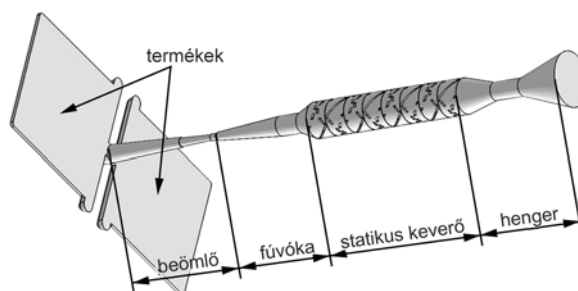
Munkánkban ABS terpolimert (STYROLUTION, Terluran GP-35) használtunk, melyet 4 m% rózsaszín (CLARIANT, Renol-pink ABS143479Q) mesterkeverékkel színeztünk. 80×80×2 mm méretű mintákat fröccsöntöttünk ARBURG Allrounder Advance 370S 700-290 gépen (csiga-átmérő 30 mm), kétfészkés szerszámban. A vizsgálatokhoz különböző elemszámú és belső átmérőjű STAMIXCO SMN típusú statikus keverőket alkalmaztunk. A keverőelemek belső átmérője 18, 22 és 27 mm volt. A 22 mm átmérőjű keverő esetében 5, 7 és 8 elemet, a 18 mm átmérőjű keverő esetén 5 elemet, a 27 mm átmérőjű keverő esetén pedig 8 elemet használtunk. A próbatesteket sík-ágyas lap-szkennelrel (EPSON Perfection V600 Photo) digitalizáltuk. A szkennel maximális felbontása 6400 dpi, maximális munkaterület 216×297 mm. A szkennelben két különböző, fehér, valamint infravörös LED fényforrás található.

3. A mérések menete

A próbatesteket azonos technológiai paraméterek mellett készítettük, keverőelem alkalmazása nélkül, illetve különböző elemszámú és átmérőjű keverőkkel. A plasztikálásnál a csiga kerületi sebessége 25 mm/min, a torlónyomás 60 bar, a fröccstérfogat 42 cm³, a fröccssebesség 55 cm³/s, az ömledékhőmérséklet 225°C, a szerszámhőmérséklet pedig 40°C volt. A lapka próbatestek mozgó szerszám felőli oldalát 200 dpi felbontással digitalizáltuk sík-ágyas szkennelrel. A szimulációs számításokat AUTODESK Moldflow Insight 2014 szoftverrel végeztük.

3.1. Szimuláció a nyomásesés számításához

A szimuláció során a keverőelemeken kialakuló nyomásesést vizsgáltuk a kitöltési fázisban, amelynek eredményeit a fröccsöntő gépen mért adatokkal vetettük össze. A szimulációhoz használt modellek a statikus keverő folyási útjából, a szerszám beömlő rendszeréből, valamint a lapka próbatestekből álltak, a polimer ömledék folyási útjának megfelelően (1. ábra). A statikus keverő belső geometriai kialakítását CT vizsgálattal határoztuk meg.

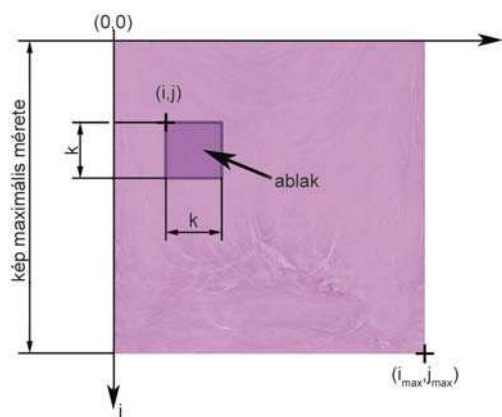


1. ábra. Szimulációs modell, 8 elemes, 22 mm belső átmérőjű statikus keverő

A szimulációk során térfogati hálózást alkalmaztunk 0,5 mm átlagos élhosszúsággal. A szimulációnál beállított technológiai paraméterek megegyeztek a fröccsöntő gépen beállítottakkal. A keverőt forrócsatornaként modelleztük, így a kitöltési fázis elején a keverő már tartalmazta a megömlesztett és felfűtött polimer alapanyagot.

3.2. A színegyenetlenség mérése

A homogenitási hibák méréséhez a lapka próbatesteket sík-ágyas szkennelrel digitalizáltuk, majd a Zsíros [14] által fejlesztett színegyenetlenség mérő programban értékeltük ki. A program Lab színtérben a szkennelt minta képpontjainak színeltéréseiből a képre jellemző egyedi hibaértékeket számol, amelyek értéke függ a számítás során használt ablakmérettől (2. ábra). Az Lab színtér előnyös tulajdonsága az RGB színtérhez képest, hogy az Lab színtérben a színegyenetlenséget számított euklédieszi tá-



2. ábra. A programban használt jelölések

volság (szinkülönbség) nagyon közel áll az emberi szem által érzékelt szinkülönbségekhez. A számítás menete a digitalizált kép pixeljeihez tartozó RGB színértékek CIE Lab színtérbe konvertálásával kezdődik ($P[L,a,b]$). A képek elemzése különböző méretű ablakok segítségével történik, amelyek végigpásztazzák a képet. Az ablakok mérete 2 pixel és a kép maximális mérete között változtatható. Minden ablakpozícióhoz kiszámítjuk az ablakon belül elhelyezkedő képpontok ($P[L,a,b]$) értékeiből az átlagos szín koordinátát az (1) összefüggés segítségével.

$$\bar{a}_{i,j,k} = \frac{\sum_{x=i}^{i+k-1} \sum_{y=j}^{j+k-1} P[L,a,b](x,y)}{k^2} \quad (1)$$

ahol i és j a mozgó ablak pozíciója a képen belül, k a mozgó ablak szélessége és magassága, x és y a mozgó ablakon belüli helyi koordináták.

Az $\bar{A}_{i,j,k}$ mátrix elemei az előbb számolt átlagos színértékekből tevődnek össze. Ezután a kép pixeljeihez tartozó $P[L,a,b]$ értékeket összehasonlítjuk a fő színértékekkel. Minden ablakmérethez és pozícióhoz számítható egy fő hibaérték a (2) összefüggés alapján, ami tulajdonképpen nem más, mint az adott ablakon belül a képpontok színének a standard devianciája

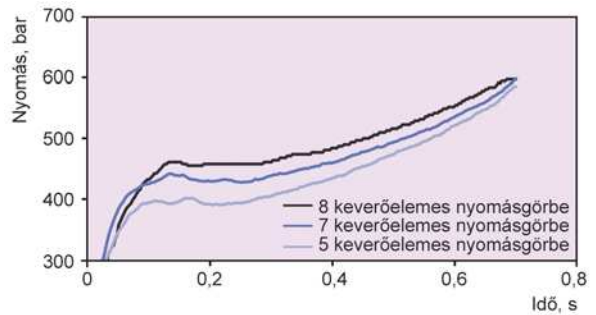
$$MD_{i,j,k} = \frac{\sum_{x=i}^{i+k-1} \sum_{y=j}^{j+k-1} \sqrt{\sum_{\varepsilon=L,a,b} \{P[\varepsilon](x,y) - A[\varepsilon](x,y)\}^2}}{k^2} \quad (2)$$

Az MD_k mátrix elemeit ezek az $MD_{i,j,k}$ értékek alkotják. Minél alacsonyabb az $MD_{i,j,k}$ érték, annál egyenletesebb a minta színe a mozgó ablak által lefedett részen. A humán kiértékelés és a program eredményeinek az összehasonlítására a legnagyobb $MD_{i,j,k}$ értéket használjuk (HMD_k). A legnagyobb ablakmérethez tartozó (MD) érték a teljes képet jellemzi (GMD).

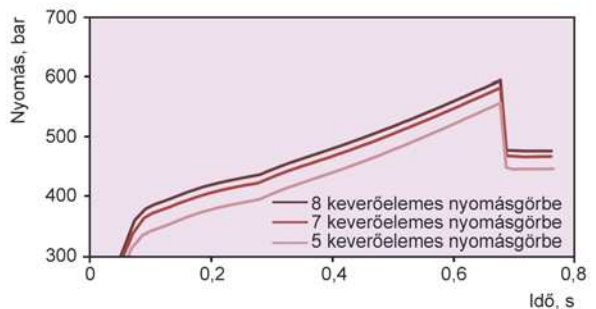
4. A statikus keverőkön fellépő nyomásesés vizsgálata és a hőmérséklet-emelkedés számítása

Az eredmények elemzésekor a fröccsöntő gépen mért és a szimulációs szoftverrel számított nyomásgörbéket (3. és 4. ábra) vizsgáltuk. Ezek célja a statikus keverőkön fellépő nyomásesés meghatározása volt a keverőelemek számának függvényében. Ennek érdekében összehasonlítottuk a különböző elemszámú mérések eredményeit úgy, hogy a 8 keverőelemes esetet választottuk referenciának.

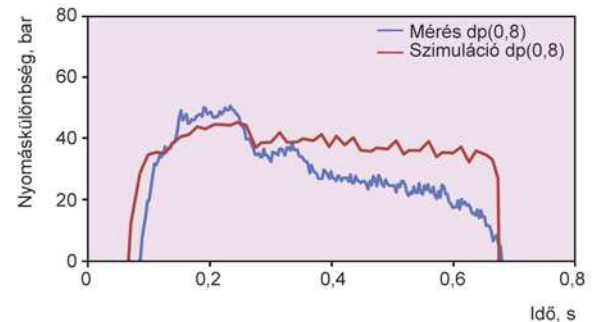
Első lépésként megvizsgáltuk a statikus keverők alkalmazásának hatását a fröccsöntési folyamatra, ugyanis azok a geometriai kialakításuk miatt növelik az alapanyag befroccsöntéshez szükséges nyomásigényt. Az 5. ábra a 8 elemet tartalmazó statikus keverőn és a hagyományos fűvőkán fellépő nyomásszükséglet különbségét mutatja az idő függvényében. A szimulációs számí-



3. ábra. Fröccsöntő gépen mért nyomásgörbék 8, 7 és 5 keverőelemes, 22 mm belső átmérőjű statikus keverő alkalmazása esetén



4. ábra. Szimulációs nyomásgörbék 8, 7 és 5 keverőelemes, 22 mm belső átmérőjű statikus keverő alkalmazása esetén

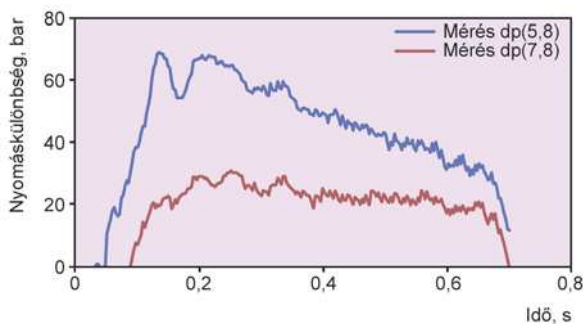


5. ábra. Fröccsöntéshez szükséges nyomásigény változása 8 keverőelemes, 22 mm belső átmérőjű statikus keverő alkalmazása esetén

tások csak kis mértékben térnek el a mérési eredményektől, a statikus keverő alkalmazása kb. 40 bar nyomásigény növekedést okozott. A mérési eredmények és a szimuláció közti eltérés kb. 5–10 bar. A fröccsöntés során fellépő nyomásokhoz képest ez elhanyagolható, ami alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a szimuláció alkalmas a további a számítások elvégzésére.

Megvizsgáltuk a statikus keverőelemek számának hatását a fröccsöntéshez szükséges nyomásigény változására. Az összehasonlítások alapjául a nyolcelemes keverő mért, illetve számított eredmények szolgálnak.

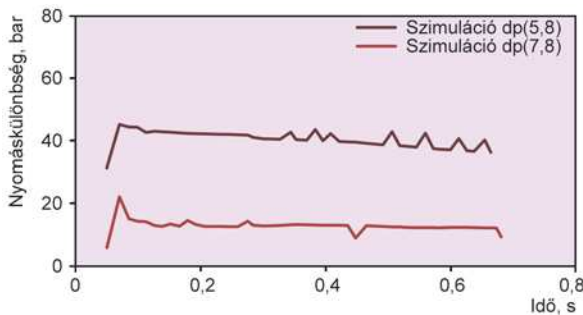
A 6. ábra a hét- és nyolc-, valamint az öt- és nyolcelemes keverő összehasonlítását mutatja. A nyomásigény



6. ábra. Fröccsöntéshez szükséges nyomásigény növekedés az elemszám függvényében 22 mm belső átmérőjű statikus keverő esetén (mérési eredmények)

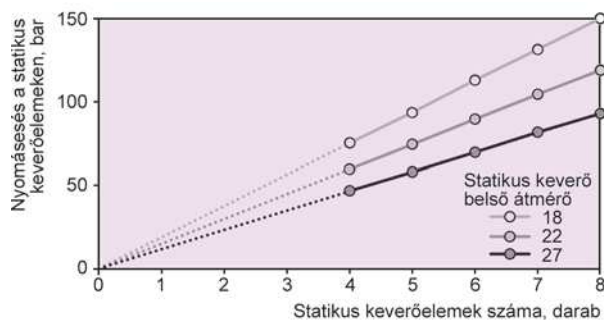
növekedése arányos az alkalmazott keverőelemek számával. Egy plusz keverőelem alkalmazása csak kismértékű nyomásigény növekedést eredményez, ami kb. 20 bar. Három plusz keverőelem alkalmazása esetén ez a növekmény kb. 60 bar. A szükséges nyomásigények különbsége a kitöltési fázis vége felé haladva csökken. Az átkapcsolási pont elérésekor a kialakult fröccsnyomás közel azonos az öt, hét és nyolc keverőelem alkalmazásakor.

Az 7. ábrán az öt-, hét- és nyolcelemes keverők szimulációs összehasonlítása látható. A számítások alapján a nyolcelemes keverő alkalmazása az ötelemes keverő helyett kb. 45 bar nyomásigény növekedéssel jár. Ha hét keverőelem helyett nyolcat alkalmazunk, akkor a nyomásigény növekedése 15 bar körül van.



7. ábra. Fröccsöntéshez szükséges nyomásigény növekedés az elemszám függvényében 22 mm belső átmérőjű statikus keverő esetén (szimulációs eredmények)

A szimulációs számításokat kibővítettük négy- és hat-elemes keverők elemzésére is. Az előzőekhez hasonló módon kiszámítottuk a nyomásigények különbségét a kitöltési fázisban a nyolcelemes keverőhöz képest. Ezután minden esetben meghatároztuk a szükséges nyomásigény növekedés átlagértékét a kitöltési fázis egyenletes áramlási sebességű részében, azaz a 0,1–0,6 s időtartományban (8. ábra). A keverőelemek számának növelése a megnövekedett szükséges nyomásigénnyel lineáris kapcsolatban van. Egy keverőelem közel 18 bar nyomás-



8. ábra. Statikus keverőelemek által okozott nyomásesés különböző belső átmérőjű, SMN típusú statikus keverő alkalmazása esetén

igény növekedést okoz a mérések alapján, míg a szimulációs számítások szerint 14 bar-t. A mérés és a szimuláció közti eltérésnek több oka is van. A valóságban a polimer ömledék felmelegszik, miközben keresztülhalad a statikus keverőn, ami viszkozitás csökkenéssel és a polimer kismértékű degradációjával is járhat. A szimulációs szoftverek ezt jelenleg nem veszik figyelembe.

A különböző nyomásesések hatására fellépő adiabatikus hőmérséklet-emelkedés a (3) összefüggés alapján számítható [17].

$$\Delta T = \frac{\Delta P}{\rho \cdot c_p} \quad (3)$$

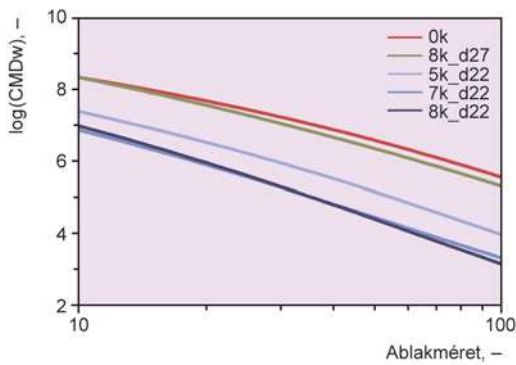
ahol ΔT a hőmérséklet-emelkedés, ΔP a nyomásesés a statikus keverőn, ρ a polimer ömledék sűrűsége, c_p pedig a polimer ömledék fajhője. A GP 35 típusú ABS alapanyag sűrűsége 997 kg/m³, fajhője 2235 J/(kg·°C) az alapanyag szimulációs adatai alapján 230°C ömledék-hőmérséklet és 1000 bar fröccsnyomás esetén. Az ezekből számított hőmérséklet-emelkedés a 18, a 22 és a 27 mm belső átmérőjű, 8 elemes statikus keverők esetében rendre 6,7, 5,3, illetve 4,2°C.

5. A statikus keverők homogenizáló képességének összehasonlítása

Színkeveredés szempontjából a 2. fejezetben leírtak alapján megvizsgáltuk a 22 mm átmérőjű statikus keverő esetében az 5, 7 és 8 elemes, valamint a 27 mm átmérőjű statikus keverő esetében a 8 elemes változatokat, referenciaként a keverő nélküli esetet választottuk. Minden próbatestre kiszámítottuk a 35 pixeles ablakmérethez tartozó HMD hibaértéket, valamint a teljes képre jellemző GMD hibaértéket. Ezután a (4) összefüggéssel meghatároztuk az első 2–100 pixeles ablakmérethez tartozó korrigált hibaértékeket.

$$CMD_w = HMD_w - GMD \quad (4)$$

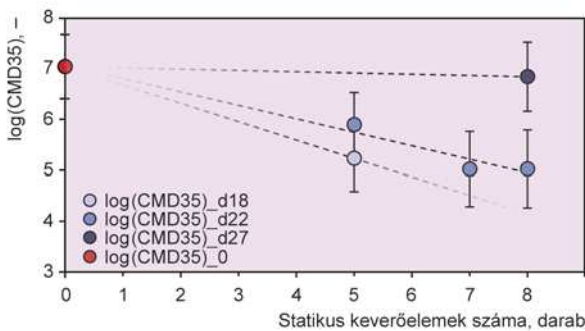
Az így kapott korrigált hibaértékeket (CMD_w) egy lo-



9. ábra. Statikus keverőelemek számának hatása a próbatest inhomogenitására

garitmikus transzformációt követően ábrázoltuk a w ablakméret függvényében (9. ábra). Az ablakméret változtatása a próbatest felületén látható hiba méretével arányos hibaértéket eredményez. Ez azt jelenti, hogy a kisebb ablakméretek esetén a kisebb kiterjedésű hibák, nagyobb ablakméretnél pedig a nagyobb kiterjedésű hibák jellemzők. A korrekcióra és a logaritmikus transzformációra azért volt szükség, mert a korábbi vizsgálataink alapján az így kapott értékek 95% feletti korrelációban álltak a képzett technikusok által végzett kiértékelésekkel.

Megállapítottuk, hogy a keverőelemek számának növelésével az inhomogenitás csökken. A 35 pixel oldalhosszúságú ablakmérethez tartozó hibaértékek (CMD_{35}) mutatták a legnagyobb egyezést a képzett technikusok által végzett kiértékeléssel. Ezeket az eredményeket felhasználva megállapítható, hogy a keverőelemek száma és az inhomogenitás közti kapcsolat logaritmikus (10. ábra). Ez igazolja azt, hogy a statikus keverőben az első keverőelem javítja a legnagyobb mértékben a termék homogenitását, amíg a sorban egymást követő keverőelemek egyre csökkenő mértékben javítják azt.



10. ábra. Statikus keverőelemek számának és belső átmérőjének hatása a próbatest inhomogenitására

Inhomogenitás szempontjából a 7 és a 8 elemet tartalmazó keverők között nincs szignifikáns különbség, amelyet 2 mintás T próbával is igazoltunk. A minták szemrevételezése alapján elmondható, hogy a nagy szórás nem

mérési bizonytalanságból, hanem a fröccsöntési folyamat ismétlődéséből adódott.

6. Összefoglalás

Cikkünkben a STAMIXCo cég SMN típusú 18, 22 és 27 mm belső átmérőjű, 5, 7 és 8 elemet tartalmazó statikus keverőit tanulmányoztuk. A keverőkön fellépő nyomásesést és a keverő által biztosított homogenizálását elemeztük mérések és szimulációs vizsgálatok alapján. Mérésekkel igazoltuk, hogy a fröccsöntési folyamat során kialakuló nyomásviszonyokat a szimulációk kellő pontossággal követik. Rámutattunk arra, hogy az elemszám növelése csak csekély, elemenként 14–18 bar nyomásvesztéssel eredményez, ami elfogadható a homogenizálási tulajdonságokat figyelembe véve. Új, saját fejlesztésű szín homogenitást elemző programunk segítségével bizonyítottuk, hogy a statikus keverőelemek számának növelése jelentősen javítja a termék esztétikai megjelenését. Az általunk vizsgált szín és vizsgálati környezet esetében a 7 és 8 elemet tartalmazó, 22 mm belső átmérőjű statikus keverők között nem volt jelentős különbség. A 27 mm belső átmérőjű statikus keverő homogenitására gyakorolt hatása elmaradt a vele azonos számú elemet tartalmazó, 22 mm belső átmérőjű változattól. A 18 mm belső átmérőjű statikus keverők a vártak megfelelően jobb keveredési hatást biztosítanak. Ez arra utal, hogy a disztributív keverés mellett, a diszperzív keverésnek is jelentős szerepe van a folyamatban. A keveredés határfokának maximalizálása érdekében az adott technológiai beállításokat és termékjellemzőket figyelembe véve kell meghatározni a megfelelő statikus keverő átmérőt és elemszámot.

A cikk a Bolyai János Kutatási ösztöndíj támogatásával készült. A szerzők köszönetüket fejezik ki az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA PD 105995) anyagi támogatásáért.

Köszönjük Ungvári Györgynek, a STAMIXCo AG magyarországi képviselőjének a kísérletek elvégzéséhez nyújtott szakmai támogatását és a rendelkezésünkre bocsátott eszközöket, továbbá az ARBURG HUNGÁRIA KFT.-nek az ARBURG Allrounder 370C 700-250 Advance típusú fröccsöntő gépet, a PIOVAN HUNGARY KFT.-nek a temperálót és a kiegészítőket, valamint a LENZKES GMBH-nak a szerszámfelfogókat.

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen” című projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az Új Széchenyi Terv TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja.

A munka szakmai tartalma kapcsolódik az „Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tud-

mányos műhelyeiben” című projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához, melyet a TÁMOP - 4.2.2.B-10/1-2010-0009 program támogat.

Irodalomjegyzék

- [1] Müller, A.: Coloring of Plastics, Carl Hanser Verlag, Munich, 2003.
- [2] Murphy, J.: Additives for Plastics Handbook, Elsevier Science Ltd., Oxford, 2001.
- [3] Paul, E. L., Atiemo-Obeng, V. A.; Kresta, S. M.: Handbook of industrial mixing, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
- [4] Zsíros, L.; Kovács, J. G.: Fröccsöntött termékek színegyenetlenségének mérése, OGÉT 2013-XXI. Nemzetközi Gépészeti Találkozó, Arad, Románia, 2013. április 25.–28., 454–457. oldal.
- [5] Bánhegyi, Gy.: Ömledék homogenitásának javítási lehetőségei fröccsöntésnél és extrúziónál, Műanyagipari szemle, 6/4, (2008).
- [6] Thakur, R. K.; Vial, Ch.; Nigam, K. D. P.; Nauman, E. B.; Djelveh, G.: Static mixers in the process industries – A review, Institution of Chemical Engineers, 2003.
- [7] Meier, M. K.; Singh, M. K.; Anderson, P. D.: On the performance of static mixers: A quantitative comparison, Progress in Polymer Science, 37, 1333–1349 (2012).
- [8] Li, H. Z.; Fasol, C.; Choplin, L.: Pressure drop of newtonian and non-newtonian fluids across a Sulzer SMX static mixer, Trans IChemE, Vol. 75, Part A, 792–796 (1997).
- [9] Liu, S.; Hrymak, A. N.; Wood, P. E.: Laminar mixing of shear thinning fluids in a SMX static mixer, Chemical Engineering Science, 61, 1753–1759 (2006).
- [10] Zalc, J. M.; Szalai, E. S.; Muzzi, F. J.: Characterization of flow and mixing in an SMX static mixer, AIChE Journal, 48/3, 427–436 (2002).
- [11] Al-Atabi, M.; Abakr, Y. A.: Laminar mixing in SMX static mixer, Journal of Engineering Science and Technology, 2/1, 95–101 (2007).
- [12] Hindmarch, R. S.: The cavity transfer mixer: A blender for all seasonings, Materials & Designs, 8/6, 331–339 (1987).
- [13] Rauwendaal, C.: Non return valve with distributive and dispersive mixing capability, Plastic Design Library, 2001.
- [14] Zsíros, L.; Suplicz, A.; Romhány, G.; Tábi, T.; Kovács, J. G.: Development of a novel color inhomogeneity test method for injection molded parts, Polymer Testing, 37, 112–116 (2014).
- [15] van Dalen, G.; Don, A.; Veldt, J.; Krijnen, E.; Gribnau, M.: Society for Imaging Science and Technology: Colour Analysis of Inhomogeneous Stains on Textile Using Flatbed Scanning and Image Analysis, CGIV-European Conference, 2008, pp. 53–57.
- [16] Zsíros, L.; Kovács J. G.: Fröccsöntő gépek homogenizáló képességének optimalizálása, Műanyag és Gumi, 50/9, 347–350 (2013).
- [17] Gottlieb, S.; Ungvári, Gy.: Statikus keverőfej homogén ömledék előállításához fröccsöntésnél, Műanyag és Gumi, 44/3, 111–115 (2007).