

# Színegyenetlenség mérésére alkalmas mérőrendszer fejlesztése és alkalmazása statikus keverők minősítésére

## Development of a color inhomogeneity measurement method and its application to the evaluation of static mixers

ZSÍROS László<sup>1</sup>, TÖRÖK Dániel<sup>1</sup>, KOVÁCS József Gábor<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, H-1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3. Tel: +36-1-463-1459, Fax: +36-1-463-1440 E-mail: kovacs@pt.bme.hu,

### Abstract

*In this work we have developed a software for objective color inhomogeneity measurement, which has been applied to evaluate static mixers used in injection molding. We have categorized the static mixers based on their generated pressure drop and mixing efficiency.*

### Kivonat

*A munkánk során színegyenetlenség objektív, számszerű mérésére alkalmas mérőszoftver fejlesztésével foglalkoztunk, amit a későbbiekben fröccsöntési technológiánál alkalmazott statikus keverő berendezések minősítésére használtunk. A statikus keverőket az általuk okozott nyomásesés és keveredési hatékonyságuk szerint osztályoztuk.*

### Kulcsszavak

Fröccsöntés, termékek színezése, statikus keverő, homogenizálás, mesterkeverék

## 1. BEVEZETÉS

A fröccsöntés a műanyagipar egyik legmeghatározóbb tömegtermelésre alkalmas gyártástechnológiája, amivel bonyolult 3D-s termékek előállítására is megvalósítható [1]. Ma már a világon feldolgozott műanyag termékek körülbelül egynegyedét fröccsöntéssel állítják elő, amelyeknek sok esetben magas minőségi előírásoknak kell megfelelnie nem csupán műszaki, de esztétikai, funkcionális, és ergonómiai szempontból is [2]. Az esztétikai hibák közül a termék színében lévő inhomogenitások a legszembeötlőbbek, amelyek megjelenésének fő oka a színezőanyagok nem megfelelő eloszlása a polimer mátrixban. A színezőanyagok egyenletes elkeverése a polimer mátrixban tehát kulcsfontosságú. Legegyszerűbben a fröccsöntő gép technológiai beállításainak módosításával érhetünk el javulást a termék színének homogenitásában, azonban ez sok esetben nem elegendő [3]. Rosszul keveredő mesterkeverékek használata esetén célszerű, olyan statikus vagy dinamikus keverő berendezések alkalmazása, amelyek tovább növelik keveredés mértékét [4].

Munkánk során célul tűztük ki a statikus keverő berendezések minősítését a rajtuk fellépő nyomásesés és keverési hatékonyságuk szempontjából. Az ömledék keverését a zeg-zugos kialakításuk biztosítja, ami az ömledékáramot szétválasztja, majd újra egyesíti az ömledék rétegek rekombinálásával. A statikus keverők nagy előnye az, hogy a csiga elé beépítve nem csökkentik a hasznos hosszát, a plasztikálási teljesítményt nem befolyásolják. Ezek a keverőrendszerek a fröccsöntő gépekbe integrálhatók és rugalmasan kezelik a technológiai változtatásokat, mint például a gyártás fokozása, vagy az alapanyag színének megváltoztatása [5]. A kereskedelmi forgalomban sokféle geometriájú statikus keverő létezik, amelyek közül az SMN [6], SMX [5], ISG [7] és Kenics [5] típusú keverők használata terjedt el a hőre lágyuló feldolgozás technológiáknál.

A statikus keverők hatékonyságának meghatározása nem egyszerű feladat, mivel a termékek színében fellépő egyenetlenségek mérésére nincs az iparban elterjedt egzakt mérési módszer. Az általunk fejlesztett mérőszoftverrel [8] azonban egyszerűen és viszonylag gyorsan számszerűsíthető a próbatestek színegyenetlenségének mértéke.

A kutatás során fröccsöntött, ABS próbatesteket vizsgáltunk, amelyek gyártásánál különböző összetételű (színű) mesterkeveréket használtunk. A mintákat kiértékelítettük szakképzett technikusokkal és a szoftverünkkel is, majd a vizuális kiértékelés eredményeit összevetettük a szoftver által mért értékekkel. Ezek alapján elvégeztük a mérőszoftver kalibrálását, amit a későbbiekben SMN típusú statikus keverők keverési hatékonyságának meghatározására használtunk. A keverőket minősítettük a rajtuk fellépő nyomásesés és keverési hatékonyságuk szempontjából [9].

## 2. ALKALMAZOTT ANYAGOK ÉS BERENDEZÉSEK

A mérőprogram kalibrálásához 80x80x2 mm-es lapka probatesteket használtunk, amelyeket *ABS Terluran GP-35* alapanyagból, különböző összetételű (színű) mesterkeverékek adalékolásával gyártottunk le. Ezek vizsgálatából kiderült, hogy a halványlila (*Clariant, Renol-pink ABSI 43479Q*) mesterkeverék eloszlata problémásabb, mint a más összetételű mesterkeveréké, ezért a továbbiakban ezt használtuk fel a statikus keverők minősítésénél is.

A lapka probatesteket *Arburg Allrounder Advance 370S 700-290* fröccsöntőgépen gyártottuk, kétfézeszes szerszámban. A mérőszoftver kalibrálásához használt próbatestek elkészítésénél nem használtunk sem statikus, sem dinamikus keverőelemeket. A vizsgált keverő berendezések a *StaMixCo* által forgalmazott *SMN* típusú statikus keverők voltak (1. ábra), különböző számú és belső átmérőjű keverőelemekkel. A vizsgált keverőelemek belső átmérője 18, 22, 27 mm volt. A 22 mm belső átmérőjű statikus keverő esetében 5, 7 és 8 keverő elemet alkalmaztunk, a 18 mm-es belső átmérő esetén 5 keverőelemet, míg a 27 mm belső átmérőjű keverőben 8 elemet.



1. ábra

*SMN típusú statikus keverő tokozása és a benne található keverőelemek [6]*

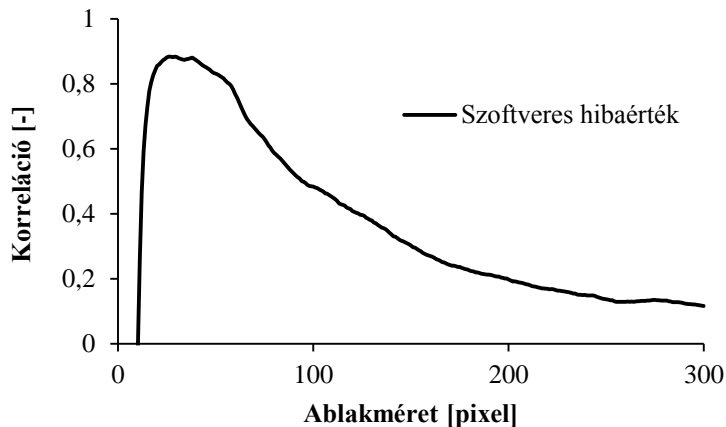
A próbatesteket *Epson Perfection V600 Photo* síkágyas lapszkennerral digitalizáltuk annak érdekében, hogy az információt a mérőszoftver számára használható formátumba hozzuk. A szkennerek maximális felbontása 6400 dpi, a maximális munkatere pedig 216x297 mm.

## 3. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Ebben a fejezetben a vizsgálati eredmények és azok értékelése kerül ismertetésre.

### 3.1. A mérőszoftver kalibrálása

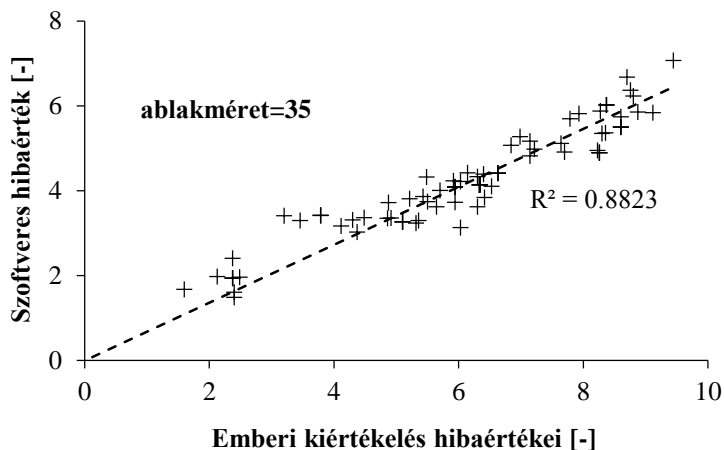
A mérőszoftver kalibrálásához különböző színű, lapka probatesteket fröccsöntöttünk eltérő technológiai beállításokkal, ahol a befroccsöntés sebességét, az ömledék hőmérsékletét és az ömledék tartózkodási idejét változtattuk. Minden sorozatból 50 próbatestet készítettünk, majd ezeket kiértékelítettük és összehasonlítottuk a szakképzett technikusok eredményeivel. Vizsgáltuk a próbatestek szoftveres és vizuális értékeléséből származó hibaértékek korrelációját. A szoftveres hibaértékek erősen függenek egy a programban beállítható paramétertől, az ablakmérettől, ezért szükségszerű volt a korreláció vizsgálata az ablakméret függvényében (2. ábra).



2. ábra

*Korrigálás előtti szoftveres és humán kiértékelés eredményeinek korrelációja az ablakméret függvényében halványlila színű minták esetében*

A mérőszoftverből kapott nyers hibaértékeket korrigálnunk kellett egyrészt a szkener mérési alapzajával, másrészt pedig egy logaritmikus transzformációt kellett végrehajtanunk a vizuális kiértékeléssel való jobb korreláció érdekében. A legjobb eredményeket a 35 pixel nagyságú ablakmérettel értük el. A különböző színű próbatesteken végzett szoftveres és vizuális kiértékelések korrelációját a 3. ábra mutatja.



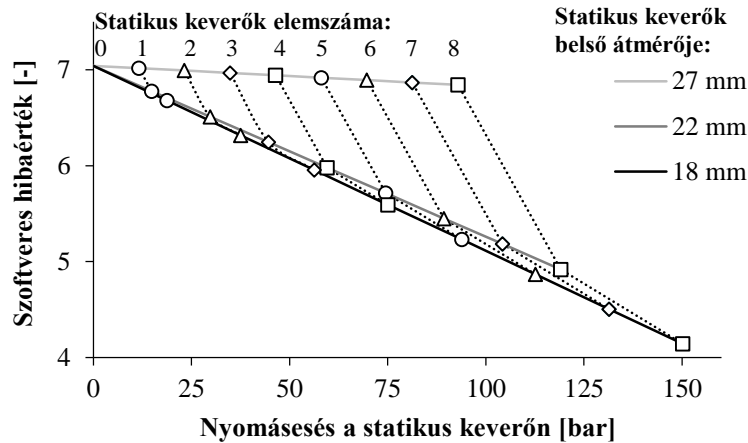
3. ábra

*A kalibrált mérőszoftver és a humán kiértékelés eredményei közti kapcsolat*

### 3.2. Statikus keverő minősítése

A statikus keverők minősítésénél első lépésben megvizsgáltuk a keverőben használt keverőelemek által okozott nyomásesés nagyságát. A folyamat során kialakuló nyomásviszonyok meghatározására fröccsöntés szimulációs programot használtunk. A szimulációs számításokat a fröccsöntőgépen mért nyomásgörbék segítségével hitelesítettük. A szimulációs és a mért értékek jó közelítéssel megegyeztek, a fröccsöntés során kialakuló nyomásviszonyokhoz képest elhanyagolhatóak voltak.

A nyomásesés szimulációs számításából és a statikus keverők segítségével fröccsöntött próbatestek színegyenetlenségének kiértékelésével megmutattuk, hogy a különböző statikus keverők esetében hogyan függ a színegyenetlenség a keverőn eső nyomástól. A mérések eredményei a 4. ábrán láthatók.



4. ábra

Statikus keverő keverési hatékonysága és az általa okozott nyomásesés a belső átmérő és az elemszám függvényében

Az eredmények alapján megállapítottuk, hogy a statikus keverőelemek keverési hatékonysága nem csupán az elemszámtól, hanem az elemek belső átmérőjétől is függ. A maximális nyomásesés és keverési hatékonyság ismeretében meghatározható az elemek optimális belső átmérője és az elemszám.

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során különböző összetételű mesterkeverékek hatását vizsgáltuk fröccsöntött termékek színegyenetlenségére. A próbatestek inhomogenitásának mérésére lapka próbatesteket gyártottunk ABS alapanyagból, azonos gyártási körülmények között, különböző mesterkeverékek felhasználásával. A mintákat az általunk fejlesztett programmal kiértékeljük, majd az eredményeinket összevetettük szakképzett technikusok által végzett vizuális kiértékelések eredményeivel. Az összehasonlításból levont következtetések alapján elvégeztük a szoftver kalibrálását és felhasználtuk statikus keverők homogenizáló képességének minősítésére.

## KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

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 továbbá az Arburg Hungária Kft-nek az Arburg Allrounder 370S 700-290 Advance típusú fröccsöntőgépet, a Lenkes GmbH-nak a szerszámfelfogókat.

## IRODALOM

- [1] Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, (2006)
- [2] Búzasi Lajosné.: A fröccsöntés helyzete Magyarországon 2013-ban, Műanyag és Gumi, 51/9, 321-326 (2014)
- [3] L. Zsíros, J.G. Kovács, Fröccsöntött termékek színegyenetlenségének mérése, OGÉT, Arad (2013)
- [4] A. Müller: Coloring of Plastics, Carl Hanser Verlag, Munich (2003)
- [5] R. K. Thakur, Ch. Vial, K. D. P. Nigam, E. B. Nauman, G. Djelveh, Static mixers in the process industries - a review, Institution of Chemical Engineers (2003)
- [6] Dr. Bánhegyi Gy.: Ömledék homogenitásának javítási lehetőségei fröccsöntésnél és extrúziónál, Műanyagipari szemle, 6/4 (2008)
- [7] C. Rauwendaal: Polymer Mixing: A Self-Study Guide, Carl Hanser Verlag, Munich (1998)
- [8] 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)
- [9] Török D., Dr. Kovács J. G., Zsíros L.: Különböző elemszámú és átmérőjű StaMixCo statikus keverők vizsgálata, Műanyag és Gumi, 51/9, 346-351 (2014)