

Csigatisztítók hatékonyságának minősítési módszere

Török Dániel, Suplicz András, Kovács József Gábor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, Műegyetem rakpart 3., 1111 Budapest, Magyarország

Kutatómunkánk során egy újszerű mérési és kiértékelési módszert dolgoztunk ki, amely segítségével az iparban alkalmazott csigatisztító szerek és tisztítási eljárások hatékonysága minősíthetővé és összehasonlíthatóvá válik. A mérési módszer a fröccsöntött termékek digitalizálásán és a digitalizált kép feldolgozásán alapszik.

1. BEVEZETÉS

A műanyagok folyamatos fejlesztésének és előnyös tulajdonságaiknak köszönhetően előállításuk és ipari alkalmazásuk növekvő tendenciát mutat. Ezt jól mutatja az a tény, hogy a világ műanyag előállítása 2004 óta közel 100 millió tonnával nőtt. 2014-ben már több, mint 300 millió tonna alapanyagot gyártottak és használtak fel világszerte. A legnagyobb műanyag felhasználó iparágak a csomagoló-, az építő-, az autós és az elektronikai ipar, az előállított műanyagok több mint felét dolgozzák fel. A gazdaságos gyártásnak azonban elengedhetetlen feltétele az alapanyagok, a feldolgozó gépek és technológiák folyamatos fejlesztése [1, 2].

A vevői igények megfelelő kielégítésére a műanyag-feldolgozó üzemekben egyre gyakrabban kell terméket váltani. Ez főként akkor jelentkezik, ha kisebb raktárkészlettel dolgozunk és inkább többször, kisebb tételt rendelünk. A termékváltás során a termelésből kieső idő, ami a szerszám átszereléséből és a fröccsöntő egység tisztításából ered, valamint a tisztítás során felhasznált anyag jelentősen megnöveli a ráfordítást [3, 4].

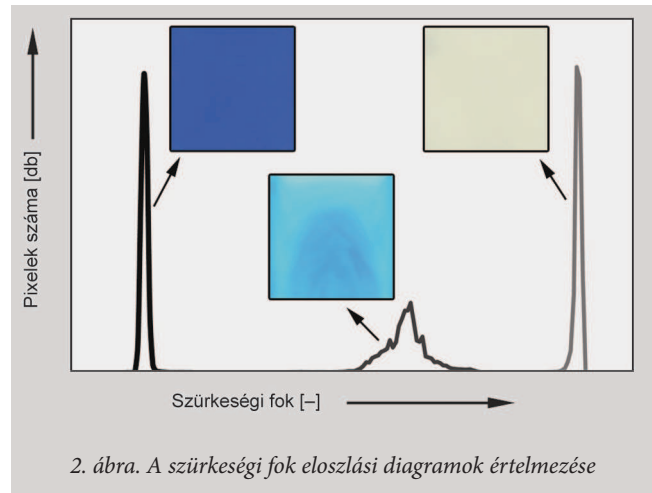
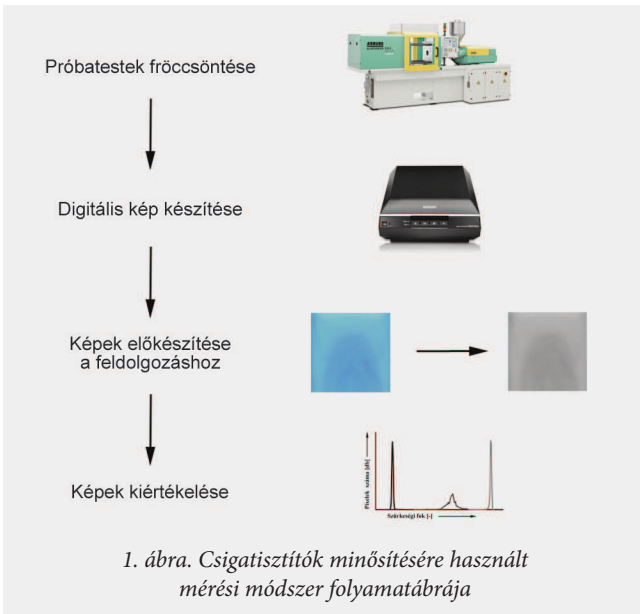
Az alapanyag vagy a szín váltása során a csiga, a henger, valamint a forrócsatorna rendszer megfelelő tisztítására nagy gondot kell fordítani. Általában nagy sűrűségű polietilénnel szokás a rendszert átjártatni, aminek előnye, hogy széles hőmérséklet-tartományban alkalmazható, kevésbé érzékeny a tartózkodási időre és esetleges bomlása során sem keletkeznek veszélyes bomlástermékek. Amennyiben alapanyagot nem, csak mesterkeveréket kell váltani, úgy saját anyagával is átmoshatjuk a hengert. Azonban ebben az esetben előfordulhat, hogy az előző szín az új termékben a gyártás során órákkal később is megjelenik. Ennek oka, hogy a fröccsöntő henger (fúvóka, statikus keverők, dinamikus keverők stb.), illetve a forrócsatorna rendszer pangó részeiből visszamaradt anyagdarabok válnak le, mosódnak ki. Ezek a termelés során komoly nehézségeket okozhatnak és növelik a selejtek számát. Ha más típusú alapanyagra szeretnénk átállni, abban az esetben az anyagok eltérő feldolgozási hőmérséklete gondot jelenthet. Ha az új alapanyag feldolgozási hőmérséklete magasabb, akkor az előző anyagból visszamaradó pangó részek

könnyen degradálódhatnak, elszíneződhetnek és szennyeződéseként jelennek meg az új termékben. Ezzel ellentétes esetben, ha az új alapanyag ömledékhőmérséklete kisebb, akkor szilárd részek válhatnak le a visszamaradt anyagból és a termékben mechanikailag gyenge helyeket, esztétikailag nem megfelelő megjelenést okozhatnak, de akár a fröccsöntő gép fúvókáját vagy a szerszámot el is tömíthetik [4–6].

A fröccsöntő egység tisztításához alkalmazhatunk speciális tisztítószerkeket is. A csigatisztítók általában drágák, de használatukkal lecsökkenthetjük a tisztítási időt, így az állási időket és az anyagvesztéseket is. Ezáltal jelentős költségmegtakarítást eredményezhetnek. Csigatisztítók lehetnek szilárd halmazállapotú tisztító granulátumok vagy tisztítófolyadékok. A folyadékok főként kémiai úton fejtik ki hatásukat, míg a szilárd halmazállapotú tisztítószerkeket mechanikai vagy kémiai, illetve mindkét elv alapján működhetnek. A mechanikai úton tisztító anyagok a viszkozitásbeli különbséget és a súrlódó hatást használják ki. Sok tisztító granulátum gumiszerű viselkedést mutat, és ezáltal leradírozzák a henger és a csiga felületét. Vannak tisztítószerkeket, amelyek a hengerbe kerülve, felmelegítve habosodnak, így a holtterekbe eljutva eltávolítják a lerakódásokat [4–6].

A tisztítási folyamat vizsgálatára jó lehetőséget kínál a digitális képfeldolgozás (DIP), ugyanis a visszamaradó szennyeződések szinte mindig látható hibát eredményeznek a termékeken. A képfeldolgozási módszereket ma már elterjedten használják az iparban, például a különböző keveredési problémák minősítésére, fényképek és egyéb eszközzel készített felvételek minőségének javítására, alakzatok detektálására, emellett sok más mérési eljárásban is használható [7, 8]. Zsíros és társai [9] cikkükben fröccsöntött próbatestek homogenitásának vizsgálatával foglalkoznak, amihez a mintákról készített képek pixeljeihez tartozó színértékek szórását használják a próbatestek minősítésére. Esetünkben azonban célszerűbb a termékek színváltozásának nyomon követése a homogenitási hibák vizsgálata helyett.

Munkánkban olyan mérési módszert dolgoztunk ki, amely alkalmas a különböző csigatisztító szerek hatékonyságának



2. ábra. A szürkeségi fok eloszlási diagramok értelmezése

minősítésére és összehasonlítására. A mérési módszer fröccsöntött minták elkészítésén, digitalizálásán és a digitalizált kép feldolgozásán alapszik (1. ábra). A módszer segítségével nem csak a tisztítási hatékonyságot tudjuk elemezni, hanem az egyes mesterkeverékek fröccsöntő hengerből való kiürülésének anyagrafordítását is.

2. CSIGATISZTÍTÓK HATÉKONYSÁGÁNAK MÉRÉSI MÓDSZERE

A csigatisztítók hatékonyságának mérésére a fröccsöntött minták színében fellépő változásokat követtük nyomon és értékeltük ki a mintákról készített digitális képek felhasználásával. A számításokhoz a képek pixeleinek színértékeit használtuk fel, amelyek az RGB színtérben a három alap színek komponens, a vörös, a zöld és a kék intenzitásától függenek. A kép megjelenése a három színek komponens intenzitásfüggvényeivel írható le [10].

$$I_{RGB} = F(f_R(x,y), f_G(x,y), f_B(x,y))$$

ahol I_{RGB} a képpont színe, $f_R(x,y)$ a vörös, $f_G(x,y)$ a zöld, $f_B(x,y)$ pedig a kék színek komponens intenzitásfüggvénye.

A fröccsöntött próbatetek színe a tisztítási folyamat során a kék színárnyalatból fokozatosan megy át a natúr alapanyag színárnyalatába. Ez az átmenet jól nyomon követhető a digitalizált képek szürkeségi fok eloszlás diagramjain (szürkeségi fok hisztogram). Ezek előállításához a képeket az RGB színtérből szürkeárnyaltos színtérbe kell konvertálni a következő összefüggés szerint [10]:

$$I_G = F(0,333f_R(x,y) + 0,5f_G(x,y) + 0,166f_B(x,y))$$

ahol I_G a képpont szürkeségi foka, $f_R(x,y)$ a vörös, $f_G(x,y)$ a zöld, $f_B(x,y)$ pedig a kék színek komponens intenzitásfüggvénye.

Ábrázolva a szürkeségi fok intenzitásának függvényében az adott szürkeségi fokhoz tartozó képpontok számát kapjuk a szürkeségi fok eloszlás diagramokat (2. ábra). A sötét ké-

pekhez tartozó hisztogramok maximum értéke kis, míg a világos képekhez tartozóké a nagy szürkeségi fok tartományban található. A hisztogramok szélessége, illetve a szórása a minták homogenitásával van kapcsolatban. Egy teljesen homogén minta képe a hisztogramon egyetlen vonal lenne.

3. FELHASZNÁLT ANYAGOK ÉS BERENDEZÉSEK

Kísérleteinkhez *Terluran GP-35* típusú ABS (BASF) polimert használtunk. Az alapanyagot a mérések előtt 4 órán keresztül 80 °C-on szárítottuk *KDCL* típusú, meleglevegős szárítószerényben. A színezéséhez 4 tömegszázalék sötétkék mesterkeveréket alkalmaztunk, amelyet az A. SCHULMAN gyártott. A szükséges alapanyagok mennyiségét *XY3000-1BF* típusú mérleggel mértük meg. A mesterkeverék és az alapanyag bekeverését követően *ARBURG Allrounder 370S 700-290* fröccsöntő gép segítségével 80×80×2 mm méretű fröccsöntött lapkákat készítettünk. A termékek tömege elosztócsatornával együtt 32,5 g volt. Minden mérési sorozatban 40 fröccsöntési ciklust hajtottunk végre. A fröccsöntés során alkalmazott technológiai paramétereket az 1. táblázat mutatja. A fröccsöntő gép sztenderd kialakítású, 30 mm átmérőjű, nitridált csigával volt felszerelve. A fröccsöntő egység sem statikus, sem dinamikus keverőelemeket nem tartalmazott.

A minták elkészítéséhez használt fröccsöntő szerszám két-fézeskes, hidegcsatornás rendszerű volt. Az elosztócsatorna

1. táblázat.

Fröccsöntési paraméterek

Techn. paraméterek	Érték
Adagsúly	44 cm ³
Fröccsöntési sebesség	55 cm ³ /s
Torlónyomás	60 bar
Utónyomás	550 bar
Utónyomási idő	6 s
Hűtési idő	11 s
Záróerő	700 kN
Plasztikálási sebesség	25 min ⁻¹
Ömledék hőmérséklet	225 °C
Szerszám hőmérséklet	40 °C

1 mm vastag filmgáton keresztül csatlakozott a termékekhez. Ahhoz, hogy a minták digitalizálása során minimalizálni tudjuk a felületi struktúrából származó hibákat (árnyékok, csíkok, folyásnyomok stb.), az állóoldalon polírozott felületű szerzőfelet alkalmaztunk. A fröccsöntő gép hengerének és csigájának tisztításához *PurgeMax* folyadék halmazállapotú csigatisztítót használtunk, amelyet az ALPLASTIC KFT. biztosított számunkra.

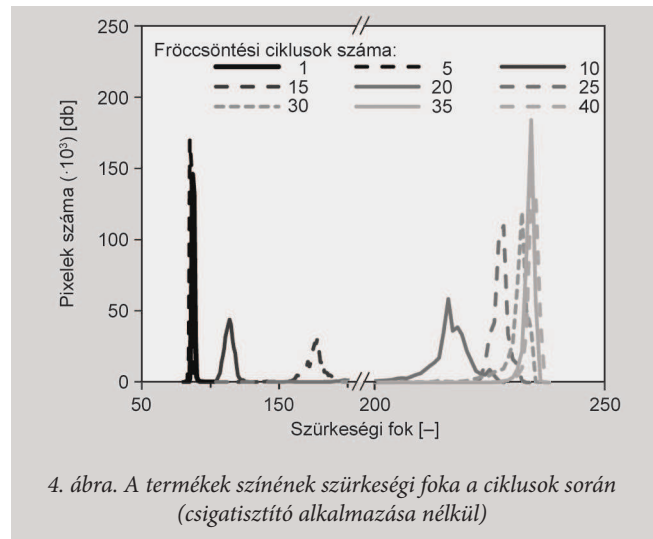
Vizsgálatainkat két részre osztottuk. Első esetben a kék mesterkeverékkel bekevert ABS alanyagból gyártottunk terméket, biztosítva az állandósult állapotot. Ennek elérésére több, mint 700 g alanyag felhasználásával 25 ciklust hajtottunk végre. Ezt követően színezetlen ABS alkalmazásával gyártottunk mintákat és vizsgáltuk a termék színének változását ciklusról ciklusra. A második lépésben az állandósult állapot elérését követően – amihez szintén több, mint 700 g színezett ABS alanyagot felhasználva 25 ciklust hajtottunk végre – 50 g natúr ABS alanyagot összekevertünk egy csomag (~10 g) *PurgeMax* csigatisztítóval, majd közvetlenül a garatba adagoltuk. Ezt követően további natúr alanyagot adagoltunk a tölcserbe és folyamatos üzemben mintákat gyártottunk.

A fröccsöntött minták digitalizálásához EPSON *Perfection V600 Photo* síkágyas lapszkennert használtunk. A mintákról 200 dpi felbontású, 600×600 pixel méretű képeket készítetünk.

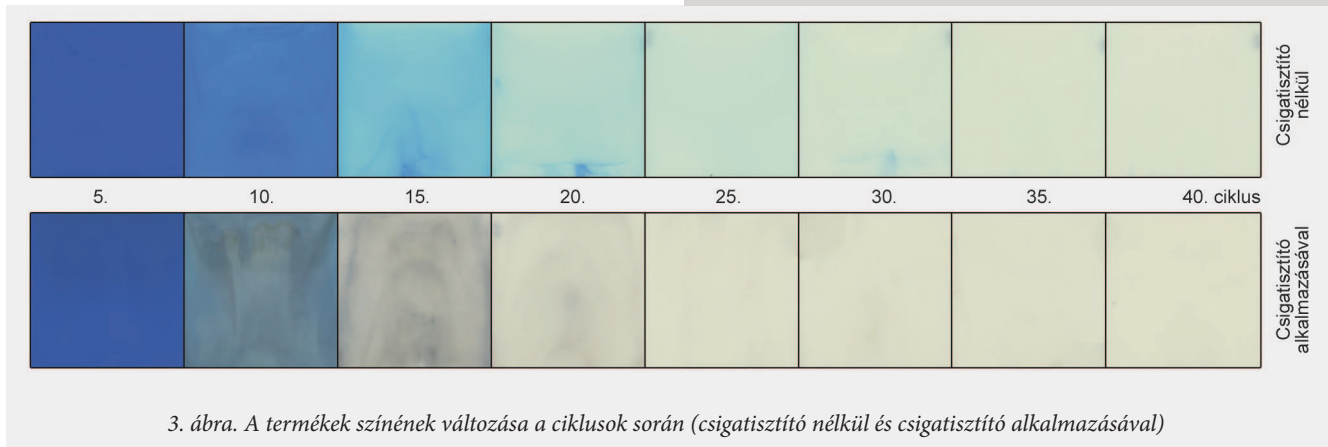
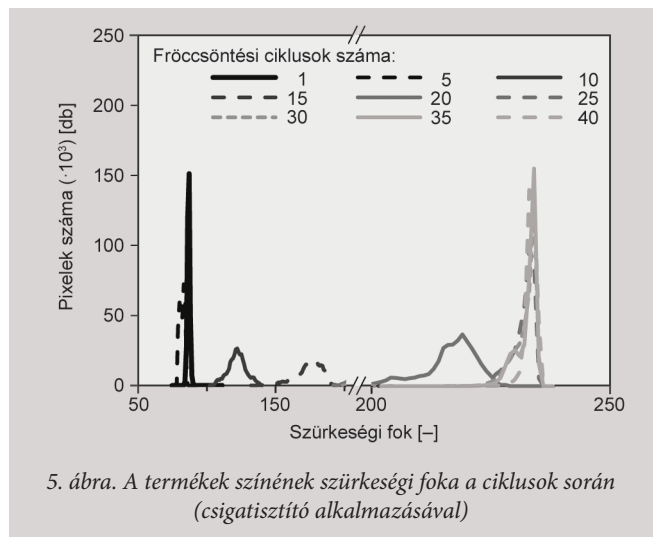
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A 3. ábra a termékek színének változását szemlélteti a színváltást követő ciklusokban. Az ábra felső részén a színezetlen alanyag átjártásával, alsó részén pedig a csigatisztító alkalmazása mellett kialakuló tisztulási folyamat látható. A kép jól mutatja a tisztítószer pozitív hatását.

A 4. ábrán a csigatisztító nélkül fröccsöntött próbatetekhez tartozó szürkeségi fok hisztogramok láthatók. Megfigyelhető, hogy a kék szín tisztulásával a hisztogramok a nagyobb szürkeségi fok tartomány felé tolódnak el. A folyamat elején a maradék színezőanyag lassan kezd kitisztulni a hengerből, a próbatetek mély kék színűek. Az 5. ciklus után egy gyors lefolyású tisztulás figyelhető meg, a próbatetek színe a fehér tartomány felé tolódik, a mesterkeverék nagy része gyorsan kiürül a hengerből. Ezt követően a 20. ciklus után újra lelassul



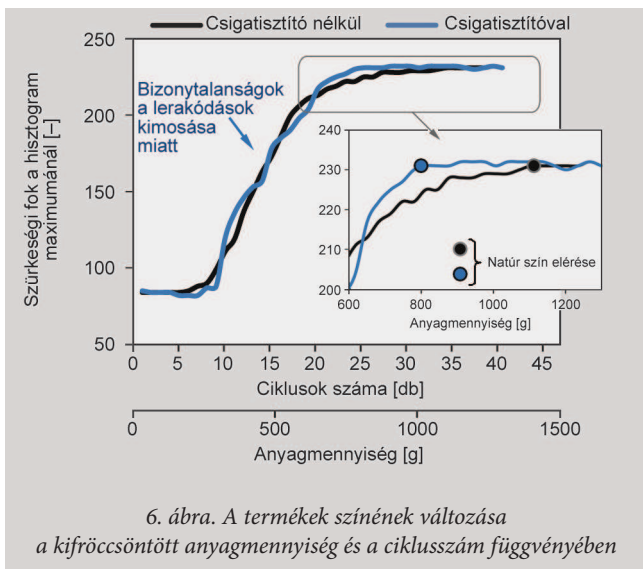
a folyamat. A fröccshenger tisztításakor ez a harmadik szakasz a kritikus, amikor a próbatetekben már csak kis mennyiségű színezőanyag marad, viszont a szennyeződés még látható a termék felületén. Ez a harmadik szakasz a legtöbb esetben egy igen lassú tisztulási folyamat, ahol a kék szín halványodása mellett néhány terméken sötétebb csíkok is megjelennek. Ezek a fröccsöntő egység pangó részeiből kerülhetnek ki, amelyek még későbbi ciklusokban is gondot okozhatnak.



Az 5. ábrán a csigatisztítóval gyártott termékekhez tartozó hisztogramok láthatók. Hasonlóan a tisztító nélkül gyártott esethez itt is megfigyelhető egy gyors lefolyású tisztulás az 5. ciklus után, azonban a 25. ciklustól a kék szennyeződések eltűnnek a mintákból, natúr színük lesz.

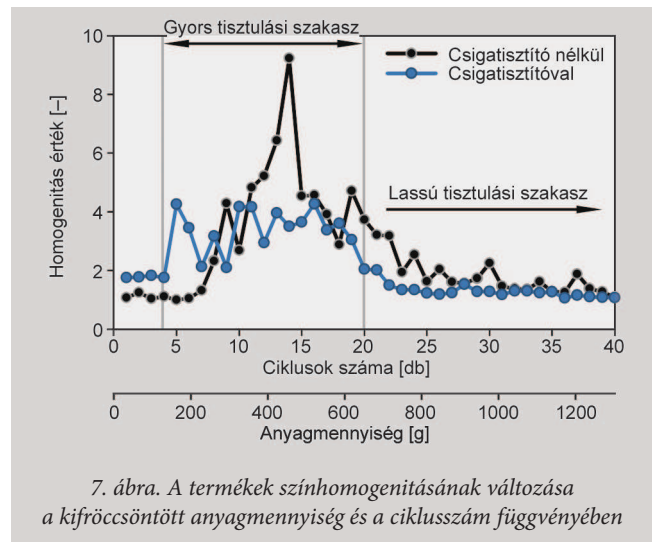
A teljesen natúr szín elérése akkor következik be, ha a hisztogramok maximuma 230 feletti szűrkeségi fok tartományba tolódik el és egy keskeny, határozott csúcsot tapasztalunk. Ekkor a próbatetekben már nincsenek jelentős elszíneződések, szemmel alig észrevehetők. A hisztogramok szélessége a mintában található inhomogenitásokra utalhat, így amennyiben csíkos terméket kapunk, akkor a hisztogram kiszélesedik, vagy határesetben két különálló csúcs figyelhető meg. A továbbiakban a csigatisztító hatékonyságának szemléltetésére ábrázoltuk az átjártott anyagmennyiség függvényében a hisztogramok csúcserkéinek eltolódását (6. ábra). A görbék első részében (első öt ciklus) egy vízszintes szakasz látható, ami a mesterkeverékkel bekevert ABS alapanyag hengerből való kiürülésére utal. Ez körülbelül 150 g alapanyagot jelent. Az ezt követő szakaszban mindkét esetben nagyon hasonló lefolyású tisztulás figyelhető meg. Ebben a szakaszban a csigatisztító alkalmazása esetén nagyobb bizonytalanság látható, ami a korábbi kísérletek során a csigára és a hengerre lerakódott anyagok kihordására, valamint a pangó részek tisztulására utal. A legnagyobb különbség a két eset között a minősítés szempontjából fontos utolsó szakaszban figyelhető meg. Amíg csigatisztító alkalmazása nélkül egy nagyon lassú színváltozás figyelhető meg, addig csigatisztító alkalmazásával az előző gyors szakasz végén már szinte teljesen tiszta, színezetlen alapanyagot kaptunk. Ezek alapján megfigyelhető, hogy a *PurgeMax* csigatisztító alkalmazásával már 800 g alapanyag átjratása elegendő ahhoz, hogy a termékekben ne legyen elszíneződés. Csigatisztító alkalmazása nélkül ehhez már több mint 1100 g alapanyagot kell átjratni a rendszeren. Színváltásnál az általunk vizsgált esetben a csigatisztító alkalmazásával így akár 30–40% alapanyagot is megtakaríthatunk.

A próbateteket ellenőrzés céljából leteszteltük a Zsíros és



6. ábra. A termékek színének változása a kifröccsöntött anyagmennyiség és a ciklusszám függvényében

társai [9] által kifejlesztett algoritlussal is, amely a termékek színhomogenitásának mérésére alkalmas. A mérési módszerüknél a nagyobb értékek nagyobb mértékű inhomogenitást jelentenek. A tisztítási folyamat ezzel nyomon követhető, ugyanis a folyamat elején a homogén kék próbatetek fognak először inhomogénné válni a tisztítás közben, majd mikor teljesen kitisztultak újra homogén, fehér színük lesz. A mérési eredményekből látszik (7. ábra), hogy a tisztulás megindulása előtt a minták színe homogén az első 4–5 ciklusban, majd a tisztítás során a termékek színe inhomogénné válik. A tisztulási folyamat végeztével a homogenitásgörbék egy adott értékhez állnak be. A csigatisztító alkalmazásával a homogenitásgörbe már 20–25 ciklus között beáll egy közel állandó értékre, míg a tisztító használata nélkül még 30–40 ciklus lefröccsöntése után is időnként megjelennek inhomogenitások a termék színében. A két különböző módszer eredményének azonossága jól bizonyítja az általunk kidolgozott módszer helyességét és alkalmazhatóságát.



7. ábra. A termékek színhomogenitásának változása a kifröccsöntött anyagmennyiség és a ciklusszám függvényében

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során kifejlesztettünk egy mérési eljárást a csigatisztítók hatékonyságának minősítésére, amely a fröccsöntött próbatetekről készített digitális képek elemzésén alapul. A minősítéshez a képek szűrkeségi fok hisztogramjait használtuk fel, amely segítségével a tisztítási folyamat során fellépő színváltozás jól követhető. Mérésekkel megállapítottuk, hogy a csigatisztító alkalmazása felgyorsítja a tisztítási folyamatot, amivel időt és alapanyagot spórolhatunk meg. Az eredményekből látszik, hogy a tisztítás kezdeti szakaszában a csigatisztító alkalmazása mellett készített próbatetek szennyezetebbek, mint a csigatisztító nélkül készültek, azonban a folyamat második felében a próbatetek színe gyorsabban eléri a natúr alapanyag árnyalatát. Méréseink alapján elmondható, hogy az általunk vizsgált esetben a színváltásnál csigatisztító használatával körülbelül 30–40%-os alapanyag megtakarítás érhető el.

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 Tool-Temp Hungária Kft.-nek a szerszámtemperálókat, a LenzkesGmbH-nak a szerszámfelfogókat, valamint a Piovan Hungary Kft.-nek a kiegészítőket.



PurgeMax[®]
Nagy teljesítményű, költséghatékony tisztítási megoldás

**FRÖCCSÖNTÉS
PRÉSELÉS
EXTRÚZIÓ
esetén**

RENDKÍVÜL EGYSZERŰ HASZNÁLHATÓSÁG

- Ártalmatlan a csigára és a fröccshengerre
- Hatékonyan használható forrócsatornás rendszereknél
- Felhasználás 150-400°C között

Forgalmazó:
ALPLASTIC
ALPLASTIC KFT.
Tel.: +36 20 261 23 22
e-mail: sales@alplastic.hu
www.alplastic.hu

PurgeMax[®]
Nagy teljesítményű, költséghatékony tisztítási megoldás.
www.purgemax.eu

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Plastics Europe: Plastics – the Facts 2015, An analysis of European latest plastics production, demand and waste data.
- [2] Czvikovszky, T.; Gaál, J.; Nagy, P.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi kiadó, Budapest (2000).
- [3] Campo, E. A.: The Complete Part Design Handbook: for Injection Molding of Thermoplastics, Hanser, München (2006).
- [4] Bánhegyi, Gy.: A termelés hatékonyságának növelése extrúziós üzemekben, Műanyagipari szemle (Műanyagok feldolgozása), 6/5 (2009).
- [5] Csutorka, L.: Fröccshenger tisztítása termékváltáskor, Műanyagipari szemle (Műanyagok feldolgozása), 7/4 (2010).
- [6] Füzes, L.: A műanyagok feldolgozásának elő- és utóműveletei, Műanyagipari szemle (Tanulmány), 11/4 (2014).
- [7] Liu, X.; Zhang, C.; Zhan, J.: Quantitative comparison of image analysis methods for particle mixing in rotary drums, Powder Technology, 282, 32–36 (2015).
- [8] Gosselin, R.; Duchesne, C.; Rodrigue, D.: On the characterization of polymer powders mixing dynamics by texture analysis, Powder Technology, 183, 177–188 (2008).
- [9] 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).
- [10] Kumar, T.; Verma, K.: A theory based on conversion of RGB image to gray image, International Journal of Computer Application, 7/2, 7–10, (2010).