

## Homogenizálás az extruderekben

Ha extrudáláskor nem minden adalékot tartalmazó kompaundot dolgoznak fel, hanem – akár adalékanyagokat visznek be az ömledékbe, akár az alapanyag és az adalékok granulátumkeverékét (szárazkeveréket) töltik be az etetőölcsérbe – az extrudernek a betáplált anyag(ok) megömlesztésén és szerszámhoz szállításán kívül a különböző komponensek egyenletes keverékét is elő kell állítania. Nem kellően homogén ömledékből nem lehet jó terméket előállítani. A gépgyártók ezért a keverés hatásfokát javító csigaelemeket kínálnak a feldolgozók számára.

Az ömledék homogenitásának minősítése azonban nem könnyű feladat. Ezt legtöbbször szemrevételezéssel végzik, ami szubjektív és nem reprodukálható tevékenység. Néha szűrőpróba alapján vett minták kémiai analízisével vizsgálják a homogenitást, ami nagyon idő- és munkaigényes eljárás. Egy német kutatóintézetben az extrudátumokból vékony metszeteket készítenek, és korábban készített referenciaképekkel összehasonlítva ezek fotója alapján 9 osztályba sorolják a homogenitást. A szabad szemmel végzett összehasonlítás helyett a közelmúltban kifejlesztettek egy digitális képelemzési eljárást, amellyel jól reprodukálható, objektív adatokat kapnak, és általa lehetővé vált az extruderek különböző paraméterek melletti keverőhatásának tanulmányozása is.

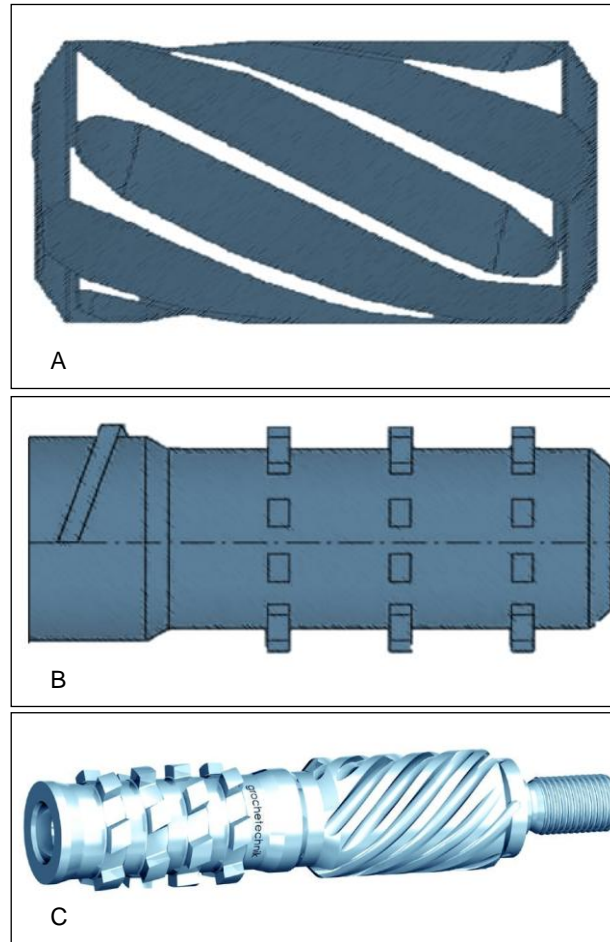
*Tárgyszavak: extrudálás; ömledékminőség; homogenizálás; keverőelem; minősítés; digitális képelemzés.*

## Az extruderek keverőhatásának javítása

Az extrudercsiga első, polimert megömlesztő szakasza után következik a szállító szakasz, amelynek feladata nem csak az ömledék továbbítása, hanem az ömledék homogenizálását és a nyomás, továbbá a szállított anyagmennyiség változásainak kiegyenlítését is el kell végeznie. Ebben a szakaszban kell megoldadnia a még nem tökéletesen megömlött granulátumszemcséknek is. A gépgyártók ezeknek a feladatoknak az optimalizálására dinamikus keverőelemeket építenek be magába a csigába. A keverőelemek együtt forognak a csigával, és javítják az ömledék átkeverését.

A kínálatban különböző formájú keverőelemek vannak, alapjában véve azonban két csoportba sorolhatók: a diszperzív (szétosztató) és a disztributív (elosztató) keverőkére.

Diszperzív keverőket akkor kell alkalmazni, ha a betáplált adalék részecskéi viszonylag nagyok, nem elemi részecskékből áll, hanem agglomerátumszemcsékből, amelyeket szét kell osztatni. Ezekben erőteljes húzó és lökő feszültségmezők alakulnak ki, amelyek nagyobbak az agglomerátumot összetartó erőknél. Ezért szétesnek, széttördelődnek, elemi részecskéikre bomlanak, majd könnyebben oszlanak szét a továbbhaladó ömledékben. Diszperzív hatása a spirális keverőelemeknek van (*1/A ábra*), amelyek szűk réseiben nagy nyíróerők lépnek fel.



1. ábra Diszperzív (A), disztributív (B) és kombinált (C) keverőelem

Disztributív keverőket ajánlanak akkor, ha az adalék egyedi részecskékből áll, és szemcsemérete megfelelő. Ennek feladata a részecskék irányítása úgy, hogy azok egyenletesen oszoljanak el. Erre a célra a fogazott keverőelemek (1/B ábra) váltak be.

A legtöbb esetben kombinálják a kétféle keverőt (1/C ábra), az agglomerátumok diszperzív keverővel szétoszlató elemi részecskéit egy disztributív keverőelem oszlátja el az ömledékben.

Valójában nem mindig lehet a keverőelemet szigorúan egyik vagy másik csoportba sorolni, mert szinte valamennyinek van diszperzív és disztributív hatása is.

A németországi SHS plus GmbH (Dislangen, Németország), amely tréningeket is ajánl az extrudálást mélyebben megismerni akaró szakembereknek, azt állítja, hogy a spirális keverőelemek az esetek 95%-ában javítják az ömledék minőségét. De negatív hatásuk is lehet, ha kis kapacitású gépen túlságosan nagy kihatással dolgoznak, mert ilyenkor túlságosan nagy a nyíró hatás, és nyírásra érzékeny anyagok feldolgozásához sem ajánlják.

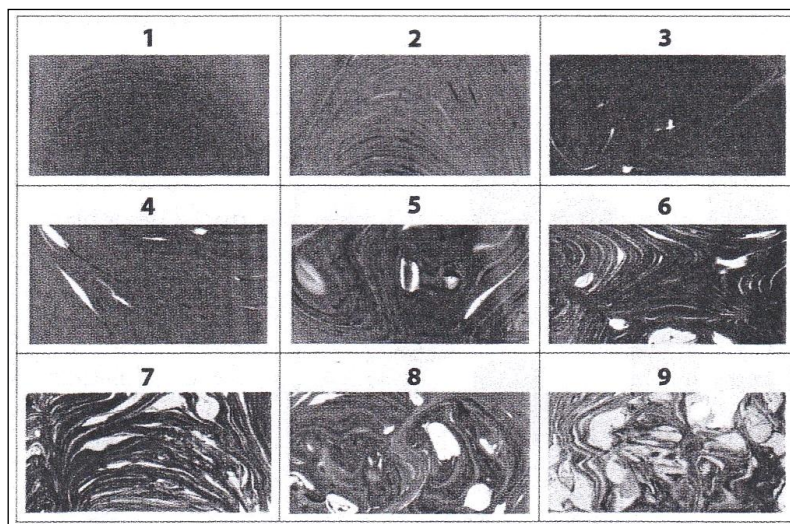
## Extruderek diszpergáló hatásának objektív vizsgálata

A műanyagokat extrudáló üzemekben megrendelőik kívánságának megfelelően egyre egyedibb termékeket és azokból egyre kisebb tételeket kell legyártani, amelyeket megadott határidőre (just in time) kell leszállítaniuk, gyakran különböző színekkel. Néha maga a termék is különböző színű részekből áll. Ilyenek pl. a többeres kábelek, amelyek érszigetelését és köpenyét ugyanazon a gyártóberendezésen alakítják ki. A gyakori anyagcsere miatt ma már nincs idő arra, hogy minden egyes színű vagy különböző adalékokat tartalmazó alapanyagot előzetes kompaundálással készítsék elő az extrudálásra. Ezért a feldolgozók szívesebben alkalmaznak ún. szárazkeverékeket, azaz az alappolimer és a mesterkeverék granulátumát összekeverve töltik be az etetőtölcsérbe. Ilyenkor az extruder hengerében nemcsak a plasztikálásnak és az anyagszállításnak kell megtörténnie, hanem az alappolimer és a mesterkeverék anyagi és termikus homogenizálásának is végbe kell mennie. Ez nem egyszerű feladat, különösen az olyan extruderekben, amelyeket magas kihozatalra optimalizáltak. Szárazkeverék alkalmazásakor a teljesítményt általában csökkenteni kell, különben a tökéletlen keveredés miatt a termék nem lesz hibátlan, az inhomogenitás szabad szemmel a felületen is láthatóvá válik. Ezt úgy szokták elfedni, hogy a mesterkeverékből a szükségesnél többet kevernek hozzá az alappolimerhez. Vékony falú termékek gyártásakor ez a „trükk” sem mindig segít. Az inhomogenitást nem lehet elrejtteni pl. a fűjt fóliák gyártásakor, mert ez nagyon is látványos; rosszabb esetben a felfűjt tömlő ki is szakadhat, ami leállással, idő- és pénzvesztéssel jár.

Mind ez ideig nincsen olyan szabványos vagy széles körben elfogadott eljárás, amellyel az extrudátumok homogenitását, azaz az extruderek keverőhatását objektív módon és reprodukálhatóan minősíteni lehetne. A szakirodalomban pl. olyan eljárásról írnak, amelyben szűrőpróbaszerűen vesznek minták az extrudátumból, majd annak laboratóriumi elemzése után a mintákban kimutatott adalék koncentrációját a keverék átlagos koncentrációjához viszonyítják. Egy ilyen eljárás az üzemi gyakorlatban használhatatlan, mert időigényes, emellett a mintavétel szubjektív és a vizsgálatok, ill. az eredmények nem reprodukálhatók. Ennél gyakorlatiasabb a minták szemmel végzett optikai vizsgálata, de ez is szubjektív, reprodukálhatatlan, és nagy gyakorlatot igényel.

A Stuttgarti Egyetem Műanyag-technológiai Intézetében (IKT, Institut für Kunststofftechnologie der Universität Stuttgart) az 1970-es években extrudátumokból készített vékony (40 µm) metszetekről készített referenciaképek alapján a homogenitáshoz 9 fokozatot rendeltek (2. ábra). (Az 1. fokozat a legjobb, a 9. fokozat a legrosszabb homogenitást jelzi. Ezzel valamilyen támpontot adtak a minősítőnek, aki a metszetekről készített képeket a referenciaképekkel hasonlította össze. A szubjektivitást és a szükséges gyakorlottságot ez az eljárás sem szüntette meg.

Az IKT-ben az utóbbi években ezért egy automatikus értékelő eljárást fejlesztettek ki, amely a digitális képelemzésen alapul. Ehhez a metszeteket egy síkágvas szkennelvel digitalizálják, a képek kontraszteloszlását pedig a MathWorks cég (Natick, MA, USA) Matlab szoftverjének alapján értékelik.



2. ábra Az IKT referenciaképei a homogenitás 9 fokú osztályozásához

Ez szerint a beszkenelt képeket bináris képekké alakítják át, miközben valamennyi közepes (<128) szűrkeségi fokú pixel mellé 0 (fekete) értéket rendelnek, minden más pixel mellé 1-et (fehér). Ennél a műveletnél figyelembe kell venni a világosság okozta hibát, amit a Floyd-Steinberg algoritmussal küszöbölnek ki, hogy a bináris kép megőrizze az eredeti optikai hatást. A hiba elosztásakor a pixelekhez 2, 3, 4 vagy 5 szűrkeségi értéket rendelnek.

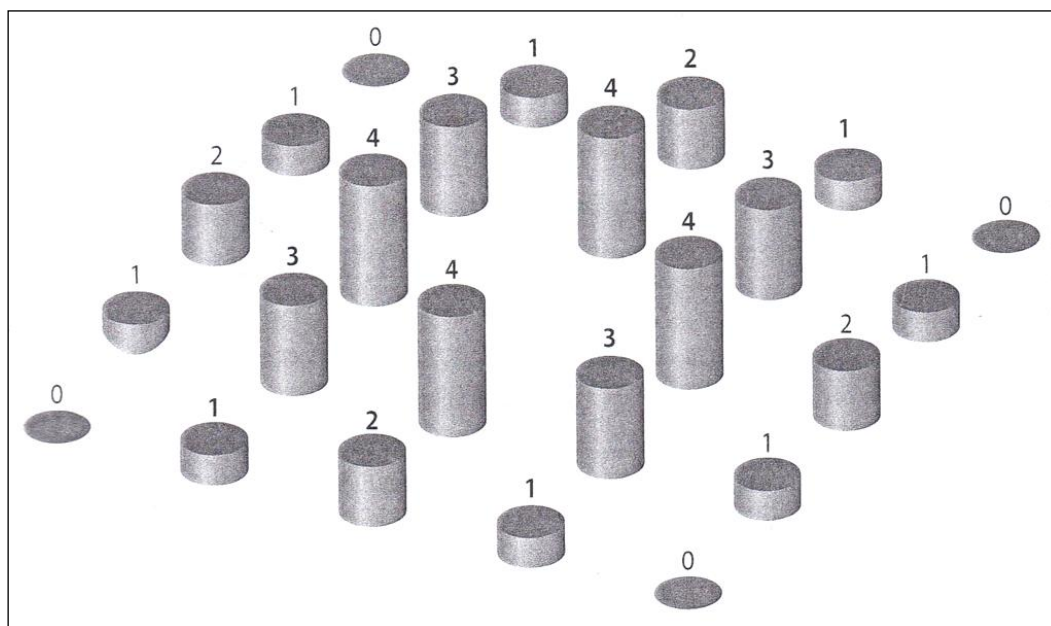
A keverékek minőségét az azokon észlelhető, egymással összefüggő területek fehérebb és feketébb képpontjai határozzák meg. Ezek értékelését a Bayes-módszer alapján végezték. Ebben minden egyes képpont mellett található szomszédos pixeleket is figyelembe veszik, amelyek egy 25 pixelből álló képkivágáson találhatóak. (3. ábra: A központ körül 8 közvetlen „szomszéd”, a második sorban 16 másodlagos „szomszéd” van.) Ezzel a módszerrel kiszámítható valamennyi képpont azonos színű szomszédainak a száma, azaz feltárható az összefüggő fehér vagy fekete felületek jelenléte, ami inhomogenitásra utal. A bemutatott képen a Bayes-módszer alapján az elemzett felületen a súlyozással kapott és a pixeleket megjelenítő oszlopokra írt szűrkeségi értékek összege 44.

Az ideális érték az 50%-os szűrkeségi érték, amelyet elméletileg 20 azonos színű és 24 eltérő színű képpont jelenléte hoz létre; az aszimmetria a Bayes-eljárás súlyozási faktoraiból adódik.

Az ideálistól eltérő értékektől való viszonylagos eltérés jelzi a keverékben a színezék inhomogenitását. Mivel a kapott értékek 0 és 1 között vannak, az első tizedes alapján 10 osztályba (0 – 9) osztályba lehet a keverékek homogenitását sorolni. 0 a tökéletesen homogén, 9 a teljesen inhomogén extrudátum.

A IKT kutatói a képelemző eljárást különböző műanyagokkal és feldolgozási paraméterekkel végzett kísérletekben próbálták ki. Az alappolimer a következők voltak: polipropilén homopolimer (PP-H), polipropilén kopolimer (PP-R), nagy sűrűségű polietilén (PE-HD) és kis sűrűségű polietilén (PE-LD), amelyek granulátumához 1% fekete színezéket tartalmazó mesterkeverék-granulátumot elegyítettek, és azt szárazkeverék formájában adagolták az extruderbe. Az extrudálást 100 vagy 300/min fordulatszámmal és 100 vagy 300 bar szerszám-

ellennyomással végezték. A kapott keverékek homogenitási osztályát az 1. táblázat tartalmazza.



3. ábra Egy központi pixel „szomszédai” mellé a Bayes-eljárás szerint hozzárendelt súlyozott szürkeségi értékek

1. táblázat

Különböző poliolefinek 1% fekete színezékkal és eltérő gyártási paraméterekkel készített extrudátumainak homogenitási osztálya

Csigafordulat	Szerszámnyomás	PP-H	PP-R	PE-HD	PE-LD
100/min	100 bar	1	1	1	2
100/min	300 bar	1	1	2	2
300/min	100 bar	5	3	4	3
300/min	300 bar	4	2	2	2

Az eredmények azt bizonyítják, hogy az eljárással a minták optikai megjelenése meghatározható, és objektív adatokon alapul. Az eredmények igazolták a feldolgozási paraméterek feltétezett hatását: nagyobb csigafordulat mellett romlott a homogenitás, növekedett a kihozatal. 100/min csigafordulattal valamennyi keveréknél nagyon jó vagy elég jó homogenitást lehetett elérni. Nagyobb kihozatal esetén a rövidebb tartózkodási idő miatt gyengébb volt a homogenitás; ezt legkevésbé a PP-H tűrte. A szerszámnyomás a homogenitást kevésbé befolyásolta. A nagyobb nyomás ugyanis hőmérséklet-emelkedéssel és ebből következően viszkozitás-csökkenéssel jár, ami megkönnyíti a keveredést. A leggyengébb eredményt itt is a PP-H adta.

Összeállította: Pál Károlyné

[SHS Extrusion Training](https://extrusion-training.de/wie-sie-die-schmelzequalitaet-durch-den-einsatz-von-mischteilen-verbessern-koennen/): Wie Sie die Schmelzequalität durch den Einsatz von Mischteilen verbessern können = SHS plus GmbH, (Dinslaken, Németország), 2018. febr. 26. <https://extrusion-training.de/wie-sie-die-schmelzequalitaet-durch-den-einsatz-von-mischteilen-verbessern-koennen/>

Kast, O.; Epple, S.; Bonten, Ch.: Unbestechlich mischen = Kunststoffe, 2019. 4. sz. p. 60–63.