

## A vizuális vizsgálatok szerepe az újrahasznosításnál

A begyűjtött műanyag hulladék nagyarányú újrahasznosításához hatékony típus- és szín szerinti válogatás szükséges, amit megbízható műszeres vizsgálatokkal lehet elérni, illetve ellenőrizni. A NIR-alapú szeparációs technológiáknak alternatívája lehetnek a darabok felületén elhelyezett digitális vízjelek, amelyek pontosabbá és hatékonyabbá tehetik a fogyasztói műanyag hulladékok válogatását.

*Tárgyszavak: műanyag hulladék, válogatás, színmérés, digitális vízjel*

A műanyag termékek színe a funkcionalitást ritkán befolyásolja, mégis az egyik legmeghatározóbb tulajdonságuk, ami jelentősen befolyásolhatja az értékesíthetőségüket. Ez nem meglepő annak fényében, hogy egy adott darab színe műszeres vizsgálat nélkül is könnyen észlelhető, s egy rendelkezésre álló referencia esetében kisebb eltérések is könnyen észrevehetőek. Érthető tehát, hogy a gyártók nagy hangsúlyt fektetnek termékeik megfelelő vizuális megjelenésére, s kiemelten fontos ez a kérdéskör az újrahasznosítás során is.

Az alkalmazott színezők azonban jelentősen növelhetik a műanyaggyártmányok alapanyag-költségét. Különösen igaz ez akkor, ha esetleg az adott termék élelmiszerrel kerülhet kapcsolatba vagy orvostechnikai alkalmazású. A színező mesterkeverékek tipikus alkalmazási aránya 0,5–10% közötti, függően a darab falvastagságától, a mesterkeverék receptúrájától és az alapanyag, illetve a hordozó típusától. Szerencsés, ha a mesterkeverék-kompaundálásnál hordozóanyagként is a termék alapanyagát lehet használni, mivel így a termékben könnyebb jó színezékeloszlást elérni, továbbá a kompatibilis színezőanyag nem rontja a termék fizikai/mechanikai tulajdonságait. Ezek az előnyök általában meghaladják az olcsóbb általános hordozó használatából származó kezdeti költségmegtakarítást. Előfordulhat azonban az is, hogy egy nem látszó helyre beépülő alkatrészt érdemes natúr szín helyett fekete gyártani. A fekete mesterkeverékek általában olcsók, s a fekete szín sok olyan esztétikai hibát elfed, ami natúr darabnál látszana. A fekete daraboknál jelentkező kisebb selejthányad kompenzálhatja a fekete színező árát.

A fekete szín viszont nehezítheti az újrahasznosítást. Sajnos a szelektíven gyűjtött műanyag hulladékok egy része jelenleg nem recikálható. Ennek az egyik jellemző oka az, hogy a válogatás során az adott termék pontos anyag típusát nem sikerül egyértelműen meghatározni. A jelenleg elterjedt nagysebességű azonosítási módszerek elsősorban az anyag fizikai/kémiai tulajdonságainak elemzése alapján működnek, ilyen például a közeli infravörös (near infrared – NIR) spektroszkópia. Ez azonban fekete színű műanyagok esetében nem mindig használható a túlzott sugárzáselnyelés miatt. Alternatív megoldás lehet azonosításra szolgáló információk elhelyezése a termék felületén közvetlenül az alakadási folyamat (pl. fröccsöntés) során, erre a legelterjedtebb példa az ASTM Nemzetközi műanyag azonosító kódrendszer (ASTM RIC – International Resin Identification Coding System), amelyet 1988-ban vezettek be (1. ábra).

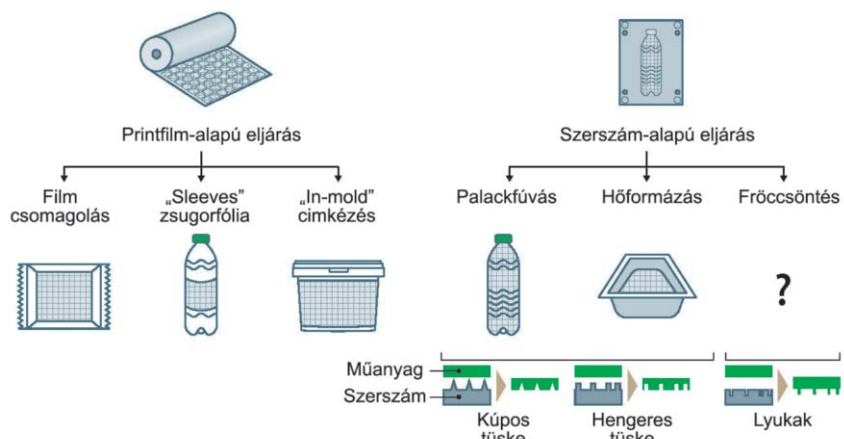


1. ábra. Az ASTM D7611 szabvány szerinti kódrendszer a műanyag típusok jelölésére.

A körforgásos gazdaság céljainak eléréséhez magas, 95–100% újrahasznosítási arány teljesítésére lenne szükség a szelektíven begyűjtött hulladéokra vetítve. Ezért 2016-ban a **Procter & Gamble** vezetésével létrehozták a „HolyGrail” kezdeményezést új válogatási eljárások fejlesztésére. A projekt során különböző technológiákat elemeztek, amelyekkel azonosítani lehetne a műanyag csomagolások anyagát, s 2018-ban végül a vizuálisan észrevehetetlen digitális vízjel technológiáját választották ki továbbfejlesztésre érdemes eljárásnak. A 2020 szeptemberében indult nyomon követési projekt a „Digital Watermarks Initiative HolyGrail 2.0” nevet viseli, s itt már üzemi léptékben vizsgálják a digitális vízjelek használhatóságát a beillesztéstől a próbaüzemig, különféle műanyag csomagolások esetében.

A digitális vízjelek olyan rejtett jelölések, amelyek vagy magába a termékbe vagy egy hordozóba – például a csomagolóanyag nyomtatásába – vannak ágyazva s szabad szemmel szinte láthatatlanok. Használatukkal megoldható, hogy az anyagra vonatkozó információ a termék teljes felületén elérhető legyen. A HolyGrailben használt digitális vízjel technológiánál a termék teljes felületére mozaikszerűen egy pixel alapú, 22×22 mm<sup>2</sup> méretű vonalkód kerül. A kamera-érzékelők válogatórendszerekbe történő integrálásával a digitális vízjel alatt tárolt információk az adatbázisból kiolvashatók, beleértve a műanyag típusát, színét, a használt adalékanyagokat vagy az alkalmazási területét (például élelmiszeripari/nem élelmiszeripari).

A felvitelt tekintve megkülönböztethetők printfilm alapú és szerszám alapú eljárások (2. ábra). Az első megoldásnál a digitális vízjelet kétdimenziósan integrálják a nyomat képpontjaiba. A szerszám alapú eljárások során viszont a háromdimenziós digitális vízjel a formaadó szerszámról kerül a műanyag alkatrész felületére. A palackfűvási és hőformázási



2. ábra. A digitális vízjelek korábban vizsgált alkalmazásai a műanyagfeldolgozásban.

eljárásoknál az alakítás nagyrugalmas állapotban történik; így az alakadási pontosság kisebb, mint a fröccsöntésnél, ezért kúpos vagy hengeres tuskéket használnak. Fröccsöntésnél az alkalmazási lehetőség sokáig kérdéses volt. Az elképzelés szerint ebben az esetben a nagyobb kiálló tuskék helyett a szerszám felületén lévő finom lyukak lennének használhatók. Az ilyen 0,5–500 µm közötti mikrostruktúrák formázási pontosságát a műanyag feldolgozási tulajdonságai és a technológiai paraméterek is nyilván befolyásolhatják.

A német **Foboha GmbH** által végzett terméktesztek során a digitális vízjelet egy samponos flakon kupak fröccsöntésénél próbálták ki. A termék színe és az elhelyezett struktúra mélysége nagymértékben befolyásolta a műszeres olvashatóságot: átlátszó termékeknél például a termék hátoldaláról is sikeresen volt a detektálás, az erősen tükröződő fehér felületek viszont problémát jelentettek az alacsony kontraszt miatt.

Kisebbségi tulajdonságingadozás még a magas szintű válogatás után is felléphet a másodlagos anyag, pl. regranulátum színében vagy folyási mutatószámában. Ezt nagyobb legyártott egységek

silós átkeverésével lehet minimalizálni, illetve az elkészített sarzsok pontos jellemzésével kontrollálni. Az esetleges színeltérések feltárásához különösen hasznos lehet a műszerezett színmérés, mivel a reciklátumok esetében a színproblémák általában lényegesen gyakrabban jelentkeznek, mint az eredeti anyagoknál. A darálék színének meghatározása bonyolult feladat, hiszen nem mindenki látja egyformán a színeket, ráadásul a különböző fényforrások melletti értékelés is befolyásolja a színek érzékelését. Bár színmérő műszerekkel kiküszöbölhetők a vizuális értékelésben rejlő eltérések, az újrahasznosított anyag mérése még így is nehézségekbe ütközik, mivel a minta sokszor nem sík, illetve nem homogén.

A **Konica Minolta** munkatársai darálék és granulátum színmérési lehetőségeit tesztelték. Ehhez az anyagot egy átlátszó Petri csészébe töltötték (3. ábra), s az átlátszóság függvényében reflexiók, illetve transzmissziós módban vizsgálták őket. A bizonyos mértékig átlátszó minták esetén a minta vastagabb rétegben történő terítését, illetve egy kijelölt háttér használatát javasolják. Kiemelten fontos, hogy a színmérés eredményének meghatározás sok (akár 30 feletti) mérés átlagából történjen, a mérések között a mintát forgatva, mozgatva. A különböző minták összehasonlítása során lényeges, hogy a mérőedénybe ugyanannyi anyag kerüljön.



3. ábra. Darálék előkészítése a színméréshez.

Akár eredeti, akár újrahasznosított mintáról van szó, a színmérés ingadozásminimalizálásának kulcsa a megfelelő színmérő műszer (asztali vagy kézi spektrofotométer) használata és megfelelő munkamódszer, azaz szabványos működési eljárás (standard operating procedure – SOP) kidolgozása. A vizsgálat minőségét alapvetően két jellemző határozza meg: az azonos műszerrel több egymás utáni mérések közötti eltérés (ismételhetőség) és az azonos típusú, de különböző műszerrel felvett adatok közötti különbséggel (inter-instrument agreement – IIA). Utóbbi mérőszám nagyon lényeges, ha a vállalat több mérőeszközzel rendelkezik, vagy ha a beszállító és a vevő azonos típusú berendezéssel ellenőrzi a termékeket. Az ismételhetőségi vizsgálat eredményét a CIELAB (CIE: International Commission on Illumination – Nemzetközi Világítás-technikai Bizottság) színtérben értelmezték. Ebben a színtérben az  $L^*$  koordináta fejezi ki a sötétvilág értéket (0–100); az  $a^*$  vörös-zöld skálát; a  $b^*$  pedig a kék-sárga skálát, utóbbiak a –100 és +100 értékek között mozoghatnak. A 31-szer ismételt vizsgálat során felvett színkoordináta értékek 0,5-nél kisebb tartományban szóródtak, ami csekély eltérésnek minősíthető.

Összeállította: dr. Ronkay Ferenc

Fattori J.: Get Better at Quoting Injection Molded Parts: Part I = Plastics Technology, 2020, <https://www.ptonline.com/articles/get-better-at-quoting-injection-molded-parts-part-1>

Wurzbacher S.: Slisse C.: Beck T.: Der Schlüssel zur Sortenreinheit = Kunststoffe, 2021, 9. sz. p. 32-36.

Rajkovic A.: Rucker T.: Specifying PCR? Find Answers to These Eight Questions = Plastics Technology, 2021, <https://www.ptonline.com/articles/running-pcr-find-the-answers-to-these-eight-questions>

Baker J.: How to Optimize Color Evaluation of Recycled Plastics = Plastics Technology, 2021, <https://www.ptonline.com/articles/how-to-optimize-color-evaluation-of-recycled-plastics->