

## Hatékonyabb berendezések a műanyag hulladékok újrafeldolgozására

A fejlett ipari országokban a műanyag hulladékot ma már nem szemétként, hanem értékes alapanyagforrásként kezelik. A használat után szennyezett, vegyes műanyag hulladéktömegeből fajta szerinti szétválogatást is magában foglaló, korszerű technológiával és berendezésekkel jó minőségű regranulátumot lehet előállítani.

*Tárgyszavak: műanyag hulladék; műanyag-feldolgozás; újrafeldolgozás; PE-LD fólia; „halszemek”; berendezések.*

A műanyagok újrahasznosítása napjainkban jelentős gazdasági hatóerőt képvisel. A fejlett ipari országokban a keletkező műanyag hulladékot a lehető legnagyobb mennyiségben a gazdasági és környezetvédelmi szempontokból egyaránt kedvező megoldásokkal kell hasznosítani.

A globális gazdasági válság hatásai a műanyagipar fejlődésében is megmutatkoztak. 2009-ben még a gazdaságilag legfejlettebb országok közé tartozó Németországban is visszaesés jellemezte a műanyaggyártást, és a műanyag-feldolgozást is gyengítette, mivel a korábbi időszakhoz képest jóval kevesebb megrendelés érkezett az építő- és a járműipar részéről. Ugyanakkor a rövid élettartamú termékeket felhasználó csomagolóipar szükséglete alig változott.

### A műanyag hulladékok eredményes újrahasznosítása Németországban

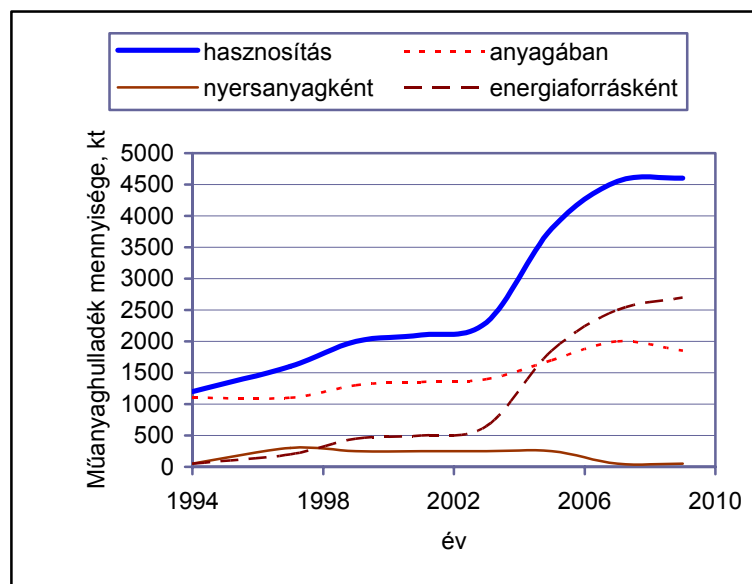
Németországban 2009-ben 17 millió tonna műanyagot állítottak elő, amely a 2007. évi mennyiséghez képest 3,5 millió tonnával volt kevesebb. 2009-ben a német műanyag-feldolgozók 10,7 millió tonna alapanyagból állítottak elő (2007-ben ez a mennyiség 12,5 millió tonna volt) termékeket. A hulladékok mennyisége 2009-ben 4,9 millió tonna volt, amely a 2007. évi mennyiséget 70 000 tonnával múlta felül.

Németországban a műanyag hulladékot fontos újrahasznosítható anyagbázisnak tekintik. A 2009. évi gazdasági válság idején a keletkezett műanyag hulladék 41%-át műanyagtermékek gyártásához, 1%-át nyersanyagforrásként és 55%-át a műanyag energiatartalmának visszanyerése céljából energiaforrásként hasznosították. A 97%-os hasznosítási arányból kitűnik, hogy Németországban a műanyag hulladékok elenyésző hányada kerül deponálásra.

A műanyag hulladékok 2009 évi hasznosítását tükröző legfrissebb szám adatok a **Firma Consulting und Industrieberatung** (Alzenau) által két évente megjelentetett, a

német műanyaggyártás, -feldolgozás és -hasznosítás témaköreit felölelő tanulmányából származnak (1. ábra). Az adatok alapján a műanyag hulladékok hasznosítása az alábbiakkal jellemezhető:

- műanyagtermékek gyártásához (ún. anyagában hasznosítás) 2009-ben 2,01 millió tonna műanyag hulladékot használtak fel, ami nem érte el a 2007. évi mennyiséget. 1994-2009 között az átlagos éves növekedés 3,2% volt;
- a hulladékok nyersanyagként való hasznosítása (kiindulási alapanyagokra bontása) kezdetben ígéretes növekedésnek indult, majd 1997-2005 között évi 300 kt-val stagnált, ezt követően csökkent, és 2009-re visszaesett az 1994. évi szintre (50 kt);
- 2003-tól ugrásszerűen megnövekedett a műanyag hulladékok energiatartalmának hasznosítása, ami szemléletváltozást is tükröz. Felismerték, hogy a műanyag hulladékok viszonylag magas energiatartalmát alternatív tüzelőanyagként kiválóan fel lehet használni, amit igazol, hogy az összes hulladék kb. 22%-át ezzel a módszerrel hasznosítják.



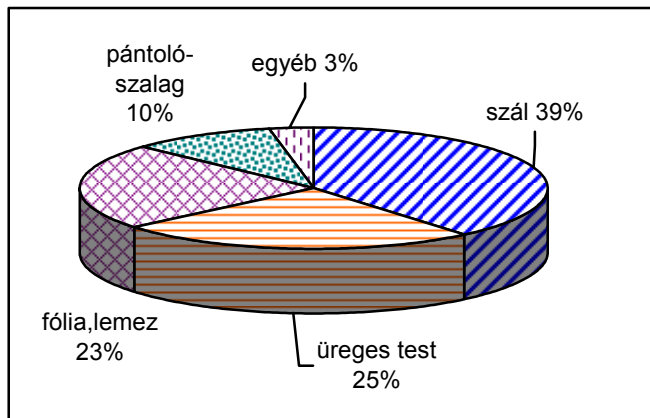
1. ábra Műanyag hulladékok hasznosítása Németországban 1994 és 2009 között

A műanyagok újrahasznosítása a válság idején is stabilan tartotta magát, a műanyagipari ágazat részeként önállósodott. A tanulmányban megállapították, hogy Németországban a műanyagipari hulladékok hasznosítása jól szervezett és biztonságos.

## PET hulladékok feldolgozása

A **Petcore** (Európai PET reciklálási szövetség) és az **EuPR** (Európai műanyag recikláló vállalatok szövetsége) adatai szerint *Európában 2010-ben 1,45 Mt PET pa-*

lacket gyűjtöttek össze, amelyből 1 Mt újrafeldolgozásra alkalmas alapanyagot (r-PET) állítottak elő. Ezt az r-PET mennyiséget a 2. ábra szerinti megoszlásban használták fel új termékek gyártásához. Az előző évi adatokhoz képest jelentősen emelkedett a palackgyártáshoz használt r-PET mennyisége, míg a szálakhoz és fóliákhoz kevesebb fogyott.



2. ábra r-PET-ből gyártott termékek fajta szerinti megoszlása Európában 2010-ben (100% = 1 millió tonna)

Az európai PET hulladékok hasznosítási aránya 50%, az élen járó országokban eléri a 70%-ot. A hasznosítás 2009-hez képest 6,5%-kal nőtt, ami bizonyítja, hogy az r-PET egyre inkább elfogadott, jó minőségű alapanyagként jelenik meg a piacon.

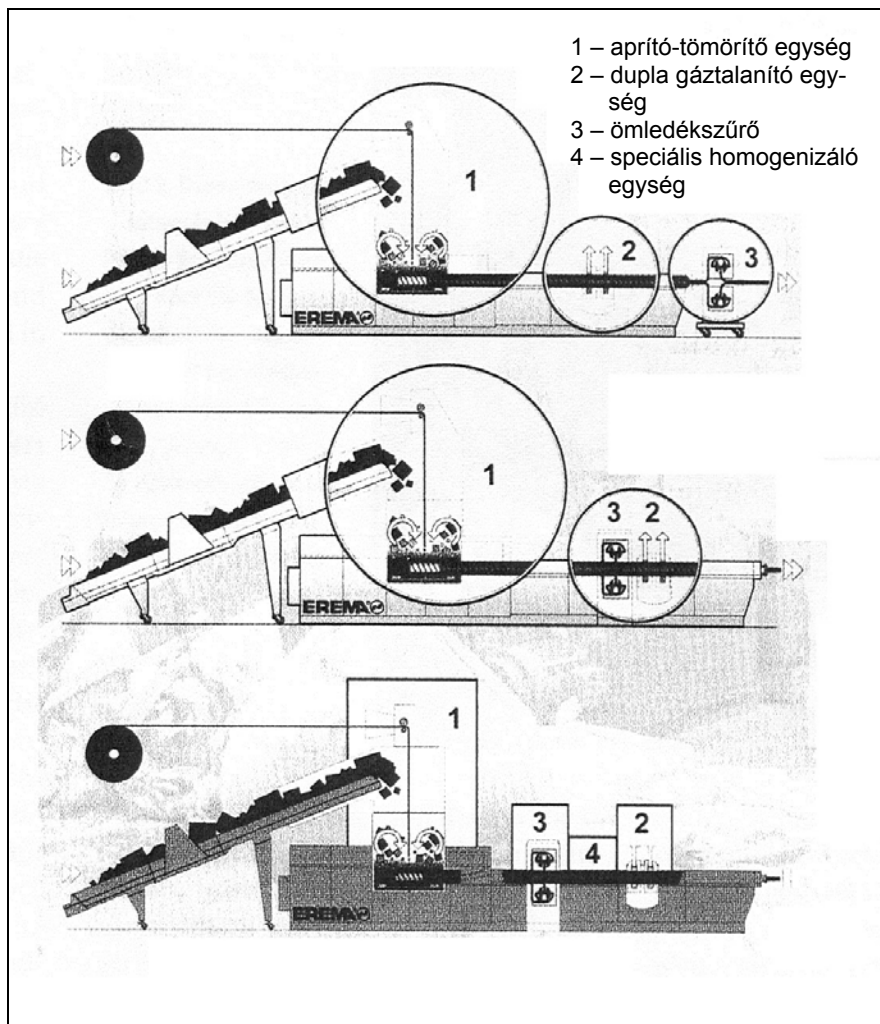
### Hatékonyabb technológia a szennyezett műanyag hulladékok újrafeldolgozására

A műanyag hulladékok jelentős részét, elsősorban az ipari és mezőgazdasági hulladékokat ismételten feldolgozzák, különféle termékeket gyártanak belőlük. A kommunális (postconsumer) műanyag hulladék újrahasznosításának elengedhetetlen feltétele a gyűjtés előtti válogatás. Az erősen szennyezett műanyag hulladékok – különösen a teljes felületen színezett és nyomtatott többrétegű fóliák – újrafeldolgozásához a korábban alkalmazott technológiák nem feleltek meg. A szennyezett, lakossági műanyag hulladékot is tartalmazó vegyes műanyag hulladék igényes újrafeldolgozása csak gondos előkészítési műveleteket is tartalmazó, magas színvonalú technológiával valósítható meg.

Az osztrák **Erema Engineering Recycling Maschinen und Anlagen GmbH** (Ansfeld) a korábbi *TE*, ill. *TVE* típusú berendezését továbbfejlesztette. A *TVEplus* néven piacra hozott új berendezés az erősen szennyezett műanyag hulladékok speciális előkészítésére alkalmas egységekkel felszerelve javította a feldolgozás feltételeit. A 3. ábrán a cég műanyag hulladékok újrafeldolgozásához kínált *TE*, *TVE* és a legújabb fejlesztésű *TVEplus* berendezéseinek sematikus technológiai folyamatábrái láthatók.

A hagyományos *TE* berendezés aprító-tömörítő egységgel összekötött nagy teljesítményű egycsigás extrudersorral működik. A műanyag hulladék szállítószalagról a garaton keresztül automatikusan a berendezés aprító-tömörítő egységébe kerül, ahol

rotáló vágószerszám aprítja és keveri. Ezalatt az anyag folyamatosan tömörödik, a sűrűsödésből keletkező hő hatására szárad, majd a hozzákapcsolt extruderben megömlik és homogenizálódik. Minden ömledéksarzsot a benne maradt nedvességyomok és az előkészítő technológiai művelet során a hulladékból felszabaduló gázhalmazállapotú termékek eltávolítása céljából gáztalanítanak. A hagyományos újrafeldolgozó berendezésekben – így a *TE* gyártósorban is – a gáztalanító egységet a teljes automatikával felszerelt öntisztuló ömledékszűrő előtt helyezik el. A homogenizált ömledéket a szűrőegységen való áthaladás után granulálják.



3. ábra A műanyag hulladékok újrafeldolgozásához alkalmazott többgenerációs TE (felül), TVE (középen) és TVEplus (alul) berendezések technológiai folyamatábrái

A *TVE* típusú berendezéssel a *TE* típushoz képest a szennyezett, gázképződésre fokozottan hajlamos műanyag hulladékok újrafeldolgozását jelentős mértékben továbbfejlesztették. A *TVE* berendezésben a homogenizált ömledéket először a szűrőegység-

be vezetik, majd a szűrést követően gáztalanítják. Ezzel a felcserélt technológiai sorrenddel egyrészt korlátozzák a nagyobb méretű szilárd szennyező részek bejutását a gáztalanító egységbe, másrészt folyamatos, hatékony gáztalanítást érnek el.

A nyomtatott csomagolófóliák előállításához alkalmazható színválaszték és a fóliára felvitt színezék mennyiségének növelése – különösen a készítésükhöz használt kötő- és segédanyagok kedvezőtlen tulajdonságai miatt – megnehezíti a nyomtatott fóliahulladékok előkészítését. A nagymértékben szennyezett fóliáknál a megfelelő minőségű újrafeldolgozott granulátum előállítása érdekében próbálkoztak az intenzíven szennyezett hulladék és a kevésbé szennyezett összekeverésével is. Ezzel a módszerrel nem sikerült a szennyeződésből származó és az újrafeldolgozáskor felszabaduló zavaró melléktermékek mennyiségét jelentősen csökkenteni.

A *TVEplus* berendezéssel, amely az Erema cég harmadik generációs újrafeldolgozó gyártósorának számít, a műanyag hulladék előkészítése során az előző *TVE* típushoz képest a gáztalanítás hatásfokát kívánták növelni. Ennek érdekében az extruder betáplálási és plasztikálási zónáit úgy alakították ki, hogy a csigacsatornában létrejövő nagy nyomásgradiens az extruder betáplálási, valamint az aprító-tömörítő irányába visszafelé ható gáztalanítást hozzon létre. A *TVE* típusú berendezéshez képest további lényeges változtatást jelent az ömledékszűrők és a gáztalanító között kialakított új egység, amelyben a megszárt ömledéket a gáztalanító egységbe jutása előtt intenzíven homogenizálják.

## Hulladékfeldolgozó berendezések hatékonyságának összehasonlítása

Az Erema cég berendezéseinek minősítéséhez a gyártási folyamatban keletkezett, teljes felületen színezett és nyomtatott többrétegű PE-LD fóliák újrafeldolgozott granulátumából fűvott fóliák felületét, valamint az újrafeldolgozott ömledék folyási tulajdonságát vizsgálták meg. A granulátumok többnyire 200 °C-on végzett feldolgozása során végbemenő oxidáció következtében *gélképződés is megindulhat, ami a fólián „halszem”* formájában észlelhető. A PE-LD fóliákon megjelenő halszemek a felhasznált adalékok összeférhetetlenségére vagy zavaró szennyező anyag jelenlétére utalnak. A műanyag hulladékból *TE*, *TVE* és *TVEplus* berendezéseken kapott regranulátumok minősítésére a belőlük gyártott fóliákon megjelenő halszemértékeket, valamint az ömledékek reológiai tulajdonságait jellemző folyási mutatószámokat (Melt-index) az *1. táblázat* tartalmazza. A fóliák felületének vizsgálatából kitűnik, hogy

- a *TE* berendezésen előállított granulátumból a 200 °C-on fűvott fólia felületét szinte beborítják a nagyméretű halszemek, amelyek az ömledékben maradt, bomlási reakciót előidéző színezékekből származnak. Ezzel szemben a *TVE* és *TVEplus* berendezéseken ugyancsak 200 °C-on előkészített anyagból gyártott fóliákon nem találtak halszemeket;
- a *TVE* berendezésen előkészített anyagból 250 °C-on gyártott fóliákon megjelent halszemek egyértelműen a magasabb hőmérsékleten bomló, az ömledékben maradt szennyeződésekre vezethetők vissza. A magasabb hőmérsékleten felszabaduló bomlástermékek a *TE* berendezésen készült anyaghoz viszonyítva jóval



kevesebb és kisebb méretű halszemeket eredményeztek ugyan, de a továbbfejlesztett TVE berendezésen alkalmazott szűrés-gáztalanítás kombináció sem volt elegendő a szennyező anyagok eltávolítására;

- a TVE berendezésen a szennyeződések megszüntetésére irányuló kísérletezés céljából a szűrést követő dupla gáztalanító egység elé még egy szimpla gáztalanítót iktattak be. A kétféle gáztalanító egységet úgy helyezték el, hogy azok egymástól független üzemelését ömledékkel megtöltött csigaszakasszal biztosították. A 250 °C-on fűvott fólián megjelent halszemek azt igazolják (a 3. sorszám alatt megjelölt vizsgálati eredmények), hogy a gáztalanítók számának növelése csupán csökkentette, de megszüntetni nem tudta a szennyező anyagok bomlásának káros következményeit.
- a TVEplus berendezésen a dupla hatékonyságú gáztalanító és a szűrőrendszer közé iktatott speciális homogenizáló egységgel 200 °C-on és 250 °C-on is hibátlan fólia gyártására alkalmas, megfelelő minőségű regranulátumot tudtak előállítani. A különböző generációjú műanyag hulladék újrafeldolgozó berendezések összehasonlításakor a TVEplus berendezés esetében a gáztalanító egység elé szerelt homogenizálóba kísérletképpen különböző mennyiségű ömledéket – a táblázatban 4. és 5. sorszámokon jelölt minták – juttattak, vizsgálva a gáztalanított mennyiségnek az újrafeldolgozott anyag tisztaságára kifejtett hatását. Megállapítható, hogy a gáztalanítás hatásfokát nem befolyásolja a homogenizált sarzs mennyisége.

1. táblázat

A műanyag hulladék feldolgozásának jellemzői TE, TVE és TVEplus újrafeldolgozó berendezéseken

Újrafeldolgozó berendezés típusa	Fűvás hőmérséklete °C	Halszemek száma/dm <sup>2</sup>	Halszemek mérete	Folyási szám (MFI) g/10 min (190 °C/2,16kg)
1. TE (hagyományos)	200	kb. 300	nagyon nagy	0,49
2. TVE dupla gáztalanítással	200	nincs	–	0,44
	250	kb.40	relatív nagy	
3. TVE tripla gáztalanítással	200	nincs	–	0,43
	250	kb.20	kicsi	
4. TVEplus a) diszpergálási mód	200	nincs	–	0,43
	250	nincs	–	
5. TVEplus b) diszpergálási mód	200	nincs	–	0,42
	250	nincs	-	
Színezetlen, referencia fólia				0,42

Az elvégzett kísérletek eredményei alapján az Erema cég fejlesztői megállapították, hogy

- az intenzíven színezett és nagy terjedelemben nyomtatott poliolefinfóliák újrafeldolgozásra való előkészítése során a szűrési technológiai műveletben főként a 100 µm–150 µm méretű szennyeződések jutottak keresztül a szűrőn. A granulálási műveletet közvetlenül megelőző szűrés nem volt hatékony, mint ahogyan azt a *TE* berendezésen készült minták vizsgálati eredményei is alátámasztják;
- a továbbfejlesztett *TVE* berendezésen a dupla gáztalanító egységnek a szűrést követő elrendezése a *TE* berendezéshez képest tisztább granulátum előállítását tette lehetővé;
- a *TVE* berendezésen a megszárt hulladék ömledék háromszoros gáztalanítása csak a szennyezettség mérséklésére volt elegendő, a szennyezőanyagokat nem tudták teljes mértékben eltávolítani;
- a *TVEplus* berendezésen a csigacsatornában lévő, már tömörített hulladékörlemény a korábban alkalmazottakhoz képest hatékonyabb gáztalanításával és a speciális homogenizáló egység kialakításával megfelelő minőségű regranulátumot tudtak előállítani. A homogenizáló egységben a keverést és továbbapítást úgy alakították ki, hogy az ömledékből képződő aggregátumok a nyíróerők hatására szétoszoljanak. A szűrőn átjutott színezékrészecskék a diszpergálás után illékonyabbá váltak és a gáztalanító egység kupoláján keresztül távozhattak;
- a *TVEplus* berendezésen végzett újrafeldolgozás során a 4. és 5. sorszám alatt feltüntetett, a.) és b.) jellel megkülönböztetett keverékek csupán a diszpergálás mértékében különböznek egymástól. A diszpergálás mértéke nem befolyásolta az újrafeldolgozott granulátumból készült fólia felületének minőségét;
- a különböző berendezésekben előkészített regranulátumok Melt-index értékei (0,49-0,42 g/10 min) nem különböztek egymástól lényegesen az előkészítés módjának függvényében. A számértékek tendenciája azt mutatta, hogy a *TVEplus* berendezésen gyártott regranulátum folyási száma közelíti meg leginkább a színezék nélküli, referencia fóliahulladékból nyert regranulátum Melt-index értékét.

## **A műanyag hulladékok újrafeldolgozása során szerzett tapasztalatok**

A többgenerációs, vegyes műanyag hulladékokat is újrafeldolgozó gépeket gyártó Erema cég az 1990-es évek közepétől 600 darab *TVE* típusú gyártósort értékesített, amelyek azóta is folyamatosan működnek. Agrofóliák, színezett vagy ragasztófóliával ellátott csomagolófóliák hulladékait gond nélkül fel lehet dolgozni ezekkel a berendezésekkel.

Az új fejlesztésű *TVEplus* berendezéssel a különböző fajtájú műanyag hulladékok újrafeldolgozásra előkészítése során is számos tapasztalatot szereztek. Az 1514 típusú berendezésen (az aprító-tömörítő átmérője 1500 mm, a csigaátmérő 140 mm) mind a

színezett, erősen nyomtatott, mind az átlátszó PE-LD fóliahulladékok esetében – a származási helyüktől függetlenül – 250 °C-on végzett újrafeldolgozásakor az 1. táblázatban feltüntetett jellemzőket észlelték. A feldolgozók visszajelzése szerint a *TVEplus* típusú berendezéssel jó minőségű regranulátum állítható elő. A gépgyártó által garantált teljesítményhez képest a feldolgozók sokszor könnyelhetek el jobb hatásfokú termelést. A BOPP fóliák újrahasznosításakor 70 mm átmérőjű csigával például 20%-kal nagyobb teljesítményt sikerült elérni.

A 250–2500 kg/h teljesítménytartományra méretezett *TVEplus* berendezések egyaránt alkalmasak mind a kíméletes feldolgozást igénylő műanyag hulladékok, mind az intenzíven szennyezett hulladékok újrafeldolgozására. Az újonnan kialakított aprító-tömörítő és szállító egységek kombinációjával – a korábbi *TVE* típusú berendezéséhez viszonyítva – 20 °C-kal csökkenthető az anyag előkészítéséhez szükséges feldolgozási hőmérséklet, amely az energiamegtakarításon felül különösen előnyös a hőérzékeny műanyag hulladékok kíméletes kezelésekor.

Összeállította: Dr. Pásztor Mária

Erfolge beim Recycling = Kunststoffe, 100. k. 12. sz. 2010. p. 20.

Weigerstorfer, G.: Starkem Druck gewachsen = Kunststoffe, 100. k. 9. sz. 2010. p.156–160.

Mehr r-PET für Blasformartikel = K-Zeitung, 42. k. 14. sz. 2011. p. 1–2.