

A polietilén fenntarthatósága Európában kiemelt jelentőségű

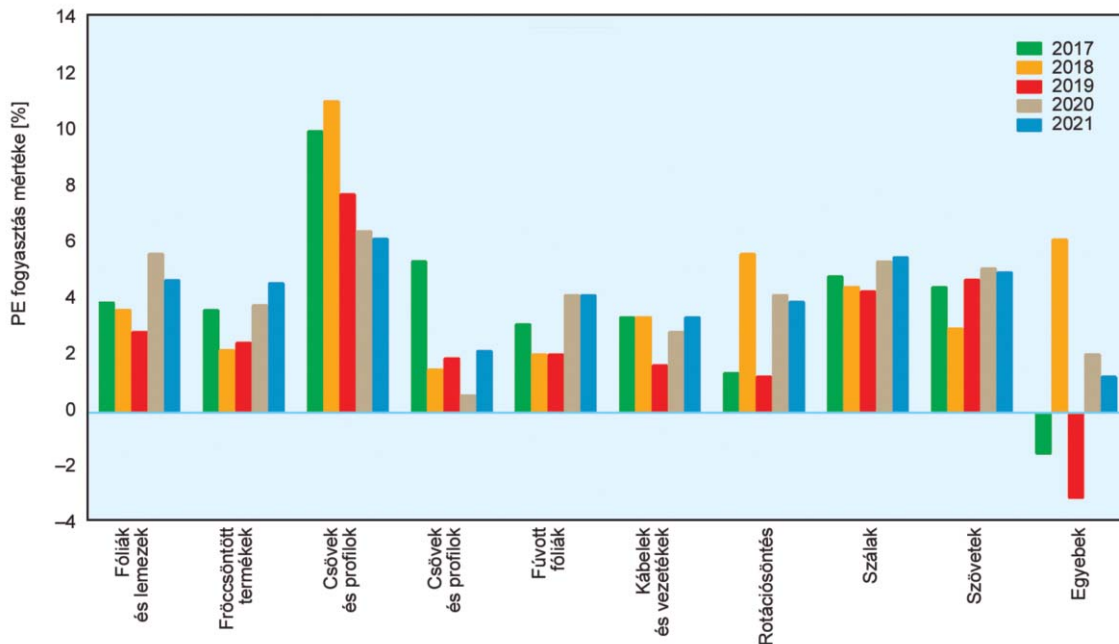
Míg Észak-Amerikában és Kínában a folyamatosan kiszélesedő polietilén felhasználás fokozott kapacitásnövekedést indukált, Európában a körforgásos gazdaság érdekében a nagyobb polietilén fenntarthatóság eléréséhez az alternatív alapanyagok kutatása a legfontosabb gazdasági feladatok közé lépett elő. A polietilén hulladék kémiai úton gázzal, vagy pirolízissel történő felbontása új lehetőséget biztosíthat a teljes alapanyag-körforgás létrehozására, szemben a mechanikai reciklálással végzett downcycling eljárással.

Tárgyszavak: polietilén, újrahasznosítás, körforgásos gazdaság, fenntarthatóság, CO₂ kibocsátás, megújuló alapanyag, mechanikai reciklálás, pirolízis, krakkolás, depolimerizáció, PE-HD granulátum

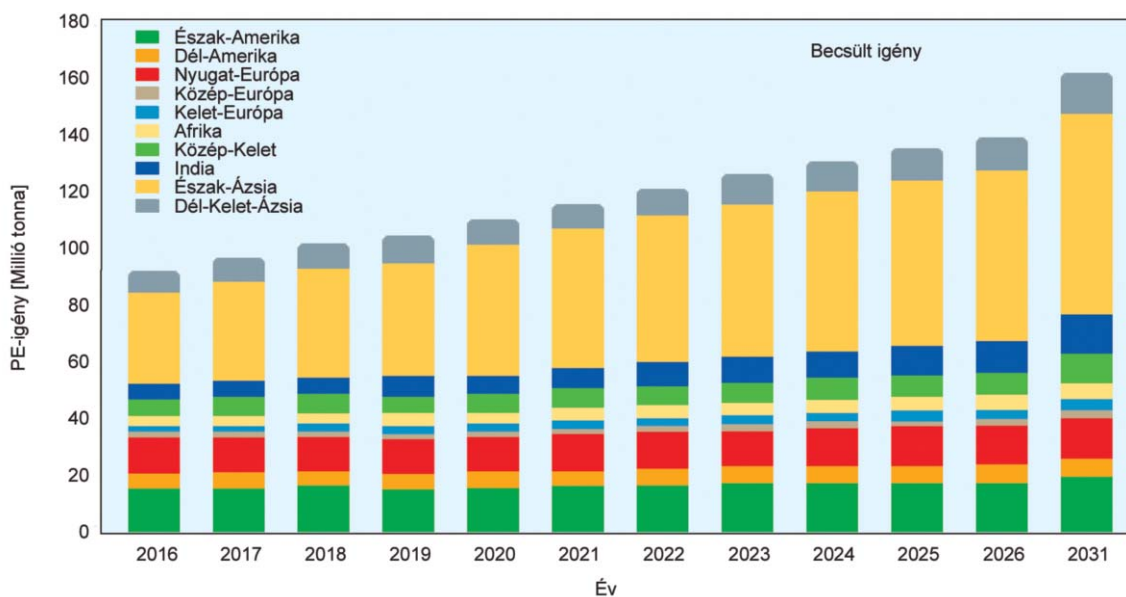
Az Európai Bizottság által elfogadott körforgásos gazdaságra vonatkozó uniós gazdasági tervben a műanyagokat kulcsfontosságú prioritásként határozták meg, mivel a mai gazdaságban és a mindennapi életben fontos és mindenütt jelen lévő anyagok. A műanyagok előállítás, felhasználási és selejtezési módja azonban nem képes megragadni a „körkörös” megközelítés gazdasági előnyeit, károsítja a környezetet. A körforgásos gazdaság alternatív és tartós modellt képvisel a hagyományos lineáris gazdasággal szemben, ebből következően a műanyagok fenntarthatósága egyre inkább a gazdasági kérdések középpontjába kerül. A modell elemei közé tartozó erőforrások tartós felhasználhatósága céljából elsődleges szempont a műanyag termék fenntarthatósága, a minél hosszabb ideig történő és hatékony alkalmazása, a termék elhasználódásakor az alkotóelemek újrahasznosítása, a keletkező hulladék nagymértékű csökkentése, továbbá a termék előállítási műveletében a karbonlábnyom minimalizálása.

A folyamatosan bővülő alkalmazási körrel rendelkező polietilén az élelmiszertárolás, a csomagolás, a gyógyászat, az elektronika, a könnyűszerkezetes építészet területén évtizedek óta hatékonyan hozzájárul az életszínvonal emeléséhez. Világszerte a legfontosabb és a leggyakrabban használt műanyagfajta a teljes PE típusok köre, a globális műanyagfelhasználás 38%-ára terjed ki, amely a nagysűrűségű PE-HD, a kissűrűségű PE-LD, valamint a lineáris PE-LLD félésegekből tevődik össze. A **Chemical Market Analytics von Opis** és a **Dow Jones Company** 2021-ben közreadott statisztikai adatai szerint az utóbbi öt évben világszerte átlagosan évi 4,6% - os növekedéssel 2021-ben 115 millió tonna polietilén felhasználást regisztráltak. 2020-ban és 2021-ben – a pandémiás években – pedig 5,7 és 5,2%-kal emelkedett az átlagos polietilén fogyasztás. Az 1. ábrán a 2017–2021 években az eltérő polietilén alkalmazási területeken kimutatott polietilén fogyasztást (fogyasztás növekedés mértékét) mutatjuk be.

A piackutatók elemzése alapján az utóbbi öt évre jellemző 4–5%-os polietilén felhasználás növekedés eloszlása a különböző területeken változatlanul tekinthető, azonban világviszonylatban az egyes régiók között jelentős mértékű különbséget állapítottak meg. A 2. ábra, amely a régiók szerinti polietilén igény (fogyasztás) ábrázolása, jól szemlélteti, hogy a gazdag régiókban



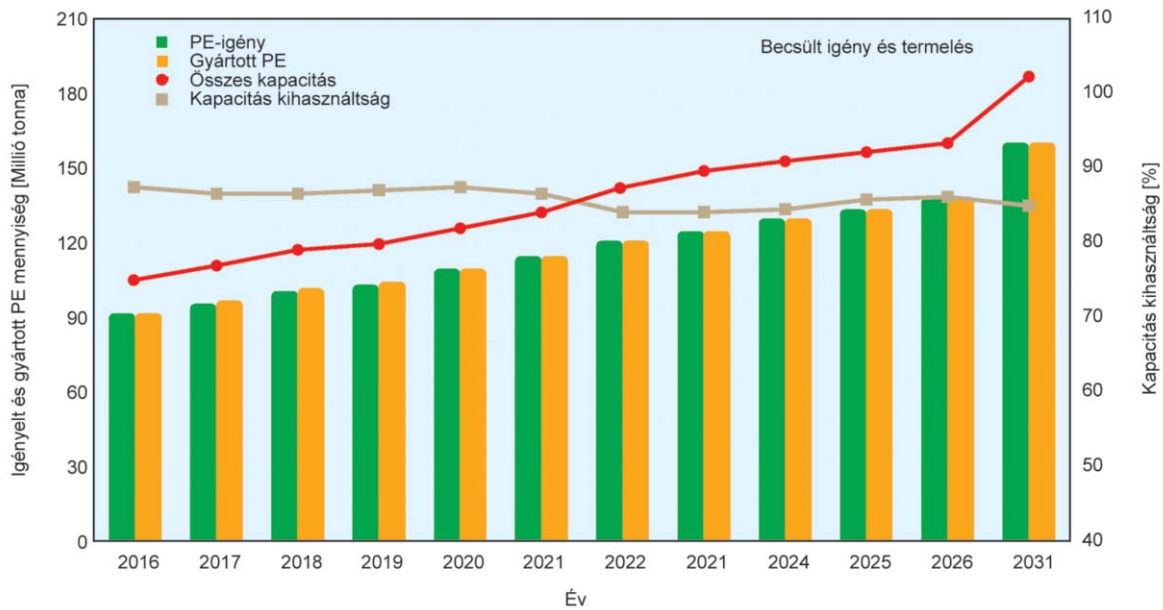
1. ábra. Különböző polietilén alkalmazási területeken kimutatott globális polietilén fogyasztás a 2017–2021 években.



2. ábra. A globális polietilén igény régiók szerinti megoszlása a 2021-ig regisztrált és a 2031-ig becsült adatok alapján.

csupán mérsékelt változást tapasztaltak, míg Észak-Kelet Ázsiában, elsősorban Kínában, évről-évre jelentős mértékű növekedést dokumentáltak. A globális polietilén igény elemzésekor az ábrázolt PE felhasználás alapján megállapítható, hogy a polietilén termelési ráta növekedés vonatkozásában az európai országok nem tartoznak a polietilén felhasználás élvonalába.

A kiterjedt PE gyártás töretlen kapacitásbővítése a későbbi időszak polietilén-igény előrejelzését is lehetővé tette. A 3. ábra a gyártási kapacitások alapján 2031-ig becsült polietilén igényt, gyártást és felhasználást is szemlélteti. Az ábrán feltüntetett diagramok szembeötlően mutatják, hogy az Észak-Amerikai vállalatok nagyvolumenű termelésükből következően nem csak saját igényük kielégítésére törekszenek, hanem egyetemleges exportálóként is komolyan



3. ábra. A globális PE kapacitás és fogyasztási igény 2021-ig a tapasztalt adatok, majd 2031-ig a becslést polietilén igény, gyártás és kihasználtság alapján.

számítanak a belföldi kitermelésű palagázra, és ezzel együtt főleg az etánra, mint a polietilén gyártás alapanyagára. Az USA az elmúlt 5 évben évi 11 millió tonna PE gyártással bővítette termelését, amelyet 2026-ig további 13 millió tonnával kíván fokozni.

Ugyanebben az időben Kína szintén évi 13 millió tonna polietilén gyártásával növelte termelési kapacitását, amellyel 2017-re a saját igény 57%-ának fedezésére volt képes; a teljes hazai PE felhasználáshoz még szükséges mennyiséget importból pótolta. Folyamatos gyártási kapacitásbővítésével 2026-ra azonban saját polietilén szükségletét már 62%-ban tudja majd biztosítani.

Míg Észak-Amerikában és Kínában a folyamatosan kiszélesedő polietilén felhasználás fokozott kapacitásnövekedést indukált, Európában más szemlélet alapján a körforgásos gazdaság érdekében a legfontosabb gazdasági feladatok sorába tartozóan – a műanyagok fenntarthatósága céljából – az alternatív alapanyagok kutatása, valamint új alkalmazási területek vizsgálata vált elsődleges feladattá. A pandémiás évek alatt beigazolódott, hogy a polietilén krízisálló műanyag, amely megváltozott piaci viszonyok között is a sikeres termékek közé tartozik.

Európában sem az alapanyag igényben, sem a termelési kapacitás bővítésben nem mutatkoztak gyártási volumen növelésére utaló változások, a polietilén termelésben sem törtek felszínre gyökeres átalakulásra utaló jelek. A jelenlegi európai gazdasági szemléletben – az utóbbi években és az elkövetkező évtizedekben – a megújuló alapanyagok, a reciklátumok finomítása és újrafeldolgozása, a műanyagtermék fenntarthatósága, újrafeldolgozhatósága, a gyártást kísérő karbonlábnyom szinten tartása, de még inkább csökkentése, továbbá a gyártási, illetve az árucikkek felhasználásából keletkező hulladék reciklálása és újrafeldolgozása tartoznak a kulcsfontosságú feladatok körébe.

A hagyományos polietilén (PE-HD) fosszilis alapanyagokból való előállításakor, kölcsőtől (kőolaj) a kapuig (cradle to gate) átlagosan 1,84 ekvivalens mennyiségű CO₂ keletkezik. Ez azt jelenti, hogy egy tonna PE-HD gyártása során 1,84 tonna üvegházhatású gáz (ebben az esetben CO₂!) termelődik, és kerül a légterbe. Amennyiben a kőolaj származékból készült alapanyagok helyett növényi alapú hulladékból, vagy más biomasszából előállított alapanyagokat használnak a polietilén gyártásához, a technológiai folyamat karbonlábnyoma 3,71 CO₂-ekvivalenssel

csökkenthető. Ebben a relációban a polietilén előállítási folyamat során alapanyagként használt növények a légkörből ugyanis több széndioxidot kötnek meg, mint amennyit a rendszer a gyártási technológia folyamán kibocsát. Ebből adódóan a mérleg negatív tartományba csap át, és a PE előállítása $-1,87 \text{ CO}_2$ -ekvivalens értékű lesz.

Sikeres technológiai megoldásra van szükség a biomassza reakcióképes PE alapanyaggá való hatékony átalakításához

Napjainkban több fejlesztési projektben is keresik a sikeres technológiai megoldást a biomassza reakcióképes PE alapanyaggá való hatékony átalakításához. Ez idáig azonban igen kevés krakolót helyeztek üzembe. A finn vegyi finomítót üzemeltető **Neste** az amerikai **LyondellBasell** (Ohio, USA) műanyaggyártó céggel folytatott szoros együttműködés eredményeként megújuló nyersanyagbázison sikeresen állított elő a hagyományos fosszilis alapanyagból készült termék minőségével megegyező polietilént. A LyondellBasell a világon az egyetlen saját licenccel rendelkező polietiléngyártó vállalat, amely a kis sűrűségű PE (LDPE), a nagy sűrűségű PE (HDPE), a lineáris kis sűrűségű PE (LLDPE) és a közepes sűrűségű PE (MDPE) előállításához a technológiák teljes skáláját kínálja.

A biomasszából készült polietilén gyártása során és a felhasználás közben keletkezett hulladék újrahasznosításáról a hagyományos technológiával gyártott termékeknél érvényben lévő módon, a hulladéktörvényben rögzítettek szerint kell gondoskodni. A megújuló növényi alapanyagokból készült termékekből keletkező, összegyűjtött és szortírozott hulladékokból készült reciklált termékek áruba bocsátására a francia hulladékgazdálkodási főprofittal is rendelkező **Veolia Environnement** és az amerikai **LyondellBasell Joint Venture QCP** (Quality Circular Products) rendhagyó termék kategóriaként „körkörös” termékminőséget hoztak létre.

A körforgásos gazdaság hatékony hozamú és jó minőségű reciklátumot igényel

A reciklátumból gyártott termék minőségével szemben a vadonatúj áruéval teljesen megegyező minőségi követelményeket támasztanak. Ennek az elvárásnak a teljesítéséhez folyamatosan jó hatásfokú hulladékkezelési és tisztítási technológiára van szükség. Abban a tudatban, hogy a körforgásos gazdaság kiemelten fontos lesz a jövőben, valamint a megújuló alapanyagokra épülő műanyagipar is töretlenül fejlődik, továbbá a fogyasztás utáni műanyag hulladék-ciklusok lezárása is eredményes lesz, Németországban megalakult a **Cospatox** (**Cosmetics, Packing, Toxicology**) iparági konzorcium. A társaság célja az eddig hiányzó specifikus biztonsági szabványok létrehozása a kozmetikai és egyéb háztartási csomagolások kiváló minőségű fogyasztás utáni polietilén újrahasznosításához (Post-Consumer-Recyclat = PCR), valamint helyszíni mérési módszerek alkalmazása.

A társaság elsődleges célja az eddig hiányzó speciális biztonsági szabványok érvényre juttatása a kozmetikai és egyéb háztartási csomagolások kiváló minőségű, fogyasztás utáni műanyagok újrahasznosításakor. A kozmetikai csomagolásokban használt PCR -ekre (Post-Consumer-Recyclat) – elsősorban a poliolefinekre (PE és PP) összpontosítva – a toxikológiai biztonsági irányelvek meghatározása a legfontosabb feladat. A kidolgozandó direktívák a kozmetikumok, valamint a mosó- és tisztítószer csomagolásához használt újrahasznosított műanyagok minőségével kapcsolatos növekvő igények rendezésére hivatottak. Az egész iparág profitál majd

ebből a munkából, beleértve azokat a cégeket is, amelyek a toxikológiai értékelés és szabványosítás hiánya miatt eddig elzárkóztak a PCR kvázi műanyag alapanyagként való kezelésétől.

A kémiai úton történő reciklálás eredményei

A megújuló növényi alapú biomasszából előállított polietilén hulladék jobb hatásfokú reciklálása céljából a mechanikai újrahasznosítás helyett igényesebb alkalmazási területekre a kémiai úton történő reciklálás ajánlott. Ebben a technológiai műveletben a polimerláncokat pirolízissel tördelik, és a krakkolási folyamatban használt katalizátorokat ismét hasznosítják a polietilén hulladékból nyert reciklált PE alapanyag újrahasznosuló polimerizációs folyamatában. A kémiai eljárással nyert reciklátumok értékes higiénés feldolgozásra is megfelelőek.

Európa továbbra is a polietilén gyártási technológia éllovasai közé tartozik, meghatározó vezető szerepet tölt be a polietilén fejlesztések és a depolimerizációs eljárás területén a hulladékkezelés előkészítési műveletek körében, amelyeket Európán kívül is értékesítenek és szabáldalmaztatnak. Az európai polietilén gyártással összefüggésben számos fejlesztési és minőségbiztosítási feltételt rögzítettek, amelyek nemzetközi alkalmazásban is gyorsan elterjedtek. Időközben az EU a polietilén kémiai úton való reciklálása kapcsán iránymutató és szabályozó vizsgálati rendszert is felállított, amely ebben a megközelítésben jelentős kockázatviselést és lehetőséget is magában hordoz.

Az új termék piacra dobása mindig kockázatot jelent, másrészt viszont a fejlesztőmunka által előállított új termék alkalmazásával új területek hódíthatók meg a piacon. Ennek kapcsán kiemelhető és bemutatást érdemlő a 4. ábrán látható erPE-100-RC márkajelű, különösen nagy feszültségrepedés-szilárdságú polietilén csőrendszer, amelyet a piacon való megjelenést követően beiktattak a szabványosított európai gázcsőrendszerek közé. Az árok nélküli beépítési technológia fokozott előtérbe kerülésével a hagyományos nyitott ároképítéshez képest, energia- és élőmunkaráfordítás takarítható meg, amelyet néha a helyi viszonyok nem is tesznek lehetővé.



4. ábra. PE-100-RC márkajelű, nagy feszültségrepedés-szilárdságú polietilén csőrendszer árok nélküli beépítése.

A csővezeték konstrukciója bevált a nagyfeszültségű kábelek fektetéséhez is. A műanyag tönkremenetelének leggyakoribb oka a környezeti hatásra bekövetkező feszültségrepedezés (environmental stress cracking, ESC). A műanyagok először rideggé válnak, majd megrepedeznek a rájuk ható feszültség és a velük érintkező valamilyen vegyszer egyidejű és szinergetikus hatására, végül bekövetkezik a törés. A repedések elkerülésére a mechanikai és élettartam szempontból is tartós, nagyobb molekulatömegű és nagysűrűségű PE-HD típust választották, a belső feszültségeket temperálással csökkentették.

Biomassza alapanyagból előállított polietilén alkalmazási területei

A biomassza alapanyagból előállított PE csővezetékrendszer megvalósítása rendkívül fontos szerepet tölt be a megújuló energiaellátásban, mivel az EU-ban a körkörös gazdaság megteremtése kapcsán vállalt kötelezettség szerint 2050-ig az energiaellátás 80%-át megújuló energiával kell biztosítani. Ennek teljesítéséhez például az áramszolgáltatást is az 525 kV-os egyenáramú módosított hálózathoz kell csatlakoztatni. A nagyfeszültségű villamos áramhálózattal szemben szigorú követelményrendszert kell érvényesíteni, különös figyelemmel a speciális kompaund szigetelőanyagok mellett már korábban meghonosodott térhálósított PE (PE-X)-re. A feszültség alatt lévő kábelek körültekintő figyelemmel kiválasztott, 70 °C-ot tartósan elviselő PE-HD-ből készült kábelvédő csővezetékét igényelnek. Az ilyen típusú kábelvégelezárók életciklusuk végén fásztó és hosszadalmas földmunka elkerülésével könnyedén cserélhetők.

Az újonnan kifejlesztett nagy feszültségpedés-szilárdságú PE csővezetékkel szemben támasztott követelményprofilok száma folyamatosan növekszik, ezzel együtt a bevizsgáló szabványok mennyisége is gyarapodik, sőt valószínűsíthetően a megfelelő anyagfélések köre is bővülni fog. Egyre több kérdés és követelmény fogalmazódik meg az olaj- és gázvezetékek belső köpenyének high-tech műszaki műanyagával, valamint a nagyfeszültségű csővezetékek anyagával szemben:

- Tartós hőmérsékletállóság és gyorsított öregedésállóság 70 °C-on;
- Megbízható, hosszantartó anyagösszetétel stabilitás segédanyagok adagolásával;
- Nagyobb stabilitás szabad gyökök anyagkárosító hatásával szemben – ez különösen a dél-európai régiókban releváns, ahol a vízvezeték-rendszerben a magasabb külső hőmérséklet miatt dezinficiáló szerek alkalmazására van szükség;
- A tengervíz sótalanítási eljárásban, valamint a gáz- és olajszállításához egyre nagyobb átmérőjű, magas olvadáspontú csővezeték biztosítása vált fontossá;
- Az autóiparban AdBlue-Tankok készítéséhez kiváló hidegállóságú, szívós, multimodális PE-HD biztosítása, amely a belsőégésű motorokhoz emisszió csökkentő hűtővizet tankokhoz is használható.
- Az elektromos autók akkumulátoraihoz színterézett, nagy molekulatömegű polietilénből készült féligáteresztő membrán előállítását tervezik. A jelenleg kizárólag Ázsiában gyártott elemek készítésére Európában jelentős kapacitással folynak az előkészületek.

A növekvő piacra az állandó és átlagon felüli gyarapodó értékesítés jellemző. Erős társadalmi felelősséggel rendelkező csomagolóanyag-gyártók előtt egyértelmű, hogy csak az innovatív, az új környezetvédelmi korszaknak megfelelő termékek képesek tovább fejlődni. Ennek tudatában a tartós, többszörösen újrahasznosítható, az alapanyagtakarékoság szem előtt tartásával lehetőség szerint a vékonyabb falvastagságú termékek előállítására és a hulladék minél nagyobb mértékű csökkentésére törekednek.

A fenntartható társadalomban a környezetbarát energia előállítása és készenlétben tartása az alapvető komfortok közé sorolható. Az újonnan fejlesztett nagysűrűségű polietilén PE-HD köpenyborítású kábelek a sokrétű igénypontok teljesítéséhez az előírt tulajdonságokkal rendelkeznek. Hasonló elvárásokat támasztanak egyéb területeken igényes követelmények kielégítésére alkalmazott PE-HD anyagokkal szemben:

- Tenger alatti kábelfektetéshez különösen nagy tisztaságú PE szükséges, mivel az anyagszerkezetben előforduló kismértékű elváltozás vezetőképessé teheti a szigetelő réteget.
- Szivattyús tárolós erőművek (Pumpspeicheerkraftwerke, PSW) szivattyúihoz, amelyek az elektromos energiát potenciális energia formájában tárolják egy víztározóban.

- Az elavult rézvezeték lecseréléséhez használt optikai kábelek polietilén köpennyel való burkolására. Az optikai kábel az elektromos kábelhez hasonló szerelvény, amely egy vagy több fényátvitelre használt optikai szálat tartalmaz. Az optikai szálas elemeket jellemzően külön-külön műanyag réteggel burkolják, és a kábel felhasználási környezetének megfelelő rugalmas PE védőcsőben helyezik el.
- Jobb fenntarthatósággal rendelkező állótasakok előállításához az egyirányban és kétirányban nyújtott, nagy szakítószilárdsággal rendelkező polietilén fóliák, valamint a metallocén katalizátorral szintetizált nagyobb sűrűségű merev és a kisebb sűrűségű különösen szívós, és jó záróképeségű fóliák nyertek alkalmazást. A metallocén katalizátorral szintetizált PE típusokban széles határok között változtatható és előre tervezhető a polimer molekulaszervezete, ezen belül az oldalláncok hossza.
- Az MDOPE fólia a közvetlenül nyomtatható és hővel lezárható PE fóliával laminált zacskók készítéséhez. A környezeti fenntarthatóság követelményeinek teljes egészében megfelelő polietilénből álló műanyag zacskó, amely kielégíti a környezeti fenntarthatóság követelményeit. Ezzel megoldódott a rugalmas csomagolóiparban a mono anyagú laminálás régóta fennálló problémája.

A kémiai úton történő reciklálás eredményei Európában

Az EU-ban rögzített hulladéktörvény értelmezése alapján az egyszerűhasználatos italos palackokhoz a palackra csavart fedél is hozzátartozik. A környezetet terhelő hulladékok csökkentése céljából a kupak palackhoz való erősítésével biztosítható az egész termék gazdaságosabb, egy technológiai folyamatban történő reciklálása. A poli(etilén-tereftalát) (PET)-ből készült termék reciklálási eljárása során a polietilént flotálással (dúsítással) nyerik vissza.

Európában 2018-ban 2,5 millió tonna PE reciklátumot (18,2% újrahasznosítási arány) dolgoztak fel, amely a 2016-ban 2,3 millió tonna újrafelhasznált PE-hez (17,3% újrahasznosítás) viszonyítva csekély növekedésnek számít. A 2022-re tervezett 3,2 millió tonna PE reciklátum (24,9% újrahasznosítási arány) azonban már jelentősebb újrahasznosítási mennyiségnek tekinthető. 2030-ra az EU jövőképét szem előtt tartva a jelenlegi számítások alapján 40% újrahasznosítási aránynak kell teljesülnie. A Plastics Europe közlése szerint a PE reciklátum túlnyomórészt gyűjtött polietilén hulladékból, különféle fröccsöntött termékek hulladékaiból, valamint használt építési és agrárfóliák újrahasznosításából tevődik össze. A következő években különösen a fúvott termékekből keletkező hulladékok növekedésére számítanak.

A körkörös gazdaság megteremtése céljából néhány évvel ezelőtt az igényelt hulladékmennyiség mechanikai reciklálása főleg a kisebb szakterületeken működő feldolgozó vállalkozási körébe tartozott, időközben azonban praktikusán a nagy alapanyaggyártók is elkötelezték magukat a PE hulladék reciklálása mellett független, vagy társult vállalkozásban:

- A világ egyik legnagyobb műanyag-, vegyipari- és finomító vállalatának tekinthető Lyondell-Basell (Ohio, USA) és a világelső német környezetvédelmi szolgáltatások **Suez Deutschland GmbH** cég (Wessling) Joint Venture vállalkozása felvásárolta a **Tivago** (Blandain, Belgium) műanyag újrahasznosító céget. Ezzel a tranzakcióval az 50:50 arányú műanyag-újrahasznosító vegyes vállalat a **Quality Circular Polymers (QCP)** részévé vált és körülbelül évi 55 000 tonnára növelte a reciklált anyagok gyártási kapacitását.
- Az **mtm plastics GmbH** (Niedergera, Németország) és az **Ecoplast GmbH** (Wildon, Ausztria) műanyag hulladékok újrahasznosításában érdekelt cégek bejelentették, hogy a **Borealis AG**

(Bécs, Ausztria) és más iparági partnerekkel a körkörös gazdálkodás előmozdítása érdekében az egész értékláncban egyesíteni kívánják erőiket.

- Az Ásványolaj és Energiakonzern **Versalis** (San Donato Milanese, Olaszország), az olasz **Eni** olaj- és energiacsoport leányvállalata a műanyag- és gumiágazatban is tevékenykedik. A cég Versalis Revive olyan PE termékeket (kis és nagy sűrűségű polietilén alapú vegyületeket) állít elő, amelyek legfeljebb 75%-ban tartalmaznak fogyasztás utáni műanyagot, főként a háztartási és városi hulladékgyűjtésből és/vagy a kereskedelemből és az iparból érkezett csomagolások újrahasznosításából származnak. Főként a mezőgazdasági szektorban csepegtető öntözéshez, valamint a csomagolási ágazatban 5 literes tartályok előállításához, ipari zsákok készítéséhez vagy akár ásványvizes palackok csomagolásához is alkalmazhatók. A közeljövőben K+F fejlesztésű termékekkel való bővítést terveznek.
- A **Recycler Montello** (Montello, Olaszország) szintén az olajiparban érdekelt vállalat, amely 350 000 tonna/év csomagolásból származó fogyasztási hulladék újrahasznosítását végzi. A Versalis és Montello cégek között megállapodás született az újrahasznosított csomagolásból készült műanyag termékek új sorozatáról. A reciklátumok lakossági csomagolási hulladékok válogatásából, PET gyűjtőhelyekről, PE-HD granulátumokból származnak. A cég 750 000 tonna/év mennyiségű különlegesen kezelt hulladékgyűjtésből származó szerves hulladék újrafeldolgozására is vállalkozott, amellyel évente 392 000 tonna CO₂ kibocsátást kerül el. A fejlett polietilén gyártási technológia és a magas szintű kereskedelem elősegítette a két vállalat együttműködését olyan termékcsalád kifejlesztésére, amely akár 70%-ban is tartalmazhat fogyasztás utáni, újrahasznosított műanyagot csomagolási és a mezőgazdasági ágazatok igényeinek kielégítésére. Az új fejlesztések jól felszerelt laboratóriumi háttérrel és a mantovai Versalis Kutatóközponttal folytatott együttműködés keretében innovatív eljárással jöttek létre.

A PE hulladékok újrahasznosítására több előnyös eljárást alkalmaznak, azonban újrafeldolgozhatóságuk eredményességét beárnyékolja a reciklátum mosószerre emlékeztető illata, amelynek megszüntetését csak igen költséges ráfordítással lehetne megoldani. Ez a körülmény egyértelműen kizárja élelmiszeripari csomagoláshoz való alkalmazhatóságukat. Az ilyen jellegű, és hasonló reciklátum felhasználási problémákat terjedelmes kutatási és fejlesztési projektek tárgyköre öleli fel, foglalja magába.

A **Biffa-High Wycombe**, az Egyesült Királyság egész területén nagy kiterjedésű raktárhálózáttal kínál hulladékgazdálkodási megoldásokat. A Biffa raktárhálózat több mint 100 éves tapasztalattal rendelkezik az élelmiszerektől a veszélyes hulladékig, valamint a kereskedelmi hulladékok területén. A cég hét állomása vállalkozik az Egyesült Királyságban a veszélyes hulladékok kezelésére, amelyek egyaránt kiterjednek az akkumulátorokra, aeroszolokra, fénycsőekre, festékekre, oldószerekre és olajokra. A raktárhálózat állomásai kezelik és feldolgozzák a potenciálisan veszélyes anyagokat, megakadályozva azok talajba jutását. A nagy szakértelemmel rendelkező csapat gondoskodik a veszélyes hulladékok megfelelő és törvényes ártalmatlanításáról.

A polietilén hulladékok mechanikai reciklálásakor a legnagyobb kihívást a sokféle termékalkalmazás magas szintű biztonsági szabványainak való megfelelés jelenti. A mechanikai újrahasznosítási technológiai folyamat során előállított anyagoknál a különleges elvárásoknak való alkalmasság sok esetben nem garantálható (például a rendkívül igényes, élelmiszerekkel való érintkezéshez, vagy a higiéne alkalmazáshoz). Ebben az esetben a törvényhozó hatóságnak meg kell találnia a helyes utat a fogyasztói biztonság és a mechanikai újrahasznosítás célkitűzése között. Az ipar éppen ezen bizonytalanság megszüntetése érdekében jelentős anyagi forrásokat

invesztált az etilén alapanyag visszanyerésébe a pirolízissel vagy elgázosítási technológiák alkalmazásával történő reciklálásba.

A kémiai reciklálás célja a hatékony és tiszta depolimerizációs eljárás

A LyondellBasell műanyaggyártó a **Karlsruher Institut für Technologie**-vel (Karlsruhei Technológiai Intézettel, KIT) kötött együttműködés körében, a MoReTec-Programm keretében kívánja hathatósan előmozdítani a műanyag hulladék vegyi újrahasznosítását. A cél rendkívül hatékony és tiszta depolimerizációs eljárás kifejlesztése új katalizátorok felhasználásával a műanyag hulladék vegyi anyagokká történő visszaállítására. A polietilén hulladék gázzal vagy pirolízissel történő felbontása új lehetőséget biztosíthat a teljes valódi anyag-körforgás létrehozására, szemben a mechanikai reciklálással végzett downcycling (hulladék kaszkádolás) eljárással, ahol gyakran az eredeti anyagnál rosszabb minőségű újrahasznosított anyagot állítanak elő.

A kémiai reciklálás rendkívüli lehetőség, határozott elmozdulás a körkörös gazdaság irányába, mivel valamennyi feltétel biztosított a jelenlegi és a jövőben elvárt termékalkalmazási követelmények teljesítéséhez. Lényeges továbbá, hogy az érvényben lévő hulladékszabályozás nyitott új technológiai eljárások bevezetésére. Nem utasítja el a kémiai úton lebontott alapanyagok reciklálási arányának meghatározását a mechanikai újrahasznosítás útján visszanyert anyagok reciklálási hányadával azonos számítási módszert. Ily módon a kémiai reciklálás alkalmazása prémiumnak tekinthető a körkörös gazdaság megvalósításában.

A polietilénnel versengő anyagokhoz képest a PE alapanyagok és feldolgozott csomagolóanyagok szállítása, valamint maga a termék előállításuk kevesebb CO₂ emissziót eredményez. A PE csomagolóanyagként való felhasználási életciklus analízise a többi alternatív anyagokhoz viszonyítva ugyancsak kisebb CO₂ emissziót igazol. Az európai PE gyártók összefogtak és a többi, a PE újrahasznosítási területén tevékeny, az értékteremtési lánc létrehozásában érdekelt csoporttal kiegészülve fordultak a német, valamint a többi uniós ország törvényalkotó és szabályozó hatóságaihoz, hogy az élelmiszer-csomagolás körében a CO₂ emisszió-határt, mint kritikus pontot tovább már ne csökkentsék. A szabálmódosítást kérelmezők elérték, hogy a legkönnyebb csomagolóanyag használatával biztosítsák az élelmiszer rövid idejű tárolhatóságát.

Nagyobb fenntarthatóság megújuló alapanyagokkal

A nagyobb fenntarthatósághoz vezető másik út a megújuló alapanyagokkal lehetséges. A megfelelő biobázisú polietilének iránti igény emelkedik. A brazil **Braskem** Braziliában, az Egyesült Államokban, Mexikóban és Németországban található 36 ipari üzemével évente több, mint 16 millió hőre lágyuló gyantát és egyéb petrokémia-terméket állít elő. A Rio Grande do Sul államban található Triunfo petrokémiai komplexumban a cég cukornád bázison évente 200 000 tonna zöld etilént állít elő, amelyet egyenértékű mennyiségű zöld műanyagká alakítanak át.

A világszerte vezető műanyaggyártó amerikai LyondellBasell 2021-ben jelentette be, hogy a németországi Wesselingben található üzemében újrahasznosított polimerek előállításához műanyag hulladékokból lebontott nyersanyagokat használ fel a körforgásos gazdaság fellendítése érdekében. A hulladék műanyagokból termikus depolimerizációs eljárással nyert nyersanyagokból etilén és propilén alapanyagokat, majd az igényes alkalmazáshoz is megfelelő jellemzőkkel bíró polietilént és polipropilént gyártottak. A műanyag hulladék sikeres lebontást követően a váladék étolajból és más megújuló nyersanyagokból készült műanyagokat is előállít, amelyek a termék

teljes életciklusa alatt csökkentik a CO₂-kibocsátást és jelentős mértékben hozzájárulnak a fosszilis eredetű nyersanyag felhasználás mérsékléséhez.

- ◆ A LyondellBasell vállalat felkészült a fenntartható megoldások körének bővítésére; *Circulen* márkanév alatt forgalmazza a megújuló nyersanyagokból készült termékeket, a reciklált összetevők használatának feltüntetésével az ügyfelek számára lehetővé teszi az újrahasznosítható polimerek különböző alkalmazásokban történő felhasználásának módjait. Ezek a termékek kiváló minőségű műanyagok előállítását teszik lehetővé, különösen szigorúan ellenőrzött alkalmazásokban (élelmiszer-csomagolásban és orvosi ellátásban) is felhasználhatók. Az igényes követelményeknek is eleget tevő termékeket előállító Lyondell bázeli üzeme megszerezte az ISCC (International Sustainability and Carbon Certification) PLUS szabványos tanúsítványt.
- ◆ A LyondellBasell vállalta, hogy 2030-ig évente 2 millió tonna újrahasznosított vagy megújuló forrásból származó polimert állít elő és értékesít, továbbá globális tevékenysége során 2030-ra a 2015-ös mérleghez képest 15%-kal csökkenti a CO₂-kibocsátást.
- ◆ A LyondellBasell az olaszországi Ferrarában 2021-re befejezte egy kísérleti telep üzembehelyezését a molekuláris újrafeldolgozási technológia tovább fejlesztéséhez, valamint a műanyag hulladékból nyert nyersanyaggá való alakításhoz és ezen alapanyagok felhasználásával új műanyagok gyártásához.

A cél egy lehetséges ipari méretű molekuláris újrafeldolgozó üzem létrehozása, amely tovább növeli a műanyag hulladékok felhasználási körét az új műanyag alapanyagok előállításához.

Az Európai Vegyipari Tanács, Belgium Igazgatósága a Rotterdamban 2021-ben tartott fenntarthatóságról szóló jelentésében kidomborította, hogy egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a környezetvédelemre, és tudatában vannak annak, mennyire fontos az újrahasznosítás és a műanyag visszaállítása a kezdeti gyártási ciklusba az élettartama végén. Az iparág azzal, hogy a körforgásos gazdaság előmozdításához az egyértelmű cselekvés érdekében már teljes üzemmódban biztosítja a műanyag hulladékokból nyert új alapanyagok kereskedelmi méretű polimergyártásban való újrafelhasználását, bizonyította a műanyag fenntarthatóságában nyújtott segítő- és cselekvőkészségét.

A tanács felhívta továbbá a hatóságok figyelmét a műanyag hulladék mennyiség drasztikus csökkentésére a jog eszközeivel, valamint az éghajlatváltozás elleni küzdelemben a fosszilis energia korlátozásának lehetőségeire.

Összeállította: dr. Pásztor Mária

U. Akgün, P. Schneider: Krisensicher in sich verändernden Märkten = Kunststoffe, 10.2022. p. 44–50.

P. Schneider, V. Lackner: Statt Funktion Nachhaltigkeit im Fokus = Kunststoffe, 10.2019. p. 40–49.