

- [6] C. M. Starks, C. L. Liotta, M. Halpern, Phase-Transfer Catalysis, Fundamentals, Applications, and Industrial Perspectives. Chapman & Hall, New York, 1994.
- [7] S. Narayan, J. Muldoon, M. G. Finn, V. V. Fokin, H. C. Kolb, K. B. Sharpless, Angew. Chem. Int. Ed. (2005) 44, 3275–3279.
- [8] WO 2003062171 (2003).
- [9] Z. Rádai, N. Z. Kiss, G. Keglevich, Curr. Org. Chem. (2018) 22, 533–556.
- [10] D. I. Nagy, A. Grün, S. Garadnay, I. Greiner, G. Keglevich, Molecules (2016) 21, e1046.
- [11] D. I. Nagy, A. Grün, K. Lévy, S. Garadnay, I. Greiner, G. Keglevich, Synth. Commun. (2018) 48, 663–671.
- [12] N. Z. Kiss, G. Keglevich, Pure Appl. Chem. (2019) 91, 59–65.
- [13] R. Henyecz, A. Kiss, V. Mórocz, N. Z. Kiss, G. Keglevich, Synth. Commun. (2019) 49, 2642–2650.
- [14] Milestones in Microwave Chemistry – SpringerBriefs in Molecular Science (ed.: G. Keglevich). Springer, Switzerland, 2016.
- [15] G. Keglevich, Z. Mucsi, in: Microwave Chemistry (eds: G. Cravotto, D. Carnaroglio). De Gruyter, Berlin, 2017, 53–64.
- [16] G. Keglevich, N. Z. Kiss, A. Grün, E. Bálint, T. Kovács, Synthesis (2017) 49, 3069–3083.
- [17] N. Z. Kiss, R. Henyecz, G. Keglevich, Molecules (2020) 25, 719.
- [18] B. Schäffner, F. Schäffner, S. P. Verevkin, A. Börner, Chem. Rev. (2010) 110, 4554–4581.

ÖSSZEFOGLALÁS

KEGLEVICH GYÖRGY: TRENDEK ÉS LEHETŐSÉGEK AZ IPARI SZERVES KÉMIA KÖRNYEZETBARÁTBABBÁ TÉTELÉRE

Komoly kihívást jelent a vegyiparban belül az alkalmazott szerves kémiai átalakítások környezetbarátabbá tétele. Egyre fontosabb kiindulási anyag az etanol, amit a cellulóz hidrolízisével nyert glükóz alkoholos erjesztésével kapnak. Ahol lehetséges (pl. a kaprolaktám, szalicilsav és *p*-aminofenol gyártása), atomhatékony átalakításokat alkalmaznak. A katalitikus átalakítások között fontos szerepet töltenek be a fázistranszfer katalitikus megvalósítások. Az alternatív oldószerként is alkalmazható ionfolyadékok számos esetben kiváló katalizátorok. A folyamatos megvalósítások – beleértve a mikrohullám által segített reakciókat – komoly áttörést hozhatnak.

Tátraaljai Dóra – Pukánszky Béla

■ BME FKAT Műanyag- és Gumiipari Laboratórium, TTK AKI Polimerfizikai Kutatócsoport | tattraaljai.dora@ttk.mta.hu

A műanyagipar és a műanyag-felhasználás környezeti hatásainak csökkentése

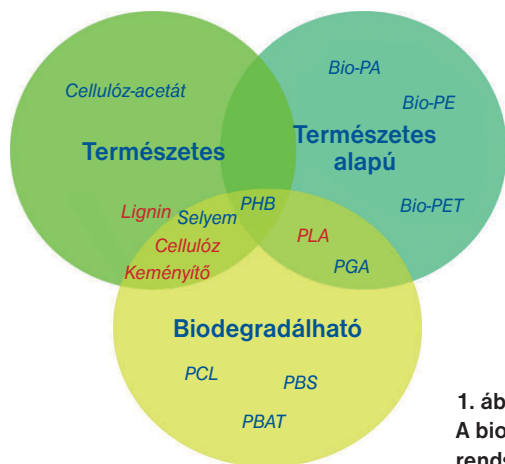
A világ műanyagtermelése az elmúlt 40 évben megnégyesződött [1], jelenleg az olajkitermelés 6%-át használják fel műanyagipari termékek gyártására [2, 3]. Ez nem véletlen, hiszen a műanyagok könnyen megmunkálható, olcsó, könnyű alapanyagok, amelyeket a csomagolóiparban, az építőiparban, az egészségügyben és még számos területen felhasználnak. Mindannyian ismerjük azonban a felelőtlen műanyag-felhasználás árnyoldalait is. Rengeteget olvashatunk, videókat láthatunk a tengeri állatok műanyagszennyezés okozta tömeges pusztulásáról, és ki ne bosszankodott volna az erdőben szétdobált hulladékok látványán. Kevesebbet hallhatunk azonban a műanyagok láthatatlan környezetterheléséről. A műanyagipar és a műanyagok felhasználása a teljes életciklus alatt 1,7 Gt CO₂-ekvivalens-kibocsátást okozott 2015-ben, ami a világ szén-dioxid-kibocsátásának 3,8%-át tette ki. Egyes kutatások szerint, ha a felhasználás ilyen ütemben nő, akkor ez 2050-re elérheti a 15%-ot [4]. A kutatók nagy része egyetért azzal, hogy elsősorban a CO₂ okolható a globális felmelegedésért és a klímaváltozásért, ezért sürgető lenne a műanyagok szénlábnomának (carbon footprint) csökkentése, vagy legalábbis a jelenlegi szint megtartása.

A műanyagok szénlábnomája csökkenthető: biopolimerek alkalmazásával, gyártásuk során megújuló energiaforrások felhasználásával, újrahasznosítással és felhasználásuk csökkentésével.

A szén-dioxid-kibocsátás csökkentési lehetőségei a műanyagiparban

Biopolimerek

Jelenleg a világon évi 360 millió tonna műanyagot termelnek. Ennek pusztán 1%-át teszik ki a bioműanyagok, de előállításuk és felhasználásuk folyamatosan nő [5]. A biopolimerek általánosságban kisebb szénlábnomával rendelkeznek, mint a hagyományos fosszilis alapú műanyagok, mivel a polimer alapját képző növény a növekedése során szén-dioxidot köt meg [6]. A biopolimereket az **1. ábrán** látható diagram alapján osztályozhatjuk. A köztudatban a természetes, a természetes alapú és a biológiailag lebomló (biodegradálható) polimerek fogalma gyakran összeemosódik. Fontos tisztázni, hogy e fogalmak egészen mást jelölnek, és az adott kategóriába tartozó polimereknek mások a tulajdonságai, bár ezek a halmazok, ahogy az **1. ábrán** is látható, átfednek egymással.



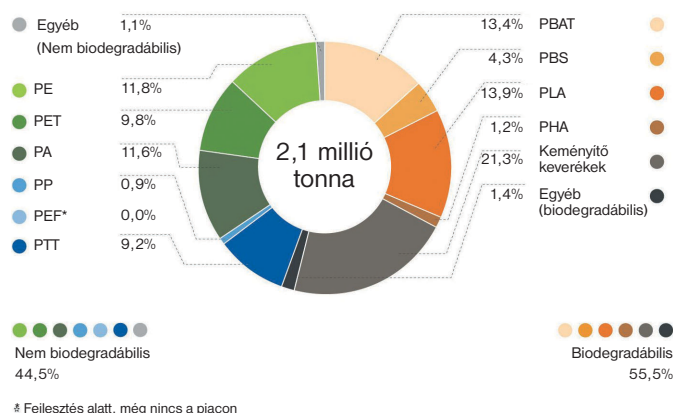
1. ábra.
A biopolimerek
rendszerezése

A természetes polimerek, a cellulóz, a lignin, a selyem polimer formában találhatók meg környezetünkben. Általában nehezen feldolgozhatók és kezelhetők, és nem helyettesíthetik a hagyományos műanyagokat. Felhasználhatók viszont töltőanyagként, mellyel a keverék szén-dioxid-mérlege jelentősen javítható. Ilyen keverékek például a fa-műanyag kompozitok (WPC), amelyek manapság már igen elterjedtek elsősorban kültéri burkolatként. Természetes alapú a biopoliamid (PA), -polietilén (PE), -polipropilén (PP): ezek természetes eredetű anyagokból előállított monomerek polimerizálásával készülnek. Szénlábnomuk közel zérus, hátrányuk azonban, hogy biológiai nem lebonthatók, mikroorganizmusok által előidézt bomlásra nem képesek. Ennek ellenére a biopolimerek piacának felét uralják [5]. A bio-PET (polietilén-tereftalát) előállítása egyelőre nem megoldott tisztán biomassza-alapon. A PET előállításához etilén-glikolra és tereftálsavra van szükség, amelyek közül csak az etilén-glikol előállítása megoldott cukornád alapanyagból, a tereftálsavat továbbra is kőolajból állítják elő.

A biodegradálható, de nem biológiai alapú polimerek csoportjába tartozik a polikaprolakton (PCL), a polibutilén-szukcinát (PBS) és a poli(butilénadipát-tereftalát) (PBAT). Ezek előnye, hogy biológiai lebonthatók, hátrányuk viszont, hogy nem csökkentik a műanyagipar szénlábnomát. Az 1. ábrán látható, hogy a polihidroxi-butyrát (PHB) felel meg minden „elvárásnak”. A PHB a polihidroxi-alkanoátok (PHA) legjelentősebb képviselője. Bioszintetikus, biokompatibilis, biodegradálható, bomlástermékei nem mérgezők. Hátránya azonban, hogy bakteriális szintézissel körülményesen és nagy költséggel állítják elő. Tömeges gyártására nem számíthatunk, elsősorban implantátumok alapanyagaként és hatóanyag-hordozó mátrixként használják. A poliglikolsav (PGA) természetes alapú és biodegradálható, de vízben könnyen bomlik, ezért csak korlátozottan használható fel. Elterjedten használják tejsavval kopolimerizálva a politejsav (PLA) bomlásának felgyorsítására, elsősorban orvosi eszközök alapanyagaként [3].

A biopolimerek piaca 2019-ben a 2. ábra szerint alakult [5]. Összesen 2,1 millió tonna biopolimert gyártottak, amelynek nagyjából fele volt biodegradálható, másik fele biológiai alapú.

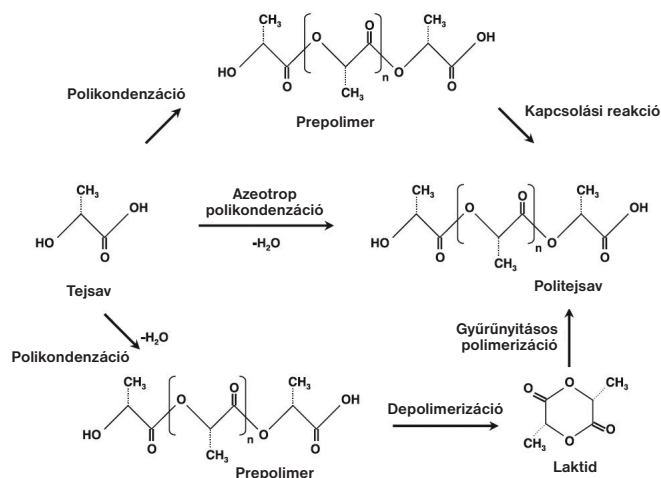
A leggyéretebb biopolimer a politejsav (PLA), amely biológiai alapú, szintetikus úton előállított polimer, de egyben biológiai is lebontható. Jó merevséggel és szilárdsággal rendelkezik, széles termékpalettát tesz lehetővé, átlátszó termékek is készíthetők belőle. Hátránya, hogy nedvességérzékeny, tulajdonságai időfüggők, hőállósága és ütésállósága gyenge és ára még viszonylag magas: körülbelül háromszoros áron szerezhető be a kőolajalapú polimerekhez képest.



2. ábra. Az előállított biopolimerek részesedése [5]

PTT: politrimetilén-tereftalát; PEF: polietilén-furanoát

A PLA előállításakor általában valamilyen cukrot fermentálnak tejsavbaktériummal; ennek során D- és L-tejsav képződik. A fermentációhoz jelentős mennyiségű kénsavat és mészkövet használnak fel, melléktermékként pedig gipsz (CaSO_4) keletkezik. Az egyszerű cukrok azonnal felhasználhatók, ezzel szemben az összetett cukrokat (keményítő, cellulóz) előbb bontani kell. Vonzó alternatíva lehet a lignocellulózok hasznosítása. Ezek jellemzően nagy mennyiségben hozzáférhető mezőgazdasági hulladékok (növények szára, levele), amelyek fermentálható szénhidrát tartalma hozzávetőlegesen 80%, ám sokkal körülményesebben használhatók fel. Először a lignintartalmat távolítják el erős savas vagy lúgos eljárással, majd enzimekkel tájékoznak fel, és teszik a mikroorganizmusok számára hozzáférhetővé az alapanyagot. Ezután a 3. ábrán látható három módszer valamelyikével állítják elő a PLA-t [7].



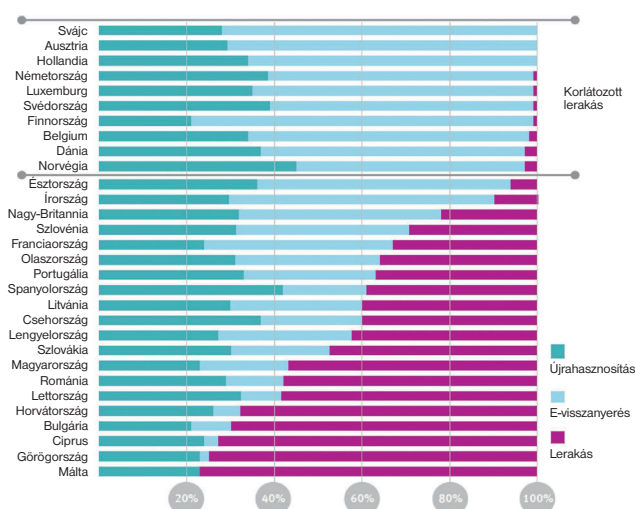
3. ábra. A politejsav előállítási lehetőségei [7]

A tejsav tisztasága és a polimerizációs körülmények jelentősen befolyásolják az előállított PLA kémiai és fizikai tulajdonságait, kristályosságát és hőállóságát. A PLA megfelelően vízmentes környezetben újra feldolgozható, depolimerizáció után a monomerek újra felhasználhatók (kémiai újrahasznosítás), és ipari körülmények között a PLA komposztálható (60–80 °C, magas páratartalom, oxigén jelenléte) [2].

Életút elemzések szerint az üvegházhatású gázok kibocsátása 40%-kal csökkenthető, ha a hagyományos fosszilis alapú műanyagokat (PE, PET) PLA-val helyettesítjük, ráadásul a PLA előállításához 25%-kal kevesebb nem megújuló energiára van szükség [3]. Meg kell azonban említeni, hogy az olyan tényezők, mint

jobban terjed az a visszagyűjtési forma, amikor a PET-palackot laposra összenyomva visszaveszik, ám a betétdíj ez esetben a szelektív hulladékgyűjtés rendszerének kiegészítése.

2018-ban körülbelül 29 Mt lakossági hulladék keletkezett Európában, amelyből 9,4 Mt műanyag-hulladékot válogattak ki fizikai újrahasznosításra. Ebből 5 Mt újrahasznosított alapanyag keletkezett, amelyből 4 Mt regnanulátumot Európán belül értékesítettek és használtak fel az **5. ábrán** látható alkalmazási területeken. Kémiaiilag csak 0,1 Mt műanyag-hulladékot hasznosítottak újra, ezzel szemben a keletkezett hulladék csaknem felét energetikailag újrahasznosították, vagyis égetőben semmisítették meg energiavisszanyerés mellett. Nagyon fontos megjegyezni, hogy az újrahasznosítás aránya tízszer nagyobb volt azokon a területeken, ahol szelektíven gyűjtik a műanyag-hulladékot (62%), mint azokon a helyeken, ahol válogatás nélküli elszállítását alkalmaznak (6%) [11]. Azokban az országokban, ahol a szemétkerakást nagyon megdrágították, 10% alatti a hulladéklerakás aránya, ellenben az ilyen fajta ösztönzés nem alkalmazó országokban 50% körül van (**6. ábra**) [13, 14].



6. ábra. Hulladékkezelés Európa különböző országaiban [14]

A fizikai újrahasznosítás során a műanyag-hulladékot válogatják, tisztítják, aprítják és újból granulálják. A legnagyobb nehézséget a vegyes műanyag-hulladék válogatása, tisztítása jelenti. Kivételt jelent a műanyag-feldolgozókból származó tiszta műanyag-hulladék, amelynek minősége, összetétele jól ismert. Ezen anyagok értékesítése a legtöbb esetben nem okoz problémát, sokszor már az adott cég újrafeldolgozza, vagy jó áron értékesíti [13]. A vegyes műanyag-hulladékot válogatás nélkül is fel lehet használni, ám ekkor jellemzően kisebb értékű másodnyersanyagot nyerünk, amelyből préseléssel vastag falú termékeket, például közlekedési táblák talpát, fekvőrendőrkötőket, vandálbiztos padokat készíthetnek. Kiterjedt kutatások folynak a vegyes műanyag-hulladék töltőanyagként való felhasználására a beton- és habarcsgyártásban. Pozitív hozadéka lehet, hogy a beton könnyebb lesz tőle, hátránya viszont, hogy rontja a mechanikai tulajdonságait és növeli az éghetőségét [15].

Értékesebb másodnyersanyag előállításához a vegyes műanyag-hulladékot válogatni kell. Ez történhet a formája alapján (kézi válogatás esetén a PET-palackok kiválogatása), sűrűség, méret (nagy méretű termékek kiválogatása), szín vagy kémiai szerkezet alapján. A válogatás országonként, régióként és cégenként is változik, általában többlépcsős, állomásos válogatók vannak. A három fő polimertípus, ami a vegyes műanyag-hulla-

dékban található, a PET, PE és a PP. A fejlettebb régiókban FT-NIR (Fourier-transzformációs közeli infravörös) spektroszkópot alkalmaznak első lépésben, majd manuálisan igyekeznek a gép által vétett hibás azonosításokat korrigálni. A tiszta PET-hulladékot szín szerint válogatva bálázzák és szállítják el. Ez a legkevesebb és legkönnyebben elkülöníthető polimertípus. Vannak válogatók, ahol kizárólag jól képzett operátorok végzik a válogatást, a termék típusa alapján tudják, hogy milyen polimerből készült az adott tárgy. Ez inkább ott jellemző, ahol viszonylag olcsó az emberi munkaerő. Szintén elterjedt válogatási mód a hulladék aprítása és sűrűség szerinti, többlépcsős szétválogatása. Az első, forgó dobban végzett mosási lépésnél a nehezebb (fém-, kő-, üveg-) részecskéket választják le. Ezt követően még több mosási, úsztatási lépéssel igyekeznek a különböző sűrűségű szemcséket szétválogatni. A műanyagok közül a PE és a PP úszik a víz tetején, míg a többi részecske lesüllyed. Ez utóbbiak a vegyes műszaki műanyagfrakciót alkotják, amit már másodlagos nyersanyagként értékesíteni tudnak. A könnyű frakcióra jellemző (PE, PP), hogy szárítása során a nagy felületű részecskéket elsodorja a légáram (fóliamaradékok), ezeket regnanulálják egy szűrővel felszerelt extruderen, és így értékesítik.

Szükség esetén különböző adalékanyagokkal, kompatibilizáló szerekkel javíthatók a regnanulátumok tulajdonságai. Feldolgozás során a hő és nyírás hatására, majd utána az alkalmazás során is degradálódnak a polimerek. Ennek megakadályozására célszerű stabilizátorokat adalékolni a regnanulálás során. Kompatibilizáló szerekkel a vegyes polimerekből álló polimerkeverékek mechanikai tulajdonságai javíthatók. Szükség lehet még színezőanyag adagolására, ami elfedi a regnanulátum sokszor nem túl vonzó színét. Tipikus ilyen színező a korom, ami olcsó és jól fedi a korábbi színt.

A kémiai újrahasznosítás még kevésbé elterjedt, de az ipar érdeklődése egyre nő iránta. Az eljárás során a polimert kis molekulájú komponensekre bontják le, melyeket vagy a műanyag-iparban, vagy egyéb területeken használnak fel. Jelenleg a kemolízis a legelterjedtebb kémiai technika: polikondenzációs műanyagok bontására alkalmas, és monomereket szolgáltat. Elsősorban PET és PUR bontására használják. A másik kémiai módszer a pirolízis, amikor oxigénszegény környezetben, magas hőmérsékleten bontják le a hulladékot koromra, pirolízisolajra és gázokra. A pirolízis akkor lehet jó megoldás, ha a mechanikai újrahasznosítás nem jöhet szóba, például többretegű fóliáknál, kompozitok vagy keverékek esetében. A harmadik módszernél, a krakolásnál katalitikusan, folyamatos eljárással bontják le a műanyagot különböző egyszerűbb szénhidrogénekre. A termékeloszlás a katalizátortól és a kezelési körülményektől függ. További lehetőség a nagy nyomáson és hőmérsékleten végzett hidrogénezés. Ekkor nő a H:C arány és csökken a keverék aromás szénhidrogéntartalma. Végül az elgázosítást lehet még megemlíteni mint kezelési módszert, amikor is magas hőmérsékleten szénhidrogénekké bontják le a polimereket. A KDV-eljárásnál alacsony nyomáson, megfelelő katalizátorok mellett a kezelt anyagból az oxigén CO₂ formájában szinte teljesen eltávolítható, míg a visszamaradó termék kerozinként vagy gázolajként használható fel [13].

A kémiai újrahasznosítás fő hátránya, hogy általában nem gazdaságos; a gazdaságosságot a kőolaj ára, a magas beruházási költségek és a viszonylag kis termelési kapacitások egyaránt befolyásolják. Egyes számítások szerint például a PET kemolízise 15 000 t/év kapacitástól lehetne nyereséges [16].

Mint láttuk, az EU fejlettebb tagállamaiban az energetikai újrahasznosítás, vagyis az energia-visszanyerés melletti égetés nagyon elterjedt eljárás, előnyben részesítik a lerakással szemben.

Alapvetően két technológiánál égetnek el műanyag hulladékot energiatermelési céllal. Az egyik a cementgyártás, a másik a kommunális hulladékégetés. Az égetés mellett esetenként szóba jöhetnek még fokozottan veszélyes anyagok kezelésére alkalmas egyéb technológiák is, például a termikus plazmákban történő hulladékkezelés. A tiszta műanyagok fűtőértéke nagyon magas, közel azonos a fűtőolajéval, ezért is alkalmas a cementgyárakban történő felhasználásra, ahol ~1500–2000 °C-ot kell előállítani. Magyarországon a négy cementgyár készséggel fogadja az elhasznált gumiabroncstól kezdve a vegyes lakossági műanyag hulladékig az összes, más módon már fel nem használható műanyag hulladékot [17]. A tüzelőanyagok egy légtérben égnék el a többi felhasznált alapanyaggal (mész, agyag), ezért a klinkerben, a cementgyártás köztütermékében oldhatatlan kötést alkotnak az elégetett hulladék maradékával, azaz gyakorlatilag nincs melléktermék az eljárásnak. Az extrém magas hőmérsékletnek és a modern füstgázszűrő berendezéseknek köszönhetően a cementgyárak károsanyag-kibocsátása minimális. A hagyományos hulladékégetőművek jellemzően 800–1100 °C körül üzemelnek. Vegyes háztartási hulladék égetésekor az égetési hatékonyság jelentősen romlik, hiszen magas víztartalmú hulladékokat is elégetnek ahelyett, hogy azok komposztálódna vagy biogázüzembe kerülne [18]. Az adott hőmérséklet-tartományban a kommunális hulladékkal bekerülő műanyag hulladékok nem bomlanak le teljesen, másrészt fokozottan veszélyes, esetenként karcinogén bomlástermékek (dioxinok, furánok, polikondenzált szerves anyagok) is képződhetnek. Kommunális hulladékok égetésekor ezért különös figyelmet kell fordítani a káros melléktermékek képződésére, és meg kell akadályozni azok kijutását a környezetbe, a véggázok termikus, kémiai vagy katalitikus utókezelésével. Szerecsére, a hulladékégetők jelenleg csak nagyon szigorú, az Európai Unió által megszabott füstgáz-ellenőrzéssel, alacsony károsanyag-kibocsátás mellett üzemeltethetők. A hulladékégetőkben képződő hő felhasználják; a Fővárosi Hulladékhasznosító Mű például 420 ezer tonna kommunális hulladék termikus hasznosítását teszi lehetővé, és ezzel 13 ezer lakás fűtéséhez szükséges gőzt és 45 ezer lakás éves villamosenergia-ellátásához szükséges energiamennyiséget állít elő [19].

Érdekes kérdés, hogy a klímaváltozás szempontjából mi lenne előnyösebb, ha lerakókba tesszük a hulladékot, amit nem tudunk újrahasznosítani, vagy ha elégetjük. Tekintve, hogy a világon még mindig hatalmas mennyiségben bányásszák és égetik a fekete- és barnakőszén, könnyű belátni, hogy valamivel kevesebb fosszilis, elsődleges nyersanyag elégetése mellett ugyanazt a végeredményt érjük el, ha modern, szűrőkkel ellátott, jó hatékonyságú hulladékégetőket építünk a lerakás helyett.

A műanyag-felhasználás csökkentése

Napjainkban egyre népszerűbb nézet, hogy a műanyag-felhasználás akkor csökkenthető, ha alulról szerveződünk, vagyis a saját szokásainkat kell megváltoztatni, hiszen az ipar és a gazdaság érdekei általában ezzel ellentétesek. A „zero waste” mozgalom képviselői például egészen extrém mértékben csökkentik a hulladéktermelésüket, gyakorlatilag nem termelnek szemetet. Csomagolásmentes boltba járnak, otthon főznek, még a higiénias termékeket is maguknak készítik maradék textilanyagokból. Természetesen az ilyen szélsőséges életmódváltást igénylő lépések a társadalom nagy részétől nem várhatók el, az emberek nem szívesen mondanak le a kényelmükről.

Másik lehetőség, hogy törvényi szabályozással igyekezzünk rábírni az embereket a takarékos műanyag-felhasználásra, illetve

az ipart arra, hogy akár magasabb költségek árán is, de környezetbarát megoldásokat és termékeket vezessen be. Az Európai Unió a műanyag hulladék csökkentése, a körkörös gazdaság irányába való elmozdulás és a tengeri állatok védelmében direktívát adott ki 2019 júniusában. Ennek értelmében az egyszerű használatos műanyagok felhasználását csökkenteni, újrahasznosítási arányát pedig növelni kell [20]. Az Unióban a tengerparti hulladékszámítás alapján a tengeri elhagyott hulladék 80–85%-a műanyag, ebből az egyszerű használatos műanyag 50%-ot, a halázzal kapcsolatos tételek pedig 27%-ot tesznek ki. Ilyen egyszerű használatos termékek például az italos palackok, készleteltárolók/felszolgáló dobozok, gyümölcsös dobozok, műanyag evőeszközök, szívószálak stb. Amennyiben lehetséges, az ilyen termékeket le kell cserélni nem műanyagra vagy többször felhasználható termékekre. Ha nincs jó alternatíva a helyettesítésre, ilyen lehet például az üdítőitalos palack, gondoskodni kell a hulladék megfelelő visszagyűjtéséről és nagy arányban történő újrahasznosításáról. Az újrahasznosítás előmozdításának jó eszköze lehet például a már említett palackvisszaváltási rendszer, vagy annak meghatározása, hogy hány százalék újrahasznosított műanyagot kell tartalmaznia az újonnan forgalomba kerülő palackoknak. ●●●

IRODALOM

- [1] R. Geyer, J. R. Jambeck, K. L. Law, Sci. Adv. (2017) 3(7), e1700782.
- [2] J. Payne, P. McKeown, M. D. Jones, Polym. Degrad. Stab. (2019) 165, 170.
- [3] Y. Zhu, C. Romain, C. K. Williams, Nature (2016) 540(7633), 354.
- [4] J. Zheng, S. Suh, Nature Clim. Ch. (2019) 9(5), 374.
- [5] Bioplastics market data 2019, Eur. Biopl. (2020).
- [6] G.-Q. Chen, M. K. Patel, Chem. Rev. (2012) 112(4), 2082.
- [7] B. Gupta, N. Revagade, J. Hilborn, Progr. in Polym. Sci. (2007) 32(4), 455.
- [8] I. D. Posen, P. Jaramillo, A. E. Landis, W. M. Griffin, Env. Res. Lett. (2017) 12(3), 034024.
- [9] EU-Parliament, Circular economy: the importance of re-using products and materials, 2015.
- [10] <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>, 2020.
- [11] The circular economy for plastics, A European Overview, Plastics Europe. 2019.
- [12] K. Hamad, M. Kaseem, F. Deri, Polym. Degrad. Stab. (2013) 98(12), 2801.
- [13] K. Ragaert, L. Delva, K. Van Geem, Waste Man. (2017) 69, 24.
- [14] PlasticsEurope, Plastics-the Facts 2019.
- [15] I. Almeshal, B. A. Tayeh, R. Alyousef, H. Alabduljabbar, A. Mustafa Mohamed, A. Alaskar, Constr. Build. Mat. (2020) 253.
- [16] N. George, T. Kurian, Ind. & Eng. Chem. Res. (2014) 53(37), 14185.
- [17] <https://www.lafarge.hu/fenntarthatosag/masodlagos-tuzeloanyag-felhasznalas>
- [18] <https://alteo.hu/eromuvek/meguujulo-gaz/nagykorosi-biogaz-uzem>
- [19] <https://www.fkf.hu/fovarosi-hulladekhasznosito>
- [20] Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2019/904 irányelve az egyes műanyagtermékek környezetre gyakorolt hatásának csökkentéséről, 2019.

ÖSSZEFOGLALÁS

TÁTRAALJAI DÓRA, PUKÁNSZKY BÉLA: A MŰANYAGIPAR ÉS A MŰANYAG-FELHASZNÁLÁS KÖRNYEZETI HATÁSAINAK CSÖKKENTÉSE

A műanyagipar és a műanyag-felhasználás jelenleg csak körülbelül 4%-ban járul hozzá a világ összes szén-dioxid-kibocsátásához, de ha a felhasználás a jelenlegi ütemben nő, akkor ez az arány sokkal nagyobb lehet a közeljövőben. Számos módszer van arra, hogy csökkentsük a műanyagok szénlábnymát, ilyen a biopolimerek bevezetése, a megújuló energiaforrások alkalmazása a gyártás során, az újrahasznosítás és a műanyag-felhasználás csökkentése. Sajnos, a jelenlegi kőolajár mellett ezek a megoldások még sokszor nem elég gazdaságosak ahhoz, hogy tért hódítsanak; egyelőre elengedhetetlen a szigorú törvényi szabályozás a környezetvédelem érdekében. Nagy szükség lenne az emberek szemléletmódjának megváltozására is, ösztönözni kellene a szelektív hulladékgyűjtést, és takarékosabban kellene bánnunk a rendelkezésünkre álló erőforrásokkal.