

## Újdonságok a kémiai reciklálás területén

A cikk olyan fejlesztéseket és beruházásokat tekint át, amely a műanyag hulladékokat kismolekulás köztitermékekkel lebontva próbálja hasznosítani. A különféle eljárások olyan krakk-olajakat és szénhidrogén elegyeket eredményeznek, amelyeket elsősorban új polimerek előállítására használnak. A nagy vegyipari konszernek és a csomagolóipari felhasználók közös erőfeszítéseket tesznek a körkörös gazdaság megvalósítására.

*Tárgyszavak: termikus reciklálás, pirolízis, gőz-krakkolás, szuperkritikus víz*

Noha ismert, hogy a műanyag hulladék újrahasznosításának egyik legkedvezőbb módja a mechanikai reciklálás, amelynek során a hőre lágyuló anyagokat megömlesztik, a kapott ömledéket „feljavítják” (részben frissen készült polimerekkel keverve, részben utósztabilizálva), majd új terméké alakítják. Ez azonban nem mindig lehetséges, vagy egyes esetekben nem ez a legkedvezőbb megoldás. A másik „népszerű” felhasználási mód az energetikai hasznosítás, amelynek során a műanyag hulladékot ideális esetben vízzé és széndioxiddá égetik és a felszabaduló hőenergiát hasznosítják – de itt is vannak nehézségek az adalékokból vagy egyes műanyagokból felszabaduló toxikus égéstermékek miatt. Éppen ezért a világ nagyvállalatai és fejlesztő központjai folyamatosan keresik annak a lehetőségét is, hogy miként lehetne a műanyag hulladékot olyan intermediereké visszabontani, amelyet újra fel lehet használni akár üzemanyagként, akár a petrokémiai feldolgozási láncba vissza lehet vezetni.

Az Egyesült Államokban működő **Nexus** cég (Atlanta, GA, USA) kereskedelmi léptékben alakít át műanyag hulladékot hasznos vegyszerekké. Most a multinacionális **Wood** céggel karöltve, amely tanácsadással és mérnöki tevékenységgel foglalkozik, globálisan terjeszteni kívánja technológiáját. Ennek első lépése az atlantai üzem léptéknövelése, hogy fel legyenek készülve a nagyobb léptékű terjeszkedésre. A cég 100%-os reciklálást végez, vagyis a képződő monomereket friss műanyaggá dolgozza vissza olyan cégek részvételével, mint a **Royal Dutch Shell** vagy a **Chevron Phillips**. A technológia nem eredményez szennyvizet, a gázkibocsátás a megengedett szabványok alatt marad, a teljes lánc gazdaságosan működtethető. A cég szerint a technológia a versenytársaknál kevesebb fajlagos tőkebefektetést igényel, hatékonysága 10–20%-kal nagyobb, és tud fizetni a felvásárolt hulladékért. A feldolgozott hulladékot a fent említett nagy gyártócégeknek adják el, akik hozzákeverik saját nyersanyagáramukhoz az új polimergyártás folyamán. A Nexus számos európai és amerikai cégnek küldött mintákat bevizsgálásra és próbálja kiépíteni kapcsolati hálóját.

A Nexus cég 2008-ban alakult, amelynek során először intenzív K+F tevékenység indult, majd létrejött egy félüzem a technológia életképességének bizonyítására. A technológia alapvetően termikus depolimerizációra épül egy pirolitikus reaktorban, de ezt a műanyagok válogatása és aprítása előzi meg. A feldolgozható műanyagok polietilénre, polipropilénre és polisztirolra terjednek ki. A rendszer (bizonyos határig) képes olyan szennyezések eltávolítására, mint a papír, karton, nedvesség, PET, poliamid vagy PVC – mert ezek nem alakíthatók át olajjá. Ezért (eltekintve a fent említett szennyezőktől) 100%-os újrahasznosításról lehet beszélni. Tekintettel arra, hogy az eredeti molekulaszervezet teljesen lebomlik, kémiai, és nem fizikai reciklálásról van

szó. Ez a ciklus tetszőleges számú alkalommal megismételhető, szemben az ömledékké történő visszaalakításról, ahol minden egyes ciklusban romlanak a feldolgozott anyag jellemzői (tipikusan a viszkozitás, a szilárdság és a szakadási nyúlás is csökken). A cég azt is fontosnak tartja kiemelni, hogy nem versenyeznek a mechanikai reciklálókcal a felhasználható hulladék „nyersanyagért”, mert a Nexus olyan hulladékokat (is) felhasznál, amelyek nem alkalmasak mechanikai reciklálásra, mint amilyenek például a gyengébb minőségű fóliák vagy a polisztirol habok.

A Nexus a polietilén, polipropilén és polisztirol hulladékokra koncentrálna. Polietilénből készült számos olyan csomagoló fólia, amelynek nincs elvárt élettartama, ezért gyengébben adalékolt, és többnyire a szeméttelpeken köt ki. A bejövő hulladéknak a minősége, összetétele és mennyisége is fontos. Ha ezen paraméterek bármelyike kívül esik egy meghatározott tartományon, az az egész értékláncot negatívan befolyásolja. Noha rengeteg a műanyag hulladék világszerte, ennek szennyezettsége, a visszagyűjtés elégtelensége és válogatása gyakran megakadályozza az újrehasznosítást. Az ipari méretű hasznosítást befolyásolja még a friss polimer piaci árának ingadozása, a friss polimerbe történő bedolgozhatóság mértéke, valamint a feldolgozó kapacitások földrajzi eloszlása. A cég optimistán tekint a jövőbe, mert véleményük szerint kevesen tudnak olyan jó minőségű pirolízisokat kínálni, mint ők, és a kereslet szinte végtelen. Atlantában már sikerül bizonyítani, hogy a technológia gazdaságosan működtethető, ezért most minden kontinensen terjeszkedni szeretnének.

Ahhoz, hogy egy valóban körforgásos gazdaság tudjon kialakulni minden érintett szereplő közreműködésére szükség van. A felelősség hordozása ott kezdődik, hogy a végtermék gyártóknak olyan termékeket kell előállítaniuk, amelyet könnyebb reciklálni. Ennek legjobb példája a sokrétegű csomagolóanyagok kerülése – ami azonban felhasználói kényelemcsökkenéssel jár, tehát a vevői igényekből is le kell adni. Föltétlenül javítani kell a hulladékgyűjtés mértékén és a szelektálás minőségén. A törvényi háttérnek segítenie kell a sokféle reciklálási mód együttélését, ami ösztönzi az innovációt. Elkerülhetetlen az egyéni és a cégszintű felhasználók folyamatos oktatása a műanyag-felhasználás előnyeiről, ugyanakkor a felhasználói felelősségről a felhasználás utáni visszagyűjtésben.

## Kémiai reciklálás a multiknál

A félüzemi kísérletek után számos más vállalat is léptéket váltott. A **SABIC** piacra lépett saját reciklált PP anyagaival. A Magnum jégkém dobozaiból 2019-ben 600 00 készült, 2020-ban ez a szám már 7 millióra nőtt, 2021-ben pedig már a világpiacon is megjelent ez a termék. A SABIC a kémiai reciklálás területén az **Eastman** céggel működik együtt, hogy az újrafeldolgozott termékek minél hamarabb bevezetésre kerüljenek a fogyasztási cikkek piacán. A folyamatban az értéklánc minden tagja érdekelt, a nyersanyaggyártók, a feldolgozók, a fogyasztási cikkek gyártói és a vevők is. A tervezett beruházások a Plastics Europe portál szerint 2025-re 2,6 milliárd, 2030-ra 7,2 milliárd EUR értéket tesznek ki. Ez 13 EU ország 44 tervezett projektjére vonatkozik. Az EU-ban a közösségi parlament új tervet készített Új cirkuláris gazdaság akcióterv (CEAP) néven, amely jogszabályokkal is támogatja a kémiai reciklálást, mint ami hozzájárulhat a körkörös gazdaság ciklusának lezárásához. A támogatáshoz kidolgozták azt a kritérium-rendszert is, amely feltétele a támogatás elnyerésének. Az *1. táblázatban* konkrét példákat sorolunk fel megvalósult, kémiai reciklátumokra épülő csomagolási megoldásokra.

Az USA-ban egyelőre kevésbé tiszta a kémiai reciklálás törvényi háttere, mert ellentétes tendenciák harcolnak. A kongresszusban született olyan törvény is, amely gátolja a fejlett reciklálás terjedését azt remélve, hogy ezzel a műanyagok csomagolóanyagként való alkalmazása

1. táblázat.

Piackész, kémiailag reciklált anyagokból készülő termékek

Időpont	Termék	Cég/márka	A reciklált granulátum gyártója	Polimer típusa	
<b>Élelmiszer csomagolás</b>					
2019. augusztus	Jégkrém doboz	Unilever (Magnum)	SABIC (TrueCircle)	rPP	
2020. június	Húscsomagolás	Zur Mühlen csoport (Gutfried)	BASF & Sabic	rPA (BASF) rPE (SABIC)	
2020. szeptember	Sajtsomagolás	Bradburys Cheese	SABIC	rPP	
2020. november	Állateledel csomagolás	Mars (állateledetek)	SABIC	rPP	
2020. december	Joghurtos doboz	Yoplait	Total	rPS	
2021. március	Csokoládé csomagolás	Nestle (KitKat)	LyondellBasell	rPP	
2021. április	Ételtároló dobozok	Tupperware (ECO + products)	Lunch-it tárolók és szendvics tartók	Eastman (Tritan Renew)	r-kopoliészter
2021. május	Tejesüvegek	LACTEL (Lacel tejesüvegek)		INEOS	rHDPE
2021. június	Többször felhasználható vizesüvegek	Eco Ello üveg		Eastman (Tritan Renew)	r-kopoliészter
<b>Háztartási és kozmetikai csomagolás</b>					
2019. október	Mosószer és háztartási vegyszer csomagolás	Henkel (Perwoll)	BASF (ChemCycling)	rPE	
2020. október	Kozmetikum-csomagolás	Estée Lauder (Clear Improvement aktív faszén maszk)	SABIC	rPP (kupak) rPE (tubus)	
2021. június	Kozmetikum-csomagolás	Kao Twany (kozmetikum üveg/tartály)	PET Refine Technology Co. Ltd. (JEPLAN, BRING Technology)	rPET	
2021. június	Kozmetikum-csomagolás	LVMH (Dior Addcit ajaknagycsökkentő)	Eastman (Cristal Renew)	r-kopoliészter	

is csökkenni fog. Ugyanakkor Louisiana és 13 másik állam olyan helyi törvényt fogadott el, amely támogatja a kémiai reciklálást. Az Eastman cég, miután bevezette *Tritan Renew* nevű kopoliészterjét, amely 50% kémiai PET reciklátumot tartalmaz, a következő két évben mintegy 250 millió dollárt tervez befektetni egy kémiai recikláló üzembe, amely kb. 100 000 t hulladékot tud feldolgozni. A 2. táblázatban néhány további, folyamatban levő beruházást ismertetünk. A **Plastic Energy** cég, amely gyorsan növekedő startup ezen a területen, jelenleg három üzemet működtet nagy polimergyártókkal és csomagolóanyagot felhasználó élelmiszeripari és háztartás vegyipari gyártókkal kooperálva (2. táblázat). Az első üzemet a **Total** céggel együtt nyitották meg 2020-ban. 2021 januárjában a SABIC céggel indítottak egy közös vállalatot **SPEAR** néven,

## 2. táblázat.

Építés alatt álló, ipari léptékű üzemek a Plastic Energy cég részvételével

	1. üzem	2. üzem	3. üzem
Együttműködő partner	Total	Sabic	ExxonMobil
Telephely	Grandpuits, Franciaország	Geleen Hollandia	Normandia, Franciaország
Kapacitás [tonna/év]	15 000	20 000	25 000 (induló) 33 000 (későbbi cél)
Befejezés várható ideje	2023 eleje	2022 második fele	2023

amely ugyancsak pirolízist alkalmaz a kémiai reciklálásra. 2021 márciusában az **Exxon Mobil** céggel Franciaországban kezdték meg egy új üzem építését. A Plastic Energy Thermal Anaerobic (légmentes termikus) technológiája nehezen feldolgozható keverék műanyag hulladékok hasznosítására is alkalmas, amelyek háztartási, ipari és mezőgazdasági eredetű műanyag hulladékot is tartalmaznak. A kapott termék a *Tacoil*, amelyet műanyaggyártásra vagy egyéb hasznos termékek gyártására lehet felhasználni.

A **ReNew ELP** nevű cég, amely a **Mura Technology** nagy britanniai leányvállalata, egy 80 000 tonnás üzem épít Nagy Britanniában, amelyet 2022 során terveznek üzembe helyezni. A beruházási banki és állami forrásokat is kapott. A Mura a **Dow Chemical**-lal társult, amely segít a léptéknövelésben és egyben fel is használja a reciklált olajat a termeléshez. A Mura védett HydroPRS technológiája (amelynek licencét a **Licella Holdings Ltd.** adta) szuperkritikus gőzt használ a műanyag hulladék lebontásához. Ez a módszer meglehetősen rövid idő (nagyságrendileg fél óra) alatt képes szinte bármilyen műanyag lebontására, beleértve a többrétegű rugalmas fóliákat is. A Mura tervei szerint 2025-re már 1 millió tonnás kapacitás kiépítését tervezi világszerte. További üzemeket készül építeni Németországban, az USA-ba és Ázsiában. Licence megállapodást írtak alá a **Mitsubishi Chemicals** céggel.

Hollandiában az **Itero** cég tervez egy kereskedelmi célú recikláló üzem, amely 25 millió EUR befektetést igényel. A 27 000 tonna/év kapacitású üzem várhatóan 2023-ban kezdi meg működését. A pirolitikus technológia termékei négy csoportba oszthatók: benzin, viasz, pirolízis olaj és gáz, valamint folyékony szénhidrogének. Jelenleg egy modult építenek, amelyhez igény szerint továbbiak kapcsolhatók. További projektek is szerepelnek a listán. A **Carbios**, amely nagy európai kozmetikai és élelmiszeripari cégeket lát el műanyaggal, egy évi 40 000 tonnás üzem építését tervezi 2025-re, és már tesztelésre megküldte partnereinek az enzimátikus úton reciklált PET-ből készült palackokat. A **Borealis** a **Stena Recycling** céggel együttműködve tervezi egy kémiai recikláló üzem építését 2024-ben Svédországban. Dél-Koreában a **Brightmark** egyezett meg az **SK Chemicals**-szel, hogy közösen megvalósíthatósági tanulmányt készítsenek a **Brightmark** technológiájának telepítéséről és ha az pozitív eredményt hoz, közös vállalatot hoznak létre egy évi 200 000 tonna kapacitású pirolízis üzem felépítésére. A Brightmark az USA-ban is tervezi egy 680 millió USD értékű üzem telepítését.

A **Synova** és a **Technip Energies** cég együttműködésének célja egy olyan, kereskedelmi léptékben működő üzem létrehozása, amely úgy képes a hulladékokat olefinekké alakítani, hogy ne legyen szükség az elkerülhetetlen biogén eredetű hulladékkomponensek előzetes eltávolítására. Ehhez a Technip gőz-krakkoló eljárását használják. A technológia eredetileg a holland **TNO** alkalmazott kutatóintézet találmánya, amelyet a Synova fejlesztett tovább. A technológia a nem kívánatos kátrányszerű anyagok 99,9%-át eltávolítja és jó energiahatékonysága miatt kisebb karbon-lábnyom mint más versenytárs technológiák esetében. A technológia részét

képezik a tisztítási lépések, ami jobban integrálhatóvá teszi a jelenlegi krakkoló üzemekbe. Az **Agilyx** és az **AmSty** cégek egy fejlett technológiájú polisztirol feldolgozó üzemet készülnék építeni az USA-ban, és az Agilyx szerződést kötött a **NextChem** céggel további kémiai recikláló üzemek fejlesztésére világszerte. Az ExxonMobil és az Agilyx közös vállalatot hozott létre **Cyclyx International LLC** néven, amely hulladékot gyűjt, válogat és előkészít az Exxon fejlett újrahasznosítási technológiája számára. A technológiák minősítésében fontos szerepet játszik az International Sustainability and Carbon Certification Plus (ISCC+) eljárás, amelyet minél több cég igyekszik megszerezni a piaci pozíciók javítására. Az olasz **ENI** egyik leánycége, a **Versalis** szerzett ilyen minősítést bioüzemanyagai és pirolízis-olajai számára, amelyekből monomerek, intermedierek és polimerek készíthetők. A Versalis és a **Servizi di Ricerche e Sviluppo** (S.R.S.) együtt fejlesztenek ki egy értéknövelő eljárást, amely olyan kevert műanyag hulladék feldolgozását is lehetővé teszi, amit mechanikai reciklálással nem lehetett hasznosítani. A bemutatott üzem évi 6000 tonna kapacitású lesz és Mantovában épül.

Az **OMV** és a **Borealis** közösen indította el ReOil programját, és a Borealis szerződést írt alá a **Renasci Oostende Recycling NV** céggel az ISCC+ tanúsított reciklált olaj-ellátásról. Ezt a *Borocycle C* márkanévű termékek előállítására használják fel. A **Chevron Phillips Chemical (CPCChem)** cég ugyancsak ISCC+ tanúsítványt szerzett saját körkörös PE technológiájára, és a tervek szerint 2303-ra évi 500 000 tonnás termelést tervez. A Chevron Phillipsnek a **Nexus Fuels** és a **Braven Environmental** cégekkel is szerződése van pirolízis-olaj szállítására.

## További kémiai reciklálási projektek

A **LyondellBasell**, a **Dow Chemical** és a **Nova Chemicals Closed Loop Partners** néven ez olyan szövetséget hozott létre, amely arra hivatott, hogy gyorsítsa a műanyag újrafeldolgozás elterjedését az Egyesült Államokban és Kanadában, a begyűjtéstől a szelektáláson keresztül az egész infrastruktúra fejlesztéséig, beleértve a logisztikát, az üzemeket és a berendezéseket. Elsősorban az élelmiszeripari és az orvosi alkalmazásokban használt PE és PP típusokra koncentrálnak. A **BASF** 2018 óta nagyon aktívan részt vett a kémiai reciklálás fejlesztésében (ChemCycling projekt). Most a **Quantafuel** és a **Remondis** cégekkel Közép-Európában, a **Mitsui Chemicals Group** társaként Japánban készít megvalósíthatósági tanulmányokat ezen a területen. Ezek egyik célja az érintett minisztériumok, ügynökségek és ipari csoportok közti együttműködés javítása.

A **SABIC** a **Procter and Gamble**, valamint a német **Fraunhofer Intézet** együttműködésével kidolgoztak egy eljárást az egyszer használatos maszkok zártkörű reciklálására is. A Fraunhofer Intézettől kapott pirolízis-olaj felhasználásával *Truecircle* néven jó minőségű PP-t gyárt, amelyet a P&G nemszött kelmévé alakít és felhasznált maszkok gyártásánál. Az **Arkema** és a **JSW Europe** az EU 2020 Horizon program PMMA (polimetil-metkarilát) kémiai újrafeldolgozására társultak. A **Retichel** és a **Covestro** ugyancsak az EU 2020 Horizon program részeként a poliuretánok kémiai lebontásával és az építőkövek (poliol és izocianát) visszanyerésével kísérleteznek, a kitűzött cél a poliuretán termékek 90%-os visszanyerése és ők szeretnék a világon elsőként forgalmazni a reciklált izocianátot.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György

Caliendo H.: Commercial-Scale Chemical Recycling at Work – Plastics Technology, 2021. július, <https://www.ptonline.com/blog/post/commercial-scale-chemical-recycling-at-work>

Das S.: Chemical Recycling Poised to Take Off – Plastics Technology, 2021. szeptember, <https://www.ptonline.com/articles/chemical-recycling-ready-to-take-off>

Chemical Recycling Gathers Pace, Compounding World, 2021. április, p. 14.