

Az újrahasznosítás nehézségei a műanyag hulladékok visszaforgatásakor

A műanyag hulladékok újrahasznosítását mindenki támogatja, és a hatósági szabályozás is a körkörös gazdaság felé terelgeti őket. A helyzet azért nem olyan rózsás. A PET palackok visszaforgatása ugyan viszonylag sikeres, de a csomagolási hulladék sokfélesége, különösen, ha az nem csupán műanyagot tartalmaz, még sok gondot okoz. A háztartási szemétből származó hulladék legtöbbször szennyezett, és néha kellemetlen szaga van. Ha ezt a szagot nem sikerül megszüntetni, a hulladékból készített termékeket a vásárlók nem fogják megvenni. A hulladékfeldolgozók ezért ezzel is próbálkoznak.

Tárgyszavak: műanyag hulladék; hulladékhasznosítás; fém/műanyag apró tárgyak; PET palackok; szagtalanítás.

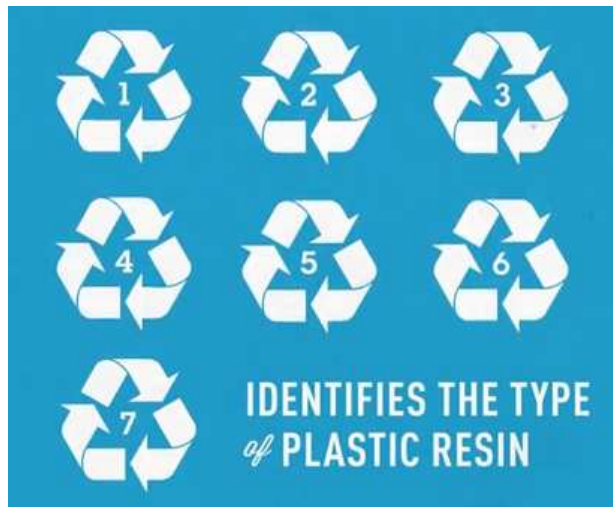
Az innovatív csomagolástól gyakran megfájdul a hulladékfeldolgozók feje

A csomagolóeszközöket gyártó cégektől elvárják, hogy termékeik lehetőleg többfunkciósak, vonzóak, a vásárlók figyelmét felkeltőek legyenek. Tervezőik ezeket az igényeket maximálisan ki akarják elégíteni, ezért a csomagolóeszközök néha elég komplikáltak, gyakran különböző színű és fajtájú műanyagból épülnek fel, esetleg más típusú anyagokat, pl. fémet is tartalmaznak. Ha a megszokott hulladékáramban megjelenik egy ilyen „innovatív” csomagolóeszköz, a hulladékfeldolgozó üzemben könnyen megfájdul az üzemi stáb feje, mert egy idegen anyag nagy mennyiségű visszaforgatott műanyagot képes elszennyezni. Nincs kompromisszum, az idegen anyagot el kell távolítani, vagy meg kell határozni az a kritikus tömeget, amely még nem veszélyezteti a visszaforgatott műanyag minőségét. Ez természetesen plusz költséggel jár, de néha az addig alkalmazott visszanyerési technológiát is módosítani kell.

Nemcsak a hulladékáramot szennyező idegen anyag, hanem a csomagolóeszköz mérete is gondot okozhat a hulladékhasznosítóknak. Egyre több ugyanis a kisméretű csomagolóeszköz (pl. az élelmiszerek és kozmetikumok forgalmazásában megszokott dobozok, kávékapszulák; a gyógyszerek forgalmazásához alkalmazott kis hengeres tartályok, ill. a tabletták buborékcsomagolásához használt műanyag lapocskák), amelyek egyszerűen átesnek a válogatósorok legtöbbször 5 cm körüli méretű szűrőnyílásaiban, emiatt sok visszaforgatható anyag esik ki az anyagok körforgásából.

1992-ben alakult meg Washingtonban a műanyag-visszaforgatók szövetsége (APR, Association of Plastic Recyclers), amely első kiadványában (*Design Guide for*

Recyclability) útmutatást adott a műanyagok reciklálhatóság szerinti minősítéséhez (1. ábra). 2008-ban publikált második kiadványában (Critical Guidance Recognition)



1. ábra A műanyagok visszaforgathatósági fokozatát jelző címke. Minél kisebb a logó közepén a szám, annál jobban megvan oldva a műanyag újrahasznosítása

ben a műanyagok újrafeldolgozását akadályozó különböző akadályokat igyekeztek megoldani.

Apró csomagolóeszközök anyagának visszanyerése

A Keurig Green Mountain Inc. (Waterbury, Vermont, USA) profilja a kávéforgalmazás. A cég nem véletlenül hordozza nevében a „zöld” jelzőt, tenni is akar valamit a környezet megkíméléseért. Ezért annak járt utána, hogy a hulladékáram útja során hol hullanak ki a rendszerből (és mennek veszendőbe) a 2 inchnél (5 cm) kisebb átmérőjű kávékapszulák. Az APR szerint ezek a szétválasztási folyamat kezdetén, a szűrődobokban és szűrőtárcsáknál az üvegtörmelékkel, a kövekkel és más szennyezőanyagokkal együtt kerülnek ki a rendszerből. A Keurig cég ezt vitatta, és nyolc hulladékkezelő cégnél végzett kísérleteket, ahol a hulladékáramba RFID-vel jelölt teljesen zárt (talppal rendelkező) és üres (talp nélküli) kapszulákat kevert. A kapszulák fala két PP réteg között vékony EVOH záróréteget tartalmazott ragasztóréteg nélkül. A kísérletekben a talpas kapszulák 87%-a, a talp nélküli kapszulák 90%-a túljutott az üvegtelenítő szakaszon, a szétválogató szakaszon viszont a talpas kapszulák 60–70%-át, az üres kapszulák 15–60%-át selejtezte ki a rendszer. Ennek oka a rossz beállítás; az optikai rendszer hiánya okozta, de ha volt is optikai rendszer, a selejtezést végző fűvókát nem ezekhez, hanem a nagyobb méretű csomagolóeszközökhöz kalibrálták.

A kis csomagolóeszközöket a mai robotok is ki tudnák gyűjteni a hulladékáramból, számos MRF legalábbis ebben reménykedik. Három cégnél kamerákkal és mes-

terséges intelligenciával ellátott robotokat próbáltak ki, amelyeket „megtanítottak” arra, hogy a hulladékáramban a logók, formák, színek, címkék alapján felismerjék a kiemelendő darabokat.

Az első két „okos” robotba a Sadako Technologies SL (Barcelona, Spanyolország) mesterséges intelligenciáját építették be, közülük az elsőt 2016-ban a Barcelonához közeli Ecoparc4 Treatment Plant nevű hulladékfeldolgozó üzemben mutatták be. Ennek tulajdonosa a Ferrovial Services. A robot optikai felismeréssel speciális PET tartályokat különített el a hulladékáramból.

A másik „okos” robotot a Bulk Handling Systemsnél (BHS, Eugene, Oregon, USA) és ennek leányvállalatánál, a National Recycling Technologies LLC-nél (NRT, Nashville, Tennessee, USA) hozták létre, ahol a hulladékkezelő berendezésbe beépítették a Sadako kognitív és optikai szoftverjét. A BHS/NRT az első kereskedelmi forgalomban megjelenő robot, amely Sadako szoftverrel dolgozik. Neve *Max-AI* (artificial intelligence). Elsőként 2017 óta az Athens Services MRF (Sun Valley, Kalifornia, USA) alkalmazza, és tiszta PET áramból kell kiválasztania az alumíniumot és a nem-PET csomagolóeszközöket, beleértve az apró kávékapszulákat is. A Sadako szoftver nélkül a robot típus és méret szerint ugyancsak képes kiválogatni a hulladékból a műanyagokat.

A mesterséges intelligenciával dolgozó harmadik robotot az AMP Robotics LLC (Golden, Colorado, USA) építette. Neve *Cortex*, „beceneve” *Clark*. 2016-ban az Alpine Waste & Recycling’s Altogether Recycling MRF-nél (Denver, Colorado, USA) lépett munkába.

A felsorolt robotok mindegyikének ugyanaz a fajtájú négykarú ABB robot az alapgépe.

A ZenRobotics Oy (Helsinki, Finnország) nagyméretű, nagy erejű két- és háromkarú „okos” robotokat gyárt építőanyagok és bontási hulladék szétválogatására. A cég 2014 óta kilenc ilyen gépet adott el.

Az első kereskedelmi forgalomban megjelent robotizált válogatórendszert a Bollegraaf Recycling Mashinery BV (Appingdam, Hollandia) építette. Ennek nincs mesterséges intelligenciája, de van a közeli infravörös (NIR) tartományban működő azonosító rendszere, fémdetektora, szín szerinti megkülönböztető érzékelője. Első RoBB robotját 2013-ban az Egyesült Királyságban, a Hanbury Plastics Recycling cégnél (Stoke-on-Trent) telepítette, két továbbit Hollandiában állított fel.

Némi zavar van a PET, PETG és EPET palackok anyagának visszaforgatásában

A fröccsöntött előformából nyújtva-fúvással gyártott, sok glikollal módosított poli(etilén-glikol-tereftalát) (PETG) palackok az 1970-es évek közepén, a módosíthatatlan PET-ből gyártottak az 1970-es évek végén kerültek forgalomba. A *PETG és PET palackok anyagát nem lehet együttesen reciklálni*, mert az amorf PETG már 210-227 °C között meglágyul, a részlegesen kristályos PET olvadáspontja viszont 246 °C. Mindkét polimert megömlés előtt ki kell szárítani, de a PETG szárításakor legfeljebb 70 °C lehet a hőmérséklet, a PET gazdaságosan viszont csak 150 °C-on szárítható. Ha a PET

hulladékáramában akár csak 2–5% PETG van, az meglágyulva összetapasztja a felapított PET pelyheket, ragacos masszát képez és eltömi a szárítót. A PET anyagáramában maximálisan 0,5–2% PETG tolerálható. Kezdetben ez nem okozott gondot, mert az újrahasznosító üzemekbe kizárólag visszagyűjtött palackok kerültek; a hengeres palackok csak PET-ből készültek, a PETG-ből viszont narancsléhez fűvott fogantyús palackokat gyártottak. Válogatáskor az átlátszó fogantyús palackokat kivették a PET áramból, mert tudták, hogy azok anyaga PVC vagy PETG.

A NIR detektorok nem tudják biztonsággal megkülönböztetni a PET és a PETG palackokat, különösen akkor, ha azok nem elég tiszták. Mosás után a szétválasztás jobb hatásfokkal végezhető. A hulladékkezelő cégek ezért gazdasági megfontolásból ezt a megoldást választják, de reklamálnak, ha a hulladékbálákban túl sok a PETG palack.

Az 1990-es években kerültek forgalomba a PET egy újabb változatából, a nagyobb mennyiségű etilénlikollal kopolimerizált EPET-ből készített palackok, amelyeket extrúziós fűvással gyártottak. Ezek kezdetben törekenyek voltak. Később sikerült ejtési szilárdságukat javítani, a PepsiCo cég (Purchase, N.Y. USA) cég ezért 2014 után Tropicana márkanévű narancslevét PETG helyett EPET palackokban forgalmazza, amelyek visszaforgathatóságát #1 értékkel minősíti. Az APR azonban többféle EPET típust sorol fel egyik kiadványában a „kritikus” anyagok között.

A Coca Cola Co. (Atlanta, GA, USA) több üdítőitalát bizonyos térfogatban ugyancsak EPET palackban forgalmazza a korábbi PETG helyett, de fogantyús palackjait 2017-ig is PETG-ből készítette, amelyek címkéjén a #7 vagy „egyéb” visszaforgathatósági minősítés szerepelt. Újabban a fogantyús palackokat is EPET-ből gyártják.

Kaliforniában minden műanyag palackra adót vetnek ki, ha abban sört, bort, tömény italt, üdítő- vagy más nem-alkoholos italt – kivéve a tejet – forgalmaznak. Az adó mértéke a műanyag fajtájától függ, a palack mérete közömbös. 1000 db PET #1 palack után 0,35 USD centet, 1000 db #7 vagy „egyéb” minősítésű műanyagból készített tartály után 70,58 USD-t kell fizetni. Más hőre lágyuló műanyagból hőformázott csomagolóeszközt az adózás nem érint.

Visszaforgatható a fémfedeleles műanyag üdítőitalos doboz anyaga vagy nem?

Az fémfedéllel ellátott ötrétegű és záróréteges műanyag dobozok és az üdítőitalos PET dobozok az 1980-as évek újdonságai voltak, amelyek ellen akkor az üdítőitalok gyártói azért tiltakoztak, mert kétségbe vonták anyagaik visszaforgathatóságát, az USA négy államban pedig be is tiltották őket. A négy államból háromban ma is érvényes a tilalom, de csak az italokra vonatkozik, az egyéb élelmiszerre nem. A legújabb fémfedeleles dobozok fala ma már átlátszó, újrahasznosításuk vitái változatlanok.

A Sonoco Products Co (Hartsville, S.C., USA) 2015-ben az amerikai NPE műanyag-kiállításon mutatta be új *TrueVue* márkanévű csomagolóeszközét, amelyet ötrétegű csőből készített (felépítése: PP/ragasztó/EVOH/ragasztó/PP) alsó és felső fémfedéllel. Ilyen dobozok ma is megtalálhatók bizonyos amerikai szupermarket-hálózatok

polcain. Ha ezek a dobozok eljutnak a hulladékhasznosító üzemekbe, ahol mágnessel kiemelik őket a hulladékáramból, majd a fémhasznosítóba kerülnek, ahol a műanyagot leégetik a fémről, a fémet újra hasznosítják. A műanyag elégetésekor valamennyi hőenergia felszabadul és hozzájárul a fém megolvasztásához, de tény, hogy a fémfeldolgozó a dobozon lévő műanyag tömegéért is fizet, amelynek anyagát nem tudja hasznosítani.

Kicsit bonyolultabb a Milacron cég (Batavia, Ohio) átlátszó falú, háromrétegű (PP/EVOH/PP) fröccsöntött doboza (2. ábra, márkanéve *Klear Can*), amelyen a fém-



2. ábra A Milacron cég átlátszó falú, alumíniumfedelű *Klear Can* márkanévű dobozai

részek alumíniumból készülnek. A cég 2014-ben mutatta be, és azzal reklámozta őket, hogy gyártásuk jóval olcsóbb a fémdobozokénál, és anyaguk teljes egészében visszaforgatható. A doboz tömegének 98%-a a fedél levétele után műanyag; a csekély fémtartalom miatt a doboz tartalma mikrohullámú sütőben is felmelegíthető. A PP doboz visszaforgatási jelzőszámát #5-re becsülték, de nem vették figyelembe az APR javaslatát a reciklálási kísérletek

végrehajtására. Az APR attól tart, hogy ha a dobozok PP palackokkal együtt haladnak a hulladékáramban, a fém alkatrészek fémdetektorral felismerhetők és a dobozok kiemelhetők, de a felaprított hulladékban flotálásakor megjelenhetnek olyan PP darabok, amelyről az alumíniumot nem sikerült eltávolítani. Ha a dobozokat a fémfeldolgozó üzembe irányítják, a PP meggyulladhat és tüzet okozhat. A dobozokat ezért a műanyag-hasznosítók és a fémhasznosítók sem fogadják anyaguk visszaforgatására. Az APR véleménye szerint a fémfedeles műanyag dobozok anyaga nem hasznosítható újra, és ezek a hulladékáramban egyértelműen szennyező anyagnak tekintendők.

A visszaforgatott műanyag hulladék szagtalanítása

A műanyag-feldolgozáskor képződő hulladék visszavezetése a termelésbe része a gyártási eljárásnak, ezzel nincs is különösebb gond. A háztartási szemétből kiválogatott vagy szelektíven gyűjtött műanyag hulladékból kezdetben azonban csak a PET palackokat válogatták ki és ezek anyagát dolgozták fel újra. Összegyűjtésüket és újrahasznosításukat egyes országokban és térségekben jól szervezett hálózat segíti. Kíváncsinos volna, hogy az egyéb hulladékból is sok területen alkalmazható, megfelelő minőségű termékeket lehessen gyártani. A háztartási hulladék műanyag tartalma nagyon összetett, és a fajta szerinti szétválogatás mellett tisztítás, mosás után is néha kellemetlen szaga van. Az újrafeldolgozásra előkészített granulátumban ugyanis vannak könnyen párolgó anyagok, amelyek a visszaforgatott anyag granulálásakor az extruderben

felszabadulnak, és amelyeket megfelelő elszívással el lehet távolítani, de a különféle élelmiszerek, háztartási vegyszerek és kozmetikumok csomagolására használt csomagolóeszközök falába nagyobb molekulatömegű szagos anyagok is bediffundálhatnak, amelyek a belőlük gyártott termékekből a későbbi használat során felszabadulhatnak. Az ilyen „bűdös” terméket a vásárlók nem fogják megvenni.

Erre végzett kutatások szerint egy érzékeny emberi orr milliárdnyi szagot képes megkülönböztetni. A hulladékban előforduló faalapú szennyeződés (cellulóz, papírcímke), a szilikon alapú adalékok, a nyomtatófestékek; az élelmiszermaradékok, az olajok és zsírok az extruderben a hő hatására kémiai változást szenvedhetnek és ezáltal is „szagosítják” a regranulátumot. Az utóbbiak eltávolítására a regranulálás után külön



3. ábra Az Erema *TVEplus* extrudere (balra) és a *Refresher* (jobbra)

munkaműveletben kell a kellemetlen szagú anyagokat eltávolítani. Ilyen feldolgozási eljárást kínál az Erema csoport, amelynek egyik vállalata, az Erema Engineering Recycling Maschinen und Anlagen Ges.m.b.H az ausztriai Ansfeldenben található. A technológia, ill. a regranulátumot gyártó berendezés két alapvető egységből áll: az *Intarema TVEplus* egységben a könnyen elpárolgó illékony anyagokat (VOC, volatile organic compounds) távolítják el; ebben az extruder előtt levegő-átfúvós előkondicionáló berendezés van (*Airflush technika*). A gázmentesítés előtt az ömledéket az extruderben szűrőn hajtják keresztül, majd háromszoros gázelszívást alkalmaznak. Az extrudálás után kapott granulátum kevésbé igényes termékek (pl. építőipari termékek) gyártására alkalmazható. Igényesebb, „prémium” termékekhez a regranulátumot *Refresher technológiával* további tisztításnak vetik alá, ahol termo-fizikai eljárással, folyamatosan áramoltatott forró öblítőgázzal távolítják el a nagy molekulatömegű szagos vegyületeket is. Ebben a berendezésben nem alkalmaznak vákuumot és minden egyes granulátumszemcse egyforma hatásfokkal tisztul meg a szennyeződéstől. Az ezzel az eljárással megtisztított regranulátumból autóalkatrészeket, lakásban használt berendezési tárgyakat vagy kozmetikai csomagolóeszközöket is lehet készíteni. A *TVEplus extruder* és a *Refresher* a 3. ábrán látható.

Az illékony komponensek kihajtása a TVEplus extrúziós egységben

Az extruder előtti nagy térfogatú előkondicionáló egységben a polimertől függő hőmérsékletre felmelegített áramló levegőben a hulladék kb. egy óra hosszat tartózkodik, a VOC nagyobb része ezért már az extrudálás előtt elillan. A száraz, jórészt gázmentesített, meleg hulladékot közvetlenül az extruderbe adagolják. Az előkondicionáló

tartály és az extruder érintkezésénél alkalmazott ellenáramú technológiával egy tárcsát forgatnak, amely az előkondicionálóban az anyagot folyamatos forgó mozgásra és keveredésre kényszeríti, és a forgó csiga éles csigaszárnnyai egyúttal a hulladékot aprítják is. Az anyag nyomásmentesen találkozik a csigával, amely ezért pontosan annyi anyagot vesz fel, amennyire szüksége van, a rendszer tehát soha nincs sem túltöltve, sem alultöltve.

Az extruderben következik be a második gázmentesítés. A csiga kiképzése olyan, hogy a gázok a hengerben visszafelé áramlanak, és az előkondicionáló berendezésen keresztül távoznak el. A szűrő felé haladva a műanyag kíméletesen, viszonylag alacsony hőmérsékleten és kis nyíróerők mellett ömlik meg. A kíméletes technika révén a hulladékban lévő cellulóz, papír stb. nem ég meg, ezért nem képződnek újabb illatanyagok. A szennyező részecskék megőrzik eredeti méretüket, ezért a lézerszűrő azokat a szennyezésként jelen lévő idegen polimerekkel együtt kiszűri az ömledékből. Az extruder szabadalmaztatott *TVEplus* zónájában ezután homogenizálják az ömledéket és a végső gázmentesítés hőmérsékletére melegítik. Itt a még benne lévő gázzárványok is eltávoznak. Az extrudálás után kapott regranulátumok alkalmasak építkezéshez használt fóliák, hordtáskák, szemetes zsákok, csövek, kevésbé igényes fröccsöntött termékek (pl. zárókupakok) gyártására.

Megszabadulás a nehezen párolgó vegyületektől a Refresherben

A nehezen párolgó, nagy molekulatömegű, kellemetlen szagú komponensektől mindeddig nem sikerült a műanyag hulladékokat tökéletesen megszabadítani, ezért gyakran olyan adalékokat keverték hozzájuk, amelyeknek kellemesebb illata van, és ez elfedi a nem kívánt szagokat. Ez az eljárás azonban nem fér össze az anyagok körkörös felhasználásának elvével, mert ha ugyanazt a hulladékot többször ismételtén újra felhasználják, mindig újabb adalékmennyiséget kell hozzáadni, ami megváltoztatja a műanyag eredeti tulajdonságait.

Az Erema cég ezért a még meleg granulátumot egy szállítórendszerrel a *Refresher* tölcsérébe hordja, amelyben a hőmérsékletet a polimernek megfelelő értékre állítják be és folyamatosan meleg levegőt áramoltatnak át rajta. A levegő egyúttal magával viszi a felszabaduló vegyületeket. A granulátumnak viszonylag rövid időt kell a meleg tölcsérben töltenie. Innen a hűtőtölcsérbe jut. A hűtőtölcsérben leadott hőt visszavezetik a meleg tölcsérbe, ezért ez az eljárás csak kevés plusz energiát igényel. Mivel a *Refresherben* alig van mozgó alkatrész, kezelése és karbantartása kevés költséggel jár.

A műszeres analitika és az emberi orr

Az Erema cég a Grázi Műszaki Egyetem Analitikai Kémiai és Élelmiszerkémiai Intézetével közösen azt vizsgálta, hogy milyen összefüggés mutatható ki az illékony vegyületek gázkromatográfiás elemzési vizsgálatai és az emberi orr szagérzékelése között. A hulladékból kinyert gázokat gázkromatográf segítségével komponenseikre bontották, majd erre szakosodott és kiképzett emberek segítségével azt vizsgálták,

hogy milyen koncentráció mellett érzékeli az emberi orr a szagos gáz jelenlétét. Kiderült, hogy *az emberek a szagot akkor is érezték, ha annak koncentrációja a berendezés kimutathatósági határa alatt volt.*

Az Erema cég berendezéseinek hatásfokát is vizsgálta. A Fraunhofer Intézetek freisigi Eljárástechnikai és Csomagolási Intézetében egy használat utáni samponos PE-HD palackból származó örleményben mérték a mosószerek illatosításához gyakran alkalmazott narancsillatú limonén mint indikátorvegyület koncentrációját. Ez mosás után 73 ppm, a *TVEplus* berendezésből kijövő regranulátumban 20 ppm volt. Miután a regranulátumot 7 óra hosszat kezelték a *Refreshherben*, a limonen koncentrációja 0,1 ppm-re mérséklődött. Hasonló mértékben csökkent a többi VOC koncentrációja is.

Összeállította: Pál Károlyné

Schut, J.H.: The challenge of recycling “problem” packages = *Plastics Engineering*, 73. k. 6. sz. 2017. p. 26–29.

Embree, K.: Milacron's breakthrough Klear Can to hit shelves soon = *Packaging, Injection Molding, Recycling*, 2016. júl. 19. <https://www.plasticstoday.com/packaging/milacrons-breakthrough-klear-can-hit-shelves-soon/179999594-124930>

Kitzenberger, C.: Geruchsreduktion hoch zwei. Post-Consumer-Recyklate zur Geruchverbesserung aufbereiten = *Kunststoffe*, 107. k. 6. sz. 2017. p. 69–73.

Messenger, B.: EREMA launches odourless plastic recycling technology = *Waste Management World, WMW*, 2017. 01. 27. <https://waste-management-world.com/a/erema-launches-odourless-plastic-recycling-technology>

„Végtelenül sokszor” visszaforgatható új műanyag

A Coloradói Állami Egyetem (CSU, Colorado State University) a *Science* című szaklapban arról adott hírt, hogy egy új polimert fejlesztettek ki, amely korlátlan számban visszaforgatható. A polimert használat után ugyanis eredeti kis molekulatömegű monomerjeire bontják le, amelyekből ismét polimert gyártanak. A kutatók szerint az újrafeldolgozás folyamatában nem keletkeznek mérgező vegyületek és az eljárás nem igényel intenzív labormunkát.

Az új polimer monomerje ipari körülmények között és környezetkímélő módon, oldószermentesen, szobahőmérsékleten pár perc alatt polimerizálható nyomnyi katalizátor jelenlétében. A kristályos polimernek magas a molekulatömege, jó a hőállósága, mechanikai tulajdonságai hasonlók más polimerekéhez. Visszaforgatásakor ugyancsak csekély mennyiségű katalizátorral, kéméletes laboratóriumi eszközökkel lehet monomerekké bontani. A monomer tisztítás nélkül, közvetlenül ismét polimerizálható. Emiatt ez a polimer soha nem válik hulladékká.

Az eljárást eddig kizárólag laboratóriumban végezték, azért a monomer és a polimer gyártásának szabadalmaztatásáig még sok munka vár a munkatársakra.

P. Kné

<https://www.ptonline.com/blog/post/researchers-at-csu-discover-a-new-recyclable-polymer#>.

www.quattroplast.hu