Összefoglaló

Mennyire körkörös a PET?

A PET-palackok körforgásosságának értékelése Európa példáján

2022. február

1.0 Bevezetés és áttekintés

A polietilén-tereftalát (PET) az egyszer használatos műanyag csomagolásokban és a textilgyártás terén (poliészter szál) széles körben használt polimer. A teljes körforgást megvalósító gazdasági modellekben az összes PET-termék újrafeldolgozott PET-ből (rPET) készülne, és nem lenne szükség szűz PET-re (vPET). Ebben a tanulmányban megvizsgáljuk, hogy a forgalomba hozott (placed on the market, POM) PET manapság mekkora arányban marad bent a körforgásos gyártási modellekben, és hogy az összes előállított PET-termékre vetítve mennyi szűz PET-re (virgin PET, vPET) van szükség – célunk, hogy választ kapjunk a „Mennyire körkörös a PET?" kérdésre.

A **jelenlegi** körforgásosság mellett értékeljük a jövőbeli körforgásosság lehetőségét és annak felső határait abban az esetben, ha kizárólag mechanikai újrahasznosítási technikákat alkalmaznak. Ezután megvizsgáljuk a körforgás **további lehetőségeit**, ha a jövőben kémiai újrafeldolgozási technikák is szóba jönnek, és a zárt láncban újrafeldolgozott PET-termékek köre bővül. Bár a PET körforgásosságáról szóló részletes értékelésünk európai adatokat használ, hasonló témák és következtetések jelennek meg világszinten is. Beszámolónk a PET körforgásosságát három gyártási területen vizsgálja:

PET-palackok

Összes PET-csomagolás
(beleértve az egyéb PET-csomagolásokat, pl. tálcák és pántolószalagok)

Általános PET-áram
(beleértve a textil-/szálgyártást is)

2.0 A jelenlegi körforgásosság

Jelenleg a PET nagy részét nem körforgásos modellben kezelik: nagy a szivárgás a körforgásos rendszerből, és a PET életciklusának minden szakaszában anyagveszteség tapasztalható. Ma a PET körforgásosságát számos potenciális korlátozó tényező befolyásolja:

Fő problémák

- **Nem hatékony begyűjtési rendszerek, amelyek a fogyasztás utáni PET nagymértékű veszteségéhez vezetnek.**
- **Az újrafeldolgozó üzemek hiánya miatt egyes begyűjtött anyagokat nem lehet újrafeldolgozni.**
- **Begyűjtésből és válogatásból származó szennyeződések.**
- **Terméktervezés és anyagminőség, Beleértve a színes PET-et és a kombinált anyagokat.**
- **rPET-felhasználás és az rPET-re vonatkozó élelmiszer-minőségi szabványok.**
- **Az rPET gazdaságossága, tehát az rPET piaci árfolyama a vPET-hez képest, amely számos tényezőtől függ, többek között a végpiaci kereslettől.**

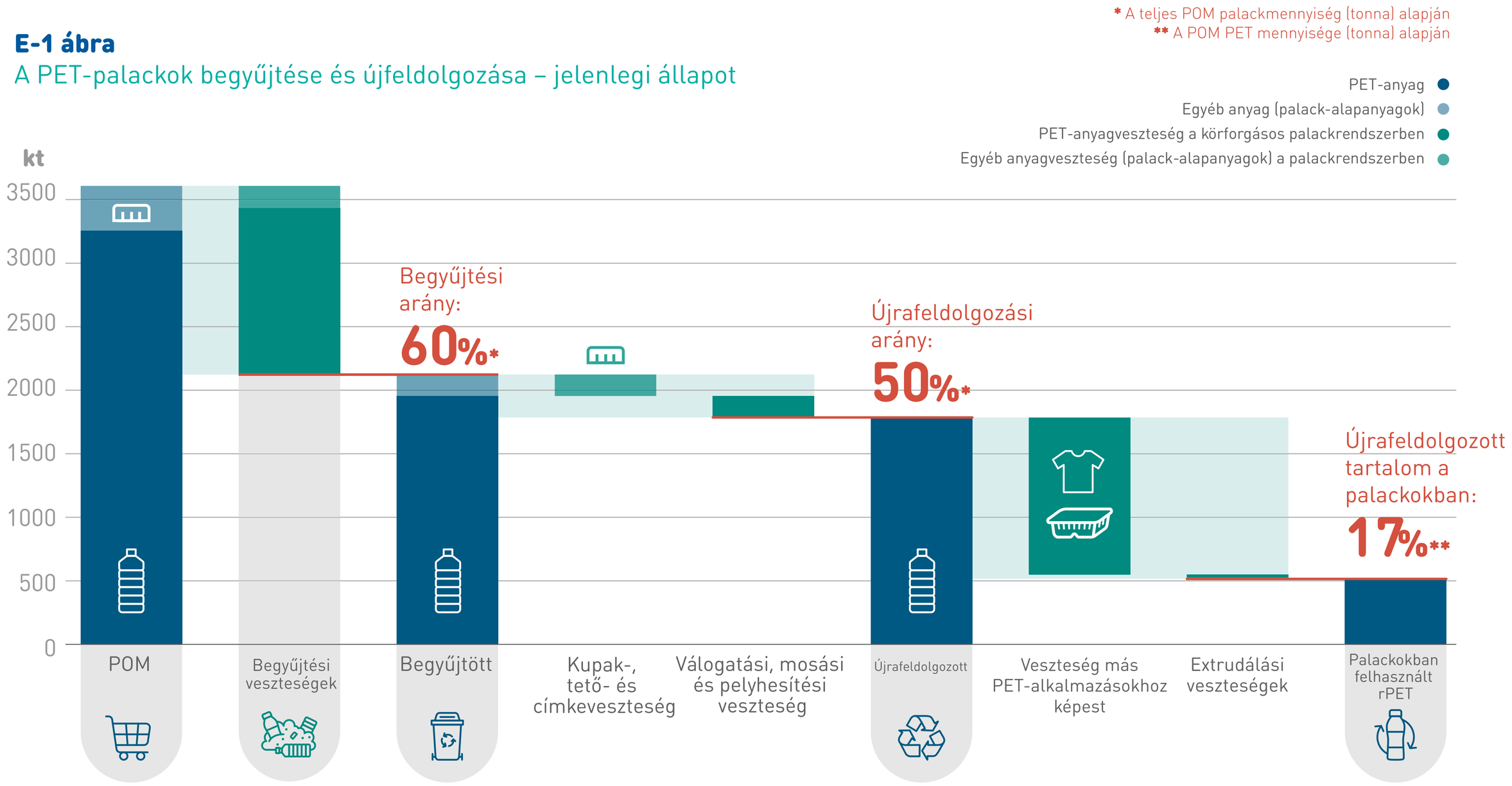
A PET körforgásosságának modellje jóval összetettebb, mint az egyes PET-alkalmazások szingulárisan körkörös modelljei. Valójában sok különböző PET-termék létezik, amelyeknél különböző gyártási követelmények merülnek fel az újrahasznosított PET (rPET) alapanyagra nézve. Az rPET esetében műszakilag és gazdaságilag nagyobb kihívást jelent a gyártási minőségi követelmények teljesítése, mint a szűz PET esetében. Mivel ez a zárt láncú alkalmazásokra fokozottan igaz, az rPET „leszivároghat" egyik termékáramból a másikba, általában magasabb minőségből alacsonyabb minőségbe. Ha egyszer már leszivárgott, nem valószínű, hogy „visszatér", sőt bizonyos esetekben az rPET a leszivárgási folyamatban kikerülhet a körforgásos újrafeldolgozási rendszerből.

2.1 **PET-palackok**

A PET-család egészét nézve a palack újrafeldolgozásának van a legfejlettebb technológiája és infrastruktúrája. Európaszerte többféle PET-palackgyűjtési modellel találkozhatunk. Egyes országok magas újrafeldolgozási arányt érnek el betétdíjas rendszerekkel (DRS), míg más országok és régiók alacsonyabb újrafeldolgozási arányt érnek el szelektív hulladékgyűjtéssel. Becsléseink szerint a PET-palackok újrafeldolgozási rátája nagyjából 50% (számításunk alapja a PET-anyag tömege a mosás és pelyhesítés utáni szakaszban a forgalomba hozott PET-palackok – beleértve a fedeleket és címkéket – tömegével szemben). A palackgyártásban használt rPET-nek szigorú általános minőségi követelményeknek kell megfelelnie, és palackból kell származnia. Becslések szerint a forgalomba hozott (POM) palackok átlagosan csak 17%[1] rPET-et tartalmaznak, a fennmaradó rPET-et értékcsökkentő újrahasznosítással más, rosszabb minőségű gyártási alkalmazásokban használják, ami a körforgásos palackáramból származó veszteségnek tekinthető.

E-1 ábra

A PET-palackok begyűjtése és újfeldolgozása – jelenlegi állapot



2.2 **Az általános PET-áram**

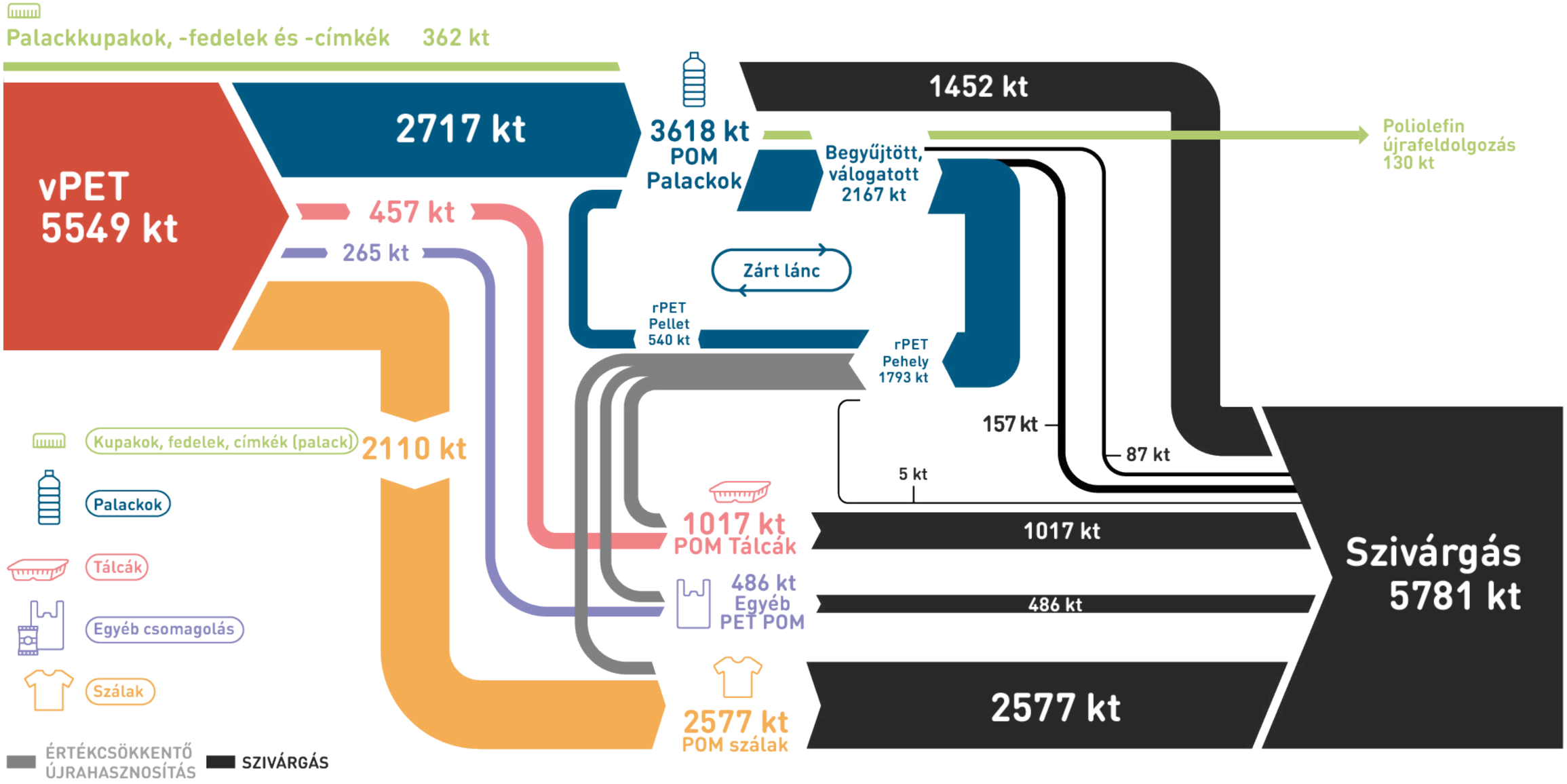
Míg a PET-csomagolás legnagyobb részét a palackok teszik ki, a PET-et más PET-alkalmazásokban is használják, például szálak, egyszer használatos tálcák, fóliák és pántolószalagok gyártásához.

Európában nincs szabványosított gyűjtés és válogatás a nem palack jellegű PET-alkalmazások esetében. A megfelelő válogatási és újrafeldolgozási technológiák hiánya, valamint az alkalmazásokban megjelenő dizájn jelenleg megnehezíti az újrafeldolgozásukat. Bár kis mértékben újrahasznosítják a tálcákat és a fóliát, azonban ez a mennyiség a PET-csomagolások gyártási volumenét tekintve jelenleg elhanyagolható. Ezért a jelenlegi helyzetben csak a palackok újrahasznosítása vehető figyelembe.

Tálcákhoz a palackok újrafeldolgozásából származó összes rPET kb. egyharmadát (31%) használják fel. Összességében a PET-csomagolásokhoz a palackokból származó rPET 74%-át használják fel. Tehát a palackokból nyert rPET új csomagolóanyag-típusokba kerül, a palackokon kívül azonban semmi mást nem hasznosítanak újra nagy mennyiségben, így a PET-csomagolások körforgásából gyakorlatilag elszivárog. A globális poliészterpiac mintegy 14%-a újrahasznosított poliészter, amelynek nagy részét PET-palackokból állítják elő.[2]

A textilgyártásban általában az átlátszó/világoskék palackanyag a legkeresettebb, mivel ez kevesebb elszíneződést okoz a szálakban. Bár a szálak tartalmazhatnak újrafeldolgozott alapanyagot (palackból származó rPET), a fogyasztás utáni szálakra jelenleg nem ismerünk piaci méretű újrafeldolgozási eljárásokat. Ezért, hasonlóan más, nem palack jellegű PET-alkalmazásokhoz, a szálakhoz felhasznált PET-tömeg is elszivárog a körfogásos rendszerből.

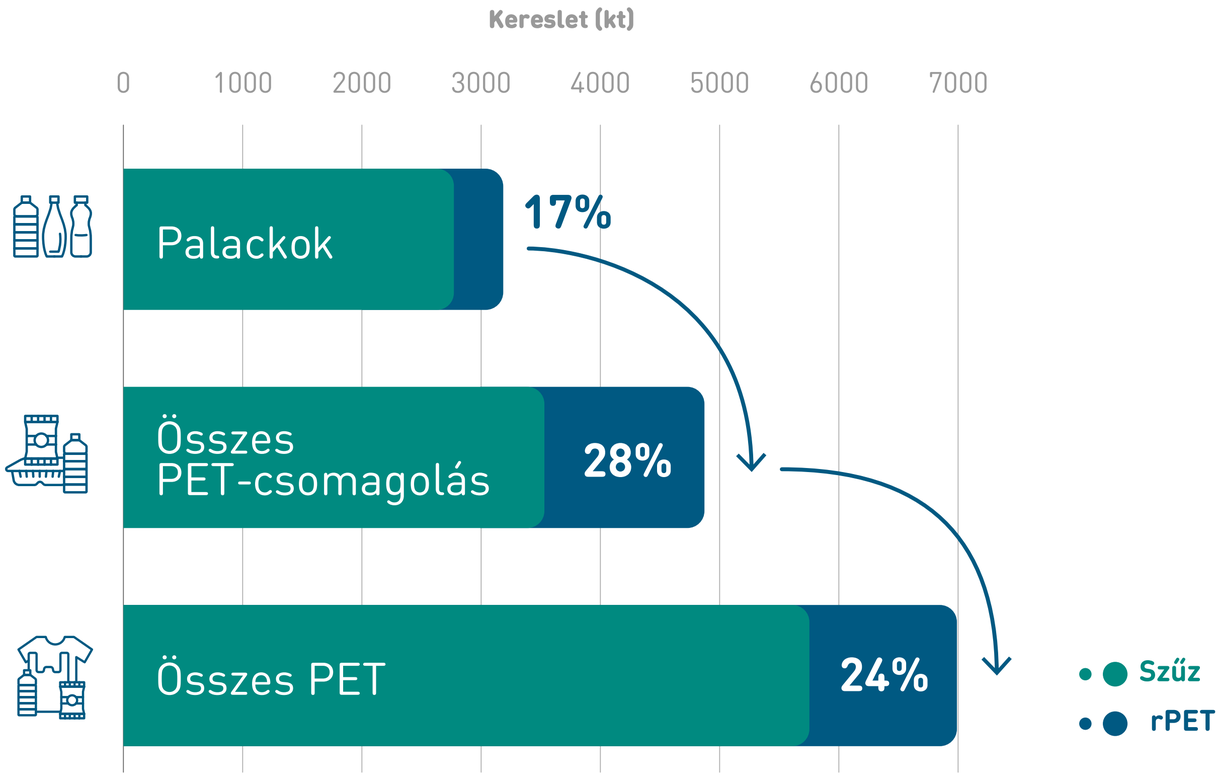
E-2 ábra: PET tömegáramok – jelenlegi állapot



Az E-2 ábra a felmérésünkben vizsgált valamennyi PET-alkalmazás jelenlegi PET-tömegáramát mutatja. Jól látható, hogy csak a palackokat hasznosítják újra, tehát az összes termékáram újrafeldolgozott tartalma palackokból származik. A palackokból származó 1,8 millió tonna pehelynek csak 31%-ából készítenek palackokhoz való pelletet, a maradék mennyiség (69%) „leszivárog" más termékekbe, például tálcákba, egyéb csomagolóanyagokba vagy szálakba. Mivel bizonyos termékáramokban nem történik újrafeldolgozás, további szivárgás jön létre a PET-rendszer egészében.

Az E-3 ábra zintén a PET körforgásosságának hiányát mutatja, ha megnézzük az egyes európai gyártási területeken használt újrafeldolgozott alapanyagok arányát.

Figure E-3:
Újrafeldolgozott tartalom gyártási területek szerint (alapérték)

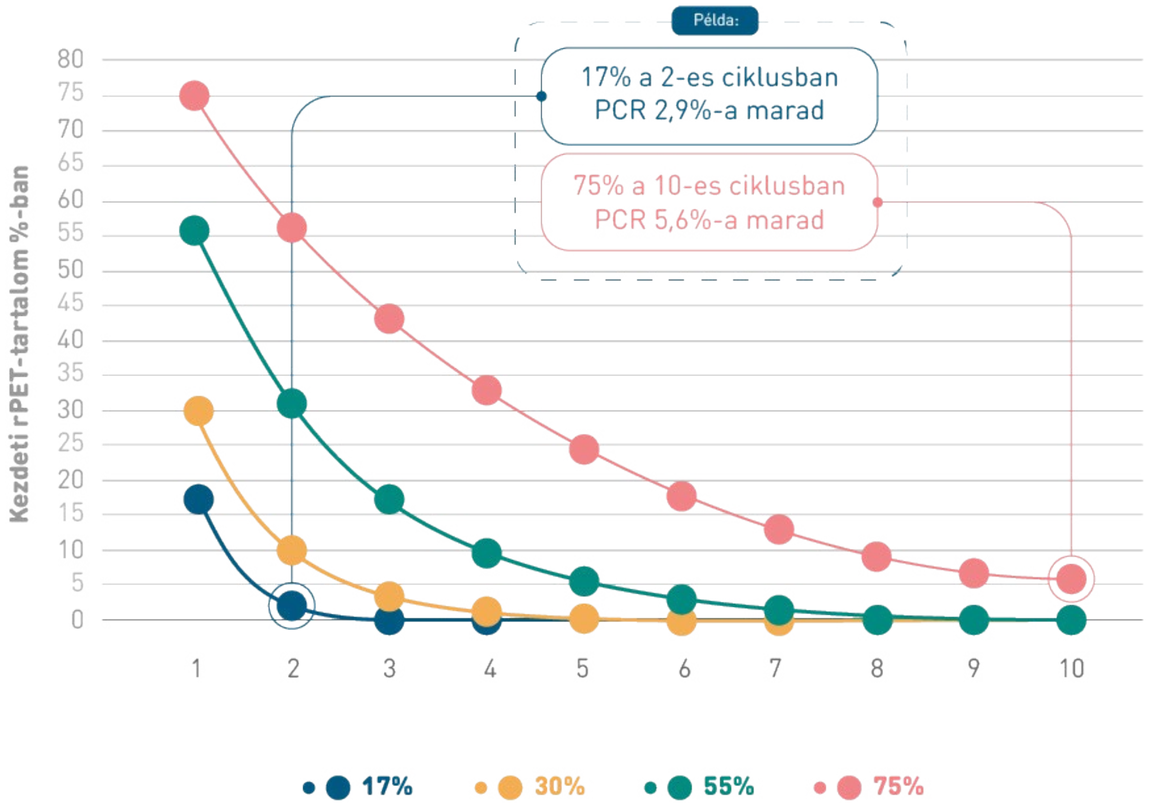


3.0 A PET körforgásosságának felső határai a jövőben

A közelgő szabályozás a palackbegyűjtés növelésére ösztönöz, ami valószínűleg csak a PET italos palackok begyűjtésére szolgáló betétdíjas rendszerek (DRS) bevezetésével érhető el. A DRS széles körű bevezetése a palacktermékek tervezésének javulásával kiegészülve a palackokból származó rPET minőségének javulását is eredményezheti.

A német Petcycle zárt láncú, körforgásos DRS modell bizonyítja, hogy el lehet érni a folyamatos körforgást 55%-os rPET-tartalommal a palackokban (a tagállamok számára kitűzött újrafeldolgozott anyagtartalomra vonatkozó cél az elmúlt nyolc évben). A legújabb laboratóriumi vizsgálati eredmények[3] azt mutatják, hogy a zárt láncú körforgásos modellekben a palack előállításához – 25% vPET hozzáadásával az egyes gyártási szakaszokban – akár 75%-nyi újrafeldolgozott alapanyag is használható, anélkül, hogy a palackok minőségi jellemzői – a szürke elszíneződéstől eltekintve – jelentősen romlanának.

E-4 ábra:
A PET-palackok rPET-tartalmának megőrzése



A teljes európai PET-palack-piacot nézve ez azt jelenti, hogy a forgalomba hozott palackok átlagosan 17% rPET-et tartalmaznak, tehát csak 17% kerül át az előző láncból a következőbe, és – ahogy az E-4 ábrán is látható – a rendszeren belüli PCR-tartalom (fogyasztás után újrafeldolgozott tartalom) gyorsan csökken. A közelgő szakpolitikai változásokat, a Petcycle esettanulmányt és Pinter et al. vizsgálati eredményeit figyelembe véve láthatjuk, hogy a PCR-tartalom maradandóságára gyakorolt hatás minden esetben jelentős.

A jövőbeli forgatókönyv szerint a palackokat a jelenlegihez képest sokkal körkörösebb módon kezelhetik majd. Magas PCR-tartalom (példánkban legfeljebb 75%) esetén nagy mennyiségű rPET-pehely kerül vissza az azonos színű palackokba, a palackokból az alacsonyabb értékű áramokba történő leszivárgás pedig csökken. Az E-5 ábrán látható, hogy a veszteség is jelentősen csökken a palackrendszerben mind a hulladék, mind az rPET más, alacsonyabb minőségű PET-alkalmazásokba történő leszivárgás tekintetében.

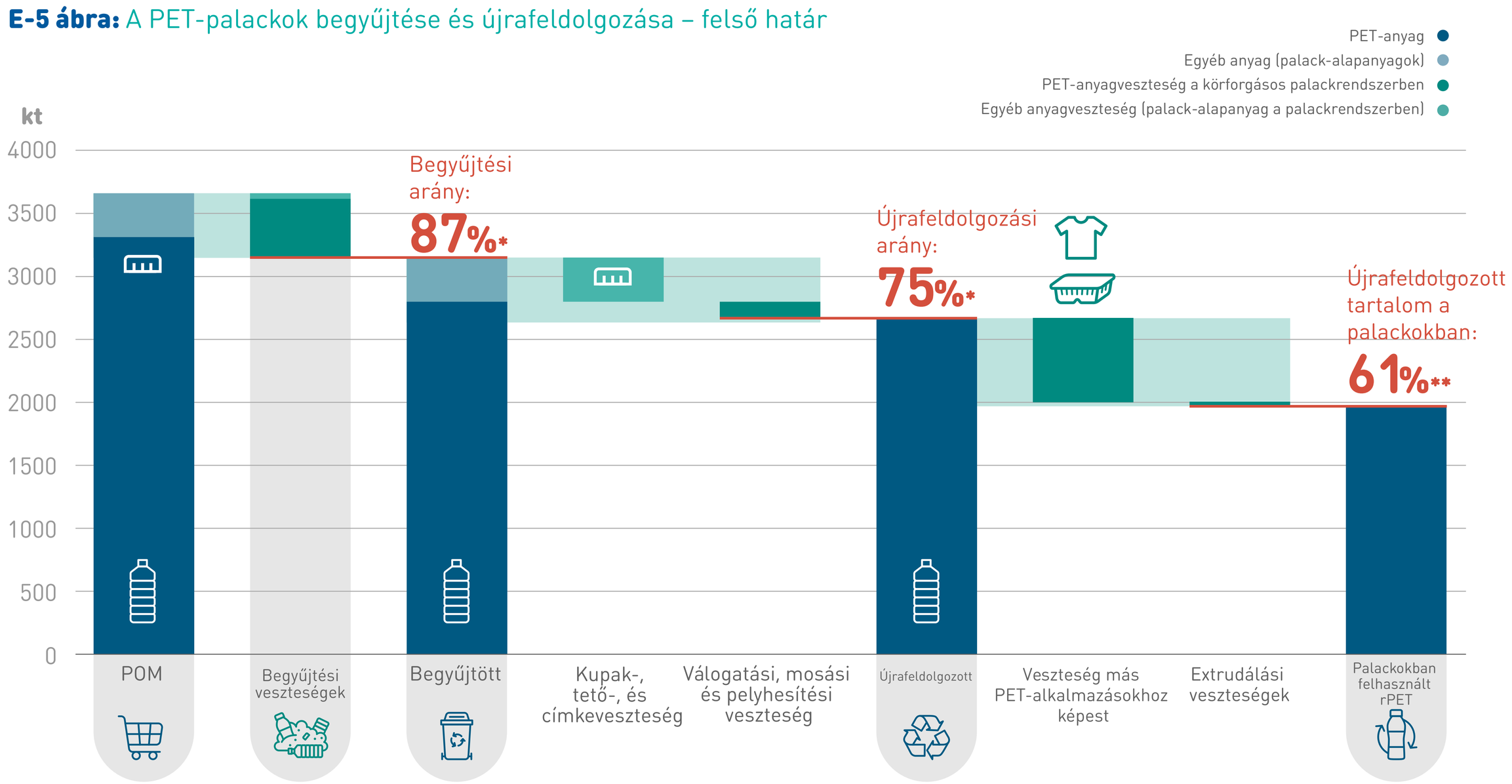
Mivel az átlátszó és a világoskék palackokból származó rPET nem érhető el kellő mennyiségben, az itt felvázolt legjobb esetben a palackok újrafeldolgozott tartalma 75% helyett mindössze 61% lehet. Csak a hagyományos mechanikai újrafeldolgozási piacot figyelembe véve ebben a felmérésben két olyan lehetséges forgatókönyvet vizsgálunk meg részletesebben, amelyek növelhetik a palackok újrafeldolgozott tartalmát:

1. További javulás a begyűjtésben (pl. magasabb begyűjtési arányok elérése a DRS-rendszerekben); és/vagy
2. Aszínes és átlátszatlan palackokról való áttérés az átlátszó palackokra (ami a színes és átlátszatlan palackok kb. 91%-os csökkentését tenné szükségessé).

75%-os újrahasznosított tartalom előállítása pusztán a DRS-en keresztüli begyűjtési arány további növelésével akkor sem lehetséges, ha feltételezzük, hogy az összes jelenlegi és jövőbeli DRS-rendszer elérné a legnagyobb teljesítményű DRS-rendszerek jelenlegi begyűjtési arányát (német adatok szerint a 97%-ot). Ezért a gyártóknak fontolóra kell venniük a palackdizájn módosítását, pontosabban a termékeikhez használt színeket. A jelenleg forgalomba hozott átlátszatlan és színes italos palackok mennyiségének 91%-os csökkentésével és egyben a forgalomba hozott átlátszó és világoskék palackok ugyanezzel az abszolút számmal való növelésével összességében elérhető a palackok 75%-os újrafeldolgozott tartalma.

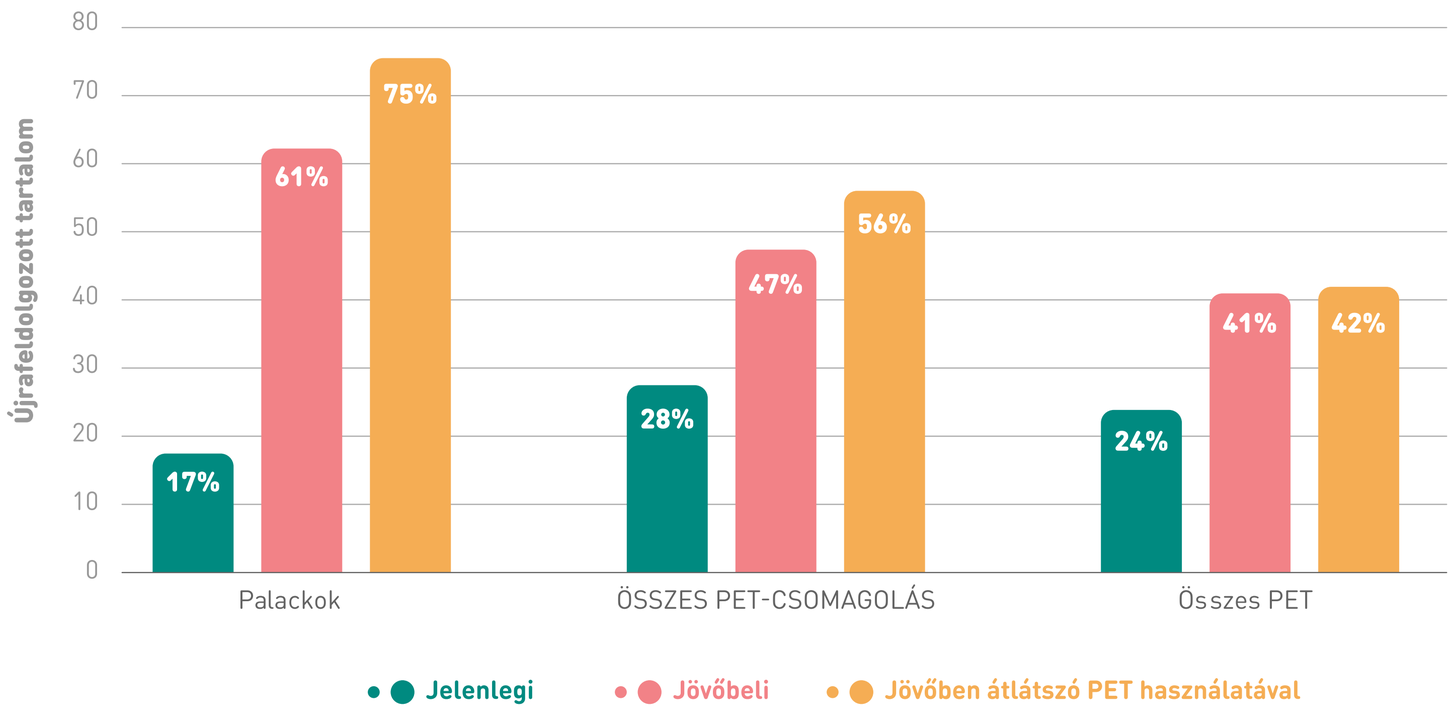
A mechanikai újrafeldolgozást vizsgáló két forgatókönyv mellett a kémiai újrafeldolgozási technológiák, pl. a depolimerizáció is hozzájárulhat a PET körforgásosságához, és az összes palackra vetítve 75%-os újrafeldolgozott tartalom érhető el velük. Ez az iparág azonban még nem érte el a teljes érettséget, és a benne rejlő valódi lehetőségeket egyelőre nem ismerjük teljesen. De úgy tűnik, hogy a tervezett bemeneti kapacitás (válogatott és tiszta, fogyasztás utáni PET-pehely) 2025-re nagyjából elérheti a 350 kt/év(4) mennyiséget, ami a palackok esetében elegendő lehet a 75%-os tartalom eléréséhez, ha az élelmiszerekkel való érintkezésre vonatkozó szabályozások lehetővé teszik.

E-5 ábra: A PET-palackok begyűjtése és újrafeldolgozása – felső határ



Becsléseink szerint a jövőben a palacktól-palackig újrafeldolgozás során a jelenlegi 17%-ról 61% és 75% közötti értékre növekedhet az újrafeldolgozott tartalom felső határa. Feltéve, hogy a zárt láncú úrafeldolgozás kerül előtérbe (tehát a palackokból származó rPET palackokban kerül felhasználásra és nem más PET-alkalmazásokban) a maximális körforgás biztosítása érdekében. A piaci körülmények alapján reálisabb úgy becsülnünk, hogy a palackokba kerülő újrafeldolgozott tartalom jövőbeli felhasználása valahol a minimálisan előírt 30%-os cél és a lehetséges 75%-os felső határ között mozog majd. Ha figyelembe vesszük, hogy a változásoknak milyen hatása lehet az összes PET-csomagolásra, úgy látjuk, hogy az újrafeldolgozott tartalom 28%-ról 47% és 56% közötti értékre emelkedhet. Az összes PET-alkalmazás esetében az újrafeldolgozott tartalom a jelenlegi 24%-ról a jövőben 41% és 42% közötti felső határértékre változhat.

E-6 ábra
Újrafeldolgozott tartalom gyártási terület szerint



Erre csak akkor kerül sor, ha...

- a zárt láncú úrafeldolgozás kerül előtérbe, és a palackokból származó rPET-et palackokban használják fel, nem más PET-alkalmazásokban;
- növekszik a betétdíjas rendszerek használata, ami által javul a begyűjtött anyag minősége, és nő annak mennyisége; és/vagy
- a színes vagy átlátszatlan PET helyett átlátszó PET kerül alkalmazásra.

4.0 A nem palack jellegű PET-alkalmazások növekvő körforgásossága

A palackok terén megnövekedett rPET iránti kereslet csökkenteni fogja a rendelkezésre álló rPET elérhetőségét más jellegű PET-csomagolásoknál.

Mivel jelenleg nincsenek életképes, nagyléptékű módszerek a hőformázott PET, pl. tálcák újrafeldolgozására, a gyártóknak nagyobb mennyiségű új anyagra lesz szükségük a kereslet kielégítéséhez.

Jelenleg is folynak a fejlesztések ésszerű hozamot felmutató, és nem a tálcák életciklusának végét jelentő opciókra. 2015-ben a PETCORE Europe megalapította a hőformázott PET újrafeldolgozásával foglalkozó munkacsoportot. A PET-fólia alkalmas a mechanikai újrafeldolgozásra, mert megőrzi fizikai és optikai tulajdonságait az extrudálási ciklusokban. Keveset tudunk azonban arról, hogy jelenleg milyen mértékű a fóliák újrafeldolgozása. Feltételezések szerint kis volumenű, és a legjobb esetben is kísérleti fázisról beszélhetünk, emellett fontos, hogy az alapanyag tiszta és egynemű legyen.

A PET-szál mechanikai újrafeldolgozásnak két fő módját (közvetlen szálból-szál; olvasztva extrudálás), fizikai újrafeldolgozásnak pedig egy formáját (oldószeres tisztítás) ismerjük, amely kísérleti szinten megvalósult.

Az elmúlt években a gyártók, az újrafeldolgozó üzemek és a törvényhozók érdeklődve követték a kémiai újrahasznosítási technológiák fejlődését, amely technológiák kiegészíthetik a műanyag mechanikai újrafeldolgozását.[5]

A PET-ipar számára kiemelten fontos a kémiai depolimerizáció (monomerré bontás), az újrafeldolgozási folyamatok azon kategóriája, amelyben vegyszerek használatával bontják le a polimerláncot. A depolimerizáció után kinyerik a monomereket a reakciós elegyből, és megtisztítják, hogy a polimergyártásban közvetlenül felhasználható szűz minőségű monomert kapjanak.

A depolimerizációs és repolimerizációs technikákkal potenciálisan elérhető a körkörösségre vonatkozóan itt említett határok némelyike, mivel ezek a folyamatok „alacsonyabb" PET-ciklusokból (pl. színes csomagolás, nem élelmiszeripari anyagok) is képesek olyan monomerek előállítására, amelyeket „magasabb" PET-ciklusokban (pl. átlátszó italos palackok) is fel lehet használni, amennyiben az élelmiszerekkel rendeltetésszerűen érintkezésbe kerülő anyagokról szóló irányelv megengedi.

Európában azonban egyelőre ez egy kialakulóban lévő piac. Vannak példák kísérleti/demonstrációs üzemekkel rendelkező vállalatokra, és a depolimerizációs iparág elmondása szerint folyamatban van a teljes kereskedelmet lefedő, nagyobb léptékű üzemek fejlesztése. A jelenlegi becslések szerint 68 kt/év bemeneti kapacitás áll rendelkezésre a kémiai depolimerizációs technológia azon szolgáltatóinál, amelyek bizonyítottan működőképes szinten vannak. Ez a kapacitás 2025-re várhatóan eléri a 350 kt/év mennyiséget.(6) A folyamatok teljesítménye és költsége azonban még nem teljesen világos. Az ilyen folyamatokból származó monomerek hozamára vonatkozó adatokkal, amelyek első ránézésre ígéretesnek tűnnek, jellemzően csak technológiai szabadalmakban vagy marketingjellegű anyagokban találkozhatunk. A számításokra vonatkozóan kevés támpontként szolgáló információt tesznek elérhetővé (pl. a hozamszámításban figyelmbe vett anyagok), szemben az üzemi szintű tömeges anyagáramlásokra vonatkozó információ részletességével. Emiatt továbbra sem világos, hogy milyen hatással lesz a hozamra, ha ezeket a technológiákat nagyobb léptékben alkalmazzák, figyelembe véve az olyan tényezőket, mint a válogatás, a feldolgozás és a tisztítás.

Egyelőre pénzügyi és környezetvédelmi szempontból jelentős bizonytalanság övezi a kémiai depolimerizációs technológiák hosszú távú lehetőségeit. Azt is fontos megjegyeznünk, hogy kevés információval rendelkezünk a szennyezettség tolerálhatóságának mértékét illetően. E technológiák közül azonban jónéhány jelentős vegyszer- és energiafelhasználást(7) igényel, és a mechanikai újrahasznosításhoz hasonlóan tiszta és homogén hulladékáramokra van szükség, ami nagyjából azonos költségeket és hatásokat eredményez a gyűjtési, válogatási és anyagelőkészítési szakaszban. Éppen ezért ez a tanulmány a mechanikai újrahasznosítás optimalizálására összpontosít, és az olyan technikák alkalmazására, amelyek jól beváltak és kereskedelmi méretekben is működnek, de elismeri, hogy a jövőben a kémiai depolimerizációval a PET körkörössége tovább javulhat.

Források

1) Natural Mineral Waters Europe, Petcore Europe, Plastic Recyclers Europe, and Unesda (2022) PET Market in Europe: State of Play 2022, January 2022

2) Textile Exchange (2020) Preferred Fibre & Materials Market Report 2020

3) Pinter, E., Welle, F., Mayrhofer, E., et al. (2021) Circularity Study on PET Bottle-To-Bottle Recycling, Sustainability, Vol.13, No.7370

4) Natural Mineral Waters Europe, Petcore Europe, Plastic Recyclers Europe, and Unesda (2022) PET Market in Europe: State of Play 2022, January 2022

5) Crippa, M., De Wilde, B., Koopmans, R., et al. (2019) A circular economy for plastics – Insights from research and innovation to inform policy and funding decisions

6) Natural Mineral Waters Europe, Petcore Europe, Plastic Recyclers Europe, and Unesda (2022) PET Market in Europe: State of Play 2022, January 2022

7) Hann, S., and Connock, T. Chemical Recycling: State of Play (2020)

Mennyire körkörös a PET?

Andy Grant
Vera Lahme
Toby Connock
Leyla Lugal

A Zero Waste Europe hálával fogadta az Európai Unió anyagi támogatását. Az útmutató tartalmáért a Zero Waste Europe-ot kizárólagos felelősség terheli. A tartalom nem feltétlenül tükrözi a fent nevezett támogató véleményét. A támogató nem tehető felelőssé az itt fellelhető információk esetleges felhasználásáért.