

# MŰANYAGFAJTÁK, KOMPOZITOK, BIOMŰANYAGOK

## Lehet, hogy a hosszú életű biobázisú műanyagoké a jövő? 1. rész

Amikor néhány évtizeddel ezelőtt már észre lehetett venni, hogy az egyre több műanyag-hulladék jelenik meg szemétként a természetben, a műanyagipar kifejlesztette a „biodegradálható” műanyagokat. Gyártókapacitásuk megteremtése meglehetősen sok pénzbe került. A közelmúltban az EU az egyszer használható műanyag termékek korlátozására kibocsátott új direktívájában megtiltotta a biodegradálható vagy komposztálható műanyagok használatát. A gyártók most lázasan keresik azokat az alkalmazási területeket, amelyen ilyen gyártmányokat eladhatnák. Az érzékelhető klímaváltozás bűnbakjai ugyancsak a műanyagok, bár a világon évente felhasznált kőolajnak mindössze 6%-ára tartanak igényt. Ha elhasználódásuk után nem lehet őket újra feldolgozni, és elégetik őket, szén-dioxid kerül a levegőbe. Sokan azt állítják, hogy ez az oka a légkör felmelegedésének. Az új közellenség a fosszilis alapanyagokból gyártott műanyagok, és az új megoldás a biobázisú műanyagok „megújuló forrásból”, azaz növényi alapanyagokon alapuló gyártása lehetne.

Publikációnk első részében egy újszerű ötletet ismertetünk, amely szerint ha biobázisú műanyagokból hosszú élettartamú termékeket (pl. építőipari elemeket, bútorokat stb.) gyártanánk, a növények levegőből felvett széntartalmát azok sokáig – akár száz évig – tárolnák. A kiadványunk következő számában megjelenő második részben arról adunk áttekintést, hogy hogyan próbálnak a műanyaggyárak igazodni az új igényekhez, és hogy a jövőben egy műanyag értékelése valószínűleg nem műszaki tulajdonságai, hanem „ökológiai lábnyoma” alapján múlik majd.

*Tárgyszavak: környezetvédelem; klímaváltozás; biobázisú műanyagok; biodegradálható polimerek; műanyaggyártók; új műanyagok.*

A biodegradálható és biobázisú műanyagokból nem csak olyan rövid élettartamú termékeket lehet gyártani, mint a komposztálható csomagolóeszközök vagy a fóliazacskók. A közvélemény a meglehetősen egyoldalú tájékoztatásból ezt így gondolja, emiatt nem szerez tudomást arról, hogy a biobázisú műanyagok alkalmazása pozitív hatást fejthet ki a környezetre. A biobázisú műanyagokból ugyanis hosszú élettartamú és újrahasznosítható termékeket lehet készíteni, amelyek anyagát többszörösen visszaforgatva alkalmazásuk teljes időtartama alatt – egyéb feladatuk mellett – szén-dioxid-raktárként is funkcionálnának. Ennek feltétele egy jól működő körkörös gazdaság. Ha a műanyagiparban ezt megvalósítanák, ez az iparág lehetne az egyik „legzöldebb” gazdasági ágazat.

### A biobázisú műanyagok mint szén-dioxid-raktárak

A műanyagok igen nagy hányadát rövid életű csomagolóeszközök gyártására használják fel – és az emiatt képződő óriási hulladékmennyiség csökkentése érdekében az elmúlt évtize-

dekben nagy publicitást kaptak az ún. biodegradálható anyagok, amelyektől azt várták, hogy a természetben vagy komposztáláskor alkotóelemeikre bomlanak, és emiatt nem károsítják a természetet. A „komolyabb” és tartós használatra szánt termékeket azonban főképpen fosszilis alapanyagokból, olajból, földgázból vagy szénből gyártják. A felszínre hozott kőolaj kb. 6%-ából műanyagokat készítenek. Az ezekből előállított termékek sem örök életűek, és ha kiselejtezik őket, egyesek alapanyagát ismételten feldolgozzák, de az erre alkalmatlanokat gyakran elégetik. Belőlük a CO<sub>2</sub> millió tonnákban kerül a levegőbe. Ezt az óriási emissziót a termékek élettartamának meghosszabbításával és anyaguk nagyobb arányú újrafeldolgozásával lehetne mérsékelni. *Hatékonyabb lenne azonban a biobázisú műanyagok gyakoribb alkalmazása a hosszú élettartamú termékekben.*

Ez annál is inkább hasznos volna, mert a biodegradálható műanyagok környezetbarát volta gyanúba került, és a pazarlás szimbólumává váltak. Emellett kiderült, hogy a műanyagok nem elemekre, hanem mikroméretű polimerrészecskékre bomlanak. Ezekről eddig nem sikerült egyértelműen kimutatni, hogy ártalmatlanok vagy veszélyesek-e az élő szervezetekre, de aggodalomra adott okot. Az Európai Unió legújabb irányelveiben 2021. július 1-től megtiltotta többféle egyszer használható termék forgalmazását, és 2030-ig ezek száma fokozatosan növekedni fog. De tilalom alá esnek majd a vékony falú fóliazacskók is, és a tilalom kiterjed majd a komposztálhatónak minősített polimerekből gyártottakra is.

*A biodegradálható vagy komposztálható fóliazacskók legnagyobb piaca Olaszország, itt évente 60°000 t ilyen zacskót használnak fel; a 2020-ban igénybe vett biodegradálható zacskók tömegét Európában 150°000 tonnára becsülik. Ezek alapanyaga legtöbbször valamilyen kopoliészter, pl. poli(butilén-adipát-tereftalát) (PBAT), poli(butilén-szukcinát-tereftalát) (PBST) vagy poli(butilén-szukcinát) (PBS), amelyeket növényi keményítőből gyártanak, továbbá a tejsavból gyártott polimerek (PLA).*

### *Új alkalmazási területek keresése a biodegradálható polimerek számára*

A felsorolt polimerekből gyártott fóliák a vízgőzt áteresztő, ún. lélegző fóliák közé tartoznak, amelyekbe elsősorban friss élelmiszereket csomagolnak. De ilyenekből visznek fel vékony rétegeket azokra a kartondobozokra is, amelyek falán a zsiradék vagy az illékony komponensek áthatolását kell gátolni. Alkalmazásuk a zacskógyártáson kívül a csomagolástechnikában csak ezrelékekben mérhető.

A biodegradálható polimerek ára több mint kétszerese a zacskógyártásban alkalmazott polietilénekének vagy polipropilénekének, ami mérsékli keresletüket. Ezt fokozza az, hogy a PLA és a PBAT fóliákat „nem újra feldolgozható”-nak minősítették. A felhasználók ezek miatt többnyire kitartanak az egyrétegű PE, PP vagy poli(etilén-tereftalát) (PET) mellett. Hulladékokat egyelőre még jórészt termikusan hasznosítják (elégetik), de ha megoldanák fajtatiszta visszagyűjtésüket, mechanikai újrafeldolgozásuk is lehetővé válna. A poliolefinekre és a PET-re már vannak ilyen példák, a PLA-ra és más biodegradálható polimerek visszaforgatására még várni kell.

Németországban már működnek a biodegradálható műanyagokat komposztáló üzemek. Ezt a bizonyos termékek hulladékának hasznosítására célszerű eljárást most néhány európai tagország kezdeményezésére le kellett állítani. Az ilyen polimerekre vonatkozó előírások jelenlegi bizonytalansága miatt gyártóik újabb alkalmazási területeket keresnek. Ilyen új alkal-

mazások lehetnek pl. a talajtakaró fóliák, a fiatal fákat az állatoktól védő hüvelyek (1. ábra), a péksüteményekhez kínált, papírból és átlátszó PLA ablakból álló zacskók.



*Nagy az érdeklődés a fosszilis alapú műanyagokkal teljesen azonos biobázisú polimerek iránt*

A csomagolóiparban egyre erősebb az érdeklődés az ún. biobázisú drop-in műanyagok iránt. Ezek szerkezete tökéletesen azonos fosszilis eredetű ikerestvéreikével, tulajdonságaik is ugyanolyanok, és „csak be kell őket dobni” a feldolgozógépbbe, amely semmiféle átalakítást nem igényel. Csupán abban térnek el kőolajalapú változatuktól, hogy megújuló forrásból, növényi alapanyagokból kinyert komponensekből állították elő őket. 100%-ban biobázisú PE-t és 30%-ban biobázisú PET-et az elmúlt évtizedben már százezer tonnás mennyiségben állítottak elő. Ezek legnagyobb előnye a kisebb ökológiai „szenes” lábnyom. Számos műanyagipari vállalat elköteleződött a klímavédelem mellett, és ezt konkrét tevékenységével is igyekszik bizonyítani. A biobázisú PE és PET alkalmazása támogatja ezt a törekvést, amely elfogadható költségnövekedéssel jár. A drop-in biopolimerek

1. ábra Állatok rágcsálásától óvó védőhüvely egy fiatal fán

technológiájának bevezetése pedig versenyelőnyt is hozhat a cégnek. Ha viszont bevezetik a CO<sub>2</sub> emisszió alapján fizetendő klímadót, a biobázisú polimerek és a fosszilis polimerek közötti árkülönbség ki fog egyenlítődni.

*A megújuló forrásból származó vegyi és műanyagok nem érzékenyek a politikai krízisekre*

A vegyi üzemek és a műanyagipar ma már könnyen hozzájutnak a szükséges alapanyagokhoz. A PE-hez szükséges bioetanol és a PET-hez szükséges monoetilén-glikol (MET) alapanyaga a nagy cukortartalmú növények, ill. a biometán (biogázból), a bionafta (biomasszából vagy olajmaradékból). A vegyipari berendezések ezek előállításához rendelkezésre állnak, a biogén nyersanyagot csak be kell táplálni ezekbe, majd a krakkolóba. A vegyipari üzemek ezeknek az újszerű alapanyagoknak a feldolgozásával hasonlóan nagy lépést tettek előre, mint az energiaipar, amikor törvényileg kötelezték a regeneratív energiatermelésre. A nyersanyagforrások bőségesek. Ha a közlekedés a ma nagy mennyiségben felhasznált bioüzemanyagokról átáll a villamos hajtásra, a vegyipar számára több milliónyi tonna alapanyag válik hozzáférhetővé. A Neste (Espo, Finnország), a LyondellBasel (Rotterdam, Hollandia) és az IKEA (Delft, Hollandia) együttműködése bizonyítja, hogy ez által olyan polimerek is biobázisúvá válhatnak, amelyekhez eddig nem tudtak megújuló forrásból származó alapanyagokat szerezni. Az együttműködés eredményeképpen az IKEA már gyárt olyan székeket, amelyekhez egy 30%-ban biobázisú PP-t is alkalmaz.

Egy nagymértékben megújuló forrásokra támaszkodó vegyipar sokkal kevésbé lesz érzékeny a politikai krízisekre, mint a korábbi, kőolajtól függő iparág. A biomassza helyben előállítható, az alapanyagot nem csővezetéken vagy tankerekben kell a helyszínre szállítani. A jelenleg már nagy választékban gyártott biobázisú PE, PP és PET mellett valószínűleg lesz majd biobázisú PS (polisztirol), PC (polikarbonát), ABS (akrilnitril-butadién-sztirol) is.

Egy nagy kapacitású, központi biogén bázisközpontból természetesen a vegyipar csőhálózatán keresztül távoli helyekre is eljuttathatók a szükséges alapanyagok. A CO<sub>2</sub>-kémia továbbfejlesztésével (ez a CO<sub>2</sub> közvetlen felhasználását jelenti) a műanyaggyártás néhány évtized múlva ugyanúgy működik majd, mint a mai műanyagipar, természetesen az akkori technológiákat alkalmazva.

A vegyipar és a műanyagipar sokkal nagyobb értéknöveléssel tudja majd a biomasszát felhasználni, mint a jelenlegi energiaellátó és üzemanyaggyártó ipar. Emellett sokkal hosszabb lesz az az idő, amely alatt a CO<sub>2</sub> kötött állapotából ismét a levegőbe kerül. Épületekbe, bútorokba beépített elemek, de az anyagok visszaforgatása révén is a CO<sub>2</sub>-t akár több évtizedig is távol lehet tartani az atmoszférától.

### *A szén-dioxid tárolása a termékekben*

A levegőben lévő szén-dioxidot a növények, a tengerek és a talajok képesek felvenni és lekötni, becslések szerint kb. 100 évig. A hosszú élettartamú műanyag termékekben 30, 50 vagy akár 100 évig is tárolható volna, és ez alatt az idő alatt hasznos feladatot teljesítené. Egy olyan jól bejáratott újrafeldolgozó körforgásban, mint amilyen a PET újrahasznosításában megvalósult, ez az idő talán ennél is hosszabb lehetne.

A 2015-ben született párizsi megállapodás alapján kitűzött cél, a maximálisan 1,5 °C-os globális hőmérséklet-emelkedés megvalósulása érdekében sürgősen konkrét lépéseket kell tenni, és a CO<sub>2</sub> tartós lekötése a műanyag termékekben talán nem is tűnik csupán egy zöld utópiának. Hogy viszonylag milyen rövid idő alatt lehet gyors változásokat bevezetni, arra jó példa az energiaipar átalakulása és a villamos hajtású gépkocsik megjelenése. A CO<sub>2</sub>-emisszió csökkentésére irányuló intézkedéseket mielőbb meg kell tenni, mert a klímaváltozás könnyen klíma-veszélyhelyzetbe fordul át. A vállalatoknak cselekedniük kell, és olyan rendszerben kell gondolkodniuk, amelyben a teljes értékteremtő láncot figyelembe veszik.

Továbbra is a PET-re gondolva, hozzá kellene fogni egy CO<sub>2</sub>-t hosszú ideig lekötő technológiai lánc kiépítésére. Ehhez a biobázisú PET palackokat elkülönítetten kellene visszagyűjteni, a palackokat jó lenne többször felhasználni, majd ha újratöltésre már nem alkalmasak, anyagukat visszaforgatva abból ismét palackokat gyártani. Ha a reciklátum nem elégíti ki a palackgyártáshoz előírt követelményeket, szálát lehet belőle készíteni. Reciklált PET-ből jelenleg is gyártanak szálakat; ezekből készítik a sportdzszekik hőszigetelését, de alkalmasak otthoni és gépkocsiba szánt szőnyegek szövésére is. Ha a szőnyegek is elöregedtek, a PET szálak kémiai eljárással monomerjeire bonthatók, ezekből ismét PET-et lehet szintetizálni, és a körkörös folyamat újra indítható. Ez ma már technikailag megvalósítható. Egy ilyen körkörös folyamat kevés veszteséggel jár, és nagyon alkalmas a szén-dioxid-emisszió korlátozására. A szerző véleménye szerint csak meg kellene szervezni.

### *Bioműanyagok lépcsőzetes újrahasznosítása*

A PET mellett a PE is alkalmas a többlépcsős, fokozatosan változó újrafeldolgozásra. A Lego cég (Billund, Dánia) egy évvel ezelőtt kezdte világhírű játékelemeit biobázisú nagy sú-

rúségű polietilénből (PE-HD) gyártani. Ha kiselejteződnek, anyagukból sportpályák számára 15 évig használható műfü szőnyeget készítenek. Ezek elhasználódása után belőlük



2. ábra Gyepráccsal erősített kerti terület

gyepráccselemek lesznek (2. ábra). Ezzel a technológiával hasznos termékekben a levegőből kivont CO<sub>2</sub>-t évtizedekre le tudják kötni.

A biobázisú műanyagok néhány kivételtől eltekintve viszonylag újfajta anyagok, és piaci bevezetésük kezdetén vannak. A cellulóz-acetát (CA) azonban 1865 óta létezik, és jelenleg ez a legsikeresebb, millió tonnákban felhasznált biobázisú műanyag. Fotográfiai és mozi-filmeket, szemüvegkereteket, cigarettaszűrőt, bevonatokat készítenek belőle.

A biobázisú egyéb hőre keményedő és hőre lágyuló műanyagokról jelenleg nincsenek statisztikák, és arról sincsenek

adatok, hogy mire alkalmazzák őket; ilyen információkat csak konkrét példák alapján lehet szerezni.

### *A sokrétű és UV-álló PLA*

A többnyire fóliaként és pohárként feldolgozott PLA a legsokoldalúbb biopolimerek egyike, amelynek számos variációja van és ezek eltérő tulajdonságai révén a lekülönbözőbb termékek gyártására is szóba jöhetnek, pl. villamos és elektronikus eszközök háza, hűtőszekrény, laptop készülhet belőle. Könnyű feldolgozhatósága miatt már 3D nyomtatókhoz nyomtatószálat is készítenek belőle. Egyedi otthoni vagy irodai eszközök ugyancsak készíthetők belőle. 3D nyomatóval pl. irodai napvédő rollót is gyártottak ilyen technikával, amelyhez a PLA különösen alkalmas volt, mert jól tűri az UV-sugárzást. A vírusjárvány alatt átlátszó arcvédőket készítettek az egészségügyi személyzet számára, mert ez a polimer antiallergén tulajdonságú és semmiféle negatív hatása nincs. Emellett mechanikailag és kémiai eljárással is újrahasználható. Nem is túl drága, ezért érdemes volna nagyobb mennyiségben felhasználni és forgalomba hozni.

A biotechnológiával előállított 1,3-propándiolt, amely egy C-atommal többet tartalmaz, mint a monoetilén-glikol, a PET-hez hasonló poliészter, a poli(trimetilén-tereftalát) (PTT) gyártásához használják. A PTT szálak rendkívül erősek és tartósak, ezért kopásálló szőnyeget és textíliákat készítenek belőle.

Más erős szálak vagy kompaundok előállításához elég nagy választékban lehet találni részben vagy teljesen biobázisú poliamidokat. A PA11-et ricinusolajból kémiai eljárással állítják elő, és többek között gépkocsikhoz üzemanyag-vezetékeket gyártanak belőle. Motorburkolatok alapanyagaként néha bio-PA610-et alkalmaznak. A PA610 612 és variációiból sokféle műszaki terméket, pl. légfűvek vezetékeit lehet készíteni.

## *Biobázisú TPE és TPU*

A biobázisú termoplasztikus elasztomek (TPE) és poliuretánok (TPU) a legújabb, első-sorban műszaki célokra alkalmazható biopolimerek. Biobázisú komponenseik aránya összetételüktől függ, és nagyon különböző lehet. Gyártóik gyakran nem is közlik ezek arányát. A biobázis a gyakorlatban általában egy „zöld” polikomponenst jelent.

Az ilyen biobázisú polioloak száma meglepően nagy. Az egyes típusok a cukrokból, fermentált diolokból, trigliceridektől a növényi olajokból kinyert zsírsavszármazékokig terjedő alapanyagokból épülnek fel. A TPE-k jellemző tulajdonsága az erőhatás csillapítása és a formaváltozás visszaalakulása. Alkalmazási területei között vannak a sportszerek, de ablakprofilok tömítésére, fürdőlepedőkhöz, játékok puhább részeihez is használják. A TPU-kat ugyancsak a sportszergyártók és a kerékpárgyártók alkalmazzák, de cipőtalpanyagként és belső talpbetétként is erősen elterjedt; a cipőgyártás igénye az utóbbi célra a világon évente 700 000 tonna. Futballcipők és túristabakancsok gyártói is kedvelik a biobázisú TPU-kat. A sporteszközöket kínáló vállalatok kifejezetten keresik a biobázisú polimereket, mert vásárlóik között az átlagosnál több a műanyagkritikus személy.

Annak ellenére, hogy az építőiparban és a bútorgyártásban széles alkalmazási területeket lehetne találni a biobázisú műanyagok számára, ebben a két iparágban nagyon alacsony az ezek iránti igény, és ez a közeljövőben sem fog megváltozni. Gyakrabban jelennek meg az építőiparban a biobázisú polioloakat tartalmazó PUR ragasztók vagy habok. Előfordulnak a biobázisú epoxigyanták is. Ezeket a bioüzemanyagok gyártásakor képződő melléktermékből, a glicerinnel előállított epiklórhidrin (EPH) monomerekből állítják elő. A versenyképes áron előállítható epoxigyanta más hosszú használatra tervezett kompozitok, pl. repülőgépelemek, szélerőművek lapátjai, szőrfdeszkák ragasztására is felhasználható volna. A biobázisú lágy PUR habok kárpitozáshoz vagy matracok gyártására volnának alkalmasak. Ilyen termékek egy-egy gyártónál már készültek, de a biobázisú műanyagok előnyeit ezen a területen eddig senki nem elemezte eddig. Pedig kézenfekvő lehetne, hogy a velük készült végtermékeket „zöld variáns”-nak tekintsék.

## *Nagyobb igényt a piaci rések felfedezése hozna*

Az előbbiekből egyértelmű, hogy a biobázisú műanyagok alkalmazása a legtöbb ágazatban még nagyon ritka. Számos alkalmazásnál előfordulnak olyan kis piaci rések, amelyekbe kisebb mennyiségeket be lehetne juttatni. Néha azonban az is kiderülhet, hogy valahol nagyobb lehetőségek is adódnak.

## *Környezetvédelem és körforgású gazdaság, mint a fejlesztés fő célja*

A megbízható piaci információ hiánya hátráltatja az olyan törvényi szabályozást, amely támogathatná az újdonságok piaci áttörését. A biobázisú műanyagok példáján jól látszik, hogy mennyire fontosak a jogszabályok a piaci bevezetésben. Ha ezek betartása nem kötelező, megindul a politikai és társadalmi vita az innováció megfelelő keretfeltételeinek meghatározására. A biodegradálható műanyagok megjelenésekor nagy nyomás nehezedett a környezetet megterhelő fóliazacskók és az egyszeri használatra szánt termékek gyártóira, akik úgy gondolták, hogy komposztálható termékekkel csökkenteni tudják a nyomást. Ennek érdekében

jelentős beruházásokat vállaltak, és ösztönözték az ilyen polimerek alkalmazását. De kiderült, hogy ezek nem váltották be a hozzájuk fűzött reményeket, és nem sikerült őket kihagyni a műanyag hulladék csökkentésére hozott törvényekből az egyszeri használatra vonatkozó műanyag tilalma alól. A biodegradálható műanyagok gyártói most Európa-szerte lázasan keresik az olyan alkalmazási lehetőségeket, ahol termékeiket elhelyezhetik, mert sem vékony falú fóliazacskókat, sem egyszer használható tányérokot és evőeszközöket nem készíthetnek ezekből a műanyagokból.

Sokkal jobb azoknak a műanyagoknak a kilátásai, amelyeknek egyszerre vannak funkcionális és ökológiai előnyei, és a belőlük gyártott termékeket nem feleslegesnek, hanem ésszerűnek és fontosnak tartják. Ilyenek lehetnek a biobázisú műanyagok, amelyeket akkor fogadnak el innovációként, ha gyártóik a holisztikus rendszergondolkodást magukévá teszik, és ennek alapján kialakítják piaci pozíciójukat. A körforgalmú gazdaság és a klímavédelem elsőbbsége kijelöli a fejlesztés keretfeltételeit, egyúttal a széles forgalmazás lehetőségeit is. A biobázisú műanyagok felhasználása a nagy értékű, lehetőleg hosszú élettartamú termékekben, amelyeket elviselik a többszöri lépcsőzetes újrahasznosítást, ideális alkalmazása ezeknek a műanyagoknak, amelyek nem csak a piaci bevezetéskor, hanem a későbbiekben is sikeresek lesznek.

A teljes műanyagiparnak át kell gondolnia jelenlegi helyzetét, és azt, hogy hogyan tud ezekhez az új elvekhez igazodni. Jövőjük ugyanolyan kérdéses, mint a fosszilis energiagazdaságé és a dízel- és benzinajtású járművéké. Gyűjteni kell a lehetséges megoldásokat és kisebb dózisekben a piaciakat is. Minél kifinomultak a tervek és minél erősebb a játékos akarat, annál gyorsabban sikerül majd áttörni a széles frontot.

Összeállította: Pál Károlyné

Káb, H.: Mit Biokunststoffen zur Zukunftsbranchen = Kunststoffe, 2021. 1. sz. p. 44-49.