

DR. TÁBI TAMÁS

TÉNYEK ÉS TÉVHITEK A BIOPOLIMEREKSEL KAPCSOLATBAN

2. RÉSZ

Az októberi számunkban megjelent cikkünk első részében bemutattuk a biopolimerek viszonyát a műanyagokhoz képest, jelen cikkünkben pedig megvizsgáljuk, hogy milyen tények és tévhitek övezik a biopolimerek világát. Ezeket az állításokat az alábbiakban listászerűen soroljuk fel és tekintjük át az adott állítás valóságtartalmát. A cikk szerzője Dr. Tábi Tamás, a BME Polimer-technika Tanszékének egyetemi docense, az MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoportjának tudományos munkatársa.

A biopolimer termékek idővel szobahőmérsékleten is maguktól szétesnek, lebomlanak. Igaz ez?

Ez egyike a legnagyobb tévhiteknek, és sajnos elég károsak a biopolimerek és a belőlük készített termékek megítélése szempontjából. Gondolatban elsőként hozzuk létre a tökéletes szerkezeti anyagot, amiből szeretnénk termékeket készíteni. Ez a tökéletes szerkezeti anyag megújuló erőforrásból létrehozható, szilárdsága, szívóssága, tartóssága vetekszik az acélével, egyben könnyű és egyszerűen feldolgozható, mint a műanyagok, és végül, ha már nem használjuk, akkor "varázsütésre", azaz valamilyen hatásra nyom nélkül, szinte azonnal lebomlik biológiai úton, és így teljes mértékben beilleszthető a természet körforgásába. Ez az anyag sajnos nem létezik, és valahol érezzük is, hogy a hosszú távú alkalmazhatóság, azaz a stabilitás és a biológiai úton való könnyű lebonthatóság egymásnak ellentmondó tulajdonság és fogyasztói követelmény. A stabilitás és a könnyű lebonthatóság ugyanakkor például a PLA (polilátsav) biopolimer tulajdonságát tekintve szerencsés viszonyban állnak egymással. A PLA biopolimer ugyanis 50 °C alatt szinte teljesen stabil, és így évekig használható termék gyártható belőle, viszont amikor ipari úton komposztáljuk, amely tipikusan ezen hőmérséklet felett történik, akkor beindul a biológiai úton történő lebomlása. Ez a hőmérséklet nem más, mint a PLA úgynevezett üvegesedési átmeneti hőmérséklete (jelölése T_g), ami felett a PLA molekulaláncainak mozgékonyága, aktivitása jelentősen felgyorsul és ez egyben a bomlását is jelentősen, nagyságrendileg felgyorsítja (de pusztán a hőmérséklet nem elegendő hozzá). Vagyis az a bizonyos „varázsütés”, ami elválasztja egymástól a stabilitást és a hosszú távú felhasználhatóságot, valamint a könnyű lebonthatóságot, az a PLA biopolimer esetében egy határhőmérséklet. Ez alatt évekig használható, felette pedig (a komposztálási folyamat körülményei között) relatíve gyorsan bomlik. Illetve hadd hozzak fel még egy példát egy ennél is jobban ismert biopolimerrel, pontosabban természetes polimerrel (III-as szintű biopolimer) kapcsolatban. Ez nem más, mint a fa. A fát megújuló erőforrásnak tekintjük (fotoszintézis során létrejövő glükózból építi fel az adott



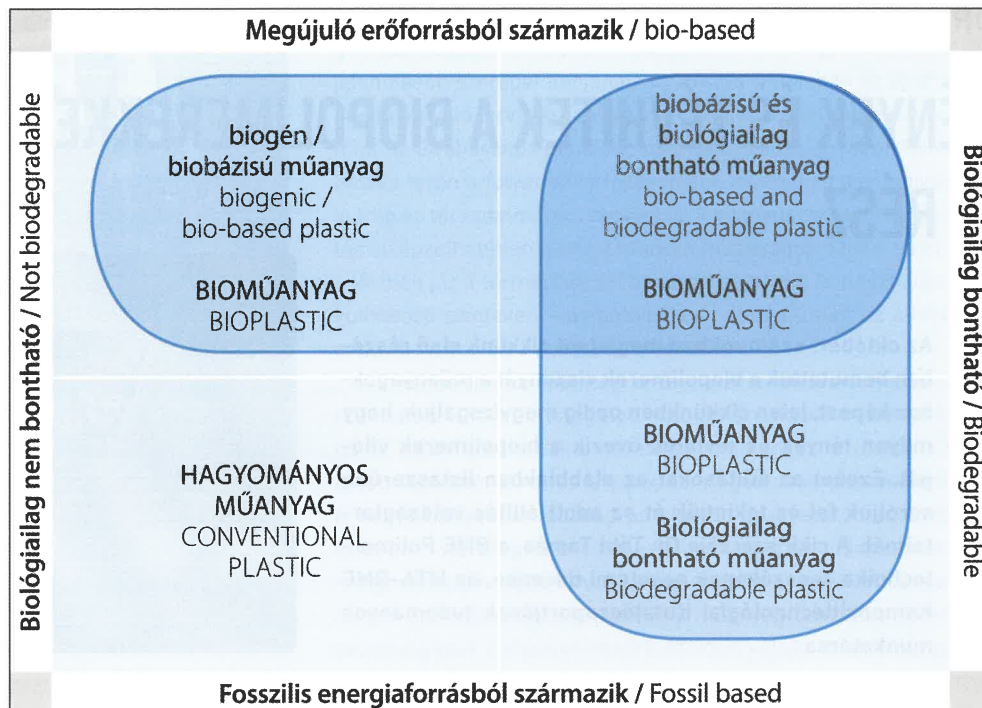
növény) és egyben biológiai úton bontható, mégsem fog csak úgy magától rövid idő alatt szétesni és megindulni a lebomlása.

Miért hívjuk a biopolimereket lebomlóknak, ha nem bomlanak le maguktól?

A tudományos életben nem is hívjuk lebomlóknak ezeket az anyagokat, pusztán csak arról van szó, hogy sajnálatosan megragadt ez a kifejezés az első biopolimerek megjelenésével a köznyelvben, mivel korábban a gyártók helytelenül ezt a kifejezést használták. A helyes kifejezés megtalálásához nézzük meg, hogy mit ír a nemzetközi szakirodalom. Ott *biodegradable*-nek hívnak egy *lebomló* polimert, ami a *bio-de-grade-able* szavakból tevődik össze. A *bio* biológiai úton jelent, a *grade* pedig osztályozást, minősítést, a *de* pedig fosztóképző. Eddig akkor úgy néz ki a kifejezésünk, hogy biológiai úton leminősítő, degradáló, azaz bontó. És ott a kifejezés végén az *able*, ami a -hat, -het képző magyarul. Ennek megfelelően a teljes kifejezés úgy hangzik, hogy biológiai úton lebontható és nem pedig lebomló. A magyar nyelvben a kettő között nagy különbség van, hiszen, ha valami lebomló, akkor folyamatban van a lebomlása és azt gondolnánk, hogy ez a folyamat magától végbemegy, míg a lebontható kifejezés azt jelenti, hogy a lebontás az pusztán csak egy lehetőség, amivel vagy élünk, vagy nem, de magától rövid idő alatt nem megy végbe a folyamat.

Ettől függetlenül igenis létezik olyan polimer, amely magától szétesik, lebomlik.

Valóban forgalomban voltak/vannak olyan műanyagból készült termékek (főleg zacskók), amelyek látszólag lebomlottak és maguktól szétesetek apró darabkákra. Ami nagyon lényeges, tudjuk, hogy ez nem biológiai úton történő lebomlást jelent. Ezek a termékek hagyományos műanyagból, általában polietilénből (PE) készülnek, tehát semmilyen szinten NEM biopolimerek. A PE a molekulaszervezetének sajátosságai miatt oxidáció útján, azaz oxigén (vagy levegő) közegben hajlamos a fizikai öregedésre, bomlásra, aminek meggátolására antioxidáns adalékanyagokat



Biopolimerek csoportosítása ▷

alkalmaznak, ha tartós használati terméket gyártanak belőle. Ezek a *maguktól széteső* műanyagok viszont éppen ellenkezőleg egy, az oxidációt és a műanyag molekulalánc szétesését felgyorsító adalékanyagot tartalmaznak, amelynek hatására a műanyag termék ugyan darabokra esik szét, de maga a folyamat nem biológiai, hanem fizikai úton megy végbe és a visszamaradó műanyag darabkák sem lesznek biológiai úton bonthatók. Ezeket egyébként oxo-degradábilis vagy oxo-lebomló műanyagoknak hívjuk, amelyeknek 2021 nyarától betiltották használatát és csak a tényleges biopolimerek alkalmazása lesz engedélyezett.

Mi a különbség a biopolimer/lebontható(lebomló) polimer/komposztálható polimer között?

Ezek a fogalmak mind a biopolimer gyűjtőfogalom alá csoportosíthatók, azaz a biopolimert tekintjük a teljes halmaznak, amelybe



beletartoznak a megújuló erőforrásból előállítható és a biológiai úton lebontható polimerek is. Értelemszerűen a biopolimerek csoportjának részhalmaza a (biológiai úton) lebontható polimerek, amely kifejezéssel akkor élünk, amikor csak azt a tulajdonságot szeretnénk hangsúlyozni, hogy az adott biopolimer biológiai úton lebontható, függetlenül attól, hogy megújuló erőforrásból hozták-e létre vagy sem. A komposztálható polimer alatt pedig a lebontható polimereken belül még mélyebb részhalmazt értünk, ahol nem csak azt szeretnénk hangsúlyozni, hogy az adott polimer biológiai úton lebontható, hanem azt is, hogy ezt komposztálással lehet végrehajtani. Végül pedig a lebomló polimer kifejezést a korábbiakban már tárgyaltuk, hogy félreértésekre adhat okot, így ennek használata nem javasolt, helyette a (biológiai úton) lebontható kifejezést érdemes használni.

A biopolimerek visszaforgatására nincs elegendő komposztálási kapacitás, ami gondot jelent, mivel csak és kizárólag komposztálással lehet visszaforgatni ezeket.

Felvetődik a kérdés, miért gondoljuk, hogy a biopolimereket csak és kizárólag komposztálni lehet? Valószínűleg ez a tévhit a biopolimerek csoportjába tartozó komposztálható polimer kifejezésből ered, ugyanakkor tekintve, hogy a biopolimerek a műanyagok környezetbarát változatai, így ugyanúgy lehet a biopolimerekből készült termékeket **újrahasználni** (többször használatos termékek), **újrafeldolgozni** (ledarálva és újra terméket létrehozva), **komposztálni**, **égetni**, sőt **depolymerizálni**. Az utolsó két módszer kicsit több magyarázatot igényel. Egyrészt a biopolimerek (II-es szint vagy felette) *büntetlenül* égethetőek, mivel – ahogy korábban tárgyaltuk is – anyagában szén-dioxid semlegesek, szemben a műanyagokkal, amelyeket kőolajból állítanak elő, és így utóbbiak égetése jelentősen növeli a légkör szén-dioxid tartalmát. A biopolimerek égetése során szén-dioxid keletkezik, az a szén-dioxid, amit a növény a biopolimer alapanyagául szolgáló glükóz létrehozása, azaz a fotoszintézis során megkötött.



A depolimerizáció pedig egy olyan lehetőség, ahol is a biopolimer terméket a vegyipar tudná fogadni és a biopolimer molekulaláncot ismétlődő alapegységévé visszabontani, majd pedig az alapegységekből ismételten felépíteni a hosszú molekulaláncot. Ez összesen ötféle lehetőség a biopolimerek visszaforgatására, beleértve a komposztálást is. Abban az esetben, ha a jelenlegi biopolimer termelés során ragaszkodnánk hozzá, hogy azokat csak és kizárólag komposztáljuk, akkor valóban szükséges a jelenlegi komposztálási kapacitás növelése és a házi komposztálás bevonása a biopolimerek kezelésébe.

Amennyiben komposztáljuk a biopolimereket, akkor arra a házi komposztálás nem, csak és kizárólag az ipari komposztálás alkalmas.

Valóban léteznek olyan biopolimerek, amelyek biológiai úton történő lebontásához ipari komposztálás során fennálló körülmények szükségesek. Ilyen a már korábban említett PLA is, aminek magyarázata, hogy a PLA üvegesedési átmeneti hőmérséklete (ami felett a molekulaláncok mozgékonyága nagyságrenddel nagyobb) 50-60 °C között található, azaz a komposztálását mindenképpen e fölötti hőmérsékleten célszerű végrehajtani, hogy minimalizáljuk a lebomlási időt. Legalább ekkora hőmérséklet pedig jellemzően ipari komposztálóknál alakul ki, házi komposztálóban maximum csak rövid időre, vagy egyáltalán nem. Ettől függetlenül léteznek olyan, általában nagy keményítő tartalmú biopolimerek, amelyek házi komposztban is lebonthatók. Itt a keményítő vízzeloldhatósága is hozzájárul a kisebb hőmérsékleten végbemenő bomláshoz, de értelemszerűen a könnyű bonthatóságnak általában a hosszútávú felhasználhatóság az ára, így ezen termékek használhatósági ideje rövidebb, és a gyártható termékek palettája is szűkebb, mint a PLA-ból készült termékeké. Végül pedig érdemes megemlíteni, hogy jelenleg is folynak kutatások, hogy a műszaki célokra is alkalmas PLA biopolimer házi komposztálhatóságát sikerüljön elérni különböző enzimek segítségével.

Mivel egyes biopolimerek csak ipari komposztálóban bonthatók, így a környezetbe kijutva ugyanúgy eltömíthetik az állatok emésztőszerv-rendszerét, mint a műanyagok.

Ahogy korábban említettük, vannak házi komposztban is bontható biopolimerek, vagy akár vízzeloldható, könnyen bomló biopolimerek, amelyek környezetbe való kijutása ezen tulajdonságai kapcsán minimális kockázattal jár az élővilágra, de tekintsük át most akkor az állításban szereplő, csak ipari komposztban bontható biopolimereket, mint például a PLA-t. Ha egy PLA-ból készült termék kijut a természetbe (pl. mezőre), az egyrészt mindenképpen rövidebb idő alatt bomlik el, mint egy hagyományos műanyag termék (aminek széteséséhez több száz év szükséges), még akkor is, hogyha a feltételek nem ideálisak, azaz nem áll fenn komposztálási körülmény. Ha egy bomlás alatt álló és elaprózódó PLA termék darabkáját egy állat vagy akár az ember lenyeli, akkor szerencsés esetben a PLA darabka átmegy az emésztőszerv-rendszeren és távozik a szervezetből úgy, hogy abban sem fizikai, sem pedig fiziológiai, működésbeli kárt nem okoz. Fontos belátnunk, hogy a PLA bomlása erősen savas környezetben szintén felgyorsul (még ha nincs is meg az 50-60 °C), így a lenyelt PLA darabka várhatóan részlegesen emésztve, bizonyos mértékben tovább aprózódva jut át a szervezeten. Nyilván abban az esetben, ha egy emlős csak és kizárólag PLA biopolimer termékeket enne nagy mennyiségben (amelyet egyébként nem éreznek tápláléknak), akkor várhatóan eltömődne az emésztőszerv-rendszere.

A biopolimerek a bomlásuk során a környezetre ártalmas anyagokra bomlanak.

A biopolimerek, mivel szénből, hidrogénből és oxigénből állnak, így a bomlásuk során vízre és szén-dioxidra bomlanak, sőt az égetésük esetén is ezen anyagok képződnek. Ahogy korábban is volt róla szó, a bomlás/égetés során képződő szén-dioxid pedig



egy megkötött szén-dioxid, amit a biopolimer létrehozására felhasznált glükóz fotoszintézisével kötött meg az adott növény, így nem növeli a légkör összes szén-dioxid tartalmát.

Ha csak részleges egy biopolimer termék bomlása, akkor az elaprózódott mikroszkopikus darabkák visszajutnak az emberi vagy állati táplálékláncba, amely gondot okoz.

Nyilván nem nulla a valószínűsége annak a lehetőségnek, hogy egy biopolimer terméket a korábban említett ötféle ártalmatlanítási módszer egyikével sem dolgoznak fel, így az kijut a természetbe, ahol bomlani kezd, de az ideális lebomlási körülmények hiányában (komposzt) ez a bomlás jóval lassabb lesz, így sokáig az elaprózódás és részleges bomlás állapotában lehet. Természetesen a bomlás során apró darabok válnak le a biopolimer termékből, amelyek mikroszkopikus szemcsék formájában akár visszajuthatnak az emberi táplálékláncba. Ez a hagyományos műanyagok esetében időszerű és valós probléma, mivel egyrészt azokat az emberi szervezet nem tudja feldolgozni, másrészt pedig idegen anyagnak tekinti. Ezzel szemben a biopolimerek mikroszkopikus szemcséi, még ha el is jutnak az emberi táplálékláncba, azért nem okoznak gondot, mert az emberi szervezet azokat részben vagy egészben megemésztí, és az emésztés során az emberi szervezetre nem káros anyagok jönnek létre (pl. tejsav, víz).

Mivel jelenleg élelmiszerek szánt anyagokból (búza, kukorica, cukor) lehet biopolimereket gyártani, így ha biopolimerekből nagy mennyiséget állítunk elő, akkor nem marad élelmiszere.

Valóban, a biopolimerek gyártására jelenleg olyan alapanyagokat használnak, amelyekből egyébként élelmiszert is lehet készíteni, de az, hogy nem marad élelmiszere, ha sok biopolimert gyártunk, az egy túlzó állítás. Nézzük meg, hogy ennek az állításnak az élet mivel tudjuk tompítani. Először is tekintsük át a jelenlegi gyártókapacitást, amely a PLA biopolimert tekintve 2018-ban közel 220 000 tonna volt. Az előrejelzések szerint 2023-ra ez dinamikusan nőhet akár 430 000 tonnára (éves gyártás). PLA létrehozására jelenleg leginkább búzát, kukoricát vagy cukorrépat lehet alkalmazni a keményítő/cukor tartalmuk miatt, amelyekből Magyarországon rendre 5,2 millió tonna, 8 millió tonna, valamint 1 millió tonna volt a termés 2018-ban. Ebből mindösszesen kerekítve kicsit több mint 4 millió tonna PLA lenne létrehozható pusztán csak Magyarországon, ha az összes termést PLA gyártásra

fordítanánk. Sőt a 2023-ra előrejelzett 430 000 tonna PLA összes világtermelés létrehozása is megoldható lenne pusztán csak a magyarországi búza és kukorica termés 11%-ából. További érveként hozható fel, hogy a fogyasztói társadalom okozta jelentős mennyiségű, feleslegesen létrehozott és kidobott élelmiszer mennyiségének csökkentésével és egy kis odafigyeléssel valószínűleg megspórolható lenne az a gabona mennyiség, amely ezután már nem a szemétben végezné, hanem biopolimer gyártásra fordítható lenne. Ismét egy további érv, ami inkább a szerző magánvéleményét tükrözi, hogy a mai világunkban mind a gabonából, mind pedig a cukorból olyan pusztán csak élvezeti termékeket hozunk létre, mint az égetett szeszek vagy magas cukortartalmú üdítők, sütemények, amelyek fogyasztásának mérséklése nem csak egészségesebb életvitelhez vezethet, de az itt megspórolt anyagokból szintén biopolimert lehetne gyártani. Végül pedig a fő érv, amivel árnyalhatjuk a bekezdés elején szereplő állítást az az, hogy természetesen a kutatók világszerte dolgoznak azon, hogy a jövőben biopolimereket ne élelmiszerek is felhasználható anyagokból, hanem melléktermékekből (pl. különböző növényi rostokból, mint a kukoricaszár) is létre lehessen hozni.

A biopolimerekből csak csomagolás gyártható, de más terméket nem tudunk kiváltani velük.

Mivel jelenleg biopolimer termékekkel leginkább csomagolástechnikai alkalmazásokban találkozhatunk, így azt gondolhatnánk, hogy ezek az anyagok csak ilyen célra használhatók. Ismét a PLA-t hoznám fel példának, amely amellet, hogy 50-60 °C alatt egy stabil polimer, műszaki műanyagokhoz hasonló mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik (65 MPa szilárdság, 3 GPa rugalmassági modulusz), így hosszútávú mérnöki alkalmazásokban is teret hódíthat. Ilyen alkalmazások lehetnek elektronikai cikkek burkolata, autópári termékek (pl. légszűrő doboz), orvostechikai termékek (felszívódó implantátum), vagy éppen a 3D nyomtatás (úgynevezett ömledék rétegezéskor, azaz FDM technológiánál alkalmazott nyomtatószáll). Nem kell tartani attól, hogy a legtöbb biopolimer egyben biológiai úton lebontható, mert ahogy korábban volt róla szó, nem fog magától lebomlani és mechanikai tulajdonságai alapján érdemes arra, hogy műszaki alkatrészeket állítsunk elő belőle.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„A munkát a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) PIACI-KFI pályázata (2019-1.1.1-PIACI-KFI-2019-00205 és 2019-1.1.1-PIACI-KFI-2019-00335) támogatta. A munkát a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) OTKA (FK 134336) pályázata támogatta. A cikk a Bolyai János Kutatási ösztöndíj támogatásával készült. Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-5 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. A kiadvány a Magyar Tudományos Akadémia Magyarország-Olaszország kétoldalú mobilitás pályázatának keretein belül készült (NKM-73/2019).”

Dr. Tábi Tamás Tények és tévhitek című kétrészes cikke a Biohulladék Magazin 2020. decemberi és 2021. januári számaiban jelent meg.