

Tények és tévhitek a biopolimerekkel kapcsolatban - I. rész (másodközlés)
Tábi T.

Accepted for publication in Polimerek
Published in 2021
DOI:

DR. TÁBI TAMÁS

TÉNYEK ÉS TÉVHITEK A BIOPOLIMEREKKEL KAPCSOLATBAN

I. RÉSZ

Két részből álló tudományos cikkel járjuk körül a biopolimerekkel, lebontható polimerekkel kapcsolatos tényeket és tévhiteket. A cikk első részében a téma megértéséhez elengedhetetlen definíciókat, a biopolimerek és műanyagok viszonyát, a biopolimerek csoportosítását és az egyik legnépszerűbb biopolimert mutatjuk be, amíg a cikk második részében tekintjük át azokat a tévhiteket, amelyek a biopolimereket jelenleg övezik. A cikk szerzője dr. Tábi Tamás, a BME Polimer-technika Tanszékének egyetemi docense, az MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoportjának tudományos munkatársa.

Napjainkban a környezet tudatos védelme, valamint a körkörös gazdaság tématerületekhez kapcsolódóan sokat lehet hallani a biopolimerekről, ugyanakkor sajnos rengeteg tévhit és félrevezető információ kering ezekről az anyagokról. Ezek alapján fontosnak éreztük, hogy ezzel a kétrészes cikkel tisztázzuk a biopolimerekkel kapcsolatos főbb tudnivalókat, valamint, hogy rámutassunk ezeknek az anyagoknak a körkörös gazdaságban betöltött szerepére.

A POLIMEREK ÉS A MŰANYAGOK

A téma megértéséhez fontos tisztázni néhány definíciót. Az egyik a „polimer” és a „műanyag” viszonya. A polimer görög eredetű szó „sok egységet” jelent (poli – sok, mer – egység), amely alatt olyan szerves, tehát szén alapú óriásmolekulát értünk, amelyet több ezer ismétlődő egység molekulaláncba rendeződése alkot. Az ismétlődő egységeket elsődleges kovalens kötések kapcsolják össze és a polimerek tulajdonságait ezeknek a láncoknak a hossza döntő mértékben meghatározza. A polimerek lehetnek természetesek és mesterségesek, ami alatt azt értjük, hogy az adott polimer a természetben megtalálható-e, azaz a természet alkotja meg, vagy pedig annak létrehozásához emberi beavatkozásra van szükség. Kezdjük először a természetes polimerek tárgyalásával.

A két legfontosabb természetes polimerünk a cellulóz és a keményítő, amelyek az évente újratermelődő biomassza jelentős részét képezik. Mind a keményítő, mint pedig a cellulóz glükóz alapú polimerek ($(C_6H_{10}O_5)_n$, egy vízmolekulával kevesebb az ismétlődő egysége, mint a glükóznak), amelyekben az ismétlődő egységek kapcsolódási módja alkotja a különbséget, így ez alapján dől el, hogy az adott polimer cellulóz vagy pedig keményítő. Hasonlóság ugyanakkor, hogy mindkét polimer alapanyagát, a glükózt ($C_6H_{12}O_6$), azaz szőlőcukrot a növények a fotoszintézis során alkotják meg. Ennek, az emberi élet számára is nélkülözhetetlen folyamat során leegyszerűsítve a növények víz,

szén-dioxid és fényenergia felhasználásával glükózt, valamint oxigént hoznak létre. Ebből a glükózból pedig a növény a saját fejlődése érdekében cellulózt (sejtek vázanyaga) vagy pedig keményítőt (energiaraktár) hoz létre. Ugyanakkor nem csak a növények hoznak létre természetes polimereket, hanem az állatok is, és így az emberi test úgyszintén bővelkedik polimerekben. Elég, ha csak a fehérjére gondolunk, ami az aminosav polimerje, és amelynek széles spektrumából kiragadva pusztán csak a struktúrfehérjéket, ezek alkotják többek között az izomszövetet, a bőrt, az erek falát és az inakat is.

Ezzel szemben mesterséges polimernek, köznap elnevezéssel műanyagnak hívjuk azokat a polimereket, amelyek létrehozásához szükség van az ember beavatkozására és a korszerű vegyiparra. A műanyagokat kőolajszármazékokból hozzák létre, ugyanakkor ezek továbbra is szén alapú óriásmolekulák, amelyek többek között ugyanúgy szénből, hidrogénből, oxigénből, nitrogénből állnak (egyes esetekben klórból, fluorból is), így összetevőikben, szerkezetükben, sőt tulajdonságokban is nagy hasonlóságot mutatnak a természetes polimerekkel, legyen az éppen növényi vagy állati (emberi). Mindezek alapján beláthatjuk, hogy az emberi szervezet sokkal közelebb áll a műanyagokhoz, mint azt gondolnánk.

MŰANYAGOK A MINDENNAPI ÉLETBEN

Természetes polimerből, legfőképpen fából, bőrből, valamint szálakból, rostokból készített tárgyakat, eszközöket, szerkezeti alkatrészeket az emberiség már több ezer éve használ, ugyanakkor a műanyagok, azaz a mesterséges, kőolaj alapú és egyben ember alkotta polimereket az emberiség a többi szerkezeti anyaghoz (fémek, kerámiák) képest nem olyan régen alkalmaz. Nagyjából 50-100 éve fedezték fel és alkották meg a mai ismert és mindennapi használatban lévő műanyagok többségét, mint a polietilén (PE), polipropilén (PP), poli(etilén-tereftalát) (PET), polikarbonát (PC), akrilnitril-butadién-sztirol (ABS), poli(vinil-klorid) (PVC) vagy a poliamid (PA). Ezek nélkül az anyagok nélkül manapság már nagyon nehezen tudnánk elképzelni az életünket. Mi sem jellemzi jobban a műanyagok fontosságát egy gazdaságban, mint hogy a műanyagok „fogyasztása” egyenes arányban áll az adott ország gazdaságának fejlettségével. Ezt a műanyagok a sokszínűségüknek köszönhetik: széles skálán mozognak a tulajdonságaik, kicsi a sűrűségük, tehát könnyűek és a fejlett alakadási technológiákkal nagy formagazdagságú, nagy sorozatban gyártott, méretpontos termékek hozhatóak létre belőlük kis energiabefektetéssel. Sőt, számos olyan speciális alkalmazási terület van, ami nem létezne műanyagok nélkül. Elég, ha csak az orvostechikai műanyag termékekre gondolunk, mint például az infúziós tasak vagy a csípőprotézis, ahol a speciális műanyag rendkívül alacsony súrlódási együtthatója biztosítja az emberi

szövevethz leginkább hasonló viselkedést. Vagy ott vannak a szél-erőművek lapátjai, amelyek szálerősített műanyag kompozitból készülnek, így nem csak tartósak, nagy szilárdságúak, de egyben könnyűek is, ezért segítségükkel kis szélesebség mellett is termelhető áram.

PROBLÉMÁK A MŰANYAGOKKAL

Annak ellenére, hogy a műanyagok megkönnyítik, egyszerűbbé teszik az életünket, számos területen ezeket az anyagokat sok vád éri mostanában, főleg környezetvédelmi szempontok miatt. Az egyik, hogy a műanyagokat kőolajszármazékból állítják elő, amely egy véges erőforrás. Habár ez valóban így van, ugyanakkor a kőolaj felhasználásnak nagy része nem a műanyagok előállítására, hanem étetésre fordítódik (belső égésű motorok, hőerőművek, repülőgépek), továbbá a műanyagokból olyan könnyű alkatrészek hozhatóak létre, amely az adott jármű tömegcsökkentése révén a kőolaj megtakarítást segíti elő. Ennek ellenére a probléma fennáll, azaz a kőolaj valamikor el fog fogyni, és a kőolaj utáni korszakban is szeretnénk az életünket megkönnyíteni műanyag termékekkel létrehozni.

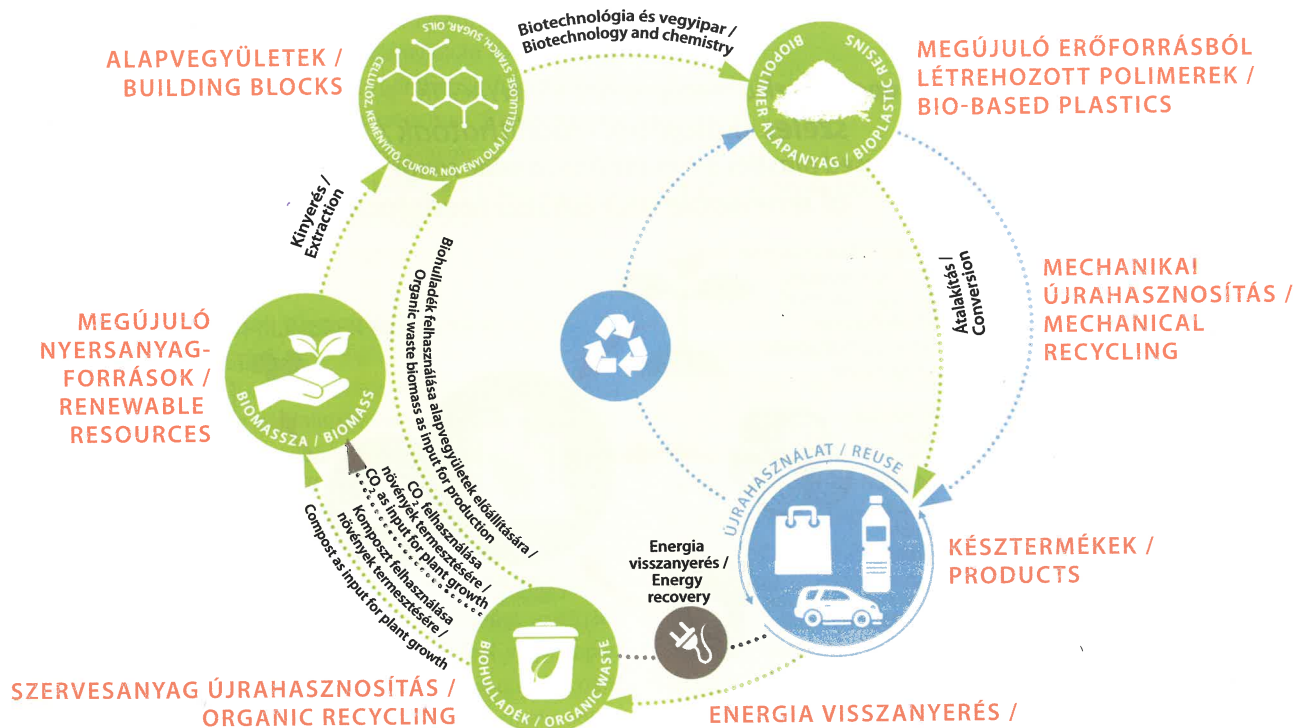
A másik komoly vád, amely éri a műanyagokat, elsősorban a nagy mennyiségben gyártott csomagolástechnikai jellegű termékeket, hogy azok a rövid életciklusuk után hamar a hulladéklerakóban köthetnek ki és a felhalmozódó műanyag hulladék káros lehet az élővilágra. Itt a fő probléma, hogy a rövid életciklusú termékek létrehozására is ugyanolyan stabil és tartós műanyag alapanyagokat használnak, amely nem lenne indokolt. Továbbá, nem teljes mértékű a műanyag hulladék újrahasznosítása, amely többek között gazdaságossági okokra (sok esetben olcsóbb lehet az eredeti alapanyag, mint az újrahasznosított) vagy pedig gyakorlati okokra vezethető vissza, tekintve, hogy az újrafeldolgozás során a műanyag tulajdonságai romlanak, ezért ez csak

egy ideális álmkép, hogy egy műanyag termék újrafeldolgozásával egy, az eredetivel tökéletesen azonos új terméket kaphatunk. Műanyag típustól függően csak egy meghatározott mennyiségű újrafeldolgozott műanyagot lehet felhasználni új termék gyártására.

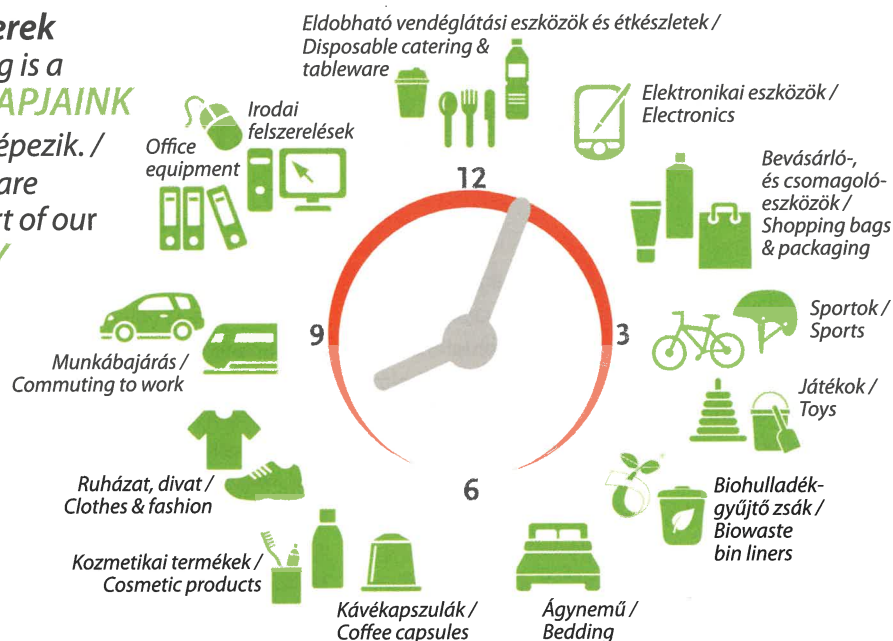
EGY LEHETSÉGES MEGOLDÁS, A BIOPOLIMEREK ALKALMAZÁSA

Mindezekre a problémákra megoldást nyújthat az úgynevezett biopolimerek használata. A biopolimerek alatt a megújuló erőforrásból előállított és/vagy biológiai úton lebontható polimerek összességét értjük. A két feltétel közötti és/vagy kapcsolatnak a későbbiekben még fontos szerepe lesz, de elsőként elemezzük magát ezt a két állítást. Az első állítás, hogy a biopolimereket megújuló erőforrásból lehet előállítani, ami egyben azt is jelenti, hogy nem kőolaj alapúak, ami utóbbi egy véges erőforrásnak tekinthető (valójában megújuló, de évmilliók szükségessé hozzá, így jelenleg a fogyasztás mellett elhanyagolható a megújulásának sebessége). Ez a bizonyos megújuló erőforrás, ami felhasználható biopolimerek létrehozására pedig nem más, mint a korábban említett, a fotoszintézis során létrejövő glükóz, amit a növények cellulóz vagy pedig keményítő formájában raktároznak. Ez az az anyag, ami az évente megújuló biomassza jelentős hányadát teszi ki, így kvázi korlátlan mennyiségben áll rendelkezésre. A biopolimerek definíciójában szereplő második állítás pedig, hogy biológiai úton lebonthatóak, ami azt jelenti, hogy egy biopolimer termék komposztálva a gombák, baktériumok vagy algák enzimatikus bontó képességének hatására hónapok, esetleg néhány év alatt lebomlik és a bomlástermékek nem szennyezik a környezetet vagy a komposztot. A bomlástermékek első körben – mint minden szerves anyag biológiai lebontása során – a mikroorganizmusok enzimatikus bontó hatásának

Biopolimerek / Bioplastics – closing the loop



**A biopolimerek
már jelenleg is a
MINDENNAPJAINK
RÉSZÉT képezik. /
Bioplastics are
already part of our
EVERYDAY
LIFE.**

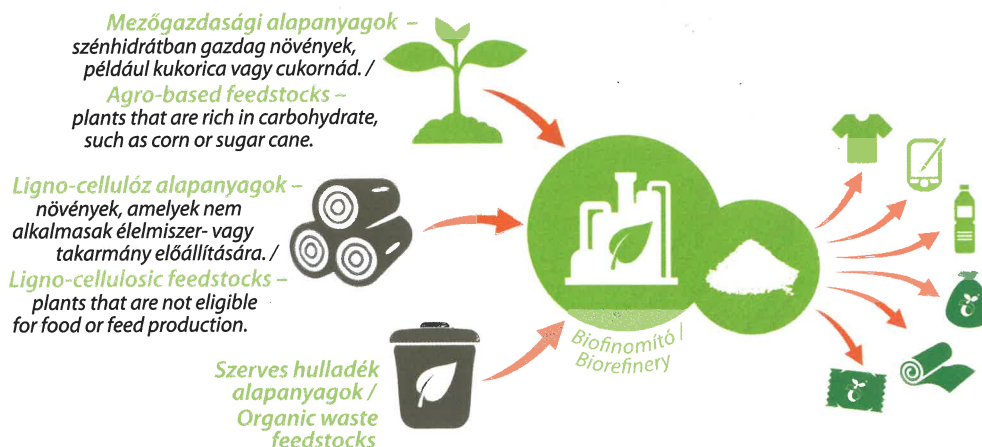


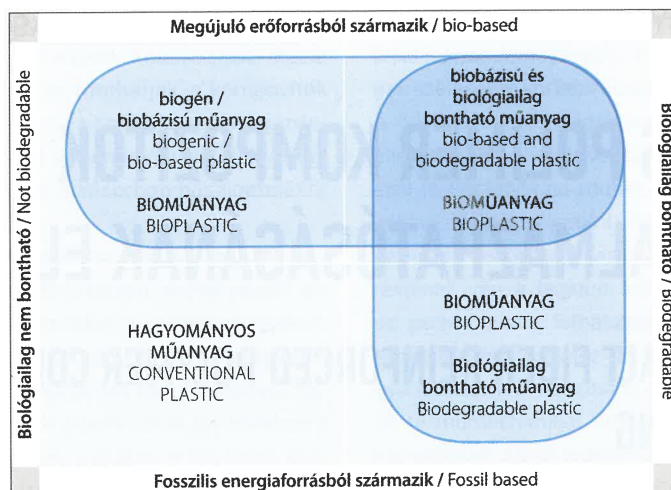
köszönhetően szén-dioxid, víz, szerves anyag és biomassza. Ez egy természetes folyamat, hogy a bomlás során szén-dioxid is képződik, ugyanakkor ez nem növeli a légkör összes szén-dioxid tartalmát, mivel ezt a szén-dioxidot a növény korábban a fotoszintézis során megkötötte, amiből glükózt állított elő, és amit utána többek között biopolimer előállításra lehet fordítani. Azaz ezt a korábban megkötött szén-dioxidot fogjuk kibocsátani a komposztálás vagy égetés során, így egy biopolimer termék anyagában szén-dioxid semleges, szemben a kőolaj alapú műanyagokkal, amelyek égetésével az évmilliók alatt megkötött szén-dioxidot juttatjuk a légkörbe. A biopolimerek esetén ez a két kiemelkedő tulajdonság, hogy megújuló erőforrásból létrehozhatóak és biológiai úton lebonthatóak egyet jelent azzal, hogy beilleszthetőek a természet körforgásába, így a fenntarthatóság és a körkörös gazdaság eszméjébe.

A BIOPOLIMEREK CSOPORTOSÍTÁSA

Ahogy azt korábban említettük, a biopolimerek definíciójában a megújuló erőforrásból előállítható, valamint a biológiai úton lebontható feltételek között és/vagy kapcsolat áll fenn. Ezek alapján léteznek olyan biopolimerek, amelyek csak az egyik feltételt teljesítik („vagy” kapcsolat), azaz megújuló erőforrásból előállíthatók, de biológiai úton nem lebonthatók, vagy pedig éppen fordítva, biológiai úton lebonthatók, ugyanakkor kőolajból állítják elő. Az előbbire példa a bio-polietilén (bio-PE), bio-polipropilén (bio-PP) stb., amelyek a kőolaj alapú polietilénnel, polipropilénnel szerkezetileg és tulajdonságaiban azonos polimerek, és amelyeket nem kőolajból, hanem megújuló erőforrásból állították elő, de biológiai úton nem lebonthatók. Az utóbbi csoportra pedig többek között példa az úgynevezett polikaprolakton (PCL) nevű

**A biopolimerek a megújuló NYERSANYAGOK
széles skálájából előállíthatóak /
Bio-based plastics are made from a wide range
of renewable BIO-BASED feedstocks**





biopolimer, amelyet jelenleg kőolajból szintetizálnak, ugyanakkor biológiai úton bontható és többek között fóliákat, vagy akár orvostechikai felszívódó sebvarró cérnát készítenek belőle. Azokat a biopolimereket, amelyek csak az egyik feltételt teljesítik I-es szintű biopolimereknek hívjuk. Ebből is látszik, hogy a megújuló erőforrásból való előállíthatóság és a biológiai úton való bonthatóság két egymástól teljesen független tulajdonság, és bármelyik teljesülése esetén már tulajdonképpen biopolimerről beszélhetünk. Ugyanakkor általában a biopolimer kifejezés alatt a II-es szintű biopolimereket értjük, amelyek mindkét feltételt teljesítik („és” kapcsolat), azaz megújuló erőforrásból létrehozhatók és egyben biológiai úton bonthatók. Ilyenre példa a későbbiekben tárgyalandó, és jelenleg az egyik legígéretesebb, egyben legismertebb biopolimer, a politejsav (PLA). Végül pedig van még a III-as szintű biopolimerek csoportja is. Felvetődik a kérdés, hogy még hova lehet fokozni a II-es szintű biopolimereknek a környezettel való közelségét, hogy ezen felül is létezik még egy új kategória. Az II-es szintű biopolimerek esetében a megújuló erőforrást a természet hozza létre, ugyanakkor a polimerizációhoz, azaz a polimer láncba fejtéshez már emberi beavatkozásra, vegyipari berendezésekre, üzemekre van szükség. A III-as szintű biopolimerek ezzel szemben nem csak megújuló erőforrásból létrehozhatók, nem csak biológiai úton bonthatók, hanem még a polimer láncot is maga a természet alkotja meg. Ezt a csoportot természetes polimerek néven is szoktuk hívni, amelyekkel a cikkünk elején foglalkoztunk és többek között két olyan polimer tartozik ide, amely az évente termelődő biomasszájának jelentős hányadát teszi ki, azaz a cellulóz és a keményítő.

A POLITEJSAV, MINT A BIOPOLIMEREK NAPJAINK EGYIK LEGNÉPSZERŰBB KÉPVISELŐJE

Jelenleg körülbelül tíz féle biopolimer létezik, amelyek közül a leginkább ígéretes, és ezért a legnagyobb hírnevet szerző, az úgynevezett politejsav, angol rövidítése után PLA (Poly Lactic Acid). A PLA egy II-es szintű biopolimer, tehát beilleszthető a természet körforgásába. A PLA-t keményítőtől lehet előállítani úgy, hogy előbb glükózt hoznak létre (a keményítő molekulaláncát visszabontják alkotóelemeire), majd a glükózt erjesztik. Eddig lényegében azonos a technológia az alkohol vagy éppen a bioetanol előállításával, ugyanakkor esetünkben a glükózt nem alkoholos, hanem tejsavas erjesztésnek vetik alá, amely során

a tejsavbaktériumok tejsavat hoznak létre. Mi sem mutathatná jobban, hogy a tejsav egy természetes anyag, mint hogy az emberi szervezetben is megtalálható, mint például a szájban, a belekben, de izomláz esetén is képződik, és hogy az emberiség a glükózból erjesztett tejsavat konzerválásra használja az élelmiszeriparban (E270). Ezt a tejsavat utána pár lépésben polimerizálni lehet (pontosabban a két tejsav molekula alkotta laktidot), így sorba fejtve a tejsav molekulákat eljutunk a PLA-ig. Ebből világosan kiderül, hogy megújuló erőforrásból lehet előállítani a PLA-t, de felvetődik a kérdés, hogy mitől lesz biológiai úton bontható? A „varázslat” nagyobb része abban van, hogy a PLA tartalmaz úgynevezett észter kötést, amely hidrolízissel, azaz vizes közeg és tartósan magas (>60 °C) hőmérséklet együtteseként felszakítható. Ennek hatására a PLA molekulalánc rövidülni fog egészen addig, amíg a talajban élő lebontó mikroorganizmusok a rövid molekulaláncokat (néhány ismétlődő egységből álló tejsav lánc) már le tudják bontani vízre és szén-dioxidra, azaz azokra az anyagokra, amiből a fotoszintézis során a növény a PLA alapanyagát, a glükózt és a keményítőt hozta létre. Ezzel a folyamat pedig bezárul a kör és a PLA beilleszthetővé válik a természetes körforgásba.

(Folytatjuk)

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 Hitek és Tévhitek című cikke a Biohulladék Magazin 2020. 13. évfolyam 2. számában jelent meg.