

Tények és tévhitek a biopolimerekkel kapcsolatban - II. rész
Tábi T.

Accepted for publication in Biohulladék
Published in 2021
DOI:

8. Kim, S.Y.; Chung, T-H.; Kim S-H.; Song, S.; Kim, N. Recycling agricultural wastes as feed for mealworm (*Tenebrio molitor*). Korean J. Appl. Entomol. 2014, 53, 367–373, doi:10.5656/KSAE.2014.100.043.

9. Oonincx, D.G.A.B.; van Broekhoven, S.; van Huis, A.; van Loon, J.J.A. Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. PLoS ONE 2015, 10, e0144601, doi:10.1371/journal.pone.0144601.

10. Lundy, M.E.; Parrella, M.P. Crickets are not a free lunch: Protein capture from scalable organic side-streams via high-density populations of *Acheta domesticus*. PLoS ONE 2015, 10, e0118785, doi:10.1371/journal.pone.0118785.

11. Adámková, A.; Adámek, M.; Mlček, J.; Borkovcová, M.; Bednářová, M.; Kouřimská, L.; Skácel, J.; Vítová, E. Welfare of the mealworm (*Tenebrio molitor*) breeding with regard to nutrition value and food safety. Potravin. Slovak J. Food Sci. 2017, 11, 460–465.

12. Booth, D.T.; Kiddell, K. Temperature and energetics of development in the house cricket (*Acheta domestica*). J. Insect Physiol. 2007, 53, 950–953, doi:10.1016/j.jinsphys.2007.03.009.

13. Miech, P.; Berggen, A.; Lindberg, J.E.; Chhay, T.; Khieu, B.; Jansson, A. Growth and survival of reared Cambodian field crickets (*Releogryllus testaceus*) fed weeds, agricultural and food industry by-products. J. Insects Food Feed 2016, 2, 285–292, doi:10.3920/JIFF.2016.0028.

14. Rumbos, C.I.; Karapanagiotidis, I.T.; Mente, E.; Psafakis, P.; Athanassiou, C.G. Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*. Sci. Rep. 2020, 10, 11224, doi:10.1038/s41598-020-67363-1.

15. Janssen, R.H.; Vincken, J.-P.; van den Broek, L.A.M.; Fogliano, V.; Lakemond, C.M.M. Nitrogen-to-protein conversion factors for three edible insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. J. Agric. Food Chem. 2017, 65, 2275–2278, doi:10.1021/acs.jafc.7b00471.

16. Dubois, M.; Gilles, K.A.; Hamilton, J.K.; Rebers, P.T.; Smith, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem. 1956, 28, 350–356, doi:10.1021/ac60111a017.

17. Bordereau, C.; Andersen, S.O. Structural cuticular proteins in termite queens. Comp. Biochem. Physiol. B Comp. Biochem. 1978, 60, 251–256, doi:10.1016/0305-0491(78)90096-2.

18. van Broekhoven, S.; Oonincx, D.G.; van Huis, A.; van Loon, J.J. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (*Coleoptera: Tenebrionidae*) on diets composed of organic by-products. J. Insect Physiol. 2015, 73, 1–10, doi:10.1016/j.jinsphys.2014.12.005.

19. Adámková, A.; Mlček, J.; Kourimská, L.; Borkovcová, B.; Busina, T.; Adámek, M.; Bednářová, M.; Krajsa, J. Nutritional potential of selected insect species reared on the island of Sumatra. Int. J. Environ. Res. Public Health 2017, 14, 521, doi:10.3390/ijerph14050521.

20. González, C.M.; Garzón, R.; Rosell, C.M. Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 2019, 51, 205–210, doi:10.1016/j.ifset.2018.03.021.

21. Araujo, R.R.S.; dos Santos Benfica, T.A.R.; Ferraz, V.B.; Santos, E.M. Nutritional composition of insects *Gryllus assimilis* and *Zophobas morio*: Potential foods harvested in Brazil. J. Food Compos. Anal. 2019, 76, 22–26, doi:10.1016/j.jfca.2018.11.005.

22. Rumpold, B.A.; Schlüter, O.K. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. Mol. Nutr. Food Res. 2013, 57, 802–823, doi:10.1002/mnfr.201200735.

This is a reviewed content, the original article was published in *Insects* (ISSN 2075-4450), an international, peer-reviewed, open access journal on September 5, 2020. The full text is available here: <https://www.mdpi.com/2075-4450/11/9/604>

a tápanyagkoncentráció szempontjából a legszegényebb étrend. Tömegben nem volt különbség a kerti hulladékon és a növényi hulladékon nevelt rovarok között. A *Tenebrio molitor* és az *A. domesticus* a maximális növekedési sebességet 71–101, illetve 36–66 napos korban mutatta. Eredményeinkből arra következtetünk, hogy a 90% tömegarányban adagolt vegyes zöldszéghulladék, zöld kerti hulladék, illetve a szarvasmarha- és a lótrágya sem tekinthető optimális tenyésztési szubsztrátumnak az *A. domesticus*, *T. molitor* és *Z. morio* lárvák tenyésztésére. Ez elsősorban az alacsony tápanyagtartalmuknak köszönhető, amely étrend alacsonyabb fehérjetartalmat és magasabb zsírkoncentrációt eredményezett a bogárlárvákban és a tücsökben egyaránt.

Hivatkozás

Ez egy szemlézett tartalom, az eredeti cikk az *Insects* című (ISSN 2075-4450), nemzetközi, lektorált, nyílt elérésű szakfolyóiratban jelent meg 2020. szeptember 5-én. A teljes szöveg itt érhető el: <https://www.mdpi.com/2075-4450/11/9/604>

→ DR. TÁBI TAMÁS

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék
MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport

Tények és tévhitek a biopolimerekkel kapcsolatban II. rész

Előző cikkünkben bemutattuk a biopolimerek viszonyát a műanyagokhoz képest, amit követően jelen cikkünkben megvizsgáljuk, hogy milyen tények és tévhitek övezik a biopolimerek világát. Ezeket az állításokat az alábbiakban listászerűen soroljuk fel és tekintjük át azok valóságtartalmát.

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

Ez egyike a legnagyobb tévhiteknek és sajnos elég károsak a biopolimerek és 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, pedig 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 tulajdonságok és fogyasztói követelmények. A stabilitás és könnyű lebonthatóság ugyanakkor például a PLA (politejsav) biopolimer tulajdonságát tekintve szerencsés viszony- →



Dr. Tamás Tábi – Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Polymer Engineering • MTA–BME Research Group for Composite Science and Technology

Facts and myths about biopolymers – Part II

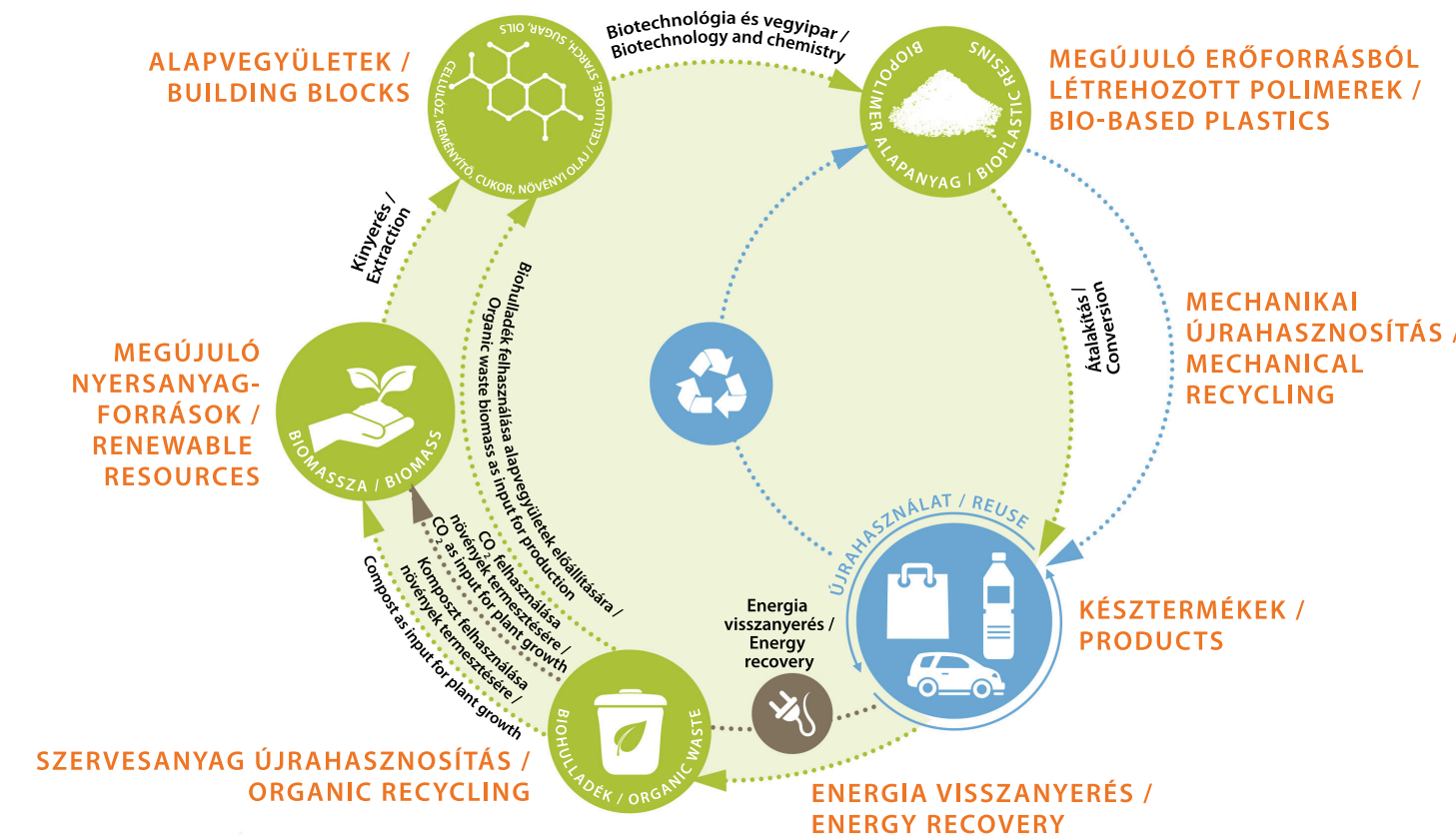
In our previous article, the relationship between biopolymers and traditional plastics was examined. In this present article, facts and myths about biopolymers will be discussed. The myths will be listed as statements below, and their factuality will be analyzed.

– After a period of time, biopolymer products tend to disintegrate and degrade ‘by themselves’ at room temperature. Is that true?

This is one of the biggest myths and, unfortunately, it leads to false appraisals of biopolymers and biopolymer-based products. In theory, the perfect structural material is first created, which then forms the basis for future products. This perfect structural material can be produced with renewable energy sources, and its solidity, durability, and long-lasting nature all make it similar to steel, while it is light and easy to process, just like plastics. Finally, when it is no longer in use, like magic it almost immediately degrades biologically thanks to its special parameters and thus is completely integrated into the natural cycle. Unfortunately, however, such a material does not exist, and it is quite clear that the characteristics required for long-term usability – that is, both stability and easy biological degradation – are contradictory, both as product features and in terms of consumer demand. On the other hand, stability and easy degradation are features relatively strongly associated with the biopolymer PLA, or Polylactic Acid. At under 50°C, PLA is almost completely stable, and the products made from it can be used for years. However, when it is composted industrially – a process which normally takes place at above this temperature – the process of biological degradation starts. This temperature is the so-called PLA glass transition temperature (T_g). At over this temperature, the molecule chain activity of PLA intensifies significantly, which accelerates its degradation by orders of magnitude (although a higher temperature itself is not enough for this). This means that the ‘magic’ that differentiates stability and long-term usability and easy degradation is, in the case of the PLA biopolymer, the transition temperature. At below the specified temperature PLA can be used for years, while at above it (such as under the conditions created by the composting process) it degrades relatively rapidly. Let us look at another example of an even better known biopolymer or natural polymer (Category 3 biopolymer). This is simply wood. Wood is considered a renewable energy source (specific plants create it from glucose through photosynthesis) and it is also biodegradable. Still, it does not disintegrate and degrade by itself very quickly.

Biopolimerek / Bioplastics – closing the loop

FORRÁS / SOURCE: EUROPEAN BIOPLASTICS



ban állnak. 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 molekulálcáinak mozgékonyasága, aktivitása jelentősen felgyorsul és ez egyben a bomlását is jelentősen, nagyságrendileg felgyorsítja (de pusztán a hőmérséklet nem elegendő hozzá). Azaz tulajdonképpen az a bizonyos „varázsütés”, ami elválasztja egymástól a stabilitást és a hosszú távú felhasználhatóságot és 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 erő-

forrásnak 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 „lebomlónak”, ha nem bomlanak le maguktól?**

A tudományos életben nem is hívjuk lebomlónak 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-t jelent, a „grade” pedig osztályozást, minősítést, a „de” pedig fosztóképző. Eddig akkor úgy néz ki a kifejezésünk, hogy bioológiai 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, amíg 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 szétestek apró darabkákra. Ami nagyon lényeges, hogy tudjuk, hogy ez nem biológiai úton történő lebomlást jelent. Ezek a termékek hagyományos műanyagból, általában polietilénből (PE) vannak, tehát NEM biopolimerek semmilyen szinten. A PE a molekulaszervezetének sajátosságai miatt oxidáció útján, azaz oxigén (vagy levegő) közegben hajlamos a fizikai öregedésre, bomlásra, aminek meggátolására antioxidáns adalékanyagokat alkalmaznak, ha tartós használati terméket gyártanak be-

lőle. Ezek a „maguktól széteső” műanyagok viszont pont ellenkezőleg, egy, az oxidációt felgyorsító 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, amelyeket jelenleg még alkalmaznak, ugyanakkor 2021-től tiltani fogják ezek 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 „biopolimer”-t tekintjük a teljes halmaznak, amelybe beletartoznak a megújuló erőforrásból előállítható és a biológiai úton lebontható polimerek is (lásd előző cikkben biopolimerek csoportosítása dőbra). Értelmeszerűen 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, és ez gondot jelent mivel csak és kizárólag komposztálással lehet visszaforgatni ezeket.**

Felvetődik a kérdés, hogy 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

– **Why are biopolymers called ‘degradable’ if they do not degrade by themselves?**

In the field of science, such materials are not considered degradable. What unfortunately happened was that the expression degradable became widespread in everyday language when the first biopolymers appeared as producers were using this term incorrectly beforehand. To identify the proper expression, let us see what the term ‘biodegradable’ means in the international professional literature. ‘Degradable’ polymers are sometimes referred to as ‘biodegradable’ due to the components of the word ‘bio-de-grade-able’. ‘Bio’ means biologically, and ‘grade’ refers to a classifiable quality or classification, while ‘de’ is a negative prefix. So, the expression means biologically degrading, or disintegrating. At the end of the expression, ‘able’ refers to ability. Thus, the complete expression means that something may be degraded biologically, rather than that it degrades. The difference in the two languages is responsible for some of the variation in meaning. In Hungarian, the word ‘degradable’ means that it degrades, that is, it degrades by itself, while the original English meaning of the word suggests that it has the capacity of degradation, which is either utilized or is not. However, degradation by itself definitely does not take place within a short period of time.

– **In spite of this, there are polymers that disintegrate and degrade by themselves.**

In fact, there were/are plastic products (mostly plastic bags) that seem to disintegrate and degrade by themselves into tiny particles. What is important to note is that this degradation is not biological degradation. These products are usually made from traditional plastics, typically polyethylene (PE) – that is, they are NOT considered biopolymers in any way. Due to its molecule structure, PE tends to age physically and disintegrate through oxidation; that is, in an environment that contains oxygen (or air). To prevent this process, anti-oxidant additives are used if the final product is supposed to last for a long time. Plastics which ‘degrade by themselves’, on the other hand, contain additives that accelerate the oxidation process and the disintegration of the plastic molecule chain. As a result, the treated plastic product disintegrates into tiny pieces, but the process is physical rather than biological, and the remaining plastic particles will not be biodegradable either. These plastics are called oxo-degradable plastics, which are currently still used, but from 2021 onwards their use will be prohibited and only real biopolymers will be allowed.

– **What is the difference between biopolymers / degradable (degrading) polymers / compostable polymers?**

The terms above belong to the collective group ‘biopolymers’; that is, the term ‘biopolymers’ refers to a complete category that also includes biodegradable polymers produced from renewable energy sources (see the figure with the classification of biopolymers in the previous article). Logically, the biopolymers group includes (biologically) degradable polymers, a term that is used when the biodegradable property of the specific biopolymer is highlighted, no matter whether it has been produced from renewable energy source or not. Compostable polymers are thus considered an even smaller category within the group of degradable polymers, and this characteristic is usually highlighted when it is important that a specific polymer is biodegradable, and that this process can take place through composting. Finally, as discussed

before, the term 'degradable polymer' may cause misunderstanding, so the use of the term is not recommended. Instead, the expression (biologically) degradable is recommended.

– **There is not sufficient composting capacity for the recycling of biopolymers, which is a problem as they can only be recycled through composting.**

The question arises why it is believed that biopolymers can only be composted. This myth probably comes from the term 'compostable polymers,' which are classified as one type of biopolymer. However, given that biopolymers are the environmentally friendly versions of plastics, products made from biopolymers can be **reused** (reusable products), **recycled** (ground up and used in new products), **composted**, **incinerated**, and even **depolymerized**. The last two techniques require some explanation. On the one hand, biopolymers (Level 2 or above) can be incinerated without any environmental damage because – as noted before – they are carbon-dioxide neutral, unlike plastics, which are produced from fossil oil, the incineration of which significantly increases the level of carbon dioxide in the atmosphere. During the incineration of biopolymers, carbon dioxide is emitted. However, this is carbon dioxide that was bound up during the process of photosynthesis – the process by which plants create glucose, which is the basic material of biopolymers. Depolymerization is an option if the biopolymer product can be dealt with by the chemical industry, which can reduce the biopolymer molecule chain to its basic units, from which a long molecule chain may be rebuilt. As we can see, there are a total of five options for recycling biopolymers, and composting is just one of them. If in relation to current biopolymer production only composting is used as a treatment technique, today's composting capacity will need to be significantly expanded, and household-level composting will need to be involved in the treatment of biopolymers.

– **When biopolymers are composted, is it impossible to use household composters? Or is it only possible to do this at industrial composting plants?**

It is true that there are biopolymers whose biodegradation requires the conditions present in industrial plants only. An example is the PLA mentioned above. The reason for this is that the glass transition temperature of PLA (over which the activity level of the molecule chains is significantly higher) is between 50 to 60°C – that is, the composting process must be conducted at a higher temperature in order to minimize the degradation time. Normally, this temperature is created in industrial composting units for only a short period of time, or not at all. Apart from PLA, there are polymers with a high starch content that can degrade in household composters as well. In their case, the water solubility of starch also contributes to degradation at lower temperatures. However, – logically – easy degradation usually means a shorter period of usability; that is, these products cannot be used for a very long time so the range of products is also smaller than that of PLA products. Finally, it should be noted that research is currently being done to create a PLA biopolymer that is suitable for technical use but which can be composted in household composters with the use of various enzymes.

termékeket újrahasználni (többször használatos termékek), újrafeldolgozni (ledarálva és újra terméket létrehozva), komposztálni, égetni, sőt depolimerizálni. Az utolsó két módszer kicsit több magyarázatot igényel. Egyrészt a biopolimerek (II-es szint vagy felette) „büntetlenül” égethetők – 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 esetében ragaszkodnánk hozzá, hogy azokat csak és kizárólag komposztáljuk, akkor valóban szükséges a jelenlegi komposztálási kapacitás növelése és a házi komposztálás bevonása a biopolimerek kezelésébe.

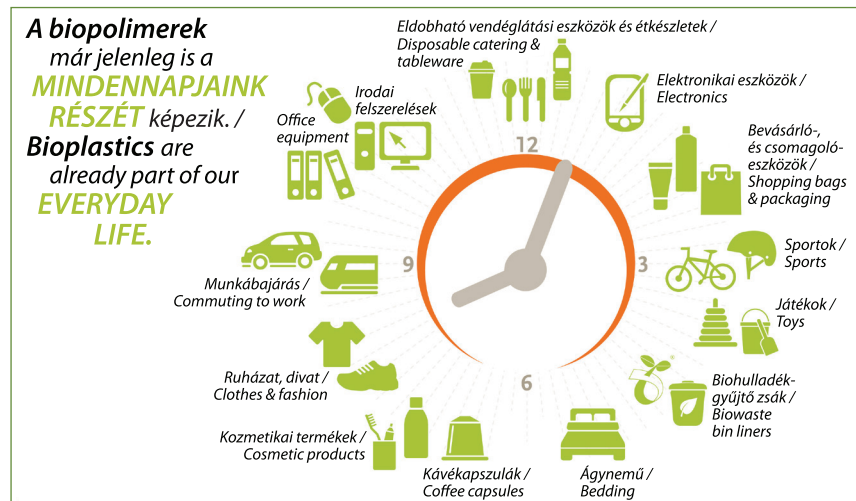
– **Amennyiben komposztáljuk a biopolimereket, akkor arra a házi komposztálás nem, csak és kizárólag az ipari komposztálás alkalmas.**

Valóban léteznek olyan biopolimerek, amelyek biológiai úton történő lebontásához ipari komposztálás során fennál-

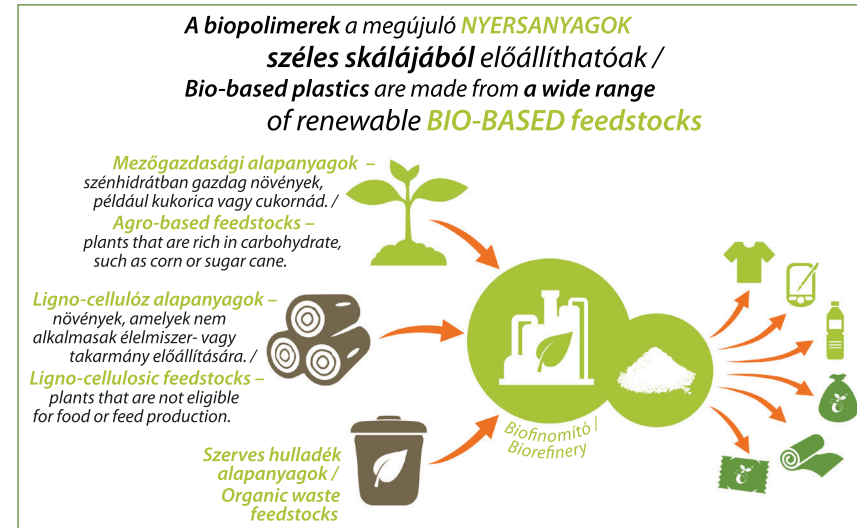
ló körülmények szükségesek. Ilyen a már korábban említett PLA is, aminek magyarázata, hogy a PLA üvegesedési átmeneti hőmérséklete (ami felett a molekulaláncok mozgékonyasága nagyságrenddel nagyobb) 50-60°C között található. Azaz a komposztálását mindenképpen előlötti hőmérsékleten célszerű végrehajtani, 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 eltömítheti az állatok emésztőszervrendszerét, mint a műanyagok**

Ahogy korábban említettük, vannak házi komposztban is bontható biopolimerek, vagy akár vízzeloldható, könnyen bomló biopolimerek, amelyek környezetbe való kiju-



1. ÁBRA: A BIOPOLIMEREK MÁR JELENLEG IS A MINDENNAPJAINK RÉSZÉT KÉPEZIK / FIGURE 1: BIOPLASTICS ARE ALREADY PART OF OUR EVERYDAY LIFE FORRÁS / SOURCE: EUROPEAN BIOPLASTICS



1. ÁBRA: A BIOPOLIMEREK A MEGÚJULÓ NYERSANYAGOK SZÉLES SKÁLÁJÁBÓL ELŐÁLLÍTHATÓK / FIGURE 1: BIO-BASED PLASTICS ARE MADE FROM A WIDE RANGE OF RENEWABLE BIO-BASED FEEDSTOCKS FORRÁS / SOURCE: EUROPEAN BIOPLASTICS

tása ezen tulajdonságai kapcsán minimális kockázattal jár az élővilágra, de tekintésük meg most akkor az állításban szereplő, csak ipari komposztban bontható biopolimereket, mint például a PLA-t is. 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 emésztőrendszeren 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 emésztőrendszere.

– **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 használt 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, ami gondot okoz.**

Nyilván nem nulla a valószínűsége annak a lehetőségnek, hogy egy biopolimer terméket a korábban említett ötféle ártalmatlanítási módszer egyikével sem dolgoznak fel, hanem 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 időszzerű és valós probléma, mivel azokat az emberi szervezet egyik részről nem tudja feldolgozni, másik részről pedig idegen anyagnak tekinti. Ezzel szemben a biopolimerek mikroszkopikus szemcséi, még ha el is jutnak az emberi táplálékláncba, azért nem fognak gondot okozni, mert az emberi szervezet azokat részben vagy egészben meg fogja emésztetni, és amely emésztés során az emberi szervezetre nem káros anyagok jönnek létre (pl. tejzsír, víz).

– **As biopolymers can degrade in industrial composters, when they re-enter nature they can block the digestive systems of animals, just like plastics.**

As mentioned above, there are biopolymers that can be degraded in household composters and there are also water soluble, easily degradable biopolymers that, once returned to nature, pose only a minimal risk to animals due to their properties. However, now let us examine biopolymers that degrade in industrial composters, like those in the description such as PLA. If a product made from PLA enters a natural environment (e.g. a field), on the one hand it will degrade faster than traditional plastic-based products (whose disintegration takes hundreds of years), even if the conditions are not ideal – that is, the conditions are not suitable for composting. If a disintegrating, degrading PLA product particle is swallowed by an animal or a human, in the ideal situation the PLA particle will go through the digestive system and leave the body without causing any physical or physiological damage to organs. It is also important to know that the degradation of PLA accelerates in strongly acidic conditions (even if the temperature is under 50-60°C), so a swallowed PLA particle may be expected to pass through the body in half-digested form, or in some cases be broken into even smaller particles. Obviously, if a mammal only ate PLA biopolymer products in large amounts (by accident, perceiving them as food), the digestion system could become blocked.

– **During their degradation, biopolymers disintegrate into matter that is harmful to the environment.**

Biopolymers contain carbon, hydrogen, and oxygen, thus during their degradation they decompose into water and carbon dioxide, and these materials are produced when they are incinerated. As mentioned above, the carbon dioxide produced during incineration is bound carbon dioxide, which specific plants fix through the process of the photosynthesis of the glucose used in the production of the biopolymer, thus it does not increase the total carbon dioxide level of the atmosphere.

– **If the degradation of biopolymers is only partial, the tiny, microscopic, broken pieces that remain will re-enter the food chain of humans and animals, which can cause problems.**

Obviously it may occur that a biopolymer product is not properly treated using any of the five means of elimination. Instead, it may end up in nature, where it starts degrading – however, without the ideal conditions for degradation (composting), this process is much slower and, as a result, it may remain in a broken or partly degraded condition for quite a long time. Naturally, during the process of decomposition tiny particles may split off the biopolymer product, and these microscopic particles may even re-enter the food chain. In the case of traditional plastics this problem is a valid one, as on the one hand the human body cannot digest them, and on the other the particles represent foreign bodies to it. The microscopic particles of biopolymers, however, even if they re-enter the human food chain, will not cause any problems as the human body can at least partially digest them, and during the digestion process the matter that is produced is not harmful to the human body (e.g. as lactic acid, or water).

→ **– As biopolymers can presently be produced from materials originally meant for consumption as food (e.g. wheat, corn, or sugar), if large amounts of biopolymers are produced, there will not be any left for use as food.**

It is true that biopolymers are currently produced from raw materials that can also be used to create food products, but the statement that there will not be any food left if a lot of biopolymers are produced is quite an exaggeration. Let us examine the reality of the situation. First of all, let us see what production capacity we now have available. Concerning PLA biopolymer, in 2018 capacity was around 220,000 tons. Based on forecasts, this figure may dynamically increase by 2023 to as much as 430,000 tons (annual production). Currently, PLA is mostly produced from wheat, corn, or sugar beet due to their starch/sugar content. In 2018, a total of 5.2 million tons, 8 million tons, and 1 million tons of these products were used to make PLA, respectively. This means that, in Hungary alone, if all the related produce were used to make PLA, a little over 4 million tons of PLA could be manufactured. What is more, by 2023 the estimated 430,000 tons of PLA that will be produced around the world could be produced using only 11 percent of Hungarian wheat and corn produce. Another argument for their use is that by decreasing the amount of food unnecessarily produced and wasted by consumer society, and with a little bit of extra care, a significant amount of crops could be saved and used to produce biopolymers, rather than ending up wasted. A further argument that supports the author's opinion is that from crops and sugar we mostly produce goods that are consumed for pleasure, like spirits or soft drinks, and cakes with high sugar levels. If their consumption were decreased, people could lead healthier lifestyles and the materials thus saved could be used to produce biopolymers. Finally, the main supporting argument is that, in contrast to the claim presented above, scientists worldwide are working to produce biopolymers from by-products (e.g. different plant fibers like corn stalks) rather than materials that can also be used as food.

– Only packaging materials can be produced from biopolymers – they cannot replace other products.

Since nowadays most biopolymer products are used in packaging technologies, it might be concluded that these materials can only be used for this purpose. PLA is again a good example, as at under 50-60°C degrees it is a stable polymer and has mechanical properties similar to technical plastics (65 MPa solidity, 3 GPa elastic modulus), thus it may play a role in long-duration engineering applications. In relation to these functions it can be utilized in covers for electronic goods, car industry products (e.g. air filter boxes) medical-technical products (absorbable implants), and in 3D printing (so-called FDM, or Fused Deposition Modelling, a printing line used in FDM technology). There is no need to worry about the fact that most biopolymers are bio-degradable because, as mentioned above, they do not degrade 'by themselves,' and, thanks to their mechanical properties, they may even be used to produce technical components.

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

Valóban: a biopolimerek gyártására jelenleg olyan alapanyagokat használnak, amelyekből egyébként élelmiszert is lehet készíteni, de az, hogy nem marad élelmiszerünk, 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 dinamikusán nőhet akár 430.000 tonnára (éves gyártás). PLA létrehozására jelenleg leginkább búzát, kukoricát vagy cukorrépát 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 mind PLA gyártásra fordítanánk. Sőt a 2023-ra előrejelzett 430.000 tonna PLA összes világtermelés létrehozása is megoldható lenne pusztán csak a magyarországi búza és kukoricatermés 11%-ából. További érvként 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 végeznél, 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 szelek 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 a biopolimereket ne élelmiszernek is felhasználható anyagokból, hanem melléktermékekből (pl. különböző növényi rostok 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 használhatóak. 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), orvostechnikai termékek (felszívódó implantátum), vagy éppen a 3D nyomtatás (úgynevezett ömledékrétegezésnél, 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 belőle elő. ■

Köszönetnyilvánítás

A cikk a Bolyai János Kutatási ösztöndíj támogatásával készült. Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-5 kód-számú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. A munkát a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) OTKA (FK134336) pályázata támogatta. A cikk a Magyar Tudományos Akadémia Magyarország–Olaszország kétoldalú mobilitás pályázatának keretein belül készült (NKM2018-42).

Acknowledgements

The article has been prepared with the support of the János Bolyai Research prize, with professional support financed by the National Research, Development and Innovation Fund of the New National Excellence Programme, code number ÚNKP-20-5 from the Innovation and Technology Ministry. The study was also supported by the OTKA (FK134336) tender of the National Research, Development and Innovation Office. The article has been produced within the framework of the Hungary – Italy bilateral mobility tender of the Hungarian Academy of Sciences (NKM2018-42).

→ DR. GULYÁS MIKLÓS
SZENT ISTVÁN EGYETEM

Szennyvíziszap, sertés- és szarvasmarha hígtrágya mezőgazdasági felhasználásának kockázatbecslése

Cikkünkben a Koppenhágai Egyetem Növény és Környezettudományi Tanszékén készített összegző tanulmány eredményeit mutatjuk be, amelyből átfogó képet kaphatunk arról, miként értékeli Dániában a szennyvíziszapok és a sertés, valamint szarvasmarha hígtrágyák jelentőségét és az alkalmazással járó kockázatokat.

A tanulmány háttere – dán körkép

2017 áprilisában az Ökológiai Ágazat Fejlesztő Munkacsoport jelentést tett közzé 25 ajánlással a környezetvédelmi és élelmiszerügyi miniszter számára. Ezek között szerepelt egy ajánlás, amelyben – a tápanyag körforgás jegyében – lehetőséget kell biztosítani az ökológiai gazdálkodóknak a tisztított háztartási szennyvízből származó tápanyagok hasznosítására.

A tisztított szennyvízből származó tápanyagok jövőbeni felhasználásának előfeltétele, hogy teljesüljenek a velük szemben támasztott minőségi követelmények, alkalmazásuk pedig indokolható és elfogadható legyen a fogyasztók számára.

Szükségessé vált egy olyan tudományos áttekintés, amely a tisztított települési szennyvízből származó tápanyagok felhasználását egyéb, engedélyezett tápanyagforrásokkal – pl. hagyományos állati trágyákkal – összevetve vizsgálja. A szenny-

víziszapok és a hagyományos trágyák felhasználására, és azok potenciális kockázatainak felmérésére vonatkozó összehasonlító vizsgálat hasznos információkat szolgáltat a döntéshozók számára az ökológiai gazdálkodás jövőbeni szabályozásában.

