

Figure 2: Nine parallel measurements of MSW.

I., Jenicek, P., Koch, K., Krautwald, J., Lizasoain, J., Liu, J., Mosberger, L., Nistor, M., Oechsner, H., Oliveira, J.V., Paterson, M., Pauss, A., Pommier, S., Porqueddu, I., Raposo, F., Ribeiro, T., Rüsche Pfund, F., Strömberg, S., Torrijos, M., van Eekert, M., van Lier, J., Wedwitschka, H., Wierinck, I. (2016): Towards a standardization of biomethane potential tests. *Water Science and Technology* 74: 2515-2522.

6. Jokela, J.P.Y., Vavilin, V.A., Rintala, J.A. (2005): Hydrolysis rates, methane production and nitrogen solubilization of grey waste components during anaerobic degradation. *Bioresource Technology* 96: 501-508.

7. Koch, K., Lippert, T., Drewes, J.E. (2017): The role of inoculum's origin on the methane yield of different substrates in biochemical methane potential (BMP) tests. – *Bioresource Technology* 243: 457-463.

8. Krause, M.J., Chickering, G.W., Townsend, T.G., Pullammanappallil, P. (2018): Effects of temperature and particle size on the biochemical methane potential of municipal solid waste components. *Waste Management* 71: 25-30.

9. Liu, C.F., Yuan, X.Z., Zeng, G.M., Li, W.W., Li, J. (2008): Prediction of methane yield at optimum pH for anaerobic digestion of organic frac-

tion of municipal solid waste. *Bioresource Technology* 99: 882-888.

10. Malinska, K. (2016): Application of a modified OxiTop respirometer for laboratory composting studies. *Archives of Environmental Protection* 42: 56-62.

11. Pecorini, I., Baldi, F., Carnevale, E.A., Corti, A. (2016): Biochemical methane potential tests of different autoclaved and micro-waved lignocellulosic organic fractions of municipal solid waste. *Waste Management* 56: 143-150.

12. Tufaner, F., Avsar, Y. (2016): Effects of co-substrate on biogas production from cattle manure: a review. *International Journal of Environmental Science and Technology* 13:2303-2312.

13. Tsapekos, P., Kougias, P., Treu, L., Campanaro, S., Angelidaki, I. (2017): Process performance and comparative metagenomic analysis during co-digestion of manure and lignocellulosic biomass for biogas production. *Applied Energy* 185: 126-135.

14. Ventrino, V., Romano, I., Pagliano, G., Robertello, A., Pepe, O. (2018): Pre-treatment and inoculum affect the microbial community structure and enhance the biogas reactor performance in a pilot-scale biogas digestion of municipal solid waste. – *Waste Management* 73: 69-77.

Üveges Zsuzsanna¹, Varga Zsolt², Dr. Aleksza László²
¹Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ
 – Mezőgazdasági Gépesítési Intézet
^{2,3}Profikom® Környezettechnika Zrt.

Hulladékok és melléktermékek anaerob fermentációja

A komposztálás és a biogáz-előállítás jelentősen hozzájárulhat egy hatékony hulladékgazdálkodási rendszer működtetéséhez. Az a szándékunk, hogy ezt a hazánkban fellelhető potenciális szubsztrát anyagok metánpotenciáljának kvantifikálásával segítsük. A vizsgálati szubsztrát anyagaink különböző hulladékok

és mezőgazdasági melléktermékek voltak. Az anaerob fermentációs tesztek mezofil hőmérsékleti tartományban végeztük, nedves technológiai eljárást modellezve, AMPTSII készülék használatával. További analitikai vizsgálatokat is végeztünk annak érdekében, hogy helyes következtetéseket vonhassunk le: szárazanyag-, szervesanyag-tartalom, illékony szárazanyag-tartalom (számitott), pH, C/N arány és légzésintenzitás vonatkozásában. Az aerob légzésintenzitás vizsgálatokat OxiTop berendezéssel végeztük, szintén mezofil hőmérsékleti tartományban. Mérési eredményeink alapján Magyarország jelentős potenciállal rendelkezik a hulladékok biológiai úton történő kezelését és hasznosítását illetően.

→ DR. TÁBI TAMÁS
 Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék
 MTA-BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport

Tények és tévhitek a biopolimerekkel kapcsolatban I. rész



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 I

The following article discusses facts and myths about biopolymers and degradable polymers in two parts. The first part of the article introduces definitions necessary for understanding the topic, and also discusses the relationship between biopolymers and plastics, the categorization of biopolymers, and one of the most popular biopolymers, while the second part offers an overview of the myths around biopolymers that are nowadays common.

In relation to the conscious protection of the environment and the idea of a circular economy biopolymers are today a controversial topic. However, unfortunately there are a lot of myths and misleading information about the materials. This created the idea that this two-part article could clarify the most important information about biopolymers and highlight their role in the circular economy.

Polymers and plastics

First of all, a few definitions must be introduced to understand this topic. One of them is the relationship between “polymers” and “plastic.” Polymer is a word of Greek origin that means “many units” (*poly* – many, *mer* – unit), which refers to an organic – that is, carbon-based – macromolecule which consists

Az alábbiakban egy két részből álló cikkel szeretnénk körüljárni 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.

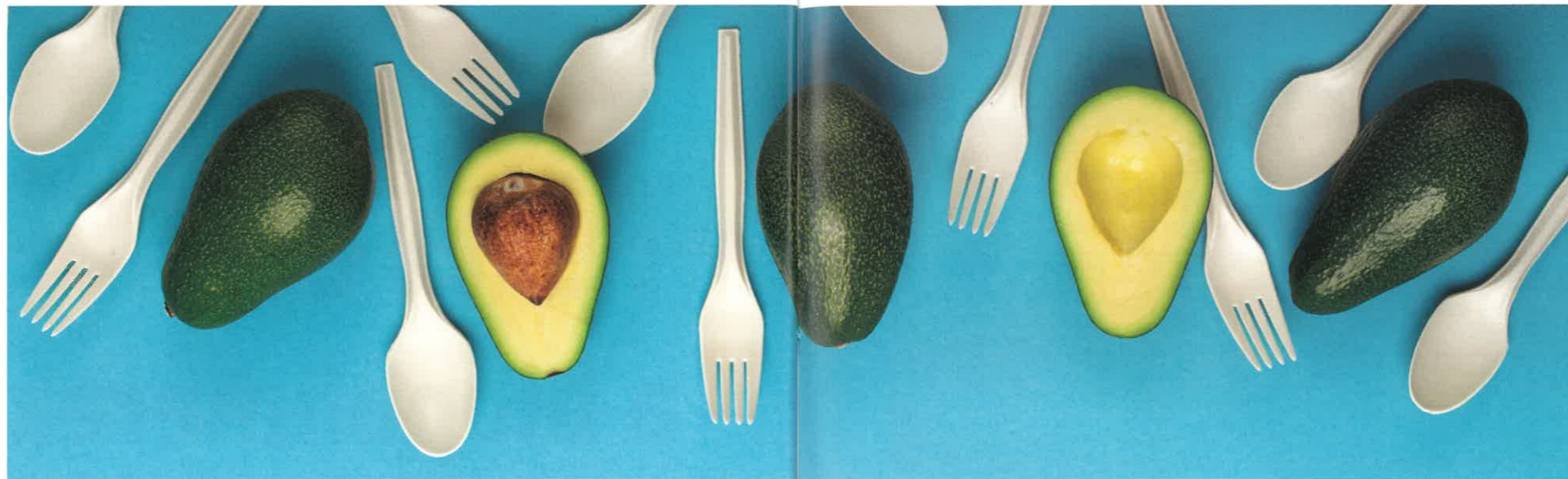
Napjainkban a környezet tudatos védelme, valamint a körkörös gazdaság tématerületekhez kapcsolódóan sokat lehet hallani a biopolimerekről, ugyanakkor sajnos rengeteg tévhit és félrevezető információ kering ezekről az anyagokról. Ezek alapján fontosnak éreztük, hogy ezzel a kétrészes cikkel tisztázzuk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

of thousands of repeating units joined in a macromolecule chain. The repeating units are connected with primary, covalent bonds and the properties of polymers are mostly determined by the length of these chains. Polymers may be of natural or artificial origin, which means that they are either present in nature and created by nature, or they are created artificially by humans. First, the group of natural polymers will be discussed. The two most important natural polymers are cellulose and starch, which form a significant part of the biomass that is annually created. Both starch and cellulose are glucose-based polymers ($(C_6H_{10}O_5)_n$) (compared to glucose they have one water molecule fewer as a repeating unit), while the difference is based on the type of connection between the repeating units. This condition determines if the specific polymer is cellulose or starch. On the other hand, one similarity is that the basic ingredient of both polymers – glucose ($C_6H_{12}O_6$) – is produced by plants through photosynthesis. In simple terms, during this process, which is also of key importance to human life, plants produce glucose and oxygen using water, carbon-dioxide, and solar energy. From this glucose, plants produce cellulose (the structural material of cells) or starch (an energy stock) in order to develop. However, it is not only plants that produce natural polymers: both animals and the human body contain large amounts of polymers. Considering protein, which is a polymer of amino acids, and structural proteins for example, which are only one type of a wide range of the former, we can find them in muscle tissues, skin, the walls of arteries, and also sinews.

On the other hand, artificial polymers, or simply "plastics," are polymers whose production requires human activity and modern chemistry. Plastics are produced from petroleum derivatives, although they are still carbon-based macromolecules which consist of carbon, hydrogen, oxygen, and nitrogen in the same way (in some cases also chlorine and fluorine), thus concerning their ingredients, structure, and even properties they are quite similar to natural polymers, whether these are plant based or of animal (human) origin. All this shows that the composition of the human body has more in common with plastics than is usually expected.

Plastics in everyday life

Natural polymers – mostly wood, leather, fibers, and threads – have been used for thousands of years to produce objects, tools, and structural components. However, the use of plastics (that is, artificial, petroleum-based, man-made polymers) is relatively recent compared to that of other structural materials (metals and ceramics). Most of today's plastic materials such as Poly(Ethylene) (PE), Poly(Propylene) (PP), Poly(Ethylene-Terephthalate) (PET), Polycarbonate (PC), Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS), Poly(Vinyl-Chloride) (PVC) and Poly(Amide) (PA) were invented and created approximately 50-100 years ago. Without these materials it is difficult to imagine modern life. The importance of plastics in the economy is reflected by the fact that their "consumption" is directly related to the level



A polimerek és a műanyagok

A téma megértéséhez fontos bevezetni pár 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 molekulalánca 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, valamint 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 folyamatnak 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 (energia-raktár) 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 korszerű vegyiparra. A műanyagokat kőolajszármazékokból hozzák létre, ugyanakkor ezek továbbra is szén alapú óriásmolekulák, amelyek t ö b b e k 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 műanyagokat, – azaz a mesterséges, kőolaj alapú és egyben ember alkotta polimereket – az emberiség a többi képezeti anyaghoz (fémek, kerámiák) képezet nem olyan régen alkalmaz. Nagyjából 50–100 éve

fedték fel és alkották a mai ismert és mindennapi használatban lévő műanyagok többségét, mint a polietilén (PE), polipropilén (PP), polietilén-tereftalát (PET), polikarbonát (PC), akrilnitril-butadién-stirol (ABS), polivinil-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 köszönhetően: széles skálán mozognak a tulajdonságaik, kicsi a sűrűségük, tehát könnyűek és a fejlett alakadási technológiákkal nagy formagazdagságú, nagy sorozatban gyártott, méretpontos termékek hozzhatóak létre belőlük kis energia-befektetéssel. Sőt, számos olyan speciális alkalmazási terület van, ami nem létezne műanyagok nélkül. Elég, ha csak orvostechikai műanyag termékekre gondolunk, mint például az infúziós tasak, vagy a csípőprotézis, ahol a speciális műanyag rendkívül alacsony sűrűldási együtthatója biztosítja az emberi szövethez leginkább hasonló viselkedést. Vagy ott vannak a szelvérművek lapátjai, amelyek

of economic development in a specific country. This is due to their versatility: they have a wide range of properties, their density is low, which makes them light, and the shaping technologies that have been developed make it possible to mass-produce dimensionally accurate goods of various shapes with little energy. There are some areas of application that would not exist without plastic, such as medical plastic products, for example, including infusion bags and hip replacements, in relation to which the special low-friction coefficient plastic that is used ensures behaviour most similar to that of human tissue. The blades of windmills are another example. These are made from fiber-reinforced composite which makes them not only long-lasting and very strong but also light, and, as a result, electricity can be produced even if wind speed is low.

Problems with plastics

Even though plastics make our lives easier in many respects, they are also said to be harmful from an environmental point of view. One of the issues is that plastics are made from petroleum derivatives, which are a limited resource. This is indeed true, although the major part of petroleum is burnt (combustible engines, thermal plants, and airplanes) rather than used in plastic production. Moreover, plastics can be used to produce light parts, and due to the reduction of weight of specific vehicles fuel can also be saved. Still, it is a real problem that one day in the future there will be no more petroleum but people will still want to produce plastic goods to make life easier.

Another serious accusation aimed at plastics, mostly mass-produced packaging materials, is that after their short life cycle they end up in waste disposal landfills and the plastic waste that piles up may be harmful to the living world. The main problem is that plastic materials used to produce products with a short life cycle are of the same stability and long-lasting nature as others of a longer lifecycle, which is not justified. Moreover, plastic waste recycling is not efficient due to economic factors (in many cases the original material is cheaper than the recycled one) or practical ones (during the recycling process the properties of plastic deteriorate, and it is an overly optimistic perspective that recycled and thus "new" plastic products are of the same quality as ones made with the original material). Depending on the type of plastic, only a limited amount of recycled plastic can be used to make new products.

A possible solution: the use of biopolymers

The use of so-called biopolymers may be the solution to all these problems. Biopolymers are polymers produced from renewable resources and/or are biodegradable. The and/or connection between the two conditions will be of some significance later, but as the first step, the two statements should be analyzed. The first statement is that biopolymers can be produced from renewable resources, which also means that they are free from petroleum, which is a limited resource (in reality, it is renewable, but millions of years are required for the process, and considering today's consumption the speed of renewal is close to

zero). Moreover, the renewable energy source which could be used to create biopolymers is the above-mentioned glucose that is produced through photosynthesis and which is stored by plants as cellulose or starch. This is the material which accounts for a significant proportion of the renewable biomass that is annually created: that is, it is available in unlimited amounts. The other statement in the definition of biopolymers is that they are biodegradable, which means that a composted biopolymer product, due to the enzymatic decomposing effect of fungi, bacteria or algae, decomposes in some months or years and the decomposed materials do not harm the environment or compost. The decomposition materials in the first round arise – as with the biological decomposition of all organic materials – thanks to the enzymatic decomposing effect of microorganisms: the former include carbon-dioxide, water, inorganic matter, and biomass. This is a natural process during which carbon-dioxide is also produced, although this does not increase the carbon-dioxide content of the atmosphere as this carbon-dioxide was already bound up by plants through photosynthesis and glucose that was created, which can then be used to produce biopolymers, among other things. This previously bound carbon dioxide will be emitted during the composting or burning process. This means that a biopolymer product is carbon-dioxide neutral, unlike petroleum-based plastics whose burning results in the emission of once-bound, million-year-old carbon-dioxide into the atmosphere. In the case of biopolymers, these two important features (that is, the fact they are produced from renewable resources, and that they are biodegradable) mean that they can enter into natural circulation and thus into the world of sustainability and the circular economy.

The classification of biopolymers

As mentioned before in the definition of biopolymers, the fact that they can be produced from renewable resources and the status of their biodegradability involves an and/or relationship. There are biopolymers that fulfil only one of these conditions (an "or" relationship); that is, they are produced from renewable sources but are not biodegradable, or the other way around – they are biodegradable, but are produced from petroleum. Examples of the former are Bio-poly(Ethylene) (bio-PET), Bio-Poly(Propylene) (bio-PP), etc., which are polymers that have structures and properties identical to petroleum-based Poly(Ethylene), Poly(Propylene), and which are produced from renewable resources rather than petroleum, but which are not biodegradable. An example of the latter group is so-called Poly(Caprolactone) (PCL), a biopolymer which is currently synthesized from petroleum and is also biodegradable that is used to produce film and absorbable medical sutures. Biopolymers that fulfil only one of the conditions are called Order I biopolymers. All this shows that being produced from a renewable resource and biodegradability are completely different and independent properties, and the fulfilment of one of them is enough to consider the material a biopolymer. On the other hand, biopolymers are usually Order II biopolymers, which fulfil both conditions (the "and" relationship);

szálerősített műanyag kompozitból készülnek, így nem csak tartósak, nagy szilárdságúak, de egyben könnyűek is, így segítségükkel kis szélesség mellett is termelhető áram.

A polimerek és a műanyagok

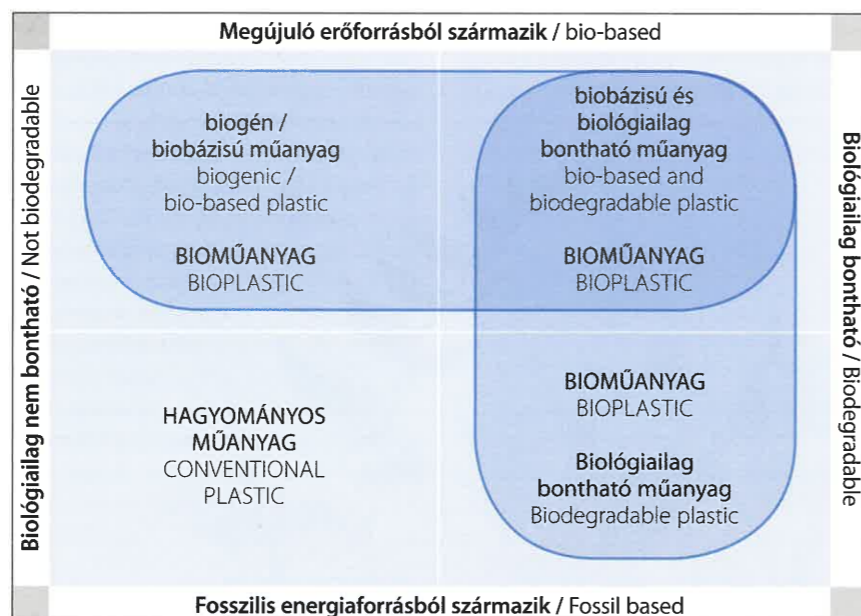
Annak ellenére, hogy a műanyagok megkönnyítik, egyszerűbbé teszik az életünket számos területen, ezeket az anyagokat sok vád éri mostanában főleg környezetvédelmi szempontok miatt. Az egyik, hogy a műanyagokat kőolajszármazékból állítják elő, amely egy véges erőforrás. Habár ez valóban így van, ugyanakkor a kőolaj-felhasználásnak nagy része nem a műanyagok előállítására, hanem égetésre fordítódik (belső égésű motorok, hőerőművek, repülőgépek), továbbá a műanyagokból olyan könnyű alkatrészek hozhatók 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 megkönnyítő műanyag termékeket létrehozni.

A másik komoly vád, amely éri a műanyagokat, elsősorban a nagy mennyiségben gyártott csomagolótechnikai jellegű termékeket, hogy azok a rövid életciklusuk után hamar a hulladéklerakóban köthetnek ki és a felhalmozódó műanyag hulladék káros lehet az élővilágra. Itt az a fő probléma, hogy a rövid életciklusú termékek létrehozására is ugyanolyan stabil és tartós műanyag alapanyagokat használnak, ami nem lenne

indokolt. Továbbá nem teljes mértékű a műanyag hulladék újrahasznosítása sem, ami 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. Ez utóbbi egy véges erőforrásnak tekinthető (valójában megújuló, de évmilliók szükségesek hozzá, így jelenleg a fogyasztás mellett elhanyagolható a megújulásának sebessége). Ez a bizonyos megújuló erőforrás, ami felhasználható biopolimerek létrehozására pedig nem más, mint



1. ÁBRA: MŰANYAGOK ÉS BIOMŰANYAGOK ELHATÁROLÁSA / FIGURE 1: CLASSIFICATION OF PLASTICS AND BIOPLASTICS
 FORRÁS / SOURCE: EUROPEAN BIOPLASTICS (EUBP)



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, az azt jelenti, hogy egy biopolimer termék komposztálva a gombák, baktériumok vagy algák enzimikus bontó képességének hatására hónapok, esetleg néhány év alatt szemmel nem látható részekre bomlanak és a bomlástermékek nem szennyeznek a környezetet vagy a komposztot. A bomlástermékek első körben – mint minden szerves anyag biológiai lebontása során – a mikroorganizmusok enzimikus bontó hatásának köszönhetően: szén-dioxid, víz, szervesetlen 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 ko-

„A biopolimerek alatt a megújuló erőforrásból előállított és/vagy biológiai úton lebontható polimerek összességét értjük.”

rában 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 – vagyis hogy megújuló erőforrásból létrehozhatóak és hogy biológiai úton lebonthatóak –, egyet jelent azzal, hogy beilleszthetők a természet körforgásába és így a fenntarthatóság és a körkörös gazdaság eszméiségebe.

A polimerek és a műanyagok

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 lebonthatóak vagy pedig éppen fordítva, biológiai úton lebonthatóak ugyanakkor kőolajból állítják elő. Az előbbire példa a bio-polietilén (bio-PET), 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 lebonthatóak. Az utóbbi csoportra pedig többek között példa pedig az úgynevezett polikaprolakton (PCL) nevű biopolimer, amelyet jelenleg kőolajból szintetizálnak, ugyanakkor biológiai úton bontható és többek között fóliákat, vagy akár orvostechikái felszívódó sebvarró célnát készítenek belőle. Azok

that is, they are produced from renewable resources and they are also biodegradable. An example of this is discussed below, involving one of the most promising and well-known biopolymers, Poly(Lactic Acid) (PLA). Finally Order III biopolymers also exist. The question arises how Order II biopolymers can be made even more similar to nature, and how there can be another, even higher category. In the case of Order II biopolymers, nature creates the renewable resource, although human activity, chemical equipment, and industrial are necessary for polymerization (that is, to create polymer chains). Order III biopolymers, on the other hand, are not only produced from renewable sources and are biodegradable, but the polymer chains are also created naturally. Members of this group are also called natural polymers, as already discussed at the beginning of the article, and – among others – two polymers belong to this category: cellulose and starch, which account for a significant proportion of the biomass that is created on a yearly basis.

Poly (Lactic Acid), presently one of the most popular biopolymers

At the moment, there are about 10 types of biopolymer. The most promising and popular one is Poly(Lactic Acid), or PLA for short. PLA is an Order II biopolymer; that is, it can be part of the natural circulation. PLA can be produced from starch by creating glucose first (the molecule chain of starch is decomposed into its basic elements). Then, glucose is fermented. So far the technology is the same as in the case of alcohol or bioethanol production, although in this case glucose



goes through lactic acid fermentation rather than an alcohol-based process, and during this technological process bacteria produce lactic acid. Lactic acid is also found in the human body in the mouth and bowels, and is also produced by stiff muscles after exercise, which shows that it is a natural material. In the food industry lactic acid fermented from glucose is used for preservation (E270). This lactic acid can then be polymerized in a few steps (more exactly, into lactide consisting of two lactic acid molecules) by connecting lactic acid molecules into PLA. This clearly shows that PLA can be produced from renewable resources. However, the question arises what makes it biodegradable? The major part of the "magic" is that PLA contains so-called ester links which can be broken up with hydrolysis; that is, in a watery environment and at a stable, high temperature (>60°C). As a consequence, the PLA molecule chain becomes shorter and the decomposing microorganisms that live in the soil can decompose short molecule chains (lactic acid chains of a few repeating units) into water and carbon dioxide – that is, the materials which are used by plants through photosynthesis to produce glucose and starch, the basic materials of PLA. This process is the end of the cycle and PLA can become part of natural circulation.

a biopolimerek, 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 hozhatóak létre 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. A 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 létrehozhatóak, hanem még a polimer láncot is maga a természet alkotja meg. Ezt a csoportot természetes polimerek néven is szoktuk hívni, amikkel a cikkünk elején foglalkoztunk. Többek között két olyan polimer tartozik ide, amely az évente termelő biomasszájának jelentős hányadát teszi ki, azaz a cellulóz és a keményítő.

A politejsav, mint a biopolimerek napjaink egyik legnépszerűbb képviselője

Jelenleg körülbelül 10féle 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 keményítőből 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, és izomláz esetén is képződik, és hogy az emberiség a glükózból nyert 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 „várázslat” 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 molekulalánca rövidülni fog egészen addig, amíg a talajban élő lebontó mikroorganizmusok a rövid molekulalánccokat (néhány ismétlődő egységből álló tejsav lánc) már le tudják bontani vízre és széndioxidra, azaz azokra az anyagokra, amelyekből a fotoszintézis során a növény a PLA alapanyagát, a glükózt és a keményítőt hozta létre. Ezzel a folyamattal pedig bezárul a kör és a PLA beilleszthetővé válik a természetes körforgásba. ■

→ PINTÉR RICHÁRD

Rovarak alkalmazása a hulladékgazdálkodásban



Bevezetés

A keletkező szilárd hulladékok mennyisége évről évre növekszik, elsősorban a növekvő globális népesség, az urbanizáció és a gazdasági növekedés hatására, valamint a változó termelési és fogyasztási viselkedés miatt. A keletkező hulladékmennyiség növekedés az ipari melléktermékek mennyiségének növekedésével is jár, ami elsőre akár előnyösen is hathat, hiszen a takarmányozásban valós hasznosításuknak és fejlődő hulladékkezelési technológiáknak köszönhetően kezelésük illeszkedhet a körforgásos gazdaságba. Azonban a növekvő népesség növekvő területigénye korlátokat szab a hagyományos fehérje források előállításának. Ez is indokolja, hogy egyre nagyobb tudományos és ipari érdeklődés övezi a rovarok ipari méretű, irányított tenyésztési rendszerekben való hulladék feldolgozását. A települési szilárd hulladék kezelése az egyik legsúlyosabb környezeti probléma, amivel főként az alacsony és közepes jövedelmű országok szembesülnek. Ennek a kihívásnak a súlyossága a jövőben növekedni fog, figyelembe véve a gyors urbanizációt és a városi lakosság növekedését.

A rovartenyésztés lehetséges előnyei

Napjainkban a fehérjeforrás alapja szinte minden országban az állatállomány. A FAO (2006) adatai alapján az állattartás a termőföldek 70%-át veszi igénybe. Ahhoz, hogy a Föld lakosságát kellő mennyiségű



LISZTBOGÁR LÁRVÁK / MEALWORM BEETLES