



BIOPOLIMERI IN BIOPLASTIKA

PLASTIKA SKLADNA Z NARAVO

INFORMACIJSKO – IZOBRAŽEVALNO GRADIVO ZA PROFESORJE
IN LABORANTE KEMIJE NA OSNOVNIH IN SREDNJIH ŠOLAH

Avtorji: Maša Šprajcar, Petra Horvat, Andrej Kržan
Kemijski inštitut, Ljubljana



BIOPLASTIKA: IZVOR, NASTANEK IN RAZGRADNJA

UMETNI POLIMERI IN PROBLEM, KI GA PREDSTAVLJAJO	4
(BIORAZGRADLJIVI) POLIMERNI MATERIALI IN PLASTIKA	5
POLIMERI NARAVNEGA IZVORA	7
POLIMERI UMETNEGA IZVORA	7
BIOLOŠKA RAZGRADNJA	9
BIORAZGRADLJIVOST	10
PROIZVODNA POT	
IN TIPI BIOPLASTIKE	10
BIOKOMPOZITI	10
BIORAZGRADNJA	11
TRAJANJE BIORAZGRADNJE IN TVEGANJE VNOSA PLASTIKE V NARAVO	12
KLJUČNA SPOROČILA	13



2 PLASTIKA IZ OBNOVLJIVIH VIROV

NARAVNI POLIMERI, SUROVINA ZA PLASTIKO	15
PREDNOSTI PLASTIKE IZ OBNOVLJIVIH VIROV	16
DOLOČANJE DELEŽA OBNOVLJIVIH VIROV V PLASTIKI	16
ŠKROB	16
CELULOZA	17
SOJA/SOJIN PROTEIN	18
POLIMLEČNA KILSINA (PLA)	19
POLIHIDROKSIALKANOATI (PHA)	19
POLIAMID 11	20
BIO-POLIETILEN	20
BIO-POLIETILEN TEREFALAT (BIO-PET)	21
KLJUČNA SPOROČILA	22



3 BIORAZGRADLJIVA PLASTIKA V VSAKDNJEM ŽIVLJENJU

PLASTIKA NA VSAKEM KORAKU	24
MOŽNOST IZBIRE	24
PREPOZNAVANJE BIORAZGRADLJIVEGA PROIZVODA	24
KVALITETA IZDELKOV KAJ NAREDIMO Z BIORAZGRADLJIVO PLASTIKO, KO TA POSTANE ODPADKE?	26
SLOVENSKO TRŽIŠČE	26
KLJUČNA SPOROČILA	27



4 PREDLOGI ZA POSKUSE

HITRI PRIKAZ RAZLIKE MED PENICAMI IZ ŠKROBA TER STIROPOROM	29
PLASTIKA IZ KROMPIRJA	29
PLASTIKA IZ KORUŽNEGA ŠKROBA	30
KOMPOSTIRANJE	30

UVOD

Leta 2010 je bilo na svetu proizvedenih 265 milijonov ton plastike, od tega 57 milijonov v Evropi [1]. Pričakovati je, da bosta proizvodnja in poraba polimernih materialov naraščali vsaj toliko časa, dokler tudi države v razvoju ne dosežejo take povprečne porabe, kot jo imajo razvite države.

Trenutno približno 80 % vseh polimernih materialov proizvede petrokemijska industrija, torej so proizvedeni iz fosilnih (neobnovljivih) virov. Skupaj s povečano rabo plastičnih polimerov se večja tudi breme na okolje. Poleg vplivov na okolje, ki nastanejo zaradi same proizvodnje polimerov in plastike, je vedno večje tudi breme odpadkov, ki nastanejo, ko uporabniki zavržejo proizvode, ki jih ne potrebujejo več. Odpadki so že veliko let pereč problem, saj z vedno bolj množično potrošnjo izdelkov s kratko življenjsko dobo skokovito narašča tudi količina odpadkov. Odlagališča odpadkov imajo številne potencialne negativne vplive na okolje (pronicanje izcednih voda v podtalnico, smrad, uničenje lokalne flore in favne, lokalna sprememba površja, onesnaženje prsti,...), prav tako je zanje potrebnega veliko prostora. Še večjo nevarnost pa seveda predstavljajo odpadki iz plastike, ki po takšni ali drugačni poti zaidejo v naravo. Ponovna raba izdelkov ter njihovo recikliranje sta dve izmed možnosti za manjšanje količine odloženih odpadkov in s tem povezanih okoljskih bremen. Alternativno možnost predstavljajo tudi polimeri, ki so biološko razgradljivi ali narejeni iz obnovljivih virov. To so novejši in manj poznani materiali, ki obetajo večjo sonaravnost plastike v prihodnosti. Na te materiale se nanaša tudi gradivo pred Vami.

NAMEN

Prva plastika, za katero so trdili, da je biorazgradljiva, se je na tržišču pojavila pred več kot dvajsetimi leti. Njen pojav na tržišču ni prinesel takojšnjega uspeha, predvsem zaradi slabih dokazov o njeni dejanski biorazgradljivosti, torej lastnosti, ki je bila predstavljena kot njena največja prednost [2].

Znanstveni in tehnološki razvoj na področju biorazgradljivosti in biopolimerov je od tedaj bistveno napredoval in danes lahko izdelke iz preverjeno biorazgradljive plastike kupimo v večini večjih trgovin. Pri tem se lahko Srednja Evropa pohvali predvsem z močno znanstveno bazo na področju biopolimerov in bioplastike, le-to pa bi bilo potrebno bolje, tudi industrijsko, izkoristiti.

Mednarodni projekt PLASTICE – Inovativni razvoj vrednostne verige za trajnostno plastiko v Srednji Evropi – je namenjen promociji novih, okolju prijaznejših in trajnostnih vrst plastike. Poudarek projekta je na identifikaciji in odpravi omejitev, ki v Srednji Evropi preprečujejo hitrejšo ter bolj množično uveljavljanje trajnostnih vrst plastike, predvsem biorazgradljive plastike in plastike iz obnovljivih virov (skupaj bioplastika).

Specifični cilji so:

- večja ozaveščenost ciljnih skupin o bioplastiki.
- izboljšanje mehanizmov za prenos tehnologije in izmenjavo znanja o biorazgradljivi plastiki z industrijskimi uporabniki.
- izboljšanje dostopa do znanstvenih dognanj, uporaba že obstoječega znanja ter njihova prilagoditev zahtevam proizvajalcev biorazgradljivih polimerov in plastike.
- krepitev sodelovanja med raziskovalnimi ustanovami in gospodarstvom.

Več o projektu in sveže novice najdete na spletni strani www.plastice.org, na Facebook strani www.facebook.com/PlasticeSlovenia, na Youtube kanalu www.youtube.com/user/plasticeproject pa najdete videoposnetke predavanj.

Pričujoče gradivo je namenjeno profesorjem in laborantom kemije na osnovnih in srednjih šolah. Celostno zajema nepristranske in znanstveno podprte informacije s področja biorazgradljive plastike in plastike na osnovi obnovljivih virov, ki so primerne za podajanje učencem. Na ta način želimo ozaveščati širšo ciljno skupino in jih seznaniti z možnostjo izbire, ki jo imajo. Uspeh prodora bioplastike na tržišča ter razvoj industrije biopolimerov sta namreč neločljivo povezana z ozaveščenim, zahtevnim in kritičnim potrošnikom, ki se zaveda, da ima možnost izbire ter da s svojo izbiro lahko soustvarja prihodnost, ki pritiče njemu ter njegovim naslednikom.

POVZETEK

Vsebina gradiva, ki je pred Vami, je razdeljena na štiri poglavja. V prvem poglavju je korak za korakom razloženo, kako iz monomerov nastanejo polimeri in kako plastika. Pojasnjena je razlika med ti. konvencionalno plastiko narejeno na osnovi fosilnih virov in bioplastiko; večji poudarek pa je nato na samih biopolimerih in bioplastiki – kaj to sploh je, kako jo pridobimo in kako poteka biorazgradnja. Opisano je tudi, zakaj bioplastika predstavlja pomembno alternativo konvencionalni plastiki.

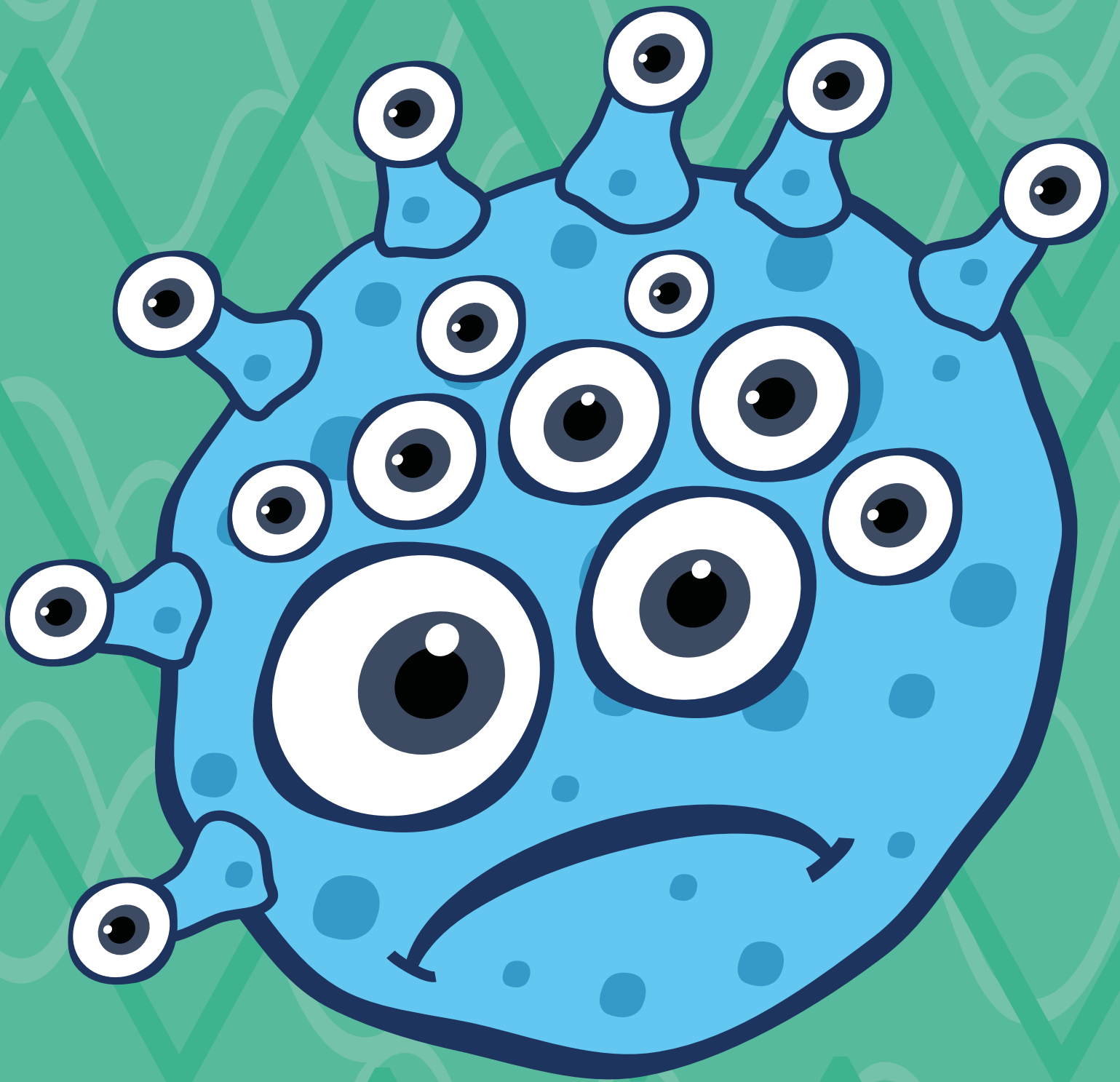
Drugo poglavje je osredotočeno na plastiko, pridobljeno iz obnovljivih virov. Ta skupina plastike lahko predvsem v prihodnosti pomembno prispeva k manjši rabi fosilnih virov in posledicam, ki jih njihova raba prinaša. Pojasnjeno je tudi, da ni nujno vsa plastika, ki temelji na obnovljivih virih, tudi biorazgradljiva.

Tretji del je namenjen bioplastiki, s katero se kot potrošniki lahko srečamo in jo uporabljamo pri delu ali v gospodinjstvih. Razloženo je, kaj vse lahko proizvedemo iz bioplastike ter kako ravnamo s proizvodom iz bioplastike, ko ga ne potrebujemo več. Predstavljene so tudi certifikacijske oznake, ki so najboljše zagotovilo o dejanski naravi materiala.

Na koncu vsakega poglavja so izpostavljena ključna sporočila, ki hkrati predstavljajo strnjen povzetek vsakega izmed delov.

V četrtem poglavju boste našli opis enega krajšega (primeren za izvajanje v razredu med samo učno uro) in dveh daljših (primerna za laboratorijsko vajo) poskusov, ki jih lahko izvedete z učenci, da si bodo lažje predstavljali, kaj bioplastika je, kako jo lahko sami enostavno naredijo in katere so razlike in podobnosti s konvencionalno plastiko. Opisan je tudi poskus kompostiranja, ki pa lahko poteka skozi daljše obdobje in tako učencem da zelo praktično razumevanje biorazgradljivosti in kompostirnosti.

Na koncu gradiva najdete slovar izrazov, ki so uporabljeni v gradivu.



**BIOPLASTIKA:
IZVOR,
NASTANEK
IN RAZGRADNJA**

1



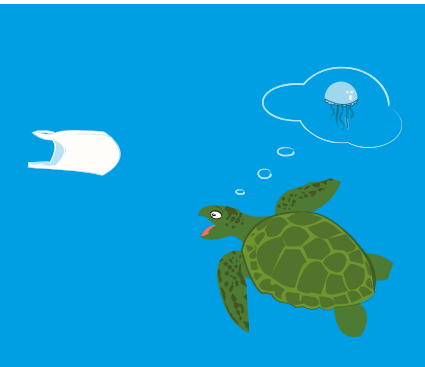
Um je gonilo človeškega razvoja in od pradavnine naprej je človek s tem, ko je iskal optimalne poti za zadovoljevanje svojih potreb ter tešil radovednost z raziskovanjem, odkril in izumil vse od ognja do nanomaterialov. Nekje med ognjem in nanomateriali je bila odkrita tudi plastika. Ljudje so videli potrebo po čim bolj obstojnem materialu. Začetki plastičnih mas segajo v leto 1869, ko je John Wesley Hyatt izumil nitrocelulozo, kompozitni material, ki je bil najprej uporabljen za krogle za biljard. Nitroceluloza (kasneje znana pod komercialnim imenom celuloid) je bila prva industrijska plastika. Več kot stoletje kasneje pa se, ironično, spopadamo s problemom trajne obstojnosti in zaskrbljujočimi količinami odpadne plastike v okolju. Poglejmo si, kako je prvotno želena lastnost, ki je botrovala razvoju prve plastike, postala srž problema in kakšne poti iz trenutne zagate nam ponuja bioplastika.

UMETNI POLIMERI IN PROBLEM, KI GA PREDSTAVLJAJO



Plastični materiali (plastika) vsebujejo kot ključno sestavino umetne polimere, ki jih označujejo **visoke molske mase**. Zaradi enostavne predelave in številnih možnosti za pridelavo stroškovno učinkovitih proizvodov, ki višajo življenjski standard in kvaliteto ter lagodnost življenja, so polimerni materiali uspešno prodri na svetovna tržišča. Vsak izmed nas se dnevno srečuje z velikim številom različnih plastičnih materialov in proizvodov, narejenih iz njih, saj polimerni materiali zaradi njihove raznolikosti pokrivajo neverjetno širok spekter lastnosti in uporabnosti. Hrana, ki jo kupujemo v trgovini, je embalirana v različnih tipih plastike, prav tako kot tudi proizvodi za osebno higieno; iz plastike so narejeni športna oprema, otroške igrače, pisarniški materiali, kuhinjski pripomočki, itn.

Ob izjemni rasti proizvodnje in uporabe polimerov, so razmišljanja o **posledicah uporabe plastičnih produktov** ter **končnega ravnanja s temi proizvodi, ko postanejo odpadki, aktualna in pereča tema**. Pomisleki se osredotočajo na **možen vpliv umetnih snovi na zdravje ljudi ter škodo, ki jo utrpri okolje**. Skoraj vsa plastika je danes sintetizirana iz surovin ki jih preko petrokemijske industrije pridobivamo iz fosilnih virov. Z izkoriščanjem **fosilnih virov** je povezano **globalno segrevanje ozračja hkrati pa izrabljamo dragocen neobnovljiv vir surovin**. Poleg tega del **plastike** zaide tudi **v naravo**, kjer predstavlja **trajni tujek**, saj sestoji iz umetno sintetiziranih polimerov, ki se v naravi sami po sebi ne pojavljajo. Kot taka lahko predstavlja vir sproščanja organskih onesnažil v okolje in vstopanje slednjih v prehranjevalno verigo. Ker plastiko uporabljamo v tako velikih količinah »še« v zadnjih desetletjih, nam vsi vplivi ter potencialne nevarnosti niti še niso znani. Neizpodbitno pa je, da v naše okolje vstopa ogromna količina materialov in snovi, ki jih v osnovi tam nikdar ni bilo in nanje narava skozi evolucijo ni bila prilagojena. Ne samo da plastični (kot tudi vsi drugi) odpadki kazijo izgled pokrajine, organizmi jih lahko po pomoti zaužijejo, se vanje zapletejo, ali se zadušijo.



Prav tako ni več novo spoznanje, da je v Tihem oceanu velika plavajoča gmota plastičnih odpadkov, ki pokriva površino, enako dvakratni velikosti kontinentalnih delov ZDA. Okoljski program Združenih narodov je leta 2006 ocenil, da **vsaka kvadratna milja oceana vsebuje 46 000 enot plavajoče plastike**. Ker plastika v naravi razpada počasi, predvsem zaradi vplivov neživih dejavnikov, se tam bolj kot ne kopičijo, se problemu njihove prisotnosti, ne moremo izogniti. Nove raziskave kažejo, da je ta problem prisoten v vseh svetovnih morjih in oceanih – tudi v slovenskem morju!

Leta 2010 je bilo na svetu proizvedenih 265 milijonov ton plastike, od tega 57 milijonov v Evropi [1]. Istega leta je bilo proizvedenih skupno tudi 724 500 ton bioplastike v svetu, kar je, v primerjavi z milijoni ton konvencionalne plastike proizvedene tega leta, izjemno majhen delež [3], napovedi so, da bo proizvodnja biopolimerov v nekaj letih dosegla milijon ton letne proizvodnje.

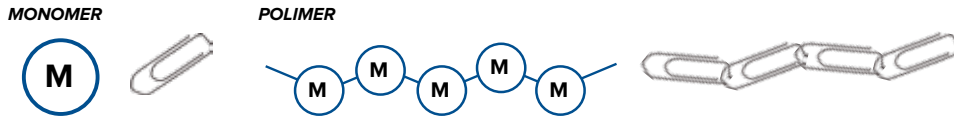
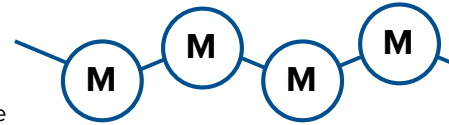
Če se je obstojnost sprva smatrala za eno izmed prednosti plastike, ob soočanju s problemom ogromnih količin odpadne plastike, danes to ni več njen atribut, temveč lastnost, ki jo želimo zaobiti, če je le mogoče ne na račun izgube njenih drugih vsečnih karakteristik. Medtem ko recikliranje in sežig sicer predstavljata alternativo odlaganju zavrženih plastičnih produktov, imata, razumljivo, tudi ti dve možnosti svoje slabosti. Z recikliranjem plastike se slabša kvaliteta le-te, prav tako so stroški zbiranja lahko visoki. Recikliranje seveda izboljšuje izrabo materiala (ker isti material izrabimo večkrat) a recikliranje ne more teči v nedogled kar pomeni da se moramo prej ali slej soočiti z odpadkom, ki potrebuje »končno« ravnanje. Sežigalnice so smiselna energijska izraba materiala potem ko smo izkoristili druge možnosti, a v primeru, da niso zadosti tehnološko dovršene ali so napačno upravljane (npr. zgorevanje pri prenizkih temperaturah), lahko v okolje spuščajo strupene snovi.

Po mnenju stroke biorazgradljivi polimeri predstavljajo ključno alternativo pri soočanju z omenjenimi problemi. Vodilo večine pristopov je zgledovanje po naravnih procesih z namenom vedno globlje integracije umetnih polimerov in plastike z naravnimi snovnimi in energijskimi tokokrogli. Na osnovi sodobnega razumevanja korelacij med strukturo in lastnostmi polimerov ter poznavanjem delovanja naravnih procesov so bili razviti materiali, ki združujejo pričakovane lastnosti plastike, omogočajo učinkovito predelavo ter uporabnost izdelkov in so hkrati biološko razgradljivi.



(BIORAZGRADLJIVI) POLIMERI IN PLASTIKA

Polimeri (grško: poly-mnogo, meros-delec) so spojine z **visokimi molskimi masami**, zgrajene iz medsebojno povezanih, **ponavljajočih se osnovnih gradnikov**, tako imenovanih **monomeri** (Slika 1). Poenostavljeno to lahko primerjamo z biserno ogrlico – vsak biser predstavlja eno monomerno enoto; na ogrlico pa nanizamo nekaj deset biserov, tako je ogrlica polimer. Kot monomer si lahko predstavljamo tudi sponko za papir, polimer pa predstavlja veriga iz teh sponk, ki jo dobimo, če jih pripnemo eno na drugo.



Slika 1: Enostaven prikaz povezave med monomerom in polimerom

Mnogi primeri polimerov so izjemno pomembni za naše življenje: npr. DNK, katere monomerna enota je nukleotid, beljakovine, ki tvorijo encime in naše mišice, so sestavljene iz aminokislin. Polimera sta tudi celuloza – bistvena sestavina lesa in škrob – energijska rezerva rastlin, ki jo najdemo npr. v krompirju in koruzi; njuna monomerna enota je glukoza.

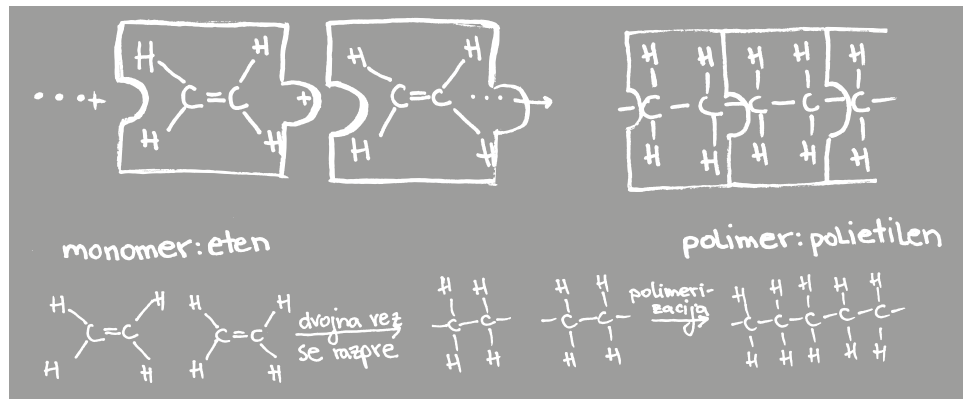
Plastika pa je **material**, formuliran in pripravljen za uporabo. **Poglavitna sestavina plastike** so **polimeri katerim so dodana polnila (anorganska ali organska) ter dodatki npr. pigmenti, mazila, zaviralci oksidacije itd.** Poznamo mnogo različnih **vrst plastičnih materialov**. Ključna je izbira, polimerov na katerih temeljijo. Vsem dobro poznana je na primer PET (polietilen tereftalat) plastika, iz katere so narejene skoraj vse platenke za vodo in druge pijače, pogosto pa se srečamo tudi s polipropilenom (PP), iz katerega so avtomobilski deli, ohišja gospodinjskih aparatov, cevi za toplo vodo; polistrienom (PS), ki se uporablja za embalažo v kozmetični in farmacevtski industriji, jedilni pribor; polietilenom (PE) – vrečke, igrače, kabli, pokrovčki,... Omenjene vrste plastike predstavljajo najbolj razširjene vrste, ki predstavljajo okoli 75 % vse proizvedene plastike.. Vidimo, da vsa imena vključujejo predpono poli-, kar pokaže, da gre za polimerni material, sestavljen iz monomernih enot.



Poglejmo si podrobneje še **kemijske reakcije**, ki so potrebne za nastanek polimerov. Z združevanjem več aminokislin (AK) nastane beljakovina (polimer). Gre za **kondenzacijo**, pri reakciji se odcepi voda. Reakcija poteče tudi v nasprotni smeri, pri **hidrolizi** (spajanje z vodo) beljakovine, dobimo aminokislino.



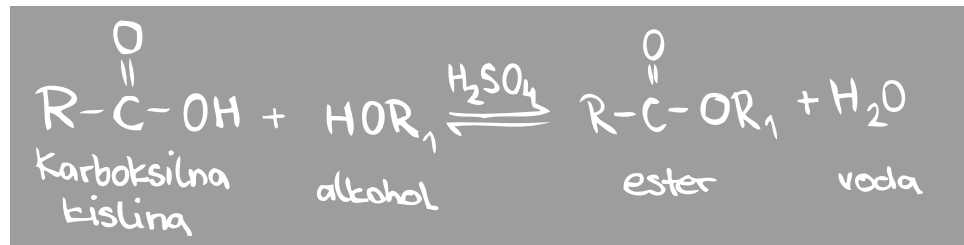
Polieten (polietilen) prav tako nastane s polimerizacijo, in sicer z adicijsko polimerizacijo, pri kateri se monomeri povežejo s pripajanjem.



Slika 2: Polimerizacija etena - nastanek polietilena

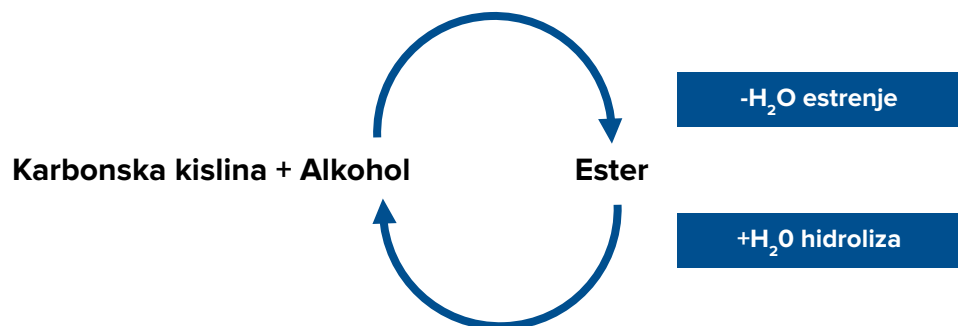
Poglejmo še, kako nastane eden izmed najbolj znanih poliestrov, poli(etilen tereftalat), ki ga poznamo pod oznako PET. Razložimo najprej nastanek estrov.

Estri so spojine z estersko funkcionalno skupino $-\text{COO}$, ki je na obeh straneh skupine vezana na poljubno organsko skupino (R-COO-R_1). Estri nastajajo pri **esterifikaciji**. To je reakcija med karboksilno kislino in alkoholom. Reakcija navadno poteče ob prisotnosti močne kisline (npr. H_2SO_4) kot katalizatorja.

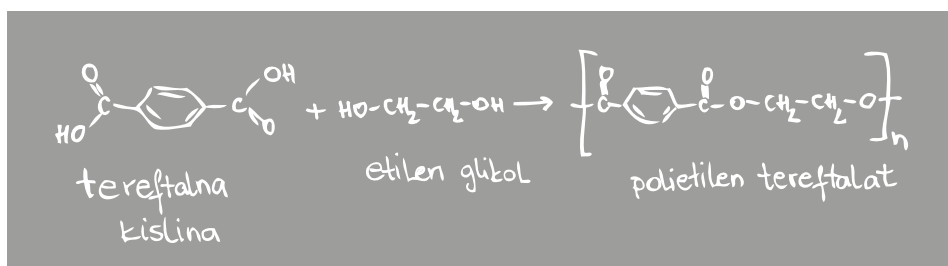


Slika 3: Nastanek estrov

Hidroliza estrov je reakcija estra z vodo, pri čemer se molekula cepi, nastaneta karboksilna kislina in alkohol, torej enoti iz katerih je ester nastal (gre za analogen proces hidrolize beljakovin - beljakovine so kemijsko poliamidi povezani z amidno skupino).



Poliestri so produkt reakcije polikondenzacije. Nastanejo iz monomerov, pri čemer se navadno odcepi voda. Ključna lastnost monomera iz katerega lahko pripravimo polimer je, da ima vsaj dve funkcionalni skupini, ki lahko tvorita vsaj dve vezi. Le na tak način namreč lahko tvorimo (polimerno) verigo.



Slika 4: Estrifikacija: nastanek polietilen tereftalata - PET



Živi organizmi v presnovnih procesih sami sintetizirajo različne polimere, ki jih potrebujejo za opravljanje različnih funkcij, nosilce dednega zapisa (DNK), material za zagotavljanje rigidnosti v celičnih stenah (celuloza), snovi za shranjevanje energije (v nekaterih mikroorganizmih poliestri) itn. Poleg naravnih polimerov poznamo še številne umetne polimere, ki so v osnovi in principu bolj ali manj podobni naravnim, vendar pa jih proizvaja človek umetno in v naravi kot taki ne obstajajo. V to skupino sodi skoraj vsa plastika, ki jo uporabljamo.

Delitev polimerov glede na izvor je torej sledeča:

- 1) NARAVNI POLIMERI
- 2) UMETNI / SINTETIČNI POLIMERI

POLIMERI NARAVNEGA IZVORA

Večina živega sveta temelji na polimerih. Najdemo jih tako v živalih (ogljikovodiki, proteini, maščobe, nukleinske kisline itd.), rastlinah (npr. celuloza, olja, škrobi, tudi poliestri) kot tudi v nižjih organizmih. Naravni polimeri nastajajo v rastnih ciklih celic živih organizmov. Njihova sinteza vsebuje encimsko katalizirane polimerizacijske reakcije aktiviranih monomerov, ki nastanejo znotraj celic kot produkti kompleksnih presnovnih procesov. Za naravno pa velja, da kar ustvari lahko tudi razgradi. Vsi naravni polimeri predstavljajo uskladičeno energijo in snov, kii se ob razgradnji (presnovi) sprosti in je na voljo za ponovno uporabo. Zato v naravi za naravne polimere obstajajo tudi encimski sistemi za njihovo razgradnjo. V ta koncept sodi tudi naše uživanje hrane, ki v pretežnem delu sestoji iz biopolimerov. Seveda pa proces teče tudi interno: biopolimere organizem v času obilja sintetizira v času pomanjkanja pa porablja. Takšen je npr. namen odvečne maščobe v naših telesih.

Nevidni, splošno prisotni in skoraj vedno dejavni razgrajevalci naravnih organskih snovi so mikroorganizmi (bakterije, glive, alge). Mikroorganizmi so skozi evolucijo prilagojeni naravnim polimerom kot tudi drugim (nizkomolekularnim) naravnim snovem in imajo razvite načine za njihovo presnovo. Polimere nato spet lahko razgradijo do osnovnih gradnikov. Nekateri izmed naravnih polimerov so: celuloza, lignin, škrob, hitin, pektin, agar,...

POLIMERI UMETNEGA IZVORA

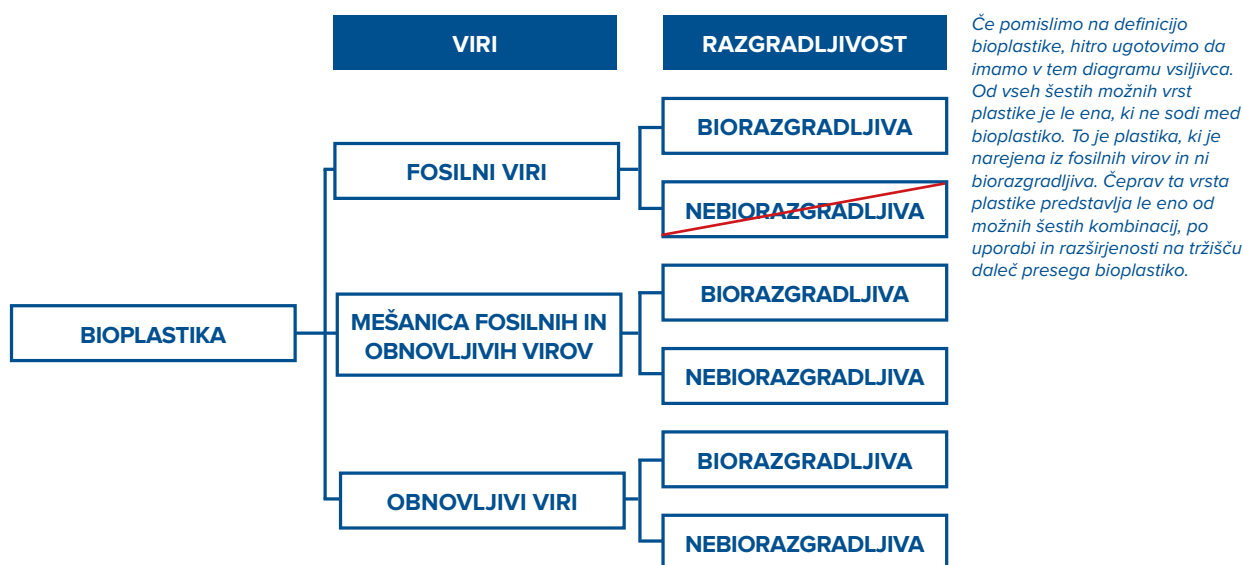
Z biosintezo se proizvajajo polimeri na način, enak naravnemu. Veliko mikroorganizmov v naravi na primer sintetizira poliestri kot substancno za shranjevanje energije. Na industrijskem nivoju gre za fermentacijo teh mikroorganizmov na sladkorju (glukozi) pod optimalnimi pogoji, s čimer se zagotovi učinkovito tvorjenje velikih količin poliestra. Gre torej za naravni polimer, katerega produkcija pa je skrbno nadzorovana, zato smatramo, da je izvor umeten.

Kemosintetske polimere navadno pridobivamo iz nafte. Gre za polimere, ki se v naravi kot taki ne pojavljajo, zato, ko končajo v okolju, tam predstavljajo obstojen tujek, saj se ne morejo vključiti v naravne tokokroge. Ocenjeno je, da zavržena plastenka v naravi ostane 450 let. Pri teh polimerih se razgradljivost sicer dosega z vključevanjem hidrolitsko nestabilnih vezi v polimer (npr. estrske, amidne skupine,...).

Glede na **vir** delimo bioplastiko na:

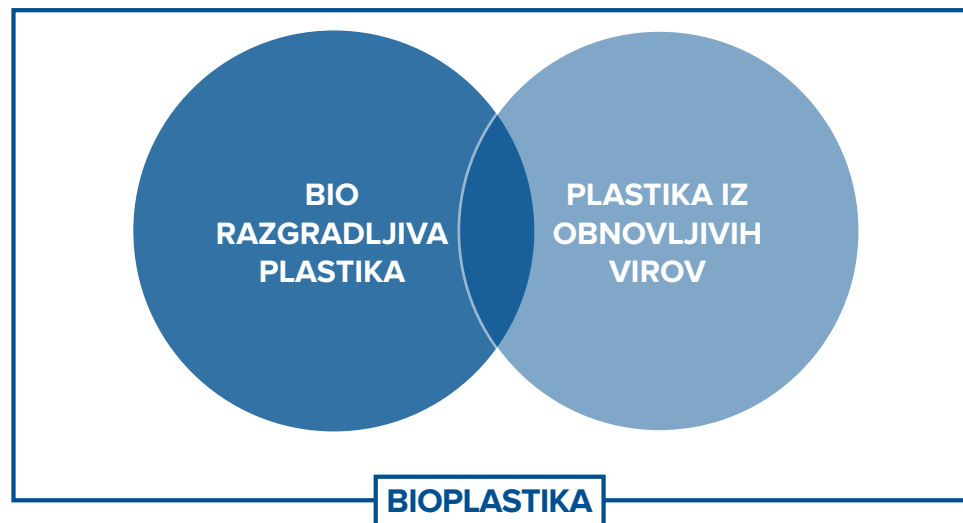
1. bioplastiko iz **obnovljivih** virov,
2. bioplastiko iz **fosilnih** virov in
3. bioplastiko iz **mešanice obnovljivih in fosilnih virov**,

po **spособnosti razgradnje** pa na **biorazgradljivo**, sem spada tudi kompostirna plastika, in na plastiko, ki **ni biorazgradljiva**. S kombinacijo teh dveh kriterijev, viri in razgradljivost, imamo 6 možnosti, ki so prikazane na spodnji sliki.

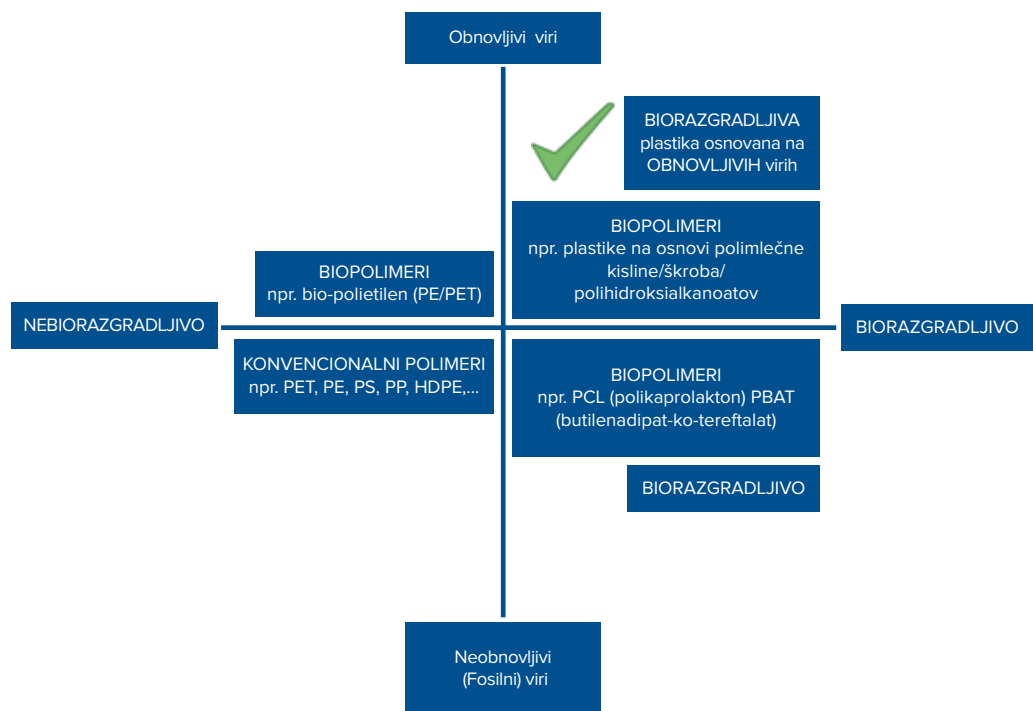


Slika 5: Razdelitev bioplastike glede na vire in biorazgradljivost

Definicija, ki je danes priznana in nekako največ v uporabi, označuje bioplastiko kot biorazgradljivo plastiko in/ali plastiko iz obnovljivih virov [3]. Ta definicija je v uporabi v industriji in pove, da ni nujno, da je bioplastika tudi biorazgradljiva. Po tej definiciji med bioplastiko prištevamo tudi plastiko, ki ni biorazgradljiva, je pa narejena iz obnovljivega vira.



Slika 6: Bioplastika po definiciji European Bioplastics



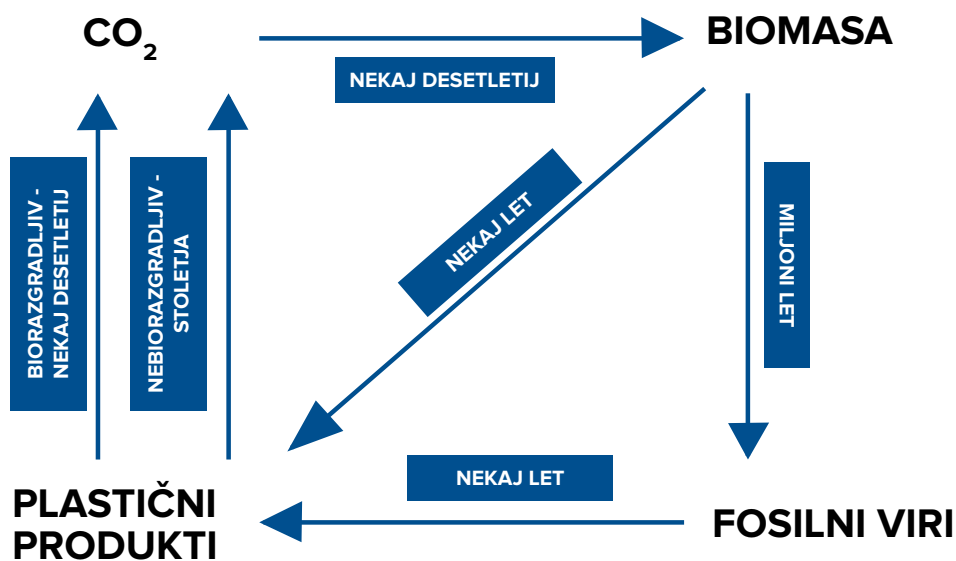
Slika 7: "Koordinatni sistem" plastike

V zasledovanju ciljev **trajnostnega razvoja** in **manjšanja vplivov** na okolje **biorazgradljiva plastika iz obnovljivega vira** razumljivo predstavlja najboljšo možnost, storiti pa moramo vse, kar je v naši moči, da kar najbolj optimiziramo rabo nebiorazgradljive plastike iz neobnovljivih virov.

Na tem mestu razložimo še pojem (ne)obnovljivega vira. Med obnovljive vire štejemo tiste, ki so naravnega izvora, njihova količina pa se zaradi človeške rabe ne manjša, saj se dokaj hitro obnovljajo preko naravnih procesov. Mednje prištevamo energijo vetra, sončno energijo, geotermalno energijo, energijo valov in plimovanja, biomaso,... Tudi fosilni viri so v



bistvu naravni vir – nastali so iz mrtvih organizmov. Problem je, da fosilni viri nastajajo več milijonov let, medtem ko jih ljudje izrabljamo na ravni stoletij. Iz perspektive človeškega življenja sta torej nafta in zemeljski plin neobnovljiva vira; medtem ko tega ne moremo trditi, če na situacijo pogledamo skozi prizmo geološke starosti Zemlje. Zaradi hitrosti človeškega izrabljanja fosilnih virov pride do neskladnosti na časovni premici – ogljik, ki se je vezal milijone let, se pospešeno (tekem desetletij in stoletij) sprošča nazaj v kroženje, znova pa se še dolgo ne bo vezal. Tako ni možnosti, da bi se tekom življenja enega človeka ustvarilo toliko fosilnega vira, kot ga je taisti človek porabil. Ljudje smo se vključili v naravni tokokrog, a njegovih naravnih zakonitosti ne upoštevamo. Z velikim zanašanjem na fosilne vire jemljemo iz Zemljinih rezerv, a jih ne nadomeščamo. Tako onemogočamo zanamcem, da bi imeli iste možnosti koriščenja tega vira, kot jih imamo mi. Zato fosilne vire smatramo za neobnovljive. Nihče ne ve točno, koliko let se lahko še zanašamo na rezerve fosilnih goriv, večinoma pa se strokovnjaki strinjajo, da bo na neki točki fosilnih goriv preprosto zmanjkalo, tj. da bo človeštvo popolnoma izrabilo naravni vir. Poleg tega da fosilnih virov ne moremo koristiti v neskončnost, se s sežiganjem fosilnih goriv v okolje sproščajo velike količine ogljikovega dioksida. Ta je eden izmed glavnih toplogrednih plinov, ki so krivi za segrevanje Zemljinega ozračja in z njim povezane klimatske spremembe.



Slika 8: Smotnost rabe bioplastike

Z izogibom rabe fosilnih virov koržimo le še znotraj trikotnika BIOMASA-PLASTIČNI PRODUKT-CO₂ in ostajamo v časovnih okvirih, ki nam pritičejo.

BIOLOŠKA RAZGRADNJA

Biorazgradljivost je **specifična lastnost** nekaterih plastičnih materialov oz. polimerov, iz katerih so plastični materiali sestavljeni; **biološka razgradnja** ali skrajšano biorazgradnja (angl. biodegradation) pa označuje proces **degradacije polimernega materiala pod vplivom biotskih (živih) dejavnikov**. Proces biorazgradnje temelji na tem, da organizmi, v glavnem **mikroorganizmi** (bakterije, glive, alge) **polimer prepoznajo kot vir organskih gradnikov** (npr. enostavni saharidi, aminokisliline itn.) in energije, ki jih potrebujejo za življenje. Poenostavljeno povedano, **biorazgradljivi polimeri mikroorganizmom predstavljajo hrano**. Polimer kemijsko reagira pod vplivom ali celičnih ali izvenceličnih encimov, pri čemer se cepi polimerna veriga. Proces lahko poteka pod vplivom različnih encimov, postopoma pa vodi do vse manjših molekul. Slednje vstopajo v procese presnove, ki potekajo v notranjosti celic (npr. Krebsov cikel) in se ob oddajanju energije pretvorijo v **vodo, ogljikov dioksid, biomaso** in druge osnovne produkte biološke pretvorbe. Značilnost produktov razgradnje je, da niso strupeni ter so povsem običajno prisotni tako v naravi kot tudi v živih organizmih. Umetni material (npr. plastični polimer) se po tej poti torej pretvori v elemente, ki so običajno prisotni v naravi. **Proces pretvorbe organskega ogljika** (v našem primeru polimera), v **anorganski ogljik** – npr. ogljikov dioksid, se imenuje **mineralizacija**.



BIORAZGRADLJIVOST

Kljub temu da si želimo kar največ biorazgradljive plastike narediti iz obnovljivih virov, je dejstvo, da je **dovzetnost polimera ali plastike za biorazgradnjo** odvisna **izključno od kemijske strukture** polimera. Za samo biorazgradljivost ni pomembno, ali je polimer narejen na osnovi obnovljivih virov (biomase) ali na osnovi neobnovljivih (fosilnih) virov, temveč le kakšna je njegova končna struktura. **Biorazgradljiv polimer** je tako lahko narejen na osnovi ali **obnovljivih ali neobnovljivih virov**. **Zelo pogosto se napačno smatra, da so vsi biorazgradljivi polimeri narejeni iz obnovljivih virov.**

PROIZVODNA POT IN TIPI BIOPLASTIKE

Na biorazgradljivost prav tako **ne vpliva**, kakšna je **proizvodna pot plastike**. Postopki so lahko **sinetzni** (kemijski) ali **biotehnoški** (pod vplivom encimov ali mikroorganizmov), najbolj pogosti pa so:

- priprava plastike na osnovi naravnega polimera, ki je mehansko ali kemijsko obdelan (npr. plastika na osnovi destrukuiranega škroba);
- kemijska sinteza polimera na osnovi monomera, ki ga pridobimo z biotehnoško pretvorbo obnovljivega vira (npr. uporaba mlečne kisline iz fermentacije sladkorjev za proizvodnjo polimlečne kisline (polylactide, PLA)). V tem primeru je polimer narejen kemijsko na osnovi obnovljivega vira;
- polimer, ki nastane v biotehnoškem postopku na osnovi obnovljivega vira (primer: fermentacija sladkorjev pri kateri naravni mikroorganizmi sintetizirajo termoplastične alifatske poliestre npr. polihidroksibutirat);
- kemijska sinteza polimera na osnovi gradnikov pridobljenih po (petro)kemijskem postopku iz neobnovljivih virov.

Danes komercialne biorazgradljive plastike na odprtem trgu ponuja vedno več proizvajalcev. Čeprav je na voljo mnogo različnih materialov, le-ti večinoma sodijo v eno od naslednjih skupin:

- plastike na osnovi škroba (starch based plastics);
- plastike na osnovi polimlečne kisline (polylactide, polylactic acid, PLA);
- plastike na osnovi polihidroksialkanoatov (polyhydroxy alkanoates (PHAs): PHB, PHBV, itn.);
- plastike na osnovi alifatsko-aromatskih poliestrov;
- plastike na osnovi celuloze (celofan, itn.);
- plastike na osnovi lignina.

Plastika poleg polimerov **vsebuje** še druge materiale in snovi oz. **dodatke**, ki nato skupaj določajo možnosti predelave in končne lastnosti izdelka. To so lahko **dodatki za stabilizacijo, lubrikanti, pigmenti** (barvila), **različna polnila** in drugo. Čeprav ti dodatki predstavljajo majhen odstotni delež vseh materialov v plastiki, je za biorazgradljive plastike izjemno pomembno, da so tudi vse dodane komponente biorazgradljive. Po standardih za kompostirno plastiko je potrebno vsako primes, kot tudi druga sredstva, ki so prisotna v/n končnem izdelku (npr. črnila in barvila za tisk) testirati. Za komponente, katerih delež je manjši od 1 %, sicer ni nujno potrebno, da so kompostirne, vendar delež vseh takih komponent ne sme biti večji od 5 %; prav tako ne smejo biti presežene dovoljene vrednosti za vsebnost težkih kovin, **komponente** pa tudi **ne smejo negativno vplivati na kakovost komposta**.

BIOKOMPOZITI

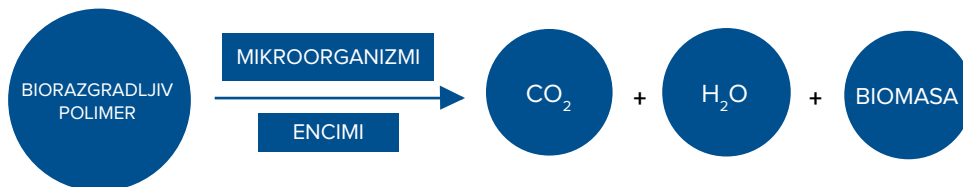
Na voljo so tudi različni **kompoziti**, ki vsebujejo **naravne komponente** (pogosto imenovani biokompoziti). **Kompozit je zmes osnovnega polimera** oz. plastike **ter polnila**, ki izboljša kemijske ali mehanske lastnosti materiala ali ga poceni. V biokompozitih najbolj pogosto najdemo razna **naravna vlakna** (npr. konoplina) ali **polnila** kot je lesna moka. Nemodificirana naravna polnila so biorazgradljiva po definiciji, biorazgradljiv pa mora biti tudi osnovni polimer (npr. z naravnimi vlakni polnjen polilaktid) da lahko povemo da je biokompozit razgradljiv. Zmotno je mišljenje, da bo zaradi vsebnost naravnega polnila (npr. škrob ali lesna moka) nebiorazgradljiv material postal biorazgradljiv. Anorganska polnila seveda niso biorazgradljiva, zato zanje pogoj biorazgradljivosti ne velja.



BIORAZGRADNJA

Kaj pa se zgodi, ko biorazgradljivega izdelka ne potrebujemo več in ga ustrezno odvržemo med biološke odpadke?

Biorazgradljivi polimeri mikroorganizmom predstavljajo hrano. Biološka razgradnja tako poteka pod vplivom različnih mikroorganizmov, ki zaradi encimov, ki jih imajo, lahko razgradijo polimere. Tekom presnovnih procesov se biorazgradljivi polimeri v končni fazi v aerobnih pogojih pretvorijo v vodo, ogljikov dioksid in biomaso, v aerobnih pogojih pa v metan, vodik in biomaso. Značilnost teh končnih razgradnih produktov je, da so niso toksični ter so tako v naravi kot tudi v živih organizmih običajno prisotni.



V procesu razgradnje najprej poteče **fragmentacija**, med katero material pod vplivom živih ali neživih dejavnikov mehansko razpade; ti razpadni produkti pa nato v naslednji fazi pod vplivom mikroorganizmov mineralizirajo. Ravno druga faza je tisti nujni korak, ki mora poteči, da lahko govorimo o biorazgradnji, saj le tu pride do presnove delno degradiranih polimernih fragmentov v končne produkte.

FRAGMENTACIJA + MINERALIZACIJA = BIORAZGRADNJA

Zaradi kombinacije mnogih različnih struktur polimerov, velikega števila encimov, ki jih proizvajajo mikroorganizmi, in različnih reakcijskih pogojev, procesa biorazgradnje ni mogoče enoznačno opisati. V osnovi pa je reakcije mogoče razdeliti na tiste v katerih pride do oksidacije (oksidacija je kemijska reakcija – tako pri gorenju kot pri rjavenju gre za oksidacijo; snov, ki se oksidira, oddaja elektrone; v tem procesu se lahko na primer spaja s kisikom ali pa oddaja vodik) in tiste v katerih poteka hidroliza (kemijska reakcija pri kateri spojina reagira z molekulami vode in se cepi na manjše dele). Reakcije lahko potekajo sočasno ali v zaporedju.

Na makroskopskem nivoju se razgradnja kaže kot spreminjanje in slabšanje ključnih lastnosti materiala. Te spremembe so predvsem posledica krajsanja polimernih verig, ki najbolj določajo lastnosti polimera oz. plastike. Krajsanje polimernih verig se navzven kaže v izgubi mehanskih lastnosti kot so npr. natezna trdnost, žilavost ali upogibna trdnost. Za uporabnike je učinek razpada pri izgubi mehanskih lastnosti enostavno opazen z zmanjšanjem nosilnosti in hitrim oz. enostavnim razpadom materiala. Ta proces lahko poteka pod vplivom neživih dejavnikov (npr. ultravijolična svetloba, toplota, voda) kot tudi živih dejavnikov (encimski procesi).

Spremljanje končnega koraka biorazgradnje temelji na ugotavljanju stopnje mineralizacije. Ker se v toku aerobne presnove organski ogljik pretvori v ogljikov dioksid, je najbolj razširjena metoda sledenja tej fazi ravno merjenje količine nastalega ogljikovega dioksida v zaprtem sistemu. Za pravilno delovanje je potrebno v zaprtem sistemu ohranjati živo kulturo mikroorganizmov ter primerne pogoje (vlažnost, temperatura, pH, odsotnost toksičnih snovi) za njihov obstoj. V procesu iz znane mase dodanega polimera, katerega sestavo poznamo, ugotovimo delež oz. količino ogljika, ki ga le-ta vsebuje, nato pa z natančno meritvijo ugotavljamo, koliko tega ogljika se je v procesu biorazgradnje pretvorilo v ogljikov dioksid. V osnovi je proces enak kot pri človeku, ki zaužije hrano, iz nje pridobi energijo in izdiha ogljikov dioksid. Ker je ta metoda splošno sprejeti temelj ugotavljanja biorazgradljivosti, so danes na voljo avtomatizirane naprave (respirometri), ki z veliko natančnostjo določijo končno aerobno biorazgradljivost in razkroj polimernih materialov pod nadzorovanimi pogoji kompostiranja.

Obstaja veliko mikroorganizmov, ki so sposobni biološko razgraditi polimere. Med seboj se močno razlikujejo, saj so aktivni pod zelo različnimi pogoji (vlaga, pH, temperatura) ter so bolj ali manj specializirani za razgradnjo različnih substratov (snov, ki jo bodo mikroorganizmi razgradili, in sicer prek delovanja encima oz. mešanice encimov – »hrana« za mikroorganizme). Slednje je povezano tudi s tem, kakšne encimske sisteme uporabljajo, saj to določa, kaj so sposobni razgraditi. Primer tovrstne specializacije so glive bele trohnobe, ki v naravi med drugim razgrajujejo tudi lignin in pri tem uporabljajo oksidaze – encime, ki katalizirajo oksidacijo.

Pri testiranjih se praviloma uporablja mikroorganizme, ki jih najdemo v naravi oz. na določenih mestih, kjer je mikrobiološka aktivnost povečana (npr. kompost, kanalizacija, čistilne naprave) ali pa na mestih kjer je prisoten material, ki ga želimo razgrajevati (npr. proizvodnja). Pričakovati je, da so na teh mestih mikroorganizmi, ki so se prilagodili novemu substratu, in je tako prišlo do naravnega izbora. Delo z natančno izbranimi mikroorganizmi je omejeno le na laboratorijske raziskave, saj se sicer za praktične uporabe (npr. kompostiranje) predvideva delovanje naravnih in stabilnih združb.

TRAJANJE BIORAZGRADNJE IN TVEGANJE VNOSA PLASTIKE V NARAVO

Če je glavna prednost biorazgradljive plastike njena krajša obstojnost v okolju, se razumljivo pojavlja pomembno vprašanje: **koliko časa poteka biorazgradnja?** Načeloma lahko predvidimo, da bo vsak organski material pod kombiniranim vplivom okolja in mikroorganizmov enkrat razpadel tako mehansko kot kemijsko. Z vidika možnosti širjenja razpadnih produktov v okolje ter z vidika uporabnosti plastičnih produktov, ki morajo določen čas zagotavljati lastnosti kot so nosilnost, nepropustnost itn., pa je pomembno, da vemo, v kakšnem času bo prišlo do razgradnje in mineralizacije. Poznavanje hitrosti biorazgradnje vpliva tudi na način ravnanja z materialom, ko le-ta postane odpadek.

Pravilno ravnanje z biorazgradljivo plastiko predstavljata **aerobna ali anaerobna razgradnja**. V procesu **aerobne** razgradnje (prisotnost zraka) se organska snov s pomočjo aerobnih mikroorganizmov pretvori v **CO₂, vodo in celično biomaso** (kompost); v procesu **anaerobne** razgradnje (brez prisotnosti zraka) pa se organska snov s pomočjo anaerobnih mikroorganizmov pretvori v **CH₄ in CO₂ (bioplin), sledove H₂ in H₂S ter celično biomaso**.

Hitrost biorazgradnje je torej zelo pomembna za plastiko, ki je primerna za kompostiranje (kompostirna plastika). Potrebno se je zavedati, da **ni vsa biorazgradljiva plastika primerna za kompostiranje na domačem kompostu** (skupaj z ostanki hrane in drugimi gospodinjskimi odpadki organskega izvora). Taka plastika je posebej označena s certifikacijsko oznako, ki nedvoumno pove, da je izdelek primeren za **domače kompostiranje, ki poteka pri precej nižjih temperaturah kot industrijsko kompostiranje**.

Večinoma se namreč biorazgradljiva plastika razgradi tekom procesa industrijskega kompostiranja. **Kompostirna plastika v kompost ne vnaša strupenih snovi**.

Industrijsko kompostiranje je proces, med katerim pride do pretvorbe biorazgradljivih odpadkov v stabilne, higienizirane produkte, ki se nadaljnje uporabljajo v kmetijstvu [3]. **Industrijsko kompostiranje poteka pri višjih temperaturah** kot domače kompostiranje; vsaj en teden mora biti temperatura v kompostni kopici višja od 60 °C, da se odstrani patogene mikroorganizme [3]. V skladu s **standardom EN 13432** se mora v **manj kot 6 mesecih** razgraditi **več kot 90 % materiala/izdelka**. Kompostirna plastika bo v času industrijskega kompostiranja fragmentirala in mineralizirala; tako posledično z uporabo komposta v kmetijstvu ne bo prišlo do vnosa plastičnih delcev v okolje. Pomembno je, da je čas, potreben za razgradnjo bioplastike, usklajen s kompostnim ciklom.

Biorazgradljiva plastika se bo torej v procesu industrijskega kompostiranja razgradila v največ 180 dneh, medtem ko običajna plastika kot odpadki stoletja obremenjuje okolje in ne razpade.

Pomembno je, da se zavedamo, da se **biorazgradljivost nanaša na razgradnjo materiala pod vplivom mikroorganizmov; pogoji** za razgradnjo in **koliko časa bo razgradnja trajala**, pa **niso določeni**. Iz praktičnega vidika je **primernejši izraz kompostirnost**, ki se nanaša na **biorazgradljivost pod točno določenimi pogoji in v omejenem časovnem okviru**.

Vsa kompostirna plastika je torej biorazgradljiva; ni pa vsa biorazgradljiva plastika tudi kompostirna, saj biorazgradnja lahko poteka tudi dlje časa kot kompostirni cikel (ne izpolni zahtev standarda za kompostirnost). Kompostirna plastika je torej podskupina biorazgradljive plastike.



Slika 9: Oznaka certifikacijske organizacije Vincotte za plastiko, primerno za domače kompostiranje. (Vir: www.aib-vincotte.com)



KLJUČNA SPOROČILA

- Zaradi ogromne količine plastičnih polimerov, ki jih uporabniki zavržemo, je prišlo do potrebe po alternativah umetnim plastičnim masam. Ena izmed alternativ je bioplastika.
- Biorazgradnja je specifična lastnost nekaterih plastičnih materialov. Označuje proces degradacije polimernega materiala pod vplivom biotskih (živih) dejavnikov.
- Glede na izvor polimere delimo na naravne in umetne.
- Plastika je lahko biorazgradljiva ali nebiorazgradljiva.
- Vir za plastični material je lahko obnovljiv ali neobnovljiv.
- Bioplastika je biorazgradljiva plastika in/ali plastika iz obnovljivih virov [3].
- Kemijska struktura polimera določi njegovo (ne)dovzetnost za biorazgradnjo.
- Postopki za proizvodnjo bioplastike so lahko sintezni (kemijski) ali biotehnoški (pod vplivom encimov ali mikroorganizmov).
- Biorazgradljiva plastika razpada pod kombiniranim vplivom abiotskih (npr. UV svetloba, voda, toplota) in biotskih (bakterije, glive, alge) faktorjev. V prvi fazi material izgubi trdnost in fizično razpade – fragmentira, v drugem koraku pa organizmi nastale delce presnovijo, pride do mineralizacije (proces pretvorbe organske snovi v anorganske oblike). Končni produkti biološke razgradnje so biomasa, CO₂ in voda.
- Izdelek je kompostiren, če so kompostirne vse njegove komponente.
- Fragmentacija + Mineralizacija = Biorazgradnja
- Biorazgradljive polimere mikroorganizmi prepoznajo kot hrano.
- Kompostirna plastika je vedno biorazgradljiva. Biorazgradljiva plastika ni vedno kompostirna.



**PLASTIKA IZ
OBNOVLJIVIH
VIROV**

2



*Kot že omenjeno, je bioplastika plastika, ki je biorazgradljiva in/ali narejena na osnovi biomase. **Kombinacija biorazgradljivosti** z uporabo **obnovljivega vira** za pripravo biorazgradljive plastike prinaša revolucionarno možnost, da je **celoten življenjski krog plastike usklajen z naravnim kroženjem snovi**: plastika nastane iz naravnega obnovljivega vira in se vanj tudi povrne. Tega ne moremo doseči z nobeno drugo plastiko in je trenutno najboljši približek obnašanju naravnega materiala, kot je na primer list, ki jeseni pade z drevesa, že naslednjo pomlad pa je osnova iz katere raste nov poganjek.*

Najboljši primeri plastike iz obnovljivih virov so plastika iz **celuloze**, **polilaktidi**, **plastika na osnovi škroba** in **plastika iz soje**. Pozornost zaslužijo tudi **polimeri**, **sinetizirani s pomočjo mikroorganizmov** - **polihidroksialkanoati (PHA)**. Bioplastika iz obnovljivih virov predstavlja novo generacijo plastike, ki zmanjšuje vpliv na okolje, tako z vidika porabe energije kot količine proizvedenih toplogrednih plinov. Naravni polimeri (biopolimeri) so ključna sestavina živih organizmov. Med najpogostejšimi naravnimi polimeri so polisaharidi (celuloza, škrob, glikogen) in beljakovine (gluten, kolagen, encimi), med druge oblike naravnih polimerov pa sodijo lignin, poliestri, itn.

Uporaba polimerov iz obnovljivih virov lahko zmanjša odvisnost od fosilnih virov. Pomembno omejitev širjenja uporabe polimerov iz obnovljivih virov predstavlja njihova višja cena. Razvoj plastike iz obnovljivih virov je trenutno sicer na vrhuncu, pred popolnoma uspešnim prodorom na velika tržišča pa bo potrebno prestopiti še nekatere omejitve glede uporabe in predelave; težavo predstavlja tudi vpeljava plastike iz obnovljivih virov v industrijsko proizvodnjo. Vprašanje je, ali je vse trenutno poznane polimere iz obnovljivih virov možno proizvajati tudi na industrijski skali.

V OSNOVI LAHKO POLIMERE NA OSNOVI OBNOVLJIVIH VIROV RAZDELIMO V TRI KATEGORIJE:

1. Polimeri, neposredno ekstrahirani/odstranjeni iz biomase: polisaharidi, npr. škrob in celuloza; proteini, npr. kazein in gluten.
2. Polimeri, narejeni po klasičnih kemijskih sintezah z uporabo monomerov iz obnovljivih virov. Dober primer za to kategorijo je polilaktid, biopoliester, ki nastane s polimerizacijo monomerov, tj. mlečne kisline.
3. Polimeri, pridobljeni s pomočjo mikroorganizmov ali genetsko spremenjenih bakterij. Glavni predstavniki te skupine so polihidroksialkanoati (PHA), v razmahu pa so tudi raziskave na področju bakterijsko sintetizirane celuloze.

Plastika iz obnovljivih virov ni nujno tudi biorazgradljiva (npr. polietilen iz sladkornega trsa).

Zgodovina plastike iz obnovljivih virov je precej daljša od zgodovine plastike iz fosilnih virov. Prvi umetni termoplast – celulooid, je bil odkrit v drugi polovici 19. stoletja. Od takrat je bilo odkritih veliko spojin iz obnovljivih virov, vendar pa so mnoga odkritja ostala komercialno neraziskana zaradi zelo nizke cene sintetičnih polimerov, pridobljenih s pomočjo petrokemične industrije. Ponovni preporod bioplastike se dogaja v zadnjih desetletjih. Razvitih je bilo mnogo polimerov na osnovi obnovljivih virov. Najpogosteje uporabljena polimera sta škrob in PLA, ki sta bila leta 2003 tudi edina industrijsko pridelovana polimera iz obnovljivih virov. Sedaj se počasi razvija tudi proizvodnja bio-polietilena (iz etilena) in epoksi smol iz obnovljivih virov (iz epiklorohidrina).

V idealnih primerih je plastika pridobljena 100 % iz obnovljivih virov. Primer je bio-polietilen, kjer je petrokemična plastika zamenjana s kemično identično plastiko iz obnovljivih virov. V kolikor je zamenjana le ena od surovin, je odstotek zamenjave manjši.

OBNOVLJIVI VIRI PRIMERNI ZA PRIPRAVO PLASTIKE

Za pripravo plastike iz obnovljivih virov je primeren vsak obnovljiv polimer, ki ga lahko s kemijsko ali biokemijsko transformacijo pretvorimo v polimer, le-tega pa v plastiko. Pri tem obstaja možnost da je iz obnovljivega vira samo del (npr. en monomer, ki tvori kopolimer) ali samo del komponent ki tvorijo plastiko. Na ta način dobimo materiale, ki so delno iz obnovljivih virov. Tudi delno nadomeščanje uporabe fosilnih virov z obnovljivimi viri je (ob učinkoviti izrabi!) koristno saj prispeva k ohranjanju fosilnih virov in zmanjšuje ogljični odtis (ker je obnovljiv del materiala nevtralen ali blizu nevtralnega glede izpusta toplogrednih plinov).

Od zgoraj opisanih strategij za pripravo plastike iz obnovljivih virov najpogosteje uporabljamo pristop po katerem biopolimer (naravni polimer) pretvorimo v plastiko. Najbolj znan primer je uporaba škroba ali celuloze. V primeru da je uporabljeni polimer primeren tudi za prehrano prihajamo do etične dileme ali je hrano primerno uporabljati za proizvodnjo materialov. Poleg izrabe polimerov sodi v to kategorijo tudi uporaba sladkorjev ali drugih naravnih snovi, ki jih je mogoče fermentirati in tako pretvoriti v biopolimere (npr. PHA) ali uporabne monomere (npr. mlečna kislina za PLA). V dani situaciji, ko je proizvodnja materialov iz obnovljivih virov relativno nizka takšna uporaba ni kritična, če pa se bodo uresničile napovedi o prihodnji rasti proizvodnje plastike (pa tudi drugih materialov) iz obnovljivih virov bo današnji pristop nesprejemljiv.

Obnovljive vire ki jih uporabljamo danes imenujemo vire prve generacije, v prihodnje pa bomo v vedno večji meri uporabljali vire druge generacije – odpadne obnovljive vire in vire tretje generacije, ki bodo temeljili na novih namenskih pretvorbah, ki ne bodo posegale v vire hrane ali klasične odpadke. Pri tretji generaciji obnovljivih virov je potreben še znaten razvoj, nekateri pa v to skupino uvrščajo tudi posebej prirejene organizme (genski inženiring), kar odpira dodatna vprašanja.

Trenutno stanje ni alarmantno, ker je biomasa v celoti relativno slabo izkoriščena in imamo dosti možnosti za izboljšave in boljšo izkoriščenost brez dodatne proizvodnje, kmetijskih obremenitev ali načenjanja surovinske osnove za hrano. Še posebej velik potencial leži v odpadnih obnovljivih virih. Pri teh lahko pogosto združimo varno ravnanje/uporabo sicer relativno obremenjujočega odpadka in proizvodnjo tehnološko koristnega materiala. Primer je naprimer uporaba sirotke iz proizvodnje sira za proizvodnjo biopolimerov in bioplastike. Uporabljamo lahko proteine in sladkorje (za fermentacijo npr. PHA) iz sirotke. Podoben primer je uporaba odpadnih živalskih proizvodov (kostno mesna moka, odpadki iz klavnice in predelave mesa), ki je v razvoju. Količine takšnih odpadkov so znatne in danes dejansko predstavljajo problem in strošek za varno odstranitev. V bodoče lahko torej pričakujemo, da bo proizvodnja materialov iz obnovljivih virov postala še boljše integrirana v nastajajoči proces izrabe obnovljivih virov. S tem bomo dosegli večjo učinkovitost in manjše obremenitve okolja.



PREDNOSTI PLASTIKE IZ OBNOVLJIVIH VIROV

Plastika iz obnovljivih virov ima več pomembni prednosti. Zmanjšuje porabo fosilnih virov in ogljični odtis (manjše emisije CO₂). Če so biorazgradljivi, se dodatno zmanjša količina odpadkov, ki jih je potrebno odložiti na odlagališčih ali sežgati v sežigalnicah, s čimer se še dodatno zmanjša breme na okolje. So stroškovno konkurenčni in imajo isti spekter lastnosti in uporab kot plastika, pridobljena iz fosilnih virov.

DOLOČANJE DELEŽA OBNOVLJIVIH VIROV V PLASTIKI

Trenutno ni nobenega zakona, ki bi predpisoval proizvajalcem, da razkrijejo vsebnost obnovljivih virov v izdelku. Delež obnovljivih virov v plastičnih materialih je lahko od 0 do 100 %. Določamo ga z izotopsko analizo ogljika, kjer določamo delež prisotnega ogljikovega izotopa ¹⁴C/merimo njegovo aktivnost.

Materiale, tako tiste na osnovi fosilnih virov, kot tiste na osnovi obnovljivih virov, v glavnem sestavlja ogljik, ki je v okolju prisoten v treh oblikah (izotopih): ¹²C, ¹³C in ¹⁴C. Izotop ¹⁴C je nestabilen, počasi razpada in je naravno prisoten v vseh živih organizmih. Aktivnost ¹⁴C je zelo stabilna, ker je povezana s koncentracijo izotopa v okolju, ki pa je skoraj konstantna. Ko organizem odmre, ne absorbira več ogljika ¹⁴C iz okolja, poteka le razpad. Koncentracija ¹⁴C se vsakih 5700 let razpolovi. V človeškem življenjskem ciklu se to ne pozna, v 50 000 letih pa vsebnost ¹⁴C pade na nezaznavno koncentracijo. To pomeni, da je koncentracija ¹⁴C v fosilnih virih zanemarljiva.

Aktivnost ¹⁴C 100 % ↔ 100 % C iz obnovljivega vira

Aktivnost ¹⁴C 30 % ↔ 30 % C iz obnovljivega vira

Aktivnost ¹⁴C 0 % ↔ ves C iz fosilnega vira

ŠKROB

Škrobna živila so bila vedno pomemben del človeške prehrane. Tako ni presenetljivo, da so se že zgodaj v človeški zgodovini razvile tudi druge aplikacije tega, v izobilju prisotnega, naravnega materiala. Med drugim obstajajo dokazi, da so že 4000 let pred našim štetjem škrob uporabljali za premaze papirusa.



Škrob je ogljikov hidrat, rastlinski rezervni polisaharid; večina višjih rastlin ga proizvaja in uporablja kot obliko shranjevanja (zalogo) energije. Shranjujejo ga znotraj celic, v obliki sferičnih granul, tako imenovanih škrobnih zrn. Glikozidna vez povezuje monomerne glukozne enote, ki gradijo amilozo in amilopektin, dve različni molekuli škroba. Amilopektina je v škrobnem zrnju več, in sicer od 70 do 90 %, amiloze pa od 10 do 30 %. Amiloza ni razvejana, medtem ko je amilopektin razvejan na vsakih 12 – 30 glukoznih ostankov. Prisotnost škroba dokažemo z jodovico; jod se veže v heliks, kar se odraža v modrem obarvanju. Največ komercialno dostopnega škroba je pridobljenega iz koruze (79 %), krompirja (9 %), pšenice (7 %), riža in ječmena. Te rastline vsebujejo velike količine škroba, navadno od 60 do 90 % suhe mase.

Škrob se v procesu kompostiranja hitro biološko razgradi v mnogih okoljih. Žilavost in vodoodpornost škroba sta sicer slabši od večine polimerov, pridobljenih iz nafte, zato se iščejo številne poti, kako to premostiti. Boljše karakteristike dosežemo, če se škrob meša z bolj vodoodpornimi polimeri ali če se ga kemično modificira.

Glavna sestavina škrobne plastike je škrob, katerega struktura je rahlo spremenjena (destruktuiran škrob). Škrob lahko destruktuiramo z energijo in toploto in tako popolnoma razbijemo kristalno strukturo. Šele destruktuirani škrob se obnaša kot termoplast (termoplasti so linearni in/ali malo razvejani polimeri, sposobni (večkratnega) zmečanja in preoblikovanja pri povišani temperaturi) in ga lahko obdelujemo kot tradicionalno plastiko; če ga uporabljamo v naravni obliki, je preobčutljiv na vlago.

Termoplastični polimeri na osnovi škroba predstavljajo enega izmed razredov biorazgradljivih materialov, ki imajo največji kratkoročni potencial, ter omogočajo razvoj popolnoma razgradljivih izdelkov za specifične pogoje uporabe. Termoplastični škrobni kompoziti lahko dosežejo vsebnost škroba do 50 %.

Filmi na osnovi škroba, ki jih najdemo na tržišču, so v glavnem narejeni iz škroba, pomešanega s termoplastičnimi poliestri, z namenom pridobitve biorazgradljivega in kompostirnega proizvoda. Kadar se ti filmi uporabijo za proizvodnjo vrečk za recikliranje organskih odpadkov, embalažo in ovojnino, higienske proizvode in kmetijstvo, so lastnosti teh filmov podobne lastnostim LDPE. Destruktuirani škrob, združen z drugimi sintetičnimi polimeri lahko zadovolji široke tržne potrebe. Trenutno je komercialno dostopnih kar nekaj proizvodov na osnovi škroba.

PROIZVODI NA OSNOVI ŠKROBA:

- Vodotopne penice kot distančniki pri zaščiti vsebine paketov in ostalih ekspandiranih materialov kot zamenjava za polistiren (stiropor);
- Nakupovalne vrečke;
- Vrečke za shranjevanje bioloških odpadkov;
- Embalaža za hrano in ovojnine (na primer vrečke za sadje, zelenjavo, kruh – njihova pomembna prednost pred drugimi materiali je zračnost, kar izboljšuje pogoje shranjevanja teh živil);
- Higijenski proizvodi in kozmetika (plenice, vložki, zobotrebc, vatrane palčke, ...).

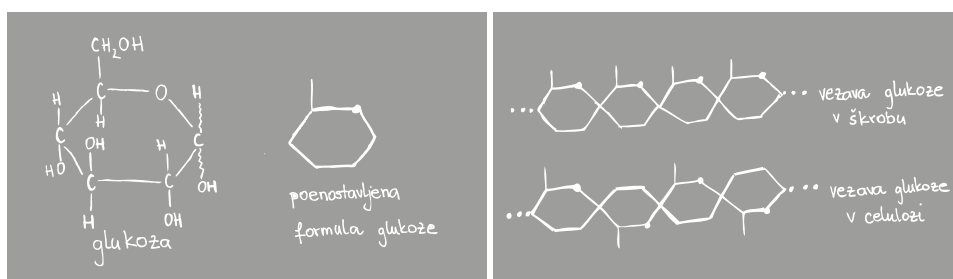
CELULOZA

Celuloza je, tako kot škrob, ogljikov hidrat. Je strukturni polisaharid, medtem ko škrob spada med založne polisaharide. Količinsko je celuloza najbolj zastopan polimer na Zemlji in je glavna opora za drevesa in druge rastline (bombaž, lan, juta, sladkorni trs, žitarice, ...).

Poleg višjih rastlin celulozo sintetizirajo tudi očetnokislinske bakterije. Bakterijsko sintetizirana celuloza ima velik potencial znotraj embalažne industrije, vendar je še zelo neraziskana. Določene (očetnokislinske) bakterije lahko sintetizirajo skoraj čisto celulozo z istimi kemijskimi in fizikalnimi lastnostmi kot jih ima celuloza iz rastlin.



Celuloza sestoji iz linearnih verig medsebojno povezanih od nekaj sto pa do več kot deset tisoč glukoznih enot, ki so, tako kot pri škrobu, med sabo povezane z glikozidno vezjo. Čeprav imata škrob in celuloza enako monomerno enoto, se njuni polimerni verigi razlikujeta v orientaciji glukoznih enot.



Glavi vir celuloze za industrijske procese sta les in bombaž. Celuloza je glavna sestavina papirja, kartona, lepenke ter tekstila, narejenega iz bombaža, lanu ali drugih rastlinskih vlaken. Uporablja pa se tudi za proizvodnjo vlaken, filmov in celuloznih derivatov. Pravzaprav so bili prvi industrijski polimeri (celuloid, celofan) osnovani na celulozi, kljub temu pa danes področje na celulozi osnovanih materialov še vedno ni do konca raziskano. Z vključevanjem celuloznih vlaken v polimerne materiale dobimo biokompozitne proizvode, ki imajo pomembne dodatne možnosti za ravnanje z njimi, ko enkrat postanejo odpadki (kompostiranje kot alternativa odlaganju na odlagališčih). Celulozna vlakna se uporabijo kot matrika za biorazgradljive polimerne kompozite, z namenom izboljšanja mehanskih lastnosti in hidrofobnosti. Vlakna celuloze mešajo tudi s škrobom, tako se doseže boljše mehanske lastnosti, prepustnost za pline ter vodoodpornost.

CELULOZA, CELULOZNA VLAKNA TER CELULOZNI DERIVATI SE UPORABLJAJO ZA/V:

- igrače,
- športno opremo,
- medicinske aplikacije,
- dekor,
- notranjost avtomobilov,
- pohištvo,
- gradbeništvu,...

SOJA / SOJIN PROTEIN

Precej raziskav o plastiki na osnovi soje je bilo narejenih v 1940-ih. Takrat se je sojin protein največ uporabljalo kot polnilo, kar je zmanjšalo ceno plastike, osnovane na nafti. Danes se še vedno uporablja, tokrat z namenom večje biološke razgradljivosti plastike. V primerjavi s plastiko iz kazeina, zeina in glicina je sojin protein tudi ekonomsko konkurenčen.



Soja je bogata z oljem in proteini, navadno suha masa vsebuje približno 40 % proteina in 20 % olja. Sojin protein je globularen, reaktiven in pogosto vodotopen. Približno 98 % proteinov v soji je shranjenem v celičnem organelu, ti. »proteinsko telesce«.

Procesiranje sojinega proteina največkrat zavzema spremembo fizičnega stanja, včasih pa pride tudi do kemijske reakcije. Pri procesiranju polimerov so vključeni številni procesi, na primer iztiskanje, brizganje, vlivanje, oblikovanje, ...

Rezultati raziskav kažejo, da je sojin protein sam ali pa zmešan s škrobom primeren za proizvodnjo plastičnih produktov, kot so embalaža, igrače, športna oprema, posode,... Brizgana plastika kaže primerne mehanske in vodoodporne lastnosti. Po končani rabi se te produkte zbere in reciklira, s čimer se manjša breme na okolje.

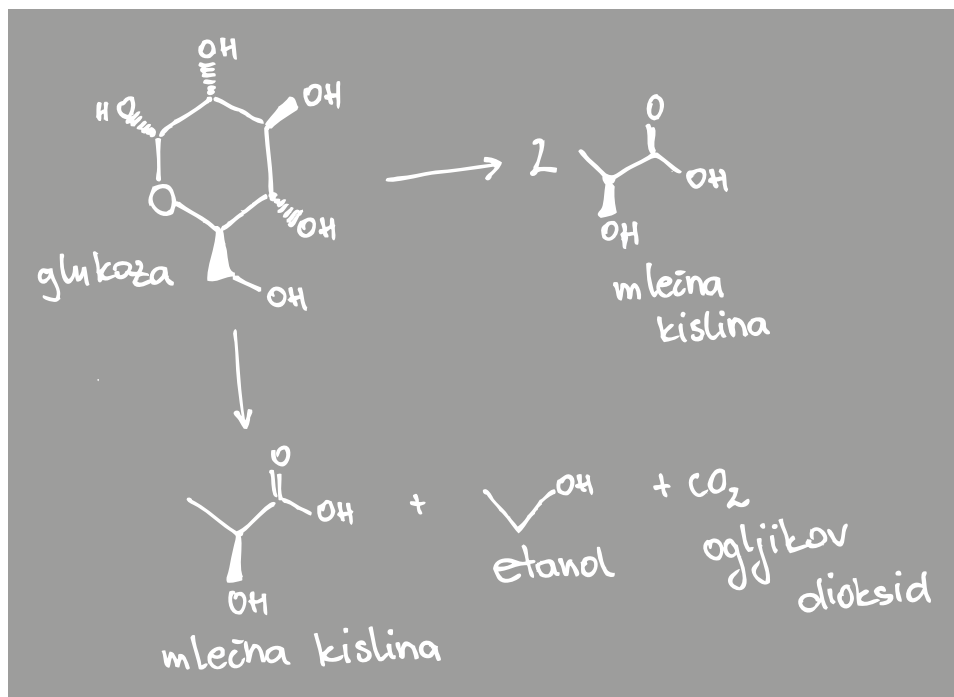
Filmi iz sojinih proteinov kažejo dobre lastnosti kot bariere za kisik kot tudi za UV sevanje. Tako so uporabni za embalarne materiale. Uporabni so tudi za folije v kmetijstvu, ki jih potem, ko jih ne potrebujemo več, ni potrebno odstraniti s kmetijskih površin, saj se biorazgradijo. V kolikor so pravilno procesirani, se sojini proteini lahko predelajo tudi v penaste produkte različnih gostot; kot taki se lahko predelajo v izolacijske materiale z različnimi termičnimi lastnostmi.

Biorazgradljivost, nevnetljivost ter ne-elektrostatičnost plastike iz sojinih proteinov predstavljajo unikatne in privlačne značilnosti. Skupaj z ekonomsko konkurenčnostjo plastika iz sojinih virov predstavlja okolju prijazno in perspektivno alternativo konvencionalni plastiki.

POLIMLEČNA KILSINA (PLA)

Polimlečna kislina (polilaktid) je najširše uporabljen biorazgradljiv alifatski poliestar. Monomer, mlečno kislino, najdemo v krvi in mišičnem tkivu kot presnovni produkt metabolizma glukoze. Kopolimer nastane v procesu kemijske polimerizacije mlečne kisline. Mlečna kislina je proizvedena s fermentacijo glukoze, ki jo lahko pridobimo iz različnih virov sladkorja (trsní sladkor, krompir, tapioka). Polimlečna kislina je vodoodporna in nestabilna v halogeniranih ogljikovodikih. Razvija se predvsem za razgradljive embalarne materiale; v procesu industrijskega kompostiranja se razgradi v treh tednih. Industrijska proizvodnja polimlečne kisline se je začela leta 2002. Polilaktid je postal prvi polimer iz obnovljivih virov, proizvajan v industrijskem merilu.

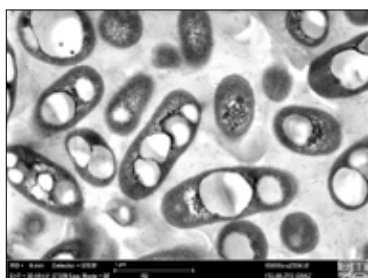
PLA se trenutno uporablja za embalažo (kozarci, skleda, folije in posode za shranjevanje živil), tekstil (majice in pohištveni tekstil), higienske izdelke (plenice), folije za kmetijstvo in pribor. Penjen polilaktid se uporablja kot izolator in je alternativa za penjen polistiren (stiropor). Polilaktati imajo dobre mehanske lastnosti, podobne PET in PP. Danone-jevi lončki za jogurt so termoformirani lončki iz polimlečne kisline.



Slika 10: Dva načina bakterijske proizvodnje mlečne kisline

POLIHIDROKSIALKANOATI (PHA)

Polihidroksialkanoati so naravni alifatski poliestri, ki jih s fermentacijo sladkorjev in lipidov (glukoza, sukroza, rastlinska olja, tudi glicerol iz proizvodnje biodizla,...) sintetizirajo številne različne bakterije kot znotrajcelično rezervo energije in ogljika, kadar celice rastejo v stresnih pogojih. Kombinirajo lahko več kot 150 monomerov in tako pridobijo materiale z zelo različnimi lastnostmi. Polihidroksialkanoati so biorazgradljivi, razgradnja navadno poteče encimatsko. Mehansko in biološko kompatibilnost lahko spremenijo z mešanjem, spreminjanjem površine ali kombiniranjem polihidroksialkanoatov z drugimi polimeri, encimi ali anorganskimi materiali, kar jim omogoča širši spekter uporabe.



Slika 11: Granule polimera v notranjosti bakterij (vir: M. Koller, TU Graz)

Za proizvodnjo PHA bakterije gojijo v primeren mediju in jim dovajajo zadosti hranil, da se hitro razmnožujejo. Ko populacija bakterij doseže želeno velikost, spremenijo sestavo hranil in tako spodbudijo bakterije, da sintetizirajo PHA. Količina PHA v medceličnih prostorih lahko predstavlja tudi do 80 % suhe teže organizma. Biosinteza PHA-jev je običajno spodbujena v pogojih primanjkanja (pomanjkanje določenih mikroelementov: fosfor, dušik, elementi v sledovih ali pomanjkanje kisika) in presežnih količinah ogljika. Zelo donosna je sinteza s pomočjo mikroorganizmov v zemlji: pomanjkanje dušika ali fosforja pospeši bakterije, da iz treh kilogramov sladkorja proizvedejo en kilogram polimera. Odvisno od kulture bakterij so proizvedeni homo- ali kopoliestri. Poliestri so shranjeni v telesu v obliki granul.

PHA polimeri so termoplasti in jih lahko obdelujemo/predelujemo z aparaturami za obdelovanje običajne plastike. Uporabljajo se kot utrjevalci v kozmetičnih proizvodih, za higienske produkte, embalarne materiale ter klinčke za golf žogice. PHA plastika je v nasprotju z drugimi vrstami bioplastike (npr. PLA) UV stabilna, prenese temperature do 180 °C in slabo prepušča vodo. Polihidroksibutirat je bariera za vlago in vonjave in po lastnostih podoben polipropilenu.

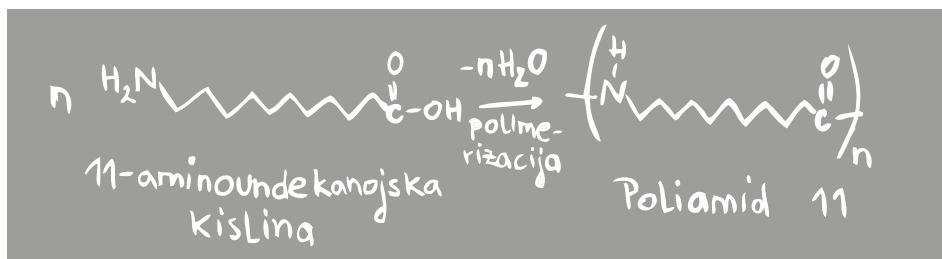
POLIAMID 11

Če je polimer pridobljen iz obnovljivega vira, to še ne zagotavlja, da je tudi biorazgradljiv. Primer je poliamid 11 (nylon 11). Pridobljen je iz ricinusovega olja, izjemno vodoodporen in ima tudi druge zelene termične, fizikalne, kemične in mehanske lastnosti. Odporen je na kemijske in toplotne vplive in tako zelo vsestransko uporaben. Hkrati je cenovno dostopen; uporablja se za električne kable, v avtomobilski industriji ter za pnevmatične in hidravlične cevi. Uporablja se ga na področjih, kjer so ključni varnost, trajnost in vsestranskost, pogosto je cenejša zamenjava za kovine in gumo v visoko tehničnih aplikacijah.



Razvoj poliamida 11 se je začel leta 1938 z izdelavo undekanojske kisline s krekningom ricinusovega olja. Kreking ali razbijanje je visokotemperaturni in/ali kataliziran postopek cepitve velikih molekul ogljikovodikov v manjše. Pilotna proizvodnja se je začela v letu 1944, industrijska proizvodnja pa 11 let kasneje v Franciji.

Najprej iz semen rastline *Ricinus communis* ekstrahirajo olje, ki ga nato transformirajo v poliamid 11. Semena zmeljejo, postopek ločevanja olja od semen pa poteka po dveh možnih poteh: z drobljenjem in/ali z ekstrakcijo s topili. Ricinusova semena vsebujejo skoraj 50 % olja. Iz ricinusovega olja nato pripravijo 11-aminoundekanojsko kislino, ki je monomer poliamida 11.

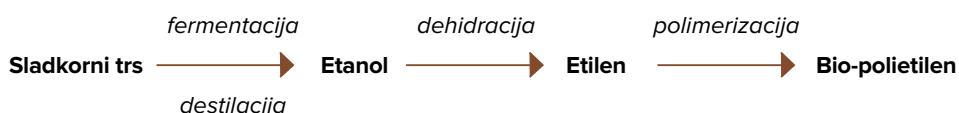


BIO-POLIETILEN

Tako kot poliamid 11, je tudi bio-polietilen pridobljen iz obnovljivega vira (sladkorni trs), a ni biorazgradljiv, lastnosti pa so enake polietilenu, pridobljenemu iz nafte. Bio-polietilen se največ uporablja za embalažo.

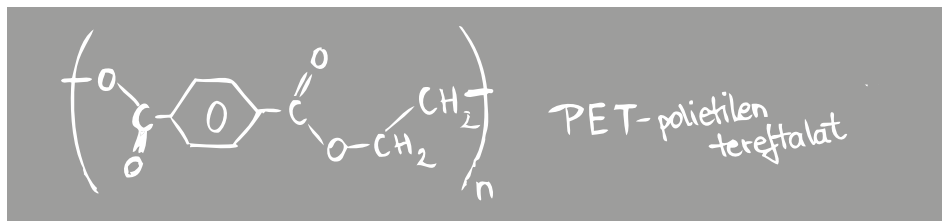
Polietilen iz obnovljivih virov pridobivajo s polimerizacijo etilena, ki ga pridobijo iz obnovljivih virov. Mnoge rastline proizvajajo etilen med zorenjem sadja. Industrijska proizvodnja etilena temelji na dehidraciji etanola. Pojav polietilena na osnovi obnovljivih virov ni novost, saj se je prvič pojavil že približno 40 let nazaj v Indiji, kjer so etanol predelovali v etilen in nato v PE, PVC in stiren. V Braziliji so v 80-ih letih prejšnjega stoletja etanol uporabljali za proizvodnjo PE in PVC. Pozneje je proizvodnja bio-polietilena upadla zaradi nizkih cen nafte, danes pa kot posledica zavedanja globalnega segrevanja ozračja in omejene količine neobnovljivih virov (kar se odraža tudi na vedno višjih cenah nafte) bio-polietilen postaja ponovno atraktiven.

Proizvodnja bio-polietilena temelji na uporabi sladkornega trsa kot vira etanola. V sladkornem mlinu sladkorni trs očistijo in zdrobijo. Tako pridobijo sladkorni sok, ki je glavni produkt, stranski produkt pa je ti. »bagasse«. V Braziliji stranski produkt navadno uporabljajo za proizvodnjo energije za pogon mlina. Preostanek energije običajno prodajo v električno omrežje. Sok sladkornega trsa nato fermentirajo do etanola v anaerobnih pogojih. Pridobljeni etanol destilirajo, da dobijo 95,5 % etanol, ki ga nato dehidrirajo pri temperaturah med 300 in 600 °C.

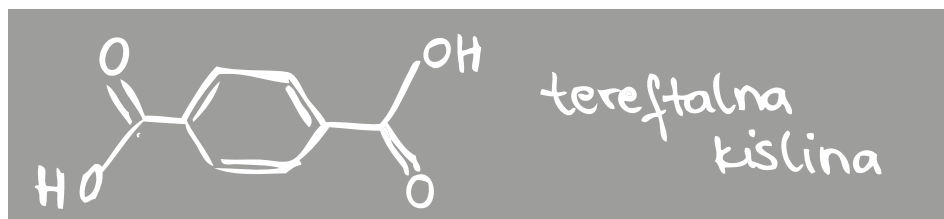


Polietilen iz obnovljivih virov je pomembna kemikalija v kemijski industriji. Je daleč najpomembnejši izdelek narejen iz etilena, ravno tako pa je pomemben intermediat (vmesni produkt) za izdelavo PVC, PET, PS in poliolov za poliuretane (PUR). PE in PVC iz obnovljivih virov počasi prihajata v masovno proizvodnjo, v prihodnosti pa je možno pričakovati več polimerov na bazi etilena iz obnovljivih virov. PE iz obnovljivih virov lahko uporabljamo za iste izdelke kot PE iz fosilnih virov.

BIO-POLIETILEN TEREFTALAT (BIO-PET)



Polietilen tereftalat (PET) je plastika, narejena iz etilen glikola (EG; ena od glavnih sestavin antifrizna – tekočine proti zmrzovanju in PET) in tereftalne kisline (TPA) in se predvsem uporablja kot material za izdelavo plastenk. Do nedavnega je bil v uporabi le PET, ki vsebuje 30 % materiala (glede na maso) iz obnovljivega vira. Teh 30 % mase predstavlja etilen glikol (EG), pridobljen iz sladkornega trsa. Težavo predstavlja proizvodnja tereftalne kisline iz obnovljivih virov. Tereftalna kislina je brezbarvna tekočina, ki se v glavnem uporablja kot prekurzor za pridelavo PET-a. Glavni vir za proizvodnjo tereftalne kisline je para-ksilen, ki ga pridobivajo iz toluena v prisotnosti katalizatorja. Novembra 2011 so na Japonskem oznanili, da so sintetizirali prvi PET zgolj na osnovi obnovljivih virov. Tereftalno kislino so pridobili iz para-ksilena, ki so ga pridobili iz biomase preko izobutanola kot vmesnega produkta.



Proizvodnja etilen glikola iz obnovljivih virov:

Najbolj znana je sintezna pot iz rastlinskih vlaken (izhodna surovina je celuloza), ki jih pretvarjajo v EG s pomočjo katalizatorja. Dolgo se je kot katalizator uporabljala platina, kar se je odražalo v visokih stroških. Leta 2008 pa je platino kot katalizator zamenjal volframov karbid in vodik, kar je znižalo ceno proizvodnje. Ključni korak je razkroj celuloznih vlaken. Celulozo sestavljajo hidroksilne skupine in kisikovi atomi, med katerimi se tvorijo vodikove vezi, ki naredijo celulozo skoraj neprodorno. Celuloza je tako inertna za mnoge reagente, toda pod posebnimi pogoji (P=60 bar in vodikova atmosfera) vodikov plin lahko prodre v strukturo celuloze in razcepi celulozo v majhne molekularne fragmente. Katalizator molekule še dodatno zmanjša.

Z ozirom na velike količine sredstva proti zmrzovanju in PET je letna poraba etilen glikola zelo velika (20 milijonov ton).

Obstajajo pa tudi druge poti, na primer:

- Oksidacija etilena do etilen oksida in nato hidroliza do etilen glikola. Vir etilena je lahko metionin (uporaba encimov) ali dehidriran etanol.
- Reakcija metanola (vir: fermentacija) in formaldehida (vir: nižji alkilni alkoholi) v prisotnosti katalizatorja (organski peroksid).

KLJUČNA SPOROČILA

- *Biorazgradljivo plastiko lahko proizvedemo iz obnovljivih virov.*
- *Plastika iz obnovljivega vira je lahko biorazgradljiva ali nebiorazgradljiva.*
- *Biorazgradljivost ni lastnost, vezana na izvor snovi, temveč zgolj na kemijsko strukturo in okolje, kjer poteka razkroj.*
- *V zasledovanju ciljev trajnostnega razvoja in manjšanja okoljskega bremena stremimo k porastu rabe biorazgradljive plastike iz obnovljivega vira.*
- *Delež obnovljivih virov v plastičnih materialih določamo z izotopsko analizo ogljika.*
- *Z večjo rabo obnovljivih virov za proizvodnjo plastike se manjša poraba fosilnih virov in izpusti CO₂.*
- *Potencial obnovljivih virov za predelavo v plastične proizvode ni docela izkoriščen.*
- *Za predelavo v bioplastiko je na voljo širok spekter naravnih polimerov. Najpogosteje se uporabljajo škrob, polilaktidi, poliamid 11 ter epoksi smole na osnovi obnovljivih virov.*



**BIORAZGRADLJIVA
PLASTIKA V
VSAKDNANJEM
ŽIVLJENJU**

3

Številni ljudje se kljub temu da živimo v dobi, kjer smo v stiku z novimi informacijami praktično vsak trenutek, še niso srečali s pojmom biorazgradljiva plastika. Tako tudi niso mogli pomisliti, da obstaja alternativa izdelku, ki ga sicer običajno kupijo. Informiranje in ozaveščanje potrošnika o njegovi izbiri sta ključna za uspešen prodor novih nišnih produktov na tržišča. Dokler ljudje ne vedo, da imajo izbiro, do sprememb ne bo prišlo. Vedno pa se začne počasi in na začetku...

PLASTIKA NA VSAKEM KORAKU

Vsak izmed nas vsakodnevno uporablja in zavrže veliko plastičnih proizvodov. Velika večina hrane je embalirana v enega izmed plastičnih polimerov (PET, PP, LDPE, HDPE, PS,...), za prenašanje stvari uporabljamo plastične vrečke, ohišja elektronske opreme so plastična, plastične so igrače ter naša športna oprema. Tudi notranjost avtomobilov je iz plastičnih mas.



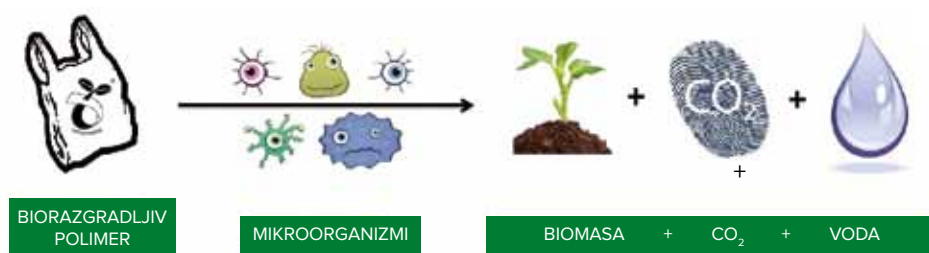
V principu bi (glede na razvoj tehnologij) lahko iz biorazgradljive plastike proizvajali večinoma vse proizvode, ki se jih trenutno proizvaja iz umetnih plastičnih mas in niso biorazgradljivi. Realno tega ni mogoče pričakovati. Obseg proizvodnje biorazgradljivih materialov in izdelkov je manjši in s tem tudi dražji. Biorazgradljivi materiali počasi ustvarjajo manjša tržišča in še niso konkurenčni velikim tržiščem, na katerih dominirajo umetne mase, ki se učinkovito in na ogromni skali proizvajajo že desetletja.

MOŽNOST IZBIRE

V takem primeru ima potrošnik veliko moč. Tržišča temeljijo na principu ponudbe in povpraševanja. Z večanjem povpraševanja raste tudi ponudba, čemur sledi večanje produkcije in padec cen. Več ljudi, kot bo želelo kupiti izdelek iz bioplastike, večja bo potreba po proizvodnji teh, zato bo cena teh izdelkov sčasoma padla. Žal se to ne zgodi čez noč, zato je potrebno sporočiti potrošniku, kakšne možnosti ima, ga poučiti o aspektih novih možnosti ter ga opomniti, da bodo na Zemlji za njim bivali še drugi ljudje, ki bodo prav tako kot on sam potrebovali pitno vodo, čisti zrak in neonesnaženo prst za proizvodnjo hrane.

PREPOZNAVANJE BIORAZGRADLJIVEGA PROIZVODA












Ker se biorazgradljiva plastika na videz ne razlikuje od bolj pogoste, nebiorazgradljive plastike, smo za prepoznavanje izdelka iz biorazgradljive plastike odvisni od napisov in oznak na izdelkih. Ti povedo, ali je izdelek biorazgradljiv ali primeren za kompostiranje. To nedvoumno dokazuje certifikacijski znak, ki mora biti obvezno opremljen s številko certifikata. Napisi »100 % razgradljiv« ali »okolju prijazen« ob odsotnosti certifikacijskega znaka ne zagotavljajo dejanske biorazgradljivosti produkta in lahko zavajajo kupce.



Slika 12: Kaj se zgodi z biorazgradljivo vrečko?



Ko se v trgovini odločamo za nakup proizvoda iz biorazgradljivega materiala, moramo biti pozorni, da le-ta nosi certifikacijski znak in številko certifikata. Naletimo lahko na enega izmed teh:

DRŽAVA – CERTIFIKACIJSKA ORGANIZACIJA	OZNAKA
ZDA – Biodegradable Products Institute	 (Vir: Biodegradable Products Institute)
EU – DIN CERTCO in Avstralija – Australasian Bioplastics Association (za industrijsko kompostiranje)	 (Vir: European Bioplastics)
EU – Vincotte (za industrijsko kompostiranje)	   (Vir: AIB Vincotte) (Vir: European Bioplastics)
EU – Vincotte (za domače kompostiranje)	  (Vir: AIB Vincotte)
EU – Vincotte (razgradljivost v zemlji)	  (Vir: AIB Vincotte)
EU – Vincotte (razgradljivost v vodi)	  (Vir: AIB Vincotte)

KVALITETA IZDELKOV

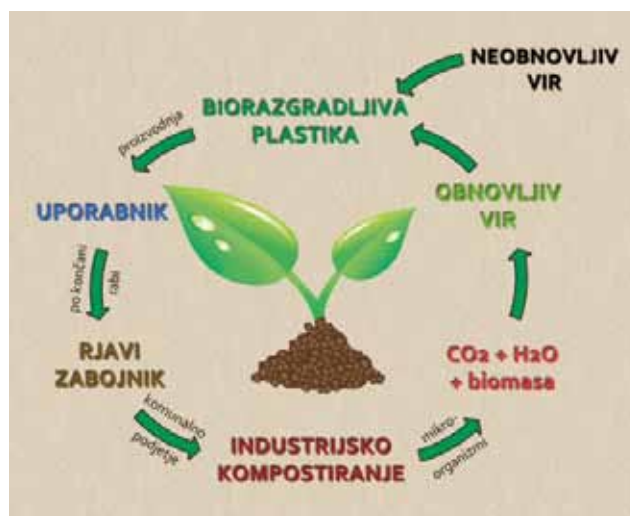
Skrb potrošnika, da bo kvaliteta izdelka iz biorazgradljive plastike slabša od tistega, narejenega iz umetne plastične mase, je odveč. Plastična vrečka iz biorazgradljive plastike ima enake lastnosti kot plastična vrečka iz nebiorazgradljive plastike; do njenega razpada pa bo prišlo šele po daljšem času ter pod pravimi pogoji (predvsem pod pogoji industrijskega kompostiranja) in ne preden bi izdelek že odslužil svojemu namenu.

KAJ NAREDIMO Z BIORAZGRADLJIVO PLASTIKO, KO TA POSTANE ODPADEK?

Biorazgradljive plastike nikakor ne odlagamo v naravo; prav tako v naravo ne odlagamo kompostirne plastike. Res je, da se bosta tako biorazgradljiva plastika kot kompostirna plastika v naravi razgradili, kljub temu pa je zato potrebnega kar nekaj časa. Medtem v naravi predstavljata onesnaževalo, ki, tako kot ostali odpadki, predstavlja nevarnost za živali in kazi okolje. Eden izmed ključnih dejavnikov industrijskega kompostiranja je visoka temperatura, zato razgradnja v okolju (kopnem ali vodnem) traja precej dlje.

Po končani rabi izdelek iz biorazgradljive plastike odložimo med organske odpadke (rjavi zabojniki).

Pravilno ravnanje z biorazgradljivo plastiko je aerobna (kompostiranje) ali anaerobna (bioplin) razgradnja. Biorazgradljive plastike ne odlagamo v zabojnik za odpadno embalažo (rumeni zabojnik), saj zaradi drugačnih predelovalnih lastnosti lahko povzročajo težave pri recikliranju preostalih, nebiorazgradljivih vrst plastike. Razpad biorazgradljive plastike poteka optimalno pod pogoji industrijske predelave organskih odpadkov. V naravi je ta postopek počasnejši, zato biorazgradljive plastike (prav tako kot nebiorazgradljive) ne odlagamo v okolje.



Slika 13: Življenjski cikel biorazgradljive plastike

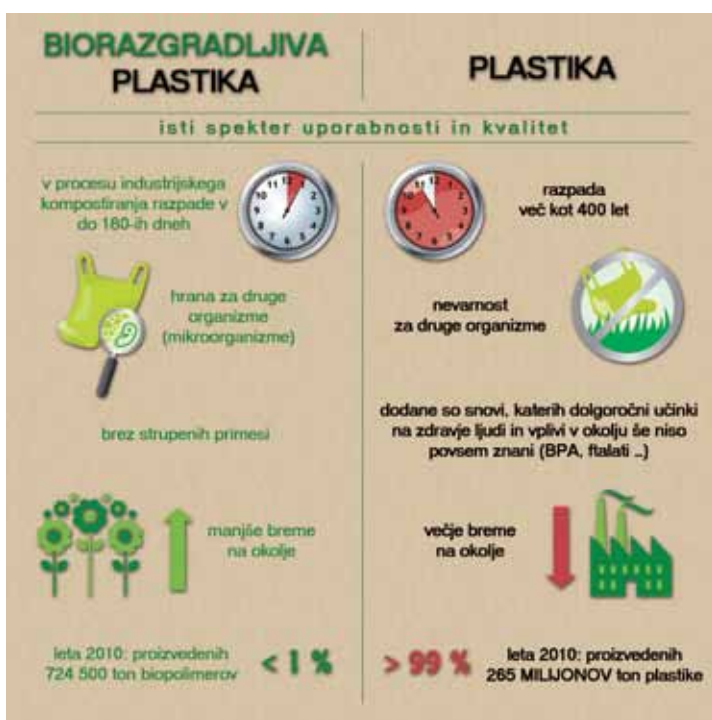
SLOVENSKO TRŽIŠČE

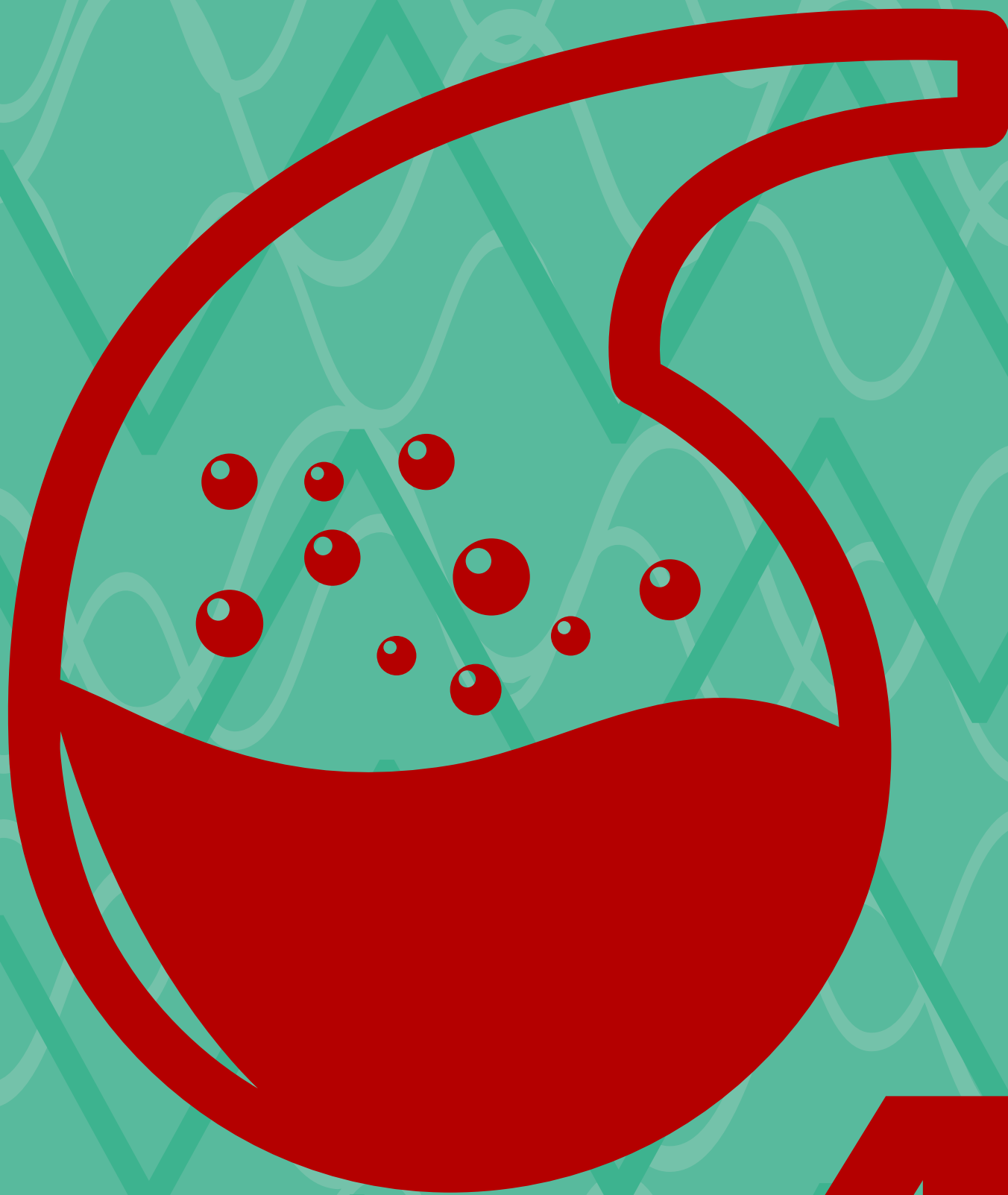
V Sloveniji trenutno nimamo proizvodnje biorazgradljive plastike; izdelke iz teh materialov pa proizvaja kar nekaj slovenskih predelovalcev plastičnih materialov. Biorazgradljive produkte lahko kupimo v večini večjih in bolje založenih trgovin.



KLJUČNA SPOROČILA

- Življenje brez uporabe plastičnih izdelkov je praktično nepredstavljivo.
- Potrošnik ima moč, da pospeši prodor biorazgradljive plastike na tržišča.
- Nabor uporab in izdelkov iz biorazgradljive plastike se vztrajno širi.
- Certifikacijski znak nedvoumno potrjuje biorazgradljivost izdelka.
- Lastnosti in kakovost izdelkov iz biorazgradljive plastike so enake tistim iz običajne, ne biorazgradljive plastike.
- Biorazgradljive plastike ne odlagamo v naravo, ampak jo odvržemo v zabojnik za organske odpadke.
- Z nakupom izdelka iz biorazgradljive plastike manjšamo breme na okolje, vključujemo plastiko v naravna kroženja in zasledujemo cilje trajnostnega razvoja.





**PREDLOGI
ZA POSKUSE**

4



Poleg biorazgradljivih vrečk, folij, v katere je zavita nekatera zelenjava iz trgovin, plastičnih granul iz polimlečne kisline, ter drugih produktov iz biorazgradljive plastike, ki jih lahko pokažete učencem so spodaj opisani še štiri praktični poskusi, ki jih lahko izvedete z učenci. Prvi je zelo kratek in primeren za vključitev v učno uro, saj zanj ne potrebujete več kot nekaj minut, čaše in vode. Drugi in tretji pa sta primerna za laboratorijsko vajo. Četrtega lahko izvedete kot učni projekt, ki traja več časa.

1. HITRI PRIKAZ RAZLIKE MED PENICAMI IZ ŠKROBA TER STIROPOROM

V čašo z vodo damo kos stiropora, ki je primerljive velikosti s kosom, narejenim iz termoplastičnega škroba. Mešamo in kmalu (v roku nekaj minut) lahko vidimo, da se penica iz škroba v vodi raztopi, medtem ko stiropor ostane nespremenjen. Poskus pokaže, kako je penica, osnovana na škrobu, dovzetna za razpad v vodi in bi tako hitro razpadla tudi v okolju, medtem ko stiropor ostane v nespremenjeni obliki dlje časa.



2. PLASTIKA IZ KROMPIRJA

V laboratoriju lahko enostavno pripravimo plastiko iz »obnovljivega vira« - krompirja. Sledite spodnjim korakom, za boljšo ilustracijo pa si oglejte ta kratki video – tekst je v angleškem jeziku (<http://www.youtube.com/watch?v=VUkyW1Pir9g&feature=related>).

OPIS POSTOPKA:

- olupimo dva krompirja in ju naribamo v terilnico
- dodamo 100 mL vode
- v terilnici s pestilom stečkam krompir, prelit z vodo
- tekočino, ki se je nabrala v terilnici, skozi cedilo prelijemo v čašo
- ponovno prelijemo krompir v terilnici z vodo in spet precedimo tekočino skozi cedilo v isto čašo
- po približno sedmih minutah se v čaši na dnu nabere usedlina škroba
- tekočino nad škrobno usedlino enostavno odlijemo v drugo čašo, v prvi čaši nam ostane le še škrobna usedlina
- škrobno usedlino prelijemo s 100 mL vode in premešamo s stekleno palčko
- počakamo, da se škrob ponovno usede na dno (približno 7 minut) in nato vodo enostavno odlijemo v drugo čašo, v prvi čaši pa nam ostane čisti, moker škrob
- škrob iz čaše posušimo v pečici (približno 10 minut na 80 °C), ostane nam bel škrobni prah
- 2,5 gramom suhega škrobnega prahu, ki ga imamo v čaši, dolijemo 25 mL vode in 3 mL 0,1 M HCl ter pomešamo s stekleno palčko, da dobimo motno belo raztopino
- v čašo nato dodamo 2 mL glicerola in pomešamo s stekleno palčko
- čašo pokrijemo s steklenim krožničkom ter postavimo na trinožno stojalo in podenj postavimo gorilnik – nad plamenom segrevamo 15 minut
- po 15 minutah ugasnemo gorilnik in previdno odstavimo vročo čašo in malo počakamo, da se ohladi
- s stekleno palčko na univerzalni indikator nanese malo snovi iz čaše – obarva se rdeče, kar pomeni, da je snov kisl
- dodamo malo 0,1 M NaOH in pomešamo s stekleno palčko
- snov ponovno nanese na univerzalni indikator – zeleno obarvanje nam pove, da ima snov sedaj nevtralni pH
- snov iz čaše s pomočjo steklene palčke prelijemo v petrijevko in enakomerno razmažemo
- če želimo, lahko dodamo nekaj barvila za hrano in premešamo s stekleno palčko; tako bo naša plastika obarvana
- posušimo v pečici [pri 80 °C približno dve uri, čas sušenja je odvisen od debeline nanosa] in dobimo plastiko iz krompirja

Tako enostavno in hitro sami naredimo plastiko iz krompirja. Učenci lahko to plastiko nato primerjajo (po izgledu, otipu, trdnosti, upogljivosti) s plastiko, pridobljeno iz fosilnih virov.

PRIPOMOČKI:

2 krompirja
Voda
Terilnica in pestilo
Strgalo
Merilni valj
Čaša 3x
Steklena palčka
Pečica
Laboratorijska tehtnica
0,1 M HCl
0,1 M NaOH
Glicerol (2 mL)
Stekleni krožniček za prekriti čašo
Gorilnik
Trinožno stojalo
Univerzalni indikator
Petrijevka
Barvilo za hrano
Zaščitna oprema



PRIPOMOČKI

Kuhalnik
Lonc
Lopatica za mešanje
Čajna žlička
Jedilna žlica
Nekaj vode
Koruzni škrob
Glicerol
Kis
Plastična podlaga,
na katero na koncu
razmažemo plastiko

3. PLASTIKA IZ KORUZNEGA ŠKROBA

Gre za enostavno in hitro pripravo plastike iz koruznega škroba. Poskus je podoben prejšnjemu, le da ga lahko izvedete hitreje, saj za pripravo plastike vzamete že pripravljene škrob, medtem ko v prejšnjem poskusu škrob sami pridobite iz krompirja. Za boljše ilustracijo si oglejte kratki video (v angleškem jeziku): http://www.youtube.com/watch?v=5M_eDlyfz8

OPIS POSTOPKA:

1. V lonc odmerimo 1 jedilno žlico koruznega škroba, 4 jedilne žlice vode, 1 čajno žličko glicerola in 1 čajno žličko kisa. Vse dobro premešamo.
2. Ko vse dobro premešamo, prižgemo kuhalnik in nadaljujemo z mešanjem. Najprej bo v loncu mlečno bela tekočina, ki pa se bo kmalu začela zgoščati.
3. Nadaljujemo z mešanjem, medtem ko se tekočina še naprej zgošča. Ko snov postane lepljiva in skoraj prozorna, izključimo kuhalnik in jo razmažemo po vnaprej pripravljene podlagi, tako debelo kot želimo in pustimo da se ohladi, nato pa sušimo v pečici na 80 °C približno dve uri (dokler pasta ne postane prozorna).

4. KOMPOSTIRANJE

Ta poskus lahko traja celo leto. Na začetku šolskega leta postavite vzorce v kompost/ zemljo, nato pa vsak mesec pogledate kaj se dogaja z materialom. Kompostiranje učence nauči zelo pomembno lekcijo – recikliranje in ponovna uporaba materiala. Vključuje zemljo, kopanje in vodo.

OPIS POSTOPKA:

1. Čašo/lonček do polovice napolnimo z zemljo/kompostom.
2. Materiale za kompostiranje vpnemo v mrežo proti komarjem in tako pripravljen vzorec stehamo in po možnosti fotografiramo. Vzorec privežemo na vrvico z laksa ali kovinsko žico, postavimo v čašo/lonček in zakopljemo z zemljo ter dolijemo vodo.
3. Vzorce enkrat mesečno izkopljemo, speremo, posušimo in stehamo, nato pa vzorec ponovno zakopljemo.

Tako spremljamo razgradnjo različnih materialov skozi daljše časovno obdobje in lahko primerjamo predvsem razgradnjo običajne polietilenske vrečke in razgradnjo kompostirne vrečke za biološke odpadke.

Ker temperature kompostiranja ne bodo enake kot med industrijskim kompostiranjem, obstaja verjetnost da bo razgradnja kompostirne vrečke potekala dlje kot 6 mesecev.



SLOVAR

Aerobna razgradnja – biološka razgradnja v prisotnosti kisika ali zraka, kjer se ogljik pretvori v ogljikov dioksid in biomaso

Anaerobna razgradnja – biološka razgradnja v odsotnosti kisika ali zraka, kjer se ogljik pretvori v metan in biomaso

Biološka razgradnja (= biorazgradnja) – razgradnja pod vplivom bioloških sistemov

Biomasa (obnovljiv vir) – snovi biološkega izvora, z izjemo tistih v geoloških formacijah in fosilizirane biološke snovi

Bioplastika – plastika, ki je biorazgradljiva in/ali narejena na osnovi biomase. V medicini možna tudi uporaba, ki pomeni biokompatibilnost – kompatibilnost plastike z človeškimi ali živalskimi tkivi.

Biopolimer – je polimer, ki je ali pridobljen iz obnovljivega vira in/ali biorazgradljiv

Biorazgradljiva plastika – plastika, ki se v odvisnosti od pogojev procesa aerobno ali anaerobno v celoti razgradi v ogljikov dioksid, metan, vodo, biomaso in anorganske snovi

Certifikat – pisna izjava, ki jo izda pooblaščen organizacija in prča o tem, da material ali izdelek ustreza določilom standarda. Certifikat vključuje dovoljenje za uporabo certifikacijske oznake (logo), ki uporabnikom sporoča ustreznost standardu.

Fragmentacija – fizični (mehanski) razpad snovi/materiala na manjše dele

Hidroliza – kemijska reakcija pri kateri spojina reagira z molekulami vode in se cepi na manjše dele

HDPE (High density polyethylene) – polietilen visoke gostote

Kompostiranje – postopek ravnanja z organskimi odpadki v katerem aerobni mikroorganizmi organski material biološko razgradijo

Kompostirna plastika (plastika primerna za kompostiranje) - plastika, ki se pod pogoji kompostiranja biološko razgradi s hitrostjo primerljivo s kompostnim ciklom ter ustreza zahtevam ustreznih standardov

LDPE (Low-density polyethylene) – polietilen nizke gostote

Mineralizacija – proces pretvorbe organskega ogljika v anorganske oblike, do katere pride pod vplivom presnove mikroorganizmov

Obstojna organska onesnaževala - so organske spojine, ki so odporne na razgradnjo v okolju preko kemijskih, bioloških, fotolitičnih procesov; npr. pesticidi (angl. Persistent organic pollutants – POPs)

Oksidacija - kemijska reakcija (npr. gorenje, rjavenje); snov, ki se oksidira, oddaja elektrone; v tem procesu se lahko na primer spaja s kisikom ali pa oddaja vodik

PE (Polietilen; Polyethylene) - plastični polimer s širokim spektrom uporabe

Plastika – material, katerega poglavitna sestavina so polimeri

Plastika na osnovi obnovljivih virov – je plastika, ki se proizvaja iz obnovljivih (npr. celuloza, lignin, škrob,...) in ne fosilnih virov

Polimer – snov z visoko molekularno maso, narejena iz ponavljajočih se osnovnih gradnikov

PP (Polipropilen; Polypropylene) – plastični polimer s širokim spektrom uporabe

PS (Polistiren; Polystyrene) – eden izmed najbolj pogosto uporabljenih plastičnih polimerov

Termoplasti – linearni in/ali malo razvejani polimeri, sposobni (večkratnega) zmečanja in preoblikovanja pri povišani temperaturi (HDPE, LDPE, PP, PS, PVC, PET,...)

Trajnostni razvoj – razvoj, ki zadosti današnjim potrebam, ne da bi ogrožal možnost prihodnjih generacij, da zadostijo svojim potrebam

VIRI IN LITERATURA:

- [1] Plastics Europe, <http://www.plasticseurope.org/>
- [2] Information Package on Environmentally Degradable Plastics, Project: Managers of Innovation in Environmentally Degradable Plastics, Funded by the EC Leonardo da Vinci program
- [3] European Bioplastics, HYPERLINK »<http://en.european-bioplastics.org/>« <http://en.european-bioplastics.org>
- [4] DIN Certco, HYPERLINK »<http://www.din-certco.de>« www.din-certco.de
- [5] Vincotte OK Compost, HYPERLINK »<http://www.okcompost.be>« www.okcompost.be
- [6] Biodegradable Products Institute, HYPERLINK »<http://www.bpiworld.org>« www.bpiworld.org



Besedilo je bilo pripravljeno v sklopu projekta Inovativni razvoj vrednostne verige za trajnostne plastike v Srednji Evropi (PLASTiCE), ki je v sklopu programa Srednja Evropa (Central Europe Programme) sofinanciran iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj (ESRR – ERDF).

Julij, 2012

plastice

Innovative value chain development
for sustainable plastics in Central Europe

