

Osnovna šola Gustava Šliha Laporje
Laporje 31 · 2318 Laporje
Telefon: 02 829 58 50
www.os-laporje.si · group1.osmbgs@guest.arnes.si



KAKŠEN VPLIV IMA DOMA NAREJENA BIOPLASTIKA NA OKOLJE?

Biologija

Raziskovalna naloga

Avtorja: Matevž Bračič, 7. a
 Kristijan Loboda, 7. a

Mentorica: Barbara Čretnik

Laporje, 2022

ZAHVALA

Najbolj bi se rada zahvalila najini mentorici za vso podporo in pomoč, ki sva jo dobila od nje pri pisanju raziskovalne naloge, gospe Poloni Rajh za lektoriranje naloge in gospe Tini Lešnik za prevod povzetka. Zahvalila pa bi se rada tudi najinim staršem za vso moralno podporo, ki sva jo dobila od njih.

KAZALO

POVZETEK	5
1.UVOD	6
2. TEORETIČNI DEL	7
2.1 Bioplastika	7
2.2 Vrste bioplastike	7
2.3 Kako izdelati bioplastiko	9
2.3.1 Škrob.....	9
2.3.2 Kis ali očetna kislina.....	10
2.3.3 Glicerol	10
2.4 Krušna plesen	11
2.5 Prednosti in slabosti bioplastike	11
3. EKSPERIMENTALNI DEL	13
3.1 Raziskovalne metode/ metodologija	13
3.2 Material	13
3.3 Postopek	13
3.3.1 Bioplastika iz koruznega škroba	14
3.3.2.Bioplastika iz bananinih olupkov	14
3.3.3. Eksperiment – preizkus biorazgradnje bioplastike.....	16
4. REZULTATI IN RAZPRAVA	19
4.1 Rezultati eksperimenta	19
4.2 Razprava	21
5. ZAKLJUČEK	24
6. VIRI IN LITERATURA	25

KAZALO SLIK

Slika 1: Enostaven prikaz povezave med monomerom in polimerom.	7
Slika 2: Polimerizacija etena.	7
Slika 3: Bioplastika je biorazgradljiva, bioizvorna ili oboje.	8
Slika 4: Biorazgradnja.	9
Slika 5: Oznaka certifikacijske organizacije Vincotte označuje bioplastiko, ki jo smemo kompostirati doma.	9
Slika 6: Škrob: je polimer α D-glukoze.	10
Slika 7: Rhizopus stolonifer (črna krušna plesen).	11
Slika 8: Rezanje bananinega olupka in odmerjanje destilirane vode.	15
Slika 9: Kuhanje bananinih olupkov v destilirani vodi.	15
Slika 10: Kuhanje bioplastike iz škroba.	15
Slika 11: Priprava bioplastike iz bananinih olupkov.	15
Slika 12: Sušenje bioplastike v pečici.	15
Slika 13: Tehtanje bioplastike iz bananinih olupkov.	16
Slika 14: Tehtanje bioplastike iz škroba.	16
Slika 15: Stehtana bioplastika.	16
Slika 16: Bioplastika iz škroba na zraku, v vodi, na plesni in v kompostu.	17
Slika 17: Bioplastika iz bananinih olupkov na zraku, v vodi, na plesni in v kompostu.	17
Slika 18: Bioplastika iz škroba na plesni.	17
Slika 19: Bioplastika iz bananinih olupkov na plesni.	17
Slika 20: Nastavljen poskus preizkusa biorazgradnje bioplastike.	17
Slika 21: Fotografija bioplastike v različnih snoveh.	18
Slika 22: Bioplastika iz škroba (levo) in bioplastika iz bananinih olupkov (desno) na zraku.	19
Slika 23: Bioplastika iz škroba (levo) in bioplastika iz bananinih olupkov (desno) v vodi.	19
Slika 24: Bioplastika iz škroba (levo) in bioplastika iz bananinih olupkov (desno) v vodi po mešanju.	19
Slika 25: Bioplastika na plesnivem kruhu v zip lock vrečki.	20
Slika 26: Razkroj bioplastike iz škroba s plesnijo.	20
Slika 27: Razkroj bioplastike iz bananinih olupkov s plesnijo.	20
Slika 28: Kompostna vsebina, ki je vsebovala bioplastiko iz škroba.	21
Slika 29: Kompostna vsebina, ki je vsebovala bioplastiko iz bananinih olupkov.	21

KAZALO TABEL

Tabela 1: Postopek priprave bioplastike v sliki.	15
Tabela 2: Postopek eksperimenta preizkusa biorazgradnje bioplastike v sliki.	16

POVZETEK

Namen raziskovalne naloge je bil raziskati in ugotoviti kako izdelati bioplastiko. Najprej sva na spletu poiskala navodila za izdelavo bioplastike. Izdelala sva bioplastiko iz koruznega škroba in iz bananinih olupkov. Nato sva nastavila eksperiment, kjer sva preučevala, koliko časa se bioplastika razgraja v vodi, v kompostu in krušni plesni.

Postavila sva si tri raziskovalna vprašanja. Zanimalo naju je iz katerega materiala lahko sama izdelava bioplastiko? Ugotovila sva, da lahko bioplastiko izdelamo iz bananinih olupkov, koruznega škroba in drugih organskih virov. Raziskovala sva, ali je doma narejena bioplastika tudi biorazgradljiva? Bioplastika iz škroba in bananinih olupkov je biorazgradljiva. Uporabila sva hladen način kompostiranja. Produkti pri razgradnji bioplastike so ogljikov dioksid, voda in humus, ki sicer nastajajo pri naravnem procesu razgradnje. Zanimalo naju je, v kolikšnem času se bioplastika razgradi v vodi, kompostu in s pomočjo krušne plesni. Ugotovila sva, da se bioplastika najhitreje razgradi v kompostu pri hladnem načinu kompostiranja. Tam živali, mikroorganizmi in glive pri ugodnih pogojih bioplastiko razgradijo že v 28 dneh. Pri tem nastanejo produkti, ki jih rastline uporabijo pri fotosintezi. Krušna plesen razkraja bioplastiko s pomočjo encimov, vendar je proces počasnejši. Priporočava hladno kompostiranje. Manj zaželen je vroč način kompostiranja, ker nastanejo toplogredni plini in snovi, ki vsebuje žveplo, ki naravi škodijo.

Ključne besede: Bioplastika, razgradnja, škrob, bananin olup, krušna plesen, kompost

ABSTRACT

The aim of this research was to investigate how to make bioplastics. First, we searched online for instructions on how to make bioplastics. We made bioplastics from corn starch and banana peels. Then we set up an experiment to see how long it takes for bioplastics to degrade in water, air, compost and mould.

We have constructed three research questions. We were interested in the material that we can use to make bioplastics by ourselves. We found that bioplastics can be made from banana peels, corn starch and other organic sources. We investigated whether home-made bioplastics are also biodegradable. Bioplastics made from starch and banana peels are biodegradable. We used cold composting. The breakdown products of bioplastics are carbon dioxide, water and humus, which are otherwise naturally produced during the decomposition process. We were interested in how long it takes for bioplastics to decompose in water, compost and bread mould. We found that bioplastics decompose the fastest in compost when composted cold. There, under favourable conditions, animals, micro-organisms and fungi break down bioplastics in as little as 28 days. This produces products that are used by plants in photosynthesis. Bread mould breaks down bioplastics with the help of enzymes, but the process is slower. Cold composting is recommended. Hot composting is less desirable because it produces greenhouse gases and sulphur-containing substances that are harmful to nature.

Keywords: Bioplastics, decomposition, starch, banana peel, bread mould, compost

1.UVOD

Za raziskovalno nalogo sva se odločila, ker naju skrbi kopičenje plastike (umetnih mas) v svetu. Plastika oz. umetne mase so za današnji svet zelo pomembne in uporabne. Problem je, da se plastika razkraja zelo počasi, npr. plastična vrečka se razkraja od 10 let do 1000 let, plastenka pa 450 let ali več. Velike količine plastike se kopičijo po vsem svetu, tudi v morjih. (Nuša, 2021)

Po podatkih iz leta 2018, smo v slabih 70 letih proizvedli 8,3 milijarde ton plastike, polovico v zadnjih 13 letih. A več kot osem milijonov ton plastike vsako leto konča v naravi. Recklira se le 9 % plastike, zato bo po ocenah leta 2050 na svetu 12 milijard ton plastičnih smeti. (A. P. J., 2018)

Plastika počasi razpada v mikroplastiko in onesnažuje vode, se kopiči v organizmih in nazadnje konča v naši prehrani. A včasih ni bilo tako. Zato se proizvodnja usmerja k izdelavi bioplastike (biopolimerov), ki je vedno bolj popularna.

V raziskovalni nalogi sva v uvodu napisala raziskovalna vprašanja in hipoteze. V teoretičnem uvodu sva raziskala več o vrstah bioplastike in polimerih. Zanimalo naju je kako izdelati bioplastiko in prednosti oz. slabosti le-te. Sledil je eksperimentalni del, v katerem je opisan postopek izdelave bioplastike. Opisan je poskus o razgradnji bioplastike ter njegovi rezultati. Na koncu sva zapisala razpravo in zaključek.

Namen raziskovalne naloge je bil raziskati in ugotoviti, kako izdelati bioplastiko. Splošno mnenje je, da je bioplastika razgradljiva. Zanima naju, koliko časa bioplastika potrebuje, da se razgradi v zemlji oz. kompostu, v vodi in s pomočjo plesni – če sploh oz. koliko časa traja razgradnja.

Raziskovalna vprašanja:

1: Iz katerega materiala lahko sama izdelava bioplastiko?

H: Sami lahko izdelamo bioplastiko iz škroba in organskih ostankov (bananinih olupkov).

2. Ali je doma narejena bioplastika tudi biorazgradljiva?

H: Bioplastika iz škroba in bananinih olupkov je biorazgradljiva.

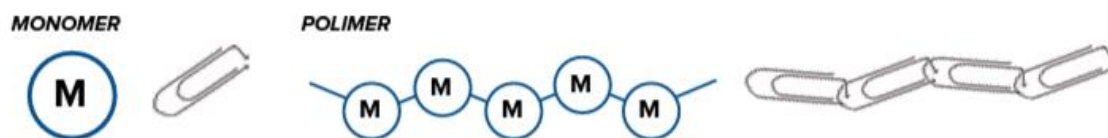
3. Kako voda, plesen in kompostiranje bioplastike vpliva na čas razgradnje le te?

H: Meniva, da se bo bioplastika v kompostu **najhitreje** razgradila, saj bodo na razkranje vplivale različne živali v zemlji in vlaga. Krušna plesen bo razgradila tudi bioplastiko iz škroba.

2. TEORETIČNI DEL

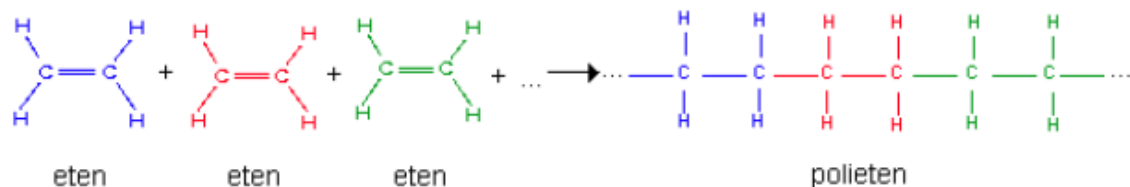
2.1 Bioplastika

Bioplastika je zgrajena iz polimerov, ki vsebujejo dodatke. V naravi je veliko primerov, ko je večja molekula zgrajena iz več manjših molekul, npr. beljakovine so sestavljene iz veliko različnih aminokislin. Take, sestavljene molekule imenujemo **polimeri**. Molekule, iz katerih so polimeri zgrajeni, pa imenujemo **monomeri**. Polimeri v naravi gradijo telesa živih organizmov, omogočajo njihovo delovanje ter prenos snovi organizmu. Primer polimera, s katerim plenilci lovijo živali, je pajkova mreža. Za polimere je značilno, da so to velike molekule, ki so lahko sestavljene iz več deset tisoč monomerov. Naravni polimeri so kavčuk, svila, volna, bombaž, DNK, hitin, pektin beljakovine in polisaharidi (škrob, celuloza, glikogen), slednje uvrščamo med ogljikove hidrate. Umetne polimere večinoma izdelujemo iz nafte. Kemijska reakcija, pri kateri iz monomerov nastane polimer, imenujemo **polimerizacija**. (Sajovic, in drugi, 2014)



Slika 1: Enostaven prikaz povezave med monomerom in polimerom. (Šprajcar, 2021)

Poznamo različne vrste polimerizacij. Če je monomer nenasičena spojina (med ogljikovimi atomi je dvojna kovalentna vez), poteče adicijska polimerizacija, nastane pa nasičen polimer, npr. polieten, umeten polimer iz katerih so izdelane vrečke...



Slika 2: Polimerizacija etena. (Sajovic, 2014)

Poznamo tudi kondenzacijsko polimerizacijo. Pri slednji se ob združevanju dveh različnih monomerov izloči majhna molekula (npr. voda, vodikov klorid ...). Na tak način izdelamo npr. tudi umetno svilo, najlon. (Sajovic, 2014) Kondenzacijski polimeri so tudi poliestri (ki dišijo, smole), silikoni in poliamidi (najlon, kevlar). Polimeri so polisaharidi (amiloza in amilopektin v škrobu, celuloza, glikogen), polipeptidi, beljakovine (dlaka, pajkova mreža, svila, volna), tudi DNK in kavčuk. (Smrdu, 2013)

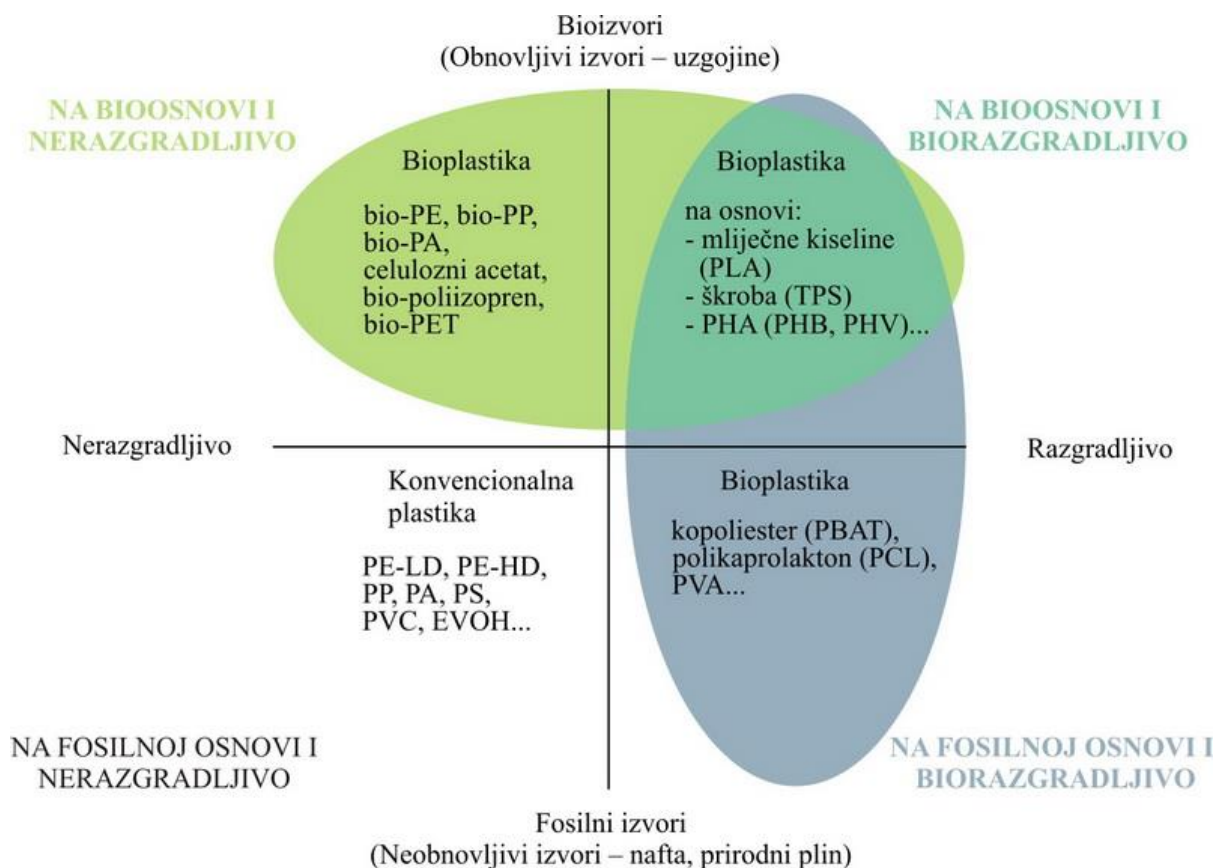
2.2 Vrste bioplastike

Glede na vir delimo bioplastiko na:

1. bioplastiko iz obnovljivih virov (koruza, krompir, sladkorni trs, olja, les, odpadke iz živilske industrije, slamo idr.),
2. bioplastiko iz fosilnih virov (nafta) in
3. bioplastiko iz mešanice obnovljivih in fosilnih virov.

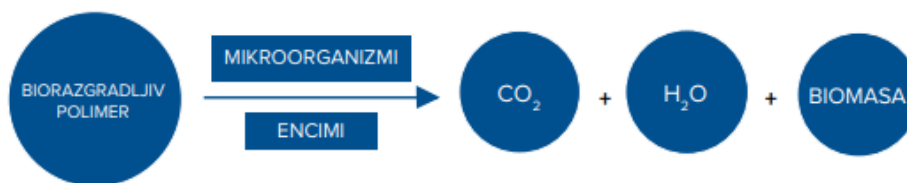
Po **spособnosti razgradnje** ločimo biorazgradljivo in plastiko, ki ni biorazgradljiva, oz. bioosnovano in biorazgradljivo plastiko. Biorazgradljivo plastiko lahko kompostiramo.

Na trgu najdemo plastiko iz škroba; iz polimlečne kisline; celuloze (celofan); lignina idr. Plastika poleg polimerov vsebuje še dodatke, kot so pigmenti (barvila), različna polnila in drugo. (Šprajcar, 2012)



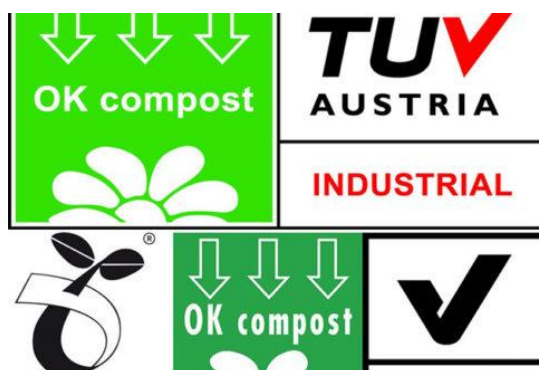
Slika 3: Bioplastika je biorazgradljiva, bioizvorna ili oboje. (Bioplastika – održivaplastikahrvarska, b. d.)

Biorazgradljivost je proces degradacije polimernega materiala pod vplivom biotskih (živih) dejavnikov. Biorazgradnja plastike lahko poteka v sladki vodi, v prsti in kompostu (domači kompost ali anaerobni kompost). (Rajh, 2017) Organizmi, v glavnem mikroorganizmi (bakterije, glive, alge) polimer prepoznajo kot vir organskih gradnikov (npr: enostavni saharidi, aminokisline itn.) in energije, ki jih potrebujejo za življenje. Torej biorazgradljivi polimeri mikroorganizmom predstavljajo hrano. S pomočjo encimov se cepi polimerna veriga do vse manjših molekul. Le te se pri presnovi ob oddajanju energije pretvorijo v vodo, ogljikov dioksid, biomaso in druge osnovne produkte biološke pretvorbe. Produkti niso strupeni in jih najdemo v naravi kot tudi v živih organizmih. Proces pretvorbe organskega ogljika (v našem primeru polimera), v anorganski ogljik – npr. ogljikov dioksid, se imenuje mineralizacija. V procesu razgradnje polimer pod vplivom živih ali neživih dejavnikov razpade na manjše kose (fragmente); ti razpadni produkti pa nato v naslednji fazi pod vplivom mikroorganizmov mineralizirajo. (Šprajcar, 2012)



Slika 4: Biorazgradnja. (Šprajcar, 2012)

Ločimo aerobno ali anaerobno razgradnjo. V procesu aerobne razgradnje (prisotnost zraka) se organska snov s pomočjo aerobnih mikroorganizmov pretvori v CO_2 , vodo in kompost. Pri anaerobni razgradnji (brez prisotnosti zraka, "vroče" kompostiranje nad 60°C) pa se organska snov s pomočjo anaerobnih mikroorganizmov pretvori v CH_4 in CO_2 (bioplin), sledove H_2 in H_2S ter celično biomaso. Ni vsa biorazgradljiva plastika primerna za kompostiranje na domačem kompostu ("hladno" kompostiranje). Kompostirna plastika v kompost ne vnaša strupenih snovi. (Šprajcar, 2012)

Slika 5: Oznaka certifikacijske organizacije Vincotte označuje bioplastiko, ki jo smemo kompostirati doma. (www.nature-pack.com, 2017)

2.3 Kako izdelati bioplastiko

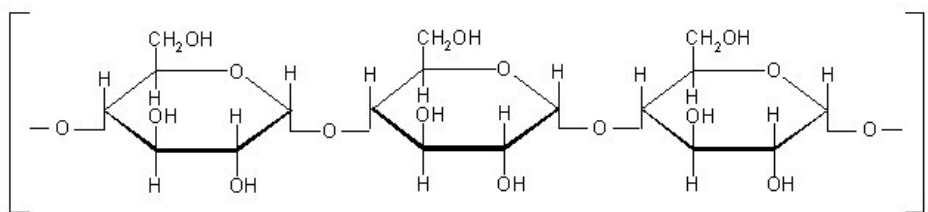
2.3.1 Škrob

Koruzni škrob, včasih imenovan kot koruzna moka, je pridobljen iz notranjosti koruznega semena. Ta bela praškasta snov se uporablja za številne kulinarične, gospodinske in industrijske namene. V kuhinji se koruzni škrob najpogosteje uporablja za zgoščevanje, glazure, juhe, pite idr. (Moncel, B., b. d.)

Škrob - kemijska formula $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ je naravni polisaharid, ogljikov hidrat, polimer sestavljen iz povezanih glukoznih enot. Škrob je sestavljen iz topne amiloze (nerazvejanih verig) in netopnega amilopektina (razvejanih verig). Amilopektina je v škrobovem zrnju več kot amiloze. Prisotnost škroba dokažemo z jodovico, ki se obarva modro. Škrob se ne topi v hladni vodi, medtem ko pri segrevanju vode na 90°C iz njega nastane škrobni klej. Tališče škroba je pri 250°C . (Škrob, 2022)

Njegova posebnost je, da se poveča, ko pride v vodo. Hkrati njegova kemična sestava in lastnosti ostanejo nespremenjene. (Koruzni škrob: uporabne lastnosti in kontraindikacije, 2022)

Največ škroba je pridobljenega iz koruze (79 %), krompirja (9 %), pšenice (7 %), riža in ječmena. Te rastline vsebujejo velike količine škroba (60–90 suhe mase). Je skoraj brez okusa. Škrob se v procesu kompostiranja hitro biološko razgradi v številnih okoljih. (Šprajcar, 2012)



Slika 6: Škrob: je polimer α D-glukoze. (Škrob, www2.arnes.si)

In kako poteka izgradnja bioplastike iz škroba? Segrevanje škroba v vodi poruši kristalno škrobnato zgradbo in oblikuje amorfni amilopektin. Za popolno želiranje je potreben presežek vode, ki uničuje vijačno strukturo (Wen s sod., 1990). Voda ima dvojno vlogo pri želiranju škroba: poruši njegovo zrnato strukturo in deluje kot plastifikator (Vilpoux, Averous, 2004). Vendar to običajno ni dovolj. Da iz škroba dobimo termoplastični material, so potrebni dodatni plastifikatorji in dodatno segrevanje. Plastifikatorji (glicerol) imajo hidrofilne lastnosti (Lourdin s sodel., 1999). Plastifikatorji so običajno nehlapne snovi, ki izboljšujejo fleksibilnost in uporabnost polimerov. Zunanji plastifikatorji vplivajo na polimerne verige, vendar niso vključeni v strukturo mreže niti vezani za polimer, tako da se pri izparevanju in ekstrakciji lahko izgubijo. Notranji plastifikatorji so sestavni del polimerne strukture oz. reagirajo s polimerom. Plastifikatorji so glicerol, urea, sorbitol, citronska kislina, glikol in aminokisline. Najpogosteje uporabljen je glicerol, saj prenese visoke temperature, je lahko dostopen in cenovno ugoden. (Ma, Yu, 2004).

2.3.2 Kis ali očetna kislina

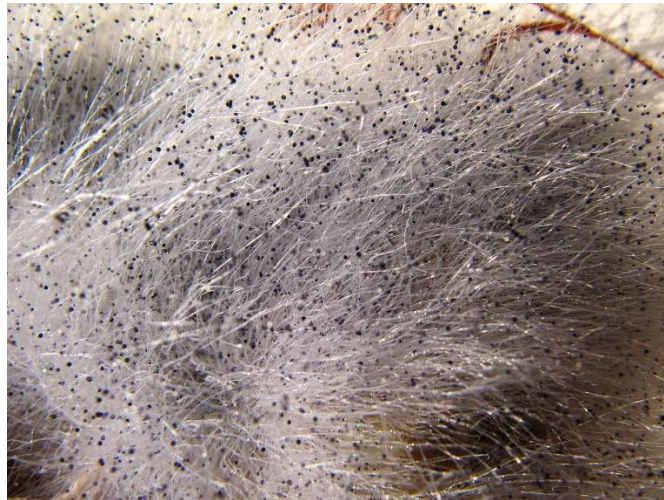
Očetna ali etanojska kislina (CH_3COOH) je organska kislina, katere soli se imenujejo acetati. Je kislá, brezbarvna čista tekočina z ostrim vonjem in vrednostjo pH pri 4,76. Njeno tališče je pri $-8,5^\circ\text{C}$, vrelišče pa pri 118°C . Ima gostoto $1,049\text{ g/cm}^3$ in je dobro topna v vodi. Poleg tega je očetna kislina tudi glavna sestavina navadnega kisa, ki vsebuje 5–15 % etanojske kisline. Očetno kislino uvrščamo med šibke kisline, a je kljub temu jedka. V industriji jo uporabljajo pri proizvodnji celuloznega acetata, predvsem za fotografske filme in lepila za les. (Etanojska kislina, 2019)

2.3.3 Glicerol

Glicerol ali glicerín ali propan-1,2,3-triol je najenostavnejši polihidroksi alkohol z dvema primarnima alkoholnima skupinama in eno sekundarno. Primarni alkoholni skupini sta bolj reaktivni od sekundarne. Uporabljajo ga v kozmetični industriji, za pripravo krem in mil, saj veže vodo. Te izdelke pa označujejo kot hidratantne. Glicerol ima višjo gostoto kot voda ($1,261\text{ g/cm}^3$), poleg tega pa ima zaradi hidroksilnih skupin uporabne topilne lastnosti, ki so podobne vodi in enostavnim alifatskim alkoholom. Je zelo viskozna tekočina, ki ima tališče je pri $18,2^\circ\text{C}$, vrelišče pa pri 290°C . Dobro se meša s etanolom, butanolom idr. Omejeno topnost ima v acetonu, dietilu in etru, medtem ko je netopen v alkoholih z dolgimi alifatskimi verigami, oljih in halogenih topilih (npr. kloroformu). (Glicerol, 2022)

2.4 Krušna plesen

Plesni so organizmi, ki jih uvrščamo med glive. Plesni ne tvorijo gob ampak manjše trosovnike. Takšnemu vidnemu miceliju, ki ga opazimo na živilih, pravimo plesen, so razkrojevalke. Micelij v okolico izloča encime, ki razgradijo organski material v enostavne sladkorje, ki jih plesen posrka v hife. Pogoste plesni, ki se razvijejo na živilih, uvrščamo v dve debli: jarmaste glive (Zygomycota) in zaprtotrosnice (Ascomycota). Od jarmastih gliv so pogosti predstavniki rodov *Mucor* (krušna plesen) in *Rhizopus* (pajčevinasta plesen), od zaprtotrosnic pa predstavniki rodov *Penicillium* (čopičasta plesen) in *Aspergillus* (glavičasta plesen). (Plesni, b. d.)



Slika 7: *Rhizopus stolonifer* (črna krušna plesen). (*Rhizopus stolonifer*, 2023).

2.5 Prednosti in slabosti bioplastike

Glavne prednosti proizvodnje plastike iz obnovljivih virov:

- manjša poraba fosilnih virov in manjši ogljični odtis – manjše emisije CO₂,
- manjša količine odpadkov, ki jih je potrebno odložiti na odlagališčih ali sežgati v sežigalnicah, s čimer se še dodatno zmanjša breme na okolje,
- je stroškovno konkurenčna, ima enak spekter lastnosti in uporabnosti kot plastika, pridobljena iz fosilnih virov.

Čeprav je biorazgradljivost bioplastike prednost, so za to potrebne naprave za industrijsko kompostiranje visokih temperatur. Žal pa ima zelo malo mest za ta proces ustrezno infrastrukturo. Zato bioplastike pogosto končajo na odlagališčih, kjer lahko primanjkuje kisika in lahko sprostijo metan, toplogredni plin, ki je za kar 23-krat »močnejši« od ogljikovega dioksida.

Zelo velika težava je, če se bioplastika ne zavrže pravilno, saj lahko kontaminira serije reciklirane plastike in poškoduje proces recikliranja. Če bioplastika kontaminira recikliran PET (polietilen), se celotna serija zavrže in tako konča na odlagališču. Zato so potrebni ločeni tokovi recikliranja, da bi lahko pravilno reciklirali tako bioplastiko kot plastiko.

Zemljišča, potrebna za proizvodnjo biobazirane/ bioosnovane plastike, tekmujejo s proizvodnjo hrane, saj lahko pridelke, ki se uporabljajo za proizvodnjo bioplastike, uporabijo tudi za prehrano ljudi. Poleg tega tudi nafta, ki se uporabljajo za kmetijske stroje, proizvaja emisije toplogrednih plinov.

Bioplasti so vseeno razmeroma dragi; PLA (poliaktična kislina) je biološko razgradljiva in ogljično nevtralna. Je lahko za 20 do 50 % dražja od primerljivih materialov zaradi kompleksnega procesa, ki se

uporablja za pretvorbo koruze ali sladkornega trsa v gradnike za PLA. Za preoblikovanje koruze v plastiko se koruzna zrna potopijo v žveplov dioksid in vročo vodo, kjer se njegove komponente razgrajujejo v škrob, beljakovine in vlakna. Jedrca se potem meljejo in koruzno olje ločimo od škroba. Škrob je sestavljen iz dolgih verig ogljikovih molekul, podobnih ogljikovim verigam v plastiki iz fosilnih goriv. Nekatere citronske kisline se zmešajo, da tvorijo dolgoverižni polimer, ki je osnova za izdelavo plastik. PLA lahko izgleda in ima lastnosti polietilena (uporablja se za plastične folije, pakiranje in steklenice), polistirena (stiropor in plastični jedilni pribor) ali polipropilena (embalaža, avtomobilski deli, tekstil). Vendar pa se cene izdelave bioplastike znižujejo, saj raziskovalci in podjetja razvijajo učinkovitejše in okolju prijaznejše strategije za proizvodnjo bioplasta.

PHA (polihidroksialkanoat) izdelujejo mikroorganizmi, včasih gensko spremenjeni, ki proizvajajo plastiko iz organskih materialov. Mikrobi so prikrajšani za hranila, kot sta dušik, kisik in fosfor, vendar imajo na voljo visoko količino ogljika. Proizvajajo PHA kot zaloge ogljika, ki jih shranjujejo v zrnih, dokler nimajo več drugih hranilnih snovi, ki jih potrebujejo za rast in razmnoževanje. Podjetja nato shranijo mikrobiološko PHA, ki ima kemijsko strukturo, podobno kot tradicionalna plastika. Ker je biološko razgradljiva in ne škoduje živemu tkivu, se PHA pogosto uporablja za medicinske izdelke in tudi za embalažo za enkratno uporabo. (Hotko, 2020)

3. EKSPERIMENTALNI DEL

Pri pisanju raziskovalne naloge sva potrebovala računalniško opremo in pametni telefon, uporabljala sva računalniške programe Microsoft Word, Microsoft OneDrive in Microsoft PowerPoint. Za srečanja sva uporabljala tudi video konference v MS Teamsih.

3.1 Raziskovalne metode/ metodologija

Pri pisanju raziskovalne naloge sva uporabila različne metode raziskovalnega dela. V uvodnem delu sva uporabila metodo dela z viri in literaturo. Večji del raziskovalne naloge je predstavljalo eksperimentalno delo. Eksperimentalno delo sva izvedla v šoli, v gospodinjski učilnici in v naravoslovni učilnici, od 17. januarja 2023 do 24. februarja 2023, pri sobni temperaturi. Po potrebi sva se h kakšnemu koraku vrnila in ga izboljšala. Uporabila sva še metodo opazovanja, v sklepnem delu pa še metodo analize in sinteze.

3.2 Material

Potrebovala sva:

- bananine olupke,
- destilirano vodo,
- cedilko,
- papirnate brisače,
- terilnico s pestilom,
- limonin sok,
- glicerol,
- kapalko,
- koruzni škrob,
- indukcijsko ploščo,
- lonec,
- leseno lopatico za mešanje,
- čajna žlička/ spatulo,
- jedilno žlico,
- čašo vode,
- kis,
- tehtnico,
- 8 x 500 mL čaš

3.3 Postopek

17. in 18. Januarja 2023 sva po navodilu naredila dve različni bioplastiki, tj. iz škroba in iz bananinih olupkov. Nato sva si zamislila eksperiment, kjer naju je zanimalo, kaj se zgodi z bioplastiko, če jo za 4 tedne pustiva:

- na zraku,
- v pitni vodi iz pipe,
- zraven plesnivega kruha,
- v kompostni vsebini.

Pri bioplastiki iz škroba sva še preizkusila, kaj se zgodi, če kis zamenjava z raztopino citronske kisline. Rezultat je bila bioplastika, ki je pri sušenju popokala na manjše kose. Le ti so bili na otip zelo gladki, plastični.

3.3.1 Bioplastika iz koruznega škroba

→ PRIPOMOČKI IN MATERIAL:

- | | |
|-------------------------------|------------------|
| - indukcijska plošča, | - koruzni škrob, |
| - lonec, | - glicerol, |
| - lesena lopatica za mešanje, | - kapalka, |
| - čajna žlička, | - kis, |
| - jedilna žlica, | - peki papir, |
| - čaša destilirane vode, | - pečica. |

→ POSTOPEK:

1. V lonec sva odmerila 1 jedilno žlico koruznega škroba, 4 jedilne žlice vode, 1 čajno žličko glicerola in 1 čajno žličko kisa. Vse sva dobro premešala z leseno kuhalnico.
2. Maso sva segrevala na srednji temperaturi in mešala. Najprej je bila v loncu mlečno bela tekočina, ki se je kmalu začela zgoščati.
3. Ko je snov postala lepljiva in skoraj prozorna, sva izključila kuhalnik in maso namazala po peki papiru.
4. Ko se je masa ohladila, sva jo sušila v pečici na 80 °C do suhega (okrog 2 uri, dokler ni bila snov prozorna).

Če želimo bioplastiko oblikovati, jo moramo, ko je masa še topla. Kasneje, ko se zmes popolnoma ohladi, težko spremenimo njeno obliko. (Kako narediti biološko razgradljivo plastiko s koruznim škrobom, b. d.)

Izdelava bioplastike nama je že enkrat spodletela, masa se je skepala, zato je nastala zelo odbijajoča žogica.

3.3.2. Bioplastika iz bananinih olupkov

→ PRIPOMOČKI IN MATERIAL:

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| - 3 bananini olupki, | - papirnate brisače, |
| - nož, | - terilnica s pestilom, |
| - deska, | - peki papir, |
| - destilirana voda, | - glicerol, |
| - indukcijska plošča, | - kapalka, |
| - lonec, | - limonin sok, |
| - lesena kuhalnica, | - pečica. |

→ PRIPRAVA BANANINIH OLUPKOV:

1. Bananine olupke sva narezala na manjše kose.
2. Narezane bananine olupke sva dala v vrelo destilirano vodo in pustila vreti približno 30 min.
3. Vodo sva odcedila, kuhane bananine olupke pa položila na papirnate brisače do drugega dne, da so se posušili.
4. Bananine olupke sva v terilnici zmela v gladko pasto.

→ SINTEZA BIOPLASTIKE IZ BANANINIH OLUPKOV:

1. V čašo sva stehtala 25 g paste iz bananinih olupkov.
2. V čašo sva dodala mL limoninega soka in 2 mL glicerola ter premešala.
3. Tanko plast nastale bioplastike sva nanese na peki papir in sušila v pečici 2 uri na temperaturi 80 °C do suhega.

Tabela 1: Postopek priprave bioplastike v sliki.

	
Slika 8: Rezanje bananinega olupka in odmerjanje destilirane vode. (Avtor: Matevž Bračič, 2023)	Slika 9: Kuhanje bananinih olupkov v destilirani vodi. (Avtor: Matevž Bračič, 2023)
	
Slika 10: Kuhanje bioplastike iz škroba. (Avtor: Matevž Bračič, 2023)	Slika 11: Priprava bioplastike iz bananinih olupkov. (Avtor: Matevž Bračič, 2023)
	
Slika 12: Sušenje bioplastike v pečici. (Avtor: Matevž Bračič, 2023)	

3.3.3. Eksperiment – preizkus biorazgradnje bioplastike

Stehtala sva 4-krat po 8 g bioplastike iz koruznega škroba. Bioplastiko iz bananinih olupkov sva razdelila na 4 enake dele, tj. stehtala sva 4-krat po 4 g bioplastike iz bananinih olupkov.

Pripravila sva si 6 čaš, 2 kosa alu folije in 2 zip-lock vrečki. Po en kos bioplastike sva:

- dala v čašo napolnjeno z zrakom (kontrola),
- dala v čašo napolnjeno z 200 mL pitne vode iz pipe,
- dala v v zip lock vrečko zraven 20 g plesnivega kruha. Dva tedna prej sva z vodo zmočila 2 rezini polbelega kruha in ga zavila v alu folijo, da je splesnel. Pri delu s plesnijo sva nosila rokavice in masko za obraz.
- zmočila z vodo, jo dala v čašo in napolnila z 200 g mokre kompostne vsebine iz šolskega vrta. Čašo sva pokrila z alu folijo.

Poskus sva nastavila 27. 1. 2023, na pladnju v kabinetu učilnice za naravoslovje, pri sobni temperaturi. Opazovala sva ga 4 tedne, do 24. 2. 2023.

Tabela 2: Postopek eksperimenta preizkusa biorazgradnje bioplastike v sliki.

	
Slika 13: Tehtanje bioplastike iz bananinih olupkov. (Avtor: Kristijan Loboda, 2023)	Slika 14: Tehtanje bioplastike iz škroba. (Avtor: Kristijan Loboda, 2023)
	
Slika 15: Stehtana bioplastika. (Avtor: Kristijan Loboda, 2023)	



Slika 16: Bioplastika iz škroba na zraku, v vodi, na plesni in v kompostu.
(Avtor: Kristijan Loboda, 2023)



Slika 17: Bioplastika iz bananinih olupkov na zraku, v vodi, na plesni in v kompostu.
(Avtor: Kristijan Loboda, 2023)



Slika 18: Bioplastika iz škroba na plesni.
(Avtor: Kristijan Loboda, 2023)



Slika 19: Bioplastika iz bananinih olupkov na plesni. (Avtor: Kristijan Loboda, 2023)



Slika 20: Nastavljen poskus preizkusa biorazgradnje bioplastike. (Avtor: Kristijan Loboda, 2023)

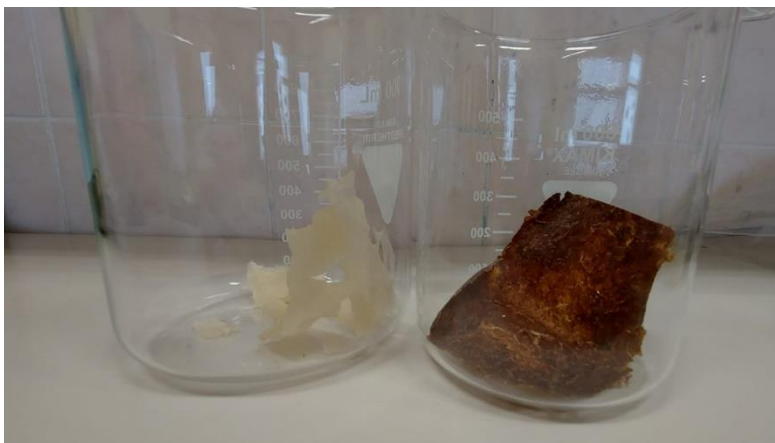


Slika 21: Fotografija bioplastike v različnih snoveh. (Avtor: Kristijan Loboda, 2023)

4. REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 Rezultati eksperimenta

Poizkus sva nastavila 27. januarja 2023 in pregledala 24. februarja 2023.



Slika 22: Bioplastika iz škroba (levo) in bioplastika iz bananinih olupkov (desno) na zraku.
(Avtor: Kristijan Loboda, 2023)

Bioplastika iz škroba in bananinih olupkov, ki sva jo pustila v čaši, tj. na zraku, je nespremenjena, mogoče nekoliko trša na otip. Imela je vlogo kontrole.

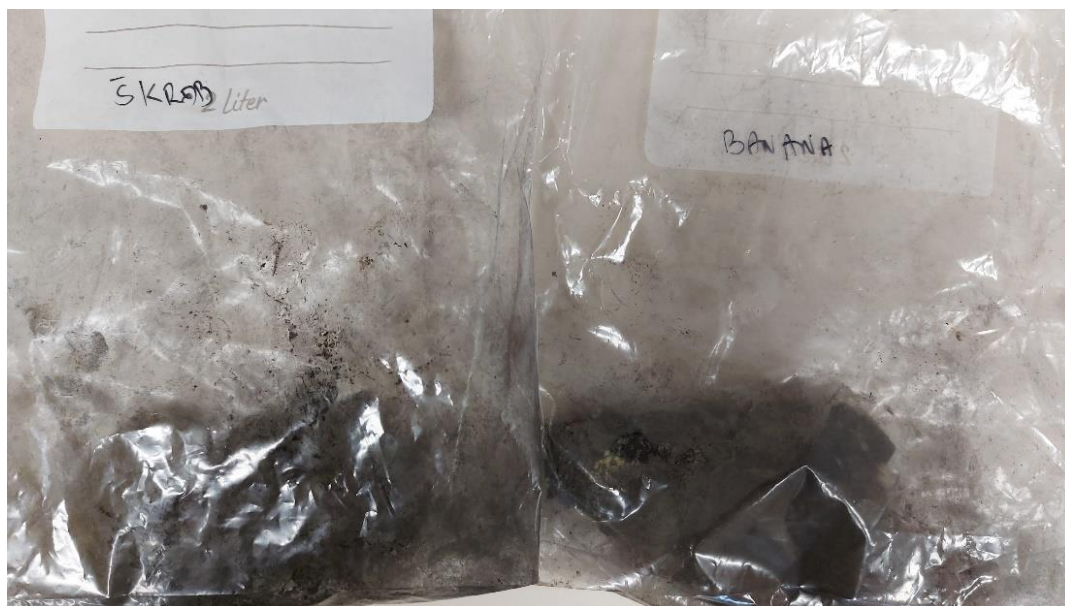


Slika 23: Bioplastika iz škroba (levo) in bioplastika iz bananinih olupkov (desno) v vodi.
(Avtor: Matevž Bračič, 2023)



Slika 24: Bioplastika iz škroba (levo) in bioplastika iz bananinih olupkov (desno) v vodi po mešanju. (Avtor: Matevž Bračič, 2023)

Pri bioplastiki v vodi je voda skoraj izhlapela iz čaše. Na vrhu vidna drobna sivo zelenkasta plesen. Ko pomešamo bioplastiko v vodi, se ta iz škroba drobi in je zelo mehka, nabrekla. Bioplastika iz bananinih olupkov je bila nekoliko bolj čvrsta, se je zmehčala ampak se ni zdrobila v koščke.



Slika 25: Bioplastika na plesnivem kruhu v zip lock vrečki. (Avtor: Matevž Bračič, 2023)



Slika 26: Razkroj bioplastike iz škroba s plesnijo. (Avtor: Matevž Bračič, 2023)



Slika 27: Razkroj bioplastike iz bananinih olupkov s plesnijo. (Avtor: Matevž Bračič, 2023)

Že 6. februarja 2023 sva na bioplastiki, ki je bila na plesnivem kruhu, opazila obilno črno plesen. Masa bioplastike iz koruznega škroba se je povečala iz 8 gramov na 11,1 gramov. Masa bioplastike iz bananinih olupkov pa se je povečala iz 4 gramov na 5,2 grama. Zakaj? Ker sva bioplastiko preden sva jo dala na plesniv kruh, namočila v vodi. Domnevala sva, da suhe bioplastike plesen ne more razkrojiti, kar drži. Čez bioplastiko se je razrasla plesen, jo prekrila in začela razkrajati.



Slika 28: Kompostna vsebina, ki je vsebovala bioplastiko iz škroba.

(Avtor: Matevž Bračič, 2023)



Slika 29: Kompostna vsebina, ki je vsebovala bioplastiko iz bananinih olupkov.

(Avtor: Matevž Bračič, 2023)

V kompostu nisva našla več nobene bioplastike. Videla sva žive živali, deževnike, mokrice, ličinke idr., ki jih najdemo tudi sicer v kompostu. Kompost je bil vlažen, temno rjave, skoraj črne barve. Videlo se nekaj delno razkrojenega biološkega materiala (odpadlo listje, iglice). Po zraku se je širil močan vonj po kompostu oz. razkroju.

4.2 Razprava

Iz teorije sva ugotovila kako izdelati bioplastiko. Bioplastiko lahko izdelamo iz obnovljivih virov, iz fosilnih virov in iz mešanice obnovljivih in fosilnih virov. Za bioplastiko iz obnovljivih virov uporabljajo koruzo, krompir, sladkorni trs, olja, les, slamo in drugo. Pri tej bioplastiki je osnova polimer, škrob ali celuloza ali lignin ali mlečna kislina. Bioplastiki še ponavadi dodajo glicerol in ocatno kislino, ki pod vplivom toplote polimer spremenita v bioplastiko.

Pri 1. raziskovalnem vprašanju naju je zanimalo: Iz katerega materiala lahko sama izdelava bioplastiko?

V šoli sva se naučila izdelati bioplastiko iz bananinih olupkov in koruznega škroba. V obeh primerih je bil osnova škrob v vodi, ki smo ga segrevali. Škrob je želiral, dodala sva mu še plastifikator, tj. glicerol, ki je hidrofilen in ocatno kislino. S tem se je izboljšala fleksibilnost in uporabnost bioplastičnega polimera.

Namesto bananinih olupkov bi lahko vzela olupke od krompirja, jabolk. Na spletu sva našla še postopek za izdelavo bioplastike iz mleka. Gre za proces polimerizacije podobno kot pri pravi plastiki, izdelani iz nafte. Če mleku dodamo kis, le to koagulira (nastanejo bele grudice). Gre za kemijsko reakcijo med ocatno kislino v kislu in beljakovinami v mleku. Mleko se loči na trdno snov (kazein) in tekočino (sirotko).

Postavila sva hipotezo: Sama lahko izdelava bioplastiko iz škroba in organskih ostankov (bananinih olupkov). **Hipotezo sva potrdila.**

Pri 2. raziskovalnem vprašanju naju je zanimalo: Ali je doma narejena bioplastika tudi biorazgradljiva?

Iz virov sva ugotovila, da ni nujno, da je bioplastika tudi biorazgradljiva. Ločimo bioplastiko, ki je zgrajena iz obnovljivih virov a je na prvi stopnji nerazgradljiva (biopolier, celulozni acetat). Obstaja tudi bioplastika, ki je iz neobnovljivih fosilnih virov. To je kopolier, ki je razgradljiv palikaprolakton. Biorazgradljiva in bioosnovana plastika, ki jo priporoča, je na osnovi mlečne kisline, škroba in polihidroksi kisline. Biorazgradljiva bioplastika se v procesu aerobne razgradnje (hladno kompostiranje) s pomočjo aerobnih mikroorganizmov pretvori v CO₂, vodo in kompost.

Postavila sva si hipotezo: Bioplastika iz škroba in bananinih olupkov je biorazgradljiva.

Z eksperimentom sva dokazala, da je bioplastika iz škroba (koruznega škroba, bananinih olupkov) biorazgradljiva. **Hipotezo sva potrdila.**

Pri 3. raziskovalnem vprašanju naju je zanimalo: Kako voda, plesen in kompostiranje bioplastike vpliva na čas razgradnje bioplastike?

Iz poskusa, ki sva ga nastavila, se je bioplastika, ki je bioosnovana na osnovi škroba, najhitreje razgradila v kompostu (v 28 dneh), ki je nastal s hladnim kompostiranjem. Pri kompostiranju bioplastika zaradi mikroorganizmov in emcinov razpade na ogljikov dioksid, vodo in biomaso (izločki živali). Da so živali lahko kompostirale bioplastiko, je bila čaša na sobni temperaturi in sva jo pokrila s folijo, da voda ni izhlapela. Torej to pomeni, da so se v takšnem kompostu živali kot so stroge, stonoge, strige, pajki, hrošči, krogličarke, železne kašice, mokrice, pršice, ličinke, stenice, glive, deževniki in bakterije, hranile z bioplastiko in jo spremenile v humus, CO₂ in vodo. Obe vrsti bioplastike sta se razgradili, čeprav sva uporabila 8 g bioplastike iz škroba in samo 4 g bioplastike iz bananinih olupkov.

Bioplastika iz škroba, ki je bila v vodi, je nabrekli, se zmečkala a se v enem mesecu ni razgradila. Prav tako se je zmečkala bioplastika iz bananinih olupkov, ampak se ni razgradila.

Postavila sva si hipotezo: Meniva, da se bo bioplastika v kompostu najhitreje razgradila, saj bodo na razkrojanje vplivale različne živali v zemlji in vlaga. **Hipotezo sva potrdila.**

Domnevala sva, da bo krušna plesen razgradila tudi bioplastiko iz škroba. Pri bioplastiki, ki sva jo dala na plesniv kruh, se je razmnožila krušna plesen. To brez vlage, ki jo je zadrževala plastična vrečka, ne bi bilo možno. Domnevala sva, da tako kot se krušna plesen hrani s škrobom v kruhu, se bo hranila tudi s škrobom v bioplastiki. Ugotovila sva, da krušna plesen razkroja bioplastiko, vendar počasneje. Micelij v okolico izloča encime, ki razgradijo organski material v enostavne sladkorje, ki pa jih plesen posrka v hife. Krušna plesen se uspešno razmnožuje. Če bi bil poskus nastavljen dlje, bi verjetno ugotovila, da bi se razgradila tudi bioplastika s plesnijo, ker so glive plesnivke tudi razkrojevalke. V vodi pa razkrojevalk ni. Krušna plesen verjetno bo razgradila bioplastiko iz škroba, a bo za razgradnjo potrebovala več časa, zato bova poskus pustila in opazovala naprej. **Zato sva to hipotezo delno potrdila.**

Raziskovalci so po naključju ustvarili encim PETaza, ki razgrajuje plastiko. Encim PETaza je po kemični zgradbi zelo podoben encimu kutinaza, ki ga je mogoče najti v nekaterih glivah in bakterijah. Mutirani encim je še učinkovitejši pri razgradnji PET plastike. Radi bi izboljšali mutirani encim, da bo razgrajeval industrijsko plastiko. Pa vendar se poraja strah, kako bo encim vedel katero plastiko naj razgradi in katero naj pusti. Saj se verjetno prenaša preko živega organizma in bi lahko prešel (npr.) na novi avto in bi ti plastični del razpadel. Po drugi strani se vsako minuto proda milijon plasten, reciklira pa se jih le 14 %. (A. P. J., 2018).

Poznamo tudi gensko spremenjene mikroorganizme, ki proizvajajo PHA (polihidroksialkanoat), plastiko iz organskih materialov. Mikrobi imajo na voljo visoko količino ogljika. Proizvajajo PHA kot zaloge ogljika, ki jih shranjujejo v zrnih, dokler nimajo več drugih hranilnih snovi, ki jih potrebujejo za rast in razmnoževanje. PHA je biološko razgradljiva in ne škoduje živemu tkivu, zato se pogosto uporablja za medicinske izdelke in tudi za embalažo za enkratno uporabo. (Hotko, 2020)

Prav gotovo je bioosnovana in biorazgradljiva bioplastika boljša izbira v primerjavi z umetnimi polimeri iz fosilnih goriv. Je bolj trajnostno naravnana. Prednosti so manjše emisije CO₂ (manjši ogljični odtis), ki jih ni treba kuriti v sežigalnicah in onesnaževati zraka. Stroški proizvodnje so primerljivi stroškom pri proizvodnji umetnih polimerov iz nafte. Res pa je, da bi bilo potrebno pridelati veliko škroba, ki pa je sicer namenjen prehrani ljudi in živali. Zemljišča, potrebna za proizvodnjo bioosnovane plastike, tekmujejo s proizvodnjo hrane. Tudi nafta, ki jo uporabljajo za kmetijske stroje, proizvaja emisije toplogrednih plinov.

Presenečena sva bila, da se je bioosnovana in biorazgradljiva plastika na osnovi škroba pri hladnem kompostiranju povsem razgradila že v 4 tednih. Verjetno bi bil čas razgradnje pri vročem kompostiranju še hitrejši. Zato bi potrebovali takšna smetišča, ki bi uspele razgraditi velike količine bioplastike. Bioplastika pogosto konča na odlagališčih, kjer lahko primanjkuje kisika in lahko se sprosti metan, toplogredni plin, ki je za kar 23-krat »močnejši« od ogljikovega dioksida. Tega gotovo ne želimo, zato bi ga bilo potrebno zbirati. Potrebni so ločeni tokovi recikliranja, da bi lahko pravilno reciklirali tako bioplastiko kot plastiko.

5. ZAKLJUČEK

Najin namen je bil raziskati, kako narediti bioplastiko doma. Zanimalo naju je, koliko časa bioplastika potrebuje, da se razgradi v zemlji oz. kompostu, v vodi in s pomočjo plesni – če sploh. Pri raziskovanju sva prišla do zanimivih rezultatov in ugotovitev.

Zastavila sva si naslednje hipoteze:

- **Prva:** Sama lahko izdelava bioplastiko iz škroba in organskih ostankov (bananinih olupkov). **Hipotezo sva potrdila.**
- **Druga:** Bioplastika iz škroba in bananinih olupkov je biorazgradljiva. **Hipotezo sva potrdila.**
- **Tretja:** Meniva, da se bo bioplastika v kompostu najhitreje razgradila, saj bodo na razkrajanje vplivale različne živali v zemlji in vlaga. **Hipoteza sva potrdila.**

Trditev: Krušna plesen bo razgradila tudi bioplastiko iz škroba. **Hipotezo sva delno potrdila.**

Ugotovila sva, da se bioplastika v kompostu pod vplivom različnih živali, mikroorganizmov, gliv in vlage razgradi v roku enega meseca. Krušna plesen je tudi začela razgrajevati bioplastiko. Če bi poskus pustila dlje, bi krušna plesen verjetno bioplastiko tudi razgradila.

Pri nastajanju raziskovalne naloge sva se veliko naučila. Na podlagi celotnega poskusa sva ugotovila, da bioplastika pri razgrajevanju lahko vpliva na okolje. Pri razgradnji pomagajo različni dejavniki (vlaga, toplota) in živa bitja, kot so živali (deževniki, stroge, stonoge, strige, pajki, hrošči, krogličarke) in mikroorganizmi, kot so glive in bakterije. Naučila sva se, da ni vsa bioplastika tudi biorazgradljiva. Biosnovana bioplastika je biorazgradljiva.

Raziskavo bi lahko izboljšala tako, da bi eksperiment imela nastavljen več časa (od pol leta do enega leta). Tako bi lahko ugotovila koliko časa krušna plesen razkaja bioplastiko iz škroba. Krušna plesen je učinkovita, vendar glive nimajo zob, ustnih aparatov kot živali v kompostu, da bi zgrizle bioplastiko na manjše kose.

Lahko bi izdelala uporaben izdelek iz domače bioplastike, (npr. obeske za na jelko). Dodala bi lahko poizkus z vročim kompostiranjem.

S svojo nalogo lahko ozavešča ljudi, da bi lahko delali bioplastiko sami doma. Kako pri prebivalcih Laporja in okolice doseči, da bi pri kupovanju izdelkov raje posegali po bioosnovani bioplastiki? Le-ta ima znak, da jo lahko kompostiramo. S tem bi lahko prebivalci na podeželju, ki imajo kompostnik doma, zmanjšali količino odpadkov in s tem tudi položnico za odvoz smeti.

Sedaj, ko razmišljava, kaj bi pri raziskovalni nalogi lahko spremenila, se nama porajajo novi predlogi. Več časa bi raziskovala, koliko časa se bioplastika razgrkaja s krušno plesnijo in v vodi. Prebrala sva, da se mora bioplastika pri vročem kompostiranju razgraditi v roku treh mesecev. Pri najinem poskusu sva ugotovila, da se bioplastika pri hladnem načinu kompostiranja razgradi v enem mesecu, kar je hitreje, zato priporočava hladno kompostiranje bioplastike. Dobro bi bilo, da jo narežemo na kose. Pri tem nastane humus, voda in ogljikov dioksid, ki ga rastline potrebujejo za fotosintezo. Pri vročem kompostiranju nastanejo metan, ogljikov dioksid, vodik in divodikov sulfid, ki so toplogredni plini in nekateri povzročajo kisli dež.

Lahko bi raziskala katera vrsta gliv/plesni je bolj učinkovita pri razkrajanju bioplastike.

Ali hranjenje razkrojevalcev z bioplastiko pri razkrojevalcih vpliva na razmnoževanje živali?

6. VIRI IN LITERATURA

- A. P. J. (22. april 2018). (MMC RTV Slovenija(ISSN 1581-372X) I 1995 – 2023). Plastična vrečka, ki jo potrebujemo le nekaj minut, razpada stoletja. Pridobljeno 4. januar 2023 s <https://www.rtvlo.si/okolje/onesnazevanje/plasticna-vrecka-ki-jo-potrebujemo-le-nekaj-minut-razpada-stoletja/452724>
- A. P. J. (17. april 2018). (MMC RTV Slovenija(ISSN 1581-372X) I 1995 – 2023). Znanstveniki po naključju ustvarili encim, ki razgrajuje plastenke. Pridobljeno 5. marec 2023 s <https://www.rtvlo.si/okolje/onesnazevanje/znanstveniki-po-nakljucju-ustvarili-encim-ki-razgrajuje-plastenke/452193>.
- Bioplastika – održivaplastikahrvarska. (b. d.) PlasticeCentral Europe, European Union, European regional development fund. Na Nacionalna informacijska točka projekta PLASTiCE i Globalna mreža održive plastike. Pridobljeno 2. 1. 2023 s <https://sites.google.com/site/odrzivaplastikahrvarska/bioplastics>.
- Etanojska kislina. (2019). Na Wiki-eAnswers.net. Pridobljeno 2. 12. 2022 na https://www.eanswers.net/wiki/sl/Etanojska_kislina/.
- Glicerol. (2022). Na Wikipedija, prosta enciklopedija. Pridobljeno 2. 12. 2022 s <https://sl.wikipedia.org/wiki/Glicerol>.
- Hotko, I., (5. decembra 2020). Iskreno o embalaži iz bioplastike [objava v spletnem dnevniku]. Pridobljeno 5. 3. 2023 s <https://knof.si/blog/2020/12/05/iskreno-o-embalazi-iz-bioplastike/>.
- Kako narediti biološko razgradljivo plastiko s koruznim škrobom. (b. d.). Na Green-Ecolog.com. Pridobljeno 2. 12. 2022 s <https://sl.green-ecolog.com/15337742-how-to-make-biodegradable-plastic-with-cornstarch>.
- Koruzni škrob: uporabne lastnosti in kontraindikacije. (2022) Na ifood-sl.womanexpertus.com. Pridobljeno 2. 12. 2022 s <https://ifood-sl.womanexpertus.com/kukuruznyj-krahmal-polza-i-vred-dlja-organizma/#chto-takoe-kukuruznyj-krahmal-i-kak-ego-poluchayut>.
- Lourdin, D., Della Valle, G. and Colona, P. (1995). Influence of amylose content on starch films and foams. Carbohydrate Polymers. Barking 27, str. 261-270.
- Ma, X. F., Yu, J. G. (2004). The effects of plasticizers containing amide groups on the properties of thermoplastic starch. Szarch-Starke. 56 (11), str. 545-551.
- Moncel, B. (b. d.). Kaj je koruzni škrob?[objava v spletnem dnevniku] Pridobljeno 2. 2. 2023 s <https://sl.hiloved.com/kaj-je-koruzni-skrob/>.
- Nuša. (20. februar 2021). Razgradnja odpadkov na odlagališčih. [objava v spletne dnevniku]. Pridobljeno 2. december 2022 s <https://www.dingdong.si/blog/zapis/razgradnja-odpadkov-na-odlagaliscih>
- Oznaka certifikacijske organizacije Vincotte, ki označuje bioplastiko, ki jo smemo kompostirati doma. (2023). Vincotte Certifications Purchased by TÜV AUSTRIA Group. Na Nature-Pack, Made from renewable plant starches. Pridobljeno 2. 2. 2023 s <https://www.nature-pack.com/vincotte-certifications-purchased-by-tu%CC%88v-austria-group/>.

- Plesni. (b. d.). Na kresnickadmfa.si. Pridobljeno 3. 2. 2023 s <http://www.kresnickadmfa.si/arhiv/6-in-7-razred/fotografije-plesni/>.
- Rajh, E., (7. april 2017). Vsaka medalja ima dve plati – miti o bioplastiki. Pridobljeno 2. 12. 2022 s Ekologi brez meja.si: <https://ebm.si/prispevki/vsaka-medalja-ima-dve-plati-miti-o-bioplastiki>.
- Rhizopus stolonifer. (2023). Na Wikipedia, The Free Encyclopedia. Pridobljeno 3. 3. 2023 s https://en.wikipedia.org/wiki/Rhizopus_stolonifer.
- Sajovic, I., Wissaik Grm, K., Godec, A., Kralj, B., Smrdu, A., Vrtačnik, M., & Glažar, S. (2014). KEMIJA 8 i-učbenik za kemijo v 8. razredu osnovne šole. (B. Zmazek, Ured.) Ljubljana, Ljubljana, Slovenija. Pridobljeno 18. december 2022 iz <https://eucbeniki.sio.si/kemija8/2119/index.html>
- Smrdu, A. (2013). Od molekule do makromolekule. Učbenik za kemijo v 9. razredu osnovne šole (2. izdaja). Ljubljana: Jutro.
- Škrob. (16. marec 2022). Na Wikipedija. Pridobljeno 2. 12. 2022 s <https://sl.wikipedia.org/wiki/%C5%A0krob>.
- Škrob: je polimer α D-glukoze. Pridobljeno iz Ogljikovi hidrati, Polisaharidi, www2.arnes.si. Pridobljeno 2. 12. 2022 s <http://www2.arnes.si/~sspzkola/ogp.htm>.
- Šprajcar, M., Horvat, P., Kržan, A. (2012). Biopolimeri in bioplastika: plastika skladna z naravo [Informacijsko – izobraževalno gradivo za profesorje in laborante kemije na osnovnih in srednjih šolah]. Ljubljana. Kemijski inštitut. Pridobljeno 2. december 2022 s https://konopko.si/files/file/Bioplastika-skladna-z-naravo_gradivo-za-sole.pdf
- Wen, L.F., Rodis P., Wasserman, B. P. (1990). Starch Fragmentation and Protein Insolubilization during Twin-Screw Extrusion of Corn Meal. V *Cereal Chemistry* 67 (3), str. 268-275.
- Vilpoux, O., Averous, L. (2004). Starch-based plastics. Saolo Paolo, Brazil: *NGO Raizes and Cargill Foundation*, str. 521-553.