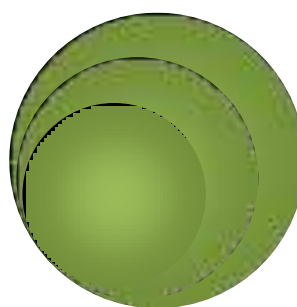
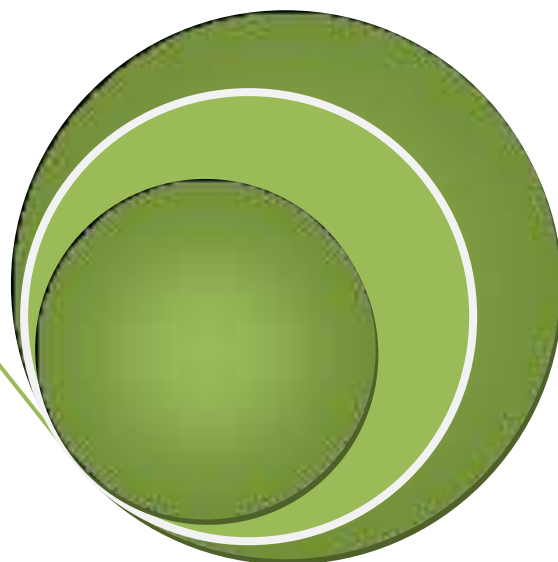


I. GIMNAZIJA V CELJU



# PREVERJENJE BIORAZGRADLJIVOSTI BIOPLASTIKE

Ekologija z varstvom okolja

**Avtorja:**

Blaž Kešpert, 3. h  
Pia Klančar, 3. h

**Mentorica:**

Mojca Plevnik-Žnidarec,  
univ. dipl. ing. kem. teh.

Celje, 2013



## KAZALO

POVZETEK .....	3
1 UVOD .....	4
2 NAMEN IN CILJI RAZISKOVALNEGA DELA .....	6
2.1 Metode dela .....	7
3 TEORETIČNI DEL.....	8
3.1 Opazovani parametri.....	10
3.1.1 Temperatura .....	10
3.1.2 Tipi prsti .....	10
3.1.3 Bioplastika.....	11
4 EKSPERIMENTALNO DELO.....	12
5 REZULTATI.....	15
5.1 Mesto opazovanja: Hladilnik, T=8 °C.....	15
5.2 Mesto opazovanja: laboratorij, T=23 °C .....	22
5.3 Mesto opazovanja: Skladišče, T=15 °C.....	29
6 ZAKLJUČEK.....	38
7 LITERATURA.....	40

## KAZALO SLIK

Slika 1: Bioplastika iz izoliranega in tehničnega škroba (foto: Pia Klančar, 2012).....	5
Slika 2: Razgradnja plastike in bioplastike <sup>9</sup> .....	7
Slika 3: Kroženje snovi .....	9
Slika 4: Biorazgradljivost <sup>9</sup> .....	9
Slika 5: Uporabljeni kupljeni substrati.....	10
Slika 6: Sestavine za izdelavo bioplastike in izdelana bioplastika, (foto: Pia Klančar, 2012). 11	
Slika 7: Vzorci prsti (foto: Pia Klančar, 2013).....	12
Slika 8: Vzorci prsti (foto: Pia Klančar, 2013).....	13
Slika 9: Nastavitev eksperimenta (foto: Mojca Plevnik Žnidarec, 2012) .....	14
Slika 10: Vzorec biorazgrajene bioplastike (foto: Pia Klančar, 2013).....	36
Slika 11: Razgradnja bioplastike (foto: Pia Klančar, 2013).....	37

## KAZALO GRAFOV

Graf 1: Čas razgradnje bioplastike v odvisnosti od temperature v biopostu .....	36
Graf 2: Čas razgradnje bioplastike v odvisnosti od vrste škroba v biopostu .....	36

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Vrste uporabljenih substratov in njihove lastnosti .....	11
Tabela 2: Opazovanje bioplastike v hladilniku, 11. 12. 2012 .....	15
Tabela 3: Opazovanje bioplastike v hladilniku, 23. 12. 2013 .....	16
Tabela 4: Opazovanje bioplastike v hladilniku, 2. 1. 2013 .....	17
Tabela 5: Opazovanje bioplastike v hladilniku, 12. 1. 2013 .....	18
Tabela 6: Opazovanje bioplastike v hladilniku, 24. 1. 2013 .....	19
Tabela 7: Opazovanje bioplastike v hladilniku, 7. 2. 2013 .....	20
Tabela 8: Opazovanje bioplastike v hladilniku, 14. 2. 2013 .....	21
Tabela 9: Opazovanje bioplastike v laboratoriju, 11. 12. 2012.....	22
Tabela 10: Opazovanje bioplastike v laboratoriju, 23. 12. 2012.....	23
Tabela 11: Opazovanje bioplastike v laboratoriju, 2. 1. 2013.....	24
Tabela 12: Opazovanje bioplastike v laboratoriju, 12. 1. 2013.....	25
Tabela 13: Opazovanje bioplastike v laboratoriju, 24. 1. 2013.....	26
Tabela 14: Opazovanje bioplastike v laboratoriju, 7. 2. 2013.....	27
Tabela 15: Opazovanje bioplastike v laboratoriju, 24. 2. 2013.....	28
Tabela 16: Opazovanje bioplastike v skladišču, 11. 12. 2012 .....	29
Tabela 17: Opazovanje bioplastike v skladišču, 24. 1. 2012 .....	30
Tabela 18: Opazovanje bioplastike v skladišču, 2. 1. 2013 .....	31
Tabela 19: Opazovanje bioplastike v skladišču, 12. 1. 2013 .....	32
Tabela 20: Opazovanje bioplastike v skladišču, 24. 1. 2013 .....	33
Tabela 21: Opazovanje bioplastike v skladišču, 7. 2. 2013 .....	34
Tabela 22: Opazovanje bioplastike v skladišču, 14. 2. 2013 .....	35

## **POVZETEK**

Plastični materiali so v glavnem umetni polimeri - makromolekule, ki jih označujejo visoke molske mase. Plastika je zaradi številnih dodatkov zelo obstojna, tovrstni odpadki pa se ravno zaradi tega ne morejo vključiti v naravne tokokroge in predstavljajo veliko okoljsko breme. Po mnenju strokovnjakov ključno alternativo predstavljajo biorazgradljivi polimeri. Pri razvoju le-teh naj bi bilo v večini pristopov vodilo zgledovanje po naravnih procesih. Biorazgradljivost pomeni, da se neka snov v naravi popolnoma razgradi in pri tem ne pušča negativnih okoljskih posledic. Takšna naj bi bila tudi bioplastika, ki smo jo izdelali in predstavili v naši lanski raziskovalni nalogi. V zaključku naloge smo napovedali nadaljnje raziskovanje, saj nas je zanimalo, kako je z biorazgradljivostjo naše laboratorijsko izdelane bioplastike. To je bil torej izziv za novo raziskovalno delo. Preučevali smo ali je na tem področju že kaj narejenega. Eksperiment smo nastavili v različnih temperaturnih okoljih, da bi ugotovili vpliv temperature na hitrost biorazgrajevanja. Prav tako nas je zanimalo, kako vpliva vrsta substrata s svojimi specifičnimi lastnostmi, kot so pH-vrednost, zračnost, sposobnost zadrževanja vlage, na biorazgradljivost bioplastike. Pri raziskovanju smo uporabili vzorce bioplastik, ki smo jih izdelali iz rastlinskega oziroma tehničnega škroba. Dobljeni rezultati dejansko potrjujejo popolno biorazgradljivost naših vzorcev.

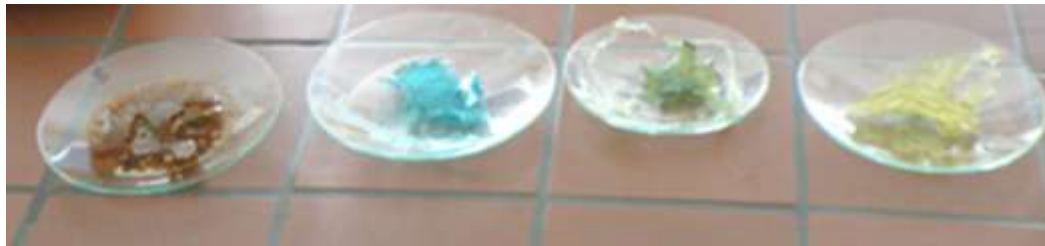
# 1 UVOD

Leta 2010 je bilo na svetu proizvedenih 265 milijonov ton plastike, od tega 57 milijonov v Evropi. 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 veča 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 narašča 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 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.<sup>9</sup>

Ti materiali so novejši, pogosto enostavnejši in predvsem prijazni do okolja. Le-ti imajo zaradi slabše raziskanosti tega področja, pomanjkanja velikih proizvodnih obratov, slabše mehanske lastnosti od konvencionalne plastike, njihova proizvodnja pa je nekajkrat dražja. Pri bioplastiki, osnovani na škrobu, se je potrebno vprašati ali je pridelava kulturnih rastlin za plastiko, namesto za hrano smiselna oz. ali trenutna pridelava hrane zadostuje potrebam naraščajočega svetovnega prebivalstva. Proizvodne zmogljivosti bioplastike 300.000 ton letno<sup>2</sup> so trenutno še zelo skromne v primerjavi s prej omenjenimi 250–300.000 tonami plastike iz naftnih derivatov. Trenutno med izdelki iz bioplastike prevladujejo le biovrečke ali embalaže iz bioplastike, ki so namenjene transportu ali pa biološkemu pakiranju hrane. Vendar bi z okoljskim ozaveščanjem svetovnega prebivalstva in povečanjem interesa za proizvodnjo v bližnji prihodnosti ta novi, okolju prijazen material, lahko zamenjal vsaj del običajne plastike in tako pomagal našemu planetu, da se regenerira.<sup>4</sup>

Vse te informacije so nas spodbudile za nadaljevanje raziskave, ki smo jo pričeli v lanskem šolskem letu: »Kako izdelati bioplastiko?«. <sup>10</sup>

Zanimalo nas je, kako se tovrstna bioplastika razgradi v različnih tipih prsti, pod različnimi pogoji. Kako in v kolikšnem času se razgradi? Ali je res okolju prijazna? Katera od uporabljenih prsti je najprimernejša? Kakšna bioplastika je vsestransko najboljša?



Slika 1: Bioplastika iz izoliranega in tehničnega škroba (foto: Pia Klančar,2012)

## 2 NAMEN IN CILJI RAZISKOVALNEGA DELA

Današnja potrošniška družba, porabi ogromne količine plastičnih izdelkov, ki imajo pri uporabi v vsakdanjem življenju številne prednosti. Žal pa se vsi vse premalo zavedamo, kaj poraba tovrstnih materialov predstavlja s strani kopičenja nerazgradljivih, plastičnih odpadkov in njihovega negativnega vpliva na okolje. Mi smo se, kot ekološko ozaveščeni raziskovalci, začeli spraševati ali obstaja alternativa trenutnemu stanju, ki vodi, če že ne v propad, pa vsaj v slabšo kvaliteto življenja na tem planetu. Že lani smo temeljito raziskali to temo. Raziskali smo kako izdelati bioplastiko, katere osnova je škrob in smo jo sami tudi uspešno naredili. Preverili smo njene mehanske lastnosti, čas nastajanja ter ceno proizvodnje. Letos smo se v to področje še bolj poglobili in želeli glede na vhodne surovine, preveriti kako je z biorazgradljivostjo bioplastike v različnih vrstah prsti. Želeli smo narediti simulacijo razpadanja bioplastike v naravi in preučevati mehanizme razpadanja. Zanimali so nas časi razpadanja bioplastike, smiselnost njenega kompostiranja, odvisnost hitrosti razpadanja od temperature ter vpliv vrste prsti na hitrost razgrajevanja. Povzamemo lahko, da smo iskali najbolj optimalne pogoje, za najhitrejšo razgradnjo in želeli dokazati, da je bioplastika zelo perspektiven material s kratkim časom razgradnje, ki na okolju ne pušča nobenih škodljivih posledic.

Pri raziskovanju smo si zastavili naslednja **raziskovalna vprašanja**:

- Ali obstaja literatura, s katero bi pridobili ustrezne informacije in znanja, ki so potrebna za izvedbo eksperimenta?
- Kako bo temperatura vplivala na hitrost razgradnje bioplastike?
- Kako bodo različne vrste prsti vplivale na proces razpadanja bioplastike?
- Kakšna bo razlika med razpadanjem bioplastike (barvane in nebarvane) iz kupljenega škroba oziroma iz izoliranega škroba?

Na osnovi raziskovalnih vprašanj, smo lahko postavili **šest hipotez**:

- ❓ Predvidevali smo, da obstajajo že narejene raziskave na tem področju, ki jih bomo lahko črpali kot vir za naše raziskovalno delo.
- ❓ Z veliko verjetnostjo smo pričakovali, da bodo pri različnih vrstah prsti mehanizmi in časi razpadanja bioplastik različni.

- ? Predvidevali smo, da bo pri višji temperaturi čas razpadanja krajši, kot pri nižji temperaturi.
- ? Sklepali smo, da bo bioplastika iz izoliranega krompirjevega škroba razpadla prej kot bioplastika iz kupljenega tehničnega škroba.
- ? Predvidevali smo, da bo barvilo upočasnilo razgradnjo bioplastike.
- ? Sklepali smo, da bomo na osnovi raziskave našli optimalne pogoje razgradnje.



Slika 2: Razgradnja plastike in bioplastike <sup>9</sup>

## 2.1 Metode dela

Pri izdelavi naše raziskovalne naloge smo uporabili naslednje metode dela:

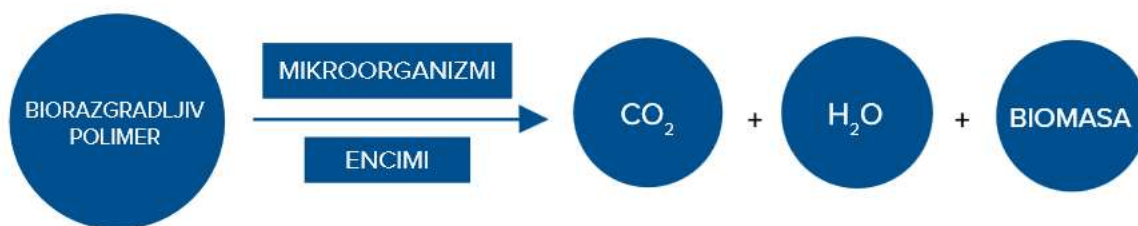
- pregled literature,
- analiza gradiv,
- načrtovanje eksperimenta, potrebnega inventarja in reakcijskih pogojev pri simulaciji razpadanja bioplastike v naravi,
- izvedba eksperimentalnega dela, nastavitvev eksperimenta,
- dokumentiranje eksperimentov, dobljenih rezultatov in produktov,
- analiza rezultatov.



### 3 TEORETIČNI DEL

Bioplastika je v strokovnem gradivu definirana kot plastika, ki jo dobimo neposredno s procesiranjem naravnih polimerov (biopolimerov). Pridobljena mora biti iz obnovljivih virov. Najpogosteje sta vhodni surovini naravna polimera, škrob ali celuloza. Bioplastika ima podobne značilnosti kot navadni sintetični polimeri. Produkt je biorazgradljiv material, saj se po določenem času v naravi popolnoma razgradi in pri tem ne kontaminira okolja.<sup>9</sup>

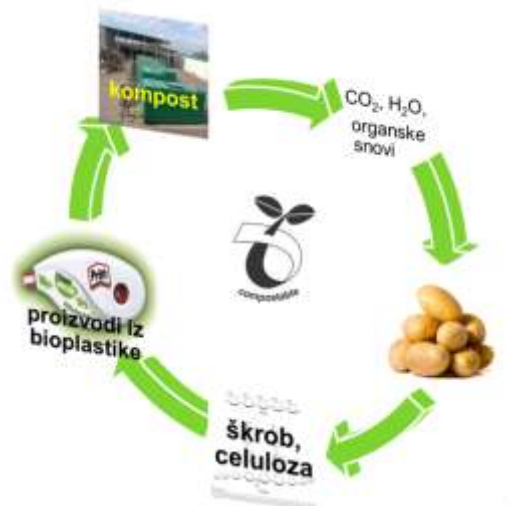
Biorazgradljivi polimeri, kot visokokalorične organske molekule, predstavljajo hrano oziroma vir energije mnogim mikroorganizmom, ki s svojimi encimi omogočajo, da bioplastika hitreje razpada. Mikroorganizmi namreč ob prisotnosti zadostne količine kisika, bioplastiko razgradijo na ogljikov dioksid, vodo in različne organske snovi (kompost). Produkti niso toksični in nimajo negativnega vpliva na ekosisteme. Kadar pa kisik ni prisoten, pride do anaerobnega procesa, v katerem je eden izmed produktov metan.<sup>9</sup>



V procesu razgradnje najprej poteče fragmentacija oziroma mehanski razpad na več manjših delov, na katero vplivajo tako biotski kot abiotski dejavniki. Posledično nastane velika aktivna površina, ki jo mikroorganizmi lažje razgradijo do končne mineralizacije, v kateri nastanejo anorganske snovi. 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 leta 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

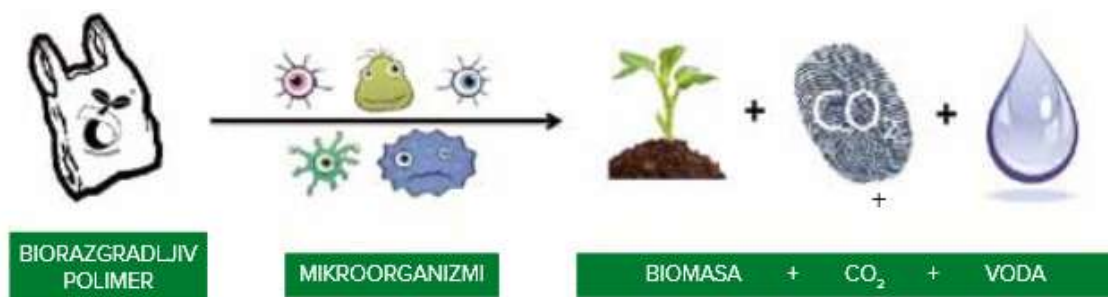
polimernih materialov pod nadzorovanimi pogoji kompostiranja. Delo z natančno izbranimi mikroorganizmi je omejeno le na laboratorijske raziskave, saj se sicer za praktične uporabe (npr. kompostiranje) predvideva delovanje naravnih in stabilnih združb.<sup>9</sup>

Naša bioplastika je pridobljena iz škroba, glicerola, oetne kisline in vode. Ker so vse te sestavine (razen vode) popolnoma organske in biorazgradljive smo pričakovali, da se bo bioplastika v roku nekaj tednov popolnoma razgradila.



Slika 3: Kroženje snovi

Snovi krožijo kot prikazuje slika 3. Iz krompirja se pridobi škrob, kot osnovna surovina za bioplastiko. Iz škroba se v proizvodnji izdelajo najrazličnejši izdelki iz bioplastike. Ko ti odslužijo svojemu namenu, morajo biti odloženi v posebne zabojnike, od koder gredo na kompost, kjer se ob prisotnosti kisika, razgradijo na ogljikov dioksid, vodo in organske snovi. Slednje pa v končni fazi služijo kot gnojili rastlinam in tako je krog bioplastike sklenjen.



Slika 4: Biorazgradljivost<sup>9</sup>

## 3.1 Opazovani parametri

### 3.1.1 Temperatura

Vzorci smo izpostavili trem različnim temperaturam: 8 °C, 15 °C in 23 °C, saj smo želeli ugotoviti, kako pomemben je vpliv temperature na hitrost razgradnje bioplastike.

### 3.1.2 Tipi prsti

Preučevali smo razpadanje bioplastike v štirih različnih prsteh:

- ilovnata prst,
- biopost Cvetal (kompost z dodanimi mikroorganizmi),
- substrat za azaleje in rododendrone Cvetal,
- mineralni substrat za lončnice.



Slika 5: Uporabljeni kupljeni substrati

Ilovnata prst bolj sprijeta, ima večja vsebnost gline ter posledično manjša prezračenost, ki pomeni tudi manj kisika v prsti in potencialno počasnejšo razgradnjo. Ob razgradnji brez kisika lahko pride tudi do nastajanja metana, ki je 70-krat bolj toplogreden plin v primerjavi z ogljikovim dioksidom. Ker je naša naloga ekološke narave in iščemo rešitev za najbolj okolju prijazno in hitro razgradnjo bioplastike, lahko za to prst že vnaprej sklepamo, da ne bo najboljša rešitev našega problema. pH vrednost prsti je okoli nevtralnega.

Biopost Cvetal vsebuje razgrajene organske snovi – humus, mikroorganizme, je zračna, pH pa je okoli 6. Vsi ti dejavniki naj bi pospešili in pozitivno vplivali na organsko razgradnjo.

Substrat za azaleje in rododendrone Cvetal vsebuje belo šoto, huminske kisline, različne organske snovi, vrednost pH je med 4 in 5. Prst zelo dobro zadržuje vodo in je tudi zračna.

Mineralni substrat za lončnice vsebuje različne minerale, je rahlo kislina (pH vrednost je med 5 in 6). Tudi zračnost je razmeroma dobra.

**Tabela 1: Vrste uporabljenih substratov in njihove lastnosti**

prst	ilovnata	biopost	SAR	MSL
zadrževanje vode	srednje	dobro	dobro	slabo
zračnost	slaba	dobra	dobra	dobra
pH	7	6	4-5	5-6
mikroorganizmi	da	da, največ	da	da

SAR - substrat za azaleje in rododendrone

MSL - mineralni substrat za lončnice

### 3.1.3 Bioplastika

Surovine za izdelavo bioplastike so:

- ✓ škrob (izoliran iz krompirja ali tehnično pridelan),
- ✓ glicerol,
- ✓ kis za vlaganje,
- ✓ voda,
- ✓ barvilo.

Preverjali smo kakšen vpliv ima izvor škroba in dodano barvilo na proces biorazgradnje.



Slika 6: Sestavine za izdelavo bioplastike in izdelana bioplastika (foto: Pia Klančar, 2012)

## 4 EKSPERIMENTALNO DELO

Različne bioplastike smo dali v lončke s prstjo ter jih izpostavili različnim temperaturam.

### INVENTAR

- plastični lončki 100 mL
- termometri
- vrvice
- šivanka
- sukanec
- ravnilo
- tehtnica Kern 440-47
- zalivalnik
- žličke
- pladnji
- Alu folija

### MATERIALI

- vzorci različnih bioplastik (3)
- različne vrste prsti (4)
- voda



Slika 7: Vzorci prsti (foto: Pia Klančar, 2013)



*Substrat za azaleje in rododendrone Cvetal*



*Mineralni substrat za lončnice*



*Biopost Cvetal*



*Ilovnata prst*

Slika 8: Vzorci prsti (foto: Pia Klančar, 2013)

Pri raziskovalnem delu smo se najprej lotili pregledovanja že obstoječih raziskav in študij na tem področju ter na podlagi le-teh nastavili svoj eksperiment. Odločili smo se, da preverimo razpadanje treh vrst bioplastike: iz kupljenega škroba, iz škroba, izoliranega iz krompirja ter iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom. Bioplastika naj bi razpadala v štirih različnih prsteh pri treh različnih temperaturah. Sledila je priprava in označitev substratov prsti. Po tri enake substrate z različnimi vzorci bioplastik smo izpostavili različnim temperaturam. Nato smo skozi vzorce bioplastike, ki so imeli enak volumen in maso (okoli 0,3 g) napeljali vrvice z namenom, da bi jih kasneje pri opazovanju lažje našli. Vse te vzorce smo zakopali približno 2 centimetra globoko v substrat.

Preostalo nam je še, da počakamo in na dogovorjen časovni interval (približno 7 dni) pregledamo vse vzorce bioplastik ter ugotovimo in zapišemo vidne spremembe v barvi, volumnu, mehanskih lastnostih itd. Zaradi izhlapevanja vode iz prsti, smo vzorce redno zalivali (10 mL/teden na lonček). Izredno pomembno je, da smo prst pri pregledovanju obrnili in razrahljali ter s tem omogočili vstop kisika v notranjost, saj je za razgradnjo bioplastike ključnega pomena.



Slika 9: Nastavitev eksperimenta (foto: Mojca Plevnik Žnidarec, 2012)

## 5 REZULTATI

### 5.1 Mesto opazovanja: Hladilnik, T= 8 °C

Tabela 2: Opazovanje bioplastike v hladilniku, 11. 12. 2012

11.12. 2012	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da	2	rahlo razbarvanje	1
2.	da	2	rahlo razbarvanje	1
3.	da, razpoke	4	ni spremembe	0
4.	da	2	ni spremembe	1
5.	da	2	ni spremembe	1
6.	da, razpoke	4	bela, rumena	0
7.	da	2	siva	2
8.	da	2	rahlo rumena	2
9.	da	4	bela, zelena	0
10.	da	2	bela	2
11.	da	2	bela	2
12.	da	4	bela	1

### LEGENDA

#### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

#### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

#### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

#### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena



Tabela 3: Opazovanje bioplastike v hladilniku, 23. 12. 2013

23.12.2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da	3	rahlo razbarvanje	3
2.	da	3	rahlo razbarvanje	2
3.	ne, razdrobljeno	4	ni sprememb	0
4.	da	3	bela	3
5.	da	3	bela	3
6.	da	4	bela	1
7.	da	3	bela	4
8.	da	3	ni sprememb	4
9.	da	4	bela barva	2
10.	da	3	rahlo razbarvanje	3
11.	da	3	rahlo razbarvanje	3
12.	da	4	bela barva	2

## LEGENDA

### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Tabela 4: Opazovanje bioplastike v hladilniku, 2. 1. 2013

2.1.2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da	4	rumena	3
2.	da	3	siva, rjava	3
3.	da	5	prozorna	5
4.	da	3	zelena	3
5.	da	3	zelena	3
6.	ne, razdrobljeno	5	prozorna	5
7.	da	3	bela, rumena	3
8.	da	3	siva	3
9.	ne, razdrobljeno	5	prozorna	5
10.	da	3	bela, siva	3
11.	da	3	siva, bela	3
12.	da	3	bela	2

## LEGENDA

### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Tabela 5: Opazovanje bioplastike v hladilniku, 12. 1. 2013

12. 1. 2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da	3	rjava, rumena	4
2.	da	3	bela	4
3.	ne, razdrobljeno	5	prozorna	5
4.	da	3	črna, zelena	4
5.	da	3	rumena, bela	4
6.	ne, razdrobljeno	5	prozorna	5
7.	da	2	bela	3
8.	da	2	bela	3
9.	ne, fino razdrobljeno	2	siva, bela	3
10.	da, drobljiva	3	bela	3
11.	da, drobljiva	3	bela	3
12.	ne, drobi se ob dotiku	1	bela	2

## LEGENDA

### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Tabela 6: Opazovanje bioplastike v hladilniku, 24. 1. 2013

24.1.2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da	4	rjava	3
2.	da	4	rjava	3
3.	da	5	prozorna	1
4.	da	4	siva	3
5.	da	4	siva	3
6.	da	4	prozorna, zelena	4
7.	da, razpada	2	bela	3
8.	da, razpada	2	bela	3
9.	da, mazivno	1	bela	2
10.	da, mazivno	1	bela	2
11.	da, mazivno	1	bela	2
12.	da, krhko	1	bela	2

#### **LEGENDA**

##### **Vrsta prsti**

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

##### **Vrsta bioplastike**

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

##### **Trdota**

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

##### **Stopnja skrčenosti**

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Tabela 7: Opazovanje bioplastike v hladilniku, 7. 2. 2013

7.2.2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da	4	bela	4
2.	da	4	bela	4
3.	razgrajeno	/	/	/
4.	da	1	siva, bela	3
5.	da	4	zelena, siva	4
6.	ne, razdrobljeno	5	prozorna, zelena	4
7.	ne, mazivno	1	siva	2
8.	ne, mazivno	1	siva	2
9.	ne, mazivno	1	bela	2
10.	razgrajeno	/	/	/
11.	razgrajeno	/	/	/
12.	razgrajeno	/	/	/

## LEGENDA

### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Tabela 8: Opazovanje bioplastike v hladilniku, 14. 2. 2013

14.2.2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da	4	rjava	4
2.	da	4	rjava	4
3.	razgrajeno	/	/	/
4.	razgrajeno		/	/
5.	da, mazivno	1	siva	3
6.	da	4	prozorna, bela	2
7.	razgrajeno	/	/	/
8.	razgrajeno	/	/	/
9.	razgrajeno	/	/	/
10.	razgrajeno	/	/	/
11.	razgrajeno	/	/	/
12.	razgrajeno	/	/	/

## LEGENDA

### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

## 5.2 Mesto opazovanja: laboratorij, T= 23 °C

Tabela 9: Opazovanje bioplastike v laboratoriju, 11. 12. 2012

11.12. 2012	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da	2	rahlo razbarvanje	1
2.	da	2	rahlo razbarvanje	1
3.	da, razpoke	4	ne	0
4.	da	2	ne	1
5.	da	2	ne	1
6.	da, razpoke	4	bela, rumena	0
7.	da	2	siva	2
8.	da	2	rahlo rumena	2
9.	ne, razdrobljeno	4	bela, zelena	0
10.	da	2	bela	2
11.	da	2	bela	2
12.	da	4	bela	1

### LEGENDA

#### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

#### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

#### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

#### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Tabela 10: Opazovanje bioplastike v laboratoriju, 23. 12. 2012

23.12. 2012	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da	3	ne popolnoma	3
2.	da	3	ne popolnoma	2
3.	ne, razdrobljeno	4	ne	0
4.	da	3	ne popolnoma	3
5.	da	3	ne popolnoma	3
6.	da	4	bela barva	1
7.	da	3	da	4
8.	da	3	da	4
9.	da	4	bela barva	2
10.	da	3	da	3
11.	da	3	da	3
12.	da	4	bela barva	2

### LEGENDA

#### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

#### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

#### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

#### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena



Tabela 11: Opazovanje bioplastike v laboratoriju, 2. 1. 2013

2. 1. 2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da	3	rjava, bela	3
2.	da	3	rjava, bela	3
3.	ne, razdrobljeno	5	prozorna	5
4.	da	3	zelena	3
5.	da	3	zelena	3
6.	ne, razdrobljeno	5	prozorna	5
7.	da	3	bela	3
8.	da	3	bela	3
9.	ne, razdrobljeno	5	prozorna	5
10.	da	3	bela, siva	3
11.	da	3	siva, bela	3
12.	da	3	bela	2

### LEGENDA

#### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

#### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

#### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

#### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Tabela 12: Opazovanje bioplastike v laboratoriju, 12. 1. 2013

12. 1. 2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da	3	rjava, rumena	4
2.	da	3	bela	4
3.	ne, razdrobljeno	5	prozorna	5
4.	da	3	črna, zelena	4
5.	da	3	rumena, bela	4
6.	ne, razdrobljeno	5	prozorna	5
7.	da	2	bela	3
8.	da	2	bela	3
9.	ne, fino razdrobljeno	2	siva, bela	3
10.	da, drobljiva	3	bela	3
11.	da, drobljiva	3	bela	3
12.	ne, drobi se ob dotiku	1	bela	2

## LEGENDA

### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Tabela 13: Opazovanje bioplastike v laboratoriju, 24. 1. 2013

24. 1. 2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da, razpada	3	rjava	3
2.	da, razpada	3	rjava	3
3.	razgrajeno	/	/	
4.	da	4	zelena	3
5.	da	4	zelena	3
6.	ne, zelo krhko	5	prozorna, zelena	4
7.	ne, mazivno	1	bela	3
8.	ne, mazivno	1	bela	3
9.	razgrajeno	/	/	/
10.	razgrajeno	/	/	/
11.	razgrajeno	/	/	/
12.	ne, mazivno	1	bela	1

## LEGENDA

### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Tabela 14: Opazovanje bioplastike v laboratoriju, 7. 2. 2013

7. 2. 2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	razgrajeno	/	/	/
2.	ne, skoraj razpadlo	3	rjava	2
3.	razgrajeno	/	/	/
4.	da	4	zelena, siva	4
5.	da	4	zelena, siva	4
6.	ne, razdrobljeno	5	prozorna, zelena	4
7.	ne, zelo krhko	2	rjava	2
8.	ne, zelo krhko	2	rjava	2
9.	razgrajeno	/	/	/
10.	razgrajeno	/	/	/
11.	razgrajeno	/	/	/
12.	razgrajeno	/	/	/

## LEGENDA

### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Tabela 15: Opazovanje bioplastike v laboratoriju, 24. 2. 2013

24. 2. 2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	razgrajeno	/	/	/
2.	razgrajeno	/	/	/
3.	razgrajeno	/	/	/
4.	da	4	siva	4
5.	da	4	siva	4
6.	razgrajeno	/	/	/
7.	razgrajeno	/	/	/
8.	razgrajeno	/	/	/
9.	razgrajeno	/	/	/
10.	razgrajeno	/	/	/
11.	razgrajeno	/	/	/
12.	razgrajeno	/	/	/

## LEGENDA

### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

### 5.3 Mesto opazovanja: Skladišče, T= 15 °C

Tabela 16: Opazovanje bioplastike v skladišču, 11. 12. 2012

11.12.2012	MEHANSKE LASTNOSTI			
ŠT. VZORCA	KOMPAKTNOST	TRDOTA	BARVA	STOPNJA SKRČENOSTI
1.	da	2	rahlo razbarvanje	1
2.	da	2	rahlo razbarvanje	1
3.	da, razpoke	4	ni spremembe	0
4.	da	2	ni spremembe	1
5.	da	2	ni spremembe	1
6.	da, razpoke	4	ni spremembe	0
7.	da	2	siva	2
8.	da	2	rahlo rumena	2
9.	da, razpoke	4	bela, zelena	0
10.	da	2	bela	2
11.	da	2	bela	2
12.	da	4	bela	1

#### LEGENDA

##### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

##### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

##### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

##### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Tabela 17: Opazovanje bioplastike v skladišču, 24. 1. 2012

24.1.2012	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da	3	razbarvana	3
2.	da	3	bela	2
3.	ne, razdrobljeno	4	ni sprememb	0
4.	da	3	razbarvana	3
5.	da	3	razbarvana	3
6.	ne, razdrobljeno	4	prozorna	1
7.	da	3	bela	4
8.	da	3	bela	4
9.	ne, razdrobljeno	4	bela	2
10.	da	3	razbarvana	3
11.	da	3	razbarvana	3
12.	da	4	bela	2

## LEGENDA

### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Tabela 18: Opazovanje bioplastike v skladišču, 2. 1. 2013

2.1.2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da	4	bela	3
2.	da	4	vijolična, črna	3
3.	ne, razdrobljeno	5	prozorna	5
4.	da	4	bela, rumena	3
5.	da	4	bela, rumena	3
6.	ne, razdrobljeno	5	bela, rumena	5
7.	da	3	bela	4
8.	da	3	siva, bela	4
9.	ne, razdrobljeno	5	bela	3
10.	da	3	bela, zelena	3
11.	da	3	siva, bela	3
12.	da	3	bela	2

## LEGENDA

### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena



Tabela 19: Opazovanje bioplastike v skladišču, 12. 1. 2013

12.1.2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da	3	rjava, rumena	4
2.	da	3	bela	4
3.	ne, razdrobljeno	5	prozorna	5
4.	da	3	rjava, bela	4
5.	da	3	zelena, bela	4
6.	ne, razdrobljeno	5	prozorna	5
7.	da	2	bela	3
8.	da	2	bela	3
9.	da, drobljiva	2	siva, bela	3
10.	da, drobljiva	3	bela	3
11.	da, drobljiva	3	bela	3
12.	ne, drobi se ob dotiku	1	bela	2

## LEGENDA

### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Tabela 20: Opazovanje bioplastike v skladišču, 24. 1. 2013

24.1.2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da	3	razbarvana	3
2.	da	3	bela	2
3.	ne, razdrobljeno	4	ni sprememb	0
4.	da	3	razbarvana	3
5.	da	3	razbarvana	3
6.	ne, razdrobljeno	4	prozorna	1
7.	da	3	bela	4
8.	da	3	bela	4
9.	ne, razdrobljeno	4	bela	2
10.	da	3	razbarvana	3
11.	da	3	razbarvana	3
12.	da	4	bela	2

## LEGENDA

### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Tabela 21: Opazovanje bioplastike v skladišču, 7. 2. 2013

7.2.2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	da, skoraj razgrajeno	3	rjava	4
2.	da, skoraj razgrajeno	3	rjava	4
3.	razgrajeno	/	/	/
4.	da	4	zelena, siva	4
5.	da	4	zelena, siva	4
6.	ne, razdrobljeno	5	prozorna, zelena	3
7.	ne, zelo krhko	2	rjava	2
8.	ne, zelo krhko	2	rjava	2
9.	ne, mazivno	1	bela	2
10.	ne, mazivno	1	bela, siva	2
11.	ne, mazivno	1	bela, siva	2
12.	razgrajeno	/	/	/

## LEGENDA

### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Tabela 22: Opazovanje bioplastike v skladišču, 14. 2. 2013

14.2.2013	<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b>			
<b>ŠT. VZORCA</b>	<b>KOMPAKTNOST</b>	<b>TRDOTA</b>	<b>BARVA</b>	<b>STOPNJA SKRČENOSTI</b>
1.	razgrajeno	/	/	/
2.	razgrajeno	/	/	/
3.	razgrajeno	/	/	/
4.	da	3	siva	4
5.	da	3	siva	4
6.	ne, razdrobljeno	2	bela	3
7.	razgrajeno	/	/	/
8.	razgrajeno	/	/	/
9.	razgrajeno	/	/	/
10.	razgrajeno	/	/	/
11.	razgrajeno	/	/	/
12.	razgrajeno	/	/	/

## LEGENDA

### Vrsta prsti

Št. Vzorca

1, 2, 3: ilovnata prst

4, 5, 6: mineralni substrat

7, 8, 9: biopost

10, 11, 12: substrat za azaleje in rododendrone

### Vrsta bioplastike

Vzorci: 1, 4, 7, 10 bioplastika iz izoliranega škroba brez barvila

Vzorci: 2, 5, 8, 11 bioplastika iz izoliranega škroba z dodanim naravnim barvilom

Vzorci: 3, 6, 9, 12 bioplastika iz kupljenega škroba

### Trdota

1 = mazivno

2 = zelo mehko, upogljivo

3 = srednje trdo, drobljivo

4 = trdo, lomljivo

5 = zelo trdo, nelomljivo

### Stopnja skrčenosti

0 = ni skrčenosti

1 = rahlo skrčena ob robovih oz. če je mazivno je vzorec vpil vodo

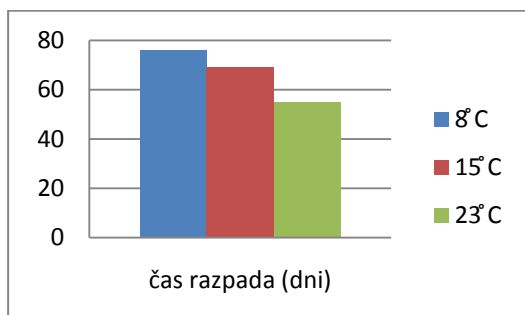
2 = rahlo skrčena

3 = skrčeno, izsušeno, vidno zmanjšanje volumna

4 = zelo skrčeno, zelo zmanjšan volumen, izsušenost, povečana trdota

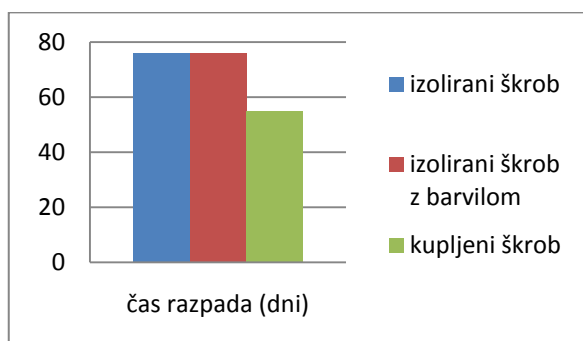
5 = bioplastika je skrčena na zelo majhen volumen, je izsušena

Z analizo rezultatov, po vodenju in opazovanju procesa biorazgradnje vzorcev bioplastike, smo ugotovili, da bioplastika v različnih prsteh razpada različno hitro. Mehanizmi razgradnje pri različnih prsteh in pogojih se razlikujejo. Pri temperaturi 23 °C, v laboratoriju, se je proces biorazgradnje zaključil najhitreje, v hladilniku pri 8 °C pa najpočasneje.



Graf 1: Čas razgradnje bioplastike v odvisnosti od temperature v biopostu

Iz rezultatov je lepo razvidno, da se bioplastika pridobljena iz kupljenega škroba hitreje razgradi kot tista, ki je pridobljena iz izoliranega krompirjevega škroba.



Graf 2: Čas razgradnje bioplastike v odvisnosti od vrste škroba v biopostu

Ugotovili smo, da dodano barvilo, s katerim obarvamo bioplastiko, upočasni hitrost razpadanja, čeprav so časovne razlike pri razgradnji oz. stopnji razgradnje minimalne. Na podlagi pregleda vzorcev je bila najučinkovitejša in najhitrejša razgradnja pri najvišji temperaturi 23 °C (laboratorij, zelena preglednica), v substratu za azaleje in rododendrone.



Slika 10: Vzorec biorazgrajene bioplastike (foto: Pia Klančar, 2013)



*Vrsta bioplastike: Iz izoliranega škroba  
Vrsta prsti: ilovnata  
Datum: 12.1. 2013*



*Vrsta bioplastike: Iz kupljenega škroba  
Vrsta prsti: ilovnata  
Datum: 12.1. 2013*



*Vrsta bioplastike: Iz izoliranega škroba  
Vrsta prsti: mineralni substrat  
Datum: 12.1. 2013*



*Vrsta bioplastike: Iz izoliranega škroba  
Vrsta prsti: biopost  
Datum: 12.1.2013*

Slika 11: Razgradnja bioplastike (foto: Pia Klančar, 2013)



*Vrsta bioplastike: Iz izoliranega škroba  
Vrsta prsti: biopost  
Datum: 12. 1. 2013*



## 6 ZAKLJUČEK

Bioplastika je trenutno eden izmed najbolj zanimivih materialov ter na določenih področjih predstavlja alternativo konvencionalni plastiki iz naftnih derivatov. Zaradi njenih opisanih lastnosti je pritegnila tudi našo pozornost. Odločili smo se, da lansko raziskovalno delo, v katerem smo bioplastiko sami izdelali, nadaljujemo in raziščemo še njeno razgradnjo. Delo se je izkazalo za dokaj zahtevno in natančno, saj smo bioplastike v prsti spremljali do same razgradnje kar 3 mesece. Dobljene rezultate smo zbrali v tabelah. Zaradi specifičnosti vsakega eksperimentalnega vzorca (bioplastika + prst v lončku), števila spremenljivk ter morebitnih napak pri analizi opazovanja vzorcev, ne bi bilo objektivno, da bi primerjali posamezne vzorce, zato smo se odločili, da naše rezultate posplošimo na večje število vzorcev.

Prvo hipotezo smo potrdili, saj smo našli narejene raziskave in namige za preverjanje biorazgradljivosti, na osnovi katerih smo pripravili svoje raziskovalno delo.<sup>10</sup>

Pri drugi hipotezi smo predpostavili, da bo bioplastika v različnih prsteh razpadala različno hitro. Lahko jo potrdimo, saj se mehanizmi razgradnje pri različnih prsteh in pogojih razlikujejo. Vzroke za to lahko iščemo v količini in raznolikosti vsebovanih mikroorganizmov, v sposobnosti zadrževanja vlage, v zračnosti substrata, v pH-vrednosti ...

Tretjo hipotezo, v kateri smo predvidevali, da se bo pri višji temperaturi bioplastika razgradila hitreje, lahko prav tako potrdimo. Višja temperatura pospeši hitrost mehanske razgradnje. Bioplastika se širi in krči, posledično razpoka ter pospeši delovanje mikroorganizmov in njihovih encimov.

Četrto hipotezo, v kateri smo predvidevali, da se bo bioplastika iz škroba, izolirana iz krompirja, razgradila hitreje kot tista pridobljena iz kupljenega škroba, lahko ovržemo. Ugotovili smo, da se v večini primerov hitreje razgradi bioplastika iz kupljenega škroba, kar je prikazano tudi v naslednjem grafu za razpadanje v biopostu pri 23 °C.

V peti hipotezi smo pričakovali, da bo bioplastika z dodanim barvilom razpadala počasneje. To lahko na osnovi ekperimentalnega dela potrdimo. Pri tem pa je potrebno poudariti, da so časovne razlike pri razgradnji oz. stopnji razgradnje minimalne in ker smo vzorce pregledali na 7 dni, nismo dobili točne razlike v dnevih dokončne razgradnje tako, čeprav graf to hipotezo ne more pravilno pojasniti.

Šesta hipoteza v kateri smo predvidevali, da bomo našli optimalne pogoje razgradnje, lahko potrdimo. Na podlagi pregleda vzorcev je bila najučinkovitejša in najhitrejša razgradnja pri najvišji temperaturi 23 °C (laboratorij, zelena preglednica), v substratu za azaleje in rododendrone. To lahko pojasnimo s tem, da je ta prst zelo zračna in zelo dobro zadržuje vodo, kar se je pri razgradnji izkazalo za ključno.

Po končanem raziskovalnem delu ugotavljamo, da je bioplastika zanimiv, biorazgradljiv material. To lahko trdimo na osnovi opravljenega eksperimentalnega dela. Na osnovi produktov, ki v procesu nastajajo lahko trdimo, da ne pušča negativnega odtisa na okolje. Pri razgradnji bioplastike je potrebno poudariti, da je boljša izbira razgradnje v aerobnem okolju, torej ob prisotnosti kisika. Če slednjega primanjkuje, lahko nastaja metan, ki je 25-krat bolj toplogreden od ogljikovega dioksida. Prav tako smo ugotovili, da je pri razgradnji zelo pomembna voda, saj njena prisotnost kompaktno bioplastiko postopoma omehča. Posledično le-ta postane bolj mazava, čas razgradnje pa se občutno skrajša.

Kljub poglobljenemu raziskovanju se nam še vedno odpirajo nova in nova vprašanja. Naš raziskovalni problem smo preučevali v laboratoriju, brez natančnih merilnih instrumentov in naprav, brez določanja prisotnih mikroorganizmov in njihovega vpliva na hitrost raziskovalnega problema ... Smiselno bi bilo simulirati proces razgradnje v naravi, kar nam zaradi dolgega zimskega obdobja ni uspelo izpeljati. Z ustreznimi sodobnimi napravami bi bilo potrebno izmeriti količino nastalega ogljikovega dioksida v procesu biorazgradnje ter določiti ogljični odtis. Ravno v vsem naštetem vidimo izzive za nadaljnje raziskovanje.



## 7 LITERATURA

1. Bauman, K. (2008). *Ekoinovacije: primer bioplastike*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta.
2. Vrančič, P.; Matijević, J. (2009). PRIMIJENJENA ORGANSKA KEMIJA, Prirodoslovno-matematički fakultet, Split.
3. Ferik Savec, V.; Mesec V. (2011). Kemija za vsak dan - zbirka poskusov, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za kemijsko izobraževanje in informatiko, Ljubljana.
4. Stojanović, B. (2009). Bioplastika.- embalaža. Celje; EOL-42
5. [http://www.uzivajmozdravo.si/dom\\_in\\_vrt/clanki/eko/clanek?aid=9604](http://www.uzivajmozdravo.si/dom_in_vrt/clanki/eko/clanek?aid=9604) (pridobljeno marec, 2012)
6. <http://www.plasticdisclosure.org/> (pridobljeno marec, 2012)
7. <http://www.vstp.si/Portals/0/Content/novice/krzan.pdf> (pridobljeno januar, 2012)
8. [http://www.siol.net/novice/znanost\\_in\\_okolje/2012/02/bioplastika\\_okolju\\_bolj\\_prijazna\\_kot\\_navadna\\_plastika.aspx](http://www.siol.net/novice/znanost_in_okolje/2012/02/bioplastika_okolju_bolj_prijazna_kot_navadna_plastika.aspx) (pridobljeno marec, 2012)
9. [http://www.plastice.org/fileadmin/files/PLASTICE\\_MALI\\_FAJL\\_za\\_WWW.pdf](http://www.plastice.org/fileadmin/files/PLASTICE_MALI_FAJL_za_WWW.pdf) (pridobljeno februar, 2013)
10. Šprajcar, M., Horvat, P.; Kržan, A. (2012). BIOPOLIMERI IN BIOPLASTIKA, informacijsko – izobraževalno gradivo za profesorje in laborante kemije v osnovnih in srednjih šolah; Kemijski inštitut, Ljubljana.
11. Kešpert, B.; Klančar, P. (2012). Kako izdelati bioplastiko? Celje: I. gimnazija v Celju.