



.....
Srednja šola za kemijo,
elektrotehniko in računalništvo

ŠOLSKI CENTER CELJE,
SREDNJA ŠOLA ZA KEMIJO, ELEKTROTEHNIKO IN RAČUNALNIŠTVO
POT NA LAVO 22, CELJE

BIOPLASTIKA

RAZISKOVALNA NALOGA

AVTOR: Tjaša Likeb, K-4.a

MENTOR: Mihela Jug, univ. dipl. inž. kem. teh.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, februar 2019

KAZALO VSEBINE

KAZALO SLIK.....	6
KAZALO TABEL.....	7
KAZALO GRAFOV	8
KAZALO PRILOG	9
ZAHVALA.....	10
POVZETEK	11
ABSTRACT	11
1 UVOD.....	12
1.1 Opredelitev problema in ciljev raziskovalnega dela.....	12
1.2 Hipoteze.....	13
2 TEORETIČNE OSNOVE	14
2.1 Splošno	14
2.2 Polimeri naravnega izvora	15
2.3 Bioplastika.....	16
2.3.1 Biorazgradljivost	18
2.3.2 Reciklaža	19
2.4 Surovine.....	20
2.4.1 Škrob.....	20
2.4.2 Celuloza.....	21
2.4.3 Ocetna kislina	22
2.4.4 Glicerol.....	23
2.4.5 Med.....	24
2.5 Teoretične osnove metod.....	24
2.5.1 Infrardeča spektroskopija	24
2.5.2 Diferenčna dinamična kalorimetrija	26
2.5.3 Termogravimetrična analiza	27
2.5.4 Upogib	27

3	EKSPERIMENTALNI DEL	29
3.1	Izdelava kalupa	29
3.1.1	Inventar	29
3.1.2	Kemikalije	29
3.1.3	Postopek	30
3.2	Izolacija krompirjevega škroba	30
3.2.1	Inventar	30
3.2.2	Kemikalije	31
3.2.3	Meritve	31
3.2.4	Postopek	31
3.3	Sinteza bioplastike	32
3.3.1	Bioplastika z različnimi dodatki	32
3.3.1.1	Inventar	32
3.3.1.2	Kemikalije	33
3.3.1.3	Meritve	33
3.3.1.4	Postopek	34
3.3.2	Bioplastika z bananinimi olupki	35
3.3.2.1	Inventar	35
3.3.2.2	Kemikalije	35
3.3.2.3	Meritve	36
3.3.2.4	Postopek	36
3.3.3	Bioplastika z jajčnimi lupinami	37
3.3.3.1	Inventar	37
3.3.3.2	Kemikalije	38
3.3.3.3	Meritve	38
3.3.3.4	Postopek	38
3.4	Analiza bioplastik	39
3.4.1	Topnost	39

3.4.1.1	Inventar.....	39
3.4.1.2	Kemikalije	40
3.4.1.3	Postopek	40
3.4.2	Infrardeča spektroskopija	41
3.4.2.1	Inventar.....	41
3.4.2.2	Kemikalije	41
3.4.2.3	Postopek	41
3.4.3	Upogib	42
3.4.3.1	Inventar.....	42
3.4.3.2	Postopek	42
3.4.4	Diferenčna dinamična kalorimetrija in termogravimetrična analiza	42
3.4.4.1	Inventar.....	43
3.4.4.2	Postopek	43
4	REZULTATI.....	44
4.1	Izračun izkoristka izolacije škroba	44
4.2	Topnost.....	46
4.2.1	Bioplastika s klementininimi olupki in bioplastika s krompirjevimi olupki.....	46
4.2.2	Bioplastika z listjem	48
4.2.3	Bioplastika z jajčnimi lupinami	49
4.2.4	Bioplastika z bananinimi olupki	50
4.3	Infrardeča spektroskopija	51
4.3.1	Bioplastika s klementininimi olupki in bioplastika s krompirjevimi olupki.....	52
4.3.2	Bioplastika z listjem	53
4.3.3	Bioplastika z bananinimi olupki	55
4.3.4	Bioplastika z jajčnimi lupinami	56
4.4	Upogib.....	57
4.4.1	Bioplastika s klementininimi olupki.....	57
4.4.2	Bioplastika s krompirjevimi olupki	58

4.4.3	Bioplastika z listjem	59
4.4.4	Bioplastika z bananinimi olupki	61
4.4.5	Bioplastika z jajčnimi lupinami	62
4.5	Diferenčna dinamična kalorimetrija	63
4.5.1	Bioplastika s klementininimi olupki	63
4.5.2	Bioplastika s krompirjevimi olupki	64
4.5.3	Bioplastika z listjem	65
4.5.4	Bioplastika z bananinimi olupki	66
4.5.5	Bioplastika z jajčnimi lupinami	66
4.6	TGA.....	67
4.6.1	Bioplastika s klementininimi olupki	67
4.6.2	Bioplastika s krompirjevimi olupki	68
4.6.3	Bioplastika z listjem	69
4.6.4	Bioplastika z bananinimi olupki	71
4.6.5	Bioplastika z jajčnimi lupinami	72
5	DISKUSIJA.....	74
6	VIRI:.....	78
6.1	Vsebinski viri.....	78
6.2	Viri slik.....	84
	PRILOGE	86

KAZALO SLIK

Slika 1: Shematski prikaz povezave med monomeri in nastanek polimerov	14
Slika 2: Shematski prikaz reakcij med aminokislini (AK) in beljakovini	15
Slika 3: Razdelitev bioplastike glede na vire in biorazgradljivost.....	16
Slika 4: "Koordinatni sistem" plastike.....	17
Slika 5: Biološka razgradnja bioplastike	18
Slika 6: Certifikacijski oznaki za domače kompostiranje.....	19
Slika 7: Cikel biorazgradljive plastike.....	20
Slika 8: Formula škroba.....	21
Slika 9: Formula celuloze	22
Slika 10: Formula oetne kisline	23
Slika 11: Formula glicerola	23
Slika 12: Oblika in lega krivulje za določeno funkcionalno skupino	25
Slika 13: Značilne infrardeče absorpcijske frekvence.....	25
Slika 14: Shematski prikaz DSC	26
Slika 15: Napetostno - razteznostni diagram.....	27
Slika 16: Shematski prikaz principa upogibnega preizkusa	28
Slika 17: Kalup in kovinski vzorec.....	30
Slika 18: Posedanje škroba.....	32
Slika 19: Primer segrevanja zmesi z listjem na kuhalniku in primer polnjenja v kalup – bioplastika s krompirjevimi olupki (desno), bioplastika s klementinimi olupki (levo).....	34
Slika 20: Izolacija škroba iz bananinih olupkov (levo) in nastajanje bioplastike (desno).....	37
Slika 21: Priprava jajčnih lupin (levo) in nastajanje bioplastike (desno)	39
Slika 22: Bioplastika z bananinimi olupki – V (voda), E (etanol), A (acetone), H (heksan).....	40
Slika 23: IR-spektrometer.....	41
Slika 24: Bioplastika na osnovi krompirjevih olupkov, vpeta v trgalni stroj	42
Slika 25: Termogravimetrični analizator TGA/DSC 3+ (Mettler Toledo).....	43

KAZALO TABEL

Tabela 1: Inventar, potreben za izdelavo kalupa iz modrina	29
Tabela 2: Kemikalije, potrebne za izdelavo kalupa	29
Tabela 3: Inventar, potreben za izolacijo škroba in krompirja	30
Tabela 4: Kemikalije, potrebne za izolacijo krompirjevega škroba	31
Tabela 5: Meritve za izolacijo škroba iz krompirja	31
Tabela 6: Inventar, potreben za sintezo bioplastik z dodatki	32
Tabela 7: Kemikalije, potrebne za izdelavo bioplastike z dodatkom klementine, krompirja in listja	33
Tabela 8: Meritve za bioplastiko z dodatkom klementininih olupkov	33
Tabela 9: Meritve za bioplastiko z dodatkom krompirjevih olupkov	33
Tabela 10: Meritve za bioplastiko z dodatkom – listja	34
Tabela 11: Inventar, potreben za izdelavo bioplastike z bananinimi olupki	35
Tabela 12: Kemikalije, potrebne za izdelavo bioplastike z bananinimi olupki	35
Tabela 13: Meritve za bioplastiko z bananinimi olupki	36
Tabela 14: Inventar, potreben za izdelavo bioplastike iz jajčnih lupin	37
Tabela 15: Kemikalije, potrebne za izdelavo bioplastike z jajčnimi lupinami	38
Tabela 16: Meritve za bioplastiko z jajčnimi lupinami	38
Tabela 17: Inventar, potreben za določanje topnosti	39
Tabela 18: Kemikalije za določanje topnosti	40
Tabela 19: Inventar, potreben za IR-spektroskopijo	41
Tabela 20: Kemikalije pri infrardeči spektroskopiji	41
Tabela 21: Inventar, potreben za določanje upogiba	42
Tabela 22: Inventar, potreben pri DSC in TGA	43

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Diagram topnosti bioplastike s klementininimi olupki	47
Graf 2: Diagram topnosti bioplastike s krompirjevimi olupki.....	47
Graf 3: Diagram topnosti bioplastike z listjem.....	48
Graf 4: Diagram topnosti bioplastike z jajčnimi lupinami	50
Graf 5: Diagram topnosti bioplastike z bananinimi olupki	51
Graf 6: IR absorpcijski spekter za bioplastiko s klementininimi olupki.....	52
Graf 7: IR absorpcijski spekter za bioplastiko s krompirjevimi olupki.....	53
Graf 8: IR absorpcijski spekter bioplastike iz listja.....	54
Graf 9: IR absorpcijski spekter za bioplastiko z listjem – krhko.....	55
Graf 10: IR absorpcijski spekter za bioplastiko z bananinimi olupki.....	56
Graf 11: IR absorpcijski spekter za bioplastiko z jajčnimi lupinami.....	57
Graf 12: Diagram upogibnega testa za bioplastiko s klementininimi olupki	58
Graf 13: Diagram upogibnega testa za bioplastiko s krompirjevimi olupki.....	59
Graf 14: Diagram upogibnega testa za bioplastiko iz listja.....	60
Graf 15: Diagram upogibnega testa za bioplastiko z listjem – krhko.....	61
Graf 16: Diagram upogibnega testa za bioplastiko z bananinimi olupki.....	62
Graf 17: Diagram upogibnega testa za bioplastiko z jajčnimi lupinami.....	63
Graf 18: Diagram DCS-analize za bioplastiko s klementininimi olupki	64
Graf 19: Diagram DSC-analize za bioplastiko s krompirjevimi olupki	64
Graf 20: Diagram DSC-analize za bioplastiko iz listja	65
Graf 21: Diagram DSC-analize za bioplastiko z listjem – krhko	65
Graf 22: Diagram DSC-analize za bioplastiko z bananinimi olupki	66
Graf 23: Diagram DSC-analize za bioplastiko z jajčnimi lupinami	67
Graf 24: Graf TGA-analize za bioplastiko s klementininimi olupki	68
Graf 25: Graf TGA-analize za bioplastiko s krompirjevimi olupki.....	69
Graf 26: Graf TGA-analize za bioplastiko z listjem – krhko	70
Graf 27: Graf TGA-analize za bioplastiko iz listja.....	71
Graf 28. Graf TGA-analize za bioplastiko z bananinimi olupki	72
Graf 29: Graf TGA-analize za bioplastiko z jajčnimi lupinami	73

KAZALO PRILOG

Priloga 1: Meritve topnosti za bioplastiko s klementininimi olupi.....	86
Priloga 2: Meritve topnosti za bioplastiko s krompirjevimi olupi.....	86
Priloga 3: Meritve topnosti za bioplastiko z listjem.....	87
Priloga 4: Meritve topnosti za bioplastiko z bananinimi olupi.....	87
Priloga 5: Meritve topnosti za bioplastiko z jajčnim lupinami.....	87
Priloga 6: Primerjalni graf IR-analize bioplastike s klementininimi olupi.....	88
Priloga 7: Primerjalni graf IR-analize vseh bioplastik.....	88
Priloga 8: Graf, meritve in rezultati upogibnega testa za bioplastiko s klementininimi olup.....	89
Priloga 9: Graf, meritve in rezultati upogibnega testa za bioplastiko s krompirjevimi olupi.....	90
Priloga 10: Graf, meritve in rezultati upogibnega testa za bioplastiko iz listja.....	91
Priloga 11: Graf, meritve in rezultati upogibnega testa za bioplastiko z listjem – krhko.....	92
Priloga 12: Graf, meritve in rezultati upogibnega testa za bioplastiko z bananinimi olupi.....	93
Priloga 13: Graf, meritve in rezultati upogibnega testa za bioplastiko z jajčnimi lupinami.....	94
Priloga 14: Diagram DSC-analize za bioplastiko s klementininimi olupi.....	95
Priloga 15: Diagram DSC-analize za bioplastiko s krompirjevimi olupi.....	96
Priloga 16: Diagram DSC-analize za bioplastiko iz listov.....	97
Priloga 17: Diagram DSC-analize za bioplastiko z listjem – krhko.....	98
Priloga 18: Diagram DSC-analize za bioplastiko z bananinimi olupi.....	99
Priloga 19: Diagram DSC-analize za bioplastiko z jajčnimi lupini.....	100
Priloga 20: Graf TGA-analize za bioplastiko s klementininimi olupi.....	101
Priloga 21: Graf TGA-analize za bioplastiko s krompirjevimi olupi.....	102
Priloga 22: Graf TGA-analize za bioplastiko iz listja.....	103
Priloga 23: Graf TGA-analize za bioplastiko z listjem – krhko.....	104
Priloga 24: Graf TGA-analize za bioplastiko z bananinimi olupi.....	105
Priloga 25: Graf TGA-analize za bioplastiko z jajčnimi lupini.....	106

ZAHVALA

Zahvalila bi se rada mentorici prof. Miheli Jug, ker je verjela vame, me spodbujala skozi celoten proces in mi nudila strokovno pomoč.

Zahvaljujem se tudi prof. Sebastianu Klovarju, ki si je vzel čas in mi omogočil raziskovanje izven njegovega delovnega časa. Poleg tega pa mi je dajal nove ideje, ki sem jih s prida izkoristila.

Rada bi se zahvalila Šolskem centru Celje za možnost izvedbe praktičnega dela. Poleg tega gre zahvala zagotovo celotnemu kemijskemu kolektivu na Šolskem centru Celje, saj so bili skozi moj celoten raziskovalni proces potrpežljivi, me spodbujali in verjeli vame.

Zahvala gre tudi Fakulteti za tehnologijo polimerov, ker mi je omogočil izvedbe IR, DSC in TGA analize ter upogibni test. Rada bi se zahvalila prof. Silvestru Bolka, ki me je sprejel pod svoje okrilje in me s svojim strokovnim pogledom vodil po pravi poti.

Zahvaljujem se tudi Urbanu Jug, ki mi je pomagal spoznati bistvo raziskovanja in me je vodil skozi celoten postopek pisanja naloge.

Rada bi se zahvalila tudi Minci Šegula in prof. Klavdiji Špur Jereb za lektorstvo.

Vsekakor pa gre zahvala tudi vsem družinskim članom, ki so mi stali ob strani ter podpirali mojo raziskovalno dejavnost.

POVZETEK

Bioplastiko je plastika, narejena iz naravnih polimerov ali biopolimerov. Pridobivamo jo iz obnovljivih virov. Za vhodni surovini se najpogosteje uporabljata naravna polimera: škrob ali celuloza.

V tej raziskovalni nalogi so preučene različne bioplastike. Njene karakteristike so analizirane z upogibnim testom, IR, DSC in TGA analizam ter topnostjo v različnih topilih.

Ključne besede: bioplastika, naravni viri, izolacija škroba, topnost, IR analiza, upogibni test, DSC analiza, TGA analiza

ABSTRACT

Bioplastics are plastics made from natural polymers or biopolymers. We are getting it from renewable sources. Most commonly used are natural polymers: starch or cellulose.

Various bioplastics are studied in this research assignment. Its characteristics are analysed by a bending test, IR, DSC and TGA analyses and solubility in various solvents.

Keywords: bioplastics, natural resources, starch isolation, solubility, IR analysis, bending test, DSC analysis, TGA analysis

1 UVOD

Prvi bioplastični materiali so bili sintetizirani pred več kot sto leti. Te materiale so sintetizirali iz celuloze, ki se nahaja v rastlinskem gradivu, kot sta bombaž in les. Uporaba plastičnih mas je zelo razširjena, saj zelo zaznamuje vsakdan človeškega življenja. Omogočila je velik tehnološki in medicinski napredek. Je poceni lahek, močan, vzdržljiv in nerjaveč material z visoko električno in toplotno izolativnostjo. Zelo uporabna je v gradbeništvu, saj zmešajo vezivo, polnilo in plastifikator za izboljšanje sposobnosti preoblikovanja in razne druge dodatke za stabiliziranje in modificiranje. Iz navedenih razlogov proizvodnja narašča in presega 300 milijonov ton plastike na leto. ^{[6][44][45]}

V današnjem času približno 80 % vseh polimernih materialov proizvede petrokemijska industrija, katere materiali so sintetizirani iz fosilnih (neobnovljivih) virov. Ker je plastika zelo pomemben faktor v človeškem življenju in so potrebe po njej vedno večje, to predstavlja veliko breme za okolje. Ljudje po končani uporabi plastične izdelke zavržejo. Vsako leto več kot 6,4 milijona ton plastike nenadzorovano pristane v okolju, tudi v morjih, kjer na svetovni ravni predstavlja 85 odstotkov vseh odpadkov. To predstavlja velik okoljevarstveni problem, saj se njena proizvodnja samo povečuje, posledice pa se odražajo v okolju. Produkt sežiganja plastike so nevarni in strupeni plini, ki med drugim povzročajo ozonsko luknjo. Zaradi procesa proizvodnje in načina odstranjevanja je z vidika okolja zelo pomembno, da poskušamo kar največ njenih vrst ohraniti, reciklirati in ponovno uporabiti. ^{[6][46]}

Plastika namreč razpada zelo počasi (tudi do tisoč let) s procesi oksidacije, fotodegradacije in mehanske abrazije. Plastični delci tako v procesu razpadanja razpadejo do mikrodlecev ali celo do nanodelcev. Znanstveniki so že zasledili sledove mikroplastike v ustekleničenih vodah in hrani, ki jo vsakodnevno zaužijemo. ^{[6][46][47]}

1.1 Opredelitev problema in ciljev raziskovalnega dela

Plastika je povsem zavzela naše življenje. Pod pojmom onesnaževanje se skrivata tudi plastika in človeško nespametno ravnanje. Zavedam se, kaj se dogaja s planetom in kako ga uničujemo. Zgodovina nas je naučila, da je posameznik v družbi nemočen. Zavedam se tega, da sama ne morem spremeniti sveta, ampak lahko ljudi nagovarjam, da upanje še vedno obstaja in ne smemo vreči puške

v koruzo. Razmišljala sem in ugotovila, da je ljudi mogoče spreobrniti in ozavestiti o pomenu plastike in kakšne so njene posledice, ampak današnja družba za to zahteva dejstva in dokaze. Na podlagi tega sem se odločila za raziskovanje na področju bioplastike, saj sem želela dokazati, da so to snovi, ki po karakteristikah in uporabi lahko konkurirajo plastiki iz fosilnih goriv. Pozitivna plat bioplastike pa je tudi ta, da je biološko razgradljiva in s tem ne škodujemo okolju.

1.2 Hipoteze

Na začetku raziskovalne naloge sem si postavila naslednje hipoteze:

Hipoteza 1: *V šolskem laboratoriju ali kuhinji lahko izoliramo škrob.*

Hipoteza 2: *Bioplastiko lahko sintetiziramo v šolskem laboratoriju.*

Hipoteza 3: *Bioplastiko lahko sintetiziramo iz odpadkov.*

Hipoteza 4: *Temperatura in hitrost mešanja vplivata na nastajanje bioplastike.*

Hipoteza 5: *Glede na lastnosti je lahko bioplastika konkurenčna plastiki iz fosilnih goriv.*

Hipoteza 6: *Določene komponente v sestavi vplivajo na karakteristike bioplastike.*

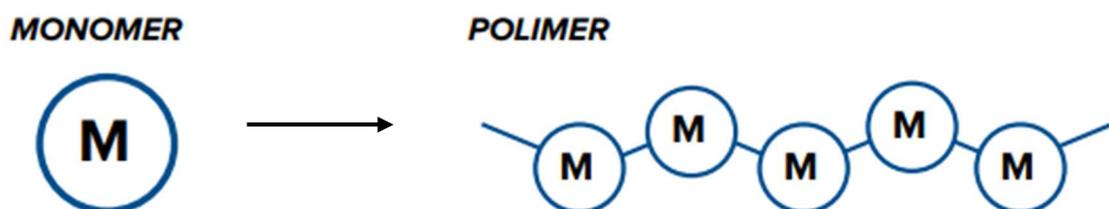
Hipoteza 7: *Razmerje sestavin v sestavi vpliva na karakteristike bioplastike.*

2 TEORETIČNE OSNOVE

V tem delu raziskovalne naloge so predstavljene teoretične osnove preučevanih sintez, uporabljenih metod identifikacije in karakterizacije produktov.

2.1 Splošno

Polimer je makromolekula, sestavljena iz ponavljajočih se strukturnih enot ali monomerov, povezanih s kovalentno vezjo. Beseda izhaja iz stare grščine: *poly* – mnogo in *meros* – delec. Mnogi primeri polimerov so zelo pomembni za naše življenje. Mednje lahko prištevamo npr. DNK, katere monomerna enota je nukleotid, beljakovine, ki tvorijo encime in naše mišice, so sestavljene iz aminokislin. Polimera sta tudi celuloza, ki je bistvena sestavina lesa, in škrob, ki je energijska rezerva rastlin. Ta dva polimera lahko najdemo npr. v krompirju, koruzi in banani; njuna monomerna enota je glukoza. ^[1]



Slika 1: Shematski prikaz povezave med monomeri in nastanek polimerov

Vir: http://konopko.si/files/file/Bioplastika-skladna-z-naravo_gradivo-za-sole.pdf

Plastika je material, formuliran in pripravljen za uporabo. Poglavitna sestavina plastike so polimeri, ki imajo dodana polnila, anorganskega ali organskega izvora, in dodatke: npr. pigmente, mazila, zaviralce oksidacije itd. Poznamo mnogo različnih vrst plastičnih materialov. Najpogostejše vrste

plastike so PET (polietilen tereftalat), PP (polipropilen), PS (polistiren) in PE (polietilen), saj predstavljajo okoli 75 % proizvedene plastike na svetu. ^[1]

Za nastanek polimerov pa so pomembne tudi kemijske reakcije (glej Slika 2), s katerimi npr. združujemo več aminokislin (monomer) v beljakovine (polimer). Gre za kondenzacijo, pri reakciji se odcepi voda. Reakcija steče tudi v obratni smeri, pri hidrolizi beljakovine dobimo aminokislino. ^[1]



Slika 2: Shematski prikaz reakcij med aminokislino (AK) in beljakovino

Vir: http://konopko.si/files/file/Bioplastika-skladna-z-naravo_gradivo-za-sole.pdf

Poznamo naravne in umetne polimere. Živi organizmi v presnovnih procesih sami sintetizirajo različne polimere, ki jih potrebujejo za opravljanje različnih funkcij, npr. nosilce dednega zapisa (DNK), material za zagotavljanje rigidnosti v celičnih stenah (celuloza), snovi za shranjevanje energije (v nekaterih mikroorganizmih poliestri) itn. Med naravne sodijo proteini, škrob, celuloza, hitin, lignin, agar, pektin in lateks, med umetne pa plastične mase, ki jih pridobivamo s polimerizacijo organskih ogljikovih spojin. ^{[1][2][3][8]}

2.2 Polimeri naravnega izvora

Najdemo jih tako v živalih (npr. ogljikovodiki, proteini, maščobe, nukleinske kisline) kot v rastlinah (npr. celuloza, olja, škrobi, tudi poliestri) in tudi v nižjih organizmih. Naravni polimeri nastajajo v rastnih ciklih celic živih organizmov. Njihova sinteza vsebuje encimsko katalizirane polimerizacijske reakcije aktiviranih monomerov, ki nastanejo znotraj celic kot produkti kompleksnih presnovnih procesov. ^{[1][8]}

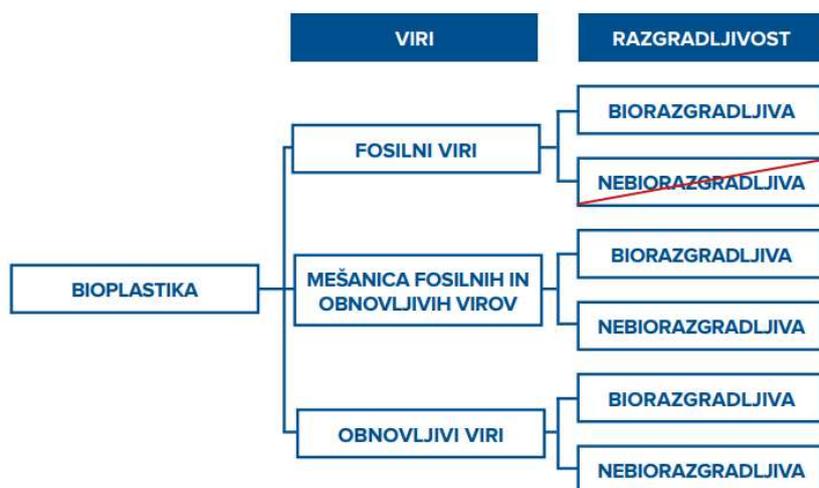
Za naravo pa velja, da kar ustvari, lahko tudi razgradi. Vsi naravni polimeri predstavljajo uskladiščeno energijo in snov, ki se ob razgradnji oz. presnovi sprosti in je na voljo za ponovno uporabo. Zato v naravi za naravne polimere obstajajo tudi encimski sistemi za njihovo razgradnjo. V ta koncept sodi tudi naše uživanje hrane, ki v pretežnem delu sestoji iz biopolimerov. ^[1]

Nevidni, splošno prisotni in skoraj vedno dejavni razgrajevalci naravnih organskih snovi so mikroorganizmi (bakterije, glive, alge). Mikroorganizmi so skozi evolucijo prilagojeni naravnim polimerom kot tudi drugim (nizkomolekularnim) naravnim snovem in imajo razvite načine za njihovo presnovo. Polimere nato spet lahko razgradijo do osnovnih gradnikov. ^[1]

2.3 Bioplastika

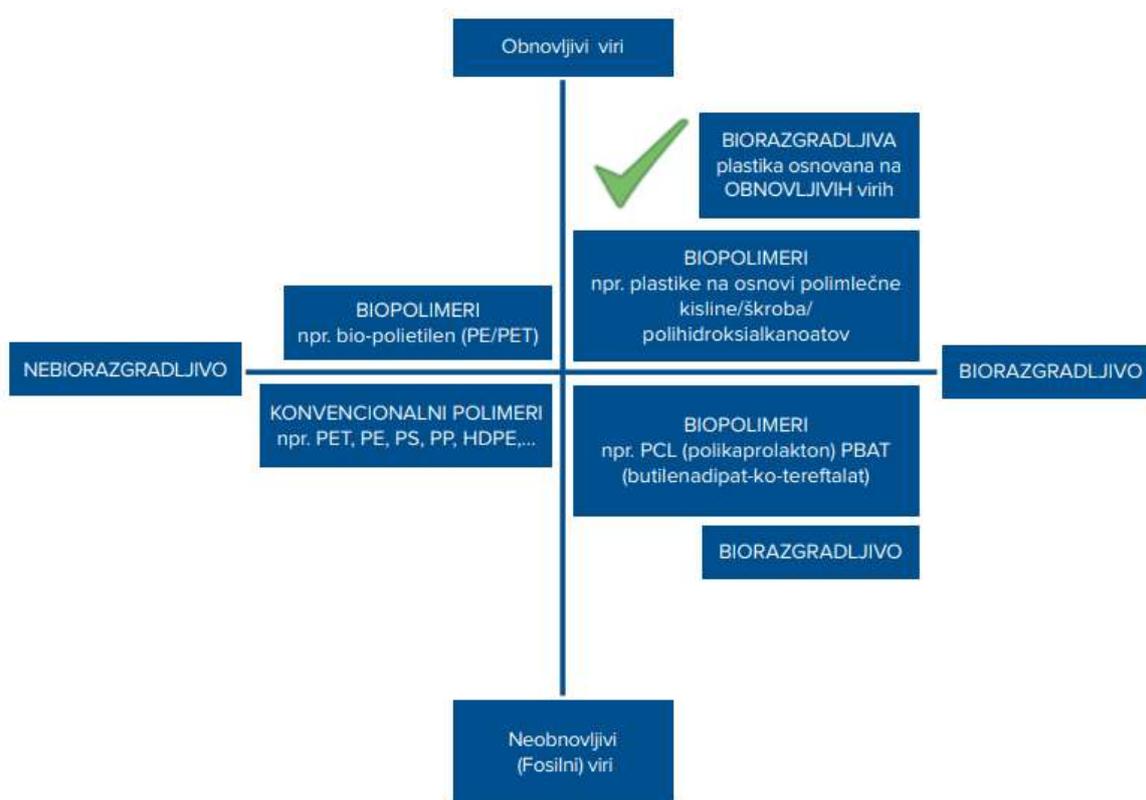
Bioplastiko lahko definiramo kot plastiko, ki jo neposredno dobimo iz naravnih polimerov ali biopolimerov. Pridobivamo jo iz obnovljivih virov. Za vhodni surovini se najpogosteje uporabljata naravna polimera: škrob ali celuloza. ^{[1][5][6][11]}

Po definiciji med bioplastiko prištevamo tudi plastiko, ki ni biorazgradljiva, je pa narejena iz obnovljivih virov. Glede na vir bioplastiko delimo na bioplastiko iz obnovljivih virov, bioplastiko iz fosilnih virov, pri tej lahko dosežemo vsaj delno biorazgradnjo, in bioplastiko iz mešanice obnovljivih in fosilnih virov. Po sposobnosti razgradnje pa bioplastiko delimo na biorazgradljivo, sem spada kompozitna plastika, in na plastiko, ki ni biorazgradljiva (*glej Slika 3*). ^[1]



Slika 3: Razdelitev bioplastike glede na vire in biorazgradljivost

Vir: http://konopko.si/files/file/Bioplastika-skladna-z-naravo_gradivo-za-sole.pdf



Slika 4: "Koordinatni sistem" plastike

Vir: http://konopko.si/files/file/Bioplastika-skladna-z-naravo_gradivo-za-sole.pdf

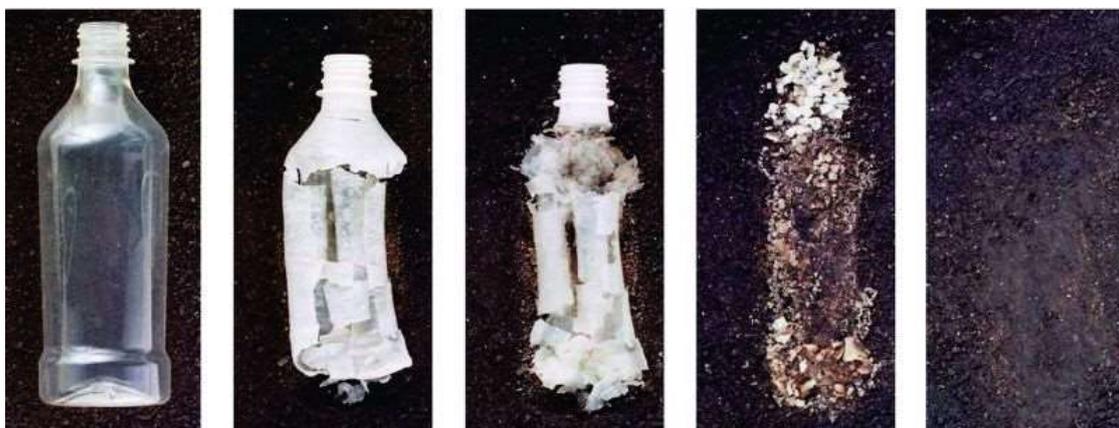
Med obnovljive vire štejemo tiste, ki so naravnega izvora, njihova količina pa se zaradi človeške rabe ne manjša, saj se preko naravnih procesov dokaj hitro obnavljajo. Mednje prištevamo: sončno energijo, energijo valov in plimovanja, energijo vetra, biomaso itd. Fosilna goriva so naravni vir, saj so nastala iz mrtvih organizmov. Ker fosilna goriva nastajajo več milijonov let, človeška poraba pa je v kratkem obdobju ogromna, jih prištevamo med neobnovljive vire. ^{[1][8][9]}

Bioplastika ima torej veliko skupnega z navadno plastiko. Na videz so lahko enake in lahko imajo podobne lastnosti kot klasična plastika. Razlika je le v tem, da se za proizvodnjo bioplastike uporabljajo obnovljivi viri, mnoge pa so tudi biorazgradljive in jih je možno kompostirati. To razliko pogosto opazimo šele, ko pogledamo kemijsko sestavo, saj npr. večina bioplastik bolj prepušča paro kot pa klasične plastike. Ta lastnost je zelo uporabna v sodobni industriji za izdelavo športnih oblačil, pri izdelavi embalaže za kruh in ostale pekovske izdelke, saj tako dlje časa ostanejo sveži in hkrati hrustljavi itd. ^{[1][4][5][6][7]}

2.3.1 Biorazgradljivost

Biorazgradljivost je specifična lastnost nekaterih plastičnih materialov oz. polimerov. Biološka razgradnja ali proces degradacije polimernega materiala poteka pod vplivi biotskih dejavnikov. Biološka razgradnja poteka pod vplivom mikroorganizmov, ki lahko zaradi encimov razgradijo polimere, saj polimer prepoznajo kot vir organskih gradnikov in energije, ki jo potrebujejo za življenje. Za razgradnjo take plastike so poleg biotskih dejavnikov potrebni abiotski, kot so: UV-svetloba, voda, toplota in primeren pH. Tekom presnovnih procesov se biorazgradljivi polimeri v končni fazi v aerobnih procesih pretvorijo v vodo, ogljikov dioksid in biomaso, pod vplivom anaerobnih pogojev pa v metan, vodik in biomaso. ^{[1][6]}

Proces razgradnje poteka v dveh fazah. Najprej poteče fragmentacija, med katero material pod vplivom živih ali neživih dejavnikov mehansko razpade. Ti razpadli produkti v naslednji fazi pod vplivom mikroorganizmov mineralizirajo. Tu pride do presnove delno degradiranih polimernih fragmentov v končne produkte. ^[1]

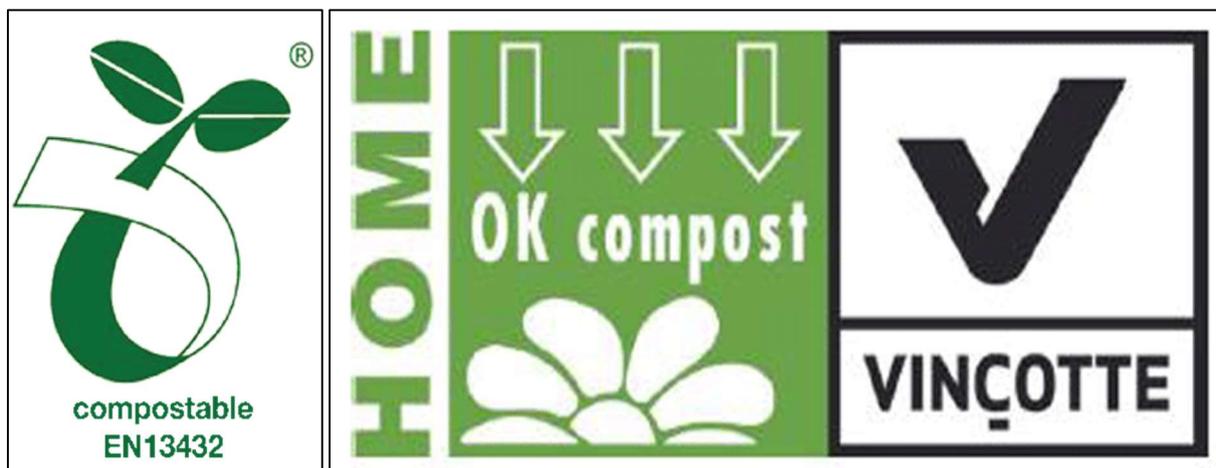


Slika 5: Biološka razgradnja bioplastike

Vir: <http://www.echoinstruments.eu/applications/bioplastic-degradation/>

Vse bioplastike ne moremo kompostirati. Proces kompostiranja je lahko tudi eden izmed možnih procesov biorazgradnje bioplastike. V tem procesu bioplastika razpade v manjše snovi. Pri razpadu prav tako sodelujejo biološki organizmi, ampak ti organizmi delujejo le pri specifičnih pogojih. Večina bioloških organizmov za delovanje potrebuje specifično temperaturo, čas, kontrolirano vlago

in okolje, v katerem lahko ti organizmi preživijo. Okolje ne sme biti toksično, imeti mora razvito lastnost, da lahko vsrka soli in s tem omogoča rast rastlin. Če kateri izmed pogojev ni izpolnjen, proces ne more steči. Kompostirna plastika v kompost ne vnaša strupenih snovi. Treba pa se je zavedati, da vsa biorazgradljiva plastika ni primerna za kompostiranje na domačem kompostu. Plastika ima certifikacijski oznaki, ki nam povesta, da je izdelek primeren za domače kompostiranje, ki poteka pri precej nižjih temperaturah kot industrijsko. ^{[1][19]}



Slika 6: Certifikacijski oznaki za domače kompostiranje

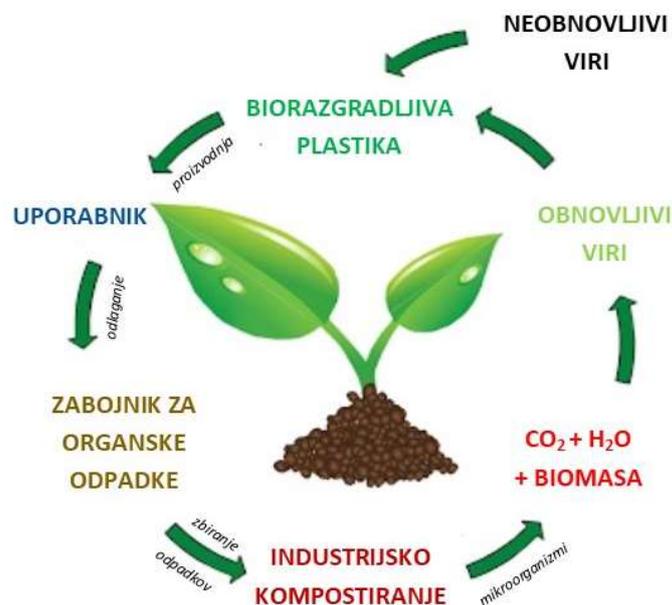
Vir: <http://anphatholdings.com/en/aneco/biodegradable-plastic-bag-definition.html>,
http://www.ekologicen.si/article/412/Biorazgradljiva_plastika_hrana_za_naravne_mikroorganizme

Pozorni moramo biti na to, da vsa bioplastika iz obnovljivih virov ni nujno biorazgradljiva. Primer nerazgradljive bioplastike je biopolietilen, ki ga pridobivajo s postopki fermentacije, destilacije, dehidracije in polimerizacije iz sladkornega trsa. Sladkorni trs je obnovljiv vir, vendar njegova bioplastika ni razgradljiva. ^[6]

2.3.2 Reciklaža

Organske snovi v naravi krožijo (glej Sliko 6). Iz obnovljivih virov, kot sta npr. koruza in krompir, in neobnovljivih virov lahko sintetiziramo biorazgradljivo plastiko. Koruza in krompir sta vir škroba oz. naravnega polimera. Človek te bioplastične izdelke uporabi in jih zavrže v zabojnik za organske odpadke. Zabojnike odpelje pooblaščen služba in začne kompostiranje. Bioplastika se, s pomočjo

mikroorganizmov razgradi do ogljikovega dioksida (CO₂), vode (H₂O) in biomase. Nastale produkte razgradnje lahko uporabimo kot gnojilo, s pomočjo katerega bo zrastle nova koruza ali krompir.



Slika 7: Cikel biorazgradljive plastike

Vir: <https://sites.google.com/site/odrzivaplastikahravska/bioplastics/biodegradable-plastics>

2.4 Surovine

2.4.1 Škrob

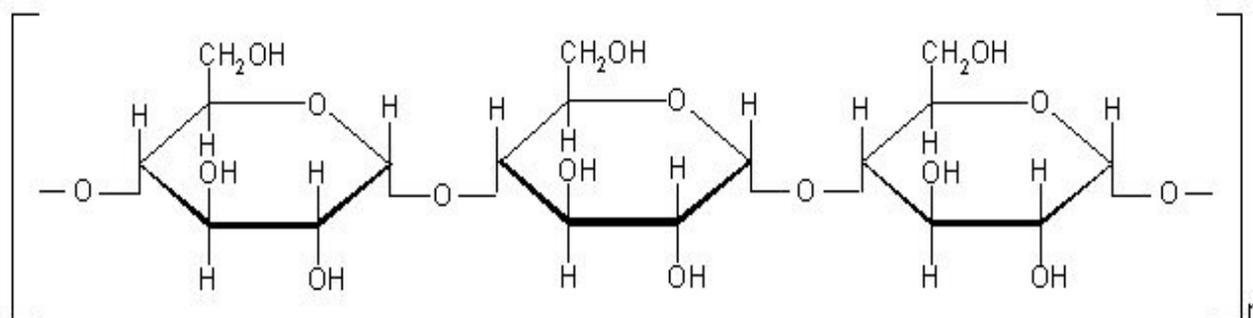
Škrob je ogljikov hidrat, naravni polisaharid. Glikozidna vez povezuje monomere glukočnih enot (α -D-glukoza), ki gradijo topno amilozo (nerazvejane verige) in netopen amilopektin (razvejane verige), dve različni molekuli škroba. Amilopektina je v škrobovem zrnju več kot amiloze. Prisotnost škroba dokažemo z jodovico, pri čemer se jod veže v heksil, katerega posledica je modro obarvanje. [1][11][31][32][33]

Škrob se nahaja v trdnem agregatnem stanju in ni topen v hladni vodi, medtem ko pri segrevanju vode na 90 °C iz njega nastane škrobni klej. Tališče škroba je pri 250 °C. [1][32]

Največ komercialno dostopnega škroba je pridobljenega iz koruze (79 %), krompirja (9 %), pšenice (7 %), riža in ječmena. Te rastline vsebujejo velike količine škroba (60–90 suhe mase). Rastlinam ga po mokrem mletju izperejo z vodo iz tkiv, ločijo od ostalih sestavnih delov in posušijo. Je skoraj brez okusa in ga zato uporabljajo kot vezivo v živilski industriji in tudi v kuharstvu. ^{[1][32][33]}

Škrob se v procesu kompostiranja hitro biološko razgradi v številnih okoljih. Žilavost in vodoodpornost škroba sta slabši od večine polimerov, pridobljenih iz nafte. Boljše karakteristike dosežemo, če se škrob meša z bolj vodoodpornimi polimeri ali če se ga kemično modificira. ^[1]

Škrob je glavna sestavina škrobne plastike, njegova struktura je rahlo spremenjena (destruktuiran škrob). Destrukturiramo ga lahko z energijo in toploto ter mu tako popolnoma razbijemo kristalno strukturo. Šele ta se obnaša kot termoplast (linearni in/ali malo razvejani polimeri, sposobni zmeščanja in preoblikovanja pri povišani temperaturi) in ga lahko obdelujemo kot tradicionalno plastiko; če ga uporabljamo v naravni obliki, je preobčutljiv za vlago. ^[1]



Slika 8: Formula škroba

Vir: <http://www2.arnes.si/~sspzkola/ogp.htm>

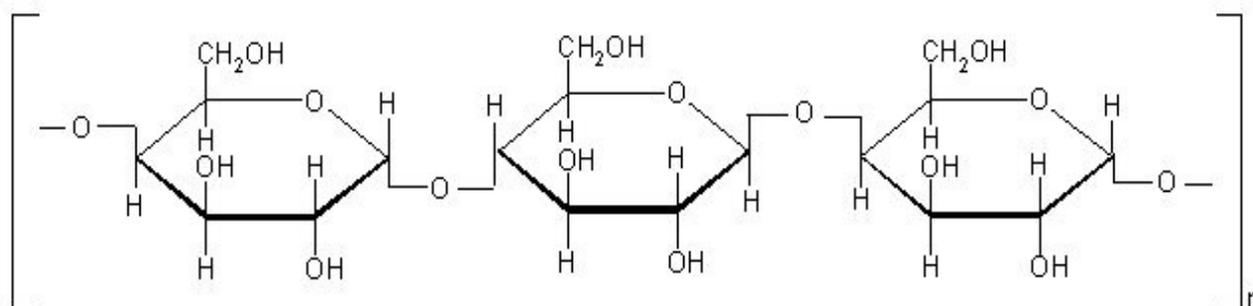
2.4.2 Celuloza

Celuloza je najpogostejši ogljikov hidrat (naravni polisaharid) in najbolj razširjena organska snov. Sestavljajo jo od nekaj sto pa do več kot deset tisoč molekul glukoze, ki so med seboj povezane z β -1,4-glikozidnimi vezmi. ^{[1][33][35]}

Celuloza predstavlja glavno oporo za drevesa in druge rastline, kot so: bombaž, lan, juta, sladkorni trs, žitarice, konoplja itd. Poleg višjih rastlin celulozo sintetizirajo tudi oetnokislinske bakterije. Bakterijsko sintetizirana celuloza ima velik potencial v embalažni industriji. Določene oetnokislinske bakterije lahko sintetizirajo skoraj čisto celulozo z enakimi kemijskimi in fizikalnimi lastnostmi, kot jih ima celuloza iz rastlin. ^{[1][34][35]}

Celuloza je netopna v vodi in večini organskih topil. Topi se le v posebnih topilih, kot je npr. Schweizerjev reagent (amonijak in Cu^{2+}), ali v mešanici dimetilacetamida in litijevega klorida. V močnih kislinah se polimer razgradi, saj v koncentriranih kislinah, pri povišani temperaturi, dobimo posamezne molekule glukoze. ^[34]

Če vključujemo celulozna vlakna v polimerne materiale, dobimo biokompozitne proizvode, katerih namen je izboljšati mehanske lastnosti in hidrofobnost. Vlakna celuloze mešajo tudi s škrobom, tako se doseže boljše mehanske lastnosti, prepustnost za pline in vodoodpornost. ^[1]



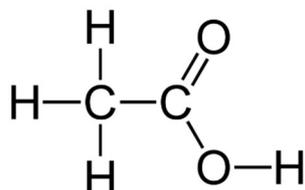
Slika 9: Formula celuloze

Vir: <http://www2.arnes.si/~sspzkola/ogp.htm>

2.4.3 Ocetna kislina

Ocetna ali etanojska kislina je organska kislina, katere soli se imenujejo acetati. Je kislina, brezbarvna čista tekočina z ostrim vonjem in vrednostjo pH pri 4,76. Njeno tališče je pri $-8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, vrelišče pa pri $118\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ima gostoto $1,049\text{ g/cm}^3$ in je dobro topna v vodi. Brezvodno očetno kislino lahko poimenujemo tudi ledocet, saj že pri temperaturi po $16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ tvori ledu podobne kristale. Poleg tega pa je tudi glavna sestavina navadnega kisa, ki vsebuje 5–15 % etanojske kisline. ^{[41][43]}

Ocetno 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. Celulozni acetat dobimo tako, da celulozo obdelamo z očetno kislino. Produkt je topljiv v acetonu. ^{[41][42]}



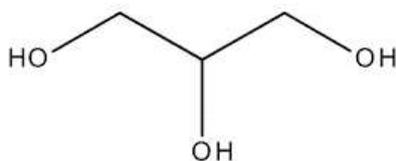
Slika 10: Formula očetne kisline

Vir: https://wiki.eanswers.net/sl/Etanojska_kislina

2.4.4 Glicerol

Glicerol ali glicerol 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. V kemijski industriji glicerol uporabljajo za pripravo razstreliv. ^{[36][37]}

Glicerol ima višjo gostoto kot voda (1,261 g/cm³), 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 °C, vrelišče pa pri 290 °C. Dobro se meša s etanolom, butanolom, pentanolom, fenolom itd. Omejeno topnost ima v acetonu, dietilu in etru, medtem ko je netopen v alkoholih z dolgimi alifatskimi verigami, oljih in halogenih topilih (npr. kloroformu). ^[36]



Slika 11: Formula glicerola

Vir: <https://powerexplosive.com/glicerol-agente-hidratante-para-el-rendimiento/>

2.4.5 Med

Med je naravna sladka snov, ki jo izdelajo čebele iz cvetličnega nektarja ali izločkov iz živih delov rastlin ali izločkov na živih delih rastlin, ki jih čebele zberejo, predelajo z določenimi lastnimi snovmi, produkt shranijo, posušijo in pustijo dozoreti v satju. [38][39]

Sestava medu je odvisna od cvetlic, na katerih so čebele nabirale cvetni prah. Ima višjo gostoto kot voda (1,5 kg/L). Kar 77 % je v medu sladkorjev, med njimi izrazito prevladujeta enostavna sladkorja fruktoza in glukoza. Poleg sladkorjev pa lahko v njem najdemo vodo, vitamine, mineralne snovi, encime, aminokisljine, hormone, kisline, flavonoide, transresveratrol, ubikinon in protibakterijske snovi. Ima zdravilne učinke. [38][39]

Med se razlikuje po barvi, okusu, sestavi, zgradbi in lastnostih. Zdravilno delovanje je odvisno vrste cvetov in rastlin, iz katerih ga pridobivamo. Glede na pašo čebel poznamo akacijev, grozdni, cvetlični, kostanjev, lipov, smrekov, ajdov med itd. [38][39]

2.5 Teoretične osnove metod

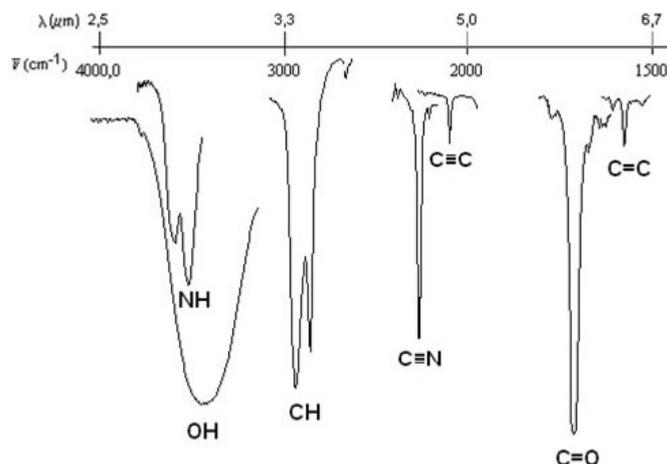
2.5.1 Infrardeča spektroskopija

Infrardeča spektroskopija je spektrofotometrična analizna metoda in spada, poleg protonske nuklearne magnetne resonance in masne spektroskopije, v skupino metod strukturne analize. Uporabljajo jo za določanje prisotnosti funkcionalnih skupin iz njihovih značilnih vibracijskih frekvenc. [21][23]

Temelji na principu opazovanja nihanja posamičnih vezi med atomi, ko se to inducira s pomočjo infrardečega valovanja. Za omogočanje nihanja vezi potrebujemo energijo, ki jo v sistem dovedemo v obliki infrardečih valov. Tipični infrardeči spekter je absorpcijski spekter. Meritev se izvede tako, da snov obsevamo s širokim spektrom infrardeče svetlobe. Količina transmitirane svetlobe se na spektru izriše v odvisnosti od valovne dolžine svetlobe. Vrednosti valovne dolžine so največkrat v obliki valovnega števila, katerega enota je cm^{-1} . [21][22][23][29][30]

Infrardeči spekter je deljen na območja, ki nam omogočajo določanje funkcionalnih skupin. Eno območje tega spektra imenujemo območje »prstnega odtisa« spojine (ang. fingerprint region).

[22][23][30]



Slika 12: Oblika in lega krivulje za določeno funkcionalno skupino

Vir: http://projekti.gimvic.org/2009/2a/spektroskopija/index_teorija_3.html

Bond	Compound type	Frequency range, cm^{-1}	Reference
C—H	Alkanes	2850–2960	Sec. 17.5
C—H	Alkenes	1350–1470	
		3020–3080 (<i>m</i>)	Sec. 17.5
C—H	Aromatic rings	675–1000	
		3000–3100 (<i>m</i>)	Sec. 17.5
		675–870	
C—H	Alkynes	3300	Sec. 17.5
C=C	Alkenes	1640–1680 (<i>v</i>)	Sec. 17.5
C≡C	Alkynes	2100–2260 (<i>v</i>)	Sec. 17.5
C ^{ar} —C	Aromatic rings	1500, 1600 (<i>v</i>)	Sec. 17.5
C—O	Alcohols, ethers, carboxylic acids, esters	1080–1300	Sec. 17.6
			Sec. 17.7
			Sec. 19.22
			Sec. 20.25
C=O	Aldehydes, ketones, carboxylic acids, esters	1690–1760	Sec. 18.23
			Sec. 19.22
			Sec. 20.25
O—H	Monomeric alcohols, phenols	3610–3640 (<i>v</i>)	Sec. 17.6
			Sec. 24.17
	Hydrogen-bonded alcohols, phenols	3200–3600 (<i>broad</i>)	Sec. 17.6
			Sec. 24.17
	Carboxylic acids	2500–3000 (<i>broad</i>)	Sec. 19.22
N—H	Amines	3300–3500 (<i>m</i>)	Sec. 23.21
C—N	Amines	1180–1360	Sec. 23.21
C≡N	Nitriles	2210–2260 (<i>v</i>)	
—NO ₂	Nitro compounds	1515–1560	
		1345–1385	

^a All bands strong unless marked: *m*, moderate; *v*, variable.

Slika 13: Značilne infrardeče absorpcijske frekvence

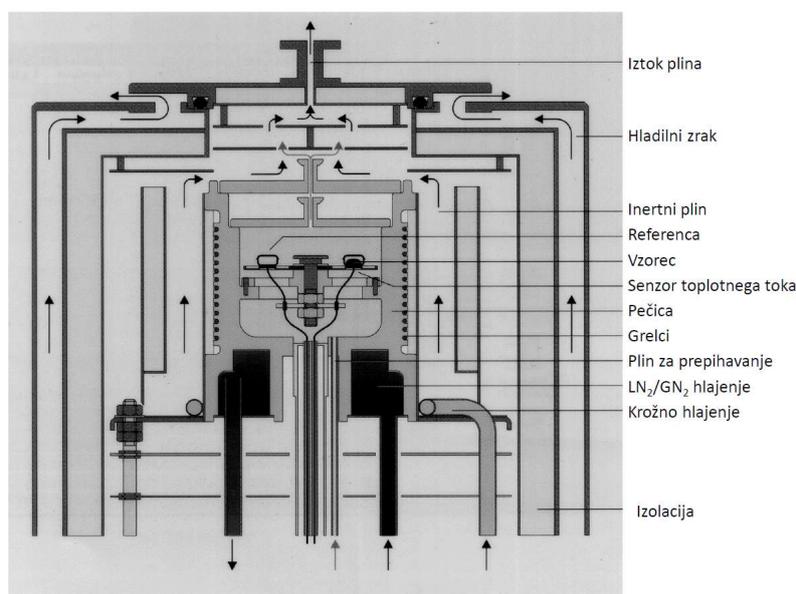
Vir: Organic Chemistry Sixth Edition

2.5.2 Diferenčna dinamična kalorimetrija

Diferenčna dinamična kalorimetrija (DSC) je sodobna termična metoda, s katero merimo količino energije (toplote), ki jo vzorec porabi ali sprosti, medtem ko ga segrevamo, ohlajamo ali vzdržujemo pri konstantni temperaturi. Z elektronskim krmiljenjem segrevanja se kompenzira povzročena razlika temperature oziroma se z regulacijo in meritvijo tokov v vzorcu vzdržuje konstantna temperatura sistema. Izravnava odstopanj temperature poteka v kratkih časovnih presledkih preko spremembe moči segrevanja, ki se registrira na pisalniku. [24][25]

Pri konstantnem segrevanju merimo toplotni tok, ki gre v vzorec ali iz njega. Določena temperatura v nekem vzorcu povzroči spremembe v sestavi in strukturi, saj zaznamo različne energetske prehode, ki se beležijo kot razlika v vnosu energije v snov in referenčni material v odvisnosti od temperature. Ko gre vzorec skozi fazni prehod, se sprememba pokaže kot endotermni ali eksotermni odmik od bazne črte. Rezultat je DSC-krivulja, ki predstavlja odvisnost toplotnega toka od temperature ali časa. [24][25][26][27]

Z DSC določamo: talilno toploto, specifično toplotno kapaciteto, tališče, hitrost reakcije, temperaturo steblastega prehoda, kristaliničnost, oksidativno stabilnost in čistočo. [24][26]



Slika 14: Shematski prikaz DSC

Vir: Fakulteta za tehnologijo polimerov

2.5.3 Termogravimetrična analiza

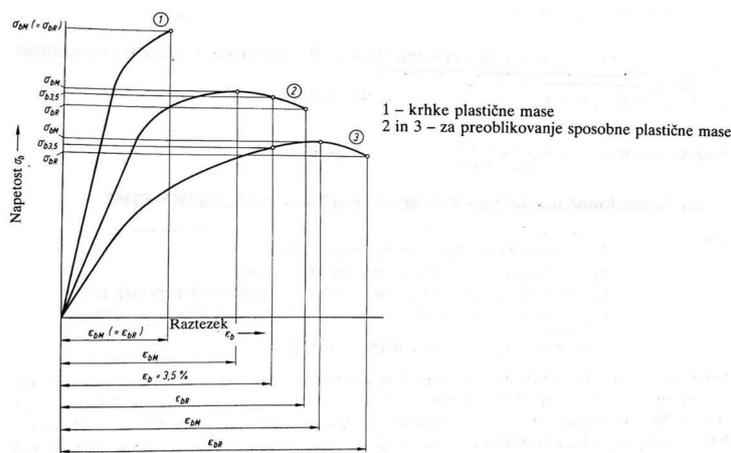
Termogravimetrična analiza (TGA) je metoda termične analize, kjer spremljamo spremembo mase skozi čas z višanjem temperature (nadzorovan program). TGA je hitra kvalitativna analiza, za katero je potrebna majhna količina vzorca in z njo določamo občutljivost vzorca, vsebnost vlage, oksidacijsko stabilnost, temperaturni razkroj, vsebnost ogljikovega dioksida, izvedbo stabilizatorjev in vsebino pepela. Meritev lahko poteka v statični ali dinamični atmosferi ali pa v vakuumu. [24][26]

Temperaturni razponi segajo tudi do 1600 °C (odvisno od naprave). Vzorec lahko segrevamo ali ohlajamo z izbrano hitrostjo ali pa ga vzdržujemo pri konstantni temperaturi (izotermno). [24][28]

Rezultat TGA je krivulja, iz katere vidimo, pri kateri temperaturi pride do največjih sprememb v vzorcu in kdaj je nastal končni produkt segrevanja. [24]

2.5.4 Upogib

Pri upogibnem preizkusu lahko določamo trdnostne lastnosti in oblikovne spremembe plastičnih mas v treh upogibnih točkah. To so upogibna trdnost (ϕ_{bM}), raztezek zunanjih vlaken pri maksimalni napetosti (ϕ_{bM}), 3,5 % – upogibna napetost ($\phi_{b3,5}$), raztezek zunanjih vlaken 3,5 % ($\phi_{b3,5}$), upogibna napetost pri zlomu (ϕ_{bR}), raztezek zunanjih vlaken pri zlomu (ϕ_{bR}) in modul elastičnosti ($E_{(b)}$). [40]

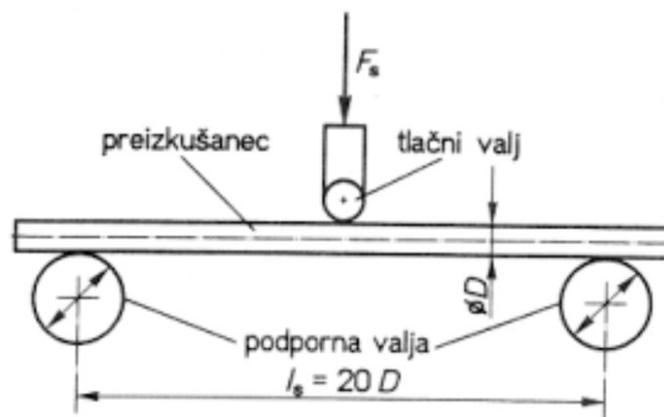


Slika 15: Napetostno - razteznostni diagram

Vir: Plastik-orodjar priročnik

Preizkus poteka na posebni merilni napravi ali na nateznem stroju, ki je obremenjen z merili sile (F) in upogiba (f). Hitrost preizkušanja je hitrost delovanja tlačne igle na podlago. Hitrost izberemo tako, da je preizkus končan v približno eni minuti oziroma da dosežemo vrednost upogibne trdnosti (σ_{bM}) ali 3,5 % upogibne napetosti ($\sigma_{b3,5}$). Enote, s katerimi se srečujemo, so: napetost v N/mm^2 ali MPa, raztezek zunanjih vlaken v % in upogib v mm. ^[40]

Preizkušanci ne smejo vsebovati lunkejev, por ali razrez. Pred preizkusom jih 16 ur skladiščimo pri normalnih pogojih. Poznamo dve obliki preizkušancev: upogibno in normalno palico. ^[40]



Slika 16: Shematski prikaz principa upogibnega preizkusa

Vir: http://jjamsek.eu/STG/ISN/2008_2009/Markocic_N_Umetne%20snovi_trdnost_2009.pdf

3 EKSPERIMENTALNI DEL

Moje eksperimentalno delo je potekalo v številnih stopnjah. Najprej sem se lotila študija literature različnih oblik. Preučila sem različne načine izdelave bioplastike, ki sem jo kasneje načrtno sintetizirala in analizirala. Na osnovi analize literature sem izbrala primerne sestavine in inventar.

3.1 Izdelava kalupa

3.1.1 Inventar

Tabela 1: Inventar, potreben za izdelavo kalupa iz modrina

Kartonasta škatla za čevlje	Lepilni trak	Kovinske palice ali vzorci	Plastična posoda, 1 L
Stresalnik	Precizna tehtnica	Lesene spatule	Lepilo UHU

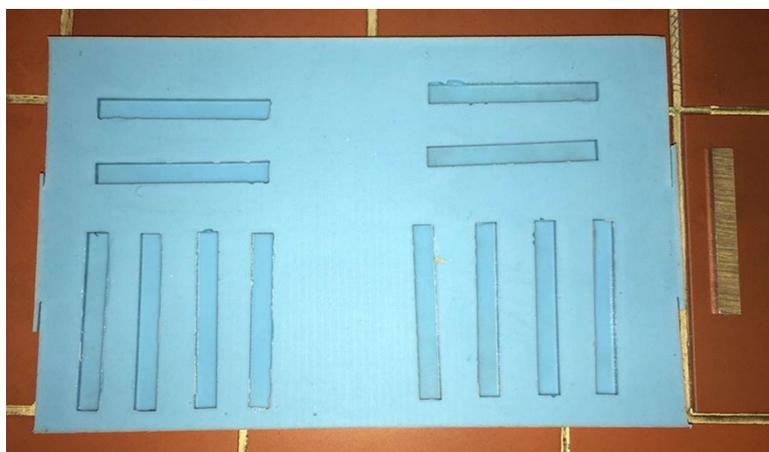
3.1.2 Kemikalije

Tabela 2: Kemikalije, potrebne za izdelavo kalupa

Snov	H-stavki	P-stavki	GHS-simboli
Silikonski kavčuk MODRIN MF	/	/	/
Katalizator C-88 Standard	H371-H315-H319- H335	P101-P102-P103- P260-P280- P305+P351+P338- P332+P313-P405- P501	

3.1.3 Postopek

V škatlo dobro nalepimo in pričvrstimo kovinske vzorce (80 x 10 x 4 mm). S pomočjo enačbe za volumen kvadra izračunamo maso modrina in potrebnega katalizatorja, ki predstavlja 3 % teže modrina. Komponenti dobro zmešamo in vlijemo v škatlo s kovinskimi vzorci. Zmes enakomerno razporedimo po škatli, jo vpnemo v stresalnik in pričnemo enakomerno stresanje, s pomočjo katerega se znebimo morebitnih zračnih mehurčkov, ki bi lahko deformirali vzorce. Počakamo, da modrin in katalizator popolnoma reagirata.



Slika 17: Kalup in kovinski vzorec

3.2 Izolacija krompirjevega škroba

3.2.1 Inventar

Tabela 3: Inventar, potreben za izolacijo škroba in krompirja

Precizna tehtnica	Strgalo	Posode	Cedilo	Lupilnik
-------------------	---------	--------	--------	----------

3.2.2 Kemikalije

Tabela 4: Kemikalije, potrebne za izolacijo krompirjevega škroba

Snov	H-stavki	P-stavki	GHS-simboli
Krompir avrora	/	/	/
Voda	/	/	/

3.2.3 Meritve

t (izločanje) = 20 min

Tabela 5: Meritve za izolacijo škroba iz krompirja

Snov	Masa [g]
Krompir	1042
Posoda 1	64
Posoda 2	62
Škrob in posoda 1	110
Škrob in posoda 2	69

3.2.4 Postopek

Krompir operemo, olupimo in naribamo. V posodo s krompirjem nalijemo vodo in počakamo, da se škrob izloči iz krompirja. Ko se škrob izloči, odstranimo preostanek krompirja in pustimo, da se škrob posede. Odvečno tekočino oddekantiramo in pustimo, da se škrob posuši. Suhemu škrobu izračunamo izkoristek in ga primerno skladiščimo za kasnejšo uporabo.



Slika 18: Posedanje škroba

3.3 Sinteza bioplastike

3.3.1 Bioplastika z različnimi dodatki

3.3.1.1 Inventar

Tabela 6: Inventar, potreben za sintezo bioplastik z dodatki

Čaša, 600 mL	Precizna tehtnica	Lesene spatule	Kuhalna plošča	Žličke
Peki papir, alu folija	Lesena kocka	Kalup iz modrina	Sušilnik	Palični mešalnik
Lesene ali keramične plošče	Škarje/nož	Terilnica s pestilom	Cedilnik	

3.3.1.2 Kemikalije

Tabela 7: Kemikalije, potrebne za izdelavo bioplastike z dodatkom klementine, krompirja in listja

Snov	H-stavki	P-stavki	GHS-simboli
Klementinini olupki	/	/	/
Krompirjevi olupki	/	/	/
Listje	/	/	/
Žajbelj	/	/	/
Glicerol (C ₃ H ₈ O ₃)	/	/	/
Koruzni škrob	/	/	/
Krompirjev škrob	/	/	/
Voda	/	/	/

3.3.1.3 Meritve

Tabela 8: Meritve za bioplastiko z dodatkom klementininih olupkov

Snov	Masa [g]
Klementinini olupki	15,5
Žajbelj	1,0
Glicerol	14,2
Koruzni škrob	12,2
Krompirjev škrob	24,9
Voda	38,7

Tabela 9: Meritve za bioplastiko z dodatkom krompirjevih olupkov

Snov	Masa [g]
Krompirjevi olupki	18,2
Žajbelj	1,2
Glicerol	26,4
Koruzni škrob	13,0
Krompirjev škrob	27,3
Voda	41,2

Tabela 10: Meritve za bioplastiko z dodatkom – listja

Snov	Masa [g]	
	Listje – krhko	Listje
Listje	12,1	10,1
Žajbelj	0,6	0,9
Glicerol	14,7	26,9
Koruzni škrob	12,4	11,4
Krompirjev škrob	25,7	24,2
Voda	59,8	36,7

3.3.1.4 Postopek

Potrebne sestavine si pripravimo, tako da jih dobro zmeljemo s paličnim mešalnikom. Listje bolj fino drobimo s terilnico s pestilom. Vse sestavine morajo biti pred mletjem suhe.

Na precizni tehtnici v čaši zatehtamo vse sestavine in jih dobro premešamo, pri tem si lahko pomagamo s paličnim mešalnikom. Zmes postavimo na kuhhalno ploščo, ki je nastavljena na srednje segrevanje. Med segrevanjem ves čas intenzivno mešamo. Nastala snov se nam bo začela zgoščevati (poteče reakcija polimerizacije). Preden se nam snov popolnoma spolimerizira, jo naneseemo v kalup. Za lepšo obliko vzorcev si pomagamo s pritiskanjem lesene kocke s peki papirjem na površino. Ko kalup popolnoma napolnimo, preostanek razmažemo po alu foliji ali peki papirju.

Kalup s snovjo damo v sušilnik za 6 ur na 60 °C. Sušimo lahko tudi pri višjih temperaturah, a razmerje časa in temperature mora biti enako, toda s tem tvegamo, da oblika vzorcev ne bo popolnoma enaka. Če se nam med segrevanjem vzorci začnejo upogibati ali viti, jih obtežimo z lesenimi ali keramičnimi ploščami.



Slika 19: Primer segrevanja zmesi z listjem na kuhalniku in primer polnjenja v kalup – bioplastika s krompirjevimi olupki (desno), bioplastika s klementininimi olupki (levo)

3.3.2 Bioplastika z bananinimi olupki

3.3.2.1 Inventar

Tabela 11: Inventar, potreben za izdelavo bioplastike z bananinimi olupki

Čaša, 600 mL, 1000 mL, 2000 mL	Cedilo	Kuhalna plošča	Kalup iz modrina	Alu folija, peki papir
Merilni valj, 50 mL, 250 mL	Nož	Palični mešalnik	Žličke	Papirnate brisače
Steklena palčka	Škarje	Lesene spatule	Precizna tehtnica	Terilnica s pestilom
Lesene ali keramične plošče	Deska	Lesena kocka		

3.3.2.2 Kemikalije

Tabela 12: Kemikalije, potrebne za izdelavo bioplastike z bananinimi olupki

Snov	H-stavki	P-stavki	GHS-simboli
Bananini olupki	/	/	/
Celuloza	/	/	/
Kis (9% CH₃COOH)	/	/	/
Med (čebelji, kostanjev)	/	/	/
Cimet	/	/	/
Timijan	/	/	/
Voda	/	/	/

3.3.2.3 Meritve

Tabela 13: Meritve za bioplastiko z bananinimi olupki

Snov	Količina
Bananini olupki	10 olupkov
Bananin škrob	80,7 g
Celuloza	80,2 g
Kis	40,5 g
Med (čebelji)	32,2 g
Med (kostanjev)	60,2 g
Cimet	2 žlički
Timijan	2 žlički
Voda	1100 mL

3.3.2.4 Postopek

Najprej moramo iz bananinih olupkov izločiti škrob. To storimo tako, da bananine olupke narežemo na manjše kose, jih s paličnim mešalnikom zmiksamo in nanje nalijemo 500 mL vode. Nastalo zmes dobro premešamo. Čašo z zmesjo postavimo na kuhavno ploščo in segrevamo na srednji temperaturi, pri tem moramo ves čas intenzivno mešati. Zmes mora vreti vsaj 5 min oz. tako dolgo, da se vidno zgosti. Nastalo zmes prelijemo v čašo in dodamo 500 mL vode. Dobro premešamo, počakamo, da se ohladi, in jo precedimo skozi cedilo. S pomočjo papirnatih brisač odstranimo vso odvečno tekočino. Tako iz bananinih olupkov izločimo škrob.

V čašo zatehtamo in odmerimo vse potrebne sestavine, jih dobro zmešamo in kuhamo na srednji vročini. Med segrevanjem ves čas mešamo. Nastala snov se nam bo začela vidno zgoščevati (poteče reakcija polimerizacije). Preden se nam snov popolnoma spolimerizira, jo prenesemo v kalup, pri tem si pomagamo s pritiskanjem lesene kocke na površino, saj s tem omogočimo lepšo obliko vzorcev.

Kalup s snovjo damo v sušilnik za 2 uri pri 60 °C. Sušimo lahko tudi pri višjih temperaturah, a razmerje časa in temperature mora biti enako, toda s tem tvegamo, da oblika vzorcev ne bo popolnoma

enaka. Če se nam med segrevanjem vzorci začnejo upogibati ali viti, jih obtežimo z lesenimi ali keramičnimi ploščami.



Slika 20: Izolacija škroba iz bananinih olupkov (levo) in nastajanje bioplastike (desno)

3.3.3 Bioplastika z jajčnimi lupinami

3.3.3.1 Inventar

Tabela 14: Inventar, potreben za izdelavo bioplastike iz jajčnih lupin

Čaša, 600 mL	Merilni valj, 50 mL	Sušilnik	Kuhalna plošča	Kalup iz modrina
Lesene spatule	Terilnica s pestilom	Žličke	Precizna tehtnica	Lesena kocka
Lesene ali keramične plošče				

3.3.3.2 Kemikalije

Tabela 15: Kemikalije, potrebne za izdelavo bioplastike z jajčnimi lupinami

Snov	H-stavki	P-stavki	GHS-simboli
Jajčne lupine	/	/	/
Voda	/	/	/
Kis (9% CH ₃ COOH)	/	/	/
Glicerol (C ₃ H ₈ O ₃)	/	/	/
Krompirjev škrob	/	/	/

3.3.3.3 Meritve

Tabela 16: Meritve za bioplastiko z jajčnimi lupinami

Snov	Količina
Jajčne lupine	55,2 g
Voda	40,4 g
Kis	12 mL
Glicerol	30,3 g
Krompirjev škrob	30,6 g

3.3.3.4 Postopek

Pripravimo si vse potrebne sestavine. Jajčne lupine posušimo in zdrobimo na čim manjše delčke.

V čaši na precizni tehtnici zatehtamo vse sestavine in jih dobro zmešamo. Čašo postavimo na kuhhalno ploščo in segrevamo pri zmerni temperaturi. Med segrevanjem neprestano mešamo. Ko opazimo, da se je tekoča zmes dobro zgostila, jo nanesemo v kalup. Za lepšo obliko vzorcev si pomagamo s pritiskanjem lesene kocke, ovite v peki papir, na površino.

Novonastalo snov damo v sušilnik, pri temperaturi 70 °C za 4–6 ur. Sušimo jo lahko tudi pri višjih temperaturah, a razmerje časa in temperature mora ostati enake. Z višjimi temperaturami tvegamo,

da oblika vzorcev ne bo popolnoma enaka. Če se nam med segrevanjem vzorci začnejo upogibati ali viti, jih obtežimo z lesenimi ali keramičnimi ploščami.



Slika 21: Priprava jajčnih lupin (levo) in nastajanje bioplastike (desno)

3.4 Analiza bioplastik

Produktom sintez (bioplastike) lahko določimo karakteristike, iz katerih lahko sklepamo, kakšna je njihova uporabnost v modernem svetu. Te karakteristike lahko primerjamo med seboj ali z drugimi plastikami iz fosilnih goriv.

3.4.1 Topnost

Bioplastikam lahko topnost določamo na več različnih načinov. Jaz sem izbrala princip, pri katerem na določen časovni interval merimo maso. Tako lahko vidimo, ali se snov topi v danem topilu in kolikšna je hitrost topnosti.

3.4.1.1 Inventar

Tabela 17: Inventar, potreben za določanje topnosti

Epruvete in zamaški	Merilni valj, 10 mL	Urno steklo	Analizna tehtnica
Digestorij	Pincete	Deska	Nož

3.4.1.2 Kemikalije

Tabela 18: Kemikalije za določanje topnosti

Snov	H-stavki	P-stavki	GHS-simboli
Etanol (C ₂ H ₅ OH)	H225-H301+H311-H370	P210-P260-P280-P301+P310-P311	
Voda	/	/	/
Heksan (C ₆ H ₁₄)	H225-H304-H315-H319-H336-H361f-H373-H411	P201-P210-P273-P280-P301+P310-P331	
Aceton (C ₃ H ₆ O)	H225-H319-H336	P210-P233-P261-P280-P303+P361+P353-P370+P378	

3.4.1.3 Postopek

Zatehtamo približno 0,125 g vzorca bioplastike in ga damo v 10 mL topila. Vzorec pustimo v topilu 3 min, nato ga damo na urno steklo, kjer ga pustimo na zraku sušiti 5 min. Po 5 min ga stehtamo na analizni tehtnici. Isti postopek ponovimo petkrat in narišemo graf.



Slika 22: Bioplastika z bananinimi olupki – V (voda), E (etanol), A (acetone), H (heksan)

3.4.2 Infrardeča spektroskopija

Je ena izmed karakterizacijskih metod vzorcev za določitev strukture, s katero v kombinaciji s prejšnjo določimo natančno molekulsko zgradbo.

3.4.2.1 Inventar

Tabela 19: Inventar, potreben za IR-spektroskopijo

Spektrometer FTIR (PerkinElmer, Spectrum 65)	Staničevina
--	-------------

3.4.2.2 Kemikalije

Tabela 20: Kemikalije pri infrardeči spektroskopiji

Snov	H-stavki	P-stavki	GHS-simboli
Etanol (C ₂ H ₅ OH)	H225-H301+H311-H370	P210-P260-P280-P301+P310-P311	

3.4.2.3 Postopek

IR-spektrometer pripravimo na meritev. ATR-celico očistimo z etanolom in postavimo vzorec z najbolj ravno površino. Izvedemo meritev in preučimo dobljeni graf.



Slika 23: IR-spektrometer

3.4.3 Upogib

Je karakterizacijska metoda, s pomočjo katere lahko sklepamo, ali je snov primerna za obdelavo in predelavo ali ne.

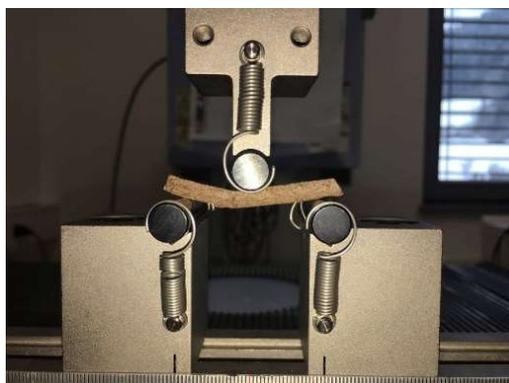
3.4.3.1 Inventar

Tabela 21: Inventar, potreben za določanje upogiba

Trgalni stroj (Shimadzu, AG-X plus)	Pomično merilo
-------------------------------------	----------------

3.4.3.2 Postopek

S pomičnim merilom zmerimo dimenzije vzorca in jih vnesemo v program. Vzorec vpnemo v trgalni stroj in začnemo meritev. Dobljene grafe dobro preučimo.



Slika 24: Bioplastika na osnovi krompirjevih olupkov, vpeta v trgalni stroj

3.4.4 Diferenčna dinamična kalorimetrija in termogravimetrična analiza

DSC je ena izmed termičnih metod, s katero merimo količino toplote, ki jo vzorec porabi ali sprosti, medtem ko ga segrevamo, ohlajamo ali vzdržujemo pri konstantni temperaturi. S to metodo lahko med drugim določamo razpad snovi ali temperaturo tališča.

TGA je termična metoda, s katero spremljamo spremembo mase skozi čas z višanjem temperature.

3.4.4.1 Inventar

Tabela 22: Inventar, potreben pri DSC in TGA

Termogravimetrični analizator TGA/DSC 3+ (Mettler Toledo)	Pinceta	Aluminijast lonček
---	---------	--------------------

3.4.4.2 Postopek

Odvzamemo in v posodico zatehtamo 5–30 mg vzorca. Zapremo pokrov in začnemo analizo. Analizo izvajamo najprej v kisiku in nato v dušiku. Dobljene grafe dobro analiziramo.

Ker na Šolskem centru Celje nimamo termogravimetričnega analizatorja, sem poslala vzorce na analizo v Slovenj Gradec na Fakulteto za tehnologijo polimer.



Slika 25: Termogravimetrični analizator TGA/DSC 3+ (Mettler Toledo)

4 REZULTATI

Rezultate sem pridobila v različnih oblikah. Nekatere rezultate sem določila računsko, druge pa s metodami sklepanja in primerjanja.

4.1 Izračun izkoristka izolacije škroba

Tovrstno izolacijo škroba sem izvedla s pomočjo tehtanja in računanja. Med izvedbo sem naletela ne kar nekaj ovir, ki bi mi lahko pokvarile rezultat. Če si postavimo cilj, da bomo računali izkoristek reakcij, moramo biti celoten čas zelo pozorni, saj lahko analitik sam pokvari rezultat z nenatančnim delom. Vse potrebščine, ki sem jih uporabljala, sem spirala z vodo, saj se je škrob že med lupljenjem in ribanjem krompirja izločal. Tako sem omogočila, da sem čim večji del škroba prenesla v zatehtano posodo.

Menim, da bi bil lahko izkoristek boljši, če bi krompir naribala na manjše kose ali bi ga celo zmiksala, saj bi s tem povečala površino in hitrost izločanja škroba v vodo. Do boljšega izkoristka bi lahko prišla tudi s površinskimi posodami, saj bi s tem krompir bolj enakomerno razporedila po posodi, s čimer bi se povečala hitrost izločanja škroba. Čas krompirja v vodi je zagotovo ključen, kajti dlje kot je v vodi, več škroba se izloči vanjo. Separacija krompirja iz vode po ekstrakciji lahko zagotovo vpliva na izkoristek, saj lahko ob zajemanju krompirja zajamemo še škrob. Za boljši izkoristek sem poskušala tudi z ožemanjem krompirja, saj je bil le-ta prepojen z vodo, in sklepam, da sem s tem pridobila nekaj škroba, ki bi ga sicer, brez tega, zavrgla. Z dekantiranjem sem zagotovo kakšen del ne popolnoma poseđenega škroba izločila iz posode.

Sklepam, da bi lahko do boljšega izkoristka prišla z uporabo druge vrste krompirja, saj različne vrste vsebujejo različno količino škroba.

Na podlagi rezultatov sem najprej izračunala količino izoliranega škroba, nato pa še izkoristek reakcije.

Količino izoliranega škroba sem izračunala po naslednji enačbi:

$$m(\text{škrob}) = (m_{(\text{škrob} + \text{posoda})_1} - m_{(\text{posoda})_1}) + (m_{(\text{škrob} + \text{posoda})_2} - m_{(\text{posoda})_2})$$

kjer je:

- $m(\text{škrob})$ masa izoliranega škroba
- $m_{(\text{posoda})_1}$ masa posode številka 1
- $m_{(\text{posoda})_2}$ masa posode številka 2
- $m_{(\text{škrob} + \text{posoda})_1}$ masa izoliranega škroba in posode številka 1
- $m_{(\text{škrob} + \text{posoda})_2}$ masa izoliranega škroba in posode številka 2

Vstavimo podatke. Dobimo naslednjo enačbo:

$$m(\text{škrob}) = ((110 - 64) + (69 - 62)) \text{ g} = 53 \text{ g}$$

Izkoristek izolacije pa sem izračunala po naslednji enačbi:

$$\eta = \frac{m_{(\text{škrob})}}{m_{(\text{krompir})}} * 100\%$$

kjer je:

- η izkoristek izolacije škroba
- $m_{(\text{škrob})}$ masa izoliranega škroba
- $m_{(\text{krompir})}$ masa krompirja pred izolacijo škroba

Ko vstavimo podatke, nastane enačba oblike:

$$\eta = \frac{53 \text{ g}}{1042 \text{ g}} * 100 \% = 5,09 \%$$

4.2 Topnost

Ena izmed karakteristik snovi je topnost v različnih topilih, bodisi organskih bodisi anorganskih. S pomočjo te karakteristike lahko predvidevamo kasnejšo uporabo.

Na rezultat topnosti vplivajo komponente, iz katerih je bioplastika sintetizirana, saj se vsaka v danem topilu obnaša drugače. Ugotovila sem, da vsebnost polnila vpliva na topnost. Med seboj lahko primerjamo plastike z listjem, klementininimi in krompirjevimi olupki, saj imajo poleg enakih sestavin še enako razmerje le-teh. Bioplastika s klementininimi in krompirjevimi olupki ni topna v heksanu (glej *Graf 1* in *Graf 2*), medtem ko je bioplastika z listjem topna v tem organskem topilu (glej *Graf 3*). Iz dobljenih rezultatov lahko ugotovimo, da tudi različna vsebnost polnil vpliva na hitrost raztapljanja v topilih, saj se (glej *Graf 1* in *Graf 2*) bioplastika s krompirjevimi olupki hitreje topi, v etanolu in acetonu, kot bioplastika s klementininimi olupki.

Ugotovila sem, da je masa v vodi pri vseh vzorcih, razen bioplastiki z bananinimi olupki, naraščala. To pomeni, da se vzorci ne raztapljajo v vodi. Sklepam, da se bioplastike v vodi ne topijo zaradi hidrofилnosti. To pomeni, da so biopolimeri v močni interakciji z vodo. Tudi kasneje, ko se biopolimeri povežejo v bioplastiko, ta ni odporna proti vodi, voda se nanje veže. Zato se mase bioplastik v vodi povečajo.

Meritve, s pomočjo katerih je nastal graf, lahko najdete v poglavju 7 (glej od *Priloga 1* do *Priloga 5*).

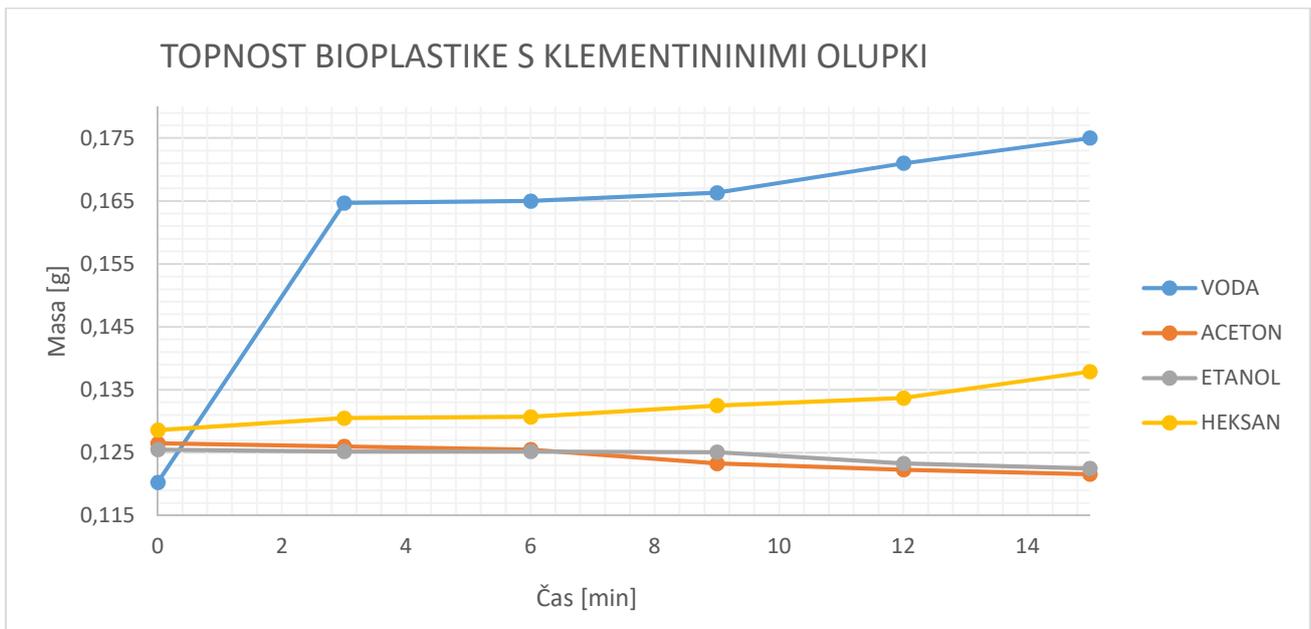
4.2.1 Bioplastika s klementininimi olupki in bioplastika s krompirjevimi olupki

Iz danih grafov (glej *Graf 1* in *Graf 2*) lahko razberemo, da se masi v etanolu in acetonu manjšata, masi v heksanu in vodi pa se povečujeta. To pomeni, da se bioplastiki raztapljata v etanolu in acetonu, medtem ko se v heksanu in vodi ne.

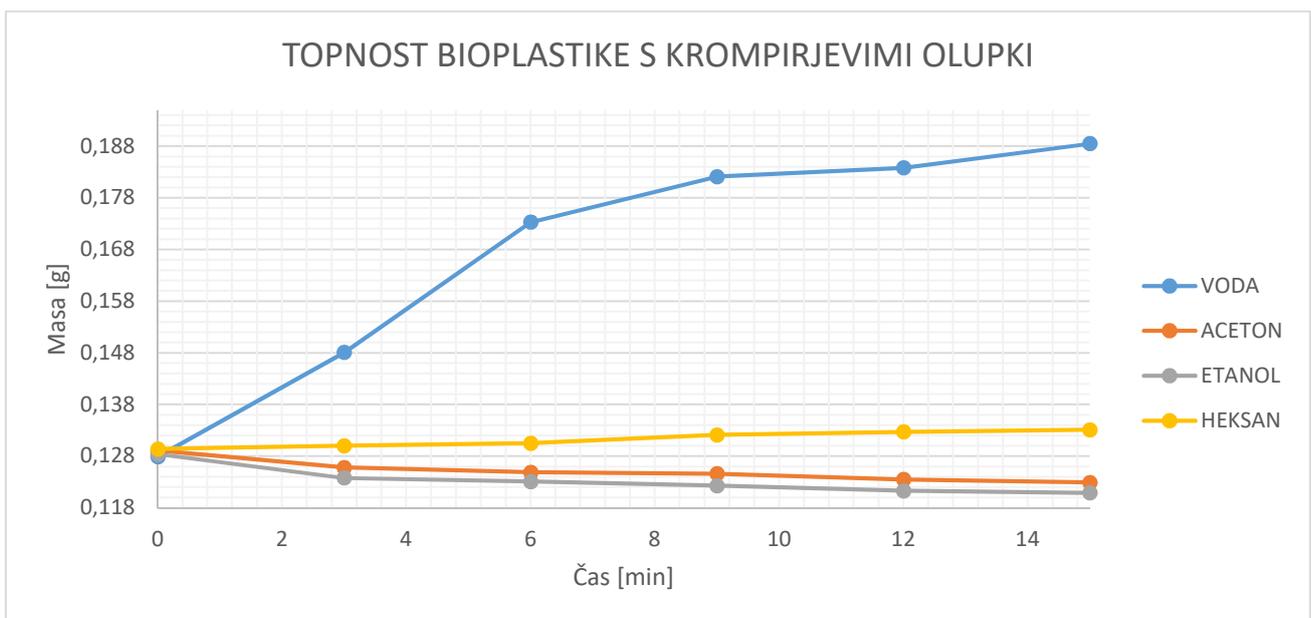
Sklepam, da sta bioplastiki polarni, saj nista topni v heksanu, ki je nepolarno topilo. Predvidevam, da se razlog za to skriva v polnilih (klementininih in krompirjevih olupkih).

Etanol in škrob vsebujeta hidroksilno skupino, s pomočjo katere lahko sklepamo, da je to vzrok, da etanol počasi raztaplja škrob in posledično tudi sintetizirani bioplastiki, ki vsebuje krompirjev in koruzni škrob.

Iz teoretičnih osnov lahko razberemo, da ima glicerol v acetonu omejeno topnost. BeMiller in Whistler v svojem delu navajata, da je aceton tako polarno kot nepolarno topilo. Avtorja med drugim navajata tudi, da je raztopina škroba polarna. Iz tega lahko sklepamo, da je nastala bioplastika polarna. V kemiji velja preprosto pravilo, da se podobne snovi topijo v podobnem. Ker so bioplastiki in aceton podobne snovi, lahko sklepam, da je to razlog, da se bioplastiki topita v acetonu.



Graf 1: Diagram topnosti bioplastike s klementininimi olupki



Graf 2: Diagram topnosti bioplastike s krompirjevimi olupki

4.2.2 Bioplastika z listjem

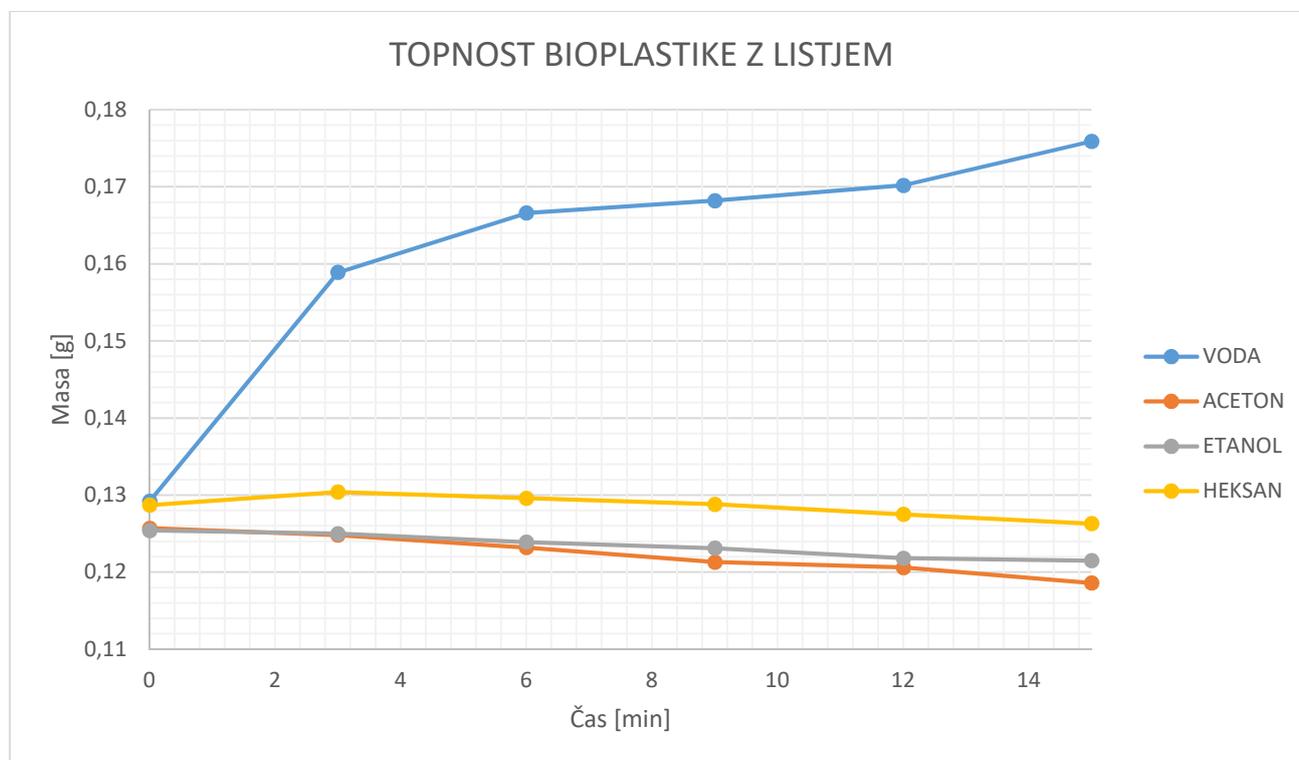
Iz danega grafa (glej *Graf 3*) lahko razberemo, da se masa bioplastike v heksanu, etanolu in acetonu manjša, masa v vodi pa se povečuje. To pomeni, da se bioplastika raztaplja v heksanu, etanolu in acetonu, medtem ko se v vodi ne.

Etanol in škrob vsebujeta hidroksilno skupino, s pomočjo katere lahko sklepamo, da je to vzrok, da etanol počasi raztaplja škrob in posledično tudi sintetizirano bioplastiko, saj tudi ta vsebuje škrob.

Topnost glicerola v acetonu je omejena. BeMiller in Whistler v svojem delu navajata, da je aceton tako polarno kot nepolarno topilo. V njunem delo zasledimo tudi podatek, da je raztopina škroba polarna. Iz tega lahko sklepamo, da je bioplastika polarna.

Eno od mnogih pravil v kemiji je ta, da se podobne snovi topijo v podobnem. Ker sta bioplastika in aceton podobni snovi, lahko sklepam, da je to razlog, da se bioplastika topi v acetonu.

Heksan je nepolarno topilo, a se bioplastika v njem topi. Menim, da se razlog zagotovo skriva v polnilu. Pri bioplastiki z listjem predvidevam, da se je listje ekstrahiralo in raztopilo v danem topilu, saj se je topilo obarvalo rahlo rumeno. Rumeno pa sta se pobarvala tudi aceton in etanol.



Graf 3: Diagram topnosti bioplastike z listjem

4.2.3 Bioplastika z jajčnimi lupinami

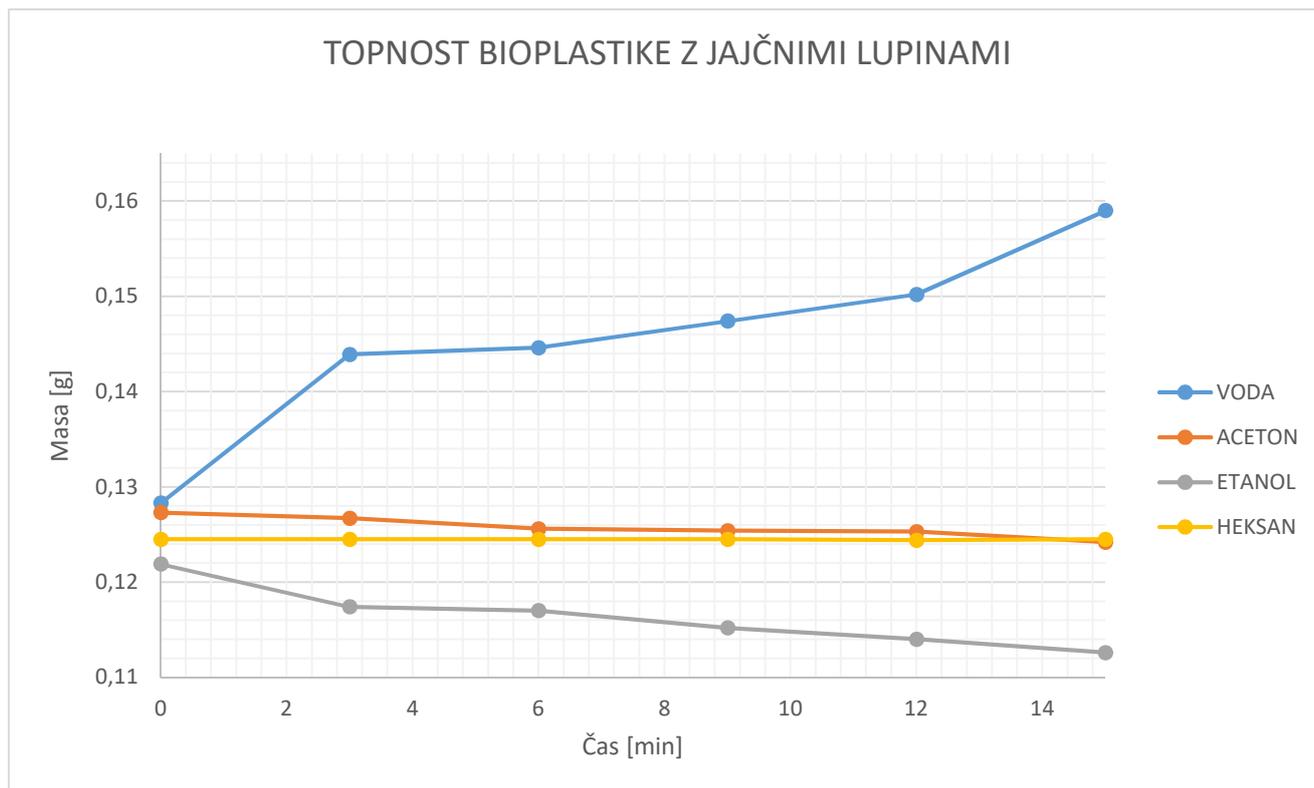
Iz danega grafa (glej *Graf 3*) lahko razberemo, da se masa bioplastike v etanolu in acetonu manjša, masa v vodi pa se povečuje, medtem ko je masa v heksanu konstantna. To pomeni, da se bioplastika raztaplja v etanolu in acetonu, medtem ko se v vodi in heksanu ne.

V različnih literaturah lahko zasledimo podatke o jajčni lupini, ki sem jo uporabila kot polnilo. Sestavljena je iz kalcijevega karbonata, kalcita in organskih snovi, kot so: sulfati, polisaharidi in beljakovine. Ko jajčne lupine zdrobimo in jih dodamo k sestavi snovi, dobimo polarno snov, saj so na površini zmletih delcev jajčnih lupin proteini, sestavljeni iz aaminskih karbonilnih skupin (16–18).

Etanol in škrob vsebujeta hidroksilno skupino, s pomočjo katere lahko sklepamo, da je to vzrok, da etanol počasi raztaplja škrob in posledično tudi bioplastiko, saj tudi ta vsebuje škrob. Poleg tega pa iz literature izvemo, da so jajčne lupine polarne, prav tako kot etanol.

Iz teoretičnih osnov lahko razberemo, da ima glicerol v acetonu omejeno topnost. BeMiller in Whistler v svojem delu navajata, da je aceton tako polarno kot nepolarno topilo. Poleg tega avtorja tudi navajata, da je raztopina škroba polarna. V kemiji velja preprosto pravilo, da se podobne snovi topijo v podobnem. Na podlagi topnosti bioplastike v acetonu, sklepam, da sta si snovi podobni.

Heksan je nepolarno topilo, v njem se bioplastika ne topi. Na podlagi tega lahko tudi sklepam, da je bioplastika polarna.



Graf 4: Diagram topnosti bioplastike z jajčnimi lupinami

4.2.4 Bioplastika z bananinimi olupki

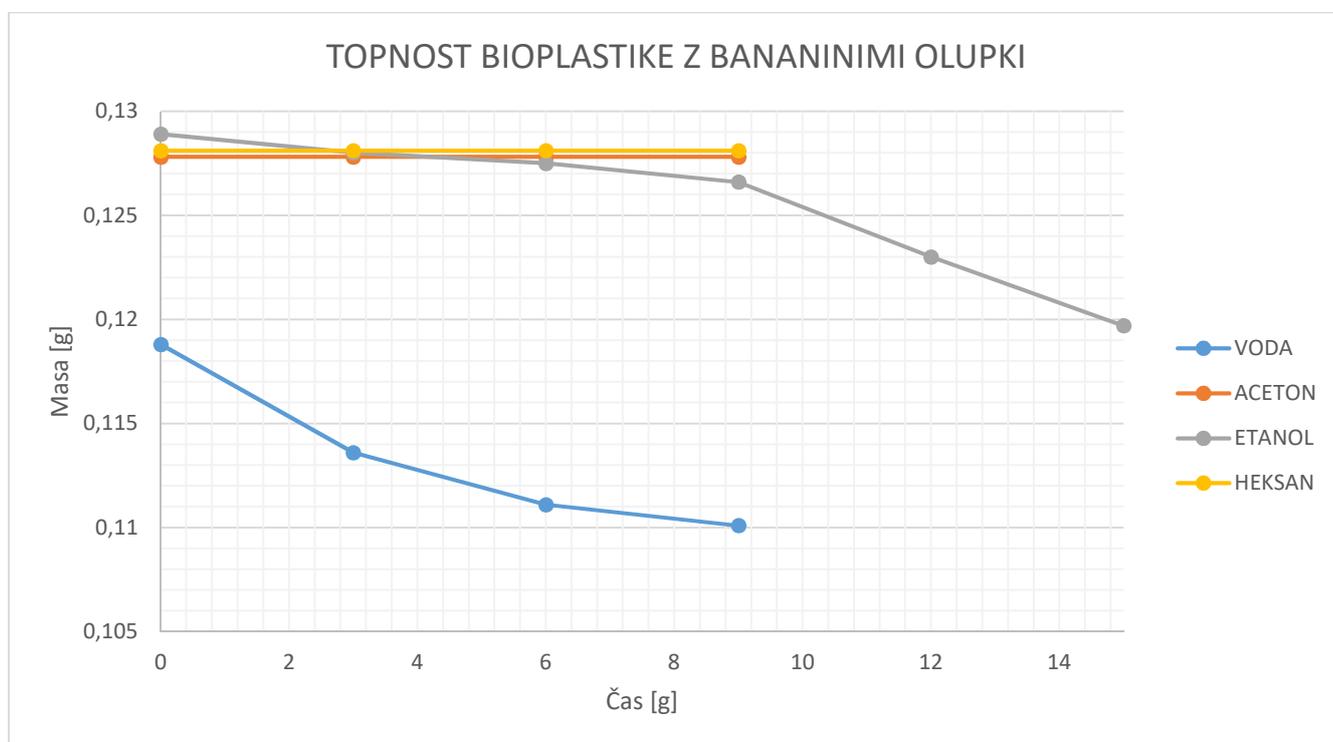
Iz danega graf (glej *Graf 5*) sem ugotovila, da se masa bioplastike v vodi in etanolu manjša, medtem ko je masa v heksanu in acetonu ostala popolnoma enaka. To pomeni, da je bioplastika topna v vodi in etanolu, medtem ko ni topna v acetonu in heksanu.

Pri tej bioplastiki sem, po posvetu z mentorjem, določala topnost v vodi, acetonu in heksanu samo prvih 9 min, razen v etanolu sem topila topilo vseh 15 min. V vodi se mi je bioplastika začela očitno mehčati in razpadati. Pri 9 min je iz vode nisem mogla več dobiti, saj sem jo z pinceto popolnoma stisnila in deformirala. Ker nisem mogla več opravljati meritev za vodo, sem se odločila, da bom prenehala nadaljnje meritve, saj lahko iz meritev sklepam, da bioplastika ni topna v acetonu in heksanu, saj se masa ni nič spremenila.

Heksan je nepolarno topilo, medtem ko lahko iz BeMillerjevega in Whistlerjevega dela razberemo, da je lahko aceton tako polarno kot nepolarno topilo. Ker bioplastika ni topna v nobenem izmed topil, sklepam, da je bioplastika polarna.

V kemiji poznamo pravilo, da se podobne snovi topijo v podobnem. Ker je bioplastika polarna snov, lahko sklepam, da je to razlog, da se bioplastika topi v etanolu, saj je etanol polarno organsko topilo. Po drugem raztapljanju (po šestih minutah) se je obarvala belo. Iz tega sklepam, da je med bioplastiko in etanolom stekla kemijska reakcija.

Če pa podrobneje pogledamo meritve te bioplastike, ugotovimo, da njen precejšnji del predstavlja med, ki pa je dobro topen v vodi. Med, poleg ostalih snovi, vsebuje precejšen del ogljikovih hidratov (osnovna gradnika: glukoza in fruktoza), ki se v vodi dobro topijo. Poleg tega pa sklepamo, da je bioplastika polarna, vemo, da je voda tudi polarno topilo. Na podlagi sestave in sklepanj menim, da je to razlog za topnost v vodi.

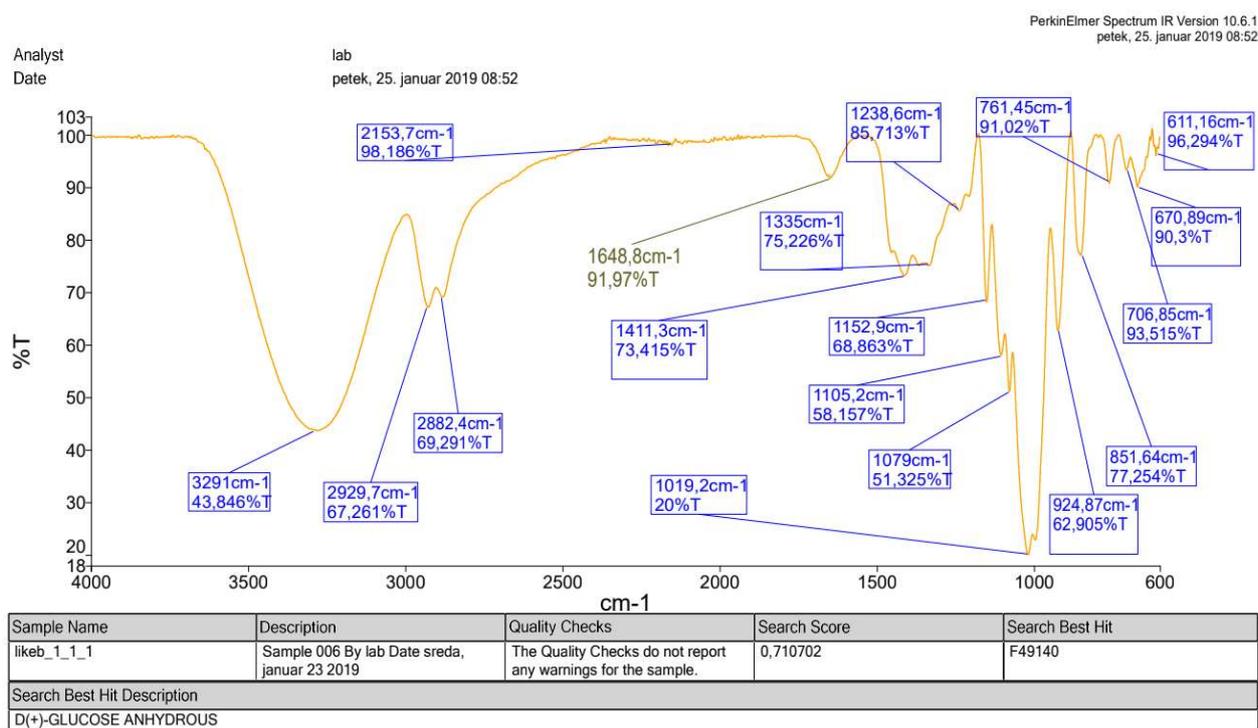


Graf 5: Diagram topnosti bioplastike z bananinimi olupki

4.3 Infrardeča spektroskopija

Z infrardečo spektroskopijo so bili preučeni vsi vzorci bioplastik. Imela sem šest vzorcev, od tega ste bila dva vzorca bioplastike z listjem, saj sta vsebovala različna razmerja sestavin.

Metoda nam omogoča primerjavo krivulje vzorca s krivuljami drugih snovi. Tako izvemo, katera snov ima podobno sestavo. Poleg tega nam metoda omogoča hiter pregled kvalitete snovi.



Graf 7: IR absorpcijski spekter za bioplastiko s krompirjevimi olupki

4.3.2 Bioplastika z listjem

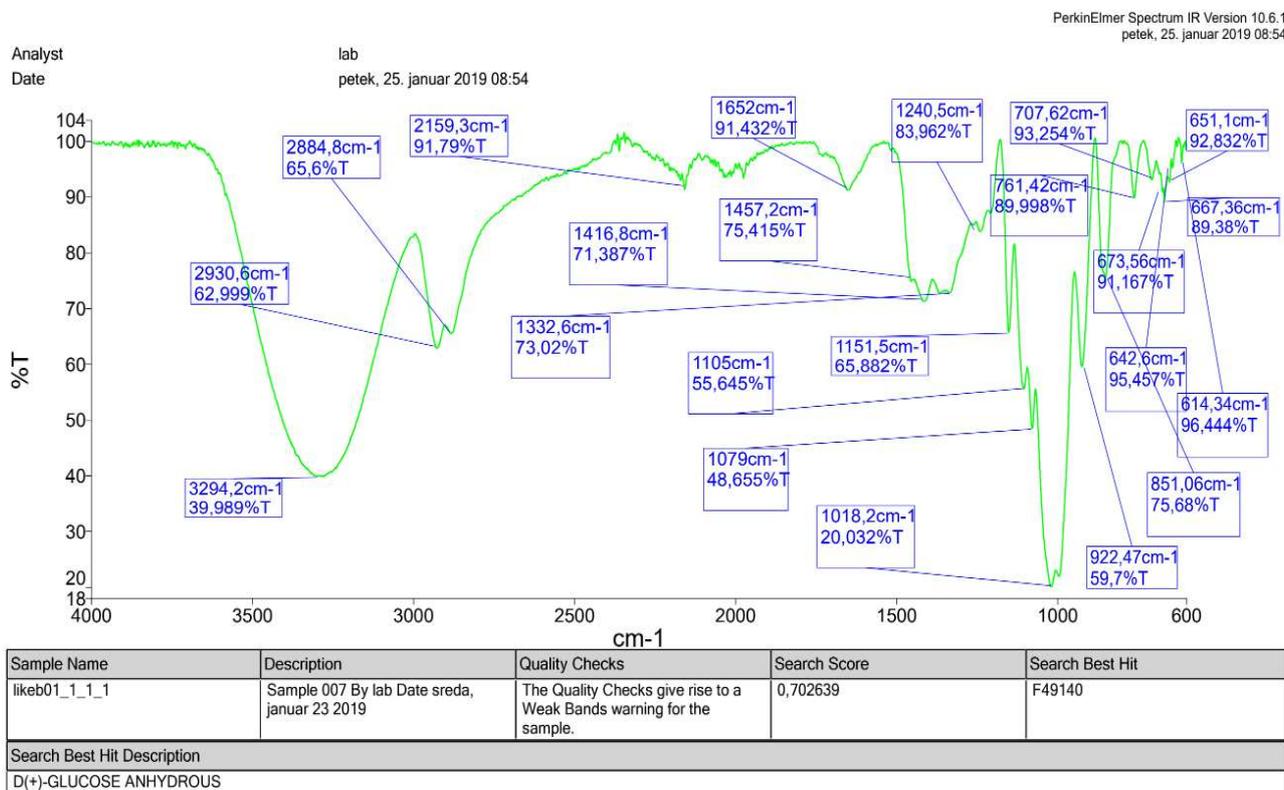
Kot sem že povedala, sem bioplastiko z dodatkom listja delala dvakrat, saj sem uporabila različno razmerje sestavin. Bioplastiki sta si bili različni, saj je bila ena že na videz bolj krhka od druge. Zaradi tega sem, za lažje razumevanje, eno poimenovala »bioplastika iz listja«, drugo pa »bioplastika z listjem – krhko«. Bioplastika z listjem – krhko je v začetni fazi vsebovala več listja in vode ter manj glicerola.

Iz danih grafov (glej *Graf 8* in *Graf 9*) lahko opazimo, da imata vzorca bioplastik podobno obliko, a če pogledamo podrobneje, opazimo, da vzorca ne vsebujeta enakih funkcionalnih skupin. To določimo tako, da označimo pike ter z valovnimi dolžinami in iz tabele iz teoretičnih osnov (glej *Slika 13*) odčitamo funkcionalne snovi v vzorcih.

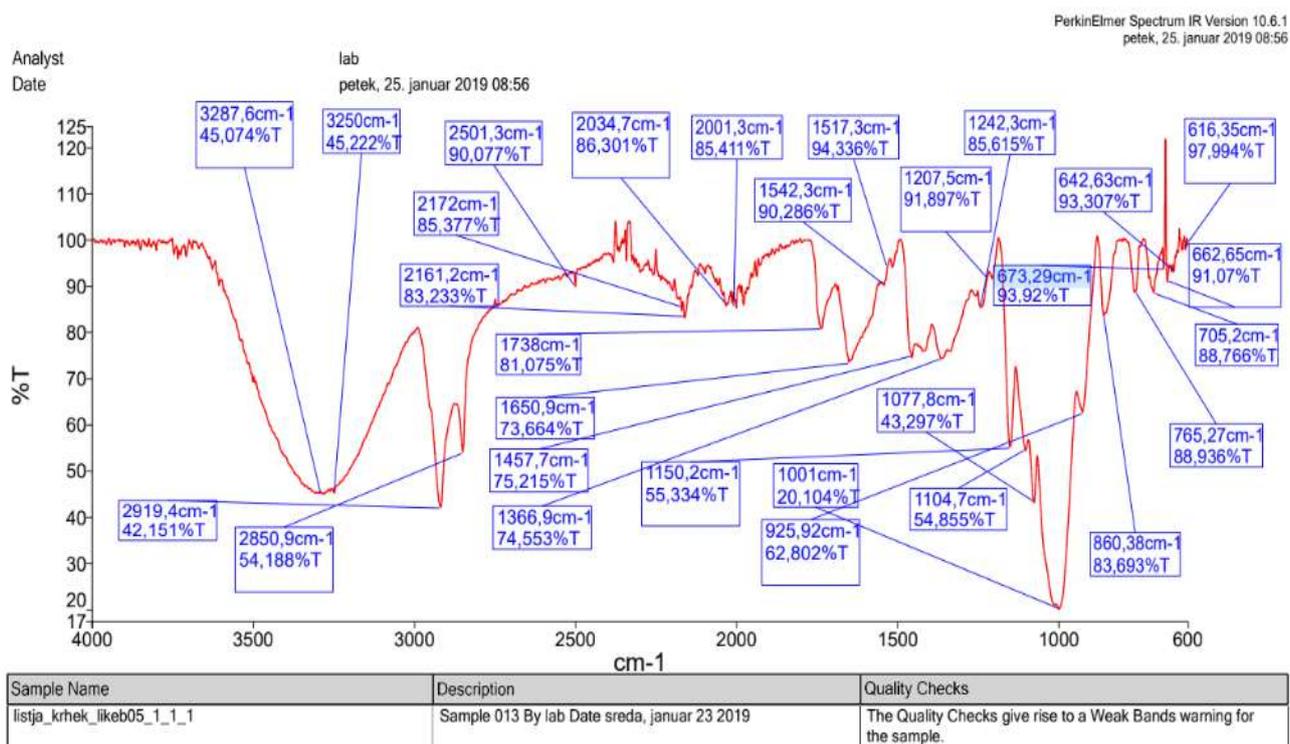
Oba vzorca vsebujeta hidroksilno (primarni in sekundarni alkoholi), karboksilno in karbonilno skupino, amine, etre, alkane, alkene, alkine in aromatske obročje. Bioplastika z listjem – krhko poleg navedenih funkcionalnih skupin vsebuje še nitro funkcionalno skupino. Do tega je lahko prišlo ravno zaradi sestave, kajti ta bioplastika vsebuje več listja, škroba in vode, saj je lažje potekla reakcija med

njimi. Eden izmed razlogov za to je lahko tudi ta, da je naprava zaradi slabe strukture napačno zmerila ali pa je bila napaka v programu, saj sem imela težave že pri upravljanju pred testom za ta vzorec. Meritev sem opravila večkrat, a to je bil edini rezultat, ki sem ga s tem vzorcem dobila.

Primerjala sem krivulji vzorcev s krivuljami drugih snovi. Pri bioplastiki iz listja mi je računalnik kot največji približek krivulje tega vzorca podal brezvodno D-glukozo, medtem ko pri bioplastiki z listjem – krhko zaradi strukture ni mogel podati približka. S pregledom kvalitete sem ugotovila, da imata oba vzorca šibke pasove. To je zelo pomemben podatek, saj to vpliva na predelavo in uporabo bioplastik.



Graf 8: IR absorpcijski spekter bioplastike iz listja



Graf 9: IR absorpcijski spekter za bioplastiko z listjem – krhko

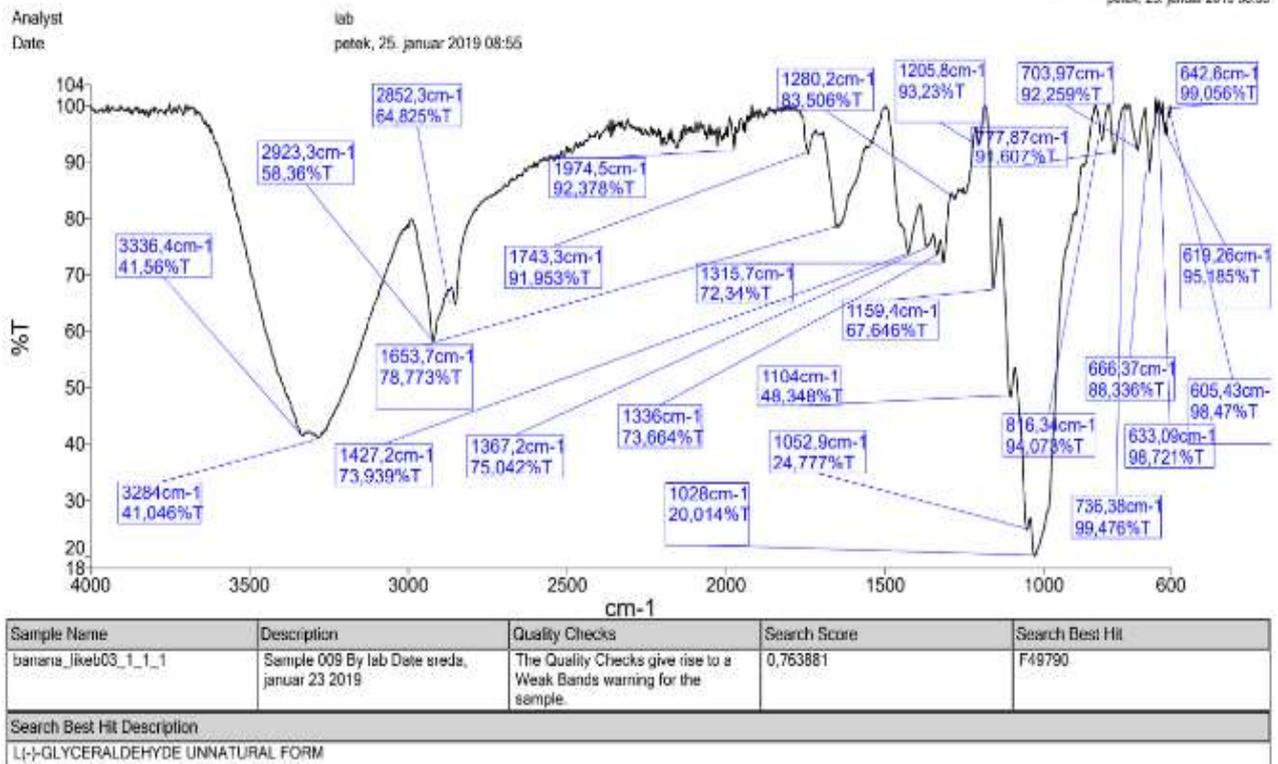
4.3.3 Bioplastika z bananinimi olupki

Iz danega grafa (glej *Graf 10*) lahko razberem pike, s katerimi določujem vsebnost funkcionalnih skupin v snovi.

Vzorec vsebuje hidroksilno (primarni in sekundarni alkoholi), karboksilno in karbonilno skupino, amine, etre, alkane, alkene, alkinne in aromatske obročje.

Pomemben podatek je ta, da je to bioplastika, zgrajena v celoti iz popolnoma organskih sestavin, ki jih lahko najdemo v boljše založenih kuhinjah. Pri primerjavi krivulj je največji približek krivulji vzorca L-gliceraldehid v nenaravni obliki. To je najpreprostejša molekula iz skupine aldov in je sladka, brezvodna kristalna trdna snov. Imenuje se po kombinaciji glicerola in aldehida, ker je gliceraldehid dejansko glicerol z eno hidroksimetilno skupino, ki je substituirana za aldehyd.

Opravila sem pregled kvalitete, ampak ni bilo najdenih nobenih napak ali pomanjkljivosti v strukturi.



Graf 10: IR absorpcijski spekter za bioplastiko z bananinimi olupki

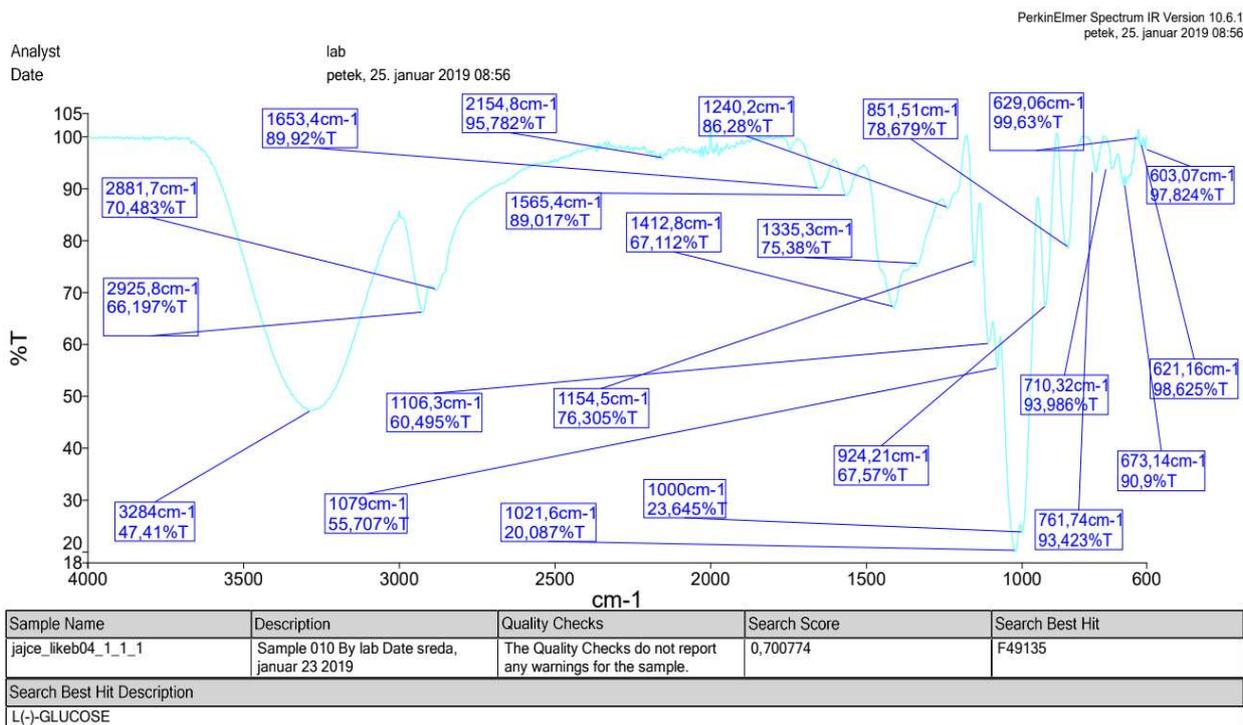
4.3.4 Bioplastika z jajčnimi lupinami

Iz danega grafa (glej *Graf 11*) razberemo pike in določimo funkcionalne snovi, ki se nahajajo v preučevani bioplastiki.

Vzorec vsebuje hidroksilno (primarni in sekundarni alkoholi), karboksilno, karbonilno in nitro skupino, amine, etre, alkane, alkene, alkine in aromatske obročje.

Pri primerjavi krivulj sem ugotovila, da je največji približek krivulji vzorca brezvodna D-glukoza.

Pri pregledu kvalitete ni bilo opaženih nobenih pomanjkljivosti.



Graf 11: IR absorpcijski spekter za bioplastiko z jajčnimi lupinami

4.4 Upogib

Upogib je pomembna lastnost snovi, saj tako vidimo, ali je snov primerna za predelavo in kakšna je njena uporaba.

Pomemben podatek je ta, da sem, po posvetu z mentorjem, meritev zaustavila, ko sem videla, da se je pritisk na površino začel manjšati, saj bi v nasprotnem primeru lahko, v nekaterih primerih, meritev trajala v nedogled oz. dokler vzorec ne bi zdrsnil iz nosilk.

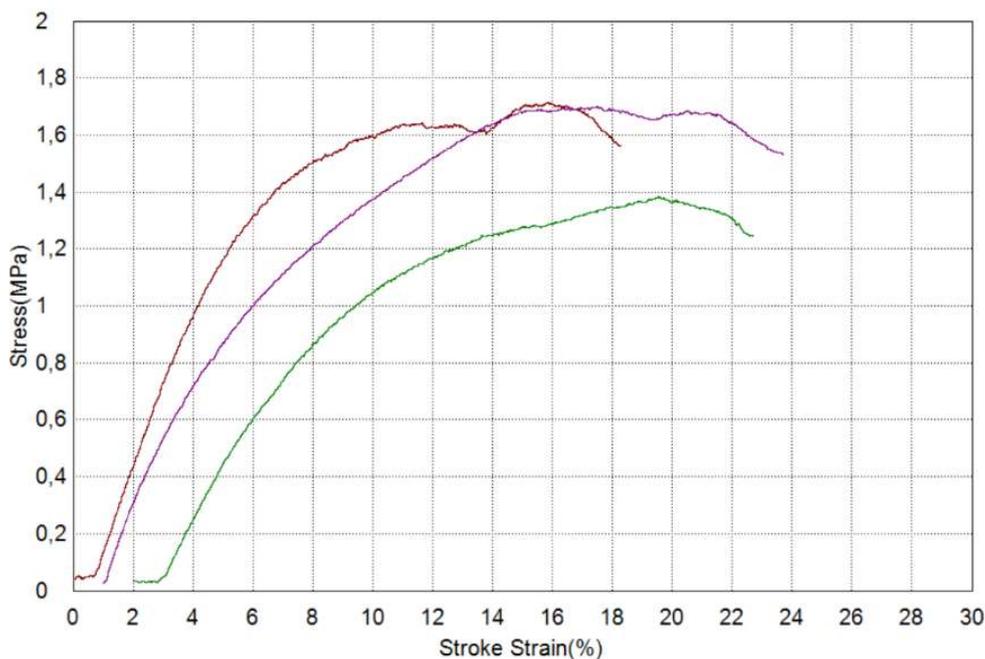
Vse opravljene meritve in rezultate lahko najdete v poglavju 7 (od Priloga 8 do Priloga 13).

4.4.1 Bioplastika s klementininimi olupki

Če primerjamo graf iz teoretičnih osnov (glej *Slika 15*) in dani graf (glej *Graf 12*), opazimo podobnost s krivuljama 2 in 3. Ti dve krivulji sta značilni za preoblikovanje sposobne plastične mase. Iz tega lahko sklepam, da je tudi dani vzorec primeren za preoblikovanje in je lahko konkurenčen plastiki iz fosilnih virov.

Pri rdeči in vijolični krivulji vidimo dva »hribčka«. Sklepam, da je razlog za to sestava, saj so bili vzorci, v primerjavi z drugimi vzorci bioplastike, precej tanjši in so vsebovali rahle nepravilnosti. S pomočjo teh dveh krivulj lahko opazimo to žilavost vzorcev.

Nobeden izmed vzorcev se ni deformiral. Se pa po končanih meritvah niso mogli samostojno vrniti v prvotno obliko (bili so rahlo zviti).



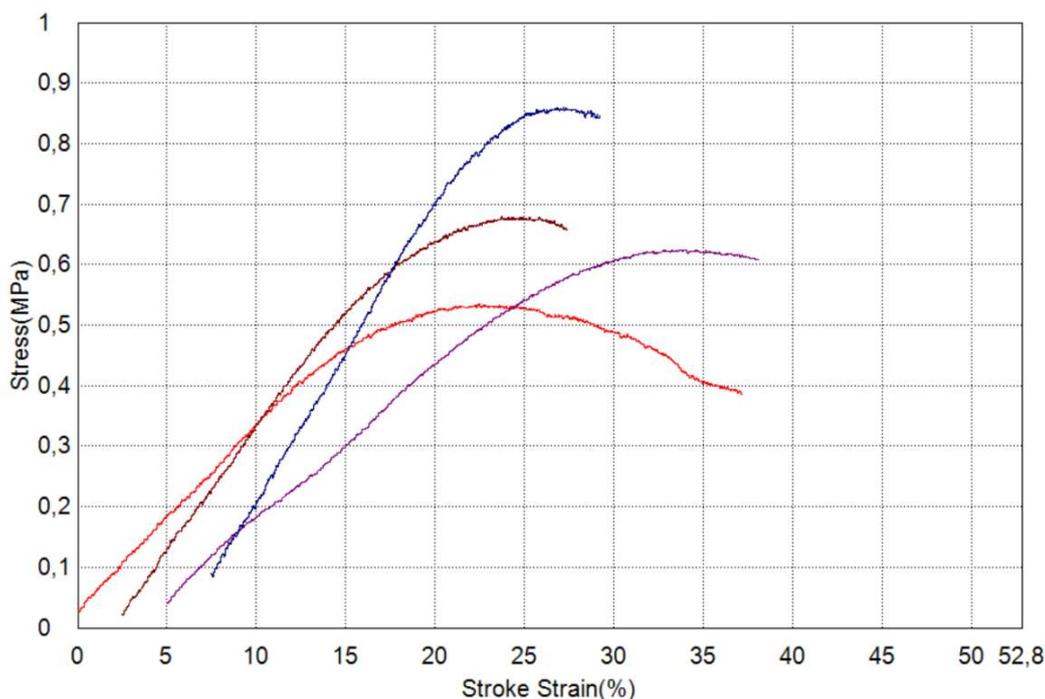
Graf 12: Diagram upogibnega testa za bioplastiko s klementinini lupki

4.4.2 Bioplastika s krompirjevimi olupki

Pri primerjavi grafa iz teoretičnih osnov (glej *Slika 15*) in danega graf (glej *Graf 13*), opazimo podobnost s krivuljama 2 in 3, ki sta značilni za preoblikovanje sposobne plastične mase. Zato lahko predvidevamo, da je tudi dani vzorec primeren za preoblikovanje in je lahko konkurenčen plastiki iz fosilnih virov.

Tu moram izpostaviti, da je eden izmed razlogov za prekinitvev meritev ta, da so bili vsi vzorci zelo elastični. Na podlagi tega sem predvidevala, da vzorec ne bo nikoli počil ali se zlomil, saj bi lahko meritev potekala, dokler ne bi vzorec zdrsnil iz nosilk vzorca. Nobeden izmed vzorcev se ni

deformiral. Vzorci se po končanih meritvah niso mogli samostojno vrniti v prvotno obliko (bili so rahlo zviti).



Graf 13: Diagram upogibnega testa za bioplastiko s krompirjevimi olupki

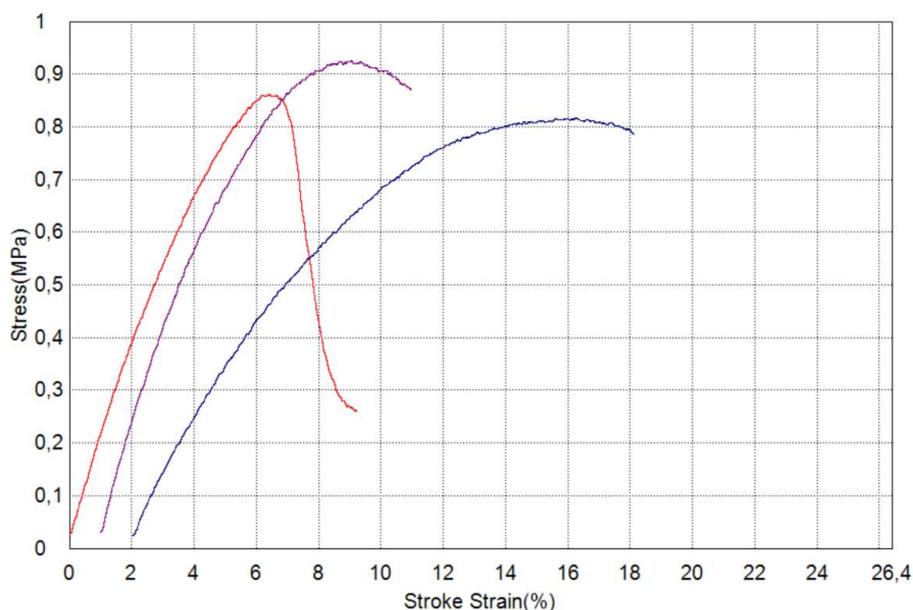
4.4.3 Bioplastika z listjem

Bioplastiko z dodatkom listja sem delala dvakrat, pri tem sem uporabila različno razmerje sestavin. Bioplastiki sta si bili različni, saj je bila ena, že na videz, bolj krhka od druge. Zaradi tega sem, za lažje razumevanje, eno poimenovala »bioplastika iz listja«, drugo pa »bioplastika z listjem – krhko«. Bioplastika z listjem – krhko je v začetni fazi vsebovala več listja in vode ter manj glicerola.

Če najprej primerjamo dana grafa (glej *Graf 14* in *Graf 15*), ugotovimo, da kljub podobni sestavi nimata nič skupnega. To pomeni, da razmerje komponent vpliva na karakteristike bioplastike. Sklepam, da na te karakteristike vplivata glicerol in količina polnila.

Če primerjamo graf iz teoretičnih osnov (glej *Slika 15*) in dana grafa (glej *Graf 14* in *Graf 15*), ugotovimo, da ima graf bioplastike iz listov podobne oblike krivulj, kot so v teoretičnih osnovah, medtem ko pri bioplastiki z listjem – krhko ne moremo ravno trditi, da jih lahko primerjamo. Na

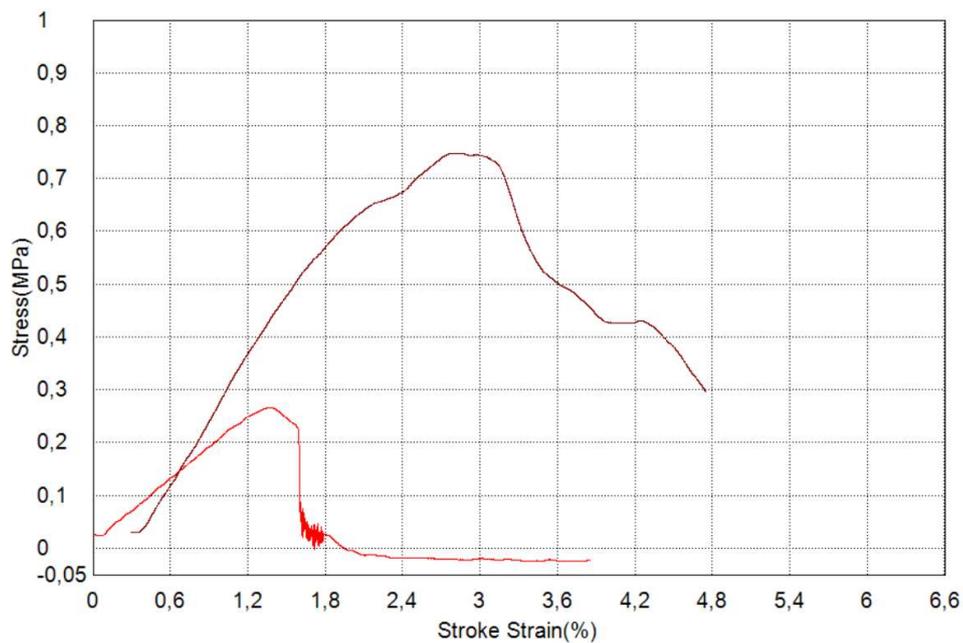
podlagi tega lahko sklepam, da je modra krivulja bioplastike iz listja podobna krivuljama 2 in 3, medtem ko sta preostali krivulji bolj podobni krivulji 1. Iz tega sklepam, da bioplastiko uvrščamo med krhke plastične mase, a vedeti moramo, da je na rezultat vplivala razporeditev snovi v sestavi, saj je na otip in vizualno ta bioplastika delovala zelo elastična, pri izvajanju testa pa se vzorec ni deformiral. Po končanih meritvah se vzorci te bioplastike niso mogli samostojno vrniti v prvotno obliko (bili so rahlo zviti).



Graf 14: Diagram upogibnega testa za bioplastiko iz listja

Pri bioplastiki z listjem – krhko moram izpostaviti, da sem imela veliko težav z oblikovanjem vzorcev (odstranjevanje odvečnih delov), saj sem že z brušenjem in rezanjem z nožem povzročila, da se je vzorec lomil ali razpolavljal. Teh težav pri ostalih bioplastikah nisem imela. To je že eden izmed pokazateljev, da je bioplastika zelo krhka.

Če podrobneje pogledamo graf te bioplastike, ugotovimo, da sta si krivulji popolnoma različni. Vzorec, ki je izrisal rdečo krivuljo, se je prelomil, medtem ko je vzorec, ki je izrisal modro krivuljo, rahlo počil na dnu. Sklepam, da se razlog za to zagotovo skriva v sestavi v razmerju sestavin. Menim, da ta bioplastika ni primerna za nadaljnjo predelavo in obdelavo.



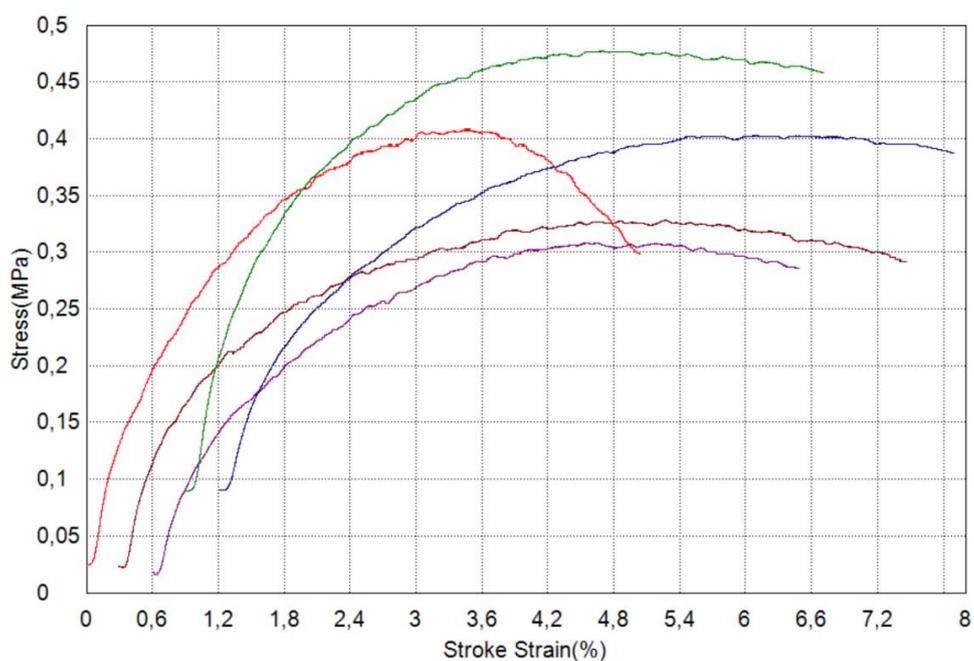
Graf 15: Diagram upogibnega testa za bioplastiko z listjem – krhko

4.4.4 Bioplastika z bananinimi olupki

Primerjava graf iz teoretičnih osnov (glej *Slika 15*) in danega graf (glej *Graf 16*), nam omogoča opaziti podobnost s krivuljama 2 in 3, ki sta značilni za preoblikovanje sposobne plastične mase. Na podlagi tega sklepam, da je tudi dani vzorec primeren za preoblikovanje in je lahko konkurenčen tako imenovani naftni plastiki..

Pomemben podatek je tudi ta, da je ta bioplastika narejena popolnoma iz organskih sestavin, ki jih lahko najdete v boljše založenih kuhinjah. Kot vezivo vsebuje med in ne glicerola kot ostale bioplastike.

Nobeden izmed vzorcev se ni deformiral. Vzorci se po končanih meritvah niso mogli samostojno vrniti v prvotno obliko (bili so rahlo upognjeni).

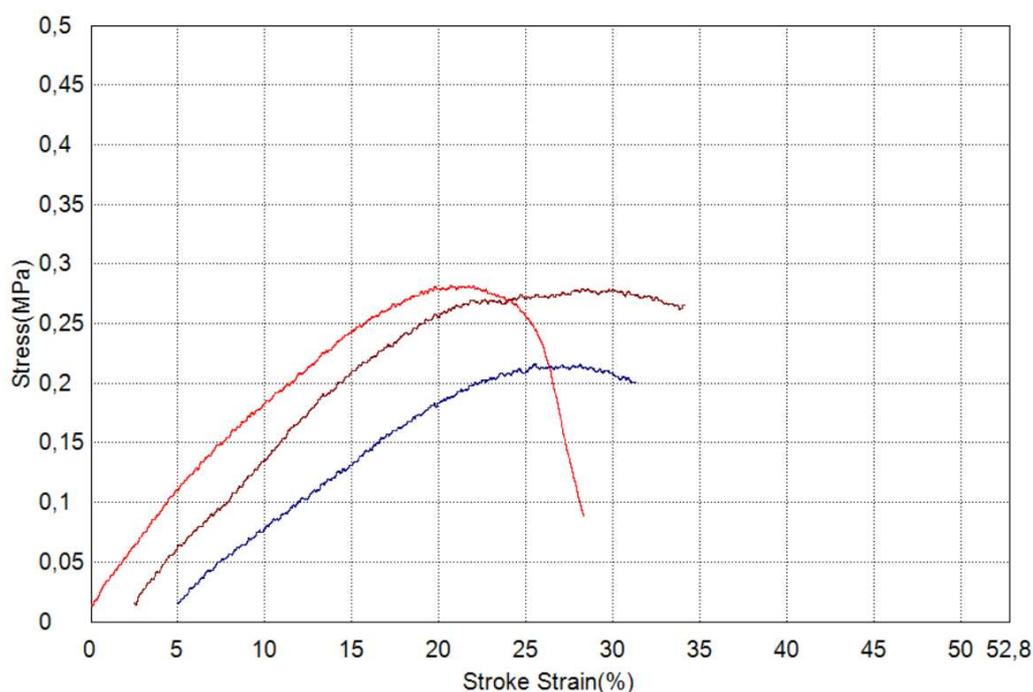


Graf 16: Diagram upogibnega testa za bioplastiko z bananinimi olupki

4.4.5 Bioplastika z jajčnimi lupinami

Če primerjamo graf iz teoretičnih osnov (glej *Slika 15*) in dani graf (glej *Graf 17*), opazimo podobnost s krivuljama 2 in 3, ki sta značilni za preoblikovanje sposobne plastične mase. Na podlagi tega predvidevam, da je tudi dani vzorec primeren za preoblikovanje in je lahko konkurenčen plastiki iz fosilnih virov.

Pomemben podatek je ta, da se je vzorec (rdeča krivulja) rahlo deformiral. Na upogibu je nastala razpoka. Pri ostalih dveh vzorcih ni nobenih posebnosti. Po končanih meritvah so bili vzorci rahlo upognjeni in se niso mogli samostojno vrniti v prvotno obliko.



Graf 17: Diagram upogibnega testa za bioplastiko z jajčnimi lupinami

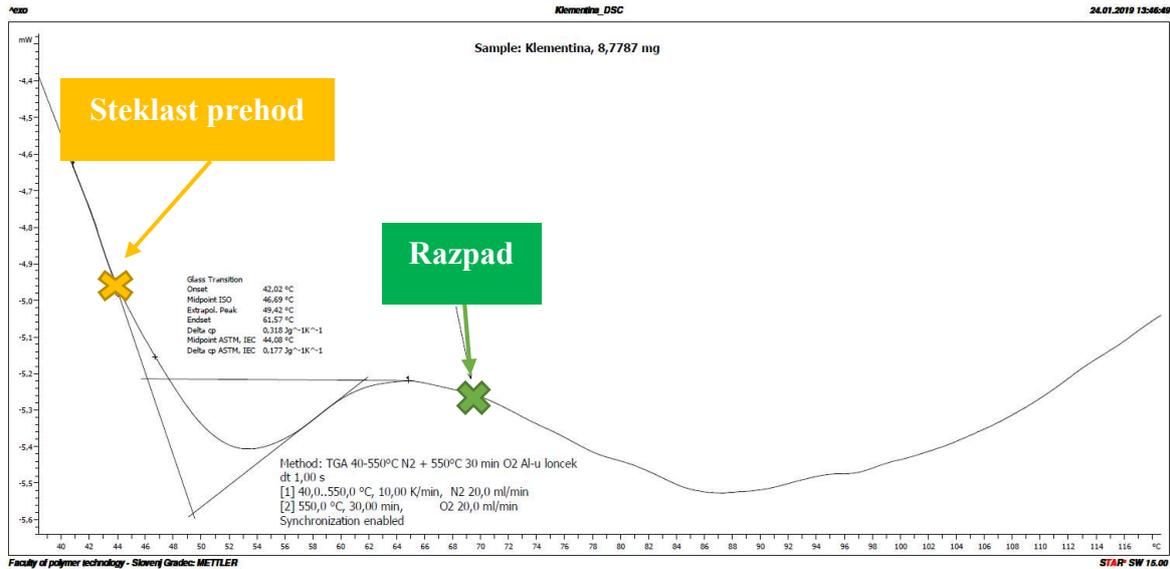
4.5 Diferenčna dinamična kalorimetrija

Z metodo sem lahko določila temperaturo tališča in steklastega prehoda. S pomočjo te metode lahko sklepamo, pri kateri temperaturi začne razpadati. Steklasti prehod je prehod iz viskoznega ali plastičnega oz. gumskega stanja v steklasto ali krhko stanje.

Grafe lahko zaradi slabe preglednosti najdete v poglavju 7 (od *Priloga 14* do *Priloga 19*).

4.5.1 Bioplastika s klementininimi olupki

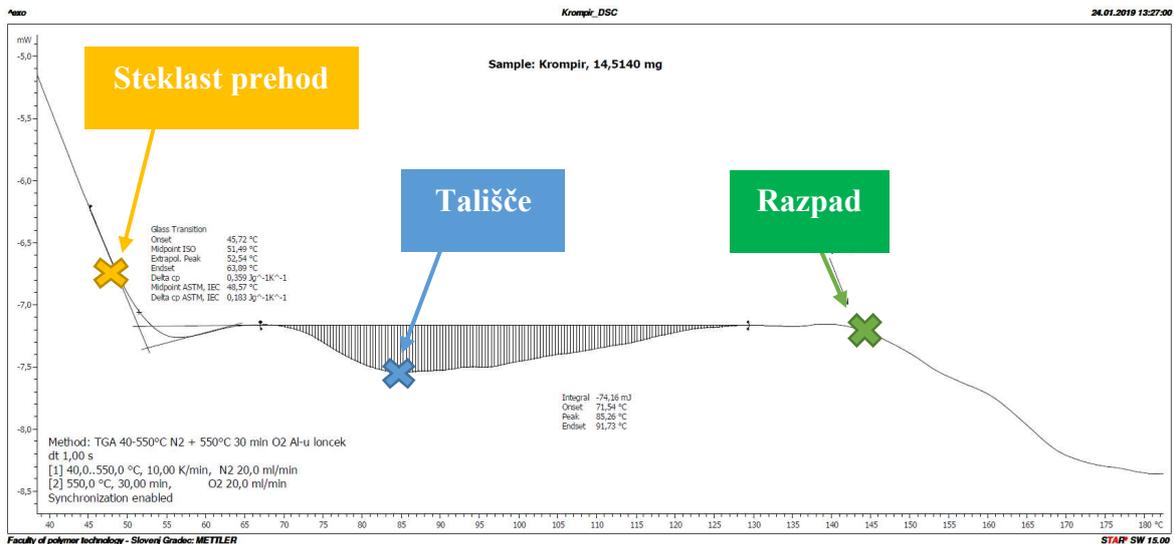
Iz danega grafa (glej *Graf 18*) sem odčitala temperaturo steklastega prehoda pri 44,08 °C. Na podlagi grafa pa lahko tudi sklepamo, da je temperatura začetka razpada pri 70 °C.



Graf 18: Diagram DCS-analize za bioplastiko s klementininimi olupki

4.5.2 Bioplastika s krompirjevimi olupki

S pomočjo danega grafa (glej *Graf 19*) sem odčitala temperaturo tališča pri 85,26 °C in temperaturo steklastega prehoda pri 45,57 °C. Na podlagi grafa pa lahko tudi predvidevam, da je temperatura začetka razpada pri 145 °C.

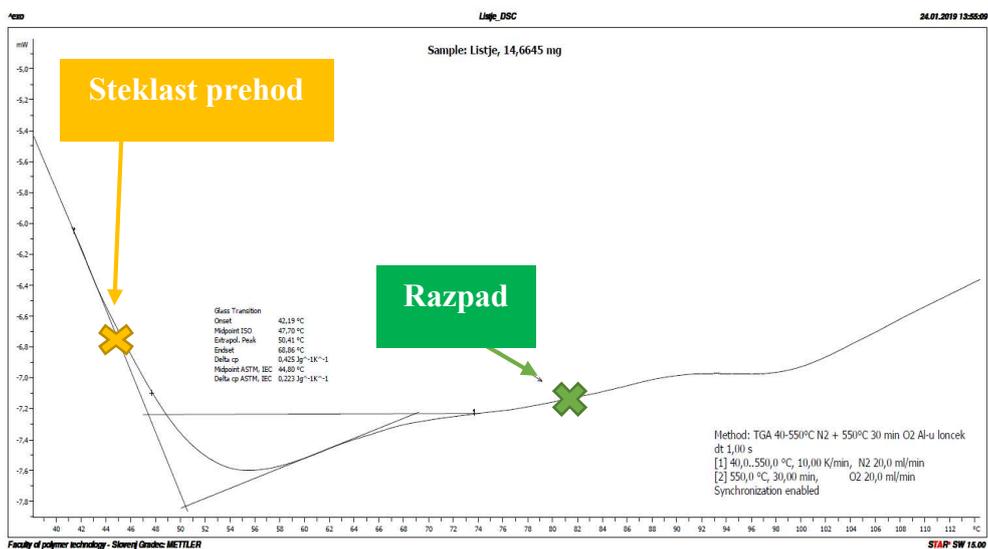


Graf 19: Diagram DSC-analize za bioplastiko s krompirjevimi olupki

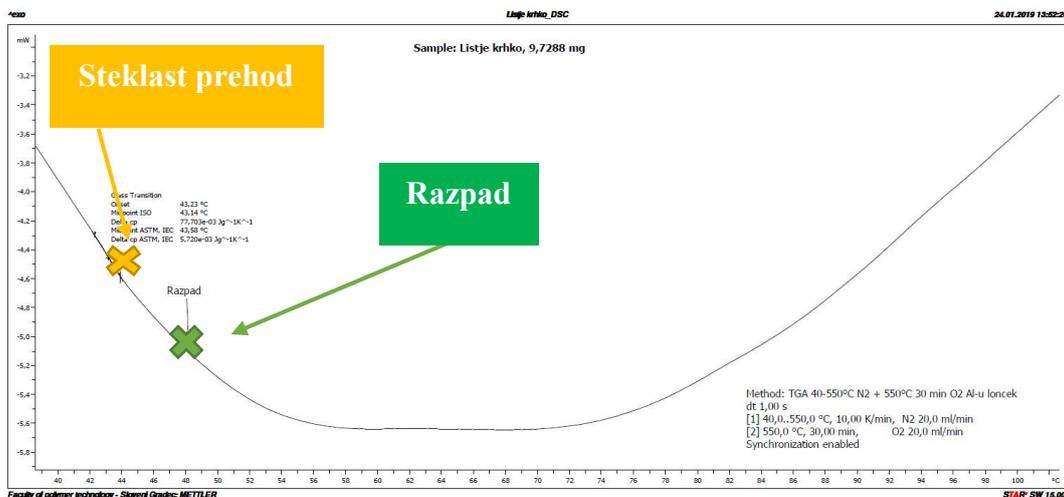
4.5.3 Bioplastika z listjem

Iz danega grafa (glej *Graf 20*) sem za bioplastiko iz listja odčitala temperaturo steklastega prehoda pri 44,80 °C, medtem ko sem za bioplastiko z listjem – krhko s pomočjo grafa (glej *Graf 21*) določila temperaturo steklastega prehoda pri 43,58 °C.

Na podlagi grafa pa lahko tudi sklepamo, da je temperatura začetka razpada pri bioplastiki iz listja pri 82 °C, medtem ko je pri bioplastiki z listjem – krhko pri 48,8 °C.



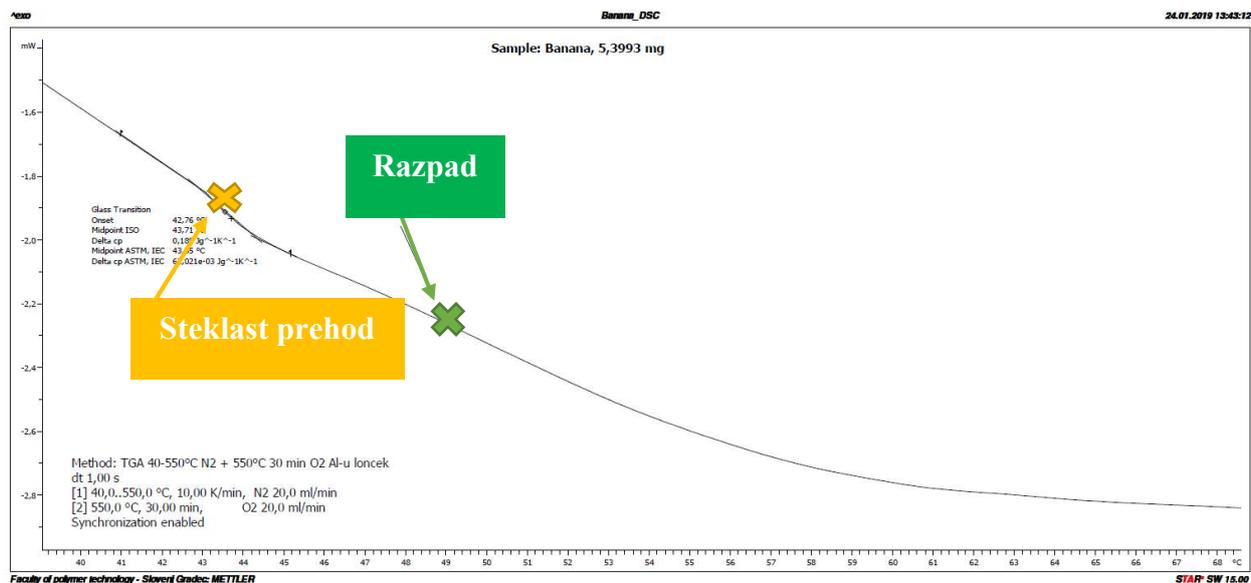
Graf 20: Diagram DSC-analize za bioplastiko iz listja



Graf 21: Diagram DSC-analize za bioplastiko z listjem – krhko

4.5.4 Bioplastika z bananinimi olupki

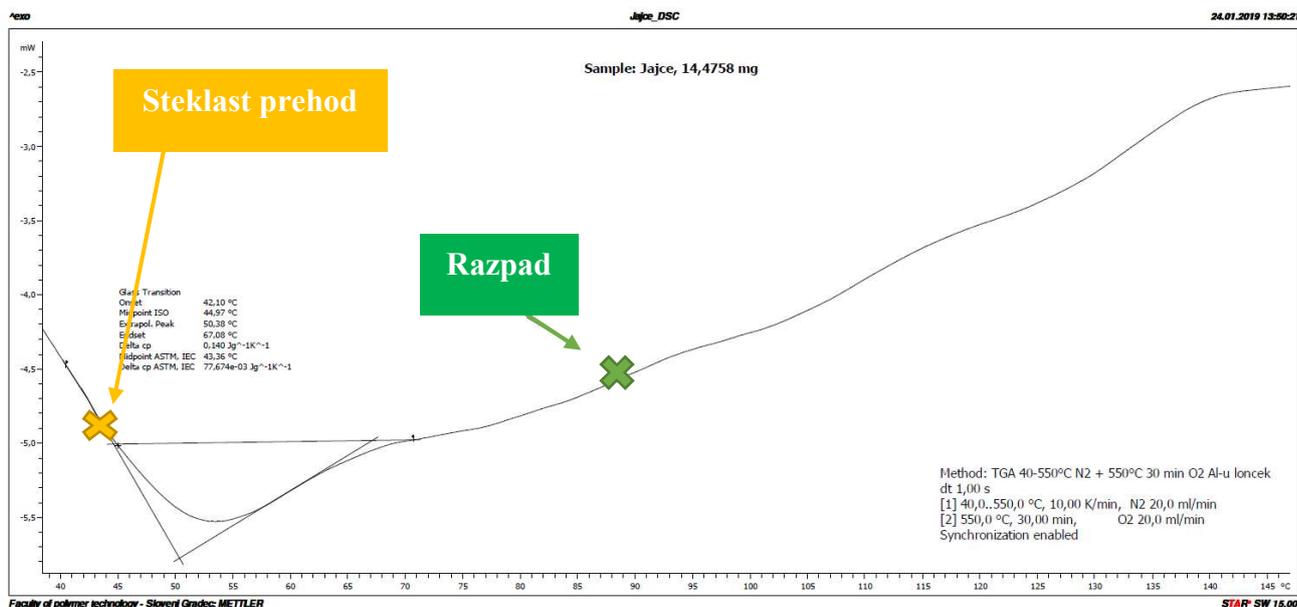
S pomočjo danega graf (glej *Graf 22*) sem določila temperaturo steklastega prehoda pri 43,55 °C . Iz grafa pa lahko tudi sklepamo, da je temperatura začetka razpada pri 49,2 °C.



Graf 22: Diagram DSC-analize za bioplastiko z bananinimi olupki

4.5.5 Bioplastika z jajčnimi lupinami

Iz danega grafa (glej *Graf 23*) sem odčitala temperaturo steklastega prehoda pri 43,36 °C. Iz grafa pa lahko tudi sklepamo, da je temperatura začetka razpada pri 90 °C.



Graf 23: Diagram DSC-analize za bioplastiko z jajčnimi lupinami

4.6 TGA

Termogravimetrična analiza je metoda, pri kateri prihaja do spremembe mase vzorca v odvisnosti od temperature v nekem določenem časovnem obdobju. S termogravimetrično analizo določamo razpad, izgubo vode, topila in oksidacijo.

Na obliko termogravimetrične krivulje vplivajo sestava snovi, hitrost segrevanja in izbira atmosfere.

Pri tej analizi je pomemben podatek ta, da voda iz snovi izhlapeva do približne temperature 140 °C.

Vse grafe lahko zaradi slabe vidljivosti najdete v poglavju 7 (od Priloga 20 in Priloga 25).

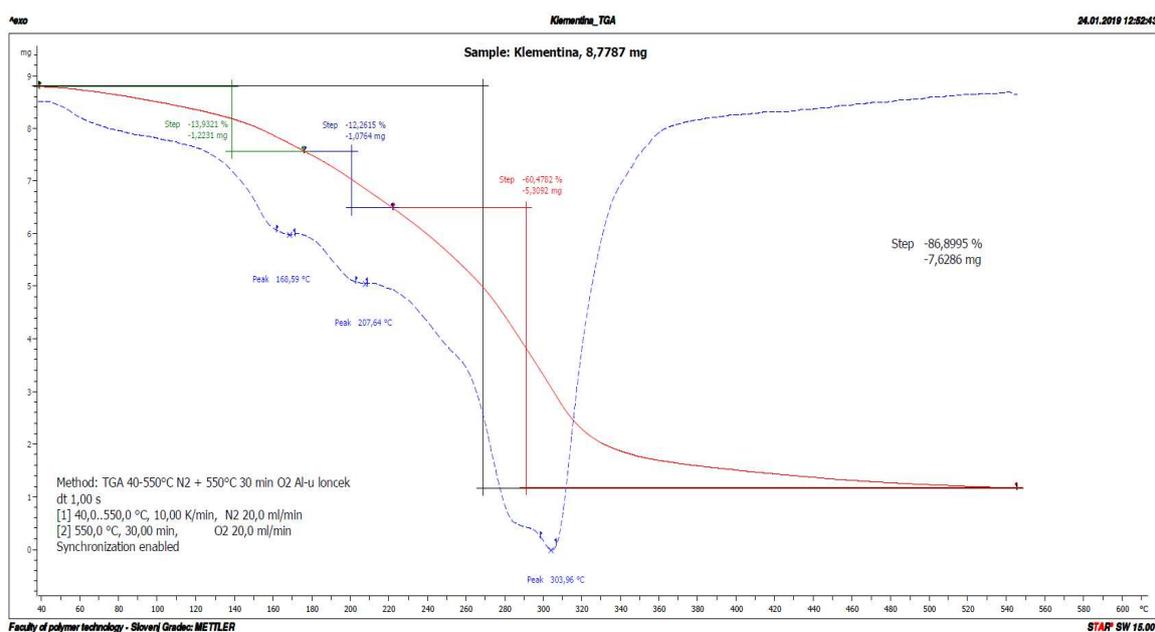
4.6.1 Bioplastika s klementinimi olupki

Na podlagi grafa (glej Graf 24) lahko trdimo, da bioplastika s klementinimi olupki pri visokih temperaturah začne razpadati, in sicer v treh stopnjah. Prvi razpad je pri 168,59 °C, drugi pri 207,64 °C in tretji pri 303,96 °C.

Če se sedaj osredotočimo na razgradnjo, lahko ugotovimo, da je v prvi fazi razgradnje izhlapevala voda, glede na komponente in njihove temperature razgradnje sklepamo, da se je v prvi fazi že začelo razgrajevati polnilo, saj je organska snov, ki ni dobro obstojna pri visokih temperaturah. V drugi fazi sklepam, da sta se še vedno razgrajevala polnilo in žajbelj, saj se glicerol in škrob razgrajata pri temperaturi okoli 300 °C. Na podlagi tega sklepam, da sta se v tretji fazi razgrajevala škrob in glicerol.

Če pogledamo vsako stopnjo razgradnje posebej, ugotovimo, da se je v zadnji fazi razgradilo največ produkta. Na podlagi tega lahko tudi sklepamo, da sta se v zadnji fazi razgrajevala glicerol in škrob, saj ju je v snovi količinsko največ.

Pri analizi je razpadlo 86,8995 % bioplastike. Ker je bila analiza omejena na temperaturo (do 550 °C), sklepam, da bi z nadaljnjim segrevanjem vzorec popolnoma razpadel. Enako velja za ostale vzorce, k sledijo.



Graf 24: Graf TGA-analize za bioplastiko s klementininimi olupki

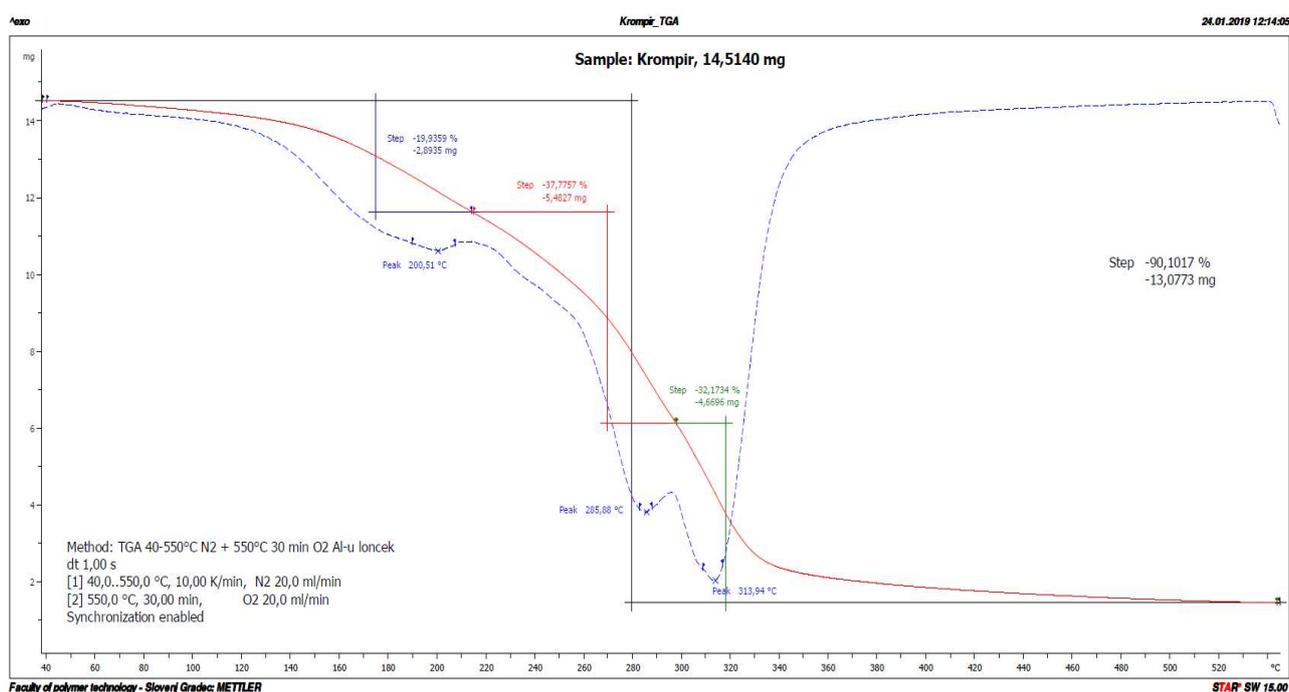
4.6.2 Bioplastika s krompirjevimi olupki

Na podlagi grafa (glej *Graf 25*) lahko trdimo, da bioplastika s krompirjevimi olupki pri visokih temperaturah začne razpadati, in sicer v treh stopnjah. Prvi razpad je pri 200,51 °C, drugi pri 285,88 °C in tretji pri 313,94 °C.

Opazno je izhlapevanje vode do 140 °C, saj sklepamo, da je v prvi fazi razgradnje izhlapela vsa voda, poleg tega pa se je že začel razgrajevati žajbelj, medtem ko se je pri drugi fazi razgradnje že začelo razgrajevati polnilo, saj poleg drugih snovi vsebuje tudi škrob, ki ima kar visoko temperaturo razpada. V tretji fazi razpada, glede na visoki temperaturi razpada, sklepam, da razpadeta škrob in glicerol.

Če med seboj primerjamo mase v vseh treh stopnjah razpada, ugotovimo, da se sklepanje z razpadom ujema z manjšanjem mas in količino zatehtanih komponent v bioplastiki.

Pri analizi je razpadlo 90,1017 % bioplastike.



Graf 25: Graf TGA-analize za bioplastiko s krompirjevimi olupki

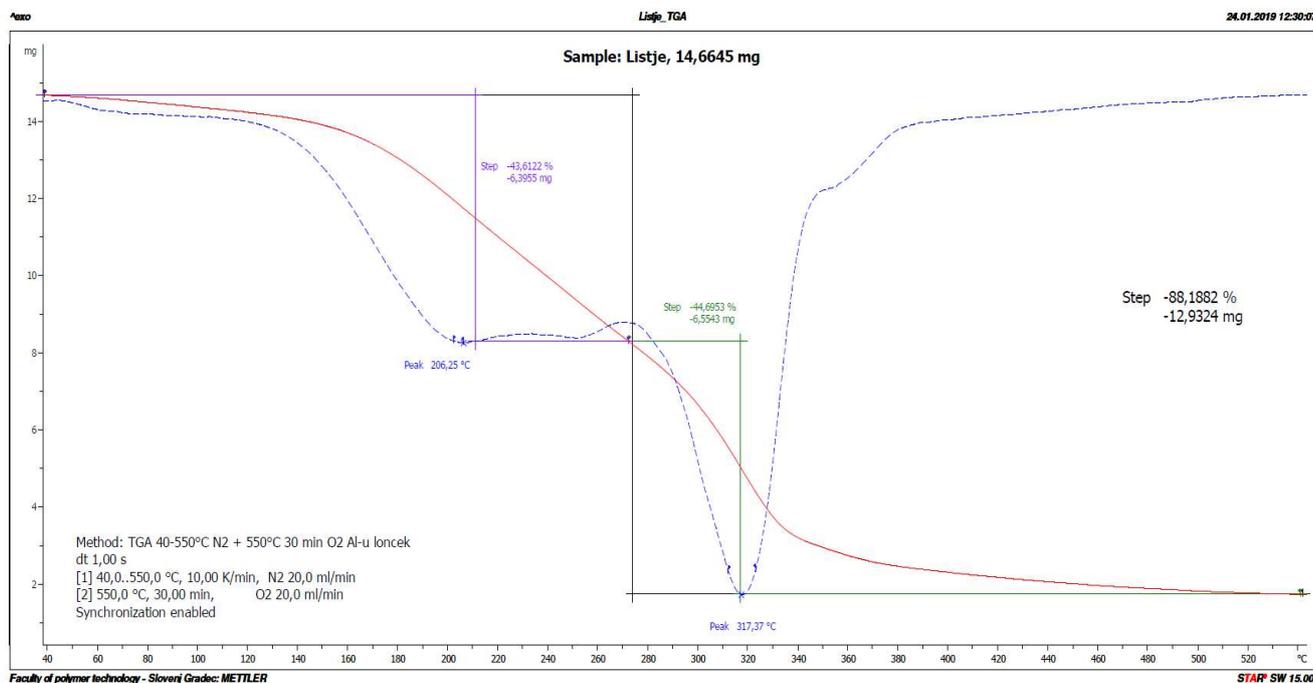
4.6.3 Bioplastika z listjem

Na podlagi grafa (glej *Graf 26*) lahko trdimo, da bioplastika iz listja začne pri visokih temperaturah razpadati, in sicer v dveh stopnjah. Prvi razpad je pri 206,25 °C in drugi pri 317,37 °C.

Tudi tu zaznamo izhlapevanje vode do temperature 140 °C, saj predvidevamo, da je v prvi fazi razgradnje izhlapela vsa voda, poleg tega pa sta se že začela razgrajevati polnilo in žajbelj, saj sta organski snovi, ki nista dobro obstojni pri visokih temperaturah, poleg tega pa je bilo nabrano listje

že odpadlo z dreves. Iz tega lahko sklepam, da se je del polnila že začel, pred sintezo bioplastike, razgrajevati v okolju. V zadnji fazi, glede na visoki temperaturi razgradnje, sklepam, da se razgradita škrob in glicerol.

To moje sklepanje je tudi dobro razvidno iz padajočih mas (obeh faz) in količine komponent v sestavi.



Graf 26: Graf TGA-analize za bioplastiko z listjem – krhko

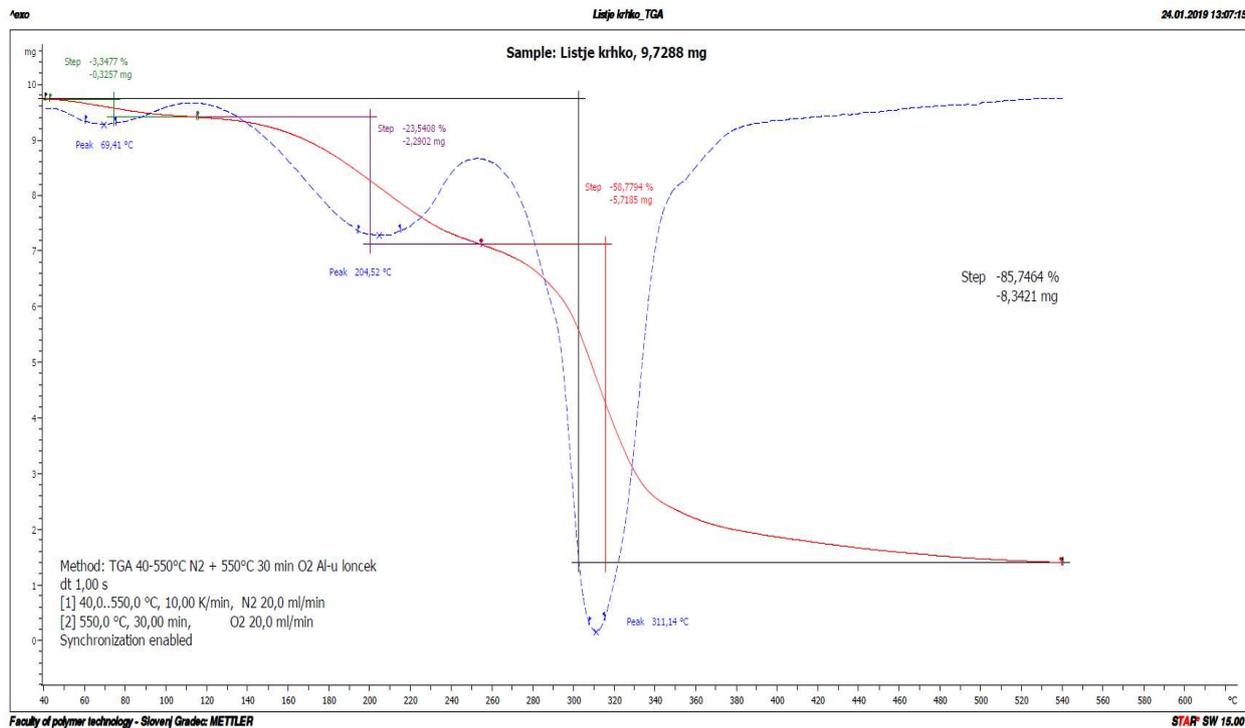
Na podlagi grafa (glej *Graf 27*) lahko trdimo, da bioplastika z listjem - krhko pri visokih temperaturah začne razpadati, in sicer v treh stopnjah. Prvi razpad je pri 69,41 °C, drugi pri 204,52 °C in tretji pri 311,14 °C.

Sklepamo, da je v prvi fazi izhlapel del vode in začela se je že razgradnja polnila, saj ga je bilo, v primerjavi z bioplastiko iz listja, več. Menim, da je v drugi fazi razgradnje izhlapela vsa voda, razgradila pa sta se tudi listje in žajbelj, medtem ko sta se v tretji fazi, glede na temperaturi razpada, začela razgrajevati glicerol in škrob.

To moje sklepanje je tudi dobro razvidno iz padajočih mas (obeh faz) in količine komponent v sestavi.

Pri analizi je razpadlo 88,1882 % bioplastike iz listja in 85,7464 % bioplastike z listjem -krhko.

Če primerjam med seboj, ugotovim, da v prvem primeru razpada v dveh fazah, v drugem pa v treh fazah. Predvidevam, da se razlog za tem skriva v količini dodanega polnila.



Graf 27: Graf TGA-analize za bioplastiko iz listja

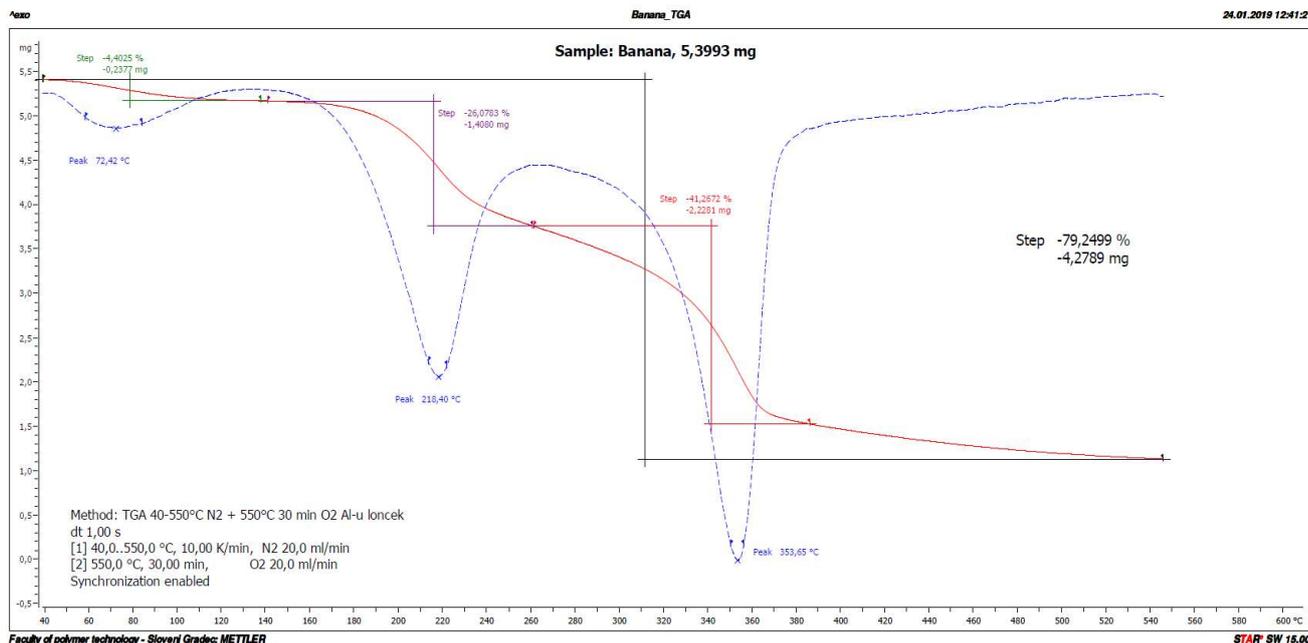
4.6.4 Bioplastika z bananinimi olupki

Na podlagi grafa (glej *Graf 27*) lahko trdimo, da bioplastika z bananinimi olupki pri visokih temperaturah začne razpadati, in sicer v treh stopnjah. Prvi razpad je pri 72,42 °C, drugi pri 218,40 °C in tretji pri 353,65 °C.

Sklepam, da prva faza razgradnje predstavlja izhlapevanje voda. Predvidevam, da je v drugi fazi izhlapela vsa vlaga do temperature 140°C, razgrajevali pa so se timijan, cimet, predeli s kisom in tisti del bananinega izvlečka, ki ni bil škrob, saj je bil tisti del bananinega olupka že termično obdelan. Bananini olupki pa v svoji sestavi vsebujejo do 15 % škroba. Menim, da se je v tej fazi začela razgradnja medu, ki se je nadaljevala v tretji fazi, v kateri sta se, zaradi visokih temperatur razpada, razgrajevala škrob in celuloza, saj se škrob razgrajuje pri temperaturi okoli 300 °C, celuloza pa pri temperaturi okoli 350 °C.

Moje sklepanje je razvidno iz padajočih mas (obeh faz) in količine komponent v sestavi.

Pri analizi je razpadlo 79,2499 % bioplastike.



Graf 28. Graf TGA-analize za bioplastiko z bananinimi olupki

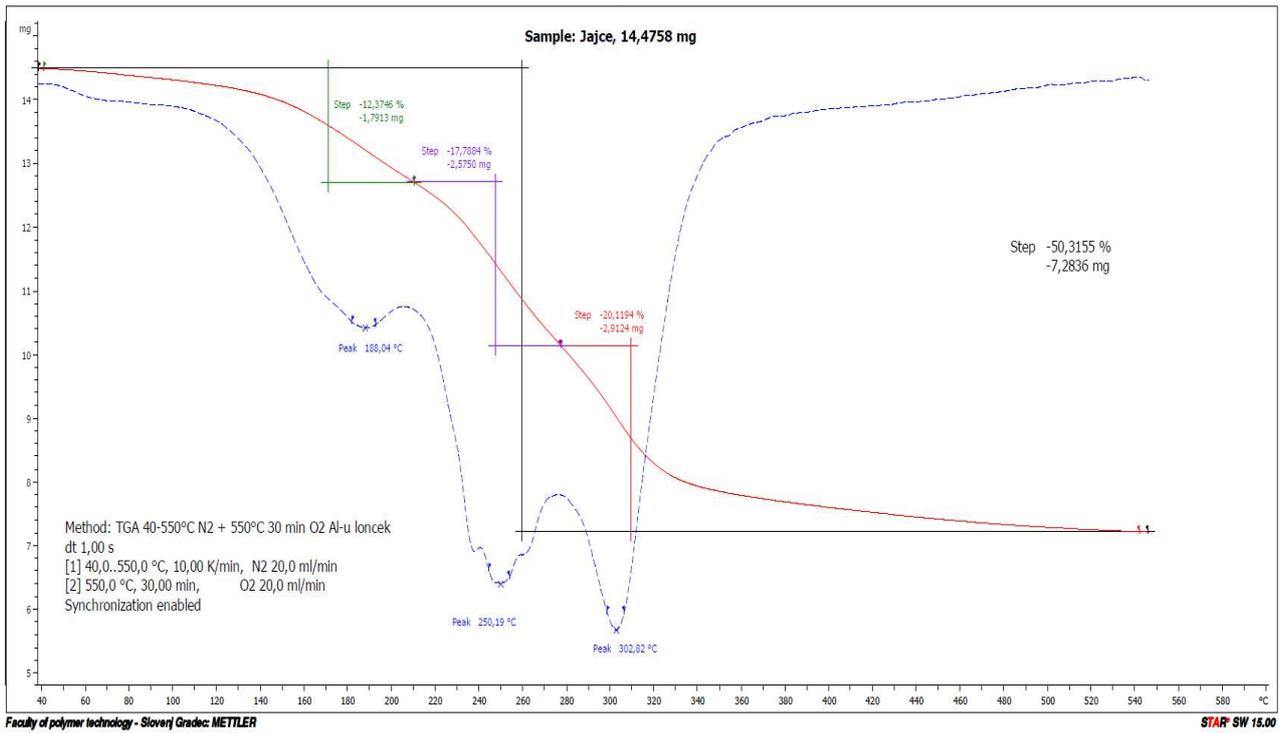
4.6.5 Bioplastika z jajčnimi lupinami

Na podlagi grafa (glej *Graf 27*) lahko trdimo, da bioplastika z jajčnimi lupinami pri visokih temperaturah začne razpadati, in sicer v treh stopnjah. Prvi razpad je pri 188,04 °C, drugi pri 250,19 °C in tretji pri 302,82 °C.

Predvidevamo, da je v prvi fazi razgradnje izhlapela vsa voda, začela pa se je tudi razgradnja oranskih snovi v jajčni lupini. Predvidevam, da so se v drugi fazi te organske snovi povsem razgradile, pri tem pa so se začeli razgrajevati deli s kisom. Menim, da se je v tretji fazi začela razgradnja kalcijevega karbonata v jajčni lupini, škroba in glicerola, saj imajo vsi visoke temperature razpada.

Moje sklepanje je razvidno iz padajočih mas (obeh faz) in količine komponent v sestavi.

Pri analizi je razpadlo 50,3155 % bioplastike.



Graf 29: Graf TGA-analize za bioplastiko z jajčnimi lupinami

5 DISKUSIJA

Če združimo rezultate opravljenih sintez in analiz, lahko povzamemo ugotovitve in ovrednotimo v uvodu postavljene hipoteze.

Hipoteza 1: *V šolskem laboratoriju ali kuhinji lahko izoliramo škrob.*

Hipotezo lahko, sodeč po uspešni izločitvi belega prahu (škroba) in krompirja, potrdim.

Hipoteza 2: *Bioplastiko lahko sintetiziramo v šolskem laboratoriju.*

Tudi to hipotezo lahko potrdim, saj sem na podlagi rezultatov sintetizirala več kot eno vrsto bioplastike.

Hipoteza 3: *Bioplastiko lahko sintetiziramo iz odpadkov.*

Hipotezo lahko potrdim, saj sem pri vseh sintezah uporabila vsaj en odpadek.

Hipoteza 4: *Temperatura in hitrost mešanja vplivata na nastajanje bioplastike.*

Tudi to hipotezo lahko potrdim, hitrost mešanja nam omogoča boljšo razporeditev komponent v snovi, medtem ko temperatura vpliva na hitrost polimerizacije. Hitreje kot bomo segrevali, hitreje bo nastajala plastika, a s hitrejšim mešanjem tvegamo, da se komponente ne bodo enakomerno razporedile po prostoru. Temperatura in hitrost mešanja morata biti vse čas v enakem razmerju.

Hipoteza 5: *Glede na lastnosti je lahko bioplastika konkurenčna plastiki iz fosilnih goriv.*

Tudi to hipotezo lahko glede na rezultate potrdim, saj sem pri topnosti določala kemijsko odpornost, pri upogibu sem določala njihov upogib, pri DSC temperaturo steklastega prehoda (pri bioplastiki s

krompirjem tudi tališče) in pri TGAanalizi termično obstojnost oz. razpad snovi pri določenih temperaturah. Na podlagi vseh analiz lahko sintetizirane bioplastike primerjam s plastikam iz fosilnih goriv, npr. polikarbonat ima dobro kemijsko odpornost, žilavost in temperaturno obstojnost med -60 °C in 120 °C, za kratek čas je tudi obstojen do 130 °C.

Hipoteza 6: *Določene komponente v sestavi vplivajo na karakteristike bioplastike.*

Hipotezo lahko, na podlagi rezultatov za bioplastiko z listjem, klementinimi in krompirjevimi olupki, potrdim, saj so našteje bioplastike vsebovale enake komponente, razen polnila. Pri topnosti se je samo bioplastika z listjem raztapljala v etanolu. Iz DSC-analize ugotovimo, kako se temperature steklastega prehoda med seboj razlikujejo, poleg tega lahko samo pri bioplastiki s krompirjevimi olupki določimo temperaturo tališča. S pomočjo TGA-analize sem ugotovila, da so si temperature razpada zelo podobne, poleg tega pa so vse razen ene izmed bioplastik, bioplastike z listjem – krhko. Menim, da je na to vplivala količina polnila.

Hipoteza 7: *Razmerje sestavin v sestavi vpliva na karakteristike bioplastike.*

Hipotezo lahko, sodeč po rezultatih iz upogibnega testa, DSC- in TGA-analizah bioplastike z listjem, potrdim. Tu bi rada izpostavila pomembno vlogo glicerola in količine polnila v sestavi, saj je glicerol pripomogel k bolj elastični in po raziskavah tudi h kvalitetnejši bioplastiki. Vsebnost polnila pripomore samo k varčevanju z drugimi komponenti, a s tem uničimo mehanske lastnosti bioplastike.

Osredotočimo se še na nekatere specifične dele eksperimentov; pri izolaciji smo ugotovili, da je izkoristek škroba precej majhen, saj je na postopek vplivalo veliko dejavnikov, ki so podrobneje opisani v rezultatih. Iz literature lahko ugotovimo, da krompir v svoji sestavi vsebuje $10-20$ %. Zaradi tega je večina bioplastike sintetizirana s kombinacijami koruznega in krompirjevega škroba, saj koroza v svoji sestavi vsebuje 65 % škroba. Ta kombinacija pa je tudi koristna, saj so snovi, ki so zgoščene ali reagirane s koruznim škrobom, bolj podobne gelu, medtem ko se krompirjev škrob zgosti ali reagira že pri nižjih temperaturah.

S topnostjo smo ugotovili, kako posamezne komponente vplivajo nanjo. Edina sintetizirana bioplastika, ki je topna v vodi, je bioplastika z bananami. Vse sintetizirane bioplastike so topne v etanolu, medtem ko so v acetonu topne vse razen bioplastike z bananinimi olupki. V heksanu je topna samo bioplastika z listjem. Uporabljena metoda nam je omogočala, da smo videli, kako hitro se je topila in kako se je določena bioplastika obnašala po določenem času izpostavitve topilu.

S pomočjo IR-analize smo ugotovili, da so si sintetizirane bioplastike precej podobne. IR-analiza pa nam je omogočala tudi primerjavo sestave z že znanimi snovmi. Z upogibnim testom smo ugotovili, da so vse sintetizirane bioplastike primerne za preoblikovanje, razen bioplastike z listjem. Z DSC-analizo smo vsem sintetiziranim bioplastikam določili temperaturo steklastega prehoda, bioplastiki s krompirjem pa smo poleg naštetega lahko določili še temperaturo tališča. S TGA smo določili, pri kateri temperaturi začnejo določene komponente v sestavi razpadati.

Vse našete analize so nam omogočile, da smo prišli do ugotovitev, s pomočjo katerih lahko sklepamo, za kaj bi se lahko sintetizirana plastika uporabljala. Te bioplastike bi lahko npr. uporabljali za izdelavo vrtnih lončkov, t. i. plastični pribor, krožnike, kozarce, posodice za kozmetiko, posodico za pisala, ovitke za telefon itd., saj je ta vrsta plastike bolj prijazna okolju. V nalogi je bilo omenjeno, da smo preostanek bioplastike, ki je nismo mogli dati v vzorce, razmazali po alu foliji ali peki papirji. Kot produkt tega smo dobili zelo tanko plast bioplastike, ki nas spominja folijo. Na podlagi tega in preostalih rezultatov sklepam, da bi lahko sintetizirane bioplastike uporabljali za izdelavo folij ali vreč, ki so v današnjem svetu zagotovo zelo uporabljeni izdelki.

Menim, da je najboljša izmed sintetiziranih plastik bioplastika s krompirjevimi olupki, saj je zelo elastična, dobro je topna v organskih polarnih toplih, medtem ko je odporna proti vodi in heksanu. Določili smo ji lahko tališče, temperaturo steklastega prehoda in začetno temperaturo razgradnje, ki je pri predelavi zelo pomembna, saj s prekoračitvijo povzročimo razpad določenih snovi v sestavi. S TGA smo ugotovili, da ima najvišjo temperaturo zadnje faze razpada. Poleg tega pa pri primerjavi s t. i. naftno plastiko najdemo veliko primerkov, s katerimi najdemo precej skupnih lastnosti. Tu lahko sklepam, da je k lastnostim veliko pripomoglo polnilo, ki je bilo stranski produkt izolacije škroba in krompirja, saj se v samem olupku poleg drugih organskih snovi nahaja tudi škrob.

V prihodnosti bi bilo smiselno sintetiziranim bioplastikam določiti biorazgradljivost in njihov vpliv na okolje. Smiselno bi bilo opraviti pregled ostalih karakteristik in še podrobnejši pregled termičnih karakteristik za vsako komponento v bioplastiki. Ena izmed smiselnih raziskav na tem področju bi bila lahko določitev vpliva embalaže na kakovost hrane. Raziskovanje bi lahko nadgradili s sintezo

bioplastike iz mešanih bioloških odpadkov, saj v sodobnih gospodinjstvih ljudje ločujejo odpadke na biološke odpadke, embalažo, steklo in papir. Tako bi dobili plastiko, ki bi bila narejena iz odpadnega materiala, poleg tega pa bi lahko vsak odpadek prispeval k določenim karakteristikam, ki bi bile lahko pozitivne za napredek in razvoj znanosti in človeštva.

6 VIRI:

6.1 Vsebinski viri

[1] Plastice (b.d.). *Biopolimeri in bioplastika*. [online] Dostopno na:

http://konopko.si/files/file/Bioplastika-skladna-z-naravo_gradivo-za-sole.pdf (Datum dostopa: 20. 11. 2018)

[2] Wikipedia (2018). *Polimer*. [online] Dostopna na:

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Polimer> (Datum dostopa: 4. 1. 2019)

[3] Wikipedia (2018). *Plastika*. [online] Dostopna na:

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Plastika> (Datum dostopa: 4. 1. 2019)

[4] Berden Zrimec, M., Kržan, A. (2013). *Bioploimeri*. Gea (Ljubljana), letnik 23, št. 4, str.56-59.

[5] Stojanović, B. (2009). *Morda se njen čas začanja*. EOL; embalaža – okolje – logistika. Št. 42, str. 31-32. Celje: Fitmeia, d.o.o. [online] Dostopno na:

http://zelenaslovenija.si/images/stories/pdf_dokumenti/Embalaza-okolje-logistika-st-42.pdf
(Datum dostopa: 6. 1. 2019)

[6] Peternelj, A. (2014). *Bioplastika – eksperimentalno delo v šolskem laboratoriju*. [online] Dostopno na:

http://pefprints.pef.uni-lj.si/2395/1/diplomska_naloga.pdf (Datum dostopa: 20. 11. 2019)

[7] European Bioplastics (b.d.) *What are bioplastics?*. [online] Dostopno na:

<https://www.european-bioplastics.org/> (Datum dostopa: 7. 1. 2019)

[8] Čevdek, A. (b.d.) *Naravni polimeri*. [online] Dostopno na:

https://si.openprof.com/wb/polimerizacija?ch=712#Naravni_polimeri (Datum dostopa: 7.1.2019)

[9] eGradiva (b.d.) *Neobnovljivi viri energije*. [online] Dostopno na:

<https://e-gradiva.golea.si/neobnovljivi-viri-energije/> (Datum dostopa: 7. 1. 2019)

- [10] Modra energija (2009). *Viri energije*. [online] Dostopno na:
<http://www.modra-energija.si/si/izobrazevalno-sredisce/viri-energije/neobnovljivi-viri-energije>, (Datum dostopa: 7. 1. 2019)
- [11] Kešpert, B. Klančar, P. (2012). *Kako izdelati bioplastiko?*. [online] Dostopno na:
<https://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4201204299.pdf> (Datum dostopa: 20. 11. 2018)
- [12] ECHO Instruments (2016). *Bioplastic degradation*. [online] Dostopno na:
<http://www.echoinstruments.eu/applications/bioplastic-degradation/> (Datum dostopa: 8. 1. 2019)
- [13] Delo (2012). *Plastika je lahko tudi bio – toda kako in kdaj?*. [online] Dostopno na:
<https://www.delo.si/novice/znanotech/plastika-je-lahko-tudi-bio-ndash-toda-kako-in-kdaj.html> (Datum dostopa: 8. 1. 2019)
- [14] Plastice (b.d.). *Nacionalna informacijska točka projekta PLASTiCE i Globalna mreža održive plastike* [online] Dostopno na:
<https://sites.google.com/site/odrzivaplastikahrvatska/bioplastics/biodegradable-plastics>,
(Datum dostopa. 8. 1. 2019)
- [15] Science learning Hub (2015). *Biodegradability*. [online] Dostopno na:
<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1537-biodegradability>, (Datum dostopa: 9. 1. 2019)
- [16] Durable Paper Products (2014). *Oxo-Biodegradable Film. (Degradation Proess)* [online] Dostopno na:
https://www.youtube.com/watch?v=vWne99E_zAw, (Datum dostopa: 9. 1. 2019)
- [17] Godicelj, A., Rezec, U., Šelih, D. (2009). *Primerjava Nekaterih fizikalnih in kemijskih lastnosti različnih vrst medu*. [online] Dostopno na:
<https://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4200904695.pdf> (Datum dostopa: 9. 1. 2019)

- [18] An Phat Holding (b.d.). *Biodegradeble plastic bag definition*. [online] Dostopno na:
<http://anphatholdings.com/en/aneco/biodegradable-plastic-bag-definition.html> (Datum dostopa: 9. 1. 2019)
- [19] Ekologičen (2010). *Biorazgradljiva plastika hrana za naravne mikroorganizme*. [online] Dostopno na:
http://www.ekologicen.si/article/412/Biorazgradljiva_plastika_hrana_za_naravne_mikroorganizme (Datum dostopa: 9. 1. 2019)
- [20] issuu (2013). *Biorazgradljiva plastika – Kaj je to?*. [online] Dostopno na:
https://issuu.com/plasticeproject/docs/plastice_biorazgradljiva_plastika_z/2 (Datum dostopa: 9. 1. 2019)
- [21] Ribar, D. (2018). *Uporaba natrijevega tetrafluorida pri sintezi stabilnih diazonijevih soli; preučitev, optimizacija in generalizacija reakcije*. [online] Dostopno na:
<https://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4201803714.pdf> (Datum dostopa: 28. 1. 2019)
- [22] Eaton, D. C. (1989). *Laboratory Investigations In Organic Chemistry*. McGraw-Hill. ISBN 0070188556, 9780070188556
- [23] Atkins, P. W., Clugston, M. J., Frazer, M. J., Jones, R. A. Y., (1995). *Kemija zakonitosti in uporaba*. – 1.natis. - Ljubljana: Tehnična založba Slovenije ISBN 8636501644 9788636501641
- [24] Korpar, D. (2010). *Sinteza in karakterizacija nikljevih(II) acetatov z aminopiridini*. [online] Dostopno na:
<https://dk.um.si/Dokument.php?id=15250> (Datum dostopa: 4. 2. 2019)
- [25] Študentski.net (2009). *Termična analiza*. [online] Dostopno na:
https://studentski.net/gradivo/ulj_fkt_ke1_ans_sno_termicna_analiza_01 (Datum dostopa: 4. 2. 2019)
- [26] Memić, E. (2015). *Preučevanje fizikalno-kemijskih lastnosti učinkovin s termoanaliznimi tehnikami*. [online] Dostopno na:
<https://dk.um.si/Dokument.php?id=81237> (Datum dostopa: 4. 2. 2019)

- [27] PoliMaT (2010). *Diferenčni dinamični kalorimeter (DSC)*. [online] Dostopno na:
<http://www.polimat.si/1/raziskovalno-razvojna-oprema/diferencni-dinamicni-kalorimeter.aspx> (Datum dostopa: 4. 2. 2019)
- [28] PoliMaT (2010). *Termogravimetrični analizator (TGA)*. [online] Dostopno na:
<http://www.polimat.si/1/raziskovalno-razvojna-oprema/termogravimetricni-analizator.aspx>
(Datum dostopa: 4. 2. 2019)
- [29] Wikipedia (2018). *Infrardeča spektroskopija*. [online] Dostopno na:
https://sl.wikipedia.org/wiki/Infrarde%C4%8Da_spektroskopija#FTIR (Datum dostopa: 4. 2. 2019)
- [30] Morrison, R. T., Boyd, R. N. (1966) *Organic Chemistry: Sixth Edition*. Eaglewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc. ISBN 0-13-630179-7
- [31] i-učbeniki (b.d.). *Zgradba škroba*. [online] Dostopno na:
<http://eucbeniki.sio.si/kemija9/1270/index5.html> (Datum dostopa: 5. 2. 2019)
- [32] Wikipedia (2017). *Škrob*. [online] Dostopno na:
<https://sl.wikipedia.org/wiki/%C5%A0krob> (Datum dostopa: 5. 2. 2019)
- [33] Arnes (b.d.). *Polisahardi*. [online] Dostopno na:
<http://www2.arnes.si/~sspzkola/ogp.htm> (Datum dostopa: 5. 2. 2019)
- [34] Wikipedia (2017). *Celuloza*. [online] Dostopno na:
<https://sl.wikipedia.org/wiki/Celuloza> (Datum dostopa: 5. 2. 2019)
- [35] i-učbeniki (b.d.). *Polisaharid celuloza*. [online] Dostopno na:
<http://eucbeniki.sio.si/kemija3/1276/index5.html>, 5. 2. 2019
- [36] http://web.bf.uni-lj.si/zt/bioteh/seminar_all/zivil/2000_01/Glicerol.pdf (Datum dostopa: 5. 2. 2019)

- [37] Wikipedia (2017). *Glicerol*. [online] Dostopno na:
<https://sl.wikipedia.org/wiki/Glicerol> (Datum dostopa: 5. 2. 2019)
- [38] Wikipedia (2018). *Med*. [online] Dostopno na:
<https://sl.wikipedia.org/wiki/Med#Sestava> (Datum dostopa: 5. 2. 2019)
- [39] Plut, S. (b.d.). *Med*. [online] Dostopno na:
<http://www.czs.si/content/C21> (Datum dostopa: 5. 2. 2019)
- [40] Klopčič, M., Napvodnik, J. (1998) *Plastik-orodjar: priročnik*. Velenje: Napovednik – kemijski inženiring, 3. dopolnjena izdaja. ISBN: 978-961-92027-0-8
- [41] Wikipedia (2018). *Etanojska kislina*. [online] Dostopno na:
https://sl.wikipedia.org/wiki/Etanojska_kislina (Datum dostopa: 8. 2. 2019)
- [42] Wikipedia (2016). *Acetatna vlakna*. [online] Dostopno na:
https://sl.wikipedia.org/wiki/Acetatna_vlakna (Datum dostopa: 8. 2. 2019)
- [43] http://web.bf.uni-lj.si/z/bioteh/seminar_all/zivil/2000_01/Ocetna.pdf (Datum dostopa: 8. 2. 2019)
- [44] Prehrana.si (b.d.). *Mikroplastika v 90% vzorcev ustekleničene vode po svetu*. [online] Dostopno na:
<https://www.prehrana.si/novica/251-mikroplastika-v-90-vzorcev-usteklenicene-vode-po-svetu> (Datum dostopa: 22. 2. 2019)
- [45] Delo (2015). *Svet proizvedene vse več plastike, pri recikliranju pa zaostaja*. [online] Dostopno na:
<https://www.delo.si/novice/okolje/svet-proizvede-vse-vec-plastike-pri-recikliranju-zaostaja.html> (Datum dostopa: 22. 2. 2019)
- [46] Science Learning Hub (2018). *Biodegradability, compostability and bioplastics*. [online] Dostopno na:
<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1473-biodegradability-compostability-and-bioplastics> (Datum dostopa: 22. 2. 2019)

- [47] Nacionalni inštitut za javno zdravje (2018). *Mikroplastika v živilih*. [online] Dostopno na:
<http://www.nijz.si/sl/mikroplastika-v-zivilih> (Datum dostopa: 22. 2. 2019)
- [48] Tehnična plastika Politrin (b.d.). *Plastika*. [online] Dostopno na:
<https://tehnicka-plastika.com/index.php/plastika/> (Datum dostopa: 22. 2. 2019)
- [49] BeMiller, J. N., Whistler, R. L. (2009). *Starch: Chemistry and Technology*. [online] Dostopno na:
[\(2009\).+Starch:+Chemistry+and+Technology.&hl=sl&sa=X&ved=0ahUKEwi855mzstTgAhWqposKHb6SDiQQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false](https://books.google.si/books?id=pvAzqk2pAIsC&printsec=frontcover&dq=BeMiller,+J.+N.,+Whistler,+R.+L.+<div data-bbox=)

(Datum dostopa: 22. 2. 2019)

[54] Chrebet, T., Rantuch, P. (2013). *Thermal Decomposition Of Cellulose Insulation*. [online]
Dostopno na:

[http://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT5-6\(2014\)/p.461-467.pdf](http://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT5-6(2014)/p.461-467.pdf), (Datum dostopa:
27. 2. 2019)

6.2 Viri slik

Slika na naslovnici: <http://web.sc-celje.si/cgp/> (Datum dostopa: 9. 1. 2019)

Slika 1: Privzeto po: http://konopko.si/files/file/Bioplastika-skladna-z-naravo_gradivo-za-sole.pdf
(Datum dostopa: 20. 11. 2018)

Slika 2: http://konopko.si/files/file/Bioplastika-skladna-z-naravo_gradivo-za-sole.pdf (Datum
dostopa: 20. 11. 2018)

Slika 3: http://konopko.si/files/file/Bioplastika-skladna-z-naravo_gradivo-za-sole.pdf, (Datum
dostopa: 20. 11. 2018)

Slika 4: http://konopko.si/files/file/Bioplastika-skladna-z-naravo_gradivo-za-sole.pdf (Datum
dostopa: 20. 11. 2018)

Slika 5: <http://www.echoinstruments.eu/applications/bioplastic-degradation/> (Datum dostopa:
9. 1. 2019)

Slika 6: <http://anphatholdings.com/en/aneco/biodegradable-plastic-bag-definition.html>, (Datum
dostopa: 9. 1. 201)

[http://www.ekologicen.si/article/412/Biorazgradljiva_plastika_hrana_za_naravne_mikroorg
anizme](http://www.ekologicen.si/article/412/Biorazgradljiva_plastika_hrana_za_naravne_mikroorg_anizme) (Datum dostopa: 9. 1. 2019)

Slika 7: Privzeto po: [https://sites.google.com/site/odrzivaplastikahrvatska/bioplastics/biodegradable-
plastics](https://sites.google.com/site/odrzivaplastikahrvatska/bioplastics/biodegradable-plastics) (Datum dostopa: 8. 1. 2019)

Slika 8: <http://www2.arnes.si/~sspzkola/ogp.htm> (Datum dostopa: 5. 2. 2019)

Slika 9: <http://www2.arnes.si/~sspzkola/ogp.htm> (Datum dostopa: 5. 2. 2019)

Slika 10: https://wiki.eanswers.net/sl/Etanojska_kislina (Datum dostopa: 8. 2. 2019)

Slika 11: <https://powerexplosive.com/glicerol-agente-hidratante-para-el-rendimiento/> (Datum dostopa: 5. 2. 2019)

Slika 12: http://projekti.gimvic.org/2009/2a/spektroskopija/index_teorija_3.html (Datum dostopa: 4. 2. 2019)

Slika 13: Morrison, R. T., Boyd, R. N. (1966) Organic Chemistry: Sixth Edition. Eaglewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc. ISBN 0-13-630179-7

Slika 14: Fakulteta za tehnologijo polimerov

Slika 15: Klopčič, M., Napvodnik, J. (1998) *Plastik-orodjar: priročnik*. Velenje: Napovednik – kemijski inženiring, 3. dopolnjena izdaja. ISBN: 978-961-92027-0-8

Slika 16: http://jjamsek.eu/STG/ISN/2008_2009/Markocic_N_Umetne%20snovi_trdnost_2009.pdf (Datum dostopa: 6. 2. 2019)

Slika 17: Osebna zbirka

Slika 18: Osebna zbirka

Slika 19: Osebna zbirka

Slika 20: Osebna zbirka

Slika 21: Osebna zbirka

Slika 22: Osebna zbirka

Slika 23: Osebna zbirka

Slika 24: Osebna zbirka

Slika 25: Osebna zbirka

PRILOGE

Priloga 1: Meritve topnosti za bioplastiko s klementininimi olupi

Bioplastika \ Topilo	Čas [min]					
	0	3	6	9	12	15
Voda	0,1203 g	0,1647 g	0,1650 g	0,1663 g	0,1710 g	0,1750 g
Aceton	0,1265 g	0,126 g	0,1255 g	0,1233 g	0,1223 g	0,1216 g
Etanol	0,1255 g	0,1252 g	0,1252 g	0,1251 g	0,1233 g	0,1225 g
Heksan	0,1286 g	0,1305 g	0,1307 g	0,1325 g	0,1337 g	0,1379 g

Priloga 2: Meritve topnosti za bioplastiko s krompirjevimi olupi

Bioplastika \ Topilo	Čas [min]					
	0	3	6	9	12	15
Voda	0,1279 g	0,1481 g	0,1733 g	0,1821 g	0,1838 g	0,1885 g
Aceton	0,1291 g	0,1258 g	0,1249 g	0,1246 g	0,1235 g	0,1229 g
Etanol	0,1284 g	0,1238 g	0,1231 g	0,1223 g	0,1213 g	0,1209 g
Heksan	0,1294 g	0,1300 g	0,1305 g	0,1321 g	0,1327 g	0,1331 g

Priloga 3: Meritve topnosti za bioplastiko z listjem

Bioplastika \ Topilo	Čas [min]					
	0	3	6	9	12	15
Voda	0,1292 g	0,1589 g	0,1666 g	0,1682 g	0,1702 g	0,1759 g
Aceton	0,1257 g	0,1248 g	0,1232 g	0,1213 g	0,1206 g	0,1186 g
Etanol	0,1254 g	0,1250 g	0,1239 g	0,1231 g	0,1218 g	0,1215 g
Heksan	0,1287 g	0,1304 g	0,1296 g	0,1288 g	0,1275 g	0,1263 g

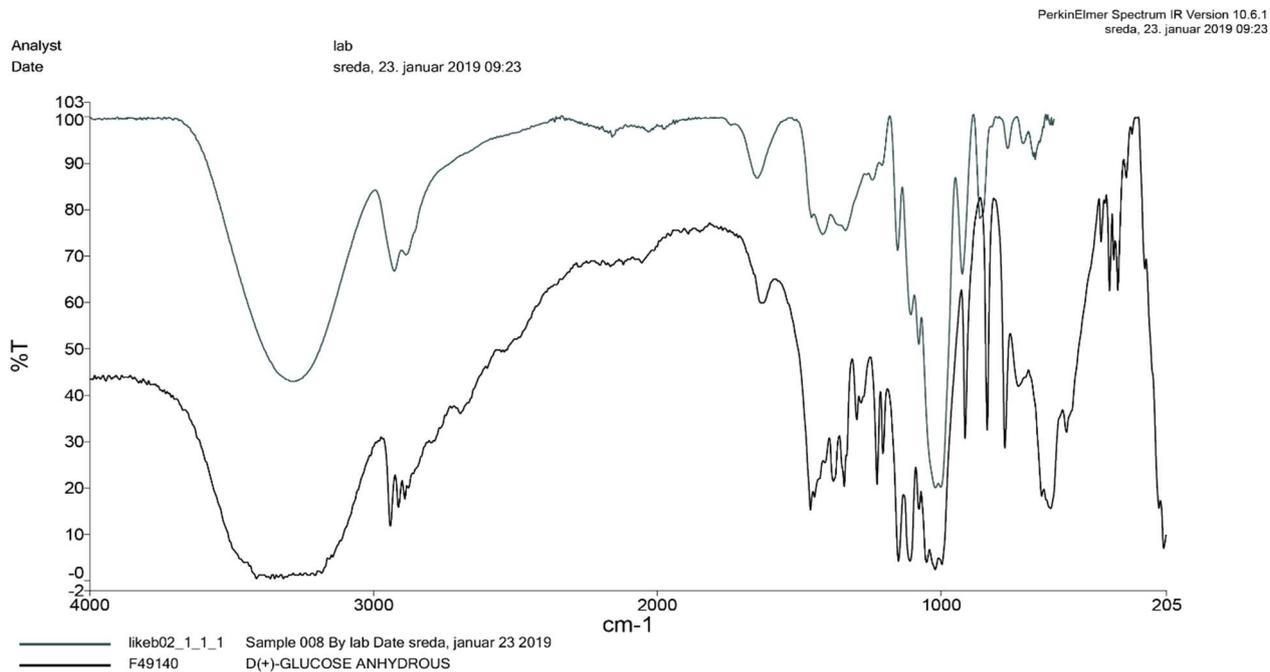
Priloga 4: Meritve topnosti za bioplastiko z bananinimi olupi

Bioplastika \ Topilo	Čas [min]					
	0	3	6	9	12	15
Voda	0,1188 g	0,1136 g	0,1111 g	0,1101 g	/	/
Aceton	0,1278 g	0,1278 g	0,1278 g	0,1278 g	/	/
Etanol	0,1289 g	0,1280 g	0,1275 g	0,1266 g	0,123 g	0,1197 g
Heksan	0,1281 g	0,1281 g	0,1281 g	0,1281 g	/	/

Priloga 5: Meritve topnosti za bioplastiko z jajčnim lupinami

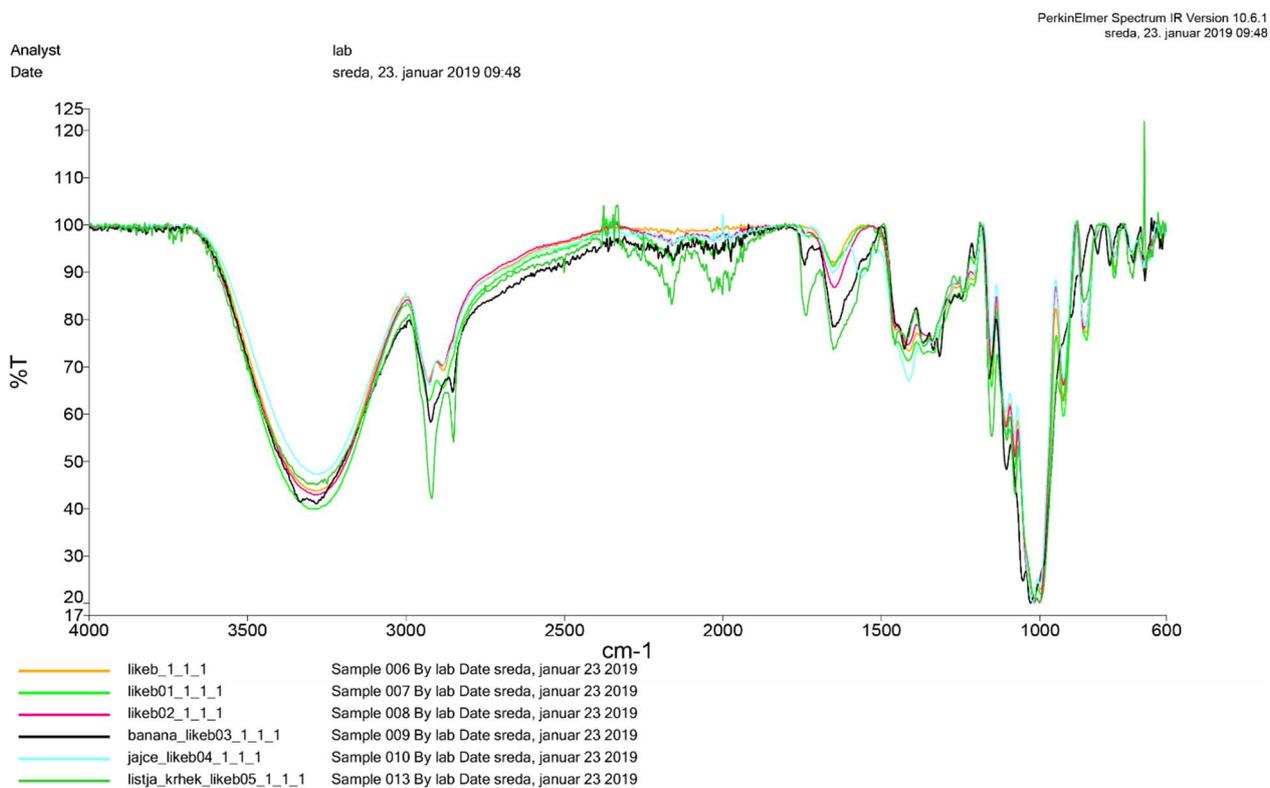
Bioplastika \ Topilo	Čas [min]					
	0	3	6	9	12	15
Voda	0,1283 g	0,1439 g	0,1446 g	0,1474 g	0,1502 g	0,1590 g
Aceton	0,1273 g	0,1267 g	0,1256 g	0,1254 g	0,1253 g	0,1242 g
Etanol	0,1219 g	0,1174 g	0,1170 g	0,1152 g	0,1140 g	0,1126 g
Heksan	0,1245 g	0,1245 g	0,1245 g	0,1245 g	0,1244 g	0,1245 g

Priloga 6: Primerjalni graf IR-analize bioplastike s klementinimi olupi



Source Spectra		
Sample Name	Search Best Hit	Search Best Hit Description
likeb02_1_1_1	F49140	D(+)-GLUCOSE ANHYDROUS

Priloga 7: Primerjalni graf IR-analize vseh bioplastik



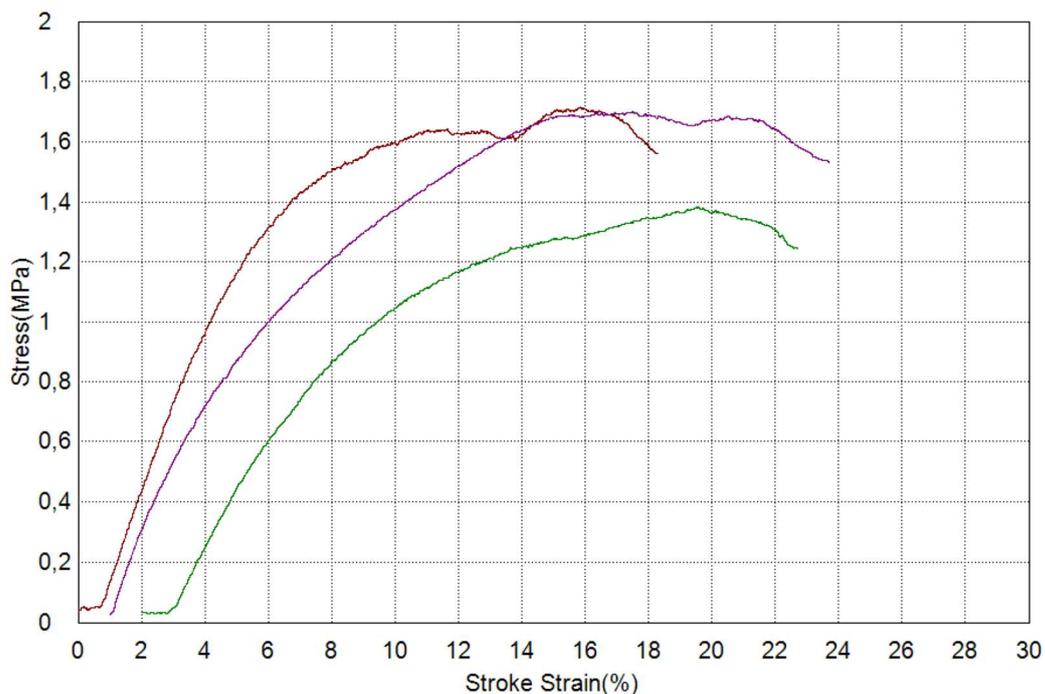
Priloga 8: Graf, meritve in rezultati upogibnega testa za bioplastiko s klementinimi olup

KLEMENTINA Upogibni test

Key Word		Product Name	
Test File Name		Method File Name	
Report Date	25.1.2019	Test Date	25.1.2019
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	2mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	4

Name	Thickness	Width	Lower_Support
Unit	mm	mm	mm
klementina2	3,8000	7,9200	40,0000
klementina3	4,7600	8,5200	40,0000
klementina4	4,4000	8,7300	40,0000

Name	Elastic	Max_Stress	Max_Stroke Strain	Break_Stress	Break_Stroke Strain
Parameters	Strain 0,25 – 0,05 %	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Last100msec	Last100msec
Unit	GPa	MPa	%	MPa	%
klementina2	0,00372	1,71531	15,8520	1,56104	18,2892
klementina3	0,03409	1,69944	16,5122	1,53048	22,6991
klementina4	-0,0022	1,38188	17,5718	1,24363	20,6992
Average	0,01187	1,59888	16,6453	1,44505	20,5625
Standard Deviation	0,01947	0,18809	0,86760	0,17510	2,20813



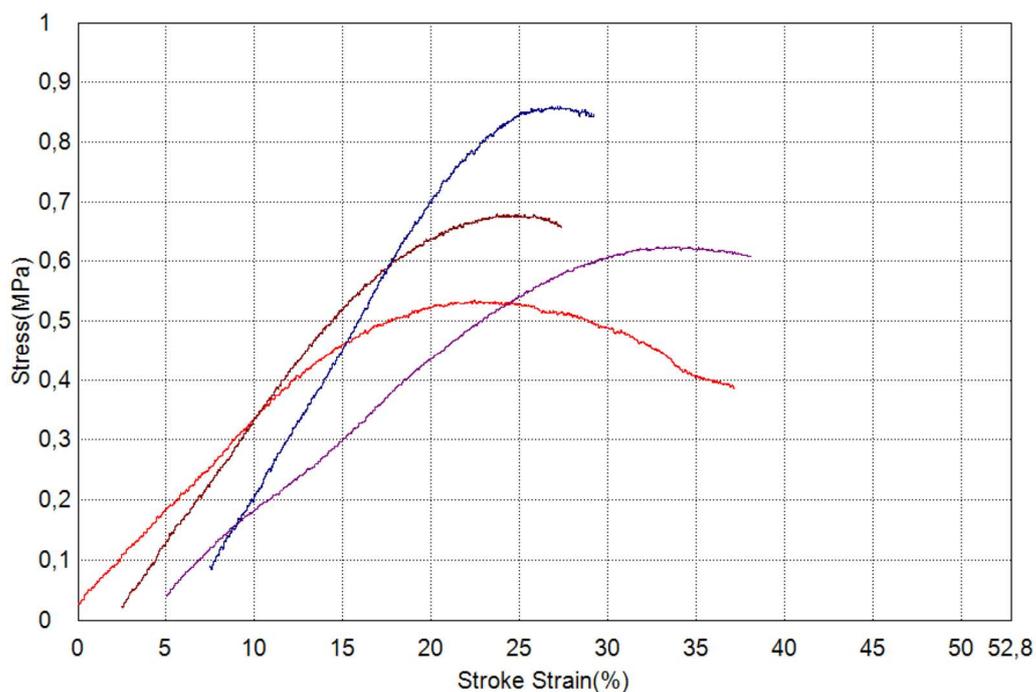
Priloga 9: Graf, meritve in rezultati upogibnega testa za bioplastiko s krompirjevimi lupi

KROMPIR Upogibni test

Key Word		Product Name	
Test File Name	krompir.xtak	Method File Name	ISO178.xmak
Report Date	23.1.2019	Test Date	23.1.2019
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	2mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/ Batch:	5

Name	Thickness	Width	Lower_Support
Unit	mm	mm	mm
krompir1	5,6900	6,8500	40,0000
krompir2	5,0200	8,0000	40,0000
krompir3	6,2400	8,7100	40,0000
krompir5	4,5600	7,8300	40,0000

Name	Elastic	Max_Stress	Max_Stroke Strain	Break_Stress	Break_Stroke Strain
Parameters	Strain 0,25 – 0,05 %	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Last100msec	Last100msec
Unit	GPa	MPa	%	MPa	%
krompir1	0,00372	0,53408	22,4739	0,38572	37,1341
krompir2	0,00586	0,67977	21,2156	0,65753	24,8313
krompir3	0,00358	0,62454	29,0454	0,60823	33,0882
krompir5	0,00803	0,85929	19,7943	0,84464	21,7220
Average	0,00530	0,67442	23,1323	0,62403	29,1939
Standard Deviation	0,00210	0,13710	4,09122	0,18871	7,14315



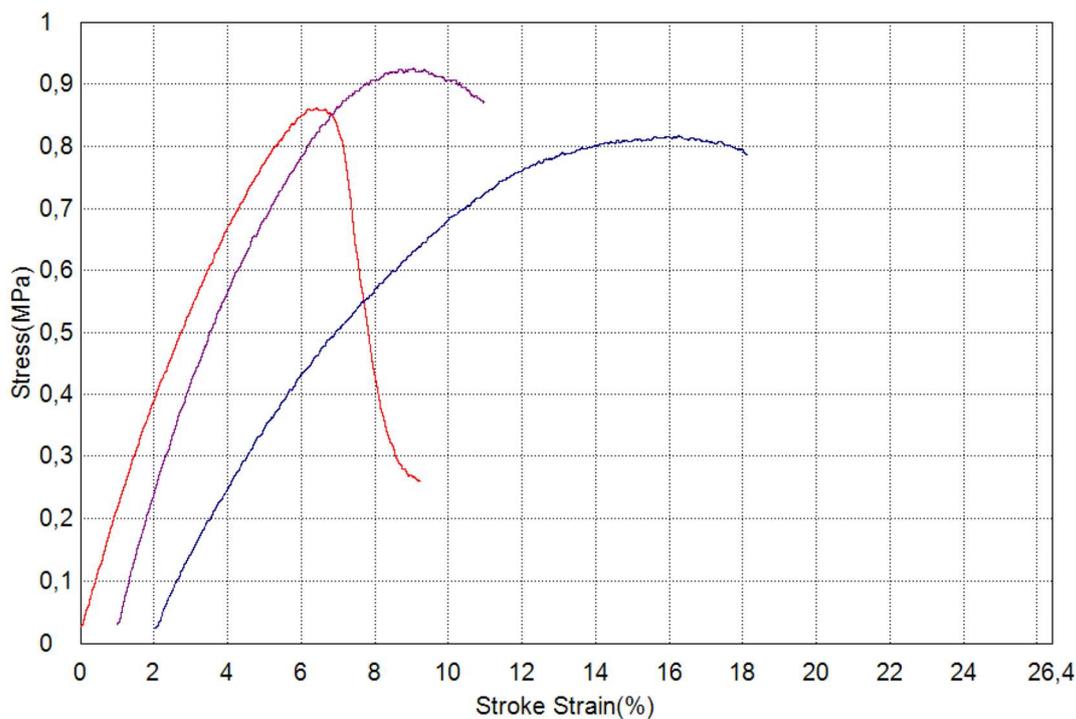
Priloga 10: Graf, meritve in rezultati upogibnega testa za bioplastiko iz listja

LISTJE Upogibni test

Key Word		Product Name	
Test File Name	listje.xtak	Method File Name	ISO178.xmak
Report Date	23.1.2019	Test Date	23.1.2019
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	2mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	5

Name	Thickness	Width	Lower_Support
Unit	mm	mm	mm
listje1	4,5100	10,1200	40,0000
listje3	4,5300	9,4200	40,0000
listje5	5,2100	9,0200	40,0000

Name	Elastic	Max_Stress	Max_Stroke Strain	Break_Stress	Break_Stroke Strain
Parameters	Strain 0,25 - 0,05 %	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Last100msec	Last100msec
Unit	GPa	MPa	%	MPa	%
listje1	0,01966	0,86082	6,44638	0,26038	9,21323
listje3	0,02624	0,92552	8,07798	0,87174	9,96232
listje5	0,01358	0,81680	14,2831	0,78681	16,1025
Average	0,01983	0,86771	9,60249	0,63964	11,7594
Standard Deviation	0,00633	0,05469	4,13481	0,33119	3,77988



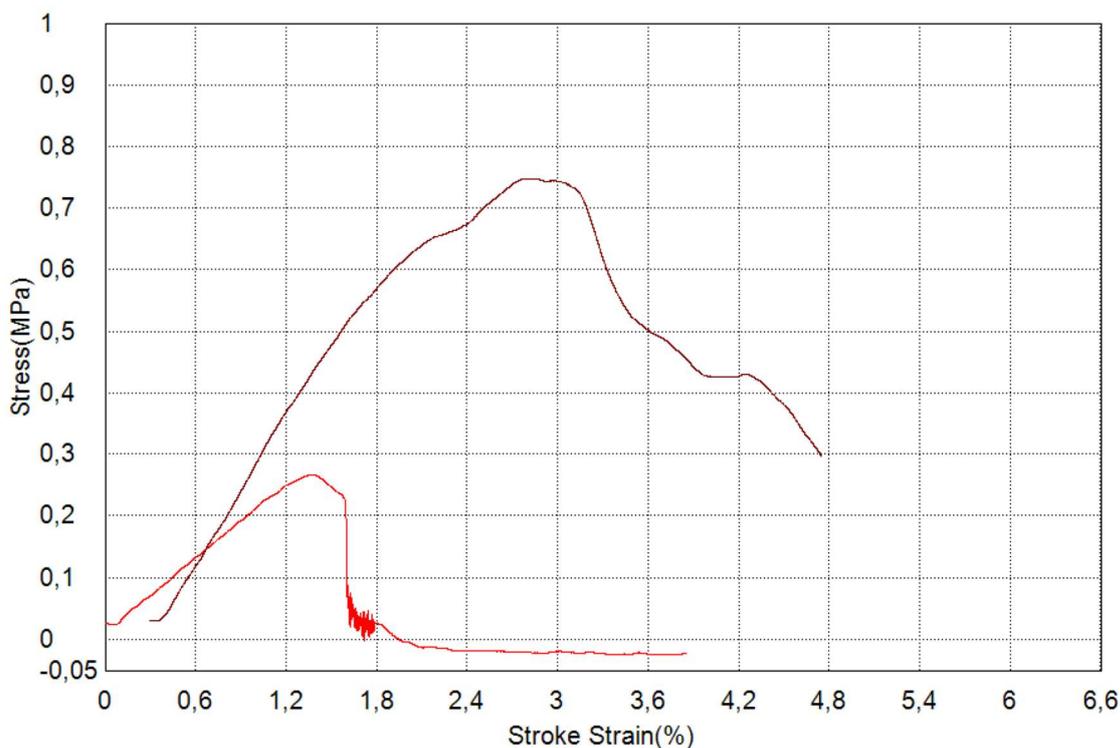
Priloga 11: Graf, meritve in rezultati upogibnega testa za bioplastiko z listjem – krhko

LISTJE KRHKO Upogibni test

Key Word		Product Name	
Test File Name	listje_krhko.xtak	Method File Name	ISO178.xmak
Report Date	23.1.2019	Test Date	23.1.2019
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	2mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	2

Name	Thickness	Width	Lower_Support
Unit	mm	mm	mm
listje_krho1	5,1800	9,5200	40,0000
listje_krho2	5,1800	9,9100	40,0000

Name	Elastic	Max_Stress	Max_Stroke Strain	Break_Stress	Break_Stroke Strain
Parameters	Strain 0,25 – 0,05 %	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Last100msec	Last100msec
Unit	GPa	MPa	%	MPa	%
listje_krho1	0,02116	0,26656	1,38666	-0,0235	3,84664
listje_krho2	0,03789	0,74814	2,55609	0,29875	4,44294
Average	0,02953	0,50735	1,97138	0,13763	4,14479
Standard Deviation	0,01183	0,34053	0,82691	0,22787	0,42165



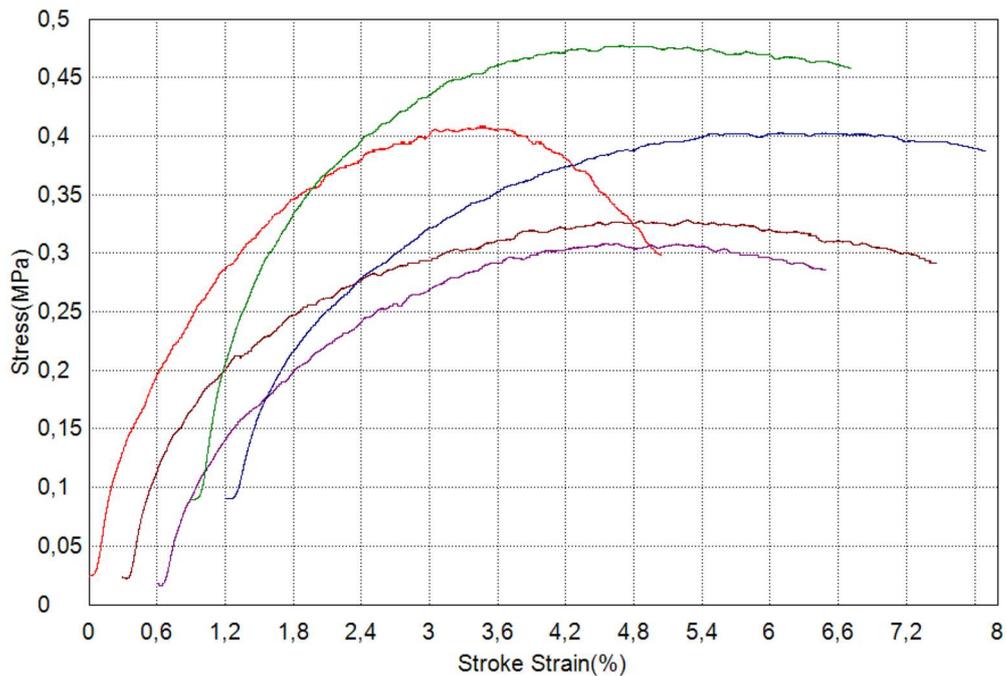
Priloga 12: Graf, meritve in rezultati upogibnega testa za bioplastiko z bananinimi olupi

BANANA Upogibni test

Key Word	Product Name		
Test File Name	BANANA.xtak	Method File Name	ISO178.xmak
Report Date	23.1.2019	Test Date	23.1.2019
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	2mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	5

Name	Thickness	Width	Lower_Support
Unit	mm	mm	mm
banana1	5,2800	7,1700	40,0000
banana2	5,3600	8,2900	40,0000
banana3	5,4700	8,5900	40,0000
banan4	5,7600	8,8800	40,0000
banana5	6,5500	8,5900	40,0000

Name	Elastic	Max_Stress	Max_Stroke Strain	Break_Stress	Break_Stroke Strain
Parameters	Strain 0,25 – 0,05 %	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Last100msec	Last100msec
Unit	GPa	MPa	%	MPa	%
banana1	0,05008	0,40840	3,49454	0,29962	5,03031
banana2	0,04308	0,32834	4,98124	0,29111	7,15874
banana3	0,03503	0,30834	4,59318	0,28571	5,88063
banan4	0,05546	0,47746	3,80439	0,45771	5,79861
banana5	0,03295	0,40266	5,28483	0,38687	6,68822
Average	0,04332	0,38504	4,43164	0,34420	6,11130
Standard Deviation	0,00961	0,06800	0,76284	0,07572	0,82908



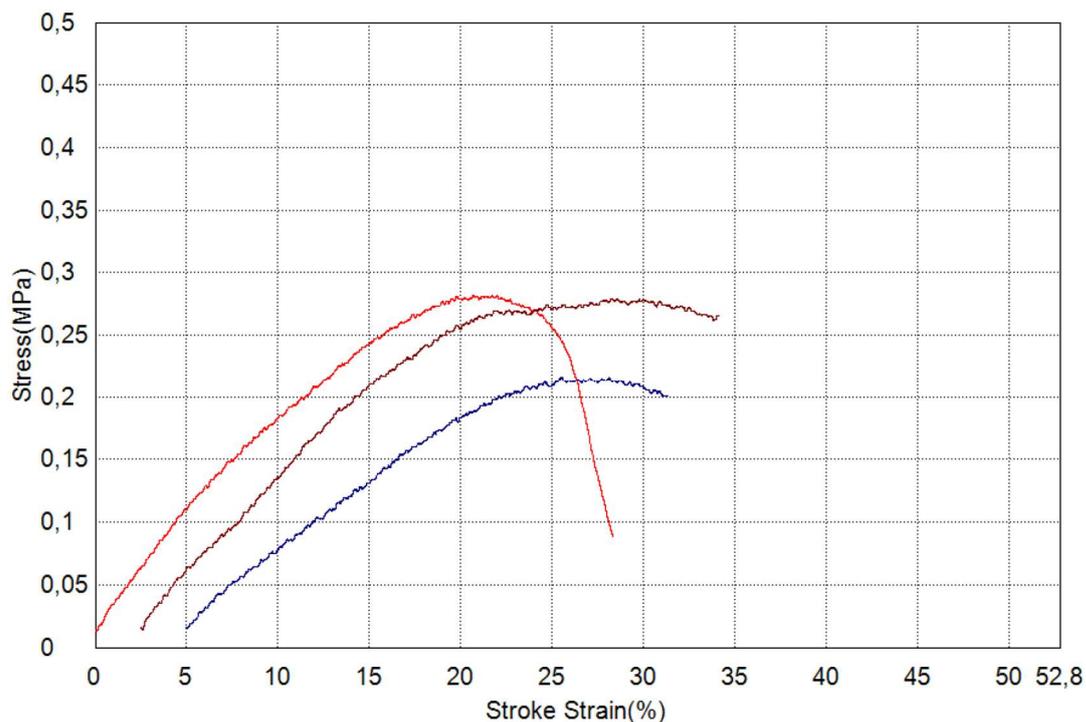
Priloga 13: Graf, meritve in rezultati upogibnega testa za bioplastiko z jajčnimi lupinami

JAJCE Upogibni test

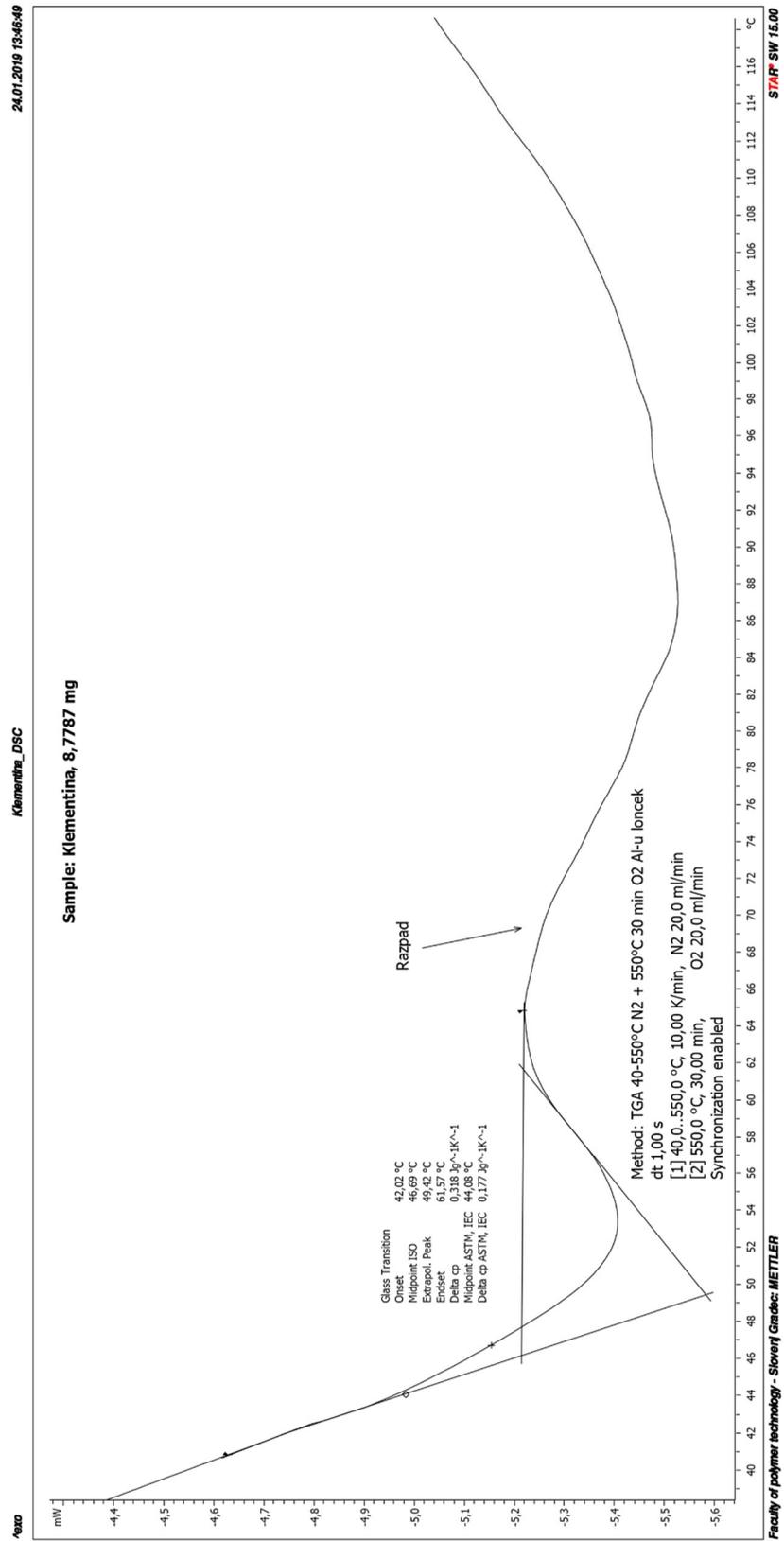
Key Word		Product Name	
Test File Name	JAJCE.xtak	Method File Name	ISO178.xmak
Report Date	23.1.2019	Test Date	23.1.2019
Test Mode	Single	Test Type	3 Point Bend
Speed	2mm/min	Shape	Plate
No of Batches:	1	Qty/Batch:	5

Name	Thickness	Width	Lower_Support
Unit	mm	mm	mm
jajce1	8,6500	5,1800	40,0000
jajce2	9,1000	4,2500	40,0000
jajce5	8,5200	4,7500	40,0000

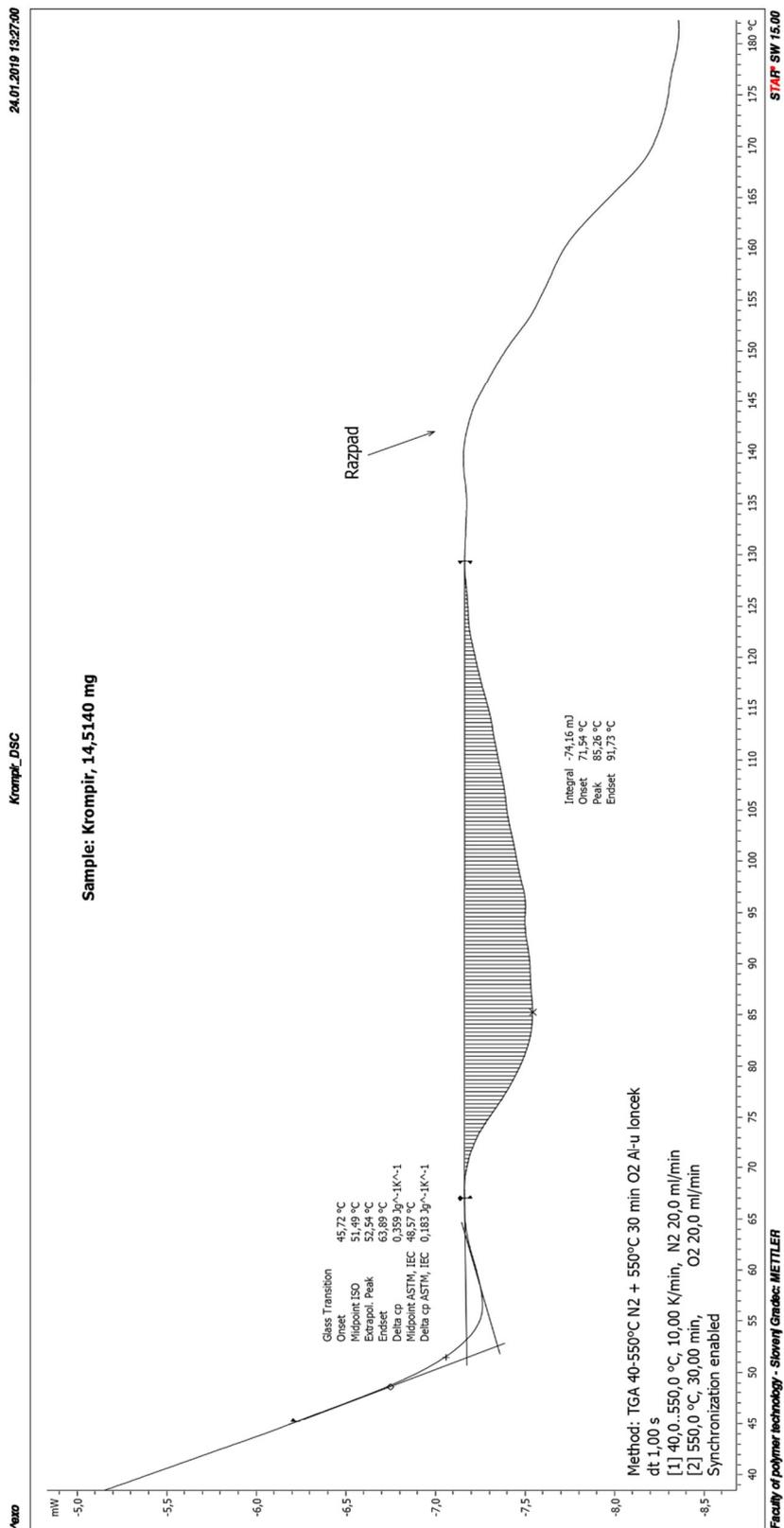
Name	Elastic	Max_Stress	Max_Stroke Strain	Break_Stress	Break_Stroke Strain
Parameters	Strain 0,25 - 0,05 %	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Last100msec	Last100msec
Unit	GPa	MPa	%	MPa	%
jajce1	0,00271	0,28174	21,9882	0,09006	28,3067
jajce2	0,00422	0,27937	25,8118	0,26501	31,6063
jajce5	0,00229	0,21574	23,1134	0,20025	26,3468
Average	0,00307	0,25895	23,6378	0,18511	28,7533
Standard Deviation	0,00102	0,03744	1,96500	0,08845	2,65804



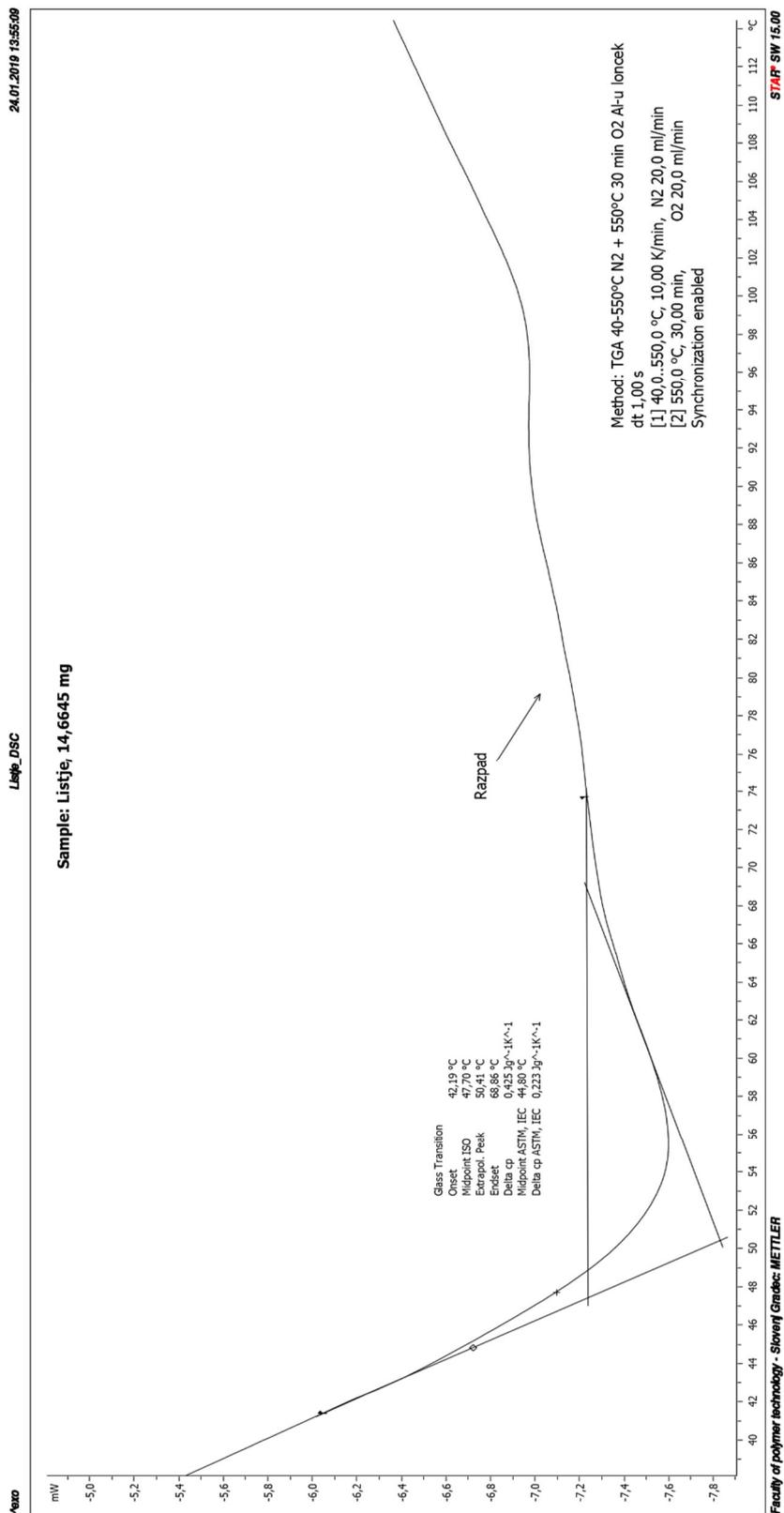
Priloga 14: Diagram DSC-analize za bioplastiko s klementinini olupi



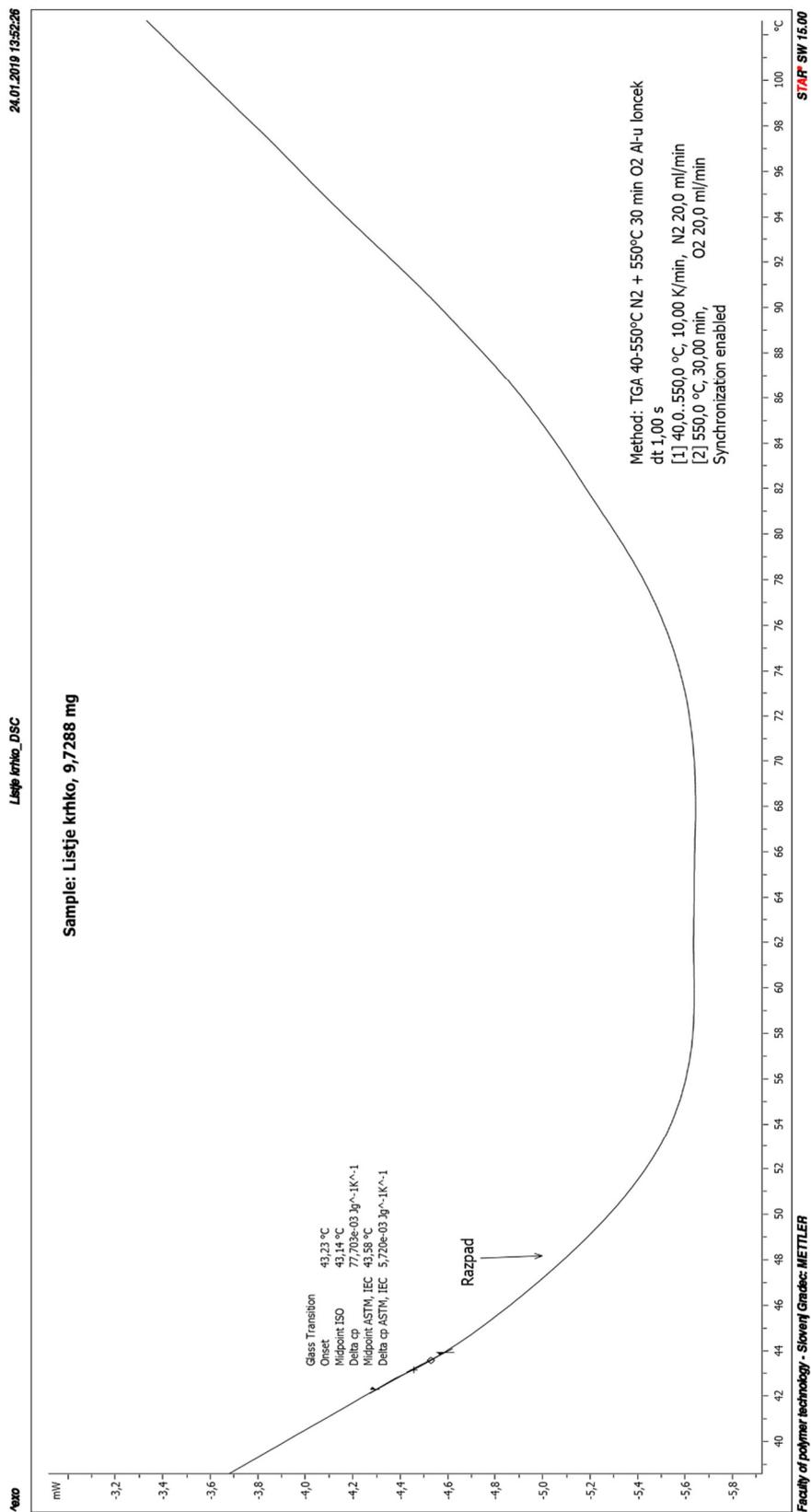
Priloga 15: Diagram DSC-analize za bioplastiko s krompirjevimi olupi



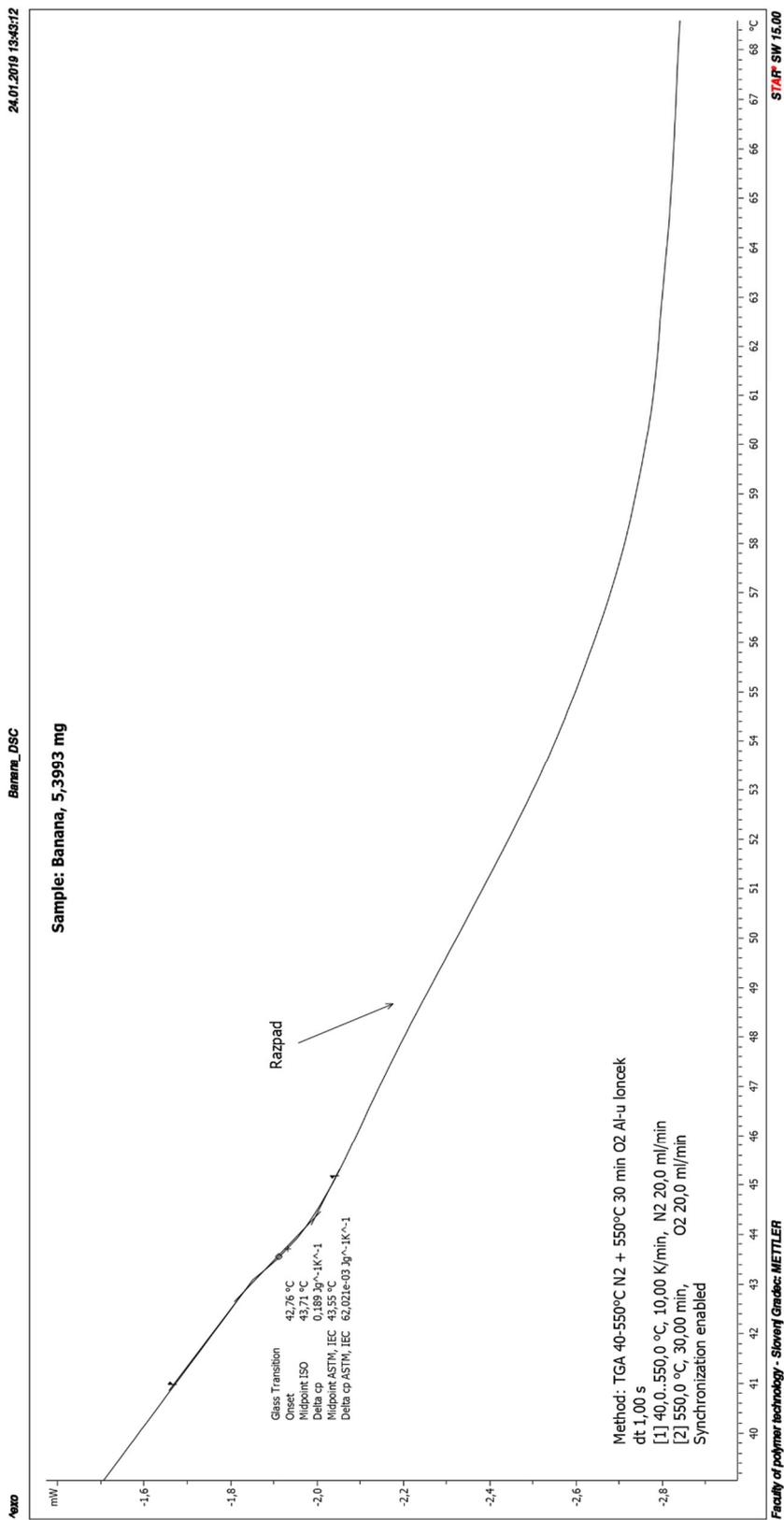
Priloga 16: Diagram DSC-analize za bioplastiko iz listov



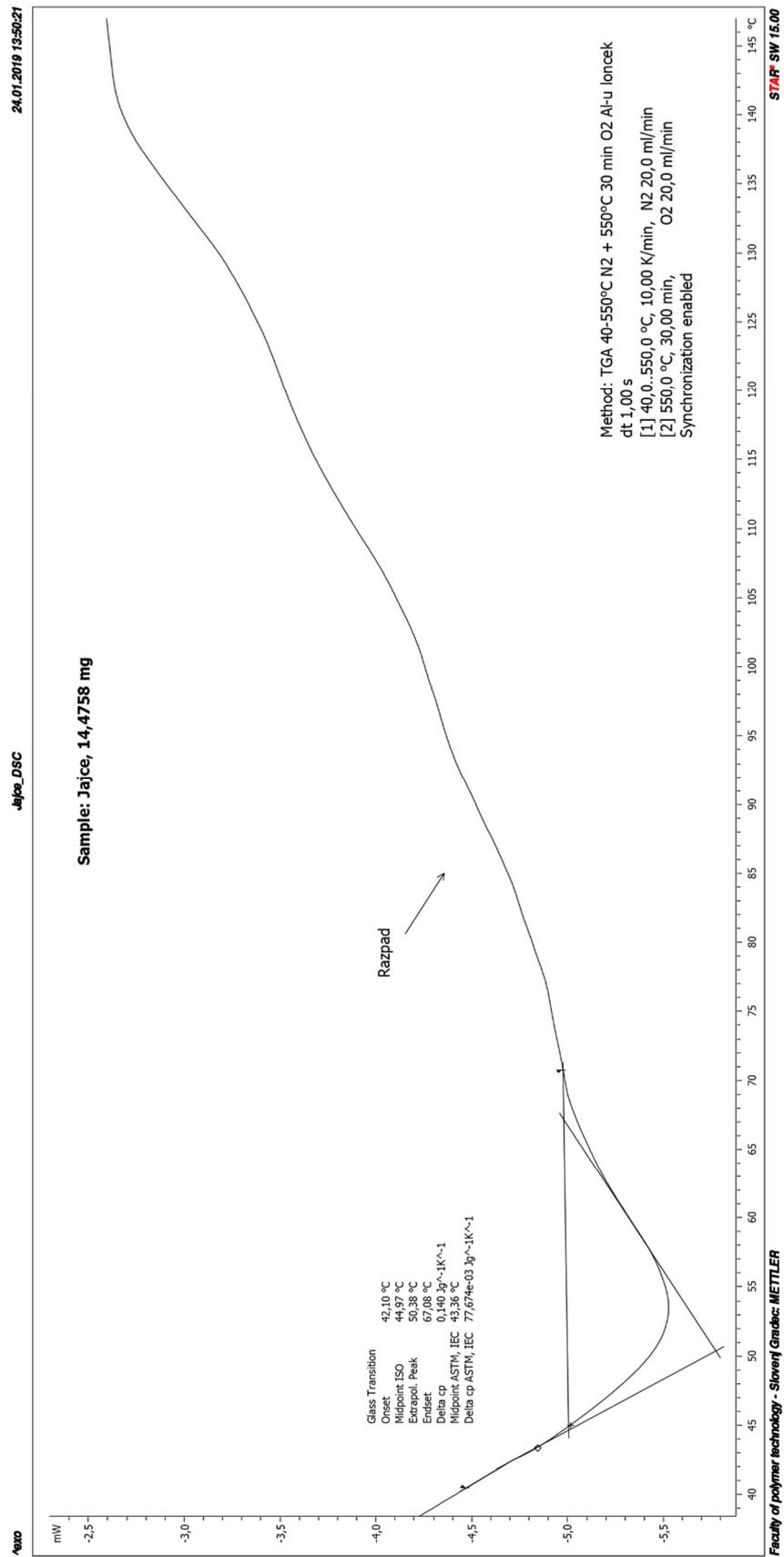
Priloga 17: Diagram DSC-analize za bioplastiko z listjem – krhko



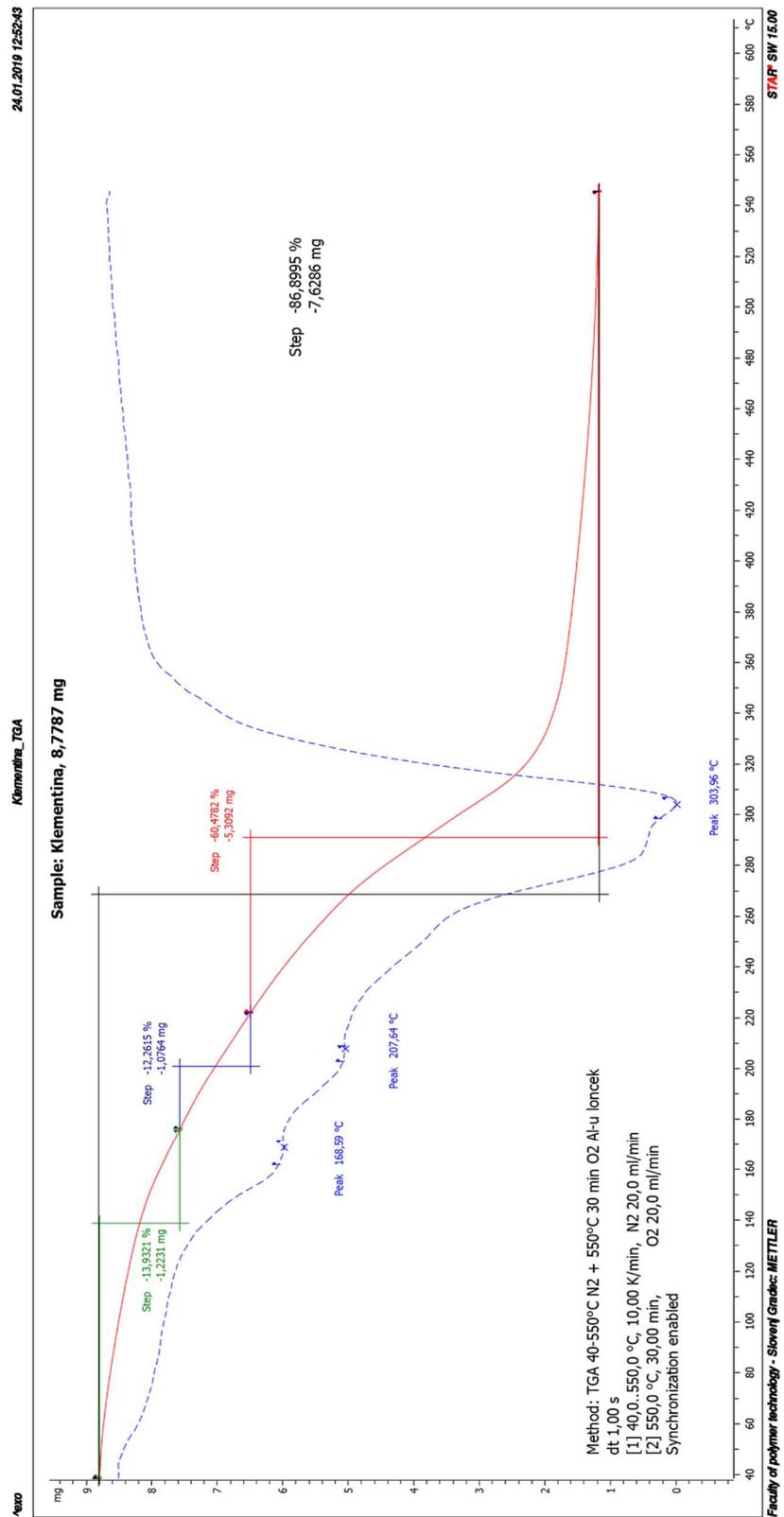
Priloga 18: Diagram DSC-analize za bioplastiko z bananinimi olupi



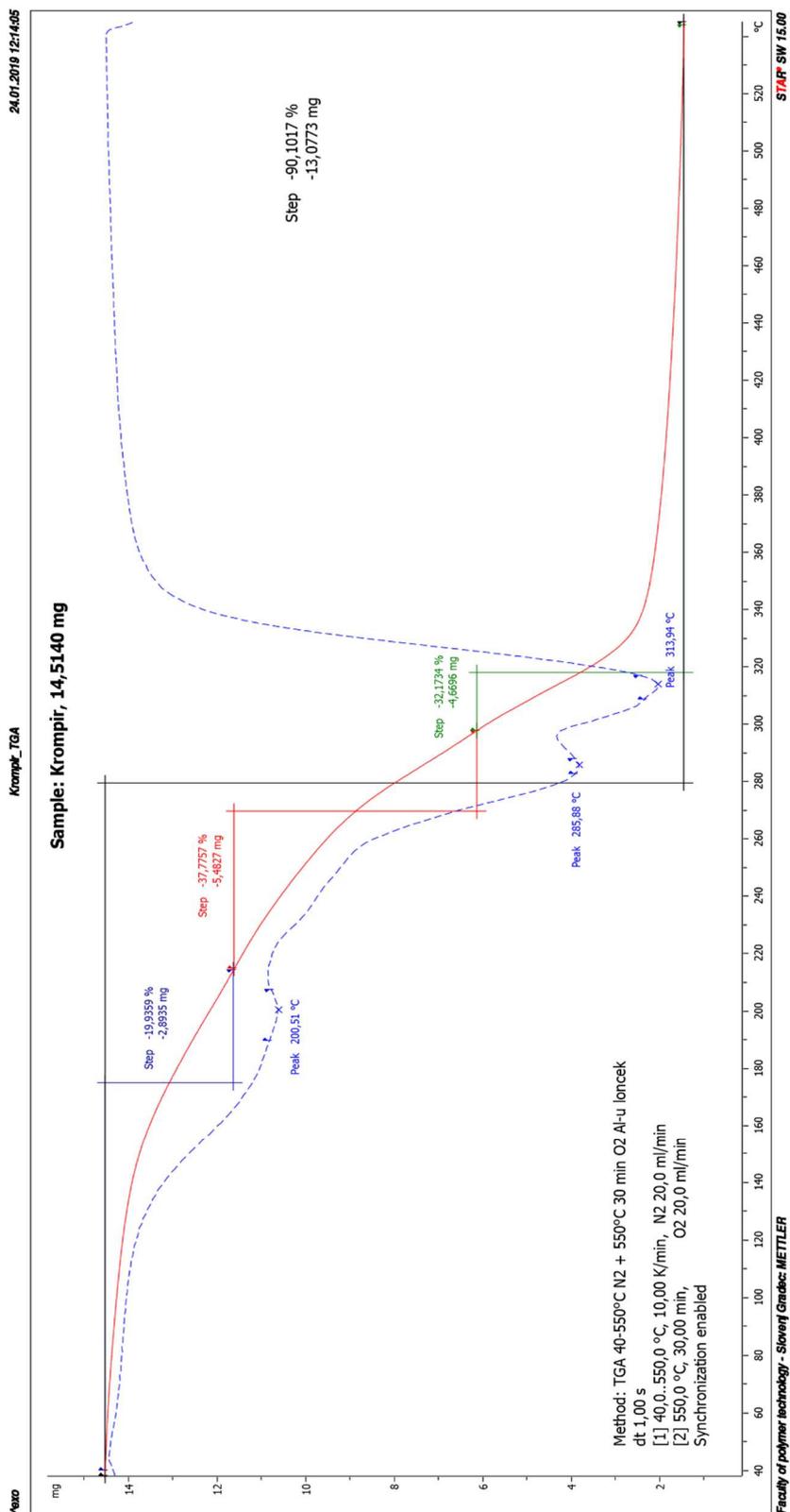
Priloga 19: Diagram DSC-analize za bioplastiko z jajčnimi lupini



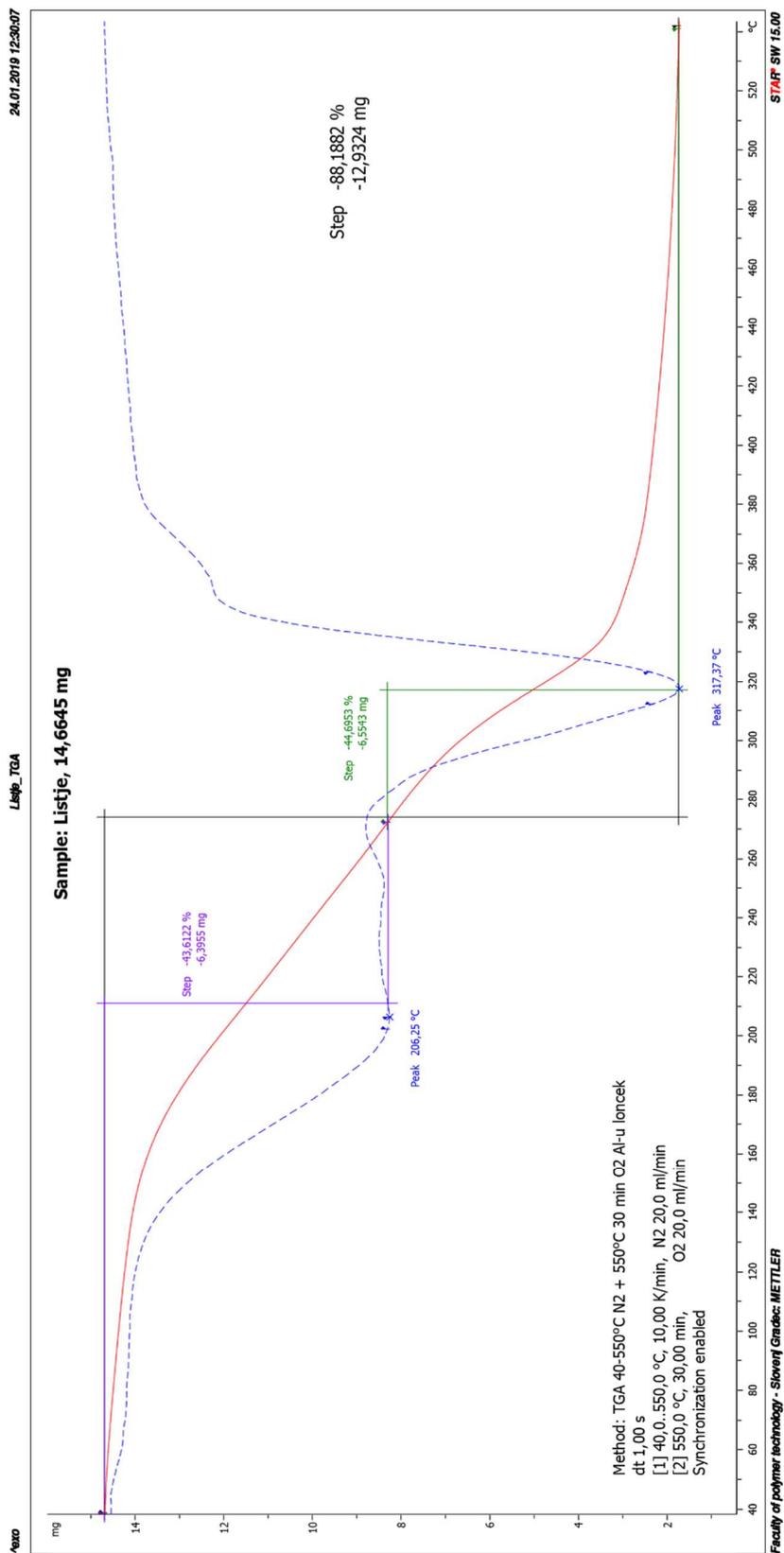
Priloga 20: Graf TGA-analize za bioplastiko s klemeninimi olupi



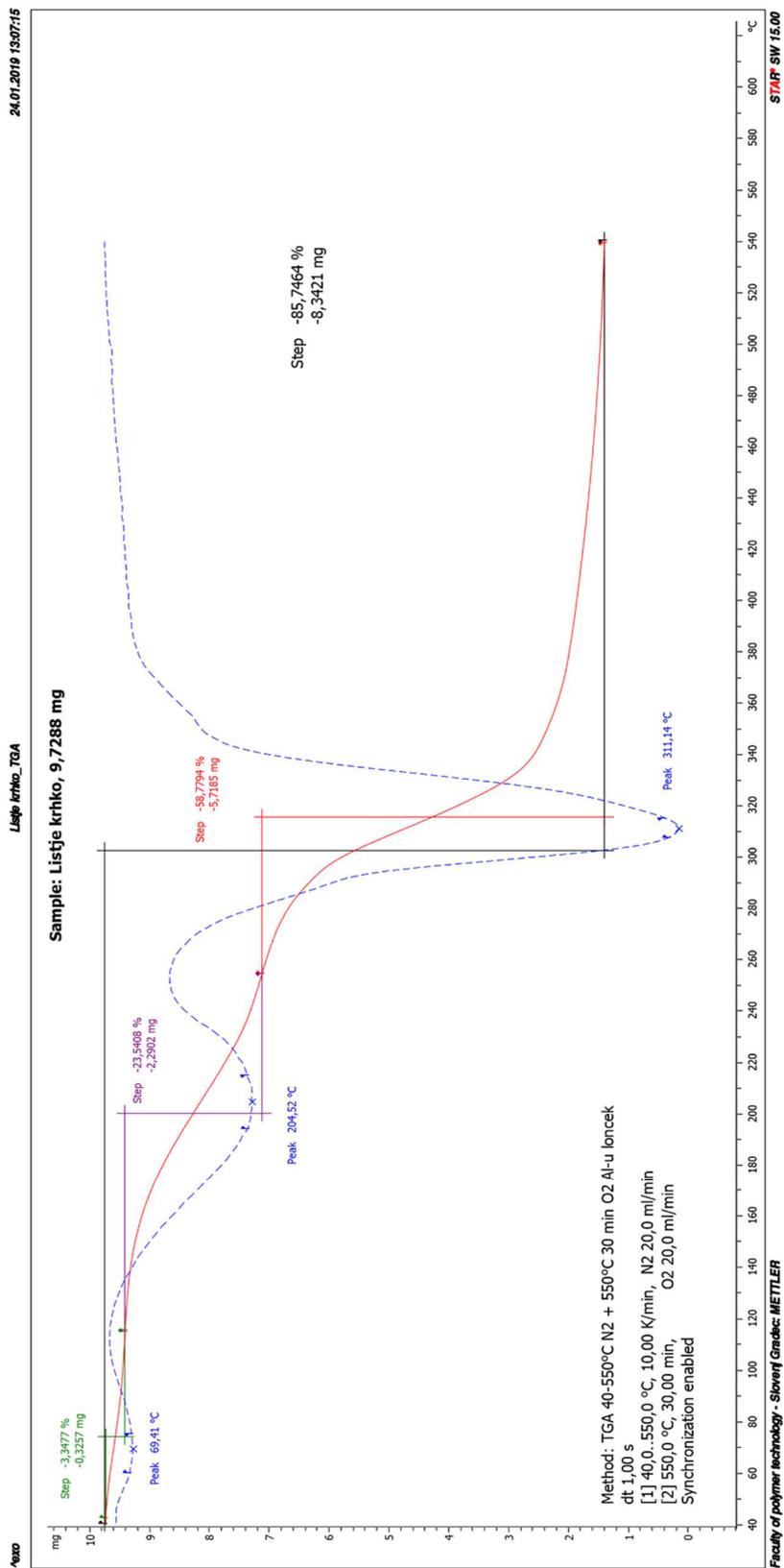
Priloga 21: Graf TGA-analize za bioplastiko s kromprijevimi olupi



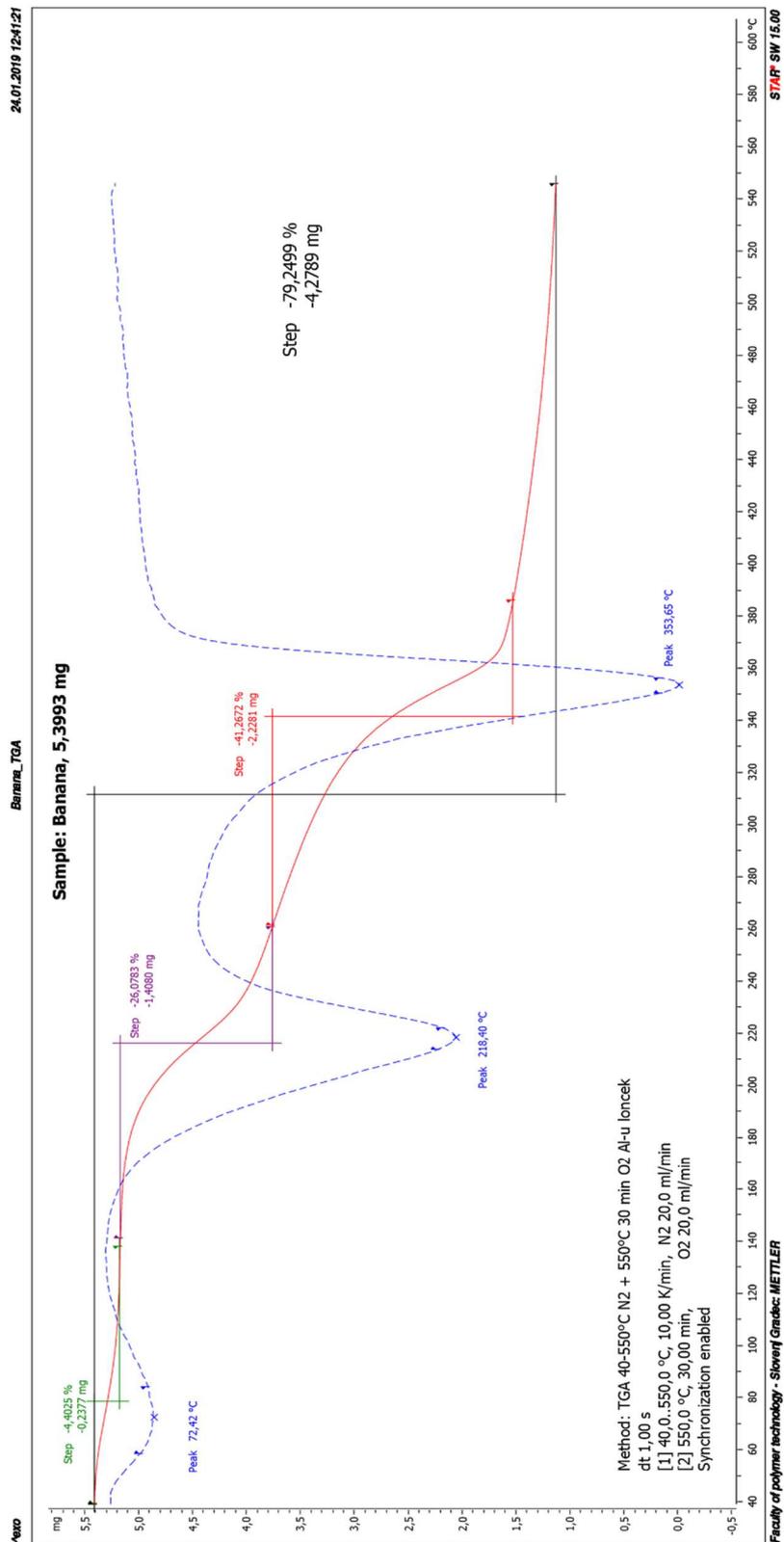
Priloga 22: Graf TGA-analize za bioplastiko iz listja



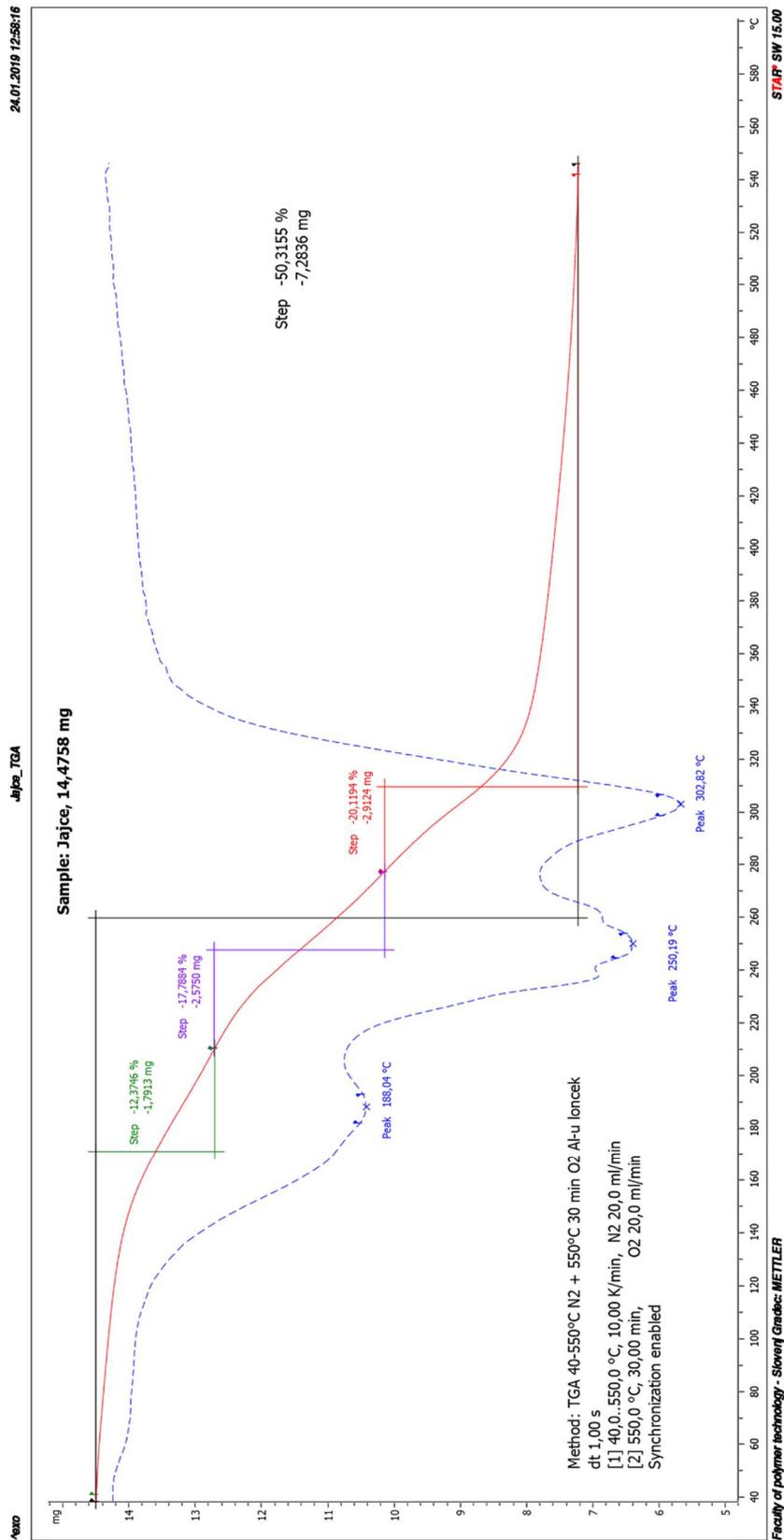
Priloga 23: Graf TGA-analize za bioplastiko z listjem – krhko



Priloga 24: Graf TGA-analize za bioplastiko z bananinimi olupi



Priloga 25: Graf TGA-analize za bioplastiko z jajčnimi lupini



IZJAVA*

Mentor MIHELA JUG v skladu z 2. in 17. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, zagotavljam, da je v raziskovalni nalogi z naslovom BIOPLASTIKA, katere avtorica je TJASA LIKOB:

- besedilo v tiskani in elektronski obliki istovetno,
- pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,
- da je za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo dovoljenje in je hranjeno v šolskem arhivu,
- da sme Osrednja knjižnica Celje objaviti raziskovalno nalogo v polnem besedilu na knjižničnih portalih z navedbo, da je raziskovalna naloga nastala v okviru projekta Mladi za Celje,
- da je raziskovalno nalogo dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov oziroma besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju,
- da smo seznanjeni z razpisni pogoji projekta Mladi za Celje.

Celje, 11.3.2019



Podpis mentorja

Podpis odgovorne osebe

POJASNILO

V skladu z 2. in 17. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje je potrebno podpisano izjavo mentorja (-ice) in odgovorne osebe šole vključiti v izvod za knjižnico, dovoljenje za objavo avtorja (-ice) fotografskega gradiva, katerega ni avtor (-ica) raziskovalne naloge, pa hrani šola v svojem arhivu.