

Ispitivanje razgradivosti vrećica za biootpad u definiranim uvjetima odlaganja

Lapić, Paško

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:111731>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-27**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij zbrinjavanja i odlaganja otpada

**ISPITIVANJE RAZGRADIVOSTI VREĆICA ZA BIOOTPAD U DEFINIRANIM
UVJETIMA ODLAGANJA**

Diplomski rad

Paško Lapić

R296

Zagreb, 2022



KLASA: 602-01/22-01/200
URBROJ: 251-70-11-22-2
U Zagrebu, 27.10.2022.

Paško Lapić, student


RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/200, URBROJ: 251-70-11-22-1 od 27.10.2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

ISPITIVANJE RAZGRADIVOSTI VREĆICA ZA BIOTPAD U DEFINIRANIM UVJETIMA ODLAGANJA

Za voditelja ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Izv.prof.dr.sc. Želimir Veinović nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj

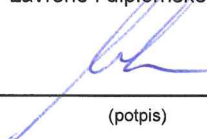


(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Želimir Veinović

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

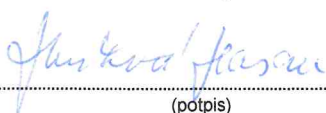


(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Mario Klanfar

(titula, ime i prezime)


Suvoditeljica


.....
(potpis)

Dr. sc. Michaela Hrušková -
Hasan

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)

ISPITIVANJE RAZGRADIVOSTI VREĆICA ZA BIOOTPAD U DEFINIRANIM UVJETIMA
ODLAGANJA

Paško Lapić

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U ovom radu dan je kratki pregled mogućnosti i potencijalnih problema odvojenog sakupljanja biootpada prema danas primijenjenoj praksi. Također je dan pregled obavljenog eksperimenta raspada vrećica za biootpad u različitim uvjetima.

Ključne riječi: biootpad, biorazgradive vrećice, kompostiranje

Završni rad sadrži: 39 stranice, 2 tablica, 39 slika, 0 priloga, i 28 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: Dr. sc. Želimir Veinović, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Michaela Hrušková - Hasan

Ocjenjivači: Dr. sc. Želimir Veinović, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Frankica Kapor, redoviti profesor RGNF
Dr. sc. Helena Vučenović, docent RGNF

TESTING COMPOSTABILITY OF BIODEGRADABLE BAGS IN PREDETERMINED CONDITIONS

Paško Lapić

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Mining Engineering and Geotechnics
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

This paper consists of a brief summary of possibilities and problems regarding current management of biowaste and the results of an experiment regarding degradation of biodegradable bags in different conditions.

Keywords: biowaste, biodegradable bags, composting

Thesis contains: 39 pages, 2 tables, 39 figures, 0 appendixes, i 28 references.

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisors: Associate Professor Želimir Veinović, PhD
Michaela Hrušková – Hasan, PhD

Reviewers: Associate Professor Želimir Veinović, PhD
Full Professor Frankica Kapor, PhD
Assistant Professor Helena Vučenović, PhD

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. ODVOJENO SAKUPLJANJE OTADA	2
2.1. Što je odvojeno sakupljanje otpada	2
2.2. Grad Zagreb	5
2.3. Biootpad i metode obrade	6
2.4. Spremnici za prikupljanje kompostabilnog otpada u Republici Hrvatskoj	8
2.4.1. Vrećice za prikupljanje biootpada u Republici Hrvatskoj	10
2.4.2. Biorazgradive vrećice na slobodnom tržištu	11
3. EKSPERIMENTALNI DIO	13
3.1. Uzorci:	13
3.2. Plan eksperimenta	13
3.3. Analiza raspada	17
4. REZULTATI I RASPRAVA	20
4.1. Degradacija nakon 3 mjeseca starenja	20
4.2. Degradacija nakon 6 mjeseci starenja	23
4.3. Degradacija nakon 12 mjeseca starenja	26
4.4. Analiza pomoću FTIR spektroskopije	28
4.4.1. Analiza vrećica	30
4.4.2. Analiza isparnog ostatka	32
4.5. Diskusija	34
5. ZAKLJUČAK	36
6. LITERATURA	37

POPIS SLIKA

Slika 2-1	Količine ukupno proizvedenog komunalnog otpada u RH, 1995.-2018. (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2018).....	2
Slika 2-2	Godišnje količine proizvedenog komunalnog otpada po stanovniku u RH, 1995.-2018. (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2018).....	3
Slika 2-3	Količine odvojeno sakupljenog komunalnog otpada u RH, 2010.-2018. (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2018).....	3
Slika 2-4	Udio odvojeno sakupljenog komunalnog otpada i miješanog komunalnog otpada u RH, 2010.-2018. (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2018).....	4
Slika 2-5	Sastav odvojeno sakupljenog otpada u RH 2018. (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2018).....	4
Slika 2-6	Procijenjeni sastav proizvedenog komunalnog otpada u RH (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2018).....	5
Slika 2-7	Kanta za biootpad (cistoca.hr)	6
Slika 2-8	Anaerobni digestat (izvor Alex Marshall, Clarke Energy Ltd. 2006).....	7
Slika 2-9	Komposter za biootpad Dugopolje (Dalmacija danas, 2022.)	8
Slika 2-10	Vrećica za biootpad Samobor (Komunalac Samobor d.o.o., 2022.).....	10
Slika 2-11	Vrećica za biootpad Našice (TV Našice, 2022.).....	10
Slika 2-12	Biorazgradiva vrećica Justgoeco (JUST GO ECO d.o.o., 2022.)	11
Slika 2-13	Biorazgradive vrećice tvrtke Paclan (Konzum, 2022.).....	11
Slika 2-14	Biorazgradive vrećice tvrtke BioBag (Consultare, 2022.).....	12
Slika 2-15	Biorazgradive vrećice iz Spar-a (Tera Hub Croatia Facebook, 2018.).....	12
Slika 3-1	Prazne staklenke s naljepnicama i odgovarajući poklopci.....	14
Slika 3-2	Punjenje vrećice u staklenki.....	15
Slika 3-3	Uzorak biootpada	15
Slika 3-4	Napunjene staklenke	16
Slika 3-5	Prvi sloj izolacije staklenki	16
Slika 3-6	Pozicija eksperimenta	17
Slika 3-7	Bruker Alpha II spektrometar	18
Slika 4-1	Uzorci vrećica nakon 3 mjeseca degradiranja u vodi	20
Slika 4-2	Uzorci vrećica nakon tri mjeseca degradacije u zemlji.....	21
Slika 4-3	Uzorci vrećica nakon tri mjeseca degradacije u biootpadu.....	22
Slika 4-4	Uzorci vrećica nakon šest mjeseci degradacije u vodi.....	23

Slika 4-5 Uzorci vrećica nakon šest mjeseci degradacije u zemlji.....	24
Slika 4-6 Uzorci vrećica nakon šest mjeseci u biootpadu	25
Slika 4-7 Uzorci vrećica nakon dvanaest mjeseci degradacije u zemlji.....	26
Slika 4-8 Uzorci vrećica nakon dvanaest mjeseci degradacije u biootpadu.....	27
Slika 4-9 Uzorci vrećica nakon dvanaest mjeseci degradacije u vodi.....	28
Slika 4-10 Sušenje vrećica na zraku	29
Slika 4-11 Uzorci tekućine u bočicama	29
Slika 4-12 Uzorci tekućine na vodenoj kupelji	30
Slika 4-13 Rezultat FTIR spektroskopije zelene vrećice.....	30
Slika 4-14 Rezultat FTIR spektroskopije smeđe vrećice.....	31
Slika 4-15 FTIR spektroskopija KBr tablete isparnog ostatka zelene vrećice	32
Slika 4-16 FTIR spektroskopija KBr tablete isparnog ostatka smeđe vrećice	33
Slika 4-17 FTIR spektroskopija KBr tablete isparnog ostatka papirnate vrećice.....	34

POPIS TABLICA

Tablica 2-1 Spremnici za biootpad u drugim gradovima	9
Tablica 3-1 Pregled uzoraka uzetih na analizu spektrometrom.....	19

1. UVOD

Jedan od vodećih problema od začetka civilizacije je količina otpada koju proizvodimo. Napretkom tehnologije i razvitkom društva količine otpada rastu te ovaj problem postaje sve veći. Osim količine, napretkom društva povećala se i kompleksnost sastava otpada kao i složenost rješenja za njegovo zbrinjavanje.

U prošlosti se čovjek otpada rješavao na razne načine – zakapao ga je u rupe, kako prirodne tako i antropogene, hranio je svinje obrađenim i ne obrađenim otpadom, bacao ga u mora, jezera i rijeke, spaljivao ga, kompaktirao, ugrađivao u objekte i smišljao nove načine za rješavanje problema. Koncentracijom stanovništva u gradovima to više nije moguće pa je danas široko primjenjivan dio zbrinjavanja otpada odvojeno sakupljanje po njegovim frakcijama, jedna od kojih je biootpad.

Prema Zakonu o gospodarenju otpadom (NN 84/21) biootpad je biološki razgradiv otpad iz vrtova i parkova, hrana i kuhinjski otpad iz kućanstava, restorana, ugostiteljskih i maloprodajnih objekata i slični otpad iz proizvodnje prehrambenih proizvoda. Prema toj definiciji biootpad uključuje sav otpad koji degradira biorazgradnjom – kemijskom reakcijom degradacije materijala izazvane djelovanjem mikroorganizama kao što su gljivice, bakterije i alge (Juroš, 2020). Unatoč tome u većini Republike Hrvatske se pod biootpadom prikuplja kompostabilan otpad te npr. Zagrebačka Čistoća navodi kako u biootpad, koji bi se zapravo trebao zvati kompostabilni otpad, ne pripadaju: ostaci termički obrađene hrane, meso, riba, kosti, koža, mliječni proizvodi, ulja i masti (Zagrebački holding d.o.o. Podružnica Čistoća, 2022). To se čini iz razloga što kompostabilni materijali razgradnjom proizvode humus, prirodnu tvar bogatu hranjivim tvarima koja zadržava vodu i služi kao hrana biljkama. Unatoč tome se žiteljima grada Zagreba za odlaganje biootpada u zasebne spremnike dodjeljuju smeđe vrećice koje svojim izgledom i teksturom podsjećaju na plastične vrećice podiže se pitanje jesu li odabrane vrećice svrsishodne ili predstavljaju onečišćujuću tvar u kompostu koji koristimo kao hranu za biljke?

2. ODVOJENO SAKUPLJANJE OTPADA

2.1. Što je odvojeno sakupljanje otpada

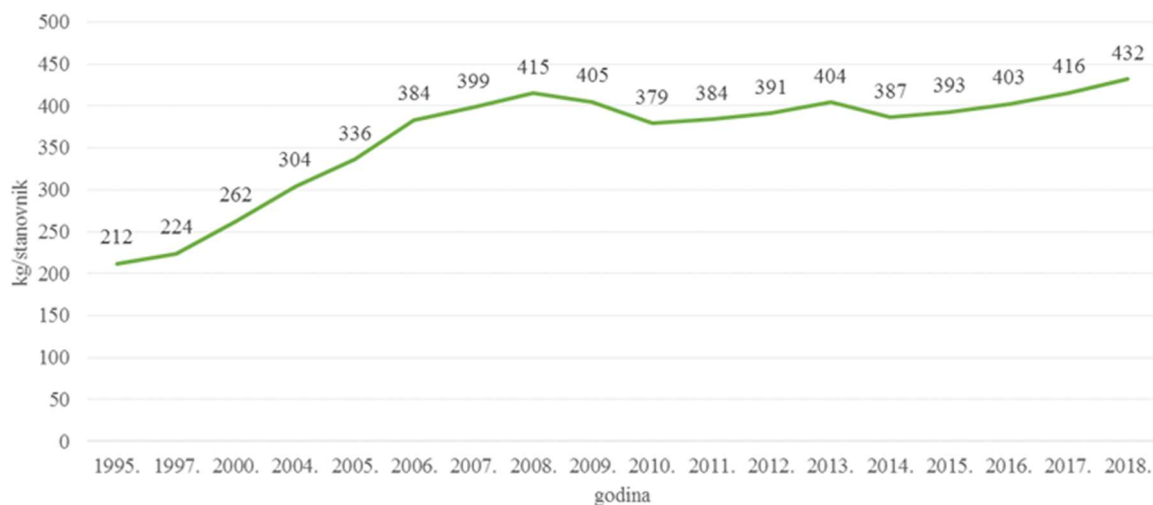
Godišnje se po stanovniku prosječno proizvede više od 400 kilograma otpada. Većina tog otpada (čak 80%) nakon jedne uporabe završi na odlagalištima. Zato je ključno mijenjati navike i odgovorno postupati kako bi gospodarenje otpadom postalo što učinkovitije. Prema Zakonu o gospodarenju otpadom (NN 84/21) odvojeno sakupljanje je sakupljanje otpada na način da se otpad odvaja prema njegovoj vrsti i svojstvima kako bi se olakšala obrada i sačuvala vrijedna svojstva otpada. Obzirom da su količine otpada koje stvaramo u stalnom porastu kako je prikazano na slici 2-1, odvojeno sakupljanje otpada je bitno kako bi postupcima recikliranja pojedinih vrsta otpada umanjili količine koje odlažemo na odlagališta otpada. To nam je od velike važnosti jer odlagališta otpada predstavljaju trajan gubitak prostora.



Slika 2-1 Količine ukupno proizvedenog komunalnog otpada u RH, 1995.-2018. (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2018)

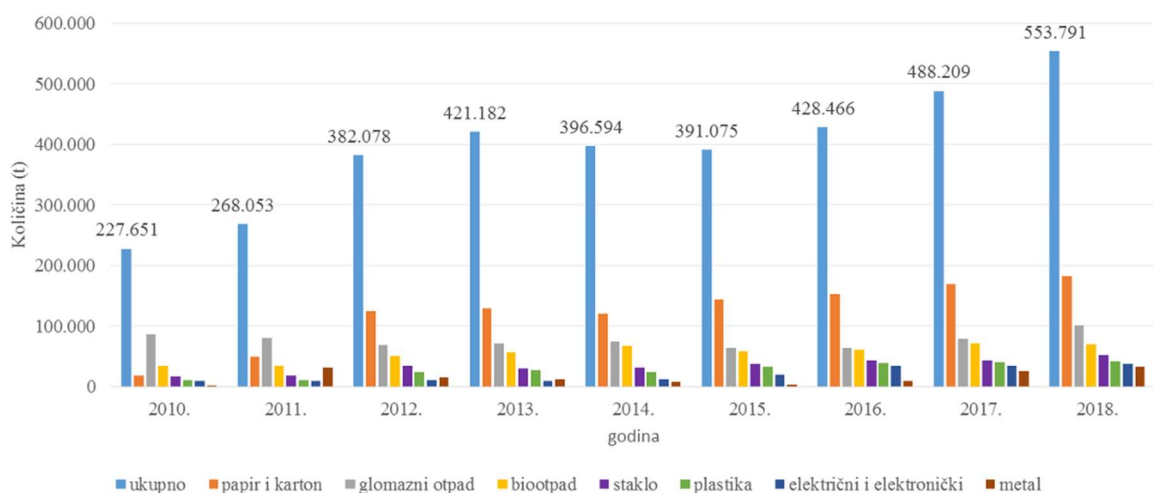
Na slici 2-1 vidljivo je kako ukupno stvorene količine otpada u razdoblju od 2006. do 2018. osciliraju između 1,6 i 1,8 milijuna tona godišnje, ne uzimajući u obzir broj ljudi koji

otpad stvaraju. Uzmemo li uz to u obzir demografske promjene kao na slici 2-2 vidljivo je kako se godišnje proizvedena količina otpada po stanovniku povećava.



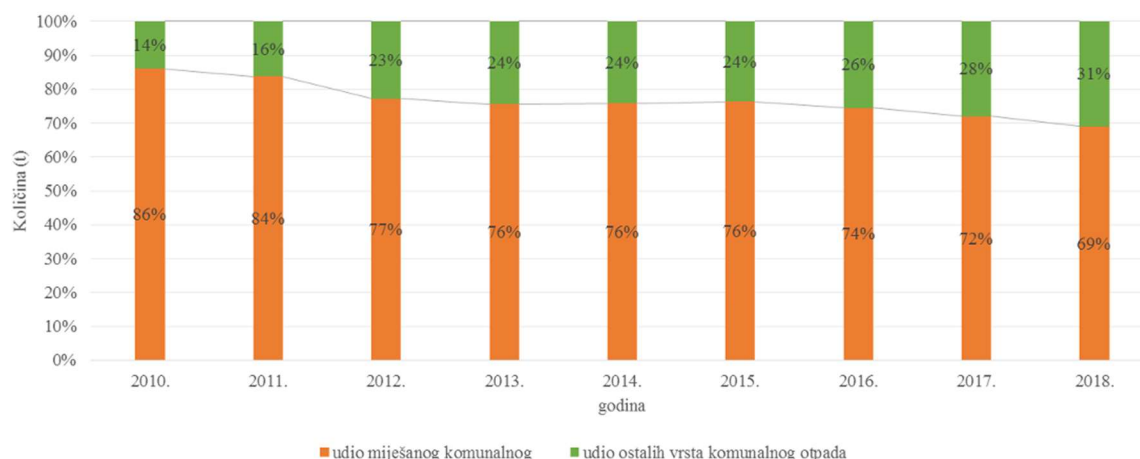
Slika 2-2 Godišnje količine proizvedenog komunalnog otpada po stanovniku u RH, 1995.-2018. (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2018)

Povećanje količine proizvedenog otpada kroz godine pratila je i količina odvojeno sakupljenog otpada što je svakako pozitivan trend, a prikazan je na slici 2-3.



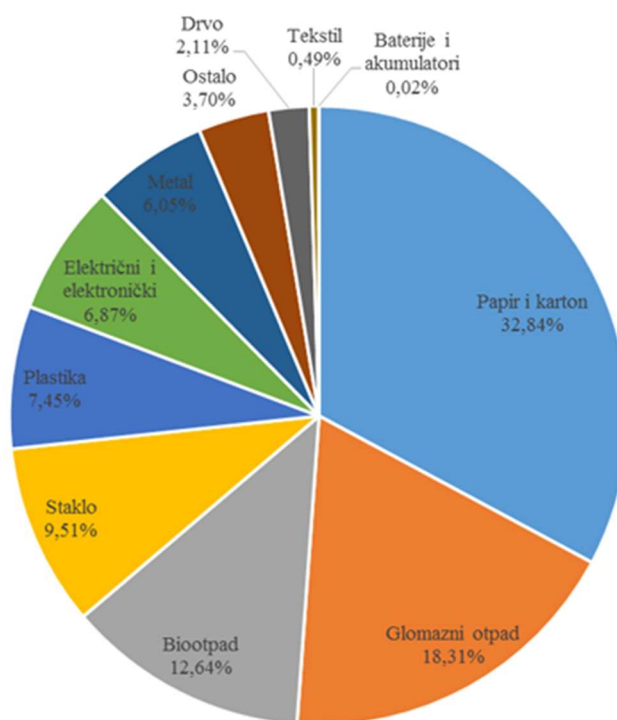
Slika 2-3 Količine odvojeno sakupljenog komunalnog otpada u RH, 2010.-2018. (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2018)

Odvojeno sakupljanje otpada s vremenom je dobilo na popularnosti pa ne samo da su količine odvojeno sakupljenog otpada pratile porast količina proizvedenog otpada, već su do 2018. činile značajan udio od 31% kako je vidljivo na slici 2-4.



Slika 2-4 Udio odvojeno sakupljenog komunalnog otpada i miješanog komunalnog otpada u RH, 2010.-2018. (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2018)

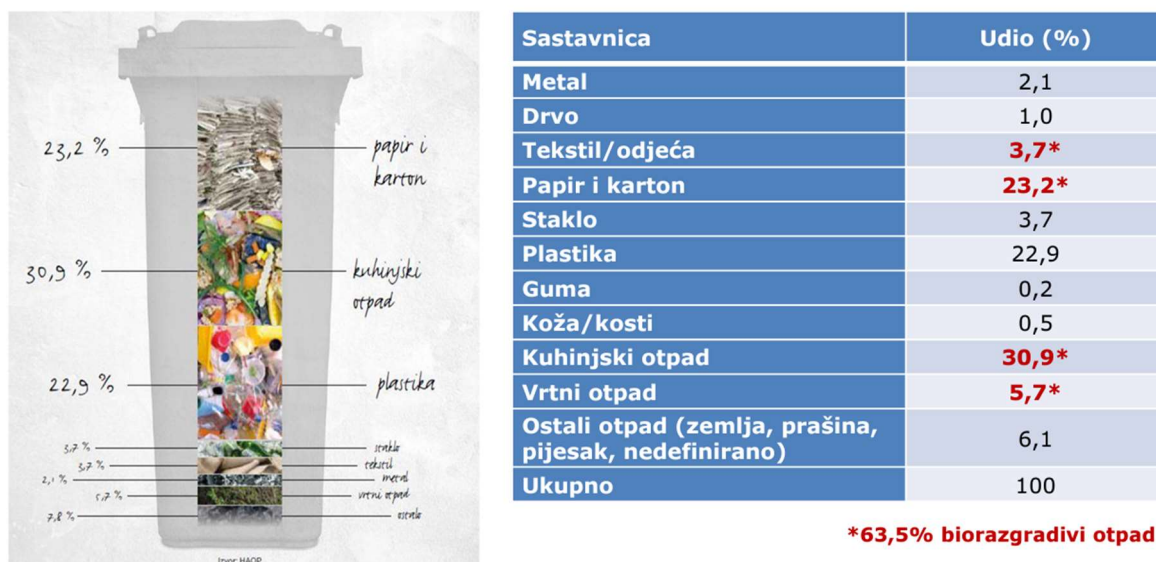
Preko 30% odvojeno sakupljenog otpada u 2018. godini činio je papir i karton, dok je biootpad zastupljen sa samo 12% kako je vidljivo na slici 2-5.



Slika 2-5 Sastav odvojeno sakupljenog otpada u RH 2018. (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2018)

Iako su brojke odvojeno sakupljenog otpada u porastu vidljivo je kako se tek mali dio biootpada izdvaja iz ukupno proizvedenog otpada.

Na slici 2-6 prikazan je procijenjeni sastav proizvedenog komunalnog otpada u RH. Uzevši u obzir te podatke gdje je biootpad u obliku o kojem se sakuplja zastupljen sa čak 36,6% te gore navedeni udio sakupljenog dolazimo do poražavajućeg udjela od samo 10,69% biootpada koji je odvojeno sakupljen od ukupno proizvedenog biootpada.



Slika 2-6 Procijenjeni sastav proizvedenog komunalnog otpada u RH (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike 2018)

2.2. Grad Zagreb

Grad Zagreb odvojeno sakupljanje biootpada započeo je 2019. godine. U veljači te godine Čistoća je svojim korisnicima podijelila smeđe kante prikazane na slici 2-7 dok su korisnici spremnika u višestambenim objektima dobili i 26 biorazgradivih vrećica od 30 litara prikazanih na istoj slici za polugodišnji period – dakle jedna vrećica za jedan tjedan. Biootpad se od početka odvojenog sakupljanja odvozi jednom tjedno prema rasporedu, a isti je na snazi i u trenutku pisanja ovog rada, dok su biorazgradive vrećice od 30 litara zamijenjene manjim vrećicama od 10 litara također prikazanim na slici 2-7 u dvostruko većem broju odnosno dvije vrećice za jedan tjedan.



Slika 2-7 Kanta i vrećice za biootpad Zagrebačke Čistoće (Zagrebački holding d.o.o. Podružnica Čistoća 2022.)

Korisnici Čistoće upućeni su na korištenje ovih vrećica ili drugih opcija uz napomenu da iz „sanitarno higijenskih razloga, molimo odlažite biootpad u biorazgradive vrećice, papirnate vrećice ili ga omotajte u papir“ (Zagrebački holding d.o.o. Podružnica Čistoća 2022.).

2.3. Biootpad i metode obrade

Temeljna svrha odvojenog sakupljanja biootpada je da smanjimo količine otpada koje odlažemo na odlagalištima te da ga uz postupke prerade na neki način ponovno iskoristimo. U tu svrhu postoje dvije raširene mogućnosti obrade – kompostiranje i anaerobna digestija. Kompostiranje je biološki proces koji se odvija u aerobnim uvjetima (u prisustvu kisika) te pri odgovarajućoj vlažnosti i temperaturi u kojem organski otpad podilazi higijensku transformaciju u homogen i biljkama iskoristiv materijal. Tijekom procesa kompostiranja razni mikroorganizmi izvode kompleksne metaboličke procese kako bi proizveli vlastitu mikrobnu biomasu u prisustvu kisika, dušika i ugljika. Mikroorganizmi u ovim procesima generiraju toplinu i kruti supstrat koji se zove kompost. Takav kompost sadrži manje ugljika i dušika od mikrobne biomase, ali je stabilan. (Meena i dr., 2021) Tijekom procesa

kompostiranja, izmjenjuje se nekoliko temperaturnih faza: mezofilna, termofilna, druga mezofilna (faza hlađenja) i faza zrenja. (Onwosi i dr., 2017) U početnim fazama kompostiranja, pH-vrijednost je u blago kiselom području što je posljedica nastajanja organskih kiselina, a tijekom ostalih faza provedbe procesa dolazi do raspada organskih kiselina što se očituje porastom pH-vrijednosti (Diaz i dr., 2007.).

Anaerobna digestija je biokemijski proces u kojem se biorazgradivi organski supstrati razgrađuju mikrobiološkim procesima bez prisutnosti kisika, uz proizvodnju bioplina i digestata (Omerdić, 2020.). Bioplin se u najvećoj mjeri sastoji od mješavine metana i ugljičnog dioksida koji se uz obradu može dovesti do razine dostatne za korištenje u energanama u kombinaciji sa prirodnim zemnim plinom (IPPTS Associates (Anaerobic Digestion), 2014). Digestat čine kruti ostaci ulaznog materijala u kombinaciji s mineraliziranim ostacima odumrlih bakterija. Digestat se pojavljuje se u tri oblika: vlaknastom, tekućem ili u njihovoj muljevitoj kombinaciji. Digestat, prikazan na slici 2-8, sadrži biljkama važne nutrijente (dušik, fosfor i kalij) te svojim izgledom podsjeća na prirodno tlo (IPPTS Associates (Anaerobic Digestion), 2020).



Slika 2-8 Anaerobni digestat (izvor Alex Marshall, Clarke Energy Ltd. 2006)

Jedan od glavnih spojeva koji čine anaerobni digestat je lignin. Anaerobne bakterije lignin ne mogu razgraditi no izlaganjem zraku dolazi do kompostiranja digestata. Digestat se može

primjenjivati kao prirodno gnojivo ili se može kompostirati prije primjene (Logan i Visvanathan, 2019).

2.4. Spremnici za prikupljanje kompostabilnog otpada u Republici Hrvatskoj

Kao u mnogočemu po donošenju odluke o odvojenom sakupljanju biootpada na državnoj razini posao izbora metode sakupljanja otpada, spremnika i vrećica prepušten je lokalnoj samoupravi, u ovom slučaju komunalnim poduzećima. Neka od njihovih rješenja prikazana su u tablici 2-1.

Ističe se rješenje komunalnog Dugopolje u podjeli kompostera prikazanih na slici 2-9 onim korisnicima koji su odabrali kompostiranje biootpada na vlastitom posjedu.



Slika 2-9 Komposter za biootpad Dugopolje (Dalmacija danas, 2022.)

Tablica 2-1 Spremnici za biootpad u drugim gradovima

Grad	Spremnik	Približan volumen	Materijal	Fotografija
Karlovac	Kanta	120 L	HDPE	 <p>(Čistoća Karlovac d.o.o., 2021.)</p>
Zadar	Kanta	70 L	HDPE	 <p>(Ekovjesnik, 2019.)</p>
Zaprešić	Kontejner	500 L	HDPE	 <p>(Zaprešić d.o.o., 2022.)</p>
Split	Kontejner	400 L	Metal	 <p>(Dalmatinski portal, 2021.)</p>

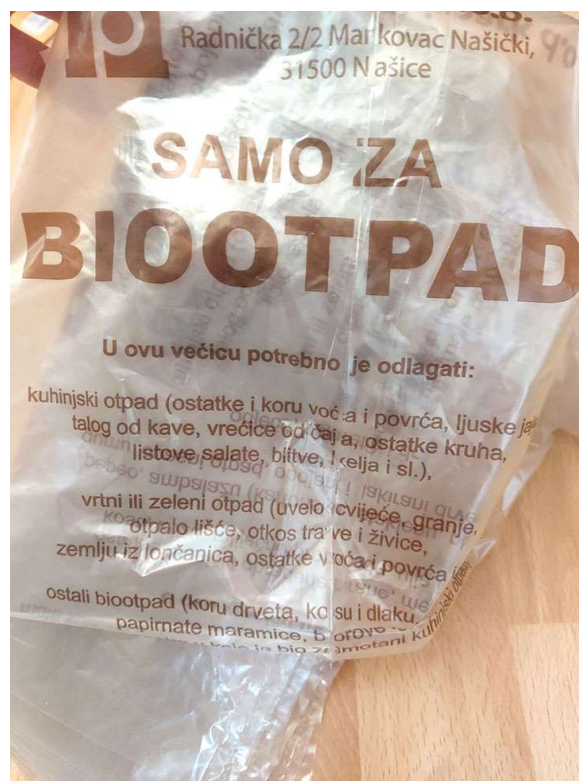
2.4.1. Vrećice za prikupljanje biootpada u Republici Hrvatskoj

Kako sa spremnicima tako i sa vrećicama rješenja su različita.



Slika 2-10 Vrećica za biootpad Samobor (Komunalac Samobor d.o.o., 2022.)

Komunalac Samobor svojim korisnicima biorazgradive vrećice sa slike 2-10 prodaje u paketima po 100 komada po cijeni od 15 kuna (Komunalac Samobor d.o.o., 2022.)



Slika 2-11 Vrećica za biootpad Našice (TV Našice, 2022.)

Zanimljivo rješenje donio je komunalac Našice gdje su korisnici uz vrećice prikazane na slici 2-11 dobili upute: „Biootpad je potrebno odlagati u smeđe posude u rasutom stanju, a nikako u zatvorenim plastičnim vrećicama. Plastične vrećice ispraznite u smeđu posudu odnosno vrećicu za biootpad i odložite ih u posude za plastiku.“ (TV Našice, 2022.).

2.4.2. Biorazgradive vrećice na slobodnom tržištu

Na slobodnom tržištu ponuda biorazgradivih vrećica sve je veća. Na slici 2-12 prikazane su biorazgradive vrećice tvrtke Justgoeco koja nudi i mogućnost personalizacija vrećica.



Slika 2-12 Biorazgradiva vrećica Justgoeco (JUST GO ECO d.o.o., 2022.)

Jedan od vodećih maloprodajnih trgovačkih lanaca Konzum na svojim stranicama u ponudi također ima biorazgradive vrećice prikazane na slici 2-13. Dok tvrtka Consultare na svojoj web stranici ističe proizvode tvrtke BioBag prikazane na slici 2-14.



Slika 2-13 Biorazgradive vrećice tvrtke Paclan (Konzum, 2022.)



Slika 2-14 Biorazgradive vrećice tvrtke BioBag (Consultare, 2022.)

Trgovački lanac Spar na svojim je blagajnama uveo opciju biorazgradive vrećice prikazane na slici 2-15 2018. godine.



Slika 2-15 Biorazgradive vrećice iz Spar-a (Tera Hub Croatia Facebook, 2018.)

3. EKSPERIMENTALNI DIO

Pretpostavljamo da se vrećice koje se koriste za prikupljanje biootpada podliježu aerobnom raspadu. Radi toga je osmišljen plan testiranja vrećica na raspad u vodovodnoj vodi, zemlji za cvijeće te biootpadu iz vlastitog kućanstva pri tri različita trajanja i to od 3, 6 i 12 mjeseci. Eksperiment je postavljen na ovaj način kako bi mogli napraviti usporedbu raspada polimernih vrećica koje nose certifikate za biorazgradivost s papirnatom vrećicom izrađenom 100% od celuloze koja je potpuno prirodan materijal te bi trebala biti u potpunosti kompostabilna. Taj uvjet kompostabilnosti postavili smo jer se u Republici Hrvatskoj odvojeno sakupljeni otpad obrađuje upravo na kompostištima te bi kompostabilnost korištene vrećice trebala biti izrazito važan kriterij kod njenog odabira kako ne bi došlo do kontaminacije komposta umjetnim materijalima.

3.1. Uzorci:

U svrhe ovog eksperimenta uzete su tri različite vrećice, smeđa vrećica sa slike 2-8 te po jedna polimerna i papirnata vrećica sa slobodnog tržišta u svrhu kontrolnih uzoraka. Kontrolne vrećice odabrane su nasumično. Cijeli eksperiment sastojao se tako od 27 različitih postavki, s 3 medija u kojima vrećice stoje te tri različita vremena trajanja. Redom su to:

3.2. Plan eksperimenta

- 1) Vrećice:
 - a) Smeđa (Holding vrećica sa slike 2-8)
 - b) Zelena (polimerna vrećica sa slobodnog tržišta)
 - c) Papirnata (papirnata vrećica sa slobodnog tržišta)
- 2) Vrijeme trajanja:
 - a) 3 mjeseca
 - b) 6 mjeseci
 - c) 12 mjeseci
- 3) Medij u kojem se vrećica nalazi:
 - a) Vodovodna voda
 - b) Zemlja za cvijeće
 - c) Biootpad iz vlastitog kućanstva

Tako pripremljeni uzorci stavljeni su u staklenke oprane u perilici posuđa kako bi se izbjegla kontaminacija. Korištene staklenke su nove, kupljene samo za ovu namjenu, prikazane na

slici 3-1. Svaka staklenka dobila je naljepnicu s podacima o vremenu, mediju i vrećici koja u nju pripada te su svi poklopci izbušeni kako bi se uzorci mogli ventilirati s ciljem ostvarivanja uvjeta što bližih realnima u kompostištu.



Slika 3-1 Prazne staklenke s naljepnicama i odgovarajući poklopci

Kod punjenja staklenki bilo je bitno pripaziti na to da svi dijelovi vrećice budu u kontaktu s medijem u kojem se nalazi, pa su tako vrećice punjene zemljom/biootpadom prije stavljanja u staklenku i zatrpavanja do kraja kako je prikazano na slici 3-2.



Slika 3-2 Punjenje vrećice u staklenki

Isti postupak ponovljen je za sve vrećice u svim kombinacijama, a biootpad korišten u ovu svrhu je iz vlastitog kućanstva sastavljen prema uputama za razvrstavanje koje navodi Zagrebački Holding podružnica Čistoća te je prikazan na slici 3-3.



Slika 3-3 Uzorak biootpada

Na taj način napunjeno je svih 27 staklenki, svaka s odgovarajućom kombinacijom medija i vrećice kako je prikazano na slici 3-4. Cijeli postupak rađen je ručno, a homogenizaciju biootpada postignut je protresanjem vreće i ručnim miješanjem sadržaja.



Slika 3-4 Napunjene staklenke

Nakon punjenja, staklenke su posložene u kartonsku kutiju uz odgovarajuće slojeve izolacije kako ne bi došlo do smrzavanja ni prekomjernog grijanja te kako bi spriječili prodor vode u same staklenke. Za prvi sloj odabrana je plastična cerada prikazana na slici 3-5 koja je zatim omotana u tkaninu čija je svrha toplinska izolacija. Tako omotane staklenke umetnute su u kartonsku kutiju koja je dodatno omotana plastičnom ceradom i na sve je postavljen uteg kako ne bi došlo do raznošenja vjetrom (slika 3-6).



Slika 3-5 Prvi sloj izolacije staklenki



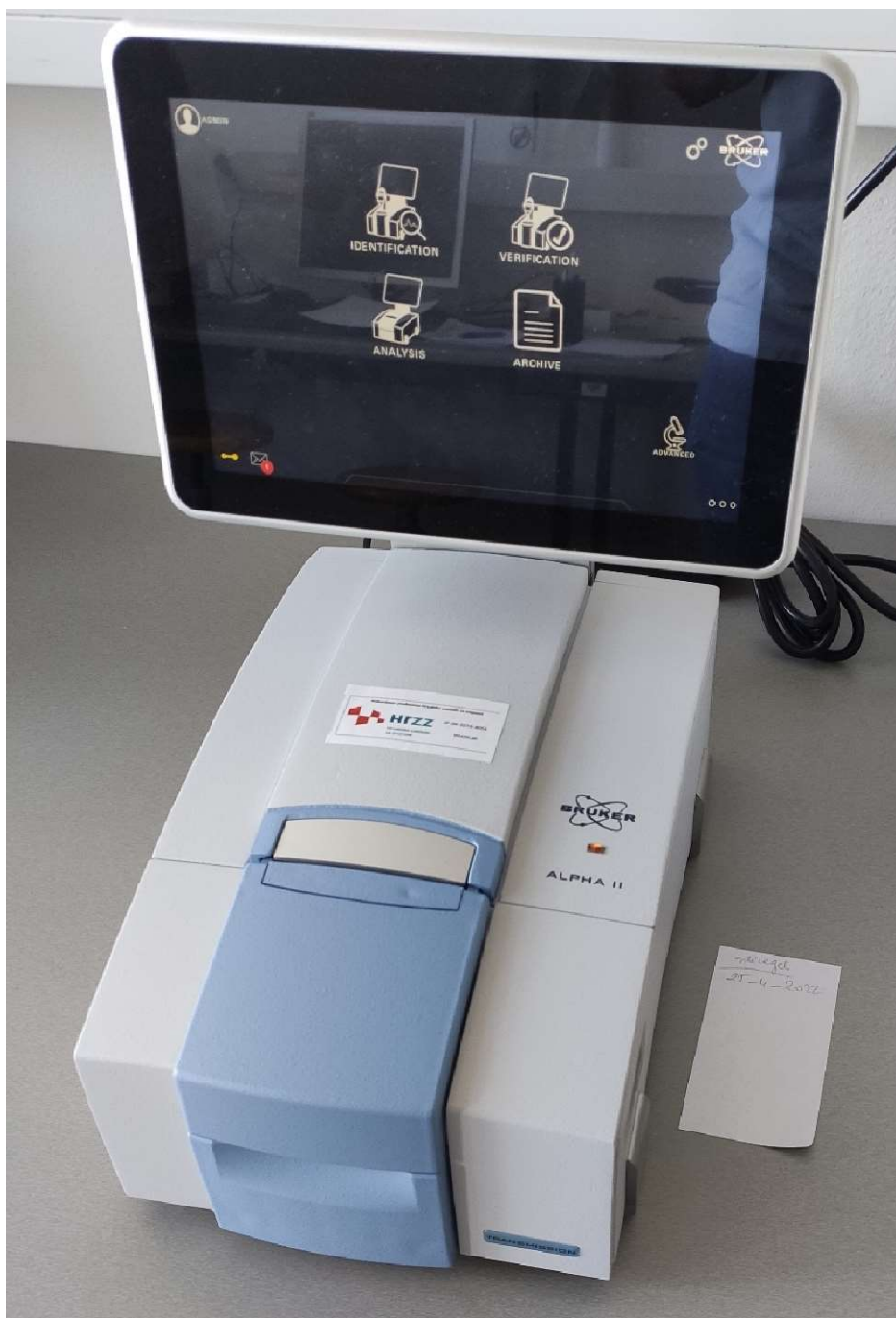
Slika 3-6 Pozicija eksperimenta

Skladište uzorka stajalo je na otvorenom, na sjevernom rubu dvorišta kako bi se smanjio utjecaj direktnog sunčevog zračenja, poglavito u ljetnim mjesecima. Prosječno je bilo izloženo izravnom suncu 4 do 6 sati dnevno. Nije micano ni dirano osim u svrhu vađenja staklenki po isteku pred definiranih vremena te nije na dodatne načine bilo zaštićeno od atmosferilija, bakterija ni živih organizama.

3.3. Analiza raspada

Uzorci vrećica koji su 12 mjeseci degradirali u vodi izvađeni su zajedno s cijelim volumenom staklenke te analizirani vizualno. Utvrđeni stupanj raspada prikazan je u točki 4.4. rada uz sliku 4-9. Vrećice koje su provele 12 mjeseci u vodi i na zraku biti će podvrgnute FTIR spektroskopiji. Ciljem analize je utvrditi kemijski sastav vrećice prije i nakon degradacije. Korišteni uređaj Bruker Alpha II prikazan je na slici 3-7. Korišteno je mjerenje u transmisiji gdje prolazak infracrvenih zraka različitih valnih duljina kroz uzorak pobuđuje molekule uzorka. Apsorbirana energija korištena je za vibracije i rotacije funkcijskih grupa

molekula čime se dobiva spektar specifičan za danu tvar. Spektar nepoznate tvari se, radi identifikacije, uspoređuje s onima iz baze spektara.¹



Slika 3-7 Bruker Alpha II spektrometar

¹ Osim mjerenja na transmisiju u kojoj infracrvena zraka prolazi kroz uzorak do detektora signala postoje još i metode atenuirane totalne refleksije (ATR) u kojoj signal prolazi kroz kristal i barem jednom se u potpunosti od njega reflektira prije očitavanja na detektoru (Agilent Technologies, Inc., 2022.) te metoda difuzne refleksije u kojoj zraka kroz uzorak prolazi istovremeno u više smjerova prije očitavanja na detektoru (Thermo Fisher Scientific Inc., 2021.)

Na spektrometru ćemo analizirati uzorke navedene u tablici 3-1.

Tablica 3-1 Pregled uzoraka uzetih na analizu spektrometrom

naziv uzorka	uvjeti degradiranja	Oblik uzorka	Dimenzije uzorka
Smeđa vrećica	Na zraku	Film	4x5 cm
	U vodi	Film	4x5 cm
Zelena vrećica	Na zraku	Film	4x5 cm
	U vodi	Film	4x5 cm
Isparni ostatak	Zelena vrećica, u vodi, isparni ostatak filtrata	KBr tableta	0,002 g isparnog ostatka/0,2 g KBr
	Smeđa vrećica, u vodi, isparni ostatak filtrata	KBr tableta	0,002 g isparnog ostatka/0,2 g KBr
	Papirnata vrećica, u vodi, isparni ostatak filtrata	KBr tableta	0,002 g isparnog ostatka/0,2 g KBr

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Degradacija nakon 3 mjeseca starenja

Na slici 4-1 prikazani su uzorci vrećica nakon tri mjeseca degradiranja u vodi.



Slika 4-1 Uzorci vrećica nakon 3 mjeseca degradiranja u vodi

Ni na jednoj vrećici nisu zabilježene nikakve vizualne promjene nakon tri mjeseca degradacije u vodi. Zelena i smeđa vrećica ostale su jednako čvrste i rastezljive, dok se papirnata vrećica vrlo lako trga, što je bilo za očekivati obzirom da se radi o papiru natopljenom vodom. Ni na jednoj vrećici vidljive nikakve diskoloracije te se sav otisnuti tekst može pročitati. Na slici 4-2 prikazani su uzorci vrećica nakon tri mjeseca degradacije u zemlji.



Slika 4-2 Uzorci vrećica nakon tri mjeseca degradacije u zemlji

Na zelenoj vrećici nisu zabilježene nikakve promjene nakon tri mjeseca degradacije u zemlji, vrećica je ostala jednako čvrsta i rastezljiva. Nisu uočene nikakve diskoloracije te se sav otisnuti tekst jasno može pročitati.

Smeđa vrećica se nakon tri mjeseca degradiranja u zemlji raspala na manje komade te se izrazito lako trgala i dalje sitnila, gotovo bez otpora. Vizualno se boja ni otisnuti tekst nisu promijenili, na dijelovima gdje je tekst ostao u komadu se jasno da pročitati.

Papirnata vrećica nakon tri mjeseca degradacije u zemlji raspala se na sitnije komade od kojih su neki bili vezani međusobno, a drugi ne. Vidljiva je promjena boje na dijelovima vrećice, pojedini dijelovi su tamniji, dok su drugi svjetliji od boje originalne vrećice. Vrećica se dalje iznimno lako trga i razdvaja bez ikakvog otpora. Na slici 4-3 prikazani su uzorci vrećica nakon tri mjeseca degradacije u biootpadu.



Slika 4-3 Uzorci vrećica nakon tri mjeseca degradacije u biootpadu

Zelena vrećica ni nakon tri mjeseca degradiranja u biootpadu nije pokazala značajne promjene. Vizualno je nešto tamnija što je posljedica ostataka djelomično raspadnutog biootpada u i na njoj, no i dalje se može pročitati otisnuti tekst. Nisu primijećena oštećenja na vrećici koja bi ukazivala na raspad iste, već je cijela u jednom komadu kao i kada je postavljena.

Smeđa vrećica se nakon tri mjeseca degradiranja u biootpadu raspala na manje komade slično kao kod degradacije u zemlji te se izrazito lako trgala i dalje sitnila, gotovo bez otpora. Vizualno se boja ni otisnuti tekst nisu promijenili, na dijelovima gdje je tekst ostao u komadu se jasno se vidi otisnuto, ali vrećicu nije moguće raširiti da bi se tekst pročitao već se pri pokušaju trga.

Papirnata vrećica nakon tri mjeseca degradacije u biootpadu ne prepoznatljiva je. Tek se na detaljniji pregled pronalaze komadi koji su od vrećice ostali, dok se ostatak, barem vizualno, raspao. Samo u ovoj kombinaciji biootpada s papirnatom vrećicom osjetio se oštar miris raspada biootpada.

4.2. Degradacija nakon 6 mjeseci starenja

Na slici 4-4 prikazani su uzorci vrećica nakon šest mjeseci degradacije u vodi.



Slika 4-4 Uzorci vrećica nakon šest mjeseci degradacije u vodi

Na zelenoj vrećici nisu zabilježene nikakve, vrećica je ostala jednako čvrsta i rastezljiva. Nisu uočene nikakve diskoloracije te se sav otisnuti tekst jasno može pročitati.

I smeđa vrećica je ostala jednako čvrsta i rastezljiva. Nisu uočene nikakve diskoloracije te se sav otisnuti tekst jasno može pročitati.

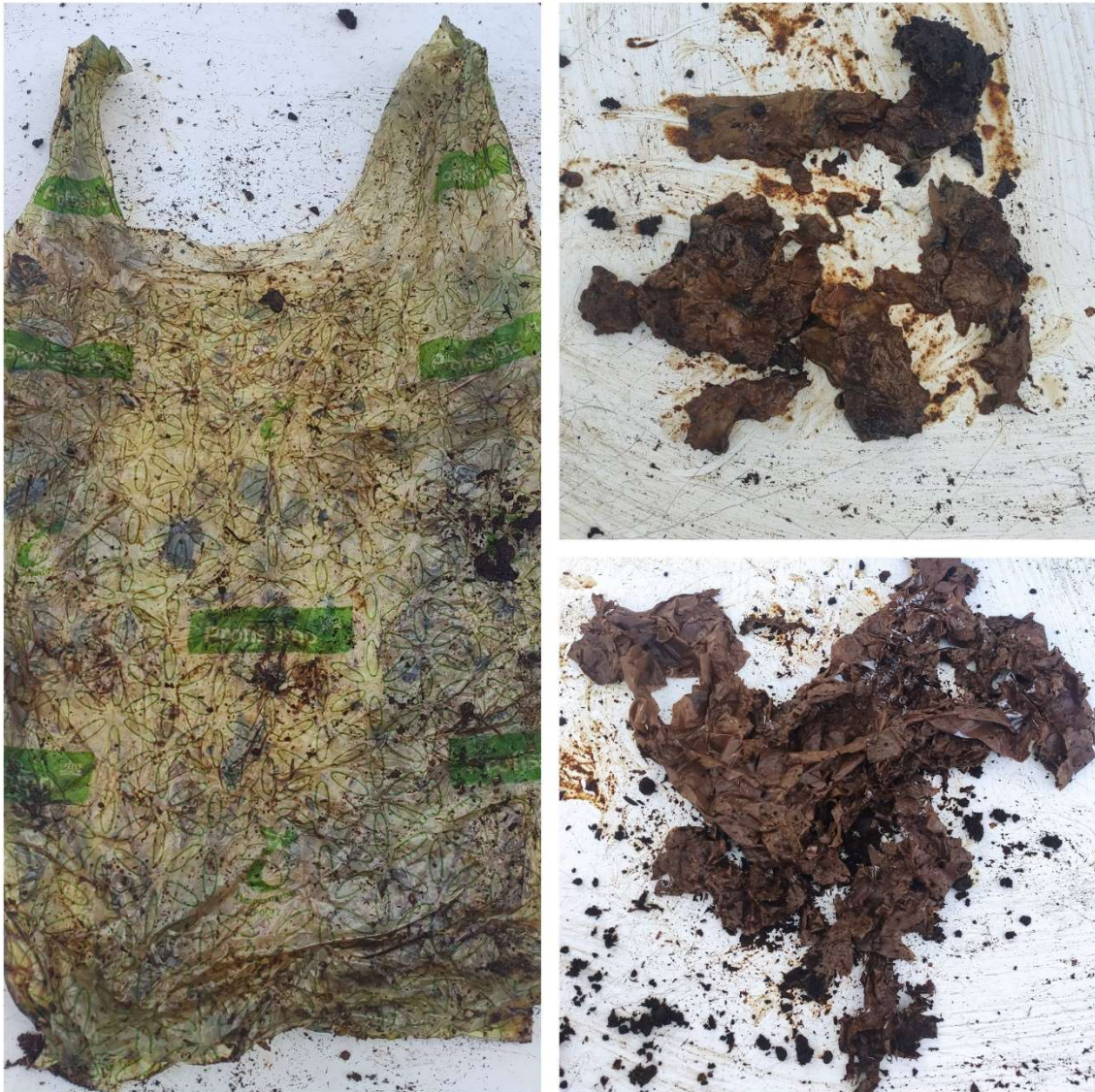
Na papirnatoy vrećici također nisu zabilježene vizualne promjene , vrećica se vrlo lako trga, no to je bilo za očekivati obzirom da se radi o papiru natopljenom vodom. Na slici 4-5 prikazani su uzorci vrećica nakon šest mjeseca degradacije u zemlji.



Slika 4-5 Uzorci vrećica nakon šest mjeseci degradacije u zemlji

Na zelenoj vrećici nisu zabilježene nikakve promjene i vrećica je ostala jednako čvrsta i rastezljiva. Nisu uočene nikakve diskoloracije te se sav otisnuti tekst jasno može pročitati. Smeđa vrećica se nakon šest mjeseci degradiranja u zemlji raspala na manje komade te se izrazito lako trgala i dalje sitnila, gotovo bez otpora. Vizualno se boja ni otisnuti tekst nisu promijenili, na dijelovima gdje je tekst ostao u komadu se jasno da pročitati. Papirnata vrećica se raspala na manje komade, no više je nalik originalnoj vrećici nego nakon tri

mjeseca degradacije u zemlji što se može objasniti hladnim vremenom. Vrećica se dalje iznimno lako trga i razdvaja bez ikakvog otpora. Na slici 4-6 prikazani su uzorci vrećica nakon šest mjeseci degradacije u biootpadu.



Slika 4-6 Uzorci vrećica nakon šest mjeseci u biootpadu

Zelena vrećica (lijevo) ni nakon šest mjeseci degradiranja u biootpadu nije pokazala značajne promjene. Vizualno je dosta tamnija što je posljedica ostataka djelomično raspadnutog biootpada u i na njoj, no i dalje se može pročitati otisnuti tekst. Nisu primijećena oštećenja na vrećici koja bi ukazivala na raspad iste, već je cijela u jednom komadu kao i kada je postavljena. Smeđa vrećica (dole desno) se nakon šest mjeseci degradacije u biootpadu raspala na vrlo sličan način i u sličnoj mjeri kao što je to bio rezultat raspada nakon tri mjeseca u biootpadu. Ovo uz potpuni izostanak mirisa možemo pripisati zimskom dobu godine u kojem su bile prisutne niže temperature koje su usporile rad

mikroorganizama. Papirnata vrećica (gore desno) se nakon šest mjeseci degradacije u biootpadu gotovo u potpunosti razgradila. Jako je teško pronaći komade za koje bi sa sigurnošću mogli reći da su bili dio vrećice. Zbog zimskih mjeseci miris raspada organske tvari izostao je čak i u ovoj kombinaciji, međutim vidimo da sam raspad nije stao već se samo usporio

4.3. Degradacija nakon 12 mjeseca starenja

Na slici 4-7 prikazana je zelena vrećica nakon dvanaest mjeseci degradacije u zemlji.



Slika 4-7 Uzorci vrećica nakon dvanaest mjeseci degradacije u zemlji

Ni nakon dvanaest mjeseci degradacije u zemlji zelena vrećica nije pokazala značajne promjene. Sav tekst se vidi pročitati, vrećica je u jednom komadu kao što je bila na početku. Smeđa vrećica nakon dvanaest mjeseci degradacije u zemlji pokazuje gotovo jednake znakove raspadanja kao i nakon tri odnosno šest mjeseci. Raspala se na manje komade, no

tiskano se i dalje može pročitati te se izrazito lako kida. Papirnata vrećica nakon dvanaest mjeseci degradacije u zemlji raspala se također podjednako kao i nakon tri odnosno šest mjeseci u zemlji. Vidljivi su manji komadi vrećice uz jedan glavni veliki te znatne promjene u boji, ali se otisnuti tekst i dalje može pročitati.

Na slici 4-8 prikazani su uzorci vrećica nakon dvanaest mjeseci degradacije u biootpadu.



Slika 4-8 Uzorci vrećica nakon dvanaest mjeseci degradacije u biootpadu

Ni nakon dvanaest mjeseci degradacije u biootpadu zelena vrećica (dole lijevo) nije pokazala značajne promjene. Tekst se ne može pročitati zbog zalijepljenog biootpada po vrećici, ali vrećica je očuvana. Nakon dvanaest mjeseci degradacije smeđe vrećice (dole desno) u biootpadu ona se nije u potpunosti raspala, ali je teško prepoznatljiva. Tisak na vrećici se jako teško razaznaje te se ona para uz minimalnu silu. Papirnata se vrećica (gore) nakon dvanaest mjeseci degradacije u biootpadu potpuno ili gotovo potpuno raspala. U sve

tri staklenke koje su dvanaest mjeseci sadržale biootpad miris je bio nesnosan, u kombinaciji izmeta, trulog voća i raspada organske tvari te su se na uzorke u značajnoj mjeri skupljale muhe.

4.4. Analiza pomoću FTIR spektroskopije

Uzorke koji su proteklih 12 mjeseci degradirani u vodi prvo je potrebno osušiti. U tu svrhu sva tri uzorka izlivena su iz staklenki u pladanj kako je prikazano na slici 4-9.



Slika 4-9 Uzorci vrećica nakon dvanaest mjeseci degradacije u vodi

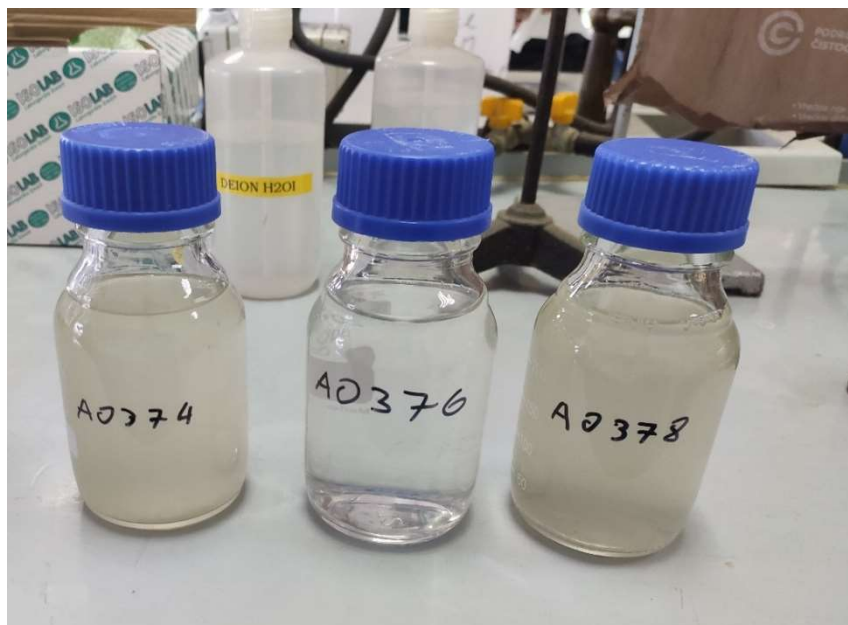
Nakon dvanaest mjeseci degradacije u vodi ni na jednoj od vrećica nije bilo značajnih promjena, kako vizualnih tako ni mehaničkih. Uzorci se vide na slici 4-9.

Nakon vađenja, svaka od vrećica je rasporena po šavu i ocijeđena te su sušene na zraku kako ne bi došlo do spajanja više slojeva vrećice. Proces sušenja je vidljiv na slici 4-10.



Slika 4-10 Sušenje vrećica na zraku

Tekućine nastale starenjem vrećica u vodi su također prikupljene. Polovina od svake je pohranjena u staklenoj bočici, kao na slici 4-11, koje su čuvane u hladnjaku radi mogućeg nastavka rada i analize otopljenih spojeva.



Slika 4-11 Uzorci tekućine u bočicama

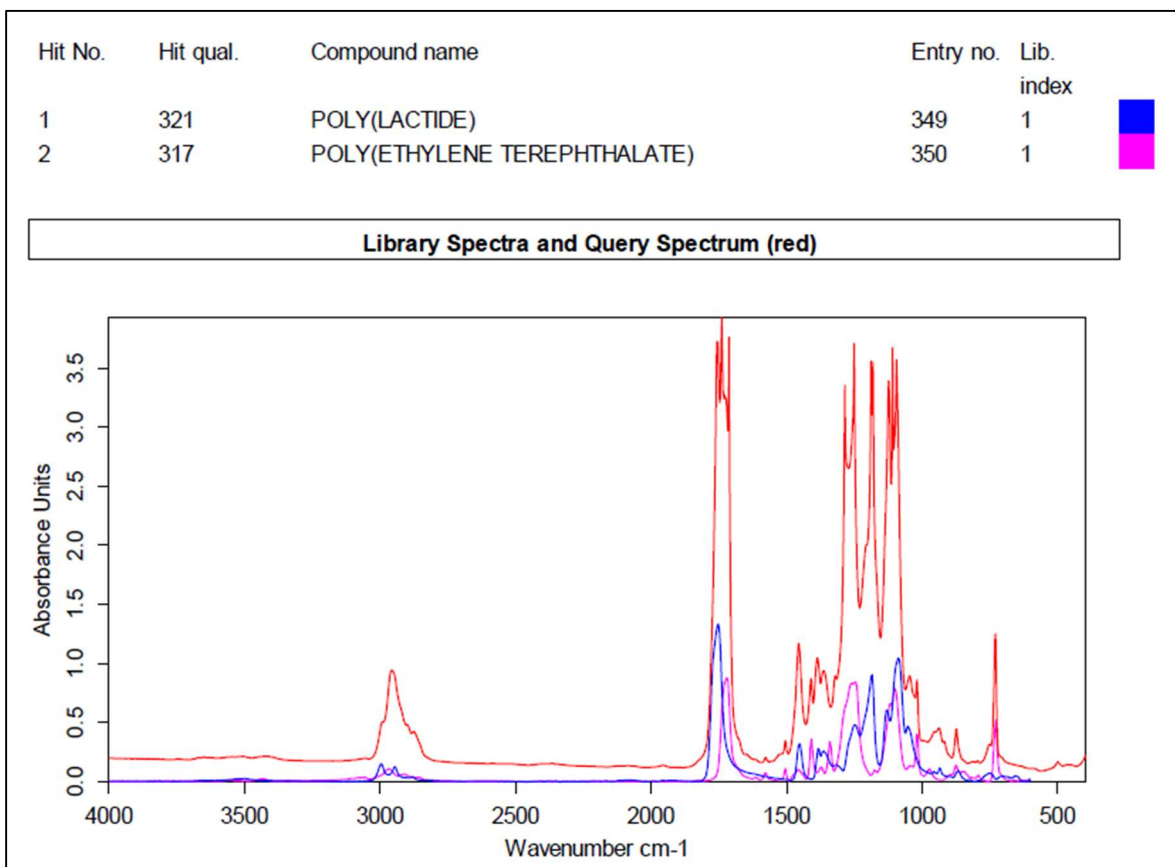
Druga polovina prikupljene tekućine prenesena je u porculansku zdjelicu i uparavanja na vodenoj kupelji prikazanoj na slici 4-12 kako bi dobili kruti isparni ostatak.



Slika 4-12 Uzorci tekućine na vodenoj kupelji

4.4.1. Analiza vrećica

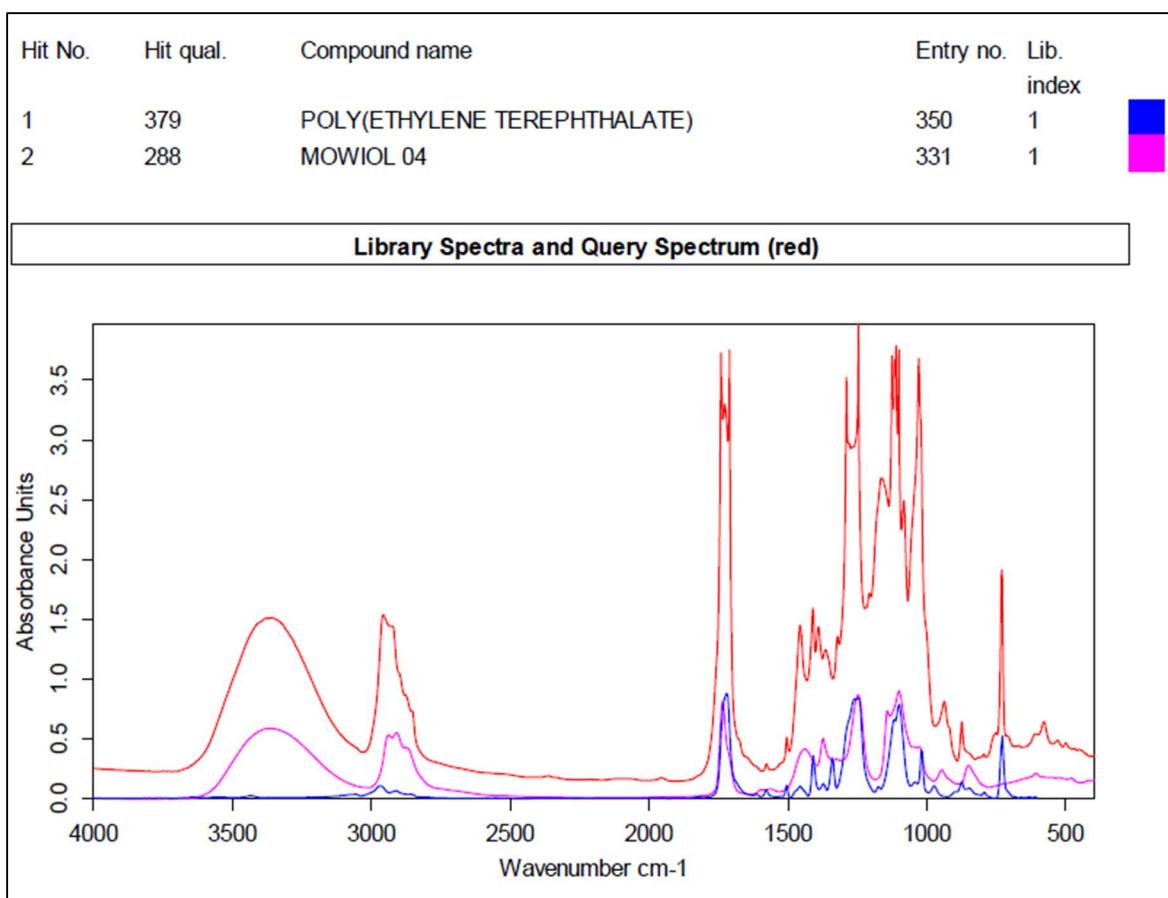
Nakon sušenja, uparavanja uzorci su pripremljeni za FTIR spektroskopiju. Dobiveni rezultati prikazani su niže. Na slici 4-13 prikazan je rezultat mjerenja zelene vrećice.



Slika 4-13 Rezultat FTIR spektroskopije zelene vrećice

Iz rezultata prikazanih na slici 4-13 možemo sa reći da zelena vrećica se vjerojatno sastoji od polilaktične kiseline (PLA) koja je biodegradabilan polimer u specifičnim uvjetima kompostiranja koji uključuju: visoku temperaturu (58°C – 80°C), preko 60% vlage i kisikom bogatu atmosferu uz prisutnost mikroorganizama (Ainali i dr., 2022) i polietilen tetaftalat (PET) koji je vrsta plastike s najraširenijom primjenom, ali nije biodegradabilan polimer (Hiraga i dr., 2019.).

Na slici 4-14 prikazan je rezultat FTIR spektroskopije smeđe vrećice.

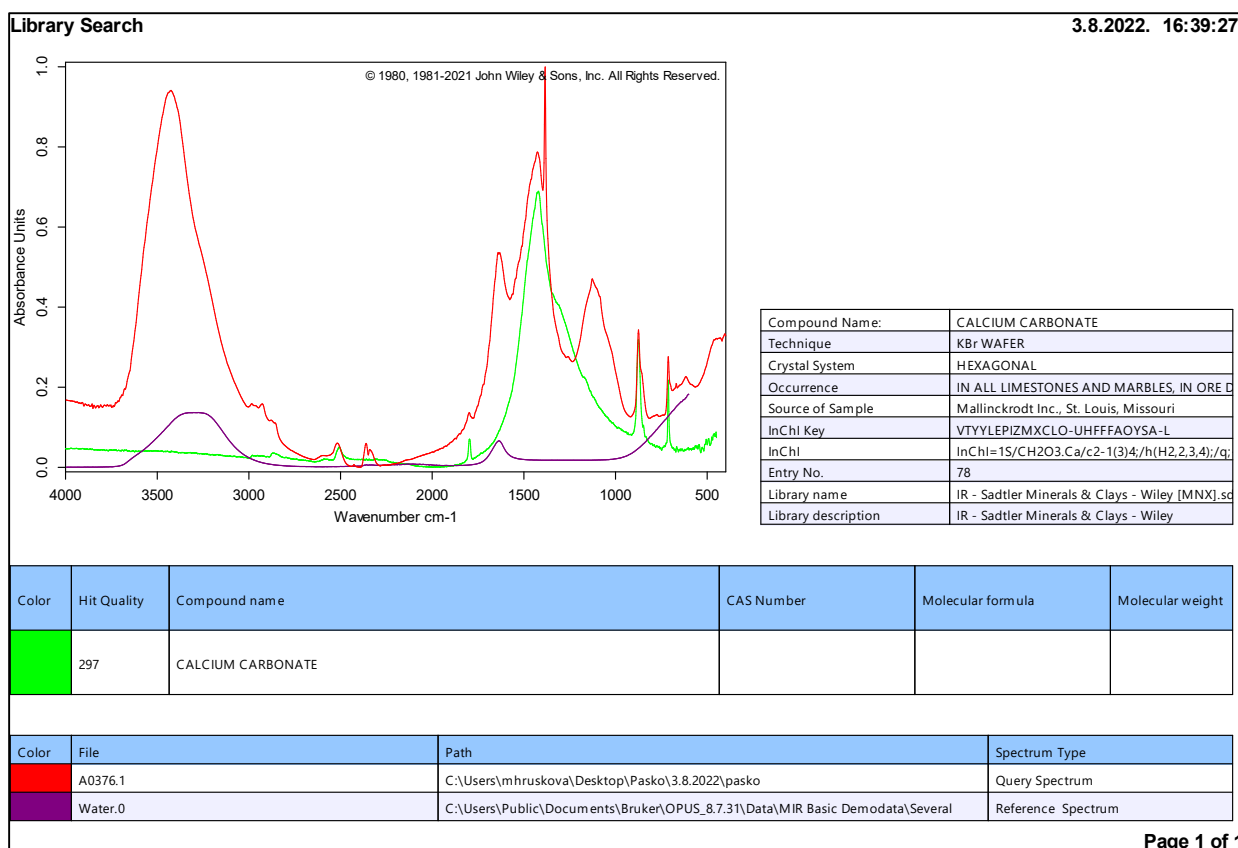


Slika 4-14 Rezultat FTIR spektroskopije smeđe vrećice

Prema dobivenom rezultatu prikazanom na slici 4-14 vidljivo je da smeđa vrećica također sadrži PET koji nije biodegradabilan dok je odabir polimera ili ko-polimera drugačiji. Mowiol 04 korišten u ovoj vrećici je polivinilni alkohol (PVA) koji je biodegradabilan polimer, topiv u vodi (Rujnić Havstad, 2020.).

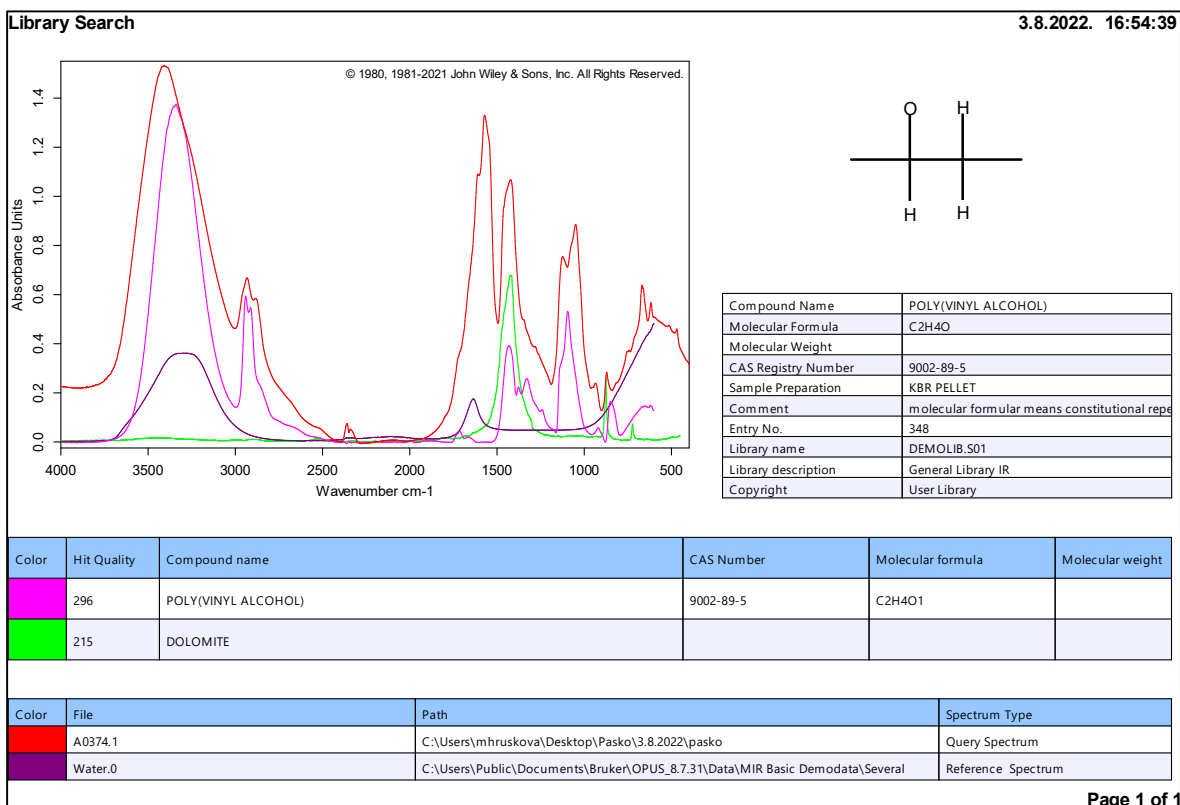
Bitno je za naglasiti kako se obje vrećice sastoje od više od dva materijala, te zbog ograničenja dostupne knjižnice nismo bili u mogućnosti detektirati i odrediti preostale komponente. Rezultati FTIR spektroskopije vrećica degradiranih na zraku nisu navedeni jer smo identičan spektar dobili za obje vrste starenja.

4.4.2. Analiza isparnog ostatka



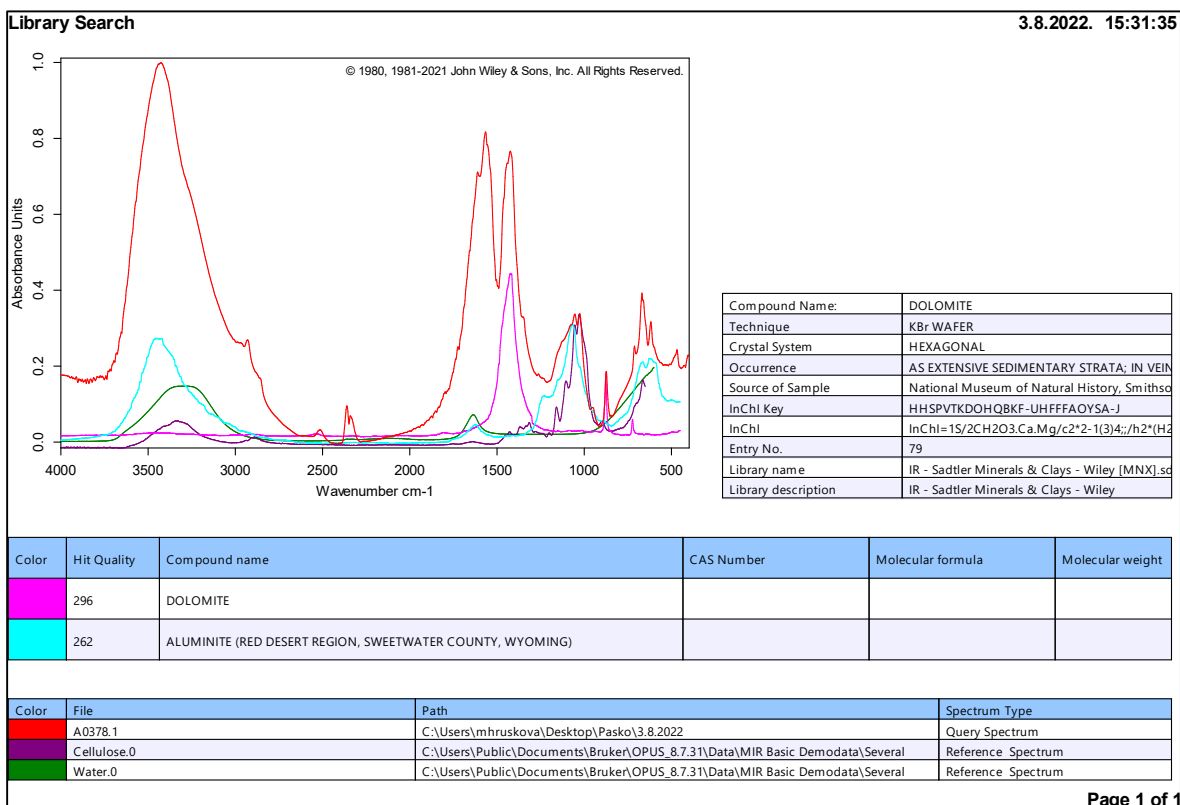
Slika 4-15 FTIR spektroskopija KBr tablete isparnog ostatka zelene vrećice

Na slici 4-15 prikazani su rezultati FTIR spektroskopije KBr tablete načinjene od isparnog ostatka vode u kojoj je dvanaest mjeseci stajala zelena vrećica i spektroskopski čistog kalijevog bromida (KBr). Detektiran je kalcit koji je u uzorak donesen vodom. U uzorku nisu pronađeni spojevi porijeklom iz vrećice. No uzorak, unatoč sušenju, i dalje sadrži vodu.



Slika 4-16 FTIR spektroskopija KBr tablete isparnog ostatka smeđe vrećice

Na slici 4-16 prikazani su rezultati FTIR spektroskopije KBr tablete dobivene od isparnog ostatka vode u kojoj je dvanaest mjeseci stajala smeđa vrećica. U uzorku su detektirani dolomit i polivinil alkohol (PVA) za koji možemo pretpostaviti da je prisutan radi raspada smeđe vrećice. I u ovom uzorku je prisutna voda.



Slika 4-17 FTIR spektroskopija KBr tablete isparnog ostatka papirnate vrećice

Na slici 4-17 prikazani su rezultati FTIR spektroskopije KBr tablete dobivene od isparnog ostatka vode u kojoj je dvanaest mjeseci stajala papirnata vrećica. U uzorku se detektirani dolomit i aluminit koji se koristi u obliku alumna u proizvodnji papira (Brückle, 1993.). Alumn se koristi u procesu hidrofobizacije pulpe zbog koje se ona formira u veće strukture.

4.5. Diskusija

Uz istraživanja koja pokazuju sve veće koncentracije mikroplastike u raznim sferama okoliša ([Europski parlament, 2018.](#)) možemo razumjeti strah koji se javlja kod građana zbog korištenja polimernih vrećica za sakupljanje biootpada. Postoji mogućnost da ovaj način možda nije ispravan i potrebno je razmotriti alternativna rješenja.

Na temelju provedenog eksperimenta raspadanja vrećica koje se označuju kao biorazgradive, a koriste se u svrhu kompostiranja vidi se da tri mjeseca degradacije u svim medijima ne vodi do bitnih razlika u integritetu smeđe vrećice, dok zelena vrećica odolijeva čak i u biootpadu 12 mjeseci bez ikakvih promjena. Smeđe vrećice nakon 12 mjeseci starenja u biootpadu raspale su se na manje komade što ponovo podiže sumnju na ostavljanje rezidua u obliku mikroplastike, čak i kada bi taj raspad bio višestruko potpuniji nego što se pokazao.

Uočeno je kako su uvjeti odlaganja vrlo bitan čimbenik. Vrećice izložene zraku i vodi se ne raspadaju te predstavljaju opasnost kopnenim i vodenim životinjama. Ukoliko završe u okolišu, predstavljaju zamke ili ih životinje bune za hranu.

Osobnog sam stajališta kako za sakupljanje biootpada u bio-razgradive vrećice neće:

- Zadržati biootpad i time zaštititi radnike pri rukovanju otpadom jer sama vrećica je uvjetovana ograničenim vijekom trajanja (mora biti razgradiva)
- Razgraditi se zajedno s otpadom bez ostavljanja potencijalno štetnih rezidua u obliku mikroplastike jer se radi o više-komponentnom proizvodu.

Smatram da uporabom djelomično razgradivih vrećica sada ćemo stvoriti veći problem u budućnosti. Zato bi trebali definirati uvjete odvajanja kompostabilnog otpada sada te pronaći zamjenu za vrećice. Na primjer po 2 male kantice od cca 30-50L koje bi imale ventilacijske otvore s mogućnošću zatvaranja i poklopac s gumenom brtvom. Mogu se držati u kući, a daju se izravno pri sakupljanju. Čistoći te na taj način možemo riješiti prikupljanje biootpada iz kuća bez potrebe za vrećicama.

5. ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata provedenih ispitivanja možemo zaključiti kako odabrane zelene i smeđe vrećice ne bi trebale biti korištene za odvojeno sakupljanje biootpada i njegovo odlaganje u njima iz razloga što njihov raspad nakon dvanaest mjeseci nije pratio raspad papirnate vrećice u istim uvjetima. Nadalje prema rezultatima obavljene FTIR spektroskopije možemo zaključiti kako je jedan od čimbenika koji je tome pridonio glavni materijal od kojeg su odabrane vrećice napravljene, a to su teško razgradivi polimeri koji zahtijevaju strogo kontrolirane uvjete kompostiranja. Obzirom na navedeno smatram kako je strah od potencijalnog problema zagađenja sve više dijelova ekosfere opravdano i da je na ovu temu potrebno odraditi dodatna istraživanja.

ZAHVALE

Zahvaljujem se HRZZ projektu br. 8054: Western Istrian Anticline as an ideal natural laboratory for the study of the regional unconformities in carbonate rocks-WianLab koji mi je omogućio korištenje FTIR spektrofotometra.

6. LITERATURA

Agilent Technologies, Inc., 2022. <https://www.agilent.com/en/product/molecular-spectroscopy/ftir-spectroscopy/atr-ftir-spectroscopy> (23.10.2022.)

Ainali N. M., Dimitrios K., Eleni E., George Z. K., Dimitra C. B., Martha K., Xin Y., Dimitrios N. B., Dimitra A. L., Do poly(lactic acid) microplastics instigate a threat? A perception for their dynamic towards environmental pollution and toxicity, Science of The Total Environment, Volume 832, 2022, 155014, ISSN 0048-9697,

Brückle Irene, The Role of Alum in Historical Papermaking, The Abbey Newsletter, Volume 17, Number 4, Sep 1993

Consultare, 2022. <https://www.consultare.hr/hr/zastupstva/biorazgradive-vrecice#> (20.10.2022.)

Čistoća Karlovac d.o.o., 2021. <http://cistocaka.hr/zapocelo-postavljanje-spremnika-za-biootpad/> (20.10.2022.)

Dalmacija danas 2022. <https://www.dalmacijadanas.hr/kastela-od-danas-gradanima-na-raspologanju-spremnici-za-biootpad/> (20.10.2022.)

Dalmatinski portal, 2021. <https://dalmatinskiportal.hr/vijesti/pocelo-postavljanje-spremnika-za-biootpad-na-javne-povrsine-grad-a-splita/85235> (20.10.2022.)

Diaz, L.F. & Savage G.M.: Factors that affect the process, U Diaz, L.F.; de Bertoldi, M.; Bidlingmaier, W. & Stentiford E., Compost science and technology, Elsevier, ISBN 9780080439600, Amsterdam, (2007), str. 54-57

Ekovjesnik, 2019. <https://www.ekovjesnik.hr/clanak/1830/zadar-je-zapoceo-s-odvojenim-prikupljanjem-biootpada> (20.10.2022.)

Europski parlament, 2018., Članak Referentni broj: 20181116STO19217

HAOP, projekt: „Izrada jedinstvene metodologije za analize sastava komunalnog otpada, određivanje prosječnog sastava komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj i projekcija količina komunalnog otpada“

IPPTS Associates (Anaerobic Digestion), 2014. <https://anaerobic-digestion.com/anaerobic-digestion-an-introduction/> (20.10.2022.)

IPPTS Associates (Anaerobic Digestion), 2020. <https://anaerobic-digestion.com/digestate/> (20.10.2022.)

Juroš Lj., Usporedba mehaničkih svojstava biorazgradljivih vrećica za kućanstvo, Diplomski rad, FSB 2020.

JUST GO ECO d.o.o., 2022. <https://justgoeco.hr/proizvod/biorazgradive-pla-trgovacke-vrecice/> (20.10.2022.)

Komunalac Samobor d.o.o., 2022. <http://www.komunalac-samobor.hr/komunalac/prodaja-biorazgradivih-vrecica-n5960> (20.10.2022.)

Konzum, 2022. <https://www.konzum.hr/web/products/paclan-vrece-za-smece-biorazg-121-15-1> (20.10.2022.)

Logan, M., and Chettiyappan V. "Management strategies for anaerobic digestate of organic fraction of municipal solid waste: Current status and future prospects." *Waste Management & Research* 37.1_suppl (2019): 27-39.

Meena, A. & Karwal, M. & Dutta, D. & Mishra, R.P.. (2021). Composting: Phases and Factors Responsible for Efficient and Improved Composting. 10.13140/RG.2.2.13546.95689.

NARODNE NOVINE br. 84/21. *ZAKON O GOSPODARENJU OTPADOM* Zagreb: Narodne novine d.d.

Omerdić, N. Stručni prikaz: Anaerobnom digestijom do visokovrijednog organskog gnojiva. *Hrvatske vode*. 2020; 28(111): 43-50.

Onwosi, C.O.; Igbokve, V.C.; Odimba, J.N.; Eke, I.E.; Nwankwoala, M.O.; Iroh, I.N. & Ezeogu L.I.: Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects, *Journal of Environmental Management* 190 (2017) str. 140-157, ISSN 0301-4797

Rujnić Havstad, M. (2020) Biodegradable plastics. U: Letcher, T. (ur.) *Plastic waste and recycling*. London, Elsevier, str. 98-129.

Tera Hub Croatia Facebook, 2018. <https://m.facebook.com/terahubcroatia/photos/kompostabilna-biorazgradiva-vre%C4%87ica-za-kupovinu-lokacija-interspar-i-neki-drugi-/634452226911837/> (20.10.2022.)

Thermo Fisher Scientific Inc., 2021. <https://www.thermofisher.com/hr/en/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/spectroscopy-elemental-isotope-analysis-learning-center/molecular-spectroscopy->

[information/ftir-information/ftir-sample-handling-techniques/ftir-sample-handling-techniques-diffuse-reflectance-drifts.html](https://www.nasice.com/zapocinj-tjedni-odvoz-biootpada-iz-kucanstava/) (23.10.2022.)

TV Našice, 2022. <https://nasice.com/zapocinj-tjedni-odvoz-biootpada-iz-kucanstava/> (20.10.2022.)

Zagrebački holding d.o.o. Podružnica Čistoća 2022. <https://www.cistoca.hr/usluge/odvojeno-skupljanje-otpada/biootpad/1350> (12.10.2022.)

Zaprešić d.o.o., 2022. <https://komunalno.vio-zapresic.hr/gospodarenje-otpadom/edukativni-kutak/spremnik-biootpad-komunalno-zapresic/> (20.10.2022.)