



**OŠ SPODNJA ŠIŠKA
LJUBLJANA**

**VPLIV MIKROPLASTIKE V ZEMLJI NA
VEDENJE KOPENSKIH RAKOV
ENAKONOŽCEV
RAZISKOVALNA NALOGA**

EKOLOGIJA Z VARSTVOM OKOLJA

MENTORICA:

prof. Lota Gasser Vončina

AVTORICA:

Manica Kužner, 6. C

SOMENTORICA:

Doc. dr. Anita Jemec Kokalj

LJUBLJANA, MAREC 2022

Ekologija z varstvom okolja

Naslov naloge: Vpliv mikroplastike v zemlji na vedenje kopenskih rakov enakonožcev

Avtorica: Manica Kužner

Mentorica: prof. Lota Gasser Vončina

Somentorica: doc. dr. Anita Jemec Kokalj

ZAHVALA

Rada bi se zahvalila mentorici prof. Loti Gasser Vončina, ki mi je omogočila raziskovanje. Somentorici doc. dr. Aniti Jemec Kokalj bi se zahvalila, za pomoč pri razvijanju ideje za raziskovanje in usmerjanje skozi celo raziskovanje.

Zahvalila bi se tudi mojima staršema, ki sta mi pomagala iskati prave besede in me spremljala skozi celotno pisanje.

Prijateljicama Lani in Janejini, ki sta mi pomagali pri nabiranju rakcev in nastavljanju poskusov, ter tako naredili vse skupaj še zabavnejše.

Hvala tudi lektorici dr. Savi Smerkolj, ki je izpopolnila nalogo in odpravila še zadnje slovnične napake.

KAZALO VSEBINE

KAZALO VSEBINE	4
KAZALO SLIK	6
KAZALO TABEL	7
POVZETEK	8
UVOD	9
1. TEORETIČNI DEL	10
1.1 Plastika	10
1.1.1 Mikroplastika	12
1.1.2 Zmanjšajmo vnos plastike v okolje	14
1.1.3 Biorazgradljiva plastika	14
1.2 Kopenski raki enakonožci	15
2. EMPIRIČNI DEL	17
2.1 Namen	17
2.2 Hipoteze	17
2.3 Metoda	18
2.3.1 Nabiranje in gojenje rakov	18
2.3.2 Priprava vzorcev in opazovanje delcev pod mikroskopom	19
2.3.3 Poskusi z izogibanjem	20
3. REZULTATI IN RAZPRAVA	24

3.1	Opazovanje delcev pod mikroskopom	24
3.2	Analiza rezultatov poskusov izogibanja	27
3.2.1	Čista zemlja	27
3.2.2	Bleščice	28
3.2.3	Plastenka	28
3.2.4	Maska	29
3.2.5	Plastična vrečka	30
3.2.6	Papirnata vrečka	30
3.2.7	Biorazgradljiva vrečka	31
3.2.8	Papirnata in plastična vrečka	32
3.2.9	Biorazgradljiva in plastična vrečka	32
3.2.10	Papirnata in biorazgradljiva vrečka	33
3.3	PRIMERJANJE RAZLIČNIH MATERIALOV PO 1 IN 24 URAH	34
4.	ZAKLJUČEK	36
5.	SEZNAM VIROV	38

KAZALO SLIK

Slika 1: Različne oznake za plastiko (vir: <https://www.komunala-brezice.si>).

Slika 2: Koliko časa traja, da plastika razpade? (Vir: Primožič, 2008).

Slika 3: Bleščice različnih barv (vir: osebni arhiv).

Slika 4: Različne vrste kopenskih rakov enakonožcev, najdene okrog moje hiše (vir: osebni arhiv).

Slika 5: Terarij (levo) z raki (desno) (vir: osebni arhiv).

Slika 6: Mladi rakci enakonožci, ki so se izvalili v terariju (vir: osebni arhiv).

Slika 7: Materiali, uporabljeni pri poskusih (vir: osebni arhiv).

Slika 8: Skica poskusa (vir: osebni arhiv).

Slika 9: Priprava zemlje in lončkov za poskus (vir: osebni arhiv).

Slika 10: Pregled vzorcev med poskusom (vir: osebni arhiv).

Slika 11: Primerjava velikosti delcev različnih materialov. Velikosti delcev so se gibale med 0.3 mm do 2 mm.

Slika 12: Bleščice različnih oblik in barv (20-kratna povečava).

Slika 13: Delci maske pod 20-kratno povečavo.

Slika 14: Delci plastične vrečke (zgoraj) in platenke (spodaj) pod 20-kratno povečavo.

Slika 15: Delci biorazgradljive vrečke pod 20-kratno povečavo.

Slika 16: Delci papirnate vrečke pod 20-kratno povečavo.

Slika 17: Porazdelitev rakov skozi čas med čistima zemljama. Kontrola je čista, neonesnažena zemlja, Lufa 2.2.

Slika 18: Porazdelitev rakov skozi čas med kontrolo in zemljo z bleščicami. Kontrola je čista, neonesnažena zemlja, Lufa 2.2.

Slika 19: Porazdelitev rakov skozi čas med kontrolo in zemljo z delci plastenke. Kontrola je čista, neonesnažena zemlja, Lufa 2.2.

Slika 20: Porazdelitev rakov skozi čas med kontrolo in zemljo z delci maske. Kontrola je čista, neonesnažena zemlja, Lufa 2.2.

Slika 21: Porazdelitev rakov skozi čas med kontrolo in zemljo z delci plastične vrečke. Kontrola je čista, neonesnažena zemlja, Lufa 2.2.

Slika 22: Porazdelitev rakov skozi čas med kontrolo in zemljo z delci papirnate vrečke. Kontrola je čista, neonesnažena zemlja, Lufa 2.2.

Slika 23: Porazdelitev rakov skozi čas med kontrolo in zemljo z delci biorazgradljive vrečke. Kontrola je čista, neonesnažena zemlja, Lufa 2.2.

Slika 24: Porazdelitev rakov skozi čas med zemljo z delci papirnate vrečke in zemljo z delci biorazgradljive vrečke.

Slika 25: Porazdelitev rakov skozi čas med zemljo z delci biorazgradljive vrečke in zemljo z delci biorazgradljive vrečke.

Slika 26: Porazdelitev rakov skozi čas med zemljo z delci papirnate vrečke in zemljo z delci biorazgradljive vrečke.

Slika 27: Razporeditev rakov po eni uri poskusa.

Slika 28: Razporeditev rakov po 24 urah poskusa.

KAZALO TABEL

Tabela 1: Priprava različnih poskusov izogibanj

POVZETEK

Plastika je eden izmed najbolj razširjenih materialov, ki jo uporabljamo skoraj povsod. Ker zadnje čase slišimo veliko o onesnaževanju planeta s plastiko in vse pogosteje tudi mikroplastiko, sem se odločila raziskati, kakšen vpliv ima mikroplastika na živali.

Mikrodelce sem pripravila iz plastenke, maske, plastične vrečke, papirnate vrečke in biorazgradljive vrečke. Te materiale tudi najpogosteje opazim odvržene v naravi. Uporabila pa sem tudi bleščice, ki jih tudi pogosto srečamo v naših življenjih. Delce sem pogledala pod mikroskopom in izvedla poskuse izogibanja s kopenskimi raki enakonožci. V poskusih sem uporabila različne biorazgradljive in plastične materiale, da bi ugotovila, kateri najbolj motijo kopenske rake enakonožce.

Ugotovila sem, da se raki enakonožci izogibajo delcem iz plastičnih materialov, malo manj pa delcem iz biorazgradljivih materialov, najraje pa izberejo čisto zemljo. Enakovredno čisti zemlji so izbrali le zemljo, kjer so bili dodani delci papirnate vrečke. Med zemljo z delci iz plastičnih in biorazgradljivih materialov so raje izbrali zemljo z delci iz biorazgradljivih materialov, najraje z delci iz papirnate vrečke. V svoji raziskovalni nalogi sem ugotovila, da imajo kopenski raki enakonožci, kot modelni organizem za ekotoksikološke raziskave najraje čisto zemljo, zato se potrudimo za Zemljo, samo eno imamo.

KLJUČNE BESEDE: kopenski raki enakonožci, mikroplastika, biorazgradljiva plastika

UVOD

V novicah lahko velikokrat prebiramo o onesnaževanju našega planeta. K temu pripomore tudi prekomerna uporaba plastike. Ljudje plastiko pogosto odmetavamo v naravo in s tem ogrožamo sebe in živali. S starši redno obiskujem gozd in pogosto opazim odvržene plastične vrečke, plastenke, v zadnjem času pa tudi maske za enkratno uporabo.

Spominjam se, ko smo šli vsi učenci petih razredov v Mostec in s seboj vzeli denar za sladoled. Ko smo zagledali avtomate, si je veliko mojih prijateljev kupilo tako imenovane »fidget toys«. Moji prijateljici je celo razpadla igračka »stres ball« in padla v potok. Nismo mogli pobrati vseh delcev. S tem se je morda zastrupilo kar nekaj živali. Ko smo odšli iz Mosteca, je bilo tam polno odvrženih plastičnih škatlic, ki tudi škodijo okolju (Kužner, 2021).

Kako pa pravzaprav to vpliva na živali? Kaj bi izbrale, čisto ali onesnaženo zemljo? Izvedla sem poskuse, mikroskopirala in se ponovno podala v svet raziskovanja kjer sem se naučila veliko novih stvari. Pri svojih poskusih sem uporabila prašičke, ki pravzaprav to sploh niso.

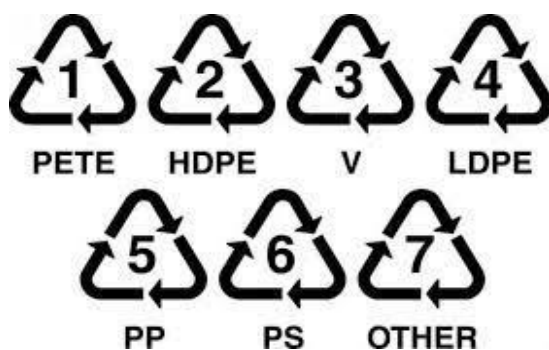
1. TEORETIČNI DEL

1.1 PLASTIKA

Plastika je eden izmed najbolj razširjenih materialov. Najdemo in uporabljamo jo skoraj povsod, kamor se obrnemo (maske, embalaža, plastične rokavice, pohištvo, aparati, igrače, oblačila in obutev).

Prvi izdelki iz plastike so se pojavili v drugi polovici 19. stoletja, ko je v Veliki Britaniji leta 1856 Alexander Parkes izdelal prvo plastiko iz celuloze. Poimenoval jo je »Parkesine«, oziroma celuloid. Prvi plastični izdelki so bili gumbi, glavniki in peresa. Raziskovanje in izdelava plastike se še niso zaključili (Kavicki, 2016). Proizvodnja plastike (in plastičnih odpadkov) se je vse do danes povečevala. Samo v Evropi proizvedemo približno 25 milijonov ton plastičnih odpadkov vsako leto (Evropska komisija, 2018).

O škodljivosti plastike lahko prebiramo že dalj časa. Za okolje je škodljiva že sama izdelava plastike. Plastiko pridobimo s predelavo surove nafte v postopku polimerizacije. Sami polimeri sicer niso strupeni, vendar pa jih za pridobivanje različnih tipov plastike kemično obdelajo in tako končni proizvod vsebuje tudi toksične snovi. Plastika ima lahko različne lastnosti: lahko je prozorna, izjemno trda, lahko je negorljiva, obarvana, k čemur prispevajo različni dodatki, kot so steklena vlakna, težke kovine, barvila in druge kemikalije. Obstaja več vrst plastike, npr. PET, HDPE, PVC in podobno (Kavicki, 2016). Vrsto plastike označujemo s trikotniki in številkami, ki pomenijo vrsto polimera (Slika 1).



Slika 1: Različne oznake za plastiko (vir: <https://www.komunala-brezice.si>).

Med najbolj znanimi škodljivimi snovmi, ki jih dodajajo plastičnim masam, sta kemikaliji ftalat in bisfenol A. Ftalati so kemične spojine, ki jih v industriji plastike uporabljajo za mehčanje, bisfenol A ali BPA pa je organska spojina, ki se uporablja za izdelavo trde plastike. Aditivi, ki jih najdemo v plastenkah, najpogosteje vplivajo na ravnotežje hormonov, npr. ščitničnih, ki so izjemno pomembni za pravilen razvoj otroških možganskih funkcij in inteligence. Prehajanje strupenih snovi iz plastike v hrano in pijačo je hitrejša pri višji temperaturi. Bisfenol A je nevaren že ob vdihovanju. Vpliva na aktivnost spermijev in zmanjšuje njihovo število, povezujejo ga tudi z debelostjo in kroničnimi obolenji, kot so srčno-žilna obolenja, sladkorna bolezen in obolenja jeter. Veliko študij je pokazalo škodljive učinke tudi na živalih (Kavicki, 2016).

Plastiko pogosto lahko vidimo odvrženo v naravi, kjer se preko rek odplavlja in kopiči v morju. Plastika pride v morje tudi zaradi obiskovalcev plaž in odpadkov z vodnih plovil. Prav tako veliko odpadkov lahko nanese veter iz urbanih naselij ali bližnjih odlagališč odpadkov. Največ plastičnih odpadkov v morje odvrže pet azijskih držav: Kitajska, Indonezija, Filipini, Tajska in Vietnam. Vse te države so odgovorne za 60 odstotkov plastičnih smeti, ki na koncu pristanejo v oceanih (S. I., 2016).

Razgradnja plastike poteka zelo počasi, na osnovne delce pa se v naravi nikoli popolnoma ne razkroji (primeri na Sliki 2). Tako ostanejo majhni koščki, ki kot posledica kemične obdelave vsebujejo toksične in rakotvorne snovi. Ogromno teh koščkov zaužijejo ptice, želve in drugi organizmi, kar lahko povzroči njihovo smrt. Najbolj so prizadeti morski ptiči, morske želve in morski sesalci (Kovač Viršek M. in Palatinus A., 2008).



Slika 2: Koliko časa traja, da plastika razpade? (Vir: Primožič, 2008).

1.1.1 MIKROPLASTIKA

Mikroplastika so majhni delci plastike v naravi, ki se v zadnjem času pojavlja v večjem obsegu v našem okolju. Mikroplastika ali nevidni sovražnik okolja je sestavljena plastičnih delcev, manjših od 5 mm. Nastane tako, da se plastika zaradi različnih naravnih vplivov, kot sta ultravijolično sevanje in abrazija, razgradi na manjše delce (Crepulja, 2016). Mikroplastiko lahko najdemo celo v izdelkih za osebno higieno in v kozmetičnih izdelkih, kot so pilingi za obraz, pilingi za telo, v zobni kremi itd. Bleščice, ki so tudi mikroplastika, so zelo lepe in jih uporabljamo za okrasitev doma (Slika 3). Med božično-novoletnimi prazniki je tega še več, na smrečice obešamo okraske z bleščicami. Da bleščice ne bi tako onesnaževale okolja, so znanstveniki ustvarili bleščice iz celuloze (Hanžič, 2022). Mikroplastika je v primerjavi z večjimi kosi plastike bistveno slabše vidna in je zato niso opazili vse do leta 2008, ko so na Univerzi v Washingtonu pripravili delavnico »Učinki in

usoda mikroplastičnih morskih odpadkov«. Raziskave so pokazale, da je okolje močno onesnaženo z mikroplastiko, delci plavajo na površini voda, prisotni so po obalah, odlagajo se v sedimentu. V Sloveniji je bila izvedena raziskava vsebnosti mikroplastike v industrijskem kompostu, kjer so ugotovili, da kompost v povprečju vsebuje 1,2 mg delcev mikroplastike na gram, od tega kar 76 % vlaken. Delci trde in mehke plastike so bili v povprečju veliki dva milimetra in najpogostejše prozorni ali bele barve (Gajšt, 2016). Mikrodelci plastike se lahko prenašajo z vodo in vetrom. So plovni in s pomočjo oceanskih tokov lahko premagujejo velike razdalje ter krožijo v naravi.



Slika 3: Bleščice različnih barv (vir: osebni arhiv).

Še vedno ni povsem raziskan vpliv mikroplastike na živali. Živali mikroplastike ne ločijo od hrane in jo zato pojejo, kar lahko povzroča mehanske poškodbe v prebavnem traktu.

Glede na to, da se mikroplastike ne da učinkovito odstraniti niti iz vode niti iz sedimenta, je edina preventiva ta, da zmanjšamo ali celo zaustavimo vnos plastike v okolje (Kavicki, 2016).

1.1.2 ZMANJŠAJMO VNOS PLASTIKE V OKOLJE

Količina embalaže, ki jo porabljamo za živila, se povečuje kot posledica našega načina življenja. Planet je vse bolj onesnažen in zasluži si »pomoč«. Kljub zaskrbljenosti zaradi vse večjega kopičenja težko razgradljive ali celo nerazgradljive embalaže pa obstajajo številne rešitve.

Pred kratkim je vlada prepovedala uporabo plastičnih izdelkov za enkratno uporabo, tj. plastičnih krožnikov, pribora, lončkov, kar je pomemben korak k ohranjanju čiste narave (Uradni list RS, 2021). Velik korak k zmanjševanju količine embalaže lahko naredi že vsak izmed nas. Začnemo lahko z zmanjšanjem vnosa plastike v okolje in z izbiro manj škodljive embalaže (steklo, papir, nerjaveče jeklo).

Planetu lahko pomagamo tudi z ločevanjem odpadkov – recikliranjem. S tem ko odpadke ločimo, lahko plastiko ponovno uporabimo ali jo predelamo v kakšen drug izdelek. Sodelujemo lahko tudi pri različnih projektih za zaščito okolja in čistilnih akcijah. Predvsem pa odpadkov ne mečimo v naravo.

1.1.3 BIORAZGRADLJIVA PLASTIKA

Biorazgradljiva plastika je izdelana iz naravnih surovin. Nam najbolj poznane so biorazgradljive vrečke, iz biorazgradljive plastike pa proizvajajo tudi embalažo, pribor za enkratno uporabo, uporabljajo jo za izdelavo plenice in folije, v kmetijstvu ipd. (Kržan, 2012).

Biorazgradnja ali biološka razgradnja je proces, v katerem se plastični materiali, oziroma polimeri razgradijo pod vplivom biotskih (živih) dejavnikov – mikroorganizmov. V celoti se razgradijo v ogljikov dioksid, metan, vodo, biomaso in anorganske snovi. Uporabljamo biorazgradljivo plastiko, izdelano iz škroba, polimlečne kisline, polihidroksialkanoatov, alifatsko-aromatskih poliestrov, celuloze ali lignina. Ko se biorazgradljiva plastika razgradi, za njo ostanejo naravne spojine, ki v okolju niso tujek. Kljub vsemu pa biorazgradljiva

plastika ni namenjena temu, da bi jo odvrgli v okolje. Problem pri biorazgradljivi plastiki je, da pri razgradnji še hitreje nastanejo manjši delci oziroma mikroplastika, kar lahko predstavlja tveganje za okolje (Kržan, 2012).

1.2 KOPENSKI RAKI ENAKONOŽCI

Ali ste vedeli, da raki živijo tudi v jamah ali na kopnem? To so raki enakonožci ali mokrice (*Crustacea, Isopoda*). Opisanih je približno 9.000 vrst, od katerih jih kar tretjina živi na kopnem. Veliko jih živi v prsti, na gozdni stelji, med odpadlim listjem in lubjem ter tudi v kraških jamah. So pomembni razkrojevalci in prispevajo k predelavi odpadlega listja v humus. Mnoge vrste se zadržujejo v bližini človeških bivališč. Poznamo jih tudi pod imenom prašički in jih pogosto zamenjamo z žuželkami. Tako so jih poimenovali, ker jih pogosto najdemo na kompostu ali v okolici hleva, predvsem pa zaradi vonja po amonijaku. Poleg prehranjevanja z rastlinskim materialom so tudi mrhovinarji (Romih, 2017).

Veliki so od 5 do 18 mm. Telo je široko, plosko in podolgovato, s sedmimi pari paličastih nog hodilk in z listastimi zadkovimi nožicami. Na slednjih imajo posebne dihalne površine, imenovane pleopodna pljuča, ki nadomeščajo škrge in jim omogočajo dihanje na kopnem. Njihov skelet je sestavljen iz plošč, pokritih s kutikulo. Z očmi slabo vidijo, zato si pomagajo s tipalkami. So ločenih spolov. Samice imajo na spodnji strani valilnik, kjer se iz oplojenih jajčec razvijejo ličinke. Mladi rakci hitro rastejo in se pogosto levijo. Nekateri se ob nevarnosti zvijejo v kroglico, po čemer so dobili tudi ime – kočiči. Izsušitvi se izogibajo tudi tako, da so aktivnejši ponoči. Znani so po tem, da lahko kopičijo velike količine kovin (Sket s sod., 2003).

V Sloveniji živi več kot 70 vrst kopenskih rakov enakonožcev, med katerimi je nekaj tudi jamskih. Med njimi so najpogostejši predstavniki rodov *Oniscus*, *Porcellio*, *Armadillidium*, *Trachelipus* (Slika 4). V Sloveniji najpogosteje srečamo marogastega prašička (*Trachelipus rathkei*), ki zraste do 15 mm in se ne more zviti v popolno kroglico. Ob strani ima svetle lise, ki tvorijo dve stranski progi, po katerih ga ločimo od ostalih vrst. Navadne pasavčke

(*Armadillidium vulgare*) ločimo od ostalih vrst po zvijanju v popolno kroglico. Veliki so do 18 mm in so rjave do skoraj črne barve, po hrbtu pa imajo svetle do rumene pege. Od vrst, ki živijo blizu človeka, je najbolj znan navadni ali kletni prašiček oziroma *Porcellio scaber*. Je precej velik, zraste do 17 mm. Hrbet je hrapav in rjavo do sivo obarvan. Predstavniki te vrste se ne morejo zviti v kroglico (Sket s sod., 2003). To je najbolj raziskana vrsta rakov enakonožcev in se pogosto uporablja kot modelni organizem pri toksikoloških raziskavah (Crepulja, 2016).



Slika 4: Različne vrste kopenskih rakov enakonožcev, najdene okrog moje hiše (vir: osebni arhiv).

2. EMPIRIČNI DEL

2.1 NAMEN

Za raziskovanje sem se odločila, ker skoraj na vsakem koraku lahko opazujem odvrženo plastiko. Vedela sem, da plastika škoduje živalim, a sem se odločila to raziskati še podrobneje. Zanimalo me je, ali živali izbirajo vrsto zemlje oziroma ali se izogibajo onesnaženi zemlji.

Odpravila sem se na vrt in poiskala kopenske rake, da bi na njih ugotovila, kakšno zemljo bi izbrali – čisto ali onesnaženo. Kot onesnažila sem uporabila različne materiale iz plastike, biorazgradljive plastike in papirja, da bi ugotovila, če sta ta materiala res manj škodljiva. Zanimalo me je, kako je videti plastika pod mikroskopom in kako jo lahko prepoznamo.

2.2 HIPOTEZE

Pri poskusih sem si zastavila naslednje hipoteze:

- Delci mikroplastike bodo pod svetlobnim mikroskopom dobro vidni in se bodo ločili od delcev zemlje.
- Pri izbiri med čisto zemljo in zemljo, onesnaženo s plastičnimi delci, se bodo raki nekaj časa gibali med obema zemljama, čez čas pa se bodo odločili za čisto zemljo.
- Več kopenskih rakov bo izbralo neonesnaženo zemljo.
- Pri izbiri med čisto zemljo in zemljo, onesnaženo s biorazgradljivimi delci, si bodo raki enakovredno izbirali oba dela zemlje.
- Pri izbiri med zemljo, onesnaženo z biorazgradljivimi delci, in zemljo, onesnaženo s plastičnimi delci, se bodo pogosteje odločili za zemljo, onesnaženo s biorazgradljivimi delci.

2.3 METODA

2.3.1 NABIRANJE IN GOJENJE RAKOV

Poskuse sem izvajala s kopenskimi raki enakonožci. Izbrala sem jih, ker jih že zelo dobro poznamo in veliko vemo o njih, ne zahtevajo specifičnega terarija, za poskuse nisem potrebovala dodatnih dovoljenj, nega ni prezahtevna, rezultate poskusa dobimo hitro. Kopenski raki enakonožci so glede na raziskave primerni organizmi za ekotoksikološke raziskave. Na povišano koncentracijo strupenih snovi se različno odzovejo (Crepulja, 2016).

Nabrala sem jih na vrtu za hišo, tako da sem jim nastavila »pasti« iz ploščatih kamnov in narezanega krompirja. Pri nabiranju sem izkoristila njihovo sposobnost zvijanja v kroglico. Ko so se zvili v kroglice, sem jih nežno prijela in dala v kozarček. Za svoje poskuse sem jih potrebovala okoli dvesto, zato sem jih nabirala večkrat dnevno, skoraj cel september 2021. V bližini človeških bivališč živijo različne vrste kopenskih rakov in tudi jaz sem našla različne vrste: *Armadillidium versicolor*, *Armadillidium vulgare*, *Porcellio scaber* in *Trachelipus rathkei*.

Rakcem sem pripravila lepo bivališče v veliki škatli (Slika 5, levo). Vanjo sem nasula zemljo, na zemljo pa sem položila lubje, mah in ploščate kamne. Hranila sem jih z odpadnim listjem, krompirjem, korenjem in olupki jabolka (Slika 5, desno). Ker kopenski raki enakonožci potrebujejo vlažno okolje, sem jih redno škropila z vodo. Rakci so se v novem bivališču dobro počutili in so se veselo razmnoževali in kmalu sem opazila veliko malih rakcev (Slika 6).

Na začetku so se mi zdeli malo gnusni, kasneje pa so se mi zelo priljubili in postali moje domače živalice. Zelo zanimivo jih je bilo opazovati, bili so smešni in njihovi mladički so bili zelo prikupni.



Slika 5: Terarij (levo) z rakci (desno) (vir: osebni arhiv).



Slika 6: Mladi rakci enakonožci, ki so se izvalili v terariju (vir: osebni arhiv).

2.3.2 PRIPRAVA VZORCEV IN OPAZOVANJE DELCEV POD MIKROSKOPOM

Izbrala sem naslednje vzorce, ki jih pogosto vidimo odvržene v okolju: prozorne plastične vrečke, plastenke (Zala, Pivovarna Union, Ljubljana), modre maske (Era medical, Bolgarija), biorazgradljive vrečke Spar, papirnato vrečko Spar in bleščice različnih barv (Max Bringmann, Nemčija) (Slika 7). Bleščic sicer v naravi ne vidimo, jih pa pogosto uporabljamo in tako lahko pridejo v okolje.



Slika 7: Materiali, uporabljeni pri poskusih (vir: osebni arhiv).

Vzorci sem s škarjami narezala na delce s premerom do 5 mm. Velikost in obliko delcev sem določila s svetlobnim mikroskopom (Bresser Biolux, Nemčija). Za poskus z bleščicami sem zmešala skupaj več različnih barv. Ponovno sem odpihnila prah z mikroskopa, nastavila objektiv, objektno stekelce in krovno stekelce ter pogledala skozi okular. Delce sem primerjala po barvi, velikosti in obliki.

2.3.3 POSKUSI Z IZOGIBANJEM

Za opazovanje vedenja rakov enakonožcev v zemlji z različnimi vrstami onesnažil sem uporabila poskus izogibanja, ki se standardno uporablja pri poskusih onesnaženosti. V poskusih sem uporabila standardizirano zemljo Lufa 2.2 (LUFA Speyer, Nemčija) z naslednjimi značilnostmi: ilovnato-peščena tekstura, vsebnost gline $7,2 \pm 1,2$ %, organske snovi $1,77 \pm 0,2$ %, pH $5,5 \pm 0,2$ in zmogljivost zadrževanja vode $41,8 \pm 3,0$ g ($H_2O/100$ g suhe zemlje). Za pravilen preračun potrebne koncentracije mikroplastike sem uporabila podatke o najdeni koncentraciji mikroplastike v kompostu in uporabljeni koncentraciji v poskusih prehranjevanja (Gajst, 2016; Crepulja, 2016). Zaradi podatka, da v prejšnjih študijah pri koncentraciji 0,4 g delcev/100 g mase zemlje, kar je 0,4 %, ni bilo učinka na prehranjevanje, sem dodala 2,5-kratno koncentracijo delcev, uporabljeno v predhodnih poskusih (Crepulja, 2016), kar pomeni 1-odstotno koncentracijo. Z raki enakonožci sem nastavila več različnih poskusov, ki so podrobneje predstavljeni v Tabeli 1. Poleg

izpostavitve mikroplastiki sem v eni skupini pripravila tudi kontrolo, tj. dva lončka s čisto zemljo, da sem preverila, kako se živali gibajo, če nimajo na voljo dveh različnih okolij.

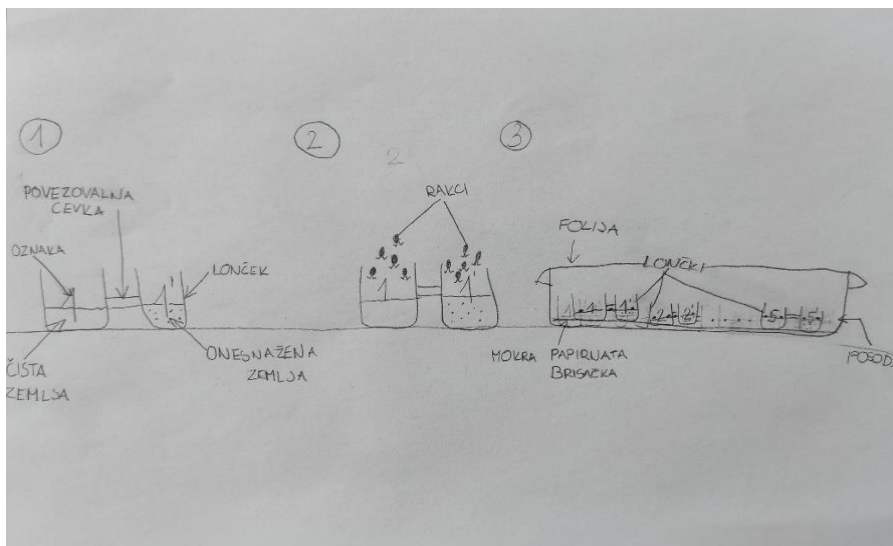
Tabela 1: Priprava različnih poskusov izogibanja

ŠT. POSKUSA			Št. rakov v poskusu	Število paralelk	Skupno št. rakov
1	čista zemlja	čista zemlja	10	5	50
2	čista zemlja	bleščice	10	5	50
3	čista zemlja	plastična vrečka	10	5	50
4	čista zemlja	plastenka	10	5	50
5	čista zemlja	maska	10	5	50
6	čista zemlja	biorazgradljiva vrečka	10	5	50
7	čista zemlja	papirnata vrečka	10	5	50
8	papirnata vrečka	plastična vrečka	10	5	50
9	biorazgradljiva vrečka	plastična vrečka	10	5	50
10	biorazgradljiva vrečka	papirnata vrečka	10	5	50

Postopek:

V deset plastičnih lončkov sem izrezala luknjice približno 1 cm nad dnom. V luknjice sem namestila plastično cevčico, ki sem jo izrezala iz plastične Pasteurjeve pipete. Tako sem dva lončka povezala med seboj, da sem rakcem omogočila prehod iz enega lončka v drugega. Vsak poskus sem pripravila v petih parih lončkov – pet paralelk (Slika 8). S flomastrom sem označila vsak par ter onesnaženo in čisto stran lončka (Slika 9, desno). S tehtnico sem odmerila 200 gramov suhe zemlje in ji dodala 40 gramov vode ter zmešala (Slika 9, levo). Tako sem dosegla enakomerno navlaženost zemlje. Zemljo sem razdelila na dva enaka dela. V en del zemlje (100 gramov) sem z žlico dodala in premešala 1 g delcev plastike, kar je

predstavljalo 1 % od celotne količine. V poskusih sem uporabila različna onesnažila (glej Tabelo 1).



Slika 8: Skica poskusa (vir: osebni arhiv).



Slika 9: Priprava zemlje in lončkov za poskus (vir: osebni arhiv).

V prvi lonček sem dodala približno 20 gramov čiste zemlje, v drugi lonček pa 20 gramov zemlje z onesnažilom. Zemljo iz cevčice sem s slamico potisnila od čiste k umazani, da nisem onesnažila »čistega« delca. Na koncu sem v vsak lonček dala po 5 rakov enakonožcev (10 rakcev na paralelko). Lončke sem pokrila s pokrovčki, v katerih je bila luknjica za zrak.

Pare lončkov sem postavila v večjo škatlo, na njeno dno sem položila mokro krpico, da sem s tem vzdrževala vlago v poskusu (Sliki 8 in 10). Čez veliko škatlo sem položila folijo. Občasno sem še malo navlažila folijo.

Prehajanje rakov med paroma lončkov sem opazovala v različnih časovnih točkah. Prvo uro na 10 minut, drugo uro na 20 minut, nato pa tretjo, šesto, dvanajsto uro in po enem dnevu.



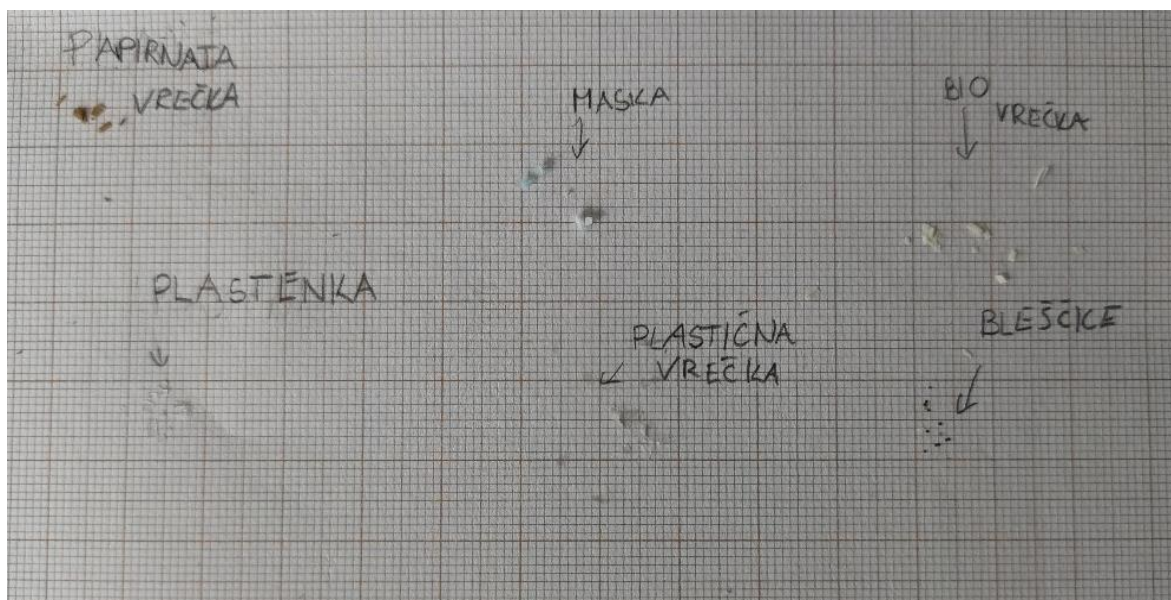
Slika 10: Pregled vzorcev med poskusom (vir: osebni arhiv).

Pridobljene podatke sem vpisala v razpredelnico in jih pretvorila v grafe (Microsoft Excel, Microsoft, ZDA) za boljšo preglednost. Za vsak poskus sem izračunala srednjo vrednost števila živali na določeni strani lončka. Srednja vrednost je bila izračunana na osnovi 5 podatkov (5 parov lončkov).

3. REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1 OPAZOVANJE DELCEV POD MIKROSKOPOM

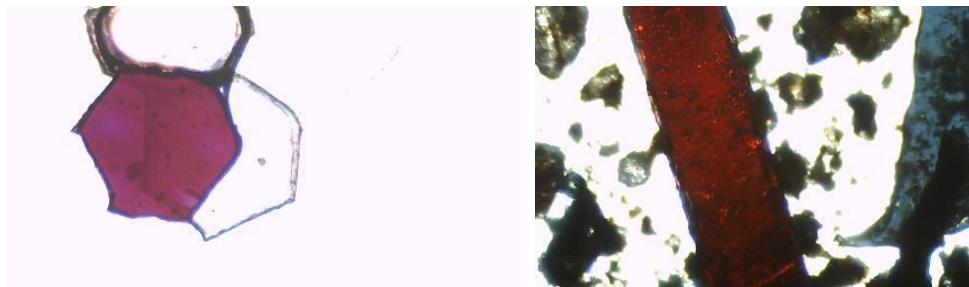
Velikost različnih delcev, ki sem jih kasneje uporabila v poskusih izogibanja sem določila s pomočjo milimetrskega papirja. Velikosti so se gibale med 0.3 mm kolikor so bile velike bleščice do 2 mm kolikor so bili veliki največji delci papirnate vrečke, platenke plastične vrečke in biorazgradljive vrečke (Slika 11).



Slika 11: Primerjava velikosti delcev različnih materialov. Velikosti delcev so se gibale med 0.3 mm do 2 mm.

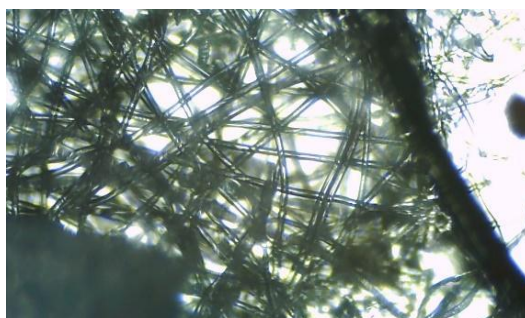
Različne delce sem opazovala pod mikroskopom pri najmanjši (20-kratni) povečavi. Delci pod mikroskopom so bili različnih barv, oblik in velikosti in so se jasno ločili od delcev zemlje.

Bleščice so bile različnih oblik, šesterokotne, pravokotne, podolgovate. Razlikovale so se tudi po velikosti. V primerjavi z drugimi delci so bile najmanjše in različnih barv (Slika 12).



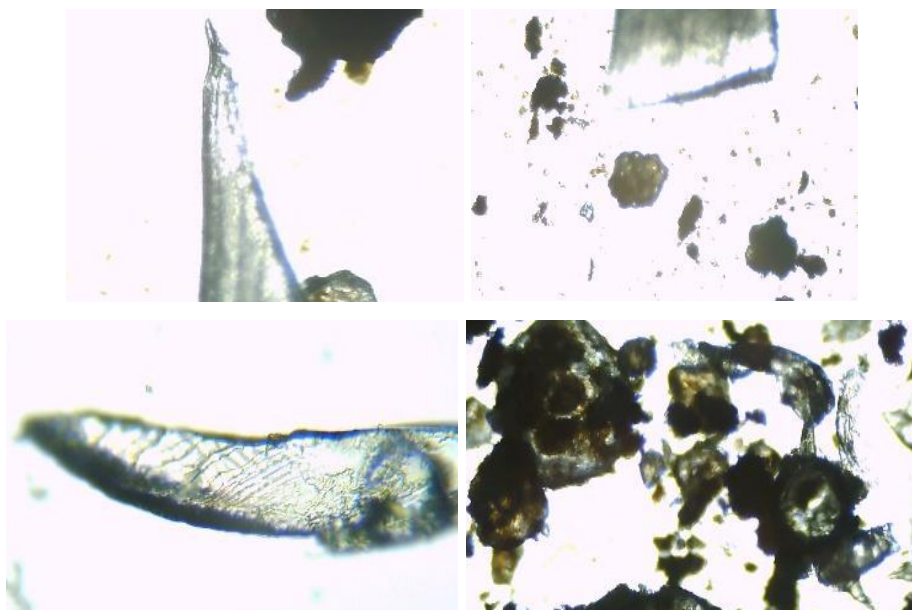
Slika 12: Bleščice različnih oblik in barv (20-kratna povečava).

Delci maske so bili pod mikroskopom bele do prozorne barve in sestavljeni iz številnih prepletenih vlaken (Slika 13).



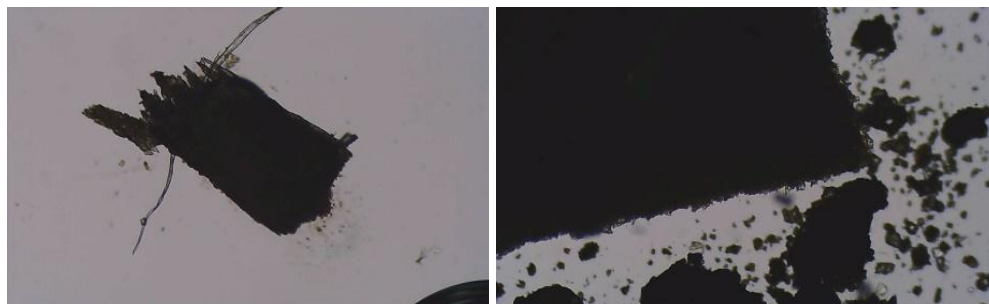
Slika 13: Delci maske pod 20-kratno povečavo.

Delci plastične vrečke (Slika 14, zgoraj) so bili prozorni z ostrimi robovi podobno kot delci plastenke (Slika 14, spodaj). Delci plastenke so bili nekoliko debelejši od delcev plastične vrečke.



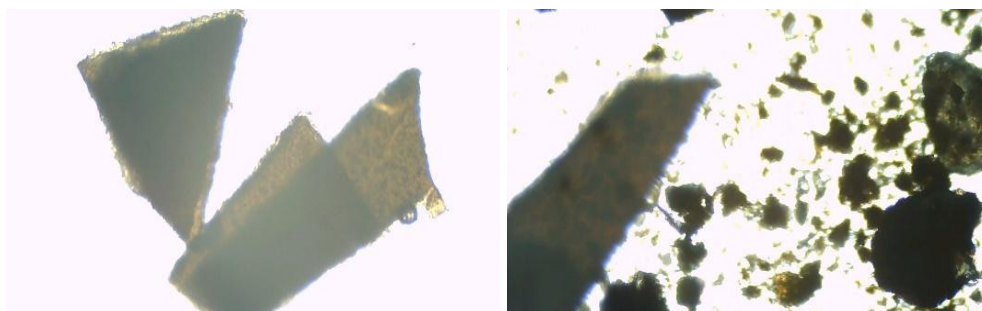
Slika 14: Delci plastične vrečke (zgoraj) in platenke (spodaj) pod 20-kratno povečavo.

Delci biorazgradljive vrečke so bili pravilnih pravokotnih oblik, neprosojni. Pogosto so bili obdani z vlakni (Slika 15).



Slika 15: Delci biorazgradljive vrečke pod 20-kratno povečavo.

Delci papirnate vrečke so bili rjave barve in pravilnih oblik (Slika 16).

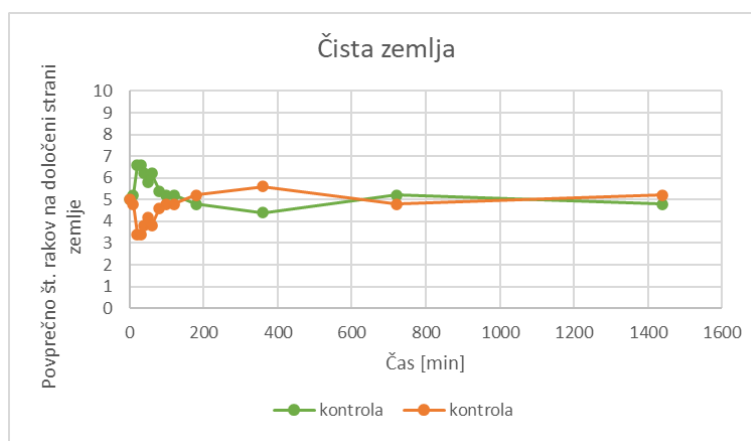


Slika 16: Delci papirnate vrečke pod 20-kratno povečavo.

3.2 ANALIZA REZULTATOV POSKUSOV IZOGIBANJA

3.2.1 ČISTA ZEMLJA

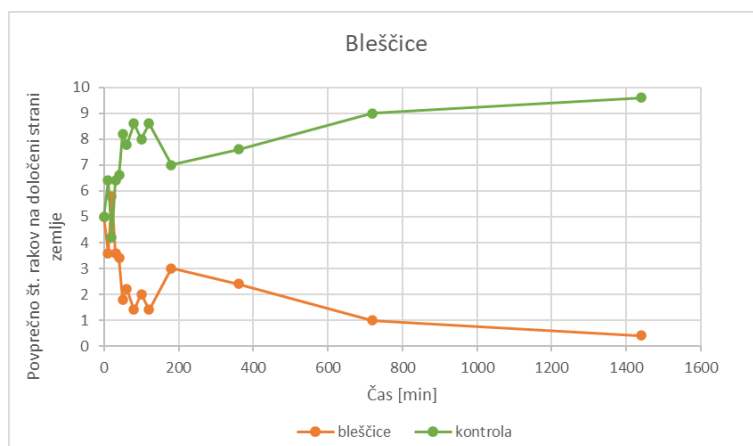
Opazila sem, da so se raki na čisti zemlji ves čas gibali med obema stranema poskusa. Na koncu poskusa so bili enakomerno razporejeni na obeh straneh poskusa, 48 % na levem in 52 % na desnem delu (Slika 17).



Slika 17: Porazdelitev rakov skozi čas med čistima zemljama. Kontrola je čista, neonesnažena zemlja, Lufa 2.2.

3.2.2 BLEŠČICE

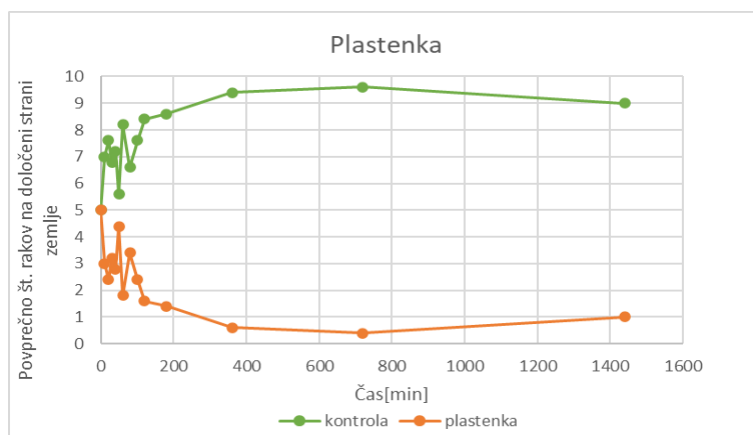
Raki so se pri poskusu z bleščicami prvo uro premikali med obema stranema, po eni uri pa se je število obiskov na strani poskusa z bleščicami zmanjšalo (Slika 18). Po štirih urah sta se premaknila le še 1 do 2 raka na lonček. Po enem dnevu se je večina (96 %) razporedila na stran s čisto zemljo. Na strani z bleščicami so bili le še posamezni raki (Slika 18). Opazila sem tudi, da so raki na strani bleščicami plezali po stenah lončka ali se namestili na cevčico, na čisti zemlji pa so bili bolj umirjeni. Sklepala sem, da se na onesnaženi zemlji niso počutili prijetno.



Slika 18: Porazdelitev rakov skozi čas med kontrolo in zemljo z bleščicami. Kontrola je čista, neonesnažena zemlja, Lufa 2.2.

3.2.3 PLASTENKA

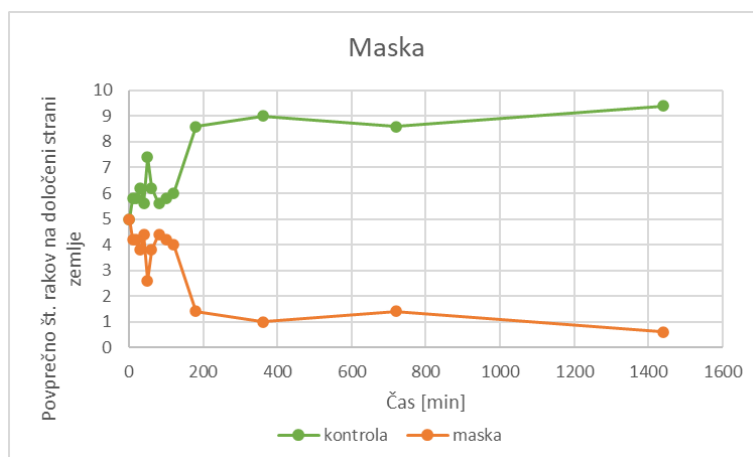
Podobno kot pri poskusu z bleščicami sem opazila, da so se raki prvi dve uri premikali z ene strani na drugo. Na onesnaženi strani so plezali po steni. Na čisti zemlji pa so se razporedili in počivali. Na koncu so bili razporejeni tako, da so bili le redki (10 %) na onesnaženi strani (Slika 19).



Slika 19: Porazdelitev rakov skozi čas med kontrolo in zemljo z delci plastenke. Kontrola je čista, neonesnažena zemlja, Lufa 2.2.

3.2.4 MASKA

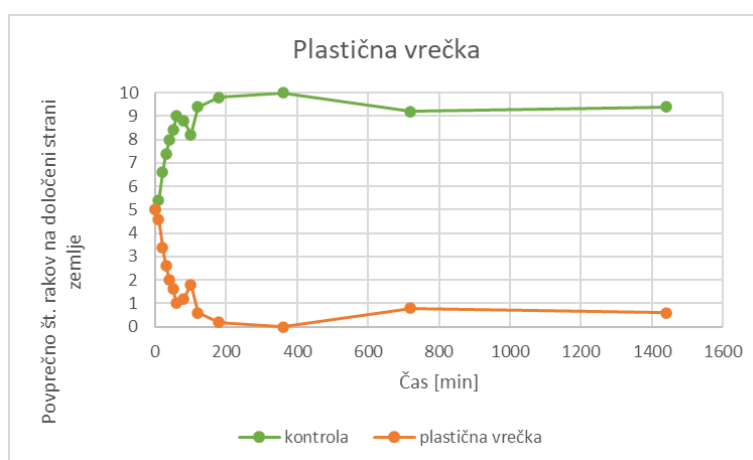
Pri poskusu z delci maske sem opazila podoben vzorec kot pri predhodnih poskusih. Na začetku so raziskovali, po 3 urah pa so se začeli razvrščati tako, da jih je bilo na onesnaženi strani manj. Po 24 urah je bilo 94 % rakov razporejenih na čistem delu (Slika 20).



Slika 20: Porazdelitev rakov skozi čas med kontrolo in zemljo z delci maske. Kontrola je čista, neonesnažena zemlja, Lufa 2.2.

3.2.5 PLASTIČNA VREČKA

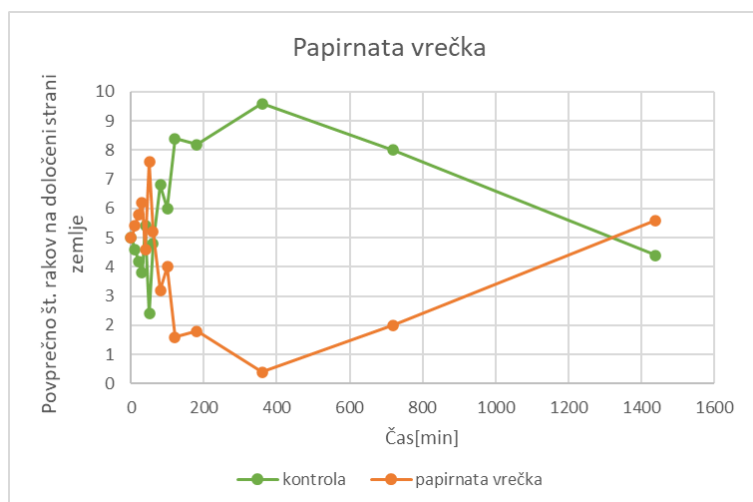
Tudi pri poskusu z delci plastične vrečke sem opazila podoben vzorec premikanja, le da so se v tem poskusu raki hitreje odločili, katera stran jim ustreza. Že po eni uri je bilo kar 90 % rakov razvrščenih na čisti strani poskusa in tako je, z manjšimi premiki, ostalo do konca poskusa (Slika 21).



Slika 21: Porazdelitev rakov skozi čas med kontrolo in zemljo z delci plastične vrečke. Kontrola je čista, neonesnažena zemlja, Lufa 2.2.

3.2.6 PAPIRNATA VREČKA

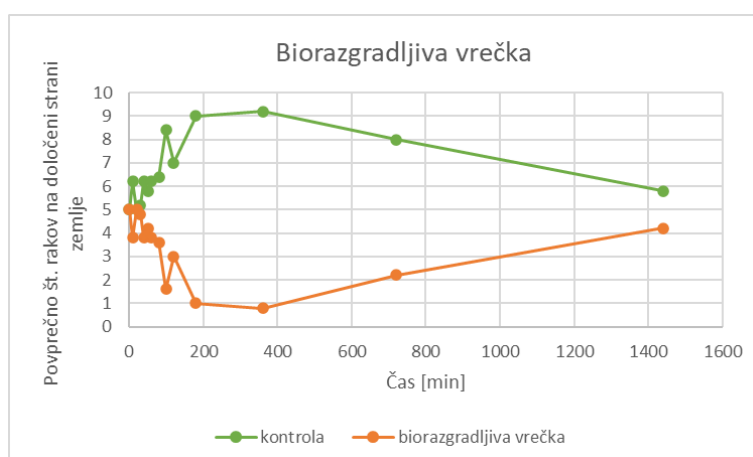
Pri poskusu z delci papirnate vrečke sem opazila drugačen vzorec premikanja. Prve tri ure so se intenzivno sprehajali med obema stranema. Po treh urah so se umirili in večina se jih je ustavila na čisti strani poskusa. Po šestih urah so se ponovno začeli premikati in tako so bili po 24 urah enakomerno razporejeni na obeh straneh poskusa (Slika 22). Sklepala sem, da papirnata vrečka ni predstavljala vira onesnaženja za rake enakonožce.



Slika 22: Porazdelitev rakov skozi čas med kontrolo in zemljo z delci papirnate vrečke. Kontrola je čista, neonesnažena zemlja, Lufa 2.2.

3.2.7 BIORAZGRADLJIVA VREČKA

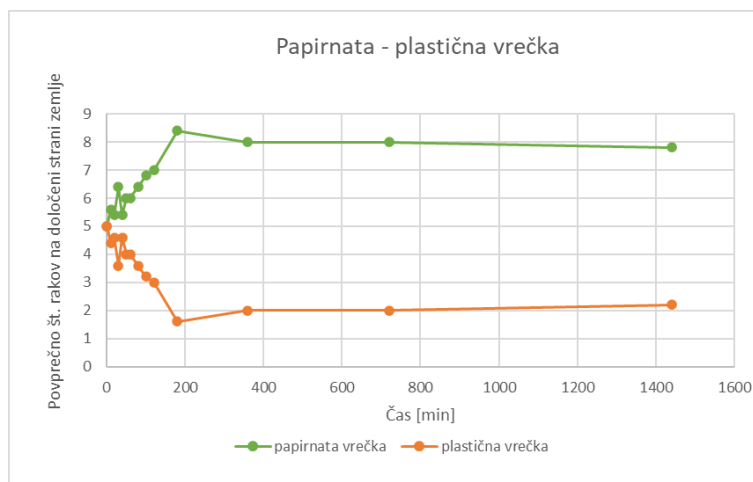
Podobno razporeditev sem opazila v poskusu z delci biorazgradljive vrečke. Po začetnem prehajanju med stranema so se raki po 6 urah so se začeli premikati na onesnaženo stran, kjer so nekateri tudi ostali. Po 24 urah pa jih je bilo več (58 %) na strani s čisto zemljo (Slika 23).



Slika 23: Porazdelitev rakov skozi čas med kontrolo in zemljo z delci biorazgradljive vrečke. Kontrola je čista, neonesnažena zemlja, Lufa 2.2.

3.2.8 PAPIRNATA IN PLASTIČNA VREČKA

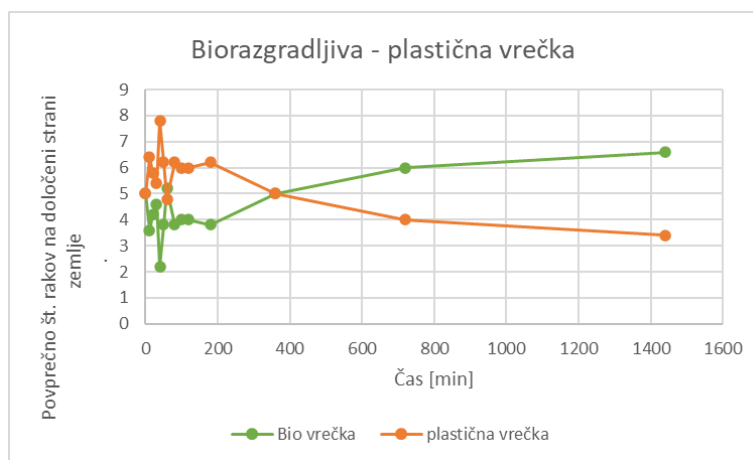
Iz grafa lahko vidimo, da so si raki že takoj izbrali stran s papirnato vrečko. Med poskusom so se razlike le še povečevale in po 24 urah je kar 78 % rakov izbralo stran z delci papirnatih vrečk (Slika 24).



Slika 24: Porazdelitev rakov skozi čas med zemljo z delci papirnatih vrečk in zemljo z delci biorazgradljive vrečke.

3.2.9 BIORAZGRADLJIVA IN PLASTIČNA VREČKA

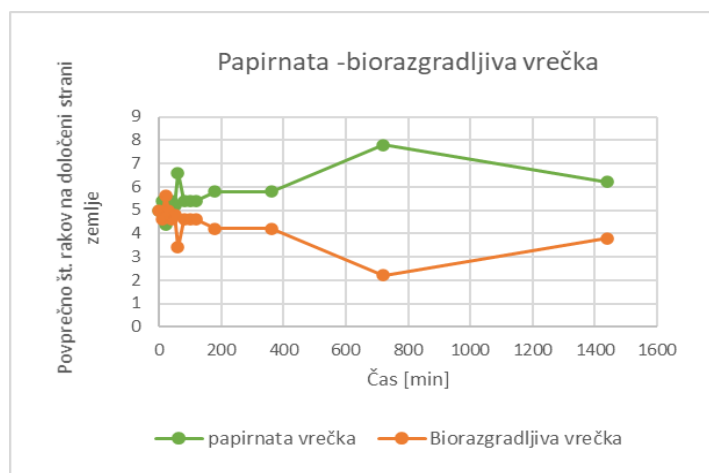
V poskusu primerjave med biorazgradljivo in plastično vrečko me je odločitev rakov na koncu presenetila. Največjo razliko sem opazila po 80 minutah, ko so raki kar v 80 % izbrali stran s plastično vrečko. Po 6 urah so se na obeh straneh razporedili enakomerno. Po 12 urah so se ponovno začele kazati razlike, in sicer so se raki začeli razvrščati na stran z delci biorazgradljive vrečke. Te razlike so se po 24 urah povečale in na koncu je bilo 66 % rakov razporejenih na strani z delci biorazgradljive vrečke (Slika 25).



Slika 25: Porazdelitev rakov skozi čas med zemljo z delci biorazgradljive vrečke in zemljo z delci biorazgradljive vrečke.

3.2.10 PAPIRNATA IN BIORAZGRADLJIVA VREČKA

V poskusu z delci papirnate in biorazgradljive vrečke se raki niso mogli odločiti za stran. Po 1 uri so bile razlike med obema stranema zelo majhne. Največjo razliko sem opazila po 12 urah poskusa, ko se je 78 % rakov odločilo za stran z delci papirnate vrečke. Po 24 urah se je razlika zmanjšala, vendar je bilo še vedno več rakov na strani z delci papirnate vrečke (62 %; Slika 26).



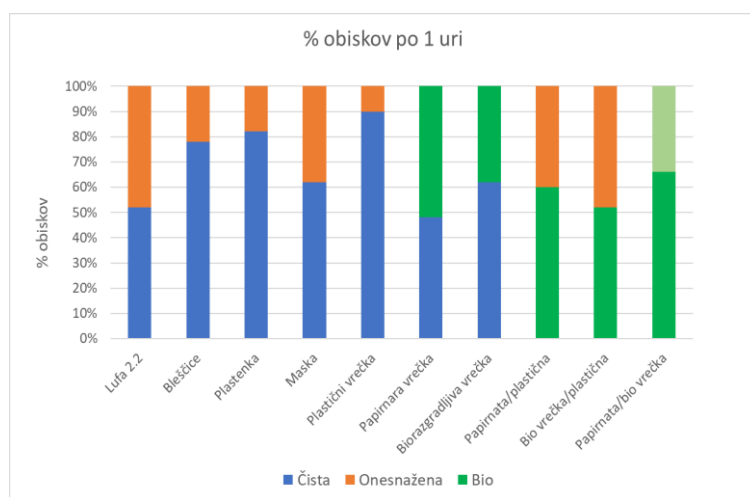
Slika 26: Porazdelitev rakov skozi čas med zemljo z delci papirnate vrečke in zemljo z delci biorazgradljive vrečke.

Iz grafov lahko razberemo, da rake enakonožce plastični delci v zemlji motijo, saj se je večina rakov že hitro odločila za čisto stran poskusa. Biorazgradljive vrečke so rake bolj motile na začetku poskusa, proti koncu pa so se je razlika zmanjšala. Vseeno je bilo več rakov na strani s čisto zemljo. Pri poskusu z delci papirnate vrečke pa je bilo po 24 urah več rakov na delu zemlje z delci papirnate vrečke, kar pomeni, da jih papirnata vrečka ni motila. Opazila sem tudi, da so v lončkih z zemljo, onesnaženo s plastiko, raki pogosto plezali po stenah ali pa so počivali na cevki, medtem ko pri naravnih materialih plezanja nisem opazila. Iz tega sem lahko sklepala, da jim onesnažena zemlja ni ustrezala oziroma so se v njej neprijetno počutili. Pri primerjavi biorazgradljivih in plastičnih onesnažil sem opazila, da jim biorazgradljivi materiali manj motijo in raje izberejo zemljo z biorazgradljivim materialom.

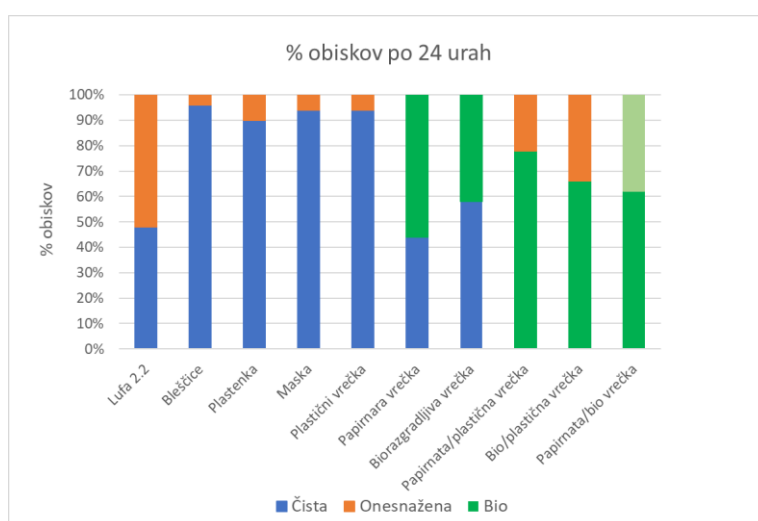
3.3 PRIMERJANJE RAZLIČNIH MATERIALOV PO 1 IN 24 URAH

Raki enakonožci so se že po eni uri odločili podobno kot po 24 urah, da jim bolj ustreza čista zemlja. Največje razlike so se pojavile v poskusih z masko, plastično vrečko, platenko in bleščicami. Razlike sem opazila že po eni uri in so se pri štiriindvajsetih urah le še povečale (Sliki 26 in 27). V kontrolnem poskusu s čisto zemljo pa razlike skoraj nisem opazila.

Opazovala sem tudi, kako so se raki obnašali v primeru, da so imeli na eno strani plastično vrečko, na drugi strani pa biorazgradljivo ali papirnato vrečko. V obeh primerih so se raki po eni uri razporedili na stran z biorazgradljivim materialom. Po 24 urah so se razlike še povečale. Največja razlika je bila pri poskusu s papirnato in plastično vrečko, kjer je po 24 urah kar 78 % rakov izbralo del s papirnato vrečko (Slika 28). Ko so imeli na razpolago dva različna biorazgradljiva materiala, so pogosteje izbrali del s papirnato vrečko, in po 24 urah je bilo 62 % rakov na strani s papirnato vrečko (Sliki 27 in 28).



Slika 27: Razporeditev rakov po eni uri poskusa.



Slika 28: Razporeditev rakov po 24 urah poskusa.

4. ZAKLJUČEK

Hipoteza 1: Delci mikroplastike bodo pod svetlobnim mikroskopom dobro vidni in se bodo ločili od delcev zemlje.

To hipotezo lahko potrdim. Delci so bili pod mikroskopom dobro vidni in so bili večji od delcev zemlje. Bili so tudi različnih oblik in barv.

Hipoteza 2: Pri izbiri med čisto zemljo in zemljo, onesnaženo s plastičnimi delci, se bodo raki nekaj časa gibali med obema zemljama, čez čas pa se bodo odločili za čisto zemljo.

To hipotezo lahko potrdim. Raki so se na začetku gibali iz ene strani na drugo in obratno. Že po eni uri pa sem opazila, da je večina rakev izbrala čisto zemljo.

Hipoteza 3: Več kopenskih rakov bo izbralo neonesnaženo zemljo.

To hipotezo lahko potrdim. Opazila sem, da je več rakov izbralo čisto zemljo kot onesnaženo. Nekoliko jih je motila tudi biorazgradljiva plastika, vendar je bila razlika pri manjša kot pri plastiki.

Hipoteza 4: Pri izbiri med čisto zemljo in zemljo, onesnaženo z biorazgradljivimi delci, si bodo raki enakovredno izbirali oba dela zemlje.

To hipotezo lahko le delno potrdim. Ob koncu opazovanja so se razporedili dokaj podobno na obe strani. Pri poskusu z biorazgradljivo vrečko je bilo več rakov na strani s čisto zemljo, medtem ko so se pri poskusu z papirnato vrečko dokaj enakomerno porazdelili med obema stranema poskusa. Torej rakcem tudi biorazgradljive vrečke niso ustrezale bolj kot čista zemlja.

Hipoteza 5: Pri izbiri med zemljo, onesnaženo z biorazgradljivimi delci, in zemljo, onesnaženo s plastičnimi delci, se bodo pogosteje odločili za zemljo, onesnaženo s biorazgradljivimi delci.

Hipotezo lahko potrdim. Po 24 urah se je za onesnaženo zemljo z biorazgradljivo vrečko odločilo 66 % rakov, za onesnaženo zemljo s plastično vrečko pa 34 % rakov. V poskusu z zemljo, onesnaženo s papirnato vrečko, pa so bile razlike še večje. Na strani z delci papirnate vrečke je bilo kar 78 % rakov. Iz teh poskusov lahko sklepamo, da rakom bolj ustreza zemlja z delci biorazgradljivih materialov. Razlike so bile tudi v poskusu, kjer so se raki odločali med delci papirnate in biorazgradljive vrečke. V tem primeru so večkrat izbrali stran s papirnato vrečko.

Raki so se v vseh poskusih, razen v poskusu s papirnato vrečko, odločili za čisto zemljo. Najbolj so jih motili plastični materiali, zato se moramo potruditi za svet in poskrbeti, da okolje ne obremenimo s plastiko. Iz poskusov lahko tudi opazimo, da rake motijo tudi biorazgradljivi materiali, ki, čeprav se lahko razgradijo, ne sodijo v naravo. Raki enakonožci predstavljajo modelni organizem za ekotoksikološke raziskave, iz česar lahko sklepamo, da prav tako kot rake tudi druge živali moti plastika v okolju in jim celo škodi.

5. SEZNAM VIROV

1. Crepulja T. 2016. Vpliv mikroplastike na prehranjevanje in energetske rezerve kopenskih rakov enakonožcev *Porcellio scaber*. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta, Biotehniška Fakulteta,
2. Evropska komisija. 2018. Plastični odpadki: evropska strategija za varstvo planeta, obrambo naših državljanov in krepitev položaja naše industrije, (16. januar 2018). Prodobljeno na: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/sl/IP_18_5 (9.9.2021)
3. Gajšt T. 2016. Analiza ostankov plastike v komercialnem kompostu. Diplomsko delo, Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju.
4. Hanžič S. 2021. Prihajajo naravne bleščice. Časoris 5.1.2022. Pridobljeno na: <https://casoris.si/prihajajo-naravne-blescice/> (10.1.2022)
5. Kavicki N. 2016. Problemi in vplivi onesnaževanja morja s plastiko. Diplomsko delo, Univerza v Mariboru, Fakulteta za varnostne vede Pridobljeno na <https://dk.um.si/Dokument.php?id=99423> (16.11.2021)
6. Kovač Viršek M. in Palatinus A. 2008. Mikroplastika: nevidni sovražnik okolja. Pridobljeno na <https://www.bodieko.si/mikroplastika> (16.11.2021)
7. Kržan, A. 2012. Biorazgradljiva plastika. Zps.si. (5.6.2012) Pridobljeno na: <https://www.zps.si/okolje/trajnostna-potronja/5501-biorazgradljiva-plastika-52012> (16.11.2021)
8. Kužner M. 2021. Otroci, varujmo naravo, tudi pred mikroplastiko. Časoris, 24.7.2021. Pridobljeno na: <https://casoris.si/otroci-varujmo-naravo-tudi-pred-mikroplastiko/> (16.11.2021)
9. Madžarić S, Kos M, Drobne D, Hočevar M, Jemec Kokalj A. 2018. Integration of behavioral tests and biochemical biomarkers of terrestrial isopod *Porcellio scaber* (Isopoda, Crustacea) is a promising methodology for testing environmental safety of chars. Environ Pollut. Mar 2018; 234:804-811.

10. Preverite iz kakšne plastenke pijete in jeste. Pridobljeno na: https://www.komunala-brezice.si/images/mojeSlike/files/Preverite_iz_kaksne_plastenke_pijete_in_jeste.pdf (9.9.2021)
11. Primožič M. 2019. 8 nasvetov za življenje z manj plastike. Prodobljeno na: <https://zeleni-planet.si/novica/8-nasvetov-za-zivljenje-z-manj-plastike-45/> (16.11.2021)
12. Romih T. 2017. Raki lahko živijo tudi na kopnem: spoznajmo mokrice. Proteus letnik 80, številka 2, oktober 2017. Prirodoslovno društvo Slovenije ISSN0033-1805
13. Sket B., Gogala M., Kuštor V. 2003. Živalstvo Slovenije. Tehniška založba Slovenije. ISBN 86-365-0410-4. ISSN: 0033-1805
14. S.I. 2016. Kdo zmeče največ plastike v oceane?, Slovenske novice. Pridobljeno na: <https://old.slovenskenovice.si/novice/svet/kdo-zmece-najvec-plastike-v-oceane> (16.11.2021)
15. Uradni list Republike Slovenije. 2021. Uredba o prepovedi dajanja nekaterih plastičnih proizvodov za enkratno uporabo na trg v Republiki Sloveniji in o označevanju nekaterih plastičnih proizvodov. (20.8. 2021) Str. 8018-8019. Pridobljeno na: <https://www.uradni-list.si/pdf/2021/Ur/u2021131.pdf> (16.11.2021)