



MOKARJI – REŠITEV VPRAŠANJA ODPADNE PLASTIKE?

EKOLOGIJA Z VARSTVOM OKOLJA
RAZISKOVALNA NALOGA

MIHA KOVAČIČ

9. razred

mentorica: Petra Škofic Valjavec

februar 2025

Osnovna šola Vižmarje - Brod

Povzetek

V raziskovalni nalogi sem se lotil problema odpadne plastike. Želel sem preveriti, ali obstaja način razgradnje plastike z uporabo živih bitij, v mojem primeru so bili to molarji. Zanimalo me je, ali so molarji sposobni razgrajevati različne vrste plastike in kako le-te vplivajo na njihovo vitalnost. V ta namen sem zasnoval dva poskusa z različnimi vrstami plastike, od konvencionalne do plastike za domače kompostiranje. V prvem poskusu sem molarje razdelil v več skupin in vsako hranil z drugo vrsto plastike ter opazoval, kako je ob različnih »dietah« potekal razvoj posameznih skupin. V drugem poskusu sem posamezni skupini molarjev dal hkrati na izbiro različne vrste plastike in proučeval njihovo izbiro diete ter posledice, ki jih je na opazovane organizme dieta imela.

Glavne ugotovitve prvega poskusa so bile, da so molarji vitalnejši, kadar se hranijo s kompostirno plastiko, saj jo lažje razgrajujejo, ter da hranjenje s polietensko plastiko vodi do pomanjkanja hranil, kar privede do kanibalizma. Pri drugi vrsti poskusa sem ugotovil, da molarji raje izberejo kompostirno plastiko kot konvencionalno, svojo dieto pa radi tudi kombinirajo. Moj zaključek je, da bi se molarje lahko uporabljalo za razgradnjo odpadne plastike, pri čemer ima kompostirna plastika jasno prednost pred konvencionalno, saj jo molarji lažje razkrojijo in jo tudi raje izberejo. Ob koncu sem ugotovil, da bi v farmah molarjev le-te lahko hranili z mešanico pšeničnih otrobov in plastike, saj se s slednjo molarji deloma prehranjujejo kljub prisotnosti naravnih hranil.

Ključne besede: molarji (*Tenebrio molitor*), odpadna plastika, razkrajanje plastike, konvencionalna plastika, polieten, bioplastika, kompostirna plastika

Kazalo

1. Uvod	3
1.1 Namen in cilj raziskovalne naloge	3
1.2 Hipoteze	4
2. Teoretične osnove	5
2.1 Osnove o plastiki	5
2.2 Konvencionalna plastika	7
2.2.1 Mikroplastika	11
2.3 Bioplastika	12
2.3.1 Kompostirna plastika	13
2.4 Razkrojevalci – mokaerji	15
3. Praktični del	18
3.1 Metode dela	18
3.1.1 Poskus »življenje mokaerjev«	18
3.1.2 Poskus »izbira mokaerjev«	21
3.2 Rezultati poskusa »življenje mokaerjev«	23
3.2.1 Kontrolna skupina	23
3.2.2 Skupina – polieten	27
3.2.3 Skupina – plastika za domače kompostiranje	31
3.2.4 Skupina – plastika za industrijsko kompostiranje	35
3.2.5 Primerjava in interpretacija rezultatov	38
3.3 Interpretacija in rezultati poskusa »izbira mokaerjev«	52
3.3.1 Poskus 1	52
3.3.2 Poskus 2	55
4. Razprava	58
5. Zaključek	60
6. Literatura	63

1. Uvod

1.1 Namen in cilj raziskovalne naloge

V današnjem svetu se srečujemo s precejšnjim porastom uporabe plastike. To privede do vedno večjih količin zavržene plastike. Delno se odpadna plastika sicer reciklira, večje količine pa kljub temu sežgemo oz. končajo na deponijah ali celo v naravi. V Evropski uniji se reciklira približno tretjina odpadne plastike, tretjina se sežge, tretjina pa se odloži na deponijah. Slovenija glede na Evropsko unijo reciklira precej večji delež odpadne plastike, kar 70 %. Preostali delež plastike se sežge, manjši delež pa se izvozi oziroma odloži na odlagališča. Odložena odpadna plastika se v naravi razgrajuje več desetletij ali stoletij in razpade na drobne delce, imenovane mikroplastika. Ne glede na majhnost delcev pa osnovni material nikoli ne izgine in posledično onesnažuje kopno in vode ter kroži v prehranjevalnih spletih. Pojavile so se že mnoge ideje o tem, kako se te plastike znebiti oz. jo predelati, nekatere od njih se celo izvajajo, vendar njihov učinek ni dovolj velik. Najbolj splošno znano je recikliranje, ampak se izvaja v premajhnem obsegu (svetovno se reciklira le 9 % plastike). Pojavile so se tudi že ideje o sežigalnicah, vendar imajo te na naravo druge negativne vplive. V zadnjem obdobju se kot rešitev pojavlja tudi bioplastika, ampak na žalost ne dosega željenega učinka. V preteklem letu pa sem se srečal z idejo, ki je še posebej vzbudila moje zanimanje. Obstaja teza, da bi lahko določeni razkrojevalci plastiko razgradili na okolju prijazne, organske delce, ne da bi plastika negativno vplivala nanje. Odločil sem se narediti poskuse, s katerimi bi s pomočjo molarjev ugotovil, ali lahko ti enako hitro in učinkovito razgradijo tako bioplastiko kot tudi konvencionalno plastiko. V primeru, da razkrojevalci, ki lahko razkrajajo plastiko, zares obstajajo, bi nadaljnje raziskovanje lahko pomembno prispevalo k zmanjševanju velikih količin odpadne plastike in reševanju okoljskih problemov.

1.2 Hipoteze

Za razumevanje hipotez je potrebno poznati osnove raziskovalne naloge in eksperimentalnega dela. Naloga temelji na ugotovitvi, kako različne vrste plastike (polieten, plastika za domače kompostiranje in plastika za industrijsko kompostiranje) vplivajo na razkrojevalce, natančneje molarje. Pri eksperimentalnem delu pa primerjam, kakšna je razlika v vitalnosti in razvoju molarjev v različnih skupinah, ki so se razlikovale po vrsti hrane, ki so jo molarji v njih prejeli.

1. Molarji bodo najbolj vitalni in bodo imeli največjo maso v skupini s plastiko za domače kompostiranje (če izključimo kontrolno skupino).
2. V skupini s plastiko za industrijsko kompostiranje bodo molarji manj vitalni in lažji.
3. V skupini s polietensko plastiko molarji sploh ne bodo vitalni, smrtnost bo večja kot v drugih skupinah. Razvil se bo kanibalizem.
4. Molarji bodo kot prehrano najraje izbrali pšenične otrobe, takoj za njimi pa plastiko za domače kompostiranje.
5. Molarji bodo plastiko za domače kompostiranje izbrali raje kot polietensko plastiko.

2. Teoretične osnove

2.1 Osnove o plastiki

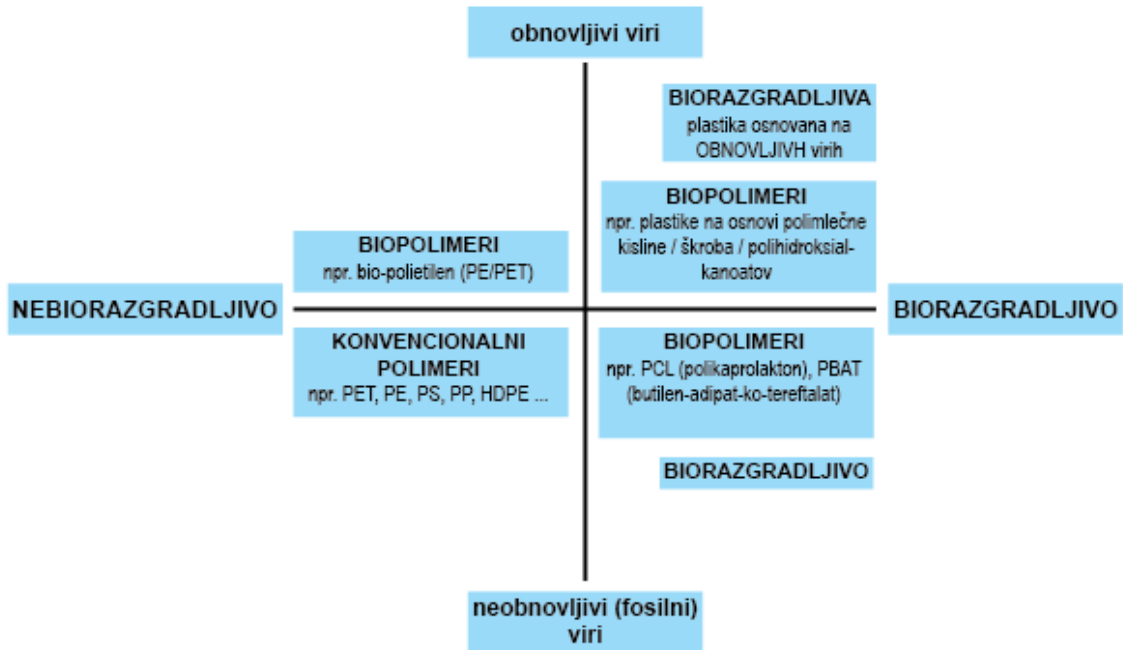
Plastika je ime za materiale, ki jih pridobivamo s polimerizacijo organskih ogljikovih spojin. Plastični materiali so sestavljeni iz dolgih verig (polimerov), ki so sestavljene iz manjših, enakih in med seboj povezanih večinoma ogljikovih spojin (monomerov). Te snovi imajo mnogo dobrih lastnosti za uporabo in so prav zato tako zelo razširjene. Najbolj znana je plastičnost, poimenovana kar po plastiki in jo ima večina predmetov narejenih iz plastične mase. Je lastnost, zaradi katere se ob silah ukrivljanja snov ne zlomi. Plastika ima tudi precej drugih, za uporabo željenih lastnosti, npr. kemično stabilnost. Plastike (predvsem konvencionalne) imajo zelo majhno maso, so lahke za oblikovanje, kar pa je za gospodarstvo najpomembnejše – imajo nizke cene. Plastika je tudi precej enostavna, kadar ji želimo spremeniti lastnost, kot je na primer trdnost, in prav zato poznamo toliko različnih plastičnih proizvodov.

Plastiko lahko delimo na več načinov, predvsem glede na njene lastnosti in način pridobivanja.

Najosnovnejša delitev plastike je glede na reakcijo ob ponovnem segrevanju. Pri temeljni delitvi poznamo dve skupini: termoplaste, ki se ob ponovnem segrevanju stalijo, in duroplaste, ki ostanejo trdi. Tu je sicer še malo manj poznana skupina, ki pa jo je pri tej delitvi potrebno omeniti, in sicer elastomeri, ki jih ne moremo dolgoročno preoblikovati, saj so njihovi polimeri sestavljeni tako, da se po deformacijah vrnejo v začetno obliko.

V zadnjem obdobju pa se najbolj poudarja delitev na ekološko plastiko (bioplastiko) in navadno (neekološko) plastiko. Definicija bioplastike se razlikuje od institucije do institucije, vendar se nekako strinjajo o tem, da plastiko uvrščamo med bioplastiko, kadar je izpolnjen eden izmed dveh pogojev. Bioplastika je vsaka plastika, ki je narejena iz biopolimerov oziroma naravnih polimerov, ne glede na

to, ali je razgradljiva ali ne, hkrati pa pod bioplastiko uvrščamo vsako plastiko, ki je razgradljiva, tudi če je proizvedena iz neobnovljivih virov. Skratka, bioplastika je vsa plastika, razen tiste, ki je narejena le iz fosilnih goriv in je nerazgradljiva.



Slika 1: grafični prikaz različnih vrst plastike, povzeto po: https://www.konopko.si/files/file/Bioplastika-skladna-z-naravo_gradivo-za-sole.pdf

2.2 Konvencionalna plastika

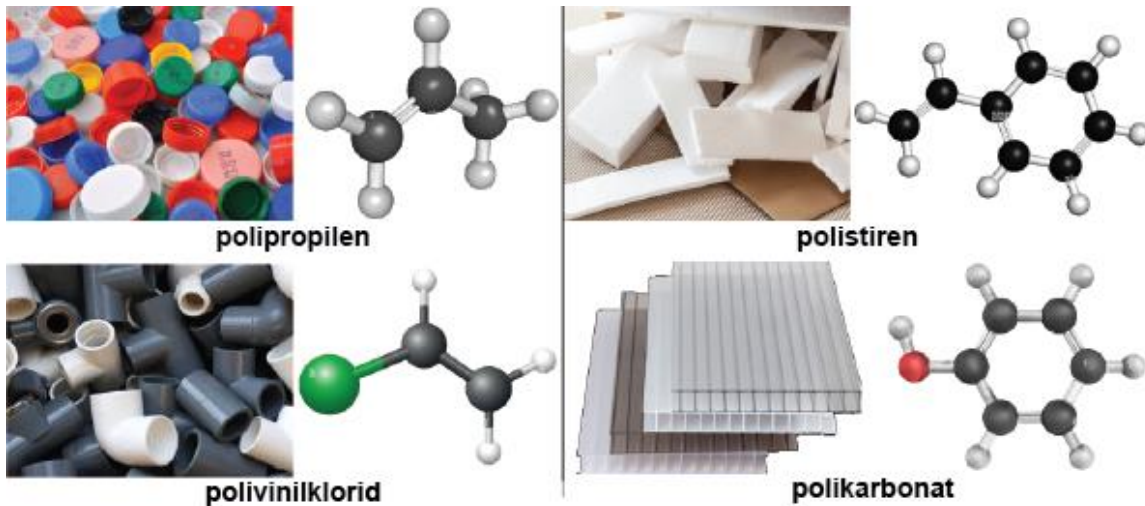
Glavna značilnost konvencionalne plastike je, da je proizvedena v petrokemijski industriji, ki iz fosilnih goriv z različnimi postopki surovo nafto spreminja v različne vrste plastike, ki jim je skupno, da so narejene iz polimerov, ki so bili pridobljeni iz organskih spojin. Ko surova nafta prispe v rafinerijo, s posebnim postopkom, imenovanim kreking, razbijejo makromolekule (dolge verige atomov različnih elementov, sestavljene iz enakih enot, ki so med seboj povezane s kovalentno vezjo), ki jih nafta vsebuje, ter iz njih naredijo monomere, ki so pravzaprav prej omenjene enote, ki sestavljajo polimere. S krekingom pridobijo nekaj osnovnih monomerov, ki jih lahko s kemično modifikacijo spremenijo v bolj kompleksne. Monomere spremenijo glede na to, katero vrsto plastike želijo dobiti. Po modifikaciji monomere s polimerizacijo ponovno sestavijo v polimere, ki pa imajo drugačne kemične in fizikalne lastnosti kot prejšnji.



Slika 2: plastične vrečke, dostopno na: <https://www.neste.com/>

Poznamo mnogo vrst umetnih polimerov, predstavil bom nekaj v plastični industriji najpogostejših. Nato se bom poglobil v vrsto polimera, iz katerega je bil eden od materialov, uporabljen v mojem poskusu. Pred opisom umetnih polimerov je treba razložiti še zapis njihove kemijske formule in simbola. Polimeri so dolge verige, ki v sebi vežejo veliko monomerov, zato po navadi v oklepaju zapišemo le formulo monomera, nato pa število monomerov, ki so v verigi (polimeru). Vsi pogosteje uporabljeni polimeri imajo svoje oznake oz. simbole. Velika črka P na začetku pomeni poli (poli je predpona, ki jo zapišemo na začetku imena vsakega umetnega polimera). Naslednje črke so simboli za monomer, ki je sestavna enota polimera (primer: **PVC PoliVinilKlorid**).

Eden izmed najbolj razširjenih polimerov je polipropilen. Le-ta ima oznako PP ter kemijsko formulo $(C_3H_6)_n$. V vsakdanjem življenju ga uporabljamo kot embalažo, ohišja električnih napeljav in avtomobilskih odbijačev. Njegova glavna značilnost je, da se upira udarcem ter obremenitvam brez spremembe oblike. Precej znan polimer je tudi polistiren z oznako PS in kemijsko formulo $(C_8H_8)_n$. Polistiren na splošno uporabljamo kot embalažo, najbolj poznan produkt iz polistirena je stiropor. Ena izmed zelo uporabnih prednosti polistirena je lastnost, da ga lahko zelo natančno oblikujemo v kalupih. V vsakdanji uporabi je razširjen tudi polivinilklorid (oznaka PVC). Polivinilklorid je eden izmed polimerov, pri katerih je viden postopek kemične modifikacije, saj je en atom vodika nadomeščen z enim atomom klora. To pomeni, da je kemijska formula polivinil klorida $(C_2H_3Cl)_n$. Uporabljamo ga za izdelavo plastičnih cevi, okenskih okvirjev ter talnih oblog. Polivinilklorid je zelo enostavno oblikovati s segrevanjem. Poznamo še en polimer, ki vsebuje tudi element, ki ni vodik ali ogljik. Polikarbonat (oznaka PC) ima kemijsko formulo $(C_{16}H_{14}O_3)_n$, ki nam pove, da je ta »dodatni« element kisik. Najpomembnejša lastnost polikarbonata je prozornost, zato se uporablja za izdelavo predmetov, ki morajo biti prozorni. To so na primer očala in semaforji. Ker pa je polikarbonat tudi precej trden, ga uporabljajo za izdelavo zaščitnih stekel.

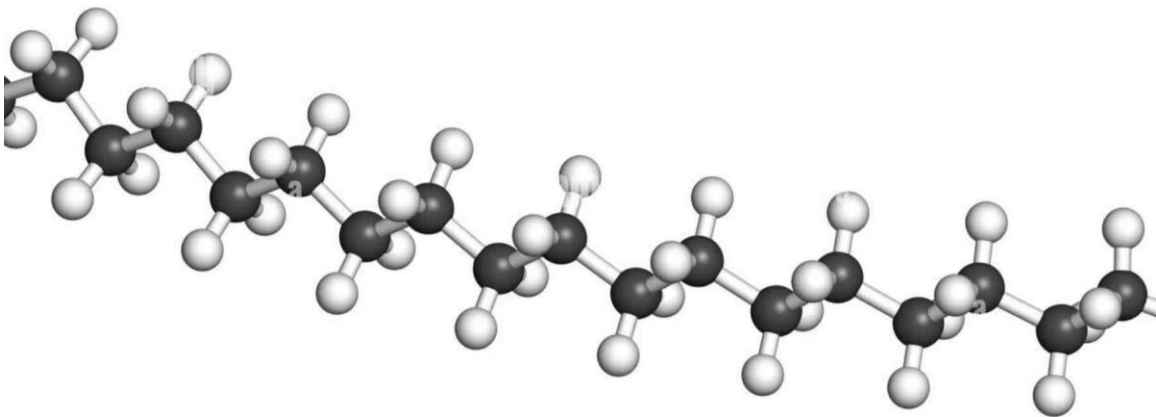


Slika 3: monomeri vseh opisanih polimerov s primeri vsakdanjih produktov, za katere jih uporabljamo, dostopno na: <https://www.alamy.com/>

Po svetu je najbolj razširjena vrsta umetne plastike prav polieten, ki sem ga uporabil v svojem eksperimentu. Po pomoti ga je leta 1898 ustvaril nemški kemik Hans von Pechmann, dejansko pa sta polieten odkrila in proučila njegova sodelavca Eugen Bemberger in Friedrich Tschirner. Polieten ali polietilen ima kemijsko formulo $(C_2H_4)_n$ in je precej preprost polimer. Med vsemi ogljikovimi atomi potekajo le enojne vezi, sestavljajo pa dolgo verigo monomerov. Osnovni monomer polietena je eten (C_2H_4), v katerem med ogljikovima atomoma poteka dvojna vez, ki pa se pri polimerizaciji razbije in uporabi, da se poveže z ostalimi monomeri. Molekula polietena je zaradi svoje linearne oblike navzven nepolarna, čeprav so vezi v njej polarne. Ker je voda polarna, polieten pa nepolaren, se polieten v vodi ne topi. Polieten ima manjšo gostoto kot voda, zato na njej plava.

Polieten ima veliko podvrst, ki se razlikujejo glede na molsko maso, razvejanost, kristaliziranost in gostoto. Te vrste so npr. polieten srednje gostote (MDPE), polieten zelo nizke gostote (VLDPE) ... Ker embalaža na vrečkah, ki sem jih uporabljal v poskusu, nima označene točne vrste polietena, žal ne morem natančno navesti nekaterih lastnosti vrečke (uporabljene vrste polietena). Najbolj razširjeni vrsti polietena pa sta polieten nizke gostote (LDPE) in polieten visoke gostote (HDPE), zato domnevam, da bi lahko bili vrsti, uporabljeni za izdelavo vrečk vključenih v poskus. Obe vrsti imata enako kemijsko formulo, s kemijskega

stališča pa se razlikujeta v gostoti, razvejanosti in kristaliziranosti. Medtem ko ima polieten visoke gostote višjo gostoto in kristaliziranost, je polieten nizke gostote bolj razvejan. Imata tudi različni tališči (LDPE ima tališče okoli 105 °C do 115 °C, HDPE pa nekje od 120 °C do 160 °C). Za industrijo plastike pa so pomembne še druge njune lastnosti. Za polietilen visoke gostote je značilno, da ne prepušča svetlobe, medtem ko je polietilen nizke gostote transparenten, vendar ne povsem (je rahlo »moten«). Za HDPE je značilna trdnost in vzdržljivost ter odpornost na kemikalije, zato se pogosto uporablja za izdelavo trdnejših plastičnih izdelkov (npr. plastenk ...). Za LDPE je značilna prožnost pri zelo nizkih temperaturah in odpornost na vlago. Zaradi njegove prožnosti se uporablja za izdelavo tanjših plastičnih izdelkov (npr. vrečk ...). Obe vrsti sta precej odporni na udarce, vendar imajo te nanju različne vplive. LDPE spremeni obliko, a se ne zlomi ali počí, HDPE pa po navadi zaradi svoje trdnosti ne spremeni oblike.



Slika 4: makromolekula polietena, dostopno na: <https://www.alamy.com/>



Slika 5: polietenska vrečka in polietenske kroglice, dostopno na: https://www.serpac.it/en/products/packagings/polyethylene-bags-for-packaging/?id_prod=682

2.2.1 Mikroplastika

Niso pa problem le večji kosi plastike, ki jih ljudje odvržejo v naravo. Nekateri znanstveniki menijo, da so najbolj nevarni prav majhni delci plastike, ki jim rečemo mikroplastika. To so delci, ki so manjši od 5 milimetrov. Prav zaradi njihove velikosti lahko pridejo povsod in tako škodujejo živim organizmom. Predvsem se kopičijo v vrhu prehranjevalne verige v morju in se tako prenašajo tudi v ljudi. Mikroplastiko delimo na tisto, ki v okolje pride direktno, npr. ostanki pnevmatik s cest, mikroperle v pilingih, zobnih pastah, in tisto, ki nastane z razpadanjem večjih kosov plastike v naravi, npr. plastičnih vrečk ter plastenk. Velik problem mikroplastike je tudi, da v naravi nikoli ne razpade povsem in tako s težkimi kovinami, ki se nabirajo na njej, in ostalimi toksičnimi snovmi (npr. PCB, organoklornimi pesticidi), ki jih vsebuje, škoduje zdravju organizma, s katerim pride v stik. V telesu se namreč lahko veže na maščobe in druge organske snovi, kar povečuje njeno sposobnost absorbiranja in prenašanja toksičnih kemikalij.

Mikroplastika se v naravnem okolju pojavlja zaradi razgradnje plastičnih odpadkov, ki so nepravilno odloženi ali se znajdejo v naravi. Vplivi sončne svetlobe, trenja in drugih zunanjih dejavnikov povzročijo, da se večji kosi plastike razgradijo na manjše delce. Poleg tega mikroplastika vstopa v okolje tudi preko odpadnih voda, ki vsebujejo delce iz kozmetičnih izdelkov, sintetičnih oblačil in drugih virov.

Mikroplastiko najdemo povsod okoli nas. V oceanih in rekah se prenaša z vodnim tokom, v zraku se mikrodelfci, npr. cestnih označb, prenašajo z vetrom, kopiči se v tleh, posledično v rastlinah, najdemo jo že v pitni vodi, morski hrani in celo v soli.

Mikroplastika je torej resna grožnja našemu okolju in zdravju, zato je nujno, da se zavedamo njenega vpliva in iščemo rešitve za zmanjšanje njene prisotnosti v naravi.

2.3 Bioplastika

Bioplastika je vsaka plastika, ki je biorazgradljiva (tj. biološko razgradljiva) ali je narejena iz bodisi le obnovljivih virov bodisi iz mešanice fosilnih goriv in obnovljivih virov. V tem delu je treba razjasniti nekaj pojmov. Obnovljivi viri so v industriji plastike predvsem naravni polimeri, npr. beljakovine, škrob, celuloza, hitin ... Biorazgradljivost je pojem, ki ga je težko strniti v kratko definicijo, vemo pa, da je temelj biorazgradljivosti to, da mikroorganizmi polimer prepoznajo kot enostavna hranila in vir energije ter ga začnejo razgrajevati (se z njim prehranjevati). Biorazgradnja lahko poteka pod vplivom abiotskih in biotskih dejavnikov. Abiotski so lahko voda, toplota, UV-sevanje, biotski pa predvsem mikroorganizmi. Biorazgradnja poteka v dveh fazah. To sta fragmentacija, ko material izgubi trdnost in počasi razpade na manjše delce, in mineralizacija, ko mikroorganizmi te manjše delce presnovijo iz organskih snovi v anorganske. Končni produkti te reakcije so voda, biomasa in CO₂.

Bioplastiko lahko najpreprosteje delimo glede na to ali je biorazgradljiva in iz česa je narejena. Tu pa je treba poudariti, da dovzetnost materiala za biorazgradnjo določa kemijska struktura polimera in ne, kot velja po splošnem prepričanju, iz česa je. To pomeni, da je s stališča biorazgradnje, vseeno ali je plastična masa nastala iz naravnih ali umetnih polimerov.

Skratka, bioplastiko delimo glede na

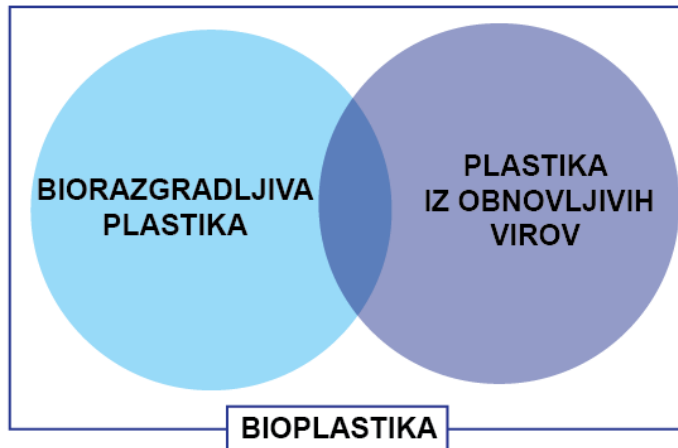
a) vir:

- bioplastika iz obnovljivih virov,
- bioplastika iz fosilnih virov in
- bioplastika iz mešanice obnovljivih in fosilnih virov

b) sposobnost razgradnje:

- biorazgradljiva plastika (sem spada tudi kompostirna plastika)
- plastika, ki ni biorazgradljiva

S kombinacijo teh dveh kriterijev, virov in razgradljivosti, imamo šest možnosti, ki so prikazane na spodnji sliki.



Slika 7: grafični prikaz razmerja med razgradljivo plastiko in bioplastiko, povzeto po: https://www.konopko.si/files/file/Bioplastika-skladna-z-naravo_gradivo-za-sole.pdf (glej sliko 6)

Bioplastika je najpogosteje narejena iz materialov, ki spadajo v vsaj eno od naslednjih skupin:

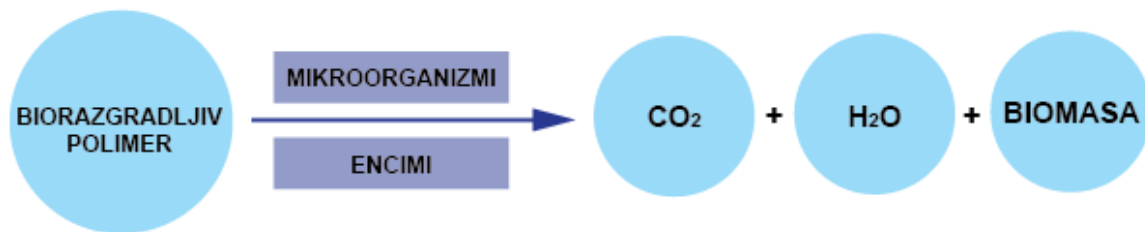
- plastike na osnovi škroba
- plastike na osnovi polimlečne kisline (PLA)
- plastike na osnovi polihidroksialkanoatov (PHA)
- plastike na osnovi alifatsko-aromatskih poliestrov
- plastike na osnovi celuloze (celofan ...)
- plastike na osnovi lignina

2.3.1 Kompostirna plastika

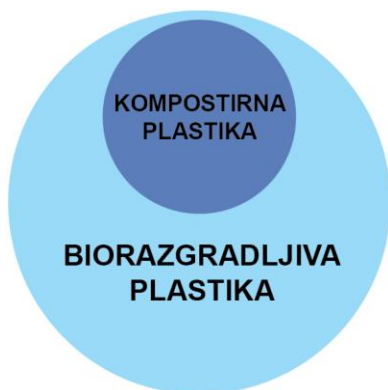
Za mojo raziskovalno nalogo pa je najpomembnejša podskupina biorazgradljive plastike (le-ta pa je podskupina bioplastike), imenovana kompostirna plastika. Enostavna definicija te vrste plastike je, da se biološko razgradi v času kompostnega cikla in ustreza določenim standardom, ki zahtevajo, da se je v 180 dneh razgradi vsaj 90 %, da največ 5 % komponent ni kompostirnih in da ne sme

vsebovati previsoke vsebnosti težkih kovin. Pomembna lastnost kompostirne plastike je, da v kompost oz. naravo ne vnaša nobenih strupenih snovi. Tu pa je treba poudariti, da kljub temu vrečk iz kompostirne plastike ne odlagamo v naravo, saj v času, ko še ni razgrajena, predstavlja nevarnost za okolje in ga onesnažuje. Največ kompostirne plastike je narejene iz polimlečne kisline (PLA), ki je na splošno najpogosteje uporabljen material za izdelavo bioplastike.

Kompostirna plastika se deli na dve skupini: na plastiko za domače kompostiranje in plastiko za industrijsko kompostiranje. Razlika med njima je, da je plastika za industrijsko kompostiranje namenjena industrijskemu kompostiranju, ki poteka pri bistveno višjih temperaturah, kar pomeni, da je temperatura v kompostni kopici vsaj en teden nad 60 °C. Produkti, ki nastanejo po industrijskem kompostiranju, so velikokrat namenjeni kmetijski uporabi. Za plastiko za domače kompostiranje pa je značilno, da se razgradi (lahko tudi na domačem kompostu) pri mnogo nižjih temperaturah, se pravi do 30 °C.



Slika 8: pregleden prikaz biorazgradnje, povzeto po: https://www.konopko.si/files/file/Bioplastika-skladna-z-naravo_gradivo-za-sole.pdf



Slika 9: grafični prikaz razmerja med kompostirno plastiko in biorazgradljivo plastiko, povzeto po: glej sliko 8



Slika 10: biorazgradljiva vrečka, dostopno na: https://www.uspolypack.com/15x17-Compostable-Produce-Bags-on-a-Roll-06-mil-Case1200_p_3044.html

2.4 Razkrojevalci – mokaerji

Da lahko razumemo rezultate eksperimenta, moramo razumeti tudi nekaj teoretičnih osnov o razkrojevalcih, ki so bili ključni za izvedbo poskusa. Za raziskavo sem izbral mokaerje, saj sem zasledil nekaj strokovnih člankov o tem, da bi mokaerji lahko razkrajali tudi plastiko.

Mokaerji so del kraljestva živali. Spadajo med členonožce, v razred insektov, v red Coleoptera. Uvrščamo jih v družino Tenebrionidae, rod *Tenebrio*. V poskusu sem uporabil rumene mokaerje (z latinskim imenom *Tenebrio molitor*), ki so na trgu najbolj razširjeni.

Mokaerji so razkrojevalci ter detritivori (organizmi, ki se hranijo z organskimi ostanki). Pravzaprav znanstveniki še niso povsem dognali, v katero skupino spadajo, saj za njih drži mnogo lastnosti, značilnih za obe skupini, kar znanstvenike vodi do mnenja, da spadajo v obe. Imajo popolno preobrazbo, kar pomeni, da je njihov življenjski cikel sestavljen iz štirih stopenj. Prva stopnja je jajčece, ki pri omenjeni vrsti mokaerja traja približno 4–13 dni. Jajčece je zelo majhno (približno 2 mm²), vendar vidno s prostim očesom. Nato se jajčece spremeni v majhno ličinko. Ličinka raste in se med svojo rastjo levi. Omenjena stopnja razvoja traja približno od 8 do 10 tednov. Ličinke so svetlo rjave in so videti kot manjši črvi. Glava je rahlo debelejša kot preostali trup ter vidna. Nogice imajo mokaerji nameščene po spodnjem delu glave ter po delu trupa čisto pred glavo, se pravi v sprednjem delu telesa. Proti koncu trupa se telo vedno bolj oži. Ličinka mokaerja se levi, vse dokler ne doseže stopnje odrasle ličinke, ki je v povprečju dolga 2,5 cm. Preden se ličinka zabubi, se še zadnjič levi in tokrat je njen lev zvit in ne raven oziroma rahlo bolj ukrivljen kot sicer. Buba je bela, na grobo pa jo lahko razdelimo na nekakšen repek, ki se premika, ko se je dotaknemo, ter na glavo, ki je debelejša kot rep in nekako nagnjena naprej. Mokaer je na razvojni stopnji bube približno od 6 do 18 dni, nato pa se spremeni v hroščča. Če se buba pravilno preobrazi v hroščča, je ta je prvih nekaj ur svetle (bele) barve, nato se spremeni v rjavega, popolnoma odrasel hrošč pa je črn. Hroščči imajo telo razdeljeno na glavo

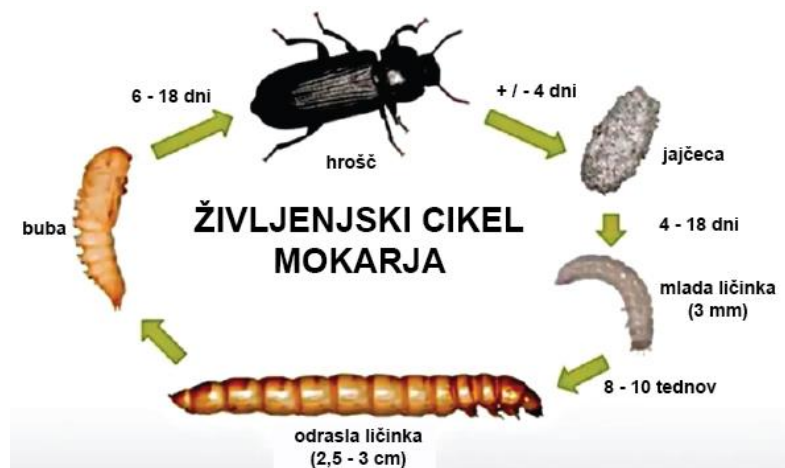
in trup. Glava je na začetku enako široka kot trup, nato pa je zaobljena in velika približno toliko kot pri ličinki, na njej pa sta še dve tipalki. Trup je razdeljen na dve polovici – krili, vendar mokaerji z njima ne morejo leteti. Hrošč mokaerja ima šest nog, tako kot ličinka. Mokaerji se delijo na dva spola. Moški mokaerji samice privabljajo s posebnimi feromoni.

Mokaerji najraje jedo moko, pšenične otrobe, koruzne otrobe ipd. Za njihov razvoj je najboljša temperatura okoli 25 °C. Raziskave so pokazale, da temperature, ki ne segajo pod 5 °C ali nad 30 °C, mokaerjem ne škodujejo, temveč le upočasnjujejo njihov razvoj. Tako lahko mokaerje hranimo tudi v hladilniku in ne bodo pomrli, se bo pa njihov razvoj popolnoma ustavil. Mokaerji lahko precej dolgo preživijo brez vode, načeloma pa jo pridobivajo iz sadja ali zelenjave (hrana, ki vsebuje veliko vlage) ter zraka (mokaerjem ustreza vlažno ozračje).

Mokaerje na trgu prodajajo predvsem za hrano domačim ljubljencem (predvsem plazilcem, vendar jih lahko jedo tudi psi in mačke), saj so odličen vir beljakovin in zdravih maščob. Zadnje obdobje so se začeli pojavljati tudi v prehrani ljudi kot zelena alternativa mesu, saj vsebujejo podobna hranila in so mnogo bolj ekološki za pridelavo.



Slika 11: mokaerji v različnih razvojnih fazah, dostopno na: <https://mealwormcare.org/life-cycle/>



Slika 12: življenjski cikel mokaerja, dostopno na: <https://atbuz.com/post/mealworm-life-cycle/>



Slika 13: fotografije mokarjev v različnih fazah razvoja: a – ličinka (levitev), b in c – zabubljenje, d – razvojna faza bube in mladi hrošč

3. Praktični del

3.1 Metode dela

Praktični del naloge sem zasnoval kot tri tedne trajajoč poskus, ki sem ga poimenoval »Življenje mokařev«. Ker se je tekom eksperimenta pojavilo nekaj dodatnih vprařanj, sem poleg osnovnega poskusa opravil še manjši dodaten poskus, ki sem ga poimenoval »Izbira mokařev«. Poskuse sem izvajal približno dva meseca. S prvim poskusom sem začel 9. 11. 2024, z vsemi poskusi pa sem končal 3. 1. 2025.

3.1.1 Poskus »življenje mokařev«

Poskus je temeljil na opazovanju vitalnosti in hitrosti razvoja mokařev glede na skupino. Posamezen poskus je trajal tri tedne, izvedel pa sem dva zaporedna poskusa. Mokaře sem razdelil na štiri skupine, ki so se med seboj razlikovale le po vrsti hrane, ki so jo mokaři uživali. Prostor in ostale razmere so bile za vse skupine enake.

Vsaka skupina mokařev je imela zatemnjeno škatlo z merami 28 × 38 × 9 cm, kar jim je dajalo dovolj velik prostor in jim onemogočalo pobeg. Vsaka izmed škatel je imela v pokrovu izvrtane luknjice za zrak, tako da so ga imeli mokaři dovolj za preživetje. V vsaki škatli je bil v kotu tudi manjši krožnik, na katerega sem odlagal bube, ker le-te ne smejo biti v bližini ličink, saj lahko pride do kanibalizma. Temperature v škatli so se gibale med 22 °C in 23 °C.

Na začetku poskusa sem v vsako škatlo namestil 30 mokařev, ki so imeli skupno težo 3,5 g. V škatle sem nato dodal 2,5 g »hrane«, ki pa je bila različna za vsako skupino. V prvo, kontrolno, skupino sem dal pšenične otrobe, v drugo vrečko iz polietena, v tretjo vrečko iz plastike za domače kompostiranje in v četrto vrečko iz

plastike za industrijsko kompostiranje. Vse vrečke sem tudi narezal na približno enake kose, da so se molarji z njimi lažje zastrli, saj to radi počno. Enkrat na teden (vsako nedeljo) sem vzel molarje iz škatle, le-to očistil in vanjo spet namestil 2,5 g »sveže hrane«. Molarje sem vsako nedeljo tudi stehal (ličinke in hrošče skupaj, bube pa posebej) in za vsakega podrobno preveril, ali še živi. Sicer sem mrtve bube ali ličinke odstranjeval že med tednom, vendar sem se ob nedeljah želel še dodatno prepričati, da so v škatli res le še živi molarji. V nedeljo je bil tudi edini dan, ko sem natančno pregledoval ali so bube še žive. Molarje sem hidriral tako, da sem vsak dan proti večeru, ko sem izvajal pregled, s pršilko štirikrat popršil po pokrovu, tako da so na njem nastale zelo majhne kapljice, ki so vlažile zrak in hidrirale molarje. Tu velja povedati, da sem v prvem poskusu s hidriranjem še malo eksperimentiral. Prvi dan poskusa sem molarjem dal narezan korenček (1,5 g), vendar so ga pojedli toliko, da sem se bal, da bo to popolnoma izničilo razliko v »osnovni« hrani. Zato sem prešel na pršenje pokrova. Ker se molarji med rastjo levijo, sem spremljal tudi število levov, ki so jih molarji odvrgli. Vsak dan sem jih odstranil, da se molarji z njimi ne bi hranili, ter zapisal, kako ohranjeni so.

V prvi skupini (kontrolna skupina), so se molarji hranili s pšeničnimi otrobi, ki so za njih najboljša hrana. Namen te skupine je bil ugotoviti, ali so ostali pogoji (poleg hrane) dovolj dobri za življenje molarjev. Sicer sem v rezultate vključil tudi to skupino, saj me je zanimalo, koliko slabša je druga hrana.

Molarji, ki so spadali v drugo skupino, so se hranili s polietenom. S to skupino sem želel izvedeti, kako umetna plastika vpliva na molarje in kakšna je razlika napram bioplastiki oziroma natančneje kompostirni plastiki.

Hrana v tretji skupini je bila plastika za domače kompostiranje, katere namen je bil ugotoviti, ali je resnično manj škodljiva za molarje kot polieten, in jo primerjati s plastiko za industrijsko kompostiranje.

S plastiko za industrijsko kompostiranje so se hranili molarji iz četrte skupine. Namen te skupine je bil primerjati plastiko za domače in plastiko za industrijsko kompostiranje.

Spremenljivka	Odvisne spremenljivke	Konstante
hrana	vitalnost molarjev	vlažnost zraka
	smrtnost molarjev	količina hrane
	hitrost razvoja molarjev	temperatura
	teža molarjev	živiljenjski prostor (velikost škatle)
		osvetljenost



Slika 14: priprava škatel in prikaz prvega poskusa, ki sem ga poimenoval »življenje molarjev«



Slika 15: a – škatla s skupino s plastiko za industrijsko kompostiranje, ličinke so na dnu škatle, na krožničku je buba, b – ličinke in bube mokaarjev v škatli s polietenom (preden sem bube premaknil na krožniček)

3.1.2 Poskus »izbira mokaarjev«

Poskus je temelj na opazovanju, katero hrano prednostno izberejo mokaarji. Prvi tak poskus sem izvedel 16. 12. 2025. Poskus traja tri dni, izvedel sem tri ponovitve, ki so vključevale vse štiri vrste hrane, in tri poskuse, ki so vključevali le plastiko za domače kompostiranje in polieten. V poskusu sem uporabil enake škatle kot pri poskusu »življenje mokaarjev«. Na sredino krajših stranic sem pritrdil dovolj veliko pregrado, da je mokaarji niso mogli prelesti, pregrada pa je bila tudi dovolj kratka, da sem lahko mokaarje namestil čisto na sredino. Tako so nastali štirje enaki prostorčki, ki so bili namenjeni za hrano, vmesni prostor pa je bil prazen. Vanj sem na začetku poskusa odložil mokaarje. Ozračje sem vlažil na enak način kot pri

poskusu »življenje molarjev«. V prvem sklopu poskusov sem v vsak prostorček dal po 0,5 g hrane. V vsakem prostorčku je bila drugačna vrsta hrane (pšenični otrobi, polieten, plastika za domače kompostiranje in plastika za industrijsko kompostiranje). Tudi tu sem vrečke razrezal. Na sredino sem nato odložil 30 molarjev in nato vsak dan preštel, koliko jih je v katerem prostorčku. V sklopu poskusov sem v diagonalna prostorčka namestil 0,5 g plastike za domače kompostiranje, v preostala dva prostorčka pa polieten. Število molarjev je bilo enako kot pri prvem sklopu poskusov, enako je potekalo tudi opazovanje.

Spremenljivka	Odvisne spremenljivke	Konstante
hrana v prostorčkih	število molarjev v prostorčku pri posamezni hrani	vlažnost zraka
		količina in položaj hrane
		temperatura
		velikost škatle
		osvetljenost



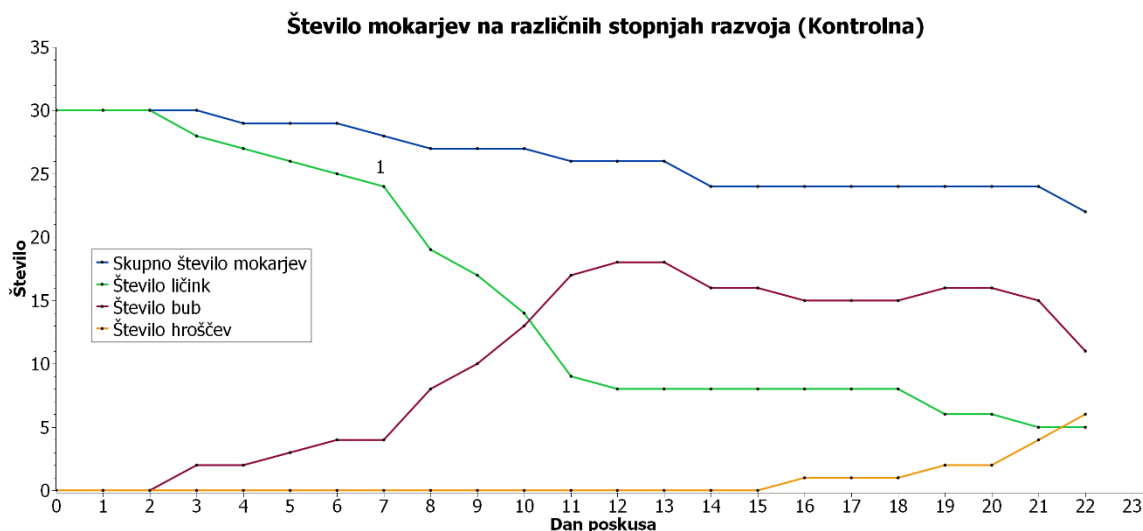
Slika 16: poskus, ki sem ga poimenoval »izbira molarjev«, prva izvedba, a – na začetku poskusa, b – proti koncu poskusa

3.2 Rezultati poskusa »življenje molarjev«

3.2.1 Kontrolna skupina

REZULTATI

Pričakovano so molarji v kontrolni skupini, ki so se hranili s pšeničnimi otrobi, živeli dobro in bolje kot druge skupine. Bili so edina skupina, v kateri se je povprečna masa molarjev zvišala v obeh ponovitvah poskusa. Tekom poskusa sem opazoval tudi njihovo obnašanje in ves čas so bili videti precej živahni (precej so se premikali in rili po pšeničnih otrobih). Zanimivo je, da jim je v drugi ponovitvi poskusa začelo proti koncu tedna (preden sem ponovno zamenjal hrano) le-te zmanjkovati. Vse bolj so se zatekali pod krožnik, kjer so se lahko skrili, čeprav pod njim ni bilo hrane. Kljub temu da se to ni odrazilo na grafih, je to zelo pomemben podatek, saj nam pove, da so ti molarji pojedli mnogo več kot v drugih skupinah, v katerih jim hranil nikoli ni primanjkovalo (ob koncu tedna so vedno imeli še skoraj vso hrano).

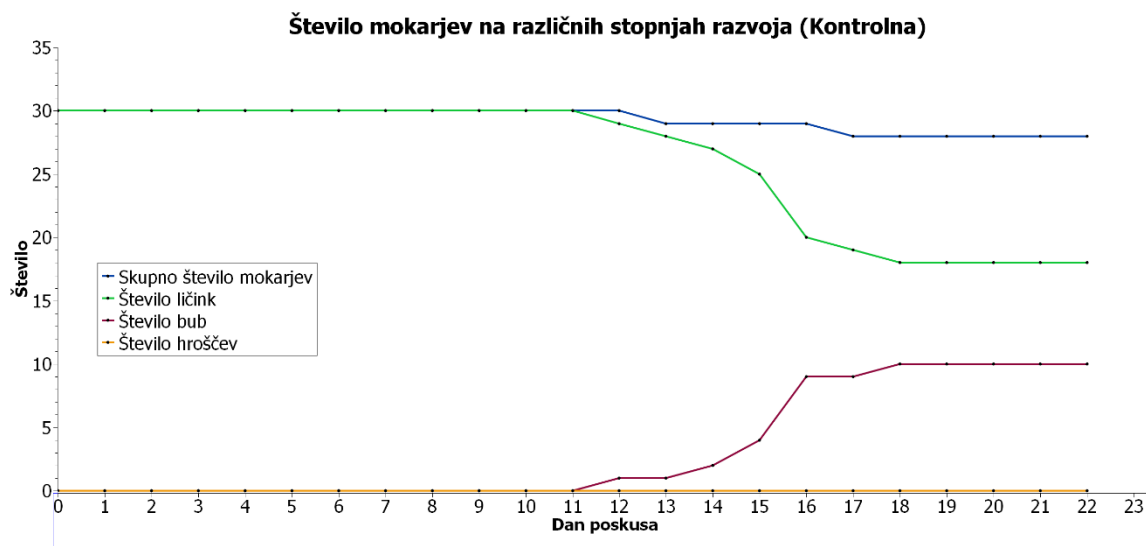


Graf 1: prikaz števila molarjev na različnih razvojnih stopnjah (prva izvedba poskusa)

1. Molarji so začenjali postajati bolj črni in manj vitalni.



Slika 17: ličinke mokaarjev so postale bolj črne, posušene (na sliki umrli mokaar)

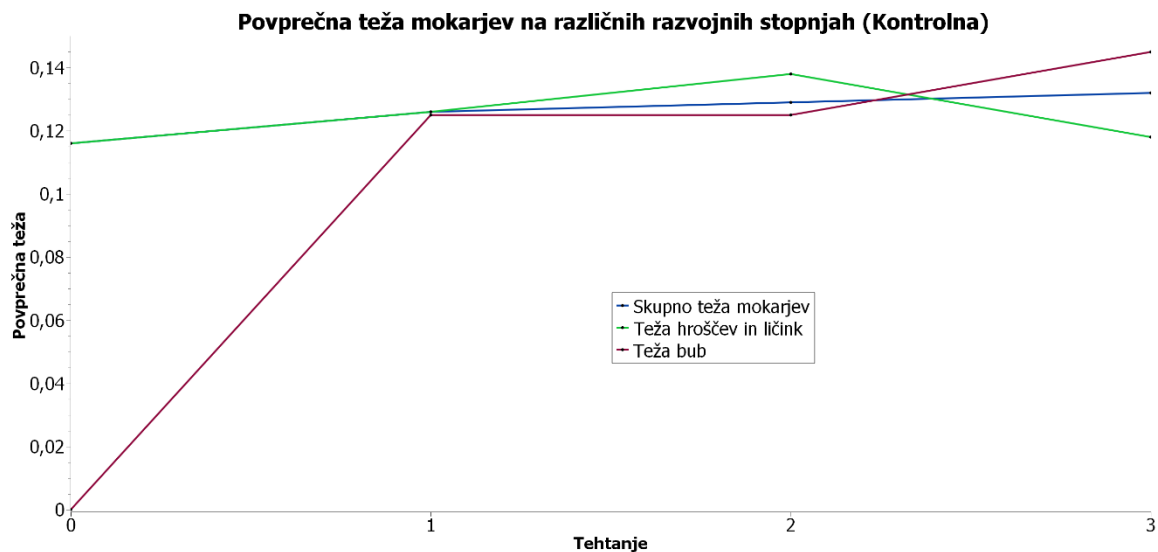


Graf 2: Prikaz števila mokaarjev na različnih razvojnih stopnjah (druga izvedba poskusa)

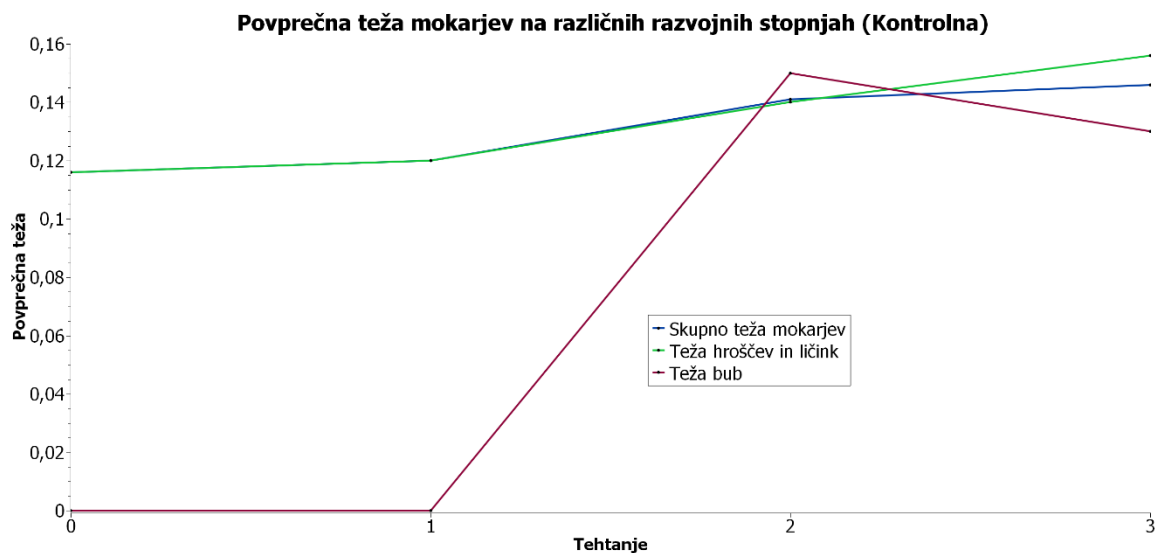
Pri mokaarjih v kontrolnih skupinah je življenje potekalo brez posebnosti, edini omembe vreden dogodek je bil, da so v sedmem dnevu prve izvedbe poskusa mokaarji nenadoma postali temnejši, nekateri pa so imeli tudi črne proge. To nakazuje na dehidracijo. Stanje se je po nekaj dneh, prav tako kot pri ostalih skupinah, izboljšalo.

Pri ogledu grafov pa opazimo precejšnjo neskladnost med prvo in drugo izvedbo poskusa. Sklepam, da je to posledica dejstva, da sem pri tem poskusu uporabil mokaarje drugega rejca, saj so bili ostali pogoji enaki pri obeh izvedbah. Do neskladnosti je sicer prihajalo tudi v drugih skupinah.

Povprečna teža molarjev je tekom poskusa precej nihala in to pri prav vseh skupinah, vendar je pri molarjih iz kontrolne skupine razvidno, da so pridobili precej teže.



Graf 3: prikaz povprečne teže molarjev na različnih razvojnih stopnjah (prva izvedba poskusa)



Graf 4: prikaz povprečne teže molarjev na različnih razvojnih stopnjah (druga izvedba poskusa)

Neskladnost med poskusoma je v tem primeru mnogo manjša kot pri prejšnjih grafih. Pri obeh poskusih lahko enostavno razberemo, da so molarji na vseh razvojnih stopnjah pridobili telesno maso.

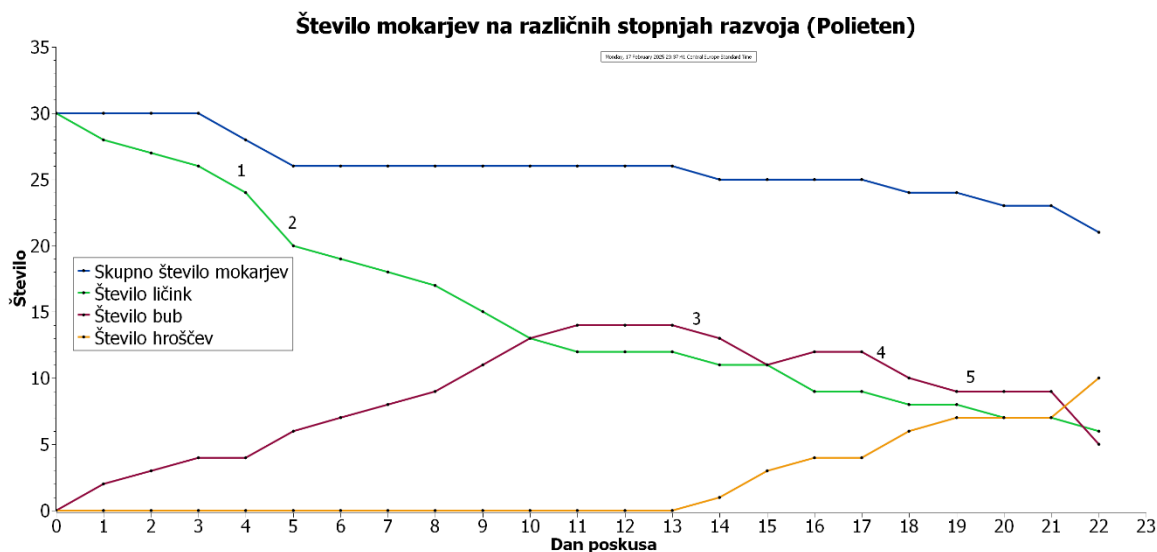
INTERPRETACIJA REZULTATOV

Pri kontrolni skupini pravzaprav ni nobenih posebnih ali nenavadnih rezultatov. Pozornost vzbudita morda le nenadna padca teže ličink in hroščev v prvi ponovitvi poskusa (graf 3) ter izguba teže bub v drugem poskusu (graf 4). Padec teže ličink in hroščev je po mojem mnenju povezan s premajhnim vzorcem (ličink in hroščev je bilo takrat le 11) ter tem, da so bile takrat ličinke le še tisti molarji, ki so bili ob začetku poskusa še na nizki stopnji razvoja in do konca poskusa še niso uspeli doseči polne teže, ki bi lahko nadomestila težo težkih molarjev, ki so se ob koncu poskusa zabubili. Poleg tega obstaja tudi minimalna razlika v teži med hrošči in ličinkami, in sicer so hrošči malo lažji, kar pomeni, da večji kot je delež hroščev, nižja je povprečna teža ličink in hroščev. Za padec teže bub sicer ne najdem odgovora, vendar menim, da ima povezavo z izgubo teže bub v zadnjem tednu. Od zadnjega merjenja teže pa do konca poskusa se je zabubilo šest bub, ki pa so bile morda malo lažje, kar je vplivalo na nižjo skupno maso bub ob koncu poskusa.

3.2.2 Skupina – polieten

REZULTATI

Mokarji, ki so se hranili s polietensko plastiko, so prinesli kar nekaj zanimivih odkritij. Pričakovano so živeli precej slabše kot tisti iz kontrolne skupine. Tudi v tej skupini je prišlo do velikih razlik med prvo in drugo ponovitvijo poskusa, vendar lahko iz poskusa razberemo nekaj pomembnih podatkov. Predvsem je bilo za molarje iz te skupine značilno, da so bili zelo apatični, videti pa so bili tudi precej manj vitalni kot v kontrolni skupini. Bili so mnogo temnejše barve kot molarji iz ostalih skupin. Iz njihove škatle je prihajal tudi zelo čuden (smrdljiv) vonj. Med poskusom sem opazil, da je bilo v škatli te skupine precej več iztrebkov kot pri drugih skupinah.



Graf 5: prikaz števila molarjev na različnih razvojnih stopnjah (prva izvedba poskusa)

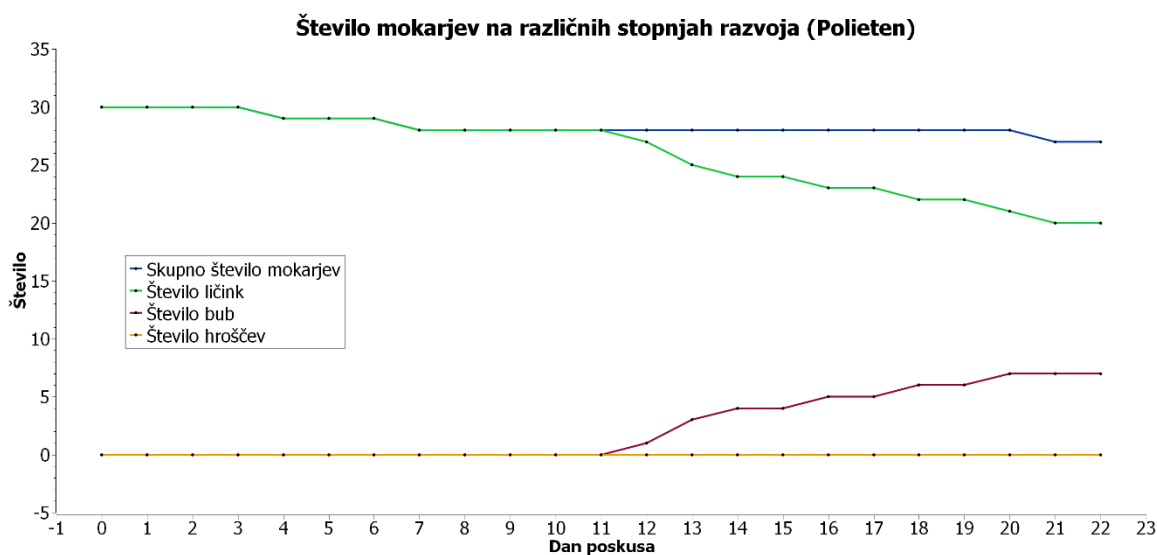
1. Dva molarja sta umrla. Bila sta brez glave, ki je ležala poleg njiju in s črnimi ostanki vratu.
2. Ponovno sta dva molarja umrla. Bila sta brez glave, ki je ležala poleg njiju in s črnimi ostanki vratu.
3. En molar je bil celoten pojeđen (praktično nič ostankov).
4. En molar je bil pojeđen, vendar precej ohranjen.

5. Umrli mokar je bil videti kot lev, vendar sem po natančnem pregledu opazil glavo, ki je je ostalo le še malo.



Slika 18: kanibalizem med mokarji

V prvi ponovitvi poskusa se je morda zgodila najpomembnejša stvar celotnega poskusa. V skupini s polietensko plastiko je kar šest mokarjev umrlo zaradi kanibalizma. Ta se razvije takrat, ko je na voljo premalo hrane ali vlage. Ko mokarji drugemu mokarju odgriznejo glavo, to storijo z namenom, da iz njega posrkajo hranila in vlago.

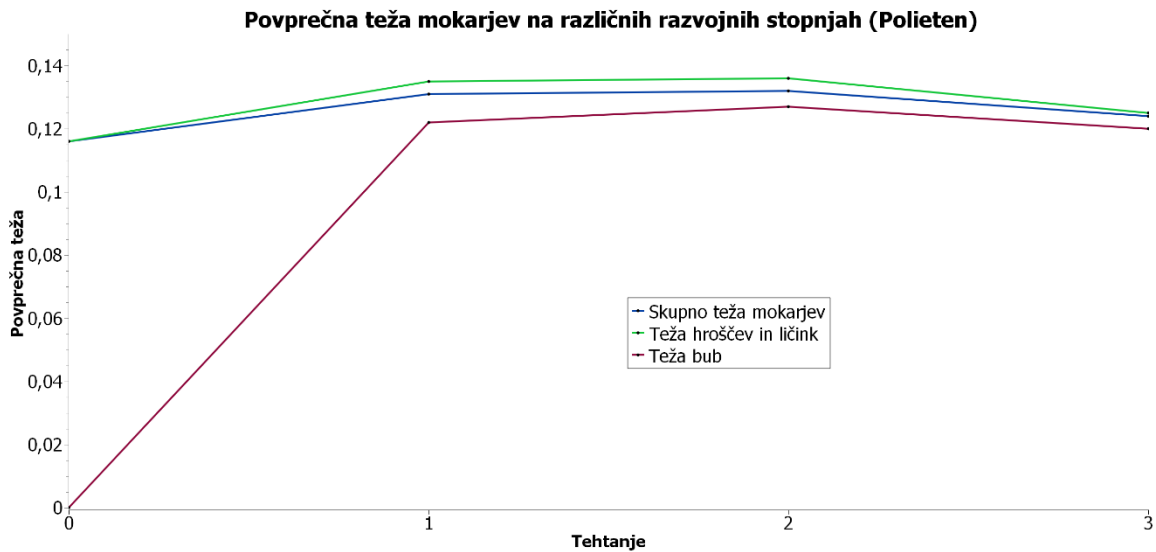


Graf 6: prikaz števila mokarjev na različnih razvojnih stopnjah (druga izvedba poskusa)

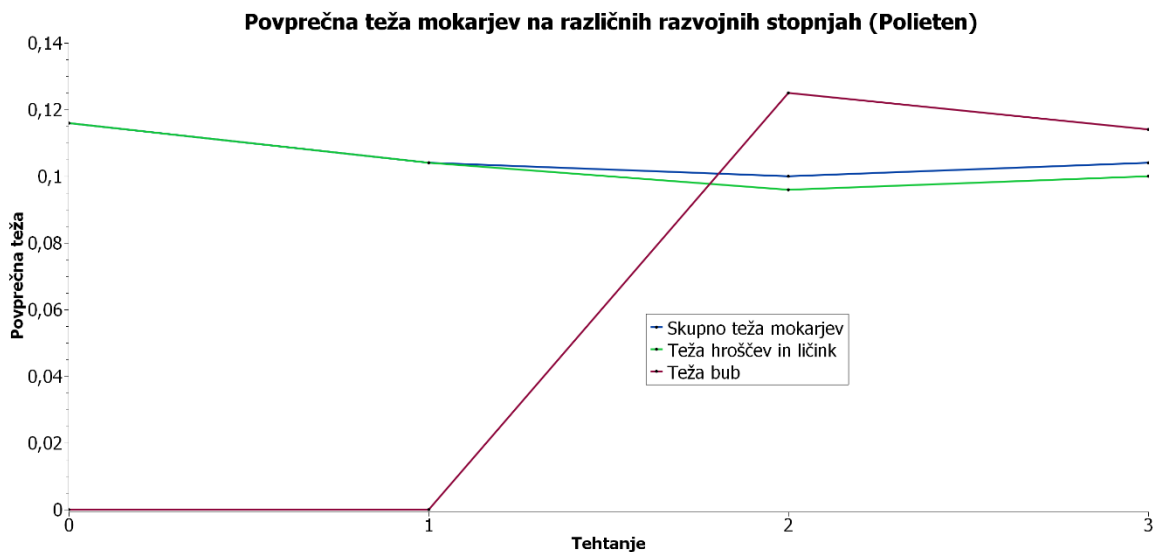
V drugi ponovitvi poskusa se na moje presenečenje kanibalizem ni razvil, prav tako pa se močno razlikujejo tudi rezultati. Smrtnost je bila bistveno nižja kot v prvi ponovitvi poskusa, razvilo se je mnogo manj bub, hroščev pa v drugi ponoviti sploh

ni bilo. Ponovno menim, da je potrebno neujemanje pripisati molarjem različnih gojiteljev.

Tudi pri masi molarjev je bila med dvema izvedbama poskusa velika razlika (0,025 g na molarja).



Graf 7: prikaz povprečne teže molarjev na različnih razvojnih stopnjah (prva izvedba poskusa)



Graf 8: prikaz povprečne teže molarjev na različnih razvojnih stopnjah (druga izvedba poskusa)

Na grafih lahko opazimo, da se je molarjem, hranjenim s polietenom, v prvi izvedbi poskusa rahlo povečala telesna masa, v drugi izvedbi pa so je precej izgubili.

INTERPRETACIJA REZULTATOV

Najpomembnejši pojav, ki v skupini s polietenom potrebuje razlago, je kanibalizem. Kot že povedano, se pojavi takrat, ko je to najlažja pot do hrane, ki je sicer primanjkuje. Odgriznjena glava je zelo značilna za kanibalizem, pri katerem želijo mokaarji pridobiti vlago. Dodam lahko tudi, da so se primeri, ko so mokaarjem odgriznili glavo, dogajali v času, ko je mokaarjem v vseh skupinah vidno primanjkovalo vlage. To obdobje je sicer v tej skupini izrazitejše in daljše. Razlog za to je verjetno hrana (polieten), iz katere mokaarji najbrž niso mogli pridobivati dovolj vode. Pri skupini s polietenom je poleg kanibalizma zanimiv dogodek tudi nenaden vzpon teže bub v drugi ponovitvi in nato precejšen padec (graf 8). Nenaden vzpon je verjetno povezan s hitrim vzponom števila bub, ki jih pred prvim tehtanjem še ni bilo. Po drugem tehtanju so se zabubile le še tri ličinke, ki pa so se zabubile precej kmalu po merjenju. Ponovno domnevam, da so do konca poskusa izgubile precej mase (tako kot bube, ki so se zabubile že prej) in tako znižale povprečno težo. Pri tej skupini poleg teh dveh dogodkov ni bilo večjih presenečenj. Malo me je presenetilo le, da se v drugi ponovitvi kanibalizem ni pojavil in da so mokaarji iz te skupine poskus preživel precej dobro.

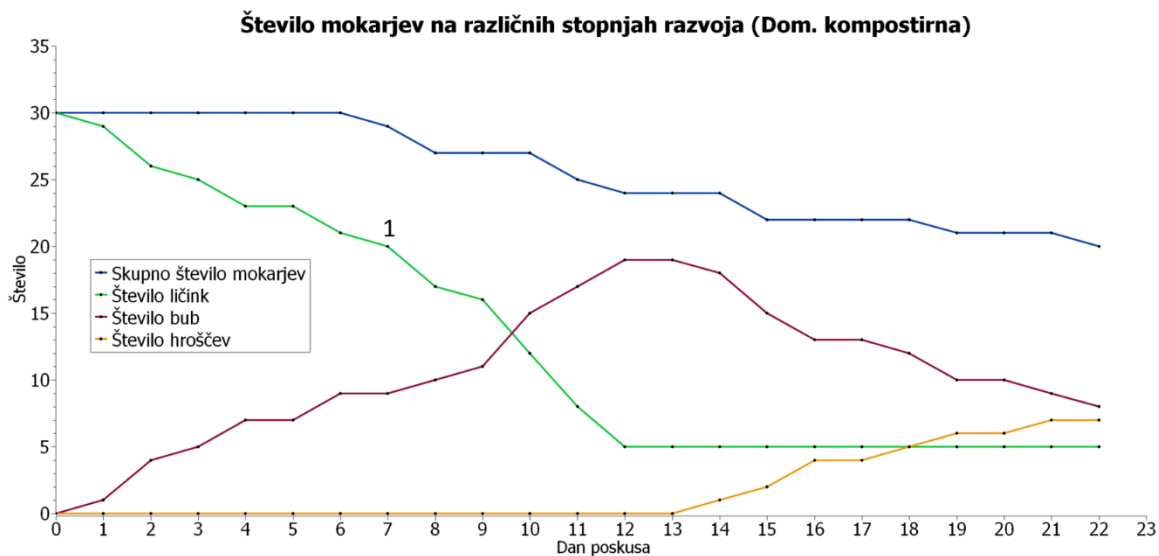
3.2.3 Skupina – plastika za domače kompostiranje

REZULTATI

Splošno vitalnost mokařev, ki so se hranili s plastiko za domače kompostiranje, lahko ocenim kot precej slabo. Sicer je bilo med ponovitvama ponovno precej neujemanja, a kljub temu je bila vitalnost v obeh ponovitvah pod pričakovanji. Treba je povedati, da se je v tej skupini zgodilo nekaj posebnega. Narezana vrečka se je napila vlage in postala zelo lepljiva. To je verjetno vodilo do tega, da so se mokaři v tej skupini laŹje hidrirali, saj so vodo lahko pridobivali iz hrane. Poseben dogodek, ki se sicer ni pretirano odrazil na rezultatih, pa je vendarle omembe vreden, je bil deformiran hrošč. Le-ta se je v hrošča razvil z normalnim sprednjim delom in zadnjim delom, ki se ni normalno razvil in ostal enak bubi. V literaturi sem zasledil, da se to lahko zgodi slučajno ali kot posledica poškodbe in da to pogosto pripelje do tega, da del, ki je ostanek bube, ostali mokaři pojedjo, kar se je zadnji dan tudi zgodilo.

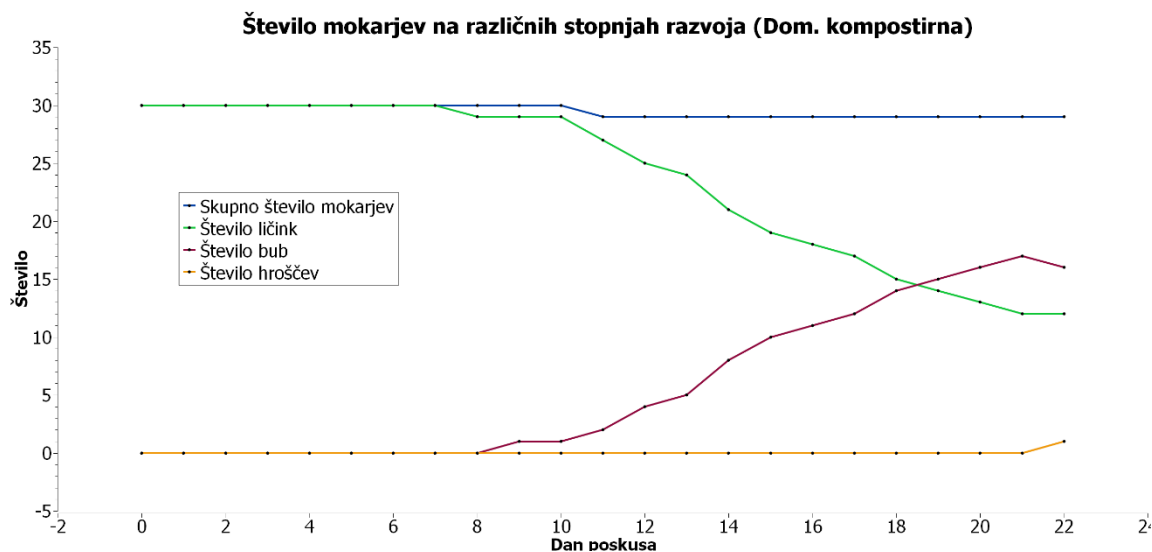


Slika 19: ostanke mokařja, ki se ni popolnoma razvil v hrošča



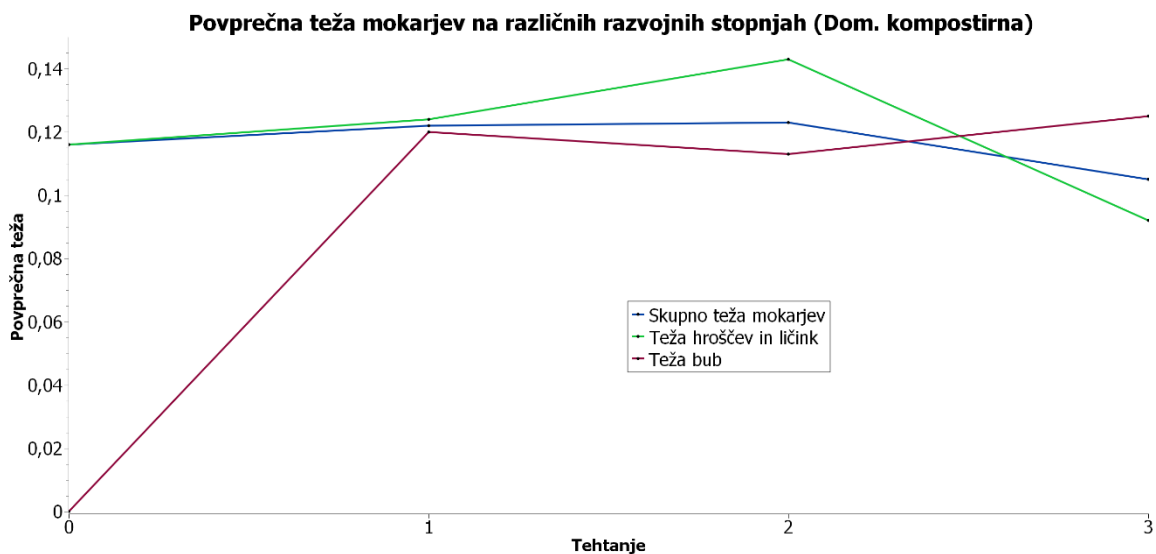
Graf 9: prikaz števila molarjev na različnih razvojnih stopnjah (prva izvedba poskusa)

1. Molarji so začeli postajati bolj črni in manj vitalni.

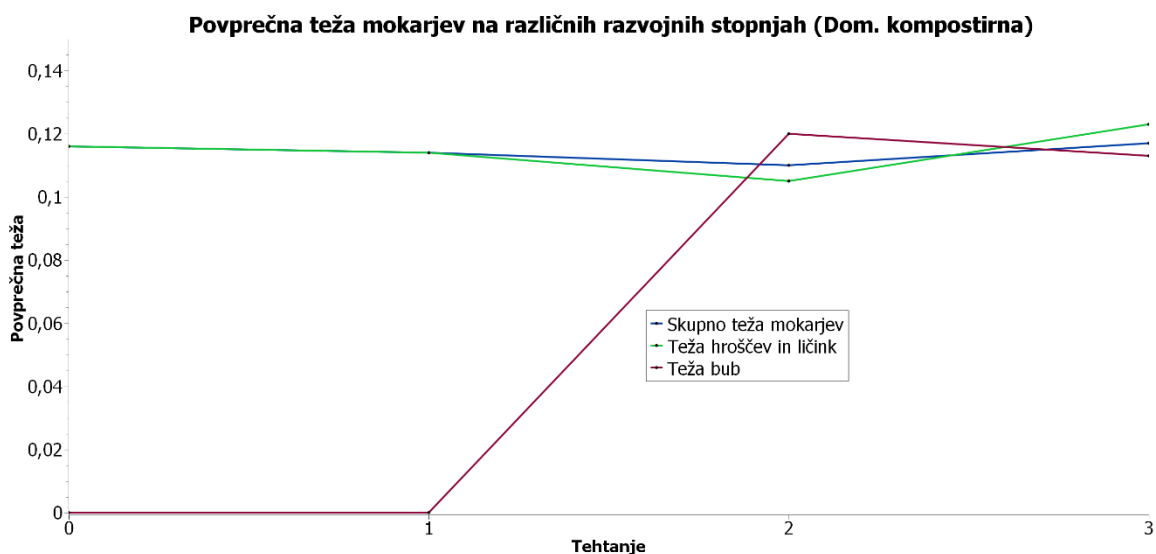


Graf 10: prikaz števila molarjev na različnih razvojnih stopnjah (druga izvedba poskusa)

Kot vidimo, so se bube v tej skupini razvijale hitreje in so ob koncu druge ponovitve celo skoraj dosegle največje število bub iz prve ponovitve. Ta skupina je bila tudi edina, v kateri se je v drugi ponovitvi razvil hrošč.



Graf 11: prikaz povprečne teže molarjev na različnih razvojnih stopnjah (prva izvedba poskusa)



Graf 12: prikaz povprečne teže molarjev na različnih razvojnih stopnjah (druga izvedba poskusa)

Opazimo lahko, da so v prvi izvedbi poskusa razlike v teži med ličinkami in hrošči ter bubami zelo velike (0,033 g), medtem ko so razlike v drugi izvedbi poskusa precej majhne (le nekaj tisočink grama).

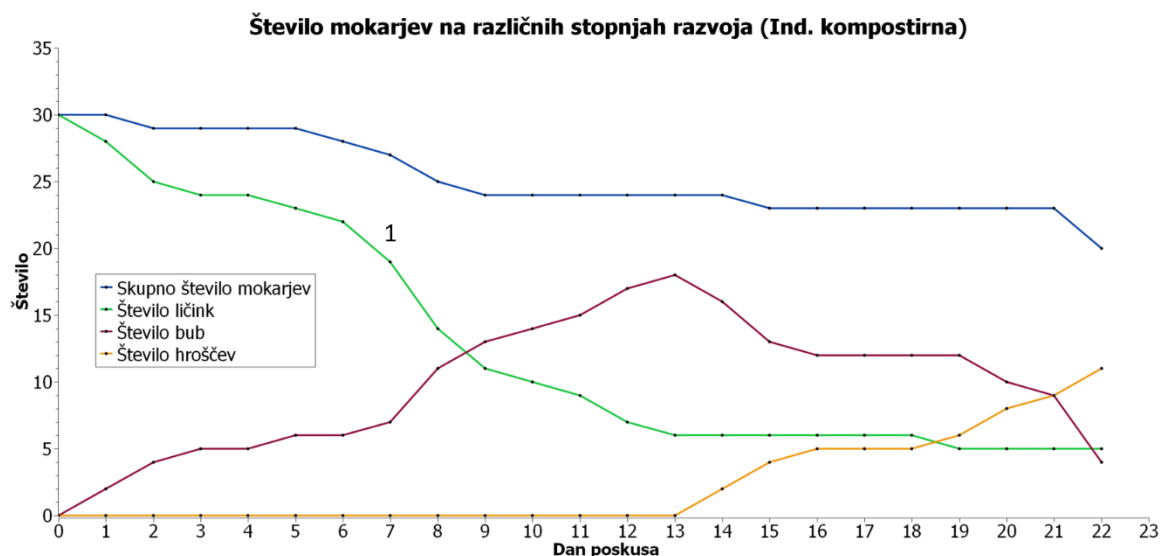
INTERPRETACIJA REZULTATOV

Poleg velikih razlik med prvo in drugo ponovitvijo poskusa je zanimiv predvsem hiter padec mase ličink v prvem poskusu (graf 11). To je verjetno zaradi visokega deleža hroščev glede na ličinke (hroščev je bilo približno dvakrat več). Ker pa so hrošči lažji kot ličinke, je to znižalo povprečno maso. Zanimivo je, da je razlika v teži med ličinkami in hrošči tako velika, da se to močno odrazi tudi na grafih (ko se razvije veliko hroščev, skupna teža ličink in hroščev (zelena krivulja) precej upade).

3.2.4 Skupina – plastika za industrijsko kompostiranje

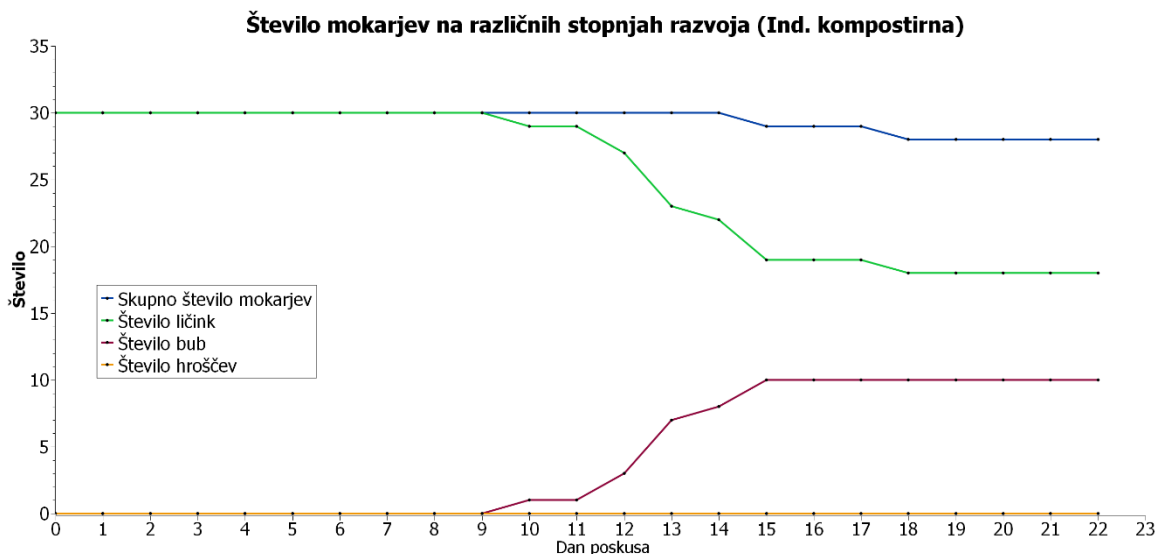
REZULTATI

Vitalnost mokařev v skupini s plastiko za industrijsko kompostiranje je bila zelo slaba. Bili so še bolj apatični kot tisti v skupini s polietensko plastiko in videti so bili, kot da želijo prihraniti energijo. Na koncu so imeli tudi najnižjo maso od vseh skupin, imeli pa so tudi precej visoko smrtnost (predvsem v prvem poskusu).



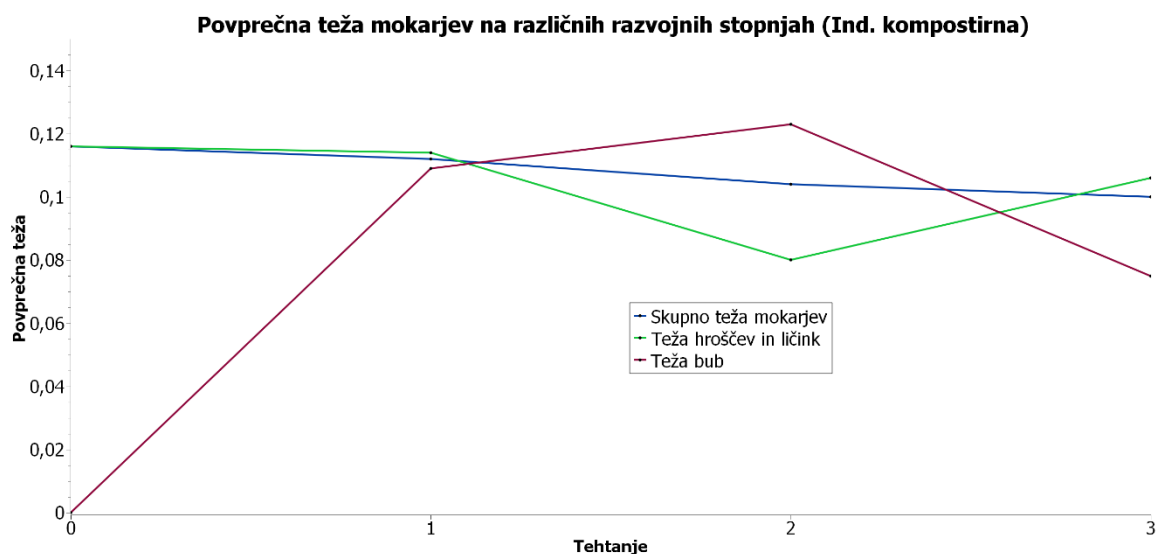
Graf 13: prikaz števila mokařev na razliĉnih razvojnih stopnjah (prva izvedba poskusa)

1. Mokařji so zaĉenjali postajati bolj ĉrni in manj vitalni.

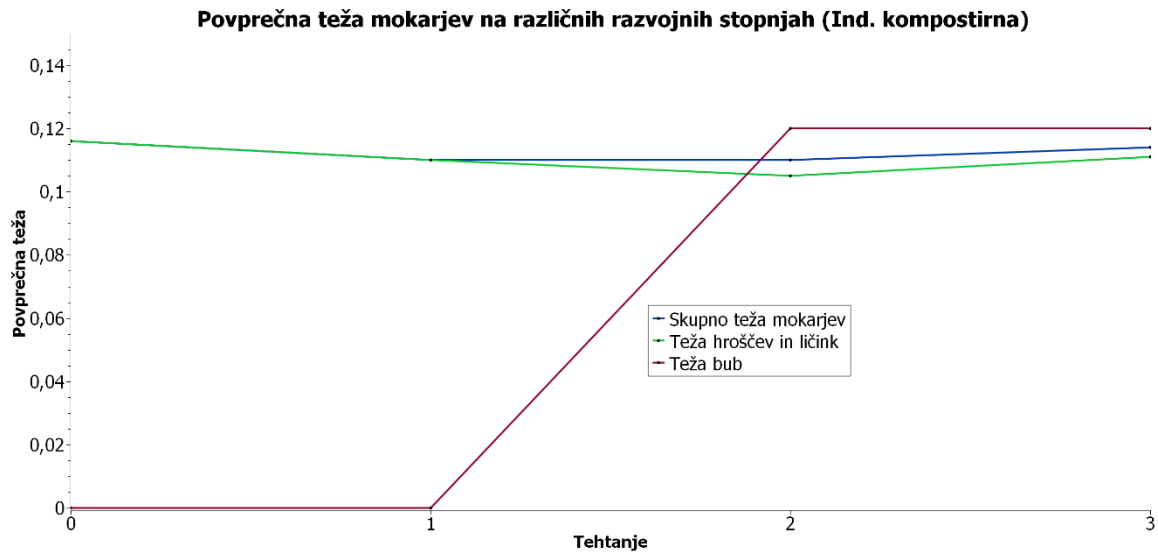


Graf 14: prikaz števila mokařev na različnih razvojnih stopnjah (druga izvedba poskusa)

Tudi tu obstaja neskladnost med prvo in drugo izvedbo poskusa. Razlikujeta se predvsem v številu bub. V prvi ponovitvi je ta skupina dosegla najvišje število bub, v drugi ponovitvi pa najmanjše število med vsemi skupinami. V škatli so imeli tudi precej iztrebkov, sicer manj kot pri polietenu, prav tako pa je iz škatle prihajal vonj, ki je bil podoben tistemu iz škatle s polietenom, le nekoliko šibkejši.



Graf 15: prikaz povprečne teže mokařev na različnih razvojnih stopnjah (prva izvedba poskusa)



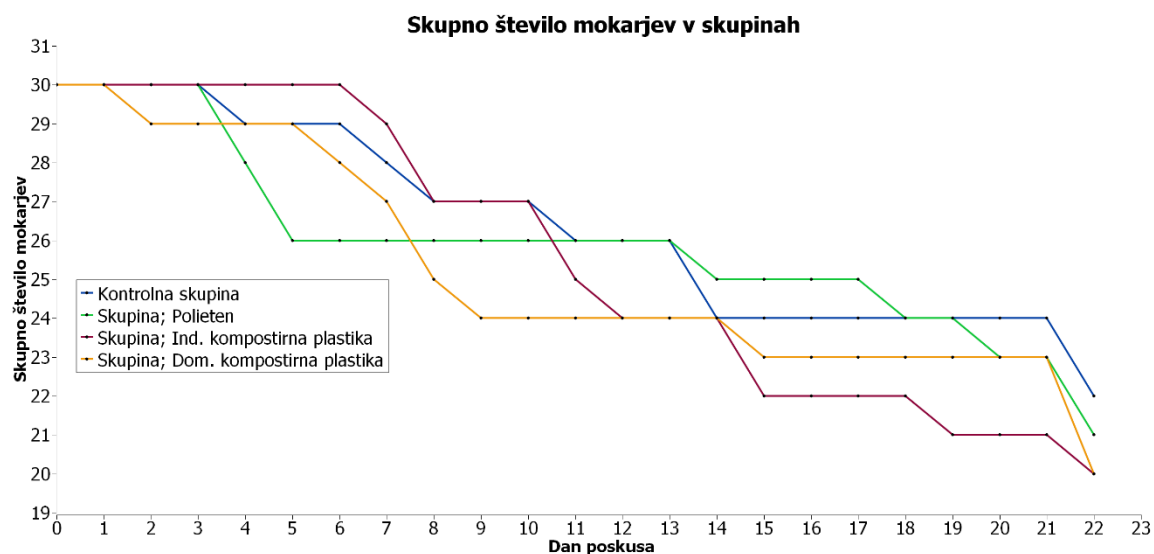
Graf 16: prikaz povprečne teže mokařev na različnih razvojnih stopnjah (druga izvedba poskusa)

INTERPRETACIJA REZULTATOV

Tudi pri tej skupini se je zgodilo nihanje mase ličink in bub v prvi ponovitvi poskusa. Glede na to, da so mokaři v tej skupini izgubili precej telesne mase, so se verjetno težji mokaři zabubili že ob začetku poskusa in kot bube rahlo izgubljali telesno maso, v zadnjem tednu pa so se zabubili tisti mokaři, ki so že tekom celotnega poskusa tako ali tako izgubljali telesno maso. Menim, da so se mokaři z zelo nizko telesno maso v začetku zadnjega tedna zabubili zato, ker kot bube ne potrebujejo hrane, in so tako zmanjšali povprečno maso bub, vendar zvišali povprečno maso ličink, saj so tako ostale le še tiste, ki so imele dovolj veliko maso za preživetje.

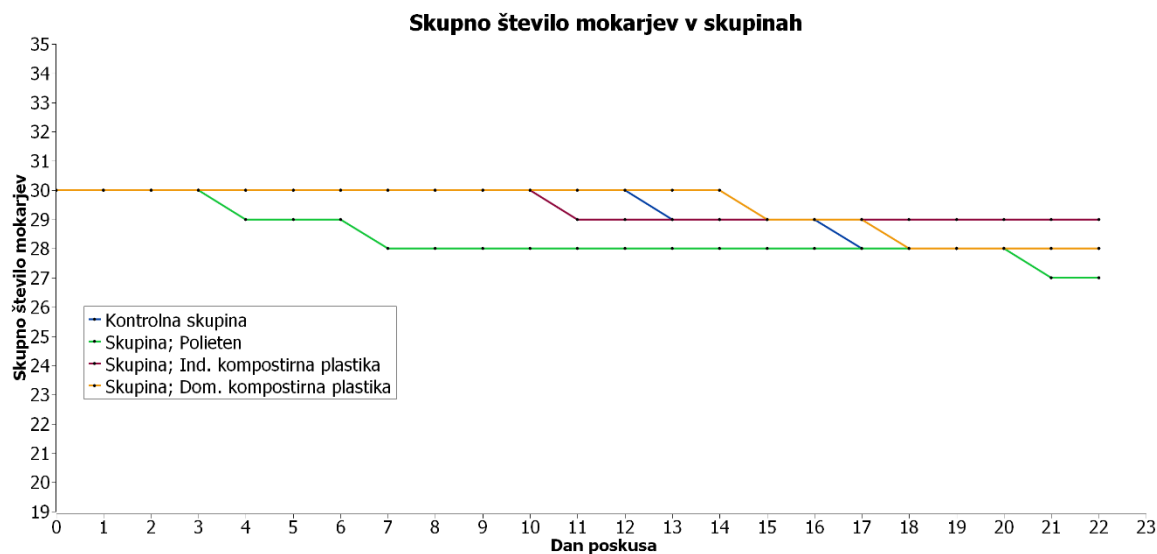
3.2.5 Primerjava in interpretacija rezultatov

SKUPNO ŠTEVILO MOKARJEV



Graf 17: prikaz skupnega števila vseh mokařjev po skupinah (prva izvedba poskusa)

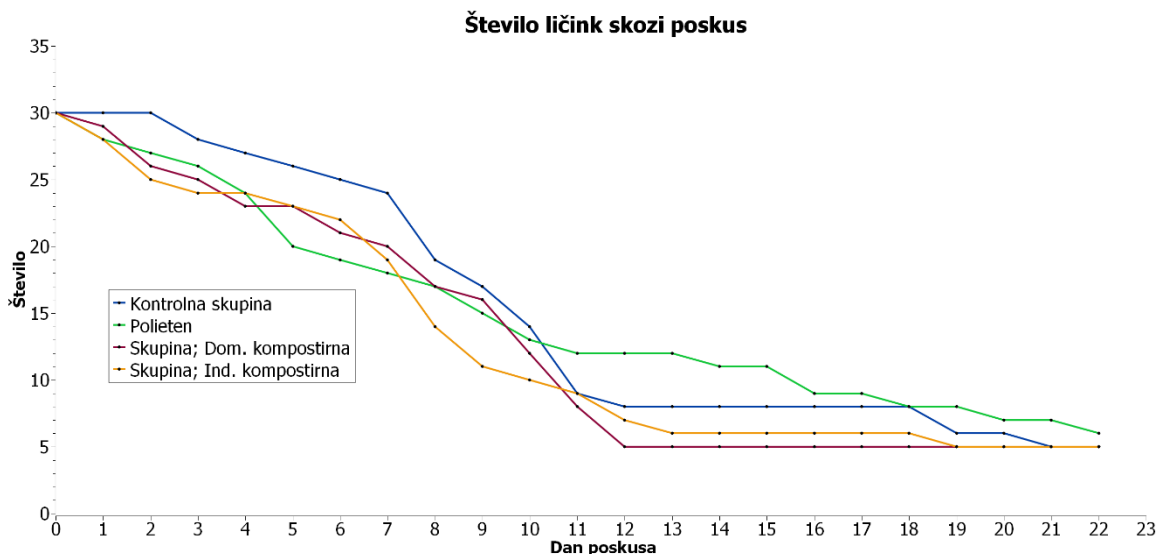
Razlika v smrtnosti je bila v prvi izvedbi poskusa zelo majhna. Med kontrolno skupino, v kateri je preživelo 22 mokařjev, in kompostirnimama plastikama, v katerih je poskus preživelo 20 mokařjev, je razlika le v dveh mokařjih (1/15 začetnega števila mokařjev). Zanimivo je, da je bila pri polietenu vseeno minimalno manjša smrtnost kot pri kompostirni plastiki, kljub šestim ųrtvam kanibalizma. Je pa verjetno, da bi mokařji, ki so jih pojedli, umrli tako ali tako, saj verjetno niso imeli dovolj moči, da bi se branili. Poleg tega so drugi mokařji verjetno preživeli prav zaradi kanibalizma. Kanibalizem je na grafu precej opazen iz tretjega na peti dan, ko so v skupini s polietenom umrli kar štiri mokařji. Drugih posebnosti pri skupnem številu mokařjev v prvi ponovitvi ni opaziti.



Graf 18: prikaz skupnega števila vseh mokařev po skupinah (druga izvedba poskusa)

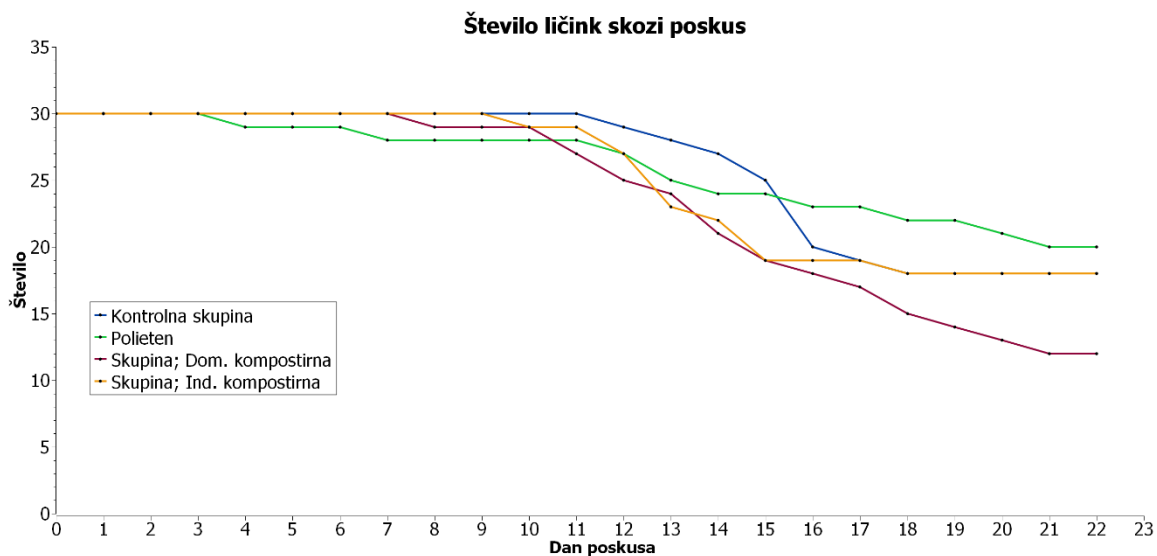
Kot lahko razberemo iz grafa, je bila smrtnost v drugi izvedbi poskusa mnogo manjša kot v prvi. Tudi tu so razlike zelo majhne (ponovno je med skupinama z najmanjšo in z najvišjo smrtnostjo razlika le v dveh mokařih). Na žalost iz rezultatov, ki temeljijo na skupnem številu mokařev, ne moremo ugotoviti nič posebnega, saj se podatki med ponovitvama močno razlikujejo, tudi povprečna smrtnost in vrstni red skupin po številu umrlih mokařev.

ŠTEVILO LIČINK



Graf 19: prikaz števila ličink po skupinah (prva izvedba poskusa)

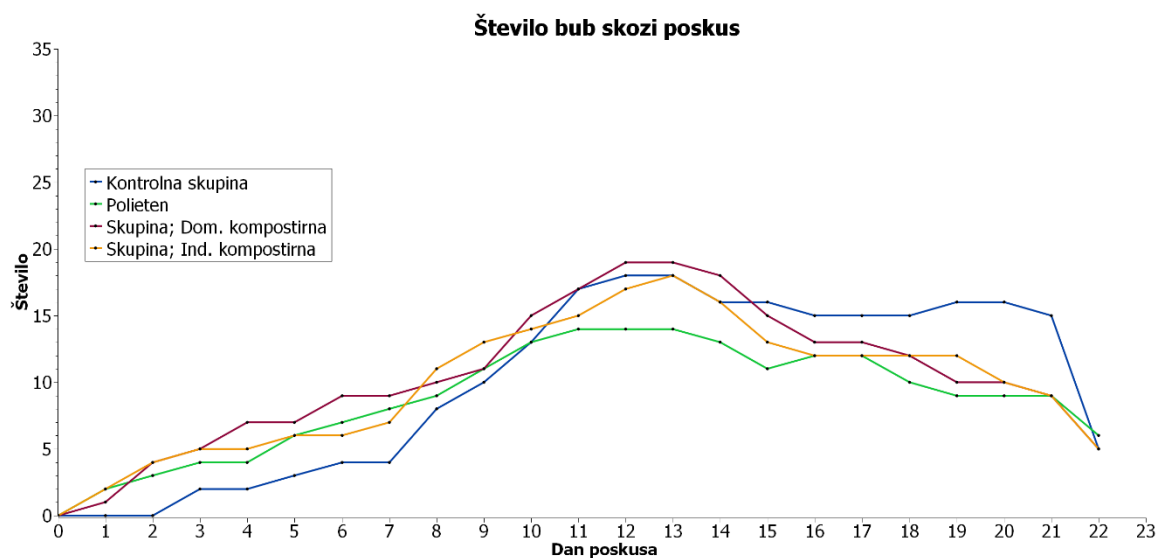
Tu je razvidnih nekaj zanimivih in pomembnih opažanj. Prvo je počasen razvoj molarjev v kontrolni skupini na začetku poskusa in pa dokaj počasen razvoj molarjev v skupini s polietenom. Ker je oboje povezano s številom bub oziroma zabubljenjem ličink, bom to razložil pri primerjanju števila bub. Na grafu lahko sicer opazimo, da so vse skupine na koncu prišle na praktično enako točko.



Graf 20: prikaz števila ličink po skupinah (druga izvedba poskusa)

Tudi tu lahko opazimo počasen razvoj ličink v kontrolni skupini (njihovo število je začelo padati kasneje kot pri drugih skupinah, kar pomeni, da so se zabubile kasneje), kar je ponovno povezano z zabubljenjem ličink, o čemer bom govoril v naslednjem odseku primerjanja rezultatov. Zanimiv je tudi hiter padec števila ličink v skupini s plastiko za domače kompostiranje.

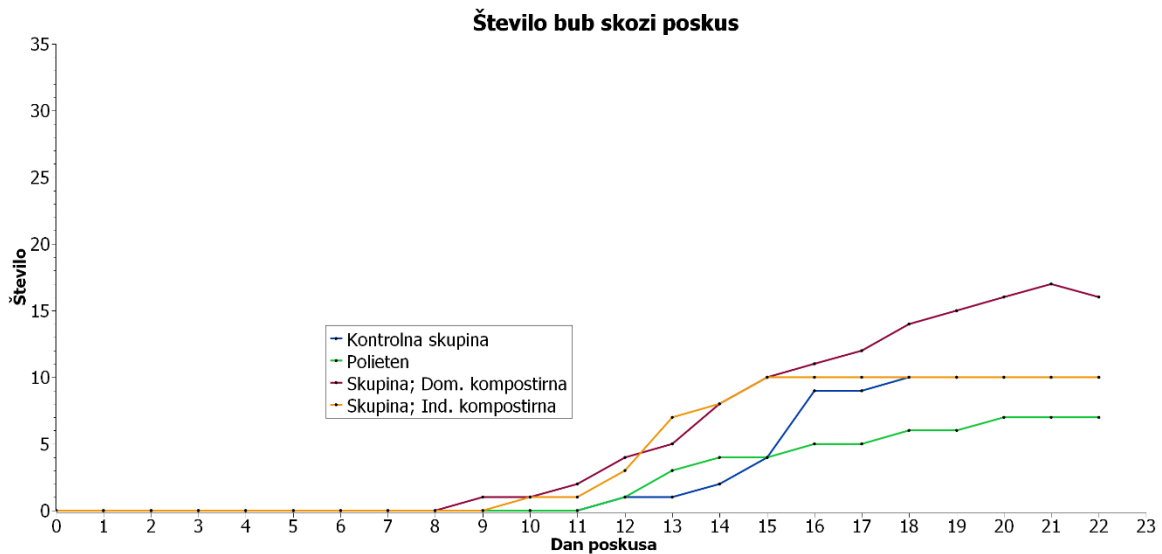
ŠTEVILO BUB



Graf 21: prikaz števila bub po skupinah (prva izvedba poskusa)

Na grafu lahko opazimo razlog za počasen padec števila ličink v kontrolni skupini v prvem poskusu (graf 19). Ličinke so se zabubile kasneje. Domnevam, da je to povezano s tem, da so se ličinke počutile dobro in so lahko normalno živele dalje kot ličinke ter se zabubile, ko so dosegle dovolj veliko telesno maso. V drugih skupinah so se ličinke, ki so imele kolikor toliko primerno telesno maso hitro zabubile, saj jim hrana (polieten, kompostirni plastiki ...) ni ustrezala in iz nje niso pridobivali dovolj energije za življenje kot ličinke in so se tako hitro zabubile. Videti je tudi, da so molarji v kontrolni skupini dlje časa ostali v razvojni fazi bube. To lahko opazimo tudi na grafu, saj se število ličink in bub v zadnjem tednu ne spreminja drastično, kar pomeni, da se ličinke niso spreminjale v bube in da so

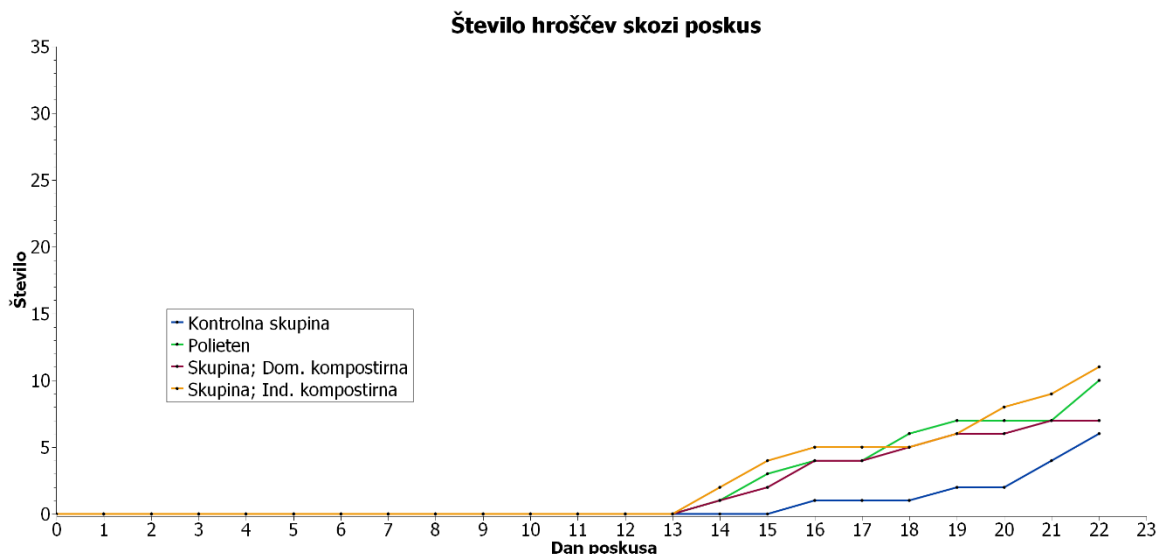
bube dolgo ostale bube. To je verjetno posledica dejstva, da so se ličinke zabubile z dovolj energije za daljšo razvojno fazo bube. Opazimo tudi nenaden padec števila bub v kontrolni skupini zadnji dan. Ta je posledica spleta okoliščin, saj sta se prav zadnji dan dve bubi razvili v hrošča, dve pa sta umrli. Ne najdem pa razlage, zakaj je število bub v polietenu v zadnji polovici tako nizko. Razlog za to je verjetno dejstvo, da so se ličinke zabubile s premalo energije za dolgo razvojno fazo bube in so se hitro spremenile v hrošče.



Graf 22: prikaz števila bub po skupinah (druga izvedba poskusa)

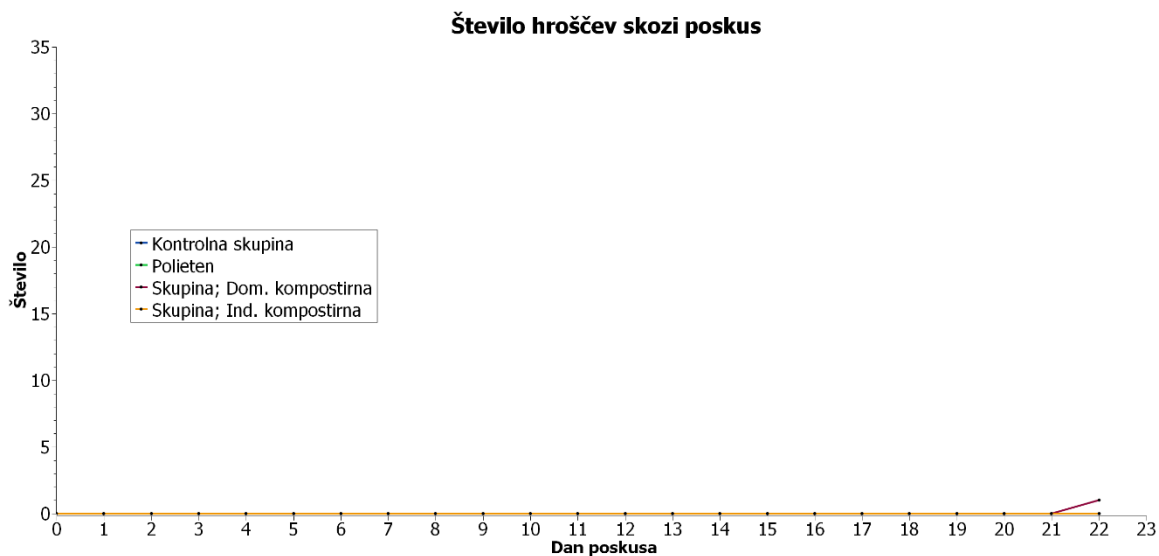
Opazimo lahko, da so se v drugi izvedbi poskusa molarji zabubili veliko kasneje. Ponovno so se ličinke najkasneje zabubile v kontrolni skupini. Ponovno je bilo najmanj bub v skupini s polietenom, vendar tokrat razlog ni razvoj bub v hrošče, saj se hrošči v tej ponovitvi v tej skupini sploh niso razvili. Razlog, da so se ličinke hitro zabubile v plastiki za domače kompostiranje in počasi v skupini s polietensko plastiko, ni jasen.

ŠTEVILO HROŠČEV



Graf 23: prikaz števila hroščev po skupinah (prva izvedba poskusa)

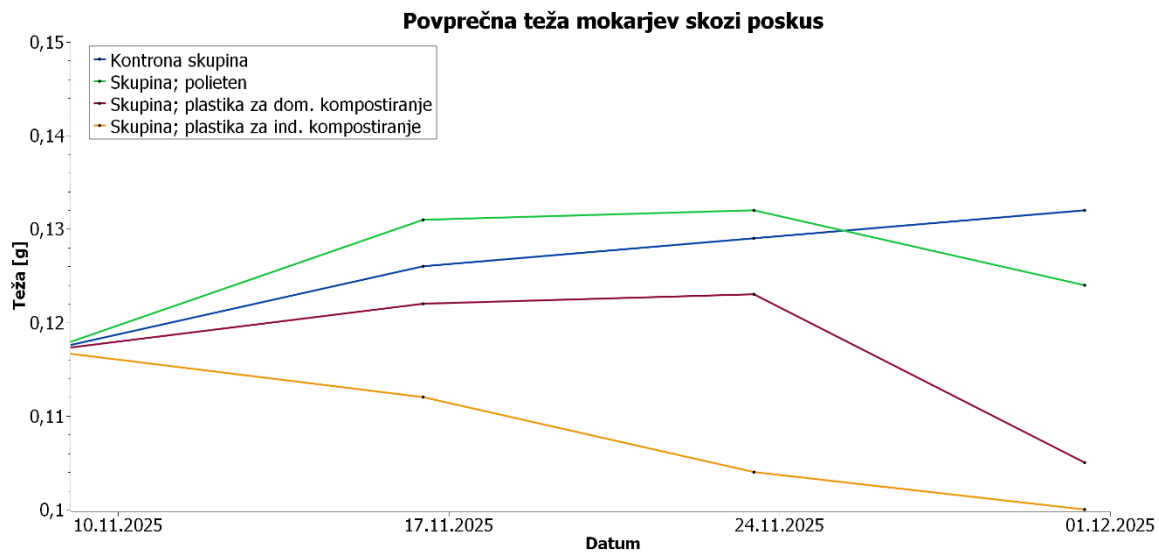
Pri številu hroščev je zelo pomembno, kako hitro se le ti razvijejo iz bub. Ocenimo lahko, da so se hrošči v skupinah s plastikami iz bub razvijali približno enako hitro, medtem ko so molarji v kontrolni skupini ostali v fazi bube dlje kot v preostalih skupinah in je bilo zato v kontrolni skupini toliko manj hroščev. Šele ob koncu poskusa lahko opazimo, da so se hrošči začeli pojavljati hitreje.



Graf 24: prikaz števila hroščev po skupinah (druga izvedba poskusa)

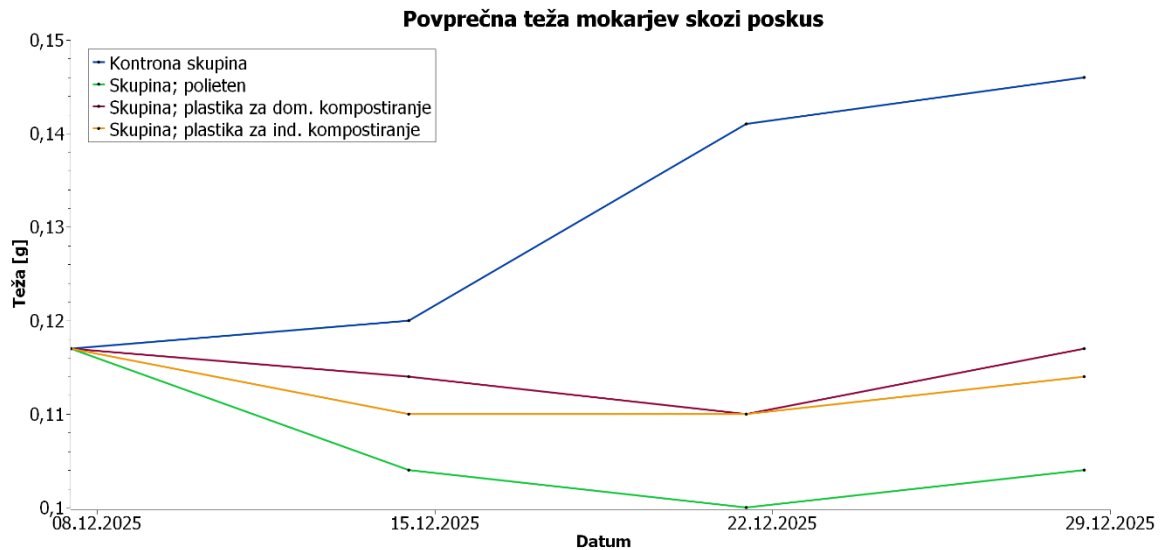
V celotni drugi ponovitvi poskusa se je razvil le en hrošč in to pričakovano v skupini s plastiko za domače kompostiranje, saj je bilo v tej skupini tudi največ bub.

POVPREČNA TEŽA VSEH MOKARJEV



Graf 25: prikaz povprečne teže mokařjev (prva izvedba poskusa)

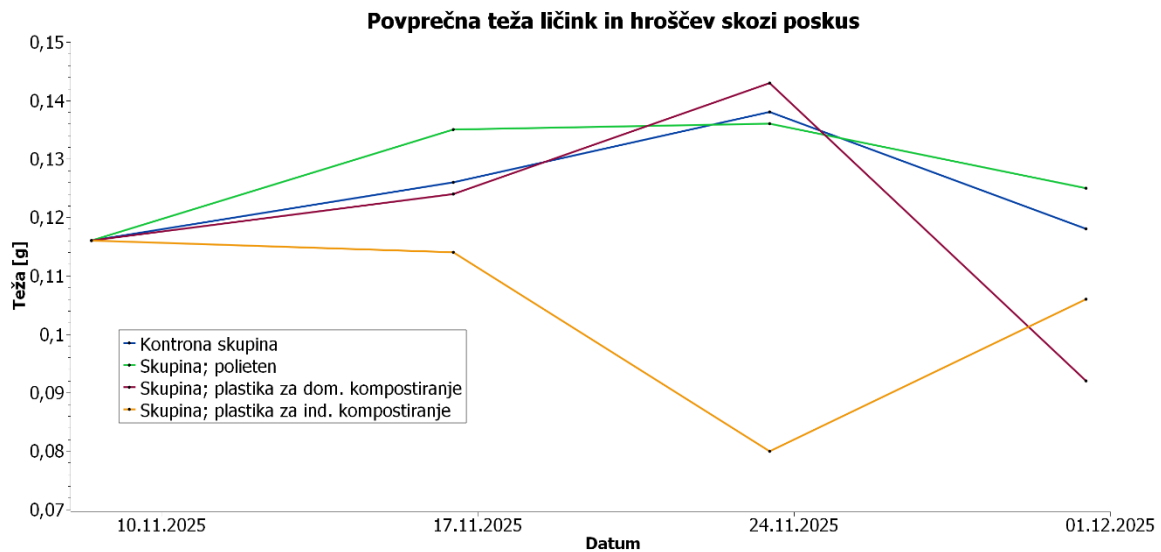
Opazimo lahko, da so bili mokařji v kontrolni skupini pričakovano najtežji, presenetilo pa me je, da so bili večino poskusa najtežji mokařji iz skupine s polietenom. Menim, da bi lahko bil razlog prav kanibalizem, saj so bili pojedeni tisti mokařji, ki se niso mogli braniti in so bili posledično manjši in šibkejši. Ko so umrli mokařji, ki so bili lažji kot v povprečju, se je povprečje dvignilo. Razlog za nizko težo mokařjev v obeh skupinah s kompostirno plastiko bi bil lahko velik delež hroščev, vendar verjetno obstajajo tudi drugi razlogi, ki pa jih ne uspeš ugotoviti.



Graf 26: prikaz povprečne teže molarjev (druga izvedba poskusa)

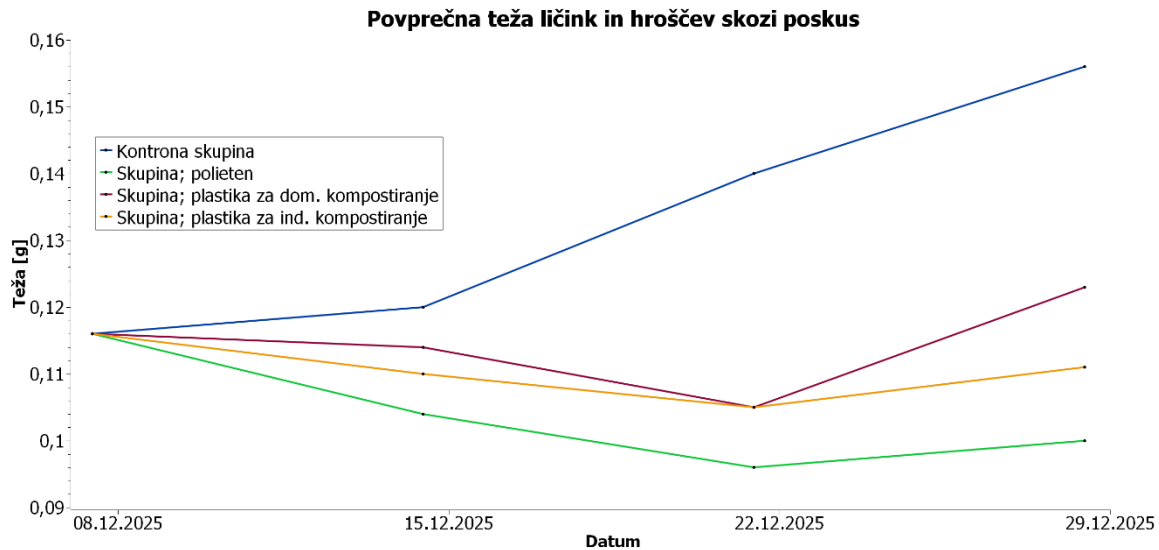
V drugi izvedbi poskusa so bili rezultati veliko bližje pričakovanjem. Molarji v kontrolni skupini so imeli zaradi boljše prehrane veliko večjo telesno maso kot v ostalih skupinah. Lahko bi rekli, da je razlog za takšen vrstni red enostavno to, da je polieten najslabša hrana, sledi plastika za industrijsko in domače kompostiranje, najboljša hrana pa so pšenični otrobi. Deloma je ta razlaga tudi edina, ki jo lahko navedem, saj skupina s polietenom ni imela visokega deleža hroščev ali bub, ki bi lahko zmanjšali povprečno skupno maso.

POVPREČNA TEŽA LIČINK IN HROŠČEV



Graf 27: prikaz povprečne teže ličink in hroščev (prva izvedba poskusa)

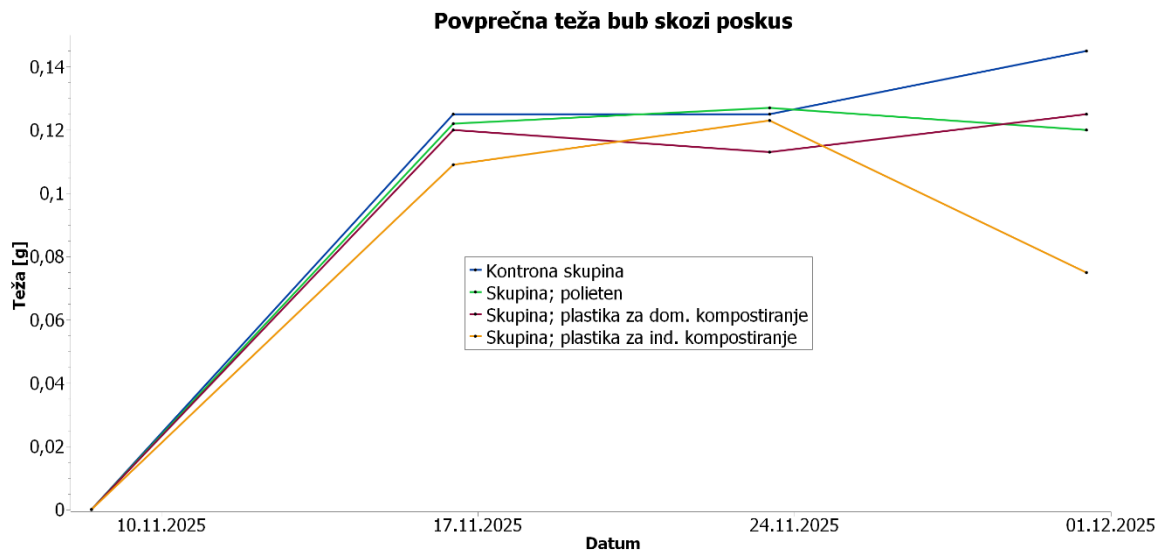
Na grafu lahko opazimo precejšnje nihanje v masi ličink in hroščev pri obeh kompostirnih plastikah. Ponovno lahko razlog za padec teže pri plastiki za domače kompostiranje iščemo v velikem deležu hroščev. Za nenaden padec teže pri ličinkah in hroščih v skupini s plastiko za industrijsko kompostiranje je morda razlog majhen vzorec (takrat je bilo živih le deset ličink in hroščev), lahko pa bi bil posledica tega, da so se težje bube (iz začetka poskusa) razvile v hrošče in zvišale povprečje. Čeprav so hrošči lažji kot ličinke, je bilo povprečje pred tem tako nizko, da bi bilo možno, da so ga hrošči dvignili.



Graf 28: prikaz povprečne teže ličink in hroščev (druga izvedba poskusa)

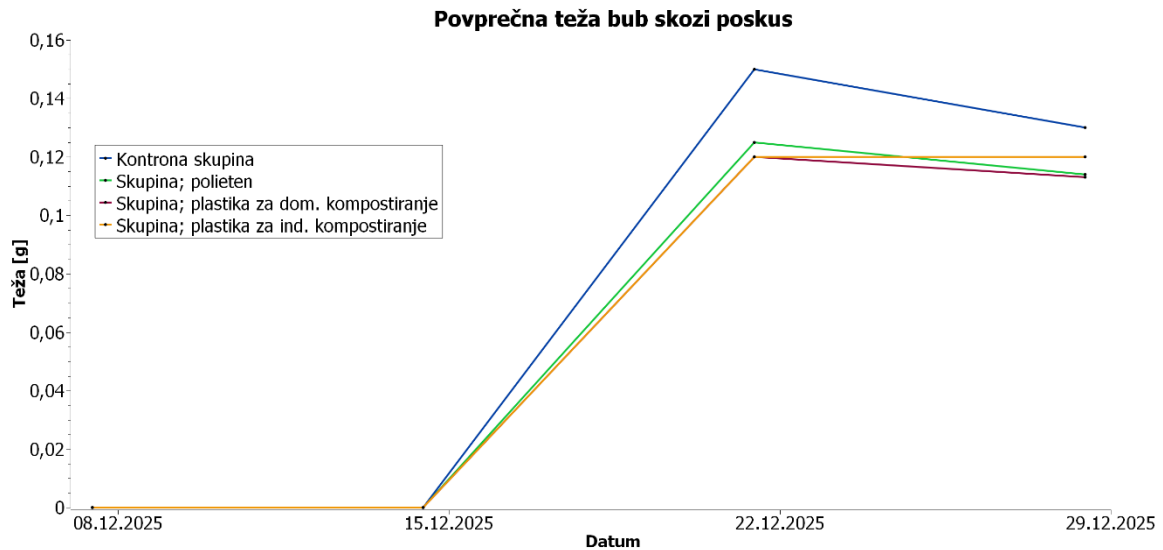
Kot lahko vidimo, se ta graf zelo ujema z grafom, ki prikazuje povprečno težo vseh mokařev pri drugi ponovitvi (graf 26). Pravzaprav se ne zgodi nič posebnega, bega pa me vzpon mase pri skupini s plastiko za domače kompostiranje. Čeprav se je delež bub in hroščev v zadnjem tednu povečeval, se je povprečna masa povečala. Edina razlaga, ki sovpada s končnimi rezultati poskusa je, da so mokaři v tej skupini dejansko pridobili telesno maso. V drugi izvedbi poskusa je bila skupina s plastiko za domače kompostiranje poleg kontrolne skupine edina, v kateri se je mokařem povečala telesna masa.

POVPREČNA TEŽA BUB



Graf 29: prikaz povprečne teže bub (prva izvedba poskusa)

Če lahko rečemo, da je bila povprečna teža ličink in hroščev v prvi izvedbi poskusa presenečenje, pa se je povprečna teža bub razvila po pričakovanjih. Iz grafa je razvidno, da so se v začetku zabubile le velike ličinke. Vidimo lahko, da se je od prvega merjenja masa povečala le bubam iz kontrolne skupine in iz skupine s plastiko za domače kompostiranje. Zdi se, da so se kasneje v poskusu pri ostalih skupinah zabubile precej lažje ličinke, ki niso mogle doseči telesne mase, pri kateri se običajno zabubijo. Pozornost nam pritegne tudi nenaden padec mase bub v skupini s plastiko za industrijsko kompostiranje. To je verjetno posledica tega, da so se težje bube, ki so se zabubile z večjo telesno maso na začetku poskusa, razvile v hrošče in tako zvišale povprečno maso ličink in hroščev (graf 28), vendar je to znižalo povprečno maso bub.

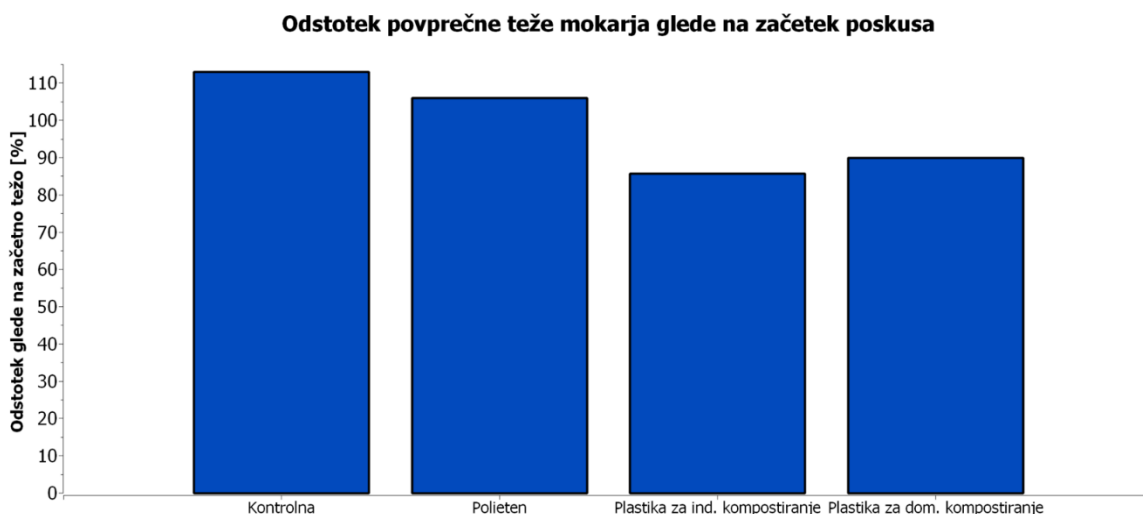


Graf 30: prikaz povprečne teže ličink in hroščev (druga izvedba poskusa)

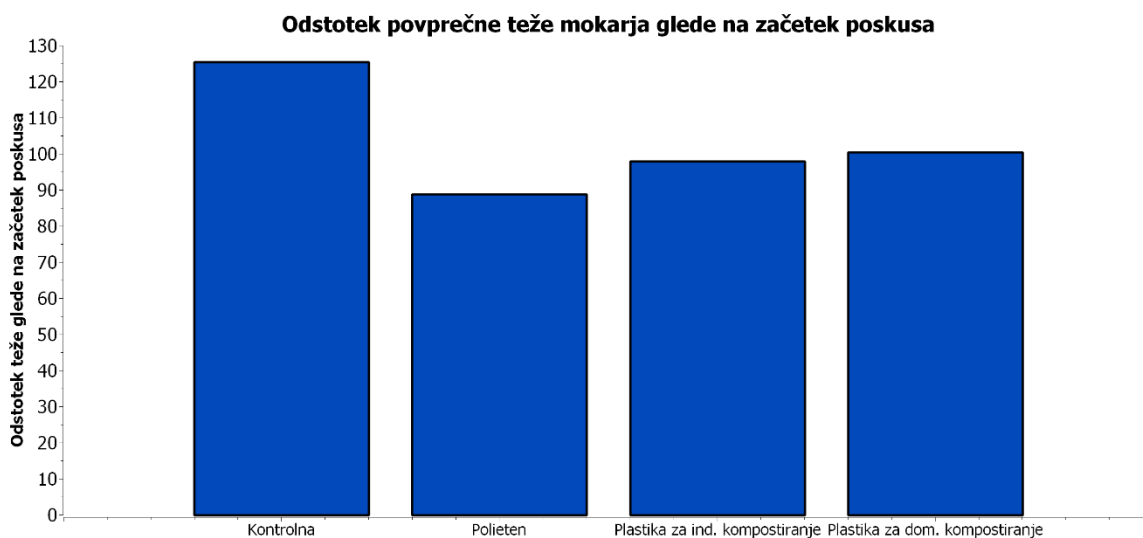
Pri ogledu grafa 30 najprej opazimo majhne razlike. Pričakovano izrazito izstopa le kontrolna skupina, ki je imela mnogo težje bube. Razlike v masi med ostalimi skupinami so tako majhne, da bi lahko rekli, da so že zanemarljive. Morda nas preseneti le padec v masi bub iz kontrolne skupine. Razlog je verjetno to, da se je v zadnjem tednu razvila le ena buba, ostale pa so verjetno izgubljale maso in tako znižale povprečje.

ODSTOTEK POVPREČNE TEŽE MOKARJA GLEDE NA ZAČETEK POSKUSA

Mokarji so bili na začetku poskusa povprečno težki 0,116 g. Glede na to številko sem izračunal, koliko odstotkov težji oziroma lažji so bili na koncu poskusa.



Graf 31: prikaz odstotka povprečne teže mokarjev glede na začetek poskusa (prva izvedba poskusa)



Graf 32: prikaz odstotka povprečne teže mokarjev glede na začetek poskusa (druga izvedba poskusa)

Kot lahko vidimo, je neskladnost med prvim in drugim poskusom precej velika, edina stalnica pa je, da so imeli mokaarji v kontrolni skupini vedno največjo telesno maso in so je tudi največ pridobili. Pričakovanjem je najbolj podobna razporeditev ob drugi izvedbi poskusa, ne vem pa, zakaj se podatki med ponovitvama tako razlikujejo.

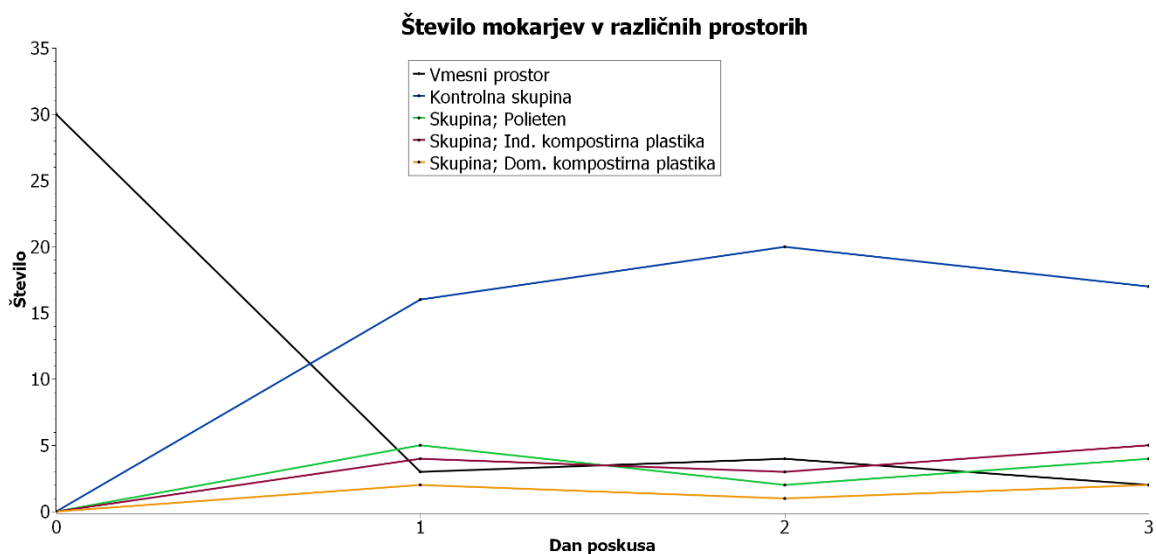
3.3 Interpretacija in rezultati poskusa »izbira molarjev«

3.3.1 Poskus 1

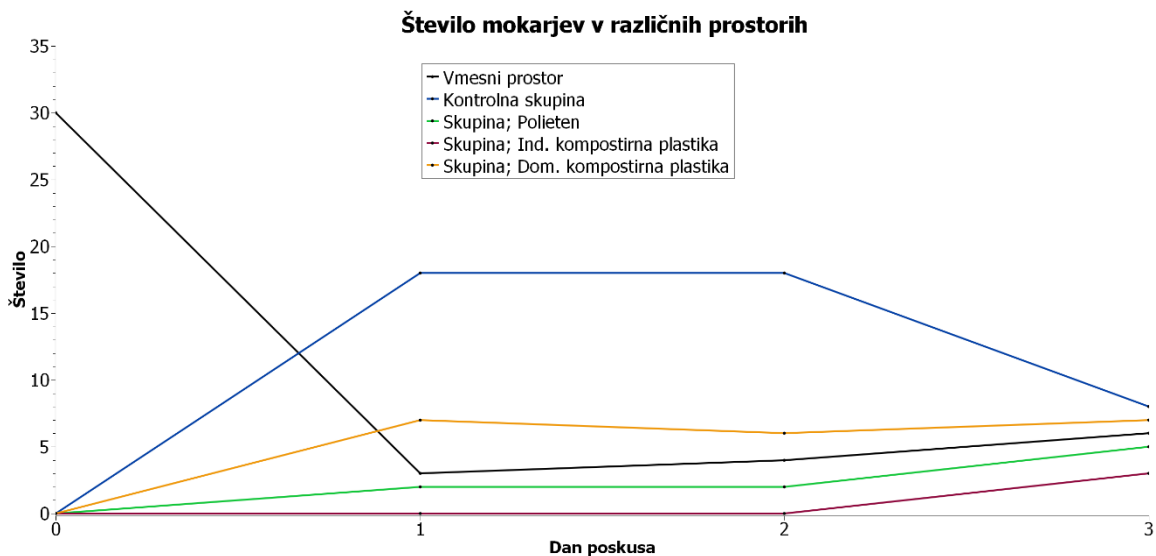
V poskus 1 so bile vključene vse vrste hrane (pšenični otrobi, polietenska vrečka in vrečki iz obeh kompostirnih plastik). Izvedel sem tri ponovitve tega poskusa.

REZULTATI

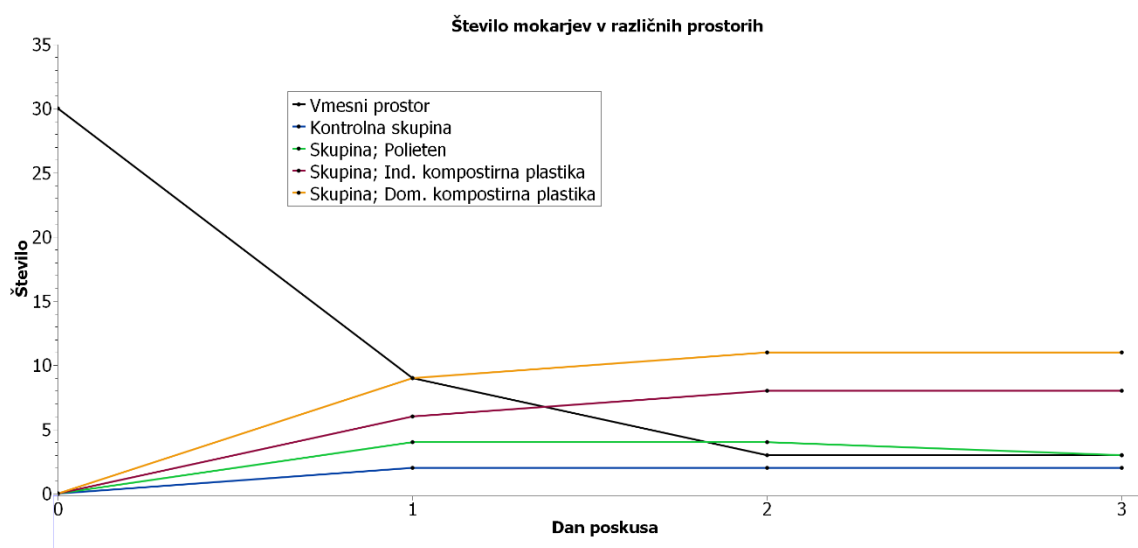
Tudi v tem poskusu je prihajalo do precejšnjih razlik med izvedbami, vendar lahko kljub temu izluščimo nekaj pomembnih ugotovitev.



Graf 33: prikaz števila molarjev v različnih razdelkih (poskus 1, prva izvedba)



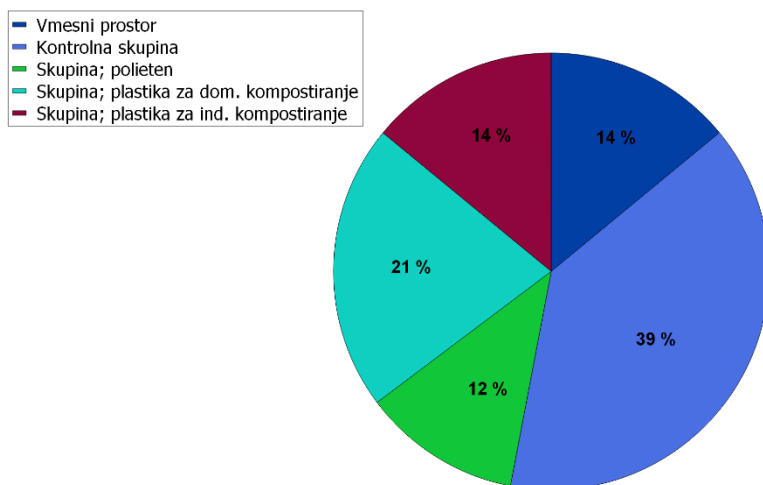
Graf 34: prikaz števila molarjev v različnih razdelkih (poskus 1, druga izvedba)



Graf 35: prikaz števila molarjev v različnih razdelkih (poskus 1, tretja izvedba)

Opazimo lahko, da sta si prvi in drugi graf precej podobna. Pri obeh je daleč največ molarjev odšlo v razdelek s pšeničnimi otrobi, medtem ko so bile razlike med drugimi skupinami precej majhne. Tretja izvedba pa je prinesla rezultate, ki močno odstopajo od rezultatov iz prejšnjih izvedb, saj so molarji hodili v povsem drugačne prostore.

INTERPRETACIJA REZULTATOV



Graf 36: prikaz povprečnega števila mokařev v različnih prostorčkih (poskus 1)

Prva zanimiva stvar je padec števila mokařev v razdelku s pšeničnimi otrobi zadnji dan v prvih dveh ponovitvah (grafa 33 in 34). Ta je posledica pomanjkanja pšeničnih otrobov v razdelku. Mokaři so v dveh dneh pojedli vse pšenične otrobe in nekateri izmed njih so se odločili za premik v enega izmed drugih razdelkov. V prvih dveh izvedbah poskusa so bile razlike med preostalimi skupinami majhne, vrstni red po številu mokařev v razdelku pa se je tudi obrnil, tako da na podlagi teh rezultatov ne moremo oblikovati jasnih sklepov. V tretji izvedbi poskusa je po mojem mnenju prišlo do takšnih rezultatov zato, ker sem mokaře, ki jih trenutno nisem uporabljal v nobenem poskusu, hranil s pšeničnimi otrobi in korenčki v ločeni škatli. Ti mokaři so živel v najboljših pogojih in so bili v tretji izvedbi poskusa še tako nahranjeni, da jim je bil prvi cilj pravzaprav najti nekaj, v kar se lahko »zavlečejo« oziroma skrijejo. To pa niso bili pšenični otrobi, temveč narezane vrečke. Tako so verjetno mokaři izbrali ostale razdelke in ne tistega s pšeničnimi otrobi.

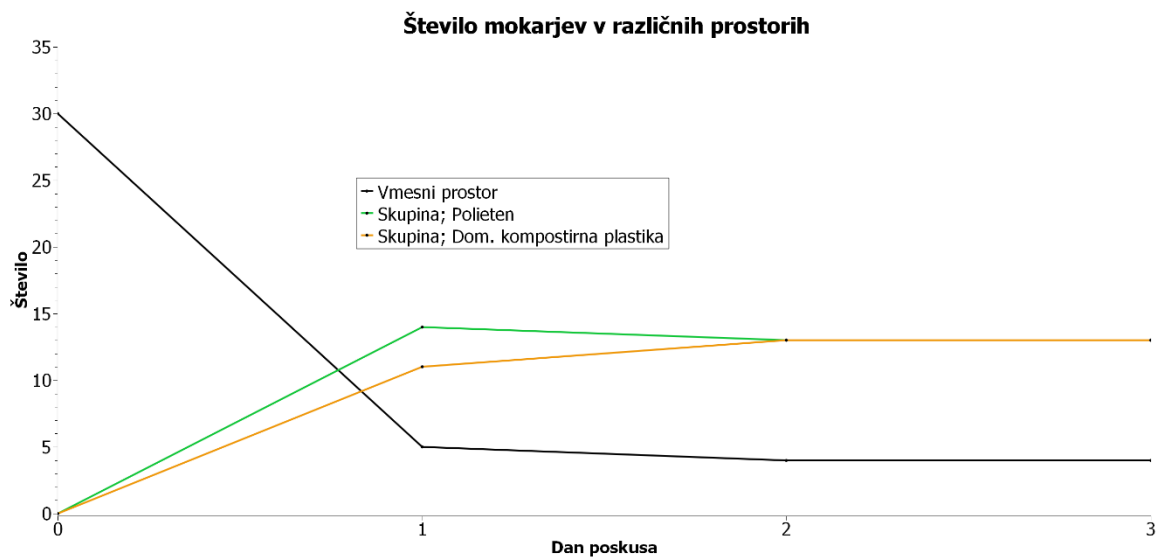
Vendar tudi tretja izvedba poskusa ni vplivala na izrazito večje povprečno število mokařev v prostorčku s pšeničnimi otrobi. Opazimo lahko tudi, da je bilo na koncu

precej molarjev prav tako v razdelku s plastiko za domače kompostiranje. Po pričakovanjih je bilo najmanj molarjev v prostoru s polietensko vrečko.

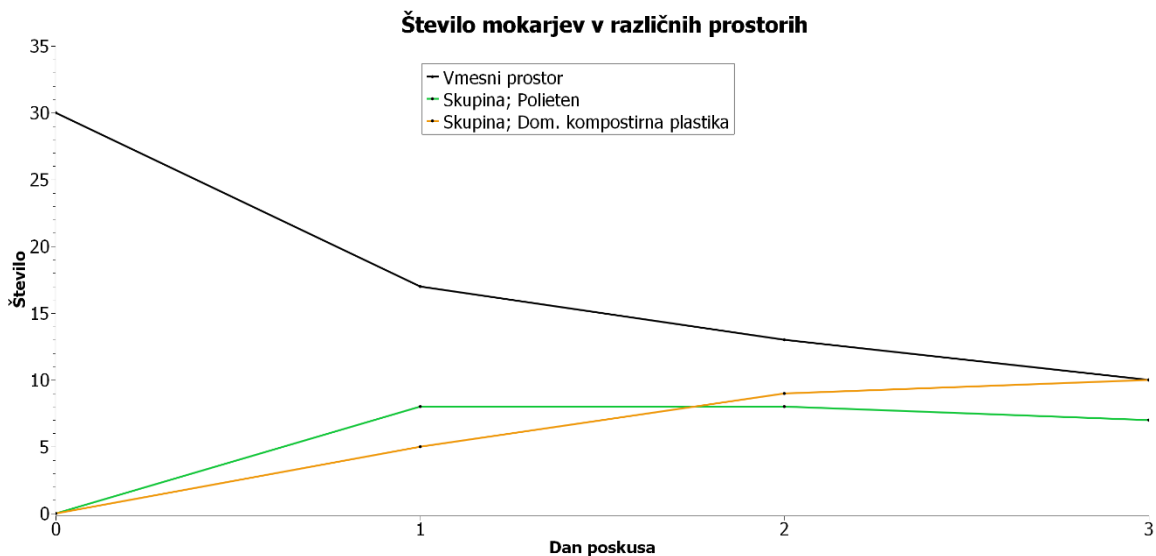
3.3.2 Poskus 2

V poskus 1 sta bili vključeni le dve vrsti hrane (polietenska vrečka in vrečka iz plastike za domače kompostiranje). Izvedel sem tri ponovitve poskusa s temi pogoji.

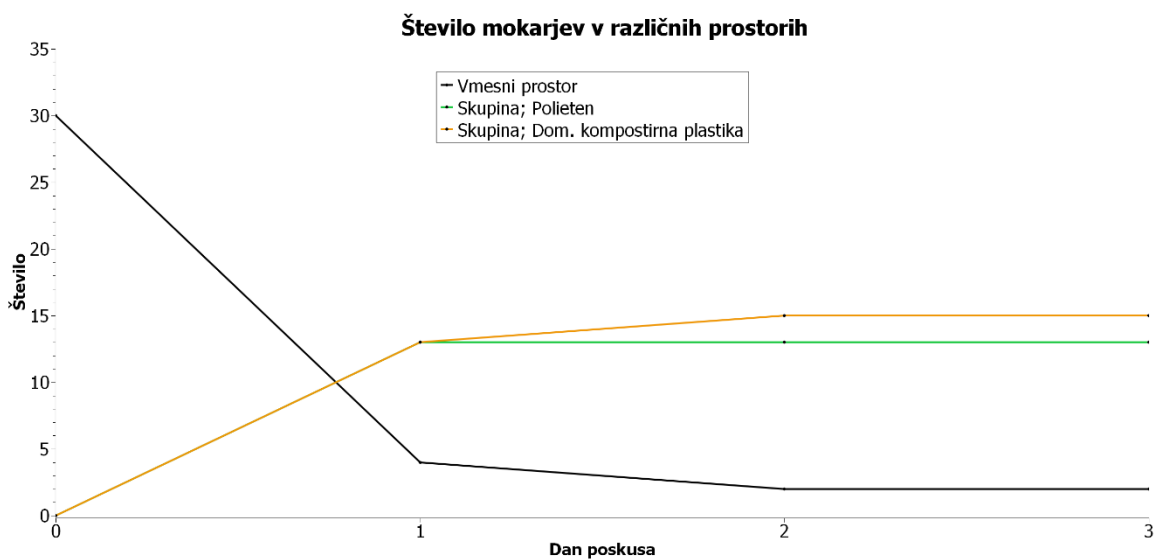
REZULTATI



Graf 37: prikaz števila molarjev v različnih prostorčkih (poskus 2, prva izvedba)



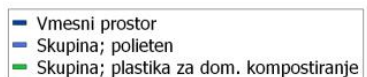
Graf 38: prikaz števila mokařev v različnih prostorčkih (poskus 2, druga izvedba)



Graf 39: prikaz števila mokařev v različnih prostorčkih (poskus 2, tretja izvedba)

Kljub majhnim razlikam je razvidno, da so se mokařji raje zadrževali v razdelku s plastiko za domače kompostiranje. Sicer je razlika v povprečnem številu mokařev v razdelku mnogo manjša, saj so mokařji predvsem na začetku odhajali v razdelek s polietenom, vendar se zdi, da so se tekom poskusa raje premaknili v razdelek s plastiko za domače kompostiranje, saj jih je bilo ob koncu poskusa tam več.

INTERPRETACIJA REZULTATOV



Graf 40: prikaz povprečnega števila molarjev v različnih prostorčkih (poskus 2)

Menim, da je opisano obnašanje molarjev povezano s tem, da jim je plastika za domače kompostiranje bolj všeč, jo lažje prebavijo, je manj toksična ..., velik del pri tem pa verjetno predstavlja tudi lažje hidriranje (vrečka iz plastike za domače kompostiranje se je napila vlage iz zraka). Sicer je na tortnem diagramu razlika izjemno majhna, vendar je treba upoštevati dejstvo, da so molarji tudi iz razdelka s polietenom odhajali v razdelek s plastiko za domače kompostiranje. Ne smemo pa zanemariti dejstva, da je povprečno število molarjev v vmesnem prostoru precej visoko (za 9 % višje kot v poskusu 1), kar nakazuje na to, da molarjem nobena izmed vrst ponujene hrane ni bila pretirano všeč.

4. Razprava

S poskusom sem poskušal pridobiti rezultate, ki bi mi pomagali mojo raziskovalno nalogo povezati z ostalimi raziskavami in literaturo. Da sem lahko rezultate povezal z literaturo in hipotezami, sem rezultate strnil v preglednico. Skupine sem pri posameznih parametrih razporedil od najboljše do najslabše, pri čemer je najboljša dobila 4 točke, najslabša pa 1 točko. Glede na svojo presojo sem točkoval vitalnost, smrtnost sem točkoval glede na število umrlih v obeh izvedbah poskusa življenje molarjev (v oklepaju je zapisano število umrlih), povprečna masa je povprečna masa molarjev ob koncu obeh ponovitev. Pri razvoju sem upošteval začetek zabubljenja (hitreje so se ličinke zabubile, slabše je, saj to nakazuje, da molarji niso mogli kvalitetno živeti kot ličinke) in dolžino faze bube (dlje kot so bili bube, bolje je, saj to pomeni, da so se lahko zabubili z dovolj energije za daljši čas v fazi bube). »Izbira« so rezultati poskusa 1 iz poskusa »izbira molarjev«.

	Pšenični otrobi	Polietenska vrečka	Vrečka iz plastike za domače kompostiranje	Vrečka iz plastike za industrijsko kompostiranje
Vitalnost	4	1	3	2
Smrtnost	4 (10)	2 (12)	3 (11)	2 (12)
Povprečna masa	4 (0,14 g)	3 (0,113 g)	2 (0,112 g)	1 (0,108 g)
Razvoj	4	1	3	2
Izbira	4	1	3	2
SKUPAJ:	20	8	14	9

Opomba: Vsi kriteriji upoštevajo rezultate vseh izvedb poskusa

V preglednici lahko vidimo, da je kontrolna skupina, v kateri sem molarje hranil s pšeničnimi otrobi, prejela prav vse možne točke, kar je skupno 20 točk. S precejšnjo razliko ji je sledila skupina s plastiko za domače kompostiranje, ki je zbrala 14 točk, 9 pa jih je zbrala skupina s plastiko za industrijsko kompostiranje. Najmanj, 8 točk, pa je zbrala skupina s polietensko plastiko.

Ko strnemo rezultate, lahko jasno vidimo, da so molarjem najljubša hrana pšenični otrobi. Za raziskovalno nalogo pa je najpomembnejša ugotovitev to, da razkrojevalci oziroma, natančneje, molarji, lažje razkrajajo kompostirne plastike

in te nanje vplivajo bolj kot konvencionalna plastika. V literaturi sem zasledil, da je to posledica dejstva, da so se encimi v organizmih v njihovi dolgi zgodovini razvili tako, da mnogo lažje razkrajajo polimere, ki nimajo glavne verige le iz ogljikovih atomov, kot jih imajo npr. konvencionalne plastike. Tako encimi, ki jih imajo tudi molarji (v primeru s koruznim škrobom α -amilaze), mnogo lažje razkrojijo koruzni škrob, ki je sestavljen iz amiloze in amilopektina, kot pa polieten, sestavljen iz verige etenov. Ugotovitev, da molarji lažje razkrajajo biorazgradljive plastike, je pomembna, saj nam potrди, da je uporaba kompostirne plastike za okolje boljša kot uporaba konvencionalne plastike. Kljub temu pa je v opravljenem poskusu razvidno, da molarji, ki so se hranili s kompostirno plastiko, vseeno niso živeli optimalno. Imeli so precej visoko smrtnost, niso bili tako vitalni kot tisti v kontrolni skupini in so izgubljali telesno maso, kar je jasen znak, da jim ta hrana ni ustrezala v tolikšni meri kot hrana, ki jo sicer poiščejo v naravi.

5. Zaključek

Na začetku poskusa sem postavil nekaj hipotez, ki so se v precejšnji meri potrdile.

- 1. Mocarji bodo najbolj vitalni in bodo imeli največjo maso v skupini s plastiko za domače kompostiranje (če izključimo kontrolno skupino): **Se je potrdila**

Mocarji, ki so se hranili s plastiko za domače kompostiranje, so se največ premikali, videti so bili zdravi in niso bili tako temni kot v nekaterih drugih skupinah.

- 2. V skupini s plastiko za industrijsko kompostiranje bodo mocarji manj vitalni in lažji.: **Se je potrdila**

Mocarji v skupini s plastiko za industrijsko kompostiranje so bili lažji in manj vitalni kot tisti v skupini s plastiko za domače kompostiranje.

- 3. V skupini s polietensko plastiko mocarji sploh ne bodo vitalni, smrtnost bo večja kot v drugih skupinah. Razvil se bo kanibalizem.: **Se je potrdila do neke mere**

Mocarji v skupini s polietensko plastiko so bili bolj vitalni kot pričakovano, predvsem pa niso imeli večje smrtnosti kot druge skupine. Je pa res, da se je razvil kanibalizem.

- 4. Mocarji bodo kot prehrano najraje izbrali pšenične otrobe, takoj za njimi pa plastiko za domače kompostiranje.: **Se je potrdila**

Mocarji so najraje izbrali razdelek s pšeničnimi otrobi (3 9%), zatem pa razdelek s plastiko za domače kompostiranje (21 %).

- 5. Mocarji bodo plastiko za domače kompostiranje izbrali raje kot polietensko plastiko.: **Se je potrdila do neke mere**

Mokarji so sicer raje izbrali razdelek s plastiko za domače kompostiranje (39 %) kot razdelek s polietenom (38 %), vendar je razlika tako majhna, da je na njeni osnovi težko z gotovostjo potrditi hipotezo.

Cilj raziskovalne naloge je bil ugotoviti ali res obstajajo razkrojevalci, ki bi lahko razgrajevali plastiko, in kako bi to lahko uporabili pri reševanju problema odpadne plastike in mikroplastike. Kot razkrojevalce sem uporabil ličinke hrošča mokarja, preveril pa sem kako razkrajajo različne vrste plastike, od polietenske do domače kompostirne, ter kakšna vrsta diete jim najbolj odgovarja.

Moja in druge raziskave na tem področju so pokazale, da mokarji lahko konzumirajo in prebavijo različne vrste plastik, ne da bi se te nalagale v njihovem telesu. S plastiko se hranijo tako ličinke kot hrošči, na učinkovitost razgradnje pa vpliva tudi črevesna mikroflora, ki je odvisna tudi od tega, od kod so mokarji – to bi lahko bil razlog za neenakost med prvo in drugo izvedbo mojega poskusa »življenje mokarjev«. Pomembno je tudi odkritje ene izmed raziskav, da mokarji lažje jedo trde in krhke materiale kot pa mehke in gibke. Polovico plastike naj bi izločili v obliki CO₂, polovico pa v iztrebkih. Mokarji naj bi prebavili celo toksične aditive, ki jih vsebuje veliko plastičnih mas na svetu, ne da bi se ti odlagali v njihovem telesu. To je pomembno, saj se mokarji uporabljajo tudi kot hrana za živali (ptice, plazilci idr.) ter kot hrana za ljudi (v Evropski uniji so kot hrana za ljudi odobreni od leta 2021). Ker se iztrebki mokarjev pogosto uporabljajo za ekološka gnojila, bi bilo zanimivo proučiti, ali bi lahko mikroplastiko, ki jo mokarji izločijo v iztrebkih, razgradili z UV-obsevanjem in tako te iztrebke v nadaljnje uporabili kot ekološko gnojilo.

Moja raziskava je potrdila tezo, da je zaradi kemijske sestave bioplastika oz. kompostirna plastika primernejša za hranjenje mokarjev kot konvencionalne plastike, saj so se mokarji po vseh opazovanih parametrih nanjo odzvali bolje. V drugem delu poskusa sem uspel tudi pokazati, da mokarji za prehrano raje izberejo kompostirno plastiko kot konvencionalno in da jo v prehrani celo kombinirajo s pšeničnimi otrobi oz. se takrat njena poraba poveča.

Odkritja iz teh raziskav nam lahko pomagajo tudi pri oblikovanju rešitev problema odpadne plastike in vse bolj prisotne mikroplastike. Tako bi lahko v farmah molarjev namesto zgolj s pšeničnimi otrobi molarje hranili tudi z odpadno plastiko, ki pa se v molarjih ne bi nabirala in bi jih zato lahko uporabili za hrano za živali. V nadaljnjih raziskavah bi bilo pomembno ugotoviti, ali bi bilo molarje, ki se hranijo s plastiko, varno uporabiti tudi za človeško hrano. Potrebno bi bilo ugotoviti tudi, kako bi se to lahko izvajalo v večjem obsegu in kako bi se pri tem učinkovito ločevalo molarje v različnih razvojnih fazah in tako preprečilo kanibalizem. Zanimivo bi bilo tudi odkriti, ali in kako bi se lahko oblikovalo kompostnike, v katerih bi molarji učinkovito razkrajali plastiko in preostale snovi v kompostniku.



Slika 20: Prikazi možnih farm molarjev, kjer bi jih hranili z mešanico pšeničnih otrobov in odpadne plastike. Prikazi so bili oblikovani s pomočjo Chat GPT.

6. Literatura

- **Evropski parlament, 12. december 2018.** "Plastični odpadki in reciklaža v EU: infografika." Dostopno na: <https://www.europarl.europa.eu/topics/sl/article/20181212STO21610/plasti-cni-odpadki-in-reciklaza-v-eu-infografika>
- **ATBUZ,** "Mealworm Life Cycle." Dostopno na: <https://atbuz.com/post/mealworm-life-cycle/>
- **Lizards and Friends, junij 2013.** "Mealworm Biology." Dostopno na: <http://lizardsandfriends.org/wp-content/uploads/2013/06/Mealworm-Biology.pdf>
- **Casey Crownhart, MIT Technology Review, 12. oktober 2023.** "Plastic recycling doesn't work and will never work." Dostopno na: <https://www.technologyreview.com/2023/10/12/1081129/plastic-recycling-climate-change-microplastics/>
- **Daniel Rosenberg, Natural Resources Defense Council (NRDC),** "Burned: Why Waste Incineration Is Harmful." Dostopno na: <https://www.nrdc.org/bio/daniel-rosenberg/burned-why-waste-incineration-harmful>
- **Dijaški.net,** "Umetne snovi: delitev in uporaba." Dostopno na: https://dijaski.net/gradivo/kem_ref_umetne_snovi_02_delitev_in_uporaba
- **Konopko,** "Bioplastika skladna z naravo: gradivo za šole." Dostopno na: https://www.konopko.si/files/file/Bioplastika-skladna-z-naravo_gradivo-za-sole.pdf
- **Impotusa,** "Uporaba in značilnosti polipropilena." Dostopno na: <https://impotusa.com/si/blog/novice/uporaba-in-znacilnosti-polipropilena>
- **ChemicalBook,** "Polypropylene." Dostopno na: https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB5128662.htm
- **EuroPlas,** "LDPE vs HDPE: Which One is Better?" Dostopno na: <https://europlas.com.vn/en-US/blog-1/ldpe-vs-hdpe-which-one-is-better>
- **Vaia,** "Problem 30: Low-density polyethylene (LDPE)." Dostopno na: <https://www.vaia.com/en-us/textbooks/chemistry/organic-chemistry-6-edition/chapter-29/problem-30-low-density-polyethylene-ldpe-has-a-higher-degree/>
- **CNSteelBalls,** "What is the difference between HDPE and LDPE?" Dostopno na: <https://si.cnsteelballs.com/info/what-is-the-difference-between-hdpe-and-ldpe-80153547.html>
- **Hanpak, 6. april 2023.** "Plastic Grocery Bags from HDPE, MDPE, LDPE, and LDPE – Their Typical Characteristics and Most Popular Applications." Dostopno na: <https://hanpak.com.vn/plastic-grocery-bags-from-hdpe-mdpe-ldpe-and-ldpe-their-typical-characteristics-and-most-popular-applications/>

- **Royal Society of Chemistry (RSC)**, "Compostable and biodegradable plastics." Dostopno na: <https://www.rsc.org/globalassets/22-new-perspectives/sustainability/progressive-plastics/explainers/rsc-explainer-2--compostable-and-biodegradable-plastics.pdf>
- **European Bioplastics**, "Market." Dostopno na: [https://www.european-bioplastics.org/market/#iLightbox\[gallery_image_1\]/1](https://www.european-bioplastics.org/market/#iLightbox[gallery_image_1]/1)
- Wikipedija, "Mealworm." Dostopno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Mealworm>
- Wikipedija, "Plastika." Dostopno na: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Plastika>
- Wikipedija, "Bioplastika." Dostopno na: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Bioplastika>
- Wikipedija, "Polimer." Dostopno na: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Polimer>
- Wikipedija, "Polypropylene." Dostopno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene>
- Wikipedija, "Polistiren." Dostopno na: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Polistiren>
- Wikipedija, "Polivinilklorid." Dostopno na: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Polivinilklorid>
- Wikipedija, "Polycarbonate." Dostopno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polycarbonate>
- Wikipedija, "Polieten." Dostopno na: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Polieten>
- Wikipedija, "Polyethylene." Dostopno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene>
- K. Urbanek, A. Rymowicz, and S. Mirończuk, "Biodegradation of Different Types of Plastics by *Tenebrio molitor* Insect," *Polymers* **13** (2021), 3508, DOI: 10.3390/polym13203508.
- M. Brandon, S. H. El Abbadi, U. A. Ibekwe, Y. M. Cho, W. M. Wu, and C. S. Criddle, "Fate of Hexabromocyclododecane (HBCD), a Common Flame Retardant, in Polystyrene-Degrading Mealworms: Elevated HBCD Levels in Egested Polymer but No Bioaccumulation," *Environmental Science & Technology*, **53** (2019), str. 13543–13551, DOI: 10.1021/acs.est.9b06501.
- E. W. Ndotono, C. M. Tanga, S. Kelemu, and F. M. Khamis, "Mitogenomic profiling and gut microbial analysis of the newly identified polystyrene-consuming lesser mealworm in Kenya," *Scientific Reports*, **14** (2024), 21370, DOI: 10.1038/s41598-024-72201-9