

Raznolikost praživotinja i mikro-beskralješnjaka šumskog tla u ovisnosti o vrsti drveća

Juranić, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:544038>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Ana Juranić

**Raznolikost praživotinja i mikro-beskralješnjaka
šumskog tla u ovisnosti o vrsti drveća**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Ana Juranić

**Protozoa and micro-invertebrate diversity in forest soil
depending on tree species**

Master thesis

Zagreb, 2024.

Ovaj rad je izrađen na Zoologijskom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom prof. dr. sc. Renate Matoničkin Kepčije. Rad je predan na ocjenu Biološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja zvanja magistre struke Znanosti o okolišu.

Zahvaljujem mentorici prof. dr. sc. Renati Matoničkin Kepčiji na stručnosti, ljubaznosti, izdvojenom slobodnom vremenu i podršci tijekom izrade ovog rada.

Hvala i svim nastavnicima koji su mi predavali tijekom studija, trudili se i trude prenijeti svoje znanje studentima najbolje što umiju. Znanje je najveće bogatstvo, a Vaš posao dragocjen!

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

Raznolikost praživotinja i mikro-beskralješnjaka šumskog tla u ovisnosti o vrsti drveća

Ana Juranić

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

Ovaj rad istražuje raznolikost praživotinja i mikro-beskralješnjaka u šumskom tlu u odabranom nižem šumskom pojasu Parka prirode Medvednica. Glavni ciljevi istraživanja bili su analizirati sastav i strukturu njihovih zajednica u tlu te usporediti njihovu raznolikost u ovisnosti o vrsti drveća. Uzorci tla prikupljeni su ispod tri vrste drveća: običnog graba, hrasta kitnjaka i običnog bora te potom analizirani metodom „nepoplavljenih Petrijevih zdjelica“. U tlu je pronađeno 49 svojti, od kojih su trepetljikaši bili najzastupljeniji od praživotinja, a potom okučeni. Od mikro-beskralješnjaka najzastupljeniji su bili oblići u većini uzoraka. Rezultati su pokazali da vrsta drveća utječe na sastav i strukturu zajednica, pri čemu je najveći broj svojti zabilježen u tlu ispod običnog graba, a najmanji ispod običnog bora. Opažena veća raznolikost zajednice u tlu ispod običnog graba ukazuje na to da biljna vrsta stvara specifično okruženje i uvjete u tlu koji se mogu odraziti na zajednice praživotinja i mikro-beskralješnjaka koji u njemu obitavaju.

Ključne riječi: trepetljikaši, okučeni, obični grab, hrast kitnjak, obični bor
(47 stranica, 22 slike, 1 tablica, 64 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)
Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

Mentor: prof. dr. sc. Renata Matoničkin Kepčija

Ocjenitelji:

1. prof. dr. sc. Renata Matoničkin Kepčija
2. izv. prof. dr. sc. Mirela Sertić Perić
3. doc. dr. sc. Mladen Maradin
4. prof. dr. sc. Blanka Cvetko Tešović

Rad prihvaćen: 5. 9. 2024.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Master thesis

Protozoa and micro-invertebrate diversity in forest soil depending on tree species

Ana Juranić

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

This study investigates the diversity of protozoa and micro-invertebrates in the forest soil within a selected lower forest zone of the Medvednica Nature Park. The main objectives of the research were to analyze the composition and structure of these organisms' communities in the soil and to compare their diversity in relation to the tree species. Soil samples were collected beneath three tree species: common hornbeam, sessile oak, and Scots pine, and analyzed using the "non-flooded Petri dish" method. A total of 49 taxa were found in the soil, with ciliates being the most prevalent among protozoans, followed by testaceans. Among micro-invertebrates, nematodes were the most common in most samples. The results showed that tree species influence community composition and structure, with the highest number of species recorded in the soil under the common hornbeam and the lowest under the Scots pine. The observed higher diversity in the soil under the common hornbeam suggests that the plant species creates a specific environment and conditions in the soil that can affect the communities of protozoa and micro-invertebrates.

Keywords: ciliates, testaceans, common hornbeam, sessile oak, Scots pine
(47 pages, 22 figures, 1 table, 64 references, original in: Croatian)
Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: Prof. Renata Matoničkin Kepčija, PhD

Reviewers:

1. Prof. Renata Matoničkin Kepčija, PhD
2. Assoc. Prof. Mirela Sertić Perić, PhD
3. Asst. Prof. Mladen Maradin, PhD
4. Prof. Blanka Cvetko Tešović, PhD

Thesis accepted: 5. 9. 2024.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Šumsko tlo.....	1
1.1.1. Biota u šumskom tlu -----	2
1.2. Praživotinje u tlu	3
1.2.1. Bičaši -----	3
1.2.2. Trepetljikaši -----	4
1.2.3. Amebe-----	6
1.2.4. Ekološki značaj i rasprostranjenost praživotinja u tlu-----	7
1.2.5. Praživotinje kao bioindikator u tlu -----	8
1.2.6. Procjena brojnosti i biomase praživotinja u tlu -----	9
1.3. Mikro-beskralješnjaci u tlu.....	10
1.4. Trofički odnosi u šumskom tlu.....	12
1.5. Utjecaj vegetacije na zajednice šumskih tla	15
2. CILJ ISTRAŽIVANJA	18
3. MATERIJALI I METODE	19
3.1. Područje istraživanja	19
3.2. Prikupljanje uzoraka.....	21
3.3. Metoda „nepoplavljenih Petrijevih zdjelica“	22
3.4. Mikroskopiranje živog materijala i determinacija jedinki	23
3.5. Statistička obrada podataka	24
4. REZULTATI	25
4.1. Sastav zajednica praživotinja i mikro-beskralješnjaka u uzorcima.....	25
4.2. Raznolikost svojti u uzorcima šumskog tla.....	31
4.3. Sličnost zajednica praživotinja i mikro-beskralješnjaka u ovisnosti o vrsti drveća. 40	
5. RASPRAVA	41
6. ZAKLJUČAK	47

1. UVOD

1.1. Šumsko tlo

Tlo je vjerojatno najraznolikiji ekosustav na Zemlji. Prema procjenama, između 25 i 30 % svih vrsta na Zemlji živi u tlima tijekom neke ili svih svojih životnih faza. U samo jednom gramu tla živi oko 1×10^9 organizama, a uzorak te mase može sadržavati i do 4000 vrsta (Yarwood i sur. 2020). Šumsko tlo jedna je od primarnih sastavnica šumskih ekosustava te se sa šumskom vegetacijom razvilo u međusobno ovisne komponente ekosustava kroz proces prirodne sukcesije na određenom području (Osman 2013). Pet općenitih čimbenika koji su povezani s razvojem tla uključuju klimu, strukturu tla, reljef, organizme i vrijeme. Interakcija između čimbenika kao što su temperatura, oborine i dostupnost svjetlosti s razvojem vegetacije ima ulogu u formiranju tla, a posljedično i životnih zajednica u njemu (Armson 1977). Ono što je karakteristično za šumska tla jest prisutnost šumske vegetacije koja se odlikuje duboko ukorijenjenim drvenastim biljnim vrstama. Na površini šumskog tla nalazi se posebno značajan sloj listinca koji je dio tzv. O-horizonta tla u kojem dolazi do recikliranja organske tvari i raznih hranjivih soli, uključujući drvo i organizme koji tu obitavaju. Uz šumsku vegetaciju, za postanak i razvitak tla bitna je i litološka podloga (Boyle 2005). Šumsko tlo stanište je za raznolike oblike života koji energiju dobivaju iz organske tvari nastale fotosintezom, kao i iz detritusa biljaka, njihovih odumrlih struktura te ostataka mikroorganizama i životinjskih organizama. Svi organizmi u šumskom tlu zajedno imaju vitalnu ulogu u funkcioniranju šumskih ekosustava jer značajno doprinose razgradnji organske tvari i oslobađanju produkata nastalih razgradnjom u tlo i atmosferu. Ti procesi povećavaju dostupnost hranjivih soli biljkama za njihov rast te unapređuju kvalitetu tla koja zauzvrat ima pozitivan utjecaj na cijelu biocenozu (Weston i Whittaker 2004).

1.1.1. Biota u šumskom tlu

Kad je riječ o tlu, više autora (Haynes 2014; Yarwood i sur. 2020) navodi podjelu organizama u tlu na iduće skupine:

- bakterije i arheje
- gljive
- protisti
- mikro-, mezo- i makrofauna.

Bakterije i arheje najbrojnija su skupina organizama u tlu, s time da arheje čine svega 2 % ove komponente, a pretpostavlja se da u tlu imaju ulogu oksidacije amonijaka (Bates i sur. 2011). Od bakterija prisutne su kemoautotrofne i kemoheterotrofne skupine te fotosintetske cijanobakterije. U skupinu gljiva ubrajaju se jednostanični organizmi poput, primjerice, kvasaca sve do filamentoznih vrsta koje mogu prekrivati površine i do 10-ak km². Uz simbiotske gljive koje čine mikoriznu zajednicu s korijenjem drveća te mutualističke gljive, u tlu su prisutne parazitske i saprotrofne gljive koje razgrađuju organsku tvar te su time bitna komponenta za rast i razvoj vegetacije i kruženje hranjivih tvari unutar ekosustava (Yarwood i sur. 2020). Protisti, koji više nisu sistematska kategorija, kao ni protozoa ili praživotinje, najzanemarenija su skupina u istraživanjima šumskih tla i tla općenito. Protisti pripadaju u sedam taksonomskih grupa, tj. klastera: Archaeplastida, Amoebozoa, Opisthokonta, Stramenopila, Alveolata, Rhizaria i Excavata (Orgiazzi i sur 2016). Od svih protista, u tlu su najviše proučene sluzave plijesni (engl. *slime molds*) unutar klastera Amoebozoa (Yarwood i sur. 2020).

Životinje u tlu već spomenuti autori kategoriziraju u skupine prema svojoj veličini pa tako razlikujemo mikro-, mezo- i makrofaunu. Mikrofauna podrazumijeva životinje čije je tijelo manje od 100 µm, što uključuje dugoživce (Tardigrada), kolnjake (Rotifera) i oblice (Nematoda) koji su najbrojniji i najrasprostranjeniji beskralješnjaci tla (Haynes 2014). Životinje koje pripadaju mezofauni, veličine su od 100 µm do 2 mm. Česti pripadnici ove skupine su maločetinaši iz porodice Enchytraeidae, grinje (red Acari), skokuni (red Collembola), bezrepci (red Protura), dvorepci (red Diplura) i pseudoškorpioni (red Pseudoscorpiones). U makrofaonu spadaju sve životinje veće od 20 mm, odnosno 2 cm, a to su primjerice mravi (porodica Formicidae), termiti (red Blattodea), jednakonošci (red Isopoda), dvojenoge (razred Diplopoda), malonošci (razred Pauropoda), kratkonošci (razred Symphyla), gujavice (porodica

Lumbricidae), kornjaši (red Coleoptera), razne ličinke kukaca, ali i ostale skupine većih dimenzija tijela, primjerice kralježnjaci (Yarwood i sur. 2020).

1.2. Praživotinje u tlu

Praživotinje ili protozoa su polifiletska skupina jednostaničnih eukariota, koji žive slobodno, simbiotski ili kao paraziti, a hrane se heterotrofno, primjerice drugim mikroorganizmima ili detritusom (Panno 2009). Hrane se na dva načina: apsorpcijom otopljenih hranjivih tvari iz okoline, tj. osmotrofijom, i fagotrofijom, odnosno gutanjem krutih hranjivih tvari unutar staničnih vakuola. Stanica praživotinja u kojoj se nalaze razni stanični organeli nema stijenku, a njihove veličine mogu znatno varirati među vrstama. Uključuju gole amebe, okućene, bičšaše, trepetljikaše, mikrosporidije i truskovce. Dosad je poznato otprilike 23000 slobodnoživućih vrsta praživotinja od čega oko 1600 vrsta obitava u tlu, a smatra se da taj broj iznosi čak preko 4000. Vjeruje se kako je više od 70 % vrsta praživotinja tla koje su evoluirale iz vodenog u terestrički okoliš ostalo isključivo terestričko (Foissner 2014). U svojoj aktivnoj fazi kada se hrane, praživotinjama je nužna voda kao životni medij, tj. minimalno vodeni film koji se nalazi oko čestica tla, a od značajne važnosti su i veličine pora u tlu. Trepetljikaši i bičšaši imaju stalan oblik stanice i preferiraju vlažna tla, odnosno slobodnu vodu u tlu, dok amebe karakterizira plastični oblik tijela koji neprestano mijenja svoj oblik i kojem je za pokretanje potrebna površina te im je dovoljan i tanak vodeni film. Mnoge praživotinje tla formiraju ciste koje su otporne na brojne nepovoljne okolišne uvjete (Clarholm i sur. 2007).

Ekolozi su dugo vremena zanemarivali praživotinje pa se zato malo zna o ekologiji praživotinja u tlu, a razlog su bile poteškoće u determinaciji svojti i metodološki problemi u analizi njihove pojavnosti u tlu. Međutim, potkraj prošlog stoljeća limnolozi su prepoznali ulogu praživotinja u pelagičkim prehranbenim mrežama, što je dovelo do razvoja koncepta „mikrobne petlje“ i potaknulo znanstvenike na njihovo intenzivnije proučavanje u tlu (Foissner 1999).

1.2.1. Bičšaši

Evolucijski gledano, među bičšašima nalazimo neke od najstarijih skupina eukariota. Tijela su im relativno malih dimenzija, tj. duga svega od 4 do 15 μm , uz neke iznimke. Bičševe koriste za

plivanje, pričvršćivanje za podlogu ili pak za stvaranje struje vode kojima love bakterijske stanice koje potom ingestiraju (Clarholm i sur. 2007). Nalaze se u gotovo svim tlima, a u većini slučajeva pojavljuje se i više vrsta istovremeno. U tlima ih je opaženo oko 260 vrsta (Foissner 1999). Unatoč tome, kao i za ostale skupine praživotinja, kvantitativni podaci o strukturi i raznolikosti zajednica su rijetki (Ekelund 2001). Osim bakteriovornih vrsta, postoje i neke vrste koje su strogo fungivorne (Foissner 1999). Postoje i vrste koje su predatori. Bjørnlund i Rønn (2008) uočili su da jedan od uobičajenih vrsta bičaća u tlu, *Cercomonas* sp. (Slika 1.). napada i hrani se oblicem *Caenorhabditis elegans*, vrstom mnogo većom od sebe. Predacija se pojavljuje u uvjetima veće abundancije bičaća, a pri manjim abundancijama uočeno je da ju ovaj oblič može izbjegavati, ili se pak povremeno njome hraniti.



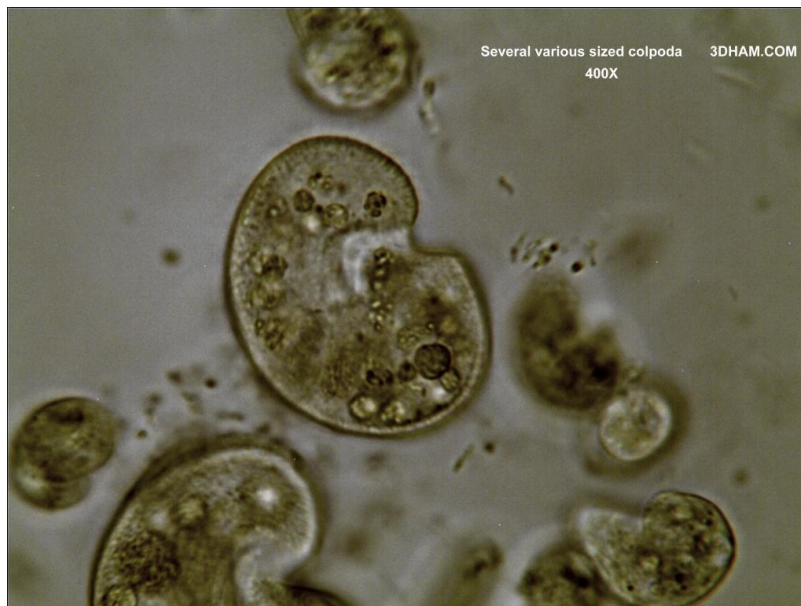
Slika 1. Primjer bičaća koji dolazi u tlu: *Cercomonas* sp.

(preuzeto s commons.wikimedia.org)

1.2.2. Trepetljikaši

Trepetljikaši su evolucijski gledano najmlađa skupina praživotinja i monofilteskog su porijekla. U ovu skupinu organizama spadaju neke od najvećih vrsta među praživotinjama, veličina tijela je od 20 do 600 μm (Clarholm i sur. 2007). Građa im je nešto kompleksnija od građe bičaća i ameba, pa su i lakše uočljivi pod svjetlosnim mikroskopom. Imaju dvije različite jezgre: makronukleusa i mikronukleus. Cijelo tijelo im je prekriveno strukturama zvanim trepetljike ili

cilije u prepoznatljivim uzorcima, tzv. kinetima čiji se raspored koristi za determinaciju u klasičnoj taksonomiji. Neke trepetljike kod nekih skupina mogu biti preobražene tako da imaju funkciju prikupljanja i usmjeravanja čestica hrane u stanično ždrijelo ili citofarinks. Smatra se da u tlu dominiraju trepetljikaši sitnih dimenzija zbog ograničene dostupnosti sitnih pora koje su ispunjene vodom. Najzastupljeniji trepetljikaši u tlu su jedinke iz reda Colpodida (Slika 2.) (Clarholm i sur. 2007). Oblik tijela im je spljošten i prepoznatljivog bubrežastog oblika te su vrlo dobro prilagođeni životu u tlu. Hipotrihni bičaši (*Hypotrichia*) su također uvelike zastupljeni u tlu. Za njih je karakteristično dorzo-ventralno spljošteno tijelo. Kod pripadnika ove skupine trepetljike su preobražene u strukture zvane ciri koje im služe za pokretanje uz podlogu. Takav način pokretanja može odvojiti bakterijske filmove od čestica tla te tako osloboditi bakterijske stanice za konzumaciju (Clarholm i sur. 2007). Prema procjenama, udio trepetljikaša u tlu koji se hrane uglavnom bakterijama iznosi 39 %, 34 % su predatori, a 20 % su svejedi. Postoje neke vrste koje su strogo mikofagne pa su za takav tip hranjenja razvili hranidbenu cjevčicu kojom rade rupe u hifama i sporama gljiva (Foissner 1999).

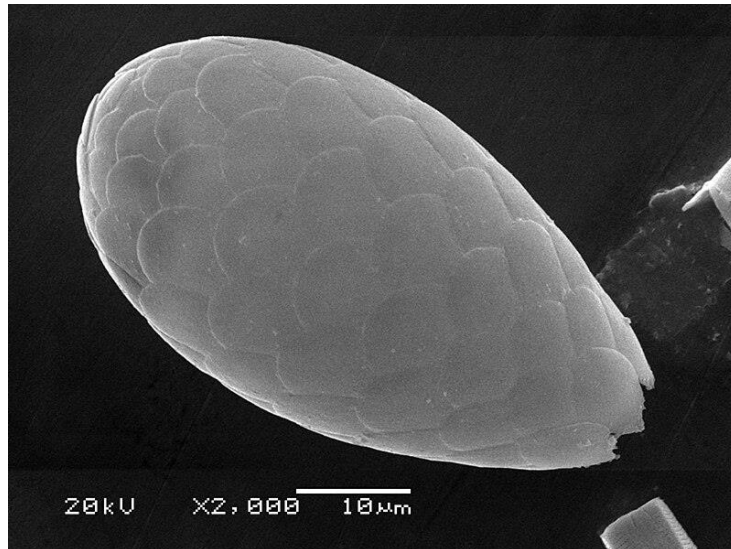


Slika 2. Jedinke trepetljikaša roda *Colpoda*.

(preuzeto s commons.wikimedia.com)

1.2.3. Amebe

Amebe također više nisu sistematska kategorija i obuhvaćaju više skupina polifiletskog porijekla koje se pokreću i hrane pseudopodijima ili lažnim nožicama. Amebe su tradicionalno podijeljene na okućene i gole amebe (Clarholm i sur. 2007). U tlu je opisano oko 60 vrsta golih ameba, no smatra se da je to samo mali dio stvarnog broja vrsta ove skupine. Gole amebe koje žive u tlu vrlo su sitnih dimenzija. Manje su od 30 μm i često priljubljene uz čestice tla. Okućena je u tlu opisano oko 300 vrsta (Foissner 1999). Ovi organizmi posjeduju kućicu ili testu koje mogu biti proteinskog, silikatnog (Slika 3.), rjeđe karbonatnog sastava ili aglutinirane, gdje se na organski matriks pričvrste razne čestice u tlu (Geisen i sur. 2018). Njihova veličina u tlu varira između 20 i 60 μm , imaju duža generacijska razdoblja od golih ameba, obično do nekoliko dana, te uvijek bar djelomično ostaju unutar teste tijekom cijelog života, čak i u stadiju ciste. Kroz otvor na testu provlače svoje lažne nožice tipa lobopodija ili filopodija kojima se pokreću i hrane (Clarholm i sur. 2007). Okućene nalazimo u velikom broju na staništima kiselih tla poput cretova, močvara i crnogoričnih šuma, a smatra se da postoji mogućnost da su recentno zauzele ekološku nišu eutroficiranih, zakiseljenih europskih šuma zbog sve većeg onečišćenja zraka (Clarholm i sur. 2007). Na površini stanične membrane imaju posebne molekule kojima privlače bakterijske stanice koje invaginacijom membrane bivaju fagocitirane (Clarholm i sur. 2007). Mnoge vrste okućenih u tlu hrani se česticama humusa i/ili hifama i sporama gljiva, ali također konzumiraju alge, druge praživotinje i bakterije, a poznato je da se vrsta *Apodera vas*, koja živi isključivo na južnoj Zemljinoj polutki, hrani čak i oblicima. Kod nekih drugih vrsta, npr. *Diffugia lucida* i *Schoenbornia humicola*, opisan je specijaliziran način hranjenja. Jedinke ovih vrsta skupljaju i pohranjuju čestice humusa oko pseudostoma tijekom optimalnih razdoblja i transportiraju ih u citoplazmu tijekom nepovoljnih uvjeta (Foissner 2009).



Slika 3. SEM fotografija okučena *Euglypha* sp., česte svojte tla koja testu izgrađuje izlučivanjem silicijevog dioksida.

(preuzeto s commons.wikimedia.org)

1.2.4. Ekološki značaj i rasprostranjenost praživotinja u tlu

Brojna istraživanja ekosustava tla ukazuju na to da su bakterije i gljive odgovorne za otprilike 90 % heterotrofne respiracije tla. Nasuprot tome, samo oko 10 % može se pripisati drugim heterotrofima, pri čemu praživotinje čine otprilike 70 % te respiracije unatoč tome što njihov doprinos ukupnoj biomasi tla iznosi oko 30 %. Ova razlika u velikoj je mjeri posljedica njihove malene veličine i brzih stopa reprodukcije. Međutim, u tlima koja su bogata populacijama maločetinaša, udio praživotinja u odnosu na ukupnu biomasu značajno je niži nego što je prethodno spomenuto, dok je obično viši u ekstremnim okruženjima, kao što su šume četinjača, pustinje i visoke planinske regije, gdje su populacije maločetinaša oskudne ili odsutne. Istraživanja o proizvodnji i pretvorbi energije protozoa u tlu prvenstveno su se fokusirala na okučene, čije teste služe npr. kao indikatori za procjenu stopa smrtnosti u tlu. Značajna uloga praživotinja u ukupnoj godišnjoj proizvodnji biomase i protoku hranjivih tvari u tlu pripisuje se njihovim brzim stopama izmjena generacija (Foissner 2014). Geisen i suradnici (2017) napominju kako je u proteklih 15-ak godina broj istraživanja protista u tlu, u koje spadaju praživotinje, pao u odnosu na istraživanja drugih organizama. O biogeografiji praživotinja ne znamo mnogo. Obrasci rasprostranjivanja na globalnim i regionalnim razinama uglavnom su istraživani za bakterije, arheje i gljive, dok su protisti najčešće zanemarivani. Poznato je da su

zajednice praživotinja u tlu sveprisutne, da mogu izrazito varirati na globalnoj razini i da je otprilike trećina svih vrsta endemska, dok su druge kozmopolitske (Foissner 2016). U istraživanju koje su proveli Oliverio i suradnici (2020), prikupivši i analiziravši 180 uzoraka tla sa šest kontinenta s različitim tipova staništa, pokazalo se kako je u tlu u prosjeku najviše pripadnika skupina Cercozoa i Ciliophora te općenito ostali pripadnici konzumenata koji su činili čak 85 % ukupnog udjela protista u tlu. Samo 10 % su u prosjeku činili fototrofni protisti koji su značajniji za tla aridnih područja gdje njihov udio doseže i do 40 % u ukupnom broju protista. Primijećeno je da su parazitske vrste praživotinja brojnije u tlima tropskih područja, a tamo njihov udio može doseći i do 38 %. Za daljnje unaprjeđenje saznanja o tlu i ekosustavima tla, nedavno je prepoznato kako je razumijevanje ključnih okolišnih čimbenika koji utječu na sastave i strukture populacija praživotinja najvažniji smjer istraživanja u protistologiji tla. Cilj je razjasniti specifične doprinose različitih skupina protista u podzemnim hranidbenim mrežama, umjesto samo širokih funkcionalnih grupa (Geisen i sur. 2017).

1.2.5. Praživotinje kao bioindikator u tlu

U usporedbi s Metazoa, koji su daleko više proučavani, Foissner (2014) navodi kako praživotinje pokazuju nekoliko svojstava koje ih čine posebno vrijednima u svrhu bioindikacije. Prije svega čine vitalnu komponentu kopnenih ekosustava, njihova produktivnost i biomasa je značajna, a značajne su i stope respiracije po jedinici mase. Iduće, fluktuacije u brojevima svojiti mogu značajno utjecati na procese formiranja i ukupnu plodnost tla. Zbog svojih brzih stopa rasta, kratkih životnih ciklusa i krhkih staničnih membrana, mogu brže reagirati na promjene u okolišu za razliku od drugih eukariotskih organizama, pa zato mogu biti korisni u ranijoj detekciji promjena u tlu. Nadalje, rezultati istraživanja se mogu dobiti u razdoblju od nekoliko dana, što nadmašuje druge eukariotske testne organizme. Genomska struktura protozoa nalikuje na genomsku strukturu Metazoa, što omogućuje uvjerljiviju korelaciju njihovih odgovora na promjene u okolišu s onima viših organizama, za razliku od prokariotskih organizama. Morfološka i genetska varijacija među kozmopolitskim vrstama protozoa je relativno minimalna globalno, što ukazuje na to da se indikatorske vrste mogu koristiti na globalnoj razini. Naposljetku, praživotinje napreduju i posebno su prisutne u ekosustavima tla koji su gotovo lišeni viših organizama, poput maločetinaša, često zbog ekstremnih uvjeta okoliša (Foissner 2014). Kao bioindikator mogu se koristiti u nekoliko svrha. Određeni trepetljikaši, poput roda *Metopus* mogu preživjeti i razmnožavati se samo u anaerobnim ili uvjetima vrlo

niske koncentracije kiska pa stoga mogu ukazivati na periodičan ili sporadičan manjak kisika u tlu (Foissner 1999). Različite vrste okućena mogu se koristiti za razlikovanje različitih tipova humusnih tla, u praćenju restauracije cretova i rekonstrukciji paleookoliša i holocenskih promjena u okolišu (Geisen i sur. 2018). Neke praživotinje se koriste za procjenu toksičnosti pesticida u tlu, osobito trepetljikaši (Petz i Foissner 1989). U pedologiji služe za procjenu zbijenosti tla koja smanjuje plodnost i povećava eroziju. Povišene koncentracije CO₂ u atmosferi zbog povećane biljne produktivnosti mogu doprinijeti povećanoj brojnosti praživotinja u području rizosfere. Uz CO₂, poznato je da postoji osjetljivost na sumpor, ozon, dušik, teške metale i taloženje atmosferskih lebdećih čestica u tlu, što je najviše proučavano za skupinu okućena, ali je pretpostavka da se isto odnosi i na druge skupine (Geisen i sur. 2018).

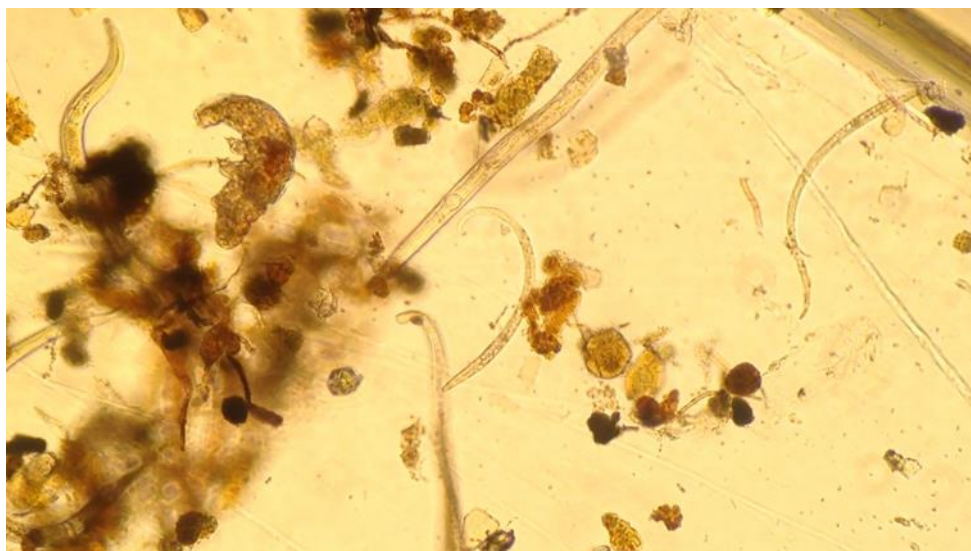
1.2.6. Procjena brojnosti i biomase praživotinja u tlu

Procjenjuje se da populacije praživotinja u tlu iznose između 10⁴ i 10⁶ jedinki po gramu suhe mase tla. Biomasa se obično kreće od 0,1 g do 5 g/m². Brojnost bičaća i golih ameba varira od 2×10² do 10⁶ po gramu suhog tla. Gustoće aktivnih okućena po gramu tla su 10² do 10³ u obrađenim poljoprivrednim tlima, 10³ do 10⁴ u livadnim tlima, te 10⁴ do 10⁵ u šumskom listincu i tlu. Njihova biomasa često premašuje onu drugih skupina praživotinja, što može biti veliki propust ako ih se isključi iz istraživanja. Nasuprot tome, abundancija aktivnih trepetljikaša u zrelih tlima je obično ispod 100 jedinki po gramu, dok u razvojno mlađim tlima i listincu može doseći do 10⁴ jedinki po gramu (Foissner 2014). Napredak i razvoj protistologije krajem prošlog i početkom ovog stoljeća pokazao je da su praživotinje tla daleko raznolikiji organizmi nego što se prvobitno smatralo. Za izračunavanje brojnosti tj. abundancije *in situ* aktivnih populacija koristila se metoda najvjerojatnijeg broja (engl. *Most Probable Number* ili MPN). Pošto je cilj izmjeriti aktivne vrste u trenutku uzorkovanja, uzorke treba promatrati unutar 1-2 dana te ih čuvati pod uvjetima koji su slični temperaturi i vlažnosti tla prilikom uzorkovanja. Brojnost i sastav aktivnih populacija se mijenja kako odmiče vrijeme od trenutka uzorkovanja, a ovisno o uvjetima skladištenja uzoraka, neke vrste formiraju ciste, dok druge izlaze iz cista. Različite vrste izlaze iz cista pod različitim uvjetima, a neke vrste zahtijevaju duže vrijeme za izlazak nego što je to slučaj kod r-selektivnih vrsta. Stoga, ovisno o tome kada se kulture promatraju, mogu se zabilježiti različite brojnosti i identificirati različite vrste te nije moguće dobiti početne vrijednosti brojnosti svojta iz kultiviranih uzoraka (Adl i Gupta 2006). Zbog toga protistolozi uglavnom ne preporučuju korištenje MPN metode općenito za brojanje *in situ* aktivnih

populacija (Foissner 1987). Za određivanje brojnosti vrsta praživotinja u tlu preporučena alternativa je određivanje učestalost pojavljivanja vrsta u kulturama (Krebs 1999). Izravno prebrojavanje golih ameba i bičaća predstavlja izazove zbog njihove jake adhezije na čestice tla, što ih čini gotovo nevidljivima, pa su dobivene brojke često upitne i nepouzdanе. Trepetljikaše je već nešto lakše uočiti pod svjetlosnim mikroskopom jer su većih dimenzija, a njihove trepetljike relativno uočljive (Foissner 2014).

1.3. Mikro-beskralješnjaci u tlu

Pod pojmom mikro-beskralješnjaka podrazumijevaju se organizmi iz skupine Metazoa koji su premali da bi se vidjeli golim okom, veličine tijela obično manje od 1 mm (Park 2007). Tu se svrstavaju jedinke iz skupine oblića (Nematoda), dugoživaca (Tardigrada) (Slika 4.), kolnjaka (Rotifera) (Slika 5.), skokuna (Collembola) i grinja (Acari) (Slika 6.) (Geisen i sur. 2019). Od svih mikro-beskralješnjaka, najistaknutiji i najmnogobrojniji su oblići, koji su sveprisutni u gotovo svakom tlu te broje više od 14000 vrsta. Oblići u tlu žive kao slobodno živući organizmi u vodenim filmovima ili kao fitoparaziti unutar ili na površini biljnih korijena. Dužine su uglavnom od 0,15 do 5 mm (Lavelle i Spain 2003). Kod ove skupine je otkriveno osam različitih strategija hranjenja koje ukazuju na to da oblice nalazimo na raznim trofičkim razinama, a hrane se bakterijama, gljivama, biljnim ostacima, protistima i drugim oblicima. U tlu su važni radi protoka ugljika i kao spona između mikroorganizama i veće faune. Preferiraju staništa koja imaju visoke koncentracije organske tvari. U šumskom tlu, raznolikost zajednica oblića je veća nego što je slučaj u ostalim ekosustavima. Pokazalo se da se struktura zajednica oblića razlikuje pod utjecajem različitih vrsta drveća, da mogu modificirati zajednice gljiva i bakterija i poticati rast biljaka mineralizacijom fosfora i dušika u tlu (Yarwood i sur. 2020). Kolnjaci se općenito smatraju vodenim organizmima, no također ih nalazimo u tlu. Žive u vodenim filmovima koji obavijaju čestice tla i šupljinama koje su ispunjene vodom. Važnost i funkcija ove skupine u tlu dosad nije previše istraživana, no smatra se da zbog svoje sposobnosti filtracije utječu na zajednice bakterija (Osman 2013).



Slika 4. Raznolike skupine oblića (Nematoda) i dugoživac (Tardigrada) među česticama tla i detritusom.

(preuzeto sa soilsmatter.wordpress.com)



Slika 5. Prikaz kolnjaka (Rotifera) pod svjetlosnim mikroskopom.

(preuzeto s commons.wikimedia.org)

Grinje ili Acari, sitni su člankonošci (Slika 6.) također sveprisutni u različitim tlima na globalnoj razini, no tipično u šumskom listincu i travnjacima. Pretpostavljeno je da u tlu živi oko 30000 različitih vrsta (Biosis, 2024). Predominantno se hrane listincem, mikroorganizmima, biljkama i drugim živim ili uginulim životinjama pa su zato bitni za proces razgradnje listinca i kruženje hranjivih tvari (Petersen, 1982; Walter i Proctor, 1999).



Slika 6. Vodena grinja pronađena u uzorku tla .

(foto: A. Juranić)

Skokuni ili Collembola također su sveprisutni člankonošci tla koji preferiraju prehranu gljivama, uključujući saprotrofne i mikorizne gljive pa na taj način mogu pridonositi rastu biljaka. U tlu je poznato oko 7000 vrsta (Yarwood i sur. 2020). Također ih ne možemo svrstati u jedinstvenu trofičku skupinu jer se mnoge vrste mogu hraniti oblicima u uvjetima kada je njihova brojnost u tlu povećana (Coleman 2013).

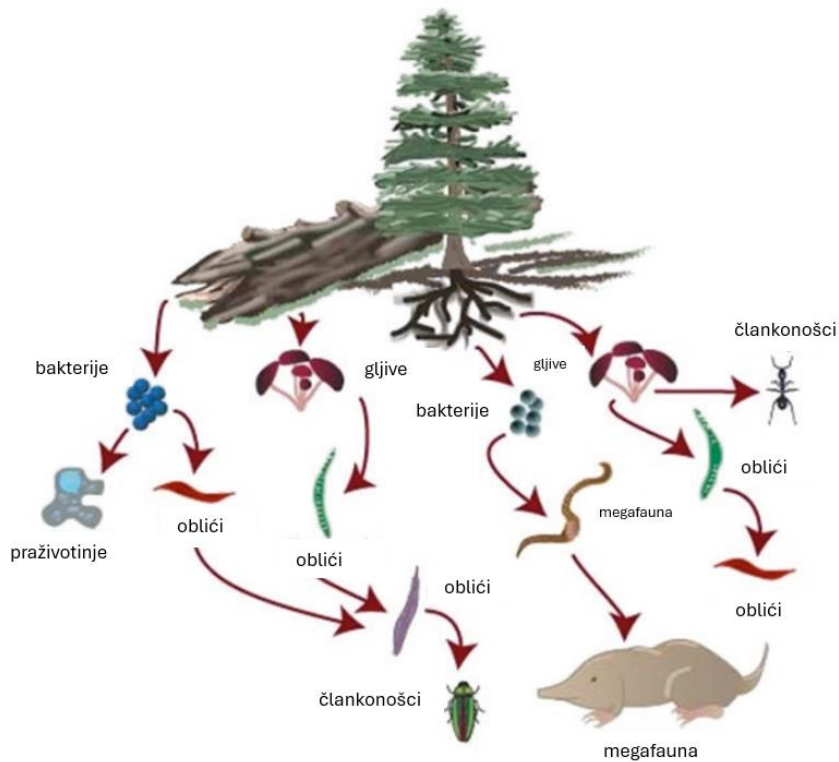
Dugoživci ili Tardigrada (Slika 4.) koji žive u tlu brojnije su od slatkovodnih i morskih vrsta. Čak 80 % opisanih vrsta pronađeno je u tlima. Preferiraju razne načine hranjenja, tj zauzimaju različite trofičke razine pa je njihova ekološka funkcija također kompleksna. Hrane se gljivama, bakterijama, algama, kolnjacima, oblicima i ostacima listinca, a često su i sami plijen za druge organizme. Kao bitan abiotički faktor za obitavanje u tlu kod ovih organizama pokazala se temperatura, a preferiraju niže temperature (He i sur. 2024).

1.4. Trofički odnosi u šumskom tlu

Biota tla organizirana je u kompleksne hranidbene mreže koje opisuju trofičke interakcije (Slika 7.) unutar ekosustava (Haynes 2014). Hranidbene mreže predstavljaju raspodjelu odnosa

hranjenja među različitim populacijama, čime je reguliran prijenos energije unutar zajednice, od primarnih proizvođača (autotrofnih organizama) sve do vršnih predatora (Digel i sur. 2014). Organizmi u tlu u prehrambenom lancu dobivaju ugljik, tj. energiju prvenstveno konzumiranjem biljaka, bakterija ili gljiva, kao i kroz različite oblike parazitizma i predacije. Primarni izvor energije u šumskim tlima je organska tvar koja dolazi od biljnih dijelova raznih vaskularnih biljaka koje provode fotosintetsku fiksaciju ugljika, listinca na površini tla i korijenja biljaka ispod tla. Fiksaciju ugljika mogu provoditi i drugi autotrofni organizmi. Ugljik se zatim integrira u strukturne komponente organizama ili se mineralizira i oslobađa kao energija tijekom razgradnje složenih ugljikohidrata. Dobivena energija je ključna za pokretanje metaboličkih i fizioloških funkcija živih bića u tlu (Atkinson 1980).

Prvu trofičku razinu u šumskom tlu čine primarni razlagači, bakterije i gljive, koje razlažu kompleksnu organsku tvar do jednostavnije, te biljojedne vrste oblića koje se hrane korijenjem. Drugu trofičku razinu tvore praživotinje i oblići koji se hrane bakterijama, fungivorne vrste oblića, grinja i skokuna. Treću trofičku razinu čine razni sitni predatorski člankonošci, primjerice grinje i skokuni te oblići koji se mogu hraniti praživotinjama i ostalim mikrobeskralješnjacima (Haynes 2014). Praživotinje u tlu bitan su čimbenik u tzv. „mikrobnoj petlji“. To je proces regeneracije elemenata u kojem se hranjive tvari (ugljik, dušik i fosfor) nastale raspadom stanica i ekskrecijom organizama na višim trofičkim razinama, vraćaju prema organizmima na nižim trofičkim razinama u obliku tvari koje mogu koristiti kao ponovni izvor energije pa se tako dio primarne energije vraća u hranidbeni lanac tj. mrežu (Coleman i sur. 2004).



Slika 7. Pojednostavljeni shematski prikaz skupina organizama i trofičkih razina u šumskom tlu.

(preuzeto i prilagođeno iz: Yarwood i sur 2020)

Istraživanje provedeno od strane Digela i suradnika (2014) pokazalo je da su hranidbene mreže u šumskom tlu raznolikije i drugačije povezane u odnosu na druge ekosustave. Sitne pore u strukturi tla pružaju sklonište za sitan plijen što može biti od velikog utjecaja na interakcije između plijena i predatora. Još jedna od posljedica je i veličinski strukturirana zajednica tla, koju čine mikrofauna (praživotinje; op. autori ih ubrajaju u ovu kategoriju, i oblići), mezofauna (sitni člankonošci i enhitreje) i makrofauna (pr. kornjaši, dvojenoge, gujovice). Ovakva veličinska podjela organizama u skupine ukazuje na njihove međusobne interakcije što može utjecati i na strukturu hranidbenih mreža. Primijećeno je da hranidbene mreže šumskog tla u većoj mjeri imaju oportunističku organizaciju, što je vidljivo po većem broju omnivornih i kanibalističkih vrsta kako praživotinja, tako i mikro-beskralješnjaka. Struktura tla može vršiti evolucijski pritisak na organizme u tlu kako bi se prilagodili staništu, bilo morfološki ili bihevioralno (Digel i sur. 2014). Morfološke prilagodbe organizama poroznoj strukturi tla su brojne i široko rasprostranjene među vrstama. Prosječna tjelesna duljina, prosječna tjelesna

širina i prosječna biomasa trepetljikaša i okućenih u tlu su znatno manje od onih u slatkim vodama. Mala veličina i volumen rezultat su ili općeg smanjenja ukupnih dimenzija ili smanjenja tjelesne širine. Mnogi trepetljikaši tla pokazuju tigmotaktičko ponašanje, imaju puzajući lokomociju, smanjenu trepetljivost i tijelo koje je ili spljošteno ili crvoliko. Zajednice okućena u tlu su također definirane visokom prevalencijom vrsta koje pokazuju smanjenu veličinu otvora, tj. pseudostoma, spljoštenu ventralnu stranu tijela i globularni oblik. Gole amebe i bičaši pokazuju slične morfološke prilagodbe (Foissner 1999). Kod sitnih člankonožaca je to ispoljeno u obliku reduciranih tjelesnih nastavaka. Primjerice, skokuni koji žive u tlu imaju reduciranu vilicu ili furku u kombinaciji s izduženim tijelom, dok je kod jedinki koje žive u sloju listinca furka razvijena (Hopkin 2007).

Razotkrivanje hranidbenih mreža i bioraznolikosti unutar šumskih tala je izazovan proces zbog velike filogenetske raznolikosti organizama koji u njemu žive. Ranija istraživanja hranidbenih mreža u tlu identificirale su organizme isključivo na temelju morfoloških karakteristika. Takav pristup zahtijeva visoku stručnost i poznavanje taksonomije, što ograničava broj vrsta koje mogu biti ispitane (Oliverio i sur. 2020). Morfološka identifikacija zahtijeva značajan trud i stručnost na području taksonomije kako bi se procijenila raznolikost na nižim taksonomskim razinama. Posljednjih godina znanstvenici su počeli koristiti analitičke molekularne tehnike na području ekologije tla, time značajno poboljšavajući razumijevanje bioraznolikosti istoga. Molekularni ekološki pristupi, poput metagenomike, analize izotopa ^{13}C i analize hranidbenih mreža, sve se više koriste pri opisivanju bioraznolikosti i hranidbenih mreža u tlu (Geisen i sur 2018).

1.5. Utjecaj vegetacije na zajednice šumskih tla

Dosadašnja istraživanja sugeriraju da na sastav i strukturu zajednica praživotinja u tlu najviše utječe dostupnost vode, tj. vlažnost tla (Bates i sur. 2013; Geisen i sur. 2014). Kao ostali potencijalno važni čimbenici spominju se još i pH-vrijednost tla, ukupna količina dušika u tlu i biljna vrsta, odnosno biljne zajednice koje rastu neposredno iznad tla u kojem obitavaju ovi organizmi. Dobro je poznato da mikrobiota tla utječe na rast i razvoj biljaka, no malo se zna o tome koliko određena biljna zajednica ili dominantna biljna vrsta točno mogu utjecati na sastav i strukturu zajednice praživotinja i mikro-beskralješnjaka tla. Biljke, abiotički čimbenici i biota tla povezani su u vrlo kompleksne međusobne interakcije (Oliverio i sur 2020). Kompleksnost

mikrobioma tla povećava se zajedno s razvojem biljne zajednice prema stadiju vegetacijskog klimaksa, a veća bioraznolikost u tlu pozitivno utječe na stabilnost ekosustava tla koja znači stabilniju brojnost i broj svojti u tlu (de Araujo i sur. 2018). Tedersoo i suradnici (2015) ističu kako utjecaj pojedine vrste drveta i biljne raznolikosti na broj i brojnost svojti šumskog tla nije jednoznačan, nego ovisi o specifičnom ekološkom kontekstu. Svaka šumska zajednica djeluje unutar jedinstvenih okolišnih uvjeta, pH-vrijednosti tla, vlažnosti tla, temperature zraka, sastava hranjivih tvari u tlu i mikrokline. Ti uvjeti mogu značajno varirati ovisno o geografskom području, što znači da ista vrsta drveta na različitim područjima može imati različite učinke na tlo. Pokazalo se kako određena vrsta drveta može povećati kiselost tla, ali kako pH-vrijednost tla varira ovisno o geografskom području te reakcije i odgovori organizama u tlu mogu biti različite. Određene vrste drveća mogu imati specifične učinke na određene skupine organizama. Na primjer, neke vrste drveća mogu favorizirati mikorizne gljive koje formiraju simbiotske veze s korijenjem, dok druge vrste mogu potaknuti rast saprotrofnih gljiva koje razgrađuju organsku tvar. Na taj način prisutnost određene vrste drveta može utjecati na cjelokupnu strukturu zajednice tla.

Na sastav hranjivih tvari u tlu, biljna vrsta može utjecati putem kemijskog sastava listinca (koji se znatno može razlikovati ovisno o vrsti) i tvari koje korijenje biljke izlučuje u tlo (npr. fitohormona) (Acosta-Mercado i Lynn 2004). Razgradnja listinca ključan je proces koji pokreće stvaranje organske tvari u tlu i kruženje ugljika i ostalih hranjivih tvari u ekosustavima tla. Više od 50 % neto primarne proizvodnje na globalnoj razini vraća se u tlo putem razgradnje otpalog lišća, čime se obogaćuje detritusni hranidbeni lanac tla (Wardle i sur. 2004). Također, određeni organizmi mikrofaune favoriziraju određene biljne vrste, a posljedično mikrofauna tla utječe na brzinu razgradnje listinca direktno sudjelujući u njegovoj fragmentaciji, ingestiji i miješanju s česticama tla, a indirektno, utječući na aktivnost i performans primarnih razlagača (Grandy i sur. 2016). Keller i Phillips (2019) spominju kako je poznato da osim inicijalnog kemijskog sastava listinca, vrsta mikoriznih zajednica koju korijenje biljaka stvara s gljivama također utječe na brzinu razgradnje listinca. Razlike u kemijskom sastavu listinca (razlike u udjelima ugljika i dušika) između drvenastih biljnih vrsta koje s gljivama stvaraju ektomikorize i arbuskularne mikorize proizlaze iz različitih načina na koje te gljive pribavljaju hranjive tvari. Gljive arbuskularne mikorize oslanjaju se na jednostavnije, anorganske oblike hranjivih tvari, dok gljive koje su dio ektomikorize imaju sposobnost razgradnje složenijih organskih materijala kako bi došle do dušika i fosfora. Ove razlike oblikuju kemijski sastav listinca, što dalje utječe na cikluse hranjivih tvari i ekosustave tla (Peng i sur. 2022). Kooch i suradnici (2017)

proučavanjem otvorene šumske sastojine listopadnog drveća ustanovili su da primjerice stabla vrste *Carpinus betulus* L. imaju drugačiji utjecaj na kemijski sastav listinca u odnosu na druge proučavane vrste (*Acer velutinum* Boiss., *Pterocarya fraxinifoli* (Poir.) Spach, *Quercus castaneifolia* C.A.Mey.) tj. listinac ispod ove vrste ima najviše koncentracije ukupnog dušika i najniže koncentracije ukupnog ugljika. Također, tlo je bilo plodnije, pronađene su veće količine ukupnog dušika i ostalih dostupnih hranjivih tvari poput fosfora, kalija, kalcija i magnezija. Zapažena je i veća biološka aktivnost: veća biomasa gujavica, veća brojnost oblića i veća respiracija mikroorganizama. Suprotno, u listincu ispod vrste hrasta zapaženi su suprotni omjeri ukupnog dušika i ugljika u odnosu na omjere u listincu ispod graba, dakle manje koncentracije dušika i više koncentracije ugljika.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je provedeno zbog nepostojećih saznanja o slobodnoživućim praživotinjama u tlu na prostoru Republike Hrvatske, izuzev pronađenih cista u tlu u kontekstu potencijalnih parazita (Stojčević i sur. 2010). Kao jedne od glavnih skupina organizama u tlu njihova važnost globalno je prepoznata, no daljnja eksperimentalna i taksonomska istraživanja te dugoročni monitoring zajednica neophodni su za razumijevanje i nove spoznaje o njihovim učincima na biotičke i abiotičke čimbenike tla, bolje poznavanje trofičkih odnosa tla te rasprostranjenosti u tlu na lokalnoj i globalnoj razini. Zbog toga, ciljevi ovog istraživanja su:

- 1) Analizirati sastav i strukturu praživotinja i mikro-beskralješnjaka šumskog tla na odabranom području unutar PP Medvednica.
- 2) Usporediti opaženi sastav i strukturu zajednica ovisno o dominantnoj vrsti drveta ispod koje je tlo uzorkovano.

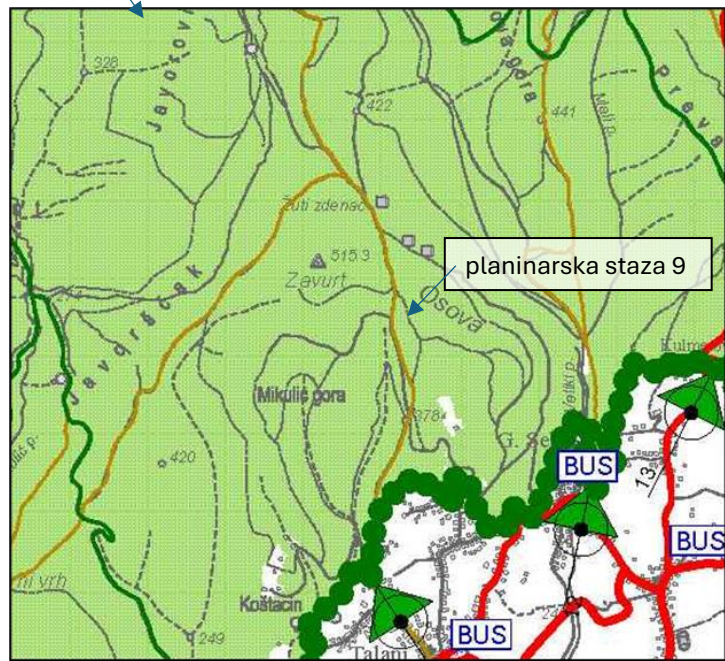
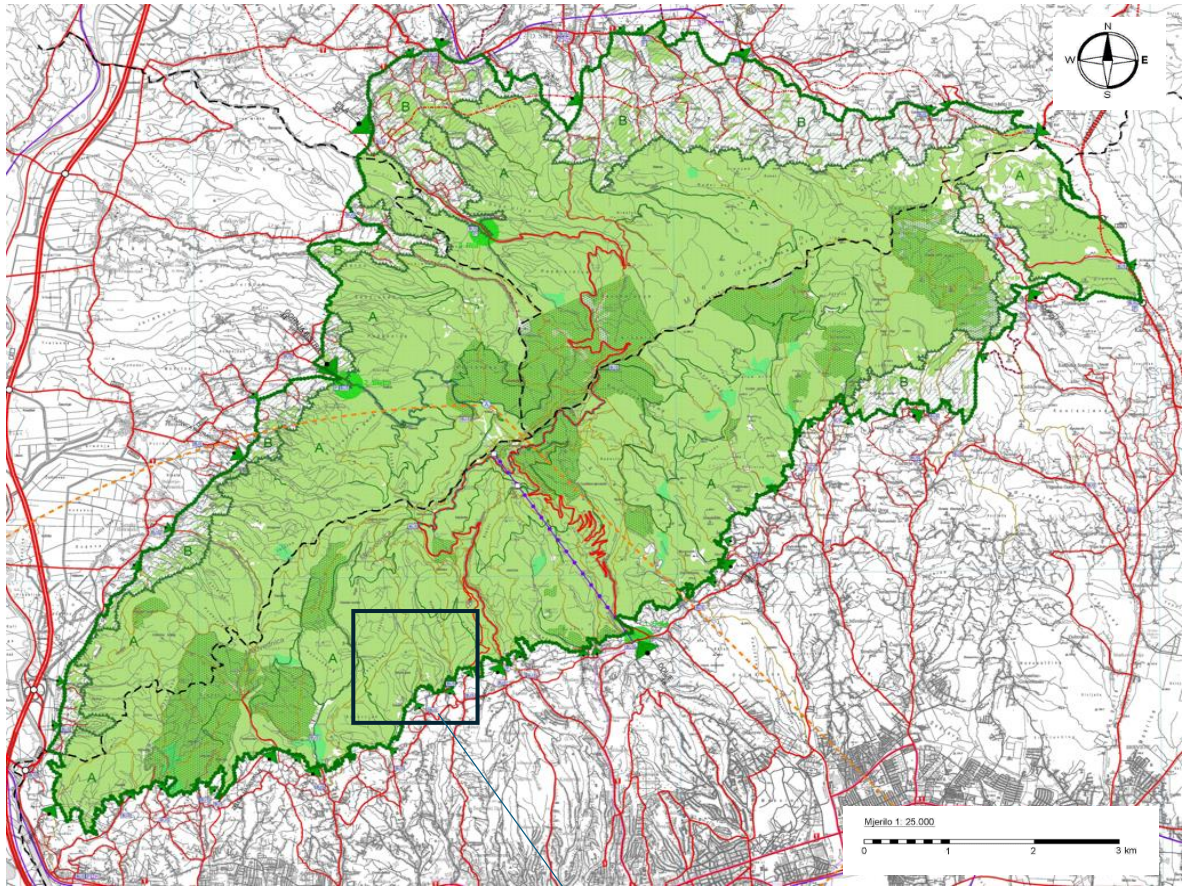
Hipoteze istraživanja bile su:

- 1) U šumskom tlu ispod drveća dominirat će trepetljikaši među praživotinjama i oblici među mikro-beskralješnjacima.
- 2) Vrsta drveta značajno utječe na sastav i strukturu zajednica praživotinja i mikro-beskralješnjaka šumskog tla.

3. MATERIJALI I METODE

3.1. Područje istraživanja

U svibnju 2024. godine sakupila sam uzorke tla u Parku prirode Medvednica uz planinarsku stazu 9, na otprilike 500 m nadmorske visine (Slika 8). Dobrović i suradnici (2007) područje parka dijele na dva fitogeografska pojasa: niži šumski pojas obuhvaćen svezom *Carpinion betuli* i planinski vegetacijski pojas obuhvaćen svezom *Areomonio-fagion*. Uzorci su sakupljeni na području nižeg šumskog pojasa koje prema Nacionalnoj klasifikaciji staništa Republike Hrvatske spada u Srednjoeuropske acidofilne šume hrasta kitnjaka te obične breze (Zavod za zaštitu okoliša i prirode Ministarstva zaštite okoliša i zelene tranzicije 2024), a na kojem dominira asocijacija *Quercus-Castanetum sativae*, tj. mješovita šuma hrasta kitnjaka i pitomog kestena. U sloju drveća dominantne vrste su pitomi kesten (*Castanea sativa* Mill.) i hrast kitnjak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), a ponegdje obični grab (*C. betulus*) ili obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) (Nikolić 2024).

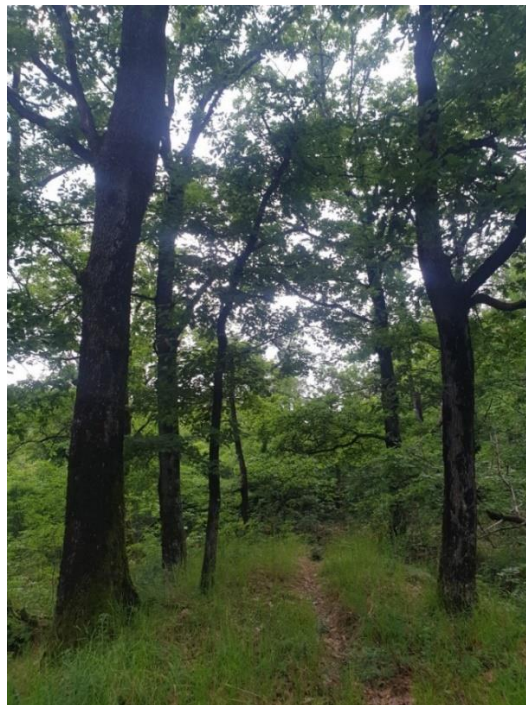


Slika 8. Uvećani prikaz područja uzorkovanja na prostornom planu PP Medvednica s kojeg je uzorkovano tlo. Na samom ulazu u Park prirode, oko vrha Zavurt (515 m) uz planinarsku stazu 9.

(preuzeto i prilagođeno s mpgi.gov.hr)

3.2. Prikupljanje uzoraka

Uzorke sam uzela ispod tri različite vrste drveća. Dvije biljne vrste su česte na području istraživanja: obični grab (*C. betulus*) i hrast kitnjak (*Q. petraea*) (Slika 9.), dok je kao treća vrsta odabran obični bor (*Pinus sylvestris* L.) koji na ovom području nije autohtona vrsta, već je prisutan kao nasad (Čehulić 2022). Koristeći slučajan odabir, uzela sam dva replikatna uzorka površinskog sloja tla do dubine od 5 cm za svaku vrstu ispod triju različitih stabala iste vrste. Tlo sam uzorkovala metalnom lopaticom pri čemu je prikupljeno otprilike 200 g površinskog sloja tla i pohranjeno u plastičnu vrećicu. U trenutku kada je tlo uzorkovano padala je umjerena kiša, a prethodilo joj je promjenjivo vrijeme s kratkotrajnom kišom u trajanju od nekoliko uzastopnih dana pa je tlo bilo umjereno vlažno. Prikupljeno je 18 uzoraka tla (3 biljne vrste x 3 stabla x 2 replikata) koje sam nedugo nakon uzorkovanja rasporedila u Petrijeve zdjelice koje su služile za održavanje uzoraka u kontroliranim uvjetima vlažnosti tijekom praćenja svojti. Zbog nedostupnosti pH-metra za korištenje, pH-vrijednost tla ispod svih uzoraka izmjerila sam lakmus papirom u tlu pomiješanom s vodom. Kod svih uzoraka se pH-vrijednost tla kretala oko 5,5.



Slika 9. Šumska sastojina hrasta kitnjaka u kojoj su sakupljeni uzorci tla u PP Medvednica.

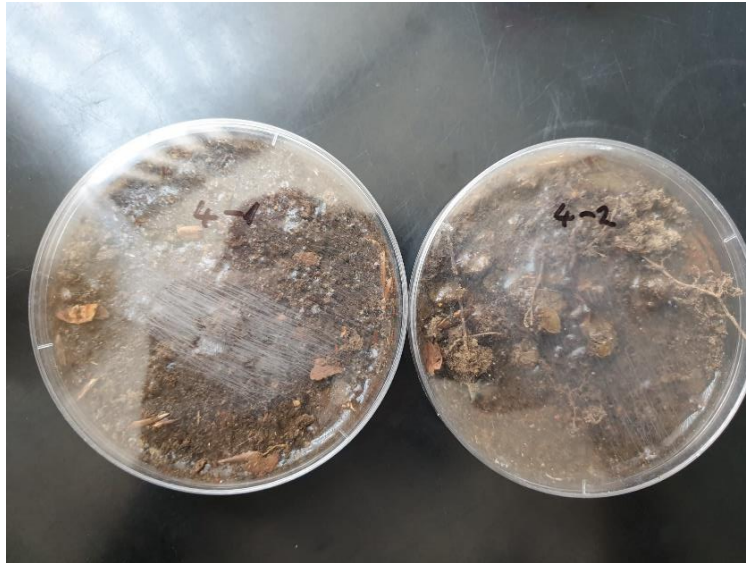
(foto: A. Juranić)

3.3. Metoda „nepoplavljenih Petrijevih zdjelica“

Metoda „nepoplavljenih Petrijevih zdjelica“ indirektna je polu-kvantitativna metoda koja se koristi za procjenu brojnosti vrsta bičaća, golih ameba i trepetljikaša. Brojnost okućenih ameba lakše je procijeniti jer njihove prazne kućice isplivaju na površinu vodene suspenzije, dok je brojnost ostalih skupina praživotinja u tlu puno teže odrediti jer je te organizme teško direktno izolirati iz uzoraka. Metodu su neovisno opisali Varga, Starr i Foissner, a sam je Foissner (1992) koristeći ovu metodu opisao i otkrio brojne nove vrste trepetljikaša. Metodu opisuje kao tehnički lako izvedivu i učinkovitu, ali nedovoljno pouzdanu pa treba težiti usporedbama s drugim metodama i alternativnim rješenjima.

Uzorci su pripremljeni na sljedeći način:

- 1) 10–15 g svakog uzorka tla rasporedila sam u dvije Petrijeve zdjelice promjera 10 cm tako da im se prekrije dno.
- 2) U sve uzorke, odnosno Petrijeve, ulila sam destiliranu vodu tako da budu zasićeni, ali nipošto preplavljeni (Slika 10.). Vodu sam dodavala do trenutka u kojem naginjanjem zdjelice pod kut od 45° iscure 5–20 mL tekućine.
- 3) Petrijeve zdjelice s natopljenim uzorcima tla pokrila sam poklopcem te odložila dok se potpuno ne zasite vodom što traje otprilike 12 sati. Nakon 12 sati provjerila sam uzorke i po potrebi im nadodala destilirane vode.
- 4) U uzorke sam po potrebi dodavala još destilirane vode tek nakon što su bili pregledani jednom tjedno unutar mjesec dana.



Slika 10. Primjer ispravno natopljenih uzoraka šumskog tla u Petrijevim zdjelicama. (foto: A. Juranić)

3.4. Mikroskopiranje živog materijala i determinacija jedinki

Nakon pripremanja uzoraka, uslijedilo je mikroskopiranje svjetlosnim invertnim mikroskopom Zeiss Axiovert 35 (Slika 11.) pri povećanjima od 100x, 200x i 400x. U tom sam postupku determinirala i prebrojala sve pronađene svojte u svih 18 uzoraka. Uzorci su bili analizirani četiri puta tijekom 30 dana od inicijalnog postavljanja i to u jednakim razmacima od točno tjedan dana, dakle jednom tjedno kroz period od 4 tjedna. Determinaciju sam provela na živom materijalu uzimanjem 0,5 mL tekućine koja se dobije nagnjanjem Petrijeve zdjelice pod kut od 45°. Zapažene jedinice sam odredila do vrste ili roda, ako je to bilo moguće, ili do najniže moguće taksonomske kategorije. Za determinaciju praživotinja korištena je standardna determinacijska literatura (Foissner i Berger 1996; Streble i sur. 2017), a uz nju je korišten i online determinacijski ključ Microworld (Siemensma 2024) za determinaciju okućena i golih ameba.



Slika 11. Invertni mikroskop Zeiss Opton Axiovert 35 korišten za pregledavanje i prebrojavanje svojti iz vodene suspenzije uzoraka.
(preuzeto s: pmf.unizg.hr)

3.5. Statistička obrada podataka

Iz prikupljenih podataka o brojnosti svojti u uzorcima, u Microsoft Office Excelu izrađena je tablica zbroja svojti u svim pregledanim uzorcima za sve tri biljne vrste kao i grafikoni udjela pojedinih skupina praživotinja i mikro-beskralješnjaka u ukupnoj brojnosti tijekom praćenja uzoraka. Za prikaz srednje vrijednosti broja svojti i srednje vrijednosti brojnosti svojti tijekom praćenja uzoraka korišteni su kutijasti dijagrami (engl. *box plot* ili *box-and-whisker plot*) izrađeni u programu TIBCO Statistica 14.0.1. U istom programu je izrađen Kruskal-Wallis test. Osim deskriptivne statistike izračunati su indeksi raznolikosti i indeks ujednačenosti u uzorcima tijekom praćenja te klaster analiza u programu PRIMER 6.0.

4. REZULTATI

4.1. Sastav zajednica praživotinja i mikro-beskralješnjaka u uzorcima

U uzorcima šumskog tla pronađeno je ukupno 49 svojti praživotinja i mikro-beskralješnjaka (Tablica 1). Najveći broj svojti nađen je među trepetljikašima (29 svojti), a najmanji među skupinama mikro-beskralješnjaka, koje međutim nisu determinirane do nižih sistematskih kategorija. Najveći broj svojti, njih 39, nađen je u uzorcima šumskog tla ispod drveta običnog graba (*C. betulus*). Slijedi ga hrast kitnjak (*Q. petraea*) ispod kojeg je nađeno 26 svojti. Najmanje svojti, njih 22, nađeno je u tlu ispod običnog bora (*P. sylvestris*).

Tablica 1. Svojte u uzorcima šumskog tla ispod triju drvenastih biljnih vrsta u Parku prirode Medvednica

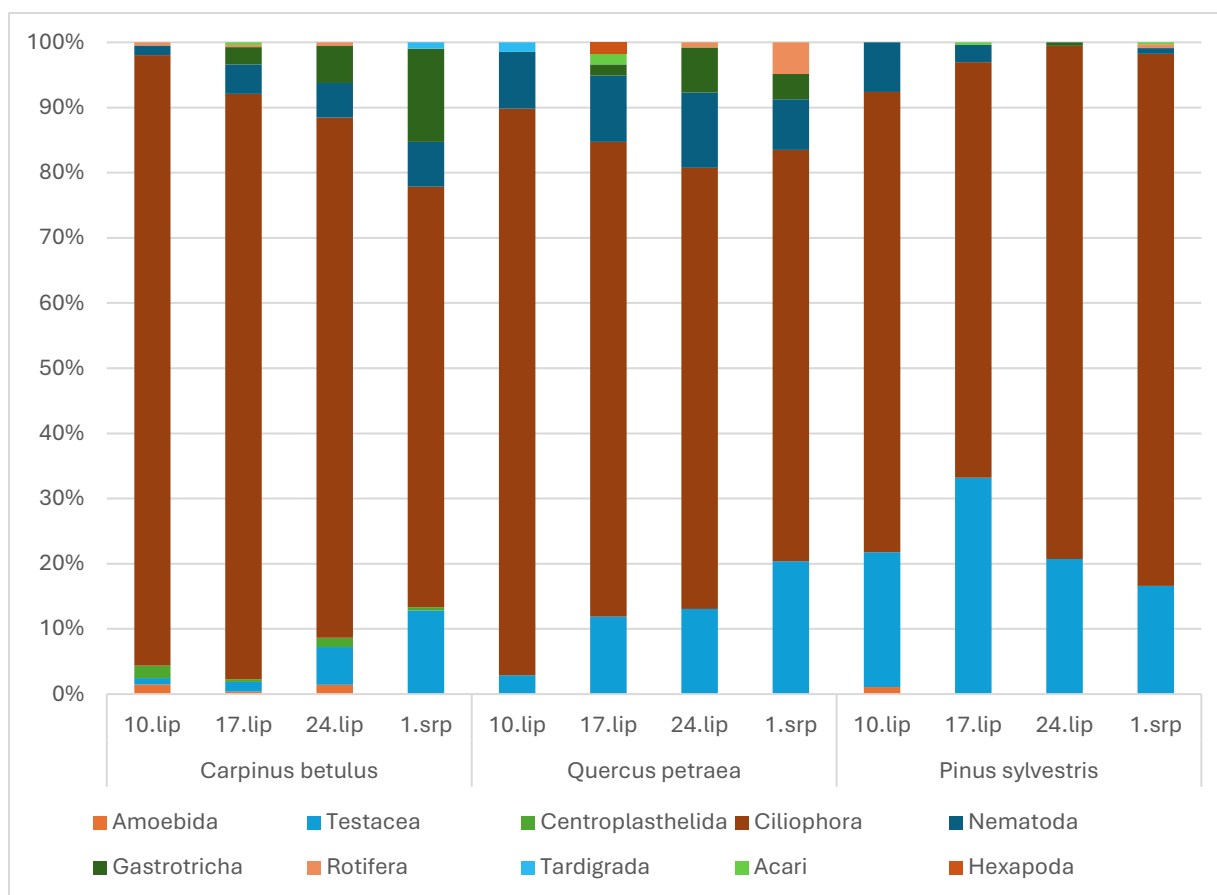
Skupina/Svojta	Biljna vrsta		
	<i>Carpinus betulus</i>	<i>Quercus petraea</i>	<i>Pinus sylvestris</i>
Thecamoebida			
<i>Thecamoeba</i> sp.	•		
Heterolobosea			
<i>Vahlkampfia limax</i> (Dujardin, 1841)	•		•
<i>Vahlkampfia</i> sp.	•		
<i>Vexillifera</i> sp.	•		
Vampyrellida			
<i>Vampyrella vorax</i> (Cienkowski, 1865) Zopf, 1885	•		
“Testacea”_Cercozoa			
<i>Euglypha castrii</i> Bonnet, 1966	•		
<i>Euglypha laevis</i> (Ehrenberg, 1845)	•	•	
<i>Euglypha</i> sp.	•	•	•
<i>Trinema enchelys</i> (Ehrenberg, 1838)		•	
<i>Trinema lineare</i> Penard, 1890	•	•	•
<i>Trinema</i> sp.		•	•
“Testacea”_Tubulinea			
<i>Cyclopyxis</i> sp.	•	•	•
Centroplasthelida			
Raphidiophryidae non det.	•		
<i>Raphidiophrys</i> sp.	•		
Ciliophora			
<i>Balladyna</i> sp.	•		•
<i>Bursaria</i> sp.	•		
<i>Chaenea stricta</i> (Dujardin, 1841) Foissner, Berger, Blatterer & Kohmann, 1995	•		

Tablica 1. nastavak

<i>Cinetochilum margaritaceum</i> Perty, 1852	•	•	•
<i>Colpoda cucullus</i> (Müller, 1773) Gmelin, 1790	•	•	•
<i>Colpoda steinii</i> Maupas, 1883	•		•
<i>Colpoda</i> sp.		•	
Colpodida non det.	•		
Cyrtophorida non det.	•	•	•
<i>Dileptus</i> sp.	•		•
<i>Euplotes affinis</i> (Dujardin, 1841) Borror & Hill, 1995	•		
<i>Frontonia</i> sp.	•		
<i>Halteria grandinella</i> (O. F. Müller, 1773) Dujardin, 1840	•		
<i>Holosticha</i> sp.		•	•
<i>Holotricha</i> sp.		•	
Hypotrichia non det.	•	•	•
<i>Leptopharynx costatus</i> Mermod, 1914	•	•	•
<i>Litonotus cygnus</i> (O. F. Müller, 1776) Wrzesniowski, 1870			•
Oxytricha sp.	•	•	
Oxytrichida non det.			•
<i>Paramecium putrinum</i> Claparède & Lachmann, 1858	•		
<i>Paramecium</i> sp.		•	
<i>Platyophrya vorax</i> Kahl, 1926		•	
Scuticociliata non det.	•	•	•
<i>Spathidium</i> sp.	•		
<i>Stylonychia</i> sp.	•		
<i>Trachelius ovum</i> (Ehrenberg, 1931) Ehrenberg, 1833	•		
<i>Uroleptus</i> sp.	•	•	
<i>Urosoma</i> sp.	•	•	•
Nematoda			
Nematoda non det.	•	•	•
Gastrotricha			
Gastrotricha non det.	•	•	•
Rotifera			
Bdelloidea non det.	•	•	•
Tardigrada			
Tardigrada non det.	•	•	
Acari			
Hydrachnidia non det.	•	•	•
Hexapoda			
Collembola non det.		•	
Broj svojti	39	26	22

Pojedine svojite javljale su se u svim uzorcima, odnosno nađene su u šumskom tlu ispod sve tri drvenaste biljne vrste. To su *Euglypha* sp., *Trinema lineare* (Ehrenberg, 1838) i *Cyclopyxis* sp. među okućenicima, *Cinetochilum margaritaceum* Perty 1852, *Colpoda cucullus* (Müller, 1773), skupina Cyrtophorida, skupina Hypotrichia, *Leptopharynx costatus* Mermod, 1914 i *Urosoma* sp. među trepetljikašima. Među mikro-beskralješnjacima u šumskom tlu ispod svake vrste pojavili su se oblići (Nematoda), trbuhodlaci (Gastrotricha), kolnjaci (Rotifera) i grinje (Acari).

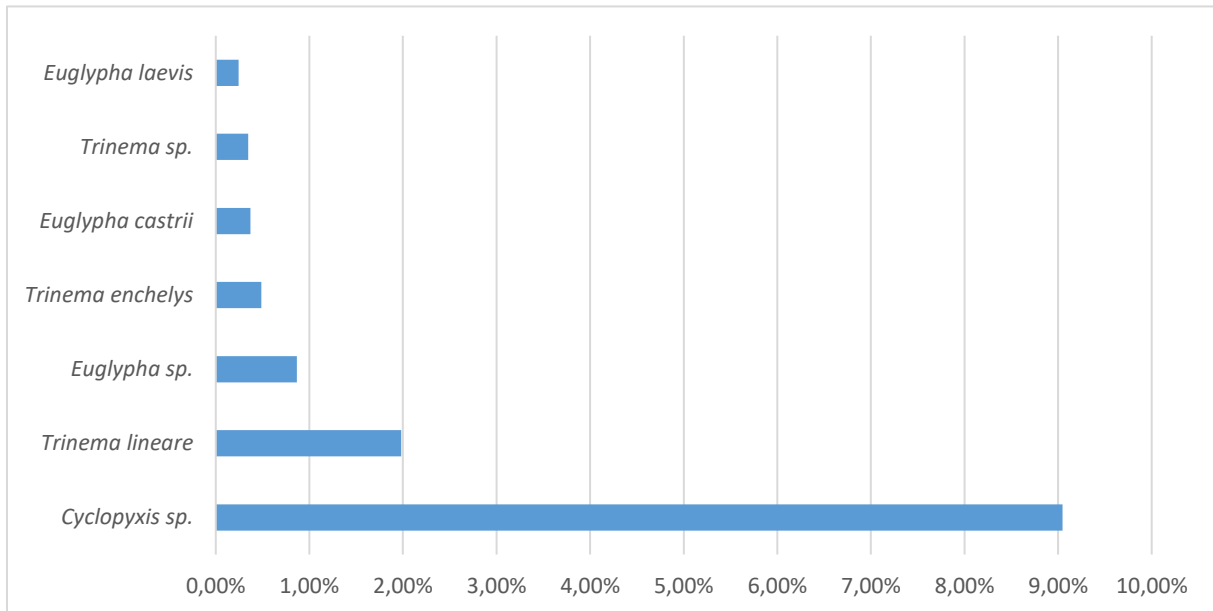
Trepetljikaši (Ciliophora) su dominirali i u brojnosti, čineći 63 % do 94 % ukupne brojnosti praživotinja i mikro-beskralješnjaka (Slika 12.). Slijede okućeni s najvišim zabilježenim udjelom od 33 % te trbodlaci (Gastrotricha), koji su u uzorcima tla ispod graba dosegli udio od 14 %, no u uzorcima ispod bora gotovo da ih i nije bilo. Oblići (Nematoda) su imali najviši udio od 12 % ukupne brojnosti i to u uzorku tla ispod hrasta kitnjaka, a najmanji udio u ukupnoj brojnosti imali su ispod uzoraka običnog bora. Za kolnjake (Rotifera) je zabilježen maksimalan udio od 5 % u ukupnoj brojnosti i to u tlu ispod hrasta kitnjaka, dok u tlima ispod drugih vrsta nemaju značajan udio u brojnosti. Centroplastherlida su dosegli udio od 2 % u ukupnoj brojnosti, u tlu ispod običnog graba, dok u uzorcima tla ispod ostale dvije vrste drveća nisu niti uočene. Grinje (Acari) i šestonošci (Hexapoda) imali su maksimalne udjele od svega 2 % u ukupnoj brojnosti u uzorku tla ispod hrasta kitnjaka. Najmanje udjele u brojnosti imale su gole amebe (Amoebida), koje su se u udjelu od 1 % pojavile u uzorcima tla ispod običnog graba i običnog bora te dugoživci (Tardigrada) sa udjelom od 1 % u uzorcima tla ispod hrasta kitnjaka.



Slika 12. Udio pojedinih skupina praživotinja i mikro-beskraljješnjaka u ukupnoj brojnosti u uzorcima šumskog tla tijekom praćenja metodom „nepoplavljenih Petrijevih zdjelica“ tijekom lipnja i srpnja 2024. godine.

Od okućenih u uzorcima tla najviše se javljala vrsta *Cyclopyxis* sp. (Slika 13.). Najveći udjeli su zabilježeni u tlu ispod običnog bora, od 13 do 30 % u ukupnoj brojnosti tijekom praćenja uzoraka. U tlu ispod hrasta kitnjaka dosegla je i do 9 % ukupne brojnosti, a najmanje u tlu ispod običnog graba, oko 5 %. Druga najčešća vrsta okućenih bila je *T. lineare*. Javljala se najviše u tlu ispod hrasta kitnjaka, oko 7 % u ukupnoj brojnosti, zatim ispod običnog bora, od 2 do 3 % u ukupnoj brojnosti, te najrjeđe u tlu ispod običnog graba u udjelima od 0,5 do 1,5 % ukupne brojnosti. *Euglyph*a sp. javljala se u prosjeku u udjelu od 1 % u ukupnoj brojnosti svih uzoraka tla, ali se taj udio nije značajno isticao, odnosno nije činio više od 5 % ukupnog udjela brojnosti u tlu ni kod jedne vrste drveća prilikom praćenja uzoraka. Vrsta *Trinema enchelys* (Ehrenberg, 1838) pojavila se u značajnijem udjelu, od 6 % u ukupnoj brojnosti, samo u tlu ispod hrasta kitnjaka pri kraju ekspozicije. Od ostalih okućena, zapažena je vrsta *Euglyph*a *castrii* Bonnet, 1966 u uzorku tla ispod običnog graba na zadnji datum praćenja, s udjelom u brojnosti od 4,5

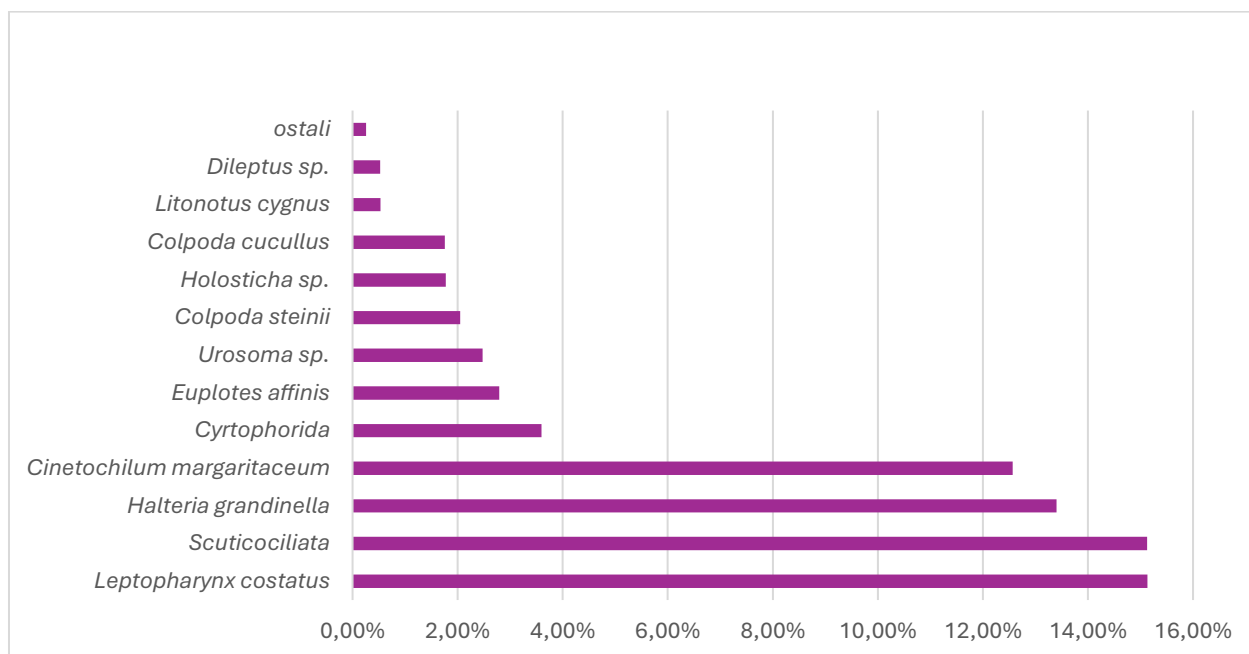
% . *Euglypha laevis* (Ehrenberg, 1845) javila se u udjelima od 1 do 2 % u tlu ispod običnog graba i običnog hrasta pri kraju praćenja. Zapažene su još i *Trinema* sp. u tlu ispod hrasta kitnjaka i običnog bora, te *Vampyrella vorax* (Cienkowski, 1865) u tlu ispod običnog graba u manje značajnim udjelima u brojnosti.



Slika 13. Srednje vrijednosti udjela brojnosti vrsta zapaženih okučena u analiziranim uzorcima tla.

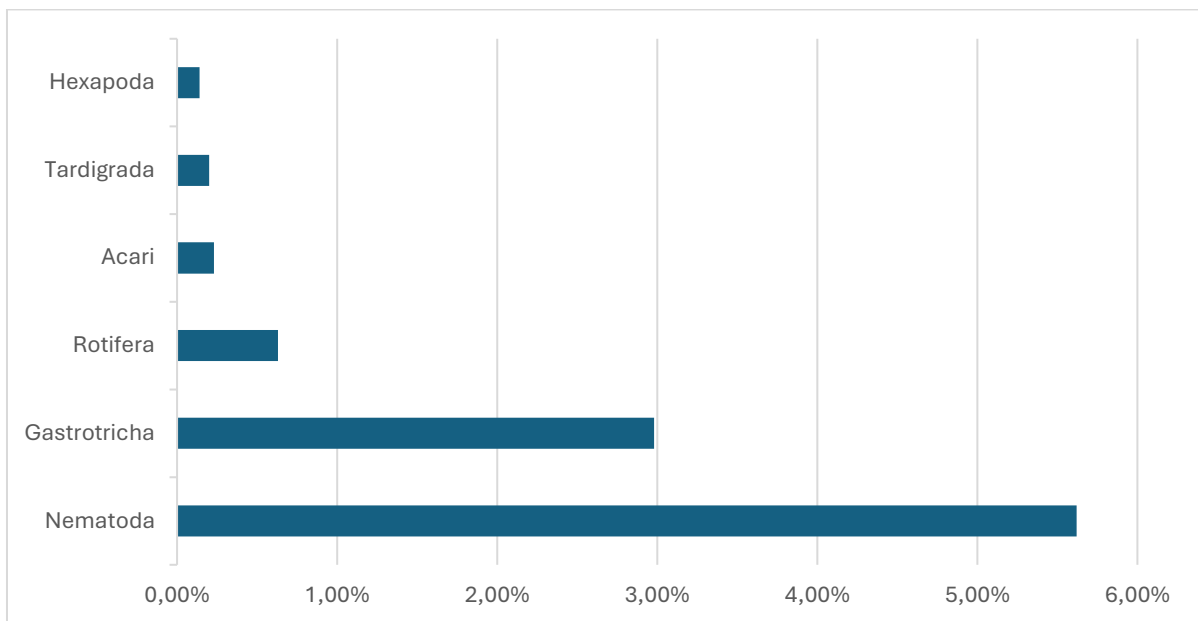
U uzorcima tla među trepetljikašima najbrojnija vrsta bila je *L. costatus* i skupina Scuticociliata (Slika 14.). Vrsta *L. costatus* javljala se najviše u uzorcima tla ispod običnog bora, gdje je dosegla udio od 70 %, u uzorcima tla ispod hrasta kitnjaka njen je udio bio od 5 do 30 %, a u uzorcima tla ispod običnog graba pojavila se samo prilikom zadnjeg pregledavanja uzoraka gdje je zabilježen udio od 4 % u ukupnoj brojnosti svojti. Skupina Scuticocilliata javljala se u uzorcima svih tala, u udjelima od 10 do 40 % u ukupnoj brojnosti svojti. Vrsta *Halteria grandinella* (O. F. Müller, 1773) koja se javljala samo u uzorcima tla ispod običnog graba, dosegla je udjele od 19 do 72 % u ukupnoj brojnosti svojti. Vrsta *C. margaritaceum* također se javljala u velikom broju, najviše ispod običnog hrasta, u udjelima od 10 do 53 %, a dosegla je udio od 30 % u uzorku tla ispod običnog bora prilikom drugog pregledavanja uzoraka. U tlu ispod običnog graba imala je samo 2 do 3 % udjela u ukupnoj brojnosti. Skupina Cyrtophorida također se pojavljivala u svim uzorcima, u prosjeku je činila oko 4 % ukupne brojnosti svojti, a najviša brojnost uočena je u uzorcima tla ispod običnog graba gdje je taj udio dosegao 20 %.

Vrsta *Euplotes affinis* (Dujardin, 1841) zapažena je isključivo u uzorcima tla ispod običnog graba. Uočena je prilikom trećeg i četvrtog pregledavanja uzoraka, gdje je u prosjeku dosegla oko 17 % u ukupnoj brojnosti. Trepetljikaši iz roda *Urosoma* javljali su se u svim uzorcima, prosječne brojnosti 2,5 %. Vrsta *Colpoda steinii* Maupas, 1883 zapažena je samo prilikom prvog pregledavanja uzoraka, i to u tlu ispod običnog graba, u udjelu od 8 %, i u tlu ispod hrasta kitnjaka, u udjelu od 14 %. *Holosticha* sp. zapažena je u tlu ispod hrasta kitnjaka prilikom prvog pregledavanja u udjelu od 18 % i u malom udjelu od 2 % u tlu ispod običnog bora, a kasnije je još zapažena samo u drugom pregledavanju, također u tlu ispod hrasta kitnjaka gdje je udio u brojnosti pao na 2 %. Zapažena je i vrsta *C. cucullus*, najvišeg udjela od 14 % u tlu ispod običnog bora prilikom prvog pregledavanja uzoraka, a kasnije se u tim uzorcima više nije pojavljivala. Oko 2 % pronađeno je u uzorcima tla ispod običnog graba također kod prvog pregledavanja, gdje se kasnije također više nije pojavljivala. U tlu ispod hrasta kitnjaka pojavila se u udjelima od 2 % kod prvog pregledavanja i 3 % kod trećeg pregledavanja. Vrsta *Litonotus cygnus* (O. F. Müller, 1776) zapažena je samo u tlu ispod običnog bora, i to samo prilikom trećeg pregledavanja, u udjelu od 6 %. Od drugih trepetljikaša, nešto brojniji je još bio *Dileptus* sp. koji je zabilježen prilikom zadnjeg pregledavanja uzoraka, u tlu ispod običnog bora i običnog graba.



Slika 14. Srednje vrijednosti udjela brojnosti svojti trepetljikaša u analiziranim uzorcima tla.

Od mikro-beskraljješnjaka trbodlaci (Gastrotricha) su dominirali u ukupnoj brojnosti, dosežući udio u brojnosti od 14 % u tlu ispod običnog graba i do 7 % u tlu ispod hrasta kitnjaka, u tlu ispod običnog bora dosegli su tek udio od 0,5 % u trećem pregledavanju uzoraka. Ukupan broj svojti oblića (Nematoda) pokazuje ravnomjerniju distribuciju među uzorcima tla kod sve tri biljne vrste, u usporedbi sa značajnom dominacijom trbodlaka (Gastrotricha) svojti u uzorcima tla ispod običnog graba. Oblići (Nematoda) dominiraju u srednjoj vrijednosti udjela brojnosti (Slika 15.).

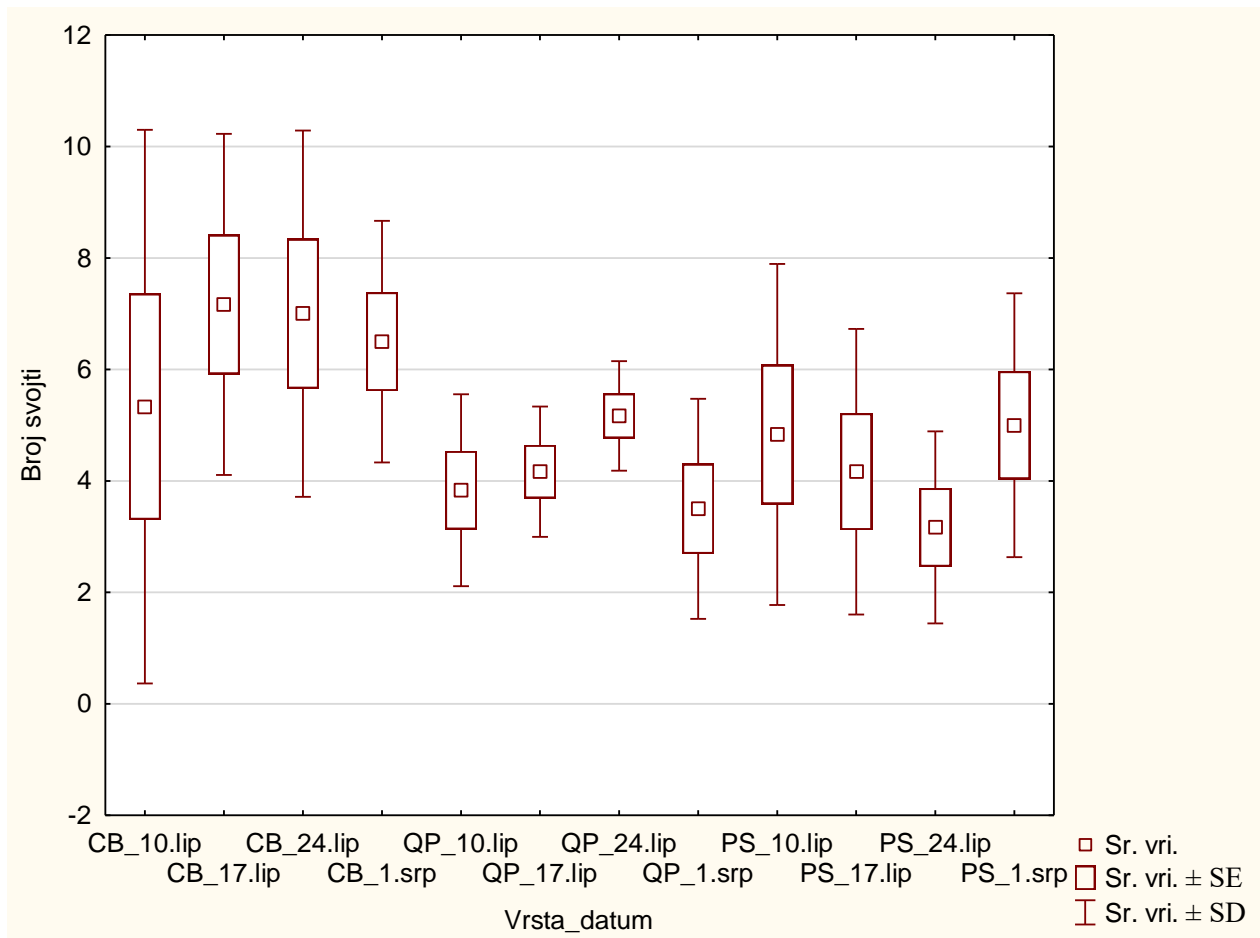


Slika 15. Srednje vrijednosti udjela brojnosti skupina mikro-beskraljješnjaka u analiziranim uzorcima tla.

4.2. Raznolikost svojti u uzorcima šumskog tla

Broj svojti u uzorcima kretao se od 0, zabilježenih u dva uzorka šumskog tla ispod običnog graba i hrasta kitnjaka, do maksimalnog broja 12, koji je zabilježen u šumskom tlu ispod običnog graba tijekom prvog pregledavanja (10. 6. 2024.). U šumskom tlu ispod običnog graba pronađeno je najviše svojti praživotinja i mikro-beskraljješnjaka, a srednje vrijednosti su bile iznad 5 ili 6 (Slika 16.), dok su u šumskom tlu ispod hrasta kitnjaka i običnog bora iznosile između 3 i 5. S obzirom na raspodjelu oko srednje vrijednosti, ona je najmanje disperzirana za broj svojti u tlu ispod hrasta kitnjaka.

Zabilježena je statistički značajna razlika između broja svojti u uzorcima ispod različitog drveća (Kruskal-Wallis test: $H(2, N = 72) = 7,805, p < 0,05$), a test multiple usporedbe je pokazao statistički značajnu razliku u broju svojti u tlu ispod običnog graba u odnosu na tlo ispod običnog bora ($p < 0,05$), dok se ostali uzorci nisu statistički značajno razlikovali ($p > 0,05$). Broj svojti nije se statistički značajno razlikovao između datuma (koji odražavaju vrijeme u laboratorijskim uvjetima) (Kruskal-Wallis test: $H(3, N = 72) = 1,163, p > 0,05$).

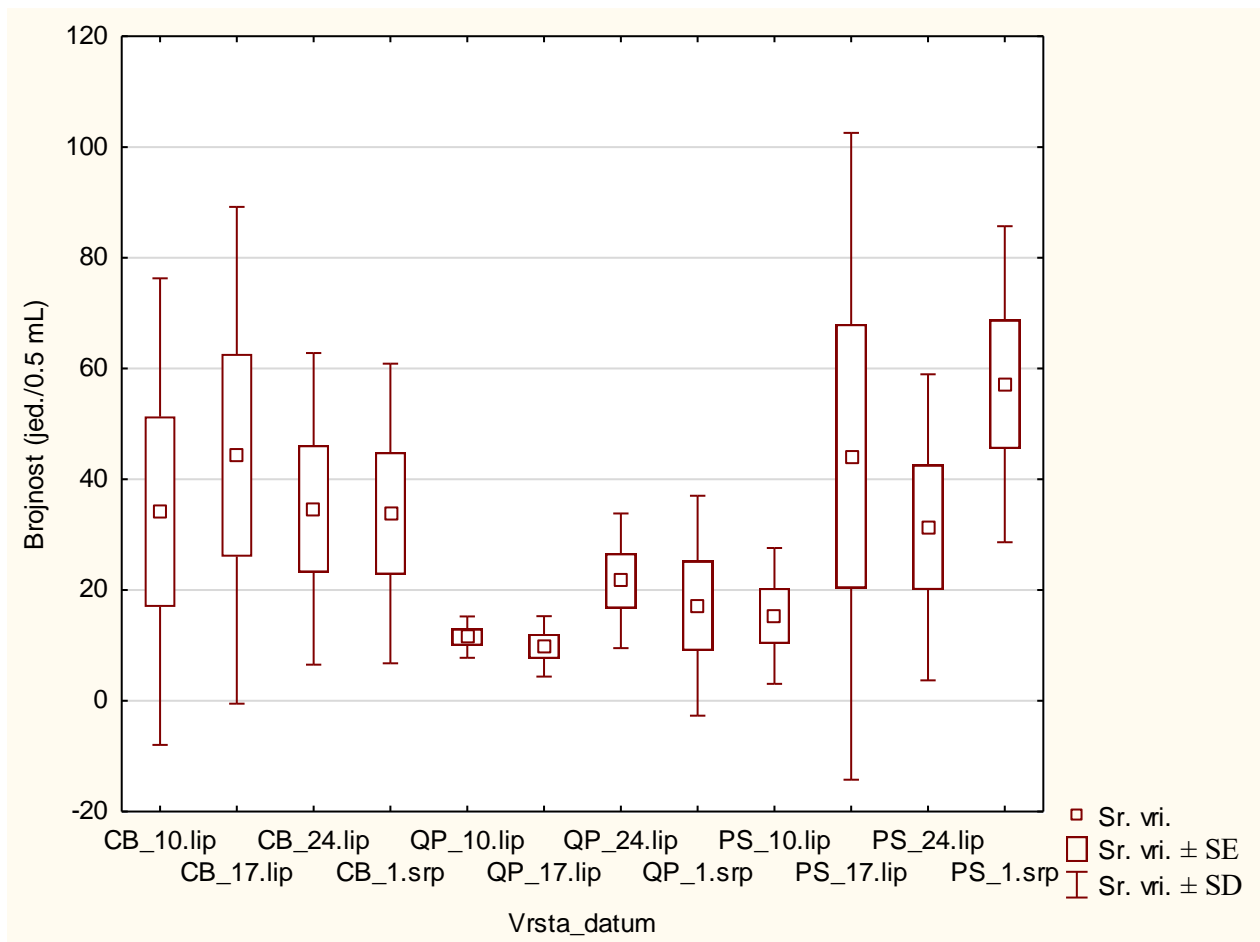


Slika 16. Kutijasti dijagram srednje vrijednosti broja svojti u uzorcima šumskog tla tijekom praćenja metodom „nepoplavljenih Petrijevih zdjelica“ tijekom lipnja i srpnja 2024. godine; CB-*Carpinus betulus*, QP-*Quercus petraea*, PS-*Pinus sylvestris*, Sr. vri. – srednja vrijednost, SE – standardna greška, SD – standardna devijacija

Brojnost svojti u uzorcima kretala se od 0, u dva uzorka ispod običnog graba i hrasta kitnjaka, do najviše 140 jed./0,5 mL koje su prebrojane jednom uzorku tla ispod običnog bora (17. 6. 2024.). Srednje vrijednosti brojnosti svojti kretale su se oko 37 jed./0,5 mL u uzorcima tla ispod

običnog graba, oko 15 jed./0,5 mL u uzorcima tla ispod hrasta kitnjaka i oko 37 jed./0,5 mL u uzorcima tla ispod običnog bora (Slika 17.). Relativno visoka brojnost, više od 100 jed/0,5 mL, zabilježena je u još 3 uzorka, u dva uzorka tla ispod običnog graba (10. 6. 2024. i 17. 6. 2024.) i u još jednom uzorku tla ispod običnog bora (1. 7. 2024.). Relativno niska brojnost opažena je u nekim uzorcima tla ispod sve tri biljne vrste. Samo 3 jed./0,5 mL nađeno je u dva uzorka tla ispod običnog graba (10. 6. 2024. i 17. 6. 2024.) i običnog bora (10. 6. 2024. i 17. 6. 2024.) te samo 4 jed./0,5 mL u dva uzorka tla ispod običnog bora (10. 6. 2024. i 17. 6. 2024.) i jednom uzorku tla ispod običnog hrasta (17. 6. 2024.).

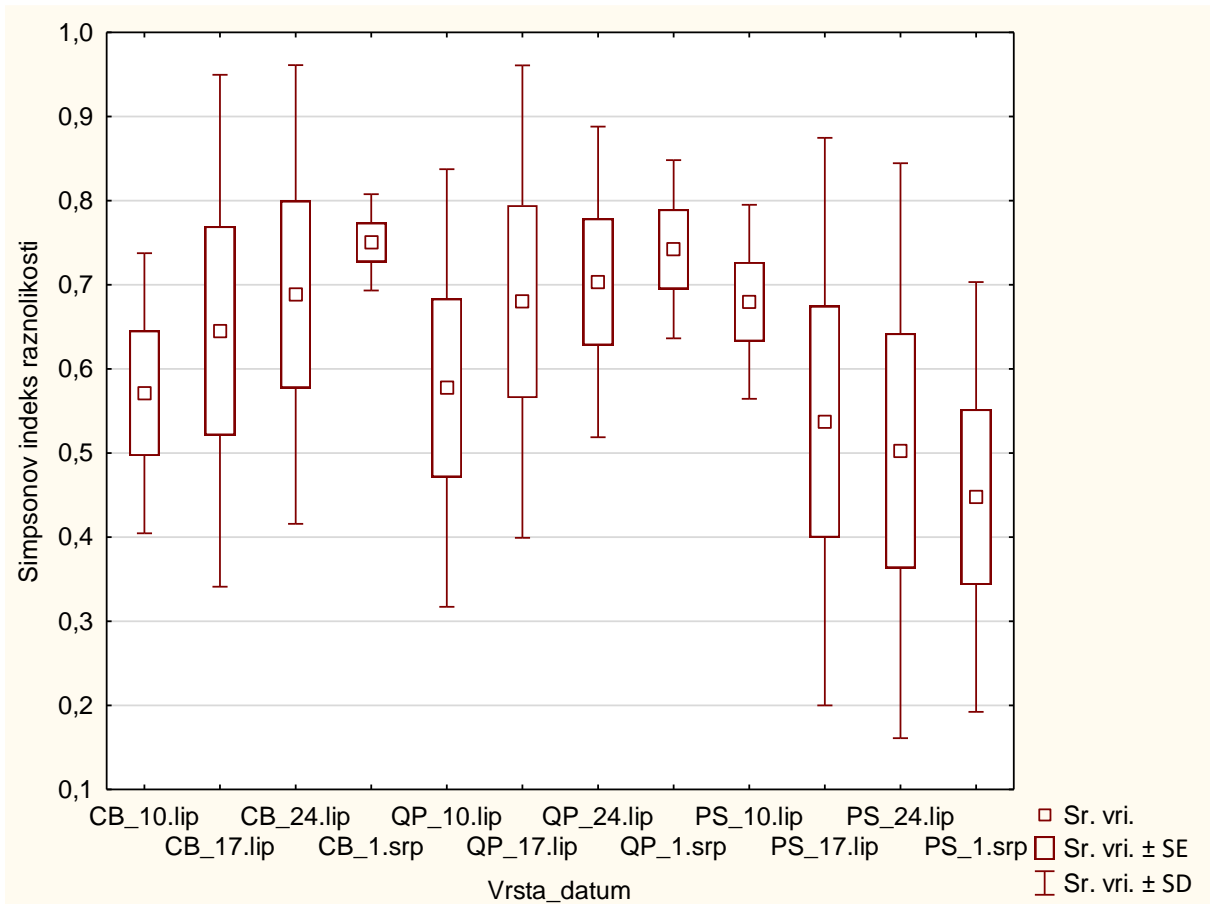
Brojnost svojiti nije se statistički značajno razlikovala između uzoraka tla uzorkovanog ispod različitih vrsta drveća (Kruskal-Wallis test: $H(2, N = 72) = 5,077, p > 0,05$), usprkos opaženom obrascu nižih vrijednosti brojnosti u tlu ispod hrasta kitnjaka (Slika 17.). Nije zabilježena niti statistički značajna razlika između brojnosti zabilježene na različite datume (Kruskal-Wallis test: $H(3, N = 72) = 5,485, p > 0,05$).



Slika 17. Kutijasti dijagram srednje vrijednosti brojnosti svojti u uzorcima šumskog tla tijekom praćenja metodom „nepoplavljenih Petrijevih zdjelica“ tijekom lipnja i srpnja 2024. godine; CB-*Carpinus betulus*, QP-*Quercus petraea*, PS-*Pinus sylvestris* Sr. vri. – srednja vrijednost, SE – standardna greška, SD – standardna devijacija

Simpsonov indeks raznolikosti praživotinja i mikro-beskralješnjaka u uzorcima tla kretao se od 0 u dva uzorka tla ispod običnog bora sve do 1 u jednom uzorku tla ispod običnog hrasta i jednom uzorku tla ispod običnog graba. Kod uzoraka tla ispod običnog graba i hrasta kitnjaka srednje vrijednosti Simpsonovog indeksa bile su oko 0,67, a kod običnog bora srednja vrijednost je iznosila oko 0,54 (Slika 18.). Uočljiva je vrlo mala disperzija Simpsonovog indeksa u uzorku tla ispod običnog graba na posljednji datum praćenja uzoraka (1. 7. 2024.)

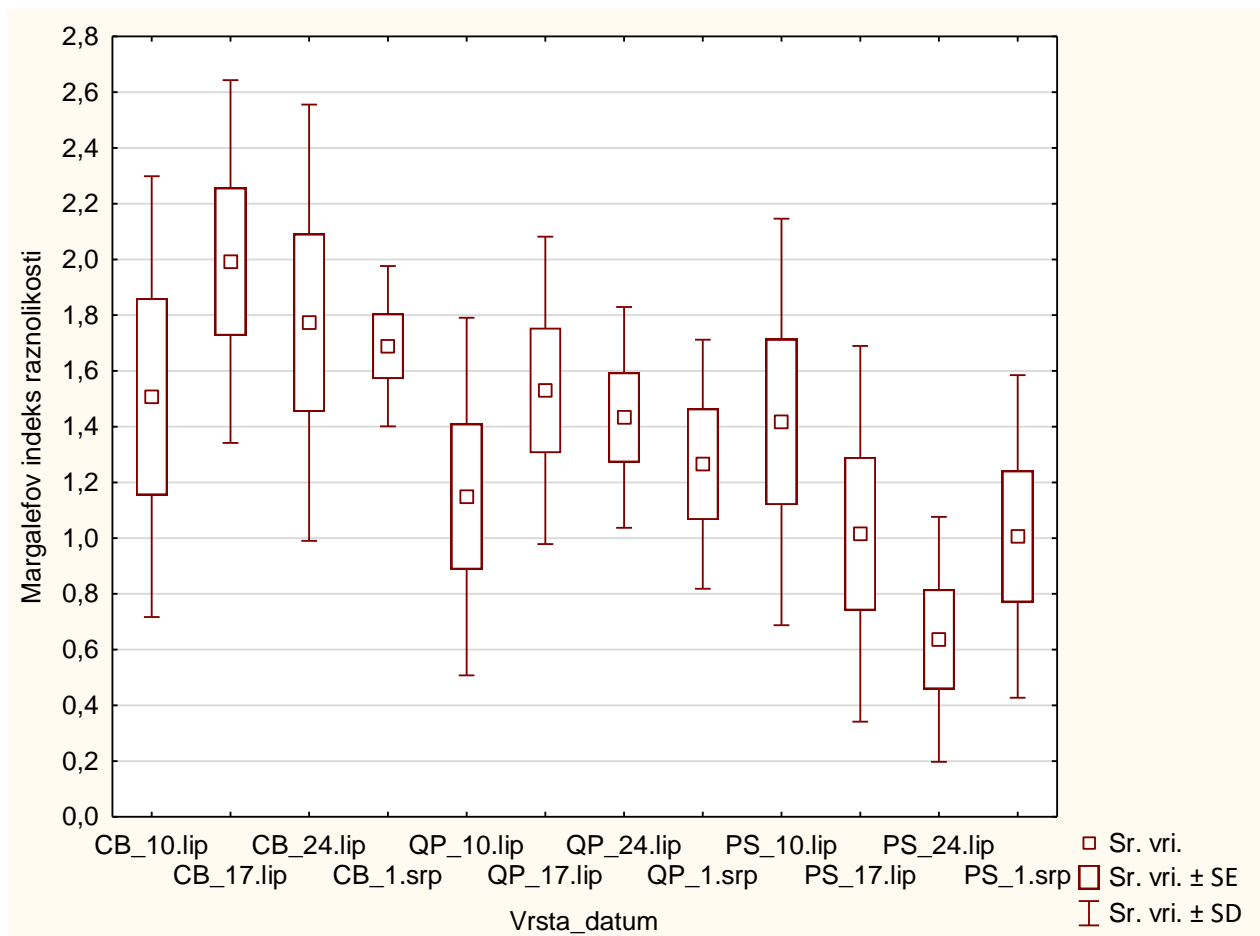
Simpsonov indeks raznolikosti praživotinja i mikro-beskraljješnjaka nije se statistički značajno razlikovao između uzoraka tla ispod različitih vrsta drveća (Kruskal-Wallis test: $H(2, N = 72) = 4,525, p > 0,05$), a niti između datuma (Kruskal-Wallis test: $H(3, N = 72) = 1,017, p > 0,05$).



Slika 18. Kutijasti dijagram Simpsonovog indeksa raznolikosti u uzorcima šumskog tla tijekom praćenja metodom „nepoplavljenih Petrijevih zdjelica“ u lipnju i srpnju 2024. godine; CB-*Carpinus betulus*, QP-*Quercus petraea*, PS-*Pinus sylvestris*, Sr. vri. – srednja vrijednost, SE – standardna greška, SD – standardna devijacija

Margalefov indeks raznolikosti između praživotinja i mikro-beskraljješnjaka u uzorcima tla kretao se od 0, u dva uzorka tla ispod običnog bora (17. 6. 2024. i 24. 6. 2024.) do 3,28 u jednom uzorku tla ispod običnog graba (17. 6. 2024.). Srednja vrijednost Margalefovog indeksa u uzorcima tla ispod običnog graba bila je oko 1,75. U uzorcima tla ispod hrasta kitnjaka oko 1,35, a u uzorcima tla ispod običnog bora oko 1,02 (Slika 19.).

Zabilježena je statistički značajna razlika u Margalefovom indeksu raznolikosti između praživotinja i mikro-beskralješnjaka razvijenih u uzorcima šumskog tla ispod različitih vrsta drveća (Kruskal-Wallis test: $H(2, N = 72) = 14,318, p < 0,001$), a statistički su se značajno razlikovali uzorci ispod običnog graba od onih ispod običnog bora (test multiple usporedbe, $p < 0,001$). S obzirom na datum pregledavanja, uzorci se nisu statistički značajno razlikovali (Kruskal-Wallis test: $H(3, N = 7,2) = 1,270 p > 0,05$).

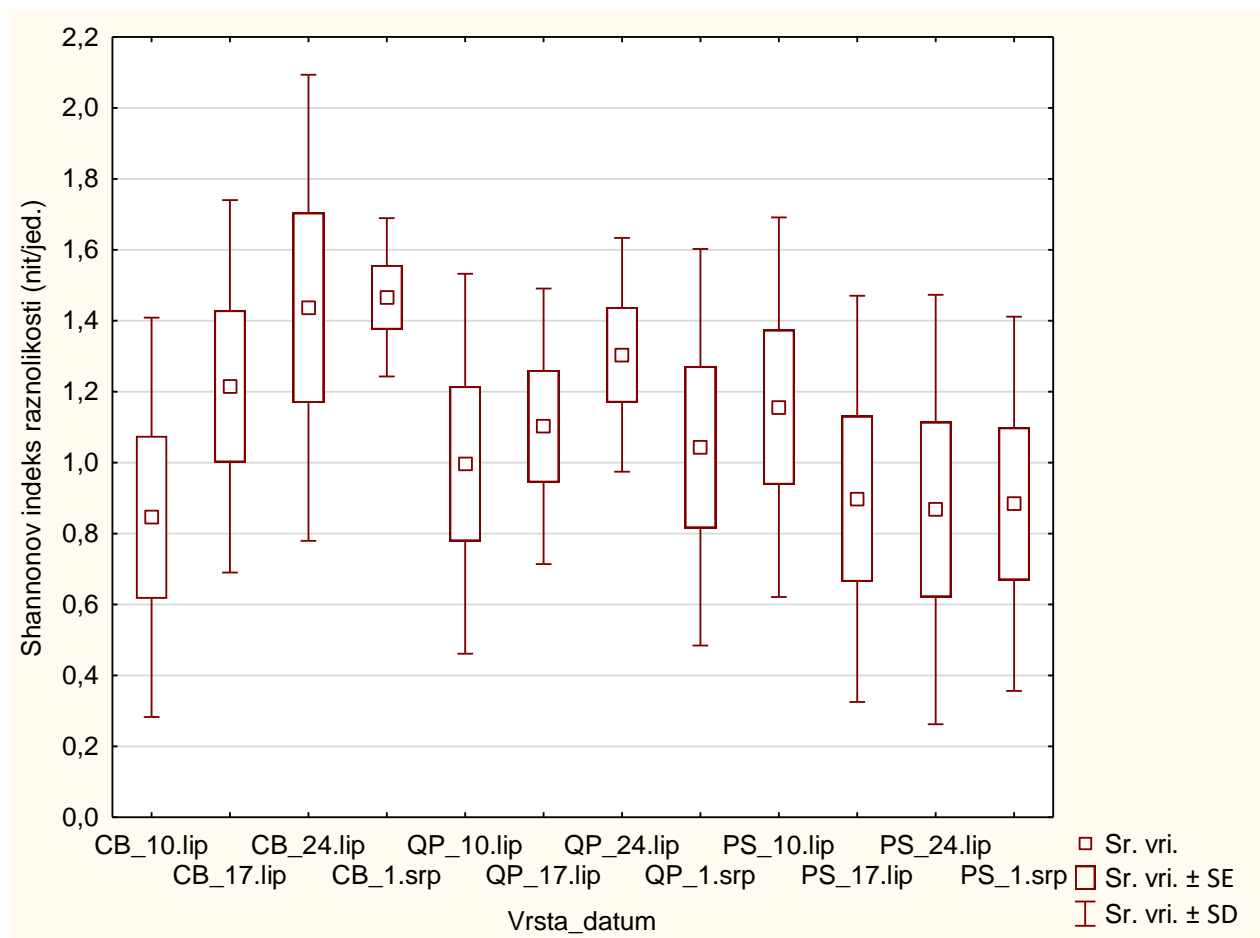


Slika 19. Kutijasti dijagram Margalefovog indeksa raznolikosti u uzorcima šumskog tla tijekom praćenja metodom „nepoplavljenih Petrijevih zdjelica“ u lipnju i srpnju 2024. godine; CB-*Carpinus betulus*, QP-*Quercus petraea*, PS-*Pinus sylvestris*, Sr. vri. – srednja vrijednost, SE – standardna greška, SD – standardna devijacija

Vrijednosti Shannonovog indeksa u uzorcima kretale su se od 0 do najviše 2,13 u uzorku tla ispod običnog graba (17. 6. 2024.). Srednja vrijednost Shannonovog indeksa u uzorcima tla ispod običnog graba bila je oko 1,23, u uzorcima tla ispod hrasta kitnjaka oko 1,11, a u

uzorcima tla ispod običnog bora oko 0,95 (Slika 20.). Uočljiva je manja standardna devijacija i greška srednje vrijednosti indeksa za uzorke tla ispod običnog graba na posljednji datum praćenja uzoraka (1. 7. 2024.)

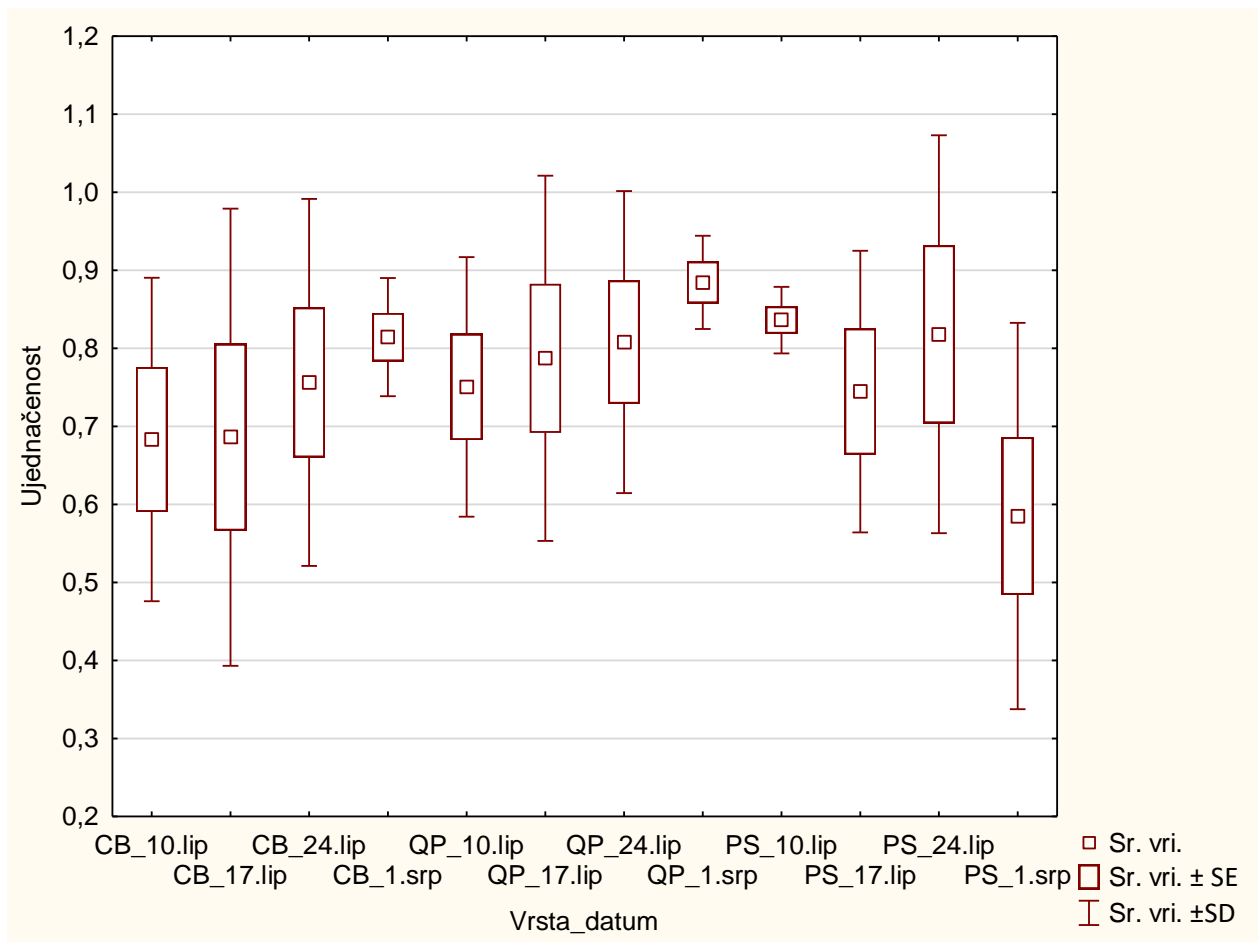
Shannonov indeks raznolikosti praživotinja i mikro-beskraljješnjaka nije se statistički značajno razlikovao između uzoraka šumskog tla ispod različitih vrsta drveća (Kruskal-Wallis test: $H(2, N = 72) = 3,406, p > 0,05$), a niti između datuma pregledavanja (Kruskal-Wallis test: $H(3, N = 72) = 2,008, p > 0,05$).



Slika 20. Kutijasti dijagram Shannonovog indeksa raznolikosti u uzorcima šumskog tla tijekom praćenja metodom „nepoplavljenih Petrijevih zdjelica“ u lipnju i srpnju 2024. godine; CB-*Carpinus betulus*, QP-*Quercus petraea*, PS-*Pinus sylvestris*, Sr. vri. – srednja vrijednost, SE – standardna greška, SD – standardna devijacija

Vrijednosti Pieulovog indeksa ujednačenosti u uzorcima kretale su se od 0,27 u jednom uzorku tla ispod običnog graba (17. 6. 2024.) do 1, u jednom uzorku tla ispod običnog graba (17. 6. 2024.) i jednom uzorku tla ispod hrasta kitnjaka (17. 6. 2024.) Srednja vrijednosti indeksa u uzorcima tla ispod običnog graba bila je oko 0,73, za uzorke tla ispod hrasta kitnjaka oko 0,80 i za uzorke tla ispod običnog bora oko 0,74 (Slika 21.). Uočljiva je manja disperzija oko srednje vrijednosti indeksa za uzorke tla ispod običnog graba i hrasta kitnjaka koji su pregledani na zadnji datum praćenja (1.7. 2024.). Isto vrijedi i za uzorke tla ispod običnog bora koji su pregledani na prvi datum praćenja (10. 6. 2024.).

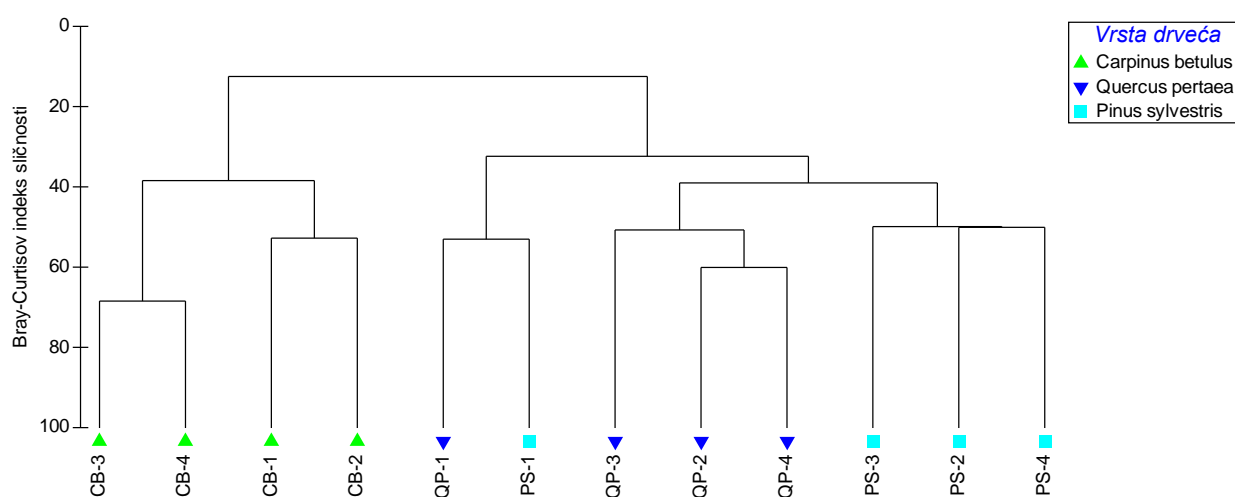
Zajednice praživotinja i mikro-beskralješnjaka ispod različitih vrsta drveća nisu se statistički značajno razlikovale s obzirom na ujednačenost (Kruskal-Wallis test: $H(2, N = 68) = 2,078, p > 0,05$), a niti među različitim datumima pregledavanja (Kruskal-Wallis test: $H(3, N = 68) = 2,170, p > 0,05$).



Slika 21. Kutijasti dijagram Pielouovog indeksa ujednačenosti u uzorcima šumskog tla tijekom praćenja metodom „nepoplavljenih Petrijevih zdjelica“ u lipnju i srpnju 2024. godine; CB-*Carpinus betulus*, QP-*Quercus petraea*, PS-*Pinus sylvestris*, Sr. vri. – srednja vrijednost, SE – standardna greška, SD – standardna devijacija

4.3. Sličnost zajednica praživotinja i mikro-beskralješnjaka u ovisnosti o vrsti drveća

Uzorci ispod običnog graba grupirani su zajedno i odvojeni u zaseban klaster, što sugerira veliki stupanj sličnosti u zajednicama praživotinja i mikro-beskralješnjaka ispod ove vrste drveća. Uzorci ispod hrasta kitnjaka su također grupirani zajedno, ali uz jedan uzorak ispod običnog bora. Većina uzoraka ispod običnog bora također formiraju vlastiti klaster. Uočljivo je da su uzorci ispod običnog graba međusobno najbliži, pošto se nalaze na „nižim“ granama dendrograma (Slika 22.). Također, postoji veća sličnost između zajednica ispod hrasta kitnjaka i običnog bora u odnosu na one ispod običnog graba, jer se uzorci QP i PS nalaze bliže na dendrogramu. Unutar iste vrste drveća nema jasnog trenda u vezi tjednih ekspozicija, što sugerira da su zajednice unutar iste vrste drveća bile stabilne za vrijeme praćenja uzoraka ili da promjene nisu bile dovoljno izražene. Dendrogram stoga pokazuje jasne razlike između zajednica ispod različitih vrsta drveća, s time da su zajednice ispod običnog graba najizrazitije odvojene od ostalih. Postoji umjerena sličnost između zajednica ispod hrasta kitnjaka i običnog bora.



Slika 22. Dendrogram sličnosti na osnovu klaster analize Bray-Curtisovog indeksa sličnosti između zajednica praživotinja i mikro-beskralješnjaka šumskog tla uzorkovanog ispod različitih vrsta drveća. Podaci su prije analize transformirani drugim korijenom; broj označava tjedne ekspozicije u Petrijevim zdjelicama

5. RASPRAVA

U ovome je radu po prvi puta opisan sastav i struktura zajednica praživotinja šumskog tla na području Republike Hrvatske, preciznije u Parku prirode Medvednica. Uz praživotinje, determinirane su i skupine mikro-beskralješnjaka zbog uske povezanosti ovih dviju skupina na različitim trofičkim razinama u tlu (Haynes 2014), a čije je daljnje proučavanje važno radi boljeg poznavanja funkcionalnih skupina biote tla. Šumsko tlo je karakteristično po duboko ukorijenjenim stablima, posebno značajnom sloju listinca koji ga prekriva i posebnim uvjetima mikroklima koju stvara šumska vegetacija, a što utječe na sastav biote šumskog tla. Šumsko tlo uzorkovano je u jugozapadnom nižem šumskom pojasu unutar PP Medvednice u kojem dominira mješovita šuma hrasta kitnjaka i pitomog kestena, a u kojoj se još kao dominantne vrste mogu naći obični grab ili obična bukva. Ova šuma pripada acidofilnim šumama, a što je potvrđeno mjerenjem pH tla u ovom istraživanju. S ciljem ispitivanja ovisnosti sastava i strukture praživotinja i mikro-beskralješnjaka tla o vrsti drveća, odabrane su tri vrste: obični grab (*C. betulus*), hrast kitnjak (*Q. petraea*) i obični bor (*P. sylvestris*). Potonja vrsta za razliku od druge dvije nije autohtona vrsta u toj šumi (Čehulić 2022). Utjecaj vrste drveća odabran je kao jedan od potencijalno bitnih čimbenika, a koji još uvijek nije dovoljno jasan niti ispitan (Oliverio i sur. 2020), za razliku od utjecaja vlažnosti tla (Bates i sur. 2013; Geisen i sur. 2014). Ispitivani uzorci tla bili su pripremljeni polu-indirektnom kvantitativnom metodom „nepoplavljenih Petrijevih zdjelica“ (Foissner 1992), a analizirani su jednom tjedno kroz mjesec dana.

U šumskom tlu na području PP Medvednica pronađeno je ukupno 49 svojti praživotinja i mikro-beskralješnjaka. Od toga 43 svojti praživotinja, i šest svojti mikro-beskralješnjaka, međutim oni nisu bili determinirani do nižih sistematskih kategorija te je alfa raznolikost zasigurno veća. Od praživotinja, kao što je i pretpostavljeno, dominirali su trepetljikaši, a nakon njih okučeni, i u broju svojti i brojnosti. Broj svojti trepetljikaša niži je nego što navode Foissner i suradnici (2005) u usporedivim šumskim tlama srednje Europe (45 do 12 vrsta po postaji), vjerojatno zbog preciznijih taksonomskih metoda koje su koristili, uključujući srebrnu impregnaciju i SEM. U tlu listopadnih šuma gdje se listinac brže razgrađuje, omjer udjela trepetljikaša naspram okučenih uobičajeno je manji od jedan, dakle udio trepetljikaša je uobičajeno veći. U mješovitim šumama, primjerice u šumi bukva i četinjača, gdje se listinac sporije razgrađuje,

udio okućenih naspram trepetljikaša može biti čak 10:1 (Bamforth 1973). U uzorkovanom tlu zabilježeno je ukupno sedam svojti okućena i 29 svojti trepetljikaša, no u tlu ispod običnog bora primijećeno je da su se okućeni javljali u većim udjelima u ukupnoj brojnosti nego što je slučaj za tlo ispod običnog graba i hrasta kitnjaka. Moguće je da je tlo ispod običnog bora ipak nešto kiseliije, što odgovara određenom broju okućena (Siemensma 2024). Od ostalih skupina praživotinja zapaženo je 5 svojti golih ameba, no u ukupnoj brojnosti su činile samo od 1 do 2 %. Također, nisu zapaženi bičaši, iako su prisutni u svim vrstama tla (Foissner 2019). Mogući razlog je što su ove dvije skupine praživotinja teško uočljive u vodenim suspenzijama jer se obično čvrsto prijanjaju uz čestice tla (Foissner 2014), što je i nedostatak metode kojom su pripremljeni ispitivani uzorci. Od ostalih svojti praživotinja primijećene su još samo dvije svojte iz skupine Centroplasthelida, no također čineći samo 1 do 2 % ukupne brojnosti. Od mikro-beskralješnjaka u brojnosti su neočekivano u pojedinim uzorcima dominirali trbodlaci, koji se inače stanovnici vodenih ekosustava (Coulson i sur. 2014). Oblici su potvrđeni kao najčešći mikro-beskralješnjaci u tlu (Lavelle i Spain 2003), budući da su imali najveću prosječnu srednju vrijednost te je time potvrđena prva hipoteza. Od ostalih skupina mikro-beskralješnjaka još nešto istaknutiji su bili kolnjaci s prosječnim udjelom od 0,6 % u ukupnoj brojnosti, koji su u tlu aktivni samo uz dostupnost značajnih količina vode (Coleman i sur 2004). Ostali opaženi mikro-beskralješnjaci, dugoživci, grinje i skokuni u tlu su se pojavljivali u prosjeku u udjelu od 0,2 %.

Određene svojte okućena i trepetljikaša opažene su u uzorcima tla ispod sve tri biljne vrste. *Euglyph* sp. odnosno rod *Euglyph* koji broji mnogo vrsta koje su vrlo česte u tlu, a koje je zbog velike varijabilnosti u građi teste teško identificirati (Siemensma 2024), *T. lineare* koja se smatra jednom od najčešćih okućena u tlu na globalnoj razini (Foissner 2014) i *Cyclopyxis* sp. koja se u svojoj brojnosti bila najizraženija u tlu ispod običnog bora. Rodovi *Euglyph* i *Trinema* dobro su prilagođene uvjetima u tlu, budući da imaju sitne i spljoštene kućice (Siemensma 2024), dok rod *Trinema* ima i postrano položen pseudostom te može biti aktivan i u vrlo tankom vodenom filmu. Od trepetljikaša u uzorcima tla ispod sve tri biljne vrste javilo se nekoliko svojti. U brojnosti je dominirala vrsta *C. margaritaceum* koja je sitnih dimenzija 15–40 µm i često se kreće u skupinama te se smatra jednim od najprisutnijih trepetljikaša tla (Foissner i sur. 2005; realmicrolife.com). *C. cucullus* smatra se također sveprisutnim trepetljikašem tla, ali i jednim od najčešćih jer je visoko otporna na abiotički stres, kao i cijela skupina Colpodida (Bamforth 1995). U uzorcima tla ispod svake biljne vrste opažene su jedinke koje pripadaju skupinama Cyrtophorida i Hypotrichia također vrlo česte u tlima, u koju spadaju

trepetljikaši složene morfologije i rasporeda trepetljiki (Clarholm i sur., 2007; Qu i sur., 2022) pa njihova determinacija iziskuje posebno iskustvo i laboratorijske tehnike te ih nije bilo sve moguće odrediti do niže sistematske kategorije. Do roda je bila određena u uzorcima sveprisutna svojta *Urosoma* sp., u skladu s čestim nalazima ovog roda u šumskom tlu (Foissner 1999; Foissner i sur. 2005). Najbrojnija vrsta bila je *L. costatus*, česta u tlu gdje je prisutna mahovina (realmicrolife.com). Ovu vrstu Foissner i suradnici (2005) također navode kao čestu u šumskom tlu i nalaze je u svim istraživanim tipovima šuma srednje Europe.

Od tri odabrane biljne vrste, najveći broj svojti podržao je obični grab, zatim hrast kitnjak, a najmanje obični bor. Obični grab, s najviše svojti, vjerojatno pruža povoljnije uvjete za život većem broju organizama u odnosu na hrast kitnjak i obični bor, moguće zbog organskom tvari bogatijeg tla ispod ove biljne vrste, koja ima listinac s povoljnim omjerom elemenata (Kooch i sur. 2017). Kako organska tvar nije praćena u ovom diplomskom radu, potrebna su detaljnija istraživanja da bi se potvrdila ova pretpostavka. Broj svojti statistički je značajno manji u tlu ispod običnog bora u odnosu na tlo ispod običnog graba. Manji broj svojti zabilježen kod običnog bora može značiti da se ispod njega nalazi tlo siromašnije organskom tvari u odnosu na tlo ispod običnog graba, drugačiju strukturu tla ili je posljedica alohtone prirode tih nasada. Crnogorično drveće općenito ima listinac koji se sporije razgrađuje u odnosu na listopadne vrste (Allan i sur. 2021), a time je sporija mineralizacija te dostupnost hranjivih tvari za ostalu biotu.

Brojnost svojti u uzorcima tla nije značajnije varirala u odnosu na biljnu vrstu. Opažena je nešto niža brojnost svojti u uzorcima tla ispod hrasta kitnjaka u odnosu na obični grab i obični bor na svaki datum praćenja. Uočen je i obrazac povećanja brojnosti svojti tijekom praćenja u uzorcima tla ispod običnog bora, moguće radi postizanja određene ravnoteže u kontroliranim uvjetima vlažnosti tla u odnosu na prirodne uvjete. U prvom tjednu ukupna brojnost svojti u tlu ispod običnog bora bila je više od tri puta niža nego na kraju ekspozicije. Tlo ispod običnog graba pokazivalo je manja variranja u brojnosti svojti tijekom vremena praćenja, što ukazuje na određeni stupanj ravnoteže unutar zajednice u tlu ispod ove biljne vrste. Moguća posljedica uravnotežene brojnosti su specifični ekološki uvjeti koje stvara grab, npr. tlo bogato hranjivom tvari kao posljedica razgradnje listinca ili specifični uvjeti mikroklimе koju stvara njegov habitus. U šumi koja je bila područje istraživanja, drvo graba raste u nižim etažama od hrasta i može imati širu krošnju, pa je ovdje uslijed manjeg isparavanja vode, veća vlažnost tla (European Commission, 2016). U razdoblju između 24. 6. i 1. 7. iz pojedinih petrijevki ispario je površinski sloj vode (osobno opažanje), što je vjerojatno imalo utjecaj na opaženu neznatno

smanjenu brojnost svojti u tlu ispod običnog graba i hrasta kitnjaka u odnosu na prethodno praćenje.

S obzirom na dominaciju određenih svojti unutar zajednica šumskog tla, tlo ispod pojedinih vrsta nije se značajno razlikovalo. Nešto veća dominacija određenih svojti zapažena je u nekim uzorcima tla ispod običnog bora, što može ukazivati na ograničenost određenih ekoloških resursa koje favoriziraju samo određene vrste koje su im prilagođenije. Ovo se ogleda u trendu pada Simpsonovog indeksa raznolikosti praživotinja i mikro-beskralješnjaka s vremenom ekspozicije u laboratoriju, što je u suprotnosti s opaženim za ostala dva tipa šumskog tla. Prilikom zadnjeg pregledavanja uzoraka tla ispod običnog graba (1. 7. 2024.) uočena je vrlo mala disperzija Simpsonovog indeksa među uzorcima u odnosu na prethodna tri praćenja, što ukazuje da su zajednice postigle određenu ravnotežu, odnosno opažena je uravnotežena raznolikost među tim uzorcima. Ovo može biti posljedica laboratorijskih uvjeta, koji su manje promjenjivi u odnosu na uvjete u prirodi.

Margalefov indeks raznolikosti pokazao je gotovo isti trend između uzoraka, kao i broj svojti, budući da i uzima u obzir broj svojti u odnosu na veličinu uzorka (Krebs 1999). Ovo je potvrđeno i sukladnom statistički značajnom razlikom u raznolikosti prema Margalefovom indeksu praživotinja i mikro-beskralješnjaka između običnog graba i običnog bora. Prilikom zadnjeg pregledavanja uzoraka tla ispod običnog graba (1. 7. 2024.) uočena je vrlo mala disperzija Margalefovog indeksa među uzorcima u odnosu na prethodna tri praćenja, što ukazuje da je među tim uzorcima postignuta određena biološka ravnoteža.

Različite vrste drveća imale su sličan utjecaj na ukupnu raznolikost tla na kojem rastu, odnosno ako uzmemo u obzir broj svojti i njihovu relativnu brojnost u tlu. Prema Simpsonovom i Shannonovom indeksu raznolikost između zajednica praživotinja i mikro-beskralješnjaka nije se statistički značajno razlikovala s obzirom na vrstu drveća. Uočljivi su i nešto drugačiji trendovi za ova dva indeksa u šumskom tlu ispod običnog bora, budući da daju različit naglasak na česte (jači utjecaj na Simpsonov indeks), odnosno rijetke svojte (jači utjecaj na Shannonov indeks) (Krebs 1999). Srednja vrijednost Shannonovog indeksa u uzorcima tla ispod običnog bora bila je manja od 1, što ukazuje na stanište vrlo niske raznolikosti.

S obzirom na mjeru ujednačenosti raspodjele jedinki među svojtima u tlu, biljna vrsta na nju nije imala statistički značajan utjecaj. U uzorcima tla koji su prikupljeno ispod hrasta uočena je neznatno viša ujednačenost u odnosu na tlo ispod običnog graba i bora. Srednja vrijednost ujednačenosti u tlu ispod svih vrsta bila je relativno visoka, što bi moglo ukazivati na stabilniju

zajednicu bez izražene dominacije određenih svojti. Ta se ujednačenost postepeno povećavala u uzorcima tla ispod običnog graba i hrasta kitnjaka, a u tlu ispod običnog bora relativna vrijednost ujednačenosti se smanjivala tijekom praćenja u laboratorijskim uvjetima, što ukazuje na potencijalno nestabilniju zajednicu u tom tlu. Treba naglasiti da se ovdje radi o sukcesiji u laboratorijskim uvjetima te da metoda ne pokazuje aktivnu raznolikost u trenutku uzorkovanja (Adl i Gupta 2006; Foissner 1992). Tri ekspozicije pokazuju manju disperziju oko srednje vrijednosti indeksa ujednačenosti, što je vjerojatno posljedica veće preciznosti prilikom determinacije svojti iz svakog uzorka, a što potencijalno može biti nedostatak u ovom istraživanju.

Na temelju podataka klaster analize možemo reći da vrsta drveća značajno utječe na zajednicu praživotinja i mikro-beskralješnjaka u šumskom tlu, jer vrste formiraju specifične klastere na dendrogramu koji odražavaju razlike u zajednicama ispod različitih vrsta drveća. Time je potvrđena druga hipoteza. To može biti utjecaj različitih ekoloških čimbenika kao što su različita količina i sastav listinca, razlika u kemijskom sastavu tla, vlažnosti i drugih ekoloških faktora koji su povezanih s različitim vrstama drveća (Oliverio i sur 2020).

Kad uzmemo u obzir indekse sličnosti i klaster analizu, možemo reći da biljna vrsta u određenoj mjeri utječe na sastav i strukturu zajednice mikro-beskralješnjaka, ali ne statistički značajno na sve biocenološke parametre. Različite vrste imaju relativno slične i nedovoljno izražene utjecaje na sastav i strukturu zajednice mikro-beskralješnjaka i praživotinja koje su pokazale praćene metrike. U istraživanju je izmjerena pH-vrijednost svih uzoraka tla pomoću lakmus papira, što je neprecizan pokazatelj stvarne pH-vrijednosti, a koja se kod svih uzoraka tla kretala oko 5,5. Znamo da šuma koja je odabrana kao područje istraživanja pripada acidofilnim šumama pa pretpostavka da je pH-vrijednost vrlo slična ispod svake biljne vrste kao jedan od čimbenika koji može utjecati na sastav nije bila značajna. Ipak, značajno je da je od biljnih vrsta najviše svojti, najveću raznolikost, i stabilnost unutar zajednica praživotinja i mikro-beskralješnjaka pokazao obični grab, koji je podržao i najveći broj svojti. Vjerojatno zbog organskom tvari bogatog tla na kojem raste, na koju utječe kemijski sastav listinca koji je bogatiji u odnosu na ostale dvije vrste. Zbog svog habitusa također stvara povoljne mikroklimatske uvjete koji utječu na veću vlažnost tla ispod ove vrste. Obični bor je podržao najmanji broj svojti i pokazao nižu raznolikost, što ukazuje da se vjerojatno radi o tlu koje je manje bogato organskom tvari ili pak pokazuje razlike u strukturi tla uzrokovane njegovom degradacijom. Uz to, tlo ispod njega može biti manje vlažno u odnosu na tlo ispod graba zbog svog višeg habitusa. Potrebna su dodatna

istraživanja da se utvrde potencijalno ključne razlike u šumskom tlu ispod istraživanih drveća koje utječu na sastav zajednice praživotinja i mikro-beskralješnjaka.

6. ZAKLJUČAK

- U šumskom tlu na području PP Medvednica pronađeno je 49 svojti praživotinja i mikro-beskralješnjaka.
- Od praživotinja u tlu su u broju i brojnosti dominirali trepetljikaši. Od mikro-beskralješnjaka u brojnosti su dominirali oblići u većini uzoraka, a trbodlaci u pojedinim uzorcima.
- Najveći broj svojti praživotinja i mikro-beskralješnjaka pronađen je ispod običnog graba (39), zatim ispod hrasta kitnjaka (26), a najmanje ispod običnog bora (22).
- Biljna vrsta utječe na sastav i strukturu zajednice praživotinja i mikro-beskralješnjaka tla ispod nje. Vjerojatno je da tlo bogatije organskom tvari ispod određene biljne vrste, u ovom slučaju običnog graba, podržava veći broj svojti, veću raznolikost i veću stabilnost zajednica.
- Za bolje poznavanje trofičkih odnosa u tlu i novih saznanja o promatranim zajednicama potrebna su detaljnija istraživanja istih, uz veći broj uzoraka, ispitivanje strukture i sastava tla i implementacija preciznijih taksonomskih metoda.

7. LITERATURA

Acosta-Mercado D., Lynn D.H. (2004): Soil Ciliate Species Richness and Abundance Associated with the Rhizosphere of Different Subtropical Plant Species. *The Journal of Eukaryotic Microbiology* 51(5): 582–588.

Adl, M. S., Gupta, V. S. (2006): Protists in soil ecology and forest nutrient cycling. *Canadian Journal of Forest Research* 36(7): 1805–1817.

Allan, J. D., Castillo, M. M., Capps, K. A. (2021): *Stream ecology: structure and function of running waters*. Springer Nature, Switzerland.

Armson, K.A. (1977) *Forest Soils: Properties and Processes*. University of Toronto Press, Toronto.

Atkinson H.J. (1980): Respiration in nematodes. U: Zuckerman BM (ur.) *Nematodes as Biological Models*. Vol. 2. New York: Academic Press, str. 116–142.

Bamforth S. S. (1973): Population Dynamics of Soil and Vegetation Protozoa. *American Zoologist* (13)1: 171–176.

Bamforth S. S. (1995): Interpreting soil ciliate biodiversity. *Plant and Soil*, 170(1): 159–164.

Bates S.T., Berg-Lyons D, Caporaso J.G., Walters W.A., Knight R., Fierer N. (2011): Examining the global distribution of dominant archaeal populations in soil. *The ISME Journal* 5(5): 908–917.

Bates S. T., Clemente J. C., Flores G. E., Walters W. A., Parfrey L. W., Knight R., Fierer N. (2013): Global biogeography of highly diverse protistan communities in soil. *The ISME Journal* 7(3): 652–659.

Berg, M., de Ruiter, P., Didden, W., Janssen, M., Schouten, T., Verhoef, H. (2001): Community food web, decomposition and nitrogen mineralisation in a stratified Scots pine forest soil. *Oikos* 94(1): 130–142.

Biosis (2024) <https://biosisplatform.eu/> (pristupljeno 1. 9. 2024.)

Bjørnlund L., Rønn R. (2008): “David and Goliath” of the soil food web – Flagellates that kill nematodes. *Soil Biology and Biochemistry* 40(8): 2032–2039.

Boyle J. R. (2005): Forest Soils. U: Hillel, D. (ur.) Encyclopedia of Soils in the Environment. Elsevier, str. 73–79.

Clarholm M., Bonkowski M., Griffiths B. (2007): Protozoa and other Protista in Soil. U: van Elsas J.D., Trevors J.T., Wellington E.M.H. (ur.) Modern Soil Microbiology. Marcel Dekker, Amsterdam, str. 147–175.

Coleman D.C. (2013): Soil Biota, Soil Systems, and Processes. U: Levin S. A. (ur.) Encyclopedia of Biodiversity. Elsevier, str. 580–589.

Coleman D.C., Crossley Jr. D.A., Hendrix P.F. (2004): Fundamentals of Soil Ecology. Academic Press.

Coulson S.J., Convey P., Aakra K., Aarvik L., Ávila-Jiménez M.L., Babenko A., Biersma E.M., Boström S., Brittain J.E., Carlsson A.M., Christoffersen K., De Smet W.H., Ekrem T., Fjellberg A., Füreder L., Gustafsson D., Gwiazdowicz D.J., Hansen L.O., Holmstrup M., Hullé M., Kaczmarek Ł., Kolicka M., Kuklin V., Lakka H.-K., Lebedeva N., Makarova O., Maraldo K., Melekhina E., Ødegaard F., Pilskog H.E., Simon J.C., Sohlenius B., Solhøy T., Søli G., Stur E., Tanasevitch A., Taskaeva A., Velle G., Zawierucha K., Zmudczyńska-Skarbek K. (2014): The terrestrial and freshwater invertebrate biodiversity of the archipelagoes of the Barents Sea; Svalbard, Franz Josef Land and Novaya Zemlya. *Soil Biology and Biochemistry* 68: 440–470.

Čehulić, I. J. (2022): Opis morfoloških karakteristika šumskog drveća Paka prirode Medvednica, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Zagreb.

de Araujo A.S.F., Mendes L.W., Lemos L.N., Antunes J.E.L., Beserra J.E.A., Jr., de Lyra, M. do C.C.P., Figueiredo M. do V.B., Lopes Â.C. de A., Gomes, R.L.F., Bezerra W.M., Melo V.M.M., de Araujo F.F., Geisen S. (2018): Protist species richness and soil microbiome complexity increase towards climax vegetation in the Brazilian Cerrado. *Communications Biology* 1(1): 135.

Digel C., Curtsdotter A., Riede J., Klarner B., Brose U. (2014): Unravelling the complex structure of forest soil food webs: higher omnivory and more trophic levels. *Oikos* 123(10): 1157–1172.

Dobrović, I., Nikolić T., Jelaska S. D., Plazibat M., Hršak V., Šoštarić R. (2006): An evaluation of floristic diversity in Medvednica Nature Park (northwestern Croatia). *Plant Biosystems* 140(3): 234–244.

Ekelund F. (2001): Quantitative Estimation of Flagellate Community Structure and Diversity in Soil Samples. *Protist* 152(4): 301–314.

European Commission, Joint Research Centre, Caudullo G., De Rigo D., Mauri A. i sur. (2016): European atlas of forest tree species. Publications Office of the European Union.

Foissner, W. (1987): Soil protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testacean, bioindicators and guide to the literature. U: Corliss J.O., Patterson D.J. (ur.) *Progress in protistology*. Vol. 2.. Bristol, Biopress, str. 69–212.

Foissner W. (1992): Estimating the Species Richness of Soil Protozoa Using the 'Non-Flooded Petri Dish Method'. U: Lee J. J, Soldo A. T. (ur.) *Protocols in Protozoology*. Lawrence, KS, Society of Protozoologists, str. B-10-1–B-10-14.

Foissner W. (1999): Soil protozoa as bioindicators: pros and cons, methods, diversity, representative examples. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74 (1–3): 95–112.

Foissner W. (2009): Soil Ciliates. *Protozoological Monographs* 4: 211–219.

Foissner W. (2014): Protozoa. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier.

Foissner W. (2016): Terrestrial and Semiterrestrial Ciliates (Protozoa, Ciliophora) from Venezuela and Galápagos. *Denisia* 35: 1–912.

Foissner W., Berger H. (1996.): A user-friendly guide to the ciliates (Protozoa, Ciliophora) commonly used by hydrobiologists as bioindicators in rivers, lakes, and waste waters, with notes on their ecology. *Freshwater Biology* 35: 375–482.

Foissner W., Berger H., Xu K., Zechmeister-Boltenstern S. (2005): A huge, undescribed soil ciliate (Protozoa: Ciliophora) diversity in natural forest stands of Central Europe. *Biodiversity & Conservation* 14: 617–701.

Geisen S., Bandow C., Römbke J., Bonkowski M. (2014): Soil water availability strongly alters the community composition of soil protists. *Pedobiologia* 57: 205–213.

Geisen S., Mitchell E.A.D., Adl S., Bonkowski M., Dunthorn M., Ekelund F., Fernández L.D., Jousset A., Krashevskaya V., Singer D., Spiegel F.W., Walochnik J., Lara E. (2018): Soil protists: a fertile frontier in soil biology research. *FEMS Microbiology Reviews* 42(3): 293–323.

Geisen S., Mitchell E.A.D., Wilkinson D.M., Adl S., Bonkowski M., Brown M.W., Fiore-Donno A.M., Heger T.J., Jasey V.E.J., Krashevska V., Lahr D.J.G., Marcisz K., Mulot M., Payne R., Singer D., Anderson O.R., Charman D.J., Ekelund F., Griffiths B.S., Rønn R., Smirnov A., Bass D., Belbahri L., Berney C., Blandenier Q., Chatzinotas A., Clarholm M., Dunthorn M., Feest A., Fernández L.D., Foissner W., Fournier B., Gentekaki E., Hájek M., Helder J., Jousset A., Koller R., Kumar S., La Terza A., Lamentowicz M., Mazei Y., Santos S.S., Seppey C.V.W., Spiegel F.W., Walochnik J., Winding A., Lara E. (2017): Soil protistology rebooted: 30 fundamental questions to start with. *Soil Biology and Biochemistry* 111: 94–103.

Geisen S., Wall D. H., van der Putten W. H. (2019): Challenges and Opportunities for Soil Biodiversity in the Anthropocene. *Current Biology* 29 (19): R1036–R1044.

Grandy A.S., Wieder W.R., Wickings K., Kyker-Snowman E. (2016): Beyond microbes: Are fauna the next frontier in soil biogeochemical models? *Soil Biology and Biochemistry* (102): 40–44.

Haynes R. J. (2014): Nature of the Belowground Ecosystem and Its Development during Pedogenesis. *Advances in Agronomy* 127: 43–109.

He Z.-Y., Hu H.-W., Thi Nguyen B.-A., Chen Q.-L., Weatherley A., Nash M., Bi L., Wu K., He J.-Z. (2024): Distribution of soil tardigrades as revealed by molecular identification across a large-scale area of Australia. *Soil Biology and Biochemistry* 196: 109506

Hopkin, S. P. (2007): *A Key to the Collembola (springtails) of Britain and Ireland*. Field Studies Council, UK.

Keller A.B., Phillips R.P. (2019): Leaf litter decay rates differ between mycorrhizal groups in temperate, but not tropical, forests. *New Phytologist* 222(1): 556–564.

Kooch Y., Samadzadeh B., Hosseini S.M. (2017): The effects of broad-leaved tree species on litter quality and soil properties in a plain forest stand. *CATENA* 150: 223–229.

Krebs C.J. (1999): *Ecological methodology*. 2nd ed. Benjamin Cummings, New York.

Lavelle P., Spain A.V. (2003): *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow.

Nikolić T. ur. (2024): E.3.2.1. Mješovita šuma hrasta kitnjaka i pitomog kestena. Flora Croatica Database, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu (URL: <https://hirc.botanic.hr:443/fcd/stanista/PrikazStanista.aspx?id=6091>).

Oliverio A. M., Geisen S., Delgado-Baquerizo M., Maestre F. T., Turner B. L., Fierer N. (2020): The global-scale distributions of soil protists and their contributions to belowground systems. *Science Advances* 6(4): eaax8787.

Orgiazzi A., Singh B., Wall D., Barrios E., Kandeler E., Moreira F., De Deyn G., Chotte J., Six J., Hedlund K., Briones M., Miko L., Johnson N., Ramirez K., Fierer N., Kaneko N., Lavelle P., Eggleton P., Lemanceau P., Bardgett R., Jeffery S., Fraser T., Behan Pelletier V., Van Der Putten W., Montanarella L. i Jones A. (2016): *Global Soil Biodiversity Atlas*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Osman K. T. (2013): *Biological Properties of Forest Soils*. U: Osman, K.T. (ur): *Forest Soils*. Springer, str. 75–77.

Panno J. (2009): *The Cell: Evolution of the First Organism*. Infobase Publishing.

Park C. (2007): *A Dictionary of Environment and Conservation*. Oxford University Press.

Peng Y., Holmstrup, M. Kappel Schmidt I., Ruggiero Bachega L., Schelfhout S., Zheng H., Heděnc P., Yue K., Vesterdal L., (2022): Tree species identity is the predominant modulator of the effects of soil fauna on leaf litter decomposition. *Forest Ecology and Management* 520: 120396.

Petersen H. (1982): Structure and size of soil animal populations. *Oikos* 39: 306–329.

Petz W., Foissner W. (1989): The effects of mancozeb and lindane on the soil microfauna of a spruce forest: a field study using a completely randomized block design. *Biology and Fertility of Soils* 7: 225–31.

Qu Z., Pan H., Gong J., Wang C., Filker S., Hu X. (2022): Historical Review of Studies on Cyrtophorian Ciliates (Ciliophora, Cyrtophoria) from China. *Microorganisms* 10(7): 1325

Siemensma, F. J., *Microworld, world of amoeboid organisms*. World-wide electronic publication, Kortenhoef, the Netherlands. (pristupljeno 1. 9. 2024.)

Stojčević D., Sušić V., Lučinger S. (2010): Contamination of soil and sand with parasite elements as a risk factor for human health in public parks and playgrounds in Pula, Croatia. *Veterinarski arhiv* 80(6): 733–742.

Streble, H., D. Krauter i A. Bäuerle (2017): *Das Leben im Wassertropfen. Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers. Ein Bestimmungsbuch*. 13. Auflage. Kosmos, Stuttgart.

Tedersoo L., Bahram M., Cajthaml T., Pölme S., Hiiesalu I., Anslan S., Harend H., Buegger F., Pritsch K., Koricheva J., Abarenkov K., (2015): Tree diversity and species identity effects on soil fungi, protists and animals are context dependent. *The ISME Journal* 10(2): 346–362.

Walter D.E., Proctor H.C. (1999): *Mites: ecology, evolution and behaviour*. CABI Publishing, Oxon, UK.

Wardle D.A., Bardgett R.D., Klironomos J.N., Setälä, H., Van Der Putten, W.H., Wall, D. H., (2004): Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304(5677): 1629–1633.

Weston C. J. i Whittaker K. L. (2004): Soil biology and tree growth | *Soil Biology*. U: Burley, J. (ur.) *Encyclopedia of Forest Sciences*. Elsevier, str. 1183–1189.

Yarwood S.A., Bach E.M., Busse M., Smith J.E., Callahan M.A., Jr, Chang C.-H., Chowdhury T.R., Warren S.D., (2020): *Forest and Rangeland Soil Biodiversity*. U: Pouyat R., Page-Dumroese D., Patel-Weynand T., Geiser L. (ur) *Forest and Rangeland Soils of the United States Under Changing Conditions*. Springer, Cham, str. 75–97.

Zavod za zaštitu okoliša i prirode Ministarstva zaštite okoliša i zelene tranzicije (2024): *Bioportal – Karta staništa RH 2004*. Dostupno na: <http://www.bioportal.hr/>. (Pristupljeno: 23. kolovoza 2024.)

WEB IZVORI:

<https://realmicrolife.com/leptopharynx-costatus/> (pristupljeno 1. 9. 2024.)

<https://realmicrolife.com/cinetochilum-margaritaceum/#:~:text=Cinetochilum%20margaritaceum%20is%20one%20of,usually%20staying%20below%2030%20%C2%B5m.> (pristupljeno 1. 9.)

Slika 1.: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cercomonas_sp.jpg, user:NEON_ja, CC BY-SA 2.5 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5>, Wikimedia Commons

Slika 2.: https://en.wikipedia.org/wiki/Colpoda#/media/File:Detailed_colopda.jpg, user: John Alan Elson, CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>, Wikimedia Commons

Slika 3.: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SEM_Euglypha_sp.jpg, user: Berezovska, CC BY 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, Wikimedia Commons

Slika 4.: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rotifera_\(Genus%CB%90_Philodina\)_-_40X_view.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rotifera_(Genus%CB%90_Philodina)_-_40X_view.jpg), user: Juan Carlos Fonseca Mata, CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>, via Wikimedia Commons

Slika 5.: <https://soilsmatter.wordpress.com/2021/05/15/how-do-nematodes-help-plants-and-soils/>

Slika 8.: Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine, (2018). Prostorni plan - PP Medvednica. Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine. Dostupno na: <https://mpgi.gov.hr/prostorno-uredjenje-3335/prostorni-planovi-8193/prostorni-planovi-drzavne-razine/prostorni-planovi-parkova-prirode/prostorni-plan-pp-medvednica/3393> (pristupljeno: 25. 8. 2024)

Slika 11.:
https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/PMF_Katalog_znanstvene_opreme_i_racunskih_programa.pdf (pristupljeno: 25. 8. 2024)

ŽIVOTOPIS

Rođena sam 1998. godine u Zagrebu. Prvi razred osnovne škole upisala sam i završila u Osnovnoj školi Lovre pl. Matačića, a ostale razrede u Osnovnoj školi Borovje. Osnovnoškolsko obrazovanje završila sam kao odlična učenica, a tijekom osam godina sudjelovala sam u raznim izvannastavnim aktivnostima. Uz podršku i poticaj svoje bivše razrednice, u višim razredima bila sam dio novinarske grupe, u sklopu koje sam uređivala školski list. Moje zanimanje za društvene predmete, posebno jezik i sociologiju zadržalo se i do danas, a često sam sudjelovala na školskim i županijskim natjecanjima iz prirodoslovnih predmeta. Nakon osnovne škole upisala sam opću VII. gimnaziju u Zagrebu, a tijekom srednje škole također sudjelujem na županijskim natjecanjima iz geografije i hrvatskog jezika. Srednju školu završila sam s odličnim uspjehom. Preddiplomski studij Znanosti o okolišu upisala sam 2017. godine zbog svojih širokih interesa i velikom željom za boljim razumijevanjem svijeta u kojem živim. Preddiplomski studij završila sam 2020. godine. Završni rad na temu Strukturnih prilagodbi probavnog sustava s obzirom na ishranu životinja napisala sam uz mentorstvo izv. prof. dr. sc. Romane Gračan. Iste godine upisala sam diplomski studij Znanosti o okolišu. Tijekom studija sudjelovala sam na manifestaciji Dan i noć na PMF-u unutar BIUS-ove sekcije za Biologiju mora. Diplomski rad izradila sam pod mentorstvom prof. dr. sc. Renate Matoničkin Kepčije.