

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Odjel za biologiju  
Sveučilišni diplomski studij Zaštita prirode i okoliša

Ana Kiš

**Utjecaj konvencionalne i konzervacijske poljoprivrede na  
mezofaunu tla**

Diplomski rad

Osijek, 2024.

Diplomski rad je napisan na temelju rezultata istraživanja provedenih u okviru HRZZ projekta: "Procjena konzervacijske obrade tla kao napredne metode uzgoja usjeva i prevencije degradacije tla – ACTIVEsoil" (Broj projekta: IP-2020-02-2647)

Voditelj HRZZ projekta: prof. dr. sc. Danijel Jug

**TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA**  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Odjel za biologiju  
Sveučilišni diplomski studij Zaštita prirode i okoliša  
Znanstveno područje: Prirodne znanosti  
Znanstveno polje: Biologija

**Diplomski rad**

**UTJECAJ KONVENCIONALNE I KONZERVACIJSKE POLJOPRIVREDE NA MEZOFAUNU  
TLA**

**Ana Kiš**

**Rad je izrađen na:** Odjel za biologiju, Zavod za kvantitativnu ekologiju

**Mentor:** prof.dr.sc. Davorka Kutuzović Hackenberger

**Kratak sažetak diplomskog rada:** Mezofauna tla važan je dio ekosustava jer povezuje mikrofaunu i makrofaunu u zajednice razlagača, što omogućuje razgradnju organske tvari i kruženje hranjivih tvari. Grinje (Acari) i skokuni (Collembola) česti su u svim vrstama tla, a njihova brojnost varira ovisno o obradi tla i primjeni dodataka. Konvencionalna obrada tla teškom mehanizacijom često uzrokuje zbijenost i premještanje organizama, smanjujući biološku aktivnost. Konzervacijska obrada s minimalnim narušavanjem tla i rotacijom usjeva održava biološke procese i sprječava razvoj štetnika. Cilj istraživanja je utvrditi utjecaj konvencionalne i konzervacijske obrade tla na brojnost mezofaune, uključujući metode obrade, kalcizaciju, količinu gnojiva te dodatak GeO<sub>2</sub>. Istraživanje je provedeno na poljima (10x8 m) s različitim tretmanima koji su obuhvaćali različite dubine obrade, primjenu kalcizacije i četiri varijante gnojidbe. Uzorkovanje je provedeno u travnju i listopadu 2023. godine, organizmi su ekstrahirani prema Tullgren/Berlese metodi, skenirani u visokoj rezoluciji prema Soil BON metodi i potom statistički analizirani. Najveći udio skupina u uzorcima činile su grinje i skokuni (ukupno 89% svih jedinki). Rezultati su pokazali da konzervacijska obrada, posebno duboka, podržava veću brojnost mezofaune. Kalcizacija tla pozitivno utječe na mezofaunu, posebice na grinje skupine Mesostigmata, a prema tretmanu gnojidbe najveća brojnost jedinki je uz umanjenu količinu gnojiva bez dodatka GeO<sub>2</sub>.

**Broj stranica:** 54

**Broj slika:** 17

**Broj tablica:** 15

**Broj literaturnih navoda:** 71

**Broj priloga:** 0

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** brojnost, Acari, Collembola, konzervacijska obrada, Mesostigmata

**Datum obrane:** 30.09.2024.

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. prof.dr.sc. Stjepan Krčmar, predsjednik
2. izv.prof.dr.sc. Goran Palijan, član
3. prof.dr.sc. Davorka Kutuzović Hackenberger, član
4. izv.prof.dr.sc. Olga Jovanović Glavaš, zamjena člana.

**Rad je pohranjen:** na mrežnim stranicama Odjela za biologiju te u Nacionalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu.

**BASIC DOCUMENTATION CARD**

Master thesis

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Department of Biology

Graduate university study programme in Nature and Environmental Protection

Scientific Area: Natural sciences

Scientific Field: Biology

**THE INFLUENCE OF CONVENTIONAL AND CONSERVATION AGRICULTURE ON SOIL MESOFAUNA**

Ana Kiš

**Thesis performed at:** Department of Biology, Sub – Department of Quantitative Ecology**Supervisor:** Full professor Davorka Kutuzović Hackenberger, PhD

**Short abstract:** Soil mesofauna is crucial for ecosystems, connecting microfauna and macrofauna in decomposer communities, facilitating organic matter decomposition and nutrient cycling. Mites (Acari) and springtails (Collembola) are common in most soils, with their abundance affected by soil management and amendments. Conventional tillage with heavy machinery often leads to soil compaction, reducing biological activity. In contrast, conservation tillage with minimal disturbance and crop rotation helps maintain biological processes and controls pests. This study aimed to assess the impact of conventional and conservation tillage on mesofauna, focusing on tillage methods, liming, fertilizer application, and GeO<sub>2</sub> addition. Conducted on 10x8 m plots with different tillage, liming, and fertilization treatments, the research includes various tillage depths, liming, and four fertilization approaches. Sampling in April and October 2023; organisms were extracted using the Tullgren/Berlese method, scanned in high resolution following the Soil BON method, counted and statistically analyzed. Mites and springtails made up 89% of individuals. Results indicated that conservation tillage, especially deep tillage, enhances mesofauna abundance. Liming positively affects mesofauna, particularly Mesostigmata mites, while the highest organism numbers were observed with reduced amount of fertilizer compared to the recommended quantity, without the addition of GeO<sub>2</sub>, regardless of soil treatment.

**Number of pages:** 54**Number of figures:** 17**Number of tables:** 15**Number of references:** 71**Original in:** Croatian**Keywords:** abundance, Acari, Collembola, conservation tillage, Mesostigmata**Date of the thesis defence:** 30.09.2024.**Reviewers:**

1. Full professor Stjepan Krčmar, PhD, chair
2. Associate professor Goran Palijan, PhD, member
3. Full professor Davorka Kutuzović Hackenberger, PhD, member
4. Associate professor Olga Jovanović Glavaš, PhD, member.

**Thesis deposited:** on the Department of Biology website and the Croatian Digital Theses Repository of the National and University Library in Zagreb.

**Odjel za biologiju**  
**Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku**

**IZJAVA O IZVORNOSTI DIPLOMSKOG RADA**

Ja \_\_\_\_\_ Ana Kiš, 0285006743 \_\_\_\_\_ s punom

*(Ime i prezime studenta, JMBAG)*

materijalnom i moralnom odgovornošću izjavljujem kako sam ovaj rad samostalno izradio/izradila te da u njemu nema kopiranih ili prepisanih dijelova teksta tuđih radova, a da nisu označeni kao citati s napisanim izvorom odakle su preuzeti.

U Osijeku, \_\_\_\_\_

---

Vlastoručni potpis studenta

*Zahvaljujem se mentorici prof. dr. sc. Davorki Kutuzović Hackenberger na dragocjenom mentorstvu, podršci, ohrabrivanju i korisnim savjetima tijekom izrade ovog rada.*

*Hvala mojim roditeljima, Marici i Goranu na svemu što su učinili za mene, na ljubavi, podršci i vođenju kroz život.*

*Veliko hvala svim mojim prijateljima i kolegama koji su mi razdoblje studiranja učinili nezaboravnim periodom života.*

*Posebno hvala mom Mislavu i njegovim roditeljima, Maji i Zoranu, baki Mariji te mom bratu Davoru za svu pomoć, podršku i riječi ohrabrivanja tijekom godina studiranja.  
Zahvaljujem vam što ste uvijek bili uz mene.*

*Najveća hvala mojoj sestri Kristini na neprestanom ohrabrivanju i podršci. Tvoje su mi riječi bile vjetar u leđa i učinile su da vjerujem kako mogu postići sve što poželim.*

## SADRŽAJ:

1.	UVOD.....	1
1.1.	Tlo.....	1
1.2.	Obrada tla .....	1
1.2.1.	Konvencionalni sustavi obrade tla .....	2
1.2.2.	Reducirani sustavi obrade tla .....	2
1.2.3.	Konzervacijski sustavi obrade tla .....	3
1.2.4.	Kondicioniranje tla.....	4
1.3.	Utjecaj klimatskih promjena na tlo.....	5
1.4.	Mezofauna tla .....	6
1.4.1.	Grinje (Acari, Acarina) .....	7
1.4.2.	Skokuni (Collembola).....	9
1.4.3.	Bezrepci (Protura) .....	11
1.4.4.	Dvorepci (Diplura).....	12
1.4.5.	Stonoge (Myriapoda) .....	12
1.4.6.	Kukci (Insecta).....	13
1.4.7.	Enhitreje (Enchytraeidae) .....	14
1.5.	Cilj istraživanja.....	15
2.	MATERIJALI I METODE.....	16
2.1.	Područje istraživanja.....	16
2.2.	Tip tla.....	16
2.3.	Hidrometeorološke značajke područja istraživanja .....	17
2.4.	Terenski dio istraživanja.....	18
2.5.	Laboratorijski dio istraživanja .....	20
2.6.	Statistička analiza .....	22
3.	REZULTATI .....	23
3.1.	Utjecaj tretmana obrade tla (tretman A).....	23
3.2.	Utjecaj tretmana kalcizacije tla (tretman B).....	25
3.3.	Utjecaj tretmana gnojidbe tla (tretman C) .....	27
3.4.	Brojnost u odnosu na sezonu/godišnje doba u vrijeme uzorkovanja.....	30
3.5.	Brojnost u odnosu na lokaciju uzorkovanja.....	31
3.6.	Rezultati statističke analize .....	33
3.6.1.	Utjecaj na ukupnu brojnost mezofaune.....	33
3.6.2.	Utjecaj na pojedinu skupinu mezofaune .....	36
3.6.3.	Shannonov indeks bioraznolikosti .....	37

4.	RASPRAVA.....	40
5.	ZAKLJUČAK.....	45
6.	LITERATURA .....	47



# 1. UVOD

## 1.1. Tlo

Tlo je vitalna komponenta ekosustava koja se sastoji od mješavine minerala, organskih tvari, vode, zraka i brojnih živih organizama, te čini temelj ljudskog postojanja. Većina današnje proizvodnje hrane, goriva i vlakana zasniva se na tlu, a isporuka tih dobara ključna je za ljudski prosperitet (Nielsen, 2019). Wallwork (1976) navodi da je ekološki pristup, kroz očuvanje, jedini način na koji čovjek može iskorištavati svoje prirodne resurse bez ugrožavanja njihovog potencijala za buduće generacije. Iako je ova ključna uloga tla za ljudsku populaciju odavno prepoznata, razumijevanje onoga što čini tlo funkcionalnim još uvijek se razvija (Nielsen, 2019). Proces formiranja tla vremenski je zahtjevan te ovisi o matičnom supstratu, klimi, topografiji, vremenu i bioti, uključujući faunu tla (Jenny, 1941). Proces započinje biljkama iznad tla koje hvataju ugljik (C) iz zraka putem fotosinteze, što pokreće ekosustav, koristeći hranjive tvari i vodu iz tla za proizvodnju organske tvari. Velik dio proizvedene organske tvari završava u tlu na nekoliko načina: putem korijena biljaka, odnosno otpuštanja tvari s korijena ili predaje ugljika mikrobnim simbiotima, taloženjem lisnog i drvenog materijala, te taloženjem životinjskog izmeta biljojeda. Mikroorganizmi i fauna koja nastanjuje tlo tada recikliraju organsku tvar dobivenu od biljaka (Nielsen, 2019). Tlo je puno života, predstavljajući širok spektar morfoloških prilagodbi i strategija životnog ciklusa (Giller, 1996), a prema procjeni nastanjuje ga više od 360 tisuća vrsta, otprilike četvrtina svih do sada opisanih živih vrsta koje obitavaju u tlu ili sloju organskog otpada (Decaëns i sur., 2006).

## 1.2. Obrada tla

Jedan od najvažnijih događaja u ljudskoj povijesti, poznat kao „Neolitska revolucija“, dogodio se prije otprilike 12 tisuća godina. Tada su ljudi napustili lovačko – sakupljački način života i započeli s osnivanjem prvih trajnih naselja. Uvođenjem poljoprivrede, uzgojem usjeva, razvojem različitih alata i domestikacijom životinja, došlo je do značajnih promjena u načinu života što je omogućilo daljnji razvoj civilizacije (Web 1). Budući da su rane metode obrade tla ovisile o lokalnim klimatskim uvjetima, mnogi su se poljoprivrednici u početku selili nakon što bi iscrpili prirodne resurse. Trajnu obradu i sjedilački način života omogućila je gnojidba tla, plodored i uzgoj međuusjeva. Izumom pluga započinje konvencionalna obrada s ciljem osiguravanja maksimalnih prinosa usjeva uz korištenje

različitih kemijskih preparata za zaštitu biljaka, mineralnih gnojiva i GMO biljaka (Veseli, 2022). U poljoprivrednoj proizvodnji sustavi obrade tla mogu se, prema Jugu i sur. (2022), pojednostavljeno svrstati u tri kategorije: konvencionalnu, reduciranu i konzervacijsku obradu.

### **1.2.1. Konvencionalni sustavi obrade tla**

Konvencionalni sustavi obrade tla obično se dijele na one za ozime i jare usjeve. Unutar tih sustava postoje različite varijante ovisno o vremenskom razmaku između žetve predusjeva i sjetve novog usjeva, koji može trajati od nekoliko dana do nekoliko mjeseci (Jug i sur., 2015). Osnovna shema za sjetvu jarih usjeva iza ozimih započinje ljeti. Nakon žetve predusjeva, provodi se prašenje strništa plugom na dubini od 8–12 cm ili tanjuračom. Time se sprječava gubitak vode i potiče nicanje korova, koji se kasnije uništava. Ujedno se nose žetveni ostatci i omogućuje bolja apsorpcija oborina. U ovoj fazi se često dodaje dušik kako bi se spriječio njegov manjak za idući usjev. Plitko oranje na dubini od 10–20 cm provodi se četiri do pet tjedana nakon prašenja strništa, čime se uništava korov i potiče rad mikroorganizama. Sjetveno oranje obavlja se na dubini od 25–35 cm, uz unos gnojiva, a završna obrada tla uključuje proljetno zatvaranje zimske brazde i pripremu tla za sjetvu jarih usjeva, koristeći tanjuraču, drljaču ili kultivator. Sustav obrade za ozime ili jare usjeve nakon žetve jarih usjeva također ima nekoliko varijanti. Osnovna shema uključuje gnojidbu, duboku obradu tla, dopunsku obradu i sjetvu. Na područjima Slavonije i Baranje preporučuje se poravnavanje zimske brazde u jesen i njeno zatvaranje u proljeće radi očuvanja vlage. Konvencionalna obrada tla omogućava velik prinos, ali istovremeno ima negativan utjecaj na bioraznolikost i plodnost tla (Veseli, 2022). Oranjem se tlo raspada na različite strukturne agregate, a okretanjem se premještaju organizmi, što dovodi do negativnog utjecaja na iste. Organizmi koji preferiraju dublje slojeve na taj način u kratkom vremenu dospijevaju na površinu, odnosno u nepovoljne životne uvjete, dok su s druge strane organizmi koji pretežno nastanjuju površinske slojeve premješteni u dublje slojeve tla. Ovakav poremećaj biološke aktivnosti može dovesti do smanjenja razine organske tvari i humusa u tlu čime utječu na ukupnu floru i faunu tla (Kovaček, 2023).

### **1.2.2. Reducirani sustavi obrade tla**

U usporedbi s konvencionalnom obradom, reducirana obrada tla je jeftinija, jednostavnija, te bolje prilagođena klimatskim i ekonomskim uvjetima lokaliteta (Jug i sur., 2015; 2018).

Reducirani sustavi obrade tla obično se dijele na minimalnu obradu (engl. *minimum tillage*), izostavljenu obradu (engl. *no – till, zero – till*) i konzervacijsku obradu tla (engl. *conservation tillage*). Intenzitet reducirane obrade ovisi o agroekološkim uvjetima, dostupnoj mehanizaciji i razini znanja. Smatra se reduciranim ako se izostavi barem jedan uobičajeni zahvat, najčešće oranje, pa sve do potpune eliminacije obrade. Smanjuje se broj i dubina zahvata, čime se smanjuju i troškovi. Pravilnom primjenom, reducirana obrada ne smanjuje prinose, uz intenzivnu upotrebu gnojiva i herbicida. Također, dolazi do manjeg zbijanja tla, bolje vodopropusnosti i prozračnosti, što pogoduje razvoju biljaka. Izostavljena obrada tla ili "no – tillage" je najekstremniji oblik reducirane obrade, gdje se koristi posebna mehanizacija poput disk sijačice koja otvara brazde za sjetvu i gnojidbu. Tlo se minimalno obrađuje, samo na mjestu sjetve, uz preciznu primjenu gnojiva. Važna tehnika kod ove metode je plodored, koji pomaže u suzbijanju korova i štetnika, smanjenju erozije te povećanju plodnosti tla (Veseli, 2022).

### **1.2.3. Konzervacijski sustavi obrade tla**

Konzervacijska obrada tla je oblik reducirane obrade tla, a temelji se na tri ključna načela koja povezuju klimu, tlo i biljke, uzimajući u obzir agroekološke i socioekonomske razlike (Jug i sur., 2015). Temelji se na minimalnom narušavanju obradom, trajnoj pokrivenosti tla biljnim ostacima te plodoredu odnosno rotaciji usjeva (Jug i sur., 2018). Minimalno narušavanje tla obradom postiže se smanjenjem prohoda teškom mehanizacijom jer zbijanje utječe na vodni režim i prozračnost tla, a samim time i na biološke te kemijske procese koji se u ovisnosti o njima odvijaju (Uroz i sur., 2014). Trajna pokrivenost tla biljnim ostacima trebala bi iznositi minimalno 30%, pa sve do 100% nakon što se provedu svi planirani zahvati obrade tla. Budući da određene poljoprivredne kulture iskorištavaju više hranjivih tvari iz tla u odnosu na druge, što može dovesti do opadanja prinosa u budućnosti, za održavanje optimalne količine hranjivih tvari u tlu koristi se metoda rotacije usjeva odnosno plodored. Rotacijom usjeva osiguravaju se osnovni agroekološki čimbenici i sprječava se širenje štetnika specifičnih za određene kulture (Jug i sur., 2018). Također uključuje prakse poput korištenja zelene gnojidbe, ne spaljivanja ostataka usjeva, integriranog upravljanja štetnicima i kontroliranog prometa preko tla. Prednosti konzervacijske obrade u usporedbi s konvencionalnom obradom uključuju kratkoročne prednosti kao što su poboljšanje strukture tla i smanjenje erozije, te dugoročne prednosti poput povećanja organske tvari u tlu i stabilan prinos (FAO, 2015). Glavne prepreke za globalnu primjenu konzervacijske obrade su

nedostatak znanja, neadekvatna politika, neodgovarajuća oprema i privrženost tradicionalnom pristupu (Jug i sur., 2015; 2018).

#### **1.2.4. Kondicioniranje tla**

U svrhu poboljšanja uvjeta za uzgoj biljnih kultura koriste se metode kondicioniranja. Kondicioniranje (popravak) tla najčešće obuhvaća meliorativne zahvate uz posebne agrotehničke mjere. Najčešći postupak uključuje primjenu poboljšivača (kondicionera) koji popravljaju kemijska, fizikalna i biološka svojstva tla, kao što su humizacija, kalcizacija, fosfatizacija i primjena posrednih gnojiva. Kalcizacija je agrotehnička mjera koja uključuje primjenu tvari bogatih kalcijem (Ca) i/ili magnezijem (Mg) u tlo, s ciljem neutralizacije kiselosti i postizanja optimalne pH vrijednosti. Za provođenje kalcizacije potrebna je određena količina vapnenca ili drugog alkalnog materijala kako bi se smanjila kiselost tla na željenu razinu. Materijali koji se koriste u kalcizaciji sadrže Ca i/ili Mg te neutraliziraju višak kiselosti. Ovi materijali uključuju karbonate, okside, hidrokside i silikate kalcija i magnezija. Različiti vapneni materijali, industrijski nusproizvodi i otpadne tvari koriste se u procesu kalcizacije širom svijeta. Kalcizacija tla poboljšava dostupnost hraniva, smanjuje pH vrijednost, povećava raspoloživost Ca i Mg, te smanjuje gubitke dušika i opasnost od gubitka bora ispiranjem. Također, smanjuje rizik od kemijske fiksacije fosfora. Potreba za kalcizacijom temelji se na različitim kemijskim svojstvima tla, a ne samo na pH vrijednosti. (Lončarić i sur., 2015). Kalcizacija utječe na biološka svojstva tla, povećava mikrobiološke procese i ubrzava razgradnju organske tvari, što može dovesti do gubitka humusa. Primjerice, dvije godine nakon kalcizacije zabilježen je pad humusa od 0,01% po t/ha primijenjenog  $\text{CaCO}_3$  (Karalić, 2009.). Zbog toga je važno istovremeno provoditi organsku gnojidbu kako bi se nadoknadio gubitak humusa, jer organska gnojidba povećava sadržaj organske tvari u tlu i smanjuje negativne učinke kalcizacije (Lončarić i sur., 2015). Biofiziološki aktivator tla  $\text{GeO}_2$  je pripravak u obliku granulata, sastavljen od kalcijevog i magnezijevog karbonata te dodatka dobivenih tehnološkim procesom MIP (željezo, cink, bor, mangan i dr.), povezanih vodotopivim lignosulfonatom biljnog porijekla. Ovaj proizvod se primjenjuje na svim kulturama i vrstama tla te pomaže aktivirati biološke procese potrebne za održivu poljoprivredu.  $\text{GeO}_2$  djeluje stimulirajući skupine mikroorganizama, povećavajući im brojnost i aktivnost u tlu, što doprinosi povećanju organske tvari, boljoj poroznosti te cirkulaciji zraka i vode. Također, pomaže u stvaranju humusa, koji smanjuje zbijenost tla i omogućava korijenu biljaka dublji prodor, poboljšavajući pristup hranjivim

tvarima. Biološka aktivnost koju potiče GeO<sub>2</sub> teži prema neutralnoj vrijednosti pH, čime se prilagođava različitim vrstama tla. Korištenje GeO<sub>2</sub> donosi mnoge koristi, uključujući ubrzano nicanje usjeva, pojavu gujavica, bolju kondiciju biljaka i smanjenje pucanja tla tijekom suše. Ovaj granulat omogućuje dugotrajne zelene usjeve i vrhunske prinose, uz smanjene potrebe za mineralnim gnojivima. Uz ekološki certifikat u Republici Hrvatskoj, GeO<sub>2</sub> se koristi i u širokoj praksi, jer doprinosi očuvanju tla od degradacije i osigurava njegovu plodnost za buduće generacije (Web 2).

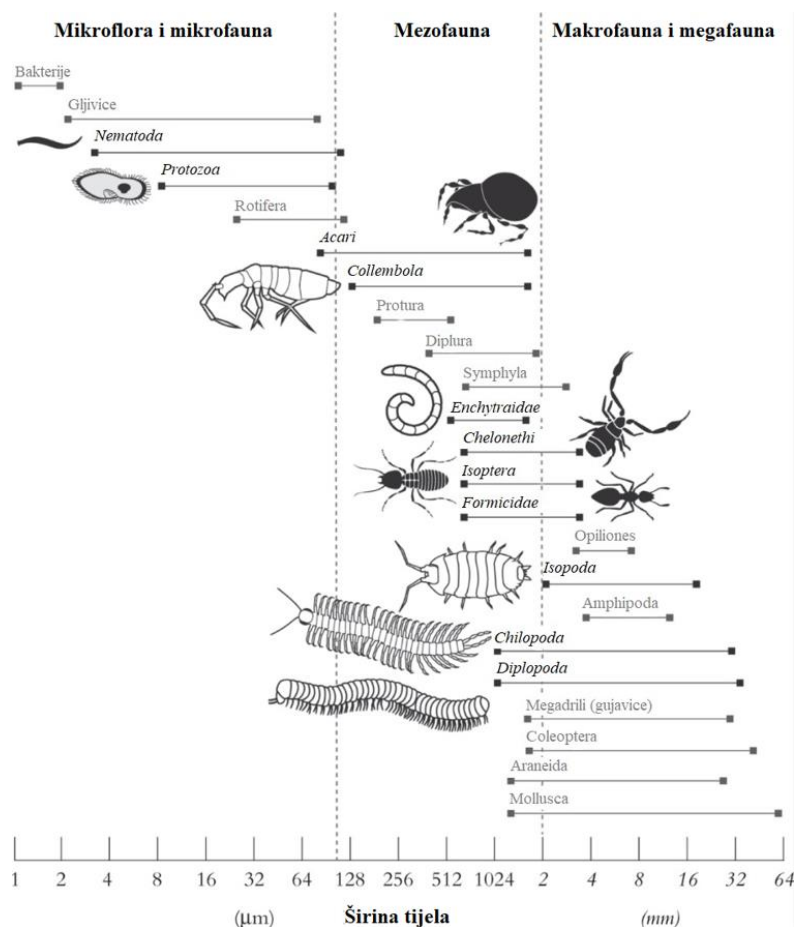
### **1.3. Utjecaj klimatskih promjena na tlo**

Osim konvencionalnog pristupa obradi, u tlu se očituju i negativne posljedice klimatskih promjena. Klimatske promjene odnose se na značajne promjene u abiotičkim čimbenicima kao što su promjene temperature na globalnoj razini, promjene u obrascima vjetra, oborina, stakleničkih plinova (engl. *greenhouse gas*) i drugih klimatskih elemenata koji se odvijaju tijekom desetljeća ili duljih vremenskih perioda. Klimatske promjene snažno utječu na biološke, fizikalne i kemijske funkcije tla, i to izravno ili neizravno. Izravni utjecaji uključuju promjene u oborinama, temperaturi, obrascima vjetra, stakleničkim plinovima i režimima vlage, dok neizravni utjecaji proizlaze iz ljudskih prilagodbi kao što su promjene u rotaciji usjeva, navodnjavanju i praksama obrade tla. Promjene u klimatskim uvjetima, kao što su količina oborina i temperatura, mogu ozbiljno utjecati na proizvodnju usjeva, usporavajući njihovu zrelost. Degradacija tla, uključujući eroziju, salinizaciju i dezertifikaciju, često je posljedica drastičnih klimatskih promjena. Klimatske promjene također narušavaju hidrološki ciklus, što negativno utječe na zdravlje i plodnost tla. Povećanje temperature, promjene u oborinama, taloženje atmosferskog dušika, rast razine ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) i nerazmjer drugih stakleničkih plinova dovode do globalnog zagrijavanja i imaju značajan utjecaj na funkcije tla (Singh i sur., 2022). Suša dovodi do niske poroznosti tla i kapaciteta za zadržavanje vode, što smanjuje populaciju faune u tlu i mijenja sastav zajednica. Suša također može smanjiti pokrivenost florom i promijeniti mikroklimatske uvjete površine tla, što indirektno smanjuje brojnost faune. Zagrijavanje i povećana razina atmosferskog ugljičnog dioksida mogu smanjiti kvalitetu mrtve organske tvari, što uzrokuje promjenu prehranbenih izbora organizama u tlu (s hrane više kvalitete na hranu niže kvalitete) i smanjuje reprodukciju radi preživljavanja. Gubitak staništa uzrokovan pogoršanjem fizikalno – kemijskih svojstava tla glavni je čimbenik koji utječe na faunu tla. Povećanje saliniteta tla može nadmašiti druge faktore koji pogoduju specijalistima staništa, što dovodi

do negativnih učinaka na organizme u tlu (Kudureti i sur., 2023). Klimatske promjene dovode do problema sa skladištenjem i odvodnjavanjem viška vode, zbog čega se nastoji istražiti pogodan način obrade tla (Jug i sur., 2015).

#### 1.4. Mezofauna tla

Spektar vrsta koje nastanjuju tlo je vrlo širok, mnoge skupine su slabo taksonomski istražene, stoga je najjednostavniji i najčešće korišten sustav za klasifikaciju organizama tla razdioba prema veličini tijela u tri skupine: mikrofauna, mezofauna te makrofauna (Slika 1) (Wallwork, 1970; Swift i sur., 1979). Veličina tijela ujedno je povezana i s mikrostaništem koje organizmi tla naseljavaju. Prema navedenom, mikrofauna (bakterije, gljivice, praživotinje, oblići i dr.) naseljava vodene filmove, mezofauna (grinje, skokuni, dvorepci, bezrepci i dr.) naseljava već postojeće prostore ispunjene zrakom dok makrofauna (gujavice, mekušci i dr.) stvara vlastite prostore aktivnostima kopanja, te kao i megafauna (sisavci, vodozemci, gmazovi i dr.) može imati veliki utjecaj na grubu teksturu tla (Lavelle i Spain, 2002; Lee, 1985).



Slika 1. Klasifikacija organizama tla prema veličini (preuzeto i prilagođeno prema Nielsen, 2019).

Gujavice, termiti i mravi mijenjaju fizičku strukturu tla, i na taj način otvaraju puteve za protok energije i hranjivih tvari, pa se stoga nazivaju „inženjerima ekosustava“. Mali člankonošci tla fragmentiraju mrtvu organsku tvar i čine ju dostupnom mikroorganizmima za razgradnju (Dervash i sur., 2018). Mezofaunu tla čine skupine beskralježnjaka čija veličina varira između 0,1 mm do 2 mm, što uključuje skupine poput grinja, skokuna, bezrepace, dvorepaca, kratkonožaca, enhitreja i mnogih drugih. Velik broj malih člankonožaca tla, poput grinja i skokuna, može se naći u većini tipova tla. Kvadratni metar šumskog tla može sadržavati stotine tisuća jedinki koje predstavljaju tisuće različitih vrsta (Andre i sur., 2002). Pripadnici mezofaune jedni su od ključnih karika u hranidbenim mrežama u tlu. Spomenuto je već da se neke vrste hrane mrtvom organskom tvari, te fragmentacijom iste omogućuju njezinu mikrobiološku razgradnju. Mnoge se skupine člankonožaca mezofaune hrane gljivama i oblicima čime povezuju mikrofaunu s mezofaunom. Određene skupine su pak plijen pripadnicima makrofaune poput mrava i stonoga, a ponekad i pripadnicima megafaune (žabe i daždevnjaci) (Dervash i sur., 2018). Općenito, šumska tla u umjerenim geografskim područjima s velikom količinom organske tvari podržavaju velik broj člankonožaca mezofaune, dok tropske šume s tankim slojem organske tvari sadrže znatno manji broj člankonožaca mezofaune (Seastedt, 1984). Preturbacija tla i drugi poremećaji, kao što su oranje, požari i primjena pesticida, obično smanjuju broj člankonožaca mezofaune, ali oporavak može biti brz jer različite skupine različito reagiraju (Dervash i sur., 2018). U nastavku su detaljnije opisane skupine koje su pronađene i izdvojene u uzorcima u svrhu ovog diplomskog rada.

#### **1.4.1. Grinje (Acari, Acarina)**

Grinje pripadaju razredu paučnjaka (Arachnida), člankonošcima s kliještima srodnim paukovima. U tlu su često najbrojnija skupina člankonožaca mezofaune, što potvrđuje činjenica da 100 g uzorkovanog tla može sadržavati i do 500 jedinki grinja koje predstavljaju čak 100 rodova (Coleman i sur., 2004). Približno polovica od 30 tisuća poznatih vrsta su stanovnici tla, a taksonomski su klasificirane u dvije velike skupine, nadred Parasitiformes (Anactinotrichida) te nadred Acariformes (Actinotrichida). Nadred Parasitiformes dijeli se na redove Opilioacarida (Notostigmata), Holothyrida (Tetrastigmata), Ixodida (Metastigmata) te Mesostigmata (Gamasida) dok se nadred Acariformes (Actinotrichida) dijeli na red Trombidiformes (Prostigmata, Actinedida i Tarsonemida) te red Sarcoptiformes (Oribatida, Astigmata i Endeostigmata) (Krantz i Walter, 2009; Zhang, 2011). U tlu se

najčešće nalaze pripadnici podredova Mesostigmata (Gamasida) (Slika 2), Oribatida (Oribatei) (Slika 3), Prostigmata te Astigmata (Coleman i sur., 2004). Gotovo svi pripadnici podreda Mesostigmata su grabežljivci za manje pripadnike mezofaune te mikrofaune, a vrlo mali broj pripadnika hrani se gljivama. Skupina Gamasina, najčešća i najbrojnija skupina podreda Mesostigmata u tlu, glavna je skupina grabežljivaca mezofaune i značajno doprinosi kruženju hranjivih tvari i energije te ima ključnu ulogu u hranidbenim mrežama u tlu (Atkinson i sur., 1985; Ruf i Beck, 2005). U okviru ekološke mreže ova skupina zauzima ulogu vrhunskog grabežljivca (engl. *top predator*) u mezotrofnim sustavima. Povezuje lanac ishrane koji započinje primarnom proizvodnjom, konzumacijom i razgradnjom hranjivih tvari putem gljiva i bakterija, koji postaju hrana većim organizmima (oblicima i drugim grinjama) kojima se naposljetku hrane grabežljive grinje (Gamasina) (Ruf i Beck, 2005).



Slika 2. Grinja iz skupine Mesostigmata s ulovljenim plijenom (Web 3).

Grinje podreda Oribatida karakteristični su stanovnici tla i čine jednu od najbrojnijih skupina člankonožaca u tlu, dosežući brojnost od nekoliko stotina tisuća jedinki po kvadratnom metru u određenim tipovima tla. Pripadnici ove skupine hrane se mrtvom organskom tvari i gljivama te na taj način izravno utječu na procese razgradnje tvari i strukturu tla (Norton, 1990; Behan – Pelletier, 1999). Grinje skupine Oribatida raspršuju bakterije i gljive, prenoseći spore koje im se zadržavaju na površini tijela ili ekskrecijom spora koje su preživjele prolazak kroz njihov probavni sustav (Klironomos i Kendrick, 1995). Mnoge vrste grinja skupine Oribatida ugrađuju kalcij i druge minerale u svoju zadebljanu kutikulu, stoga njihova tijela čine važna skladišta hranjivih tvari, posebice u područjima s ograničenim resursima (Crossley, 1977).





Slika 3. Grinje iz skupine Oribatida (Web 4).

Podred Astigmata se tradicionalno prepoznaje kao poseban podred grinja iako su evoluirale unutar filogenetske linije podreda Oribatida (Norton, 1998). Najrjeđa su skupina grinja u tlu od prethodno nabrojanih, a povezuje ih se s tlima bogatim dušikovim spojevima (Coleman i sur., 2004). U tlu se hrane biljnim materijalom, algama i gljivama s visokim udjelom proteina te mrtvom organskom tvari u tekućem obliku (Philips, 1990). Skupina Prostigmata obuhvaća vrste i skupine s raznolikim načinima ishrane. Variraju u veličini od 0,1 do 16 mm i obitavaju u različitim staništima, uključujući tlo, gdje su prisutne vrste koje su grabežljivci te svejedi. Mnoge žive u organskim slojevima tla, na algama, lišajevima i mahovini, te su ključne za ekosustav. Neke vrste Prostigmata nalaze se u dubokim slojevima tla, poput vrsta iz obitelji Nematalycidae, koje su pronađene na 3 m dubine u pješčanim dinama. Grinje skupine Prostigmata vrlo su prilagođene različitim staništima, uključujući špilje, termalne vode i morska staništa. Neke, poput skupine Eupodidae, hrane se gljivama te imaju karakteristične, uvijek pokretne, izdužene prednje noge koje djeluju kao osjetilni organi i kao potencijalna zaštita od grabežljivaca. Provode dane lutajući među plodištima mikrogljiva, a uvečer se okupljaju u grupe, mašući prednjim nogama u tišini dok sunce zalazi, što je primijećeno kod skupina u Ujedinjenom Kraljevstvu, Kanadi, Australiji i Novom Zelandu. Parazitizam se pojavio neovisno u nekoliko skupina, a neke vrste djeluju kao vektori bolesti kod ljudi i životinja (Coddington i Colwell, 2000).

#### 1.4.2. Skokuni (Collembola)

Skokuni (Collembola), bezrepci (Protura) i dvorepci (Diplura) spadaju u razred unutarusta (Entognatha). Ova skupina je dobila ime jer im je, za razliku od kukaca, usni aparat smješten unutar usne šupljine. Njihovo tijelo sastoji se od tri dijela: glave (*caput*), prsa (*thorax*) i zadka

(*abdomen*), a na prsa su pričvršćena tri para nogu (Hexapoda). Unutarusti su primarno beskrilne životinje, budući da niti u jednom stadiju razvoja nemaju krila. Također, nemaju složene oči, već najviše 8 okašaca (omatidija) (Habdija, 2011). Skokuni su prepoznatljivi po specifičnom načinu kretanja – skakanju, koje im omogućuje poseban organ na trbušnoj strani tijela, zvan vilica (*furca*) (Slika 4). Tijekom hodanja, vilica je pričvršćena organom nalik kliještima (*tenaculum*). U slučaju opasnosti, vilica se naglo oslobađa i ispruži, što skokune odbacuje unatrag 7–10 cm. Skokuni mogu biti svijetlih ili intenzivnih boja, a imaju jednostavne oči sastavljene od najviše 8 omatidija ili su slijepi. Nalaze se u različitim staništima poput tla, listinca, mravinjaka, te na vlažnim i tamnim mjestima. Njihova brojnost u tlu može doseći do sto tisuća jedinki po kubnom metru. Pretežno su biljojedi, ali se hrane i gljivama, polenom, izmetom drugih člankonožaca, a neki su i mesojedi (Habdija, 2011). Klasificirani su u oko trideset porodica podijeljenih u četiri reda. Postoje dva morfološka tipa skokuna: Arthropleones (Entombryomorpha i Poduromorpha) i Symphypleones (Symphypleona i Neelipleona). Njihova veličina prosječno varira između 1–4 mm, ali vrsta *Sphaeridia pilleata* Bretfeld i Gauer, 1994 (Symphypleona) ima veličinu od samo 0,12 mm, što ju čini jednim od najmanjih poznatih šesteronožaca (Hexapoda). Druga pak vrsta *Holacanthella duospinosa* (Salmon, 1942) – Neanuridae s Novog Zelanda doseže veličinu od čak 17 mm. Iako njihova tijela ponekad imaju svijetle tonove (žutu, crvenu, narančastu), obično su prigušenih boja poput sive, bež, smeđe, plavičaste, žućkaste ili mliječno bijele (Web 5). Tijelo predstavnika skupine Entombryomorpha obično je tamno i šareno, sa svilenkastim pokrovom „dlačica“ (*setae*). Oni češće izlaze na otvoreno nego pripadnici skupine Poduromorpha jer im svilenkasti pokrov uz tvrdu i sjajnu kutikulu, pruža veću otpornost na dehidraciju. Jedinke skupine Poduromorpha su male, s jasno vidljiva tri prsna segmenta. Oni ne skaču jer im je vilica reducirana ili u potpunosti nedostaje, nemaju oči ili imaju okašca bez očne ploče, a tijelo im je mekano. Često se nalaze između mokrog lišća na šumskom tlu ili u pukotinama ispod kore drveća. Tijelo Symphypleona je zdepasto i kuglasto. Prva četiri trbušna segmenta su spojena s prsnim segmentima, tvoreći veliki abdomen, dok zadnja dva segmenta tvore mali abdomen, a ticala su im dulja od glave. Skupinu Neelipleona trenutačno čini samo jedna porodica Neelidae. Vrlo su male veličine (prosječno 0,5 mm), bez očne ploče, ali sa strukturom sličnom kao kod Symphypleona, s razlikom da im je tijelo nastavak prsnog koša, a ne abdomena, te su im ticala kraća od glave (Web 6).



Slika 4. Skokuni (Collembola); a – Entomobryomorpha, b – Poduromorpha, c – Symphyleona, d – Neelipleona (Web 6).

Skokuni imaju ključnu ulogu u održavanju ekološke ravnoteže tla održavajući populacije gljiva i bakterija. Ova regulacija je ključna za kruženje hranjivih tvari poput dušika, fosfora i kalija, koji su važne za rast biljaka. Bez skokuna, mnogi hranjivi sastojci bi ostali unutar mikrobiološke biomase. Kada lišće truli, skokuni pomažu u širenju spora gljiva, omogućujući miceliju da kolonizira nova područja i doprinese uravnoteženoj razgradnji biljaka. Također se hrane gljivama na lišću, kontrolirajući njihov rast i ograničavajući širenje patogenih vrsta koje mogu oštetiti biljke. Proces razgradnje lišća započinje kada skokuni i grinje napadaju površinski sloj lišća, stvarajući prve otvore. Male ličinke dvokrilaca proširuju oštećenja, omogućujući bakterijama i gljivicama da preuzmu ulogu. Člankonošci nastavljaju sjeći lišće, napadajući žile omekšane mikroorganizmima, dok se fragmentirani ostaci miješaju s izmetom. Organski ostaci i vlažnost potiču mikrofloru i ubrzavaju raspadanje mineralnih elemenata (Web 7).

### 1.4.3. Bezrepci (Protura)

Bezrepci nemaju oči ni ticala (Slika 5). Hrane se sporama gljiva i sudjeluju u razgradnji organske tvari. Njihovi usni organi nisu prilagođeni za grizenje, već samo za struganje površine, na koju zatim ispuštaju slinu koja otapa hranu, a potom ju usisavaju. Nastanjuju vlažno tlo, mahovinu, trulo drveće i slična staništa (Habdija, 2011).



Slika 5. Bezrepac (Protura) (Web 8).

#### 1.4.4. Dvorepci (Diplura)

Dvorepci, zajedno sa skokunima (Collembola) i bezrepcima (Protura), pripadaju skupini unutarusta, odnosno Entognatha (Habdija, 2011). Imaju svijetlu boju, nemaju oči, na glavi imaju par ticala, a na kraju zatka uvijek imaju dva nastavka, koja mogu biti člankovita ili nečlankovita, po čemu su i dobili ime (Slika 6). Kod vrsta koje su grabežljivci ti su nastavci oblikovani poput kliješta, dok su ostale vrste uglavnom razlagači (Habdija, 2011). Rasprostranjeni su širom svijeta i obitavaju u vlažnim staništima, pretežno u tlu, ponekad se skrivaju ispod kamenčića ili kore drveća. Nalaze se u tropskim i umjerenim tlima (Coleman i sur., 2004).



Slika 6. Dvorepac (Diplura) (Web 9).

#### 1.4.5. Stonoge (Myriapoda)

Stonoge se dijele u četiri razreda, strige (Chilopoda), kratkonošci (Symphyla), dvojenoge (Diplopoda), te malonošci (Pauropoda). Unutar mezofaune karakteristične su skupine Symphyla i Pauropoda (Slika 7), iako se ponekad mogu pronaći i manje jedinke druge dvije skupine. Kratkonošci (Symphyla) su sitne stonoge s mekanom kutikulom bez očiju s 14 trupnih kolutića, od kojih prvih 12 nose noge za hodanje (Habdija, 2011). Nalaze se u

šumama, trulom lišću, mahovinama, travnjacima i obrađenim tlima, pretežno su svejedi i mogu se hraniti mekim tkivima. Neke vrste su štetočine u staklenicima gdje se hrane korištenjem sadnica (Coleman i sur., 2004). Malonošci (Pauropoda) su dugački između 0,5–1,5 mm s vrlo mekanom kutikulom bez vapnenca. Tijelo im je bijele boje, ponekad prozirno, te je sastavljeno od 9 do 12 kolutića, pri čemu su neki srasli. Nemaju oči, a na kolutiće im se veže 9 pari nogu za hodanje (Habdija, 2011). Općenito se pretpostavlja da se hrane gljivama, ali mogu biti i grabežljivci. O njihovoj biologiji i ekologiji postoji malo informacija (Coleman i sur., 2004).



Slika 7. Stonoge (Myriapoda) u mezofauni; a – jedinka skupine kratkonožaca (Symphyla), b – jedinka skupine malonožaca (Pauropoda), (Web 10; Web 11).

#### 1.4.6. Kukci (Insecta)

Kornjaši (Coleoptera) čine najveći red kukaca, s mnogobrojnim vrstama od kojih se neke grabežljivci, fitofagi ili saprofagi. Neke su stalni stanovnici tla, druge pak privremeni, samo u određenom životnom stadiju, ali mnoge su članovi prehrambenih lanaca u tlu (Eisenbeis i sur., 1984). Trčci (Carabidae) se često nalaze u uzorcima ekstrahiranim Tullgren/Berlese metodom u stadiju ličinki, dok su odrasli većinom aktivne jedinke grabežljivaca na površini tla. Crnokrilci (Tenebrionidae) su česti u pustinjским ekosustavima, gdje su većinom saprofagi. Odrasle jedinke su aktivne na površini, dok ličinke žive u tlu. Kusokrilci (Staphylinidae) su skupina s mnogim grabežljivim vrstama, a nekolicina su saprofagi. Odrasli su brzi trkači na površini tla, često privučeni trulim biljkama i uginulim organizmima dok ličinke žive u tlu. Truležari (Scarabaeidae) se hrane izmetom ili trulim biljkama, neke vrste čak polažu jaja u izmetu. Imaju važnu ulogu jer ubrzavaju proces razgradnje izmeta većih životinja. Hitre (Cicindellidae) su grabežljiva skupina kornjaša čije ličinke kopaju rupe u kojima čekaju plijen, dok odrasli trče i brzo lete te često iznenada napadaju plijen. Ličinke skupine klišnjaka (Elateridae) hrane se drugim kukcima, a žive djelomično pod korom drveća i u tlu. Mnoge vrste dvokrilaca (Diptera) mogu se smatrati stanovnicima tla, barem u

nekom stadiju svog životnog ciklusa. Velik broj vrsta koje žive iznad tla, polažu ličinke u tlu, koje sudjeluju u hranidbenim mrežama tla (Coleman i sur., 2004).

#### **1.4.7. Enhitreje (Enchytraeidae)**

Enhitreje (Enchytraeidae) obično su duge 10–20 mm i anatomski su slične gujavicama, osim po minijaturizaciji i izmijenjenom rasporedu općih anatomskih značajki. U tlo unose mineralne i organske čestice, obično manje od onih koje unose gujavice. Glavni dio njihove prehrane sastoji se od fino podijeljenog biljnog materijala obogaćenog hifama gljiva i bakterijama. Brojnost enhitreja varira od manje od tisuću do više od 140 tisuća jedinki po m<sup>2</sup>. U suptropskoj klimi, brojnost se kreće od četiri tisuće do 14 tisuća jedinki po m<sup>2</sup> u poljoprivrednim tlima, dok u šumskim tlima u Sjevernoj Karolini može biti i do trideset tisuća jedinki po m<sup>2</sup>. Brojnost im je obično veća u kiselim tlima s visokim sadržajem organske tvari, ali odstupanja mogu biti značajna ovisno o lokalnim uvjetima i sezoni (Coleman i sur., 2004). Enhitreje značajno utječu na dinamiku organske tvari i strukturu tla kroz interakcije s mikrobnim zajednicama i stvaranjem kuglica izmeta koje poboljšavaju stabilnost tla (Davidson i sur., 2002).

### **1.5. Cilj istraživanja**

Cilj istraživanja je ispitati utjecaj različitih pristupa obradi tla, poput konvencionalne i konzervacijske obrade, na sastav i brojnost mezofaune. Istraživanje nastoji utvrditi kako se metode obrade tla, koje se razlikuju po intenzitetu mehaničkih zahvata i pokrivenosti tla biljnim ostacima, zatim tretmani kalcizacije, različite količine primijenjenih gnojiva te dodatak biofiziološkog aktivatora  $\text{GeO}_2$ , odražavaju na biološku raznolikost i brojnost jedinki mezofaune tla.

## 2. MATERIJALI I METODE

Krajem 2020. godine započet je projekt pod nazivom: „Procjena konzervacijske obrade tla kao napredne metode uzgoja usjeva i prevencije degradacije tla – ACTIVEsoil, IP–2020–02“ subvencioniran od strane Hrvatske zaklade za znanost. Trajanje projekta predviđeno je na četiri godine (48 mjeseci), do kraja 2024. godine. Voditelj projekta je prof. dr. sc. Danijel Jug, a na projektu sudjeluju sljedeće četiri institucije: Fakultet agrobiotehničkih znanosti u Osijeku, Agronomski fakultet u Zagrebu, Odjel za biologiju te Veleučilište u Križevcima. Glavni cilj projekta je istražiti i prikazati utjecaj konzervacijske obrade tla na uzgoj usjeva, s posebnim naglaskom na strategije za prevenciju degradacije tla. Nastoji se utvrditi razina degradacije odabranih sastavnica fizikalnog, kemijskog i biološkog kompleksa tla u usporedbi s konvencionalnim i konzervacijskim sustavima obrade tla (Web 12). Istraživanje u sklopu ovog rada provedeno je na dva lokaliteta, na lokalitetu Križevci te lokalitetu Čačinci.

### 2.1. Područje istraživanja

Grad Križevci nalazi se u jugozapadnom dijelu Koprivničko – križevačke županije, 57 km sjeverno od Zagreba (Web 13). Lokacija istraživanja u Križevcima određena je geografskim koordinatama 46°01'39.1" sjeverne širine (N) i 16°33'32.3" istočne dužine (E), te se nalazi u neposrednoj blizini Veleučilišta u Križevcima (Web 14). Naselje Čačinci pripada općini Čačinci, a nalazi se u jugoistočnom dijelu Virovitičko – podravske županije (Web 15). Lokacija istraživanja u Čačincima određena je geografskim koordinatama 45°36'49.3" sjeverne širine (N) i 17°51'45.7" istočne dužine (E) (Web 14).

### 2.2. Tip tla

Na lokaciji Križevci tip tla je hipoglej, a prema WRB (Web 16) pripada referentnoj grupi Gleysols. Dubina podzemne vode tijekom godine oscilira ovisno o količini oborina, što rezultira stvaranjem tri zone kroz cijelu dubinu u kojima se izmjenjuju oksidacijski i redukcijски procesi (Kovaček, 2023). Na lokaciji Čačinci tip tla je pseudoglej, a prema WRB (Web 16) pripada referentnoj grupi Stagnosols. U profilu se ističe površinski antropogeni horizont srednje duboke obrade, ispod kojeg se nalaze dva sloja pseudoglejnog horizonta sa srednje dugom mokrom fazom, nastala na rastresitom matičnom supstratu (Kovaček, 2023).



Gleysols i Stagnosols su dvije vrste tala koje se razlikuju prema uvjetima vlaženja i biokemijskim procesima koji se odvijaju u uvjetima smanjene dostupnosti kisika, a dovode do promjene u kemijskom sastavu tla, osobito u smislu redukcije željeza i drugih minerala. Gleysols su tla koja nastaju pod utjecajem stalno visoke razine podzemne vode, zbog čega dolazi do uvjeta anoksije u tlu. Karakteristični su po sivim, plavkastim ili zelenkastim tonovima uzrokovanim redukcijom željeznih oksida. Nalaze se najčešće u močvarnim područjima ili tamo gdje je drenaža vrlo slaba. S druge strane, Stagnosols se formiraju u područjima gdje voda stagnira na površini tla zbog nepropusnih slojeva ispod površine. Ovi slojevi sprečavaju otjecanje kišnice, stvarajući privremeno zasićene uvjete u gornjim horizontima tla, što uzrokuje pojavu mješovito obojenih slojeva. Oba tipa tla podložna su redoks procesima, ali glavno razlikovanje leži u tome što su Gleysols povezana s podzemnom vodom, dok Stagnosols nastaju zbog zadržavanja površinske vode (Gupta i sur., 2008; Sposito i sur., 2008).

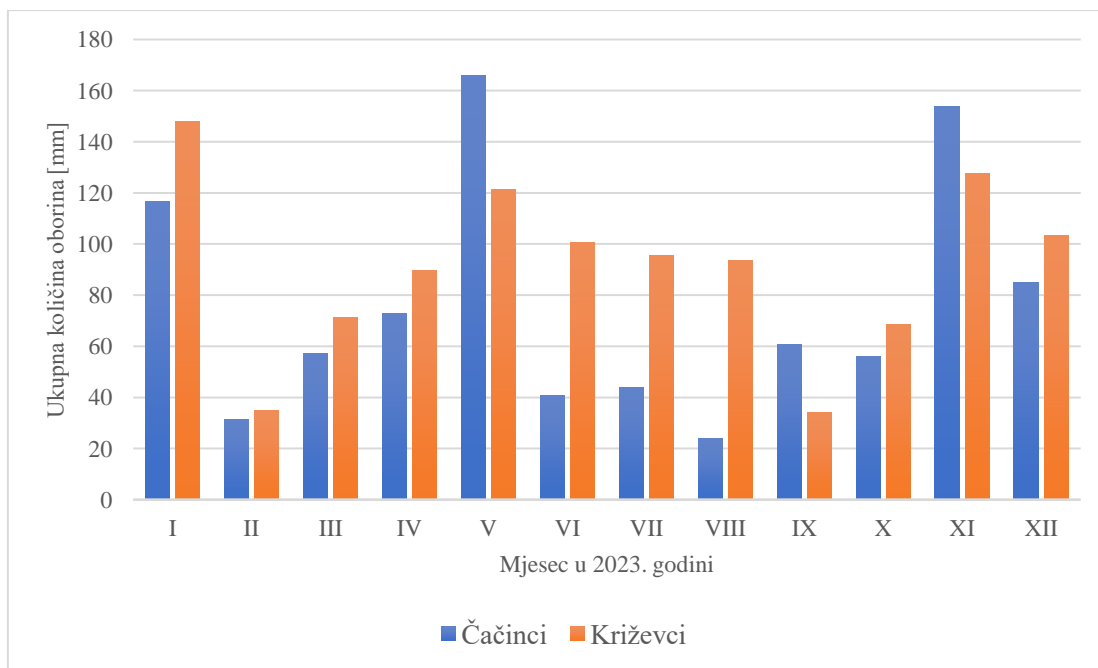
### 2.3. Hidrometeorološke značajke područja istraživanja

Na lokaciji Čačinci najbliža mjerna postaja je Slatina – Medinci, te na toj lokaciji srednja godišnja temperatura je viša za 0,3 Celzijeva stupnja u odnosu na lokaciju Križevci (Tablica 1). Na obje lokacije najniža srednja mjesečna temperatura je u siječnju, a najviša u lipnju.

Tablica 1. Srednja mjesečna temperatura zraka izražena u Celzijevim stupnjevima na lokaciji Čačinci (postaja Slatina–Medinci) i Križevci (Kovaček, 2023).

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	$\Sigma/X$
Čačinci	3,1	5,2	5,9	9,2	14,7	22	24	21	16,5	9,5	6,2	3,5	11,7
Križevci	2,3	4,8	6,5	9,1	13,8	23	23	20	16,6	9,3	5,9	3,2	11,4

Ukupna količina oborina u 2023. godini na lokaciji Križevci je veća za 180,3 mm u odnosu na lokaciju Čačinci (Slika 8). Najviša količina oborina na lokaciji Križevci bila je u siječnju (148,1 mm), dok je na lokaciji Čačinci bila u svibnju (165,9 mm). Najniža količina oborina na lokaciji Križevci bila je u rujnu (34 mm), dok je na lokaciji Čačinci najniža bila u kolovozu (23,8 mm).



Slika 8. Ukupna količina oborina u Čačincima (postaja Slatina–Medinci) i Križevcima u 2023. godini (DHMZ, 2023).

## 2.4. Terenski dio istraživanja

Pokusna površina na obje lokacije podijeljena je na 72 parcele (pokusna polja). Dimenzija 10x8 m i razmakom između parcela 1 – 2 m (Slika 9). Pokusna polja odnosno parcele obređena su različitim tretmanima obrade tla, kalcizacije i gnojidbe.

Tretman A odnosi se na obradu tla u tri varijante:

- ST (A1) – konvencionalna (standardna) obrada tla, oranje do 30 cm dubine
- CTD (A2) – konzervacijski duboki sustav, rahljenje tla do 30 cm dubine uz ostavljanje biljnih ostataka na površini nakon berbe/žetve
- CTS (A3) – konzervacijski plitki sustav, rahljenje tla do 10 cm dubine uz ostavljanje biljnih ostataka na površini nakon berbe/žetve

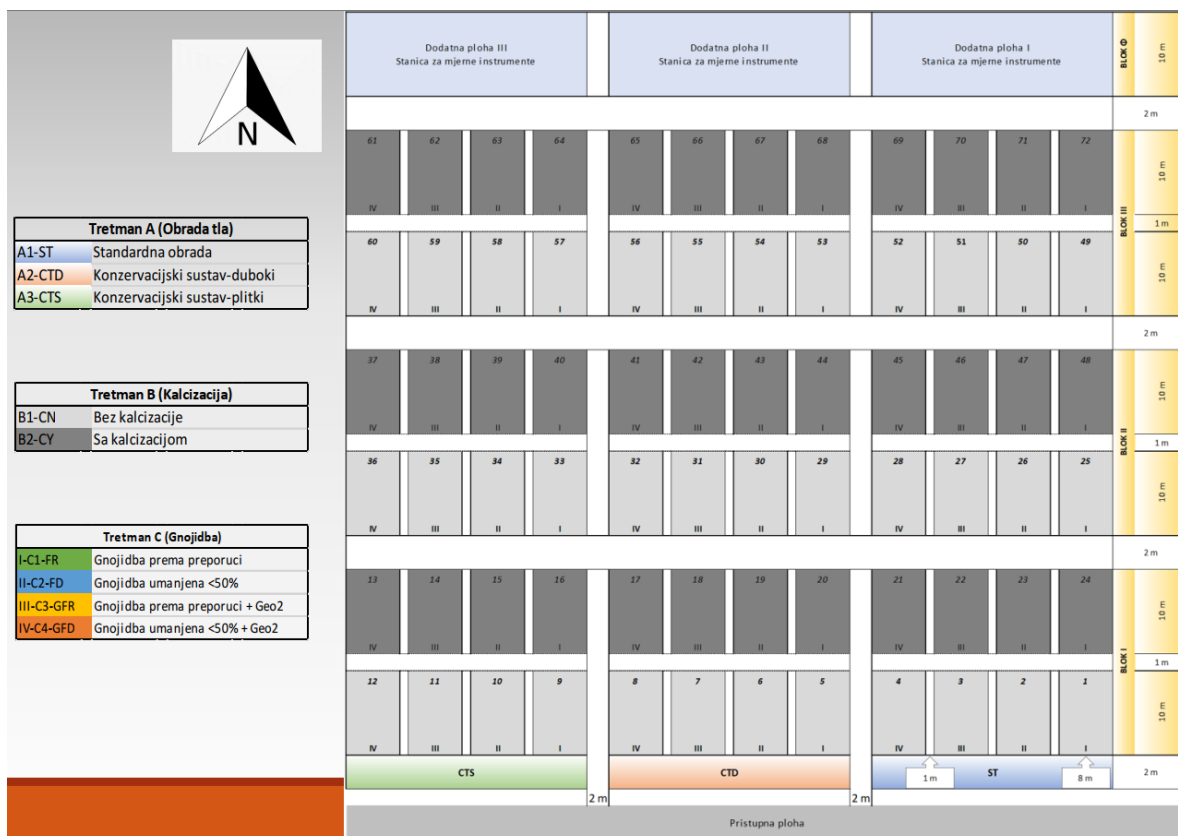
Tretman B odnosi se na kalcizaciju tla koja se radi u svrhu smanjenja kiselosti tla:

- CN (B1) – bez kalcizacije
- CY (B2) – sa kalcizacijom

Tretman C odnosi se na gnojidbu tla sa ili bez dodatka biofiziološkog aktivatora u četiri varijante:

- FR – I (C1) – prema gnojidbenoj preporuci, bez biofiziološkog aktivatora (s osnovnim makrohranivima NPK)

- FD – II (C2) – gnojidba umanjena za 50 % u odnosu na gnojdbenu preporuku, bez biofiziološkog aktivatora
- GFR – III (C3) – prema gnojdbenoj preporuci uz dodatak biofiziološkog aktivatora GeO<sub>2</sub>
- GFD – IV (C4) – gnojidba umanjena za 50 % u odnosu na gnojdbenu preporuku uz dodatak biofiziološkog aktivatora GeO<sub>2</sub>



Slika 9. Shematski prikaz pokusnih polja (Web 17).

Uzorkovanje mezofaune tla obavljeno je u dva ponavljanja. Uzorkovano je po 48 uzoraka sa svake lokacije u travnju 2023. godine te po 48 uzoraka sa svake lokacije u listopadu 2023. godine. Korištena je metoda uzorkovanja metalnim uzorkivačem ( $r = 2,5$  cm,  $h = 15$  cm) (Slika 10). Tlo je na svakoj lokaciji uzorkovano do dubine 10 cm na poljima označenim brojevima 1 do 12, 25 do 48, te 61 do 72 (Slika 9). Uzorci tla smješteni su u zatvorene plastične vrećice s pripadajućim oznakama te su pohranjeni u hladnjaku na temperaturi od 4 °C do ekstrakcije (Potapov i sur., 2022).



Slika 10. Metalni uzorkivač (Web 18).

### **2.5. Laboratorijski dio istraživanja**

Prema Tullgren/Berlese metodi, za ekstrakciju organizama mezofaune iz prikupljenih uzoraka korišteni su metalni lijevci širine 20 cm u koje je stavljena mrežica s porama 2 mm, a podno lijeva postavljena je čaša s 96% etanolom za sakupljanje ekstrahiranih organizama. Iznad lijevka postavljena je žarulja snage 40 W (Slika 11). Uzorci tla potom su postavljeni u lijevak na mrežicu uz lagano rastresanje tla rukama kako bi se smanjila zbijenost. Tijekom narednih 72 sata po potrebi je dodano etanola u čaše za sakupljanje organizama. Nakon 72 sata ekstrakcije, uslijedilo je skeniranje uzoraka prema Soil BON metodi, analiziranje putem računalnog programa ImageJ te prebrojavanje.



Slika 11. a – Fotografija Tullgren/Berlese aparata za ekstrakciju lijevkom; b – Shematski prikaz ekstrakcije organizama mezofaune korištenjem Tullgren/Berlese aparata za ekstrakciju lijevkom (Web 19).

Sakupljeni organizmi pohranjeni u 96% etanolu, skenirani su prema Soil BON metodi u Petrijevim zdjelicama promjera 9 cm skenerom EPSON Perfection V600 na rezoluciji skeniranja 3200 dpi (Slika 12). Digitalne slike uzoraka analizirane su korištenjem programa ImageJ putem kojeg su ekstrahirani organizmi prebrojani i raspoređeni prema funkcionalnim i taksonomskim skupinama mezofaune na slijedeći način: Entomobryomorpha, Poduromorpha, Symphypleona/ Neelipleona, Protura, Diplura, Oribatida, Mesostigmata, Prostigmata, Myriapoda, Enchytraeidae, Coleoptera te Diptera.



Slika 12. a – Fotografija uzorka s ekstrahiranim organizmima mezofaune postavljenim za skeniranje na skeneru EPSON Perfection V600; b – fotografija uvećane slike skeniranog uzorka s jednikama skupina skokuna i grinja.

## 2.6. Statistička analiza

Nakon prebrojavanja ekstrahiranih organizama, korištenjem statističkog programa RStudio napravljena je višefaktorska analiza varijance s Tukey *post hoc* testom za procjenu utjecaja više čimbenika (tip obrade tla, količina dodanog gnojiva, kalcizacija te dodatak GeO<sub>2</sub>) i njihovih interakcija na brojnost pojedinih skupina mezofaune te za usporedbu razlika između specifičnih skupina. Izračunat je Shannonov indeks bioraznolikosti i ujednačenost skupina prema tretmanima. Prilikom analize korištene su skraćene oznake: ST – konvencionalna (standardna) obrada tla, CTD – konzervacijski duboki sustav, CTS – konzervacijski plitki sustav; Ca – oznaka za primjenjenu kalcizaciju tla; G1 – gnojidba prema gnojidbenoj preporuci, G0.5 – gnojidba umanjena za 50% u odnosu na gnojidbenu preporuku; GeO<sub>2</sub> – dodatak biofiziološkog aktivatora GeO<sub>2</sub> (Tablica 2).

Tablica 2. Prikaz tretmana na pojedinom pokusnom polju s kojeg je uzorkovano tlo (ST – konvencionalna (standardna) obrada tla, CTD – konzervacijski duboki sustav, CTS – konzervacijski plitki sustav; Ca – oznaka za primjenjenu kalcizaciju tla; G1 – gnojidba prema gnojidbenoj preporuci, G0.5 – gnojidba umanjena za 50% u odnosu na gnojidbenu preporuku; GeO<sub>2</sub> – dodatak biofiziološkog aktivatora GeO<sub>2</sub>).

Oznaka polja	Tretman	Oznaka polja	Tretman	Oznaka polja	Tretman	Oznaka polja	Tretman
1	ST_G1	25	ST_G1	48	ST_G1_Ca	72	ST_G1_Ca
2	ST_G0.5	26	ST_G0.5	47	ST_G0.5_Ca	71	ST_G0.5_Ca
3	ST_G1_GeO2	27	ST_G1_GeO2	46	ST_G1_GeO2_Ca	70	ST_G1_GeO2_Ca
4	ST_G0.5_GeO2	28	ST_G0.5_GeO2	45	ST_G0.5_GeO2_Ca	69	ST_G0.5_GeO2_Ca
5	CTD_G1	29	CTD_G1	44	CTD_G1_Ca	68	CTD_G1_Ca
6	CTD_G0.5	30	CTD_G0.5	43	CTD_G0.5_Ca	67	CTD_G0.5_Ca
7	CTD_G1_GeO2	31	CTD_G1_GeO2	42	CTD_G1_GeO2_Ca	66	CTD_G1_GeO2_Ca
8	CTD_G0.5_GeO2	32	CTD_G0.5_GeO2	41	CTD_G0.5_GeO2_Ca	65	CTD_G0.5_GeO2_Ca
9	CTS_G1	33	CTS_G1	40	CTS_G1_Ca	64	CTS_G1_Ca
10	CTS_G0.5	34	CTS_G0.5	39	CTS_G0.5_Ca	63	CTS_G0.5_Ca
11	CTS_G1_GeO2	35	CTS_G1_GeO2	38	CTS_G1_GeO2_Ca	62	CTS_G1_GeO2_Ca
12	CTS_G0.5_GeO2	36	CTS_G0.5_GeO2	37	CTS_G0.5_GeO2_Ca	61	CTS_G0.5_GeO2_Ca

### 3. REZULTATI

Prilikom izvođenja eksperimenta ukupno je sakupljeno i determinirano 4852 jedinke koje su klasificirane u 12 skupina: Entomobryomorpha, Poduromorpha, Symphypleona/Neelipleona, Protura, Diplura, Oribatida, Mesostigmata, Prostigmata, Myriapoda, Enchytraeidae, Coleoptera te Diptera. Brojnost jedinki skupina mezofaune izražena je kao ukupna brojnost jedinki ranije navedenih skupina pronađenih u uzorcima, te kao ukupna brojnost jedinki istih skupina po m<sup>2</sup> uzorkovanog tla (Tablica 3). Sve skupine grinja (Acari) i skokuna (Collembola) zajedno čine 90,2% u ukupnoj brojnosti. Skupina Oribatida je najviše zastupljena s udjelom od 48% u ukupnoj brojnosti, nakon čega slijedi skupina Entomobryomorpha s 24%, dok je najmanje zastupljena skupina Protura sa svega 0,1% udjela u ukupnoj brojnosti, te Diplura s udjelom od 0,3%.

Tablica 3. Ukupna brojnost skupina mezofaune.

Skupina	Brojnost skupina u uzorcima	Brojnost skupina po m <sup>2</sup>	Udio u ukupnoj brojnosti
Oribatida	2 327	1 185 141	48%
Entomobryomorpha	1 173	597 409	24%
Poduromorpha	362	184 367	7,5%
Diptera	245	124 779	5,1%
Mesostigmata	219	111 537	4,5%
Prostigmata	180	91 674	3,7%
Coleoptera	130	66 209	2,7%
Symphypleona/Neelipleona	121	61 625	2,5%
Enchytraeidae	44	22 409	0,9%
Myriapoda	32	16 298	0,7%
Diplura	14	7 130	0,3%
Protura	5	2 547	0,1%
<b>Ukupna brojnost</b>	<b>4 852</b>	<b>2 471 124</b>	<b>100%</b>

#### 3.1. Utjecaj tretmana obrade tla (tretman A)

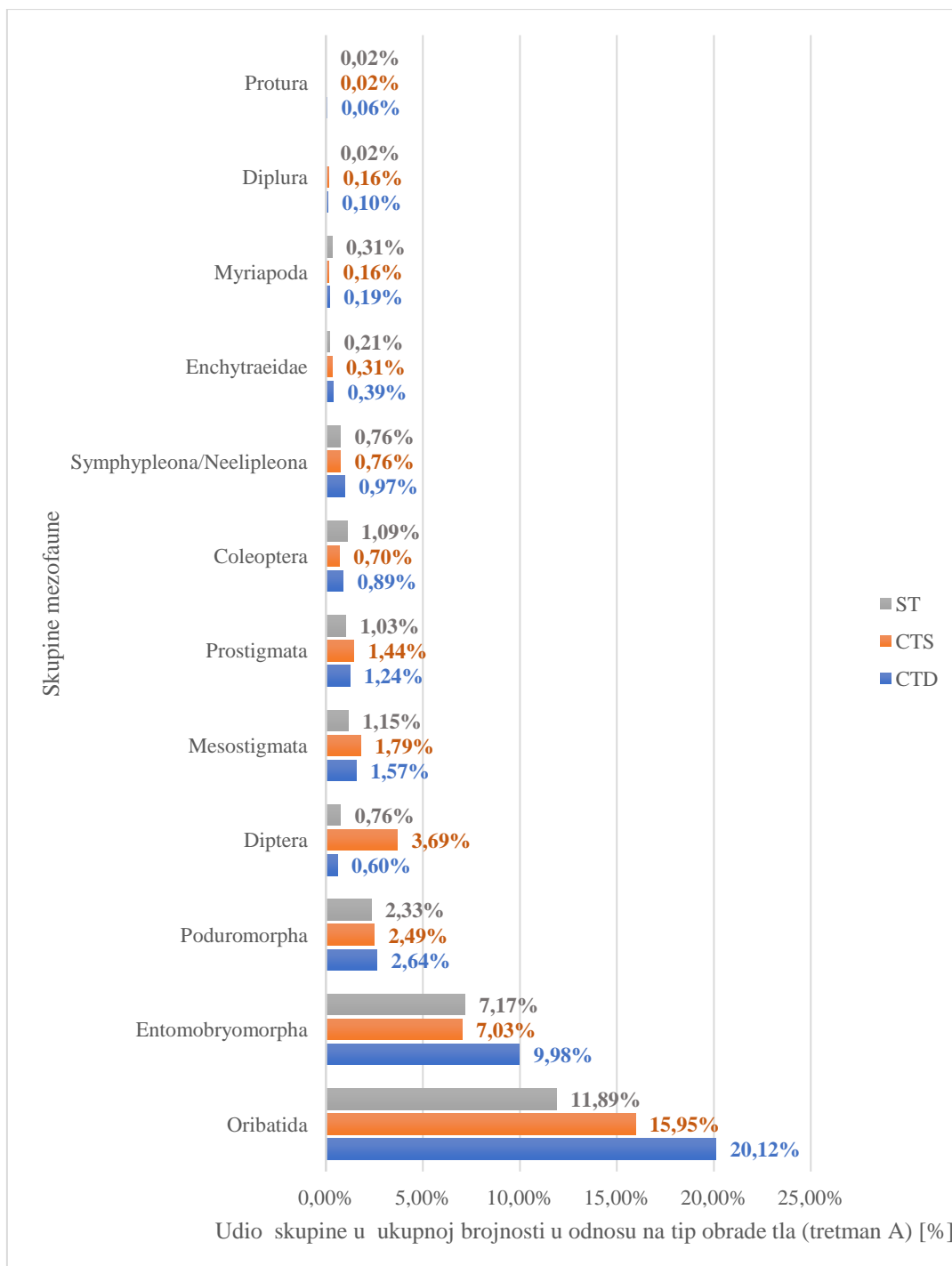
Prema tretmanu A, koji se odnosi na tip obrade tla, iz tla koje je obrađivano prema konzervacijskom dubokom sustavu (CTD) ekstrahirano je najveći ukupan broj jedinki mezofaune, odnosno 956 976 jedinki po m<sup>2</sup>, što iznosi 39% u ukupnoj brojnosti (Tablica 4).

Zatim slijede jedinke iz tla obrađenog tehnikom konzervacijskog plitkog sustava (CTS) s udjelom od 34% (853 076 jedinki/m<sup>2</sup>) u ukupnoj brojnosti, a najmanji broj jedinki mezofaune pronađen je u tlu obrađivanom konvencionalnom tehnikom (ST) s udjelom od 27% (661 071 jedinki/m<sup>2</sup>) u ukupnoj brojnosti mezofaune. Skupina Oribatida je u tretmanu CTD najviše zastupljena s udjelom od 20,12%, zatim slijedi skupina Entomobryomorpha sa zastupljenošću od 9,98% (Slika 13). Najmanju brojnost u tretmanu CTD ima skupina Protura s udjelom od 0,06%, te skupina Diplura s 0,1%. U tlu obrađenom tretmanom plitkog konzervacijskog sustava brojnošću prevladava skupina Oribatida s 15,95% u ukupnoj brojnosti, zatim slijedi skupina Entomobryomorpha sa 7,03%. Najmanju brojnost u ovom tretmanu imaju skupine Protura (0,02%), te Diplura (0,16%). Tlo obrađeno konvecnionalnom obradom (ST) pokazuje najmanju brojnost, na prvom mjestu je skupina Oribatida s 11,89% udjela u ukupnoj brojnosti, a na drugom skupina Entomobryomorpha sa 7,17% u ukupnoj brojnosti. Najmanju brojnost u u ovom tretmanu imaju skupine Protura s 0,02% te Diplura s 0,02%.

Tablica 4. Brojnost skupina mezofaune po m<sup>2</sup> u odnosu na tretman obrade tla (tretman A).

Skupina	Tip obrade (tretman A)		
	CTD	CTS	ST
Oribatida	497 077	394 198	293 866
Entomobryomorpha	246 501	173 671	177 236
Poduromorpha	65 190	61 625	57 551
Diptera	14 770	91 165	18 844
Mesostigmata	38 707	44 309	28 521
Prostigmata	30 558	35 651	25 465
Coleoptera	21 900	17 316	26 993
Symphyleona/Neelipleona	23 937	18 844	18 844
Enchytraeidae	9 677	7 640	5 093
Myriapoda	4 584	4 074	7 640
Diplura	2 547	4 074	509
Protura	1 528	509	509
<b>Ukupna brojnost / m<sup>2</sup></b>	<b>956 976</b>	<b>853 076</b>	<b>661 071</b>





Slika 13. Udio brojnosti pojedine skupine mezofaune u ukupnoj brojnosti u odnosu na tip obrade tla (tretman A) (ST – konvencionalna (standardna) obrada tla, CTD – konzervacijski duboki sustav, CTS – konzervacijski plitki sustav).

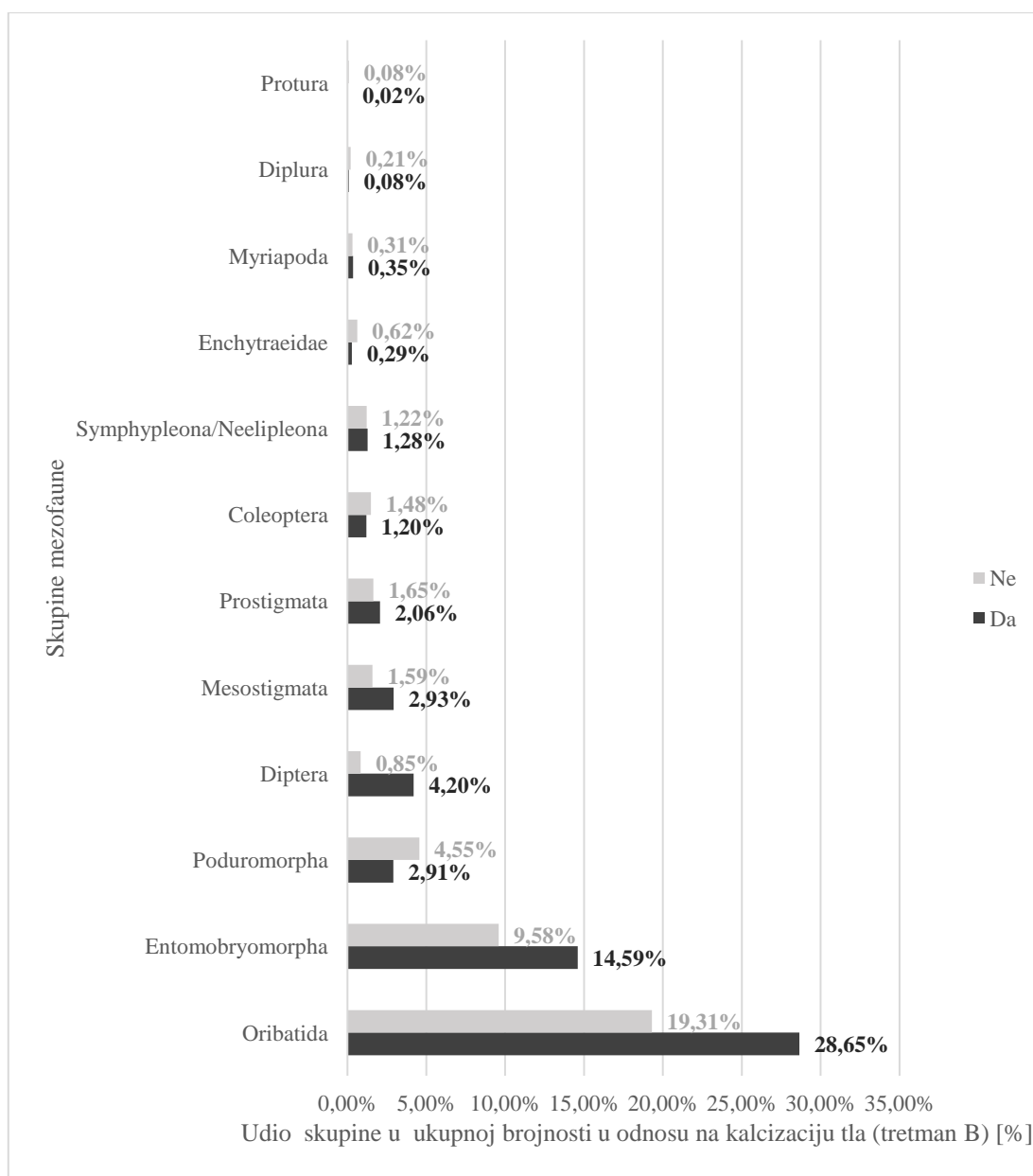
### 3.2. Utjecaj tretmana kalcizacije tla (tretman B)

U tlu u kojem je izvršen tretman kalcizacije sadrži 59% jedinki (1 446 920 jedinki/m<sup>2</sup>) ukupnoj brojnosti mezofaune, dok je u tretmanu bez kalcizacije 41 % (1 024 203 jedinki/

m<sup>2</sup>) (Tablica 5). U obje varijante tretmana, najzastupljenija skupina je Oribatida, s 28,65% pri tretmanu kalcizacije te 19,31% u tlu bez tretmana kalcizacije (Slika 14). Skupina Entomobryomorpha zauzima drugo mjesto prema brojnosti, s 14,59% u tlu s tretmanom kalcizacije te 9,58% u tlu bez kalcizacije. Najmanju brojnost imaju skupine Protura i Diplura. Pri tretmanu kalcizacije, skupina Protura ima udio od 0,02%, a skupina Diplura 0,08%, dok u tlu bez kalcizacije udio skupine Protura u ukupnoj brojnosti iznosi 0,08%, a udio skupine Diplura 0,21%.

Tablica 5. Brojnost skupina mezofaune po m<sup>2</sup> u odnosu na tretman kalcizacije (tretman B).

Skupina	Kalcizacija tla	
	Da	Ne
Oribatida	707 927	477 214
Entomobryomorpha	360 584	236 825
Poduromorpha	71 811	112 555
Diptera	103 897	20 881
Mesostigmata	72 321	39 216
Prostigmata	50 930	40 744
Coleoptera	29 539	36 670
Symphyleona/Neelipleona	31 577	30 049
Enchytraeidae	7 130	15 279
Myriapoda	8 658	7 640
Diplura	2 037	5 093
Protura	509	2 037
<b>Ukupna brojnost / m<sup>2</sup></b>	<b>1 446 920</b>	<b>1 024 203</b>



Slika 14. Udio brojnosti pojedine skupine mezofaune u ukupnoj brojnosti u odnosu na kalcizaciju tla (tretman B) (Da – sa kalcizacijom, Ne – bez kalcizacije).

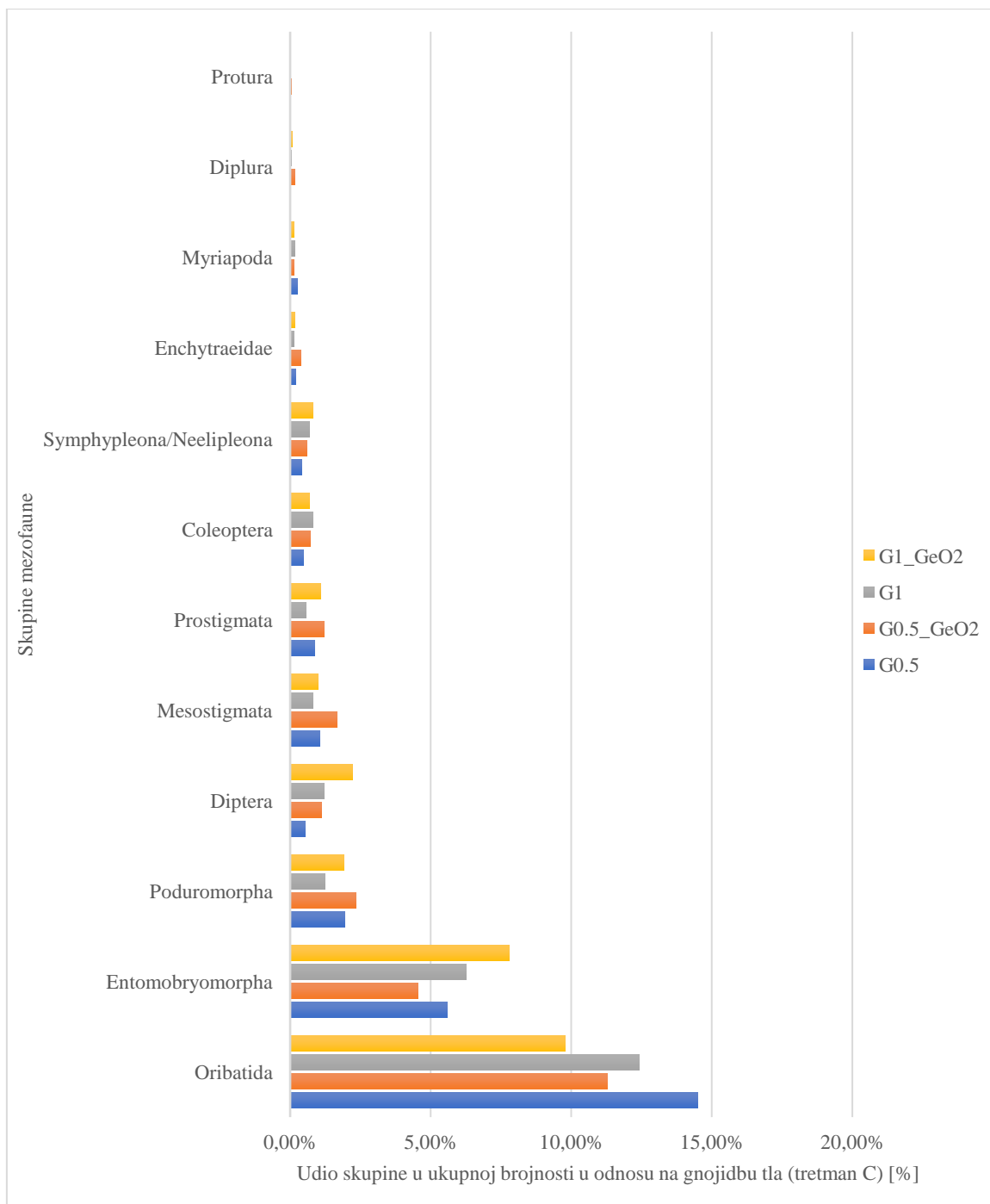
### 3.3. Utjecaj tretmana gnojidbe tla (tretman C)

Prema tretmanu C koji se odnosi na gnojidbu tla, udio jedinki u tlu na kojem je primijenjena količina gnojiva umanjena za 50% u odnosu na preporučenu količinu bez dodatka GeO<sub>2</sub> (G0.5) iznosi 25,9% (639 681 jedinka/m<sup>2</sup>) u ukupnoj brojnosti (Tablica 6). Zatim slijedi 25,6% (632 550 jedinki/m<sup>2</sup>) iz tla na kojem je primijenjena preporučena količina gnojiva uz dodatak biofiziološkog aktivatora GeO<sub>2</sub> (G1\_GeO<sub>2</sub>), a tlo kojem je dodana preporučena količina gnojiva, ali bez dodatka GeO<sub>2</sub> (G1), sadrži 24,3% (600 974 jedinki/m<sup>2</sup>) jedinki u odnosu na ukupnu brojnost mezofaune. Naposljetku, najmanju brojnost mezofaune prema

tretmanu gnojidbe sadržavalo je tlo s 50% umanjenom količinom gnojiva u odnosu na preporučenu količinu (G0.5\_GeO2), s udjelom od 24,2% (597 918 jedinki/m<sup>2</sup>). Najzastupljenija skupina je Oribatida s 14,49% pri tretmanu G0.5, zatim 12,41% pri tretmanu G1, 11,29% pri tretmanu G0.5\_GeO2, te naposljetku 9,77% pri tretmanu G1\_GeO2 (Slika 15). Nakon Oribatida, prema brojnosti slijedi skupina Entomobryomorpha, s udjelom od 7,79% pri tretmanu G1\_GeO2, 6,27% pri tretmanu G1, 5,59% pri tretmanu G0.5, te 4,53% pri tretmanu G0.5\_GeO2. Najmanju brojnost u odnosu na tretman gnojidbe imale su skupine Protura i Diplura. Pri tretmanu G0.5\_GeO2 udio Protura iznosi 0,04%, dok u ostala tri tretmana iznosi 0,02%. Udio Diplura pri tretmanu G0.5\_GeO2 iznosi 0,16%, pri tretmanu G1\_GeO2 iznosi 0,06%, pri tretmanu G1 0,04%, te pri tretmanu G0.5 iznosi 0,02%.

Tablica 6. Brojnost skupina mezofaune po m<sup>2</sup> u odnosu na tretman gnojidbe (tretman C).

Skupina	Gnojidba tla			
	G0.5	G0.5_GeO2	G1	G1_GeO2
Oribatida	358 038	279 096	306 599	241 408
Entomobryomorpha	138 020	112 046	154 827	192 515
Poduromorpha	48 384	58 060	30 558	47 365
Diptera	13 242	27 502	29 539	54 495
Mesostigmata	25 974	41 253	19 863	24 446
Prostigmata	21 900	29 539	13 751	26 484
Coleoptera	11 714	17 826	19 863	16 807
Symphyleona/Neelipleona	10 186	14 770	16 807	19 863
Enchytraeidae	5 093	9 677	3 565	4 074
Myriapoda	6 112	3 056	4 074	3 056
Diplura	509	4 074	1 019	1 528
Protura	509	1 019	509	509
<b>Ukupna brojnost / m<sup>2</sup></b>	<b>639 681</b>	<b>597 918</b>	<b>600 974</b>	<b>632 550</b>



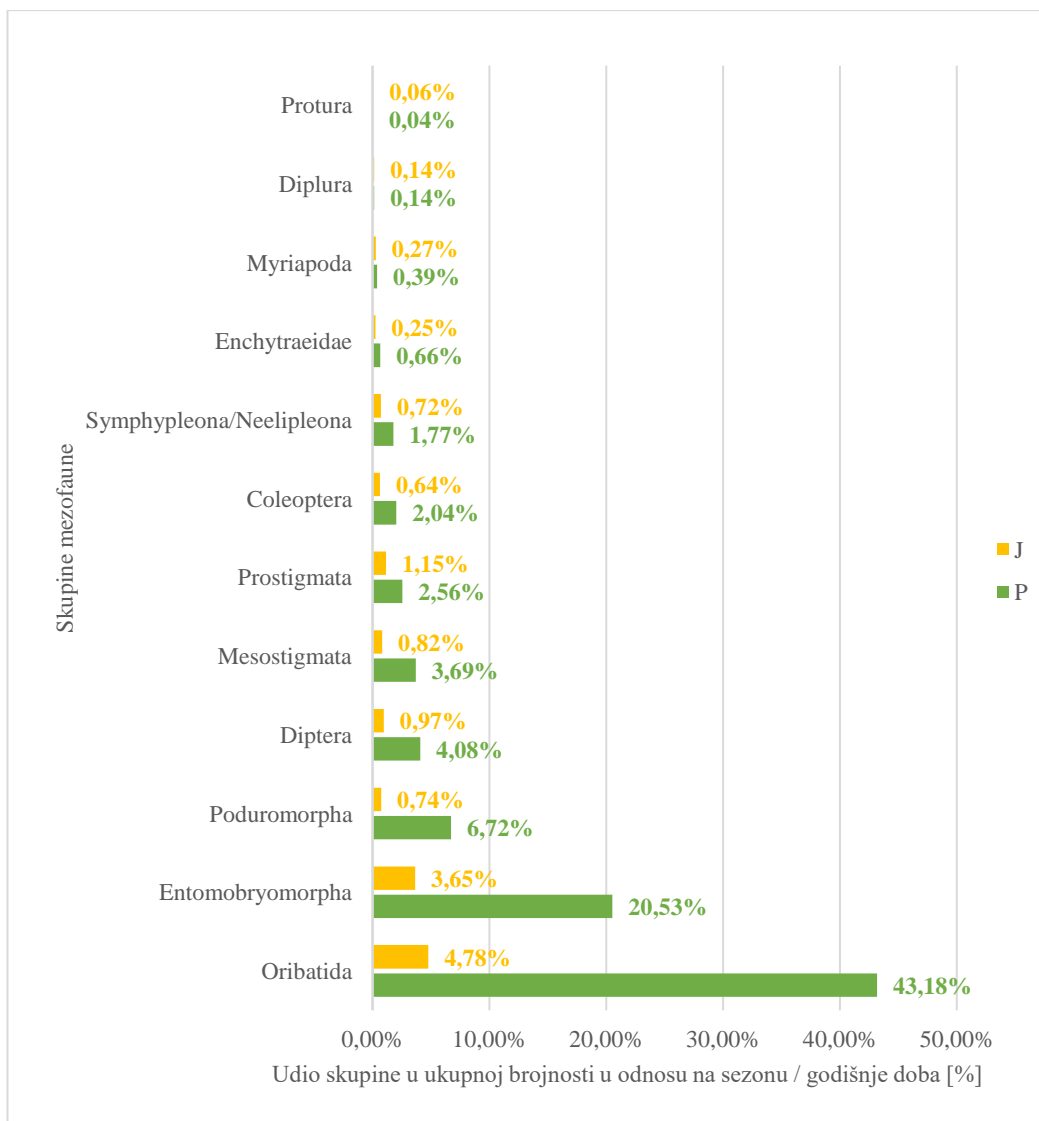
Slika 15. Udio brojnosti pojedine skupine mezofaune u ukupnoj brojnosti u odnosu na gnojidbu tla (tretman C) (G0.5 – primijenjena količina gnojiva umanjena za 50% u odnosu na gnojidbenu preporuku bez dodatka GeO<sub>2</sub>, G0.5\_GeO<sub>2</sub> – primijenjena količina gnojiva umanjena za 50% u odnosu na gnojidbenu preporuku uz dodatak GeO<sub>2</sub>, G1 – primijenjena preporučena količina gnojiva bez dodatka GeO<sub>2</sub>, G1\_GeO<sub>2</sub> – primijenjena preporučena količina gnojiva uz dodatak GeO<sub>2</sub>).

### 3.4. Brojnost u odnosu na sezonu/godišnje doba u vrijeme uzorkovanja

Brojnost jedinki mezofaune uzorkovanih u travnju 2023. godine ( proljeće) s obje lokacije (Čačinci i Križevci) čini 85,8% (2 120 218 jedinki/m<sup>2</sup>) u ukupnoj brojnosti, dok je udio jedinki uzorkovanih u listopadu 2023. godine (jesen) s obje lokacije 14,2% (350 909 jedinki/m<sup>2</sup>) (Tablica 7). Prema zastupljenosti skupina, najveću brojnost ima skupina Oribatida s udjelom 43,18% u proljetnom, te 4,78% u jesenskom uzorkovanju (Slika 16). Zatim slijedi skupina Entomobryomorpha s 20,53% u proljetnom uzorkovanju, te 3,65% pri jesenskom uzorkovanju. Najmanju brojnost imaju skupine Protura i Diplura. Skupina Protura čini 0,04% pri uzorkovanju u proljeće, te 0,06% pri uzorkovanju u jesen. Skupina Diplura čini 0,14% u proljetnom uzorkovanju, te 0,14% u jesenskom uzorkovanju.

Tablica 7. Brojnost skupina mezofaune po m<sup>2</sup> u odnosu na sezonu odnosno godišnje doba za vrijeme uzorkovanja.

Skupina	Sezona	
	Proljeće	Jesen
Oribatida	1 066 984	118 158
Entomobryomorpha	507 263	90 146
Poduromorpha	166 032	18 335
Diptera	100 841	23 937
Mesostigmata	91 165	20 372
Prostigmata	63 153	28 521
Coleoptera	50 421	15 788
Symphyleona/Neelipleona	43 800	17 826
Enchytraeidae	16 298	6 112
Myriapoda	9 677	6 621
Diplura	3 565	3 565
Protura	1 019	1 528
<b>Ukupna brojnost / m<sup>2</sup></b>	<b>2 120 218</b>	<b>350 909</b>



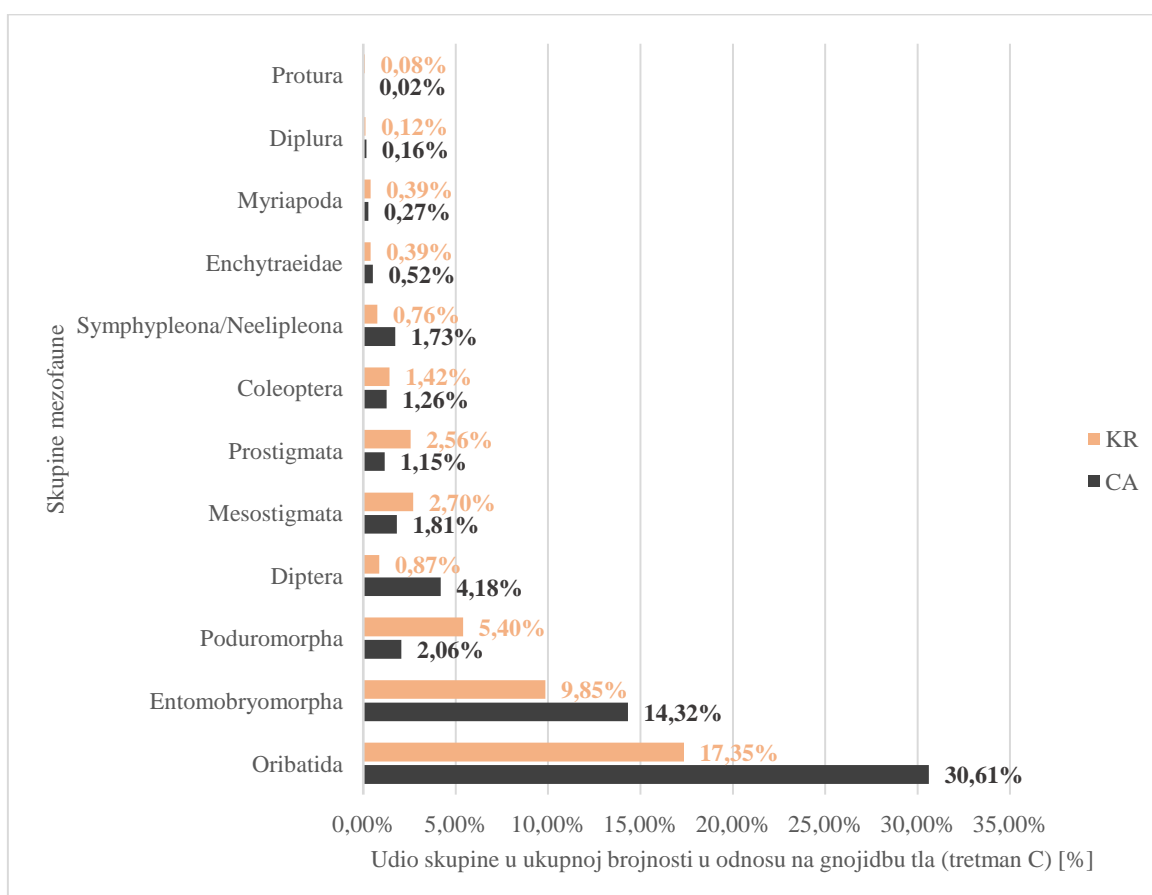
Slika 16. Udio brojnosti pojedine skupine mezofaune u ukupnoj brojnosti u odnosu na sezonu/godišnje doba u vrijeme uzorkovanja (P – proljeće, J – jesen).

### 3.5. Brojnost u odnosu na lokaciju uzorkovanja

Udio brojnosti jedinki uzorkovanih u proljeće i jesen na lokaciji Čačinci iznosi 58,1% (1 435 717 jedinki/m<sup>2</sup>) u ukupnom broju, dok je udio jedinki uzorkovanih s lokacije Križevci 41,9% (1 035 408 jedinki/m<sup>2</sup>) (Tablica 8). Na obje lokacije najveću brojnost ima skupina Oribatida, s udjelom od 30,61% na lokaciji Čačinci te 17,35% na lokaciji Križevci. Druga po zastupljenosti je skupina Entomobryomorpha, s 14,32% na lokaciji Čačinci te 9,85% na lokaciji Križevci (Slika 17). Najmanju zastupljenost imaju skupine Protura i Diplura. Skupina Protura čini 0,02% u ukupnoj brojnosti na lokaciji Čačinci te 0,08% na lokaciji Križevci. Skupina Diplura čini 0,16% na lokaciji Čačinci, te 0,12% na lokaciji Križevci.

Tablica 8. Brojnost skupina mezofaune po m<sup>2</sup> u odnosu na lokaciju uzorkovanja.

Skupina	Lokacija	
	Čačinci	Križevci
Oribatida	756 311	428 831
Entomobryomorpha	353 964	243 445
Poduromorpha	50 930	133 437
Diptera	103 388	21 391
Mesostigmata	44 818	66 718
Prostigmata	28 521	63 153
Coleoptera	31 067	35 142
Symphyleona/Neelipleona	42 781	18 844
Enchytraeidae	12 733	9 677
Myriapoda	6 621	9 677
Diplura	4 074	3 056
Protura	509	2 037
<b>Ukupna brojnost / m<sup>2</sup></b>	<b>1 435 717</b>	<b>1 035 408</b>



Slika 17. Udio brojnosti pojedine skupine mezofaune u ukupnoj brojnosti u odnosu na lokaciju uzorkovanja (CA – Čačinci, KR – Križevci).



### 3.6. Rezultati statističke analize

Rezultati višefaktorske analize varijance i Tukey *post hoc* testa prikazuju značajan statistički utjecaj određenih tretmana obrade tla i njihovih kombinacija, na ukupnu brojnost mezofaune (Tablica 9) te na pojedine skupine mezofaune (Tablica 10). Potvrđena je i razlika u brojnosti u odnosu na lokaciju i sezonu uzorkovanja.

#### 3.6.1. Utjecaj na ukupnu brojnost mezofaune

Višefaktorska analiza varijance te Tukey *post hoc* test pokazuju statistički značajan utjecaj za tri faktora (kalcizacija, sezona, lokacija) te tri interakcije faktora (kalcizacija – lokacija, tip obrade – kalcizacija – lokacija, kalcizacija – sezona – lokacija) na ukupnu brojnost mezofaune (Tablica 9).

Tablica 9. Rezultati višefaktorske analize varijance te Tukey *post hoc* testa, prikazani su rezultati za faktore utjecaja ili interakcije više faktora utjecaja koje pokazuju statistički značajan utjecaj na ukupnu brojnost mezofaune.

Faktor ili interakcija više faktora utjecaja	Stupnjevi slobode Df	F-vrijednost	P-vrijednost Pr(>F)
Kalcizacija	1	4,429826	0,035532
Sezona	1	77,60508	4,54e-18
Lokacija	1	3,972607	0,046482
Kalcizacija – Lokacija	1	7,279705	0,007076
Tip obrade – Kalcizacija – Gnojidba	6	2,675097	0,01393
Kalcizacija – Sezona – Lokacija	1	5,093432	0,024203

#### Kalcizacija

Dokazano je da kalcizacija djeluje statistički pozitivno ( $p=0,035532$ ), što govori rezultat Tukey *post hoc* testa koji pokazuje da je u tlu na kojem je rađen tretman kalcizacije pronađeno u prosjeku 367 jedinki više u odnosu na tlo bez tretmana kalcizacije.

#### Sezona

Potvrđena je statistički značajna razlika u ukupnoj brojnosti mezofaune u odnosu na sezonu odnosno godišnje doba u kojem je izvršeno uzorkovanje tla ( $p=4,54e-18$ ). Rezultati pokazuju da je u proljeće u prosjeku 1536 jedinki više po  $m^2$  u odnosu na jesen.

## Lokacija

Dokazana je statistički značajna razlika u ukupnoj brojnosti između dvije lokacije uzorkovanja ( $p=0,046482$ ). Na lokaciji Čačinci je prosječno 348 jedinki više po  $m^2$  u usporedbi s lokacijom Križevci. Rezultati pokazuju statistički značajan utjecaj interakcije kalcizacije i lokacije uzorkovanja ( $p=0,007076$ ). Prema rezultatima Tukey *post hoc* testa, na lokaciji Čačinci u tlu obrađenom tretmanom kalcizacije je u prosjeku 837 jedinki više po  $m^2$  u odnosu na tlo s iste lokacije bez tretmana kalcizacije. Također, statistički je značajna razlika u ukupnoj brojnosti mezofaune u tlu s lokacije Čačinci uz tretman kalcizacije s 818 jedinki više po  $m^2$  u odnosu na lokaciju Križevci s tretmanom kalcizacije te lokaciju Križevci bez tretmana kalcizacije sa 714 jedinki manje u odnosu na Čačince uz tretman kalcizacije.

## Tip obrade – Kalcizacija – Gnojidba

Interakcija tipa obrade tla (tretman A), kalcizacije (tretman B) te gnojidbe tla (tretman C) pokazuje statistički značajan utjecaj na ukupnu brojnost mezofaune tla ( $p=0,01393$ ). Pri konzervacijskom dubokom tretmanu obrade (CTD) uz kalcizaciju te umanjenu količinu gnojiva u odnosu na preporuku bez dodatka  $GeO_2$  (CTD\_G0.5\_GeO2\_Ca) statistički je značajno veća ukupna brojnost u odnosu na:

- Konzervacijski plitki tretman obrade uz kalcizaciju i umanjenu količinu gnojiva bez  $GeO_2$  (CTS\_G0.5\_Ca) (prosječno 2451 jedinki/ $m^2$ ),
- Konzervacijski plitki tretman obrade bez kalcizacije i preporučenu količinu gnojiva bez  $GeO_2$  (CTS\_G0.5) (prosječno 2483 jedinki/ $m^2$ ),
- Konzervacijski plitki tretman obrade bez kalcizacije i preporučenu količinu gnojiva bez  $GeO_2$  (CTS\_G1\_GeO2) (prosječno 2387 jedinki/ $m^2$ ),
- Konvencionalni tretman obrade bez kalcizacije i umanjenu količinu gnojiva uz  $GeO_2$  (ST\_G0.5\_GeO2) (prosječno 2218 jedinki/ $m^2$ ),
- Konvencionalni tretman obrade bez kalcizacije i umanjenu količinu gnojiva bez  $GeO_2$  (ST\_G0.5) (prosječno 2679 jedinki/ $m^2$ ),
- Konvencionalni tretman obrade bez kalcizacije i preporučenu količinu gnojiva bez  $GeO_2$  (ST\_G1) (prosječno 2228 jedinki/ $m^2$ ).

## Kalcizacija – Sezona – Lokacija

Interakcija kalcizacije (tretman B), godišnjeg doba i lokacije uzorkovanja pokazuje statistički značajan utjecaj na ukupnu brojnost mezofaune tla ( $p = 0,024203$ ).

- Na lokaciji Čačinci u proljeće bez kalcizacije statistički je značajno veća brojnost u odnosu na lokaciju Križevci u jesen s kalcizacijom, s prosječno 1123 jedinki više po m<sup>2</sup>, a ista razlika u brojnosti zabilježena je i u usporedbi s tlom s lokacije Križevci bez kalcizacije u jesen.
- Na lokaciji Čačinci u proljeće uz kalcizaciju, brojnost je statistički značajno veća u odnosu na istu lokaciju u jesen uz kalcizaciju, s prosječno 2386 jedinki više po m<sup>2</sup>.
- Na lokaciji Čačinci u proljeće uz kalcizaciju, brojnost je također značajno veća u odnosu na:
  - Istu lokaciju u proljeće bez kalcizacije (prosječno 1521 jedinki/m<sup>2</sup>),
  - Istu lokaciju u jesen bez kalcizacije (prosječno 2539 jedinki/m<sup>2</sup>),
  - Lokaciju Križevci u proljeće uz kalcizaciju (prosječno 1378 jedinki/m<sup>2</sup>),
  - Lokaciju Križevci u jesen uz kalcizaciju (prosječno 2644 jedinki/m<sup>2</sup>),
  - Lokaciju Križevci u proljeće bez kalcizacije (prosječno 1171 jedinki/m<sup>2</sup>),
  - Lokaciju Križevci u jesen bez kalcizacije (prosječno 2644 jedinki/m<sup>2</sup>).
- Na lokaciji Križevci u proljeće uz kalcizaciju, brojnost je statistički značajno veća u odnosu na:
  - Istu lokaciju u jesen uz kalcizaciju (prosječno 1266 jedinki/m<sup>2</sup>),
  - Istu lokaciju u jesen bez kalcizacije (prosječno 1266 jedinki/m<sup>2</sup>),
  - Lokaciju Čačinci bez kalcizacije u jesen (prosječno 1162 jedinki/m<sup>2</sup>).
- Na lokaciji Križevci u proljeće bez kalcizacije, brojnost je statistički značajno veća u odnosu na:
  - Istu lokaciju u jesen uz kalcizaciju (prosječno 1473 jedinki/m<sup>2</sup>),
  - Istu lokaciju u jesen bez kalcizacije (prosječno 1473 jedinki/m<sup>2</sup>),
  - Lokaciju Čačinci uz kalcizaciju u jesen (prosječno 1215 jedinki/m<sup>2</sup>),
  - Lokaciju Čačinci bez kalcizacije u jesen (prosječno 1162 jedinki/m<sup>2</sup>).

### 3.6.2. Utjecaj na pojedinu skupinu mezofaune

Tablica 10. Rezultati višefaktorske analize varijance te Tukey *post hoc* testa, prikazani su rezultati za faktore utjecaja koji pokazuju statistički značajan utjecaj na brojnost pojedine skupine mezofaune.

Faktor utjecaja	Skupina	Stupnjevi slobode Df	F-vrijednost	P-vrijednost
Kalcizacija	Mesostigmata	1	5,141	0,0245
Sezona	Entomobryomorpha	1	38,95	2,77e-9
	Poduromorpha	1	25,25	1,83e-6
	Symphyleona/Neelipleona	1	9,219	0,00273
	Mesostigmata	1	26,03	8,12e-7
	Prostigmata	1	8,814	0,00337
	Oribatida	1	27,02	5,17e-7
	Coleoptera	1	15,78	0,000101
Lokacija	Poduromorpha	1	6,957	0,00904
	Symphyleona/Neelipleona	1	7,773	0,00584
	Prostigmata	1	8,814	0,00337

#### Kalcizacija

Utvrđen je statistički značajan pozitivan utjecaj kalcizacije na skupinu Mesostigmata ( $p=0,0245$ ), s prosječno 245 jedinki više po  $m^2$  u tlu obrađenom tretmanom kalcizacije.

#### Sezona

Utvrđena je statistički značajna razlika za 7 skupina mezofaune u odnosu na sezonu uzorkovanja. Slijedeće skupine pokazuju statistički značajno veću brojnost u proljetnom uzorkovanju:

- Skupina Entomobryomorpha (prosječno 4345 jedinki/ $m^2$ ),
- Skupina Poduromorpha (prosječno 1539 jedinki/ $m^2$ ),
- Skupine Symphyleona/Neelipleona (prosječno 271 jedinka/ $m^2$ ),
- Skupina Mesostigmata (prosječno 737 jedinki/ $m^2$ ),
- Skupina Prostigmata (prosječno 361 jedinka/ $m^2$ ),
- Skupina Oribatida (prosječno 9884 jedinke/ $m^2$ ),
- Skupina Coleoptera (prosječno 361 jedinka/ $m^2$ ).

## Lokacija

Na lokaciji Čačinci pronađeno je statistički značajno više jedinki skupine Symphypleona /Neelipleona, 249 jedinki više po m<sup>2</sup> u odnosu na lokaciju Križevci. Na lokaciji Križevci statistički je značajno više jedinki skupine Poduromorpha i Prostigmata, prosječno 859 jedinki Poduromorpha te 361 jedinka Prostigmata više po m<sup>2</sup> u odnosu na lokaciju Čačinci.

### 3.6.3. Shannonov indeks bioraznolikosti

Shannonov indeks je mjera biološke raznolikosti koja se koristi za kvantifikaciju raznolikosti organizama, i općenito u ekologiji za mjerenje ravnoteže i dominantnosti vrsta u ekosustavu (Shannon, 1948). Naziva se i Shannon – Weaverov ili Shannon – Wienerov indeks. Shannonov indeks ( $H'$ ) izračunava se pomoću sljedeće formule:

$$H' = - \sum_{i=1}^k p_i \log p_i$$

Gdje je:

$S$  – broj različitih vrsta (bogatstvo vrsta),

$p_i$  – omjer jedinki vrste  $i$  u odnosu na ukupni broj jedinki u uzorku (relativna abundancija)

$\ln$  – prirodni logaritam

Ujednačenost (eng. *evenness*) je mjera koja pokazuje koliko su jedinice ravnomjerno raspoređene među skupinama u zajednici. Ujednačenost je povezana sa Shannonovim indeksom jer se koristi za normalizaciju tog indeksa, pokazujući koliko je blizu zajednica maksimalnoj mogućoj raznolikosti (što bi bilo kad bi sve vrste bile podjednako zastupljene). Formula za ujednačenost ( $E$ ) izgleda ovako:

$$E = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Gdje je:

$H'_{max} = \ln(S)$

$S$  – broj vrsta u zajednici

Tablica 11. Shannonov indeks i ujednačenost za skupine mezofaune u odnosu na tip obrade tla (tretman A)

	CTD	CTS	ST
Shannonov indeks bioraznolikosti	1,45	1,66	1,62
Ujednačenost	0,585	0,667	0,652

Tablica 12. Shannonov indeks i ujednačenost za skupine mezofaune u odnosu na kalcizaciju tla (tretman B)

	Da	Ne
Shannonov indeks bioraznolikosti	1,53	1,63
Ujednačenost	0,617	0,656

Tablica 13. Shannonov indeks i ujednačenost za skupine mezofaune u odnosu na gnojidbu tla (tretman C)

	G0.5	G0.5_GeO2	G1	G1_GeO2
Shannonov indeks bioraznolikosti	1,41	1,71	1,49	1,68
Ujednačenost	0,568	0,686	0,598	0,675

Tablica 14. Shannonov indeks i ujednačenost za skupine mezofaune u odnosu na sezonu / godišnje doba za vrijeme uzorkovanja

	Proljeće	Jesen
Shannonov indeks bioraznolikosti	1,52	1,98
Ujednačenost	0,611	0,776

Tablica 15. Shannonov indeks i ujednačenost za skupine mezofaune u odnosu na lokaciju uzorkovanja

	Čačinci	Križevci
Shannonov indeks bioraznolikosti	1,45	1,7
Ujednačenost	0,584	0,685

## 4. RASPRAVA

Istraživanje u okviru projekta pod nazivom „Procjena konzervacijske obrade tla kao napredne metode uzgoja usjeva i prevencije degradacije tla – ACTIVEsoil, IP–2020–02“ pokazalo je značajne razlike u brojnosti i raznolikosti mezofaune tla u odnosu na različite metode obrade, kalcizacije i gnojidbe. Tlo je veliki rezervoar raznolikih organizama koji zajedno sudjeluju u regulaciji različitih biogeokemijskih ciklusa. Bioraznolikost tla uključuje organizme koji provode cijeli ili dio svog životnog ciklusa unutar tla ili na njegovoj neposrednoj površini, kao što su površinski slojevi lišća i truleće drvo. Mezofauna tla predstavlja ključnu poveznicu između mikrofaune i makrofaune, čineći važan dio zajednice razlagača tla. Ovi organizmi igraju ključnu ulogu u procesima transformacije organske tvari i protoka hranjivih tvari u kopnenim ekosustavima. Mezofauna tla, poznata i kao "upravitelj ekosustava", u velikoj mjeri regulira ove protoke. Poremećaji tla, poput obrade, požara ili primjene pesticida, obično smanjuju brojnost člankonožaca mezofaune, no njihov oporavak može biti brz, a različite skupine reagiraju na te promjene na različite načine. Prema podacima Europske komisije, smatra se da, na području zemalja Europske Unije, 60 – 70% površine tla trpi kontinuiranu fizičku, kemijsku i biološku degradaciju, što ometa skladan razvoj usluga ekosustava, poput ciklusa hranjivih tvari i ugljika (Web 21). Tlo sadrži više od 25% ukupne svjetske bioraznolikosti te je drugi najveći spremnik ugljika na Zemlji. Zdravo tlo igra ključnu ulogu u hvatanju i skladištenju ugljika, što pridonosi ostvarivanju klimatskih ciljeva Europske unije. Također, ono pruža optimalne uvjete za rast i razvoj organizama te je presudno za jačanje bioraznolikosti i stabilnost ekosustava. Bioraznolikost iznad i ispod tla usko su povezane i stalno međusobno djeluju (primjerice, mikorizne gljive koje povezuju korijenje biljaka). Iz tog razloga, potrebno je uspostaviti mjere za praćenje i procjenu zdravlja tla, osigurati održivo upravljanje te riješiti problem zagađenih područja. Cilj Direktive Europskog parlamenta i Vijeća o praćenju i otpornosti tla (Akt o praćenju tla) je postići zdravo tlo do 2050. godine kako bi se ostvarili ciljevi u području klime i bioraznolikosti, spriječile suše i prirodne katastrofe, zaštitilo ljudsko zdravlje te osigurala sigurnost hrane i stabilnost opskrbe (Web 22). U tom pogledu, konzervacijska obrada tla, za razliku od konvencionalne obrade, ima mnoge prednosti, među kojima su: (1) bolja ekonomija poljoprivrednih gospodarstava; (2) fleksibilne agrotehničke mogućnosti za sjetvu, primjenu gnojiva i suzbijanje korova; (3) povećanje prinosa i veća stabilnost prinosa (kao dugoročni učinak); (4) zaštita tla; (5) veća učinkovitost hranjivih tvari (Jug i sur., 2018).



Istraživanjem utjecaja konzervacijske i konvencionalne poljoprivrede na mezofaunu tla nastojalo se istražiti kako različite metode obrade, koje se razlikuju po intenzitetu mehaničkih zahvata i količini biljnih ostataka na tlu, utječu na sastav i brojnost mezofaune. Ispitano je kako faktori poput tretmana kalcizacije, primjena različitih količina gnojiva te primjena biofiziološkog aktivatora  $\text{GeO}_2$  djeluju na biološku raznolikost i populaciju mezofaune. Poseban naglasak stavljen je na usporedbu učinaka konvencionalne obrade tla i praksi konzervacijske poljoprivrede, koje održavaju veću pokrivenost tla biljnim materijalom i smanjuju mehaničke intervencije.

Rezultati ovog istraživanja pokazuju veću ukupnu brojnost jedinki mezofaune u tretmanima konzervacijske obrade (CTD, CTS) u odnosu na konvencionalnu obradu tla (ST), s najvećom brojnošću u tretmanu duboke konzervacijske obrade (CTD) koja čini 39% ukupne brojnošći, u odnosu na 27% pri konvencionalnoj obradi (ST). Smanjenjem prohoda teškom mehanizacijom pri konzervacijskoj obradi tla smanjuje se zbijanje tla, što omogućava organizmima mezofaune prohodnost kroz slojeve tla. Trajni pokrov biljnim ostacima ima ključnu ulogu jer pomaže u očuvanju vlage, sprječavanju erozije i poboljšanju strukture tla. Pokazalo se da 8 t/ha biljnih ostataka može smanjiti isparavanje vode za 30%, dok količine od 2 t/ha značajno poboljšavaju infiltraciju vode i smanjuju gubitak tla. Također, s 4–5 t/ha biljnih ostataka dolazi do prosječnog godišnjeg povećanja organskog ugljika u tlu od 0,38 t C/ha. Povećanje ostataka umjereno utječe na brojnost mezofaune, dok je najviše poboljšanje u brojnošću mezofaune zabilježeno je s 10 t/ha ostataka (Ranaivoson i sur., 2017).

Tretman kalcizacije pokazuje pozitivan statistički pozitivan učinak ( $p=0,035532$ ) na ukupnu brojnost mezofaune na ispitivanim lokacijama. U tlu s tretmanom kalcizacije nalazilo se 59% ukupne brojnošći mezofaune, što je za 18% više u odnosu na tlo bez tretmana kalcizacije. Istraživanja su pokazala da kalcizacija tla, koja podiže pH kako bi tlo imalo uvjete za uzgoj željenih kultura, može značajno utjecati na zajednice Oribatida, specifično na njihovu brojnost i raznolikost. Grinje skupine Oribatida, koje su ključne za razgradnju organske tvari u tlu, u istraživanjima su pokazale različite reakcije ovisno o vrsti tla i intenzitetu primjene vapnenih dodataka. Primjena tih dodataka u većim količinama često smanjuje brojnost Oribatida, posebno u ekosustavima s niskim pH, jer neke vrste ne mogu tolerirati promjene u kiselosti tla. Neka istraživanja ukazuju na to da povećana pH vrijednost tla može dati prednost određenim vrstama koje su prilagođene neutralnijem pH u tlu, čime se mijenja struktura zajednice (Oliveira i sur., 2024). Dok na ostale skupine nije dokazan značajan utjecaj kalcizacije tla, statističkom analizom je utvrđen pozitivan utjecaj kalcizacije

tla na brojnost Mesostigmata s prosječno 245 jedinki više u tlu s tretmanom kalcizacije u odnosu na tlo bez kalcizacije ( $p=0,0245$ ). Pozitivan utjecaj povišenja pH na skupinu Mesostigmata dokazali su Urbanowski i suradnici (2022) u istraživanju gdje su zaključili da povećanje pH tla ima pozitivan učinak na brojnost i bogatstvo vrsta zajednica grinja Mesostigmata u tlu.

Primjena različitih količina gnojiva nije pokazala značajan utjecaj na ukupnu brojnost mezofaune, međutim statističkom analizom uočeno je da postoji statistički značajna razlika ukoliko se promatra interakcija tretmana obrade tla, kalcizacije te primjene gnojiva. Analiza je pokazala da najveću brojnost mezofaune sadrži tlo konzervacijskog dubokog tretmana obrade tla (CTD), uz kalcizaciju i smanjenu količinu gnojiva (CTD\_G0.5\_GeO2\_Ca), što sugerira da kombinacija ovih čimbenika može značajno potaknuti razvoj mezofaune. Usporedbe s ostalim tretmanima, kao što su plitki konzervacijski tretmani ili konvencionalni tretmani bez kalcizacije, pokazale su manju brojnost mezofaune, što naglašava važnost duboke obrade i primjene kalcizacije za očuvanje tla i biološke raznolikosti. Oliveira i suradnici (2024) primijetili su kako primjena gnojiva i vapna može značajno utjecati na strukturu i brojnost mezofaune u šumskim sustavima. Istraživanje je pokazalo da humus služi kao ključno stanište za mezofaunu, s 94% ukupne populacije prisutne u humusu u usporedbi s kontrolnim tлом. Gnojidba i gnojidba bez vapna povećale su brojnost grinja Oribatida, ali su smanjile populaciju Collembola Arthropleona u humusu tijekom ljeta. Primjena gnojiva je smanjila brojnost mezofaune u tlu tijekom ljeta. Dakle, tretmani kalcizacije i gnojidbe mijenjaju zajednice mezofaune u šumskom tlu i humusu, što može utjecati na procese poput kruženja hranjivih tvari (Oliveira i sur., 2024).

Utvrđena je statistički značajna razlika u ukupnoj brojnosti u odnosu na sezonu odnosno godišnje doba u kojem je izvršeno uzorkovanje ( $p=4,54e-18$ ). Tlo uzorkovano u proljeće sadržavalo je prosječno 1536 jedinki više po  $m^2$  u odnosu na tlo uzorkovano u jesen. Statistički značajna razlika u brojnosti u odnosu na sezonu uzorkovanja (s većom brojnosti u proljetnom uzorkovanju) utvrđena je za skupine: Entomobryomorpha ( $p=2,77e-9$ ), Poduromorpha ( $p=1,83e-9$ ), Symphypleona/Neelipleona ( $p=0,00273$ ), Mesostigmata ( $p=8,12e-7$ ), Prostigmata ( $p=0,00337$ ), Oribatida ( $p=5,17e-7$ ), Coleoptera ( $p=0,000101$ ). U istraživanju Oliveira i suradnika (2024) sezonske su promjene imale značajan utjecaj, s tri puta većom brojnošću mezofaune tijekom ljeta u odnosu na zimu. Istraživanje Li i suradnika (2024) pokazuje da staništa s obnovljenom vegetacijom imaju veću ukupnu gustoću i brojnost grupa faune tla u odnosu na poljoprivredna staništa. Ukupna gustoća i broj skupina

faune tla pokazale su izražene sezonske varijacije, s najvišim vrijednostima tijekom ljeta. U obnovljenim staništima, grinje su bile dominantna grupa u različitim sezonama te su imale najvišu relativnu gustoću među svim skupinama. Osim toga, u tom istraživanju dominantna su grupa bila skokuni (Collembola), te su zajedno s grinjama imali značajnu ulogu u sezonskim varijacijama gustoće faune tla. Temperatura je bila najvažniji čimbenik koji je pokretao sezonske varijacije što sugerira da se sezonska dinamika zajednica faune tla u kontekstu klimatskih uvjeta treba naglasiti prilikom istraživanja faune tla, što će doprinijeti očuvanju bioraznolikosti i ekološkom upravljanju. Prema Zagatto i suradnicima (2017), brojnost pojedinih skupina u mezofauni uvjetovana je razinom vlage u tlu, primjerice za skupinu kornjaša (Coleoptera) u stadiju ličinki primijećeno je da brojnost jedinki raste pri porastu vlage u tlu. Ove sezonske fluktuacije ukazuju na dinamičnost mezofaune tla i potrebu za prilagođenim pristupima u istraživanju utjecaja različitih tretmana tijekom cijele godine. Temperatura i količina oborina imaju ključnu ulogu u brojnosti mezofaune tla. Promjena temperature utječe na metabolizam, razmnožavanje i aktivnost organizama u tlu. Optimalne temperature potiču veću aktivnost i raznolikost, dok ekstremne temperature mogu smanjiti populacije. Količina oborina održava vlagu tla, što je bitno za život organizama mezofaune. Povećana vlažnost obično dovodi do veće raznolikosti i brojnijih populacija, dok su suhi uvjeti često nepovoljni za njih. Kombinacija ovih čimbenika oblikuje ekosustav tla i određuje njegovu bioraznolikost (Web 17).

Ispitana je i razlika u brojnosti u odnosu na lokaciju uzorkovanja, te je sa statistički značajnom razlikom dokazano da lokacija Čačinci sadrži veći broj jedinki mezofaune s prosječno 348 jedinki više po m<sup>2</sup> više u odnosu na lokaciju Križevci ( $p=0,046482$ ). Na lokaciji Križevci u 2023. godini bilo je više oborina u odnosu na Čačince, kao i u mjesecima uzorkovanja. U travnju je u Križevcima bilo 16,9 mm oborina više, a u listopadu 12,5 mm više u odnosu na lokaciju Čačinci. Razlika u količini oborina nije značajna, međutim, tip tla na lokaciji Čačinci je Stagnosols gdje voda stagnira na površini tla zbog nepropusnih slojeva ispod površine, što omogućuje dulje zadržavanje vode i vlage u tlu (Web 16). Najveću brojnost na lokaciji Čačinci ima skupina Oribatida s 30,61% više u odnosu na 17,35% na lokaciji Križevci što može biti posljedica specifičnih obilježja mikrostaništa, ali i klimatskih čimbenika. U istraživanju Lotfollahi i suradnika (2020) razlika u učestalosti i raznolikosti grinja skupine Oribatida u različitim horizontima tla pripisuje se osjetljivosti tih grinja na razinu vlage. Pokazalo se da je vlaga u gornjem horizontu tla u vrijeme uzorkovanja dovela do migracije tih grinja u drugi horizont s višim sadržajem vlage. Uočena je razlika u brojnosti

određenih skupina u odnosu na lokaciju uzorkovanja, pa je tako na lokaciji Čačinci pronađeno statistički značajno više jedinki skupine Symphypleona/ Neelipleona (249 jedinki više po m<sup>2</sup>), dok je na lokaciji Križevci sa statističkim značajem veća brojnost jedinki Poduromorpha i Prostigmata.

U ispitivanju interakcija tretmana, sezone i lokacije uzorkovanja, statistički značajan utjecaj na brojnost mezofaune tla, pokazala je interakcija kalcizacije, sezone/godišnjeg doba i lokacije uzorkovanja. Rezultati pokazuju da je brojnost mezofaune bila značajno veća na lokaciji Čačinci u proljeće, bez obzira na primjenu kalcizacije, u usporedbi s lokacijom Križevci u jesen, gdje je brojnost bila manja, čak i uz primjenu kalcizacije. Također, brojnost mezofaune bila je znatno veća u proljeće na lokaciji Čačinci uz kalcizaciju nego na istoj lokaciji u jesen ( $p = 0,024203$ ).

U svrhu pregleda dominantnosti i ujednačenosti skupina pri određenim tretmanima obrade tla, sezoni i lokaciji uzorkovanja, izračunat je Shannonov indeks bioraznolikosti te ujednačenost skupina. U tlu obrađenom tretmanom duboke konzervacijske obrade (CTD) (tretman A) manja je bioraznolikost skupina ( $H'=1,45$ ) te je manja ujednačenost ( $E=0,585$ ) u odnosu na tretmane CTS ( $H'=1,66$ ;  $E=0,667$ ) i ST ( $H'=1,62$ ;  $E=0,652$ ) što je posljedica znatno veće brojnosti skupina Oribatida i Entomobryomorpha u odnosu na druge skupine u tretmanu CTD za razliku od ostala dva tretmana obrade tla. Prema tretmanu kalcizacije (tretman B) veća bioraznolikost i ujednačenost skupina je u tlu bez tretmana kalcizacije ( $H'=1,63$ ;  $E=0,656$ ) u odnosu na tlo s kalcizacijom ( $H'=1,53$ ;  $E=0,617$ ), što je također rezultat znatno veće brojnosti skupine Oribatida i Entomobryomorpha u tlu s tretmanom kalcizacije u odnosu na druge skupine. Pri tretmanu gnojidbe tla (tretman C) najveću bioraznolikost i ujednačenost skupina ima tlo s tretmanom G0.5\_GeO2 ( $H'=1,71$ ;  $E=0,686$ ), a najmanju tlo s tretmanom G0.5 ( $H'=1,41$ ;  $E=0,568$ ). Veća bioraznolikost skupina bila je pri jesenskom uzorkovanju ( $H'=1,98$ ;  $E=0,776$ ) u odnosu na proljetno uzorkovanje ( $H'=1,52$ ;  $E=0,611$ ), što je također posljedica prevladavajuće brojnosti skupina Oribatida i Entomobryomorpha pri proljetnom uzorkovanju. Lokacija Križevci ima veću bioraznolikost i ujednačenost skupina ( $H'=1,7$ ;  $E=0,685$ ) u odnosu na lokaciju Čačinci ( $H'=1,45$ ;  $E=0,685$ ).

## 5. ZAKLJUČAK

Istraživanje je pokazalo značajne razlike u brojnosti i raznolikosti mezofaune tla u odnosu na različite metode obrade, kalcizacije i gnojidbe. Rezultati jasno ukazuju na prednosti konzervacijske obrade tla u odnosu na konvencionalne metode, posebno kada je riječ o održavanju brojnosti i raznolikosti organizama koji su ključni za održavanje zdravlja tla.

Glavni rezultati istraživanja su:

- Duboka konzervacijska obrada (CTD) rezultirala je većom ukupnom brojnošću mezofaune u odnosu na konvencionalnu obradu tla (ST). Smanjenje mehaničkih zahvata i očuvanje biljnih ostataka na površini tla pozitivno su utjecali na mezofaunu, koja igra ključnu ulogu u razgradnji organske tvari i kruženju hranjivih tvari.
- Primjena kalcizacije pokazala je pozitivan učinak na ukupnu brojnost mezofaune, posebno na skupinu Mesostigmata. Povećanje pH vrijednosti tla putem kalcizacije može poboljšati uvjete za određene skupine organizama tla.
- Iako sama primjena različitih količina gnojiva nije pokazala značajan utjecaj na ukupnu brojnost mezofaune, u kombinaciji s konzervacijskom obradom i kalcizacijom doprinijela je povećanju brojnosti mezofaune. To sugerira da kombinacija određenih tretmana može potaknuti razvoj mezofaune.
- Brojnost mezofaune bila je veća u proljeće nego u jesen. Ova sezonska varijacija ukazuje na utjecaj klimatskih uvjeta, poput temperature i vlage, na dinamiku populacija mezofaune.
- Utvrđene su razlike u brojnosti mezofaune između lokacija Čačinci i Križevci. Veća brojnost na lokaciji Čačinci potencijalno se može pripisati specifičnim svojstvima tla (npr. tip tla Stagnosols koji zadržava više vlage) i mikroklimatskim uvjetima.
- Analiza Shannonovog indeksa bioraznolikosti i ujednačenosti ukazuje na to da različiti tretmani obrade tla, kalcizacija, gnojidba, sezona i lokacija značajno utječu na bioraznolikost i ujednačenost mezofaune. Duboka konzervacijska obrada i kalcizacija povećavaju brojnost određenih skupina, što smanjuje ukupnu ujednačenost, dok tretmani poput G0.5\_GeO2 i sezonske promjene doprinose većoj bioraznolikosti i ravnomjernijoj raspodjeli vrsta.

Rezultati istraživanja ističu važnost konzervacijske obrade tla u očuvanju i povećanju brojnosti mezofaune tla. Održavanje biljnih ostataka na površini tla, smanjenje mehaničkih intervencija i prilagođena gnojidba mogu poboljšati zdravlje tla i njegovu biološku aktivnost.

Kalcizacije može imati bitnu ulogu od očuvanju brojnosti pojedinih skupina mezofaune kao što je skupina Mesostigmata. Sezonske promjene i lokalni klimatski uvjeti također imaju značajan utjecaj na mezofaunu, što ukazuje na potrebu za holističkim pristupom u upravljanju tlom. Očuvanje bogate i raznolike mezofaune ključno je za sprječavanje daljnje degradacije tla, održivost ekosustava, povećanje plodnosti tla i dugoročnu poljoprivrednu produktivnost.

## 6. LITERATURA

Andre, H., M, Ducarme, X., Lebrun, P. (2002). Soil biodiversity: myth, reality or conning? *Oikos* 96(1):3–24.

Atkinson, A.H., D., Read, D.J., Usher, M.B. (ur.) (1985). *Ecological interactions in soil*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Behan – Pelletier, V. M. (1999). Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74(1–3):411–423.

Coddington, J.A. Colwell, R.K. (2000). Arachnids. U: Levin, S.A. (ur.) *Encyclopedia of biodiversity*. Elsevier Science. San Diego, str. 199–218.

Coleman, D.C., Crossley, D.A., Hendrix, P.F. (2004). *Fundamentals of soil ecology*, 2nd ed., Elsevier Science, Athens.

Crossley, D. A. Jr. (1977). Oribatid mites and nutrient cycling. U: Dindal, D.L. (ur.) *Biology of Oribatid mites*. State University of New York, College of Environmental Science and Forestry, New York, str. 49 –63.

Davidson, D. A., Bruneau, P. M. C., Grieve, I. C., Young, I. M. (2002). Impacts of fauna on an upland grassland soil as determined by micromorphological analysis. *Applied Soil Ecology* 20(1):133–143.

Decaëns, T., Jimenez, J. J., Lavelle, P. (2006). The formation and functioning of soil structure: The role of soil fauna. *Soil Biology and Biochemistry* 38(6):1415–1425.

Dervash, M. A., Bhat, R. A., Mushtaq, N., Singh, D. V. (2018). Dynamics and importance of soil mesofauna. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering* 7(4): 2010–2019.

Eisenbeis, G., Wichard, W., Mole, E. (1987). Atlas on the biology of soil Arthropods. Springer, Heidelberg.

FAO (2015) The state of the world's soils: status and trends. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Giller, K.E. (1996). The diversity of soil organisms and their role in soil functioning. CABI Publishing, Wallingford.

Gupta, R. K., Abrol, I. P., Finkl, C. W., Kirkham, M. B., Arbestain, M. C., Macías, F., ... Spaargaren, O. (2008). Stagnosols. U: Chesworth, W. (ur.) Encyclopedia of soil science. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht, str. 756–757.

Habdija, I. (ur.) (2011). Protista – Protozoa, Metazoa – Invertebrata: strukture i funkcije. Alfa d.d., Zagreb.

Jenny, H. (1941). Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. McGraw Hill, New York.

Jug, D., Birkas, M., Kisić, I. (2015). Obrada tla u agroekološkim okvirima. Sveučilišni udžbenik. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.

Jug, D., Jug, I., Vukadinović, V., Đurđević, B., Stipešević, B., Brozović, B. (2018). Konzervacijska obrada tla kao mjera ublažavanja klimatskih promjena. Sveučilišni priručnik. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Osijek.

Jug, I., Jug, D., Brozović, B., Vukadinović, V., Đurđević, B. (2022). Osnove tloznanstva i biljne proizvodnje. Sveučilišni udžbenik. Fakultet agrobiotehničkih znanosti, Osijek.

Karalić, K. (2009). Utvrđivanje potrebe u kalcizaciji i utjecaj kalcizacije na status hraniva u tlu. Doktorski rad. Poljoprivredni fakultet Sveučilišta u Osijeku. Osijek.



Klironomos, J.N., Kendrick, W.B., (1995). Stimulative effects of arthropods on endomycorrhizas of sugar maple in the presence of decaying litter. *Functional Ecology* 9(3):528–536.

Kovaček, I. (2023). Utjecaj konzervacijske obrade tla na fizikalnu degradaciju tla zbijanjem. Diplomski rad. Fakultet agrobiotehničkih znanosti, Osijek.

Krantz, G. W., Walter, D. E. (2009). *A manual of acarology*. Texas Tech University Press, Lubbock.

Kudureti, A., Zhao, S., Zhakyp, D., Tian, C. (2023). Responses of soil fauna community under changing environmental conditions. *Journal of Arid Land* 15(5), 620–636.

Lavelle, P., Spain, A.V. (2002). *Soil ecology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Lee, K.E. (1985). *Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press, Sydney.

Li, Z., Yang, X., Long, W., Song, R., Zhu, X., Li, T., Shao, M., Chen, M., Gan, M. (2024). Temperature mainly determined the seasonal variations in soil faunal communities in semiarid areas. *Land* 13:505.

Lončarić, Z., Rastija, D., Karalić, K., Popović, B., Ivezić, V., Lončarić, R. (2015). Kalcizacija tala u pograničnome području. *Poljoprivredni fakultet u Osijeku* 1–68.

Lotfollahi, P., Movahedzadeh, E., Azimi, S. (2020). Evaluating the diversity of Oribatida mites affected by several cropping systems and soil types. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 30(3):203–215.

Nielsen, U.N. (2019). *Soil and its fauna. U: Soil fauna assemblages: global to local scales. Ecology, Biodiversity and Conservation*. Cambridge University Press, Cambridge, str. 1–41.

Norton, R.A. (1990). *Acarina: Oribatida*. U: Dindal, D.L. (ur.) *Soil biology guide*. Wiley, New York, str. 779–803.

Norton, R.A., (1998). Morphological evidence for the evolutionary origin of Astigmata (Acari: Acariformes). *Experimental and Applied Acarology* 22(10):559–594.

Oliveira, E., Ercole, T. M., Kleinschmidt Kopke, E., de Albuquerque, C., Cezar, R., Barbosa, J., Winagraski, E., Sautter, K., Prior, S., Motta, A., Reissmann, B., Reissmann, C. (2024). Fertilizer and lime impacts on edaphic mesofauna in southern Brazil loblolly pine system. *Scientia Agraria* 1–9.

Philips, J.R. (1990). *Acarina: Astigmata (Acaridida)*. U: Dindal, D.L. (ur.) *Soil biology guide*. Wiley, New York, str. 757–778.

Potapov, A.M., Sun, X., Barnes, A. D., Briones, M. J. I., Brown, G. G., Cameron, E. K., Chang, C.-H., Cortet, J., Eisenhauer, N., Franco, A. L. C., Fujii, S., Geisen, S., Gongalsky, K. B., Guerra, C., Haimi, J., Handa, I. T., Janion-Scheepers, C., Karaban, K., Lindo, Z., Mathieu, J., Moreno, M. L., Murvanidze, M., Nielsen, U. N., Scheu, S., Schmidt, O., Schneider, C., Seeber, J., Tsiafouli, M. A., Tuma, J., Tiunov, A. V., Zaitsev, A. S., Ashwood, F., Callahan, M., Wall, D. H. (2022). Global monitoring of soil animal communities using a common methodology. *Soil Organisms* 94(1):55–68.

Ranaivoson, L., Naudin, K., Ripoché, A., Affholder, F., Rabearisoa, L., Corbeels, M. (2017). Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37(26):1–17.

Ruf, A., Beck, L. (2005). The use of predatory soil mites in ecological soil classification and assessment concepts, with perspectives for oribatid mites. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 62(2):290–299.

Seastedt, T.R. (1984). The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Annual Review of Entomology* 29(1):25–46.

Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*,27(3):379–423.

Singh, P., Sharma, A. Dhankhar, J. (2022). Climate change and soil fertility. U: Vaishnav, A., Arya, S.S., Choudhary, D.K. (ur.) *Plant stress mitigators: action and application*. Springer, Singapore, str. 25–59.

Sposito, G., Chesworth, W., Evans, L., Chesworth, W., Spaargaren, O. (2008). Gleysols. U: Chesworth, W. (ur.) *Encyclopedia of Soil Science*. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht, str. 299–300.

Swift, M.J., Heal, O.W., Anderson, J.M., (1979). *Decomposition in terrestrial ecosystem*. University of California Press, Berkeley.

Urbanowski, C.K, Turczanski, K., Andrzejewska, A., Kameczyc, J., Jagodzinski, A.M. (2022). Which soil properties affect soil mite (Acari, Mesostigmata) communities in stands with various shares of European ash (*Fraxinus excelsior* L.)? *Applied Soil Ecology* 180:104663.

Uroz, S., Bispo, A., Buee, M., Cebren, A., Cortet, J., Decaëns, T., Hedde, M., Peres, G., Vennetier, M., Villenave, C. (2014). Highlights on progress in forest soil biology. *Revue Forestière Française (SP)*:73 – 82.

Veseli, D. (2022). *Indikatori degradacije tla pri različitim sustavima obrade tla*. Diplomski rad. Fakultet agrobiotehničkih znanosti, Osijek.

Wallwork, J.A. (1970). *Ecology of soil animals*. McGraw Hill, London.

Wallwork, J.A. (1976). *The distribution and diversity of soil fauna*. Academic Press, London, New York.

Zagatto, M.R.G., Niva, C.C., Thomazini, M.J., Baretta, D., Santos, A., Nadolny, H., Cardoso, G.B.X., Brown, G.G. (2017). Soil invertebrates in different land use systems: how

integrated production systems and seasonality affect soil mesofauna communities. *Journal of Agricultural Science and Technology* 7(1):158-169.

Zhang, Z.-Q. (ur.) Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. *Zootaxa* 3148(1):61.

- **Mrežne stranice**

Web 1. Northern Arizona University: Neolitska revolucija

<https://www2.nau.edu/~gaud/bio301/content/neolth.htm#:~:text=The%20Neolithic%20Revolution%20was%20the,directed%20the%20labor%20of%20their> (13.09.2024.)

Web 2. Stockton Hrvatska: biofiziološki aktivator GeO<sub>2</sub>

<https://www.stocktonhrvatska.com/geo2> (10.09.2024.)

Web 3. Chaos of Delight: grinja iz skupine Mesostigmata s ulovljenim plijenom

<https://www.chaosofdelight.org/all-about-mites-mesostigmata> (08.09.2024.)

Web 4. Senckenberg Museum of Natural History Görlitz: grinje iz skupine Oribatida

<https://www.senckenberg.de/en/institutes/museum-of-natural-history-goerlitz/abt-bodenzoologie/oribatida/> (08.09.2024.)

Web 5. Collembola.org: skokuni (Collembola) – porodice (08.09.2024.)

<https://collemboles.fr/en/classification-dna-barcode/54-families-of-springtails.html>

Web 6. Collembola.org: skokuni (Collembola) – morfologija i fiziologija

<https://collemboles.fr/en/morphology-and-physiology/55-morphology-of-arthropleones-and-symphyleones.html> (08.09.2024.)

Web 7. Collembola.org: skokuni (Collembola) – razgradnja tvari

<https://collemboles.fr/en/biotope-and-role/69-organic-decomposition.html> (08.09.2024.)

Web 8. Chaos of Delight: bezrepac (Protura)

<https://www.chaosofdelight.org/protura> (08.09.2024.)

Web 9. Chaos of Delight: dvorepac (Diplura)

<https://www.chaosofdelight.org/diplura> (08.09.2024.)

Web 10. Chaos of Delight: stonoge (Myriapoda) u mezofauni – jedinka skupine Symphyla

<https://www.chaosofdelight.org/symphyla> (08.09.2024.)

Web 11. Chaos of Delight: stonoge (Myriapoda) u mezofauni – jedinka skupine Pauropoda

<https://www.chaosofdelight.org/pauropoda> (08.09.2024.)

Web 12. ACTIVEsoil projekt: Procjena konzervacijske obrade tla kao napredne metode uzgoja usjeva i prevencije degradacije tla. Predstavljanje projekta.

[https://www.activesoil.eu/images/Promocija\\_projketa/ACTIVEsoil\\_Predstavljanje%20projekta\\_Kri%C5%BEevci-2023\\_PPT.pdf](https://www.activesoil.eu/images/Promocija_projketa/ACTIVEsoil_Predstavljanje%20projekta_Kri%C5%BEevci-2023_PPT.pdf) (10.08.2024.)

Web 13. Grad Križevci: O gradu

<https://visitkrizevci.com/o-gradu/> (10.08.2024.)

Web 14. GPS koordinate

<https://www.gps-coordinates.net/> (10.08.2024.)

Web 15. Općina Čačinci: Naselja

<https://cacinci.hr/o-opcini/naselja/> (10.08.2024)

Web 16. WRB (World Reference Base for Soil Resources)

<https://www.isric.org/explore/wrb> (19.09.2024.)

Web 17. ACTIVEsoil projekt: Procjena konzervacijske obrade tla kao napredne metode uzgoja usjeva i prevencije degradacije tla. Uvodni sastanak projektnog tima.

[https://www.activesoil.eu/images/Sastanci/ACTIVEsoil\\_HRZZ%20projekt\\_Uvodni%20sastanak\\_2021.pdf](https://www.activesoil.eu/images/Sastanci/ACTIVEsoil_HRZZ%20projekt_Uvodni%20sastanak_2021.pdf) (09.09.2024.)

Web 18. Soil BON Foodweb: protokol za izradu metalnog uzorkivača – metalni uzorkivač.  
[https://soilbonfoodweb.org/wp-content/uploads/2022/06/SBF-Team-Soil-corer\\_v1.2.pdf](https://soilbonfoodweb.org/wp-content/uploads/2022/06/SBF-Team-Soil-corer_v1.2.pdf)  
(09.09.2024.)

Web 19. . Soil BON Foodweb: shematski prikaz Tullgren/Berlese aparata za suhu ekstrakciju organizama mezofaune  
[https://soilbonfoodweb.org/wp-content/uploads/2023/04/SBF-Team-Dry-extracors-crafting\\_v1.2.pdf](https://soilbonfoodweb.org/wp-content/uploads/2023/04/SBF-Team-Dry-extracors-crafting_v1.2.pdf) (09.09.2024.)

Web 20. Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o praćenju i otpornosti tla (Akt o praćenju tla)  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52023SC0417>  
(22.09.2024.)

Web 21. Akt o praćenju tla: EU na putu prema zdravom tlu do 2050.  
<https://www.consilium.europa.eu/hr/press/press-releases/2024/06/17/soil-monitoring-law-eu-on-the-pathway-to-healthy-soils-by-2050/> (22.09.2024.)

Web 22. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (NSP – Fizički čimbenici koji utječu na organizme u tlu)  
<https://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/spi/soil-biodiversity/soil-organisms/physical-factors-affecting-soil-organisms/en/> (19.09.2024.)