

# Erozijski gubitci fosfora na tlima s različitim načinima gospodarenja na području Polače i Baćine

---

Srdoc, Tonka

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:592619>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu  
Agronomski fakultet

University of Zagreb  
Faculty of Agriculture



Diplomski studij:

Agroekologija-Agroekologija

**EROZIJSKI GUBITCI FOSFORA NA TLIMA S RAZLIČITIM  
NAČINIMA GOSPODARENJA NA PODRUČJU POLAČE I BAČINE**

DIPLOMSKI RAD

Tonka Srdoc

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Igor Bogunović

Zagreb, listopad, 2022.



Sveučilište u Zagrebu  
Agronomski fakultet

University of Zagreb  
Faculty of Agriculture



## **IZJAVA STUDENTA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

Ja, **Tonka Srdoc**, JMBAG 0125159482, rođena 29.08.1996. u Zagrebu, izjavljujem da sam samostalno izradila diplomski rad pod naslovom:

### **EROZIJSKI GUBITCI FOSFORA NA TLIMA S RAZLIČITIM NAČINIMA GOSPODARENJA NA PODRUČJU POLAČE I BAČINE**

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedina autorica ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
*Potpis studenta / studentice*





Sveučilište u Zagrebu  
Agronomski fakultet

University of Zagreb  
Faculty of Agriculture



## IZVJEŠĆE

### O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta/ice **Tonka Srdoc**, JMBAG 0125159482, naslova

#### **EROZIJSKI GUBITCI FOSFORA NA TLIMA S RAZLIČITIM NAČINIMA GOSPODARENJA NA PODRUČJU POLAČE I BAĆINE**

obranjen je i ocijenjen ocjenom \_\_\_\_\_, dana \_\_\_\_\_.

Povjerenstvo:

1. izv. prof. dr. sc. Igor Bogunović mentor
2. prof. dr. sc. Željka Zgorelec član
3. doc. dr. sc. Lana Filipović član

potpisi:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ZAHVALA

Zahvaljujem svom mentoru izv. prof. dr. sc. Igoru Bogunoviću što mi je omogućio da sudjelujem u ovom istraživanju i završim studij s temom koja mi je izuzetno zanimljiva te mi mudrim savjetima i stručnim primjerima olakšao pisanje rada. Također, hvala asistentu Ivanu Duganu za pomoć u prikupljanju i sistematizaciji podataka istraživanja i ugodno društvo pri radu u laboratoriju.

Hvala i prof. dr. sc. Željki Zgorelec na pomoći koju mi je pružila u nekoliko ključnih navrata tijekom studija te što me između ostalog i uputila mentoru.

Veliko hvala i svim ostalim profesorima i djelatnicima Fakulteta koje sam imala priliku upoznati i slušati tijekom diplomskog studija, na iskrenom trudu u prenošenju znanja poštovanim studentima i što s veseljem rade na poboljšanju svog rada i rada Fakulteta.

Zahvaljujem obitelji i prijateljima što mi dopuštaju da ostanem vjerna sebi, održim obećanja i ostvarim svoje želje. Hvala i Bogu što mi je omogućio da budem strpljiva i konačno privedem studentski život kraju :-)

Na kraju, hvala tlu što (nas) povezuje, gordo podsjeća na povijest i što nam unatoč svemu pruža najveće od svih blaga.

## **Sadržaj**

<b>1. Uvod</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Pregled literature</b>	<b>2</b>
<b>1.1.1. Uzroci i posljedice erozije tla vodom</b>	<b>2</b>
<b>1.1.2. Konvencionalno i konzervacijsko gospodarenje tlom</b>	<b>5</b>
<b>1.1.3. Kruženje fosfora i gubici erozijom</b>	<b>10</b>
<b>1.2. Hipoteza i ciljevi istraživanja</b>	<b>15</b>
<b>2. Materijali i metode istraživanja</b>	<b>16</b>
<b>2.1. Lokacije istraživanja, klima i tlo</b>	<b>16</b>
<b>2.2. Eksperimentalni dizajn, terenska mjerenja i uzorkovanja</b>	<b>18</b>
<b>2.3. Laboratorijske analize i statistička obrada</b>	<b>19</b>
<b>3. Rezultati</b>	<b>22</b>
<b>4. Rasprava</b>	<b>27</b>
<b>5. Zaključak</b>	<b>29</b>
<b>6. Literatura</b>	<b>30</b>
<b>Životopis</b>	<b>35</b>

## Sažetak

Erozija tla vodom pojačana je lošim gospodarenjem tlom i neodgovarajućim poljoprivrednim praksama. Među posljedicama erozijskog procesa ističu se odnošenje tla i hraniva, od kojih osobito zabrinjava fosfor kojeg je prirodno u tlima sve manje. U ovu svrhu pristupilo se mjerenjima potencijalne erodibilnosti na tlima s različitim načinima gospodarenja. Prikupilo se 48 uzoraka tala i obavile kišne simulacije u Polači (Zadarska županija) u travnju te u Baćini (Dubrovačko-neretvanska županija) u listopadu 2021. godine. Na terenu je zabilježeno vrijeme saturacije tla i otjecanja površinske vode, a uzorcima tla su laboratorijski određeni važniji fizikalno-kemijski parametri. Zatravljeni tretmani pokazali su značajne razlike u sadržaju organske tvari (2,05 % u Polači i 2,51 % u Baćini) i vode u tlu (28,16 % i 38,4 %) te kapaciteta tla za vodu (34,06 % i 44,4 %), u odnosu na obrađeno tlo. Među istim tretmanima utvrđene su i značajne razlike u vremenu saturacije tla (u Polači gotovo tri puta dulje za zatravljeni tretman), te gubitku sedimenta (dvostruko manje iz tala s travom). Erozijski gubitci fosfora gotovo su dvostruko manji u uzorcima pod konzervacijskim načinom gospodarenja. U Polači je najveća vrijednost fosfora u sedimentu određena kod uzoraka malčiranih sijenom i iznosi 0,015 kg/ha, a najmanja za zatravnjeni tretman gdje se nisu mogle utvrditi značajnije koncentracije. U Baćini su najveći erozijski gubitci fosfora uočeni za tretmane obrađenog tla i slamnatog malča s vrijednosti od 0,014 kg/ha, dok se iz uzoraka malčiranih sijenom nije sakupio sediment pa se i gubitci fosfora smatraju spriječenima. U Polači je utvrđena jaka pozitivna korelacija (0,56) koncentracije ukupnog fosfora u tlu i sadržaja u vodi stabilnih agregata dok ostali parametri ne koreliraju s koncentracijom fosfora u tlu i sedimentu. Malčevi na površini tla su pokazali značajno smanjenje površinskog oteka u odnosu na obrađeno tlo. Zatravljivanje ili malčiranje tla pokazalo se kao dobra praksa za kontrolu erozije.

**Ključne riječi:** konzervacijsko gospodarenje tlom, kišne simulacije, pokrov, hranivo



## Summary

Soil water erosion is intensified by poor soil management and inappropriate agricultural techniques. Consequences of erosion process include the loss of sediment and nutrients, of which phosphorus is especially important, due to its decline in natural soil resources. For this purpose, measurements of potential erodibility on soils with different management were undertaken. 48 samples of soil were collected and rainfall simulation was done in Polača (Zadar county) in April and in Baćina (Dubrovnik-Neretva county) in October of 2021. Ponding time and runoff time were measured on field and relevant physical and chemical properties were determined in the laboratory. The grass covered treatments (GCT) showed significant differences in the soil organic matter content (2.05% in Polača and 2.51% in Baćina) and soil water content (28.16% i 38.4%) as well as water holding capacity of the soil (34.06% i 44.4%) compared to tilled soil. Significant differences in ponding time (almost three times longer for grass covered treatment in Polača) and sediment loss (two times less in GCT) were found among the same treatments. Erosion losses of phosphorus are almost twice as low in samples under conservation management. In Polača, the highest value of phosphorus in sediment was determined for samples mulched with hay at the amount of 0.015 kg/ha and the lowest value was noted for GCT where significant concentrations could not be determined. In Baćina, the highest erosion losses of phosphorus were observed for treatments of tilled soil and straw mulch with a value of 0.014 kg/ha, while no sediment was collected from samples mulched with hay, so phosphorus losses are also considered prevented. A strong positive correlation (0.56) is determined between the concentration of phosphorus in the soil and the content of water stable aggregates in Polača, while other parameters do not correlate with the concentration of phosphorus in soil and sediment. Mulches showed a significant reduction in the volume of water runoff compared to cultivated soil. Grass covering or mulching showed to be a good erosion control practice.

**Keywords: conservational soil management, rainfall simulations, cover, nutrient**

## 1. Uvod

Neosporno je da smo posljednjih nekoliko godina svjedoci različitih promjena. Klimatske, demografske, tehnološko-gospodarske i ekonomske razlike međusobno su povezane zbog čega je iznimno važno posvetiti se istraživanju utjecaja tih promjena na određene prirodne procese i sastavnice okoliša. Na taj je način moguće procijeniti odmak od stanja koji je prirodno nadomjestiv, odnosno potrebnu količinu energije i ulaganja za popravak i uravnoteženje okolišnog sustava čime se osigurava dovoljna količina resursa za korištenje i daljnju preradu.

Odabrani način gospodarenja tлом najčešće ovisi o individualnim mogućnostima i potrebama poljoprivrednika, marketinškim trendovima i promocijama. Konvencionalni način gospodarenja tлом uključuje višestruku mehaničku obradu tla pri čemu se mijenjaju svojstva tla koja utječu na daljnje procese u tlu i biljku. S druge strane, konzervacijskim načinima gospodarenja nastoji se minimalizirati mehanička obrada, odnosno sačuvati strukturu tla a time i gubitke tvari koje smo primijenili, a koje su osim za biljku, nužne i za održavanje povoljnih uvjeta u tlu. Strana iskustva navode da različit odabir malčeva ili ostavljanje samonikle vegetacije može pridonijeti ostvarenju tih ciljeva (Bidoccu i sur. 2016, Cássaro i sur. 2010, de Oliviera i sur. 2022).

Erozijski gubitci vrijednih nutrijenata, jedan su od glavnih uzroka osiromašenja i degradacije tala. Uslijed intenzivnih kiša koje učestalošću odskaču od do sada uobičajenih sezonskih trendova, tla na nagibima gube organsku tvar i biljne nutrijente, narušava se njihova struktura, a dolazi i do premještanja dijela gornjeg površinskog sloja tla i njegovog taloženja na udaljena mjesta. Erozijska tla vodom može se dogoditi prilikom udaranja kiše od ogoljeno tlo – plošna erozija, površinskim otjecanjem ili u obliku toka kanala koji ovisno o jačini i trajanju kiše mogu biti vododerine, jarci ili gudure (Kisić 2012).

Fosfor i njegovi spojevi sudjeluju u gotovo svim važnim procesima u biljci, od kojih najvažniju ulogu ipak imaju u energetske molekuli ATP-a. Zato je upravo fosfor, uz dušik i kalij, najčešći ograničavajući nutritivni čimbenik rasta i razvoja biljke (Elser 2012). Uzevši u obzir topljivost fosforovih spojeva u vodi, mjerama sprječavanja erozije može se smanjiti gubitak fosfora iz tala i potreba za korištenjem fosfornih gnojiva (Walker 2015).

Proučavanje međuovisnosti načina gospodarenja tлом, odnosno vrste malča i drugih konzervacijskih mjera očuvanja tla, ključno je za donošenje ekonomičnih i ekološki povoljnih odluka kojima će se održati stabilnost agro-ekosustava, ali i osigurati stabilni prinosi i kvaliteta usjeva. Iako je konzervacijski način gospodarenja tлом naizgled jednostavniji i pristupačniji, rezultati primjene istog gospodarenja ne postižu svuda iste rezultate, te je potrebno posvetiti se pojedinačnim istraživanjima promjene stanja tla pri određenim uvjetima okoliša kako bi doneseni zaključci i odabrane mjere imali maksimalno povoljan utjecaj na proizvodnju i prodaju, odnosno konzumaciju dobara.

Tla Jadranske Hrvatske sklonija su erozijskim gubitcima zbog nagnutih terena, malog sadržaja organske tvari u tlima, intenzivnih pljuskova i primjetnog sadržaja skeleta koji pospješuju površinsko otjecanje. Prema tome, istraživanja tala s područja Jadranske Hrvatske važna su da bi mogli determinirati i preporučiti ispravan način gospodarenja za poljoprivrednike.

## 1.1. Pregled literature

### 1.1.1. Uzroci i posljedice erozije tla vodom

Intenzitet erozije tla vodom ovisi o tri okolišne komponente: tlu, vodi i biljci. Voda u erozijskom procesu ima dvostruku ulogu jer pokreće proces u obliku kiše i vode koja otječe po površini tla, a biljka se prirodno u taj proces upliće. Ako tlo nije nagnuto ili izloženo kontaktu s vodom, erozija će biti minimalna ili je neće uopće biti. Na gornjem dijelu terena na nagnutim tlima započinje stvaranje malih vodenih tokova koji translokacijom niz padinu dobivaju na volumenu i snazi odnosno brzini toka, obzirom na to da se spajaju s drugim okolnim tokovima i primaju nove količine kiše. Ako kiša padne na golo tlo, kinetičkom energijom kapljica slabi strukturne agregate pa se čestice tla lakše odvajaju od strukturnih agregata i odnose vodom. Tok vode postaje erozivan kada njegovo strujanje iz laminarnog pređe u turbulentno, odnosno pri velikim volumenima vode obilnih kiša i na strmijim nagibima (Cook 1938). Osim negativnih djelovanja ovih procesa, postoje i oni suprotni. Erozijska tla vodom ne mora uvijek biti nepoželjan proces, obzirom na to da je riječna erozija odgovorna za prijenos i nanos čestica koje grade brojna tla.

Nagib tla jedan je od glavnih čimbenika koji uvjetuje pokretanje i razvoj erozije tla vodom. Utječe na količinu nakupljene vode na površini tla, dubinu i brzinu erozijskog toka te smično naprezanje tla. Kritičan nagib tla ponajviše je određen veličinom čestica, volumnom gustoćom te teksturom površine tla, a uglavnom se kreće između 41,5 i 50 ° (Liu i sur. 2001).

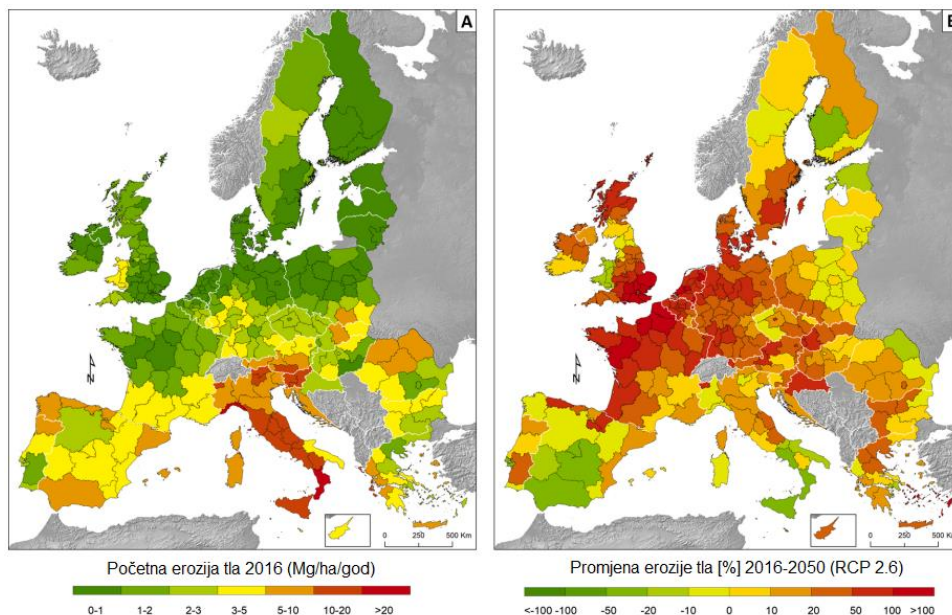
Intenzitet erozije tla vodom također se razlikuje ovisno o načinu korištenja tla. S obzirom na čestu obradu te uklanjanje žetvenih ostataka s površine, oranična tla vrlo su osjetljiva na eroziju tla vodom pa su kao takva i najčešći predmet istraživanja erozijskih gubitaka. Sa svjetskih tala pod jednogodišnjim oraničnim usjevima, prosječno se izgubi 30 t/ha sedimenta, ali vrijednost može dosegnuti i 400 t/ha (Pimentel i sur. 1995). Navedeni gubitci osobito su značajni na tlima s redovima usjeva jer tada vegetacija pokriva najmanju površinu tla (Southgate i Whitaker 1992). Prema istraživanju Niu i sur. (2021), u voćnjacima je primijećen prosječan godišnji gubitak sedimenta erozijom tla vodom između 20 i 50 t/ha, s maksimalno zabilježenom vrijednosti od 200 t/ha. Vinogradi su osobito zanimljivi jer su često smješteni na strmijim tlima i zahtijevaju čestu obradu i prolaz mehanizacije. U Italiji vinogradi pokazuju gubitke sedimenta i do 48 t/ha (Biddoccu i sur. 2016).

Granulometrijski sastav tla također je jedan od čimbenika koji određuje intenzitet erozije i količinu erozijskih gubitaka. Struktura i tekstura tla najprije utječu na infiltracijsku

sposobnost tla pri čemu su propusna tla manje osjetljiva na površinsku eroziju i stvaranje kanala, a teže propusna tla otpornija su na plošnu eroziju (Campbell 1985). Što su čestice tla većih dimenzija, to je manja njihova aktivna površina i može se reći da je tlo otpornije na eroziju utoliko što je veća šansa za stvaranjem svojevrsnog zaštitnog sloja koji će spriječiti daljnji razvoj procesa erozije. Također je utvrđeno kako je sediment koji je već premješten erozijom manje otporan na daljnju eroziju nego u početnoj fazi (Zachar 1985).

Prema glavnim čimbenicima koji utječu na eroziju tla vodom izrađeni su različiti modeli i jednadžbe koje procjenjuju gubitak tla vodom. Trenutno se najviše koristi RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) jednadžba koja u obzir uzima erozivnost kiše i vode koja otječe, erodibilnost tla i njegov nagib te pokrov i način gospodarenja tlom. U RUSLE proračun ulazi trajanje i brzina padanja kiše, tekstura i permeabilnost tla te struktura agregata, dužina i stupanj nagiba, postojanje i količina pokrova i različite aktivnosti poduzete za kontrolu erozije (Artiola i sur. 2019). Kao glavni nedostatak ovog modela ističe se zanemarivanje vrste erozije koja prevladava na određenom području iako se može reći kako je riječ o istoj eroziji koja se zbog različitog intenziteta kiše i vode koja otječe po površini tla, vizualno razlikuje. Osim toga, postoji i LANDUM model za procjenu gubitka tla uzrokovanog neodgovarajućim korištenjem i gospodarenjem tlom, a temelji se na pregledu do tada izdane znanstvene literature, satelitskih snimanja visoke rezolucije i statističkim podacima o poljoprivrednim aktivnostima i načinima gospodarenja tlom (Panagos i sur. 2015).

Obzirom na to da je kiša pokretačka snaga procesa erozije tla vodom, a da je fizikalno-kemijska svojstva tla teško kontinuirano mijenjati kako bi se održali optimalni uvjeti, najviše znanstvenog interesa posvećeno je faktoru erozivnosti kiše te učinku pokrova i načina gospodarenja tlom na smanjenje erozijskih gubitaka. Prema istraživanju Panagosa i sur. (2015), erozivnost kiša na području Europe bit će različita ovisno o geografskom položaju i dobu godine što znači da će biti teže predvidjeti i pripremiti se za iznenadne obilne pljuskove, odnosno rasti će potreba za lokalnim istraživanjima kako bi se erozijski gubici što je više moguće smanjili. Usporedni prikaz nedavnog stanja intenziteta erozije tla vodom u Europi i predviđanja modela može se vidjeti na slici 1.1 pomoću kromatske skale.



**Slika 1.1.** Procjena promjene intenziteta erozije tla vodom na području EU u nadolazećim desetljećima. Slika A prikazuje stanje erozije tla vodom na području država Europske unije 2016. godine, a slika B procjenu promjene intenziteta erozije tla vodom u scenariju s koncentracijskom putanjom stakleničkih plinova vrijednosti 2.6. za razdoblje do 2050. godine  
Izvor: Panagos i sur. 2021 (prilagodila Tonka Srdoc)

Prikaz se odnosi na procjenu s reprezentativnom koncentracijskom putanjom stakleničkih plinova u najblažem scenariju. Može se zaključiti kako će područja koja trenutno trpe značajnije posljedice erozije tla vodom, u budućnosti s istom imati manje problema i obrnuto, zahvaljujući preraspodjeli učestalosti i snage oborina nad kopnom. Na primjer, model predviđa promjenu stanja intenziteta erozije tla vodom u Slavoniji za više od 50 % što bi tlo toga područja svrstalo u kritičniju kategoriju s brojnim negativnim posljedicama. Obalna i priobalna tla Hrvatske će, prema rezultatima projekta, ostati s nepromijenjenim ili minimalno drugačijim uvjetima erozije i intenziteta posljedica.

Tolerancija tla na eroziju označava količinu tla bez koje je i dalje moguća normalna i učinkovita proizvodnja. U uvjetima pravilnog rasporeda intenziteta i učestalosti oborina moguće je predvidjeti količinu i značaj gubitaka sedimenta i vode erozijom te mjesto njihovog taloženja.

Gubitak hraniva u jednakim klimatskim i reljefnim uvjetima ovisi ponajprije o gnojidbi i prisutnoj vegetaciji. Ipak, pojedini minerali sastavni su dio tala shodno građi matičnog supstrata i tipu tla. Ispiranje takvih spojeva teže je nadomjestivo i može utjecati i na zadržavanje biljnih hraniva dodanih gnojidbom.

Treba obratiti pozornosti i na utjecaj kiše na infiltraciju vode kroz tlo. Udar kišnih kapi nepovoljno utječe na stabilnost agregata tla zbog čega se tlo zbije što znatno otežava infiltraciju. Također, veće brzine površinskog otjecanja mogu promijeniti strukturu i poroznost tla što utječe na učinkovitost infiltracije (Ellison 1945). Tla građena od sitnijih čestica (praškasta tla) imaju veću sklonost stvaranju površinskog otjecanja i manjoj infiltraciji

(DeBano 1981). Isto vrijedi i za vrlo suha tla ili tla čija je vegetacija izgorila u požaru (Doerr i Thomas 2000). Sadržaj vode u tlu, te količina biomase ispod površine tla uvelike utječu na stopu infiltracije pri čemu je sadržaj vode u tlu u negativnoj, a rizosferna biomasa u pozitivnoj korelaciji sa stopom infiltracije. U početnoj fazi, veći utjecaj na intenzitet procesa infiltracije ima sadržaj vode u tlu dok kasnije ograničavajući faktor postaje razvijenost korijenovog sustava (Liu i sur. 2019).

S obzirom na prostornu različitost otpornosti tla na eroziju, voda na površini tla teći će uvijek u smjeru u kojem je otpor minimalan. Veća količina površinske vode sa sobom ima sposobnost odnijeti veće koncentracije sedimenta, ali to ne mora uvijek biti pravilo (Wu i sur. 2018). Manje čestice tla prenose se lakše od većih i težih, a brži tok vode može nositi veće koncentracije sedimenta. Sukladno navedenom, površinsko otjecanje postaje zasićenije sedimentom kako prelazi veće udaljenosti (Artiola i sur. 2019).

Površinsko otjecanje i količina erodiranog sedimenta blisko su povezane vrijednosti i mogu se opisati različitim linearnim ili eksponencijalnim jednadžbama, ovisno o koncentraciji sedimenta i intenzitetu kiše (Wu i sur. 2018). Prema Yoderovom istraživanju iz 1936. godine, agregirana tla pokazuju gubitke erozijom isključivo u obliku u vodi stabilnih agregata. Pri predviđanju i modeliranju količine nakupljene vode na površini tla, koriste se vrijednosti intenziteta oborina, potrebe tla za vodom, gruboće površine, te biljnih ostataka na površini tla i prisutne vegetacije (Merritt i sur. 2003).

Na intenzitet erozije i značaj erozijskih gubitaka utječu brojni čimbenici pa je za točnu interpretaciju potrebno provoditi lokalna istraživanja, dok se za procjene mogu koristiti matematički modeli i satelitske snimke.

### 1.1.2. Konvencionalno i konzervacijsko gospodarenje tlom

Odabir načina gospodarenja tlom uvelike utječe na fizikalna, kemijska i biološka svojstva tla, a o prihvatljivosti pojedinih praksi gospodarenja će ovisiti troškovi i zarada poljoprivrednika, stanje okoliša toga i obližnjih područja te sigurnost i kvaliteta proizvoda i lokalnih resursa.

Konvencionalno gospodarenje tlom najčešće podrazumijeva mehaničku obradu tla u nekoliko navrata godišnje, a uključuje intervencije suzbijanja korova obradom ili herbicidima, te korištenje mineralnih gnojiva (Sumberg i Giller 2022). Kao dio takve definicije naglašavaju se negativni utjecaji koje nepotrebna ili prečesta obrada tla, te prekomjerno korištenje agrokemikalija imaju na svojstva tla i usjeva. To obuhvaća narušavanje strukture tla, gubitak bioraznolikosti, vode, hraniva i organske tvari, porast troškova mehanizacije i gnojiva, pojačanu osjetljivost tla na eroziju i dr. (Farooq i Siddique 2015).

Iako to ne mora nužno biti netočno, treba istaknuti kako pojam konvencionalne poljoprivrede i konvencionalnog gospodarenja tlom, obuhvaća niz različitih poljoprivrednih strategija, ali se često u raspravama doživljava isključivo. U engleski jezik uvriježio se početkom 20. stoljeća kada je opisivao svakodnevnu, uobičajenu poljoprivrednu praksu, a nešto drugačije počinje se doživljavati pojavom hidroponskog uzgoja (Sumberg i Giller 2022). Često se definira i kao opreka alternativnom ili konzervacijskom gospodarenju što se u

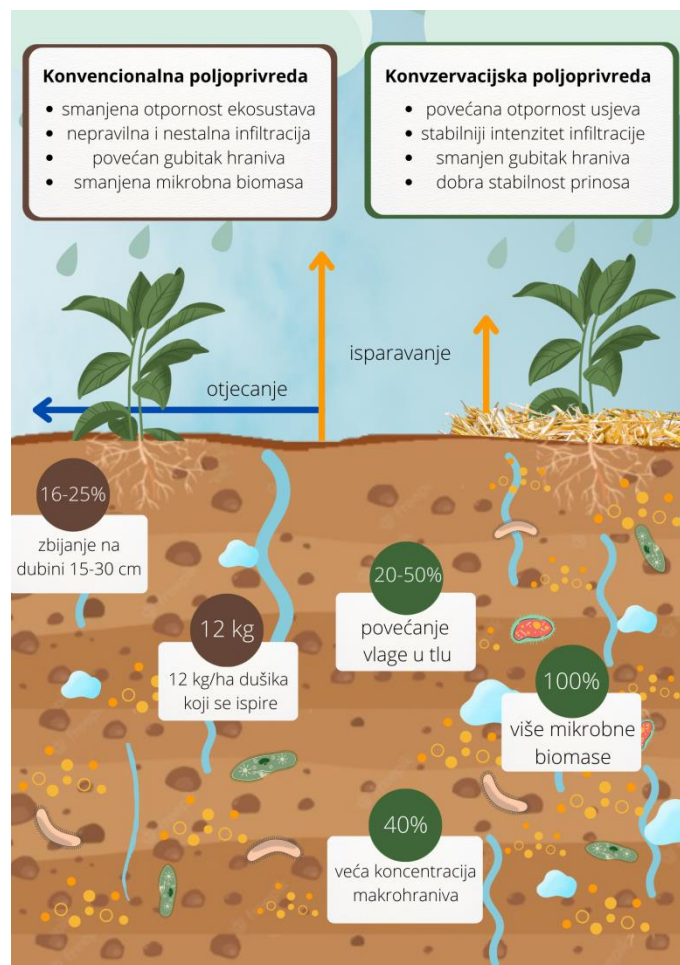
nedostatku konteksta može doživjeti kao izuzimanje pozitivnih strana svakog od načina djelatnosti iz onog drugog. Najosnovnije poimanje poljoprivredne znanosti uključuje suradnju različitih vrsta života i njihovih staništa, ali modernom tehnologijom utvrđena je velika uloga koju najsitniji organizmi imaju na procese u tlu i biljci, te stabilnost ekosustava, ali i njihova visoka osjetljivost na promjene uvjeta u svojoj okolini.

Konzervacijski način gospodarenja tлом počiva na četiri elementa: minimalnom zadiranju u tlo, korištenju trajnog pokrova, raznolikoj rotaciji usjeva, te integriranoj kontroli štetočina i korova. Izostanak obrade tla povoljno utječe na očuvanje fizikalno-kemijskih svojstava tla te na smanjenje gubitka vode i sedimenta otjecanjem (Serraj i Siddique 2012). Korištenje trajnog organskog pokrova ili malčeva pokazuje bolje vrijednosti stope infiltracije i dugoročno povećanje sadržaja organske tvari tla (Unger i sur. 1988). Nadalje, pokrov sprječava pojavu korova tako što onemogućuje prolaz svjetlosti do sjemena korova i kompeticijski smanjuje dostupna hraniva (Hobbs i sur. 2008). Rotacijom usjeva postiže se razgranata mreža korijenja i makropora u tlu što pospješuje infiltraciju vode u dublje slojeve tla (Howard 1996). Također, rotacijama usjeva se povećava mikrobna raznolikost čime se kontrolira pojava stranih patogena i razvoj bolesti (Leake 2003).

Najveća razlika u bioraznolikosti pri konvencionalnom i konzervacijskom gospodarenju tлом upravo je u količini mikrobne biomase. Mikroorganizmi su zaslužni za razlaganje organske tvari, kruženje nutrijenata i biotransformaciju organskih onečišćivala čime osiguravaju održivost i samoregulaciju ekosustava. Broj i aktivnost živog svijeta u tlu utječe na količinu i kvalitetu organske tvari u tlu, ali i obrnuto (Thiele-Bruhn i sur. 2012). Prema tome, moguće je pojedine indikatore bioraznolikosti koristiti kao mjerilo onečišćenja okoliša. Konvencionalnom obradom tla uništava se ili oslabljuje dio mikrobne populacije tla što utječe na ishod procesa u kojima ti mikroorganizmi sudjeluju.

Fizikalna svojstva tla izrazito su važna jer uvelike diktiraju ponašanje biološke komponente sustava, a povezana su i s kemijskim svojstvima. Struktura i tekstura tla utječu na broj, veličinu i raspodjelu pora u tlu što direktno utječe na kapacitet tla za zrak i vodu, te stupanj infiltracije vode (Campbell 1985). Povoljni fizikalni i kemijski uvjeti stvaraju ugodne okolišne uvjete za rast i razvoj mikroorganizama. Konvencionalno gospodarenje tлом u pogledu čestog prolaska mehanizacije uništava strukturu tla zbog čega potencijal infiltracije varira tijekom sezone, smanjuje se prosječna veličina čestica tla, a na najčešćoj dubini obrade može doći do zbijanja horizonta, odnosno stvaranja tabana pluga (Kihara i sur. 2019). Makroporoznost je svedena na dublje slojeve i kod konvencionalnog i kod konzervacijskog načina upravljanja tлом, ali površinska mikroporoznost znatno je povoljnija u tala pod konzervacijskim načinom gospodarenja (Cássaro i sur. 2011).

Slika 1.2. prikazuje usporednu shemu glavnih značajki konvencionalnog i konzervacijskog načina gospodarenja tлом s podacima o obujmu razlike prema rezultatima SIMLESA-II projekta (Kihara i sur. 2019).



**Slika 1.2.** Glavne razlike konvencionalnog i konzervacijskog načina gospodarenja tlom  
Izvor: Kihara i sur. 2019 (prilagodila Tonka Srdoc)

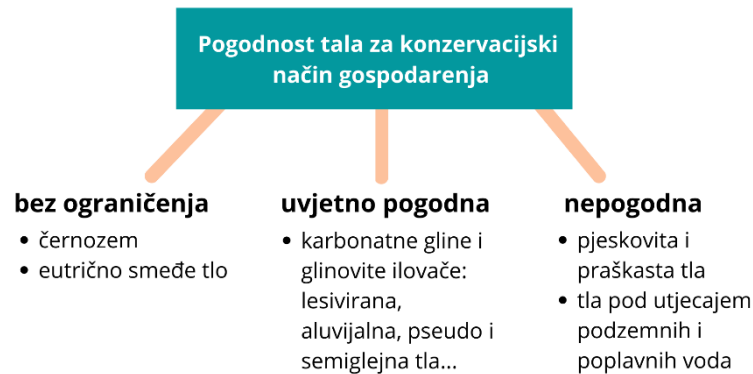
Iz slikovnog prikaza vidljivo je kako se korištenjem malča ili pokrovnih kultura smanjuje evaporacija i površinsko otjecanje što rezultira značajnim povećanjem vlage u tlu. Konvencionalni način gospodarenja tlom često rezultira ispiranjem hraniva u dublje slojeve pa se i mikrobna biomasa uglavnom koncentrira u dubljim dijelovima soluma tla čime se osiromašuje površinski horizont i otežava komunikacija s populacijama iz zone rizosfere.

Porastom cijena goriva i posljedicama prvih velikih suša počinje zanimanje za nove poljoprivredne strategije. Konzervacijska obrada tla predstavlja se kao koncept poljoprivredne proizvodnje kojim se pomoću praksi minimalne obrade, trajnog pokrova i rotacijom usjeva smanjuju gubitci i degradacija tala. Temelj održivosti počiva na korištenju kvalitetnog sjemena te integriranom sustavu upravljanja vodom, nutrijentima i kontrolom korova i štetočina (Farooq i Siddique 2015). Takav pristup veći značaj pridaje dugoročnoj kvaliteti i stabilnosti usjeva uz postupni porast prinosa.

Ovisno o svojstvima i namjeni tla, odabire se način kojim će se tlom i usjevima gospodariti s nastojanjem da se na određenom području što je više moguće povećaju pozitivni učinci odabrane strategije, odnosno smanje gubitci i štete. Prema tome, očito je da nije moguće poopćavati jednu strategiju gospodarenja za sve vrste tala. Ovisno o pogodnosti



konzervacijskog načina gospodarenja tлом, tla Hrvatske mogu se grubo razvrstati u tri kategorije kako je prikazano na slici 1.3.



**Slika 1.3.** Shematski prikaz kategorija pogodnosti tala za konzervacijski način gospodarenja  
Izvor: Jug i sur. 2015 (prilagodila Tonka Srdoc)

Gospodarenje tлом bez ili s minimalnom mehaničkom obradom štedi energiju, vrijeme i novac (Nicolosi i sur. 2021). Uz to, djeluje povoljno na porozitet tla, osobito kontinuitet pora u tlu, što osigurava uravnoteženu infiltraciju (de Oliviera i sur. 2022). Primijećeno je da dolazi do povećanja volumne gustoće u gornjim slojevima tla koji se ne obrađuju, ali to nadoknađuje povećana biološka aktivnost kojom se sprječava imobilizacija i nakupljanje korisnih spojeva, a fauna tla rahli i miješa tlo (Nicolosi i sur. 2021). Metoda gospodarenja tлом bez obrade odnosi se na direktnu sjetvu (engl. no-tillage) bez prethodne obrade, odnosno rahljenja ili miješanja tla. Obavlja se posebnim pneumatskim sijačicama, a za takvu sjetvu važno je da je tlo u sjetvenom sloju vlažno, a mrvičasto na površini, kao i da nema prisutnih korova. Multifraktalnom analizom pora među tlima s različitim načinom gospodarenja, uočene su sličnosti između tala s konvencionalnom i minimalnom obradom te između tala s konzervacijskim gospodarenjem i onih pod šumom (de Oliveira i sur. 2022). Ova saznanja navode da tla pod konzervacijskim načinima gospodarenja tлом vrlo dobro odgovaraju svojstvima prirodnih šumskih tala.

Vegetacijski pokrov, žetveni ostatci ili druge vrste malča štite tlo od energije udara kišnih kapi i usporava tok vode koja površinski otječe niz teren ili u vodotoke, a istovremeno se poboljšava infiltracija vode i čuva struktura tla (Panagos i sur. 2015). Pokriveno tlo ima manje raspone u temperaturnim ekstremima i sadržaju vlage te manji rizik od stvaranja pokorice, ispiranja nutrijenata i gubitka vode i sedimenta. Sadržaj organske tvari u tlu manji je s trajnim malčem nego kada bi se žetveni ostatci unijeli u tlo, ali se organska tvar brže i učinkovitije razlaže. Sjetvom leguminoza koje fiksiraju dušik, tlo se dodatno obogaćuje. Neovisno o vrsti malča, isti je potrebno redovito nadomještati kada se primijeti da je razložen. Malčiranje može pomoći bržem klijanju i razvoju klijanaca, ali djeluje jednako i na rast korova (Farooq i Siddique 2015). Suzbijanje biljnih bolesti i kontrola korova najveći su izazovi za strategiju konzervacijskog gospodarenja tлом. Stoga se dobrim planiranjem

rotacije usjeva nastoji izbjeći ponovljena invazija štetočina i kontrolirati pojava korova, iako se ne zadržava od korištenja kemijskih sredstava (Farooq i Siddique 2015). Najčešći oblici malča kod konzervacijskog načina gospodarenja na poljoprivrednim tlima su slama, sijeno, pokošena trava te žetveni ostaci. Iskustveno je poznato kako je slama suha, ne zadržava vodu i nema nutritivnu vrijednost, za razliku od sijena koje rado prima vodu i sadrži značajne količine nutrijenata, osobito dušika.

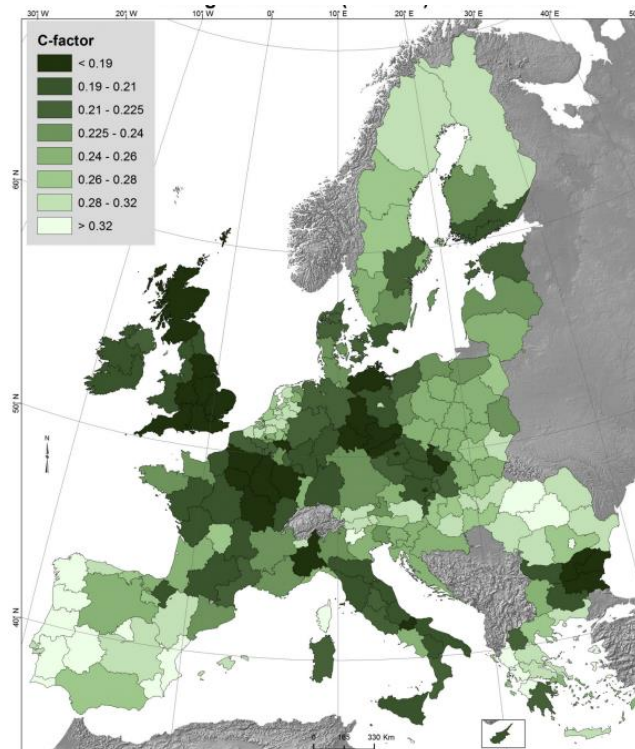
Čimbenik vegetacijskog pokrova i gospodarenja tлом (u RUSLE jednadžbi zvan C-faktor) prema definiciji uključuje dvije promjenjive varijable. Kvantificira se na temelju vrste pokrova prisutnog na određenom poljoprivrednom zemljištu i načina gospodarenja tлом s ciljem smanjenja erozijskih gubitaka. Rasponi vrijednosti C-faktora za tla s različitim vegetacijskim pokrovima prikazani su u tablici 1.1. gdje CLC razred (engl. *CORINE land cover*) označava kategorije zemljišnog pokrova prema standardiziranoj CORINE nomenklaturi.

**Tablica 1.1.** Raspon vrijednosti C-faktora za pojedine grupe vegetacije  
Izvor: Panagos i sur. 2015

Grupa	CLC razred	Opis razreda	C-faktor
Trajni usjevi	221	vinogradi	0,15-0,45
	222	nasadi voća i šumskog voća	0,1-0,3
Pašnjaci	223	maslinici	0,1-0,3
	231	pašnjaci	0,05-0,15
Heterogena poljoprivredna područja	241	godišnji usjevi povezani s trajnim	0,07-0,35
	242	složeni uzgojni obrasci	0,07-0,2
	243	poljoprivredno tlo i prirodna vegetacija	0,05-0,2
	244	agrošumarstvo	0,03-0,13
Šume	311	širokolisne šume	0,0001-0,003
	312	crnogorične šume	0,0001-0,003
	313	mješovite šume	0,0001-0,003
Raslinje i travne zajednice	321	prirodni travnjaci	0,01-0,08
	322	močvare i vrištine	0,01-0,1
	323	sklerofilna vegetacija	0,01-0,1
	324	prijelazno šumsko grmlje	0,003-0,05
Otvorena područja s malo ili nimalo vegetacije	331	plaže, dine, pijesci	0
	332	golo kamenje	0
	333	rijetka vegetacija	0,1-0,45
	334	izgorena područja	0,1-0,55
	335	ledenjaci i stalni snijeg	0

Točna vrijednost C-faktora za pojedinu vrstu vegetacijskog pokrova ovisi o gustoći pokrova i načinu gospodarenja i uporabe tla. Vrijednosti C-faktora za način gospodarenja tлом, kreću se od 0,25 za tla bez obrade, preko 0,35 za tla s minimalnom (konzervacijskom) obradom do 1 za tla s konvencionalnom obradom. Slika 1.4. prikazuje područja jednakih vrijednosti C-

faktora obradivih tala na području Europske unije. Hrvatska je svrstana u kategoriju vrijednosti C-faktora između 0,26 i 0,28 što znači da se prevladavajućim vegetacijskim pokrovom i načinom obrade tla, erozija smanjuje za 26 – 28 % u odnosu na uvjete tla na ugaru.



**Slika 1.4.** Faktor pokrova i gospodarenja tлом na području obradivih tala EU  
Izvor: Panagos i sur. 2015

### 1.1.3. Kruženje fosfora i gubici erozijom

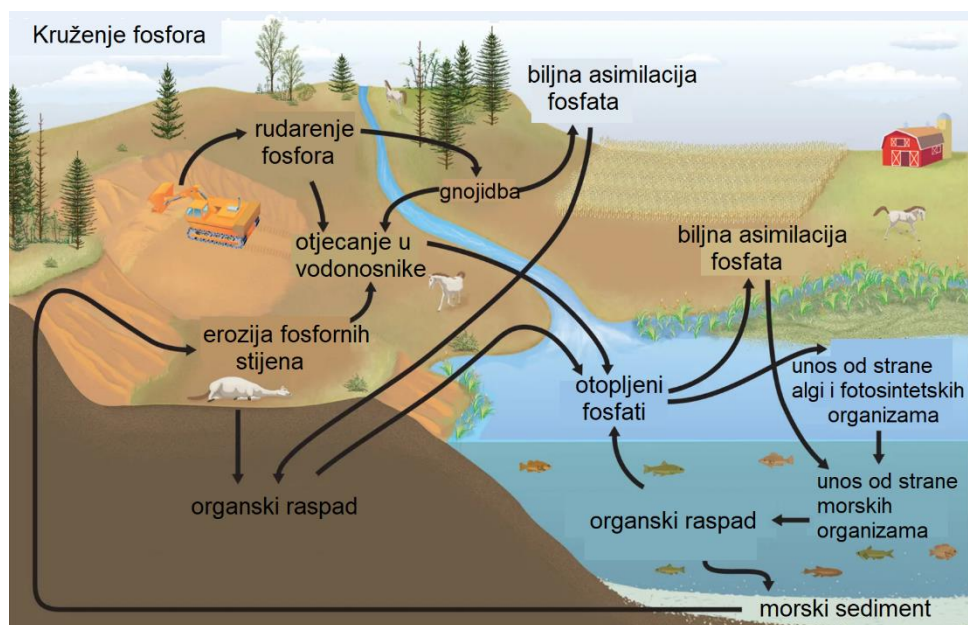
Pojam biogeokemijskog kruženja fosfora odnosi se na kretanje fosfornih spojeva kroz litosferu, hidrosferu i biosferu. Fosforni spojevi uglavnom su u krutom agregatnom stanju, osim otrovnog i nestabilnog plina fosfina koji nastaje u posebnim slučajevima. Prema tome, atmosfera u fosforom ciklusu ima zanemarivo značenje.

Iako nije primaran izvor energije za mikrobiološke procese, biota tla iznimno je važna za kruženje fosfora obzirom da izravno utječe na topljivost anorganskih fosfornih spojeva, mineralizaciju organskih, te imobilizaciju fosfornih spojeva kada je to moguće. Nakon mineralizacije, organski fosfor postaje dostupan biljci ili može biti istaložen u obliku anorganskih kompleksa, vezan na mineralne površine, te imobiliziran djelovanjem mikroorganizama (Plante 2007).

Biljni organizmi unose fosfor u obliku fosfata i ugrađuju ga u šećere, fosfolipide, nukleotide i druge organske spojeve, te ga koriste kao neizostavan dio različitih energetskih fosforilacijskih reakcija koje su nužne za život i rast biljke (Pevalek-Kozlina 2003). Odgovarajuće količine fosfora izrazito pospješuju rast korijena i izdanaka, učinkovito

korištenje vode u biljci te bolji prinos i ranije doseganje zrelosti. Nedostatak fosfora u biljci događa se kada vegetacijski rast nadmaši sposobnost korijena da pribavi potrebne količine fosfornih spojeva, a očituje se u pojavi ljubičaste boje na rubovima starijih nižih listova biljaka (USDA-NRCS 2005).

Može se reći kako fosfor kruži u tri manja prirodna ciklusa, a cjeloviti prikaz može se vidjeti na slici 1.5. Anorganski dio uključuje kretanje fosfornih spojeva u Zemljinoj kori. Drugim riječima, obuhvaća minerale fosfora iz stijena koje su polazište razvoja tala do njihovog taloženja i potencijalne pretvorbe u nove stijene zahvaljujući geološkom tlaku. S obzirom na to, ovaj ciklus je najsporiji, ali omogućava obnovu određene manje količine fosfornih spojeva koje su nakon kretanja, na primjer vodenim ekosustavima, istaložene i grade nove fosforne sirovine.



**Slika 1.5.** Shematski prikaz najvažnijih dijelova kruženja fosfora u prirodi  
Izvor: Encyclopaedia Britannica 2012 (prilagodila Tonka Srdoc)

Ostatak ciklusa odlazi na organsko kruženje koje se može podijeliti na kopneno i vodeno uz prisustvo biosfere u oba slučaja. Vodeno organsko kruženje fosfora značajno je brže, traje svega nekoliko tjedana i sastoji se od dvostruko veće količine fosfora. U algama je sačuvana gotovo jednaka količina fosfora kao u cijelom kopnenom organskom ciklusu, a ostatak se nalazi u morskom sedimentu u obliku netopljivog kalcijevog fosfata. Morski sediment neprestano raste zahvaljujući taloženju ostataka uginulih biljaka i životinja i njihovog otpada na dno mora i oceana te je kao takav najveći spremnik fosfora u biogeokemijskom ciklusu. S druge strane, kopneni organski ciklus fosfora traje u prosjeku jednu godinu i većina fosfornih spojeva koji u njemu sudjeluju nisu pristupačni za biološki unos organizama tla što predstavlja ograničavajući čimbenik za poljoprivrednu proizvodnju (Liu i Chen 2008).

Fosfor vezan na sediment tla odnosno manje agregate erodibilnog tla, često sadrži jednake količine organskog i anorganskog fosfora te fosfor mikrobnog podrijetla. Gubitak fosfora sedimentom pri eroziji tla vodom uvelike nadmašuje gubitak topljivih fosforovih spojeva ispiranjem, a brojna istraživanja su pokazala kako fosfor vezan na sitnije čestice doprinosi 70 – 90 % ukupnog gubitka s poljoprivrednih površina (He i sur. 1995). Najveće količine fosfora iznesene su iz tala kao dio manjih agregata tla u otopini s vodom kada najčešće nisu reaktivni pa njihov prijenos u vodonosnike ne mora nužno izazvati eutrofikaciju (He i sur. 1995).

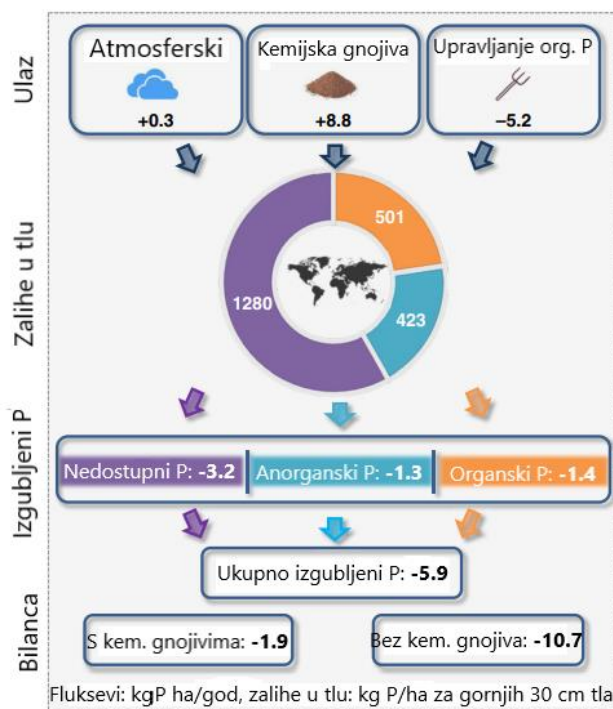
Erozijski gubici fosfora imaju vrlo važnu ulogu u biogeokemijskom ciklusu fosfora, ali ih je zbog različitih reljefno-klimatskih uvjeta i nedostatka informacija teško predvidjeti. Gubitci fosfora u tlima s minimalnim ili nikakvim dodatkom fosfornih gnojiva predstavljaju opasnost za ekosustave i poljoprivrednu proizvodnju toga područja. Isto vrijedi i za prekomjerne količine fosfora u ekosustavu.

Prema istraživanju koje su proveli Farkas i sur. (2013), erozijom tla vodom iz norveških šumskih tala se godišnje izgubi 0,003 – 0,14 kg/ha fosfora, a s travnatih površina poljoprivrednih područja čak 2,4 kg/ha. Istraživanje Zaines i sur. (2008) u američkoj saveznoj državi Iowa, pokazalo je gubitak fosfora s pašnjaka u rasponu od 0,66 do 1,23 kg/ha te gubitak od 1,08 kg/ha s tala pod jednogodišnjim oraničnim usjevima.

Magnetit i pirit, te apatit i hematit najčešći su minerali koji sadrže ili mogu sadržavati fosfor. Ostali važni fosfati u tlu nastaju raspadanjem primarnih minerala, ponajviše apatita, a mogu nastati i djelovanjem otopine fosforne kiseline na karbonate, sulfide i dr. Među njima se izdvajaju fosforit (kalcijev fosfat) i vivijanit (željezov fosfat). Takvi spojevi važan su izvor sirovine za proizvodnju fosfornih gnojiva.

Gubitak fosfora u tlu nadoknađuje se gnojidbom ili trošenjem matičnog supstrata. Ako je proizvodnja hrane smanjena zbog neodgovarajućih okolišnih uvjeta, raste potražnja za mineralnim i organskim gnojivima kako bi se nadomjestile narušene količine zaliha nutrijenata. Tržište gnojiva i sirovina zbog takvih je slučajeva izrazito osjetljivo, a u posljednjih 50 godina globalna cijena fosfornih gnojiva i sirovina narasla je gotovo devet puta po toni proizvoda (Amundson i sur. 2015). Osim što su mineralne stijene većinom neobnovljivi izvori sirovine, dostupnost će određivati i ekonomsko-tehnološke prilike.

Na slici 1.6. shematski je prikazana svjetska bilanca fosfora u tlu s erozijskim gubicima pri čemu pozitivne vrijednosti označavaju dodatak fosfora u tlo, a negativne njegov gubitak. Vrijednost upravljanja organskim fosforom obuhvaća unos fosfora stajskim gnojivom i zaoravanjem ostataka te prijenos fosfora iz tla u nadzemne dijelove biljke.



**Slika 1.6.** Svjetske zalihe fosfora u tlu i gubitak erozijom  
Izvor: Alewell i sur. 2020 (prilagodila Tonka Srdoc)

Veliki udio biljkama nedostupnih fosforinih spojeva u tlu, praktično neizostavna upotreba mineralnih gnojiva i loše gospodarenje organskim fosforom područja su koja traže održiva rješenja. Uzgoj leguminoza pokazao se kao dobar način za mobilizaciju fosfora iz dubljih horizonata tla, odnosno povećanje dostupnosti teško dostupnih fosforinih spojeva. Biljka koristi eksudate korijena, mikorizu i fino razgranat korijenov sustav kako bi pribavila potrebne nutrijente u siromašnim tlima (Franke i sur. 2018).

Topljivost fosfora, oblici u kojima se akumulira u tlu i dostupnost za biljku ovise o načinu gospodarenja tlom, te podrijetlu i metodi nanošenja odabranog gnojiva. Istraživanje koje su proveli de Souza Nunes i sur. (2020), pokazuje razmještaj anorganskog i organskog fosfora u solumu tla ovisno o ranije spomenutim aktivnostima. Prema rezultatima njihovog istraživanja, vidljivo je kako se bez obrade tla u istima zadržava više anorganskog fosfora u odnosu na tla s mehaničkom obradom, dok su za organski fosfor koncentracije slične, s ipak većim vrijednostima za tla s konzervacijskim načinom gospodarenja. Ustanovili su i kako se s dubinom tla smanjuje količina akumuliranog fosfora u tlu.

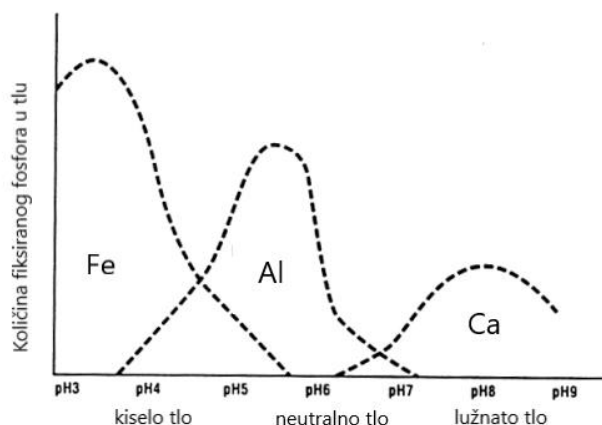
Fosfor se teško ispire iz rizosfere pa je većina gubitaka povezana s erozijom i površinskim otjecanjem. Iako je prosječan gubitak fosfora iz tala najmanji u europskom kontinentu, primjećuje se kako se sav ili veći udio gubitka fosfora iz tala može pripisati upravo erozijskom procesu, pogotovo u zemljama članicama EU nakon 2004. godine, među kojima je i Hrvatska. S druge strane, neke bogatije zemlje EU imaju pozitivnu bilancu fosfora u tlima što uzrokuje eutrofikaciju i ugrožava ekosustave (Alewell i sur. 2020). U tablici 1.2. mogu se usporediti svjetske vrijednosti bilance fosfora s onima u zemljama članicama EU.



**Tablica 1.2.** Usporedni prikaz glavnih statističkih vrijednosti ciklusa fosfora na svjetskoj i europskim razinama  
Izvor: Alewell i sur. 2020

Ulaz/izlaz P	Svijet	EU (prije 2004.)	EU (poslije 2004.)
Atmosferski ulaz	0,3	0,1	0,2
Kemijska gnojiva	8,8	13,7	5,2
Upravljanje organskim fosforom	-5,2	-12,2	-8,5
Erozija: fosfornih spojeva nedostupnih biljkama	-3,2	-0,9	-0,7
anorganskog fosfora	-1,3	-0,5	-0,2
organskog fosfora	-1,4	-0,7	-0,3
$\Sigma$	-5,9	-2,1	-1,2
Bilanca	-1,9	-0,4	-4,3
Erozijski gubitak	54,6 %	15,0 %	12,7 %

Količina dostupnih fosfornih spojeva može se povećati kalcifikacijom kiselih tala odnosno promjenom reakcije tla, dodatkom organske tvari te pravovremenim korištenjem fosfornih gnojiva u odgovarajućim koncentracijama (Holtan i sur. 1988). Fosforna gnojiva trebala bi se dodavati više puta u manjim obrocima te na mjestima bliže korijenovog sustava., bez obzira što je fosfor u tlu relativno stabilan i manje mobilan nego dušik (Ma i sur. 2020). Na slici 1.7. prikazana je količina i način fiksacije fosfornih spojeva ovisno o pH vrijednosti tla.



**Slika 1.7.** Dostupnost fosfora u tlu ovisno o pH vrijednosti  
Izvor: California Fertilizer Association 1995 (prilagodila Tonka Srdoc)

Najveće koncentracije dostupnog fosfora u tlu mogu se uočiti iz dijagrama, pri pH vrijednosti tla između 6,2 – 7,2. Uz spomenutu reakciju tla, ponašanje drugih elemenata, osobito metala

u tlu, također mijenja dostupnost fosfora u tlu (Holtan i sur. 1988). Fiksirani fosfori spojevi nisu izgubljeni već se polako i dugotrajno otpuštaju u tlo.

## 1.2. Hipoteza i ciljevi istraživanja

Konzervacijski način gospodarenja tlom pospješit će strukturu tala i smanjit će površinsko otjecanje i eroziju poljoprivrednih tala.

Ciljevi ovog istraživanja su:

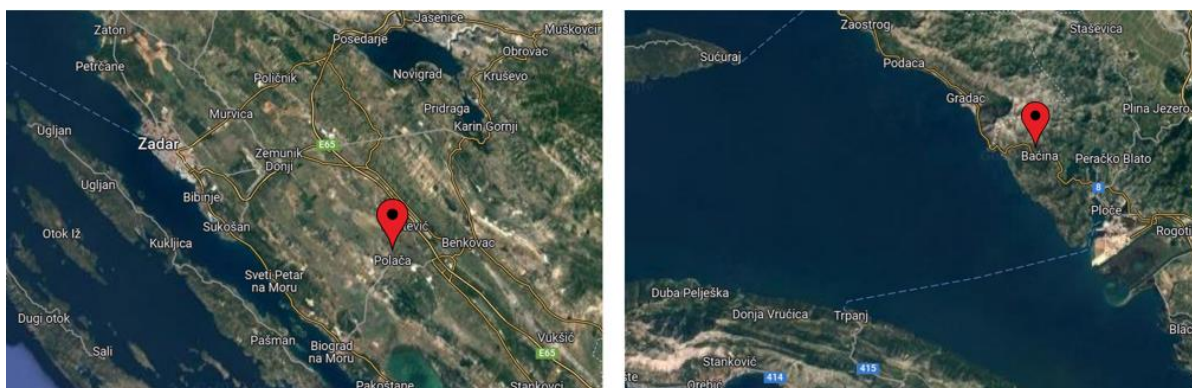
- utvrditi utjecaj konzervacijskog i konvencionalnog načina gospodarenja na fizikalna svojstva tla
- utvrditi razlike između konvencionalnog i konzervacijskog načina gospodarenja tlom determinacijom površinskog otjecanja i erozije
- opisati povezanost koncentracije fosfora s drugim fizikalno-kemijskim značajkama i načinom gospodarenja tlom
- odrediti vrstu pokrova ili malča koja od proučavanih ima najpovoljniji utjecaj na smanjenje erozije tla vodom i erozijske gubitke fosfora



## 2. Materijali i metode istraživanja

### 2.1. Lokacije istraživanja, klima i tlo

Uzorkovanje tla za istraživanje provodilo se na dvije lokacije u različitim županijama Republike Hrvatske (slika 2.1.), u travnju i listopadu 2021. godine. Istraživanje u Zadarskoj županiji odvijalo se na području općine Polače u travnju 2021. godine, dok je terenski rad u Dubrovačko-neretvanskoj županiji obavljen na području Baćine u listopadu. Ukupno je prikupljeno 48 uzoraka tla, po 24 na svakoj lokaciji. Na svakoj lokaciji postavljeno je po šest ponavljanja četiriju tretmana.



Slika 2.1. Položaj lokacija istraživanja u odnosu na veće gradove i druga mjesta

Izvor: Google Earth

Usporedni klimatsko-reljefni podaci za obje lokacije prikazani su u tablici 2.1. Prikazani i početni podaci izvedeni su iz arhive Europskog centra za srednjoročne prognoze vremena (ECMWF), za razdoblje od 1991. do 2021. godine. Navedene koordinate grubo su određene s ciljem stjecanja točnijeg dojma geografskog položaja i međusobne udaljenosti odabranih područja istraživanja.

Tablica 2.1. Usporedni reljefno-klimatski parametri dvaju istraživačkih područja

Parametar	Polača	Baćina
mjesec	travanj	listopad
koordinate područja	44°N, 15°E	43°N, 17°E
prosječan nagib, %	4,6	6,6
prosječna dnevna temperatura, °C	13,4	15,1
prosječna količina oborina, mm H <sub>2</sub> O	96,0	173,0
relativna vlažnost zraka, %	67,0	74,0

Kao prvo područje provođenja istraživanja i uzimanja uzoraka korištenog tla, odabrana je poljoprivredna površina u općini Polača u Zadarskoj županiji. Općina površine 28 km<sup>2</sup> smještena je između Benkovca i Biograda na Moru, 30-ak km istočno od Zadra.

Prema podacima ECMWF, područje Polače ima umjereno toplu kišnu klimu sa suhim i vrućim ljetima (Csa). U mjesecu travnju, kada je obavljena kišna simulacija i uzorkovanje, prosječna dnevna temperatura iznosila je 13,4°C, a prosječna količina oborina 96 mm s relativnom vlažnosti od 67 %. Nagib je mjeran unutar površine metalnih prstenova, a kreće se od 2 do 7 % s medijanom 4 %.

Na slici 2.2. može se vidjeti poljoprivredna površina u Polači na kojoj su izdvojeni sljedeći tretmani: obrađeno tlo - tlo je obrađeno frezanjem i pripravljeno za sadnju, malčirano tlo sijenom, te malčirano tlo slamom (doza 2,5 t/ha). Kao kontrola služi susjedna više godina neobrađena parcela pod trajnom vegetacijom.

Tla ovog područja okarakterizirana su kao vapnenački leptosoli glinaste teksture s otprilike 35 % pijeska, 22 % praha i 43 % gline te udjelom skeleta do 3 %. Druga svojstva ovakvih tala uključuju udio organske tvari oko 1,93 %, 35,9 mg/kg dostupnog fosfora (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) te 59,9 mg/kg dostupnog kalija (K<sub>2</sub>O) (Bogunovic i sur. 2020).



Slika 2.2. Lokacija istraživanja u Polači

Drugi dio terenskog istraživanja odvio se u naselju Baćina, 3 km sjeverozapadno od grada Ploča u Dubrovačko-neretvanskoj županiji.

Eksperiment u Baćini proveden je u nasadu smokve (slika 2.3) gdje su uspoređivani međuredni prostori pod travom, te obrađeni međured nakon frezanja. Osim ova dva nabrojana, istraženi su i tretmani s malčom od slame i sijena (u količini od 2,5 t/ha).

Simulacija i uzorkovanje provedeni su u listopadu 2021., kada je prosječna dnevna temperatura na području Baćine iznosila 15,1 °C uz prosječnu količinu oborina od 173 mm s relativnom vlažnosti od 74 %. Klima drugog odabranog područja također odgovara Csa tipu Köppenove klimatske klasifikacije, a nagib pojedinih pokusnih površina varira između 4 i 9 % s medijanom 7 %.

Tla ovog područja svrstavaju se u grupu vapnenačkih fluvisola, aluvijalnih tala nastalih na jezerskom vapnenačkom sedimentu s udjelom karbonata većim od 80 %, osobito na dubini 20 – 50 cm od površine, te s kapacitetom izmjene kationa od 20,16 cmol/kg uz 90 % prisutnost izmjenjivog kalcija. Teksturno tla sadrže 11,6 % pijeska, 77,2 % praha i 11,2 % gline. Udio organske tvari tla iznosi 2,68 %, a tlo sadrži i 83,45 %  $\text{CaCO}_3$  (Telak 2020).



Slika 2.3. Lokacija istraživanja u Baćini

## 2.2. Eksperimentalni dizajn, terenska mjerenja i uzorkovanja

Na odabranim područjima izdvojene su manje cjeline koje su logično podijeljene prema načinu gospodarenja tлом čiji se uvjeti žele oponašati. Razlikuju se uzorci tla konvencionalnog načina gospodarenja (obrađeno tlo bez pokrova) te oni koji predstavljaju konzervacijski tip gospodarenja tлом. Za primjer konzervacijskog načina gospodarenja tлом uzeta su tla s trajnom vegetacijom te malčevi slane i sijena. Prije svake kišne simulacije, pokraj pojedinih kolektora prikupljeni su neporušeni uzorci tla s dubine 0 – 10 cm.

Kišna simulacija provedena je uz simulator UGT Rainmaker (München, Njemačka) koji je priključen u izvor struje i spremnik s vodom, a radi pomoću kompresorske pumpe. Ispod simulatora postavljen je metalni okrugli okvir (prsten) promjera 100 cm i površine 0,785 m<sup>2</sup>, s lijevkom za odvod površinske vode u označene plastične spremnike. Za simulaciju se koristila VeeJet 80/100 mlaznica pod tlakom od 0,5 bar i protokom od 58 mm/h. Prosječna brzina padanja kapi iznosila je 6,263 m/s, a prosječna veličina kapljice 0,7 mm. Simulator je prethodno kalibriran pomoću plastične posude poznatog volumena (Bogunovic i sur. 2020). Odabrani intenzitet kišne simulacije odgovara erozivnoj kiši koja je odgovorna za 93 % ukupne godišnje erozije tla (Biddoccu i sur. 2016).

Tlo unutar prstenova je ostavljeno golo kao primjer konvencionalnog gospodarenja tлом ili je zatravljeno, pokriveno sijenom ili slamom, odnosno malčirano kao način konzervacijskog gospodarenja tлом. Prikaz prstenova s reprezentativnim uzorcima tla za obje lokacije može se vidjeti na slici 2.4.





Slika 2.4. Prstenovi s uzorcima tla u Polači i Bačini

### 2.3. Laboratorijske analize i statistička obrada

Uzorcima su laboratorijski određeni sljedeći parametri: volumna gustoća [BD - engl. *bulk density*], sadržaj vode u tlu [SWC – engl. *soil water content*] i kapacitet tla za vodu [WHC – engl. *water holding capacity*], srednji težinski promjer agregata tla [MWD – engl. *mean weight diameter*], udio agregata stabilnih u vodi [WSA – engl. *water stable aggregates*], organska tvar tla [SOM – engl. *soil organic matter*], električna vodljivost [EC – engl. *electric conductivity*], vrijeme do stvaranja lokvica [PT – engl. *ponding time*] i vrijeme do početka površinskog toka [RT – engl. *runoff time*], intenzitet infiltracije [IR – engl. *infiltration rate*], površinsko otjecanje [WR – engl. *water runoff*], koncentracija sedimenta [SC – engl. *sediment concentration*] i gubitak sedimenta [SL – engl. *sediment loss*] te reakcija tla [pH] i sadržaj fosfora u tlu i u sedimentu [TP – engl. *total phosphorus*].

Neporušeni uzorci koristili su se za određivanje volumne gustoće, sadržaja vode u tlu, udjela u vodi stabilnih agregata i srednjeg težinskog promjera agregata tla, nakon sušenja na 105°C tijekom 48 sati. Volumna gustoća računa se iz mase suhog tla i poznatog volumena istog tla i njegovih pora, a sadržaj vode u tlu kao razlika u masi vlažnog i suhog tla (Black 1965). Stabilnost agregata u vodi također se odredila gravimetrijski, nakon prosijavanja u vodi i sušenja stabilnih agregata u spremnicima na 110°C dok ne ispari sva voda (Kemper i Rosenau, 1986). Srednji težinski promjer agregata tla izračunao se prema Van Bavelovoj definiciji, kao suma umnožaka prosječnog promjera svake frakcije veličine agregata i udjela pojedine frakcije u ukupnom rasponu, odnosno veličine te frakcije (Diaz-Zorita i sur. 2002).

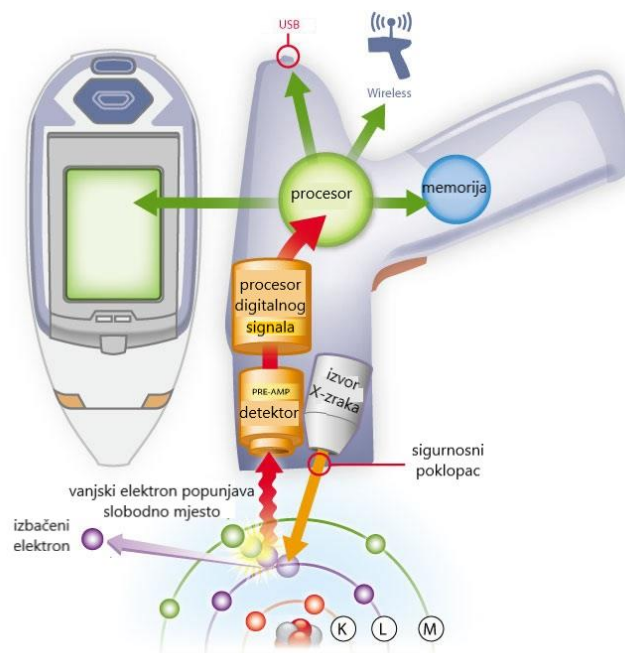
Organska tvar tla određena je titracijom nakon reakcije s dikromatom (Walkly i Black 1934). Kapacitet tla za vodu odredio se kao razlika u vlažnosti tla nakon što je bilo zasićeno vodom i pri potpunom sušenju. Reakcija tla i električna vodljivost odredili su se elektrokemijski odgovarajućim elektrodama.

Koncentracija sedimenta u površinskom oteku izračunala se nakon filtracije prikupljene vode i vaganja sedimenta, iz mase odvage i volumena vode u spremnicima. Količina vode koja se sakupila na površini tla računala se kao razlika masa vode i sedimenta. Vrijeme do stvaranja lokvica i vrijeme do površinskog oteka određeni su mjerenjem pomoću štoperice. Stopa

infiltracije predstavlja omjer volumena vode koja se sakupila na površini tla i volumena simuliranih oborina.

Potpuno osušeni (sušenje na 105°C tijekom noći) uzorci tla i sedimenta samljeveni su, homogenizirani u tarioniku i prosijani kroz sito s otvorima 2 mm (Williams i sur. 2020). Pripremljeni uzorci stavljeni su u mjerni cilindar u sloju debljine oko 15 mm, a koncentracija ukupnog fosfora u uzorcima određena je metodom rahlog praha (engl. *loose powder method*) (Takashi 2015) pri čemu se mjerni cilindar s jedne strane prekrivio tankom prozirnom polipropilenskom folijom, a s druge strane zatvorio odgovarajućim plastičnim poklopcem. Mjerenje je odrađeno Olympus-Vanta (C serija) pXRF analizatorom iz 2018. godine prema normi ISO/TS 1319:2013, a korištena je *Geochem* kalibracija. Uređaj je opremljen Rh/W rendgenskom cijevi raspona jakosti električnog izvora 8 – 40 kV te *Silicon drift* detektorom.

Fluorescentna spektroskopija refleksijom rendgenskih zraka (XRF) je neinvazivna metoda atomske spektroskopije kojom se u kratkom roku može odrediti koncentracija različitih elemenata. Rad fluorescencijskog spektrofotometra temelji se na ozračivanju uzorka energijom određene valne duljine i mjerenjem reflektiranog zračenja. Pojednostavljeni prikaz rada prijenosnog terenskog uređaja za fluorescencijsku analizu može se vidjeti na slici 2.5.



**Slika 2.5.** Pojednostavljeni prikaz rada prijenosnog XRF uređaja  
Izvor: Melquiades, Appoloni 2004 (prilagodila Tonka Srdoc)

Pomoću Analysis ToolPak dodatka za Excel napravljena je jednofaktorijska ANOVA analiza i određeni su parametri deskriptivne statistike. Kada je analiza varijance pokazala značajne razlike, proveo se post-hoc (Tukey) test na razini signifikantnosti od 0,05. Utvrđeno je da pojedini dobiveni podaci nisu normalno distribuirani. Ipak, nisu se radile metode

normalizacije i transformacije podataka jer je riječ o velikom uzorku i samo neki parametri su pokazali veće vrijednosti standardne devijacije.

### 3. Rezultati

Dobiveni rezultati prikazani su prema lokacijama uzorkovanja te podijeljeni na one koji se odnose na tlo prije simulacije oborina i one koji opisuju sakupljenu vodu i sediment nakon vlaženja. Sve vrijednosti izražene su kao prosječne vrijednosti šest pojedinačnih uzoraka tla za svaku od vrsta pokrova, a mogu se vidjeti u tablicama 3.1., 3.2., 3.3. i 3.4 te grafikonu 3.1. Vrijednosti svojstava za obje lokacije kreću se u otprilike sličnim rasponima, a najveći interval, time i standardnu devijaciju, ima električna vodljivost tla. Analizom varijance četiriju tretmana ustanovljene su značajne razlike među svim mjerenim svojstvima tala u Polači, osim sadržaja vode u tlu. Tukey testom ( $p=0,05$ ) utvrđeno je među kojim tretmanima se pojavljuju značajne razlike u vrijednostima svojstava tla.

**Tablica 3.1.** Prosječne ( $n=6$ ) vrijednosti fizikalno-kemijskih svojstava uzoraka tala u Polači

Parametar	Obrađeno tlo	Trava	Malč-slama	Malč-sijeno	ANOVA ( $p=0,05$ )
nagib / (°)	4,10 <sub>c</sub>	5,70 <sub>a</sub>	4,40 <sub>b</sub>	4,30 <sub>bc</sub>	0,01
reakcija tla / (pH)	7,76	7,72	7,69	7,72	0,08
organska tvar tla [SOM] / (%)	1,37 <sub>c</sub>	2,05 <sub>a</sub>	1,60 <sub>b</sub>	1,57 <sub>b</sub>	$7,11 \times 10^{-7}$
srednji težinski promjer agregata tla [MWD] / (mm)	3,28 <sub>c</sub>	3,48 <sub>a</sub>	3,45 <sub>ab</sub>	3,38 <sub>bc</sub>	0,02
volumna gustoća [BD] / (g/cm <sup>3</sup> )	1,72 <sub>b</sub>	1,68 <sub>b</sub>	1,81 <sub>a</sub>	1,71 <sub>b</sub>	0,01
električna vodljivost [EC] / (μS/cm)	202,82 <sub>bc</sub>	216,70 <sub>ab</sub>	220,40 <sub>a</sub>	196,80 <sub>c</sub>	$3,96 \times 10^{-5}$
sadržaj vode u tlu [SWC] / (%)	25,48	28,16	25,46	27,80	0,75
kapacitet tla za vodu [WHC] / (%)	33,19 <sub>b</sub>	34,06 <sub>b</sub>	31,51 <sub>b</sub>	36,49 <sub>a</sub>	$5,77 \times 10^{-4}$
agregati stabilni u vodi [WSA] / (%)	71,30 <sub>c</sub>	66,27 <sub>d</sub>	85,04 <sub>a</sub>	76,03 <sub>b</sub>	$8,95 \times 10^{-12}$

Značajno veći sadržaj organske tvari zabilježio je tretman pod travom u odnosu na obrađeni tretman, a isto vrijedi i za srednji težinski promjer agregata tla. Volumna gustoća značajno je manja kod zatravljenog tretmana i tretmana sa sijenom u odnosu na malč slamom. Električna vodljivost ne razlikuje se značajno između obrađenog i zatravljenog tretmana, ali je značajno veća kod tretmana sa slamom u odnosu na obrađeni tretman te za zatravljeni tretman u odnosu na sijeno. Kapacitet tla za vodu značajno se razlikuje među malčiranim tretmanima u korist tla malčiranog sijenom. Udio agregata stabilnih u vodi značajno se razlikuje među sva četiri tretmana, s najvećim rasponom vrijednosti kod zatravljenog tretmana i tretmana s malčom od slame.

**Tablica 3.2.** Prosječne (n=6) vrijednosti fizikalno-kemijskih svojstava uzoraka tla u Baćini

Parametar	Obrađeno tlo	Trava	Malč-slama	Malč-sijeno	ANOVA (p=0,05)
nagib / (°)	6,70	6,90	6,30	6,50	0,90
reakcija tla / (pH)	7,50 <sub>d</sub>	8,13 <sub>a</sub>	7,87 <sub>c</sub>	8,00 <sub>b</sub>	1,13 x 10 <sup>-15</sup>
organska tvar tla [SOM] / (%)	1,59 <sub>c</sub>	2,51 <sub>a</sub>	1,64 <sub>bc</sub>	1,73 <sub>b</sub>	9,54 x 10 <sup>-23</sup>
srednji težinski promjer agregata tla [MWD] / (mm)	3,45 <sub>a</sub>	3,23 <sub>b</sub>	3,17 <sub>bc</sub>	3,02 <sub>c</sub>	1,64 x 10 <sup>-5</sup>
volumna gustoća [BD] / (g/cm <sup>3</sup> )	1,59 <sub>a</sub>	1,45 <sub>b</sub>	1,52 <sub>ab</sub>	1,48 <sub>b</sub>	3,95 x 10 <sup>-3</sup>
električni konduktivitet [EC] / (μS/cm)	147,79 <sub>d</sub>	206,78 <sub>b</sub>	191,16 <sub>c</sub>	220,94 <sub>a</sub>	1,51 x 10 <sup>-16</sup>
sadržaj vode u tlu [SWC] / (%)	30,90 <sub>ab</sub>	38,40 <sub>a</sub>	26,20 <sub>b</sub>	32,40 <sub>ab</sub>	0,05
kapacitet tla za vodu [WHC] / (%)	34,30	44,40	35,50	40,60	0,07
agregati stabilni u vodi [WSA] / (%)	62,05 <sub>d</sub>	84,04 <sub>a</sub>	74,08 <sub>c</sub>	80,77 <sub>b</sub>	3,16 x 10 <sup>-8</sup>

Uzorci tala između tretmana u Baćini značajnije se međusobno razlikuju nego u Polači. Sadržaj organske tvari tla značajno je veći za zatravljeni tretman u odnosu na sva tri preostala tretmana. S druge strane, srednji težinski promjer agregata tla također se značajno razlikuje među tretmanima, ali ističe se obrađeni tretman kod kojeg je uočena najveća razlika u usporedbi s ostalim tretmanima. Značajno veću vrijednost volumne gustoće pokazuje obrađeno tlo u odnosu na zatravljeni tretman. Električna vodljivost značajno se razlikuje među svim tretmanima, a najveću razliku pokazuju tretmani obrađenog tla i malča sijena. Sadržaj vode u tlu značajno je veći za zatravljeni tretman u odnosu na malč slame. Kapacitet tla za vodu ne razlikuje se značajno među odabranim tretmanima. Udio agregata stabilnih u vodi najviše se značajno razlikuje između obrađenog i zatravljenog tretmana, u korist tla pod travom.

U tablicama 3.3. i 3.4., prikazani su rezultati parametara površinskog oteka te koncentracija i gubitka sedimenta.

Među tretmanima s malčevima ne postoji značajna razlika u parametrima koji se odnose na volumen i vrijeme nastajanja i otjecanja vode s površine tla, ali postoji jasna i značajna razlika u istim parametrima među tretmanima s malčom i onima bez.

U Polači su utvrđene značajne razlike svih ispitivanih vrijednosti hidrološke reakcije tla među obrađenim i zatravnjenim tretmanom, u korist zatravnjenog tretmana. Značajno veće vrijednosti vremena do saturacije i površinskog otjecanja pokazao je tretman pod sijenom u odnosu na obrađeni tretman. Stopa infiltracije značajno je veća za zatravnjeni tretman u odnosu na tretman sa sijenom, dok je volumen oteka značajno veći za tretman sa sijenom u



odnosu na zatravljivi tretman. Među tretmanima nisu utvrđene značajne razlike u koncentraciji i gubitku sedimenta.

**Tablica 3.3.** Prosječne (n=6) vrijednosti hidrološke reakcije tla i gubitka sedimenta u Polači

Parametar	Obrađeno tlo	Trava	Malč-slama	Malč-sijeno	ANOVA (p=0,05)
<b>vrijeme do saturacije [PT] / (s)</b>	68,50 <sub>c</sub>	198,00 <sub>a</sub>	163,30 <sub>b</sub>	193,00 <sub>ab</sub>	4,12 x 10 <sup>-3</sup>
<b>vrijeme površinskog otjecanja [RT] / (s)</b>	336,00 <sub>c</sub>	606,00 <sub>ab</sub>	486,00 <sub>bc</sub>	672,00 <sub>a</sub>	0,01
<b>stopa infiltracije [IR] / (%)</b>	97,86 <sub>bc</sub>	98,81 <sub>a</sub>	98,34 <sub>ab</sub>	97,75 <sub>c</sub>	1,69 x 10 <sup>-4</sup>
<b>volumen površinskog oteka [WR] / (m<sup>3</sup>/ha)</b>	6,20 <sub>ab</sub>	3,45 <sub>c</sub>	4,82 <sub>bc</sub>	6,53 <sub>a</sub>	1,69 x 10 <sup>-4</sup>
<b>koncentracija sedimenta [SC] / (g/kg)</b>	3,09	1,99	2,42	3,98	0,59
<b>gubitak sedimenta [SL] / (kg/ha)</b>	18,26	6,78	11,87	25,84	0,12

**Tablica 3.4.** Prosječne (n=6) vrijednosti hidrološke reakcije tla i gubitka sedimenta u Baćini

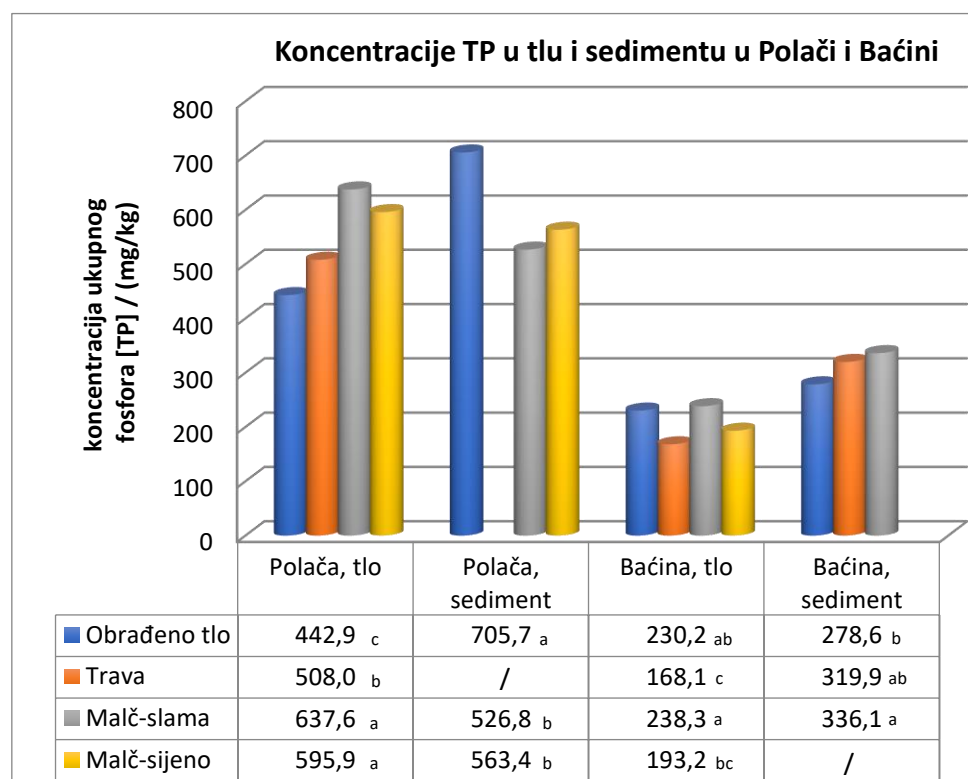
Parametar	Obrađeno tlo	Trava	Malč-slama	Malč-sijeno	ANOVA (p=0,05)
<b>vrijeme do saturacije [PT] / (s)</b>	75,50 <sub>c</sub>	108,50 <sub>ab</sub>	96,50 <sub>bc</sub>	149,00 <sub>a</sub>	0,04
<b>vrijeme površinskog otjecanja [RT] / (s)</b>	294,00 <sub>b</sub>	453,00 <sub>a</sub>	444,00 <sub>a</sub>	0,00 <sub>c</sub>	1,47 x 10 <sup>-4</sup>
<b>stopa infiltracije [IR] / (%)</b>	98,80 <sub>b</sub>	97,70 <sub>c</sub>	97,90 <sub>c</sub>	100,00 <sub>a</sub>	2,59 x 10 <sup>-14</sup>
<b>volumen površinskog oteka [WR] / (m<sup>3</sup>/ha)</b>	3,40 <sub>b</sub>	6,53 <sub>a</sub>	6,17 <sub>ab</sub>	0,00 <sub>c</sub>	2,59 x 10 <sup>-14</sup>
<b>koncentracija sedimenta [SC] / (g/kg)</b>	15,00 <sub>a</sub>	3,90 <sub>b</sub>	6,60 <sub>b</sub>	0,00 <sub>c</sub>	6,01 x 10 <sup>-10</sup>
<b>gubitak sedimenta [SL] / (kg/ha)</b>	50,99 <sub>a</sub>	25,91 <sub>b</sub>	41,49 <sub>ab</sub>	0,00 <sub>c</sub>	3,64 x 10 <sup>-7</sup>

U Baćini značajno veću vrijednost vremena do saturacije tla vodom pokazao je tretman sa sijenom u odnosu na obrađeni tretman, ali je obrađeni tretman pokazao značajno dulje vrijeme površinskog otjecanja u odnosu na tretman s malčom sijena. S obzirom na to da je tretman malčiran sijenom pokazao izostanak površinskog oteka, nije došlo ni do gubitka

sedimenta te su dobivene vrijednosti značajno manje u odnosu na ostale tretmane. Stopa infiltracije i volumen površinskog oteka značajno se razlikuju među svim tretmanima, osim između zatravnjenog i tretmana sa slamom. Značajno veća koncentracija sedimenta utvrđena je za obrađeni tretman u odnosu na ostale tretmane. Također je utvrđen značajno veći gubitak sedimenta kod obrađenog tretmana nego kod zatravnjenog.

U grafikonu 3.1. prikazan je histogram koncentracija ukupnog fosfora u tlu i u sedimentu na obje lokacije s pripadajućim pokrovima zbog lakše usporedbe i interpretacije podataka.

Sadržaj fosfora u tlima u Polači i Baćini značajno se razlikuje među tretmanima pri čemu je veća varijabilnost primijećena kod tretmana u Polači. Gubitak fosfora iz tla, odnosno njegova koncentracija u sedimentu, značajno se razlikuje među obrađenim i zatravnjenim tretmanima, dok među malčevima nema značajnije razlike.

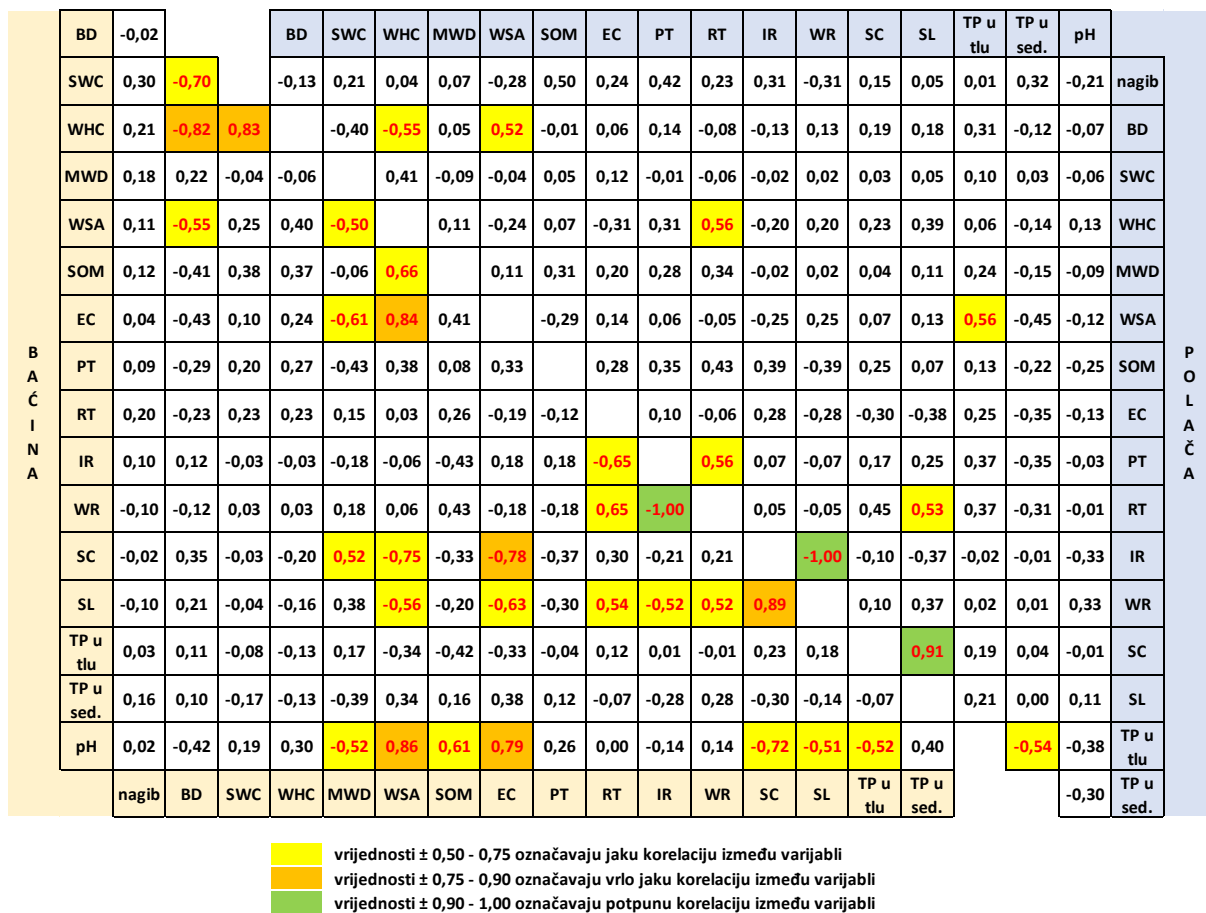


**Grafikon 3.1.** Histogram koncentracija ukupnog fosfora [TP] u tlu i sedimentu u Polači i Baćini

Na grafikonu su najprije prikazane vrijednosti koncentracija u Polači pa u Baćini, a bojama su označene različite vrste pokrova. S obzirom na to da je na tlu u Baćini malčiranom sijenom stopa infiltracije 100 %, nema ni sedimenta, a slično se pokazalo na tlu pod travnatom vegetacijom u Polači gdje je izdvojena minimalna količina sedimenta i nije se mogao utvrditi fosfor.

Iz rezultata je vidljivo kako tlo u Polači ima znatno veće koncentracije fosfora nego uzorci u Baćini što može biti posljedica intenzivnije ili nedavne gnojidbe. Koncentracije fosfora u sedimentu uglavnom premašuju one u tlu. Iz vrijednosti sadržaja ukupnog fosfora u sedimentu te gubitka sedimenta izračunati su rasponi gubitka fosfora za obje lokacije. Prema

tome, utvrđene koncentracije ukupnog fosfora u sedimentu u Polači iznose 0,006 – 0,015 kg TP/ha ovisno o vrsti pokrova i 0,008 – 0,014 kg TP/ha za tlo u Baćini.



Slika 3.1. Korelacijska matrica ispitivanih svojstava. Crveno obojane vrijednosti označavaju značajnu korelaciju između varijabli, a različite boje pozadine značajnijih korelacijskih vrijednosti kategoriziraju snagu korelacije prema legendi.

Potpuna negativna korelacija utvrđena je među parametrima volumena površinskog oteka i stope infiltracije za tla na obje lokacije istraživanja, dok je u Polači utvrđena i potpuna negativna korelacija između koncentracije i gubitka sedimenta. U Baćini se također pokazala vrlo jaka pozitivna korelacija kapaciteta tla za vodu i volumne gustoće te vrlo jaka negativna korelacija kapaciteta tla za vodu i sadržaja vode u tlu. Vrlo jaka pozitivna korelacija može se primijetiti i za parametre električnog konduktiviteta i udjela agregata stabilnih u vodi te EC i pH vrijednosti, dok je reakcija tla na isti način povezana i sa sadržajem u vodi stabilnih agregata. Vrlo jaka negativna korelacija pokazala se i između vrijednosti EC i koncentracije sedimenta.

## 4. Rasprava

Svojstva zatravljenog tla značajno su različita od svojstava obrađenog tretmana. Na obje je lokacije za zatravljeni tretman utvrđen najveći prosječni sadržaj organske tvari i vode u tlu te kapacitet tla za vodu, u odnosu na obrađeno tlo i malčirane tretmane. Povoljan utjecaj travnatog pokrova na svojstva tla utvrdio se u brojnim istraživanjima (Glinski i Lipiec 1990, Nkongolo i Plassmeyer 2010, Telak i Bogunovic 2020, Mayel i sur. 2020). S obzirom na to da nije bilo prolaska mehanizacije, najmanja vrijednost volumne gustoće zatravljenih tala može se pripisati upravo trajnom pokrovu (Bogunovic i sur. 2019). U istraživanju koje su proveli Telak i Bogunović (2020) određene su veće vrijednosti srednjeg težinskog promjera agregata i u vodi stabilnih agregata kod zatravnjenih područja, što se u ovom radu djelomično podudara. U Polači je na primjer utvrđena veća vrijednosti MWD, ali manja WSA na zatravnjenim tretmanima u odnosu na obrađeno tlo, dok je u Baćini obrnut slučaj. Ferrero i sur. (2020) također su odredili veću vrijednost WSA za zatravnjena tla, no u njihovom istraživanju nije utvrđena značajna razlika između vrijednosti volumnih gustoća različitih tretmana. Zbijanje tla povećava volumnu gustoću tla čime se smanjuje kapacitet tla za vodu (Drewry i sur. 2008). Rezultati ne pokazuju značajne razlike između sadržaja vode u tlu i kapaciteta tla za vodu između zatravnjenih i obrađenih tretmana, ali su prosječne vrijednosti navedenih parametara veće za zatravnjena tla. U radovima koje su proveli Ferrero i sur. (2002) te Mayel i sur. (2020) utvrđena je negativna korelacija između BD i SWC te WHC. Istraživanje Nkongolo i Plassmeyer (2010) pokazuje suprotne rezultate, ali značajnu razliku između tretmana, osobito u svojstvima sadržaja vode i ukupne poroznosti.

S obzirom na to da je tlo malčirano neposredno prije kišnih simulacija, ne može se reći da je u ovom istraživanju malč imao utjecaj na svojstva tla. Međutim, prema istraživanju koje su proveli Mulumba i Lal (2007), utvrđene su značajne razlike u svojstvima tla nakon što je 11 godina bilo malčirano slamom, i to u pogledu poboljšanja ukupnog poroziteta, udjela stabilnih agregata i kapaciteta tla za vodu. Drugo istraživanje pokazalo je veće vrijednosti zadržavanja vode u tlu i povećanje udjela makropora nakon što je sedam godina bilo malčirano slamom (Duiker i Lal 1999).

Malčevi i zaklon usjeva ili prisustvo trava, smanjuju kontakt kapi s tlom čime se održava struktura agregata i smanjuje stvaranje sloja vode na površini (Borst i Woodburn 1942). U Polači je zatravnjeni tretman pokazao značajne razlike svojstava koje se odnose na površinski otek, ali se vrijednosti koncentracije i gubitka sedimenta ne razlikuju značajno. Dulje vrijeme saturacije tla uzrokovalo je manji volumen površinskog oteka. Malčirani tretmani u Polači nisu pokazali značajne razlike u svojstvima hidrološke reakcije tla, ali je tretman slamom pokazao manju prosječnu vrijednost volumena površinskog oteka i manji gubitak sedimenta. Rezultati istraživanja koje su proveli Prosdoci i sur. (2016) pokazuju značajne razlike pojedinih svojstava pri tretmanima s različitim malčevima, ali niti jedan malč se nije pokazao boljim od drugog u istom okolišu. S druge strane, u Baćini nisu utvrđene značajne razlike u vremenu saturacije tla i otjecanja vode među zatravnjenim i obrađenim tretmanom. Osim toga, na obrađenom tlu sakupio se manji volumen površinskog oteka s puno većom koncentracijom sedimenta što je uzrokovalo dvostruko veći gubitak sedimenta u odnosu na

zatravnjeno tlo. S obzirom na to da je tretman s malčom od sijena pokazao maksimalnu stopu infiltracije, malčirani tretmani pokazuju značajne razlike svih parametara hidrološke reakcije tla. Tretman malčiran slamom i zatravnjeni tretman pokazuju značajne razlike jedino u koncentraciji sedimenta. Istraživanje koje su proveli Tay i Ratnam (2020) pokazuje manji volumen površinskog oteka kod malčiranih tretmana u odnosu na zatravljene, ali je malč vremenom mineralizirao pa je došlo do ispiranja organske tvari.

Prema istraživanju He i sur. iz 1995. godine, više organskog fosfora izgubi se iz tala pod travnatim pokrovom, nego iz obrađenih poljoprivrednih tala. Može se reći kako se uzorci tala na području Baćine ponašaju sukladno tome. Iz zatravljenih tala izgubljeno je gotovo tri puta više fosfora sedimentom u odnosu na koncentracije određene u tlu prije kišne simulacije, nego iz uzoraka tala bez pokrova. Također, u Polači je utvrđena pozitivna korelacija ( $r=0,56$ ) fosfora u tlu i udjela u vodi stabilnih agregata što potvrđuje da je fosfor najčešće vezan ili uklopljen kao dio manjih agregata tla (He i sur. 1995), te se u tom obliku i gubi iz tla (Yoder 1936).

## 5. Zaključak

Konzervacijski način gospodarenja tlom smanjuje negativno djelovanje površinskog oteka tako što umanjuje količinu vode koja se nakuplja ili otežava razvoj njenog površinskog toka smanjenjem brzine otjecanja. Zatravnjeni tretman pokazao je značajno bolja svojstva tla u odnosu na obrađeno tlo na obje lokacije. Malčirana tla i zatravnjeni tretman pokazali su pozitivan utjecaj na smanjenje volumena površinskog oteka. Koncentracija fosfora u tlu i sedimentu nije se mogla značajno povezati niti s jednim fizikalno-kemijskim svojstvom tla, kao ni svojstvima prikupljene vode i sedimenta. Potvrđeno je kako će fosfora u sedimentu biti više iz tala u kojima su utvrđene početno više vrijednosti, stoga je važno paziti na količine i vrijeme tretiranja tla mineralnim fosforinim gnojivima te na pH tla, s obzirom na to da o reakciji tla ovisi učestalost fiksacije i dostupnost fosfora. Rezultati pokazuju da je nužno primjenjivati konzervacijske prakse gospodarenja na tlima u Baćini i Polači kako bi se smanjila proporcija degradacije tla erozijskim odnošenjem i smanjili gubitci fosfora. Nadalje, malčevi na obrađenoj površini tla su pokazali značajan konzervacijski karakter i mogu se upotrebljavati u nepovoljnim vlažnim hidrološkim prilikama kada proizvođači primjenjuju obradu tla radi unosa i miješanja gnojiva s tlom.

## 6. Literatura

1. Alewell C., Ringeval B., Ballabio C., Robinson D. A., Panagos P., Borrelli P. (2020). Global phosphorus shortage will be aggravated by soil erosion. *Nature Communications* 11: 1-12
2. Amundson R., Berhe A. A., Hopmans J. W., Olson C., Sztein A. E., Sparks D. L. (2015). Soil and human security in the 21st century. *Science* 348: 647-653
3. Artiola J. F., Walworth J. L., Musil S. A., Crimmins M. A. (2019). *Soil and Land Pollution*. U: *Environmental and Pollution Science* (Ur. Brusseau M. L., Pepper I. L., Gerba C. P.), Academic Press, Cambridge: 219-235
4. Bensa A., Zgorelec Ž., Jungić D. (2019). *Kemija tla. Autorizirana priprema za predavanja*. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
5. Biddoccu M., Ferraris S., Opsi F., Cavallo E. (2016). Long-term monitoring of soil management effects on runoff and soil erosion in sloping vineyards in Alto Monferrato (North-West Italy). *Soil and Tillage Research* 155: 176-189
6. Biddoccu M., Ferraris S., Opsi F., Cavallo E. (2016). Long-term monitoring of soil management effects on runoff and soil erosion in sloping vineyards in Alto Monferrato (North-West Italy). *Soil and Tillage Research* 155: 176-189
7. Black C. A. (1965). *Chemical and Microbiological Properties*. U: *Methods of Soil Analysis Part 2* (Ur. American Society of Agronomy – Soil Science Society of America), Madison, Wisconsin, str. 771-1569
8. Bogunovic I., Andabaka Z., Stupic D., Pereira P., Galic M., Novak K., Telak L. J. (2019). Continuous grass coverage as a management practice in humid environment vineyards increases compaction and CO<sub>2</sub> emissions but does not modify must quality. *Land Degradation and Development* 30: 2347-2359
9. Bogunovic I., Telak L. J., Pereira P. (2020). Experimental Comparison of Runoff Generation and Initial Soil Erosion Between Vineyards and Croplands of Eastern Croatia: A Case Study. *Air, Soil and Water Research* 13: 1-9
10. Bogunovic I., Telak L. J., Pereira P., Filipovic V., Filipovic L., Percin A., Durdevic B., Birkás M., Dekemati I., Comino J. R. (2020). Land management impacts on soil properties and initial soil erosion processes in olives and vegetable crops. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* 68 (4): 328-337
11. Campbell G. S. (1985). Soil physics with basic transport models for soil – plant systems. *Developments in Soil Science* 14: 6-11
12. Cássaro F. A. M., Borkowski A. K., Pires L. F., Rosa J. A., da Costa Saab S. (2010). Characterization of a Brazilian clayey soil submitted to conventional and no-tillage management practices using pore size distribution analysis. *Soil and Tillage Research* 111: 175-179
13. Cook H. L. (1936). The nature and controlling variables of the water erosion process. *Soil Science Society Proceedings*: 487-494
14. de Oliveira J. A. T., Pires L. F., Cássaro F. A. M., Gaspareto J. V., Posadas A. N. D., Mooney S. J. (2022). Soil pore system complexity and heterogeneity as affected by contrasting management practices. *Soil and Tillage Research* 224: 105-109

15. de Souza Nunes R., Gomes de Sousa D. M., Goedert W. J., de Oliveira L. E. Z., Pavinato P. S., Pinheiro T. D. (2020). Distribution of Soil Phosphorus Fractions as a Function of Long-Term Soil Tillage and Phosphate Fertilization Management. *Frontiers in Earth Science* 8: 1-12
16. DeBano L. F. (1981). Water repellent soils: a state of the art. General Technical Report PSW-46. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station: 1-21
17. Diaz-Zorita M., Perfect E., Grove J. H. (2002). Disruptive methods for assessing soil structure. *Soil and Tillage Research* 64 (1-2): 3-22
18. Doerr S. H., Thomas A. D. (2000). The roll of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal. *Journal of Hydrology* 231-232: 134-147
19. Drewry J., Cameron K., Buchan G. (2008). Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing – A review. *Soil Research* 46: 237-256
20. Duiker S. W., Lal R. (1999). Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a Luvisol in central Ohio. *Soil and Tillage Research* 52: 73-81
21. Egnér H., Riehm H., Domingo W. R. (1960). Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26: 199-215
22. Ellison W. D. (1945). Some Effects of Raindrops and Surface-Flow on Soil Erosion and Infiltration. *Transactions* 26 (3): 415-429
23. Elser J. J. (2012). Phosphorus: a limiting nutrient for humanity?. *Current Opinion in Biotechnology* 23 (6): 833-838
24. Farkas C., Beldring S., Bechmann M., Deelstra J. (2013). Soil erosion and phosphorus losses under variable land use as simulated by the INCA-P model. *Soil Use and Management* 29: 124-137
25. Farooq M. i Siddique K. H. M. (2015). *Conservation Agriculture: Concepts, Brief History, and Impacts on Agricultural Systems*. U: Conservation Agriculture (Ur. Farooq M., Siddique K. H. M.), Springer International Publishing Switzerland, Cham, str. 3-17
26. Franke A. C., van den Brand G. J., Vanlauwe B., Giller K. E. (2018). Sustainable intensification through rotations with grain legumes in Sub-Saharan Africa: a review. *Agriculture Ecosystems and Environment* 261: 172-185
27. Glinski J., Lipiec J. (1990). *Soil Physical Conditions and Plant Roots* (Ur. Glinski J.), CRC Press, Boca Raton, Florida SAD
28. He Z. L., Wilson M. J., Campbell C. O., Edwards A. C., Chapman S. J. (1995). Distribution of phosphorus in soil aggregate fractions and its significance with regard to phosphorus transport in agricultural runoff. *Water, Air and Soil Pollution* 83: 69-84
29. Hobbs P. R., Sayre K., Gupta R. (2008). The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363 (1491): 543-555
30. Holtan H., Kamp-Nielsen L., Stuanes A. O. (1988). Phosphorus in soil, water and sediment: an overview. *Hydrobiologia* 170: 19-34



31. Howard R. J. (1996). Cultural control of plant diseases: a historical perspective. *Canadian Journal of Plant Pathology* 18: 145-150
32. Hyland C., Ketterings Q., Dewing D., Stockin K., Czymmek K., Albrecht G., Geohring L. (2005). Phosphorus Basics – The Phosphorus Cycle. Nutrient Management Spear Program, Cornell University Cooperative Extension
33. International Organization for Standardization. (2013). Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 1319: Application module: Solid with local modification (ISO/TS 10303-1319)
34. Jug D., Birkás M., Kisić I. (2015). Obrada tla u agroekološkim okvirima. Sveučilišni udžbenik, Osijek
35. Kemper W. D. i Rosenau R. C. (1986). Aggregate Stability and Size Distribution. Physical and Mineralogical Methods. U: *Methods of Soil Analysis Part 1* (Ur. American Society of Agronomy – Soil Science Society of America), Madison, Wisconsin, str. 425-442
36. Kihara J., Kinyua M., Ayuke F., Desta L. T., Bolo P. (2019). Conservation or Conventional Agriculture? A Soil's Perspective. Highlights from the Sustainable Intensification of Maize-Legume Cropping Systems for Food Security in Eastern and Southern Africa (SIMLESA-II) project: 1-16
37. Kisić I. (2012). Sanacija onečišćenog tla. Sveučilišni udžbenik, Zagreb
38. Leake A. R. (2003). Integrated pest management for conservation agriculture. Conservation agriculture: environment, farmers experiences, innovations, socio-economy and policy: 271-279
39. Liu Q., Chen L., Li J. (2001). Influences of slope gradient on soil erosion. *Applied Mathematics and Mechanics* 22 (5): 510-519
40. Liu Y., Chen J. (2008). Phosphorus Cycle. U: *Encyclopedia of Ecology, Earth Systems and Environmental Sciences* (Ur. Jørgensen S. E., Fath B. D.), Elsevier Science, Amsterdam: 2715-2724
41. Liu Y., Zeng C., Huang Z., Lopez-Vicente M., Wu G. (2019). Influence of soil moisture and plant roots on the soil infiltration capacity at different stages in arid grasslands of China. *Catena* 182: 1-7
42. Ma Q., Chen L., Du M., Zhang Y., Zhang Y. (2020). Localized and Moderate Phosphorus Application Improves Plant Growth and Phosphorus Accumulation in *Rosa multiflora* Thunb. ex Murr. via Efficient Root System Development. *Forests* 11 (570): 1-14
43. Mayel S., Jarrah M., Kuka K. (2020). How does grassland management affect physical and biochemical properties of temperate grassland soils? A review study. *Grass and Forage Science* 76: 215-244
44. Melquiades F. L. i Appoloni C. (2004). Application of XRF and field portable XRF for environmental analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 262 (2): 533-541
45. Merritt W. S., Letcher R. A., Jakeman A. J. (2003). A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling and Software* 18: 761-799
46. Mulumba L. N., Lal R. (2007). Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research* 98: 106-111

47. Nearing M. A., Yin S., Borrelli P., Polyakov V. O. (2017). Rainfall erosivity: An historical review. *Catena* 157: 357-362
48. Nicolosi E., Iovino V., Distefano G., Di Guardo M., La Malfa S., Gentile A., Palliotti A., Las Casas G., Ferlito F. (2021). Mid-Term Effects of Conservative Soil Management and Fruit-Zone Early Leaf Removal Treatments on the Performance of Nerello Mascalese (*Vitis vinifera* L.) Grapes on Mount Etna (Southern Italy). *Agronomy* 11: 1-13
49. Niu Y. H., Wang L., Wan X. G., Peng Q. Z., Huang Q., Shi Z. H. (2021). A systematic review of soil erosion in citrus orchards worldwide. *Catena* 206: 1-9
50. Nkongolo N. V., Plassmeyer C. J. (2010). Effect of Vegetation Type on Soil Physical Properties at Lincoln University Living Laboratory. *Research Journal of Forestry* 4: 1-13
51. Panagos P., Ballabio C., Himics M., Scarpa S., Matthews F., Bogonos M., Poesen J., Borrelli P. (2021). Projections of soil loss by water erosion in Europe by 2050. *Environmental Science and Policy* 124: 380-392
52. Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., Alewell C., Lugato E., Montanarella L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy* 48: 38-50
53. Pevalek-Kozlina B. (2003). *Fiziologija bilja* (Ur. Pevalek-Kozlina B.), Profil International, Zagreb, str. 136
54. Pimentel D., Harvey C., Resosudarmo P., Sinclair K., Kurz D., McNair M., Crist S., Sphpritz L., Fitton L., Saffouri R., Blair R. (1995). Environmental and economic cost of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267: 1117-1123
55. Plante A. F. (2007). Soil biogeochemical cycling of inorganic nutrients and metals. U: *Soil microbiology, ecology and biochemistry* (Ur. Paul E. A.), Academic Press, Oxford, str. 283-302
56. Prosdocimi M., Tarolli P., Cerdá A. (2016). Mulching practices for reducing soil water erosion: A review. *Earth-Science Reviews* 161: 191-203
57. Serraj R., Siddique K. H. M. (2012). Conservation agriculture in dry areas. *Field Crops Res* 132: 1-6
58. Southgate D., Whitaker M. (1992). Promoting resource degradation in Latin America: Tropical deforestation, soil erosion and coastal ecosystem disturbance in Ecuador. *Economic Development and Cultural Change* 40 (4): 787-807
59. Sumberg J., Giller K. E. (2022). What is 'conventional' agriculture?. *Global Food Security* 32: 1-9
60. Takashi G. (2015). Sample preparation for X-ray fluorescence analysis. *Technical articles, Rigaku Journal*: 26-30
61. Tay A. C., Ratnam P. (2020). Comparison of Soil Erosion Control by Mulch and Cultivated Grass. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 943: 1-9
62. Telak L. J., Pereira P., Ferreira C. S. S., Filipovic V., Filipovic L., Bogunovic I. (2020). Short-Term Impact of Tillage on Soil and the Hydrological Response within a Fig (*Ficus Carica*) Orchard in Croatia. *Water* 12 (11): 1-16

63. Thiele-Bruhn S., Bloem J., de Vries F. T., Kalbitz K., Wagg C. (2012). Linking soil biodiversity and agricultural soil management. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4 (5): 523-528
64. Unger P. W., Langdale D. W., Papendick R. I. (1988). Role of crop residues – improving water conservation and use. *Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen* 51: 69-100
65. Walker F. (2015). Best management practices for phosphorus in the environment. University of Tennessee Agricultural Extension Service
66. Walkley A., Black I. A. (1934). An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science* 37: 29-38
67. Williams R., Taylor G., Orr C. (2020). pXRF method development for elemental analysis of archaeological soil. *Archaeometry* 62 (6): 1145-1163
68. Wischmeier W. H. i Smith D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook No. 537*, U.S. Department of Agriculture
69. Wu L., Jiang J., Li G., Ma X. (2018). Characteristics of pulsed runoff-erosion events under typical rainstorms in a small watershed on the Loess Plateau of China. *Scientific Reports* 8: 1-12
70. Yoder R. E. (1936). A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of the American Society of Agronomy* 28 (5): 337-351
71. Zachar D. (1982). Soil erosion. *Developments in soil science* 10: 276-280

## Životopis

Tonka Srdoc rođena je 29.8.1996. u Zagrebu gdje je pohađala i osnovnu školu. Srednjoškolsko obrazovanje stječe u XVI. gimnaziji na dvojezičnom smjeru uz učenje tri strana jezika. U listopadu 2015. godine upisuje smjer Ekoinženjerstva na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije, ali preddiplomski studij ipak završava na Kemijsko-tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Splitu. Diplomski studij upisuje 2020. godine na Agronomskom fakultetu u Zagrebu, smjer Agroekologija: agroekologija. Koristi se engleskim jezikom na razini C1. Tijekom srednje škole sudjeluje na brojnim natjecanjima, a u slobodno vrijeme amaterski se bavi odbojkom i košarkom te pisanjem.