# Fizikalna i kemijska svojstva kao instrument procjene kvalitete tla u periurbanom i urbanom području Zagreba

**Viduka, Antonio**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:776252

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-29**

*Repository / Repozitorij:*

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
**AGRONOMSKI FAKULTET**

# FIZIKALNA I KEMIJSKA SVOJSTVA KAO INSTRUMENT PROCJENE KVALITETE TLA U PERIURBANOM I URBANOM PODRUČJU ZAGREBA

DIPLOMSKI RAD

Antonio Viduka

Zagreb, srpanj, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
**AGRONOMSKI FAKULTET**

Diplomski studij:

Agroekologija

# FIZIKALNA I KEMIJSKA SVOJSTVA KAO INSTRUMENT PROCJENE KVALITETE TLA U PERIURBANOM I URBANOM PODRUČJU ZAGREBA

DIPLOMSKI RAD

Antonio Viduka

Mentor:
doc. dr. sc. Igor Bogunović

Zagreb, srpanj, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

**AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZJAVA STUDENTA**

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Antonio Viduka**, JMBAG 0178109084, rođen 13.02.1998. u Zagreba, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

**FIZIKALNA I KEMIJSKA SVOJSTVA KAO INSTRUMENT PROCJENE KVALITETE TLA U PERIURBANOM I URBANOM PODRUČJU ZAGREBA**

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedini autor 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*

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
**AGRONOMSKI FAKULTET**

**IZVJEŠĆE**

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **Antonia Viduke**, JMBAG 0178109084, naslova

**FIZIKALNA I KEMIJSKA SVOJSTVA KAO INSTRUMENT PROCJENE KVALITETE TLA U PERIURBANOM I URBANOM PODRUČJU ZAGREBA**

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana _____ .

Povjerenstvo: potpisi:

1. doc. dr. sc. Igor Bogunović mentor _____
2. doc. dr. sc. Lana Filipović član _____
3. doc. dr. sc. Vilim Filipović član _____

# Zahvala

Ovim putem zahvaljujem svom mentoru doc. dr. sc. Igoru Bogunoviću na neizmjernoj pomoći, volji i izdvojenom vremenu u kojem je sa mnom podijelio širok spektar svog akademskog znanja i iskustva te uz strpljivost i predanost bodrio moj rad do uspješnog završetka. Isto tako, zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na bezgraničnoj podršci pruženoj tijekom svih pet godina koračanja mojim akademskim putem.

# Sadržaj

1. Uvod ..... 1
1.1. Urbanizacija kao okidač degradacije tala ..... 2
1.2. Klimatsko-regulacijska uloga tla ..... 2
1.3. Kvaliteta tla i indikatori njene kvalitete ..... 4
1.3.1. Stabilnost agregata ..... 5
1.3.2. Infiltracija ..... 7
1.3.3. Kapacitet tla za zrak ..... 8
1.3.4. Volumna gustoća ..... 8
1.3.5. Organska tvar (humus) ..... 10
1.4. Cilj rada ..... 12
2. Materijali i metode ..... 13
2.1. Područje istraživanja ..... 13
2.2. Izbor i opis lokacija ..... 13
2.2.1. Šuma ..... 15
2.2.2. Voćnjak ..... 15
2.2.3. Vinograd ..... 15
2.2.4. Oranica ..... 15
2.3. Terensko uzorkovanje ..... 16
2.4. Laboratorijske analize ..... 16
2.5. Statistička analiza ..... 17
3. Rezultati ..... 18
4. Rasprava ..... 24
5. Zaključak ..... 27
6. Popis literature ..... 28
Životopis ..... 35

# Sažetak

Diplomskog rada studenta **Antonia Viduke**, naslova

**FIZIKALNA I KEMIJSKA SVOJSTVA KAO INSTRUMENT PROCJENE KVALITETE TLA U PERIURBANOM I URBANOM PODRUČJU ZAGREBA**

Ubrzani rast svjetske populacije predstavlja opasnost za održivost ekosustava u urbanim i periurbanim područjima. Osim što predstavljaju izvor sirovina i hrane, šumski ekosustavi i agroekosustavi imaju klimatsko-regulacijsku ulogu, odnosno mogu utjecati na emisiju $CO_2$ u atmosferu i opasnost od poplava. Način korištenja tla u takvim ekosustavima važan je zato što direktno utječe na fizikalna i kemijska svojstva tla, a samim time i na njegovu kvalitetu. U ovom se istraživanju ispitivalo pet svojstava (indikatora) kvalitete tla na četiri različito korištena tla: oranica, vinograd, voćnjak i šuma. Ispitivani indikatori bili su: stabilnost agregata, infiltracija, kapacitet tla za zrak, volumna gustoća i ukupna organska tvar. Šumsko tlo pokazalo je najpovoljnije vrijednosti svih indikatora te se statistički značajno razlikovalo od vrijednosti indikatora tla oranice i vinograda. Najbolju kvalitetu tla pokazala su tla u šumi i voćnjaku, a samim time i veći klimatsko-regulacijski potencijal.

**Ključne riječi**: urbanizacija, način korištenja, indikatori, kvaliteta tla

# Summary

Of the master's thesis – student **Antonio Viduka,** entitled

**SOIL PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES AS AN INSTRUMENT FOR ASSESSING SOIL QUALITY IN PERI-URBAN AND URBAN AREA OF CITY ZAGREB**

The rapid growth of the world's population poses a threat to the sustainability of ecosystems in urban and peri-urban areas. In addition to being a source of raw materials and food, forest ecosystems and agroecosystems have a climate-regulatory role, as they can affect $CO_2$ emissions and reduce the risk of floods. Land use in such ecosystems is important because it directly affects the physical and chemical properties of the soil, and at the same time its quality. In this study, five properties (indicators) of soil quality were examined on four differently used soils: cropland, vineyard, orchard and forest. The examined indicators were: aggregate stability, infiltration, air filled porosity, bulk density and total organic matter. Forest soil showed the highest values of all indicators and had significantly higher values than soils in cropland and vineyard. The best soil quality was shown by soils in orchard and forest, as well as the highest climate-regulatory capacity.



**Key words**: urbanization, land use, indicators, soil quality

# 1. Uvod

Svjetska populacija enormno raste, a predviđeno je da će s trenutnih 7,7 milijardi, do 2100. godine doseći 11 milijardi ljudi (UN, 2021a). Paralelno s rastom populacije desetljećima se već javlja trend urbanizacije, odnosno rast broja stanovnika u urbanim sredinama. Urbano širenje uzrokuje brojne negativne procese poput zagađenja okoliša, pretjerane emisije štetnih plinova koje pridonose jačem efektu staklenika, gubitka obradivih površina i prirodnih staništa, kontaminacije vode i zraka, degradacije i trajnog gubitka tla. Upravo potonji proces rezultat je sve zastupljenije prakse u urbanim sredinama – prenamjene zemljišta – gdje se prirodni ekosustavi pretvaraju u urbana područja. Prema klasifikaciji oštećenja tla (Bašić, 1994), navedena praksa označena je kao četvrti, najveći stupanj oštećenja, a označava nepovratni, odnosno trajni gubitak tla. Obilježena je procesima izgradnje industrijskih, energetskih objekata, prometnica, zračnih luka, hidroakumulacija i sveprisutnih objekata za stanovanje. Zbog brojnih negativnih procesa, tlo u urbanim predjelima još je značajnije, jer osim što se dugi niz godina njegova uloga svodila na onu najvažniju – proizvodnju hrane – kroz recentno stoljeće uviđa se važnost onih funkcija tla koje imaju ekološko-regulacijski i klimatski značaj (Kisić, 2012). S aspekta navedenog, tlo igra bitnu ulogu u sekvestraciji ugljika, regulaciji zagađenog zraka, skladištenju vode, a ovisno o infiltracijskim svojstvima možebitno utječe na reduciranje opasnosti od poplava (St-Hilaire i sur., 2015; Douglas, 2016). Tako, primjerice, sekvestracija ugljika može smanjiti negativan efekt staklenika, a dobra infiltracijska svojstva tla spriječiti poplave i eroziju vodom. Dakle, osim proizvodne uloge, tlo u agroekosustavima urbanih i periurbanih predjela važno je s aspekta kruženja tvari i energije te regulacije klime.

Zbog sve većeg korištenja tla u nepoljoprivredne svrhe i sve veće degradacije, procjena stanja tala u periurbanim i urbanim sredinama postala je ljudski interes. Koncept same procjene stanja tla vezan je uz pojam – kvaliteta tla. Kvaliteta tla zapravo predstavlja sposobnost tla da obavlja određenu funkciju. Kako bi se, dakle, ustanovila njegova funkcionalnost, odnosno stanje, koriste se određeni pokazatelji, tj. indikatori. Razlikuju se fizikalni, kemijski i biološki indikatori (svojstva) kvalitete tla. Oni mogu dati zaseban uvid u kvalitetu tla (npr. samo fizikalna svojstva tla), ili ako su zajednički promatrani, cjelovitu sliku kvalitete tla (sva svojstva). Kako bi, uvjetno rečeno, pravi indikatori bili odabrani, a procjena bila efikasna, važno je ustanoviti namjenu samog tla te trenutne i potencijalne degradacijske procese. S obzirom na to da tlo ima mnogo različitih uloga, a indikatori veliku vremensku i prostornu varijabilnost, iznimno je nezahvalno i komplicirano definirati fiksne indikatore kvalitete tla. Iako je cjeloviti, odnosno holistički pristup (sva tri tipa indikatora) za davanje generalne slike kvalitete tla najbolja opcija (Karlen i sur., 2003), neophodna su istraživanja fizikalnih svojstava tla, odnosno njihovih indikatora poput stabilnosti strukturnih agregata, infiltracije, kapaciteta tla za zrak i volumne gustoće.

## 1.1. Urbanizacija kao okidač degradacije tala

Globalna populacija raste, a posljedično i potražnja za hranom. Do 2050. godine bit će potrebno 60% više hrane nego danas da se prehrani svjetska populacija (UN, 2021b). Osim o povećanju proizvedene hrane, veliku brigu treba voditi i o brzorastućem trendu urbanizacije (Scherr, 1999). Kao posljedica urbanog širenja, velik broj poljoprivrednih površina i onih pod šumskom vegetacijom biva prenamijenjen u urbana područja (Bren d'Amour i sur., 2016). Tako je u periodu 1970.-2000. globalno urbanizirana površina bila veličine Republike Hrvatske, a procjenjuje se da će do 2030. godine urbano širenje obuhvatiti površinu veličine Mongolije (Seto i sur., 2011). Naime, osim što se konverzijom prirodnih ekosustava u urbana središta trajno gubi tlo, gube se i proizvodna područja koja u gusto naseljenim gradovima s velikom potražnjom hrane predstavljaju važan izvor potonje (Ferreira i sur., 2018). U urbanim i periurbanim sredinama javljaju se i drugi negativni procesi degradacije tla i ekosustava poput kontaminacije tala i zagađenja okoliša, fragmentacije i gubitka staništa (Canedoli i sur., 2017; Wei i Ewing, 2018), ali i intenzivne poljoprivrede (obrada kojom se preokreće tlo, prekomjerna primjena gnojidbe, teška mehanizacija, neadekvatan plodored ili monokultura) (Pereira i sur., 2020). U situaciji kada se drastično smanjuju poljoprivredna, šumska i druga prirodna zemljišta, a urbano širenje uzima maha, način korištenja i upravljanja zemljištem smatra se vrlo bitnim faktorom pri očuvanju dobre kvalitete tla urbanih i periurbanih sredina.

## 1.2. Klimatsko-regulacijska uloga tla

Uznapredovalom su urbanizacijom periurbani i urbani ekosustavi sve ranjivije sredine s naznačenom smanjenom funkcionalnošću. Proizvodi i usluge koje čovjek ima od ekosustava višestruke su i neprocjenjivo važne za opću dobrobit (Costanza i sur., 1997). Tako, ekosustav prema CICES (2013) ima tri glavne uloge: opskrba (hranom, sirovinama, energijom), regulacija i održavanje (regulacija klime, kruženje tvari, svojstvo pufernosti) i u konačnici kulturološka uloga (fizička, intelektualna, duhovna interakcija s čovjekom). Ekosustav se može opisati preko tri glavne sastavnice, a to su voda, zrak i tlo kao medij čija je neupitno najvažnija uloga proizvodnja hrane i snabdijevanje ljudi istom. Međutim, kako sve više svjedočimo činjenici da efekt staklenika i posljedično globalno zatopljenje predstavljaju našu realnost te glavnu opasnost održivosti svijeta kao globalnog ekosustava koji poznajemo, naglasak se stavlja na njegovu klimatsko-regulacijsku ulogu mimo proizvodne. Tako, bivši UN-ov glavni tajnik izjavljuje 2007. godine: „Klimatske promjene glavni su izazov našeg doba“ (Rosenthal, 2007). Opća svijest o negativnom utjecaju stakleničkih plinova na globalnu klimu rezultirala je formiranjem Kyoto protokola, sporazuma o klimatskim promjenama koji je potpisan od strane brojnih država s misijom smanjenja emisije ugljikovog dioksida i inih stakleničkih plinova u atmosferu. Prema istraživanju Bartoli i sur. (2011), današnje koncentracije $CO_2$ u atmosferi mogu se usporediti s onima iz pliocena u periodu od 4.6 do 2.0 milijuna godina. Isti autori navode kako je početkom procesa glacijacije velik dio ugljika bio sekvestriran u oceane i ledenjake. Promatrajući kroz prizmu navedenog, povišena

temperatura kao glavna posljedica efekta staklenika, danas direktno utječe na povišenje koncentracija ugljikovog dioksida i drugih plinova u atmosferi, i to zbog otapanja ledenjaka i permafrosta koji su značajan izvor sekvestriranog ugljika u obliku spomenutih plinova (Masyagina i Menyailo, 2019).

Generalno gledajući, važan, a ujedno i najveći izvor sekvestriranog ugljika je tlo (Pereira i sur., 2018). Ono predstavlja važnu komponentu u biogeokemijskom kruženju ugljika, a s aspekta sekvestracije najvažniji su: ugljik u obliku organske tvari, odnosno humusa i plinoviti ugljikov dioksid. U periurbanim i urbanim sredinama sekvestracijsku ulogu imaju poljoprivredna i šumska tla kod kojih veliku ulogu igra način upravljanja istima. Tako su, primjerice, poljoprivredna tla često izložena intenzivnoj obradi te podložna ubrzanoj mineralizaciji organske tvari (La Scala i sur., 2006; Bogunović i sur., 2018; Ebabu i sur., 2020). Kao posljedica smanjenja organske tvari u tlu, smanjuje se i stabilnost agregata (De Almeida i sur., 2018; Bogunović i sur., 2020b). Rezultat narušavanja strukture tla (stabilnost agregata) očituje se kroz promjene hidrauličkih svojstava i to ponajprije u vidu smanjenog kapaciteta tla za vodu i infiltracije (Franzluebbers, 2002; Zaibon i sur., 2016). Takva narušena fizikalna i hidraulička svojstva dovode do površinskog otjecanja (Biddoccu i sur., 2017) i erozije – glavnog uzročnika degradacije tla u svijetu (Amundson i sur., 2015; Kalt i sur., 2019) – čime se povećava opasnost i od poplava (St-Hilaire i sur., 2015; Douglas, 2016). Osim što direktno utječe na svojstva tla, gubitak organske tvari iz tla predstavlja i gubitak sekvestriranog ugljika koji tako odlazi u atmosferu u obliku ugljikovog dioksida. To se događa pri dezagregaciji strukturnih agregata (obrada), posebice u površinskom sloju, kada organska tvar koja predstavlja agregatno vezivo biva izložena zraku (kisiku) te samim time i povećanoj mikrobiološkoj razgradnji (Blair i sur., 2006; Kibet i sur., 2016). Dakle, pored toga što je inicijator erozije i poplava, brojni autori ističu neadekvatno i neracionalno upravljanje poljoprivrednim zemljištem bitnim faktorom u povećanoj emisiji $CO_2$ (Pereira i sur., 2018; Addisu i Mekonnen, 2019), a Lal i sur. (2008) navode kako je tlo čak veći emiter $CO_2$ nego što je sekvestrant. Međutim, Van Oost i sur. (2007) oprečnog su stava i smatraju kako antropogeno inicirana erozija i narušena struktura tla nemaju velik utjecaj na emisiju $CO_2$.

S druge strane, šumski ekosustavi dvojake su funkcije kad je u pitanju sekvestracija ugljika. Naime, dotični ekosustavi iznimno su bogati organskom tvari, te stoga sekvestracija ugljika u tlu počiva na procesu humifikacije. Glavni razlog akumulacije organske tvari u šumskim tlima je izostanak obrade, tj. čovjekovog utjecaja (Owuor i sur., 2018). Takva su tla bolje strukture, manje volumne gustoće i imaju bolja hidraulička svojstva, tj. bolje infiltracijske sposobnosti (Yimer i sur., 2008; Delelegn i sur., 2017). Upravo dobre infiltracijske sposobnosti razlog su zašto šumska tla predstavljaju iznimno dragocjen instrument u sprječavanju poplava, koje u današnje vrijeme klimatskih ekstrema urbanim sredinama prijete sve češće (Endreny i sur., 2017; Schubert i sur., 2017). Također, značajnu ulogu igra i sama šuma kao biocenoza, zato što je usvajanje ugljikovog dioksida neizostavno za fotosintezu. U tom kontekstu, povišene koncentracije $CO_2$ značile bi i povećanu stopu fotosinteze (Scherr, 1999; Smith i Dukes, 2012). Sohngen i Mendelsohn (2003) izrađuju

model prema kojem bi šume mogle sekvestrirati čak i do 1/3 ukupnog $CO_2$ iz atmosfere. No, kako bi posljedice efekta staklenika bile manje, potrebno je simultano djelovanje čovjeka i prirode u vidu pošumljavanja i sprječavanja deforestacije te u vidu fotosinteze (Pugh i sur., 2019). Promatrajući širu sliku, sekvestracija ugljika poboljšava kvalitetu tla te zapravo predstavlja proces za postizanje osiguranja hrane (Lal, 2004).

## 1.3. Kvaliteta tla i indikatori njene kvalitete

Neupitno je da je čovjek kroz povijest pa sve do danas, raznim aktivnostima i zahvatima imao velik utjecaj na samo tlo. Mijenjajući procese u tlu, čovjek mijenja i njegova svojstva. Tako je uvriježen podatak kako na svijetu danas samo 11% tala nema ograničenja pri korištenju, te kojima za popravak nije potreban nikakav agrotehnički/hidrotehnički zahvat. Nakon višedesetljetnog zanemarivanja okoliša nauštrb što veće industrijske/poljoprivredne proizvodnje, za očekivati je bilo da će se postaviti pitanja o održivosti i očuvanju okoliša (Kisić, 2012). Tako se na konferenciji UN-a održanoj 1972. godine u Stockholmu, prvi put vode javne rasprave o zaštiti okoliša. Kao jednoj od sastavnica ekološke trijade, tlu se nije davao preveliki značaj sve do perioda 1988.-1991. kada je svijest o degradaciji tala rezultirala formiranjem globalne mape (GLASOD) kao instrumentom prve procjene stanja degradacije tala induciranog od ljudi u svijetu (FAO, 2021). Način gospodarenja i posljedice antropogenog utjecaja na tlo potaknuli su ljude na razmišljanje kako procijeniti i vrednovati tlo s obzirom na njegove funkcije i ustanoviti kakvog je stanja. Kao produkt tih razmišljanja javio se pojam – kvaliteta tla. Tako, Larson i Pierce (1991) kvalitetu tla definiraju kao: „Kapacitet tla da funkcionira unutar granica ekosustava i pozitivno međudjeluje s okolišem izvan tog ekosustava“, a Doran i sur. (1994) kao: „Sposobnost tla da funkcionira unutar granica ekosustava održavajući pritom biološku produktivnost, kvalitetu okoliša i promičući zdravlje biljaka i životinja.“ Pred kraj se 20. stoljeća ubrzo razvilo mnogo definicija kvalitete tla, međutim, Doran i sur. (1994) navode kako je svim definicijama zajedničko da kvaliteta predstavlja sposobnost tla da učinkovito funkcionira u sadašnjosti, ali i u budućnosti.

Kako bi se ustanovila kvaliteta tla, potrebno je ispitati pojedine parametre koji ukazuju na stanje samog tla. Ti se parametri stručno nazivaju indikatori kvalitete tla, a predstavljaju ništa drugo nego svojstva pojedinog tla. Razlikuju se fizikalni, kemijski i biološki indikatori, a kako navode Karlen i sur. (2003), za ukupnu procjenu kvalitete tla potrebno je koristiti sve indikatore (imati uvid u sva svojstva), odnosno potreban je cjeloviti, holistički pristup. S obzirom na to da svako tlo nije isto i da je ono rezultat različite sprege pedogenetskih procesa i čimbenika, razlikujemo inherentna (svojstvene pojedinom tlu) i dinamička svojstva (ovise o načinu korištenja tla i gospodarenja zemljištem). Osim što je važno definirati potonja svojstva, prilikom procjene kvalitete važno je i definirati njegovu ulogu u ekosustavu, ulogu za čovjeka, ali i koje su postojeće te potencijalne prijetnje za normalno funkcioniranje tla unutar ekosustava (Volchko i sur., 2013; Bünemann i sur., 2018). Dakle, svakom tlu potrebno je pristupiti individualno pri procjeni kvalitete, a njen se koncept

generalno zasniva na procjeni inherentnih i dinamičkih svojstava tla, te uzimanju u obzir svih indikatora (fizikalni, kemijski, biološki) (Karlen i sur., 2003).

Kako je proizvodna uloga primarna i najvažnija uloga tla, procjena kvalitete tla mogla bi ići u smjeru procjene same plodnosti tla, odnosno s aspekta poljoprivrede, prinosa. Tu se ponajprije daje kemijskim svojstvima tla na značaju. Međutim, procjena kvalitete tla nadilazi samu plodnost kao takvu te se treba gledati kroz prizmu šireg spektra uloga tla osim one proizvodne (Karlen i sur., 1992; Bünemann i sur., 2018). Tako, osim što poljoprivredna i šumska tla u periurbanim i urbanim sredinama predstavljaju važan izvor hrane i sirovina za populaciju ljudi u gradovima (Opitz i sur. 2015; Dieleman, 2017), ona, danas, imaju sve veći utjecaj na klimu. Tu se ponajprije misli na već spomenute procese regulacije klime u vidu sekvestracije ugljika te smanjenja efekta staklenika i smanjenja opasnosti od poplava. Zbog navedenih razloga, kvaliteta tla poljoprivrednih i šumskih zemljišta dobiva na izrazitoj važnosti. Potencijalna prijetnja takvim tlima leži u činjenici da se velikom brzinom prenamjenjuju, a trenutna prijetnja očituje se u zagađenju zbog blizine gradova, ali i intenzivne poljoprivredne prakse. Zbog toga je jako važno odabrati primjerene indikatore koji ukazuju na kvalitetu navedenih tala. Primjerice, Delelegn i sur. (2017) navode da su prilikom degradacije tala ili njihove prenamjene najvažnija dva indikatora: stabilnost agregata i organska tvar ili humus. Bünemann i sur. (2018) proučavajući 65 radova procjene kvalitete tla zaključuju kako su dva najčešće korištena indikatora kvalitete tla pH i organska tvar ili humus. Dakle, može se zaključiti kako većina autora koristi kemijske indikatore procjene kvalitete tla. Upravo zato, potreban je uvid i u fizikalna svojstva tla, a ona bi se ovim radom svela na procjenu kvalitete poljoprivrednih i šumskih tala periurbanih i urbanih sredina putem fizikalnih indikatora kao što su: stabilnost agregata, infiltracija, kapacitet tla za zrak i volumna gustoća; ali i putem jednog kemijskog indikatora – organske tvari tla. Naime, osim što je jedan od najkorištenijih indikatora pri procjeni kvalitete tla, njegov se odabir ponajprije temelji na uskoj povezanosti sa stabilnošću agregata, kao i s ostalim navedenim indikatorima.

### 1.3.1. Stabilnost agregata

Način nakupljanja ili agregiranja mehaničkih i organskih čestica u strukturne agregate naziva se – struktura tla. Formiranje strukturnih agregata odvija se u dvije faze. Prva faza ili faza koagulacije podrazumijeva formiranje strukturnih mikroagregata i to tako da kalcijevi kationi funkcioniraju kao vezivo između koloida smanjujući elektrokinetički potencijal među njima. Druga faza ili faza granulacije podrazumijeva formiranje strukturnih makroagregata, ali u ovom slučaju kao vezivo između mikroagregata služi organska tvar (humus). Uvriježeno je kako mikroagregati imaju radijus manji od 0,25 mm dok makroagregati veći od 0,25 mm. Dakle, važnost kalcija i organske tvari neupitna je za tvorbu strukturnih agregata. Upravo način korištenja poljoprivrednog tla direktno utječe na količine agregatnih veziva u samom tlu, na količine kalcija odnosno humusa. Način korištenja tla u poljoprivredne svrhe u prvom redu karakterizira zahvat obrade. Obrada s jedne strane kratkoročno poboljšava vodozračne

odnose u tlu, a s druge strane njenom se intenzivnom primjenom dugoročno narušava sama struktura tla. Kako bi se procijenila kvaliteta tla u vidu narušavanja njegove strukture, koristi se fizikalni indikator – stabilnost agregata – a on predstavlja otpornost agregata na raspadanje prilikom intenzivnih prirodnih i antropogenih procesa.

Različit način korištenja tla različito se odražava na svojstva samog tla. Opće je poznato kako čovjek ima najviše utjecaja na poljoprivrednim tlima u odnosu na tlo pašnjaka, šumsko tlo, travnjak i druga. Stoga se provode brojne studije radi ispitivanja fizikalnih svojstava poljoprivrednog tla, ali se provode i one komparacijske gdje se uspoređuju fizikalna svojstva primjerice šumskog i poljoprivrednog tla ili svojstva različito korištenih poljoprivrednih tala gdje se primjenjuju različiti oblici obrade, ali generalno i različiti oblici gospodarenja zemljištem. Delelegn i sur. (2017) smatraju kako stabilnost agregata i ukupna organska tvar imaju najvažniju ulogu pri monitoringu određenog tla, odnosno pri određivanju njegove kvalitete. Također, njihova studija pokazuje kako je stabilnost agregata na oraničnom tlu puno manja od onih tala koja imaju pokrovnu vegetaciju (šuma, travnjak). Takve rezultate pripisuju obradi tla kao glavnom uzročniku degradacije strukturnih agregata. Sličnih je spoznaja i Cerdà (2000) koji utvrđuje kako oranično tlo ima devet puta manju stabilnost agregata od šumskog tla i onog pod prirodnom vegetacijom. De Almeida i sur. (2018) u svom istraživanju dokazuju kako tlo pašnjaka ima veću stabilnost agregata od obrađivanog tla (oranice). Također, spominju kako stabilnost agregata opada s dubinom što se može pripisati manjem sadržaju organske tvari koja je zaslužna za formiranje strukturnih agregata, kao i povećanoj zbijenosti tla. Bogunović i sur. (2020b) uspoređuju rezultate stabilnosti agregata s tri različito korištena tla; oranice, zatravljenog maslinika i obrađivanog maslinika. Rezultati pokazuju kako najveću stabilnost agregata ima tlo zatravljenog maslinika, a autori to pripisuju vegetacijskom pokrovu (trava) čiji korijenski sustav luči eksudate koji privlače mikroorganizme (razgrađuju svježu organsku tvar u površinskom horizontu), a ti isti eksudati (organske molekule) služe kao vezivo za formiranje strukturnih agregata. Osim navedenog, autori zaključuju kako obrada negativno djeluje na stabilnost agregata i to u vidu smanjenja organske tvari (brža mineralizacija zbog izlaganja organske tvari kisiku i posljedično povećanoj mikrobnoj aktivnosti), ali i direktnim načinom, usitnjavanjem strukturnih agregata.

Cerdà (2000) ispituje korelaciju stabilnosti agregata s različitim podnebljima. Točnije, na tri različite lokacije s različitom klimom (humidna, perhumidna, aridna klima) ispituje stabilnost agregata na dva različito korištena tla; oranica i tlo pod prirodnom vegetacijom. Rezultati pokazuju kako je tlo pod prirodnom vegetacijom imalo najveću stabilnost agregata u sva tri podneblja, a najmanju stabilnost agregata od ta tri podneblja pokazalo je tlo pod prirodnom vegetacijom u aridnim uvjetima. Usporedbe radi, sličnu stabilnost agregata s prethodnom lokacijom imalo je oranično tlo u humidnim uvjetima. Zaključak je da humidna klima pozitivno utječe na stabilnost agregata, ali i da kombinacija obrade tla i aridne klime ima još negativnije djelovanje na stabilnost agregata.

Neke studije istražuju fizikalna svojstva tla nakon prenamjene zemljišta. Najbolji primjer prenamjene u današnjem svijetu bila bi deforestacija ili krčenje šuma, odnosno proces smanjenja površina pod šumama, a provodi se radi dobivanja većih površina pod poljoprivrednom proizvodnjom ili površina s urbanističkom funkcionalnošću. U slučaju prenamjene zemljišta, fizikalno svojstvo koje trpi najveće promjene je struktura tla (Pinheiro Junior i sur., 2018). An i sur. (2013) uspoređuju koji oblik revegetacije pospješuje stabilnost agregata. Preciznije, jedno zemljište je pošumljeno dok je drugo prepušteno prirodnoj sukcesiji, odnosno rastu jednogodišnjih i višegodišnjih trava. Potonje zemljište pokazuje se kao bolji oblik revegetacije i polučuje bolju stabilnost agregata. Osim što prenamjena zemljišta utječe na stabilnost agregata, ona drastično utječe na vodni režim tla i to mijenjajući hidrološka i hidraulička svojstva. Owuor i sur. (2018) takav negativan trend primjećuju u svojoj geografskoj regiji gdje su prenamjena i deforestacija uzeli maha, a degradacija fizikalnih i kemijskih svojstava postala normalnost.

### 1.3.2. Infiltracija

Kretanje vode u prirodi je kružnog karaktera. Ona se giba kroz različite sfere i pritom mijenja stanja i energije. Voda u tlo dospijeva primarno iz atmosfere i to kao oborinska, a sami ulazak vode u tlo naziva se infiltracija. Osim oborinske, voda može penetrirati u tlo kao poplavna, slivena ili podzemna. Jednom kada uđe u tlo, ona se može gibati silazno, uzlazno ili lateralno. S aspekta racionalnog gospodarenja vodom u agroekosustavima, bitno je spriječiti površinsko otjecanje vode, jer ono pospješuje eroziju, a često može dovesti i do poplava. Potonja opasnost sve češće prijeti prenapučenim i urbaniziranim sredinama.

Koliko će se vode infiltrirati u tlo prvenstveno ovisi o vegetacijskom pokrovu na površini tla te njegovim fizikalnim svojstvima, ali i o antropogenom utjecaju (način korištenja tla). Kao najvažnije fizikalno inherentno svojstvo ističe se tekstura. Primjerice, što je veći udio čestica pijeska u tlu, to je infiltracija veća, a s većim udjelom čestica gline, ona je manja. Čovjek na teksturu ne može značajno utjecati, no racionalnim gospodarenjem zemljišta može održavati povoljnu strukturu, a samim time pozitivno utjecati i na infiltraciju. Tako u istraživanju Jiang i sur. (2007) kombinacija težeg teksturnog sastava (velik udio čestica gline) i obrade na konstantnoj dubini (stvaranje tabana pluga) rezultira slabijom infiltracijom.

Osim fizikalnih svojstava samog tla, bitno je istaknuti čimbenike poput klime i nagiba (geomorfološko svojstvo) jer konstelacija potonjih čimbenika i onih fizikalnih može uvelike odrediti hoće li nekoj sredini prijetiti opasnost od poplava i u kojoj mjeri. Gasmo i sur. (2000) tako navode kako uz heterogenost fizikalnih svojstava pojedinih tipova tala, na infiltraciju značajno utječe nagib (inklinacija). Glavni problem koji se javlja na nagnutim terenima je površinsko otjecanje vode koje zatim inicira eroziju. Ako je tlo golo i nema pokrovne vegetacije, negativni utjecaj površinskog otjecanja još je veći, a infiltracija je u takvim slučajevima niska (Capello i sur., 2019). Tako je u radu Biddoccu i sur. (2017) površinsko otjecanje četiri puta veće kod nezatravljenog i obrađivanog tla u odnosu na zatravljeno. De

Almeida i sur. (2018) dobivaju najmanje vrijednosti infiltracije na golom tlu bez vegetacije te zaključuju kako je infiltracija u većoj mjeri uvjetovana pokrovnom vegetacijom nego što je sustavom obrade tla, odnosno načinom korištenja. Zaibon i sur. (2016) navode kako pokrovna vegetacija (višegodišnje trave) utječe na poroznost stvarajući svojim korijenjem nove biopore, a samim time i na bolju infiltraciju. Međutim, Yimer i sur. (2008) oprečnog su zaključka i smatraju kako je način korištenja zemljišta glavni razlog neujednačenih vrijednosti infiltracije kod tri različito korištena tla. Da čovjek svojim zahvatima utječe na infiltraciju dokazano je i u radu Franzluebbers (2002) jer su vrijednosti infiltracije veće kod neobrađivanog tla usporedo s obrađivanim.

### 1.3.3. Kapacitet tla za zrak

Količina zraka koja se prilikom zasićenja tla do retencijskog kapaciteta tla za vodu nalazi u makroporama tla naziva se kapacitet tla za zrak. Što je saturacija tla vodom veća, to struktura ima veći utjecaj na ukupnu količinu makropora, a samim time i na kapacitet tla za zrak. Što u tlu ima manje vode, to je kapacitet tla za zrak ovisniji o teksturi (Tomasella i Hodnett, 1998). Kapacitet tla za zrak važan je indikator vodozračnih odnosa u tlu. U bliskoj je vezi s infiltracijom, a odnos im je u pravilu temeljen na proporcionalnosti, odnosno prilikom porasta vrijednosti jednog parametra raste vrijednost drugog. Dakle, što je više makropora u tlu, to će biti veća infiltracija vode (Çerçioğlu i sur., 2019).

Osim što u prvu ruku kapacitet tla za zrak ovisi o teksturi, strukturi, matičnom supstratu, sadržaju organske tvari i u manjoj mjeri o drugim fizikalnim i kemijskim svojstvima; iznimno je važan antropogeni utjecaj, a tu se ponajprije misli na način na koji je tlo korišteno. Oranično tlo u pravilu ima malen kapacitet tla za zrak jer se obradom direktno utječe na strukturu i stabilnost agregata te je jedna od posljedica smanjenje broja makropora (Wall i Heiskanen, 2009). S druge strane, tla pod prirodnom vegetacijom, koja u pravilu nisu pod utjecajem čovjeka uobičajeno imaju velik kapacitet tla za zrak. Takav slučaj zabilježen je u radu Bodhinayake i Cheng (2004) kod šumskog tla, te u radu De Almeida i sur. (2018) kod tla na pašnjaku. Glavni razlog tomu je nenarušena struktura, odnosno stabilnost agregata. Kako bi donekle smanjio negativan utjecaj na tlo i njegova fizikalna svojstva, preporučena praksa na poljoprivrednim tlima je zatravljivanje. Osim što se može koristiti kao malč, jednogodišnje, a pogotovo višegodišnje trave utječu povoljno na stabilnost agregata (Bogunović i sur., 2020b), ali i na ukupnu poroznost te u konačnici na formiranje samih makropora (Abdollahi i Munkholm, 2014; Zaibon i sur., 2016).

### 1.3.4. Volumna gustoća

Broj koji pokazuje koliko je neki volumen tla teži ili lakši (veće ili manje mase) od istog takvog volumena vode naziva se gustoća tla. Volumna gustoća pak predstavlja odnos između mase potpuno suhog tla i njegovog volumena u prirodnom stanju. Međutim, prilikom ispitivanja fizikalnih svojstava tla u obzir se mogu uzeti dva indikatora: gustoća čvrstih čestica

i volumna gustoća. Upravo se volumna gustoća tla češće primjenjuje u znanstvenim istraživanja zbog toga što se određivanjem njene vrijednosti mogu dobiti brojni drugi fizikalni indikatori kvalitete tla poput: poroznosti, kapaciteta tla za zrak, količine vode u tlu, zbijenost i dr. Prema istraživanju Bünemann i sur. (2018), volumna gustoća jedan je od najkorištenijih fizikalnih indikatora pri procjeni kvalitete tla. Njome se u suštini utvrđuje koliko je tlo zbijeno, a iznimno je dobar pokazatelj stanja strukture i vodozračnih odnosa u tlu.

Ona može biti inherentno svojstvo, ali samo u slučaju kada nema antropogenog utjecaja, a tada će na njenu vrijednost najveći utjecaj imati tekstura. Kada spomenuti utjecaj postoji, volumna se gustoća smatra dinamičkim svojstvom i izrazito je podložna promjenama, a posebice u površinskim horizontima (uglavnom do 30 cm) gdje je utjecaj čovjeka najintenzivniji u vidu raznih zahvata (podrivanje, oranje, drljanje, malčiranje i dr.) U tom će slučaju ovisiti o intenzitetu i učestalosti zahvata obrade tla, uzgajanoj kulturi, pokrovnoj kulturi, korištenoj mehanizaciji i brojnim drugim agrotehničkim i hidrotehničkim zahvatima. Svi ti postupci direktno utječu na svojstva poput sadržaja organske tvari, stabilnosti agregata, kapaciteta tla za zrak i infiltracije, a koji su u izravnoj vezi s volumnom gustoćom.

Što se tiče same obrade, njen glavni cilj privremeno je poboljšati vodozračne odnose u tlu, odnosno prorahliti ga. Zato je u pravilu površinski sloj tla manje volumne gustoće nego dublji horizonti, a to dokazuje i nekolicina radova. Huang i sur. (2012) bilježe najmanju volumnu gustoću u sloju tla 0-10 i 10-20 cm, a najveću u sloju 20-30 cm. Kao objašnjenje toga navodi se kako je površinski oranični sloj najzahvaćeniji prilikom obrade i stoga najrahliji te najporozniji. Sloj na dubini 20-30 cm ima povišenu vrijednost volumne gustoće zbog stvaranja tabana pluga – zbijenog horizonta nepropusnog za vodu – a nastalog radi dugotrajne obrade na istoj dubini. Slične vrijednosti dobivaju Bogunović i sur. (2018) na dubini 30-40 cm, a kao razlog se također navodi postojanje tabana pluga. Rješenje za smanjenje negativnog utjecaja tabana pluga potencijalno se nalazi u pokrovnoj kulturi robusnog zakorjenjivanja koja osim što pozitivno utječe na zbijenost tla (Jabro i sur., 2021), rezultira boljom infiltracijom i većim kapacitetom tla za zrak (Zaibon i sur., 2016). Međutim, da postojanje vegetacijskog pokrova ujedno ne znači i manja volumna gustoća i zbijenost, dokazuju rezultati istraživanja Bogunović i sur. (2019a). Vegetacijom kontinuirano pokriveni vinograd (izostanak obrade) ima veće vrijednosti volumne gustoće u odnosu na tla gdje je primjenjivana obrada, iako ne treba smetnuti ni intenzivni promet mehanizacijom u promatranim vinogradima.

Telak i sur. (2020) u svom radu pak raspravljaju o razlogu zašto volumna gustoća površinskog sloja tla naglo počinje rasti nakon jesenske obrade. Naime, razlog tomu leži u činjenici da velike količine oborina uzrokuju slijeganje odnosno konsolidaciju tla, a samim time i veće vrijednosti volumne gustoće. Do istih spoznaja dolaze Bogunović i sur. (2020a) jer prirodna konsolidacija uzrokuje da volumna gustoća oranice pod lucernom koja nije orana dvije godine ima najveću vrijednost. Kako bi u takvim situacijama konsolidacija tla bila manja,

potrebno je racionalno gospodariti organskom tvari. Što je više organske tvari u tlu, to je struktura tla povoljnija, jer organska tvar (humus) služi kao vezivo pri stvaranju makroagregata, a samim je time i stabilnost agregata veća. Na povoljnu strukturu nadovezuje se i povoljna poroznost te kapacitet tla za zrak, a u konačnici sve se to očituje manjim vrijednostima volumne gustoće. Do takvog zaključka dolaze Bogunović i sur. (2020b) jer više organske tvari u zatravljenom masliniku uzrokuje smanjenu vrijednost volumne gustoće u odnosu na dugogodišnje obrađivani maslinik.

Pojedini su autori temeljili svoja istraživanja na proučavanju i usporedbi vrijednosti fizikalnih svojstava prije i nakon prolaska određenog perioda od prenamjene tla, ili primjerice, prije i nakon promjene načina korištenja tla. Tako Ebabu i sur. (2020) nakon 3 godine provođenja održivog načina gospodarenja tlima različitog načina korištenja (oranica, pašnjak, šikara), zaključuju kako smanjenje učestalosti obrade na oranici i sprječavanje ispaše na pašnjaku (pokrovnu vegetaciju nisu uklonile životinje) pogoduje smanjenju zbijenosti (smanjena volumna gustoća). S druge strane, Çerçioğlu i sur. (2019) nakon 5 godina sustavnog zatravljivanja obradive površine zaključuju kako nema značajne promjene u vrijednosti volumne gustoće. Autori dobivaju najmanje vrijednosti u površinskom sloju tla (0-10 cm = 1.28 g $\mathrm{cm}^{-3}$).

Bogunović i sur. (2018) tijekom 7 godina istraživanja uspoređuju vrijednosti volumne gustoće tri različita sustava obrade: NT – bez obrade, CT – konvencionalna obrada (oranje do 30 cm) i DT – duboka obrada (oranje do 50 cm). Rezultati pokazuju kako prilikom konverzije s CT sustava na NT u prve tri godine vrijednosti volumne gustoće naglo rastu, a zatim se u sljedeće tri godine ustaljuju. Kao razlog navedenom smatra se kako za značajnije promjene fizikalnog stanja u no-tillage (NT) sustavima treba proći određeno vrijeme kako bi se u tlu koje je prenamijenjeno, a prije toga intenzivno orano, akumulirala organska tvar koja će potencijalno uzrokovati smanjenje vrijednosti volumne gustoće, a generalno poboljšati vodozračni režim u tlu. Treba istaknuti kako je tip tla ovog istraživanja pseudoglej, a njega karakterizira visoki udio praha. Zbog toga je takvo tlo podložno kvarenju strukture i stvaranju pokorice (negativno utječe na infiltraciju), a posebno pri njegovom neracionalnom korištenju i gospodarenju. Suprotno rezultatima iz prve tri godine gore spomenutog rada, Bogunović i sur. (2014) dolaze do zaključka kako prelazak s CT sustava na NT ipak ne uzrokuje značajno povećanje vrijednosti volumne gustoće.

### 1.3.5. Organska tvar (humus)

Tlo se sastoji od čvrste, tekuće i plinovite faze. Najveći dio čvrste faze čini mineralna komponenta (oko 90%), a dok organska tvar čini 5 do 10%. Organska tvar sastoji se od žive (oko 5%) i mrtve organske tvari (oko 95%). Utjecaj organske tvari na fizikalna i kemijska svojstva tla neupitno je velik. Tu se posebice ističe njena važnost za dva najvažnija fizikalna svojstva, teksturu i strukturu. U vidu teksture, sadržaj organske tvari u tlu pozitivno korelira sa sadržajem gline, a negativno sa sadržajem pijeska. Dakle, što je više pijeska u teksturnom

sastavu tla, bit će manje organske tvari jer teže dolazi do granulacije (stvaranje strukturnih makroagregata) i obrnuto. Matthews i sur. (2010) potvrđuju prethodno jer u svom istraživanju dobivaju veći sadržaj organske tvari u glinastom tlu. Što se tiče strukture, organska tvar predstavlja vezivo (ljepilo) za tvorbu strukturnih makroagregata. Dakle, indirektno utječe na strukturu, a posebno na stabilnost agregata. Formiranje povoljne strukture povlači sa sobom i povoljan vodozračni odnos u samom tlu kao i povoljnu infiltraciju. S obzirom na to da organska tvar ima veliki kapacitet adsorpcije, osim brojnih kationa, ona dobro veže i vodu. Takvo svojstvo stavlja u prvi plan važnu pufernu ulogu kojom može kontrolirati i stabilizirati reakciju tla (pH).

Osim s aspekta poboljšanja fizikalnih i kemijskih svojstava, kruženje organske tvari te sami biogeokemijski ciklus ugljika u prirodnim ekosustavima, vrlo pouzdano mogu pokazati klimatsko-regulacijski potencijal tla. Tu se ponajprije misli na sposobnost tla da inkorporira, tj. sekvestrira ugljik. Sekvestracija ugljika najveća je u površinskim horizontima, a porastom dubine sadržaj organske tvari opada (Baker i sur., 2007; Yeboah i sur., 2016). Prirodni ekosustavi (npr. šuma) koji nisu pod utjecajem čovjeka imaju uravnotežen i stabilan ciklus kruženja organske tvari i stvaranja humusa te predstavljaju dobre sekvestratore ugljika. Međutim, u slučaju i najmanjeg antropogenog zahvata dolazi do promjene sadržaja organske tvari, a početak njenog smanjivanja zapravo kreće od trenutka prenamjene prirodnih ekosustava u agroekosustave. Delelegn i sur. (2017) tako navode kako za procjenu kvalitete tla nakon prenamjene najprije treba uzeti u obzir indikatore kao što su stabilnost agregata i ukupna organska tvar.

Kao najvažnija, i u intenzivnoj proizvodnji neizostavna agrotehnička mjera, obrada tla ima direktan utjecaj na sadržaj organske tvari u tlu. Ona primarno poboljšava vodozračne odnose u tlu, no dugoročno gledano, fizikalna i kemijska svojstva tla bivaju narušena. Aeracijom tla prilikom obrade, organska tvar tla biva izložena kisiku i povećanoj mikrobiološkoj razgradnji, a to dovodi do smanjenja njenog sadržaja (La Scala i sur., 2006; Bogunović i sur., 2018; Ebabu i sur., 2020). Osim što njen gubitak iz tla utječe na mikrobiološke, fizikalne i kemijske čimbenike, tlo počinje gubiti klimatsko-regulacijsku sposobnost jer umjesto sekvestratora postaje emiter ugljikovog dioksida u atmosferu. No, vodeći se činjenicom da svaka akcija izaziva reakciju, čovjekov utjecaj po pitanju organske tvari može ići i u pozitivnom smjeru. Svjesnost čovjeka u kojoj mjeri pojedinom agrotehničkom mjerom utječe na bilancu ugljika, sa sobom povlači i mogućnost naknadnog unošenja ugljika u tlo u obliku organske tvari. Tu se primarno misli na unošenje posliježetvenih ostataka i organskih gnojiva u tlo kao i na primjenu zelene gnojidbe jer se žetvom također gubi, odnosno iznosi značajna količina organske tvari iz tla (Baker i sur., 2007). Tako je dodatak organskog gnojiva rezultirao povećanjem sadržaja organske tvari u tlu u radovima Matthews i sur. (2010) te Bogunović i sur. (2020a). Osim spomenutog, kao pozitivnu praksu koja utječe na povećanje sadržaja organske tvari u tlu, pojedini autori smatraju zatravljivanjem tla (Matthews i sur., 2010; Bogunović i sur., 2020b).

Pad sadržaja organske tvari, u danas sveprisutnoj intenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji, neizbježan je proces, no može se reducirati uz pridržavanje održivih metoda gospodarenja zemljištem i racionalnom primjenom agrotehničkih zahvata. U tom slučaju, organska tvar predstavlja izrazit kondicioner (poboljšivač) svojstava tla te čini tlo značajnim sekvestratorom, a osim poboljšanja proizvodne, posljedično raste i klimatsko-regulacijska sposobnost tla.

## 1.4. Cilj rada

Hipoteza je kako će šumska i manje intenzivno korištena poljoprivredna tla (voćnjak) imati bolja fizikalna i kemijska svojstva, odnosno bolju kvalitetu tla. Isto tako, pretpostavlja se da će takva tla sekvestrirati više organske tvari i imati veću razinu infiltracije od onih gdje se primjenjuje intenzivna poljoprivredna praksa (oranica, vinograd).

Cilj ovog rada ustanoviti je u kojoj mjeri čovjek svojim utjecajem, odnosno načinom korištenja utječe na svojstva tla tako da se pomoću fizikalnih (stabilnost agregata, volumna gustoća, infiltracija, kapacitet tla za zrak) i kemijskih indikatora (ukupna organska tvar) usporedi i procjeni kvaliteta četiri različito korištena tla (šuma, voćnjak, vinograd i oranica) te ustanovi njihova klimatsko-regulacijska sposobnost.

# 2. Materijali i metode

## 2.1. Područje istraživanja

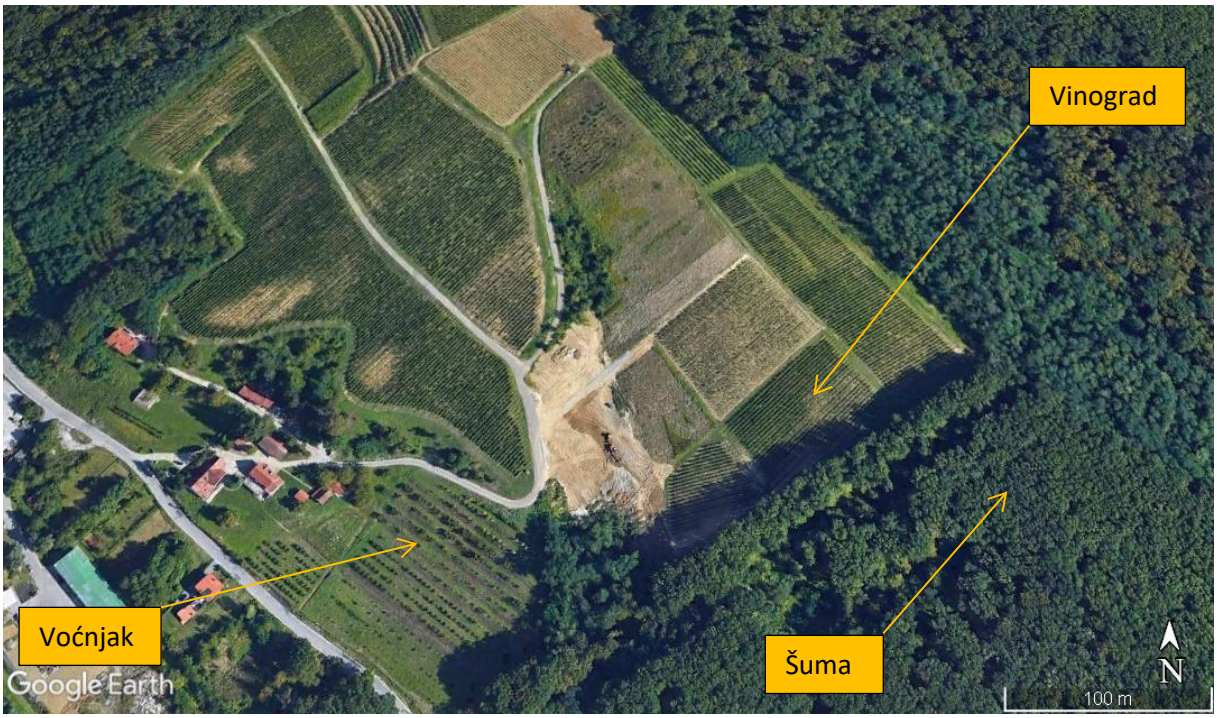
Grad Zagreb (Slika 2.1.1.) nalazi se u kontinentalnom dijelu Republike Hrvatske, preciznije, između 45°36′ i 45°58′ sjeverne geografske širine te 15°46′ i 16°14′ istočne geografske dužine. Prema Köppenu, ima umjerenu kontinentalnu klimu (Dfb). Prema podacima s meteorološke postaje Zagreb Maksimir za period 1949.-2019. godine, prosječna godišnja količina padalina iznosi 861,50 mm, a srednja godišnja temperatura zraka 10,96 °C s rasponom od 0,2 °C u siječnju pa do 21,1 °C u srpnju. Broj stanovništva grada Zagreba u konstantnom je porastu. Tako je 2015. godine grad Zagreb brojao 799 565, a 2019. godine 807 254 broja stanovnika (DZS, 2019). Područje grada Zagreba većinski obilježava dolinski reljef, a u manjoj mjeri brežuljkasti i brdoviti. Na jednom takvom brdovitom (>200 m) mikroreljefu, točnije, na južnim padinama Medvednice, nalazi se eksperimentalna lokacija. Njena nadmorska visina je 258 m, a 45°51′ sjeverne geografske širine i 16°00′ istočne geografske dužine su joj koordinate. Prema inventarizaciji zemljišta grada Zagreba koju su izradili Husnjak i sur. (2008), poljoprivredno se zemljište (oranice, mozaici poljoprivrednog zemljišta, voćnjaci i vinogradi, livade) prostire na 33,9%, a prirodna vegetacija (šume, šumske čistine i grmlje) na 35,9% ukupne površine grada Zagreba. Dakle, s obzirom na veliku kumulativnu površinu, potonje površine značajnog su klimatsko-regulacijskog potencijala u vidu sekvestracije ugljika i smanjenja opasnosti od poplava.

Slika 2.1.1. Područje istraživanja – Grad Zagreb

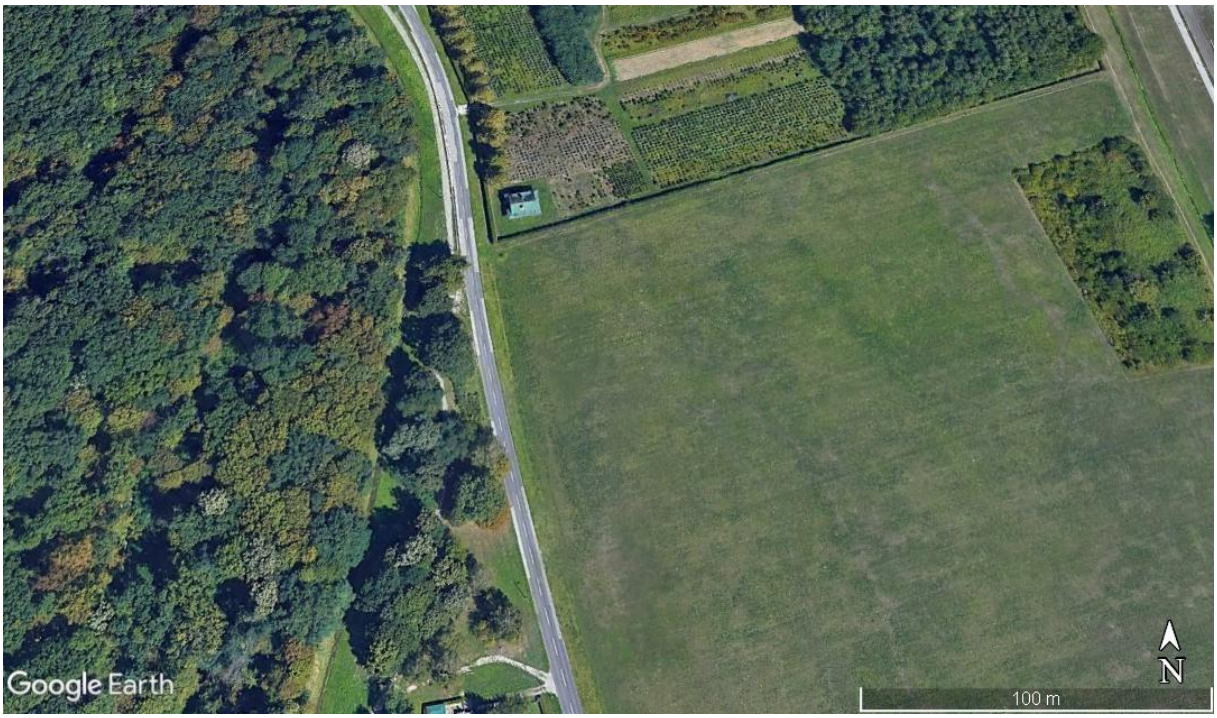
## 2.2. Izbor i opis lokacija

Za ovo istraživanje odabrane su četiri lokacije. Svaku lokaciju karakterizira različit način korištenja (tretmani), a one su sljedeće: šuma, voćnjak, vinograd i oranica. Šuma, voćnjak i vinograd (Slika 2.2.1.) imaju iste geomorfološke karakteristike (nagib: 11%;

nadmorska visina: 258 m), smješteni su u sjeverozapadnom dijelu Zagreba na obroncima gorja Medvednice i u neposrednoj su blizini. S obzirom na to da u blizini navedenih lokacija nije bilo oranice istih pedoloških i geomorfoloških karakteristika, točnije, istog tipa tla, njena lokacija nalazi se oko kilometar dalje u podnožju Medvednice (Slika 2.2.2.) i približno je sličnog tipa tla kao ostali tretmani. Nagiba na oranici nema, a nadmorska visina je 136 m.



Slika 2.2.1. Eksperimentalna lokacija – Voćnjak, vinograd, šuma



Slika 2.2.2. Eksperimentalna lokacija – Oranica

### 2.2.1. Šuma

Šumsko zemljište nalazi se pod nativnom vegetacijom, a najviše dominira vrsta hrast lužnjak (*Quercus robur* L.). Prema klasifikaciji tala svjetske referentne skupine (WRB, 2014), šumsko tlo pripada tipu tla – stagnoglej. Izrazito je praškaste teksture te nestabilne strukture. Ovaj tip tla podložan je stvaranju pokorice, nepovoljnih je vodozračnih odnosa, ali je zato dosta humozan u šumskim zajednicama. U pravilu nastaje na području humidne klime te na položajima sa slabom dreniranošću, a česta pojava je dugotrajna prisutnost stagnirajuće oborinske vode u površinskom dijelu profila tla.

### 2.2.2. Voćnjak

Voćnjak je situiran na terasama, a u njemu se uzgajaju različite vrste voćaka (jabuka, kruška, šljiva). Trajno je zatravljen, a malč se ostavlja na površini. Nijedan oblik obrade tla te nikakva sredstva za zaštitu bilja nisu primijenjena najmanje dvadeset godina. Prema klasifikaciji tala svjetske referentne skupine (WRB, 2014), tlo u voćnjaku pripada tipu tla – antrosol. Ovaj tip tla razvio se iz stagnogleja, a razlog sukcesije antropogeni je utjecaj.

### 2.2.3. Vinograd

Godišnji zahvati obrade tla u vinogradu su obrada rotirajućom motikom i drljanje. Tijekom sezone narasla vegetacija se malčira. Između redova u vinogradu korovi su tretirani herbicidima. Potonji zahvati primjenjuju se u vinogradu već više od četrdeset godina. Prema klasifikaciji tala svjetske referentne skupine (WRB, 2014), tlo u vinogradu pripada tipu tla – antrosol. Ovaj se tip tla također razvio iz stagnogleja, a razlog sukcesije je isti kao i kod voćnjaka – antropogeni utjecaj.

### 2.2.4. Oranica

Od agrotehničkih se zahvata na oranici primjenjuju oranje, tanjuranje i rotodrljanje prije sjetve. Na oranici je zastupljen tipični plodored uključujući kukuruz, soju, ozimu pšenicu, uljanu repicu i lucernu. Herbicidi i insekticidi se primjenjuju na godišnjoj razini. Prema klasifikaciji tala svjetske referentne skupine (WRB, 2014), oranično tlo pripada tipu tla – distrično smeđe tlo (distrični kambisol). Distrični kambisol je tlo plitke do vrlo plitke ekološke dubine koje pretežno nastaje na brdskom i gorskom području (76% tih tala nalazi se unutar šumskih ekosustava u Republici Hrvatskoj). Ilovaste je teksture te mrvičaste strukture, iako stabilnost agregata nije velika zbog niskog pH, odnosno nedostatka baza. Udio glinenih čestica u ovom tipu tla nije velik, a razlog tomu je mali sadržaj primarnih minerala u matičnom supstratu čijom daljnjom transformacijom nastaju minerali gline. Distrično smeđe tlo u pravilu je povoljnih vodozračnih odnosa, porozno je te ga usprkos nedostatku baza karakteriziraju povoljna fizikalna svojstva.

## 2.3. Terensko uzorkovanje

Terensko je uzorkovanje bilo provedeno tijekom 2018. godine. S već spomenutih lokacija (šuma, voćnjak, vinograd i oranica) prikupljeno je osam uzoraka tla u neporušenom stanju i osam uzoraka tla pomoću cilindara (Kopecky) volumena 100 $cm^3$. Dubina uzorkovanja bila je 0-10 cm u oba slučaja. U neposrednoj blizini uzorkovanja provedeno je mjerenje infiltracije pomoću infiltrometra (DualHead infiltrometer, Decagon Devices, Pullman, WA, USA; Reynolds i Elrick, 1990).

## 2.4. Laboratorijske analize

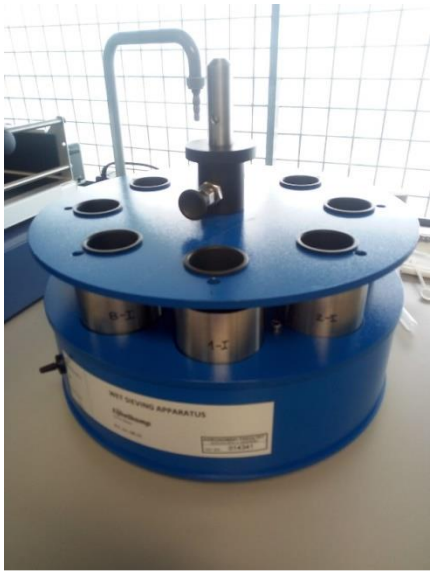
Nakon što su uzorci bili doneseni u laboratorij, provedene su fizikalne i kemijske analize. Uzorci tla prikupljeni su pomoću cilindara (100 $cm^3$) i sušeni na 105 °C te su dobivene vrijednosti daljnjim izračunima služile za dobivanje vrijednosti volumne gustoće i kapaciteta tla za zrak prema metodama opisanima u Black (1965).

Neporušeni uzorci tla koji su također uzeti s dubine 0-10 cm, korišteni su za određivanje stabilnosti agregata pomoću Eijkelkamp uređaja za mokro prosijavanje (Slika 2.4.1.) (Kemper i Rosenau, 1986). Prije navedenog, provedeno je suho prosijavanje kojim su se uzorci tla prosijali na nekolicinu frakcija. Za mokro prosijavanje i određivanje udjela stabilnih agregata korištena je frakcija agregata 0,4-0,5 mm. U malena sita uređaja odvagana su 4 g strukturnih agregata veličine (0,4-0,5 mm). Prvi dio mokrog prosijavanja čini set lončića napunjen destiliranom vodom u koji se uranja sito s agregatima. Nakon tri minute uranjanja sita u lončić, nestabilni dio agregata raspada se i propada u lončić s destiliranom vodom. Drugi dio prosijavanja započinje kada sita bivaju uranjana u set lončića ispunjenih natrijevim hidroksidom (NaOH). Ostatak raspadnutih agregata koji je zaostao u prvom setu lončića smatra se nestabilnim agregatima, a ostatak agregata koji je zaostao u setu lončića s NaOH smatra se stabilnim agregatima. Postotak stabilnih agregata računa se pomoću formule:

$$AS = \frac{Wds}{Wds+Wdw}$$

Wds = masa agregata raspadnutih u natrijevom hidroksidu (NaOH)
Wdw = masa agregata raspadnutih u destiliranoj vodi.

Ostatak frakcija dobivenih suhim prosijavanjem samljeven je i prosijan kroz sito od 2 mm te zatim korišten za kemijsku analizu i dobivanje vrijednosti ukupne organske tvari. Ukupna organska tvar određena je metodom po Tjurinu (Matsuda i Ito, 1970).



Slika 2.4.1. Eijkelkampov uređaj za mokro prosijavanje kojim se određuje stabilnost agregata

## 2.5. Statistička analiza

Na početku statističke analize provedeni su testovi procjene normalnosti i homogenosti varijanci koristeći Shapiro-Wilk, odnosno Levenov test. Varijable stabilnost agregata, infiltracija i kapacitet tla za zrak nisu pokazale normalnost varijanci, ali su bile homogene. Varijable volumna gustoća i ukupna organska tvar pokazale su normalnost, ali nehomogenost varijanci.

S obzirom na to da su imale homogene varijance, varijable stabilnost agregata, infiltracija i kapacitet tla za zrak bile su podvrgnute Fisherovom jednosmjernom ANOVA testu (One-Way ANOVA). S druge strane, varijable volumna gustoća i ukupna organska tvar nisu imale homogene varijance pa se u tom slučaju pristupilo Welchevom jednosmjernom ANOVA testu (One-Way ANOVA).

Radi utvrđivanja postojanja statistički značajne razlike između tala različitog načina korištenja (tretmana) koristio se Tukeyev HSD post-hoc test za varijable s homogenim varijancama te Games-Howell post-hoc test za varijable s nehomogenim varijancama.

Kako bi se ustanovila povezanost između pojedinih varijabli (svojstava) proveden je korelacijski test uz korištenje Pearsonovog korelacijskog koeficijenta.

Za provedbu statističke analize korišten je program Jamovi 1.6.13 (Jamovi, 2020).

# 3. Rezultati

Nakon provedbe Fisherovog jednosmjernog ANOVA testa ustanovljeno je postojanje statistički značajne razlike između tala različitog načina korištenja (tretmana) kod varijabli: stabilnost agregata, infiltracija i kapacitet tla za zrak. Provedbom Welchevog jednosmjernog ANOVA testa također je ustanovljeno postojanje statistički značajne razlike između tretmana kod varijabli: volumna gustoća i ukupna organska tvar. Rezultati ANOVA testiranja prikazani su u Tablici 3.1.

Tablica 3.1. Jednosmjerna analiza varijance (One-Way ANOVA) korištena radi statističke usporedbe između četiri različita načina korištenja tla (tretmana)

| | **n-1** | **Stabilnost agregata** | **Infiltracija** | **Kapacitet tla za zrak** | **Volumna gustoća** | **Ukupna organska tvar** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tretman** | 3 | * | * | * | * | * |

* - statistički značajno na $p < 0.05$; ns – nije statistički značajno

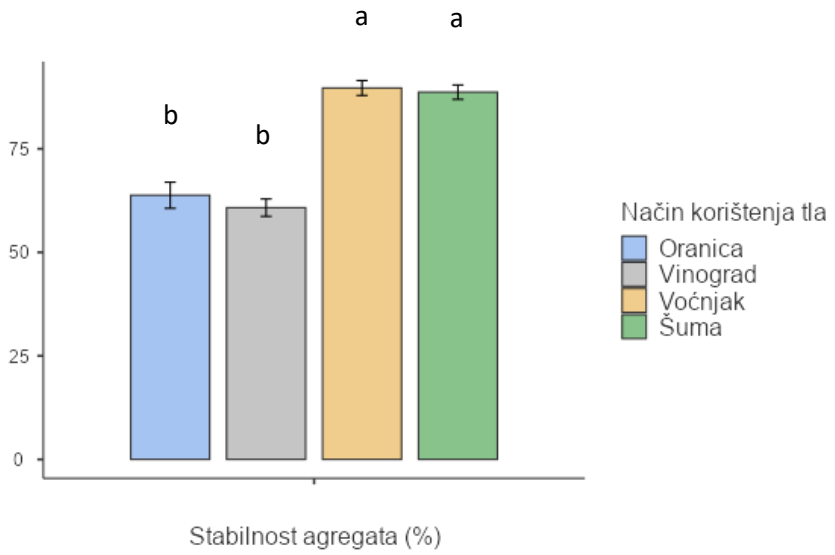
Nakon analize varijance pristupilo se Tukey i Games-Howell post-hoc testiranju radi utvrđivanja između kojih točno tretmana postoji statistički značajna razlika.

Rezultati post-hoc testa za varijablu stabilnost agregata pokazali su kako ne postoji statistički značajna razlika između oranice i vinograda kao ni između voćnjaka i šume. Međutim, oranica i vinograd statistički su se značajno razlikovali od voćnjaka i šume (Graf 3.1.). Srednje vrijednosti tretmana iz Tablice 3.2. pokazuju kako su voćnjak i šuma imali veći postotak stabilnih agregata (oko 90%), dok su oranica i vinograd imali gotovo 30% manje stabilnih agregata.

Tablica 3.2. Tukey post-hoc test za stabilnost agregata (%)

| | **Oranica** | **Vinograd** | **Voćnjak** | **Šuma** | **Srednja vrijednost** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Oranica** | / | ns | * | * | 63.79 |
| **Vinograd** | | / | * | * | 60.79 |
| **Voćnjak** | | | / | ns | 89.69 |
| **Šuma** | | | | / | 88.68 |

* - statistički značajno na $p < 0.05$; ns – nije statistički značajno



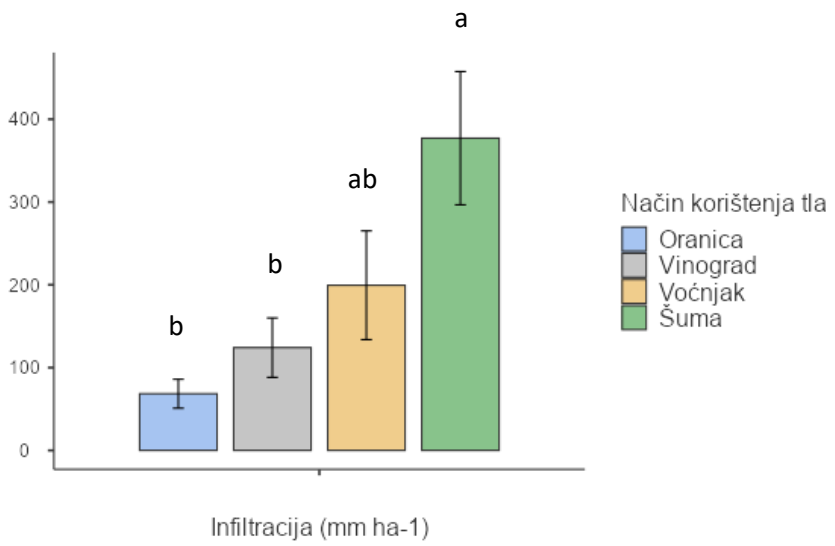

Graf 3.1. Prikaz srednje vrijednosti stabilnosti agregata (%). Vrh stupca označava srednju vrijednost, a viseće crne rešetke predstavljaju raspon distribucije svih vrijednosti. Različita mala slova označavaju statistički značajnu razliku na razini $p < 0.05$.

U slučaju infiltracije, statistički značajna razlika utvrđena je jedino između šume i oranice te šume i vinograda. Između ostalih tretmana nema statistički značajne razlike (Graf 3.2.). Usporedbom srednjih vrijednosti iz Tablice 3.3. vidljivo je kako šumsko tlo ima uvjerljivo najveću vrijednost infiltracije dok oranica ima izrazito malu vrijednost infiltracije.

Tablica 3.3. Tukey post-hoc test za infiltraciju (mm $ha^{-1}$)

| | **Oranica** | **Vinograd** | **Voćnjak** | **Šuma** | **Srednja vrijednost** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Oranica** | / | ns | ns | * | 68.44 |
| **Vinograd** | | / | ns | * | 124.11 |
| **Voćnjak** | | | / | ns | 199.44 |
| **Šuma** | | | | / | 377.10 |

* - statistički značajno na $p < 0.05$; ns – nije statistički značajno



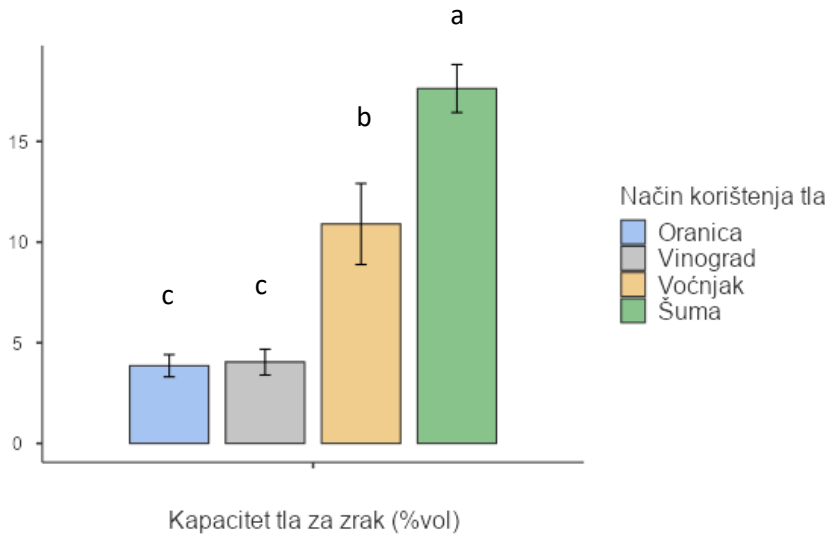

Graf 3.2. Prikaz srednje vrijednosti infiltracije (mm $ha^{-1}$). Vrh stupca označava srednju vrijednost, a viseće crne rešetke predstavljaju raspon distribucije svih vrijednosti. Različita mala slova označavaju statistički značajnu razliku na razini $p < 0.05$.

Kod varijable kapacitet tla za zrak, statistički značajna razlika prisutna je između svih tretmana osim između oranice i vinograda. Srednja vrijednost šumskog tla značajno je veća od srednje vrijednosti ostalih tretmana (Graf 3.3.). Temeljem srednjih vrijednosti iz Tablice 3.4., jedino šumsko tlo ima približno optimalan postotak zraka vodeći se opće poznatim omjerom faza u tlu - čvrsta : tekuća : plinovita = 50% : 25% : 25%.

Tablica 3.4. Tukey post-hoc test za kapacitet tla za zrak (%)

| | **Oranica** | **Vinograd** | **Voćnjak** | **Šuma** | **Srednja vrijednost** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Oranica** | / | ns | * | * | 3.86 |
| **Vinograd** | | / | * | * | 4.04 |
| **Voćnjak** | | | / | * | 10.90 |
| **Šuma** | | | | / | 17.63 |

* - statistički značajno na $p < 0.05$; ns – nije statistički značajno



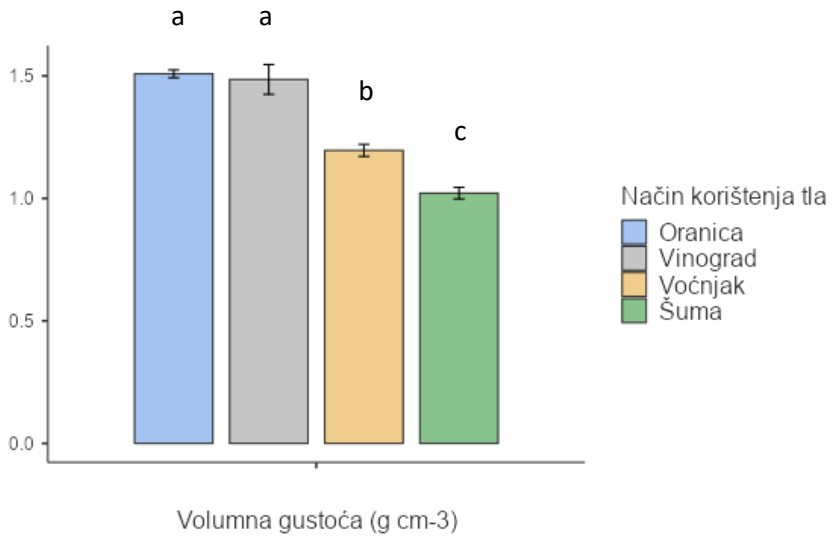

Graf 3.3. Prikaz srednje vrijednosti kapaciteta tla za zrak (%). Vrh stupca označava srednju vrijednost, a viseće crne rešetke predstavljaju raspon distribucije svih vrijednosti. Različita mala slova označavaju statistički značajnu razliku na razini $p < 0.05$.

Provedbom post-hoc testa za volumnu gustoću, statistički značajna razlika utvrđena je između svih tretmana osim između oranice i vinograda gdje je nema (Graf 3.4.). Uzimajući u obzir srednju vrijednost tretmana iz Tablice 3.5., oranica i vinograd imali su najveću volumnu gustoću, dok je šuma imala izrazito malu vrijednost.

Tablica 3.5. Games-Howell post-hoc test za volumnu gustoću (g $cm^{-3}$)

| | **Oranica** | **Vinograd** | **Voćnjak** | **Šuma** | **Srednja vrijednost** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Oranica** | / | ns | * | * | 1.51 |
| **Vinograd** | | / | * | * | 1.49 |
| **Voćnjak** | | | / | * | 1.20 |
| **Šuma** | | | | / | 1.02 |

* - statistički značajno na $p < 0.05$; ns – nije statistički značajno




Graf 3.4. Prikaz srednje vrijednosti volumne gustoće (g $cm^{-3}$). Vrh stupca označava srednju vrijednost, a viseće crne rešetke predstavljaju raspon distribucije svih vrijednosti. Različita mala slova označavaju statistički značajnu razliku na razini $p < 0.05$.

Kod varijable ukupna organska tvar, statistički značajna razlika nije utvrđena jedino između oranice i vinograda (Graf 3.5.). Srednja vrijednost šumskog tla značajno je veća od srednje vrijednosti ostalih tretmana. Uvidom u Tablicu 3.7. s referentnim vrijednostima humusa po Gračaninu (Škorić, 1992), sadržaj srednje vrijednosti šumskog tla iz Tablice 3.6. ukazuje kako je ono jako humozno dok su ostala tri tretmana slabo humoznog tla.

Tablica 3.6. Games-Howell post-hoc test za ukupnu organsku tvar (%)

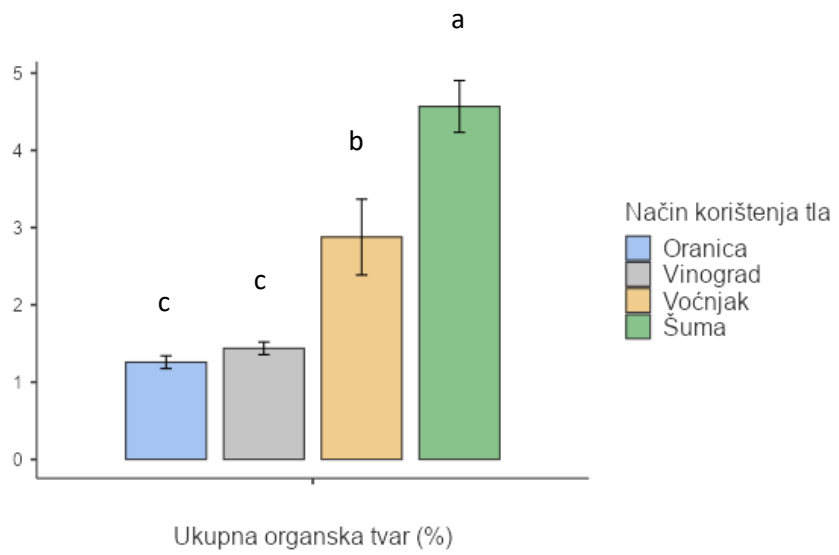
| | **Oranica** | **Vinograd** | **Voćnjak** | **Šuma** | **Srednja vrijednost** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Oranica** | / | ns | * | * | 1.26 |
| **Vinograd** | | / | * | * | 1.44 |
| **Voćnjak** | | | / | * | 2.88 |
| **Šuma** | | | | / | 4.57 |

* - statistički značajno na $p < 0.05$; ns – nije statistički značajno

Tablica 3.7. Ocjena humoznosti tla prema Gračaninu

| **Humus (%)** | **Ocjena humoznosti** |
|---|---|
| **< 1** | Vrlo slabo humozno |
| **1 – 3** | Slabo humozno |
| **3 – 5** | Dosta humozno |
| **5 – 10** | Jako humozno |
| **> 10** | Vrlo jako humozno |

Izvor: Škorić, 1992




Graf 3.5. Prikaz srednje vrijednosti ukupne organske tvari (%). Vrh stupca označava srednju vrijednost, a viseće crne rešetke predstavljaju raspon distribucije svih vrijednosti. Različita mala slova označavaju statistički značajnu razliku na razini $p < 0.05$.

U Tablici 3.8. prikazani su smjer i jačina korelacije između varijabli te je statistička značajnost smatrana pri $p < 0.05$. Vrlo jaka i pozitivna korelacija ustanovljena je između stabilnosti agregata i ukupne organske tvari. Kapacitet tla za zrak ima jaku i pozitivnu korelaciju s tri svojstva: stabilnost agregata, infiltracija i ukupna organska tvar. Srednja i pozitivna korelacija utvrđena je između varijabli infiltracije i stabilnosti agregata te infiltracije i ukupne organske tvari.

Vrlo jaka i negativna korelacija ustanovljena je između volumne gustoće i stabilnosti agregata te volumne gustoće i ukupne organske tvari. Jaka i negativna korelacija utvrđena je između volumne gustoće i infiltracije te volumne gustoće i kapaciteta tla za zrak.

Tablica 3.8. Korelacijski odnosi između varijabli

| | **Stabilnost agregata (%)** | **Infiltracija (mm ha$^{-1}$)** | **Kapacitet tla za zrak (%)** | **Volumna gustoća (g cm$^3$)** | **Ukupna organska tvar (%)** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Stabilnost agregata** | / | srednja pozitivna | jaka pozitivna | vrlo jaka negativna | vrlo jaka pozitivna |
| **Infiltracija** | 0.430* | / | jaka pozitivna | jaka negativna | srednja pozitivna |
| **Kapacitet tla za zrak** | 0.648* | 0.553* | / | jaka negativna | jaka pozitivna |
| **Volumna gustoća** | -0.797* | -0.590* | -0.742* | / | vrlo jaka negativna |
| **Ukupna organska tvar** | 0.761* | 0.446* | 0.690* | -0.839* | / |

* - statistički značajno na $p < 0.05$; 0-0.1 – nema korelacije; 0.1-0.25 – vrlo slaba; 0.25-0.40 – slaba; 0.4-0.5 – srednja; 0.5-0.75 –jaka; 0.75-0.90 – vrlo jaka; 0.9-1.00 – potpuna

# 4. Rasprava

Promatrajući vrijednosti svih pet analiziranih svojstava i uspoređujući ih među tretmanima, šumsko tlo imalo je daleko najbolje vrijednosti, a posebice je velik jaz uočen uspoređujući vrijednosti s oranicom i vinogradom. Bez obzira na to što je tip šumskog tla stagnoglej i što takvo tlo karakteriziraju nestabilna struktura, izrazito praškasta tekstura (stvaranje pokorice) te generalno nepovoljan vodozračni odnos; šumsko tlo imalo je visok postotak stabilnih agregata (povoljna struktura), veliku infiltraciju i kapacitet tla za zrak, malu volumnu gustoću te povećan sadržaj organske tvari zbog kojeg je ocijenjeno kao dosta humozno. Rezultati potonjih indikatora ukazuju na izrazitu kvalitetu šumskog tla. No, prije svega treba istaknuti kako na šumskom tlu nije bio prisutan antropogeni utjecaj, dakle nisu provođeni nikakvi agrotehnički zahvati (obrada, gnojidba, zaštita agrokemikalijama). Upravo to razlog je povećanog sadržaja organske tvari koja u djevičanskom tlu prolazi stabilan i uravnotežen ciklus kruženja te umjesto mineralizacije, prevladava proces humifikacije. Jedan od glavnih razloga zašto su sva svojstva bila povoljna, baš leži u povećanom sadržaju organske tvari. Zbog njene vezivne uloge stabilnost agregata bila je visoka, a kad je struktura povoljna i ima dovoljno makroagregata u tlu, bit će i više makropora što sa sobom povlači bolju infiltraciju. U slučaju povećanog sadržaja organske tvari, vrijednost volumne gustoće pada te je njena niska vrijednost na šumskom tlu bila očekivana. Isti slučaj zabilježen je i u radovima Patton i sur. (2019) te Périé i Ouimet (2008), a vrijednosti slične autorovim vrijednostima dobivaju Göl i Yilmaz (2017) (0.95 g $cm^{-3}$) te Mehler i sur. (2014) (0.97 g $cm^{-3}$). Osim što pozitivno korelira s gotovo svim svojstvima (osim s volumnom gustoćom), akumulacija organske tvari u tlu značajna je i zbog sekvestracije ugljika. Šumska tla imaju veći kapacitet sekvestracije ugljika usporedo s poljoprivrednim tlima (Zomer i sur., 2016; Lewis i sur., 2019). Osim navedenog, infiltracijska sposobnost šumskog tla je velika te značajno smanjuje opasnost od poplava u urbanim i periurbanim sredinama (Scholz, 2007; Endreny i sur., 2017; Schubert, 2017). To je posebice važno jer je eksperimentalna lokacija ovog rada situirana na padini te je na takvim pozicijama veća opasnost od poplava zbog slabije infiltracije i većeg površinskog otjecanja. Dakle, klimatsko-regulacijski potencijal šumskog tla je neupitan.

Vrijednosti svojstava tla u voćnjaku bliže su vrijednostima šume nego vinogradu i oranici, iako treba istaknuti kako su vrijednosti fizikalnih svojstava šumskog tla ipak povoljnije. To se može pripisati činjenici kako je voćnjak sustavno zatravljen te kako u njemu nije primijenjen zahvat obrade niti su primijenjeni herbicidi minimalno dvadeset godina. Jedina agrotehnička mjera koja se provodi u voćnjaku je malčiranje s organskim ostacima nakon kosidbe. Upravo zatravljivanje i malčiranje jedne su od pozitivnih poljoprivrednih praksi kojima se indirektno utječe na vodozračni sistem tla (Bogunović i sur., 2019b). Veći postotak stabilnih agregata usporedo sa šumskim tlom glavni je pokazatelj pozitivnog djelovanja višegodišnjih trava u voćnjaku koje svojim korijenjem stvaraju brojne biopore, povećavaju poroznost i kapacitet tla za zrak te smanjuju volumnu gustoću (Werner i sur., 1997). Osim toga, eksudati koje luči korijenje trava služe kao ljepilo u stvaranju

makroagregata te time raste stabilnost agregata (Bogunović i sur., 2020b). Do takvih konkluzija došli su i brojni drugi autori znanstvenih radova (Liu i sur., 2013; Zaibon i sur., 2016). Vrijednosti organske tvari i volumne gustoće ovog rada približne su kao i u radu Bogunović i sur. (2020b), gdje pri usporedbi tri tretmana (oranica, obrađivani maslinik, zatravljeni maslinik), najbolje vrijednosti ukupne organske tvari pokazuje tlo zatravljenog maslinika (2.53%). Vrijednost volumne gustoće dotičnog tretmana je 1.32 g $cm^{-3}$. Iako su vrijednosti indikatora poput sadržaja organske tvari (slabo humozno do dosta humozno) i infiltracije kod voćnjaka manji nego kod šume, tlo u voćnjaku ima dobru kvalitetu, a uz zadržavanje potonjih povoljnih agrotehničkih praksi (izostanak obrade, zatravljivanje i malčiranje), ostat će povoljnog klimatsko-regulacijskog potencijala.

Na svjetskoj razini događa se iznimno brz i negativan proces prenamjena zemljišta iz prirodnih ekosustava u agroekosustave. Prenamjena zemljišta zapravo je samo sredstvo, a dok je njen rezultat urbanizacija. Kao posljedica širenja urbanih sredina, smanjuju se površine obradivih zemljišta (Bren d'Amour i sur., 2016). Međutim, osim što se njihov broj smanjuje, dolazi i do neracionalnog i intenzificiranog gospodarenja takvim površinama što smanjuje njihov proizvodni potencijal, ali i onaj klimatsko-regulacijski. Na području grada Zagreba ima jako puno takvih površina, čak 33,9% (Husnjak i sur., 2008). Među takve obradive površine spadaju vinograd i oranica. Potonji će biti promatrani i raspravljani u zajedničkom kontekstu, a razlog tome približno su jednake vrijednosti svih pet fizikalnih svojstava (između tretmana nije bilo statistički značajne razlike kod svih varijabli) kao i agrotehničkih zahvata u vidu njihove učestalosti i intenziteta.

Kao najvažniji i najkorišteniji agrotehnički zahvat, obrada tla smatra se glavnim razlogom diskrepancije između vrijednosti fizikalnih svojstava oranice i vinograda s jedne strane, te voćnjaka i šume s druge strane. Obrada direktno utječe na strukturu, odnosno stabilnost agregata (Paul i sur., 2013), a čija je vrijednost za otprilike 30% manja kod vinograda i oranice naspram voćnjaku i šumi. Treba konstatirati kako je oranično tlo distrični kambisol, a takvo tlo samo po sebi ima manju stabilnost agregata (Bašić, 2013). Iako obrada privremeno popravlja vodozračne odnose u tlu, usitnjavanjem strukturnih agregata smanjuje se udio makropora te je stoga na tlima gdje se primjenjuje obrada kapacitet tla za zrak malen (Birkás i sur., 2008). Što je zračni režim tla nepovoljniji, to je i njegova infiltracijska sposobnost manja. Tako Franzluebbers (2002) u svom radu dobiva veće vrijednosti infiltracije kod neobrađivanog tla, nego kod obrađivane oranice. Po pitanju infiltracije, tlo u vinogradu bolje je od oraničnog. Međutim, glavni indikatori koji pokazuju pravu sliku stanja tla volumna su gustoća i sadržaj organske tvari. Generalno gledajući, što je sadržaj organske tvari manji, to vrijednost volumne gustoće raste i obrnuto (Patton i sur., 2019), a takva je negativna korelacija prisutna i u ovom radu. Vrijednost volumne gustoće oranice ovog rada slična je vrijednosti (1.54 g $cm^{-3}$) u radu Li i sur. (2019). Göl i Yilmaz (2017) dobivaju puno manju vrijednost za oranicu (1.36 g $cm^{-3}$) kao i Bogunović i sur. (2020b) u svom radu (1.30 g $cm^{-3}$). Za površinski sloj oranice (0-10 cm), Çerçioğlu i sur. (2019) dobivaju vrijednost 1.28 g $cm^{-3}$.

Da vegetacijski pokrov djeluje pozitivno na fizikalna svojstva tla dokazuju rezultati drugih radova (Abdollahi i sur., 2014; Capello i sur., 2019). Naime, u potonjim radovima zatravljeni vinogradi imaju manju volumnu gustoću u odnosu na nezatravljene. Bogunović i sur. (2019a) dobivaju suprotne rezultate te u njihovom slučaju zatravljeni vinograd ima najveću volumnu gustoću u usporedbi s onim nezatravljenim i obrađivanim. Osim zatravljivanja, potrebno je na godišnjoj razini unositi, odnosno vraćati organsku tvar u tlo koja se izgubi žetvom te mineralizacijom, a kao glavnog krivca drastičnog smanjenja sadržaja organske tvari u oraničnom tlu Baker i sur. (2007) krive upravo lošu agrotehničku praksu gdje se ostaci nakon žetve ne vraćaju u tlo.

Nastavno na gore spomenutu problematiku, poljoprivredne površine (vinogradi, oranice i dr.) mogu imati značajnu ulogu u regulaciji klime tek onda kada čovjek odluči primjenjivati održive sustave gospodarenja te racionalno koristiti tlo. Jer osim što intenzivni antropogeni utjecaj negativno utječe na kvalitetu samog tla, također onemogućuje tlima u vinogradu i na oranici da budu koristan instrument u sprječavanju poplava te regulaciji klime u vidu sekvestracije organske tvari.

# 5. Zaključak

Temeljem dobivenih vrijednosti fizikalnih i kemijskih indikatora (svojstava) može se zaključiti kako se tla različitog načina korištenja (tretmani) značajno razlikuju, a tu se u prvom redu misli na šumsko tlo naspram oraničnom tlu i tlu u vinogradu. Šumsko tlo pokazalo je najveću kvalitetu dok su oranično tlo i tlo u vinogradu pokazali najmanju. Održivi način gospodarenja tlom u voćnjaku i izostanak čovjekova utjecaja na šumskom tlu smatraju se glavnim razlozima razlike među tretmanima. Šumsko tlo i tlo u voćnjaku pokazali su najveće vrijednosti ukupne organske tvari, stabilnosti agregata, infiltracije i kapaciteta tla za zrak dok su imali najmanje vrijednosti volumne gustoće. To ih čini tlima dobre kvalitete te su stoga dobar instrument za sprječavanje poplava i regulaciju klime u vidu sekvestracije ugljika. Neodrživo i intenzivno korištenje oranice i vinograda rezultiralo je malim vrijednostima fizikalnih i kemijskih indikatora te zbog loše kvalitete takva tla imaju malu klimatsko-regulacijsku i proizvodnu sposobnost. Zbog urbanizacijom induciranog smanjenja broja proizvodnih površina te njihove usitnjenosti u periurbanim i urbanim sredinama, održivi način gospodarenja tlom predstavlja sredstvo postizanja sigurnosti hrane i regulacije klime.

# 6. Popis literature


1. Abdollahi L., Munkholm L. J. (2014). Tillage System and Cover Crop Effects on Soil Quality:I. Chemical, Mechanical, and Biological Properties. Soil Science Society of America Journal, 78(1), 262.
2. Addisu S., Mekonnen M. (2019). Check dams and storages beyond trapping sediment, carbon sequestration for climate change mitigation, Northwest Ethiopia. Geoenvironmental Disasters, 6, 4
3. 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 (6235), 1261071–1261071
4. An S.-S., Darboux F., Cheng M. (2013). Revegetation as an efficient means of increasing soil aggregate stability on the Loess Plateau (China). Geoderma, 209–210, 75–85.
5. Baker J. M., Ochsner T. E., Venterea R. T., Griffis T. J. (2007). Tillage and soil carbon sequestration – What do we really know? Agriculture, Ecosystems & Environment, 118(1-4), 1–5.
6. Bartoli G., Hönisch B., Zeebe R. E. (2011). Atmospheric $CO_2$ decline during the Pliocene intensification of Northern Hemisphere glaciations. Paleoceanography, 26(4).
7. Bašić F. (1994). Klasifikacija oštećenja tala Hrvatske. Agronomski glasnik, 3-4, 291–310.
8. Bašić F. (2013). The soils of Croatia. Dordrecht Heidelberg New York London: Springer.
9. Biddoccu M., Ferraris S., Pitacco A., Cavallo E. (2017). Temporal variability of soil management effects on soil hydrological properties, runoff and erosion at the field scale in a hillslope vineyard, North-West Italy. Soil and Tillage Research, 165, 46–58.
10. Birkás M., Szemők A., Antos G., Neményi, M. (2008). Environmentally-sound adaptable tillage. Akadémiai Kiadó, Budapest, Hungary. ISBN : 9789630586313, 354.
11. Blair N., Faulkner R. D., Till A. R., Korschens M., Schulz E. (2006). Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. Soil and Tillage Research, 91(1–2), 39–47.
12. Bodhinayake W., Cheng Si B. (2004). Near-saturated surface soil hydraulic properties under different land use in the St Denis National Wildlife Area, Saskatchewan, Canada. Hydrological Processes, 18(15), 2835–2850.
13. Bogunović I, Telak L. J., Pereira P. (2020a). Agriculture Management Impacts on Soil Properties and Hydrological Response in Istria (Croatia). Agronomy, 10(2), 282.
14. Bogunović I., Andabaka Z., Stupić D., Pereira P., Galić M., Novak K., Telak, L. J. (2019a). Continuous grass coverage as a management practice in humid environment vineyards increases compaction and CO 2 emissions but does not modify must quality. Land Degradation & Development.

15. Bogunović I., Fernández M. P., Kisić I., Marimón M. B. (2019b). Agriculture and grazing environments. In Advances in Chemical Pollution, Environmental Management and Protection, 4: 23–70. Elsevier.
16. Bogunović I., Kisić I., Jurišić, A. (2014). Soil Compaction under Different Tillage System on Stagnic Luvisols, Agriculturae Conspectus Scientificus, 79(1), 57–63.
17. Bogunović I., Pereira P., Kisić I., Sajko K., Sraka, M. (2018). Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). CATENA, 160, 376–384.
18. Bogunović I., Telak L. J., Pereira P., Filipović V., Filipović L., Perčin A., Đurđević B., Birkás M., Dekemati I., Rodrigo Comino J. (2020b). 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.
19. Bren d'Amour C., Reitsma F., Baiocchi G., Barthel S., Güneralp B., Erb K.-H., Haberl H., Creutzig F., Seto K. C. (2016). Future urban land expansion and implications for global croplands. Proceedings of the National Academy of Sciences, 114(34), 8939–8944.
20. Bünemann E. K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R. E., De Deyn G., de Goede R., Fleskens L., Geissen V., Kuyper T. W., Mäder P., Pulleman M., Sukkel W., van Groenigen J. W., Brussaard L. (2018). Soil quality – A critical review. Soil Biology and Biochemistry, 120, 105–125.
21. Canedoli C., Crocco F., Comolli R., Padoa-Schioppa E. (2017). Landscape fragmentation and urban sprawl in the urban region of Milan. Landscape Research, 43(5), 632–651.
22. Capello G., Biddoccu M., Ferraris S., Cavallo, E. (2019). Effects of Tractor Passes on Hydrological and Soil Erosion Processes in Tilled and Grassed Vineyards. Water, 11(10), 2118.
23. Çerçioğlu M., Anderson S. H., Udawatta R. P., Alagele, S. (2019). Effect of cover crop management on soil hydraulic properties. Geoderma, 343, 247–253.
24. Cerdà A. (2000). Aggregate stability against water forces under different climates on agriculture land and scrubland in southern Bolivia. Soil and Tillage Research, 57(3), 159–166.
25. Costanza R., d' Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R. V., Paruelo J., Rakin R. G., Sutton P., van den Belt M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387(6630), 253–260.
26. De Almeida W. S., Panachuki E., de Oliveira P. T. S., da Silva Menezes R., Sobrinho T. A., de Carvalho D. F. (2018). Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. Soil and Tillage Research, 175, 130–138.
27. Delelegn Y. T., Purahong W., Blažević A., Yitaferu B., Wubet T., Göransson H., Godbold D. L. (2017). Changes in land use alter soil quality and aggregate stability in the highlands of northern Ethiopia. Scientific Reports, 7(1).

28. Dieleman H. (2017). Urban agriculture in Mexico City; balancing between ecological, economic, social and symbolic value. Journal of Cleaner Production, 163, S156–S163.
29. Doran J. W., Coleman D. C., Bezdicek D. F., Stewart B. A., Doran J. W., Parkin T. B. (1994). Defining and Assessing Soil Quality. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment.
30. Douglas I. (2016). The challenge of urban poverty for the use of green infrastructure on floodplains and wetlands to reduce flood impacts in intertropical Africa. Landscape and Urban Planning.
31. Državni zavod za statistiku. Procjena stanovništva Republike Hrvatske u 2019. https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/publication/2020/07-01-03_01_2020.htm – pristup 17.06.2021.
32. Ebabu K., Tsunekawa A., Haregeweyn N., Adgo E., Meshesha D. T., Aklog D., Masunaga T., Tsubo M., Sultan D., Fenta A. A., Yibeltal M. (2020). Exploring the variability of soil properties as influenced by land use and management practices: A case study in the Upper Blue Nile basin, Ethiopia. Soil and Tillage Research, 200, 104614
33. Endreny T., Santagata R., Perna A., Stefano C. D., Rallo R. F., Ulgiati, S. (2017). Implementing and managing urban forests: A much needed conservation strategy to increase ecosystem services and urban wellbeing. Ecological Modelling, 360, 328–335.
34. FAO (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1036321/ - pristup 17.06.2021.
35. Ferreira A. J. D., Guilherme R. I. M. M., Ferreira C. S. S., Oliveira, M. de F. M. L. de. (2018). Urban agriculture, a tool towards more resilient urban communities? Current Opinion in Environmental Science & Health, 5, 93–97.
36. Franzluebbers A. (2002). Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. Soil and Tillage Research, 66(2), 197–205.
37. Gasmo J. M., Rahardjo H., Leong E. C. (2000). Infiltration effects on stability of a residual soil slope. Computers and Geotechnics, 26(2), 145–165.
38. Göl C., Yilmaz H. (2017). The effect of land use type/land cover and aspect on soil properties at the Gökdere catchment in northwestern Turkey. Šumarski list, 141(9–10), 459-467.
39. Haines-Young R., Potschin M. (2012). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on version 4, August-December 2012. EEA Framework Contract; 2013.
40. Huang G., Chai Q., Feng F., Yu A. (2012). Effects of Different Tillage Systems on Soil Properties, Root Growth, Grain Yield, and Water Use Efficiency of Winter Wheat (Triticum aestivum L.) in Arid Northwest China. Journal of Integrative Agriculture, 11(8), 1286–1296.

41. Husnjak S., Vrhovec D., Romić M., Borošić J., Mirošević N., Čmelik Z., Pospišil M., Kušan V. (2008). Inventory of Agricultural Land in the City of Zagreb and Recommendations for Agricultural Production. https://www.zagreb.hr/UserDocsImages/Poljoprivreda-poljoprivredno%20zemljiste/Inventarizacija%20poljoprivrednog%20zemlji%C5%A1ta-cijeli%20rad%20u%20jednom-Iva-za%20web-pdf.pdf – pristup 17.06.2021.
42. IUSS Working Group WRB. (2014). World Reference Base for Soil Resources. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps, Update 2015; World Soil Resources Reports No. 106; FAO: Rome, Italy, 2015; p. 188.
43. Jabro J. D., Allen B. L., Rand T., Dangi S. R., Campbell J. W. (2021). Effect of Previous Crop Roots on Soil Compaction in 2 Yr Rotations under a No-Tillage System. Land. 10(2), 202.
44. Jiang P., Anderson S. H., Kitchen N. R., Sadler E. J., Sudduth K. A. (2007). Landscape and Conservation Management Effects on Hydraulic Properties of a Claypan-Soil Toposequence. Soil Science Society of America Journal, 71(3), 803–811.
45. Kachinskij, N. A. 1965. Fizika pochvy [Soil Physics]. Moscow University Press, Moscow, 323.
46. Kalt G., Mayer A., Theurl M. C., Lauk C., Erb K., Haberl H. (2019). Natural climate solutions versus bioenergy: Can carbon benefits of natural succession compete with bioenergy from short rotation coppice? GCB Bioenergy.
47. Karlen D. L., Ditzler C. A., Andrews, S. S. (2003). Soil quality: why and how? Geoderma, 114(3–4), 145–156.
48. Karlen D. L., Eash N. S., Unger P. W. (1992). Soil and crop management effects on soil quality indicators. American Journal of Alternative Agriculture, 7(1–2), 48.
49. Kemper W.D., Rosenau R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods 5; Gee G. W., Bauder J. W., Klute A., Eds. American Society of Agronomy: Madison, WI, USA, 425–442.
50. Kibet L. C., Blanco-Canqui H., Jasa P. (2016). Long-term tillage impacts on soil organic matter components and related properties on a Typic Argiudoll. Soil and Tillage Research, 155, 78–84.
51. Kisić I. (2012). Sanacija onečišćenoga tla. Zagreb, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. 54–55., 73–74.
52. Köppen W. (1900). Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. Geographische Zeitschrift, 6(11), 593–611. http://www.jstor.org/stable/27803924 – pristup 15.05.2021.
53. La Scala N., Bolonhezi D., Pereira G.T. (2006). Short-term soil CO2 emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. Soil Till. Res., 91, 244–248.

54. Lal R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. Science, 304(5677), 1623–1627.
55. Lal R., Pimentel D., Van Oost K., Six J., Govers G., Quine T., Gryze S. D. (2008). Soil Erosion: A Carbon Sink or Source? Science, 319(5866), 1040–1042.
56. Larson W. E., F. J. Pierce (1991). Conservation and enhancement of soil quality. In Evaluation for sustainable land management in the developing world. Bangkok, Thailand. Int. Board for Soil Res. and Management. 12(2), 175–203.
57. Lewis T., Verstraten L., Hogg B., Wehr B. J., Swift S., Tindale N., Menzies N. W., Dalal R. C., Bryant P., Francis B., Smith T. E. (2019). Reforestation of agricultural land in the tropics: The relative contribution of soil, living biomass and debris pools to carbon sequestration. Sci. Total Environ., 649, 1502–1513.
58. Li S., Li Q.-q., Wang C.-q., Li B., Gao X.-s., Li Y.-d., Wu D.-y. (2019). Spatial variability of soil bulk density and its controlling factors in an agricultural intensive area of Chengdu Plain, Southwest China. Journal of Integrative Agriculture, 18(2), 290–300.
59. Liu Y., Gao M., Wu W., Tanveer S. K., Wen X., Liao Y. (2013). The effects of conservation tillage practices on the soil water-holding capacity of a non-irrigated apple orchard in the Loess Plateau, China. Soil and Tillage Research, 130, 7–12.
60. Masyagina O. V., Menyailo O. V. (2019). The impact of permafrost on carbon dioxide and methane fluxes in Siberia: A meta-analysis. Environmental Research, 109096.
61. Matsuda K., Ito S. (1970). Adsorption strength of zinc for soil humus. Soil Sci. Plant Nutr., 16, 1–10.
62. Matthews G. P., Laudone G. M., Gregory A. S., Bird N. R. A., de G. Matthews A. G., Whalley W. R. (2010). Measurement and simulation of the effect of compaction on the pore structure and saturated hydraulic conductivity of grassland and arable soil. Water Resources Research, 46(5).
63. Mehler K., Schöning I., Berli M. (2014). The Importance of Rock Fragment Density for the Calculation of Soil Bulk Density and Soil Organic Carbon Stocks. Soil Science Society of America Journal, 78(4), 1186.
64. Method of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties; Black, C.A. (Ed.) American Society of Agronomy: Madison, WI, USA, 1965.
65. Opitz I., Berges R., Piorr A., Krikser T. (2015). Contributing to food security in urban areas: differences between urban agriculture and peri-urban agriculture in the Global North. Agriculture and Human Values, 33(2), 341–358.
66. Owuor S. O., Butterbach-Bahl K., Guzha A. C., Jacobs S., Merbold L., Rufino M. C., Pelster D. E., Díaz-Pinés E., Breuer L. (2018). Conversion of natural forest results in a significant degradation of soil hydraulic properties in the highlands of Kenya. Soil and Tillage Research, 176, 36–44.
67. Patton N. R., Loshe K. A., Seyfried M., Will R., Benner S. G. (2019). Lithology and coarse fraction adjusted bulk density estimates for determining total organic carbon stocks in drylan soils. Geoderma, 337, 844–852.

68. Paul B. K., Vanlauwe B., Ayuke F., Gassner A., Hoogmoed M., Hurisso T. T., Koala S., Lelei D., Ndabamenye T., Six J., Pulleman M. M. (2013). Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity. Agriculture, ecosystems & environment, 164, 14–22.
69. Pereira P., Barceló D., Panagos P. (2020). Soil and water threats in a changing environment. Environmental Research, 109501.
70. Pereira P., Bogunović I., Muñoz-Rojas M., Brevik E.C. (2018). Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. Current Opinion in Environmental Science & Health, 5, 7–13.
71. Périé C., Ouimet R. (2008). Organic carbon, organic matter and bulk density relationships in boreal forest soils. Canadaian Journal of Soil Science, 88(3), 315–325.
72. Pinheiro Junior C. R., Pereira M. G., de Souza O. Filho J., Beutler S. J. (2018). Can topography affect the restoration of soil properties after deforestation in a semiarid ecosystem? Journal of Arid Environments, 162, 45–52.
73. Pugh Thomas A. M., Lindeskog M., Smith B., Poulter B., Arneth A., Haverd V., Calle L. (2019). Role of forest regrowth in global carbon sink dynamics. Proceedings of the National Academy of Sciences, 201810512.
74. Reynolds W. D., Elrick D. E. (1990). Ponded Infiltration From a Single Ring: I. Analysis of Steady Flow. Soil Science Society of America Journal, 54(5), 1233.
75. Rosenthal E. (2007). “U.N. Chief Seeks More Climate Change Leadership,” New York Times, November 18, 2007.
76. Scherr S. J. (1999). "Soil degradation: a threat to developing-country food security by 2020?," 2020 vision discussion papers 27, International Food Policy Research Institute (IFPRI).
77. Scholz M. (2007). Classification methodology for Sustainable Flood Retention Basins. Landsc. Urban Plan. 81, 246–256.
78. Schubert J. E., Burns M. J., Fletcher T. D., Sanders B. F. (2017). A framework for the case-specific assessment of Green Infrastructure in mitigating urban flood hazards. Advances in Water Resources, 108, 55–68.
79. Seto K. C., Fragkias M., Güneralp B., Reilly M. K. (2011). A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion. PLOS ONE, 6(8), e23777.
80. Smith N. G., Dukes J. S. (2012). Plant respiration and photosynthesis in global-scale models: incorporating acclimation to temperature and CO2. Global Change Biology, 19(1), 45–63.
81. Sohngen B., Mendelsohn R. (2003). An Optimal Control Model of Forest Carbon Sequestration. American Journal of Agricultural Economics, 85(2), 448–457.
82. St-Hilaire A., Duchesne S., Rousseau A. N. (2015). Floods and water quality in Canada: A review of the interactions with urbanization, agriculture and forestry. Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne Des Ressources Hydriques, 41(1–2), 273–287.
83. Škorić A. (1992). Sastav i svojstva tla. Fakultet Poljoprivrednih znanosti. Zagreb.

84. Telak L. J., Pereira P., Ferreira C. S. S., Filipović V., Filipović L., Bogunović I. (2020). Short-Term Impact of Tillage on Soil and the Hydrological Response within a Fig (Ficus Carica) Orchard in Croatia. Water, 12(11), 3295.
85. The jamovi project (2020). Jamovi. (Version 1.6.13) [Computer Software]. Retrieved from https://www.jamovi.org.
86. Tomasella J., Hodnett U. (1998). Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. Soil Science, 163(3), 190–202.
87. UN (2021a). United Nations. https://www.un.org/en/global-issues/population - pristup 17.06.2021.
88. UN (2021b). United Nations. https://www.un.org/en/global-issues/food - pristup 17.06.2021.
89. Van Oost K., Quine T. A., Govers G., De Gryze S., Six J., Harden J. W., Ritchie J. C., McCarty G. W., Heckrath G., Kosmas C., Giraldez J. V., Marques da Silva J. R., Merckx R. (2007). The Impact of Agricultural Soil Erosion on the Global Carbon Cycle. Science, 318(5850), 626–629.
90. Volchko Y., Norrman J., Bergknut M., Rosén L., Söderqvist T. (2013). Incorporating the soil function concept into sustainability appraisal of remediation alternatives. Journal of Environmental Management, 129, 367–376.
91. Wall A., Heiskanen J. (2009). Soil-water content and air-filled porosity affect height growth of Scots pine in afforested arable land in Finland. Forest Ecology and Management, 257(8), 1751–1756.
92. Wei Y. D., Ewing R. (2018). Urban expansion, sprawl and inequality. Landscape and Urban Planning, 177, 259–265.
93. Werner M. R. (1997). Soil quality characteristics during conversion to organic orchard management. Applied Soil Ecology, 5(2), 151–167.
94. Yeboah S., Zhang R., Cai L., Li L., Xie J., Luo Z., Liu J., Wu J. (2016). Tillage effect on soil organic carbon, microbial biomass carbon and crop yield in spring wheat-field pea rotation. Plant, Soil and Environment, 62(6), 279–285.
95. Yimer F., Messing I., Ledin S., Abdelkadir A. (2008). Effects of different land use types on infiltration capacity in a catchment in the highlands of Ethiopia. Soil Use and Management, 24(4), 344–349.
96. Zaibon S., Anderson S. H., Kitchen N. R., Haruna S.I. (2016). Hydraulic Properties Affected by Topsoil Thickness in Switchgrass and Corn–Soybean Cropping Systems. Soil Science Society of America Journal, 80(5), 1365.
97. Zomer R. J., Neufeldt H., Xu J., Ahrends A., Bossio D., Trabucco A., Van Noordwijk M., Wang M. (2016). Global Tree Cover and Biomass Carbon on Agricultural Land: The contribution of agroforestry to global and national carbon budgets. Sci. Rep. 6, 29987.

# Životopis

Antonio Viduka rođen je 13.02.1998. u Zagrebu. Osnovno i srednje obrazovanje stekao je u Zagrebu. Sedmu (VII.) opću gimnaziju pohađao je od 2012./2013. do 2015./2016. godine. U Zagrebu 2016. godine započeo je visoko obrazovanje na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na preddiplomskom studiju Agroekologija. Peti semestar svog studiranja akademske godine 2018./2019. proveo je na stranom sveučilištu University of Tras-os-Montes and Alto Douro u sklopu Erasmus+ programa razmjene studenata. U jesen 2019. godine završava preddiplomski studij Agroekologija te postaje sveučilišni prvostupnik inženjer agronomije. Trenutno završava četvrti semestar druge godine diplomskog studija Agroekologija te mu je cilj nastaviti se obrazovati u području agronomije. U akademskim godinama 2016./2017. i 2017./2018. nagrađen je STEM stipendijom u području biotehničkih znanosti koju dodjeljuje Sveučilište u Zagrebu, a za tekuću 2020./2021. godinu nagrađen je stipendijom grada Zagreba. Godine 2019. dobitnik je Dekanove nagrade za timski rad pod nazivom "Kompeticija u prehrani između unesene kalifornijske pastrve (*Oncorhynchus mykiss*) i ugrožene europske jegulje (*Anguilla anguilla*) iz rijeke Žrnovnice". Aktivno sudjeluje u radu studentskih udruga, a kao voditelj ekipe i igrač, u dresu rukometne momčadi predstavlja Agronomski fakultet na sveučilišnim sportskim natjecanjima.