

# Prostorna varijabilnost kemijskih značajki tala u Panonskoj Hrvatskoj

---

**Jonjić, Antonija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2016**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:596283>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-05**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Agronomski fakultet  
Ekološka poljoprivreda i agroturizam

Antonija Jonjić

**PROSTORNA VARIJABILNOST KEMIJSKIH  
ZNAČAJKI TALA U PANONSKOJ HRVATSKOJ**

**DIPLOMSKI RAD**

Mentor: Prof. dr. sc. Ivica Kisić

Zagreb, 2016.

Ovaj završni rad je ocijenjen i obranjen dana \_\_\_\_\_ s ocjenom  
\_\_\_\_\_ pred stručnim povjerenstvom u sastavu :

1. Prof.dr.sc. Ivica Kisić \_\_\_\_\_

2. Prof.dr.sc. Stjepan Husnjak \_\_\_\_\_

3. Doc.dr.sc. Željka Zgorelec \_\_\_\_\_ .

## SAŽETAK

Tlo predstavlja složenu strukturu karakterističnih kemijskih i fizikalnih svojstava. Prostorna varijabilnost u tlu ovisi o mnogim čimbenicima: starosti tla, klimi, matičnom supstratu, reljefu i ljudskim aktivnostima. Svi ovi čimbenici, zasebno ili u međusobnoj kombinaciji, različito utječu na svojstva tla, što utječe na njegovu heterogenost na mikro, regionalnoj ili nacionalnoj razini. Stoga je nužno donositi odluke koje će uvažavati njegovu varijabilnost, a jedino je to moguće preciznim kartiranjem njegovih svojstava. U ovom radu, istraživano područje uključuje 1000 uzoraka koji su prikupljeni sa područja Orahovice u razdoblju od 2010.-2012. Svi podaci su korišteni kako bi se proučila prostorna varijabilnost četiri parametra: pH, humusa, biljakama pristupačnog fosfora i kalija. Cilj ovog istraživanja je, osim prostorne varijabilnosti, utvrđivanje i moguće povezanosti istraživanih parametara, kako bi se utvrdila kvaliteta geostatistički dobivenih vizualizacija istraživanih čimbenika. Kako bi se ostvarili zadani ciljevi, primjenjuju se deskriptivna statistika i geostatistička analiza. Rezultati ovog rada će osigurati bolji pregled prostorne varijabilnosti kemijskih svojstava tla na području oko Orahovice. Opisati će se povezanost osnovnih parametara u tlu kako bi se izradile interpolacijske karte sa značajnom preciznošću, sve u svrhu smanjenja potrebnog broj uzoraka pri opisivanju značajki tla te kvalitetnijih informacija pri donošenju odluka u gospodarenju istraživanim tlima.

*Ključne riječi: pedogenetski čimbenici, deskriptivna statistika, geostatistička analiza, geostatistička vizualizacija svojstava tla*

## ABSTRACT

Soil represents a complex structure of specific chemical and physical properties. Spatial variability in the soil depends on many factors: soil age, climate, parent material, topography and human activities. These factors, individually or in combination, affect soil parameters differently which affects his heterogeneity on micro, regional and national scale. Therefore, it is necessary to make decisions that will take into account the variability and the only appropriate way is precise mapping of its properties. In this thesis, the investigated area includes 1000 samples which were collected from the area Orahovica in a period from 2010.-2012. All the data were used to describe spatial variability based on four parameters: pH, organic matter, plant-available phosphorus and plant-available potassium. The aim of this investigation is to determine spatial variability as well as potential correlations between the investigated parameters in order to estimate the quality of geostatistical visualisation of investigated parameters. In order to accomplish this aim, descriptive statistic and geostatistical analytics will be applied. The results of this investigation will provide a better overview on the spatial variability of chemical properties on the investigated area of Orahovica. Spatial correlation of basic soil parameters will be described in order to create interpolation maps with significant accuracy, as well to reduce required number of samples to describe and make good decisions in soil management of investigated area.

*Key words: soil forming factors, descriptive statistic, geostatistical analytics, geostatistical visualisation of soil properties*

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PROSTORNA VARIJABILNOST U TLU .....	2
2.1. Klima .....	2
2.2. Reljef .....	4
2.3. Matični supstrat .....	5
2.4. Organizmi .....	6
2.5. Vrijeme .....	7
2.6. Antropogeni utjecaj .....	8
3. PROBLEM VARIJABILNOSTI I PRECIZNA POLJOPRIVREDA.....	10
3.1. Primjena znanstvenih metoda pri istraživanju prostorne varijabilnosti.....	11
4. MATERIJALI I METODE .....	30
4.1. Mjesto istraživanja, klimatske prilike i tla istraživanog područja .....	30
4.2. Uzorkovanje, obrada uzoraka, laboratorijska analiza.....	34
4.3. Statistička analiza i transformacija podataka .....	35
4.4. Geostatistička analiza .....	35
5. REZULTATI.....	38
5.1. Q-Q plot, histogram, Box plot i deskriptivni parametri .....	38
5.2. ANOVA test .....	43
5.3. Prostorne karakteristike istraživanih parametara.....	44
5.4. Interpolacijske metode procjene i prostorna distribucija.....	46
6. DISKUSIJA.....	54
7. ZAKLJUČAK .....	56
8. LITERATURA.....	57
ŽIVOTOPIS AUTORA.....	68

## 1.UVOD

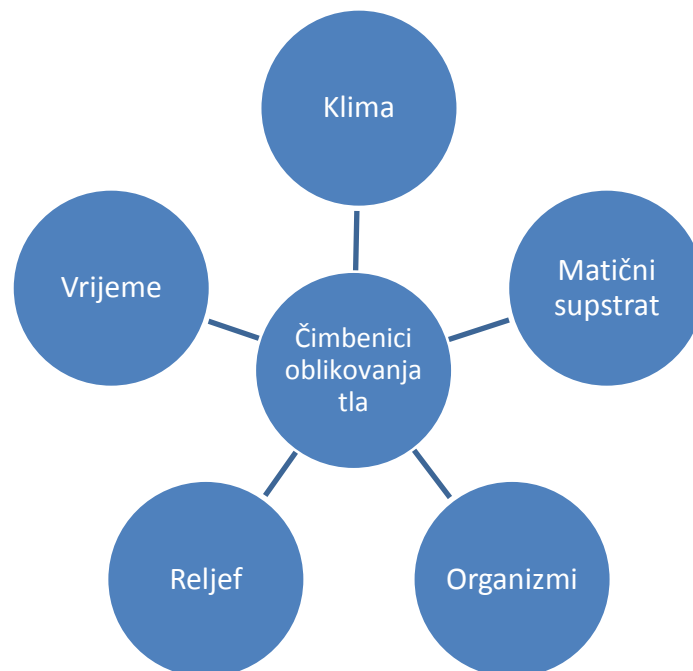
Tlo kao jedan od najvažnijih čimbenika u funkcioniranju živog svijeta predstavlja složeni sustav biljnih i životinjskih organizama. Ima mnogobrojne uloge: uvjetuje i osigurava postojanje života na Zemlji, postojanje uzajamnog djelovanja velikog geološkog i malog biološkog kruženja tvari na zemljinoj površini, regulira kemijski sastav atmosfere, biosferne procese, predstavlja izvor energije i hranjiva, ima ulogu u tvorbi organske tvari, ekološko-regulacijsku ulogu te djeluje kao pročistač vode. Kako bi tlo moglo održavati sve svoje uloge, potrebno je provoditi njegovo gospodarenje koje će osigurati održivost na dugi rok. Pri ostvarivanju tog cilja, potrebna je primjena visoke tehnologije i znanja. Svi ovi resursi omogućuju korištenje tla i za buduće generacije.

Prekomjerna upotreba gnojiva, navodnjavanje i isušivanje dovode do degradacijskih procesa. Osim toga, prekomjerna sječa šuma, rudarstvo i industrija onemogućuju odvijanje prirodnih procesa u tlu. Veliki broj poljoprivrednika prije obrade ne određuje sadržaj hranjiva u tlu ili njegova osnovna svojstva prije primjene određenih sredstava. Time se stvaraju ekonomski i ekološki gubici. Primjenom određenih znanstvenih metoda u preciznoj poljoprivredi omogućuje se njegovo očuvanje i ekonomska isplativost. Geostatističke metode kao najnoviji i najisplativiji pristup primjenjuju se već dugi niz godina u poljoprivredi čime se velika pozornost posvećuje varijabilnosti tla. Pri izradi karata hranjiva moguća je procjena sadržaja određenih parametara na područjima koja nisu uzorkovana. Takav način omogućuje smanjenje potrebnog vremena i troškova koji se inače pojavljuju pri dosadašnjem klasičnom načinu gospodarenja tlima.

Ako se uzme u obzir sve veći porast broja današnjeg stanovništva, primjena geostatistike zasigurno može pridonijeti boljem i zdravijem tlu koji posljedično opskrbljuje tržište dovoljnom količinom hrane. Osim toga, ovakav pristup nema štetnog utjecaja na okoliš i daje podlogu za daljnji razvoj tehnologije.

## 2. PROSTORNA VARIJABILNOST U TLU

Na varijabilnost svojstava u tlu utječe pet glavnih pedogenetskih čimbenika: klima i organizmi koji pripadaju u skupinu aktivnih faktora te vrijeme, reljef i matični supstrat koji pripadaju u skupinu pasivnih faktora (<http://passel.unl.edu/>). Svaki čimbenik pojedinačno, ali i interakcijskim djelovanjem utječe na pojavu mnogobrojnih zemljišnih oblika te varirajuće uvjete u tlu na razini polja, regije i države.



Slika 1: Utjecaji na oblikovanje tla

### 2.1. Klima

Klima, u što ubrajamo najvažnije elemente i pojave - pogotovo temperatura, oborine i smrzavanje imaju bitan utjecaj na procese oblikovanja koji se razlikuju ovisno o područjima. Vrsta klime određuje prirodu promjena koje će se dogoditi i razinu kemijskih i fizikalnih procesa. Utječe na tip vegetacije koja se razvija ovisno o procesima u tlu. Kako vrijeme prolazi klima ima veći utjecaj na karakteristike tla od matičnog supstrata (<http://nesoil.com>).

Temperatura i količina vlage uzrokuju različite promjene i razna ispiranja u tlu. Vjetar utječe na prostorni raspored pijeska i drugih čestica. Ove pojave su raširene globalno, međutim



dominantna su pojava u sušnim predjelima. Količina, intenzitet, vrijeme i vrsta oborina utječu na oblikovanje tla. Sezonske i dnevne promjene utječu na učinkovitost vlage, biološku aktivnost, razinu kemijskih reakcija i vrstu vegetacije (<http://extension.illinois.edu>).

Na području SAD-a (od istoka prema zapadu te od sjevera prema jugu) provedeno je istraživanje kako bi se utvrdio utjecaj klime na promjenu svojstava tla s obzirom na stranu svijeta. Rezultati su pokazali da je od zapada prema istoku uočeno smanjenje debljine profila tla. Na zapadnijim područjima je uočen nedostatak vlage. U zajedničkom djelovanju s visokim temperaturama koje uzrokuju evaporaciju u tlu i veću akumulaciju  $\text{CaCO}_3$  i to blizu površine i širom profila, dolazi do posljedično veće alkalizacije tla. Istočnije smještena tla u prosjeku dobivaju više padalina čime se potiče otapanje  $\text{CaCO}_3$  i njegovo kretanje u dublje slojeve čime se tlo posljedično zakiseljava pri njegovoj površini, a alkalizira u dubljim horizontima. Povećana vlaga u tlu povoljno utječe na veći rast biljaka te mikrobiološku aktivnost. Zonalnost od sjevera prema jugu utječe na povećanje temperature tla što posljedično potiče veću mikrobiološku aktivnost, a time i mineralizaciju humusa. Općenito je primijećena veća transformacija organske tvari u humus u hladnijim područjima, a manja u toplijim (<http://passel.unl.edu>).

Klima utječe na razvoj vegetacije i aktivnost organizama. Vruće, suhe pustinjske regije imaju slabu vegetaciju i zbog toga su količine organske tvari ograničene u tim tlima. Nedostatak padalina inhibira kemijske promjene koje vode do pjeskovitih teksturnih tala u suhim regijama. Nasuprot pustinjskih regija, mikrobiološka aktivnost je ograničena hladnim temperaturama u područjima tundre koja pozitivno utječe na humifikaciju organske tvari. U toplim i vlažnim tropskim klimatima, mikrobiološka aktivnost je brza zbog razlaganja otpalog lišća. Pod bujnom šumskom tropskom vegetacijom, drveća jako brzo iscrpljuju dostupna hranjiva iz tla. Istovremeno, visoka razina godišnjih padalina ispire, tj. odnosi manji dio organske tvari iz tla. Kada se svi ovi čimbenici udruže, nastaju tla koja u gornjim, površinskim horizontima imaju male količine organske tvari. Klima u kombinaciji sa vegetacijom značajno utječe na kemijska svojstva tla. Primjerice, borove šume dominiraju u hladnim, humidnim klimatima. Raspadanjem i mikrobiološkom razgradnjom borovih iglica u prisutnosti vode stvara se slaba kiselina koja razdvaja topive lužine u tlu ostavljajući ih u kiselom stanju. Treba napomenuti da borovi imaju niske zahtjeve za hranjivima koje se apsorbira iz tla u malim količinama i kruži u prirodi pomoću raspadnutih ostataka iglica. Širokolisno listopadno drveće, kao što je primjerice hrast, imaju veće zahtjeve za hranjivima i

pritom ta kontinuirana hranjiva raspadnutih biljnih ostataka opskrbljuju tlo visoko topivim lužinama (<http://www.earthonlinemedia.com>).

## 2.2. Reljef

Reljef je jedan od najvažnijih čimbenika koji utječu na distribuciju vegetacije (Florinsky i Kuryakova, 1996; Sebastia, 2004), klimatske uvjete, oblikovanje tla (Ridolfi i sur., 2008), infiltraciju, površinsko otjecanje i ispiranje sjemena te varira ovisno o regijama. Ima značajan utjecaj na oblikovanje tla jer određuje intenzitet otjecanja vode i njezin smjer, utječe na mikroklimu koja na kraju djeluje na vegetaciju. Za oblikovanje tla, matični supstrat treba ležati relativno netaknuto kako bi se procesi u horizontu tla mogli odvijati. Voda koja se kreće po nagnutoj površini razdvaja matični supstrat i sprječava razvoj tla. Stoga, erozija tla ima većeg utjecaja na strmijim nagibima koji nemaju biljni pokrov. Na jarugama (nagnuti oblik reljefa strmih strana) postoji više vegetacije, dok su grebeni s općenito manjom vegetacijom pri čemu dolazi do pojačane erozije tla vodom (<http://passel.unl.edu>).

Pokrov na tlima značajno ovisi o nagibu (Lin i sur., 2014) ili o nadmorskim visinama terena (Xu i sur., 2008), što također ovisi i o najvišim visinama u pojedinim regijama.

Nadmorska visina, nagib, položaj i neravnine na površinama su čimbenici koji se proučavaju kako bi se odredio utjecaj reljefa na oblikovanje tla, njegovu varijabilnost i utjecaj na distribuciju vegetacijskog habitusa (Frank, 1988). Visina određuje nadmorsku visinu zonalnosti tla, nagib kontrolira brzinu oticanja na površini tla (Liu i sur., 2015), dok položaj u reljefu utječe na smjer tokova, insolaciju i intenzitet evaporacije (Moore i sur., 1993). Neravnine na površini utječu na smjer kretanja vode i akumulacije u krajoliku pomoću gravitacije (Florinsky i Kuryakova, 1996).

Kut nagiba i dužina padine utječu na otjecanje kada intenzivna kiša padne na tlo. Količina vode koja se nalazi u podnožju padine ovisi o količini oborina, količini otjecanja po površini te količini gravitacijske vode koja se kreće prema dnu padine. Brzina otjecanja vode raste što više ide podnožju padine. Voda ne infiltrira u tlo nego se zadržava i kreće na površini tla što je okidač za eroziju koja naposljetku razdvaja matični supstrat od površinskog horizonta te tako sprečava neometan razvoj tla. Zbog toga je tlo općenito slabije razvijeno na sredini i u podnožju padine u usporedbi s vrhom planine. Utječe također i na dinamiku i sastav taloženja čestica u tlu (Kisić i sur., 2016). Kretanjem vode od vrha prema podnožju, raste njezina brzina kretanja. U tom procesu se najveće čestice, kao što je pijesak, izdvajaju iz vode. Fine čestice

gline su odnešene dalje od baze nagiba prije nego što se istalože. Kao rezultat erozije vodom, pjeskovita i ilovasto teksturna tla su dominantno bliže bazi planine, a glinovito teksturna tla su smještena dalje (<http://www.earthonlinemedia.com>).

Osim utjecaja reljefa na eroziju, bitno je naglasiti i mikroklimatske utjecaje. Smjer nagiba neke uzvisine utječe na mikroklimu nekog područja. Pri rastu nagiba, raste i kut insolacije. Pri rastu kuta svjetlosti, raste i stupanj zagrijanosti čime se povećava temperatura tla, a time i evaporacija. Površine koje su nagnute prema suncu su toplije i suše nego one koje su pliće i okrenute od sunca. Kombinacijom svih čimbenika utječe se i na tip vegetacije (<http://www.earthonlinemedia.com>) te na razlike u svojstvima tla što dominantno određuje stupanj njegove heterogenosti u prostoru.

### 2.3. Matični supstrat

Matični supstrat je čimbenik koji utječe na svojstva tla od kojeg se tlo razvilo i može predstavljati kamen koji se istaložio na nekom mjestu ili materijal koji je donešen vjetrom, vodom i ledom, gravitacijom, iz jezera ili oceana. Kemijski sastav matičnog supstrata igra važnu ulogu u određivanju svojstava tla, pogotovo tla u ranom stupnju razvoja. Tla razvijena na matičnom supstratu koji je pjeskovit i sastoji se od minerala koji su otporni na fizikalno-kemijske-biološke promjene imaju pjeskovitu, zrnatu teksturu. Teksturno krupnije čestice tla se razvijaju na mjestima gdje je matični supstrat sastavljen od pretežno nestabilnih minerala koji su podložni promjenama. Sastav matičnog supstrata ima direktan utjecaj na kemijski sastav tla i plodnost. Oni supstrati koji su bogati topivim ionima Ca, Mg, K i Na su lako topivi u vodi i samim time su lako dostupni biljkama. Ako je matični supstrat siromašan topivim ionima, voda koja se se kreće kroz tlo premješta baze i zamjenjuje ih sa hidrogenizirajućim ionima, što naposljetku dovodi do kiselosti i pada njegove plodnosti. Što je tlo starije, utjecaj supstrata je manje važan, a utjecaj klime dolazi više do izražaja (<http://www.earthonlinemedia.com>).

Matični supstrat koji je taložen djelovanjem leda je poznat kao glacijalni pokrov, koji se nalazi u termalnim i lateralnim morenama. Poznata je činjenica da je led je loš razvrstač čestica. Čestice nošene snagom vjetra mogu prenijeti čestice raznih veličina na istu udaljenost. Zbog toga ovaj matični supstrat sadrži sve: od najmanjih glinenih čestica, pa sve do kamena, šljunka i velikog kamenja. Za razliku od leda, voda dobro razvrstava čestice tla. Veće čestice (pijesak) se izdvajaju prve iz vode jer su teže i traže više energije za nošenje.

Male čestice (glina) se zadnje izdvajaju jer su lakše i mogu biti nošene na veće udaljenosti. Krupniji sedimenti općenito su bliže izvoru vode, a manji su dalje (Kisić, 2016). Matični supstrat nošen strujama i rijekama se naziva aluvijalni, a onaj koji je formiran vodom iz leda se naziva ostatak pijeska (outwash). Supstrati koji se talože gravitacijom se nazivaju koluvij i karakterizira ga slaba sedimentacija, odnosno slabiji raspored čestica gdje se čestice slabo raspoređuju i zbog toga tla koja se razvijaju pri podnožju planine sadrže čestice gline koje se nalaze u stijenama i kamenju. Matični supstrat koji se nanosi vjetrom nazivamo les (aeolian), a onaj koji je nošen vulkanskim erupcijama se naziva tefra i može se nositi na velike udaljenosti vjetrom. Teške čestice poput pijeska raspršuju se na cijelom krajoliku. Čestice gline se drže povezane što im omogućava ponašanje kao veće čestice. Dijelovi praha se raspršuju na vjetru i također se prenose na veće udaljenosti. U jezerima i oceanima se čestice jako dobro sortiraju zbog vode i te naslage imaju prisutan vidljivi horizontalni sloj što ukazuje na dobro istaložen materijal (<http://passel.unl.edu>).

## 2.4. Organizmi

Organizmi u tlu igraju ključnu ulogu u razlaganju organske tvari te formiranju humusa u dubljim slojevima tla. Vegetacijskim ciklusima, biljni ostaci padaju na površinu tla gdje mikroorganizmi uzrokuju razlaganje tkiva biljke. Organska tvar služi kao izvor energije za mikroorganizme u tlu i tako povećava njihovu populaciju u tlu. Organizmi u tlu iskorištavaju lako probavljive tvari (jednostavni šećeri i ugljikohidrati) koji se nalaze u biljnim ostacima te naposljetku ostaju oni slabije razgradivi spojevi kao što su masti i voskovi. Taj materijal koji je ostao se ne razgrađuje lako te uključuje i organsku tvar u tlu. Organska tvar se ponaša kao sredstvo povezivanja teksturnih čestica, ponajviše jer drži osnovne čestice u tlu (pijesak, prah i glina) zajedno kako bi formirao sekundarne agregate. Organizmi u tlu organskom tvari pomažu u stvaranju strukturnih agregata, što poslijedično utječe na fizikalna i kemijska svojstva te tako utječe na proces razvoja tla i formiranja pojedinih horizonata. Primjerice, kada se uspoređuje sadržaj humusa na pašnjacima u usporedbi sa šumama četinjačama, zamjećuje se puno veći sadržaj humusa na pašnjacima. Razlog takvih prilika je u tome što biljna masa te općenito tip vegetacije što čine biocenoze pašnjaka, imaju neutralni pH u usporedbi sa pH iglica koje opadaju sa stabala u šumi koje imaju niski pH. Relativno lužnati pH biljaka sa pašnjaka olakšava mikroorganizmima da ih razgrade, a klimatski uvjeti na pašnjacima povoljnu utječu na tvorbu humusa. Mikroorganizmi teže razgrađuju borove iglice

i zbog toga je sadržaj humusa u tlima pod četinastim šumama manji nego na pašnjacima. Kiselost biljnih ostataka iz šuma utječe na kretanje kiselina kroz profil tla što dovodi do nastanka horizonata brže nego što se to događa kod pašnjaka. Kiseline u tlima mogu otopiti tvari i pospješiti njihovo ispiranje dublje u profil tla, što pak utječe na brže formiranje horizonata (<http://passel.unl.edu>).

Životinje i mikroorganizmi miješaju tlo i stvaraju rupe i otvore (pore). Osim toga, utječu i na kemijske izmjene između korijenja i tla (<http://extension.illinois.edu>)

Svi živi organizmi koji aktivno utječu na procese oblikovanja tla uključuju bakterije, gljivice, vegetaciju i životinje. Neke vrste mikroorganizama potiču kisele uvjete i mijenjaju kemijske značajke tla čime se tlo formira. Veće životinje kao što su kišne gliste i krtice miješaju tlo i mijenjaju fizikalne karakteristike. Time čine tlo propusnijim za vodu i zrak. Njihov otpad uzrokuje nakupljanje čestica tla i poboljšavanje strukture tla (<http://nesoil.com>).

## 2.5. Vrijeme

Vrijeme je zadnji pedogenetski čimbenik koji najmanje utječe na oblikovanje tla, iako ne treba u potpunosti zanemariti njegovu važnost. U ljudskom shvaćanju, za formiranje procesa u tlu i razvoj krajobraza potrebno je relativno dugo vremena. U geološkom vremenu, mnogi procesi za formiranje tla i krajobraza koji su rezultat promjene vremena su relativno privremeni. Geološki gledano, krajobrazi se izgrađuju i razgrađuju kroz vrijeme. Stoga je potrebno neko određeno vrijeme za razvoj tla iako se sada procesi mogu mjeriti i u nanosekundama (<http://www.nrcs.usda.gov>).

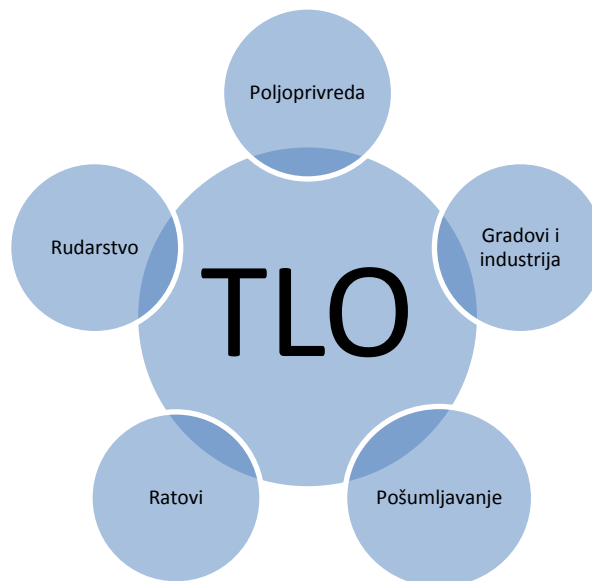
Kroz određeno vrijeme tlo pokazuje neke pojedine karakteristike koje istovremeno utječu na druge čimbenike čime su ti procesi neprekinuti. Primjerice, nedavno istaloženi materijal, kao posljedica poplave, nema puno utjecaja na karakteristike i razvoj tla. Nanošenjem erozijskog materijala prethodna površina tla i podzemni horizonti se zakopavaju. Terasa iznad aktivnog susjednog poplavnog područja, koje je slično poplavnom području su starije površine tla i pokazuju više razvojnih karakteristika (<http://extension.illinois.edu>).

Oblikovanje tla je kontinuirani proces kojem je potrebno nekoliko tisuća godina kako bi se postigle značajna promjene. Tla se smatraju relativno mladima sa manjim starenjem matičnog supstrata i slabijim razvojem horizonata tla dok su starija tla dobro razvijena i mogu se dobro

razlikovati horizonti tla (<http://nesoil.com>). Mlađa tla odlikuju pojedine karakteristike matičnog supstrata, ali sa starenjem i razvojem humusno akumulativnog horizonta te izlaganjem vlazi i drugim okolišnim čimbenicima može promijeniti njegove karakteristike. S vremenom se tla stalože, premjeste u dublje slojeve ispod površine dok se ne transformiraju i promjene svoje odlike. S vremenom se na taj način mogu promijeniti u neki drugi tip tla (<http://www.eschooltoday.com>).

## 2.6. Antropogeni utjecaj

Utjecaj čovjeka na promjene u tlu se zbog svoje jačine gleda kao zaseban pedogenetski čimbenik. Ljudske aktivnosti kao što su industrija, gradnja, rudarstvo, ratovi, a u najvećoj mjeri i aktivnosti u području poljoprivrede su utjecale na tlo raznim načinima i u različitim razmjerima.



Slika 2: Utjecaji ljudskih aktivnosti na tlo

Nasuprot sporom prirodnom razvoju tla, posljedice ljudskih aktivnosti su drastično brže i stoga djeluju dalekosežno. Antropogeni utjecaj rezultirao je manjom bioraznolikosti u tlu, a tlo je općenito homogenije.

Neke ljudske aktivnosti, kao što je poljoprivreda, utjecale su na procese u tlu i morfologiju tisućama godina, dok će primjerice, globalno zatopljenje uzrokovano ljudskim aktivnostima,

postati iznimno važno u budućnosti. Neki antropogeni utjecaji na okoliš, kao što su kisele kiše ili druga zagađenja uzrokuju manje vidljive kemijske i biološke promjene, dok procesi kao što je desertifikacija rezultiraju izraženijim promjenama kao što je gubitak vegetativnog pokrova, sušenje, erozija vodom i vjetrom te akumulacija soli u profilu tla. Tlo reagira različito na ljudske aktivnosti, ovisno o načinu utjecaja i okolišnim uvjetima te o stanju u tlu (<http://www.classzone.com/>).

Osim poljoprivrede, velik utjecaj na tlo ima i pošumljavanje. Uklanjanje se velike količine drvene mase te se krajobraz ostavlja u potpunosti otvorenim i izloženim biotskim i abiotskim čimbenicima. Pošumljavanje se provodi radi prodaje drvene mase, izvora goriva, dok očišćeno zemljište služi za napasivanje, sadnju novih biljaka te naseljavanje. Uklanjanje drveća bez obnove može dovesti do uništenja staništa, gubitka bioraznolikosti i isušivanja tla. To dovodi do ubrzavanja erozije na dva načina. Prvo, uklanjanjem drveća gubi se velika količina hranjiva i minerala jer je količina humusa u tlu znatno smanjena. Izvor humusa je lišće koje padne s drveća, ostaci životinja i korijenje drveća u tlu. Drugo, izloženo tlo je podložno eroziji vodom i vjetrom. Veliki utjecaj na degradacijske procese ima i intenzivna agrotehnika koja negativno utječe na količinu organske tvari u tlima. Posljedično, tlo postaje suho i smanjuje mu se plodnost. Osim toga važno je i prenapasivanje tla u kojem intenzivno stočarenje dovodi do nestanka biljnog pokrova te pretjerane zbijenosti tala. Takav način korištenja tla može dovesti do smanjenja rasta biljne vegetacije i usporiti infiltraciju vode kroz tlo. Sa manje vegetacije tlo je više izloženo eroziji vodom. Istovremeno, brže se suši, a vjetar lakše raznosi površinski izložene gornje slojeve tla (<http://lcgeography.preswex.ie>).

Iz ovoga pregleda vidljivo je da svaki pojedini pedogenetski čimbenik može na nebrojeno velik broj načina utjecati na uklanjanje uniformnosti tla na pojedinom području. Ubrojimo li u to, da pedogenetski čimbenici djeluju zajednički s velikim brojem različitih utjecaja, prostorna varijabilnost pojedinih fizikalno-kemijskih čimbenika je zajamčena što svakako dovodi do pojačanih problema u uniformnom pristupu čovjeka u biljnoj proizvodnji u agroekosustavima. Stoga je za pravilno gospodarenje heterogenim tlima potrebno primijeniti novi pristup koji uključuje činjenicu da su tla heterogena te se danas uporabom visoke tehnologije može nadići klasičan način uniformnog gospodarenja poljoprivrednim tlima. Iduće poglavlje stoga donosi pregled dosadašnjih istraživanja koji pokazuju kako se najbolje opisuje prostorna varijabilnost tala nekog područja u svrhu izrade karata pojedinih čimbenika tla za pravilno „Foot-by-Foot“ gospodarenje tlima.

### 3. PROBLEM VARIJABILNOSTI I PRECIZNA POLJOPRIVREDA

Veliki problemi u poljoprivredi proizlaze iz prevelikog i prečestog uzgoja koji dovode do degradacijskih procesa tla: erozije, odnošenja gornjih slojeva tla, zagađenja vode i tla, prekomjernog korištenja pesticida i agrokemikalija. Prekomjernom eksploatacijom tla, ono postaje neupotrebljivo za daljnji uzgoj. Zbog toga se sve više krče šume u potrazi za obradivim površinama. Svi ovi čimbenici dovode do velike varijabilnosti u tlu i potrebe za njenim razumijevanjem i stabilizacijom (<http://wwf.panda.org>).

Izrada karata svojstava tla te prinosa i prikaza za daljinsko upravljanje povećala je svijest o varijabilnosti među usjevima i potaknula interes za identificiranje čimbenika koji utječu na varijabilnost. Istraživanja na području varijabilnosti su uglavnom usmjerena na varijabilnost hranjiva u tlu (Wollenhaupt i sur., 1994; Franzen i Peck, 1995) kako bi se upozorilo uzgajivača na nedostatak, a manje na varijabilnost fizikalnih svojstava tla (McBratney i Pringle, 1997; Doolittle i sur., 1994). Također, više se istraživanja bavilo horizontalnom preciznosti nego horizontalnom i vertikalnom. Uzroci tome su mnogobrojni: fizikalne poteškoće u mapiranju dubljih slojeva tla, visoka anizotropija (predstavlja veću povezivost pojedinog čimbenika na nekom prostoru u jednom smjeru) koja je generalno uočena na vertikalnim i horizontalnim ravninama, nedostatak prostorne strukture koja postoji u svojstvima kao što je kompaktnost tla (Martino i Skaykewich, 1994) i nedostatak odgovarajućeg softvera koji bi rekonstruirao 3D model tla.

Specifično gospodarenje tлом (Stafford i sur., 1996) je nedavni koncept upravljanja obradivim površinama koji se odnosi na praksu unutar polja u odnosu na tlo ili uvjete pojedine lokacije. Konvencionalni uzgajivači upravljaju obradivim površinama kao da su homogena, tj. jedan set metoda primjenjuju na čitavo područje. Međutim, takav način uzgoja nije primjeren zbog prevelikog ili premalog tretiranja inputima na nekim područjima na polju. Posljedica toga su povećani troškovi, smanjenje neto ekonomskog povrata, doprinos površinskom i podzemnom zagađenju vode te gubitak energije u proizvodnji.

Zbog toga je potrebna primjena visoke tehnologije kako bi se uspješno primijenila precizna poljoprivreda. Ona omogućava poljoprivrednicima da prate stanje na njihovim gospodarstvima, unaprijede i olakšaju pravilno odlučivanje, usvoje bolje praćenje, unaprijede marketing proizvoda, poboljšaju dogovore za najam sa vlasnicima, poboljšaju unutarnju kvalitetu poljoprivrednih proizvoda. Precizna poljoprivreda obuhvaća četiri razine pri promatranju prostorne varijabilnosti, a uključuje prikupljanje podataka, varijable, strategiju te praksu primjene. Također uključuje sistem pozicioniranja (GPS), geografski informacijski



sustav (GIS) za procjenu dobivenih podataka, kvalitetnu poljoprivrednu opremu kao što su sijačice ili oprašivači (<https://en.wikipedia.org/wiki>). Usporedno s primjenom visoke tehnologije, nužno je primijeniti i geostatističke metode koje jedine mogu na ispravan način opisati varijabilnost pojedinog područja i na kraju dati najvažnije: preciznu vizualizaciju pojedinog čimbenika od interesa poljoprivrednog proizvođača.

Geostatističke metode podrazumijevaju prostorno – vremenske varijacije svojstava tla kao slučajni (nasumični) proces koji ovisi o vremenu i prostoru (Goovaerts, 1999). U zadnjih dvadeset godina primjena geostatističkih metoda se usredotočila na predviđanje prostorne varijabilnosti svojstava tla sa različitim metodama kriginga od malih do velikih razmjera (Yost i sur., 1982; Trangmar i sur., 1987; Miller i sur., 1988; Voltz i Webster, 1990; Chien i sur., 1997; Tsegaye i Hill, 1998; Lark, 2002).

Moderna geostatistika je u najvećem dijelu primjena Matheronove regionalizirane teorije varijable u čijem je centru semivariogram (Matheron, 1965). Semivariogram može dati uvid i dobar opis razine i uzoraka prostorne varijabilnosti. Može se jednostavno utvrditi iz uzoraka i čim se odabere odgovarajući matematički model s obzirom na eksperimentalni semivariogram (Oliver i Webster 1986; McBratney i Webster, 1986), njegovi parametri se mogu koristiti za lokalnu procjenu pomoću kriginga, tj. optimalne interpolacije (Matheron, 1965; Journel i Huijbregts, 1978) te za unaprijeđenje prikupljanja uzoraka (McBratney i sur., 1981). Ove metode su se primijenile u istraživanju na području navodnjavanja (Hajrasuliha i sur., 1980; Russo, 1984), znanosti o tlu (Burgess i Webster, 1980; Campbell, 1978; McBratney i sur., 1982) i pri praćenju oborina (McCullagh, 1975), a mogu se koristiti i pri praćenju drugih ekoloških fenomena.

### **3.1. Primjena znanstvenih metoda pri istraživanju prostorne varijabilnosti**

U istraživanju koje su proveli Castrignano i sur. (2002), rađena je 3D prostorna varijabilnost zbijenosti tla i njegove promjene na polju pšenice (*Triticum durum*) u Južnoj Italiji. U ovom radu je pri svakom uzorkovanju upotrebljeno mjerenje otpora tla i geostatistička obrada podataka s ciljem da se izrade 3D karte zbijenosti tla. Otpori tla su pokazali nasumične varijacije na površinskim slojevima, dok je u dubljim horizontima pokazala dosljednost (perzistentnost) prilično plitke kompaktne zone. Kasnije, za vrijeme rasta usjeva, otpori tla su povećani pri čemu su vrijednosti dosegle i 2.5 MPa čak i na površini. Kako bi se skupila i vizualizirala sva mjerenja otpora tla na različitim mjestima

unutar polja, primjenjena je posebna geostatistička metoda koja se naziva kriging. Karta vjerojatnosti koja prelazi 2.5 MPa kroz prokorjenjenu dubinu tla pokazala je dva područja visoke ovisnosti u ožujku 2000. godine. Ovo istraživanje je potvrdilo dosljednost u strukturi tla tijekom vremena i dokazala je da se geostatističke metode mogu koristiti za razumijevanje i procjenu prostorne varijabilnosti. Na površini od 0.25 ha geostatistika se koristila kako bi usporedili prostorni uzorci otpora tla tijekom sezone rasta pšenice i kako bi se formirale vizualne karte za održivo upravljanje u poljoprivredi. Pri odabiru odgovarajućeg semivariograma, prema variogramu uzorka indikatora varijable, primjena običnog kriginga direktno na indikator varijable dopušta procjenu prekoračenja na svakom mjestu interpolacijske mreže. Tada je moguće pronaći sub-područja unutar polja, gdje postoji velika vjerojatnost da korijenje prolazi kroz zonu povećane zbijenosti u određenom vremenu za vrijeme sezone. Sve geostatističke analize su provedene pomoću ISATIS geostatističkog softvera (Geovariances, 2000).

Povezanost u tlu je visoka i opada sa smanjenjem vlažnosti tla koja pokazuje da, iako su otpori tla pod snažnim utjecajem vlage, struktura tla je ostala ista tijekom sezone. Ipak, sušenje tla je pridonijelo poremećaju prostorne povezanosti i povećanju nasumične prostorne varijabilnosti. Odabir metode kriginga je uvelike smanjilo troškove i vrijeme potrebno za mjerenja na svakom pedlju polja. Krajnje karte pokazuju vjerojatnost na bilo kojoj lokaciji na polju gdje prodire korijen u slojevima tla koja se ističe po tome što ima otpornost veću od odabranog isječka. Takve informacije mogu biti korisne kako bi se napravile donijele odluke za preciznu poljoprivredu (npr. unošenje organske tvari na lokacijama gdje se najviše očekuje vjerojatnost prekoračenja zbijenosti).

U radu Cao i sur., (2009) je uspoređeno pet interpolacijskih metoda: IDW, spline, Kriging – exponential, Kriging – spherical, Kriging – Gaussian kako bi se dobio prikaz temperaturne rasprostranosti u Kini temeljeno na podacima koji su dobiveni iz 327 meteoroloških postaja. Podaci uključuju minimalnu temperaturu, srednju dnevnu temperaturu i maksimalnu temperaturu prvih deset dana u siječnju, travnju, srpnju i listopadu od 1990.–2005. Nakon provedenih analiza sa svih pet interpolacijskih metoda dobiveni su sljedeći rezultati: Kriging – exponential i Kriging – spherical su imali najbolju interpolacijsku preciznost. Pogreške u svih pet metoda nisu velike. Najmanja pogreška je uočena ljeti, a najveća zimi. Kada je interpolacijski broj lokacija sigurna vrijednost, preciznost pet interpolacijskih metoda je negativno povezana sa standardnom pogreškom temperature lokacija.

U radu Lakhankar i sur. (2010), proučavala se prostorna varijabilnost vlage u Oklahomi. Koristile su se tehnike semivariograma kako bi se proučila prostorna rasprostranjenost vlage u

Oklahomi te procjenila metoda kriginga radi proučavanja AGRMET podataka o vlazi tla sa *in situ* Oklahoma Mesonet podacima o vlazi. AGRMET je model koji koristi satelitske digitalne podatke kako bi se proizveli hidrometeorološki podaci i također koristi podatke sa stanice na kopnu u algoritmu. Također je definirano devet tipova tla i trinaest tipova vegetacije te hidrometeorološke parametre kao što su temperatura i vlaga tla, ekvivalent vode u snijegu, biljni pokrov i podaci o sadržaju vlage na rezoluciji od 47 km. Rezultati pokazuju da se struktura semivariograma mijenja ovisno o oborinama i suhom razdoblju na tlu. Multivarijabilne metode kriginga kao što su Co-kriging, External drift kriging, Indicator kriging (IK), External drift indicator kriging (EDIK) su korištene kako bi se poboljšala preciznost procjene vlage uz pomoć dodatnih informacija kao što je reljef, tekstura i pokrov tla. Ovaj tip prostorne analize je od direktne koristi za procjenu prosječne udaljenosti između meteoroloških stanica za vlagu tla za utemeljenje velike mreže za vlagu tla kao što je U.S. Climate Reference Network (USCRN). Naposljetku, kvantifikacija kovarijance će se koristiti kako bi se unaprijedili eksperimenti za asimilaciju satelitskih podataka (Jones i sur., 2007).

Panagapoulos i sur. (2005) su napravili istraživanje na eksperimentalnom polju kod Sveučilišta Algarve u Portugalu. Kako bi se razumjela fizikalna i kemijska svojstva tla na eksperimentalnom polju i njegov utjecaj na kulturu koja se uzgaja, salatu, (*Lactuca sativa* L.) te kako bi se smanjila količina navodnjavanja, provedena je grafička interpretacija pomoću geostatistike. Parametri tla koji su se proučavali su: mineralni dušik, fosfor, kalij, pH i električna vodljivost. Interpolacije koje su se koristile su obični kriging, Inverse Distance Weighting (IDW) i Thiessen poligon. Za usporedbu preciznosti predikcije koristila se tehnika krosvalidacije. Kriging je bio najtočnija metoda za sve istraživane parametre. Za kreiranje karata, koristili su se semivariogrami za svako pojedino svojstvo. Nakon dobivenih podataka i obavljenih analiza napravljena je karta svojstava za povoljnost proizvodnje salate koja pokazuje koje su najbolje lokacije za njezin uzgoj. Konačni prinos salate je imao visoku korelaciju ( $r^2 = 0.83$ ) sa konačno izrađenom kartom. Ovo istraživanje pokazuje da se geostatistika može koristiti kao jeftinija metoda za preciznu poljoprivredu na malim gospodarstvima.

Bocchi i sur. (2004) su analizirali prostornu varijabilnost fizikalnih, hidroloških i kemijskih svojstava tla. Primijenio se faktorijski algoritam kriginga (FKA) na području sjeverne Italije na eksperimentalnom polju na dvjema dubinama. Koristila se variografija za proučavanje prostorne povezanosti dviju važnih varijabli i osnovnih komponenata. Linearni model koregionalizacije, koji uključuje nugget efekt, eksponencijalnu strukturu sa efektivnim rasponom od 120 m i eksponencijalnu strukturu sa rasponom od 350 m, je korišten za

eksperimentalni i cross-variogram svojstava površinskog sloja tla. Ko-kriged regionalizirani čimbenici, povezani sa varijacijom dugog i kratkog raspona, su mapirani kako bi se karakterizirale varijacije tla u polju. Varijacije kratkog raspona u tlu su rezultat razlike u teksturi tla, dok su varijacije većeg raspona rezultat u sadržaju organskog ugljika rezultat nehomogenosti u zadržavanju vode u tlu. Takve varijacije organskog ugljika su posljedica nejednake raspoređenosti tekućeg gnojiva na polju. FKA u kombinaciji sa pedološkim znanjem na području geostatistike može biti korisno poljoprivrednicima kako bi se dobio redoviti urod.

Drešković i Đug (2012) su mapirali godišnje padaline na području Bosne i Hercegovine koje su procjenili koristeći DEM (Digital elevation Model). Pri tome su korištene dvije metode: IDW i Kriging. IDW linearna metoda je prva uzeta za analizu, ali s obzirom na planinske regije ova metoda može dati nerealne rezultate. Nasuprot tome, kriging je prihvatljiviji zbog prilagodljivosti konfiguraciji terena, brzog procesuiranja podataka, velike preciznosti u računanju oborina i odgovarajućeg klimatskog indeksa za rezoluciju mreže. Prihvatljivi pluviometrijski model sa rezolucijom 50x50 m koji je dobiven metodom kriginga je primjenjiv na lokalnoj prostornoj skali, pogotovo u orografskim regijama. Još točnije, dizajnirani godišnji pluviometrijski model je karakteriziran visokom preciznošću u područjima sa izraženim dinamičnim reljefom, gdje su energetske razredi iznad šeste kategorije. Doneseni su sljedeći zaključci: godišnja količina padalina iznosi 1255 mm i postoji izražena distribucija u rasponu od 706 mm do 3259 mm. U većini suhih područja u Bosni i Hercegovini godišnja količina padalina je pet puta manja od maksimalne količine padalina, a razlike u prostornoj rasprostranjenosti padalina su izražene na temelju klimatskih regija Bosne i Hercegovine. U mediteranskim regijama ima više padalina nego u kontinentalnim, a prostorna promjena u količini godišnjih padalina u ova dva klimatska pojasa je također različita, sa osnovnim zaključkom da se smanjuje od obale na jugu prema peripanonskoj zoni u sjevernom dijelu Bosne i Hercegovine.

Kerry i Oliver (2004) su proveli istraživanje koje je uključivalo prosjeke raspona semivariograma i standardizirane prosječne semivariograme od četiri različita matična supstrata u južnoj Engleskoj koji su korišteni za izradu preporučenih intervala uzorkovanja za buduća istraživanja tla sličnih pedoloških značajki temeljeno na polovici raspona variograma. Standardizirani prosječni semivariogrami su se također koristili kako bi se odredili optimalni intervali uzorkovanja pomoću metode kriginga. Osim toga, predloženi su slični intervali na temelju različitih metoda i karata predviđanja koje su rađene na temelju mreže uzoraka. LOI (Loss of Ignition) semivariogrami koji su korišteni u literaturi za druge lokacije u južnoj

Engleskoj sa sličnim matičnim supstratom su imali raspon koji je blizu prosjeka istraživanog matičnog supstrata i time je pokazao širu primjenu takvih prosjeka kao uputa za prikupljanje uzoraka. Postoje signifikantne razlike u srednjim vrijednostima i varijancama i LOI semivariogramima za tlo koji je razvijeno na različitim matičnim supstratima. Sve ovo pokazuje da je moguća generalizacija u varijaciji LOI povezano sa matičnim supstratom koji služi kao predložak za buduće prikupljanje podataka na lokacijama gdje ne postoje semivariogrami. Rezultati iz ovog istraživanja mogu se primjeniti na lokacijama sa sličnim uvjetima oblikovanja tla, karakteristikama krajolika, klimom i načinom korištenja zemljišta. Ako postoji pouzdani standardizirani prosječni semivariogram se može koristiti za predviđanje svojstava za mapiranje i na temelju manjeg broja uzoraka koji su potrebni za izradu semivariograma.

Belić i sur. (2013) su proučavali organski ugljik u tlu na području južnoistočnog Panonskog bazena. Područje je uključivalo deset različitih tipova tla sa 400 profila na raznim lokacijama Vojvodine na dubinama: 0-30, 30-60 i 60-100 cm. Od tri čimbenika koja su se promatrala, tip tla je imao najveći utjecaj na sadržaju organskog ugljika u tlu. Podaci koji su prikupljeni su analizirani pomoću metode kriginga. Rezultati su se razlikovali ovisno o tipu tla i dubini. Na 0-100 cm dubine, najveće razine organskog ugljika su pronađeni u regosolu, vertisolu, gleju i černozemu, a najmanje ugljika su sadržavale razine na tlu, solončak, fluvisol i aeronosol. Na površini od 1 807 073 ha količine organskog ugljika u tlu iznose na dubini od 0-30 cm 122 Mt, a na dubini od 0-100 cm je procijenjeno na 270 Mt. Najveće količine ugljika su također opažene na oranicama, a najmanje u šumama i vinogradima. Dobiveni rezultati mogu poslužiti za praćenje u promjenama količine organskog ugljika u tlu i za preporuku mjerenja za očuvanje organskog ugljika.

Corwin i Lesch (2005) su istražili električnu vodljivost tla u središnjoj Kaliforniji na 22 177 lokacija koja uzrokuje prostornu varijabilnost. Površinski uzorci uključuju 40 lokacija gdje su uzeti uzorci na dubini od 1.2 m. Dupli uzorci su sakupljeni na osam lokacija kako bi se proučila prostorna varijabilnost. Analiza uzoraka uključuje fizikalno-kemijska svojstva povezana sa kvalitetom tla za aridnu zonu. Analiza opisuje tlo kao slanije sa EC koja je u rasponu od 4.83 do 45.3 dSm<sup>-1</sup>, SAR (razina apsorpcije soli) od 5.62 do 103.12 i sadržajem gline od 2.5 do 48.3%. Utvrđena također velika količina slanosti i SAR u središtu južnog istraživanog područja. Pronađena je povezanost između EC i svojstava tla pri proučavanja zasićenja (EC<sub>e</sub>; Cl<sup>-</sup>, HCO<sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, and Mg<sup>2+</sup>) izmjenjivi Na<sup>+</sup> i SAR. Druga svojstva kao što su obujam zbijenosti, volumetrijski sadržaj vode, sadržaj gline, postotak zasićenja (ESP), Mo, CaCO<sub>3</sub>, gips, ukupni N, Ca<sup>2+</sup> u ekstraktu zasićenosti i izmjenjivi kationi (K<sup>+</sup>,

Ca<sup>2+</sup>, and Mg<sup>2+</sup>) nisu pokazali neku značajnu povezanost. Prostorna rasprostranjenost slabo povezanih svojstava nije dobro prikazana na površinskom prikupljanju uzoraka što dokazuje da je potrebno nasumično prikupljanje uzoraka. Svi podaci su analizirani u GIS sustavu koristeći ArcView 3.3. Karta fizikalno-kemijskih svojstava je izrađena pomoću metode IDW jer je preciznija na temelju srednje pogreške (MSE) u usporedbi sa krigingom te su izrađene karte sa mjerenjima EC. Preporuča se kombinacija nasumičnog uzorkovanja sa geostatističkim mjerenjima za ovu lokaciju.

Sun i sur. (2003) su istražili vremensku i prostornu varijabilnost svojstava tla u planinskoj regiji Kine sa karakteristikama subtropske klime pomoću geostatističkih metoda. Skupljeni su uzorci sa 105 lokacija na dubini od 0-15 cm na površini od 112 ha i to u razdoblju 1985. i 1997. godine. Parametri u tlu su pokazali veliku varijabilnost i to sa najvećim koeficijentom varijacije za pristupačni fosfor i sa najmanjim koeficijentom za pH. U dvanaestogodišnjem periodu, primijećen je značajan pad u sadržaju organske tvari na izvornom zemljištu na ledini i rižinim poljima, dok se na drugim tipovima zemljišta nije primijetila značajnija promjena. Gnojidba je povećala sadržaj pristupačnog fosfora i kalija na ledinama, a na području šume je primijećena suprotna situacija. Prenamjena ledine u rižino polje je povećala plodnost tla. Geostatistička analiza je pokazala da su svi promatrani parametri (pH, organska tvar, pristupačni fosfor i kalij) između 1985. i 1997. bili prostorno strukturirani. Odnos nugget/sill pokazuje veliku prostornu zavisnost za pH i umjerenu prostornu zavisnost za ostale parametre. Rasponi za parametre u tlu 1985. godine su pod utjecajem visine brda, što su i pokazali rezultati za pH i pristupačni kalij. Promjena u načinu korištenja zemljišta je utjecala na promjene u kemijskim svojstvima tla. Interpolacija u kojoj se koristio kriging je pokazala sličnost među istraživanim parametrima. Vrijednosti svojstava tla na području jugo-istočnog kvadranta gdje se nalaze rižina polja su se smanjila, a na području ledine su se povećala. Iz svega toga se preporuča provođenje geostatističke analize kako bi se napravile preporuke za kvalitetnim gospodarenjem u poljoprivredi.

Oliver i Webster (1986) su istražili područje Wyre Forest in the English Midlands. Rezultati iz grupnog uzorkovanja pokazuju da se većina izmjerenih varijanci promatranih svojstava tla nalazi unutar 60 m. Objašnjavaju zašto se semivariogrami iz prethodnih istraživanja pojavljuju kao varijanca čistog nuggeta. Interval između susjednih točaka uzorkovanja koji iznosi 165 m je predalek. Jedino skraćanjem intervala uzorkovanja prostorna struktura koja je sakrivena u nuggetu može doći do izražaja. Grupno uzorkovanje podataka bi trebalo dati dobar semivariogram strukture, a pogotovo pokazati njegov prostorni raspon. Rezultati poprečnog presjeka pri uzorkovanju su potvrdili ovu tvrdnju i još preciznije definirali skalnu.

Kada se uzmu u obzir krivine pri izradi semivariograma, vidljivo je da ostaju još neke neriješene varijacije. Dalje grupno uzorkovanje bilo bi ekonomski isplativo, a nugget efekt se može detaljno istražiti bez puno napora. Ako se želi samo ugrubo istražiti raspon prostorne varijabilnosti, grupno uzorkovanje i analiza su dovoljni.

Schloeder i sur. (2001) su istražili prikladnost korištenja prostornih interpolacijskih metoda na ograničenim grubo–skaliranim podacima na površini od 1188 ha na ravnicama vertisola. Metode koje su uključene u analizu se odnose na obični kriging, IDW i thin-plate smoothing splines with tensions. Usporedba je temeljena na preciznosti i efektivnim mjerenjima te analizom koristeći ANOVA test sa komparativnim t-testom. Na većini istraživanih setova podataka se nisu mogle primijeniti navedene metode, jedino se moglo na pH, organskoj tvari te izmjenjivom sadržaju natrija. Rezultati su pokazali da su ove metode prikladne jer su podaci pokazali dosljednost unutar istraživanog područja i raspona. Obični kriging i IDW su bili slično precizni dok thin-plate smoothing splines with tensions nije. Isto tako, rezultati su pokazali da je broj uzoraka jako bitan, iako su istraživači uspjeli s ograničenim brojem uzoraka dobiti neke rezultate.

Corwin, USDA-ARS (2000) je napravio istraživanje na području Kalifornije. Na 60 lokacija koje obuhvaćaju područje pamuka je primjenjen model semivariograma u sklopu metode obični kriging. Korelacija EC sa prinosom na 60 lokacija je negativna i iznosi 0.51. Umjerena korelacija pokazuje da neka svojstva tla koja utječu na EC mogu utjecati i na prinos pamuka čime direktna EC strategija uzorkovanja ima dobar pristup ovoj lokaciji. Karta prinosa može dati jednaku količinu informacija kao i EC karta, ali s time da praćenje prinosa nije razvijeno za sve vrste usjeva. Iz toga EC karta može poslužiti kao korisna alternativa koja daje informacije koje su karakteristične za prostornu rasprostranjenost svojstava tla, gdje je karta prinosa rezultat brojnih dodatnih čimbenika.

Dorji i sur. (2014) su istražili područje istočnih Himalaja kako bi utvrdili količine organskog ugljika u tlu. Ekosistem Butan koji se istražuje obuhvaća različite načine korištenja i pokrova zemljišta pa se prema tome i radila analiza. Sadržaj organskog ugljika u tlu, koji uključuje 186 profila, je mapiran pomoću digitalnih slika u dobroj rezoluciji pomoću regresijskog kriginga. Regresijski kriging je pokazao bolje rezultate nego RTM (Regression Tree Model) na temelju srednje vrijednosti i pogreške (RMSE). S obzirom na način korištenja i pokrov tla, uočen je velik utjecaj na količinu, zbijenost, udio i rasprostranjenost organske tvari, iako taj utjecaj opada sa povećanjem dubine. Procjenjena srednja zbijenost organske tvari u tlu pri površini tla je bio najveći u šumama (41,4 kg/m<sup>2</sup>), a najniži u rižinim poljima (12 kg/m<sup>2</sup>). Za cjelokupno područje na površini tla količina organskog ugljika iznosi prosječno 27,1 Mt.

Mješovite šume zauzimaju 77,5 % od ukupnog istraživanog područja. Ovi podaci i relativna zbijenost organskog ugljika pokazuju da prenamjena šumskog u druga zemljišta dovodi do značajnog gubitka organske tvari u tlu. Ovaj gubitak je još veći kada se uzme u obzir smanjenje površinske biomase. Iz svega se može zaključiti da se jedino pravilnim korištenjem i gospodarenjem zemljišta može povećati prikupljanje atmosferskog ugljika kako bi se smanjilo globalno zatopljenje.

Yasrebi i sur. (2009) su istraživali prostornu varijabilnost kemijskih svojstava u tlu (pH,  $P_{AL}$ , EC, ukupni dušik, kalij i organska tvar) na području Irana. Metode za analizu su uključivale obični kriging (OK) i IDW. Uzorci tla (100) su prikupljeni na dubini od 0-30 cm. Analiza je pokazala da su svi kemijski parametri u tlu bili snažno prostorno zavisni, ali je raspon prostorne zavisnosti varirao među kemijskim svojstvima.  $P_{AL}$  je imao najkraći raspon prostorne zavisnosti (49,5 m), a pH je imao najduži (109,5 m). Predikcijska vizualizacija je pokazala da je OK metoda pokazala bolje rezultate nego IDW. U usporedbi sa OK, IDW je imao pogrešku veću od 22 % za pH, 15 % za EC, ukupni dušik, kalij, organsku tvar i 20 % za pristupačni fosfor. Ovi rezultati se poklapaju sa rezultatima prijašnjih istraživanja (Hernandez-Stefanoni i Ponce-Hernandez, 2006; Voltz i Webster, 1990).

Diacono i sur. (2011) su istražili područje Južne Italije koje uključuje polje pšenice (*Triticum turgidum* L. var. durum) od 12 ha sa 100 lokacija na kojima su uzeti uzorci. Parametri koji su se analizirali su: sadržaj proteina (PC-%), čvrstoća biljke ( $W=J \times 10^{-4}$ ), odnos čvrstoća/rastezljivost (P/L). Pronađeno je nekoliko homogenih zona pomoću metode faktorijalnog kokriginga. Kokriging se također koristio za mapiranje kvalitete parametara u tlu. Dokazano je da ocrtavanje homogenosti na istraživanom području treba osigurati odvajanje požetog zrna na bazi razine kvalitativnih parametara krupice, kako bi se zadržala jednaka količina zrna prije nego što se pošalje u industriju tjestenine. Deskriptivna statistika je pokazala veliku varijabilnost koja je rezultat utjecaja koeficijenta varijabilnosti. Uočena je značajna varijacija W (od 56 do  $241 J \times 10^{-4}$ ), od niskih do srednjih vrijednosti. Srednja vrijednost P/L (2.14) je karakteristična za visoku vrijednost pšenice (20), ali sa manjim sadržajem proteina (<13%) što objašnjava malu razinu rastezljivosti slično kao i kod Dexter i sur. (2004). P/L nije pokazao značajno odstupanje od Gausove distribucije, za razliku od drugih parametara koji su bili pozitivno ukošeni. PC i W su imali jaku i pozitivnu povezanost, dok sa P/L nije bilo tako. Faktorijalna kokriging metoda je dobila dva značajna regionalizirana faktora: F1 koji je pozitivno povezan sa W i PC te F2 koji je negativno povezan sa W i PC. Karta za F1 je pokazala više vrijednosti u središnjem sjevernom dijelu, dok je F2 pokazala više vrijednosti na središnjem južnom dijelu. S dobrom preciznošću



područje se može podijeliti u dva dijela: sjeverni i južni dio sa slabijom kvalitetom zrna te središnji dio sa boljom kvalitetom zrna. Karta prinosa se može usporediti sa prvim čimbenikom. Vizualna procjena je pokazala područja najnižeg prinosa na sjeverozapadu (SZ) i u središtu, gdje je sadržaj proteina bio viši. Ovi rezultati potvrđuju poznatu obrnutu vezu između kvalitete parametara u pšenici i prinosu zrna kao i kod Montemurro i sur. (2008). Prednost takvog isticanja takvih homogenih područja podoblasti se satoji u proizvodnji različitih kvaliteta zrna. Stewart i sur. (2002) suprimijetili da se pri mapiranju proteina korištenje mogućnosti odvajanje usjeva tijekom žetve u različite razrede koristi velika prednost područja s većim sadržajem proteina.

Simbahan i sur. (2006) su željeli poboljšati karte za izračun količina zaliha organskog ugljika u tlu (mgC/ha). Korištene su različite geostatističke metode za mapiranje ugljika u površinskom sloju tla, na dubini od 0.3 m sa ili bez sekundarnih informacija na trima različitim tlima u no-tillage korištenju (49 do 65 ha) u Nebraski, gustoće uzorkovanja 3.9 do 4.2 uzorka/ha. Geostatističke metode uključuju obični kriging (OK), kokriging (COK), kriging sa vanjskim driftom (KED) i regresijski kriging (RK). Pomoćne varijable su osigurale indirektnu informaciju o prostornim uzorcima ugljika u tlu, uključujući karte tla, reflektivnost tla dobivena na temelju satelitskih snimki, relativnog povišenja (EL) i električne vodljivosti tla (EC). RMSE je varirala u rasponu od 10.8 do 12.5 mg C/ha za tri lokacije. Metode koje su iskorištavale sekundarne informacije su smanjile RMSE sa 5 na 38 % u usporedbi sa OK. Relativno poboljšanje u točnosti karte su bile najviše (16 do 38 %) sa višestrukim regresijskim krigingom, koji je bio bolji nego COK, KED ili RK, koji su koristili samo jednu pomoćnu varijablu. Relativno poboljšanje pri korištenju sekundarnih informacija je naraslo sa smanjenjem gustoće uzorkovanja. Smanjenjem intenziteta sakupljanja organskog ugljika u tlu na polovicu izvornog broja uzoraka povećala se RMSE proizvedenih karata pomoću metode OK, dok kod RK bilo malo ili upće nije bilo gubitka preciznosti. Među testiranim hibridnim metodama, RK je imao najbolje rezultate pri izradi preciznih karata i fleksibilnom modeliranju višestruke veze između ugljika u tlu i sekundarnih informacija. Među pomoćnim varijablama, EC je bio najbolji za mapiranje ugljika u tlu. Karakteristike terena su imale ograničene vrijednosti na trima istraživanim lokacijama, do je REF ovisio o uvjetima površine u trenutku slikanja. Kako bi se smanjila nepreciznost, preporuča se neovisno mjerenje te pomoć višestrukih sekundarnih informacija u RK za mapiranje organskog ugljika u tlu.

Podznyakova i Zhang (1999) su istražili razinu kvocijenta alkalizacije (SAR) na obradivoj površini za navodnjavanje od 3375 ha. Geostatističke metode koje su se upotrijebile za analizu uključuju kriging i kokriging. U kokrigingu, podaci koji su se lakše izmjerili, a

odnosili su se na električnu vodljivost (EC), korišteni su kako bi se lakše interpolirala vrijednost SAR. Procjenjena prostorna rasprostranjenost SAR koja se računala uz pomoć geostatističkih metoda sa smanjenom količinom podataka, koja je iznosila od 6 do 90 %, je uspoređena sa intenzivno mjerenim EC na većem polju. Rezultati pokazuju da se troškovi mogu ozbiljno smanjiti, a procjena može biti poboljšana pomoću metode kokriginga s pomoćnim podatkom EC. U usporedbi s krigingom koristeći sve podatke iz SAR-a, kokriging sa smanjenom količinom podataka iz SAR-a poboljšava procjenu sa smanjenjem srednje pogreške i varijance kriginga do 70 % i povećanjem povezanosti i mjerenja do 60 %. Troškovi prikupljanja uzoraka za procjenu vrijednosti SAR se mogu smanjiti približno do 80 % pomoću dodatnih EC podataka zajedno sa manjim brojem SAR podataka u kokrigingu. Kokriging se pokazao kao precizna, ekonomična metoda za procjenu prostorne rasprostranjenosti slanosti tla na velikim površinama.

Yost i sur. (1982) su napravili presjek otočja Havaji kako bi se procjenila rasprostranjenost biljkama pristupačnog fosfora pomoću srednjih vrijednosti kvalitetne geostatističke metode kriginga. Prikaz rasprostranjenosti biljkama pristupačnog fosfora ( $P_{AL}$ ) pomoću metode kriginga je uspoređen sa češće korištenom metodom spline interpolacijom. Metoda kriginga je bila bolja jer je pregled točaka bio bolji, a karta je pouzdanija. Pronađena su područja gdje bi dodatni uzorci smanjili procjenu varijance i time povećali pouzdanost karte. Osim toga, procjenjena je i potreba za nestacionarnosti i korištenjem univerzalnog kriginga. Univerzalni kriging, kod kojeg se uklonio polinomialni ili lokalni polinomialni trend tijekom procjene, nije bio od koristi usprkos široko rasprostranjenom sadržaju  $P_{AL}$  i značajnom polinomialnom trendu podataka. Rezultati pokazuju da je obični kriging bolji u prikupljanju i interpretaciji analize tla te prilično dobar do određenih stupnjeva nestacionarnosti (raspon sadržaja je od 0 do 1800 mg  $P_{AL}$ /kg tla).

Xu i sur. (2013) su koristili ArcGIS, geostatistički softver GS+ i statistički softver SPSS kako bi istražili prostornu varijabilnost hranjiva u tlu na području pokrajine Hubei. Tijekom deskriptivne analize su se pojavile neke vrijednosti koje imaju izraženu skewness. Kako bi se postigla normalnost uglavnom su se koristile Box-Cox transformacije podataka. Rezultati su pokazali jaku prostornu varijabilnost ukupnog dušika (N), pristupačnog fosfora ( $P_{AL}$ ) i kalija (K), efektivnog cinka (Zn), umjerenu varijabilnost organskog ugljika (C), efektivnog molibdena (Mb) i bakra (Cu), a kod ostalih parametara je uočena slaba prostorna varijabilnost. Semivariogramaska analiza je pokazala da Zn ima najbolje rezultate pri eksponencijalnom modelu, dok je za pristupačni P i efektivni Cu odabran Gaussov model. Odnos varijabilnosti uzrokovan nasumičnim čimbenicimakako bi se nadvladala varijabilnost je velik. Štoviše,

raspon povezanosti hranjiva je imao većih razlika. Najmanja vrijednost je bila za efektivni Zn koja iznosi 3600 m, a najveća vrijednost je 77970 m za organski C. Druge značajke su također uključene. Ovo istraživanje je korisno za dizajn i shemu uzorkovanja, kako bi se shvatio utjecaj rijeke Han na prostornu varijabilnost hranjiva na istraživanom području te na interpolaciju i izradu karata.

Delbari i sur. (2011) su koristili metode običnog kriginga (OK), lognormal obični kriging (LOK), kokriging (COK) i indikator kriging (IK) za predviđanje i procjenu frakcija teksture tla: pijeska, praha i gline na erozijskom eksperimentalnom polju u Donjoj Austriji. Uzorci su prikupljeni na 136 lokacija na udaljenosti od 30 m. Metode koje su koristile za procjenu uključuju krosvalidaciju, a kriterij za usporedbu obuhvaća srednju pogrešku promjene (MBE) i korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE). Statističke analize su pokazale da je vrijednost sadržaja pijeska imala najveći koeficijent varijacije, što ukazuje na veliku varijabilnost i pozitivni skewness i pritom potiče istraživače da koriste LOK za procjenu. KS (Kolmogorov-Smirnov) test normalnosti podataka je pokazao da su čestice gline skoro normalno rasprostranjene, dok prah i pijesak imaju negativni i pozitivni skewness. COK je također korišten zbog negativne povezanosti između frakcija teksture. Autokorelacijska analiza je pokazala da su frakcije teksture u tlu snažno do umjereno prostorno povezane. Krosvalidacija je pokazala da je COK najpreciznija metoda za procjenu sadržaja praha i gline; vrijednost RMSE iznosila je od 3,17 do 1,85 %. Za sadržaj pijeska, IK sa RMSE (12 %), koja je manja nego kod COK (RMSE=14 %), je bila najbolja ocjenjena metoda. Ipak, karte koje su nastale metodom COK predstavljaju pravu varijabilnost teksture tla u odnosu na druge metode, tj. one koje su postigle najmanju prilagodljivost reljefu. Prema cross-semivariogramu za frakcije teksture tla najbolji model je sferični sa rasponom prostorne povezanosti 145,135 i 90 m za pijesak, prah i glinu. Između sadržaja gline i praha najbolji je eksponencijalni model sa rasponom od 90 m, dok je za pijesak i prah bio najpovoljniji sferični model (raspon je iznosio 139 m). Gledajući lokalnu netočnost (nepreciznost), procjena karata varijance pomoću metoda OK, IK, LOK i COK su imale slične rezultate čime su pokazale da je najmanja nepreciznost blizu lokacije gdje su sakupljeni uzorci, a najveća na području rijetkih (rastrkanih) podataka. Nepreciznost je varirala manje na istraživanom području u usporedbi sa uvjetnom varijancom za IK. IK karta uvjetne varijance je pokazala povezanost sa vrijednostima podataka. Procjena nepreciznosti je potrebna kako bi se napravile dobre preporuke za preciznu poljoprivredu.

Adhikari i sur. (2010) su koristili metodu kriginga kako bi opisali prostornu varijabilnost pijeska i gline (100 uzoraka) na području koje se sastoji od šume i poljoprivredne površine veličine 250 km<sup>2</sup> u pokrajini Zala, Mađarska. Ovo istraživanje potvrđuje korist geostatističkih

metoda koje opisuju prostornu rasprostranjenost teksture tla. Prilikom izrade histograma pronađene su dvije ekstremne vrijednosti: 79,87 % za pijesak i 60,54 % za glinu. Nakon što su isključene ekstremne vrijednosti iz analize, prosječan sadržaj pijeska je iznosio 55 %, a gline 21 %. Varijabilnost gline je veća ( $CV=0,41$ ) od pijeska ( $CV=0,26$ ). Sadržaj gline i pijeska je snažno, ali negativno povezan ( $r=-88$  %). Autori pretpostavljaju da je niži sadržaj gline na određenom području posljedica erozije tla i otjecanja. Rezultati (koji su u obliku karata za predviđanje i izračunate varijance) se mogu koristiti kao izvor informacija za razvoj i unaprijeđenje upravljanja gospodarstvom i tлом te planove za konzervaciju tla i vode u istraživanom području. Kada svojstva pokažu značajnu povezanost, mapiranje bilo kojeg od ovih svojstava može biti poboljšano upotrebom metode kokriginga. Štoviše, za daljnje analize se preporuča korištenje drugih čimbenika kao što je reljef, način korištenja zemljišta, matični supstrat, erozija tla ili bilo koja druga informacija koja bi mogla utjecati na prostornu rasprostranjenost teksture tla na središnjem području Zalahill u zapadnoj Mađarskoj.

Zhang i McGrath (2004) istražili su područje južne Irske u razdoblju od dvije godine: 1964. godine su prikupili 191 uzorak, a 1996. godine 220 uzoraka. Cilj istraživanja je bio utvrđivanje sadržaja organskog ugljika u tlu. Vremenske i prostorne promjene u sadržaju organske tvari u tlu tijekom 30-godišnjeg razdoblja su istražene pomoću konvencionalne statistike, geostatistike i GIS sustava. Na oba seta podataka je primjenjena logaritamska transformacija, a rezultati t-testa su pokazali da razlika među njima nije signifikantna. Kako bi se dobio jasan semivariogram, pomoću lokalnog indexa Moran's su pronađene ekstremne vrijednosti. Metoda kriginga je primjenjena na oba seta podataka pomoću sustava mreže. Razlike između dviju izrađenih karata su pronađene pomoću funkcija algebre čime je vidljiva značajna promjena. Analiza je omogućila izdvajanje dva pojedinačna dijela na istraživanom području, koji su bili vidljivo različiti: prosječno povećanje sadržaja organske tvari u istočnom obalnom dijelu je 30,2 %, dok je prosječno smanjenje 16 % u unutarnjem dijelu. Promjene u načinu korištenja zemljišta ili obradi nisu uračunati u prostornu razliku. Podjela između dva navedena dijela se u prosjeku podudara i utječe i na uzvisine i geološke uzorke. Prikladno objašnjenje za dobivene razlike još nije pronađeno. Iz svega ovoga, kombinacija geostatistike i primjene algebre za GIS karte omogućuje proučavanje prostorno-vremenskih promjena u znanosti o okolišu i može pronaći karakteristike koje nisu vidljive kada se primjenjuje samo konvencionalna statistika.

Juan i sur. (2010) su istražili područje meditaranske regije Alicante u južnoistočnoj Španjolskoj koja je karakteristična po velikoj varijabilnosti tipova tla. Regija Alicante je karakteristična po klimatskim promjenama od juga do sjevera te količinama oborina koje

variraju od 250 do 600 mm/god. (Andreu, 1997; Perez, 1994). Prikupljene informacije su važne za objašnjenje degradacijskih procesa u pokrajini Alicante. Primjenjene su metode geostatistike kako bi se opisala prostorna varijabilnost i jačina varijabilnosti svojstava u tlu koje će dati dovoljno informacija za lokalnu procjenu. Prije odabira modela provodi se Box-Cox transformacija podataka. Predlaže se linearni Gaussov miješani model (GSLMM) koji uključuje: neparametrijske uvjete sa determinističkim trendom zbog vanjskih varijabli te paramaterijski dio zbog definiranja nasumične varijabilnosti uzrokovane prikrivenim procesima u tlu. Cilj je analiza veze između električne vodljivosti i sadržaja natrija (Na) kako bi se opisala prostorna varijabilnost i tip slanosti tla. Raspon za oba parametra iznosi 92 km, nugget efekt je malen, RMSE i ASE su blizu vrijednosti 0, a RMSD je bila blizu 1. Kada se analizirala veza između EC i sadržaja Na, količina padalina nije uzeta u obzir, iako ima veliki utjecaj na otjecanje vode u tlu u sjevernom dijelu što uzrokuje manje količine soli. Iako, sjeverozapadni dio ima slanija tla zbog prisutnosti tercijarnog lapora i gline sa visokim sadržajem kalcijevog sulfata (gips ili  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; anhidrit ili  $\text{CaSO}_4$ ), kamene soli (NaCl) ili prisutnosti slanih laguna. Tla u sjevernijem dijelu su pokazala manje degradacije u usporedbi s onima u južnom dijelu gdje su ekstrahirane vrijednosti Na i EC bile najviše. Pri pronalaženju povezanosti, pri izradi karte sadržaja Na, EC je uzet kao pomoćni podatak. Za ovu analizu, parametri za kokriging (COK) su uzeti od prethodno spomenutog modela. Konačna karta objašnjava glavne karakteristike dobivene običnim krigingom (OK), ali rezultati dobiveni kokrigingom su pokazali manju standardnu pogrešku. Kako su ove metode predviđanja uzele u obzir prostornu povezanost sa EC, ova metoda je prikladnija za predviđanje prostorne varijabilnosti slanosti tla u smislu sadržaja natrija. Razlog za korištenje EC kao pomoćnog podatka je u tome što su uzeti podaci za vanjski kriging umjesto korištenja podataka koji su uzeti na istoj lokaciji kao i Na. EC se u tlu može izmjeriti lako i brzo pomoću kontaktnih senzora kako bi se dobila bolja kvaliteta podataka, koji se kasnije mogu koristiti za izradu karata slanosti tla.

Goovaerts (1998) je opisao primjenu glavnih geostatističkih metoda kako bi se opisala prostorna varijabilnost mikrobioloških i fizikalno-kemijskih svojstva tla. Correlogram i semivariogram su se koristili kako bi se pojedinačno opisao svaki parametar te njihovo međudjelovanje. Metode koje su se koristile uključuju obični kriging, kokriging koji uključuje informacije dodatnih parametara. Faktorijalni kriging uklanja različite izvore prostorne varijabilnosti ovisno o razini na kojoj funkcioniraju i često poboljšava povezanost između svojstava tla koji su nejasni u klasičnoj korelacijskoj analizi gdje se miješaju različiti izvori varijabilnosti. U ovom istraživanju se radio presjek 100 uzoraka tla koji prikupljeni od 0-100

cm tla kako bi se utvrdio sadržaj pH i električna vodljivost na pašnjacima i šumama. Na temelju standardne devijacije varijabilnost je slična za oba tipa korištenja zemljišta, ali je raspon varijabilnosti za pH na kraćoj udaljenosti u šumama nego na pašnjacima. Raspon za pH iznosi 12 m, a u šumama taj raspon iznosi 3 m.

Zhao i sur. (2010) su istražili područje Wenling, pokrajinu Zheijang u Kini kako bi istražili prostornu povezanost teških metala u sustavu tlo-riža na regionalnoj razini. Zagađenje poljoprivrednih zemljišta teškim metalima predstavlja ozbiljnu prijetnju sigurnosti biljne proizvodnje u Kini i diljem svijeta (Cheng i sur., 2004). Istraživano područje je poznato kao centar za reciklažu električnog otpada. Analizirano je 96 parova uzoraka riže i tla. Rezultati pokazuju da neka istraživana područja imaju potencijalno zagađenje teškim metalima, posebice kadmijem (Cd). Prostorna rasprostranjenost Cd, Cu, Pb i Zn pokazuje da se najveće koncentracije nalaze u sjeverozapadnom dijelu, gdje dominiraju akrisol, lixisol i regosol koje odlikuje: niski pH, niski sadržaj CEC te visoki sadržaj organske tvari i pijeska. Akumulacija ovih metala je posljedica industrijalizacije, poljoprivrednih kemikalija i drugih ljudskih aktivnosti. Nasuprot tome, koncentracije Ni se smanjuju od istoka prema zapadu te su srednje vrijednosti manje od uobičajenih, čime je pokazano da se te koncentracije mogu prirodno kontrolirati. Indeks obogaćenja (EI) je korišten kako bi se opisala pristupačnost teških metala do riže. Prostorna rasprostranjenost indeksa obogaćenja za Cd, Ni, Zn je pokazala strukturu zapad-istok, koja je bila slična strukturi pH, organske tvari, pijeska i gline. Cross-correlogram je pokazao da je indeks obogaćenja značajno povezan sa većinom parametara u tlu, među kojima pH i organska tvar u tlu imaju najveću povezanost. Ipak, indeks obogaćenja bakra je pokazao relativno slabu povezanost sa svojstvima tla, posebno sa pH i organskom tvari u tlu s kojima uopće nema povezanosti čime je dokazano da je dostupnost bakra pod utjecajem drugih čimbenika.

Kucuker i sur. (2014) su istražili područje Turske, točnije zapadnu regiju Crnog mora (Karasu) kako bi utvrdili utjecaj promjene načina korištenja zemljišta na razinu ugljika u tlu koja je u zadnjih dvadeset godina provodila stalno pošumljavanje kako bi proširila plantaže lješnjaka. Analiza podataka tla pokazuje da sadržaj ugljika u tlu naglo opada s dubinom u oba načina korištenja zemljišta. Statističke analize pokazuje da je razlika između površinskih razina ugljika (iznad 0-5 cm) između poljoprivrednih i šumskih područja statistički signifikantna (poljoprivredna=1,74 kg/m<sup>2</sup>, šumska=2,09 kg/m<sup>2</sup>). Prosječne razine ugljika na dubini od 0-1 m su 12,36 i 12,12 kg/m<sup>2</sup> u šumskim i poljoprivrednim tlima. Razine ugljika ispod 1 m dubine u dva tipa korištenja zemljišta nisu bile signifikantno različite, što je dodatak negativnoj povezanosti između ugljika i razine gustoće (-0,353, p < 0,01). Razine

ugljika u tlu u cijelom istraživanom području su prikazane kartom pomoću uvjetnog kriginga koji je koristio prikupljene podatke o sadržaju ugljika i satelitske slike. Na temelju karte kriginga, prostorne razine ugljika (0-1 m dubine) su bile u rasponu od  $2 \text{ kg/m}^2$  u visoko razvijenim područjima do više od  $23 \text{ kg/m}^2$  na obrađivanim područjima, kao što je i prosječna razina ugljika (0-1 m) iznosila  $10,4 \text{ kg/m}^2$ . Uzevši u obzir električnu vodljivost, sadržaj vlage, omjer C:N, sadržaj gline, glina+prah na poljoprivrednim tlima, svi su imali značajan utjecaj na razinu ugljika u tlu.

Razlika između razina ugljika na poljoprivrednim i šumskim tlima nije bila značajna, što ukazuje na činjenicu da prenamjena u zemljište za uzgoj lješnjaka u zadnjih dvadeset godina nije imala velikog utjecaja na količine ugljika koje su skladištene u tlu.

Mishra i sur. (2012) su razvili i unaprijedili novu integraciju geostatističkih metoda sa IPCC pristupom kako bi se procijenio utjecaj gospodarenja zemljištem pod no-tillage na promjene u sadržaju organske tvari u tlu na regionalnoj razini. Poboljšani pristup koristi regresijski kriging (RK) za sadržaj ugljika za metodu IPCC. U ovom istraživanju, autori su usporedili rezultate metode RK sa jednostavnim prosjekom (SA), kako bi se izvele preporuke koje su uključene u pristup Tier 2, IPCC za sedam državnih područja u srednjem zapadnom dijelu SAD-a. Koristeći poboljšanu metodu, autori pretpostavljaju da će no-tillage rezultirati za 20 godina sa skladištenjem  $11\,735 \text{ Gg C/god}$  u površinskih 30 cm. Većina tla će imati sekvestraciju od  $0,2\text{--}0,75 \text{ Mg C/ha/god}$ . Ipak, na nekoliko mjesta razina predviđenog skladištenja ugljika iznosi više od  $0,75 \text{ Mg C/ha/god}$  sa gornjom granicom od  $1,1 \text{ Mg C/ha/god}$ . Najveće razine akumulacije ugljika su one koje imaju najbolje okolišne uvjete, kao što je najmanja razina nagiba te hladna, umjerena klima. Procjenom promjene sadržaja organskog ugljika u tlu na 18 lokacija sa varijabilnim tipovima tla i okolišnim uvjetima je pokazalo da korištenje metode RK povećava globalnu predikcijsku pogrešku do 45 %. Povećanje preciznosti predviđanja je rezultat korištenja prostorno varijabilnih razina organskog ugljika u tlu što je bolje nego traženje prosjeka podataka kako bi se izvukle referentne vrijednosti. Analiza nepreciznosti je pokazala da je korištenje metode RK bilo točnije nego kod SA. Ovi rezultati pokazuju da poboljšane geostatističke metode imaju više uspjeha kod analize sadržaja organskog ugljika u tlu i pri tome koriste IPCC metode te mogu dati korisnije informacije koje mogu koristiti cijeloj javnosti, a i lako su primjenjive.

Bogunović i sur. (2014) su istražili prostornu varijabilnost  $P_{AL}$ , K, pH i organske tvari pomoću geostatistike kako bi se izradile karte hranjiva i osigurale korisne informacije za detekciju odgovarajuće sheme uzoraka tla. Uzorci su uzimani u pravilnoj mreži (50x50 m) na tlu koje prema hrvatskoj klasifikaciji pripada u kategoriju pseudoglej (Škorić i sur., 1973).

Količine  $P_{AL}$  se kreću u rasponu od 105 mg/kg – 310 mg/kg, K od 115 – 462 mg/kg, organske tvari od 1,26 % do 2,66 % i pH 3,75 – 7,13.

Svojstva tla nisu imala normalnu distribuciju te kako bi se ona postigla, koristile su se logaritmske i Box–Cox transformacije. Transformirani podaci potvrđuju Gaussovu distribuciju za P i K, dok pH i organska tvar nisu imali normalnu distribuciju, a nakon Box–Cox transformacije parametri su došli blizu normalne distribucije, a skewness i kurtosis su bili blizu 0 nakon logaritamske transformacije. Za opisivanje prostorne povezanosti za  $P_{AL}$ , K i pH koristio se eksponencijalni model, a za organsku tvar koristio se sferični model. Kako bi se napravila usporedba što točnijeg predviđanja koristilo se 14 interpolacijskih modela za mapiranje svojstava tla. Svi su modeli imali sličan RMSE (korijen srednje kvadratne pogreške). Ovisno o istraživanim parametrima, udaljenosti između uzoraka, postupcima sa transformacijom podataka i brojem susjednih uzoraka koriste se različiti modeli. U ovom istraživanju su  $P_{AL}$ , K i pH procjenjivani pomoću radijalnih osnovnih funkcijskih modela (CRS, IMTQ i CRS) koji daju bolji pregled struktura analiziranih prostornih varijabli nasuprot krigingu i obrnutim modelima mjerenja udaljenosti (IDW). Za distribuciju organske tvari najbolji model je LP 1.

Omjer nugget/sill kod P je 0, kod pH je 19,54 čime su pokazali snažnu prostornu zavisnost, dok je kod K (nugget/sill 36,33) umjerena, kao i kod organske tvari (69,56). Korelacijski koeficijent između promatranih i predviđenih vrijednosti nije bio signifikantan, a izračunate pogreške su slučajne, što ide u prilog pri točnosti korištenih metoda.

Praktična primjena dobivenih rezultata dolazi od činjenice da uključivanje utvrđenih modela direktnih semivariograma u interpolacijskoj analizi može poboljšati pouzdanost lokalnih procjena analiziranih svojstava tla na lokacijama na kojima nisu uzimani uzorci što uvelike smanjuje troškove proizvodnje. Ti troškovi se mogu smanjiti pri intervalu uzorkovanja od 100 do 150 m, ovisno o parametru. S obzirom da su svi parametri mjereni iz istih uzoraka tla, preporuča se interval od 100 m. Svi dobiveni podaci daju dovoljno informacija kako bi se smanjila gnojidba i kalcifikacija.

Bogunović i sur. (2014) su na primjeru prikupljenih neporušenih uzoraka s eksperimentalnog polja „Potok 2“, geostatističkom obradom podataka i odabirom običnog kriginga kao interpolacijskog modela su izradili prostorne karte za pojedina fizikalna svojstva pseudogleja na zaravni. U radu se prikazuje primjenjivost tehnike obični kriging za karakterizaciju prostorne varijacije fizikalnih svojstava tla na bazi 48 neporušenih uzoraka (0-20 cm) prikupljenih s površine 2,8 ha poljoprivrednog zemljišta na kojemu prevladava tip tla pseudoglej na zaravni koji je jako antropogeniziran. Istraživanje ukazuje na korisnost



geostatističkih tehnika analiza prostornih distribucija pojedinih fizikalnih svojstava tla: volumne gustoće ( $\rho_v$ ), gustoće čvrstih čestica ( $\rho_c$ ), momentalne vlažnosti ( $M_v$ ), te ukupnog poroziteta ( $P$ ). Utvrđeni rezultati u obliku predikcijskih karata i njihovih pridruženih varijanci, ukazuju na mogućnost korištenja geostatističkih analiza za razvoj i provedbu daljnjeg korištenja zemljišta i planovima za očuvanje tla u istraživanom području.

Pri korištenju eksperimentalnih semivariograma najbolji modeli su eksponencijalnog oblika za  $M_v$  i  $\rho_c$ , te sferičnog oblika za  $\rho_v$  i  $P$ . Rezultati pokazuju da  $P$  i  $\rho_v$  imaju najveći raspon s 206,66 i 148,93 m, dok najmanji efektivni raspon imaju  $M_v$  i  $\rho_c$  s 71,33 m. Navedeni podaci pokazuju da udaljenost unutar koje su uzorkovanja provedena je bitno manja od udaljenosti unutar koje su istraživani podaci međusobno prostorno korelirani. Takvi podaci upućuju na veću slobodu (udaljenost) među uzorcima u budućim istraživanjima. Točnost interpolacijske metode potvrđena je korištenom srednje kvadratne pogreške (RMSE). RMSE vrijednosti su najmanje za  $\rho_v$  i  $\rho_c$  što ide u prilog točnosti odabrane interpolacijske metode i dobivene grafičke raspodjele običnim krigingom. Može se zaključiti da su interpolacije u ovoj studiji zadovoljavajuće.

Miloš (2000) je u svom radu koristio semivariogram kao geostatističku metodu kako bi se opisala i izmjerila prostorna varijabilnost. Istraživano područje obuhvaća Petrovo polje (1904 ha) smješteno u Dalmatinskoj Zagori. U geostatističke analize su uključene vrijednosti  $\text{CaCO}_3$  i humusa iz 136 pedoloških profila koji su segmentirani na četiri jednake dubine (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm, 90-120 cm). Za svaku varijablu je računato osam semivariograma; neovisno o smjeru za svaku dubinu i ovisno o smjeru površinskog sloja tla. Korištena semivariogramska analiza može doprinijeti kvantificiranju prostornih struktura i pomoći pri boljem razumijevanju prostorne varijabilnosti tla. Istraživanja su pokazala da su analizirana svojstva tla prostorno zavisne slučajne varijable. Površinski horizonti imaju anizotropičnu strukturu i bolju prostornu povezanost nego svojstva tla iz dubljih horizonata. Analizirana svojstva tla (sadržaj  $\text{CaCO}_3$  i humusa) imaju anizotropičnu prostornu strukturu koja je izražena linearnim i sferičnim modelima. Anizotropična struktura svojstava tla pokazuje da su čimbenici koji doprinose prostornoj varijabilnosti razlikuju ovisno o smjerovima. Najveći raspon (4500 m) ima smjer sjever-jug, a najmanji raspon (1400 m) ima smjer sjeveroistok-jugozapad. Slabije izražena prostorna struktura sadržaja  $\text{CaCO}_3$  posljedica je različite geološke građe i njezinih cikličkih promjena. Kontinuiranost humusa vezana je sa činjenicom da su prostorne promjene ključnih čimbenika koji određuju njegov sadržaj, posebno orografsko-hidrografskih, postupnije. Za varijable sa potpunim nugget efektom i rasponom kraćim od intervala uzorkovanja (sadržaj humusa iz treće dubine), čije se eksperimentalne

varijance nisu mogle odrediti niti sa jednim modelom semivariograma, potrebno je provesti detaljnije uzorkovanje sa kraćim intervalima koji su bolje prostorno povezani. Praktična primjena rezultata proizlazi iz činjenice da se uključivanjem anizotropičnih modela semivariograma u kriging interpolacijsku analizu može poboljšati pouzdanost lokalne procjene analiziranih svojstava tla na neuzorkovanim mjestima.

Miloš (2001) je pri proučavanju prostorne varijabilnosti, ustanovljavanju i interpolaciji procijenjenih vrijednosti na neuzorkovanim mjestima, koristio geostatističku metodu temeljenu na teoriji "regionalizirane varijable" (Matheron, 1965). Postoje dvije bitne značajke kriging metode. Prva, proizlazi iz činjenice da, za razliku od klasičnih statističkih metoda, kriging uzima u obzir prostornu ovisnost između promatranja (uzoraka). Druga, značajka i prednost kriginga je u tome što osigurava procjenu varijance svakog promatranja, koje se mogu prikazati u obliku karata ili dijagrama standardnih grešaka procjena. Polazeći od navedenog, ovaj rad je usmjeren: a) istraživanju primjene kriginga u ustanovljavanju prostornog variranja pojedinačnih svojstava tla, b) izradi karata sadržaja  $\text{CaCO}_3$  i humusa u hidromorfnim tlima Petrova polja i c) karata grešaka kriging procjena. Kriging je pouzdana metoda za procjenjivanje varijabiliteta (procjenu svojstava tla na neuzorkovanim lokacijama) i izradu karata svojstava tla i njihovih grešaka procjene, uz uvjet da izabrana svojstva imaju karakter regionalizirane varijable sa poznatim (izračunatim) parametrima prostorne strukture - semivariogramima. Stoga, u pedološki heterogenim prostorima, kriging analiza može pomoći pri identificiranju uzroka variranja i planiranju optimalne sheme uzorkovanja za traženi stupanj pouzdanosti procjene. Radi osiguranja precizne procjene bitno je da uzorci budu sakupljeni na dovoljno kratkim udaljenostima (intervalima) tako da budu prostorno zavisni.

U gore navedenom poglavlju opširan spektar navedenih radova ukazuje da je geostatistička obrada prostornih podataka vrlo kompliciran i zahtjevan zadatak. Navedeni radovi pokazuju da nema univerzalnog rješenja pri traženju najboljeg opisa prostorne varijabilnosti pojedinih svojstava, već nebrojeno mnogo čimbenika utječe na najbolji postupak: svojstvo koje se istražuje, shema i razmak uzorkovanja, pravilnost (normalnost) prikupljenih podataka, postupci s ekstremnim vrijednostima (outliers), eventualne transformacije podataka te odabrani model za predikciju, odnosno vizualizaciju podataka.

Također je vidljivo da mnogi znanstvenici pokušavaju povezati istraživani čimbenik s nekim drugim svojstvom, računajući da će međusobnom korelacijom parametara i uporabom složenih geostatističkih interpolatora moći poboljšati procjenu varijable od interesa i kreirati

još precizniju vizualizaciju. Ponekad su takvi postupci rezultirali preciznijim kartama, međutim navedeni radovi ukazuju i na drugačije mogućnosti.

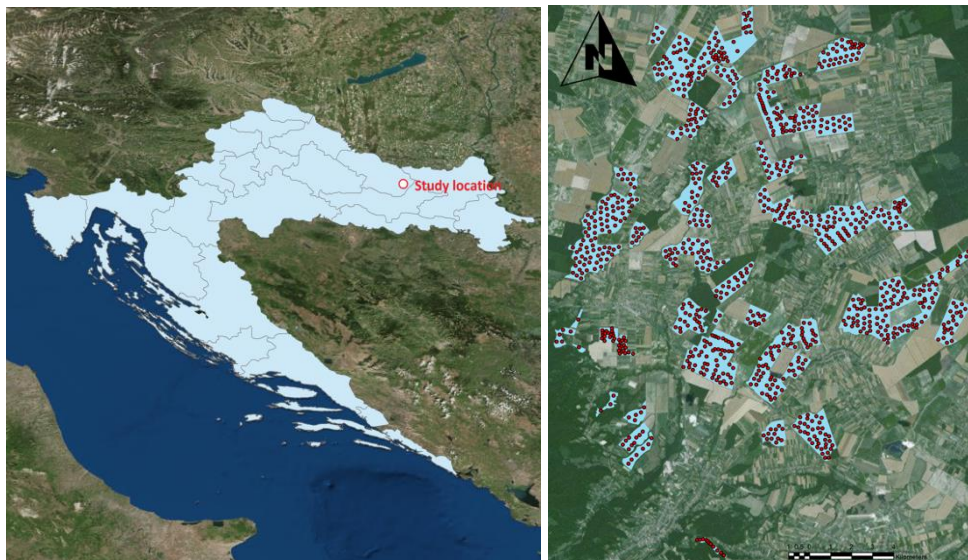
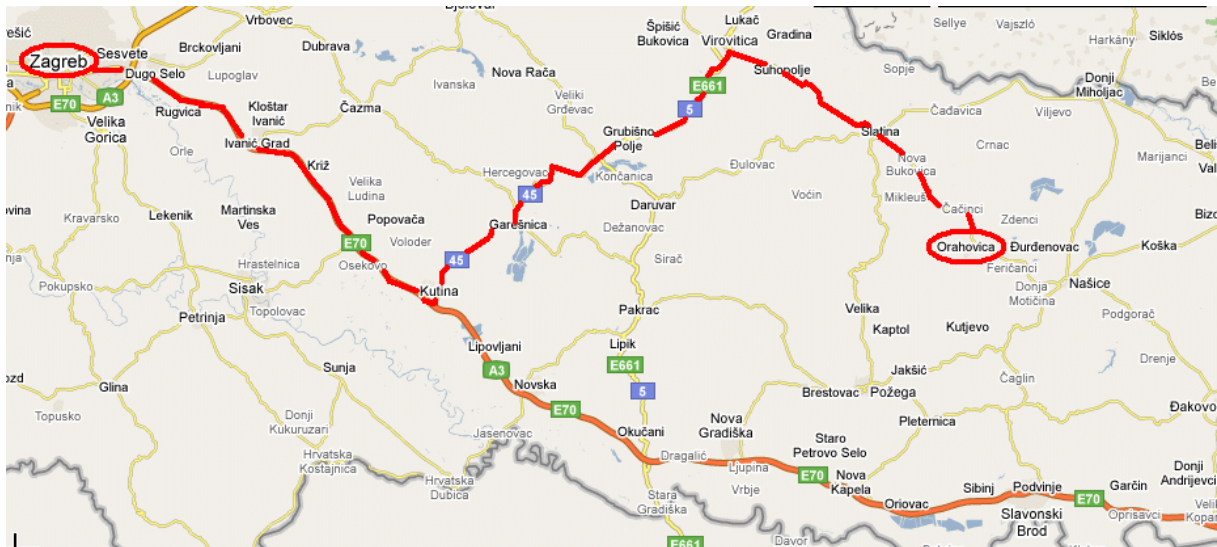
Stoga, za pravilan postupak i odabir geostatističke metode, moraju se uzeti u obzir svi gore navedeni čimbenici, a testiranjem više interpolatora i proučavanjem njihovih grešaka treba odbaciti manje precizne, odnosno zadržati najprecizniji model. Jer, samo precizna vizualizacija svojstava može biti od koristi pri donošenju odluka o gospodarenju tlima.

Stoga, iduće poglavlje pokazuje primjer geostatističke obrade podataka u svrhu pružanja točne vizualizacije i opisivanja varijabilnosti kemijskih čimbenika tla na prostoru Panonske Hrvatske, točnije šireg područja Orahovice.

## 4. MATERIJALI I METODE

### 4.1. Mjesto istraživanja, klimatske prilike i tla istraživanog područja

Istraživanje je provedeno na području Panonske Hrvatske, točnije na područje Orahovice. Ovo područje je odabrano zbog dobre prostorne povezanosti te je napravljena analiza 1000 uzoraka.



Slika 3: Geografski položaj mjesta istraživanja (lijevo) te mjesta uzorkovanja (desno)  
(Izvor: preuzeto iz Bogunović i sur., 2016)

Klimatske osobine prostora grada Orahovice mogu se okarakterizirati kao klima kontinentalnog tipa. Jeseni su u pravilu toplije od proljeća. Proljeća se odlikuju naglim

porastom temperature i prijelazom u ljeto iz relativno oštrem zime pa je razdoblje proljeća kratko. Pretežno brdski prostor uvjetovao je homogenost klimatskih osobina i to uglavnom makroklimatskih, na što su male reljefne razlike imale najveći utjecaj.

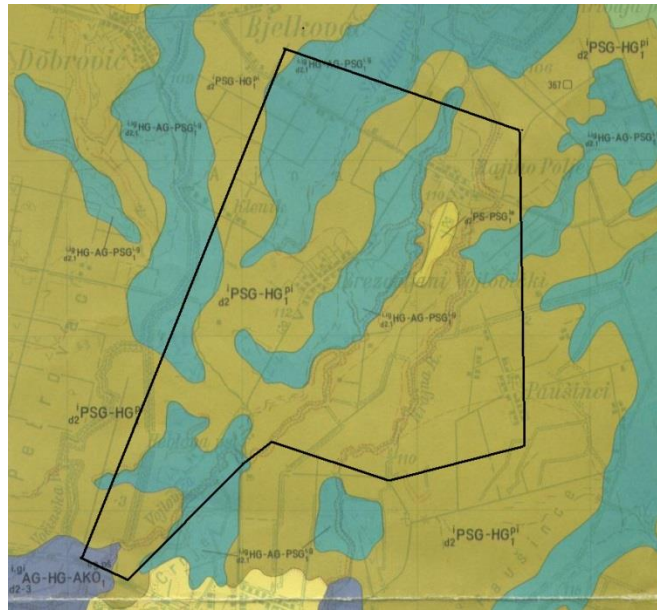
Cijelo područje grada Orahovice pripada kontinentalnom režimu oborina s maksimalnom količinom oborina u lipnju, dok se sporedni maksimum pojavljuje u listopadu i studenom. Za sjeverozapadne predjele karakteristična je pojava izrazito jakih kiša u pljuskovima u mjesecima svibnju i lipnju. Najmanja mjesečna količina oborina je u ožujku. Općenito se može reći da u proljeće i jesen padne uglavnom ista količina oborina koja je neznatno veća od zimske. Količina oborina ovisi o konfiguraciji terena i nadmorskoj visini. Glavni maksimum broja dana s oborinom pada u mjesec svibanj i lipanj te studeni i prosinac.

Broj dana s padanjem snijega kao i snježni pokrivač ovise o nadmorskoj visini. U predjelima iznad 500 m nadmorske visine može se očekivati tijekom godine 40 – 50 dana s padanjem snijega. U nižim predjelima taj broj je manji i u višegodišnjem srednjaku iznosi 20 – 30 dana. Maksimalna visina snježnog pokrivača na ovom području iznosi 38 – 80 cm.

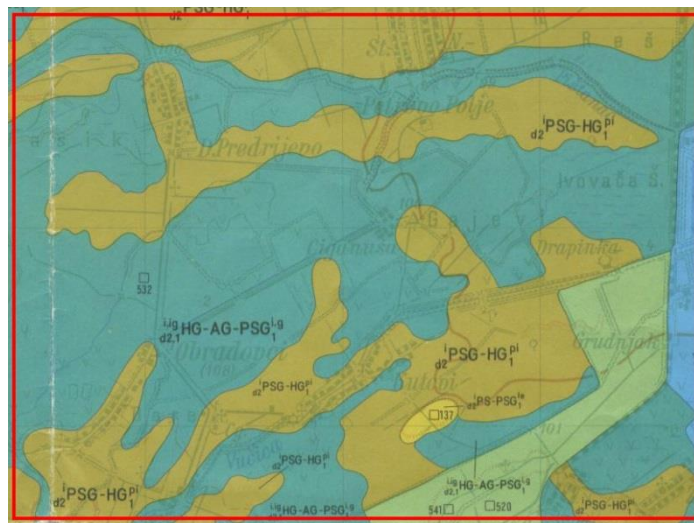
Prema podacima meteoroloških stanica, na ovom području pušu i dominantni su vjetrovi južnog i jugozapadnog smjera. Ukupni godišnji broj dana s jakim vjetrovima je svega 0,4 %, što je gotovo beznačajno, a ako se pojavljuju onda je to u ljetnim mjesecima. Olujni vjetrovi na ovom području su rijetki (<http://www.orahovica.hr/vodic/klima>).

Reljef prostora grada Orahovice podijeljen je u dva osnovna tipa: sjeverni dio je nizina, a južni dio čine obronci lanca Papuka. Lanac Papuk nije kompaktan i jedinstven, već je razveden poprečnim udolinama duž vodotoka. Nizinski dio je područje vrlo male reljefne energije. To je cjelovit prostor koji zbog pretežno lesnog pokrova, kao i ocjeditosti, predstavlja agrarno najvredniji dio. Stepeničast karakter reljefa i podijeljenost u pravcu istok – zapad prati i osnovna hidrografska mreža, što je utjecalo i na razmještaj naselja (<http://www.orahovica.hr/>)

U području Orahovice se nalaze četiri naselja koja uključuju Čačince, Gutmanovce, Krivaju i Zdence. Sva naselja uključuju četiri tipa tla: pseudoglej-glej, euglej, hipoglej, mineralni, nekarbonatni, euglej, amfiglej, mineralni, nekarbonatni i karbonatni vertični te hidromelirirana tla. Temeljni tipovi tala su prikazani na donjim slikama (4-7).



Slika 4: Temeljni prikaz tala na području Čačinci  
(Izvor: preuzeto iz Bogunović, 1976)



Slika 5: Temeljni prikaz tala na području Gutmanovci  
(Izvor: preuzeto iz Bogunović, 1976)



## 4.2. Uzorkovanje, obrada uzoraka, laboratorijska analiza

Uzorkovanje na parcelama poljoprivrednog poduzeća Orahovica d.d. obavljeno je u razdoblju 2010.-2012. godine. Prikupljene su opservacije o vanjskim – ektomorfološkim obilježjima, koristeći dakako i iskustva iz dosadašnjih radova na ovom i obližnjem području. Terenske aktivnosti su obavili djelatnici Zavoda za opću proizvodnju bilja, a korištena je poluautomatska noseća sonda novije generacija (slika 8). Svaki prosječni uzorak predstavlja 20-32 pojedinačnih uzoraka uzetih s različitih lokacija koja predstavlja površinu tla od 1-2 ha. Uzeti su uzorci iz sloja tla do dubine 30 cm, a na svakom uzorkovanom mjestu zabilježene su koordinate. Koordinate svake lokacije na kojoj je uzorak uzet određene su GPS uređajem, a na temelju njih je formirana baza podataka u GIS-u (ArcMap 10.1, ESRI). Ukupno je prikupljeno 1004 uzoraka u porušenom stanju, a u svrhu geostatističke obrade podataka koristiti će se njih 1000. Geolokaciju svih mjesta uzorkovanja može se vidjeti na slici 3.

Nakon homogenizacije, uzorci su spremljeni u plastičnu vrećicu i dopremljeni u laboratorij Zavoda za opću proizvodnju bilja. Uzorci su sušeni na sobnoj temperaturi, mljeveni i prosijani, a iz frakcije <2 mm određene su analize prikazane u tablici 1.



Slika 8: Prikupljanje uzoraka na terenu hidrauličnom poluautomatskom sondom nove generacije

U svim uzorcima određen je pH, potenciometrijski u 1:5 suspenziji tla i H<sub>2</sub>O, tla u 1M KCl (HRN ISO 10390:2004) na uređaju Beckman pH-metar, Ø 72, 1990 sa kombiniranom staklenom elektrodom (BlueLine 17 pH BNC, Schott instruments), sadržaj humusa Walkley-Black postupkom (HRN ISO 14235:2004) kojim se odredio organski ugljik oksidacijskom digestijom u krom-sumpornoj kiselini, a pristupačni K<sub>2</sub>O i P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> amonij-laktatom metodom (AL metoda).



Tablica 1. Metode i norme za laboratorijske analize tla

<b>ANALIZA</b>	<b>NORMA/METODA</b>
Priprema uzoraka tla za fizikalne i kemijske analize: sušenje/sijanje/mljevenje/homogenizacija	HRN ISO 11464:2004
Određivanje pH vrijednosti	HRN ISO 10390:2004
Određivanje P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> i K <sub>2</sub> O	AL metoda (ekstrakcija s amonij-laktat-octenom kiselinom)
Određivanje humusa – titrimetrijski	modificirana HRN ISO 14235:2004)

### 4.3. Statistička analiza i transformacija podataka

U osnovne elemente koji su obrađivani u ovom radu pripadaju: minimalna i maksimalna vrijednost (min i max), percentili (5 %, 10 %, 25 % (prvi kvartil), 50 % (medijana), 75 % (treći kvartil), 90 % i 95 %), koeficijent varijacije (CV %). Radi lakšeg shvaćanja distribucije uzoraka kreirani su histogrami i Box plot. Navedeni parametri su se računali u Excelu Microsoft Windows, verzija 2010. Osim toga, izrađen je i Q-Q plot u ArcGis sustavu kako bi se pokazala distribucija podataka. Kako bi podaci postigli normalnu distribuciju te kako bi se skewness i kurtosis približili 0, tj. da bi bili u rasponu od -1 do 1, primjenila se transformacija podataka. Najčešće metode su logaritamska i Box-Cox kako bi se postigla normalizacija seta podataka (Fu i sur., 2010; Thayer i sur., 2003).

### 4.4. Geostatistička analiza

U ovom istraživanju se primjenila geostatistika kako bi se opisala prostorna varijabilnost svakog parametra: pH, humusa, biljkama pristupačnog fosfora (P<sub>AL</sub>) i kalija. Kako bi se opisala distribucija analiziranih hranjiva, primjenjena je semivariogramaska analiza. Semivariogram je grafički prikaz varijance, odnosno matematički model. Pomoću njega se analizirao prostorni kontinuitet za pH, humus, biljkama pristupačni fosfor(P<sub>AL</sub>) i kalij. Najčešće korišteni modeli semivariograma su: sferični, eksponencijalni, Gaussian i linearni (Isaaks and Srivastava, 2011).

Varijanca je funkcija koja opisuje prostorne varijacije jednog promatranog parametra u prirodi. Može se izraziti pomoću formule:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Gdje je  $N$  broj parova podataka točaka razdvojenih udaljenostima  $h$ , a  $Z(x_i)$  i  $Z(x_i+h)$  su slučajne funkcije u točkama  $x_i$  i  $x_i+h$ . Grafički prikaz varijance  $\gamma(h)$  kao funkcije prema udaljenosti  $h$  (predstavlja udaljenost između uzoraka) nazivamo variogramom.

Kod prostornih podataka, semivarijanca raste sa udaljenošću povezanosti te u točki stabilizacije doseže sill ( $C+C_0$ ), koji pokazuje da na udaljenosti  $x$  su uzorci smatrani da su prostorno povezani. Varijanca koja se proučava na kraćoj skali nego na uzorkovanju na području je identificirana na udaljenosti 0, a poznata je kao nugget efekt (Burgos i sur., 2006; Cetin i Kirda, 2003; Fu i sur., 2010). Prostorna zavisnost varijable je izračunata prema omjeru nugg/sill. Ako je omjer niži od 25 %, varijabla ima jaku prostornu zavisnost, ako je između 25 i 75 % onda je umjerena, a ako je veća od 75 % ima vrlo slabu prostornu zavisnost (Chien i sur., 1997). Interpolacijska metoda je ključni faktor za interpolacijsku preciznost. Pouzdanost interpolacije daje bolju procjenu prostorne distribucije varijable (Robinson i Metternicht, 2006; Shi i sur., 2009; Wu i sur., 2011).

U ovom istraživanju korištene su metode koji su sastavni dio Geostatistical Analyst pack, dodatka desktop programa ArcGIS ESRI, verzije 10.1. Metode uključuju IDW (Inverse distance to a weight; Power 1-5), GPI (Global Polynomial), RBF (Radial Basis Function), LPI (Local Polynomial), te OK (Ordinary Kriging), SK (Simple Kriging) i EBK (Empirical Bayesian Kriging).

Testiranje modela interpolacije provedeno je primjenom krosvalidacije (engl. cross-validation), već primijenjeno u znanstvenim radovima (Goovaerts, 1997; Robinson i Metternicht, 2006; Kerry i sur., 2012). Metoda se temelji na uklanjanju vrijednosti mjerene na odabranom mjestu i određivanje nove vrijednosti na istome mjestu, uzevši u obzir preostale podatke. Pogreška između originalne vrijednosti dobivene u laboratoriju i one proizvedene interpolacijskom metodom se koriste za evaluaciju performanse svake metode. Postupak se ponavlja za sve lokacije i na kraju se izračuna korijen srednje kvadratne pogreške (engl. root mean square error - RMSE):

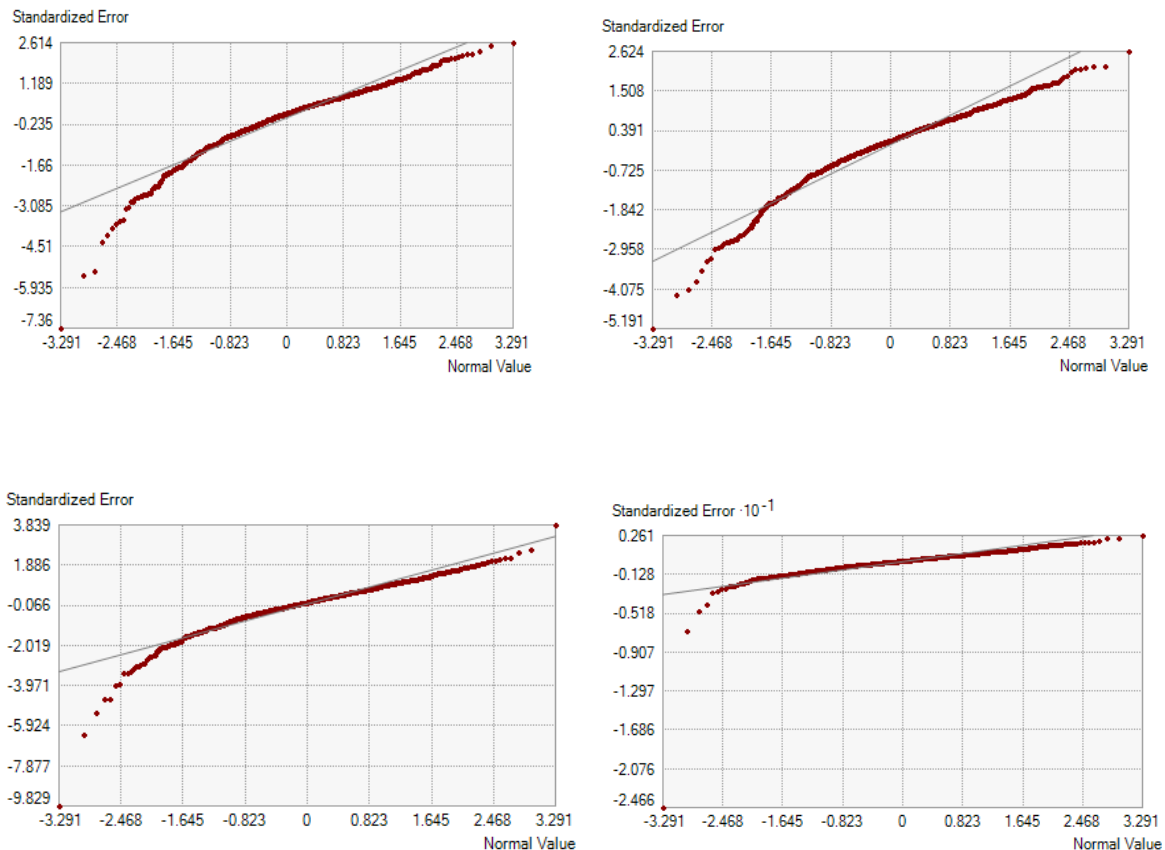
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \{Z(X_i) - \hat{Z}(X_i)\}^2}$$

gdje je RMSE– korijen srednje kvadratne pogreške (krosvalidacija),  $Z(x_i)$  - izmjerena vrijednost odabrane varijable,  $\hat{Z}(X_i)$  – procijenjena vrijednost odabrane varijable. Takva vrijednost izračunata je za karte dobivene svim interpolacijskim metodama. Interes je da RMSE vrijednost bude što manja, a za najbolju metodu i konačni grafički prikaz odabire se ona s najmanjom RMSE vrijednosti. Statističke analize variograma i interpolacijskih metoda provedene su pomoću ArcGis 10.0 (ESRI) geostatističkog softverskog programa.

## 5. REZULTATI

### 5.1. Q-Q plot, histogram, Box plot i deskriptivni parametri

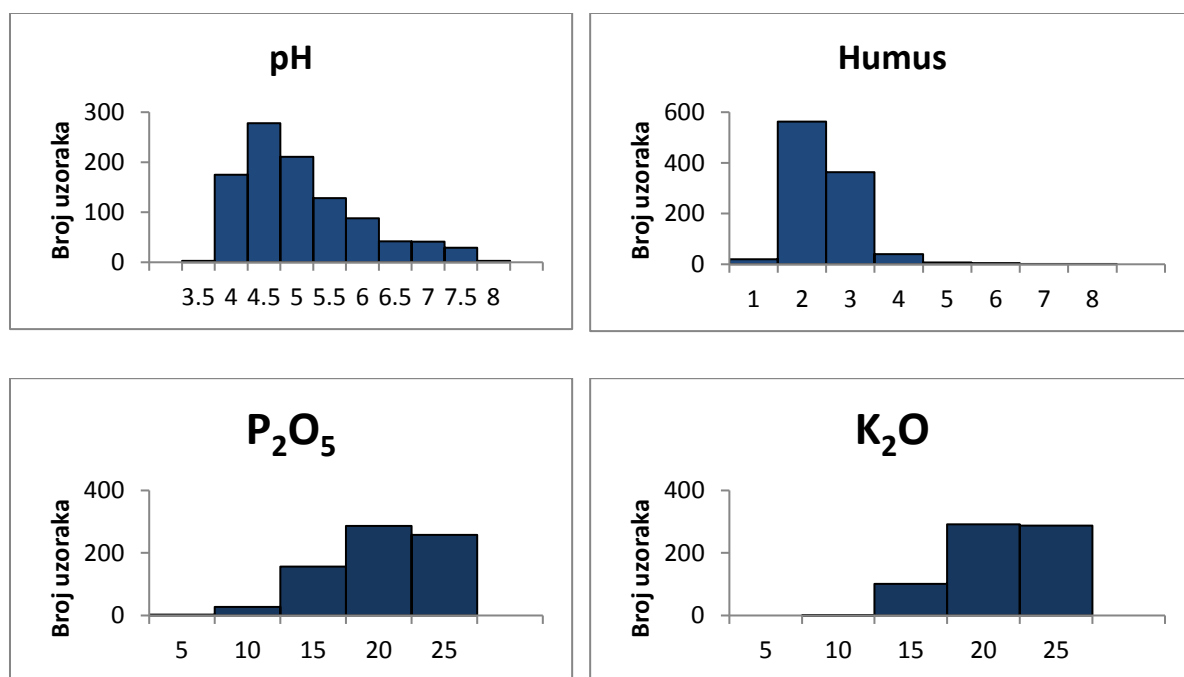
Kako bi se vidjela distribucija uzoraka, izrađen je Q-Q plot (Slika 9). Prema vizualnom obliku vidljivo je da značajan broj uzoraka ne prati središnju liniju koja označava pravilnu distribuciju.



Slika 9: Q-Q plot za distribuciju podataka (n=1000). Od gornjeg lijevo do donjeg desno: pH, humus, P<sub>AL</sub> i kalij.

Oblik i distribucija Q-Q plota na svakom parametru ukazuje na postojanje nekoliko ekstremnih vrijednosti što značajno iskrivljuje pravilnost prikupljenih podataka. Od svih parametara kalij je pokazao vizualno najpravilniju distribuciju iako su vidljive ekstremno niske vrijednosti, dok su pH, humus i biljkama pristupačni fosfor (P<sub>AL</sub>) imali najviše ekstremnih vrijednosti. Međutim, upravo radi postojanja ekstrema, moguće je da položaj ostalih podataka na središnjoj liniji odstupa od vizualnog. Stoga se za još jasnije proučavanje podataka pristupilo izradi drugačije vizualizacije podataka.

Kako bi se još bolje proučila distribucija navedenih parametara, izrađen je histogram frekventnosti (Slika 10). Na histogramu je prikazana rasprostranjenost pH vrijednosti, sadržaja humusa, te biljci pristupačnog kalija i fosfora. Na histogramu pH vrijednosti se može vidjeti jedna maksimalna vrijednost pH sa 278 uzoraka i to u području pH vrijednosti oko 4,5 koje označava vrijednost niskog pH. Najmanji broj uzoraka se podjednako nalazi u području pH 3,5 koje označava kiselo područje i u području pH 8, što označava lužnato područje.



Slika 10: Histogram frekventnosti (broja uzoraka). Od gornjeg lijevo do donjeg desno: pH (KCl), humus (%), P<sub>AL</sub> (mg/100 g) i kalij (mg/100 g).

Histogram sadržaja humusa prikazuje da najveći broj uzoraka ima vrijednost između 1-2 %. Najveći broj uključuje 563 uzorka, a iza nje slijedi 363 uzorka s vrijednosti od 2-3 %. Najmanji broj uzoraka bilježi sadržaj humusa 4 %. Histogram broja uzoraka P<sub>AL</sub> pokazuje relativno normalnu distribuciju, za razliku od distribucije pH i humusa. Najveći broj uzoraka ima vrijednost blizu 20 mg/100 g tla i tu je uključeno 286 uzoraka, a iza nje slijedi 258 uzoraka s vrijednosti 30 mg/100 g tla. Najmanji broj uzoraka je oko vrijednosti 5 mg/100 g tla. Histogram sadržaja kalija pokazuje jednu maksimalnu vrijednost sa 292 uzorka oko vrijednosti 50 mg/100 g tla, što označava područje dobre opskrbljenosti. Blizu vrijednosti 10 mg/100 g tla se nalazi 1 uzorak.

Percentili (postoci) i osnovni deskriptivni parametri su izračunati i prikazani u donjoj tablici (Tablica 2). Vrijednost CV (%) je najveći pokazatelj varijabilnosti. Rezultati CV manji od 10

% ukazuju na slabu varijabilnost, dok oni veći od 90 % ukazuju na opsežnu varijabilnost (Dahiya i sur., 1984). Svi parametri su pokazali umjerenu varijabilnost. Humus 31.78 %, P<sub>AL</sub> 33.08 %, kalij 31.51 %, dok je pH imao najmanju varijabilnost 18.73 %.

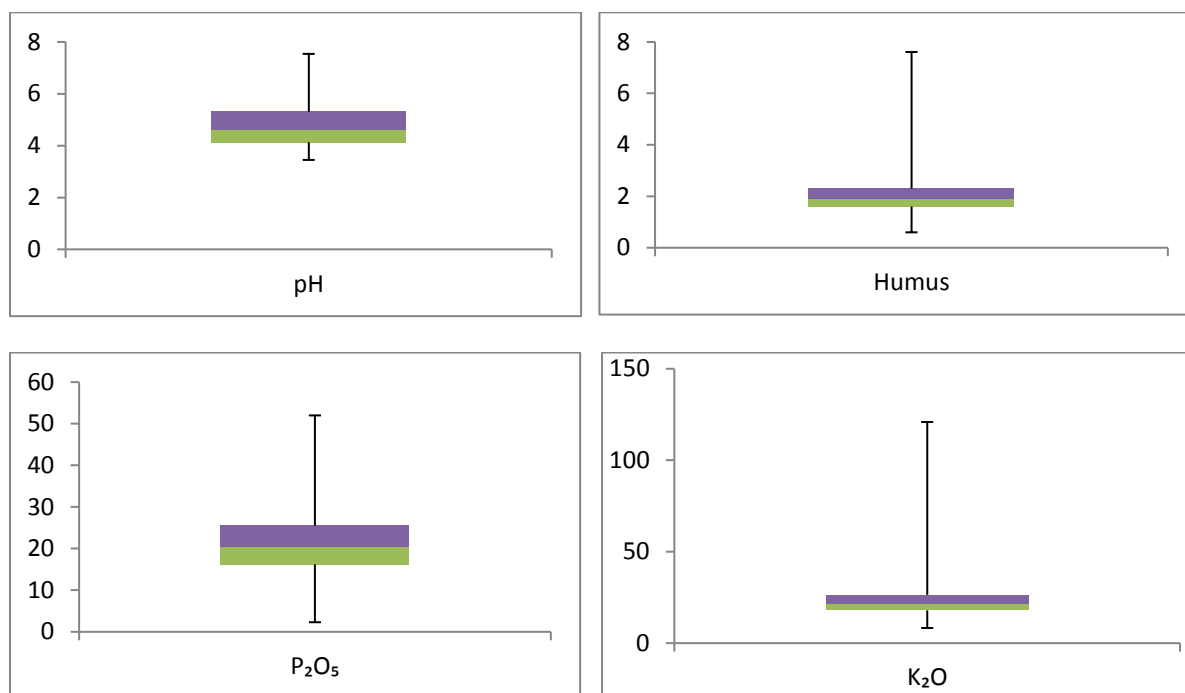
Tablica 2. Percentili i deskriptivni parametri za pH (KCl), humus (%), P<sub>AL</sub> (mg/100 g) i kalij (mg/100 g)

	Minimalna vrijednost	5 %	25 %	Medijana	75 %	95 %	Maksimalna vrijednost	Srednja vrijednost	CV (%)
pH	3,45	3,73	4,13	4,6	5,3	6,8	7,61	4,82	18,73
Humus	0,6	1,3	1,6	1,9	2,3	3,1	7,61	2,03	31,78
P <sub>AL</sub>	2,3	10,9	16,2	20,4	20,53	33	52	21,17	33,08
Kalij	8,3	13,6	17,9	21,7	26,4	32,61	120,9	22,51	31,51

Srednja vrijednost pH iznosi 4,82, medijana je 4,6, standardna devijacija iznosi 0,9. Minimalna vrijednost je 3,45 što označava da na istraživanom području postoje tla s izrazito niskim pH vrijednostima. Potvrdu tome nam govore idući percentili: 5 % svih uzoraka ima pH vrijednost manju od 3,73, 10 % uzoraka manju od 3,86, sve do 75 percentila koji navodi da čak 75 % svih uzoraka ima vrijednosti manju od 5,3 što navodi na kiseli karakter istraživanih tala. Nasuprot tome, maksimalna pH vrijednost je 7,61, što označava područje alkalne reakcije. Prema deskriptivnoj analizi manje od 10 % uzoraka pripada neutralnoj i alkalnoj reakciji. Pri analizi sadržaja humusa u tlu, dobivene su sljedeće vrijednosti: srednja vrijednost iznosi 2,03 %, medijana 1,9 %, SD iznosi 0,64, a raspon iznosi čak 7,01 %. Minimalna vrijednost iznosi 0,6 %, što pripada u područje vrlo slabe humoznosti, a maksimalna vrijednost iznosi 7,61 % što pripada u područje jake humoznosti (Gračanin, 1947). Pošto se radi o intenzivno obrađivanim tlima dugi niz godina ne iznenađuje da je čak 90 % svih uzoraka u području jako slabe i slabe humoznosti.

Pri analizi P<sub>AL</sub>, dobivene su sljedeće vrijednosti: srednja vrijednost iznosi 21,17 mg/100 g tla, SD 7, medijana 20,4 mg/100 g tla. Osim toga, minimalna vrijednost iznosi 2,3 mg/100 g tla što označava vrlo siromašna tla, a maksimalna 52 mg/100 g tla što označava vrlo dobro opskrbljena tla P<sub>AL</sub> (Vukadinović i Vukadinović, 2011). Pri analizi kalija dobivene su sljedeće vrijednosti: medijana iznosi 21,7 mg/100 g tla, SD 7,09, minimalna vrijednost 8,3 mg/100 g tla koja označava područje vrlo siromašne opskrbljenosti, a maksimalna 120,9 mg/100 g tla što označava područje vrlo dobre opskrbljenosti kalijem. Srednja vrijednost iznosi 22,51 mg/100 g tla.

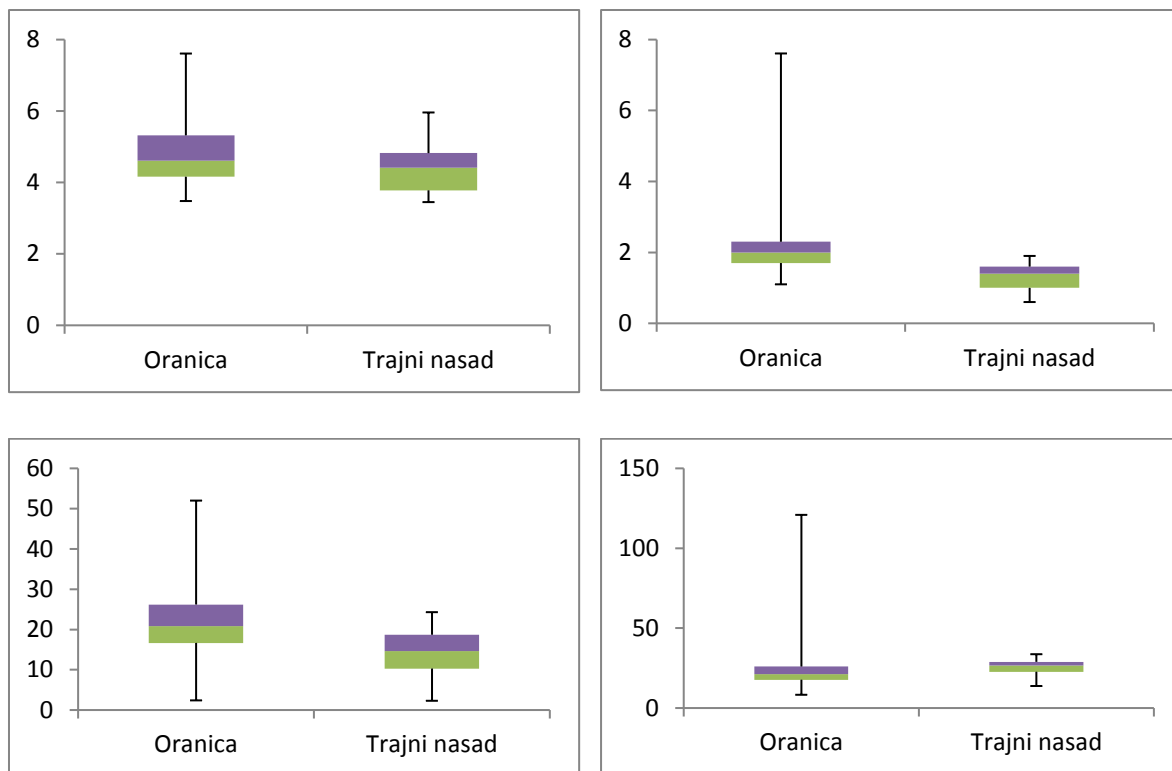
Kako bi se jasnije pokazala distribucija uzoraka svih istraživanih parametara, izrađen je i Box plot (Slika 11). Iz prikazanih vizualizacija može se vidjeti kolika su odstupanja koja su veća od 25 % i 75 % populacije svakog parametra.



Slika 11: Box plot istraživanih parametara. Od gornjeg lijevo do donjeg desno: pH (KCl), humus (%), P<sub>AL</sub> (mg/100 g) i kalij (mg/100 g).

Minimalna vrijednost P<sub>AL</sub> iznosi 2,3 mg/100 g tla, dok je maksimalna 52 mg/100 g tla, a medijana 20,4 mg/100 g tla. U prvom kvartilu (koji je od 16,2 do 20,4 mg/100 g tla) ima podjednak broj uzoraka kao i kod trećeg kvartila (od 16,2 do 25,53 mg/100 g tla). Raspon iznosi 49,7 mg/100 g. Vidljivo je da je manje uzoraka kalija u prvom (od 17,9 do 21,7 mg/100 g tla) i trećem (od 21,7 do 26,4 mg/100 g tla) kvartilu koji imaju podjednak broj uzoraka. Minimalna vrijednost iznosi 8,3 mg/100 g tla, a maksimalna 120,9 mg/100 g tla sa velikim rasponom 112,6 mg/100 g tla.

Kako bi se pokazala distribucija uzoraka na oranicama i trajnim nasadima, također je izrađen Box plot sa pripadajućim vrijednostima (Slika 12).



Slika 12: Box plot istraživanih parametara na oranicama i trajnim nasadima. Od gornjeg lijevo do donjeg desno: pH (KCl), humus (%), P<sub>AL</sub> (mg/100 g) i kalij (mg/100 g).

Radi boljeg razumijevanja načina korištenja zemljišta u odnosu na istraživana svojstva, podaci su grupirani u sljedeće kategorije: oranice i trajni nasadi. Box plot sa distribucijom pH vrijednosti na oranicama i trajnim nasadima (voćnjaci, vinogradi) pokazuje da na području oranica ima 923 uzorka, dok je na trajnim nasadima 77 uzorka. Na oranicama prevladava više uzoraka u trećem kvartilu (241) sa pH vrijednošću od 4,6 do 5,32, dok je na trajnim nasadima više uzoraka u prvom kvartilu (20) pH vrijednosti od 3,78 do 4,41. Minimalna pH vrijednost za oranice iznosi 3,48, a maksimalna vrijednost iznosi 7,61. Na trajnim nasadima te vrijednosti iznose 3,45 i 5,96. Osim toga, na oranicama je raspon veći (4,13) nego na trajnim nasadima (2,51). Vidljivo je da se na oranicama nalazi veći sadržaj humusa i to 7,61 %, dok je na trajnim nasadima ta vrijednost 1,9 %. Minimalna vrijednost na oranicama je 1,10 %, dok je na trajnim nasadima 0,9 %. Na oranicama je prvi kvartil od 1,7 do 2 %, a treći 2 do 2,3 %. Na trajnim nasadima te vrijednosti iznose od 1 do 1,4 % te od 1,4 do 1,6 %. Osim toga, na oranicama je u prvom kvartilu manje uzoraka (244) nego u trećem kvartilu (261), dok se kod trajnih nasada veći broj uzoraka nalazi u prvom kvartilu (32) nego u trećem (24) te je na oranicama veći raspon (6,51 %) nego kod trajnih nasada (1,3 %).



Pri analizi Box plota za  $P_{AL}$  utvrđeno je da je na oranicama manji broj uzoraka u prvom kvartilu (179), koji je u rasponu vrijednosti od 16,65 do 20,8 mg/100 g tla, nego u trećem kvartilu (285) koji je u rasponu vrijednosti od 20,8 do 26,2 mg/100 g tla. Na trajnim nasadima je također više uzoraka u trećem kvartilu (21) u rasponu vrijednosti od 14,6 do 18,7 mg/100 g tla, nego u prvom kvartilu (18) u rasponu vrijednosti od 10,3 do 14,6 mg/100 g tla. Minimalna vrijednost na oranicama iznosi 2,4 mg/100 g tla, dok je na trajnim nasadima 2,3 mg/100 g tla. Maksimalna vrijednost iznosi 52 mg/100 g tla na oranicama te 24,3 mg/100 g tla na trajnim nasadima. Raspon uzoraka je veći na oranicama (49,6 mg/100 g tla) nego na trajnim nasadima (22 mg/100 g tla). Box plot distribucije uzoraka kalija na oranicama i trajnim nasadima pokazuje je da je raspon vrijednosti kalija puno veći na oranicama (112,6 mg/100 g tla) nego na trajnim nasadima (19,9 mg/100 g tla). Dok se na oranicama nalazi manji broj uzoraka u prvom kvartilu (232) u rasponu vrijednosti od 17,7 do 21,3 mg/100 g tla, nego u trećem kvartilu (240) u rasponu vrijednosti od 21,3 do 26 mg/100 g tla, na trajnim nasadima se nalazi više uzoraka u prvom kvartilu (20) u rasponu vrijednosti od 22,7 do 26,6 mg/100 g tla nego u trećem kvartilu (17) u rasponu vrijednosti od 26,6 do 28,9 mg/100 g tla. Minimalna vrijednost na oranicama iznosi 8,3 mg/100 g tla, a na trajnim nasadima iznosi 13,8 mg/100 g tla, dok je maksimalna vrijednost na oranicama 120,9 mg/100 g tla, a na trajnim nasadima 33,7 mg/100 g tla.

## 5.2. ANOVA test

Kako bi se utvrdila razlika između oranica i trajnih nasada, proveden je ANOVA test. Rezultati su pokazali da prosjek pH vrijednosti svih uzoraka na oranicama iznosi 4,85, a na trajnim nasadima 4,48, što pripada u područje niske pH vrijednosti. S obzirom na to da p iznosi 0.000517, a to je  $<0.05$ , odbacuje se nulta hipoteza i zaključuje se da postoji signifikantna razlika među grupama s obzirom na pH vrijednost. Za humus je pokazano da postoji signifikantna razlika između oranica i trajnih nasada s obzirom na to da je  $P 7,62^{-26}$ , tj.  $p < 0,05$ . Prosječna vrijednost humusa na oranicama iznosi 2,1 %, što označava područje slabe humoznosti, a na trajnim nasadima iznosi 1,3 % što također opisuje područje slabe humoznosti.

Za fosfor je vidljivo da među promatranim grupama postoji velika razlika s obzirom na to da je  $P 2,63^{-19}$ , tj.  $P < 0,05$ . Prosječna vrijednost na oranicama iznosi 21,73 mg/100 g tla, što

označava vrlo dobru opskrbljenost  $P_{AL}$ , dok na trajnim nasadima vrijednost 14,41 mg/100 g tla označava dobru opskrbljenost  $P_{AL}$ . Za kalij postoji velika razlika između oranica i trajnih nasada s obzirom na to da je  $P = 3,15 \cdot 10^{-5}$ , tj.  $P < 0,05$ . Prosječna vrijednost na oranicama iznosi 22,24 mg/100 g tla, a na trajnim nasadima 25,73 mg/100 g tla, što označava siromašnu do dobru opskrbljenost kalijem.

Vizualizacija distribucije preko Q-Q, histograma i Box-plotova su ukazivali na određena odstupanja od Gaussove distribucije, te je stoga bilo nužno provjeriti parametre oblika: skewness i kurtosis. Pri analizi deskriptivnih parametara utvrđeno je da su svi parametri osim  $P_{AL}$  imali izraženu skewness i kurtosis (Tablica 3). Stoga su ti setovi podataka bili podvrgnuti transformaciji kako bi se oblik distribucije približio pravilnoj distribuciji. Nakon provedene logaritamske transformacije te vrijednosti su bile bliže 0.

Tablica 3: Originalni i log-transformirani podaci

	Originalni podaci		Log-transformirani podaci	
	Skewness	Kurtosis	Skewness	Kurtosis
pH	1,008769	0,45095	0,6539	-0,2503
Humus	2,190909	11,16451	0,076626	2,097699
Kalij	3,504494	39,85927	0,163692	1,329137

Podaci koji su dobiveni logaritamskom transformacijom korišteni su u daljnoj geostatističkoj obradi podataka.

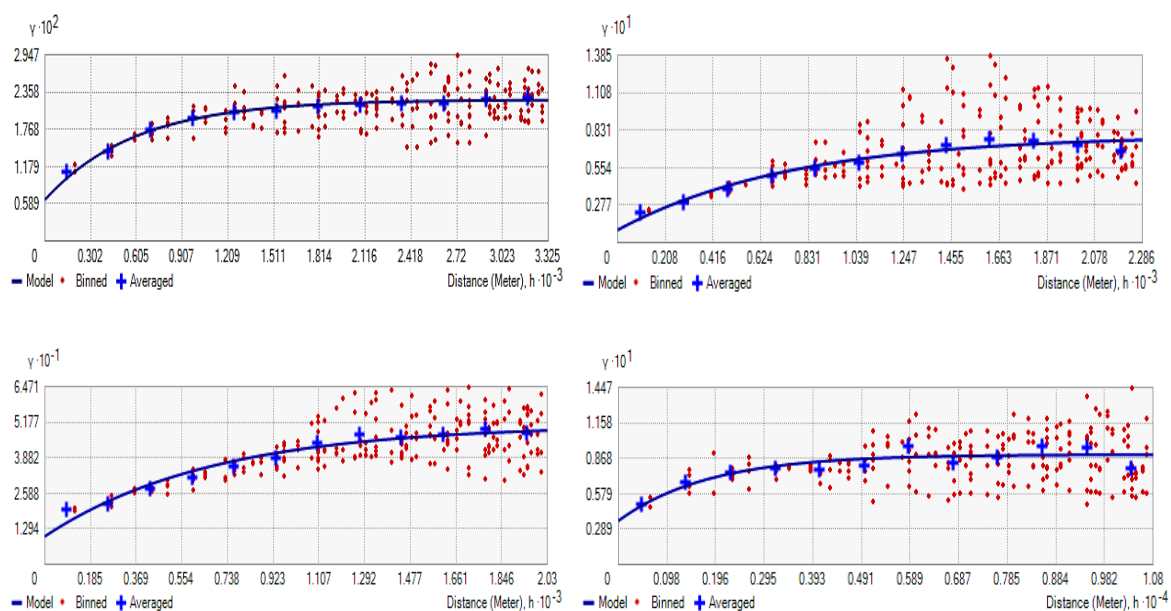
### 5.3. Prostorne karakteristike istraživanih parametara

Pri istraživanju prostorne varijabilnosti korištene su metode geostatistike. Za pH, humus,  $P_{AL}$  i kalij na temelju parametara semivariograma (Tablica 4) izrađen je odgovarajući model semivariograma (Slika 13).

Tablica 4. Najbolji semivariogrami za pH, humus, P<sub>AL</sub> i kalij te odgovarajući parametri.

	Model	Nugget (C <sub>0</sub> )	Partial Sill (C)	Sill(C+ C <sub>0</sub> )	Nugget/Sill	Range (m)
pH	Eksponecijalni	0,00654	0,01582	0,08122	29,25	1788,4
Humus	Eksponecijalni	0,00942	0,06996	0,07938	11,87	2286,3
P <sub>AL</sub>	Eksponecijalni	0,03729	0,08797	0,12526	29,7	2841,5
Kalij	Eksponecijalni	0,01498	0,05903	0,07401	20,2	1759,2

Utvrđeni su kriteriji za modeliranje gdje najbolji model treba imati najmanji nugget, najveći range te najmanji omjer nugget/sill. Za sva četiri istraživana svojstva se pokazao ekspancijalni model i on je odabran za prostorni opis jačine povezanosti mjesta uzorkovanja.



Slika 13: Modeli semivariograma. Od gornjeg lijevo do donjeg desno: pH (KCl), humus (%), P<sub>AL</sub>(mg/100 g) i kalij (mg/100 g).

Najmanji nugget su imali pH i humus i to u vrijednostima 0,00654 i 0,00942, a najveći nugget je imao fosfor 0,03729. Kod omjera nugget/sill najveća prostorna zavisnost je uočena kod humusa, 11,87 i kalija 20,2. Kod pH je taj omjer 29,25, a kod fosfora 29,2 što označava umjerenu prostornu zavisnost. Kalij je imao najmanji raspon, 1759,2 m, pH 1788,4, humus 2286,3, a P<sub>AL</sub> je imao najveći raspon, 2286,3 m.

## 5.4. Interpolacijske metode procjene i prostorna distribucija

Nakon provedene semivariogramске analize idući korak je bio testiranje interpolacijskih modela radi testiranja preciznosti i točnosti vizualne varijabilnosti pojedinih istraživanih čimbenika. Sumarni rezultat testiranih metoda prikazan je u tablicama 5-8, gdje se vidi prosječna pogreška (ME) i korijen srednje kvadratne prosječne pogreške (RMSE) između analitičkog podatka i podatka dobiven metodom krosvalidacije izračunatom na temelju svih ostalih podataka u setu osim onoga za koji se izračunava vrijednost. Takav postupak se ponavlja za sve točke u modelu, te se prati razlika između izračunatog i analitičkog podatka. Pri izradi karata hranjiva, najvažniji je odabir najpreciznije interpolacijske metode. Metode za usporedbu su OK, SK, EBK, LP, GPI, RBF i IDW.

Tablica 5: Rezultati primjene interpolacijskih metoda za pH vrijednost

pH/model	ME	RMSE
OK	0,00166	0,545412
SK	-0,0021	0,547942
IDW 1	0,006822	0,55999
IDW 2	0,004818	0,551186
IDW 3	0,002676	0,560311
IDW 4	0,001146	0,5766
IDW 5	0,000268	0,592747
GPI 1	-4,79 <sup>-5</sup>	0,769996
GPI 2	0	0,7326
GPI 3	0,000161	0,695126
<b>GPI 4</b>	<b>6,56<sup>-2</sup></b>	<b>0,692128</b>
GPI 5	0,001072	0,685662
GPI 6	-0,00074	0,678499
GPI 7	-0,00277	0,669465
GPI 8	-0,00191	0,657599
GPI 9	-0,0026	0,667312
GPI 10	-0,00806	0,736513
RBF	0,00122	0,547609
LP 1	-0,00646	0,563784
LP 2	-0,00712	0,585629
LP 3	0,002104	0,622093
LP 4	-0,00302	0,634686
LP 5	-0,00684	0,642271
LP 6	7,21 <sup>-5</sup>	0,642322
LP 7	-0,00304	0,642495
LP 8	-0,00248	0,647617
LP 9	-0,00484	0,661821
LP 10	-0,00484	0,674717
<b>EBK Power</b>	<b>0,003584</b>	<b>0,54143</b>
EBK Linear	0,004102	0,543074
EBK Thin Plate Spline	-0,01199	0,570881

Najpreciznije metode su označene plavom, a najnepreciznije su označene crvenom bojom.

\*ME (Mean Error) označava srednju vrijednost pogreške, dok RMSE (Root mean square error) označava korijen srednje kvadratne pogreške.

Tablica 6: Rezultati primjene interpolacijskih metoda za vrijednost humusa

Humus/model	ME	RMS
OK	-0,00415	0,3752
SK	0,012419	0,407392
IDW 1	-0,01221	0,402138
IDW 2	-0,00565	0,377052
IDW 3	-0,00067	0,375095
IDW 4	0,002715	0,38461
IDW 5	0,00489	0,396206
<b>GPI 1</b>	<b>0,000136</b>	<b>0,619444</b>
GPI 2	3,41E <sup>10</sup>	0,599606
GPI 3	-0,00015	0,596261
GPI 4	-3,66 <sup>10</sup>	0,581769
GPI 5	0,000223	0,579664
GPI 6	0,000883	0,565657
GPI 7	0,003273	0,573659
GPI 8	0,001128	0,553711
GPI 9	-0,00222	0,553132
GPI 10	-0,00717	0,695238
RBF	-0,0016	0,375464
LP 1	0,000758	0,402959
LP 2	-0,00437	0,476145
LP 3	-0,00117	0,486441
LP 4	-0,00289	0,486703
LP 5	-0,00068	0,506703
LP 6	-0,00861	0,524011
LP 7	-0,00618	0,524031
LP 8	-0,00027	0,519748
LP 9	-0,00453	0,553442
LP 10	0,007002	0,55318
<b>EBK Power</b>	<b>-0,00145</b>	<b>0,367086</b>
EBK Linear	-0,00113	0,368619
EBK Thin Plate Spline	0,002886	0,387722

Najpreciznije metode su označene plavom, a najnepreciznije su označene crvenom bojom.

\*ME (Mean Error) označava srednju vrijednost pogreške, dok RMSE (Root Mean Square Error) označava korijen srednje kvadratne pogreške.

Tablica 7: Rezultati primjene interpolacijskih metoda za vrijednost P<sub>AL</sub>

P <sub>AL</sub> /model	ME	RMSE
OK	0,009429	5,023
SK	0,058385	5,038
IDW 1	0,072671	5,086
IDW 2	0,047095	5,039
IDW 3	0,016798	5,125
IDW 4	-0,00893	5,263
IDW 5	-0,02762	5,403
<b>GPI 1</b>	<b>0,000649</b>	<b>6,722</b>
GPI 2	0,001962	6,712
GPI 3	0,006806	6,536
GPI 4	0,00168	6,302
GPI 5	-0,00017	6,246
GPI 6	-0,0174	6,181
GPI 7	-0,0169	5,847
GPI 8	0,027438	5,853
GPI 9	-0,03555	6,190
GPI 10	0,072332	6,153
RBF	0,029712	5,023
LP 1	-0,10916	5,140
LP 2	0,113695	5,465
LP 3	-0,04123	5,679
LP 4	0,009185	5,599
LP 5	-0,03053	5,678
LP 6	9,43 <sup>-5</sup>	5,717
LP 7	0,002363	5,707
LP 8	0,018494	5,771
LP 9	0,025086	5,782
LP 10	0,068297	6,038
<b>EBK Power</b>	<b>0,035095</b>	<b>4,965</b>
EBK Linear	0,026252	4,971
EBK Thin Plate Spline	0	5,216

Najpreciznije metode su označene plavom, a najnepreciznije su označene crvenom bojom.

\*ME (Mean Error) označava srednju vrijednost pogreške, dok RMSE (Root Mean Square Error) označava korijen srednje kvadratne pogreške.

Tablica 8: Rezultati primjene interpolacijskih metoda za vrijednost kalija

Kalij/model	ME	RMSE
OK	0,017834	5,272
<b>SK</b>	<b>0,036145</b>	<b>5,265</b>
IDW 1	0,098503	5,364
IDW 2	0,102927	5,372
IDW 3	0,10325	5,493
IDW 4	0,102718	5,632
IDW 5	0,101277	5,749
<b>GPI 1</b>	<b>-0,00082</b>	<b>7,135</b>
GPI 2	0,001123	6,495
GPI 3	0,004165	6,336
GPI 4	-0,00234	6,173
GPI 5	-0,00223	6,052
GPI 6	-0,00257	6,059
GPI 7	-0,00945	5,950
GPI 8	0,014237	5,936
GPI 9	-0,00165	5,863
GPI 10	0,050509	5,945
RBF	0,057688	5,945
LP 1	-0,0671	5,356
LP 2	0,066225	5,356
LP 3	0,021622	5,642
LP 4	0,002328	5,605
LP 5	-0,0117	5,612
LP 6	-0,0117	5,593
LP 7	0,096144	5,654
LP 8	0,036943	5,658
LP 9	-0,00313	5,695
LP 10	-0,03128	5,687
LP 10	0,064162	5,720
EBK Power	0,054903	5,314
EBK Linear	0,002773	5,314
EBK Thin Plate Spline	-0,05885	5,355

Najpreciznije metode su označene plavom, a najnepreciznije su označene crvenom bojom.

\*ME (Mean Error) označava srednju vrijednost pogreške, dok RMSE (Root Mean Square Error) označava korijen srednje kvadratne pogreške.

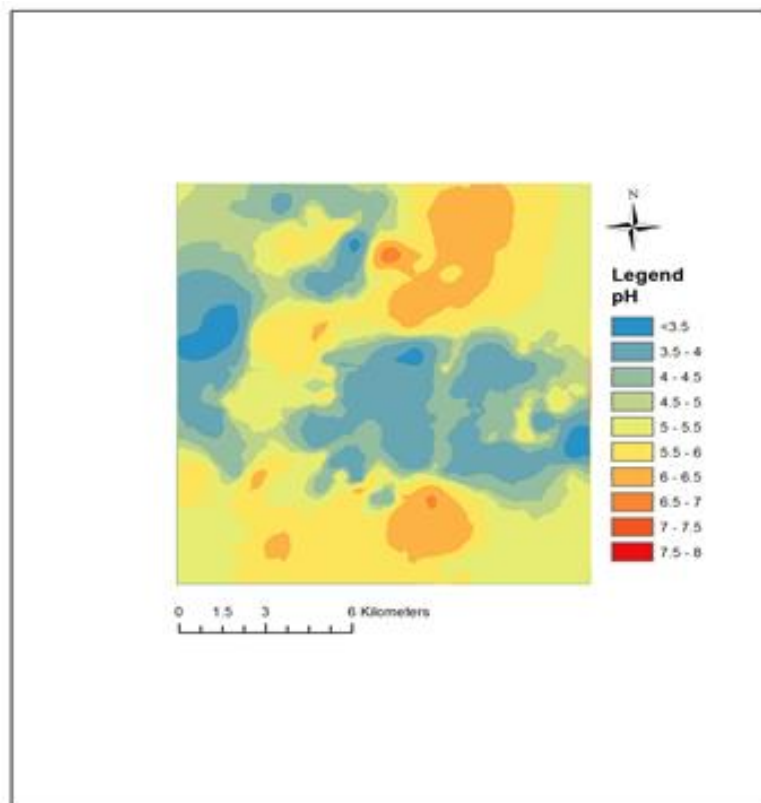
Na temelju RMSE, najpreciznija metoda za pH je EBK Power (RMSE=0,54143), dok je najnepreciznija GPI 4 (RMSE=0,692128). Za humus se najpreciznijom metodom pokazala EBK Power (RMSE=0,367086), dok je najnepreciznija GPI 1 (RMSE=0,61944). Za P<sub>AL</sub> je najpreciznija metoda također EBK Power (RMSE=4,965), a najnepreciznija metoda je GPI 1 (RMSE=6,722). Za kalij je najbolja metoda SK (RMSE=5,265), a najnepreciznija je GPI 1



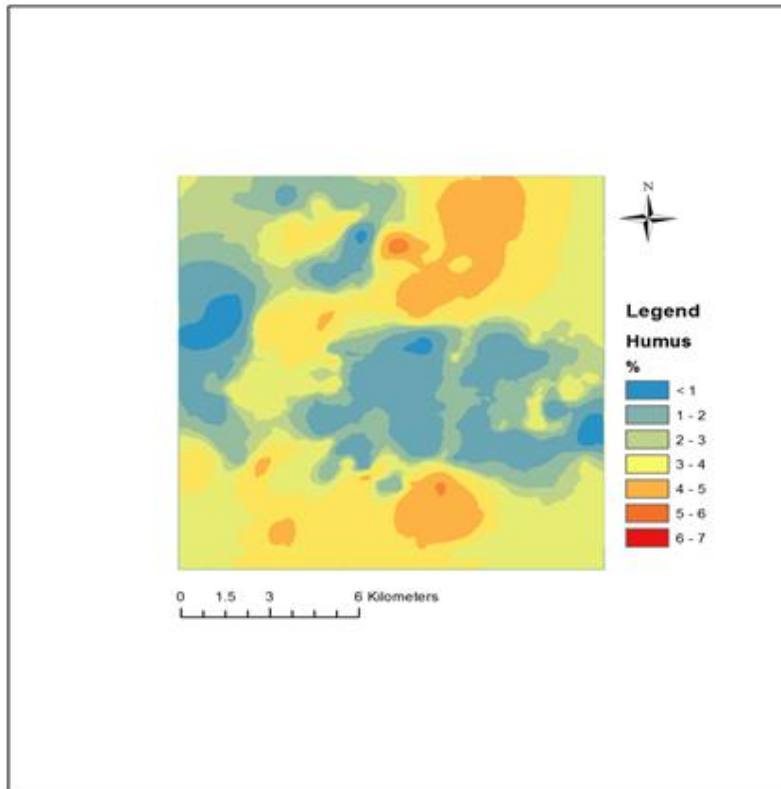
(RMSE=7,135). Prema prikazanim podacima vidljivo je da postoje razlike između testiranih metoda vizualizacije. Najtočnija metoda za pH se pokazala 78,22 % točnija od najnetočnije.

Slični rezultati su za ostale parametre. Razlika u preciznosti najtočnijih metoda za humus,  $P_{AL}$  i kalij su iznosile 59,26 %, 73,86 % i 73,79 %.

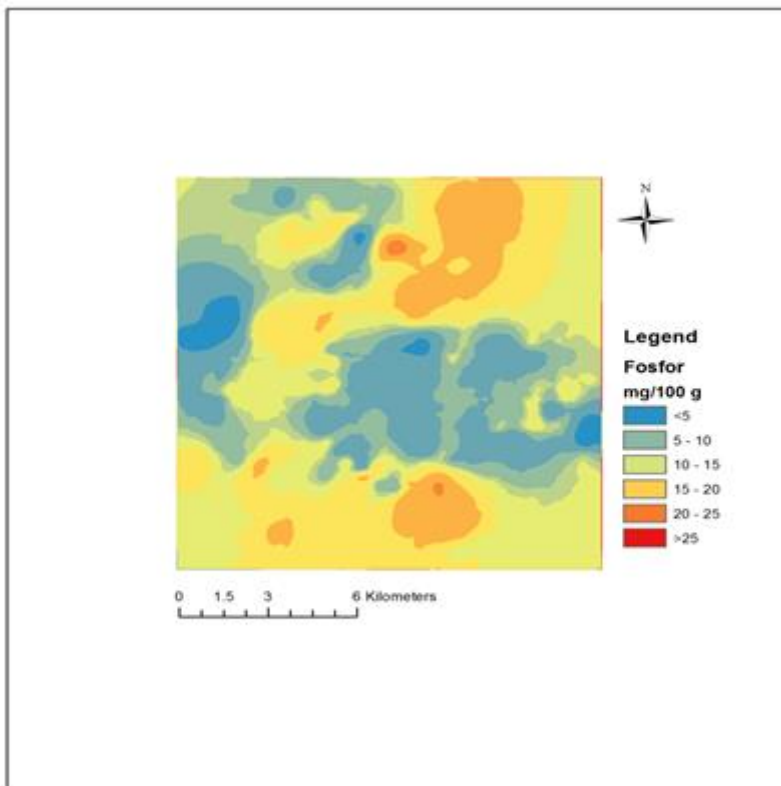
Stoga su se za vizualni odabir istraživanih čimbenika odabrali modeli koji su imali najmanju pogrešku a njihova prostorna varijabilnost je prikazana na slikama 14-17.



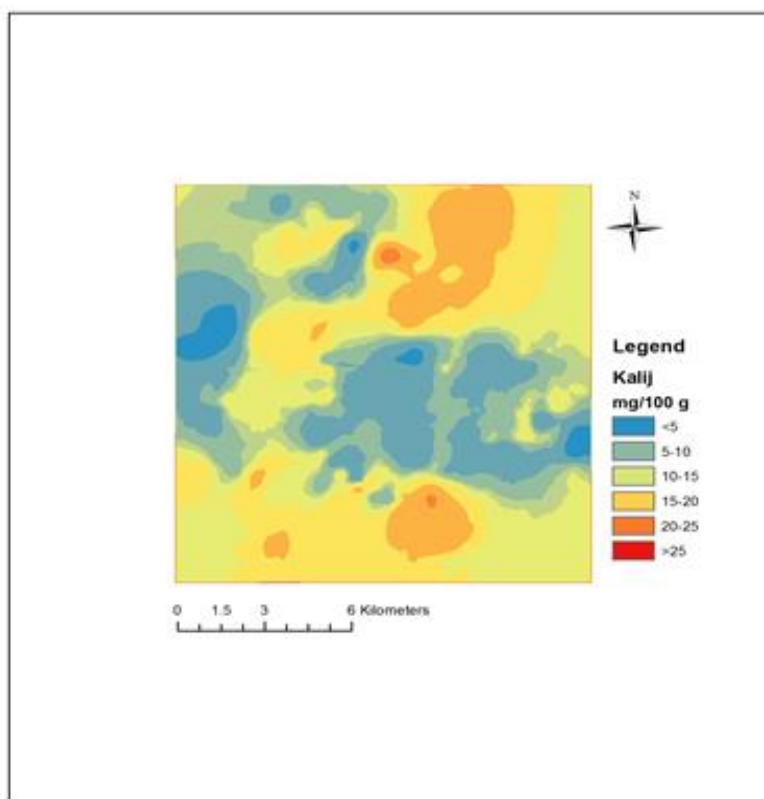
Slika 14: Prikaz varijabilnosti pH interpolacijskom metodom EBK Power



Slika 15: Prikaz varijabilnosti humusa interpolacijskom metodom EBK Power



Slika 16: Prikaz varijabilnosti  $P_{AL}$  interpolacijskom metodom EBK Power



Slika 17: Prikaz varijabilnosti kalija interpolacijskom metodom Simple Kriging

## 6. DISKUSIJA

Dobiveni rezultati u ovom radu pokazuju da su pedogenski čimbenici pojedinačno ili u različitim kombinacijama značajno utjecali na varijabilnost ovdje istraživanih svojstava. To nam pokazuju ovi koeficijenti varijacije (CV %) koji su pokazali umjerenu varijabilnost od 18-33 %. To je u skladu s očekivanjima pošto se radi o relativno širokom području istraživanja koje zahvaća više tipskih odlika različitih tala te dugogodišnjeg korištenja ovih tala za biljnu proizvodnju u agroekosustavu. Ipak, varijabilnost nije jednaka za sve promatrane parametre. pH se pokazala najmanje varirajućom dok je sadržaj  $P_{AL}$  pokazao najveću varijabilnost. To je u skladu sa istraživanjima drugih autora. Kilic i sur. (2012) su utvrdili varijabilnost pH na pašnjacima 2,03 %, dok je varijabilnost  $P_{AL}$  iznosila 38,85 %. Na oranicama su te vrijednosti iznosile 2,97 % i 56,33 %. Schloeder i sur. (2001) su utvrdili varijabilnost pH i  $P_{AL}$  na pašnjacima na vertisolu, a iznosila je 5 % za pH i 121 % za  $P_{AL}$ . Sun i sur. (2003) su utvrdili varijabilnost pH i fosfora u planinskoj regiji, a iznosila je 7,9 % za pH i 302,5 % za  $P_{AL}$ . Özgöz i sur. (2011) su utvrdili varijabilnost pH i  $P_{AL}$  koja je iznosila 0,87 % i 35,04 % na oranicama te 1,38 % i 40,19 % na pašnjacima.

Nasuprot pH koji inače pokazuje najmanje variranje u prostoru, sadržaj makrohranjiva prikazuje veću prostornu različitost upravo zbog djelovanja čovjeka. U skladu s tim, Xu i sur. (2013) su pronašli varijabilnost  $P_{AL}$  na aluvijalnom tlu koja je iznosila 99,99 %. Filho i sur. (2010) su istražili varijabilnost  $P_{AL}$  na no-tillage tlima koja je iznosila 75,99 %. Li i sur. (2016) su u planinskom području istražili varijabilnost  $P_{AL}$  koja je iznosila 64,7 %, dok su Vieira i sur. (2012) na no-tillage tlima na kojima prevladava latisol pronašli vrijednost 81,75 %.

Navedena istraživanja u ovome radu pokazuju da su tla na području Orahovice značajno povećala sadržaj makrohranjiva u odnosu na prirodna tla u šumskim zajednicama (Martinović, 2000). Ipak, postoje razlike u načinu korištenja tla. Prvenstveno se pokazala razlika između oranične proizvodnje i proizvodnje u trajnim nasadima. Iz rezultata prikazanih u prethodnom poglavlju očito je da su vlasnici poljoprivrednog poduzeća uložili više inputa na tlima namjenjenim za ratarske kulture, što se prvenstveno odlikuje u većoj pH vrijednosti, humusu i sadržaju  $P_{AL}$  na oranicama u odnosu na tla pod trajnim nasadom, dok je sadržaj kalija tek relativno veći na tlima pod trajnim nasadima. Takva situacija se može objasniti činjenicom da je novi vlasnik poduzeća primarne mjere popravka tla preusmjerio na oraničnu proizvodnju koja je prije 2000.-tih bila na niskim razinama.

Usporedno sa klasičnim statističkim svojstvima geostatistička analiza nam je pokazala da su mjesta uzorkovanja najbolje opisana eksponencijalnim modelom. Ovakva situacija nije ništa nova, eksponencijalni model pri geostatističkom opisivanju prostorne zavisnosti istraživanih svojstava je jedan od najčešćih odabira u mnogim drugim istraživanjima (Panagopoulos i sur., 2006; Mendes i Lorandi, 2008; Corstanje i sur., 2006; Özgöz i sur., 2012). Prema svojstvima najbolje odgovarajućeg modela semivariograma istraživana svojstva su pokazala snažnu prostornu zavisnost kod humusa i kalija te umjerenu prostornu zavisnost kod pH i  $P_{AL}$ . Inozemna iskustva također prikazuju različitu jačinu prostorne zavisnosti kod raznih kemijskih svojstava. Panagopoulos i sur. (2006) su utvrdili umjerenu prostornu zavisnost pH vrijednosti (41 %), kao i Kilic i sur. (2012) koja je iznosila 49 %. Schloeder i sur. (2001) su umjerenu prostornu zavisnost humusa, dok su Yasrebi i sur. (2009) utvrdili jaku prostornu zavisnost (0.17 %). Xu i sur. (2013) su utvrdili slabu prostornu zavisnost  $P_{AL}$  (81,9 %) kao i Li i sur. (2016) koja je iznosila 81 %. Yasrebi i sur. (2009) su utvrdili jaku prostornu zavisnost kalija (0,01 %), dok su Sun i sur. (2003) utvrdili umjerenu zavisnost. Raspon prostorne zavisnosti istraživanih čimbenika pokazuje da je kalij imao najmanju udaljenost do koje su točke prostorno povezane (1759 m), dok je  $P_{AL}$  prikazao najveću prostornu povezanost mjesta uzorkovanja od čak 2841 m. Ovakvi rezultati idu u prilog pri krajnjoj vizualizaciji prostorne varijabilnosti, a ujedno pokazuju dodatne mogućnosti uštede sredstava pri istraživanju ovih tala, jer prema Kelly i Oliver (2004), budući raspon mjesta uzorkovanja otprilike odgovara polovici raspona u semivariogramskom modelu.

Rezultati ovog diplomskog rada pokazuju da je moguće kvalitetno istražiti ove čimbenike ukoliko odaberemo interval uzorkovanja od 800 m. U usporedbi s rezultatima drugih autora, Kilic i sur. (2012) su pronašli raspone za pH, humus,  $P_{AL}$  i kalij koji su iznosili: 209,6 m, 85,66 m, 85,66 m, i 43 m, dok su Bogunović i sur. (2014) dobili sljedeće vrijednosti: 1954,4 m, 864 m, 201,3 m i 1153,6 m. Testiranjem različitih interpolacijskih modela utvrđeno je da su kriging metode EBK za pH, humus i  $P_{AL}$  te obični kriging za kalij pokazali najtočniju prostornu vizualizaciju i prihvaćeni su kao najbolji odabir po kojima će se donositi buduće odluke. Ipak, nedostatak uniformnog modela pokazuje da je nužno testirati više modela kako bi se pogreška u prostoru dodatno smanjila. Usporedno s našim rezultatima krosvalidacije i mnoštvo drugih istraživača je odabralo iste interpolacijske tehnike za prostorno opisivanje svojstava (Panagopoulos i sur., 2006; Bocchi i sur., 2000; Kuzyakova i sur., 2001; Drešković i Đug, 2012; Sollito i sur., 2009; Kilic i sur., 2012; Panagopoulos i sur., 2012; Shi i sur., 2005, Corstanje i sur., 2006; Kerry i Oliver, 2004; Cao i sur., 2009).

## 7. ZAKLJUČAK

Vizualizacija distribucije preko Q-Q, histograma i Box-plotova je ukazala na određena odstupanja od Gaussove distribucije, te je stoga bilo nužno provjeriti parametre oblika: skewness i kurtosis. Pri analizi deskriptivnih parametara utvrđeno je da su svi parametri osim fosfora imali izraženo odstupanje od normalnosti te su stoga podvrgnuti transformaciji. Odgovarajući model semivariograma za sva četiri parametra je bio eksponencijalni.

Kod omjera nugget/sill najveća prostorna zavisnost je uočena kod humusa, 11,87 i kalija 20,2. Kod pH je taj omjer 29,25, a kod  $P_{AL}$  29,2 što označava umjerenu prostornu zavisnost. Kalij je imao najmanji raspon, 1759,2 m, pH 1788,4, humus 2286,3, a  $P_{AL}$  je imao najveći raspon, 2286,3 m. Pri izradi karata hranjiva, najvažniji je odabir najpreciznije interpolacijske metode. Na temelju RMSE, najpreciznija metoda za pH, humus i  $P_{AL}$  je EBK Power, dok je najpreciznija za kalij SK. Najnepreciznija metoda za pH je GPI 4, dok su za humus,  $P_{AL}$  i kalij najmanje precizni bili GP 1. Vizualni prikaz istraživanih čimbenika ukazuje da je gnojiva (fosfor i kalij) nužno koristiti na pojedinim mjestima u varijabilnim količinama, dok je najveći problem utvrđen u razmjerno velikim površinama tla s kiselim reakcijom, te nedostatak optimalne količine humusa (3 %), što može dovesti do pojave degradacijskih procesa u istraživanim tlima. Prema ovim podacima, nužno je razviti nove načine konzervacijskog gospodarenja tlima na istraživanom području kako bi se potencijalni problemi poput antropogenih zbivanja, te erozijskih procesa uslijed nedostatka potrebne razine organske tvari u tlima svele na najmanju mjeru. Nadalje, korištenje interpolacijskih metoda i geostatistike omogućuje izradu karata kemijskih čimbenika visoke preciznosti kako bi se pružile točne informacije za važne odluke o primjeni gnojiva i vapna u poljoprivredi te tako smanjili troškovi proizvodnje, poboljšali prirodni procesi u tlu, te smanjili potencijalni okolišni problemi.

## 8. LITERATURA

Adhikari K., Guadagnini A., Toth G., Hermann T. (2010). Geostatistical analysis of surface soil texture from Zala county in western Hungary. *International Symposium on Environment, Energy and Water in Nepal: Recent Researches and Direction for Future*

Andreu J. (1997). Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos de Crevillente, Cid Cabeco d'Or (provincia de Alicante). Ph.D. thesis. Universidad de Alicante. 447.

Belić M., Manojlović M., Nešić Lj., Ćirić V., Vasin J., Benka P., Šeremešić S. (2013). Pedo-ecological significance of soil organic carbon stock in south-eastern Pannonian Basin. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 8(1): 171-178.

Bocchi S., Castrignanò A., Fornaro F., Maggiore T. (2000). Application of factorial kriging for mapping soil variation at field scale. *European Journal of Agronomy*. 13: 295-308.

Bogunović M. (1976). Tla sekcije Donji Miholjac 3. Projektni savjet pedološke karte SR Hrvatske, Zagreb.

Bogunović I., Jurišić A., Birkas M., Mesić, M. (2014). Spatial variability of plain Pseudogley physical properties. *Agronomski glasnik*. 76 (1–2): 15–28

Bogunović, I., Mesić M., Zgorelec Z., Jurisic A., Bilandzija D. (2014). Spatial variation of soil nutrients on sandy-loam soil. *Soil and tillage research*. 144: 174–183.

Bogunovic, I., Kistic, I., Mesic, M., Zgorelec, Z., Percin, A., Pereira, P. (2016). Application of spatial methods to identify areas with lime requirement in eastern Croatia. *Geophysical Research Abstracts Vol. 18, EGU2016- 702*

Burgess T. M. i Webster R. (1980). Optimal Interpolation and Isarithmic Mapping of Soil

Properties. I. The Semi-variogram and Punctual Kriging. *Journal of Soil Science*. 31: 315-31.

Burgos P., Madejón E., Pérez-de-Mora A., Cabrera F. (2006). Spatial variability of the chemical characteristics of a trace-element-contaminated soil before and after remediation. *Geoderma*. 130 (1): 157–175.

- Campbell J. B. (1978). Spatial Variation of Sand Content and pH within Single Continuous Delineations of Two Soil Mapping Units. *Proceedings of the Soil Science Society of America*. 42: 460-64.
- Classzone, <<http://www.classzone.com/sciencebook/mlsgrade7FL/248252.pdf>>. Pristupljeno 21.4.2016.
- Cao W., Hu J., Yu X. (2009). A study on temperature interpolation methods based on GIS
- Castrignanò A., Maiorana M., Fornaro F., Lopez N. (2002). 3D spatial variability of soil strength and its change over time in a durum wheat field in a Southern Italy. *Soil and Tillage Research*. 65: 95-108.
- Cetin M. i Kirda C. (2003). Spatial and temporal changes of soil salinity in a cotton field irrigated with low quality water. *J. Hydrol.* 272: 238–249.
- Cheng W. D., Zhang G. P., Yao H. G., Dominy P., Wu W., Wang R. Y. (2004). Possibility of predicting heavy-metal contents in rice grains based on DTPA-extracted levels in soil. *Commun. Soil Sci. Plan.* 35: 2731–2745.
- Chien Y. J., Lee D.Y., Guo H.Y., Hounk K. H. (1997). Geostatistical analysis of soil parameters of mid-west Taiwan soils. *Soil Sci.* 162: 291-298.
- Corstanje R., Grunwald S., Reddy K. R., Osborne T. Z., Newman S. (2006). Assessment of the spatial distribution of soil properties in a Northern Everglades Marsh. *J. Environ. Qual.* 35: 938-949.
- Dahiya, I. S., Richter, J., Malik, R. S. (1984): Soil spatial variability: a review. *International Journal of Tropical Agriculture*. 11(1): 1-102.
- Dennis I. C. (2000). Delineating site-specific crop management units: precision agriculture application in GIS. USDA-ARS. George E. Brown Salinity Laboratory
- Delbari M., Afrasiab P., Loiskandl W. (2011). Geostatistical analysis of soil texture fractions on field scale. *Soil and Water Res.* 4: 173-189.



Dexter J. E., Doust M. A., Raciti C. N., Lombardo G. M., Clarke F. R., Clarke J. M., Marchylo B. A., Schlichting L. M., Hatcher D. W. (2004). Effect of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) semolina extraction rate on semolina refinement, strength indicators and pasta properties. Canadian J. Plant Science, Contribution. 862: 1001-1013.

Diacono M., Troccoli A., Girone G., Castrignanò A. (2011). Field-scale variability and homogeneous zone delineation for some qualitative parameters of durum wheat semolina in Mediterranean environment. World Journal of Agricultural Sciences. 7 (3): 286-290.

Doolittle J. A., Sudduth K. A., Kitchen N. R., Indorante S. J. (1994). Estimating depths to claypans using electromagnetic induction methods. J. Soil Water Conserv. 49: 572-575.

Dorji T., Odeh I. O. A., Field D. J., Baillie I. C. (2014). Forest Ecology and Management. 318: 91-102.

Drešković N. i Đug S. (2012). Applying the Inverse Distance Weighting and Kriging methods of the spatial interpolation on the mapping the annual precipitation in Bosnia and Herzegovina

Eschooltoday, <<http://www.eschooltoday.com/soils/factors-that-affect-soil-formation.html>>. Pristupljeno 18.4.2016.

Filho O. G., Vieira S. R., Chiba M. K., Nagumo C. H., Dechen S. C. F. (2010). Spatial and temporal variability of crop yield and some rhodic hapludox properties under no-tillage. Revista Brasileira de Ciencia do Solo. 34 (1): 1-14.

Florinsky I. V. i Kuryakova G. A. (1996). Influence of topography on some vegetation cover properties. Catena. 27 (2):123-141.

Frank T. D. (1988). Mapping dominant vegetation communities in the Colorado Rocky Mountain Front Range with Landsat Thematic Mapper and digital terrain data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 50 (12): 1727–1734.

Franzen W.D. i Peck T.R. (1995). Field soil sampling density for variable rate fertilization. J. Prod. Agric. 8:568-574.

Fu W., Tunney H., Zhang C. (2010). Spatial variation of soil nutrients in a dairy farm and its implications for site-specific fertilizer application. Soil Tillage Res. 106: 185–193.

Geovariances (2000). ISATIS: Software Manual. Release 3.3. Geovariances Ecole des Mines de Paris, France

Goovaerts P. (1997). Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, New York.

Goovaerts P. (1998). Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biol. Fertil. Soils*. 27: 315-334.

Goovaerts P. (1999). Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma*. 89: 1–46.

Gračanin M. (1947). Pedologija, Fiziografija tala. Poljoprivredni nakladni zavod, Zagreb

Grad Orahovica, <<http://www.orahovica.hr/vodic/zemljopisni-poloaj-i-znaaj>>. Pristupljeno 15.9.2016.

Hajrasuliha S., Baniabbassi N., Metthey J., Nielsen D. R. (1980). Spatial Variability of Soil Sampling for Salinity Studies in Southwest Iran. *Irrigation Science*. 1: 197-208.

Hernández-Stefanoni J. L. i Ponce-Hernandez R. (2006). Mapping the spatial variability of plant diversity in a tropical forest: Comparison of spatial interpolation methods. *Environ. Monit. Assess.* 117 (14): 307-334.

Isaaks E. H. i Srivastava R. M. (2011). *Applied Geostatistics*. Oxford University, London.

Jones A. S., Vukicevic T., Vonder-Haar, T. H. (2004). A Microwave Satellite Observational Operator for Variational Data Assimilation of Soil Moisture. *J. Hydrometeorol.* 5: 213-229.

Journel A. J. i Huijbregts Ch. J. (1978). *Mining Geostatistics*. London. Academic Press.

Juan P., Mateu J., Jordan M. M., Mataix-Solera J., Melendez-Pastor I., Navarro-Pedreño J. (2010). Geostatistical methods to identify and map spatial variations of soil salinity. *Journal of Geochemical Exploration*

Kerry R., Goovaerts P., Rawlins B. G., Marchant B. P. (2012). Disaggregation of legacy soil data using area to point kriging for mapping soil organic carbon at the regional scale. *Geoderma*. 170: 347–358.

Kerry R. i Oliver M. A. (2004). Average variograms to guide soil sampling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 5: 307-325.

Kilic K., Kilic S., Kocyigit R. (2012). Assessment of spatial variability of soil properties in areas under different land use. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 18 (5): 722-732.

Kisić I. (2016). Antropogena erozija tla. Sveučilišni udžbenik. Zagreb

Kisić I., Bogunović I., Bilandzija D. (2016). Influence of soil erosion by water on particle size distribution. *Soil and Water research*, pod recenzijom.

Kucuker M. A., Guney M., Oral H. V., Coptu N. K., Onay T. T. (2015). Impact of deforestation on soil carbon stock and its spatial distribution in the Western Black Sea Region of Turkey. *Journal of Environmental Management*. 147: 227-235.

Kuzyakova I. F., Romanenkov V. A., Kuzyakov Ya. V. (2001). Application of geostatistics in processing the results of soil and agrochemical studies. *Eurasian Soil Science*. 34 (11): 1219-1228.

Lakhankar T., Jones A. S., Combs C. L., Sengupta M., Vonder Haar T. H., Khanbilvardi R. (2010). Analysis of large scale spatial variability of soil moisture using a geostatistical method. *Sensors*. 10: 913-932.

Lark R. M. (2002). Optimized spatial sampling of soil for estimation of the variogram by maximum likelihood. *Geoderma*, 105: 49-80.

Leaving Certificate Geography, <<http://lcgeography.preswex.ie/how-human-activities-can-accelerate-soil-erosion.html>>. Pristupljeno 22.4.2016.

Li Q.-Q., Zhang X., Wang C.-Q., Li B., Gao X.-S., Yuan D.-G., Luo Y.-L. (2016). Spatial prediction of soil nutrient in a hilly area using artificial neural network model combined with kriging. *Archives of Agronomy and Soil Science*. Taylor and Francis (2016)

Lin Y., Cui P., Ge Y., Chen C., Wang D. (2014). The succession characteristic of soil erosion during different vegetation succession stages in dry-hot river valley of Jinsha River upper reaches of Yangtze River. *Ecological Engineering*. 62 : 13–26.

Liu Q., An J., Wang L., Wu Y., Zhang H. (2015). Influence of ridge height, row grade, and field slope on soil erosion in contour ridging systems under seepage conditions. *Soil and Tillage Research*, 147: 50–59.

Martino D. i Skaykewich D.F. (1994). Root penetration profiles of wheat and barley as affected by soil penetration resistance in field conditions. *Can. J. Soil Sci.* 74: 193-200.

Matheron G. (1965). *Les Variables Regionalisees et Leur Estimation*. Masson, Paris

Martinović J. (2000). *Tla u Hrvatskoj. Državna uprava za zaštitu prirode i okoliša : Pokret prijatelja prirode "Lijepa naša"*. Zagreb, 2000

McBratney A. B. i Pringle M. J. (1997). Spatial variability in soil - Implications for precision agriculture, 3-31. In J.V. Stafford (ed.) *Precision agriculture '97. First European Conf. on Precision Agriculture*. Oxford, UK. Sep. 7-10, 1997. BIOS Sci. Publ., Herndon, VA.

McBratney A.B. i Webster R. (1986). Choosing Functions for Semivariograms of Soil Properties and Fitting Them To sampling Estimates. *Journal of soil Science*, 37

McBratney M. B., Webster R., Burgess T. M. (1981). The Design of Optimal Sampling Schemes for Loc Est.i. mation and Mapping of Regionalized Variables. I. Theory and Method. *Computers and Geosciences*. 7: 331-34.

McBratney A. B., Webster R., McLaren R. G., and Spiers R. B. (1982). Regional Variation of Extractable Copper and Cobalt in the Topsoil of Southeast Scotland. *Agronomie*. 2: 969-82.

McCullagh M. J. (1975). Estimating by Kriging the Reliability of the Proposed Trent Telemetry Network. *Computer Applications*. 2: 357-74.

Mendes R. M. i Lorandi R. (2008). Analysis of spatial variability of SPT penetration resistance in collapsible soils considering water table depth. *Engineering Geology*. 101: 218-225.

Miller M. P., Singer M. J., Nielsen D. R. (1988). Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1547–1553.

Miloš B. (2000). Geostatističke analize pedoloških podataka I. Mjerenje prostornog varijabiliteta svojstava tla semivariogramima. *Agriculturae Conspectus Scientificus (ACS)*. 65 (4): 219-228.

Miloš, B. (2001). Geostatističke analize pedoloških podataka II. Optimalna interpolacija krigingom. *Agriculturae Conspectus Scientificus (ACS)*. 66 (2): 103-112.

Mishra U., Torn M. S., Masanet E., Ogle S. M. (2012). Improving regional soil carbon inventories: Combining the IPCC carbon inventory method with regression kriging. *Geoderma*. 189–190: 288–295.

Montemurro, F., Maiorana M., Convertini G., Fornaro F. (2008). Cropping systems: the role of continuous cropping, crop rotation, leguminous crops and catch crop in Mediterranean conditions. In *Crop Rotation*, 6. Yaram U. Berklian. Nova Science Publishers, Inc

Moore I. D, Gessler P.E., G.A. Nielsen G.A., Peterson G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 57 (2): 443–452.

NRCS (2016). NRCS – Natural Resources Conservation Service, <<http://extension.illinois.edu/soil/soilfrm/soilfrm.htm>>. Pristupljeno 15.4.2016.

NRCS- Natural Resources Conservation Service, <<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/wa/soils/?cid=nrcs144p2036333#Time>>. Pristupljeno 18.4.2016.

Oliver M. A. i Webster R. (1986). Combining nested and linear sampling for determining the scale and form of spatial variation of regionalized variables. *Geographical analysis*. Vol. 18. (3)

Özgöz E., Gunal H., Acir N., Gokmen F., Birol M., Budak M. (2011). Soil quality and spatial variability assessment of land use effects in a typic haplustoll. *Land Degradation Development*. 24: 277-286.

Özgöz E., Günal H., Önen H., Bayram M., Acir N. (2012). Effect of management on spatial and temporal distribution of soil physical properties. *Journal of Agricultural Sciences*. 18: 77-91.

Panagapoulos T., Jesus J., Antunes M. D. C., Beltrão J. (2006). Analysis of spatial interpolation for optimising management of a salinized field cultivated with lettuce. *Europ. J. Agronomy*. 24: 1-10.

Panagapoulos T., Andrade R., Ferreira V., Guerreiro C. (2012). Assessment of spatial variability of soil properties in areas under land use change due to Alqueira dam construction. *Recent Researches in Environmental Science and Landscaping*

PASSEL (2007). PASSEL- Plant and Soil Sciences eLibrary, <<http://passel.unl.edu/pages/informationmodule.php?idinformationmodule=1130447021&topicorder=3&maxto=7&mintoto=1>>. Pristupljeno 14.4.2016.

PASSEL (2007).PASSEL-Plant and Soil Sciences eLibrary, <<http://passel.unl.edu/pages/informationmodule.php?idinformationmodule=1130447021&topicorder=4&maxto=7&mintoto=1>>. Pristupljeno 14.4.2016.

PASSEL (2007). PASSEL- Plant and Soil Sciences eLibrary, <<http://passel.unl.edu/pages/informationmodule.php?idinformationmodule=1130447021&topicorder=6&maxto=7&mintoto=1>>. Pristupljeno 15.4.2016.

PASSEL (2007). PASSEL- Plant and Soil Sciences eLibrary, <<http://passel.unl.edu/pages/informationmodule.php?idinformationmodule=1130447021&topicorder=7&maxto=7&mintoto=1>>. Pristupljeno 17.4.2016.

Perez A. J. (1994). Atlas Climatic de la Comunitat Valenciana. Generalitat Valenciana. Valencia.

Plymouth County Soil Survey Update. Factors of soil formation. <<http://nesoil.com/plymouth/formation.html>>. Pristupljeno 14.4.2016.

Podznyakova L. i Zhang R. (1999). Geostatistical analyses of soil salinity in a large field. *Precision Agriculture*. 1: 153-165.

Ridolfi L., Laio F., D' Odorico P. (2008). Fertility island formation and evolution in dryland ecosystems. *Ecology and Society* 13 (5): 439-461.

Ritter M. E. (2006). The Physical environment: An introduction to Physical geography, <<http://www.arthonlinemedia.com/ebooks/tpe3e/soilsystems/soildevelopmentsoilformingfactors.html>>. Pristupljeno 16.4.2016.

Robinson T. P. i Metternicht G. (2006). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Comput. Electron. Agric.* 50 (2): 97–108.

Russo, D. (1984). Statistical Analysis of Crop Yield-Soil Water Relationships in Heterogeneous Soil under Trickle Irrigation. *Soil Science Society of America Journal*. 48: 1402-1410.

Schloeder C. A., Zimmerman N. E., Jacobs M. J. (2001). Comparison of methods for interpolating soil properties using limited data. *Soil. Sci. Am. J.* 65: 470-479.

Sebastià M. T. (2004). Role of topography and soils in grassland structuring at the landscape and community scales. *Basic and Applied Ecology*. 5 (4): 331-346

Shi W., Liu J., Du Z., Song Y., Chen C., Yue T. (2009). Surface modelling of soil pH. *Geoderma*. 150 (1): 113–119.

Shi Z., Li Y., Wang R. C., Makeschine F. (2005). Assessment of spatial variability of soil salinity in a coastal saline field. *Environ. Geol.* 48: 171-178.

Simbahan G.C., Dobermann A., Goovaerts P., Ping J., Haddix M. L. (2006). Fine-resolution mapping of soil organic carbon based on multivariate secondary data. *Geoderma*. 132: 471-489.

Sollito D., Romić M., Castrignanò A., Romić D., Bakić H. (2009). Assessing heavy metal contamination in soils of the Zagreb region (Northwest Croatia) using multivariate geostatistics. *Catena*. 80: 182-194.

Stewart C. M., Mcbratney A. B., Skerritt J. H. (2002). Site-specific durum wheat quality and its relationship to soil properties in a single field in Northern New South Wales. *Precision Agriculture*. 3: 155-168.

Sun B., Zhou S., Zhao Q. (2003). Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*. 115: 85-99.

Stafford J. V., Ambler B., Lark R. M., Catt, J. (1996). Mapping and interpreting the yield variation in cereal crops. *Comput. Electron. Agric.* 14: 101–119.

Škorić A., Filipovski G., Ćirić M. (1973). *Yugoslavia Soils Classification*, special edition. Book LXXVIII. ANUBiH. Sarajevo, Yugoslavia (in Croatian)

Thayer W. C., Griffith D. A., Goodrum P. E., Diamond G. L., Hassett J. M. (2003). Application of geostatistics to risk assessment. *Risk Anal.* 23: 945–960.

Trangmar B. B., Yost R. S., Uehara G. (1985). Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.* 38: 45–94.

Tsegaye T., Hill R. L. (1998). Intensive tillage effects on spatial variability of soil test, plant growth, and nutrient uptake measurement. *Soil Sci.* 163: 155–165.

Vieira M. D. Secco D., De Vicente A., Santos R. F., Rosa H. A., Veloso G., Dalposso Nava O. T. (2012). Spatial variability of chemical attributes on clayey latosol related to crambe (*Crambe abyssica* Hochst) grain yield. *Journal of Food, Agriculture and Environment.* 10 (384): 1464-1467.

Voltz M. i Webster R. (1990). A comparison of kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information. *J. Soil Sci.* 41: 473–490.

Vukadinović V. I Vukadinović Vesna (2011). *Ishrana bilja*. Poljoprivredni fakultet, Osijek

Wikipedia, The Free Encyclopedia, <[https://en.wikipedia.org/wiki/Precision\\_agriculture](https://en.wikipedia.org/wiki/Precision_agriculture)>. Pristupljeno 25.4.2016.

Wollenhaupt N. C., Wolkowski R. P., Clayton M. K. (1994). Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. *J. Prod. Agric.* 7: 441-448.

Wu C., Wu J., Luo Y., Zhang H., Teng Y., DeGloria S. D. (2011). Spatial interpolation of severely skewed data with several peak values by the approach integrating kriging and triangular irregular network interpolation. *Environ. Earth Sci.* 63 (5): 1093–1103.

WWF – World Wildlife fund, <<http://wwf.panda.org/whatwedo/footprint/agriculture/impacts/soilerosion/>>. Pristupljeno 24.4.2016.



Xu X., Ma K., Fu B., Song C., Wen L. (2008). Relationship between vegetation and soil and topography in a dry warm river valley, SW China. *Catena*, 75 (2):138-145

Xu Y., Dong D., Duan G., Yu X., Yu Z., Huang W. (2013). Geostatistical analysis of soil nutrients based on GIS and geostatistics in the typical plain and hilly-ground area of Zhongxiang, Hubei Province. *Open Journal of Soil Science*. 3: 218-224.

Yasrebi J., Saffari M., Fathi H., Karimian N., Moazallahi M., Gazni R. (2009). Evaluation and comparison of Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighting methods for prediction of spatial variability of some soil chemical parameters. *Research Journal of Biological Sciences*. 4 (1): 93-102.

Yost R. S., Uehara G., Fox R. L. (1982). Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. II. Kriging. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 1033–1037.

Zhang C. i McGrath D. (2004). Geostatistical and GIS analyses on soil organic carbon concentrations in grassland of southeastern Ireland from two different periods. *Geoderma*. 119: 261–275.

Zhao K., Liu X., Xu J., Selim H. M. (2010). Heavy metal contaminations in a soil–rice system: Identification of spatial dependence in relation to soil properties of paddy fields. *Journal of Hazardous Materials*. 181: 778–787.

## Životopis autora

Antonija Jonjić je rođena 5.3.1993. u Zagrebu, gdje je pohađala osnovnu školu „Tituš Brezovački“ od 1999.-2007. Nakon toga je od 2007-2011. godine pohađala srednju školu „Ženska Opća Gimnazija Družbe Sestara Milosrdnica s pravom javnosti“ u Zagrebu.

Godine 2011. Upisuje se na Agronomski fakultet, smjer Ekološka poljoprivreda. Završni rad radila je 2013. godine kod izv. prof. dr. sc. Zorana Lukovića. Time je postala prvostupnik (baccalaureus). Nakon toga, iste godine, upisuje Diplomski studij Ekološka poljoprivreda i agroturizam na Agronomskom fakultetu u Zagrebu. Diplomski rad je rađen u suradnji sa prof. dr. Walterom Wenzelom sa Sveučilišta BOKU u Beču i mentorom prof.dr.sc. Ivicom Kisićem u Zagrebu.