

# Primjena GIS-a i metode izrade karte hraniva i N-senzori pri gnojidbi

---

**Lončar, Antonela**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:045524>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-03**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Antonela Lončar, apsolvant  
Diplomski studij Mehanizacija

**PRIMJENA GIS-A I METODE IZRADE KARTE HRANIVA I N-SENZORI PRI  
GNOJIDBI  
Diplomski rad**

Osijek, 2019.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Antonela Lončar, apsolvant  
Diplomski studij Mehanizacija

**PRIMJENA GIS-A I METODE IZRADE KARTE HRANIVA I N-SENZORI PRI  
GNOJIDBI  
Diplomski rad**

Osijek, 2019.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Antonela Lončar, apsolvent  
Diplomski studij Mehanizacija

**PRIMJENA GIS-A I METODE IZRADE KARTE HRANIVA I N-SENZORI PRI  
GNOJIDBI  
Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, predsjednik
2. prof. dr. sc. Mladen Jurišić, mentor
3. Dorijan Radočaj mag. ing. geod. et geoinf., član

Osijek, 2019.

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PREGLED LITERATURE.....	2
3. MATERIJAL I METODE.....	5
3.1. Prikupljanje podataka o poljoprivrednoj čestici (parceli) .....	6
3.2. Prikupljanje uzoraka tla za agrokemijsku analizu .....	9
3.3. Laboratorijska analiza uzoraka i interpretacija svojstava tla.....	10
3.4. Izrada karata gnojidbe.....	13
3.4.1. Besplatni GIS programi .....	16
3.5. Precizna raspodjela gnojiva u osnovnoj gnojidbi.....	17
3.6. Precizna raspodjela gnojiva u dopunskoj gnojidbi .....	22
4. REZULTATI .....	25
4.1. Ispitivanje normalne razdiobe uzoraka .....	26
4.2. Ispitivanje stacionarnosti uzoraka .....	29
5. RASPRAVA .....	39
6. ZAKLJUČAK .....	40
7. POPIS LITERATURE .....	41
8. SAŽETAK .....	44
9. SUMMARY .....	45
10. POPIS TABLICA .....	46
11. POPIS SLIKA .....	47
12. POPIS GRAFIKONA .....	49

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

BASIC DOCUMENTATION CARD

## 1. UVOD

GIS (geoinformacijski sustav, engl. *Geographic Information System*) pojavio se kada i ostali informacijski sustavi. GIS predstavlja skup povezanih objekata i aktivnosti koji svojim međuodnosima služe zajedničkoj namjeni (Jurišić i Plaščak, 2009.). Precizna poljoprivreda (engl. *Precision agriculture, Precision farming*) novijeg je datuma i ima višestruki značaj. Pod tim pojmom se razumijeva pravodobno obavljanje poljoprivrednih radova, visoka produktivnost i smanjen broj operacija (Jurišić i Plaščak 2009.). Precizna poljoprivreda ne bi bila moguća bez primjene GIS-a. Cilj precizne poljoprivrede prema istim autorima je približiti se svakoj biljci i stvoriti joj optimalne uvjete za rast i razvoj. Istovremeno se postiže i učinak smanjenja negativnog utjecaja na okoliš od prekomjerne primjene kemijskih sredstava za poticanje rasta ili suzbijanje štetnih organizama.. Osnovna pretpostavka precizne poljoprivrede je da što veći broj informacija bude na raspolaganju pri donošenja odluka.

Bažon, I. (2009.) navodi da prostorni informacijski sustav služi za prikupljanje prostornih podataka s opisnim podatcima. Upotrebom GPS-a i GIS-a omogućuje se precizno upravljanje velikog broja podataka o varijabilnosti u vremenu i prostoru. Za pravilno upravljanje gnojidbom bitno je imati točan uvid u stanje hraniva u tlu. Nadalje, navodi kako stalno praćenje, prvenstveno kemijskih promjena je bitno kako bi se postigla pravilna procjena ishranjenosti.

Gnojidba u preciznoj poljoprivredi je jedan od važnih čimbenika u poljoprivrednoj proizvodnji, jer kvalitetna gnojidba osigurava i stabilne prinose. Neadekvatna gnojidba ima za posljedicu prekomjernu upotrebu mineralnih gnojiva na poljoprivrednoj parceli i to na mjestima gdje nije potrebno gnojiti, a na mjestima gdje je potrebna gnojidba zbog klasičnog sustava gnojidbe, dolazi do deficita određenoga hraniva. Bez adekvatne gnojidbe nema visokih i stabilnih prinosa, potrebite kvalitete proizvoda, niti profitabilnosti. Većina strojeva novije generacije u sebi ima već ugrađene potrebne sustave koji se mogu lako koristiti, te su kompatibilni s drugim sustavima različitih proizvođača. Strojovima koji nemaju ugrađene sustave je lako ugraditi zamjenske i tako osigurati preciznost u poljoprivrednoj proizvodnji.

Cilj diplomskog rada je analizirati i interpretirati pojam precizne poljoprivrede, sve važnije tehničko tehnološke parametre pri suvremenoj gnojidbi te senzore koji se koriste u preciznim sustavima poljoprivredne proizvodnje. Za izradu karata gnojidbe korišteni su besplatni GIS softveri otvorenog koda kao alternativa skupim komercijalnim softverima.

## 2. PREGLED LITERATURE

Jurišić i Plaščak (2009.) su GIS opisali kao integrirani sustav sklopovlja, računalnih alata i korisničke programske podrške, a u svrhu prikupljanja, organiziranja, rukovanja, analize, modeliranja i prikaza prostornih podataka s ciljem rješavanja složenih problema analize i planiranja. U tom smislu GIS je računalni alat za kreiranje i analiziranje geografskih objekata, odnosno pojava i događaja u prostoru. Tehnologija GIS-a integrira zajedničke operacije baze podataka, kao što su pretraživanja i statističke analize, s vizualnim geografskim analizama temeljene na kartografskim prikazima (Pahernik M., 2006).

Precizna poljoprivreda temelji se na novorazvijenim informatiziranim strojnim sustavima programiranog eksploatacijskog potencijala, malom broju strojeva visoke pouzdanosti i visokim tehnološkim pomagalicama. (Jurišić i Plaščak, 2009.) Jedno od najvažnijih područja u kojima se primjenjuje precizna poljoprivreda jest upravljanje varijabilnošću svojstava tla, što je od iznimne važnosti za donošenje određenih odluka (Jurišić i sur., 2010.)

Houles i sur. (2007.) navode kako je glavni način za optimiziranje načina prihrane i agrotehničkih operacija primjena precizne poljoprivrede. Pristupom precizne poljoprivrede prepoznaju se razlike specifične lokacije na poljoprivrednom zemljištu te se poslovi upravljanja prilagođavaju u skladu s takvim raznolikostima.

Vukadinović i sur. (2011.) računalnim su modelom procjene pogodnosti za usjeve koji je podržan GIS-om izradili vizualizaciju poljoprivrednog prostora i predikciju njegovih proizvodnih svojstava pomoću koje je moguća detaljna analiza, planiranje i rajonizacija poljoprivredne proizvodnje.

Karlen i sur. (1997.) navode kako je plodnost tla „kapacitet za funkcioniranje“ te se može degradirati primjenom neodgovarajuće gnojidbe. Ubrzani razvoj informatičke tehnologije omogućio je više računalnih modela koji se uspješno koriste za vrednovanje zemljišta ovisno o njegovim svojstvima. Jedan od aspekata njihove primjene je i procjena mogućeg prinosa, opskrbe tla hranjivim tvarima i potrebe gnojidbe, utjecaja na okoliš, opasnosti od erozije kao i procjena obradivosti. Računalnim modelom moguće je procijeniti i posljedice nastale različitim načinima gospodarenja tlom (Rossiter, 1996. i Vukadinović i sur. 2008.)

Crneković M. (2015.) navodi kako kvalitetnom analizom i uzorkovanjem se postiže kvalitetna gnojidba, dok uz primjenu navigacijskih uređaja na visoko sofisticiranim strojevima i

uporabom karata potrebne gnojidbe postizemo preciznu gnojidbu. Plaščak, M. (2015.) u svom istraživanju utvrđuje kako je korištenje mehaničkog skenera elektroprovodljivosti korisno za kvalitetnije uzorkovanje, gnojidbu i obrađivanje poljoprivredne površine.

Prema Corwin i Lesch (2005a.) su pomoću električne vodljivosti prostorno okarakterizirali promjene fizikalno-kemijskih svojstava. Terenska mjerenja elektrovodljivosti tla su korištena za kartiranje prostornih varijacija nekoliko edafskih svojstva: slanosti tla, sadržaja gline ili dubine do glinom bogatih slojeva, sadržaj vode u tlu, debljinu poplavom deponiranog pijeska i količinu organske tvari. Osim toga terenski mjerena elektrovodljivost tla korištena je i za određivanje različitih antropogenih svojstva, navodnjavanje i odvodnju te obrasce zbijanja nastale uslijed poljoprivredne mehanizacije. Isprva se elektrovodljivost tla u poljoprivredi koristila kao sredstvo za mjerenje saliniteta tla. Njena je primjena znatno napredovala i postala naširoko prihvaćeno sredstvo za utvrđivanje prostorne varijabilnosti nekoliko fizikalno-kemijskih svojstava tla. Podatci o elektrovodljivosti tla su neprocjenjivi i omogućuju uspostavu prostornih podataka za procjenu kvalitete tla.

Prinos poljoprivredne kulture i njezina biomasa uvelike ovise o pravilnoj gnojidbi dušikom (Muñoz-Huerta i sur., 2013.). Konvencionalno ratarstvo tretira dušik temeljem pretpostavke da je poljoprivredno zemljište homogena površina. Poljoprivrednici obično pretjeruju s aplikacijom dušika kako bi bili sigurni da usjevi imaju dovoljno dušika za rast (Diacono i sur., 2013.). Međutim, takav način rada dovodi do pojačane pojave korova, zakašnjelog sazrijevanja i bolesti usjeva (Skjødt i sur., 2003.). Nekontrolirana gnojidba dušikom dovela je do povećane količine dušika u atmosferi, kao i u većini ekosustava na Zemlji (Deyan i Changchun, 2010.).

Temelj precizne gnojidbe je korištenje različitih metoda, vrsta i količine gnojiva ovisno o svojstvima vegetacije, tla i vremenskih uvjeta (Peng i sur., 1996.). Postupak precizne gnojidbe dušikom se svodi na detekciju varijabilnosti dušika u tlu i prilagođavanje gnojidbe kako bi se stvorila optimalna količina dušika za rast usjeva na cijeloj poljoprivrednoj čestici. Pritom primjena agrarne informacijske tehnologije (Jurišić i Plaščak, 2009.) znatno olakšava način dobivanja rezultata koji su ključni za izvršavanje precizne gnojidbe.

Omran (2012.) navodi kako se kartiranje tla može izvoditi pomoću metode utemeljene na znanju i metode utemeljene na podacima. Metoda konvencionalnog kartiranja tla utemeljenog na podacima okarakterizirana je kao previše kvalitativna. Navedene dvije metode mogu se kombinirati u mješoviti pristup. Prediktivno (digitalno) kartiranje tla ima za cilj prostorno



predviđanje svojstava tla kombinirajući prostorne podatke tla i podatke dobivene daljinskim istraživanjima.

Za precizno ratarstvo potrebne su točne karte s navedenim zemljišnim svojstvima, pri čemu klasične metode analize tla nisu od velike koristi. Grafičko organiziranje podataka o tlu najčešće se predstavlja zemljišnim kartama koje je moguće dobiti na više načina, uz geopozicioniranje u realnom vremenu uz pomoć satelita i GIS metoda (Jurišić i Plaščak, 2009.).

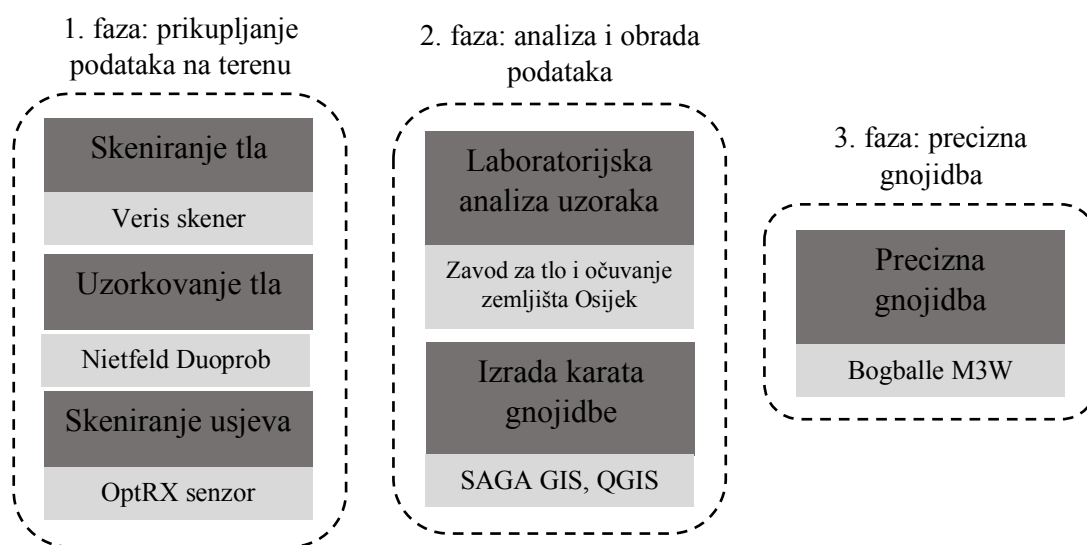
### 3. MATERIJAL I METODE

Racionalna, ekonomski isplativa primarna organska proizvodnja podrazumijeva primjenu gnojiva u količinama koje odgovaraju potrebama i stanju biljaka (usjeva, povrća, nasada), plodnosti tla, profitabilnosti rada i uloženi sredstava te istovremeno vodi računa o vremenskim uvjetima, okolišu i prinosu. Nakon što se donese odluka o primjeni precizne poljoprivrede i smanjenju troškova proizvodnje hrane uz ekološki utjecaj na prirodu i okoliš, prioritetna zadaća koja se nameće je provedba analize tla. Time se dobivaju korisne informacije o značajkama i najboljim svojstvima tla za proizvodnju te koliko se repromaterijala treba uložiti kako bi isto dalo najbolje rezultate.

Rast, razvitak i tvorbu prinosa uz dobru kvalitetu hrane osigurava tlo kao supstrat biljne ishrane i izvor većine od 16 neophodnih elemenata. To je vrlo kompleksan sustav koji čine kruta, tekuća, plinovita i živa faza od kojih svaka utječe na raspoloživost biljnih hranjiva. Uz to, tlo nije nipošto nepresušan resurs i ne osigurava prirodnim procesima dovoljnu količinu hranjiva za visoke prinose pa je potrebno gnojidbom vratiti urodom iznesene elemente ili na drugi način nadoknaditi izgubljena hranjiva za ishranu bilja (kemijska, biološka, fizička fiksacija, ispiranje, denitrifikacija i dr.). Prema tome, bez vraćanja elemenata ishrane u tlo, odnosno gnojidbe, tlo siromaši i prinos pada. Precizan proračun iznošenja i unošenja hraniva u tlo, praćenje visine prinosa i redovite analize tla mogu pomoći u planiranju i proračunu potrebne gnojidbe.

Preporuka gnojidbe mora imati za podlogu fizikalno-kemijske podatke analize tla, a izračun potrebne doze mora uvažavati profitabilnost, planirani, odnosno realno mogući prinos, specifične potrebe biljne vrste i potencijal plodnosti tla. Svaka improvizacija, uključujući subjektivnu vizualnu procjenu, najčešće rezultira smanjivanjem prinosa i kvalitete usjeva, odnosno zarade. U rješavanju ove problematike može se očekivati brz napredak samo uz primjenu računalne tehnologije, korištenjem interpretacijskih baza podataka o svim relevantnim svojstvima tla te bilanciranjem hraniva ovisno o različitim agroekološkim uvjetima proizvodnje. (Stracenski, 2015.)

Preciznu gnojidbu nije moguće obaviti bez uporabe različitih tehnoloških pomagala, niti ju je moguće obaviti bez kvalitetno prikupljenih podataka o tlu, stanju usjeva, prinosima, bolestima i povezanim faktorima. Prikupljene podatke je potrebno obraditi i ukomponirati te se nakon svih odrađenih radnji može pristupiti kvalitetnoj gnojidbi. Redoslijed radnji prilikom precizne gnojidbe prikazan je na slici 1.



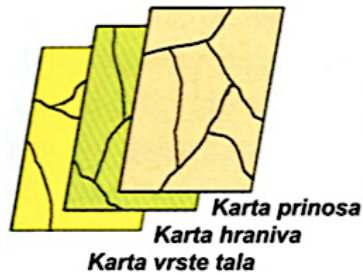
Slika 1. Redoslijed radnji u preciznoj gnojidbi

(Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

### 3.1. Prikupljanje podataka o poljoprivrednoj čestici (parceli)

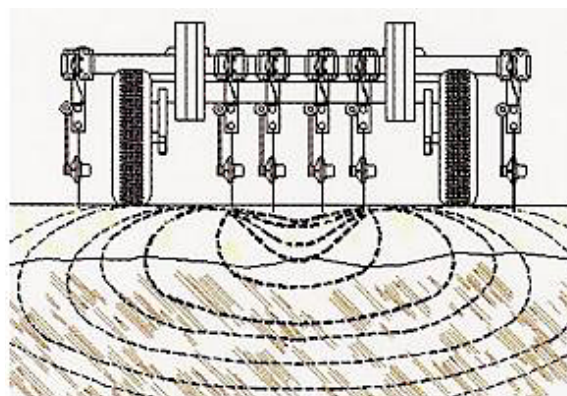
Jurišić i Plaščak (2009.) navode kako nove tehnike omogućuju upravljanje parcelama, raspoloživost hraniva i očekivanog prinosa. Precizna poljoprivreda služi ekonomskim i ekološkim poboljšanjima primjerice u uštedi radnih sredstava, uštedi strojeva i radnog vremena, poboljšanju ostvarenja dobiti kroz veće prinose i poboljšanju kvalitete proizvoda te u smanjenju opterećenja okoliša. Za postizanje ovih ciljeva potrebna je opsežna obrada različitih informacija. Mnoštvo i raznolikost informacija specifičnih za parcele nadilazi dosadašnje znanje koje se temelji na iskustvu poljoprivrednika.

Svi dosadašnji pristupi kod precizne poljoprivrede pokazuju slijed u odnosu na postupke rada. U prvom koraku se prikupljaju informacije. Podatci (sirovi) koji proizlaze iz promatranja jednog obilježja odmah se obrade. Zatim se njihov informacijski sadržaj obradi prema saznanjima o uzgoju bilja. U trećem koraku dobiveni podaci se prenose do odgovarajućeg priključka. Mnogi strojevi nude mogućnost izravne dokumentacije provedenog postupka. Odgovarajuće korištenje informacija i vremenskih odnosa (između dobivanja informacija i postupka upravljanja) razlikuje principe precizne poljoprivrede (slika 2.) (Jurišić i Plaščak, 2009.)



Slika 2. Pristupi za korištenje podataka koji se odnose na prostor  
(Izvor: Jurišić i Plaščak, 2009)

Električna vodljivost (elektrovodljivost) je sposobnost materijala da provodi električnu struju i obično se izražava u milisiemensu po metru (mS/m). Alternativno, mjerenje električne vodljivosti može se izraziti i u decisiemensu po metru (dS /m). Elektrovodljivost tla je neizravna mjera koja dobro korelira s nekoliko fizičkih i kemijskih svojstva tla (Zimmer i sur., 2016.). Postoje dvije vrste senzora za mjerenje elektrovodljivosti tla: kontaktni i nekontaktni senzori. Kontaktni senzori moraju doći u kontakt s tlom kako bi očitali elektrovodljivost. Obično se koriste dva do tri para crtala-elektroda koja ulaze u tlo svega nekoliko centimetara. Jedan par provodi električnu struju u tlo dok ostali mjere pad napona među njima i na taj način izračunavaju elektrovodljivost. Kontaktni senzori obično mjere elektrovodljivost tla na dvije dubine: plitko (do 30 cm dubine) i duboko (do 91 cm dubine). Važno je povremeno provjeriti da su crtala-elektrode izolirana od metalnog okvira skenera te da su crtala-elektrode izolirana međusobno. (Zimmer i sur., 2016.)



Slika 3. Sustav mjerenja elektrovodljivosti tla kontaktnim sensorima  
(Izvor: LSU AgCenter Pub. 3185)

Georeferencirane mape elektrovodljivosti tla pokazuju teksturu i salinitet tla te služe za bolje određivanje mjesta uzorkovanja tla. Kartiranje se radi samo jednom, osim u slučajevima

značajnijeg pomicanja zemlje (npr. ravnanjem depresija na parceli). Za dobre rezultate skeniranja elektrovodljivosti od velike važnosti je trenutna vlažnost tla koja bi trebala biti minimalno oko 10 % iznad točke venuća. Ukoliko je vlažnost veća, očitavanja elektrovodljivosti će biti veća, ali će relativne vrijednosti između različitih vrsta čestica tla ostati konzistentne. U slučaju kiše za vrijeme skeniranja, odnosno značajno različitih stupnjeva vlažnosti na parceli te skeniranja navodnjavanih parcela, potrebno je napraviti odvojene zapise (karte) kako bi se podatci mogli kasnije normalizirati odnosno ujednačiti.



Slika 4. Skener elektrovodljivosti tla *Veris EC Surveyor 3150*  
(Izvor: Barač i sur., 2016.)



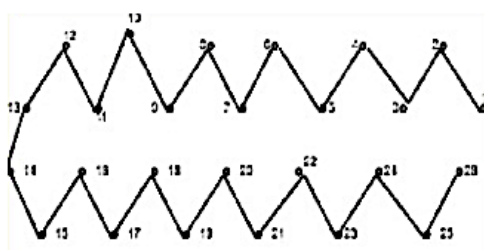
Slika 5. Oprema u traktoru za skeniranje elektrovodljivosti tla  
(Izvor: Stracenski, 2015.)

### 3.2. Prikupljanje uzoraka tla za agrokemijsku analizu

Analiza tla se zasniva na tome kako pojedini usjev reagira na gnojidbu sukladno količini raspoloživih hraniva u tlu pa dobra analiza ovisi o reprezentativnom uzorku. Uzorkovanje se mora temeljiti na varijacijama terena, topografiji parcele i tipu tla. U uzorcima se utvrđuje:

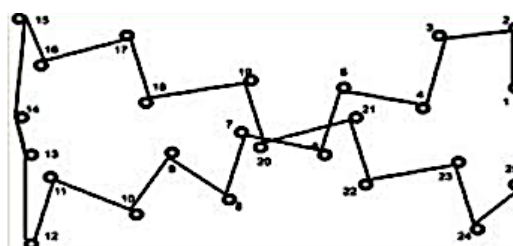
- sadržaj hraniva u tlu
- identificira se manjak ili višak pojedinog hraniva
- procjenjuje se reakcija usjeva/nasada na dodana hraniva
- temelji se plan gnojidbe
- procjenjuje se trenutna plodnost, odnosno zdravlje tla.

Uzorci se mogu uzimati na cijeloj parceli (slučajno ili nasumično, dijagonalno, Z-shema, mreža) ili na kontrolnoj parceli (reprezentativnoj i fiksno lociranoj) – *benchmark* uzorkovanje kada se predviđa višekratno uzimanje uzoraka radi utvrđivanja trenda (Grubeša 2014.).



Slika 6. Uzorkovanje tla po dijagonalnom rasporedu

(Izvor: [www.pinova.hr](http://www.pinova.hr))



Slika 7. Uzorkovanje tla po šahovskom rasporedu

(Izvor: [www.pinova.hr](http://www.pinova.hr))

Pri uzimanju uzoraka tla u traktoru mora biti povučena ručna kočnica, jer u suprotnom sonda neće funkcionirati. Na sondi se nalaze po dvije ladice za spremanje uzoraka, a sandom se upravlja daljinskim upravljačem koji ima mogućnost spremanja u jednu ili drugu ladicu. Sonda

neće u potpunosti obaviti svoju funkciju ukoliko traktor na koji se priključuje sonda nema klipove za stabiliziranje radi velikog otpora sonde pri bušenju u tlo. S gornje bočne desne strane nalazi se mjerni utor koji prikazuje dubinu prodiranja sonde u tlo te se pomoću njega određuje dubina uzimanja uzoraka tla (Barač i sur., 2016.).

Svaki uzorak označen je nazivom poslovnog subjekta, oznakom poljoprivredne površine i pripadajućim jedinstvenim brojem, radi lakše daljnje manipulacije u laboratoriju i povezivanja dobivenih laboratorijskih rezultata. U uzorcima se uvrđuje sadržaj hraniva u tlu, identificira manjak ili višak hraniva, procjenjuje reakcija usjeva na dodana hraniva i procjenjuje plodnost (Barač i sur., 2016.).



Slika 8. Uzimanje uzoraka tla sondom *Nietfeld* Duoprob

(Izvor: Barač i sur., 2016.)

### 3.3. Laboratorijska analiza uzoraka i interpretacija svojstava tla

Detaljna analiza tla obuhvaća niz parametara koji se upotrebljavaju radi smanjivanja rizika od mogućih pogreški koje mogu nastati prilikom gnojidbe. Određivanje optimalnog doziranja gnojiva, njegove vrste, vremena i načina primjene (gnojidbe) mora se temeljiti na znanstvenostručnim spoznajama o raspoloživosti i odnosima hraniva u tlu, fiziološkim potrebama biljke, ekonomičnosti proizvodnje te intenzitetu i smjeru utjecaja pojedinog agroekološkog činitelja.

Pod analizom tla podrazumijevaju se postupci uzorkovanja tala, njihova laboratorijska analiza te interpretacija rezultata. Točnije rečeno, analiza tla je skup više različitih kemijskih postupaka pomoću kojih se utvrđuje kolika je važnost razine elemenata u tlu i koja su njihova kemijska, fizikalna i biološka svojstva značajna za ishranu bilja, odnosno njegovo zdravlje.

Cilj i svrha analize tla je:

- odrediti rang (granične vrijednosti, indeks) raspoloživosti hraniva ili potrebu njegovog unošenja,
- predvidjeti povećanje prinosa i profitabilnost gnojidbe,
- osigurati temelj za proračun potrebne gnojidbe pojedinog usjeva i
- procijeniti status (opskrbe) pojedinog hranjivog elementa i utvrditi plan nadoknade.

Zapravo, analiza tla počiva na konceptu kako usjev reagira na gnojidbu sukladno količini raspoloživih hranjiva u tlu pa dobru analizu tla uvijek čine tri komponente:

- dobar, reprezentativni uzorak,
- odgovarajuća laboratorijska metoda kojom se može najtočnije utvrditi sadržaj raspoloživog hraniva i
- višegodišnji eksperimentalni rad na utvrđivanju korelacije između rezultata analize tla i potrebne količine nekog hraniva za usjeve pod određenim agroekološkim uvjetima.

Dobro izvješće agrokemijskog laboratorija o izvršenoj analizi tla mora sadržavati sljedeće podatke:

- podatke o parceli (mjestu uzorkovanja) kao što su lokacija, ime parcele, veličina, datum uzorkovanja, pretkultura, prethodna mineralna i organska gnojiva i sl.
- rezultate fizikalno-kemijskih analiza tla; osnovna analiza mora sadržavati rezultate o pH, sadržaju fosfora, kalija, kalcija, organske tvari i adsorpcijskom kompleksu, kao i rezultate analize drugih hraniva (mikroelementi,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  itd.), mehanički sastav, salinitet i sl.
- procjenu opskrbljenosti tla (uključujući napomene o manjku, suvišku ili drugim limitirajućim činiteljima).
- preporuku gnojidbe (potrebnu količinu pojedinih hranjivih elemenata i doze gnojiva) za pojedine usjeve i njihove planirane (ciljne) visine prinosa utemeljene na agroekološkim uvjetima proizvodnje (tip tla, primijenjena agrotehnika, predusjev i sl.) te ekonomskim promišljanjima.
- preporuku eventualno potrebne kalcizacije, humizacije ili primjene drugih kondicionera tla.
- opaske i dopunsku interpretaciju fizikalno-kemijskih analize



Interpretacija analize tla mora iskazati potrebe u hranivima te preporuku gnojidbe s obzirom na ekonomičnost, način aplikacije i dr. te sadržavati:

- definiciju raspoloživosti hraniva, opskrbljenosti tla i zadatak gnojidbe
- klasifikaciju raspoloživosti, granične vrijednosti ili rangove, odnosno skor funkcije
- preporuku za gnojidbu (obzirom na sustav biljne proizvodnje-konvecionalna, intenzivna, alternativna...)
- procjenu produktivnosti tla (bonitet, kvantifikacija produktivnosti tla).

U Centru za tlo Osijek provode se aktivnosti s ciljem zaštite poljoprivrednog zemljišta tj. Zaštite tala Republike Hrvatske kao strateškog resursa i značajne sastavnice okoliša, a sukladno Zakonu o poljoprivrednom zemljištu („Narodne novine“, br. 20/18), Zakonu o poljoprivredi (Narodne novine 30/15), Deklaraciji o zaštiti okoliša u Republici Hrvatskoj (Narodne novine 34/92), Nacionalnoj strategiji zaštite okoliša (Narodne novine 46/02) i dr.

Centar obavlja slijedeće poslove:

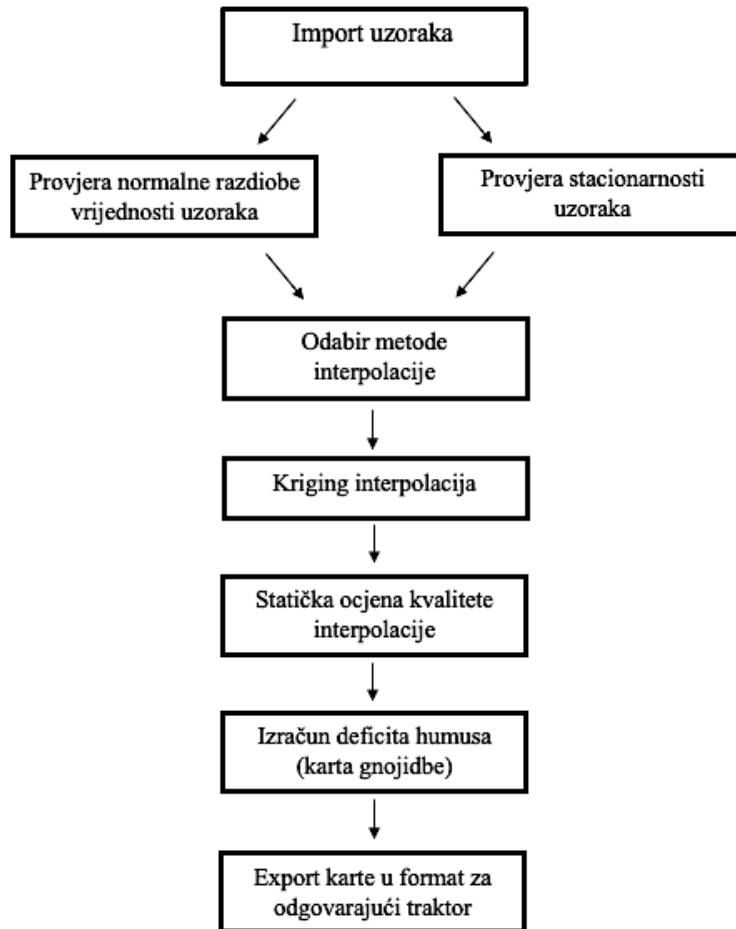
- utvrđivanje stanja oštećenja poljoprivrednog zemljišta,
- trajno praćenje stanja – monitoring – poljoprivrednog zemljišta kojim se trajno prati stanje svih promjena u poljoprivrednom zemljištu (fizikalnih, kemijskih i bioloških),
- vodi se informacijski sustav za zaštitu poljoprivrednog zemljišta,
- praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta kroz ispitivanje plodnosti tla i kontrolu provedbe praćenja stanja (na terenu i u laboratoriju) kao referentni laboratorij,
- vođenje evidencije godišnjih izvješća o primjeni propisanih agrotehničkih mjera,
- utvrđivanje osobito vrijednog obradivog (P1) i vrijednog obradivog (P2) poljoprivrednog zemljišta u slučaju bitnih promjena postojećeg stanja prostornih planova,
- istraživanja u području pedologije, zaštite tla i podzemne vode na poljoprivrednom zemljištu, analize tla, biljnog materijala, organskih gnojiva i poboljšivača tla, kemijska analiza vode za navodnjavanje.

Odjel za zaštitu poljoprivrednog zemljišta u sklopu poljoprivredne politike organizira i provodi poslove zemljišne politike radi zaštite poljoprivrednog zemljišta od oštećenja i ublažavanja prijetnji prema tlu sukladno Zakonu o poljoprivrednom zemljištu i propisima donesenim na temelju Zakona.

- Odjel za zaštitu poljoprivrednog zemljišta u sklopu poljoprivredne politike organizira i provodi poslove zemljišta politike radi zaštite poljoprivrednog zemljišta od oštećenja i ublažavanja prijetnji prema tlu sukladno Zakonu o poljoprivrednim zemljištu i propisima donesenim na temelju Zakona.
- Trajno praćenje stanja, monitoring poljoprivrednog zemljišta predstavlja trajno praćenje stanje svih promjena u poljoprivrednom zemljištu (fizikalnih, kemijskih i bioloških), a posebno sadržaja štetnih tvari u poljoprivrednom zemljištu, svih onečišćenja i oštećenja poljoprivrednog zemljišta.
- Praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta provodi se kroz ispitivanje plodnosti tla kojim se utvrđuje i prati stanje plodnosti tla i oštećenja tla sukladno načelima dobre poljoprivredne prakse u zaštiti tla i voda. (Zakon o poljoprivrednom zemljištu NN 20/18, 115/18.)

### **3.4. Izrada karata gnojidbe**

Kriging je interpolacijska metoda temeljena na ponovljenom izračunu težinskih koeficijenata i srednjih vrijednosti podataka („*weighted moving average*“), gdje težinski koeficijenti dodijeljeni kontrolnim točkama (podacima) minimiziraju varijancu procjene. Ta varijanca izračunata je kao funkcija variogramskog modela, relativnog razmještaja podataka i položaja točke (odnosno bloka) čija se vrijednost procjenjuje. Procjena krigingom temelji se na upotrebi postojećih (tzv. Kontrolne točke) čiji je utjecaj na procjenu izražen odgovarajućim težinskim koeficijentima. Procjena načinjena krigingom podrazumijeva da su zadovoljni određeni kriteriji. Prema njima procjena mora biti nepristrana te načinjena tako da je varijanca razlike između stvarnih i procjenjenih vrijednosti u odabranim točkama najmanja moguća. To se naziva još i varijanca kriginga. Obični kriging (engl. *Ordinary Kriging*) je tehnika kriginga u kojoj je pretpostavljeno da lokalna srednja vrijednost nije približna ili jednaka srednjoj vrijednosti ukupnog broja podataka. Pri procjeni upotrebljavaju se samo «bliski» uzorci unutar radijusa pretraživanja.



Slika 9. Metodologija izrade karata gnojidbe

(Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

Preduvjet za interpolaciju metodom kriginga je normalna razdioba i stacioniranost podataka. Stacionarnost je svojstvo slučajne varijable da ima jednako očekivanje i varijancu, bez obzira na promjenu broja uzoraka tijekom vremena. Variogram je vrijednost varijance (polovica kvadrata razlike) za par mjerenja koji je funkcija udaljenosti (ponekad i smjera) uzoraka. Obično su ispitani svi mogući parovi podataka te grupirani u razrede (korake), približno jednake udaljenosti i smjera. Variogrami osiguravaju sredinu ili kvantificiraju opaženu vezu koja jače povezuje bliže od udaljenih uzoraka. Metoda krosvalidacije je metoda procjene kvalitete uklanjanjem vrijednosti mjerene na određenom mjestu i određivanjem nove na istome mjestu, uzimajući u obzir preostale podatke. Nakon što se postupak krosvalidacije ponovi za sve lokacije, dobije se srednja kvadratna pogreška. Nedostatak ove metode je neosjetljivost na broj analiziranih lokacija.

Točne podatke o raspodjeli hraniva nude karte o raspodjeli hraniva (karte hraniva). Prikazuju sadržaj hranjiva koja su raspoloživa za biljke sa svojom raspodjelom na polju. Po pravilu se sva kemijska svojstva tla određuju pomoću rezultata laboratorijskih analiza. Osnova za to su uzorci tla koji su prethodno uzeti na različitim mjestima polja. Po pravilu se sva kemijska svojstva tla određuju pomoću rezultata laboratorijskih analiza. Osnova za to su svi uzorci tla koji su prethodno uzeti na različitim mjestima polja (Jurišić i Plaščak, 2009.). Po zakonu u zemljama članicama EU, ispitivanje raspoloživih količina hraniva u tlu je propisano. Primjerice, za kalij i fosfor interval ispitivanja je šest godina (za svaki slog oranice od 1 ha), odnosno 9 godina za livade. S tim je vezano optimiziranje prinosa i ušteda sredstava. Na shemi x. prikazana je karta raspodjele hraniva veličine pojedinih rastera 50x50 m (Jurišić i Plaščak, 2009.). Različite nijanse boja piksela odgovaraju različitom sadržaju kalija u tlu, koji je raspoloživ biljkama.

Određivanje relativne pogodnosti za usjeve i trajne nasade temelji se na različitim „težinama“ klimatskih i zemljišnih parametara ovisno o usjevu ili nasadu i njegovom tipu uzgoja, a obavlja se računalnim programom koji preuzima sve relevantne podatke iz baze podataka i iskazuje relativnu pogodnost tla (postotno). Na temelju proračuna za pojedinačne uzorke tla njihovom agregacijom mogu se izraditi karte relativne pogodnosti zemljišta za određenu namjenu izraženo postotkom pogodnosti ili na drugi način, npr. kao potrebna doza hraniva koja se daje gnojidbom, pH-KCl tla ili humus. Svi podaci prikupljeni na terenu i fizikalno-kemijske analize tla unose se u relacijsku bazu i pomoću posebnih modula unutar same baze izračunava se potreba u gnojidbi za usjeve, odnosno potreba melioracijske gnojidbe za zasnivanje trajnih nasada i drugim popravcima tla, kao što su kalcizacija, humizacija, fosfatizacija, kalcizacija i unos mikroelemenata. Također se daju savjeti za otklanjanje faktora ograničenja kao što su opasnost od mraza, nepovoljna ekspozicija i smjer sadnje. Podaci unutar baze, zajedno s rezultatima računalnog proračuna, čuvaju se u izlaznoj relacijskoj bazi implementiranoj u GIS, gdje zajedno s geografskim kartama, vizualizacijom podataka u prostoru i proračunima uz pomoć posebno kreiranih aplikacija predstavljaju interpretacijsku bazu pogodnosti tala.

Laboratorijska analiza tla prikazuje kemijska svojstva tla, odnosno sadržaj raspoloživog hraniva za biljku. Na osnovu te analize izrađuje se preporuka gnojidbe, pomoću računalnih programa.

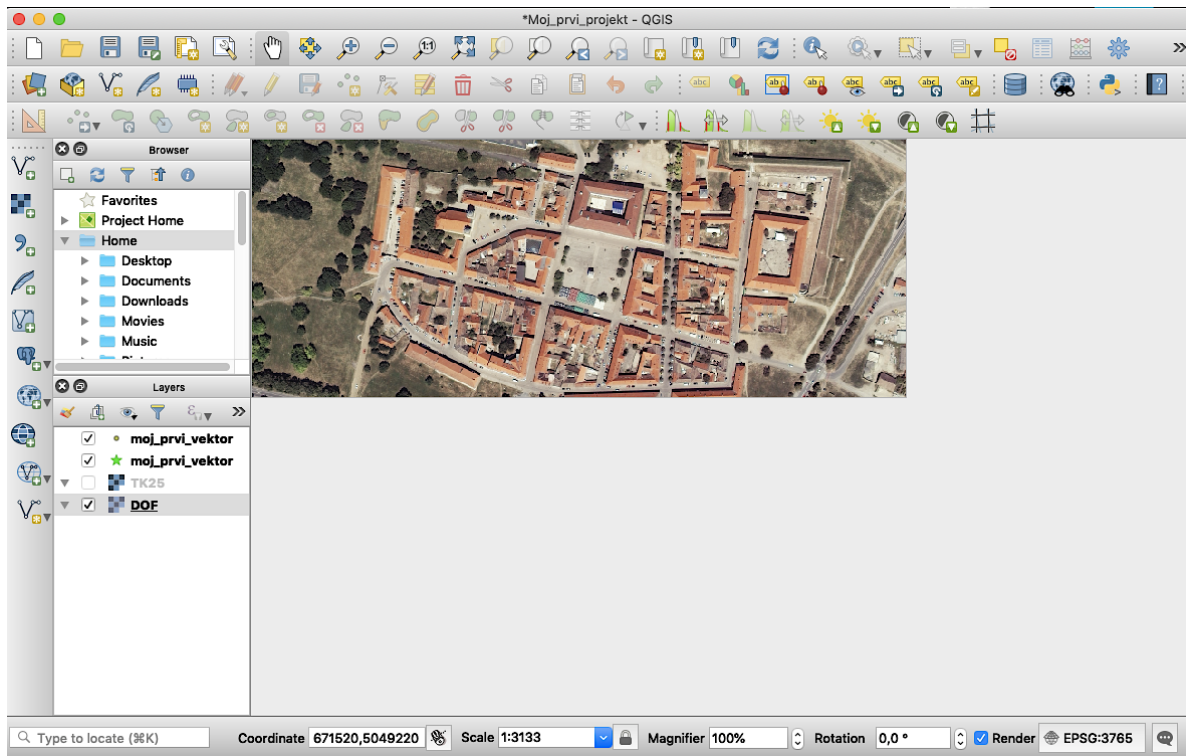
S obzirom na dobivene vrijednosti nakon provedene laboratorijske analize tla izrađena je karta raspodjele hraniva na temelju koje će se provesti gnojidba navedene parcele. Svaka improvizacija, uključujući subjektivnu vizualnu procjenu, najčešće rezultira smanjivanjem

prinosa i kvalitete usjeva te je stoga uporaba digitalne kartografije i sustava baze podataka o značajkama tla vrlo važna. Pored grafičkog prikaza opskrbljenosti parcele hranivom nalazi se numerički koji prikazuje sadržaj hraniva po pojedinoj boji, te minimalnu, maksimalnu i prosječnu količinu hraniva. Pored mape sa preporukom gnojidbe nalaze se numerički podaci o minimalnoj, maksimalnoj i prosječnoj količini gnojiva po hektaru te ukupnoj količini gnojiva potrebnoj za parcelu. Bitno je naglasiti da operator traktora ne mora gaziti cijelu površinu parcele jer unaprijed može vidjeti na koji dio parcele treba ići, čime se postiže znatna ušteda na vremenu i gorivu te se smanjuje zbijanje tla gaženjem budući da se aplikacija gnojiva provodi teškim traktorom i velikom prikolicom za raspodjelu.

### 3.4.1. Besplatni GIS programi

Jedan od glavnih razloga zašto se sve više ljudi bavi besplatnim *Open Source GIS Desktop* softverima je visoka cijena komercijalnih softvera (skupina softvera otvorenog koda). Općenito se GIS programi mogu podijeliti na dvije kategorije: slobodne i komercijalne, te će u nastavku biti opisani slobodni GIS programi sa kojima ćemo se ujedno i služiti. Slobodni GIS programi, koji su uglavnom otvorenog koda (eng. *open source software*), besplatni su za korištenje te se njihova struktura i rad može prilagoditi ovisno o potrebama korisnika (ukoliko su otvorenog koda). Obično ih razvijaju neprofitne organizacije, sveučilišta ili nezavisni stručnjaci. Zbog jednostavnosti i dostupnosti izuzetno su pogodni za obrazovanje, međutim mnogi od njih su i izuzetno kvalitetni i omogućuju izvršavanje vrlo zahtjevnih i kompleksnih GIS analiza i operacija. Najpoznatiji GIS programi otvorenog koda po učinkovitosti su uz bok najboljim komercijalnim programima, a neki od njih su *QGIS* i *SAGA GIS* (Deak, 2017.).

QGIS (prethodno Quantum GIS) je vodeći GIS program otvorenog koda u svijetu razvijen u okviru službenog projekta *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) zajednice (QGIS, 2017.). Korisničko sučelje QGIS-a je vrlo prilagođeno potrebama korisnika (eng. *use friendly*) i pruža mogućnost korištenja alata iz ostalih GIS programa otvorenog koda (npr. SAGA GIS, GRASS GIS), pa služi kao univerzalno sredstvo za izradu GIS analiza i kartografskih prikaza. Komponenta koja odvaja QGIS od ostalih programa su dodaci (eng. *plugins*), koji proširuju mogućnosti programa i omogućuju izvršavanje dodatnih operacija (Deak, 2017.).



Slika 10. Korisničko sučelje *QGIS* 3.2

(Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses) (Conrad i dr, 2015.) je GIS program otvorenog koda razvijen na sveučilištima u Göttingenu i Hamburgu. Omogućava izvršavanje velikog broja temeljnih i naprednih GIS operacija s naglaskom na geoznanstvenu analizu. Sadrži okruženje vrlo pogodno za napredne matematičke operacije nad podacima, pa tako i sadrži brojne ugrađene operacije za multikriterijalnu analizu, kao što je određivanje težina matricom usporedbe parova, standardizacija podataka *fuzzy* metodama i metoda poredanih težina (Deak, 2017.).

### 3.5. Precizna raspodjela gnojiva u osnovnoj gnojidbi

Precizna poljoprivreda temelji se na primjeni informatičkih tehnologija, satelitske navigacije, sofisticiranog monitoringa rada i mogućnosti prilagođavanja poljoprivrednih strojeva i kvalitetne analize uzoraka. Pomoću senzora može se utvrditi rastu li usjevi i razvijaju li se maksimalno učinkovito u konkretnim uvjetima, a mogu se i precizno definirati razlozi smanjene učinkovitosti. Prikupljene informacije koriste se za izradu karata koje pokazuju varijacije određenih promatranih elemenata poput prinosa, statusa plodnosti tla, stanja zakorovljenosti,

razvoja bolesti itd. Za primjenu varijabilne raspodjele mineralnog gnojiva u osnovnoj gnojidbi je potrebno imati odgovarajući software. Za primjer će biti dan *Integra* monitor, ali je gotovo jednak postupak primjenjiv svugdje.

Prvi korak u primjeni preporuke gnojidbe je izvoz zapisa s preporukom iz stolnog računala kao .irx zapis na USB stick te uvoz u *Integra* monitor u traktoru. Preko *Integre* kontrolira se rad rasipača gnojiva, vođenje traktora te se prikupljaju podaci u realnom vremenu (Stracenski 2015.).

Tehničke karakteristike monitora *Integra*:

- priključak za USB
- 28-pinski izlaz
- podrška za video kamere
- senzor osjetljiv na svjetlo
- veličina ekrana u boji 12,1"
- ekran rezolucije 1024x768 (16-bit)
- 4GB interne memorije
- podržava gotovo sve „NMEA“ GPS prijammike
- kontrola priključaka „directcommand-om“ te „seedcommand“ modulima koji koriste industrijsko CAN-bus sučelje
- podešavanje glasnoće zvučnika
- pogled mape u 3D
- pregled izvješća
- automatsko prepoznavanje polja
- napredna GPS dijagnostika



Slika 11. Kalibrator *Bogballe ZURF* i prikaz preporuke gnojidbe na monitoru *Integra*  
(Izvor: Stracenski, 2015.)

Kada traktor dođe na parcelu, operator na izborniku umjesto količine gnojiva odabire .irx zapis i uključuje autopilot. Na kraju prohoda traktorist mora ručno okrenuti traktor i ponovno uključiti autopilot koji ga uvodi u slijedeći prohod.



Slika 12. Prikaz prohoda traktora i rasipača na monitoru *Integra*  
(Izvor: Stracenski, 2015.)

Osnovna gnojidba obavlja se centrifugalnim rasipačem *Bogballe M3W* na radnu širinu od 24 metra. Na krovu traktora montirana je GPS satelitska antena (Slika 13.) koja je spojena na *Integra* monitor i pomoću besplatnog EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) signala daje preciznost od 30 cm, što je dovoljno za raspodjelu gnojiva.



Slika 13. GPS antena postavljena na krovu traktora  
(Izvor: Stracenski, 2015.)

Novoproizvedeni centrifugalni rasipači imaju u konstrukciji već ugrađenu preciznost poprečne i uzdužne raspodjele mineralnog gnojiva za ostvarivanje varijacijskog koeficijenta od 5 do 15



%, ali zbog velikog broja vanjskih uvjeta ovi rezultati prelaze brojku od 10 % (Tadić i sur., 2009.). Također, da bi preklapanje radnih zahvata i raspodjela mineralnog gnojiva bila optimalna, na svakom centrifugalnom rasipaču mora se podesiti radni zahvat (Banaj i sur., 1994.).

Rasipač *Bogballe* M3W opremljen je sustavom za vaganje i paralelnim nosačem s dvije ćelije za vaganje. Sustavom za vaganje mjeri se težina gnojiva 50 puta u sekundi, te se opažaju promjene u protoku gnojiva i namještaju zatvarači u toku vožnje. Maksimalni kapacitet lijevka iznosi 4000 litara. Široki lijevak idealan je za punjenje utovarivačima. Rasipač je također opremljen i upravljačkom jedinicom kalibrator *ZURF*, elektronskim upravljanjem bacanja gnojiva do granice, stražnjim svjetlima te zaštitnim i dodatnim limovima. Središnji kontrolni regulacijski sustav automatski podešava točku padanja gnojiva na rotirajuće diskove rasipače. Dvostruki zatvarači otvaraju se različitim brzinama i osiguravaju savršenu točku padanja gnojiva neovisno o promjeni brzine kretanja. Mala udaljenost između zatvarača i rotirajućih diskova omogućava precizan rad i na neravnim terenima. Ekscentrični mješač osigurava konstantan protok gnojiva, a samim tim i konstantno doziranje gnojiva. Za kvalitetnu raspodjelu bitne su i lopatice koje su svojstvene vrsti gnojiva i njegovim karakteristikama (slika 14.). Izrađene su od manganskog čelika zbog čega su iznimno izdržljive (Stracenski 2015.).



Slika 14. Lopatica za MAP na rasipaču *Bogballe* M3W  
(Izvor: Stracenski, 2015.)



Slika 15. Punjenje rasipača *Bogballe* M3W pretovarnom prikolicom  
(Izvor: Stracenski, 2015.)

*In-Centre* sustav se koristi prilikom normalnog raspodjeljivanja u polju; diskovi se okreću jedan prema drugome i raspodjeljuju gnojivo u 4 aplikacije. Na taj način postizemo “4-dupla pokrivanja” koje imaju za rezultat savršen uzorak raspodjeljivanja. *Off-Centre* sustav se koristi prilikom raspodjeljivanja na uvratini; diskovi se okreću jedan od drugoga i raspodjeljuju gnojivo u dva pojedinačna uzorka, odnosno na lijevu i desnu stranu. Ovaj sustav osigurava savršenu raspodjelu gnojiva do granice kao i unutar polja (Stracenski 2015.).

U radu prema preporuci, pri prelasku iz jedne gnojidbene zone u drugu, dolazi do autonomne i automatizirane promjene zadane količine gnojiva na kalibratoru *Bogballe ZURF*, bez ikakve intervencije vozača i u skladu s izvršnom datotekom za gnojidbu. Odstupanja ostvarenih od zadanih hektarskih količina iznimno su mala te su koeficijenti varijacije uglavnom ispod 10 %, što su pokazala i testiranja (Banaj i sur., 2010.). Ovakav način raspodjele ne mora nužno značiti smanjenje količine gnojiva, no zasigurno će doprinijeti dobivanju homogenijeg tla.



Slika 16. Precizna gnojidba rasipačem *Bogballe* M3W pogonjen traktorom *Fendt* 412  
(Izvor: Stracenski, 2015.)

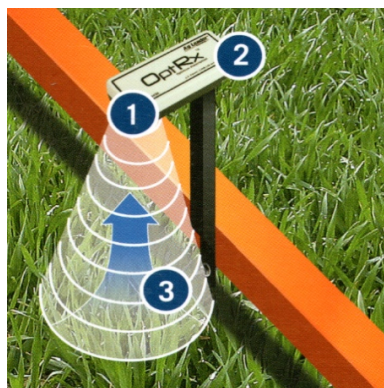
### 3.6. Precizna raspodjela gnojiva u dopunskoj gnojidbi

Za pravilno upravljanje gnojdbom potrebno je imati točan uvid u stanje hraniva u tlu. Postoje tri pristupa za određivanje stanja dušika u tlu i precizne gnojidbe: senzorski pristup, pristup temeljen na kartama i kombinacija navedenih. Senzorskim pristupom količina gnojiva koju je potrebno primijeniti utvrđuje se trenutno, uzimajući u obzir stanje žitarice, određeno sensorima postavljenim na traktor (Tremblay i sur., 2009).

Uz pomoć *OptRx* senzora moguće je raspodijeliti dušik na poljoprivrednu površinu. Znanje i tehnologija koja se je do sada koristila omogućavala nam je da dušik u vrijeme prihrane raspodjeljuje se u jednakoj dozi po čitavoj površini polja. *OptRx* sensor omogućuje slanje podataka preciznom rasipaču u realnom vremenu i preciznoj gnojidbi bez obrade podataka od strane korisnika.



Slika 17. *OptRx* senzor  
(Izvor: [www.findri.hr](http://www.findri.hr))



Slika 18. Princip rada *OptRx* senzora  
([www.findri.hr](http://www.findri.hr))

Senzor radi u infracrvenom dijelu spektra, a postavlja se na traktor ili na priključni stroj kojim provodimo raspodjelu gnojiva ili zaštitnog sredstva te cijelo vrijeme tokom kretanja traktora snima poljoprivrednu kulturu. Od biljke senzor prima reflektirani dio svjetla i na taj način detektira vegetacijske indekse (VI). Na osnovu VI očitavanja *OptRx* varira i određuje razinu dušika za ostvarenje maksimalnog uroda. Ovisno o intenzitetu boje biljke direktno komunicira s upravljačkom jedinicom raspodjeljivača gnojiva i tako mijenja dozu za aplikaciju. Na taj način određene zone polja dobiti će veću, neke manju količinu gnojiva pri čemu se želi dobiti ujednačena kvaliteta kulture na polju. Aplikacija može se odvijati u realnom vremenu, čime se postiže ušteda resursa. Prednost ovakvog pristupa je i zbog činjenice da količina dušika u tlu može imati visoku varijabilnost čak i u kratkom vremenskom roku (Huang i sur., 2007).



Slika 19. Skeniranje usjeva *OptRx* senzorom  
(Izvor: [www.findri.hr](http://www.findri.hr))

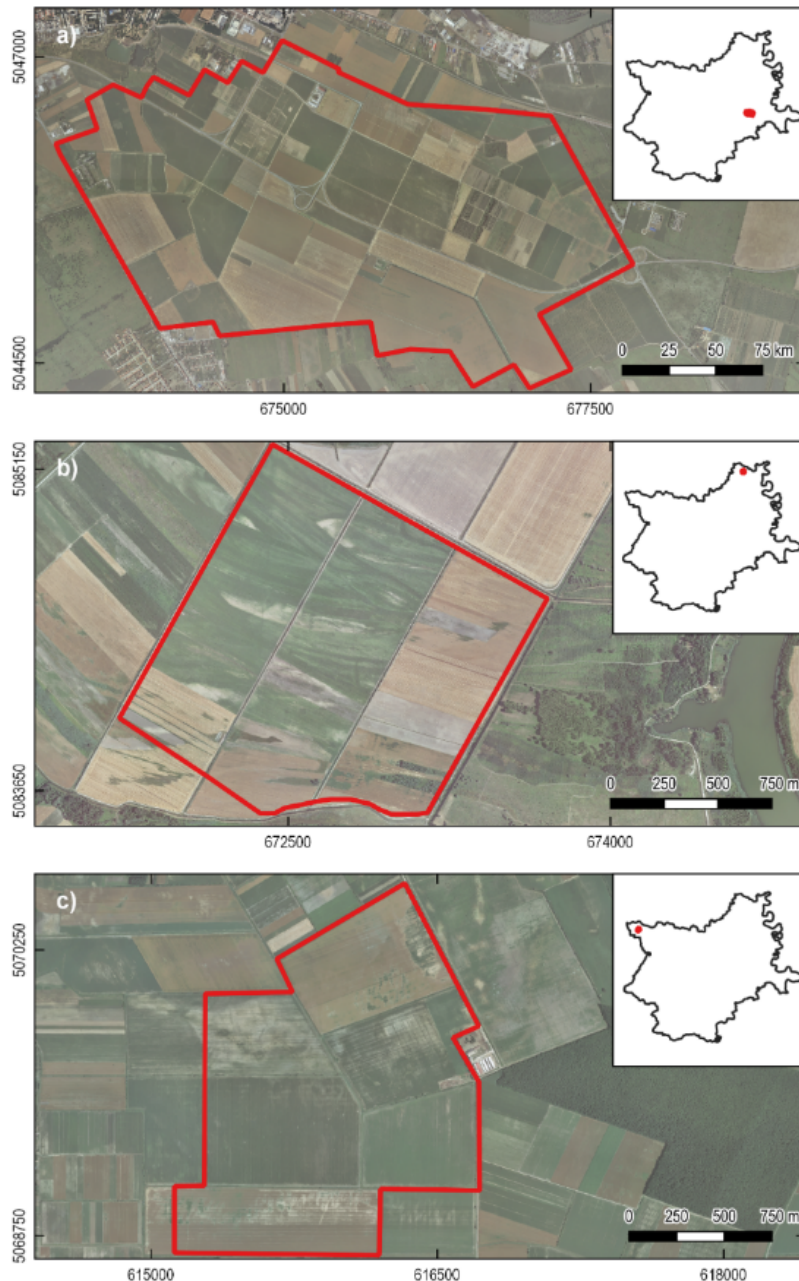
Pristup korištenjem karata temelji se na definiciji karata s propisanim količinama dušika po pojedinim zonama poljoprivrednog zemljišta, izrađenih temeljem naknadne obrade prostornih podataka prikupljenih na terenu. Vrijednosti očitane na senzoru dodjeljuju se koordinatama mjerenih točaka u polju, nad kojima se potom u GIS okruženju provodi interpolacija. Provedbom interpolacije, najčešće kriging metodom (Plaščak i sur., 2016), iz točkastih podataka aproksimiraju se vrijednosti udjela dušika u tlu unutar cijelog opažanog područja. Dobiveni raster služi kao osnova za izradu tematske karte gnojidbe dušikom. Postoje dvije glavne strategije za definiranje karata s propisanim sadržajem dušika. Po prvoj se pretpostavlja mogućnost neprekidnog, kontinuiranog podešavanja rasipanja dušika. Druga strategija sastoji se u prepoznavanju relativno homogenih površina unutar poljoprivrednog zemljišta na kojima su propisane količine gnojiva konstantne (Casa i Castrignanò, 2008). Druga je strategija

kompatibilna s opremom koja je dostupna većini poljoprivrednih gospodarstava, samim time i ekonomičnija za primjenu u većini slučajeva precizne gnojidbe dušikom. Rasipači kod precizne gnojidbe koriste podatke opažanja senzora kod oba pristupa, s razlikom u aplikaciji gnojiva u realnom vremenu kod senzorskog, odnosno naknadne gnojidbe kod pristupa korištenjem karata (Jurišić i sur., 2018).

Karte se izrađuju po principu izrade homogenih površina glede vrijednosti očitanih sa senzora na kojima su propisane količine gnojiva konstantne. Ovakav princip je posebno koristan kod poljoprivrednog zemljišta s manjom varijabilnosti dušika (Van Alphen i Stoorvogel, 2000).

#### **4. REZULTATI**

Područje istraživanja provedeno je na tri neovisne lokacije na području Osječko-baranjske županije sličnih karakteristika. Osječko-baranjska županija prostire se na površini od 4.155 km<sup>2</sup> i predstavlja jedno od najintenzivnijih područja poljoprivredne proizvodnje u Republici Hrvatskoj. Također je područje bogatih i kvalitetnih prirodnih resursa: zemljišta dobre plodnosti, klimatskih pogodnosti i obilja vodenih resursa. Gospodarstvo županije razvijeno je u kontekstu svojih prirodnih obilježja i položaja. Uz 260.000 ha poljoprivrednih površina tu je i preko 120.000 ha pod šumom što je rezultiralo razvojem poljoprivredne proizvodnje, kako biljne, tako i stočarske. U ARKOD, sustav evidencije zemljišnih parcela, upisano je preko milijun hektara obradivih površina koje obrađuje nešto više od 150.000 gospodarstava. Najviše površina upisanih u ARKOD bilježi Osječko-baranjska županija.

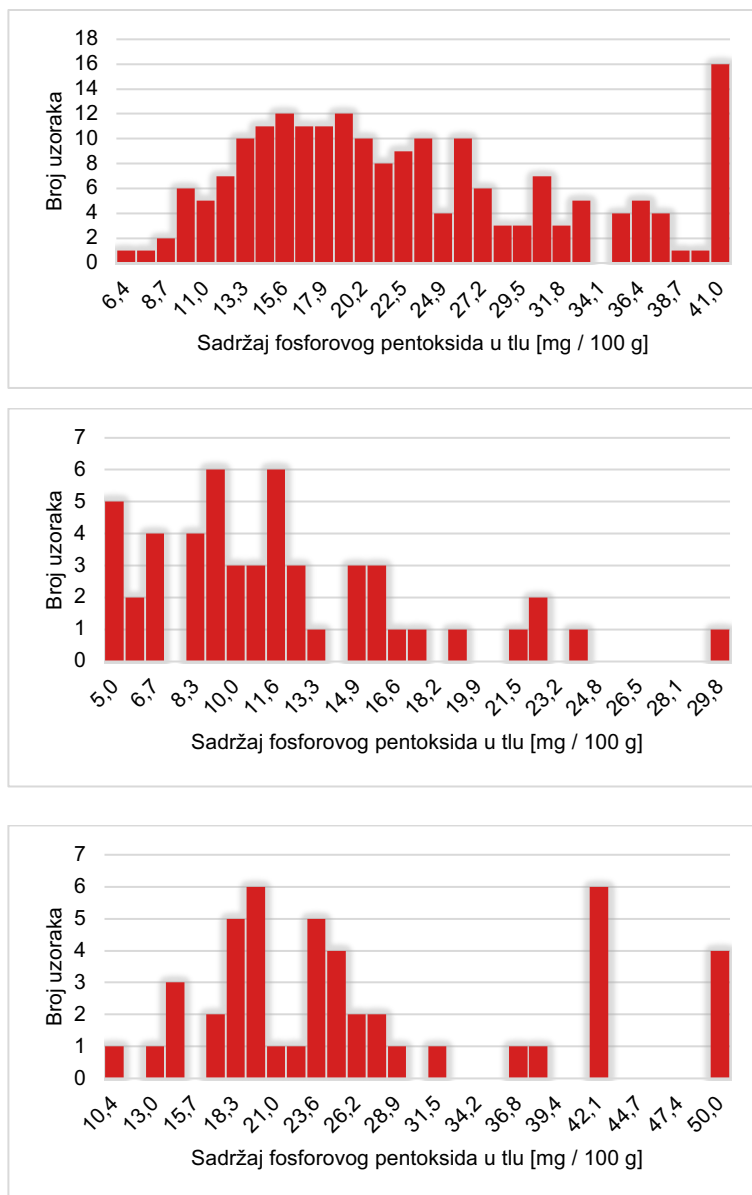


Slika 20. Područja istraživanja unutar Osječko-baranjske županije: a) područje 1, b) područje 2, c) područje 3

(Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

#### 4.1. Ispitivanje normalne razdiobe uzoraka

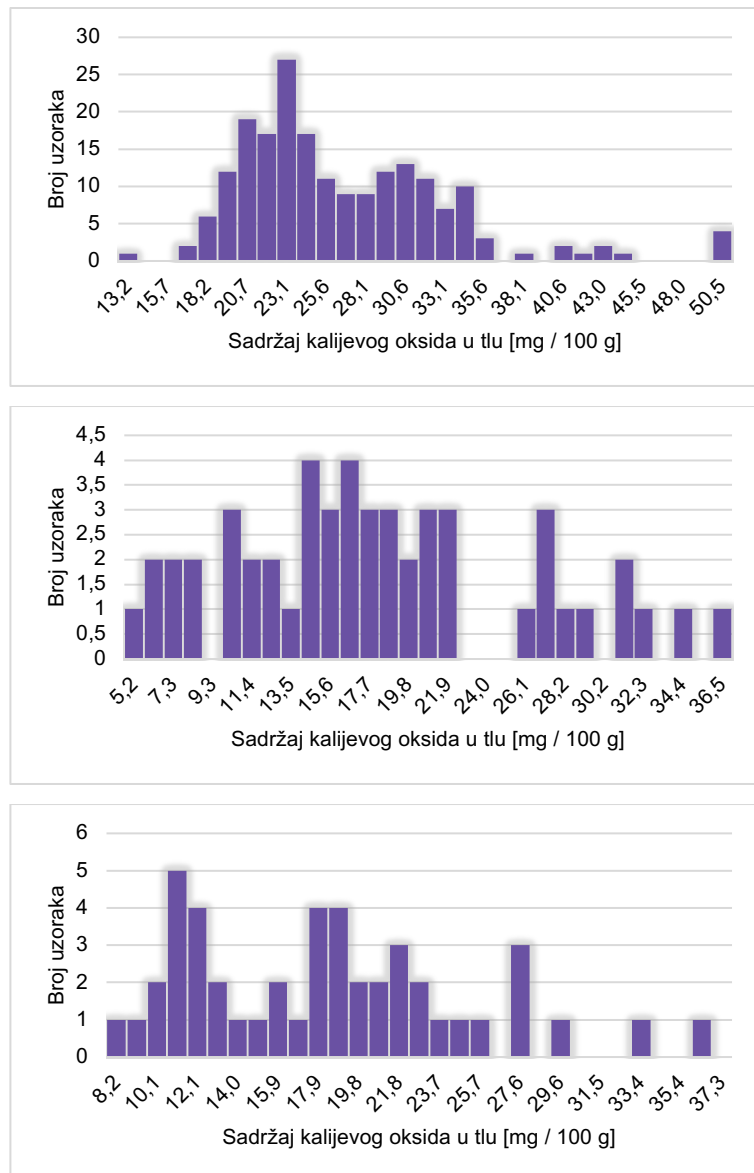
Temeljem *Shapiro-Wilk* testa utvrđeno je kako uzorci fosforovog pentoksida za područje 1, 2 i 3 nemaju normalnu razdiobu jer je vrijednost  $p$  manja od granične vrijednosti od 0,05 (Grafikon 1.). Vrijednosti testa za područje 1 iznose  $W = 0,9395$ ;  $p = 2,3 \cdot 10^{-7} < 0,05$ , za područje 2 iznose  $W = 0,8974$ ;  $p = 0,00035 < 0,05$ , a za područje 3 iznose  $W = 0,8813$ ;  $p = 0,00019 < 0,05$ .



Grafikon 1. Histogrami vrijednosti uzoraka fosforovog pentoksida za područja 1, 2 i 3  
(Izvor: Antonela Lončar, 2019)

Temeljem *Shapiro-Wilk* testa utvrđeno je kako uzorci kalijevog oksida za područje 1 i 3 nemaju normalnu razdiobu jer je vrijednost  $p$  manja od granične vrijednosti od 0,05, te je utvrđeno da uzorci kalijevog oksida u području 2 imaju normalnu razdiobu jer je vrijednost  $p$  veća od granične vrijednosti 0,05 (Grafikon 2.). Vrijednosti testa za područje 1 iznose  $W = 0,8977$ ;  $p = 2,1 \cdot 10^{-10} < 0,05$ , za područje 2 iznose  $W = 0,9615$ ;  $p = 0,09712 > 0,05$  (indicira normalnu razdiobu), a za područje 3 iznose  $W = 0,9382$ ;  $p = 0,01525 < 0,05$ .



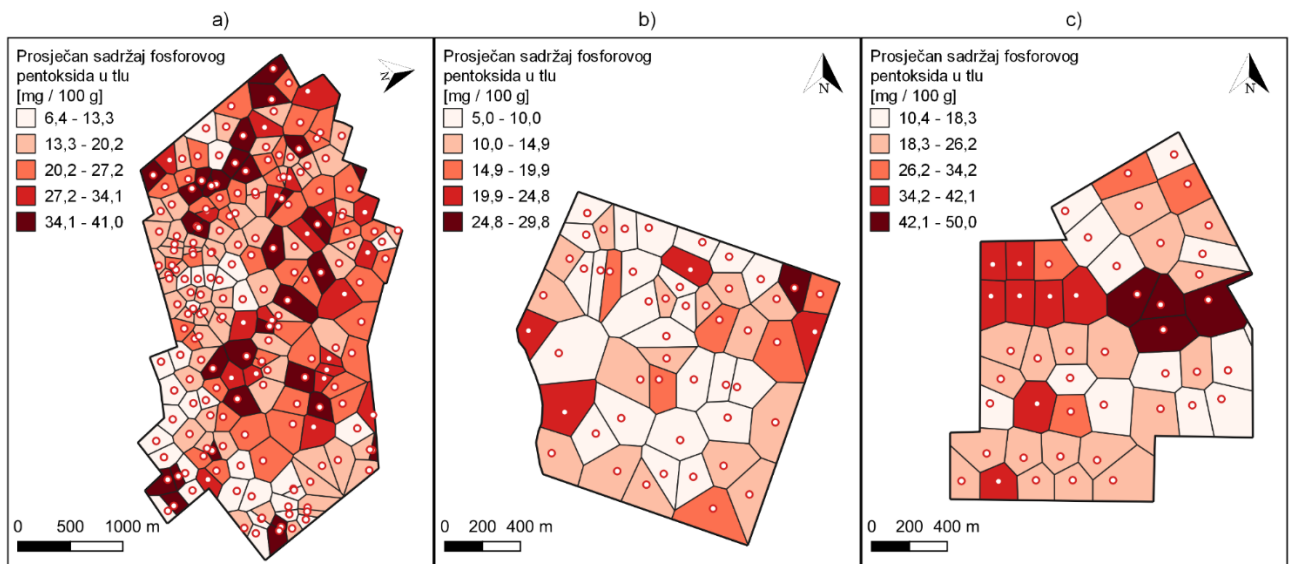


Grafikon 2. Histogrami vrijednosti uzoraka kalijevog oksida za područja 1, 2 i 3  
(Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

Obzirom da 5 od 6 ispitanih uzoraka nemaju normalnu razdiobu vrijednosti na temelju *Shapiro-Wilk* testa, u daljnu interpolaciju se ušlo s pretpostavkom da nad uzorcima treba provesti logaritamsku transformaciju kako bi njihove vrijednosti mogle ući u postupak kriginga.

## 4.2. Ispitivanje stacionarnosti uzoraka

Iz slike 21. su vidljive stacionarne vrijednosti fosforovog pentoksida u tlu što omogućava primjenu kriginga. To olakšava analizu tla i ubrzava proces dobivanja podataka kako bi se došlo do rezultata za daljnju gnojidbu tla. Na području a) je vidljiva veća varijabilnost stacionarnih vrijednosti s obzirom na druga dva područja. U središtu područja b) nalaze se poligoni srednjih vrijednosti, dok se oko njih nalaze poligoni najnižih vrijednosti s obzirom na rubove čestice. Na sjeveroistočnoj strani čestice nalaze se najviše stacionarne vrijednosti fosforovog pentoksida. Na području 3 postoje poligoni većih vrijednosti u odnosu na okolinu na istočnoj strani čestice. Unatoč tome, na ostatku područja postoji mala lokalna varijabilnost te je utvrđeno da su podaci stacionarni.



Slika 21. Područja ispitivanja stacionarnih vrijednosti fosforovog pentoksida

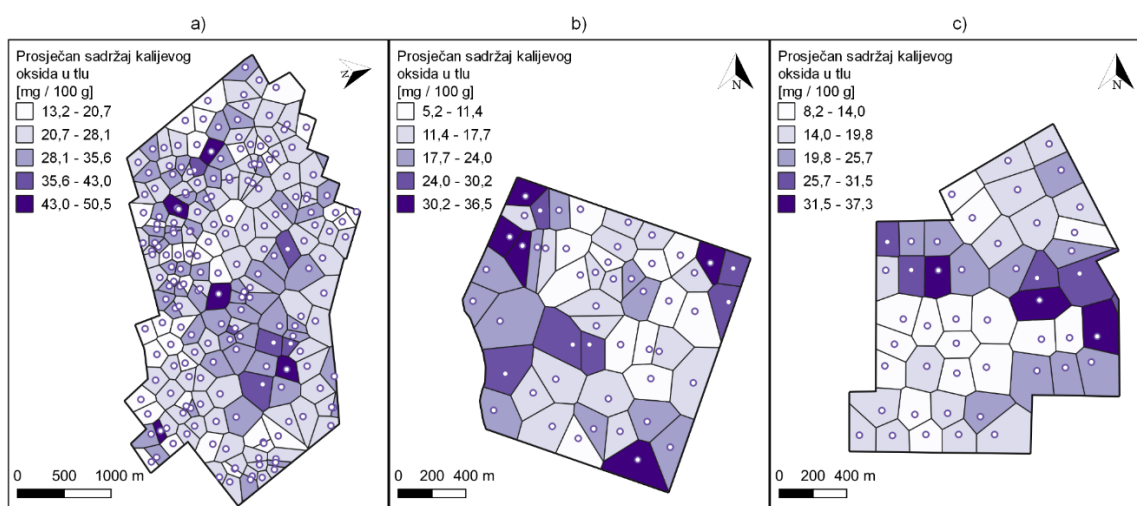
(Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

Područje 1 i područje 3 su sličnih aritmetičkih sredina, a područje 2 ima manje vrijednosti (Tablica 1.). Standardno odstupanje u području 2 je najniže, što je upola manje od standardnog odstupanja u području 3. Površina područja 1 je skoro četiri puta veća nego površina područja 2 i 3, te je na području 1 prikupljeno skoro četiri puta više uzoraka nego na području 2 i 3. Sva 3 uzorka se razlikuju po svojim osobinama, a metoda je razvijena da funkcioniра bez obzira na različitost podataka.

Tablica 1. Deskriptivna statistika ulaznih vrijednosti fosforovog pentoksida (Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

Fosforov pentoksid [mg / 100 g]	Područje 1	Područje 2	Područje 3
Broj uzoraka	198	51	47
Površina područja	816 ha	206 ha	214 ha
Površina po uzorku	4,12 ha	4,04 ha	4,55 ha
Aritmetička sredina	22,3	11,4	26,3
Medijan	20,3	10,7	22,8
Raspon vrijednosti	34,6	24,8	39,6
Standardno odstupanje	9,15	5,36	11,06
Koeficijent varijacije	41,1%	46,9%	42,1%

Iz slike 22. su vidljive stacionarne vrijednosti kalijevo oksida u tlu što također omogućava primjenu kriginga. Iz područja a) je vidljivo da na zapadnoj strani čestice su poligoni sa najmanji vrijednostima kalijevo oksida, dok su u sredini poligoni s najvećim vrijednostima. U području b) je vidljivo da su na zapadnoj strani poligoni većih stacionarnih vrijednosti u odnosu na poligone koji se nalaze u središtu čestice. U području c) dolazi do velike varijacije u vrijednostima kalijevo oksida s obzirom na prethodna dva područja.



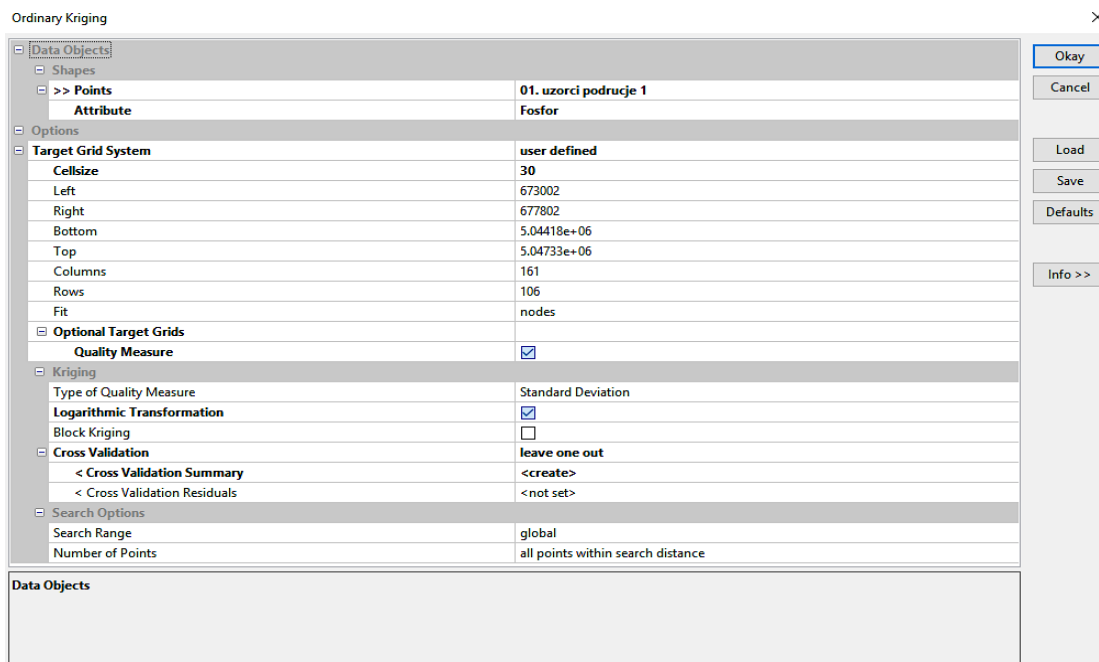
Slika 22. Područja ispitivanja stacionarnih vrijednosti kalijevo oksida (Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

Na području 1 prikupljeno je skoro četiri puta više uzoraka nego na području 2 i 3 (Tablica 2.). Na područjima 2 i 3 su izmjerene slične aritmetičke vrijednosti kalijevo oksida, dok su vrijednosti u području 1 veće.

Tablica 2. Deskriptivna statistika ulaznih vrijednosti kalijevog oksida (Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

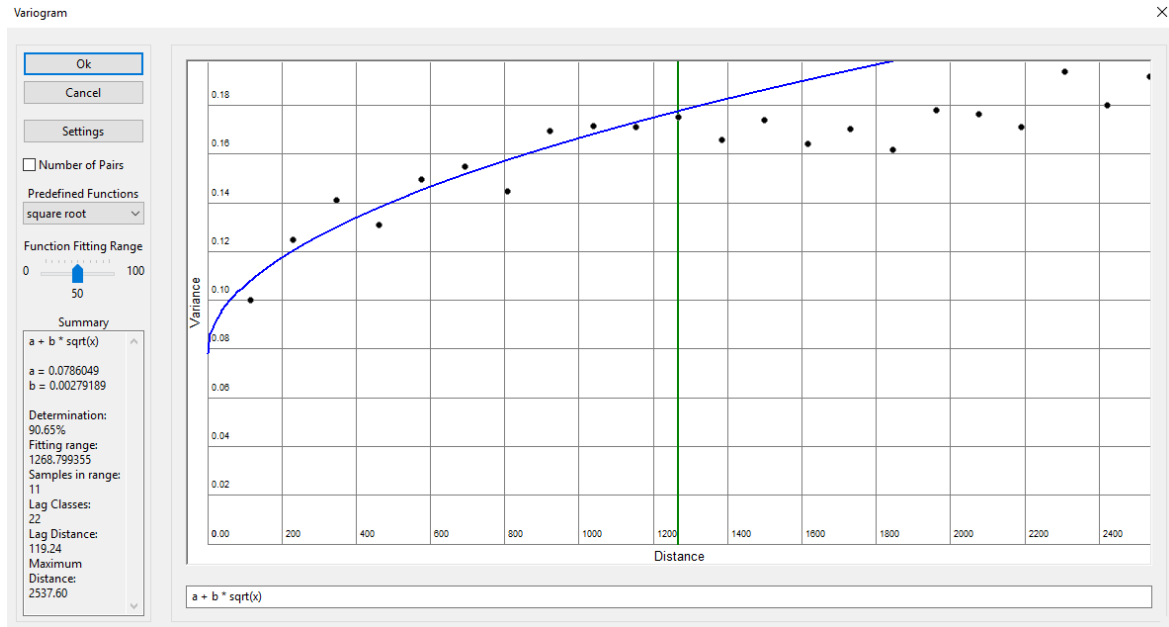
Kalijev oksid [mg / 100 g]	Područje 1	Područje 2	Područje 3
Broj uzoraka	198	51	47
Površina područja	816 ha	206 ha	214 ha
Površina po uzorku	4,12 ha	4,04 ha	4,55 ha
Aritmetička sredina	26,1	17,5	18,2
Medijan	24,0	16,5	17,6
Raspon vrijednosti	37,3	31,3	29,1
Standardno odstupanje	6,84	7,72	7,07
Koeficijent varijacije	26,2%	44,1%	38,8%

Slika 23. prikazuje definiranje parametara kriginga u *SAGA GIS* programu. Interpolacija je provedena s površinskom razlučivosti 30 m. Također je provedena logaritamska transformacija zbog nepostojanja normalne razdiobe podataka za gotovo sve ulazne parametre. Ocjena točnosti interpolacije provedena je metodom krosvalidacije (*leave-one-out* metodom).



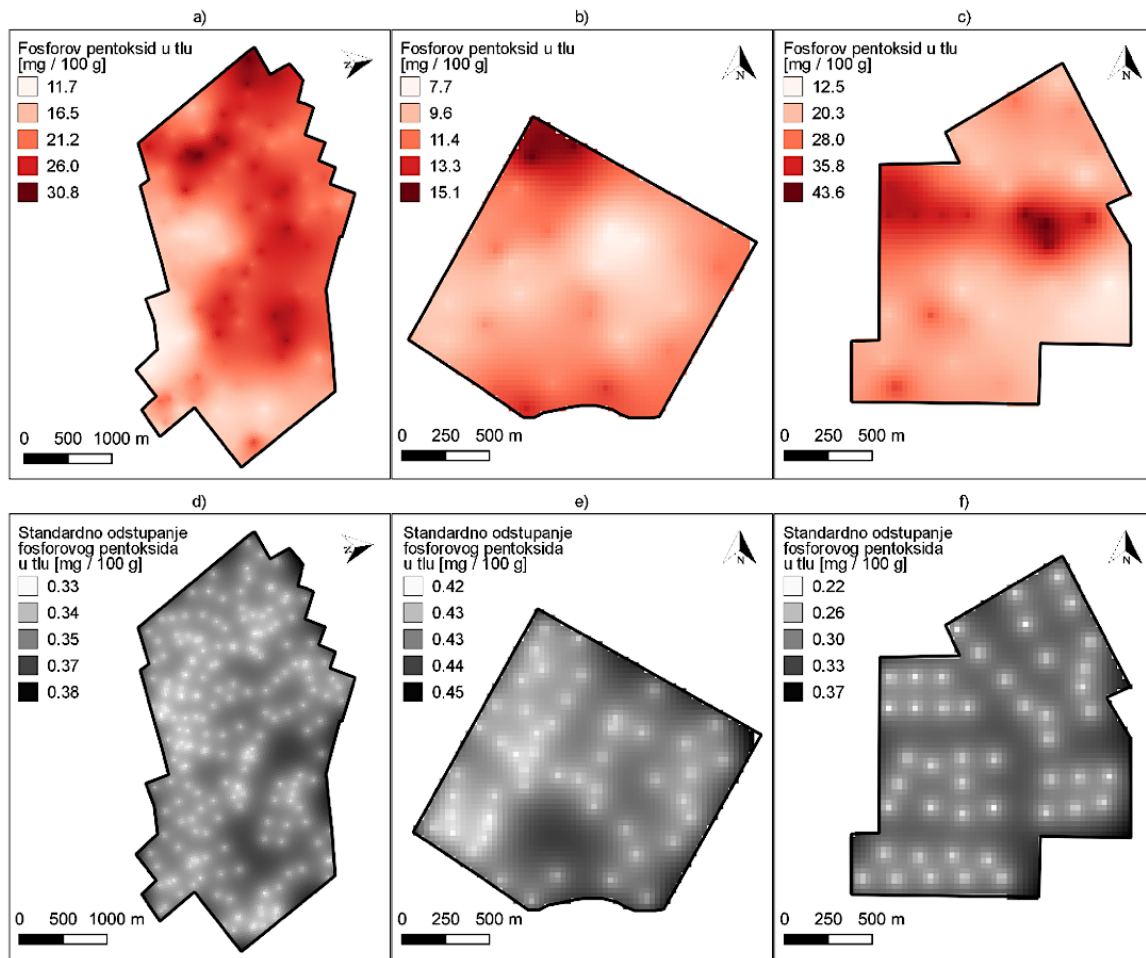
Slika 23. Parametri interpolacije metodom običnog kriginga za fosfor na području 1 u *SAGA GIS* programu (Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

Za interpolaciju je odabran matematički model kvadratnog korijena zbog najveće količine povezanosti s empirijskim variogramom (Slika 24.)



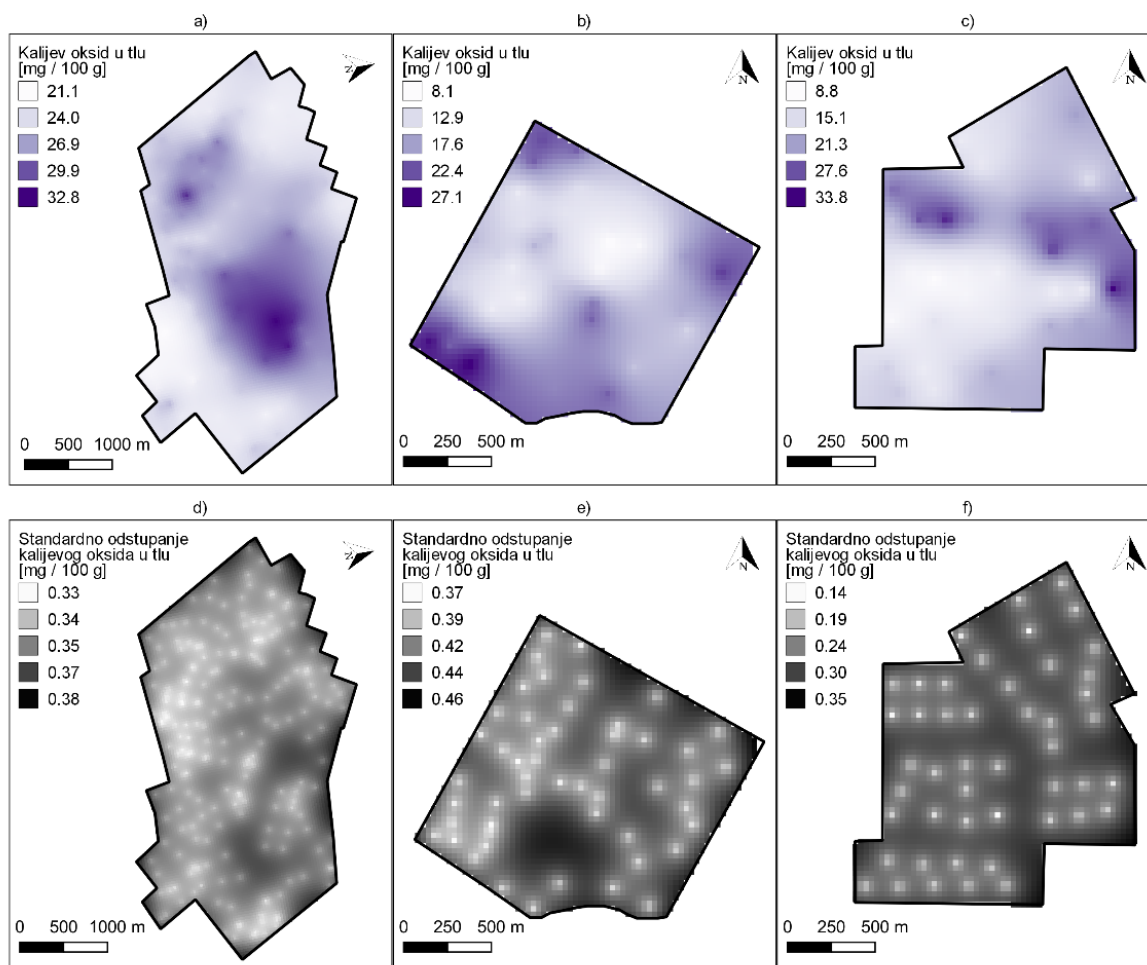
Slika 24. Variogram i matematički model kvadratnog korijena pri interpolaciji metodom običnog kriginga za fosfor na području 1 u SAGA GIS programu  
(Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

Standardna odstupanja interpoliranih vrijednosti fosforovog pentoksida u sva tri slučaja ukazuju da je najtočnije interpolirano područje u blizini uzoraka, dok ta točnost opada proporcionalno s udaljavanjem od uzoraka (Slika 25.). Najveće standardno odstupanje nalazi se na rubovima poljoprivrednih čestica.



Slika 25. Sadržaj P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> u tlu za: a) područje 1, b) područje 2, c) područje 3 te standardno odstupanje interpoliranih vrijednosti za: d) područje 1, e) područje 2, f) područje 3 (Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

Iz slike 26. za kalijev oksid na a) je vidljivo da su najveće interpolirane vrijednosti u središtu čestice, dok prema krajevima čestice te vrijednosti opadaju. Na slici b) najveće interpolirane vrijednosti su na rubovima čestice dok se prema središtu vrijednosti kalijevog oksida u tlu smanjuju. Na slici c) su prikazane jako male vrijednosti kalijevog oksida, te se one povećavaju samo u određenim točkama uzorka.



Slika 26. Sadržaj K<sub>2</sub>O u tlu za: a) područje 1, b) područje 2, c) područje 3 te standardno odstupanje interpoliranih vrijednosti za: d) područje 1, e) područje 2, f) područje 3 (Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

Vrijednosti prosjeka površine po uzorku ukazuje na ujednačenu količinu i ravnomjeran raspored uzoraka na sva tri područja istraživanja (metoda krosvalidacije). Statistički pokazatelji koji ukazuju na točnost interpolacije su srednja prosječna kvadratna vrijednost (RMSE, engl. *root mean square error*) i koeficijent determinacije ( $R^2$ ). Što je RMSE manji to su rezultati bolji, a što je  $R^2$  koeficijent veći to su rezultati bolji.

Utvrđeno je da navedeni statistički pokazatelji ne ukazuju na točnost interpolacije ujednačeno. Najmanji RMSE nalazi se na području 2 mjerenja fosforovog pentoksida, što ukazuje na najveću točnost interpolacije u tom području (Tablica 3.). Najveći koeficijent determinacije se nalazi u području 1 mjerenja fosforovog peroksida kao i kod područja 1 mjerenja kalijevog oksida, što ukazuje da su izmjereni rezultati u području 1 najtočniji.

Tablica 3. Statistički pokazatelji kvalitete interpolacije (Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

Oznaka područja	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O		
	RMSE	NRMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	NRMSE	R <sup>2</sup>
1	21,28	61,49	45,00	23,89	64,05	47,89
2	10,55	42,53	42,65	16,61	52,97	44,15
3	25,55	64,52	44,95	16,89	57,87	45,40

Tablice 4. i 5. iskazuju empirijski dobivene vrijednosti gnojidbe obzirom na postojeći sadržaj fosforovog pentoksida, odnosno kalijevog oksida u tlu. Preporuka gnojidbe i računanje uštede izračunati su obzirom na spomenute vrijednosti.

Tablica 4. Postojeći sadržaj P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> u tlu i potrebna količina gnojiva (Izvor: Agbase)

Stupanj sadržaja	Postojeći sadržaj P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> u tlu [mg / 100 g]	Potrebna količina gnojiva P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [kg / ha]
O (vrlo nisko)	< 5	240
A (nisko)	6 -10	180
B (srednje)	11 - 17	140
C (visoko)	18 – 25	90
D (vrlo visoko)	26 – 35	60
E (ekstremno visoko)	36 >	0

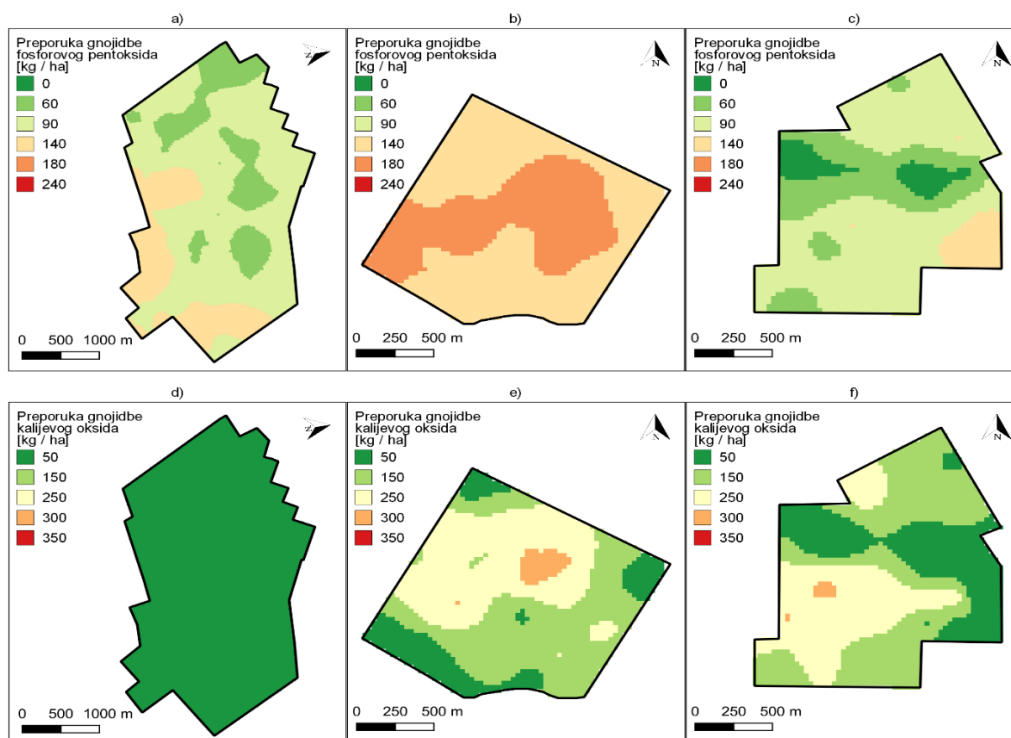
Tablica 5. Postojeći sadržaj K<sub>2</sub>O u tlu i potrebna količina gnojiva za pjeskovito-ilovasta tla (Izvor: AgBase)

Stupanj sadržaja	Postojeći sadržaj K <sub>2</sub> O u tlu [mg / 100 g]	Potrebna količina gnojiva K <sub>2</sub> O za pjeskovito-ilovasta tla [kg / ha]
A (nisko)	< 5	350
B (srednje)	6 -10	300
C (visoko)	11 – 15	250
D (vrlo visoko)	16 – 20	150
E (ekstremno visoko)	21 >	50

Na slici 27. prikazana je preporuka gnojidbe fosforovim pentoksidom na području a), b), c) te preporuka gnojidbe kalijevog oksida na području d), e), f). Iz područja a) vidljivo je da je na



smanjena koncentracija koju treba nadomjestiti većom gnojidbom na zapadnim i južnim dijelovima čestice dok na sjevernom dijelu čestice treba ići sa manjim apliciranjem gnojiva zbog veće zastupljenosti fosforovog pentoksida. Na slici b) prikazano je također područje gnojidbe gdje je koncentracija fosforovog pentoksida jako mala naročito od zapada prema središtu čestice. U tim dijelovima čestice je preporuka apliciranja gnojiva 180 kg/ha, dok su rubni dijelovi ostatka čestice veće zastupljenosti te je preporuka za gnojidbu na tome području 140 kg/ha. Slika c) prikazuje područje gdje prevladava manjak fosforovog pentoksida na rubnim dijelovima čestice, dok je na sjeverozapadu čestice prema sredini potreba za gnojidbom minimalna. Slika d) prikazuje područje gdje je potreba za kalijevim oksidom minimalna bez većih anomalija te je koncentracija tvari na toj čestici ujednačena u svim područjima uzimanja uzoraka. Čestice sa slike e) prikazuje velike varijacije gdje je zastupljenost fosforovog pentoksida na rubnim dijelovima visoka dok se prema središtu zastupljenosti smanjuje i potreba za gnojidbom postaje veća. Posljednja slika f) prikazuje česticu gdje su također velike anomalije i različite potrebe za aplikacijom kalijevog oksida u tlo. Na južnim dijelovima prema središtu čestice potreba za gnojidbom je najveća, a zatim se od središta prema sjeveru koncentracija tvari naglo povećava, a potreba za gnojidbom drastično smanjuje.



Slika 27. Preporuka gnojidbe fosforovog pentoksida na a), b), c) području i kalijevog oksida na području d), e), f)

(Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

Za područje 1, razlika između precizne i konvencionalne gnojidbe je 37.470 kg, što ukazuje na preveliku zasićenost hraniva uslijed primjene konvencionalne metode (Tablica 6.). Na području 2, vidljivo je da se konvencionalnom metodom aplicira manje gnojiva nego što je potrebno, što dovodi do neadekvatnih uvjeta za rast usjeva. Ako je razlika pozitivna to je ušteda, a ako je negativna, potrebno je aplicirati više nego konvencionalno. Za područje 3, 13.102 kg gnojiva bi se potrošilo ako bi se išlo konvencionalnom umjesto preciznom gnojidbom što ukazuje da bi nepotrebno bilo potrošeno preko 13 t gnojiva.

Tablica 6. Usporedba precizne i konvencionalne gnojidbe za fosforov pentoksid (Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

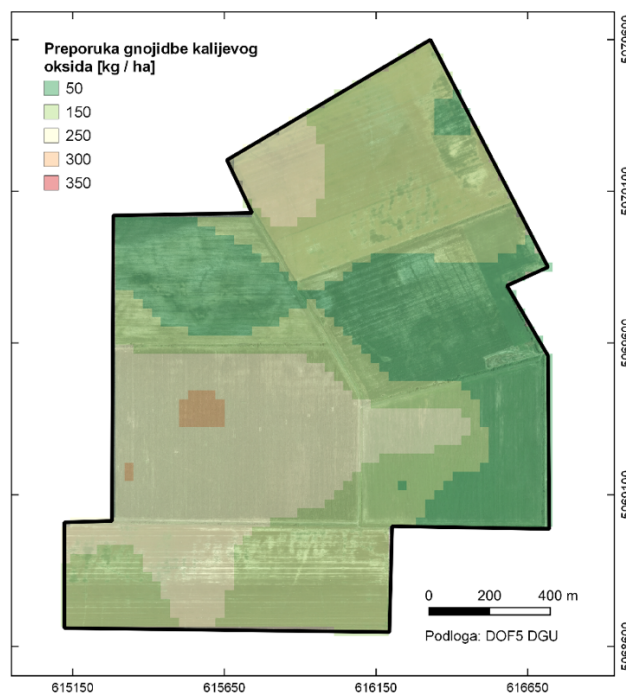
	Precizna gnojidba P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [kg / ha]						Konvencionaln a gnojidba P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [kg / ha]	Razlika [kg]
	0	60	90	140	180	240	140	
područje 1 [ha]	/	154,0	503,0	158,6	/	/	815,6	37.470
područje 2 [ha]	/	/	/	124,6	81,2	/	205,8	-3.248
područje 3 [ha]	16,7	53,8	129,2	14,4	/	/	214,1	13.102
<b>ukupno</b>	<b>16,7</b>	<b>207,8</b>	<b>632,2</b>	<b>297,6</b>	<b>81,2</b>	<b>/</b>	<b>1.235,5</b>	<b>47.324</b>

Iz tablice 7. je vidljivo da je u području 1 razlika između precizne i konvencionalne gnojidbe 203.900 kg, što ukazuje da bi se konvencionalnom gnojidbom prekomjerno zasitilo tlo kalijevim oksidom. Iz područja 2 i 3 je vidljivo da bi se konvencionalnom gnojidbom potrošilo 25-31 t više gnojiva, što dovodi do nepotrebnih troškova gospodarstva, ali i nepotrebnom zasićenja tla.

Tablica 7. Usporedba precizne i konvencionalne gnojidbe za kalijev oksid (Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

	Precizna gnojidba K <sub>2</sub> O [kg / ha]					Konvencionalna gnojidba K <sub>2</sub> O [kg / ha]	Razlika [kg]
	50	150	250	300	350	300	
područje 1 [ha]	815,6	/	/	/	/	815,6	203.900
područje 2 [ha]	34,1	86,5	78,5	6,7	/	205,8	25.425
područje 3 [ha]	58,7	89,1	64,5	1,8	/	214,1	31.265
<b>ukupno</b>	<b>908,4</b>	<b>175,6</b>	<b>143,0</b>	<b>8,5</b>	<b>/</b>	<b>1.235,5</b>	<b>260.590</b>

Izračunati podaci su izvezeni u rasterskim (GeoTIFF, ESRI ASCII Grid, SAGA GIS Binary Grid) i vektorskim formatima (ESRI Shapefile, KML) u svrhu kompatibilnosti sa što većim brojem modela traktora različitih proizvođača. Slika 26. prikazuje kartu preporuke gnojidbe na području 3 za kalijev oksid, kao jedan od mogućih izlaznih rezultata provedene metode.



Slika 28. Preporuka gnojidbe kalijevog oksida

(Izvor: Antonela Lončar, 2019.)

## 5. RASPRAVA

Precizna poljoprivrede se temelji na promatranju i selektivnoj obradi ili tretiranju površina unutar nekog polja. Također, temelji se na primjeni informatičkih tehnologija, sofisticiranog monitoringa rada, satelitske navigacije i mogućnosti prilagođavanja poljoprivrednih strojeva i kvalitetne analitike uzoraka. Opisana metodologija precizne gnojidbe dušikom donosi brojne prednosti u odnosu na konvencionalnu gnojidbu. Za razliku od konvencionalnog pristupa, u preciznoj gnojidbu aplikacija dušika je varijabilna i prilagođava se postojećoj količini dušika. Na taj način usjevi na cijelom poljoprivrednom zemljištu dobivaju optimalnu količinu dušika za rast. S obzirom da kod precizne gnojidbe u pravilu koristi manje dušika u odnosu na konvencionalne metode, ona dugoročno rezultira uštedom radnih sredstava i ljudskog rada te očuvanje okoliša.

Današnja poljoprivreda je sve više fokusirana na novim tehnologijama, sakupljanju i obradi podataka u svrhu ostvarivanja veće profitabilnosti i prinosa. Produktivnost je sve veća zbog uzimanja podataka s terena u stvarnom vremenu. Jednostavnije rečeno, svaki dio parcele je posebno analiziran kako bi se povećala efikasnost proizvodnje. Pojavom precizne poljoprivrede poboljšao se prinos i smanjio broj potencijalnih rizika za okoliš. Neki od razloga poboljšanja su: praćenje parametara tla pomoću senzora, dobivanje podatka u stvarnom vremenu, bolje informacije za odluke o upravljanju poljoprivrednom proizvodnjom, uštedi vremena i troškova, osigurava bolje podatke o poljoprivrednoj proizvodnji koje su bitne za prodaju, može se integrirati sa softverima za upravljanje poljoprivrednom proizvodnjom itd. Precizna poljoprivreda se temelji na primjeni informatičkih tehnologija, satelitske navigacije, sofisticiranog monitoringa rada i mogućnost prilagođavanja poljoprivrednih strojeva i kvalitetne analize uzoraka. Pomoću senzora utvrđeno je rastu li usjevi i razvijaju li se u konkretnim uvjetima, a mogu se i precizno definirati razlozi smanjene učinkovitosti. Učinkovita i isplativa gnojidba se ne može zamisliti bez stručnog znanja proizvođača te analize tla, odnosno gnojidbenih preporuka.

## 6. ZAKLJUČAK

Pravovremeno obavljanje poljoprivrednih radova uz visoku produktivnost, smanjen broj operacija te minimalnu cijenu rada jedan je od karakteristika precizne poljoprivrede. Sve je to moguće isključivo uz dostupnost velikog broja informacija pri donošenju odluka. Obradivanje različitih podataka temeljna je stavka precizne poljoprivrede. Načini prikupljanja te korištenje informacija, razlikuju principe precizne poljoprivrede.

Senzori su postali jedan od nezaobilaznih dijelova koji omogućavaju komunikaciju između radnog stroja i računala. U svakom novom, pa i starijem kvalitetnijem stroju nalazi se senzor. Senzori pretvaraju analogne signale u digitalne koje učitava i preračunava u računalo. Svakodnevnim razvojem senzora koji se primjenjuje u poljoprivredi poboljšavaju se i njihovi učinci u procesu proizvodnje. Isto tako smanjuje se cijena senzora pa postaju pristupačniji za upotrebu na širokom spektru poljoprivrednih površina.

Korištenjem besplatnih softvera otvorenog koda *SAGA GIS* i *QGIS* omogućeno je dobivanje rezultata kao i korištenje skupih komercijalnih softvera. Praktična GIS rješenja otvorenog koda postaju sve više prisutna u svakodnevnom radu u privatnim tvrtkama i javnim sektorima, što u konačnici dovodi do sve veće popularnosti i povećanog razvoja takvih proizvoda. Kreatori takvih sustava teže smanjuju kompleksnosti GIS sustava i njihovog korištenja te podatke i informacije krajnjim korisnicima teže je predstaviti u što relevantnijem obliku.

Precizna poljoprivreda pomaže poljoprivrednicima diljem svijeta kako bi se povećala učinkovitost. Poljoprivrednici koji učinkovito koriste informacije postići će veće prinose od onih koji to ne čine. Nove generacije poljoprivrednika svakako moraju biti u korak s vremenom. Upotreba tehnologije je obaveza u održivom gospodarenju budućnosti.

## 7. POPIS LITERATURE

1. Banaj, Đ. i sur. (2010.): Primjena GPS tehnologije pri raspodijeli mineralnih gnojiva, Poljoprivredni fakultet u Osijeku
2. Barač, Ž. i sur. (2016.) Gnojidba poljoprivrednih površina primjenom GIS-a i načela elektrovodljivosti tla, Agronomski glasnik: 2-3/2016.
3. Bažon, I. (2009.): Važnost kemijskih ispitivanja i biljnog tkiva u uzgoju vinove loze, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet u Zagrebu, Zagreb
4. Casa, R., Cavalieri, A., Lo Cascio, B. (2010.): Nitrogen fertilisation management in precision agriculture: a preliminary application example on maize.
5. Chen, C., Pan, J., Lam, S. K. (2014.): A review of precision fertilization research. *Environmental Earth Sciences*, 71(9), 4073-4080.
6. Corwin, D.L., Lesch, S.M. (2005a.): Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture, *Computers and Electronics in Agriculture* 46: 11-43.
7. Crneković, M. (2015.): Automatsko vođenje traktora, strojeva i uređaja u sustavu GIS-precizna poljoprivreda, Diplomski rad, Fakultet Agrobiotehničkih znanosti Osijeku, Osijek
8. Deak M. (2017.) Upotreba GIS-a u planiranju poljoprivredne proizvodnje- uzgoja lijeske, Diplomski rad, Fakultet Agrobitehničkih znanosti u Osijeku, Osijek
9. Deyan, L., Changchun, S. (2010.): Effects of inorganic nitrogen and phosphorus enrichment on the emission of N<sub>2</sub>O from a freshwater marsh soil in Northeast China. *Environmental Earth Sciences*, 60(4), 799-807.
10. Diacono, M., Rubino, P., Montemurro, F. (2013.): Precision nitrogen management of wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(1), 219-241.
11. Houles, V., Guerif, M., Mary, B. (2007.): Elaboration of a nitrogen nutrition indicator for winter wheat based on leaf area index and chlorophyll content for making nitrogen recommendations. *European Journal of Agronomy*, 27(1), 1-11.
12. Huang, B., Sun, W., Zhao, Y., Zhu, J., Yang, R., Zou, Z., ..., Su, J. (2007.): Temporal and spatial variability of soil organic matter and total nitrogen in an agricultural ecosystem as affected by farming practices. *Geoderma*, 139(3-4), 336-345.
13. Jurišić, M., Plaščak, I. (2009.): Geoinformacijski sustavi GIS u poljoprivredi i zaštiti okoliša. Poljoprivredni fakultet, Osijek.
14. Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E. (1997.): Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation, *Soil Science Society of America Journal* 61, str. 4-10.

15. Muñoz-Huerta, R., Guevara-Gonzalez, R., Contreras-Medina, L., Torres-Pacheco, I., Prado-Olivarez, J., Ocampo-Velazquez, R. (2013.): A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: advantages, disadvantages and recent advances. *sensors*, 13(8), 10823-10843.
16. Pahernik M., (2006.): Uvod u geografsko informacijske sustave, MORH, Zagreb
17. Peng, S., Garcia, F. V., Laza, R. C., Sanico, A. L., Visperas, R. M., Cassman, K. G. (1996.): Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. *Field Crops Research*, 47(2-3), 243-252.
18. Skjødtt, P., Hansen, P. M., Jørgensen, R. N. (2003.): Sensor based nitrogen fertilization increasing grain protein yield in winter wheat. *Risø Report*.
19. Stracenski S. (2015.): Automatsko vođenje poljoprivrednih strojeva te gnojidba šećerne repe u sustavu precizne poljoprivrede, Diplomski rad, Fakultet Agrobiotehničkih znanosti Osijek, Osijek
20. Tremblay, N., Wang, Z., Ma, B. L., Belec, C., Vigneault, P. (2009.): A comparison of crop data measured by two commercial sensors for variable-rate nitrogen application. *Precision Agriculture*, 10(2), 145.
21. Van Alphen, B. J., Stoorvogel, J. J. (2000.): A methodology for precision nitrogen fertilization in high-input farming systems. *Precision Agriculture*, 2(4), 319-332.
22. Vukadinović, V. Matković, B. Vukadinović, V., Đurđević, B., Semialjac, Z (2009.): Metodologija utvrđivanja pogodnosti za navodnavanje krških pola. Zbornik radova 44. Hrvatski i 4. Međunarodni simpozij agronoma, Opatija, Hrvatska, 16-20 February 2009, p. 33-34.
23. Zakon o poljoprivrednom zemljištu NN 20/18, 115/18. ([https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018\\_03\\_20\\_402.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_03_20_402.html)) 29.08.2019.
24. Zimmer, D., Jurišić, M., Plaščak, I., Barač, Ž. (2016.): Tehnički i tehnološki čimbenici gnojidbe primjenom GIS tehnologije u poljoprivredi. *Agronomski glasnik: Glasilo Hrvatskog agronomskog društva*, 78(1), 27-40.
25. Findri (2019.): Rasipači Bogballe. <http://findri.hr/> (10.09.2019.)
26. AgroBiz (2019.): Što je precizna poljoprivreda i kako se provodi? <https://www.agrobiz.hr/agrovijesti/sto-je-precizna-poljoprivreda-i-kako-se-provodi-830/> (21.08.2019.)
27. Agroklub (2019.) <https://www.agroklub.com/ratarstvo/koncept-i-strategija-suvremene-gnojidbe/15679/> (05.09.2019.)

28. Malvić, T. Riječnik osnovnih geostatičkih pojmova  
[http://geologija.hr/pdf/geomat/geomat\\_rjecnik.pdf](http://geologija.hr/pdf/geomat/geomat_rjecnik.pdf) (01.09.2019.)
29. Agroportal (2019.): Kako pravilno uzeti uzorak tla?  
<https://www.agroportal.hr/ratarstvo/1711> (25.08.2019.)
30. HAPIH (2019.) Hrvatska agencija za poljoprivredu i hranu <https://www.hapih.hr/>  
(10.09.2019.)



## 8. SAŽETAK

Glavni cilj precizne poljoprivrede je povećanje inputa na specifičnim mjestima kako bi se povećala učinkovitost i u konačnici prinos, povećati gospodarske i ekonomske prihode, smanjiti zagađenje okoliša, ušteda repromaterijala, rada ljudi i strojeva te ušteda u potrošnji energije. Također jedan od ciljeva je dati na raspolaganje što veći broj preciznih informacija poljoprivredniku pri donošenju odluka. Očuvanje okoliša je omogućeno racionalnom upotrebom gnojiva te posebnim tehnikama raspodjele te precizna gnojidba omogućava kvalitetniju raspodjelu hraniva u odnosu na konvencionalnu. Cilj diplomskog rada je analizirati i interpretirati pojam precizne poljoprivrede, sve važnije tehničko tehnološke parametre pri suvremenoj gnojidbi te senzore koji se koriste u sustavima poljoprivredne proizvodnje. Za izradu karta gnojidbe korištenu su besplatni GIS softveri otvorenog koda kao alternativa skupim komercijalnim softverima.

**Ključne riječi:** precizna poljoprivreda, gnojidba, izrada karte gnojidbe, GIS softveri

## 9. SUMMARY

The main goal of precision agriculture is to increase inputs at particular sites to increase efficiency and yield, increase economic income, reduce environmental pollution, save materials, people and machine labor and reduce energy consumption. Also, one of the goals is to provide as much information as possible to the farmer. Protection of the environment is made possible by the rational use of fertilizers and special distribution techniques, as well as precise fertilization which enables a better distribution of nutrients than conventional ones. The aim of this master's thesis is to analyze and interpret the concept of precision agriculture, the increasingly important technical and technological parameters in modern fertilization, and the sensors used in agricultural production systems. Free open source GIS software was used to create fertilizer maps as an alternative to expensive commercial software.

**Key words:** precision agriculture, fertilization, fertilization map, GIS software

## 10. POPIS TABLICA

Tablica 1. Deskriptivna statistika ulaznih vrijednosti fosforovog pentoksida.....	30
Tablica 2. Deskriptivna statistika ulaznih vrijednosti kalijevog oksida.....	31
Tablica 3. Statistički pokazatelji kvalitete interpolacije.....	35
Tablica 4. Postojeći sadržaj P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> u tlu i potrebna količina gnojiva .....	35
Tablica 5. Postojeći sadržaj K <sub>2</sub> O u tlu i potrebna količina gnojiva za pjeskovito-ilovasta tla	35
Tablica 6. Usporedba precizne i konvencionalne gnojidbe za fosforov pentoksid.....	37
Tablica 7. Usporedba precizne i konvencionalne gnojidbe za kalijev oksid.....	38

## 11. POPIS SLIKA

Slika 1. Redoslijed radnji u preciznoj gnojidbi.....	6
Slika 2. Pristupi za korištenje podataka koji se odnose na prostor .....	7
Slika 3. Sustav mjerenja elektrovodljivosti tla kontaktnim senzorima .....	7
Slika 4. Skener elektrovodljivosti tla <i>Veris EC Surveyor 3150</i> .....	8
Slika 5 Oprema u traktoru za skeniranje elektrovodljivosti tla .....	8
Slika 6. Uzorkovanje tla po dijagonalnom rasporedu .....	9
Slika 7. Uzorkovanje tla po šahovskom rasporedu .....	9
Slika 8. Uzimanje uzoraka tla sondom <i>Nietfeld Duoprob</i> .....	10
Slika 9. Metodologija izrade karata gnojidbe .....	14
Slika 10. Korisničko sučelje QGIS 3.2.....	17
Slika 11. Kalibrator <i>Bogballe ZURF</i> i prikaz preporuke gnojidbe na monitoru <i>Integra</i> .....	18
Slika 12. Prikaz prohoda traktora i rasipača na monitoru <i>Integra</i> .....	19
Slika 13. GPS antena postavljena na krov traktora.....	19
Slika 14. Lopatica za MAP na rasipaču <i>Bogballe M3W</i> .....	20
Slika 15. Punjenje rasipača <i>Bogballe M3W</i> pretovarnom prikolicom.....	21
Slika 16. Precizna gnojidba rasipačem <i>Bogballe M3W</i> pogonjen traktorom <i>Fendt 412</i> .....	21
Slika 17. <i>OptRx</i> senzor .....	22
Slika 18. Princip rada <i>OptRx</i> senzora.....	22
Slika 19. Skeniranje usjeva <i>OptRx</i> senzorom.....	23
Slika 20. Područja istraživanja unutar Osječko-baranjske županije: a) područje 1, b) područje 2, c) područje 3 .....	26
Slika 21. Područja ispitivanja stacionarnih vrijednosti fosforovog pentoksida.....	29
Slika 22. Područja ispitivanja stacionarnih vrijednosti kalijeveg oksida.....	30
Slika 23. Parametri interpolacije metodom običnog kriginga za fosfor na području 1 u <i>SAGA GIS</i> programu.....	31
Slika 24. Variogram i matematički model kvadratnog korijena pri interpolaciji metodom običnog kriginga za fosfor na području 1 u <i>SAGA GIS</i> programu.....	32
Slika 25. Sadržaj P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> u tlu za: a) područje 1, b) područje 2, c) područje 3 te standardno odstupanje interpoliranih vrijednosti za: d) područje 1, e) područje 2, f) područje 3.....	33
Slika 26. Sadržaj K <sub>2</sub> O u tlu za: a) područje 1, b) područje 2, c) područje 3 te standardno odstupanje interpoliranih vrijednosti za: d) područje 1, e) područje 2, f) područje 3.....	34

Slika 27. Preporuka gnojidbe fosforovog pentoksida na a), b), c) području i kalijevog oksida na području d), e), f) .....	36
Slika 28. Preporuka gnojidbe kalijevog oksida .....	38

## 12. POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Histogrami vrijednosti uzoraka fosforovog pentoksida za područja 1, 2 i 3 .....	27
Grafikon 2. Histogrami vrijednosti uzoraka kalijeveg oksida za područja 1, 2 i 3 .....	28

Primjena GIS-a i metode izrade karte hraniva i N-senzori pri gnojidbi

Antonela Lončar

**Sažetak:**

Glavni cilj precizne poljoprivrede je povećanje inputa na specifičnim mjestima kako bi se povećala učinkovitost i u konačnici prinos, povećati gospodarske i ekonomske prihode, smanjiti zagađenje okoliša, ušteda repromaterijala, rada ljudi i strojeva te ušteda u potrošnji energije. Također jedan od ciljeva je dati na raspolaganje što veći broj preciznih informacija poljoprivredniku pri donošenju odluka. Očuvanje okoliša je omogućeno racionalnom upotrebom gnojiva te posebnim tehnikama raspodjele te precizna gnojidba omogućava kvalitetniju raspodjelu hraniva u odnosu na konvencionalnu. Cilj diplomskog rada je analizirati i interpretirati pojam precizne poljoprivrede, sve važnije tehničko tehnološke parametre pri suvremenoj gnojidbi te senzore koji se koriste u sustavima poljoprivredne proizvodnje. Za izradu karata gnojidbe korištenu su besplatni GIS softveri otvorenog koda kao alternativa skupim komercijalnim softverima.

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

**Mentor:** prof. dr. sc. Mladen Jurišić

**Broj stranica:** 49

**Broj slika:** 30

**Broj tablica:** 7

**Broj literaturnih navoda:** 30

**Broj priloga:** 0

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** precizna poljoprivreda, gnojidba, izrada karte gnojidbe, GIS softveri

**Datum obrane:**

**Stručno provjerenstvo:**

1. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, predsjednik
2. prof. dr. sc. Mladen Jurišić, mentor
3. Dorijan Radočaj mag. ing. geod. et geoinf., član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

GIS application and methods in map creation and use of N-sensors in fertilization

Antonela Lončar

**Abstract:**

The main goal of precision agriculture is to increase inputs at particular sites to increase efficiency and ultimately yield, increase economic income, reduce environmental pollution, save materials, people and machine labor and reduce energy consumption. Also, one of the goals is to provide as much information as possible to the farmer. Protection of the environment is made possible by the rational use of fertilizers and special distribution techniques, as well as precise fertilization which enables a better distribution of nutrients than conventional ones. The aim of this master's thesis is to analyze and interpret the concept of precision agriculture, the increasingly important technical and technological parameters in modern fertilization, and the sensors used in agricultural production systems. Free open source GIS software was used to create fertilizer maps as an alternative to expensive commercial software.

**Thesis performed at:** Faculty of Agriculture in Osijek

**Mentor:** prof. dr. sc. Mladen Jurišić

**Number of pages:**49

**Number of figures:** 30

**Number of tables:** 7

**Number of references:** 30

**Number of appendices:** 0

**Original in:** Croatian

**Key words:** precision agriculture, fertilization, fertilization map, GIS software

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. izv. prof. dr. sc. Ivan Plaščak, president
2. prof. dr. sc. Mladen Jurišić, mentor
3. Dorijan Radočaj mag. ing. geod. et geoinf., member

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vladimira Preloga 1.