

# Procjena potrebe dušika primjenom Empirical Bayesian kriging metode na području Osječko-baranjske županije

---

Zovkić, Juro

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:151:345538>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-10**



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 U OSIJEKU

Juro Zovkić, absolvent

Diplomski studij Bilinogojstvo

**PROCJENA POTREBE DUŠIKA PRIMJENOM EMPIRICAL BAYESIAN  
KRIGING METODE NA PODRUČJU OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2019.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI U OSIJEKU

Juro Zovkić, absolvent

Diplomski studij Bilinogojstvo

**PROCJENA POTREBE DUŠIKA PRIMJENOM EMPIRICAL BAYESIAN  
KRIGING METODE NA PODRUČJU OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. Prof. dr. sc. Irena Jug, predsjednik
2. Izv. prof. dr. sc. Boris Đurđević, mentor
3. Prof. dr. sc. Danijel Jug, član

**Osijek, 2019.**

# Sadržaj

1. UVOD .....	1
1.1. Cilj diplomskog rada .....	2
2. PREGLED LITERATURE .....	3
2.1. Dušik .....	3
2.1.1. <i>Dušik u tlu</i> .....	3
2.1.2. <i>Deficit i suficit dušika u tlu</i> .....	3
2.1.3. <i>Ciklus dušika</i> .....	4
2.2. Važnost analize tla .....	8
2.3. Kriging i variografija.....	9
2.3.1. <i>Kriging</i> .....	9
2.3.2. <i>Variografija</i> .....	11
2.3.3. <i>Primjena kriginga i variografije</i> .....	15
3. MATERIJAL I METODE.....	17
3.1. Značajke ispitivanog područja .....	17
3.2. Uzorkovanje i kemijska analiza tla .....	19
3.3. Izračun doze dušika i statistička analiza podataka .....	21
3.4. Geostatistička analiza - Bayesian kriging .....	23
4. REZULTATI.....	26
4.1. Osnovne kemijske značajke istraživanog područja.....	26
4.2. Izračun doze dušika i geostatistička analiza.....	28
5. RASPRAVA .....	30
6. ZAKLJUČAK .....	33
7. POPIS LITERATURE .....	34
8. SAŽETAK .....	38
9. SUMMARY .....	39
10. POPIS TABLICA .....	40
11. POPIS SLIKA .....	41

## **POPIS KORIŠTENIH KRATICA**

*BLUE* – najbolji linearni nepristrani procjenitelji (engl. *best linear unbiased estimators*)

*REML* – najveća ograničena vjerodostojnost (engl. *restricted maximum likelihood*)

## 1. UVOD

Iako je dušik podrijetlom iz atmosfere gdje ga ima u izobilju, biljke ga najčešće usvajaju u mineralnom obliku te se stoga svrstava u grupu mineralnih elemenata. U poljoprivrednim tlima je ukupna količina dušika najčešće od 0,1 do 0,3 %, od čega je tijekom jedne vegetacijske sezone biljkama za ishranu dostupno svega 1 do 3 %, a usvajaju ga u nitratnom ( $\text{NO}_3^-$ ) i amonijačnom ( $\text{NH}_4^+$ ) oblik (Duraković i Redžepović, 2002; Vukadinović i Vukadinović, 2011). Također, dušik prolazi kroz niz kemijskih promjena i vrlo lako se ispire iz zone korijena te se tako nepovratno gubi i postaje ekološki problem. Upravo to ga čini ograničavajućim čimbenikom u biljnoj proizvodnji zbog čega poljoprivrednici često posežu za velikim količinama dušičnih mineralnih gnojiva kako bi nadoknadili njegov nedostatak. Često su unesene količine dušika disproporcionalne količinama dostupnim biljkama te se stoga takvo gospodaranje („*management*“) smatra lošim, neodrživim i ekološki neprihvatljivim, a količine unesenog dušika prekomjerne. Izrazito problematičan oblik dušika je nitratni jer nema sposobnost vezanja na adsorpcijski kompleks tla. Osim zagađenja podzemnih voda (Beeson i Cook, 2004; Burden, 1982; Wick i sur., 2012) primijećen je negativan utjecaj na površinske vode jer visoke koncentracije nitrata mogu dovesti do eutrofikacije (Savci, 2012). Također dušični spojevi u određenim količinama mogu biti izrazito štetni za čovjeka (Wolfe i Patz, 2002). Iako prekomjerni unos dušičnih gnojiva nije jedini krivac za prekomjerne količine nitrata unutar tla i voda, Nakić i sur. (2001.) navode kako su upravo poljoprivredne aktivnosti jedan od najčešćih uzroka onečišćenja podzemnih voda. Sve navedeno ponukalo je Europsku uniju na kreiranje „*Nitratne direktive*“ (91/676/EEC) kojom je ograničena koncentracija na maksimalno 50 mg  $\text{NO}_3^-/\text{L}$  za sve prirodne slatkovodne izvore, međutim i gotovo 30 godina kasnije mjerenja koncentracije nitrata u podzemnim vodama nerijetko iznose više od propisane granične vrijednosti. Zbog toga je nužno pratiti količine dušika unesenog u tlo, educirati poljoprivrednike o važnosti izrade i provođenja gnojidbenih preporuka u svrhu prevencije ekoloških onečišćenja te detektirati ranjiva područja.

## **1.1. Cilj diplomskog rada**

Cilj ovog diplomskog rada je na temelju uzoraka tala, primjenom napredne geostatističke metode Bayesian kriging procijeniti primijenjene doze dušika na području Osječko-baranjske županije te izdvojiti ranjiva područja.

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. Dušik

#### 2.1.1. *Dušik u tlu*

Dušik je kemijski element koji se u prirodi nalazi u sastavu mnogih spojeva u zraku, vodi i tlu. Unutar tla zastupljen je u organskom i anorganskom obliku. Organski dio čine humus te svježa organska tvar, odnosno nepotpuno razloženi biljni i životinjski ostatci. Anorganski, odnosno mineralni oblik dušika u tlu je predstavljen u obliku nitrata, nitrita, amonijaka i amida (Vukadinović i Vukadinović, 2011). U tlu se dušik u plinovitom obliku nalazi indirektno jer se u sastav tla često svrstava i prostor ispunjen zrakom koji može sadržavati plinoviti dušik. Budući da većina biljaka dušik ne može usvojiti u plinovitom obliku, kakav se u izobilju nalazi u atmosferi, za biljke je ključan mineralan oblik dušika koji se nalazi u tlu i vodi. U usporedbi s atmosferom, gdje zauzima 78,1 % volumena, u poljoprivrednim tlima je ukupna količina dušika najčešće od 0,1 do 0,3 %, od čega je tijekom jedne vegetacijske sezone biljkama za ishranu dostupno svega 1 do 3 % budući da biljke mogu usvojiti samo nitratni ( $\text{NO}_3^-$ ) i amonijačni ( $\text{NH}_4^+$ ) oblik dušika (Duraković i Redžepović, 2002; Vukadinović i Vukadinović, 2011). Iako je porijeklo dušika organsko, upravo zbog njegove važnosti u ishrani biljaka, u poljoprivredi se dušik svrstava u mineralne makroelemente. Kao razlog male količine dušika u tlu najčešće se navodi velika količina energije potrebna za prevođenje molekularnog oblika dušika do oblika u kojem ga biljke mogu usvojiti, dok je obratan proces, odnosno prevođenje mineralnog u molekularni oblik dušika izrazito lako pa se dušik vrlo lako gubi iz tla. Osim njegove male količine koja je dostupna biljkama, važnost dušika proizlazi i iz njegove svekolike uloge: sastavni je dio proteina, nukleinskih kiselina, fotosintetskih pigmenata, amina, amida i drugih dušičnih spojeva (Vukadinović i Vukadinović, 2011).

#### 2.1.2. *Deficit i suficit dušika u tlu*

Kako je dušik prinosotvorni element, a u tlu ga ima u ograničenim količinama i ne začuđuje činjenica da poljoprivrednici često posežu za gnojidbom dušikom kao optimalnom mjerom povećanja prinosa poljoprivrednih kultura. Deficit dušika u tlu je česta pojava, a neke simptome nedostatka dušika u tlu poljoprivrednici mogu i sami prepoznati.



Nedostaci dušika kod biljaka najčešće se očituju (Vukadinović i Vukadinović, 2011):

- reduciranim rastom vrha biljke i korijena,
- uspravnim i vretenastim rastom,
- blijedo, žuto-zelenim listovima u ranijim stadijima koji kasnije postaju žući, narančasti ili crveni i
- širenjem kloroze od vrha prema bazi lista, najčešće od donjih prema gornjim listovima.

Bez provedene analize tla ne bi se trebala primjenjivati dušična gnojiva budući da tlo vrlo brzo iz deficita može preći u suficit. Suficit dušika dovodi do raznih ekološki nepoželjnih pojava kao što su primjerice zagađenje podzemnih voda (Beeson i Cook, 2004; Burden, 1982; Wick i sur., 2012) i eutrofikacija (Savci, 2012). Prema Wolfe i Patz (2002.) takvo zagađenje može imati negativne zdravstvene posljedice za čovjeka budući da se kontaminira pitka voda, a različiti štetni spojevi kao što su nitrozamini mogu dospjeti i u povrće koje čovjek konzumira (Savci, 2012). Kako ne bi došlo do toga potrebna je educiranost o različitim oblicima dušika koji se nalaze u raznim dušičnim gnojivima te što se s njima zbiva u različitim uvjetima.

### 2.1.3. *Ciklus dušika*

Ciklus dušika je biogeokemijski ciklus u kojem se dušik transformira u razne kemijske spojeve kružeći kroz atmosferu, tlo i vodu.

U gotovo svim reakcijama ciklusa kruženja dušika sudjeluju mikroorganizmi (Duraković i Redžepović, 2002).

Kruženje dušika (slika 1.) sastoji se od niza odvojenih reakcija povezanih u ciklus (Duraković i Redžepović, 2002):

- fiksacija dušika,
- asimilacija dušika,
- amonifikacija,
- nitrifikacija i
- denitrifikacija.

Fiksacija dušika je proces vezivanja atmosferskog dušika u spojeve koje mogu koristiti biljke i mikroorganizmi. Fiksacija može biti abiotska, odnosno bez prisustva

mikroorganizama i biotska ili biološka. Abiotska podrazumijeva prirodan način vezanja dušika gdje dolazi do električnih pražnjenja u atmosferi što dovodi do stvaranja dušičnih oksida koji potom u vodenom talogu dospijevaju u tlo kao nitrati, te umjetna gdje se industrijskim putem proizvodi dušik, kao što je primjerice Haber-Boschovim postupkom (Deng i sur., 2018). U poljoprivredi je mnogo značajnija biološka fiksacija u kojoj određene vrste mikroorganizama vežu atmosferski dušik te ga reduciraju do amonijaka. Ovisno o tome gdje se u odnosu na biljku nalaze mikroorganizmi razaznajemo tri tipa biološke fiksacije dušika (Duraković i Redžepović, 2002):

1. asimbiozna – bakterije žive slobodno u tlu,
2. asocijativna – bakterije žive na površini korijena biljaka i
3. simbiozna - bakterije žive u zajednici s biljkama

Asimbioznu fiksaciju vrše razni predstavnici asimbioznih bakterijskih rodova *Azotobacter*, *Azomonas*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Clostridium* i *Klebsiela* te razne vrste cijanobakterija rodova *Anabaena* i *Nostoc*. Prema nekim procjenama, godišnje se može fiksirati i do 50 kg N/ha, a točna količina ovisi o vrsti asimbioznog mikroorganizma, pH, temperaturi, količini kisika, sadržaju organske tvari i vode te mineralnim oblicima dušika. Asocijativna fiksacija dušika predstavlja svojevrsan prijelaz između asimbiotske i simbiotske fiksacije dušika. Ovim putem može se fiksirati i veća količina dušika, čak do 130 kg N/ha, a količina ovisi o parametrima koji su istovjetni onima kod asimbiozne fiksacije. Najpoznatiji asocijativni fiksatori dušika su predstavnici rodova *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Derxia* i *Klebsiella*. Najvažniji oblik fiksacije dušika je simbiozni budući da se na taj način može vezati i više od 350 kg N/ha. Članovi simbioze su kvržične bakterije iz rodova *Rhizobium* i *Bradyrhizobium* te biljke, većinom iz porodice *Leguminosae*. Bakterije na korijenu leguminoznih biljaka stvaraju kvržice, takozvane nodule, unutar kojih se odvija redukcija plinovitog dušika do amonijaka pomoću enzima nitrogenaze (Duraković i Redžepović, 2002; Vukadinović i Vukadinović, 2011).

Amonifikacija je razgradnja organskih spojeva koji sadrže dušik uz izdvajanje amonijaka. Obično se provodi u dva koraka: degradacija i dezaminacija. Degradacija je hidrolitički proces razgrađivanja proteina i drugih organskih spojeva koji sadrže dušik do aminospojeva. Vrše ga mikroorganizmi pomoću ekstracelularnih enzima. Najprije na proteine djeluju proteaze koje razgrađuju proteine do peptida, a zatim nastale peptide do

aminokiselina prevode peptidaze. Drugi dio amonifikacije, dezaminacija, vrši se pomoću intracelularnih enzima koje se nazivaju dezaminaze. Mikroorganizmi unutar citoplazme prerađuju aminokiseline te ih transformiraju do amonijaka. Nastali amonijak, ovisno o potrebama mikroorganizama, završava u okolišu ili se koristi za izgradnju bioloških komponenti što ovisi o omjeru mase ugljika i dušika u nekoj sredini, tj. C:N odnosu. C:N odnos uži od 25:1 dovest će do oslobađanja amonijaka iz mikroorganizama, dok će omjer širi od 25:1 uvjetovati potrošnju cjelokupnog dušika na njihove sintetičke potrebe. Daljnja sudbina oslobođenog amonijaka također ovisi o potrebama mikroorganizama i njihovoj kompeticiji s višim biljkama, ali i o klimatskim uvjetima (Duraković i Redžepović, 2002; Vukadinović i Vukadinović, 2011).

Tako oslobođeni amonijak može biti (Vukadinović i Vukadinović, 2011):

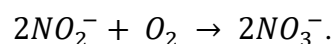
- ugrađen u proteine i dušične spojeve drugih mikroorganizama,
- usvojen od strane viših biljaka,
- adsorbiran ili fiksiran na adsorpcijski kompleks tla ili
- podvrgnut daljnjoj mineralizaciji.

U takvim slučajevima ne dolazi do gubitka amonijaka budući da se veže na kompleks tla ili je biološki imobiliziran u organizmima s relativno kratkim životnim vijekom. Razgradnju vrše različite bakterije, gljive i aktinomicete, a koliki će stupanj razgradnje biti ovisi o vrsti, rodu, ali i sastavu mikrobne zajednice. Najčešći predstavnici bakterija su oni roda *Bacillus* i *Pseudomonas*, vrste *Escherichia coli* i *Proteus vulgaris*, a gljiva predstavnici roda *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus* i *Penicillium*.

Proces koji obično slijedi amonifikaciju u ciklusu dušika je nitrifikacija. Nitrifikacija podrazumijeva oksidaciju amonijaka do nitrata preko nitrita. Upravo zbog toga biokemizam nitrifikacije podrazumijeva dva koraka: nitritaciju i nitrataciju. Nitritacija je proces oksidacije amonijaka do nitrita i prikazuje se sljedećom kemijskom reakcijom:



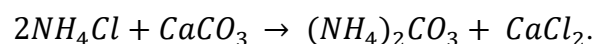
a nitratacija je oksidacija nitrita do nitrata i može se prikazati sljedećom reakcijom:



U tim procesima sudjeluju dvije grupe bakterija. Nitritne bakterije su najčešće predstavnici rodova *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira* i *Nitrosovibrio*, a nitratne bakterije *Nitrococcus* i vrsta *Nitrobacter winogradskii*. Nitrifikacija se često navodi kao jedan od najsporijih procesa u ciklusu dušika obzirom da bakterije koje provode nitrifikaciju zahtijevaju strogo određene uvjete kao što su dostupnost amonijaka, optimalna vlažnost tla od 50 % popunjenosti pora vodom, pH blizu neutralnog te optimalna temperatura od 26,5 °C do 32 °C (Duraković i Redžepović, 2002; Vukadinović i Vukadinović, 2011).

Denitrifikacija je proces obratan od nitrifikacije. Pri njoj dolazi do redukcije nitrata. Ovisno o tome hoće li se nitrati reducirati do nitrita i amonijaka ili do plinovitog dušika govorimo o dvjema vrstama denitrifikacije: denitrifikacija u širem smislu i denitrifikacija u užem smislu. Oba tipa denitrifikacije vrše mikroorganizmi koji se nazivaju denitrifikatori. Najčešće su to vrste porodica *Pseudomonas*, *Alcaligenes* i *Thiobacillus*. Denitrifikaciji pogoduju povećana vlažnost tla, alkalitet, relativno visoke temperature, anaerobni uvjeti te dostupnost oksidirajućih spojeva koji djeluju kao donori elektrona (Duraković i Redžepović, 2002).

Iako se često ne ubraja u osnovni ciklus dušika, volatizacija je izuzetno važan proces u kruženju dušika. Pri volatizaciji se mineralni dušik gubi iz tla kao amonijak u plinovitom obliku. Takva je pojava uočljiva kada je pH veći od 6, a proporcionalna je povećanju lužnatosti i sušenju tla. Tako mineralni oblik dušika reagira s tlom pri povećanoj lužnatosti što se prikazuje sljedećom reakcijom:



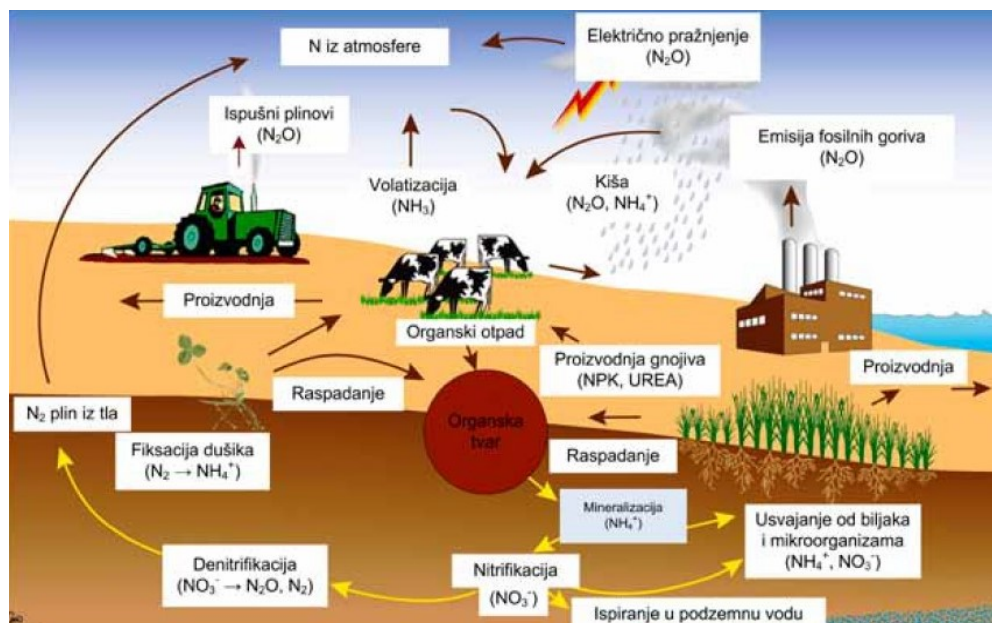
Amonijevi karbamati nastali ovom reakcijom nisu stabilni pa se lako gube u lužnatim tlima:



ili iz vodenih faza tla:



Veći gubici uzrokovani volatizacijom mogući su kod primjene anhidriranog amonijaka u nedovoljno vlažnim i lužnatim tlima ili kod lošeg zatvaranja tla nakon prolaska aplikatora (Vukadinović i Vukadinović, 2011).



**Slika 1.** Kruženje dušika u prirodi (preuzeto iz: Filipović i sur., 2013)

## 2.2. Važnost analize tla

Nedostatak nekog elementa u biljci proporcionalan je njegovoj raspoloživosti u tlu te duljini vegetacije u kojoj ga biljka iz tla može usvajati. Nedovoljna opskrbljenost elementima ishrane vodi do smanjene visine i kakvoće prinosa budući da se unutar biljke usporavaju sintetski, a ubrzavaju oksidacijski procesi (Vukadinović i Vukadinović, 2011). Kako se to ne bi dogodilo prije sjetve je potrebno izvršiti analizu tla.

O važnosti analize tla govorilo se još u drugoj polovici 20. stoljeća te je naglašavano kako bi odabir kulture za uzgoj na određenoj poljoprivrednoj površini te odabir metoda koje se primjenjuju na toj kulturi trebao ovisiti o pravovaljanoj i pravovremeno provedenoj analizi tla (Cottenie, 1980).

Prema Khanu (2018.) analiza tla je jedan od najvažnijih koraka poljoprivrednih aktivnosti jer vodi do:

- optimizacije proizvodnje usjeva,
- zaštite okoliša od onečišćenja otjecanjem i ispiranjem viška gnojiva,
- pomoći u dijagnostici problema biljne kulture,
- poboljšanja prehranbene ravnoteže rastućeg medija,
- uštede novca i
- uštede energije.

O potrebi za kontinuiranom analizom tla svjedoči i činjenica da se sadržaj svih elemenata u tlu, a ponajviše dušika, mijenja. Do promjene koncentracije elemenata u tlu dolazi zbog njihovog sudjelovanja u biljnoj ishrani, ali i zbog klimatskih promjena, intenzivnih poljoprivrednih aktivnosti i kontaminacije agrokemikalijama (Bogunović i sur., 2017; Đurđević i sur., 2019). Zbog toga analizu elemenata ishrane treba promatrati kao trenutni prikaz tih elemenata u vremenu.

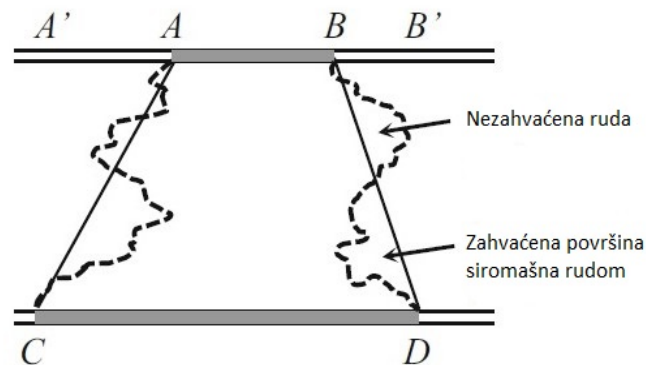
## **2.3. Kriging i variografija**

### *2.3.1. Kriging*

Kriging se najčešće definira kao napredna geostatistička interpolacijska metoda za procjenu vrijednosti varijable u točkama odabrane mreže (Malvić, 2005). Pojam geostatistička označava da se svaka promatrana varijabla opisuje točkom unutar koordinatnog sustava, odnosno geografskom širinom i geografskom dužinom. Upravo zbog toga unutar kriging metode varijable se često nazivaju i regionalizirane jer je određena vrijednost raspoređena u prostoru. Pojam interpolacija označava konstrukciju i prilagodbu funkcije na osnovu podataka prikupljenih uzorkovanjem ili eksperimentiranjem. Kriging pripada metodama procjene koje su određene kao „najbolji linearni nepristrani procjenitelji“ (engl. *BLUE – best linear unbiased estimators*). „Najbolji“ znači da su izračunati težinski koeficijenti na temelju kojih se računa procjena. Određeni su pomoću minimiziranja varijance kriginga. „Linearni“ označava da je procjena načinjena linearnom kombinacijom mjernih vrijednosti. „Nepistrani“ naglašava da je očekivanje procjene jednako stvarnome očekivanju cijele populacije vrijednosti, a „procjenitelj“ označava metodologiju (Malvić, 2008). Cilj kriginga je pronaći funkciju, tj. model koji najbolje opisuje skup podataka i na temelju toga omogućava daljnje procjene i zaključke (Yang, 2018). Takve procjene moguće su jer se kriging temelji na upotrebi postojećih, kontrolnih točaka čiji je utjecaj na procjenu izražen odgovarajućim težinskim koeficijentima (Malvić, 2005). Te kontrolne točke u poljoprivredi mogu biti lokacije uzoraka tla kojima su pridružene izmjerene vrijednosti tla.

Začeci kriginga sežu u 1951. godinu kada je Danie Krige proučavao eksploataciju ruda s raznih nalazišta, a najčešće se radilo o zlatu iz rudnika Južne Afrike. Problem s vađenjem ruda bio je odabir ploče za vađenje budući da njezina površina nije u cijelosti bila ispunjena rudom (slika 2.). Kako je vađenje rude skup proces često samo vađenje nadilazi vrijednost izvađene rude, zbog čega je odabir oblika i veličine ploče dobivao sve veći

značaj. Kako bi izbjegao područja osiromašena rudom Krige je dodijelio težinski koeficijent ( $\lambda$ ) svakoj ploči te komplementarni težinski koeficijent ( $\lambda - 1$ ) nalazištu rude. Budući da je Matheron naišao na isti problem proučavao je radove Krige-a te ga generalizirao dodijelivši odgovarajući težinski koeficijent svakom uzorku. U čast Krige-u Matheron je ovu metodu nazvao kriging (Chilès i Dessais, 2018; Cressie, 1990).



**Slika 2.** Usporedba površine rude i ploče za vađenje rude (preuzeto i prilagođeno iz: Chilès i Desassis, 2018.)

Kriging je višestupanjski proces. Uključuje istraživačku statističku analizu podataka, variogramsko modeliranje, stvaranje površine i istraživanje površine varijance (How Kriging works). Stoga je krigingom potrebno na temelju postojećih vrijednosti na nekoj lokaciji ( $Z_i$ ) procijeniti vrijednosti okolne regionalizirane varijable ( $Z_k$ ). Kako bi se dobila regionalizirana varijabla, potrebno je određeni podatak ( $Z$ ) grupirati s određenom lokacijom ( $x_i$ ):

$$Z_i = Z(x_i).$$

Dodjeljivanjem težinskog koeficijenta ( $\lambda_i$ ) za  $n$  broj vrijednosti okolnih točaka na određenim lokacijama dobiven je konačan izraz (Malvić, 2005):

$$Z_k = \sum_{i=1}^n \lambda \times Z_i$$

pri čemu je:

$\lambda_i$  – težinski koeficijenti za svaku lokaciju,

$Z_i$  – okolne poznate vrijednosti (kontrolne točke),

$Z_k$  – vrijednost procijenjena krigingom.

Najzahtjevniji postupak u krigingu je odrediti težinske koeficijente, odnosno otkriti međusobnu ovisnost različitih varijabli, a zatim na temelju njih napraviti procjenu.

Kako bi se to postiglo kriging prolazi kroz dva procesa (How Kriging works):

- kreiranje semivariograma i funkcija kovarijance za procjenu statističke ovisnosti (prostorne autokorelacije) vrijednosti koje ovise o modelu autokorelacije i
- procjene nepoznatih vrijednosti.

### 2.3.2. Variografija

Prostorno modeliranje ili variografija podrazumijeva stvaranje i tumačenje svojstava pojava koji su predmetom istraživanja (Piškorić, 2018). Produkt variografije je variogram odnosno semivariogram.

Kako bi se dobio semivariogram potrebno je izračunati semivarijancu ( $\gamma$ ). Računa se prema sljedećoj formuli (Gorek, 2018; <https://hr.wikipedia.org/wiki/Variogram>):

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

pri čemu je:

$\gamma$  – vrijednost semivarijance,

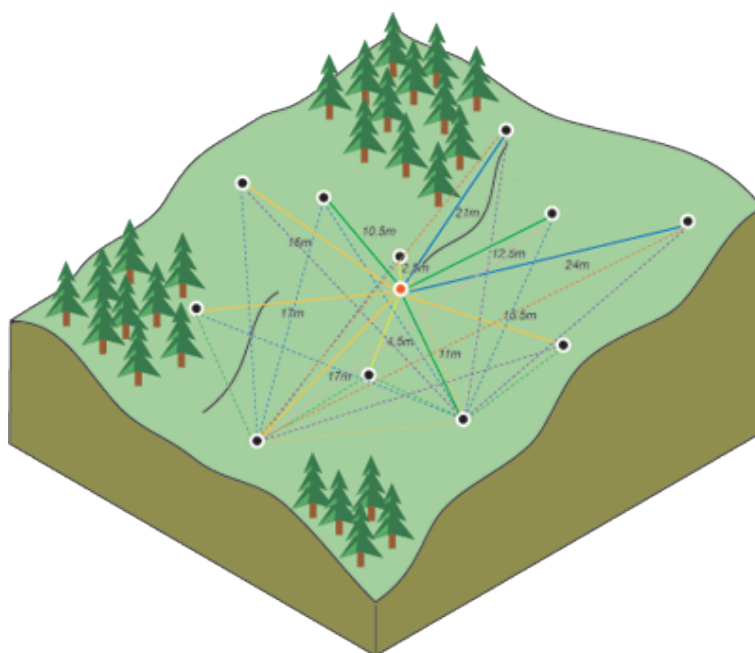
$n$  – broj podataka uspoređenih na udaljenosti  $h$ ,

$z(x_i)$  – vrijednost varijable na lokaciji  $x_i$ , a

$z(x_i+h)$  – vrijednost varijable na lokaciji udaljenoj za  $h$  od početne lokacije  $x_i$ .

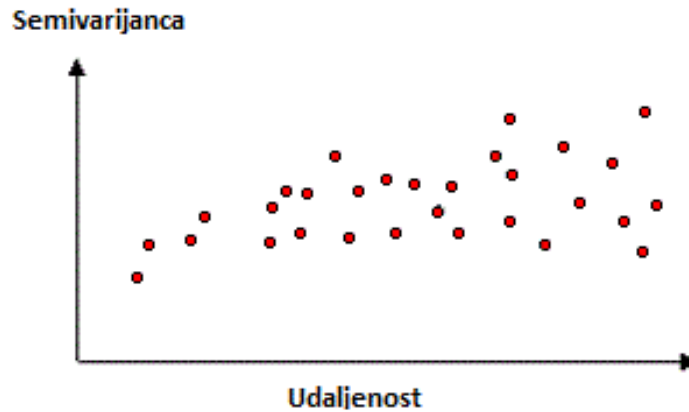
Semivarijanca je mjera prostorne zavisnosti između podataka iz istog skupa uzduž određenog smjera. Što je prostorna zavisnost između promatranih podataka veća, vrijednost semivarijance je manja (Gorek, 2018). Prostorna zavisnost između regionaliziranih varijabli grafički je prikazana na slici 3.





**Slika 3.** Grafički prikaz prostorne zavisnosti između promatrane točke (crvena točka) i ostalih točaka (crne točke) na kojoj se temelji kriging (preuzeto s: How Kriging works)

Prostornim prikazom navedenih podataka dobije se semivariogram. Semivariogram grafički prikazuje utjecaj regionalizirane varijable na nekom istraživanom prostoru. Pri tome semivariogram ne analizira same rezultate mjerenja nego njihovu međusobnu ovisnost, odnosno stupanj razlike među njima (Vugrinec, 2017). U pravilu, razlike su veće što je i veća udaljenost između izmjerenih podataka mjerenja (Žerjavić, 2011). Dva su tipa semivariograma, a to su eksperimentalni i teorijski. Eksperimentalni semivariogram dobije se unošenjem stvarnih mjernih podataka i njihovom softverskom obradom, dok se teorijski izračunava i odabire pomoću procesa krosvalidacije (Gorek, 2018). Eksperimentalni semivariogram ne pokazuje uvijek direktno svojstvo polja koja se promatra i za njegovu interpretaciju je vrlo često potrebno iskustvo i ekspertna prosudba (Piškorić, 2018). Na ordinati grafa nalazi se semivarijanca ( $\gamma$ ), a na apscisi udaljenost ili korak ( $h$ ). Udaljenost predstavlja udaljenost među varijablama, odnosno mjernim točkama. Na slici 4. prikazan je eksperimentalni semivariogram.



**Slika 4.** Prikaz eksperimentalnog semivariograma (preuzeto i prilagođeno s: How Kriging works)

Teorijski semivariogram sadrži aproksimacijski model za eksperimentalni graf, odnosno predstavljen je odabranom analitičkom funkcijom koja prati osnovne karakteristike eksperimentalnog semivariograma (Mikulčić, 2016). Kako bi teorijski semivariogram nastao iz eksperimentalnog potrebno je niz izmjerenih podataka podvrgnuti procesu krosvalidacije. Krosvalidacija se definira kao metoda procjene kvalitete uklanjanjem vrijednosti mjerene na određenom mjestu i određivanjem nove na istome mjestu, uzimajući u obzir i preostale podatke (<http://struna.ihjj.hr/naziv/krosvalidacija/30943/>). Nakon što se određena izmjerena vrijednost ( $Z_i$ ) ukloni iz skupa podataka vrši se njezina procjena ( $Z_k$ ) koja se potom uspoređuje sa stvarno izmjerenom vrijednošću. Takav postupak vrši se za sve vrijednosti unutar nekog skupa podataka te se zbrajaju kvadrati svih odstupanja kako bi se dobila srednja kvadratna greška procjene odnosno varijanca kriginga ( $\sigma$ ). Računa se na temelju sljedeće formule (Piškorić, 2018):

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - Z_k)^2}{n}$$

pri čemu je:

$\sigma$  – varijanca kriginga,

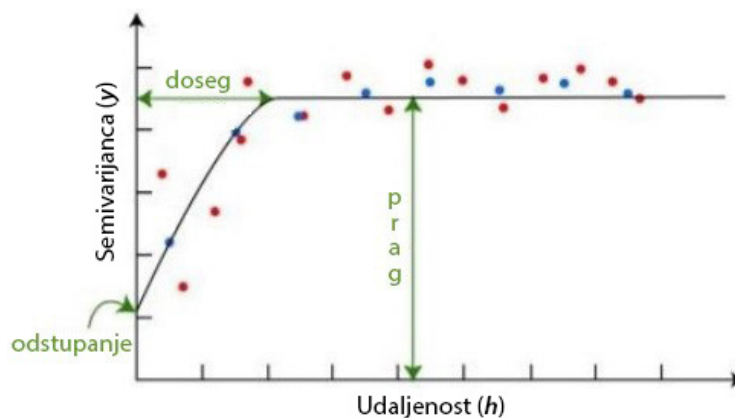
$Z_i$  – stvarno izmjerena vrijednost na nekom području,

$Z_k$  – procijenjena vrijednost nakon izuzimanja stvarno izmjerene vrijednosti na nekom području.

U postupku kriginga moraju se zadovoljiti uvjet nepristranosti procjene, a izračunata varijanca kriginga u odabranim točkama mora biti najmanja moguća (Malvić, 2005).

Na slici 5. prikazan je teorijski semivariogram na kojem se razaznaju različiti dijelovi krivulje:

- odstupanje (engl. *nugget*) – vrijednost u kojoj funkcija siječe ordinatu, a često se definira i kao mjera količine slučajnih varijacija u uzorku podataka,
- prag (engl. *sill*) – vrijednost stvarne varijance podataka, a dosezanjem ove vrijednosti na ordinati krivulja prestaje s rastom i
- doseg (engl. *range*) – označava udaljenost po apscisi od nule do točke na kojoj funkcija sječe prag, što je mjesto na kojem krivulja prestaje rasti.

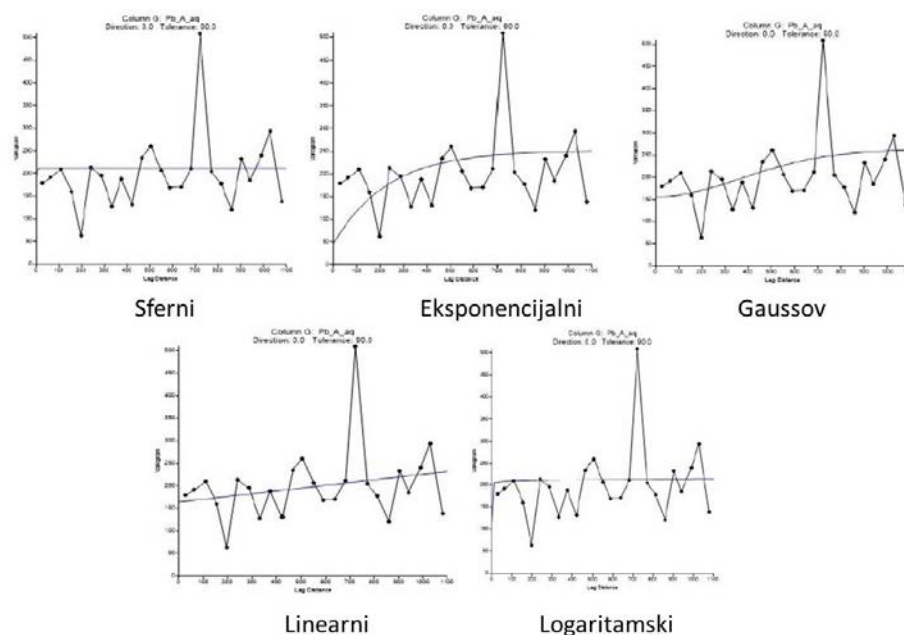


**Slika 5.** Teorijski semivariogram s prikazanim osnovnim dijelovima krivulje (preuzeto i prilagođeno iz: Gorek, 2018.)

Iako postoji velik broj teorijskih modela semivariograma, prema Malviću (2008.) gotovo svi eksperimentalni semivariogrami mogu se matematički aproksimirati s pet teorijskih modela (slika 6):

- sfernim,
- eksponencijalnim,
- Gausovim,
- linearnim i

- logaritamskim.



**Slika 6.** Usporedba sfernog, eksponencijalnog, Gaussovog, linearnog i logaritamskog semivariograma za isti niz podataka (preuzeto i prilagođeno iz: Vugrinec, 2017.)

Kako bi se što egzaktnije predvidjele nepoznate vrijednosti potrebno je eksperimentalni semivariogram ukomponirati u teorijski. Na slici 6. prikazani su: sferni semivariogram s ukupnom kriging varijancom vrijednosti 194; eksponencijalni semivariogram s ukupnom varijancom kriginga vrijednosti 146,1; Gaussov semivariogram s ukupnom varijancom kriginga vrijednosti 155,8; linearni semivariogram s ukupnom varijancom kriginga vrijednosti 164; logaritamski semivariogram s ukupnom varijancom kriginga vrijednosti 211,4. Kriging zahtijeva što manju varijancu kriginga, međutim ne uzima se uvijek onaj model čiji je zbroj odstupanja od stvarno procijenjene vrijednosti najmanji nego se u obzir uzimaju i drugi razni parametri zbog čega Malvić (2005.) za što točniju interpretaciju podataka naglašava važnost iskustva pri radu s krigingom. Pri odabiru teorijskog modela može se poslužiti i takozvanim *AIC* i *BIC* metodama (Fabozzi i sur., 2014).

### 2.3.3. Primjena kriginga i variografije

Kao osnovnu prednost ordinary kriginga Bogunović i sur. (2017.) navode praćenje promjena parametara poput pH tla, organske tvari te fosfora i kalija dostupnih biljkama na male udaljenosti (unutar poljoprivrednih zemljišta) te na velike udaljenosti (između

regija), a Elbasiouny i sur. (2013.) koriste ordinary kriging za procjenu varijacija koncentracija ugljika i dušika u „bazenima“ u području delte Nila.

Artiola i sur. (2004.) navode prednosti kriginga pri izradi mapa otopljenih čestica, klorofila te praćenja naglih promjena temperatura mora.

Kaymaz (2018.) koristi metodu Bayesian kriginga kako bi mapirao dubinu mora te parametre kvalitete vode kao što su salinitet, temperatura, pH, električna provodljivost te koncentracija otopljenog kisika.

Osim za procjene svojstava mora i oceana, empirijski Bayesian kriging koristi se i u svrhu mapiranja geogenog radonskog potencijala i rizika uzrokovanog radonom (Giustini i sur., 2019).

Cameletti i sur. (2019.) koriste metodu Bayesian kriginga kroz dva stupnja. U prvom, kako bi predvidjeli područja s kritičnim koncentracijama zagađenosti zraka, a u drugom kako bi predvidjeli njihov utjecaj na zdravlje ljudi.

Empirijski Bayesian kriging koristi se i kako bi se prikazala heterogenost distribucije organskog ugljika na poljoprivrednim zemljištima (Samsonova i sur., 2017; Mondal i sur., 2017.), a Sila i sur. (2017.) navode kako je procjena koncentracija aluminija, bakra, željeza i bora davala točnije rezultate uporabom Bayesian kriging metode u odnosu na ostale kriging metode.

Park i sur. (2018.) u svom istraživanju izradili su novu metodu procjene koja daje koeficijent temeljen na Bayesian krigingu, koji se potom koristi za preporuku varijabilne gnojidbe dušikom u svrhu povećanja prinosa.

U gotovo sedamdeset godina postojanja kriginga i variografije razvili su se mnogi načini njihove uporabe, a shodno tome i različite metodologije primijene kriginga. Iako su navedeni autori istraživanja vršili na različitim prostorima te s različitim parametrima ono što je zajedničko svima je zaključak da kriging olakšava vizualizaciju prostorno važnih svojstava.

### 3. MATERIJAL I METODE

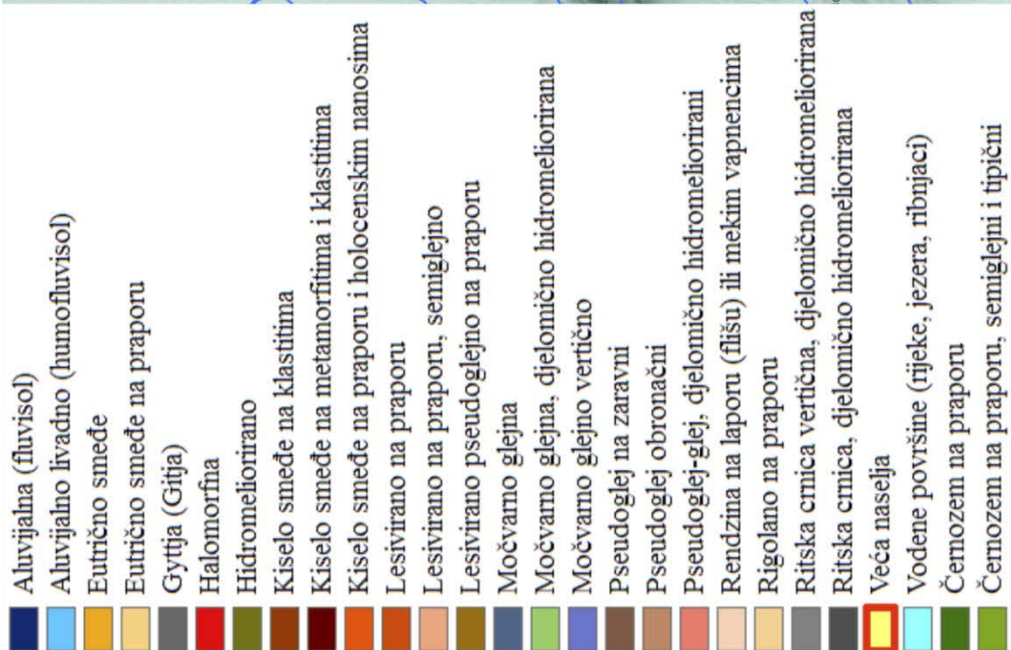
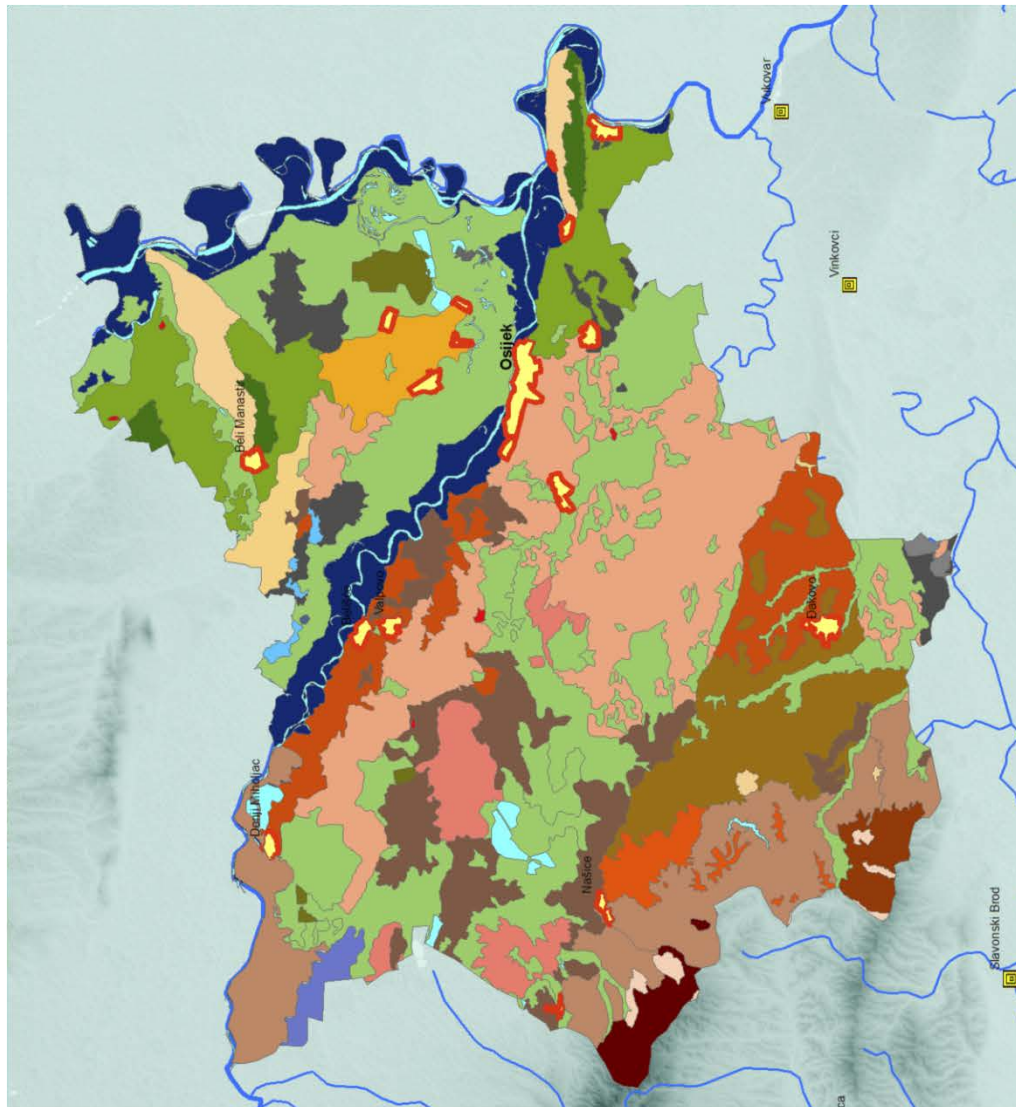
#### 3.1. Značajke ispitivanog područja

Istraživanje je provedeno u Osječko-baranjskoj županiji na površini od 4.152 km. Osječko-baranjska županija smještena je na istoku hrvatske u nizinskim i brdovitim predjelima. Područje je smješteno na nadmorskoj visini od 90 metara (Bašić i sur., 2007).

Klima je u županiji umjereno kontinentalna, s dugim i blagim proljećima i jesenima, toplim ljetima i hladnim zimama. Prosječne se temperature zimi kreću oko 0,2 °C, u proljeće 11 °C, ljeti 21 °C, a u jesen 11,8 °C. Prosječna godišnja temperatura je 10 °C. Najhladniji mjesec je siječanj u kojem temperature dosežu i -25 °C, a najtopliji mjeseci su srpanj i kolovoz s temperaturama iznad 40 °C. Općenito, temperatura se povećava od zapada prema istoku, a ovisi o utjecaju mora. Tlak zraka je 1.005 hPa, a relativna vlaga zraka 80 %. Količina padalina obrnuto je proporcionalna temperaturama te se kreće od 609 mm padalina na istoku do 792 mm padalina na zapadu (Bogunović, 1996).

Glavni tipovi tala Osječko-baranjske županije su (Bogunović, 1996) (slika 7):

- glejna – 28,8 %,
- lesivirana (luvisolna) – 25,9 %,
- pseudoglejna – 14,9 %,
- aluvijalna (fluvisolna) – 7,4 %
- černoziem – 6 %,
- kambična – 1,8 %.



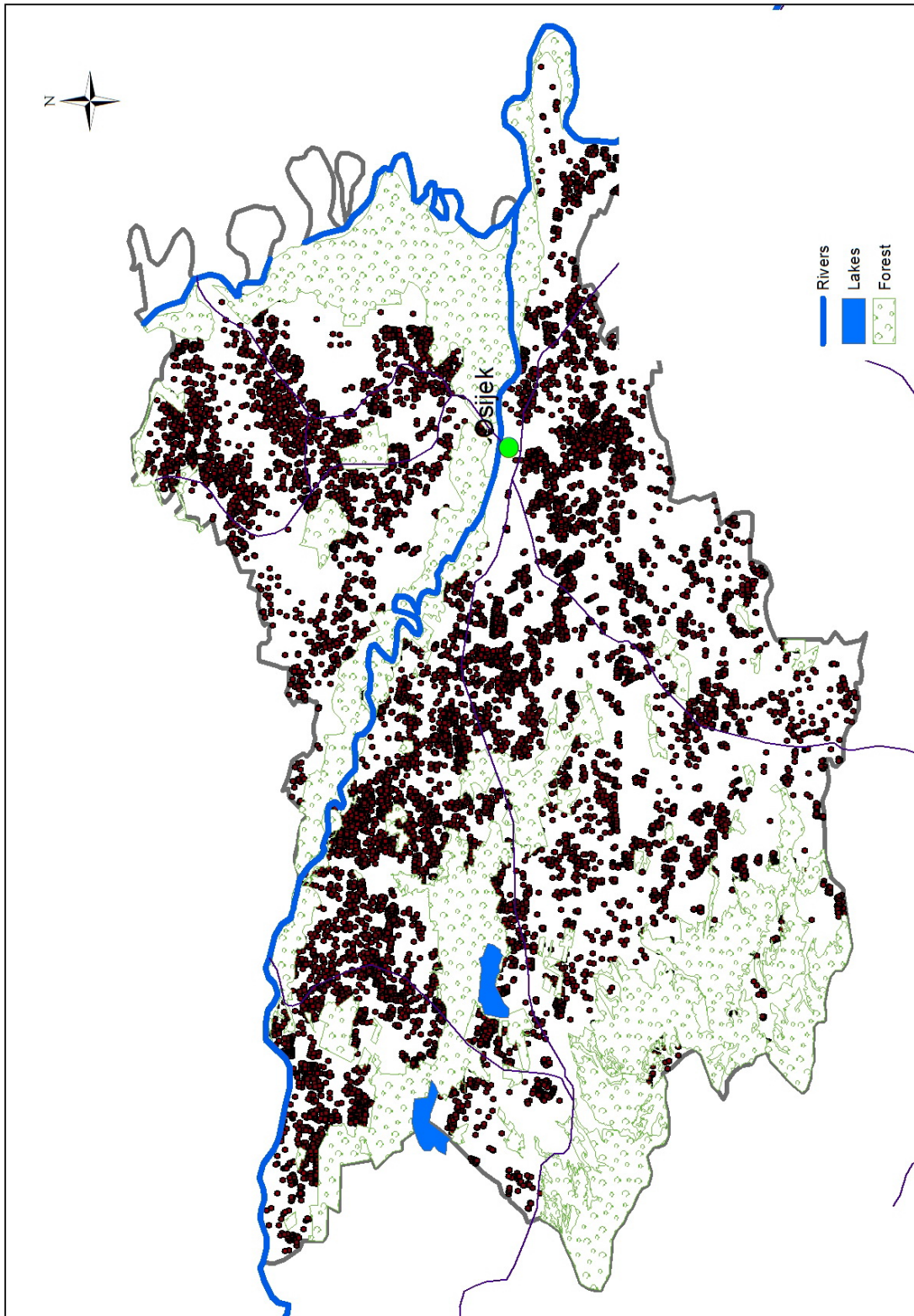
Slika 7. Tipovi tala Osječko-baranjske županije (preuzeto iz: Đurđević, 2010.)

### 3.2. Uzorkovanje i kemijska analiza tla

Na području Osječko-baranjske županije prikupljeno je ukupno 11.426 uzoraka tla (slika 8). Uzorci tla uzimani su agrokemijskom sondom, prosječno s 25 uboda po uzorku, a dubina uzorkovanja iznosila je 0-30 cm. Za svaki uzorak prikupljena je geografska pozicija određena GPS uređajem (greška mjerenja  $\leq 5$ m). Uzorci tla uzimani su nakon žetve ili berbe i prije bilo kakve gnojidbe. Nakon uzorkovanja uzorci su sušeni su na temperaturi od 40 °C, usitnjeni u mlinu za tlo te analizirani u laboratoriju na sljedeća kemijska svojstva tla (Đurđević, 2014):

- a) aktualni pH (u vodi) i izmjenjivi pH (u 1 mol·dm<sup>-3</sup> KCl) elektrometrijski, pH-metrom
- b) hidrolitička kiselost tla (Hy) aktivirana alkalnim hidrolitskim solima (Na-acetat ili Ca-acetat) pri čemu dolazi do zamjene H<sup>+</sup> (i Al<sup>+</sup>) iona s adsorpcijskog kompleksa tla alkalnim ionima iz acetata
- c) Organsku tvar bikromatnom metodom koja predstavlja mokro spaljivanje organske tvari tla kalijevim bikromatom u sumpornoj kiselini. Koncentracija organskog ugljika u uzorcima određena je spektrofotometrijski
- d) CaCO<sub>3</sub> volumetrijski po Scheibleru mjerenjem volumena CO<sub>2</sub> koji se iz karbonata tla razvija djelovanjem 10 % HCl (klorovodične kiseline).
- e) AL-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i AL-K<sub>2</sub>O AL-metodom ekstrakcijom tla s amonij laktatom





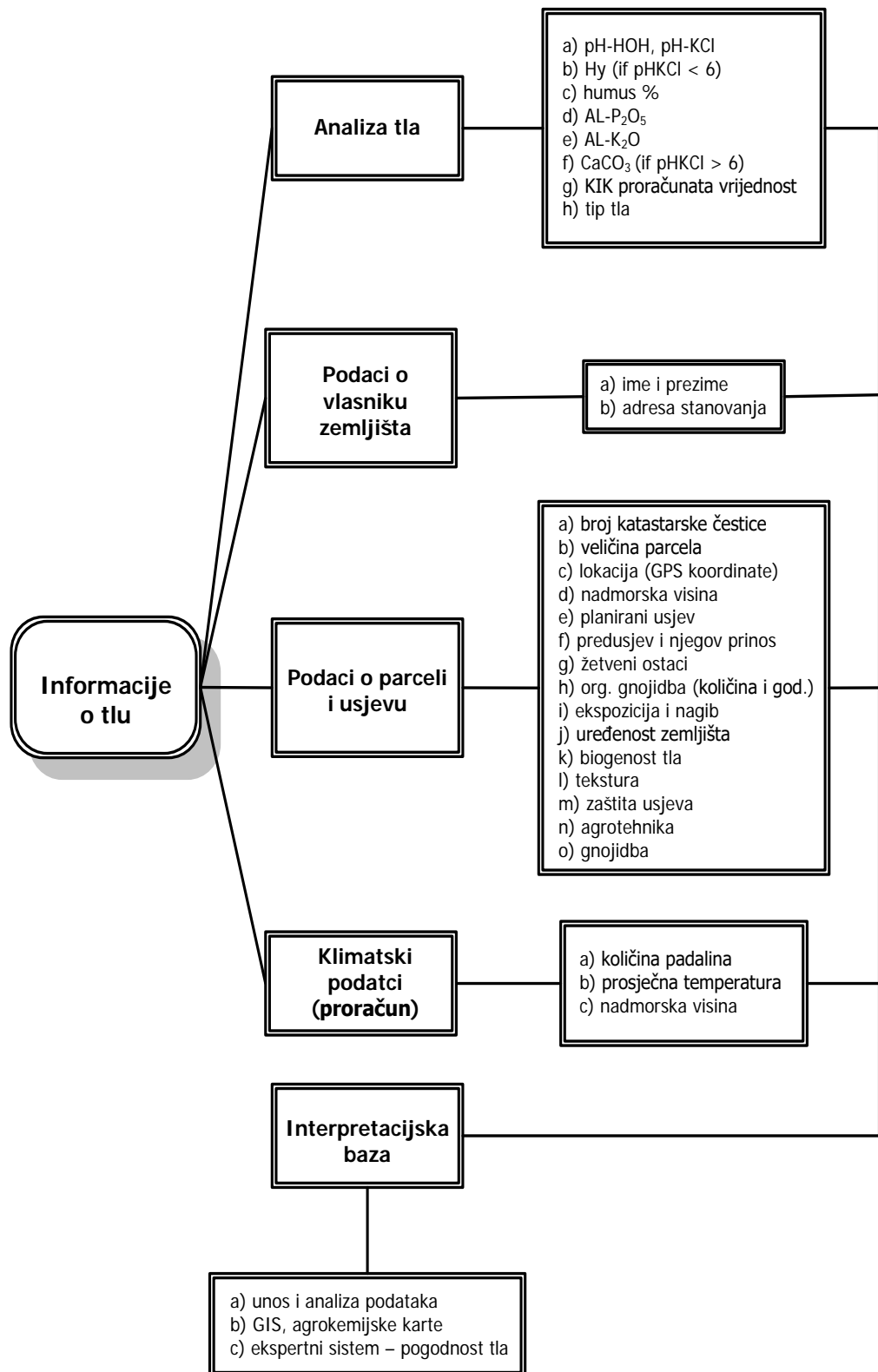
**Slika 8.** Grafički prikaz uzoraka na području Osječko-baranjske županije

### **3.3. Izračun doze dušika i statistička analiza podataka**

Doza dušika izračunata je uz pomoć AlRxp kalkulatora (Vukadinović i sur., 2001). Kalkulator omogućava proračun za slijedeće usjeve: pšenica ozima, pšenica jara, pšenica durum, triticale, raž, kukuruz, kukuruz sjemenski, kukuruz silažni, ječam ozimi, ječam jari, ječam pivarski, zob ozima, zob jara, šećerna repa, soja, suncokret, uljana repica, krumpir, grah, grašak stočni, lucerna, djetelina, duhan virginia, duhan burley, djetelinsko travna smjesa, rauola.

Uz kemijske podatke o tlu kalkulator koristi i dopunske podatke (informacije o tlu) potrebne za što točniji izračun (slika 9). Svi podaci, čine ulaznu bazu podataka čiji slog baze kalkulator automatski učitava i računa potrebu gnojidbe za usjeve, kalcizaciju i drugo, kao i procjenu relativne pogodnosti zemljišta. Nakon izračuna formira se izlazna baza podataka koja je prikladna za geostatističku analizu. U ovom istraživanju visinu prinosa i prinos predusjeva kao i količinu žetvenih ostataka unosili su sami vlasnici površina na kojima je provedena kontrola plodnosti tla. Maksimalna preporučena doza dušika iznosila je  $200 \text{ kg N ha}^{-1}$  u cilju procjene koliko poljoprivredni proizvođači podcjenjuju ili precjenjuju svoje poljoprivredne površine.

Deskriptivna statistička analiza napravljena je u softverskom paketu Microsoft Office Excel i Statistica v12.



**Slika 9.** Shematski prikaz dopunskih podataka (informacija o tlu) (preuzeto iz: Đurđević, 2010.)

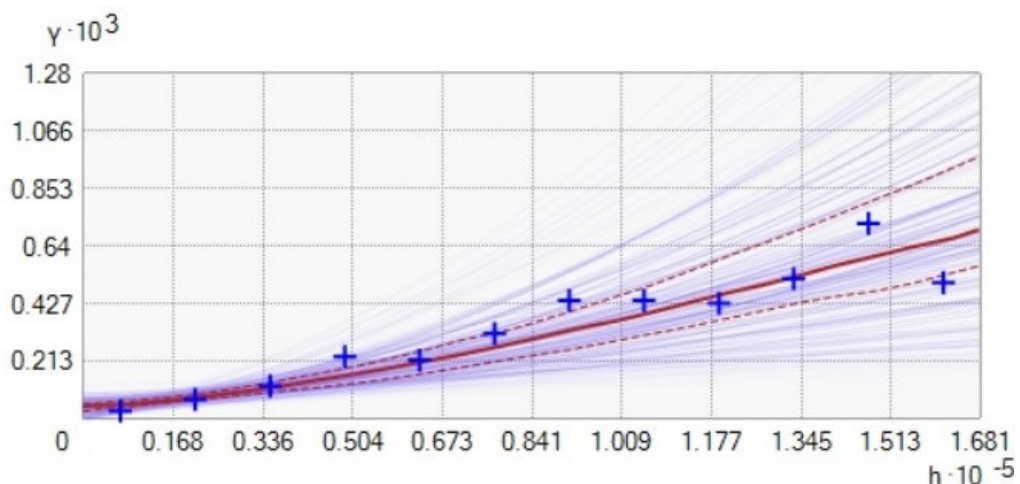
### 3.4. Geostatistička analiza - Bayesian kriging

Za potrebe geostatističke analize i vizualizacije podataka primijenjen je napredno softverski program ARCGIS, a za predikciju neuzorkovanog dijela površina odabrana je Bayesian kriging metoda. Bayesian kriging se oslanja na najveću ograničenu vjerodostojnost (engl. *REML* - *restricted maximum likelihood*). Zbog računskih ograničenja *REML* metode za veliki niz podataka, podaci su najprije podijeljeni u preklapajuće podskupe određene veličine.

U svakom podskupu semivariogrami se procjenjuju na sljedeći način (Krivoruchko, 2012):

1. Semivariogram se procjenjuje na temelju ulaznih podataka.
2. Koristeći ovaj semivariogram kao model, novi podaci se simuliraju na svakoj ulaznoj lokaciji unutar podskupa.
3. Novi semivariogram je procijenjen iz simuliranih podataka.
4. Koraci 2 i 3 se ponavljaju određen broj puta. Svakim ponavljanjem semivariogram procijenjen u koraku 1 koristi se za simulaciju novog niza podataka na ulaznim lokacijama, nakon čega se simulirani podaci koriste za procjenu novog semivariograma.

Obzirom da su podaci podijeljeni u podskupove, za svaki od njih izrađuje se novi semivariogram, a empirijska semivarijanca dobivena je na temelju svih pojedinačnih semivariograma. Na slici 10. prikazani su semivariogrami za svaki podskup podataka.



**Slika 10.** Prikaz semivariograma za svaki podskup (preuzeto s: <http://bit.ly/2nR3zP7>)

Drugi kriging modeli podrazumijevaju postojanje trenda krivulje, odnosno kako krivulja prati srednju vrijednost svih podataka, a odstupanja, tj. individualne varijacije nalaze se oko te srednje vrijednosti. Velika odstupanja smatraju se neuobičajenima pa se vrijednosti „povlače“ krivulji bi se ta odstupanja smanjila. Za razliku od njih Bayesian metoda uzima u obzir i velika odstupanja i ne nastoji ih smanjiti. Kod Bayesian kriginga odstupanje i nagib moraju biti pozitivni, a doseg i prag ne postoje jer ne postoji ni gornja granica podataka. Osim nepostojanja određenih struktura, kod Bayesian kriginga postoje određeni parametri koje je potrebno definirati, a koji ne postoje kod drugih kriging metoda (Krivoruchko, 2012):

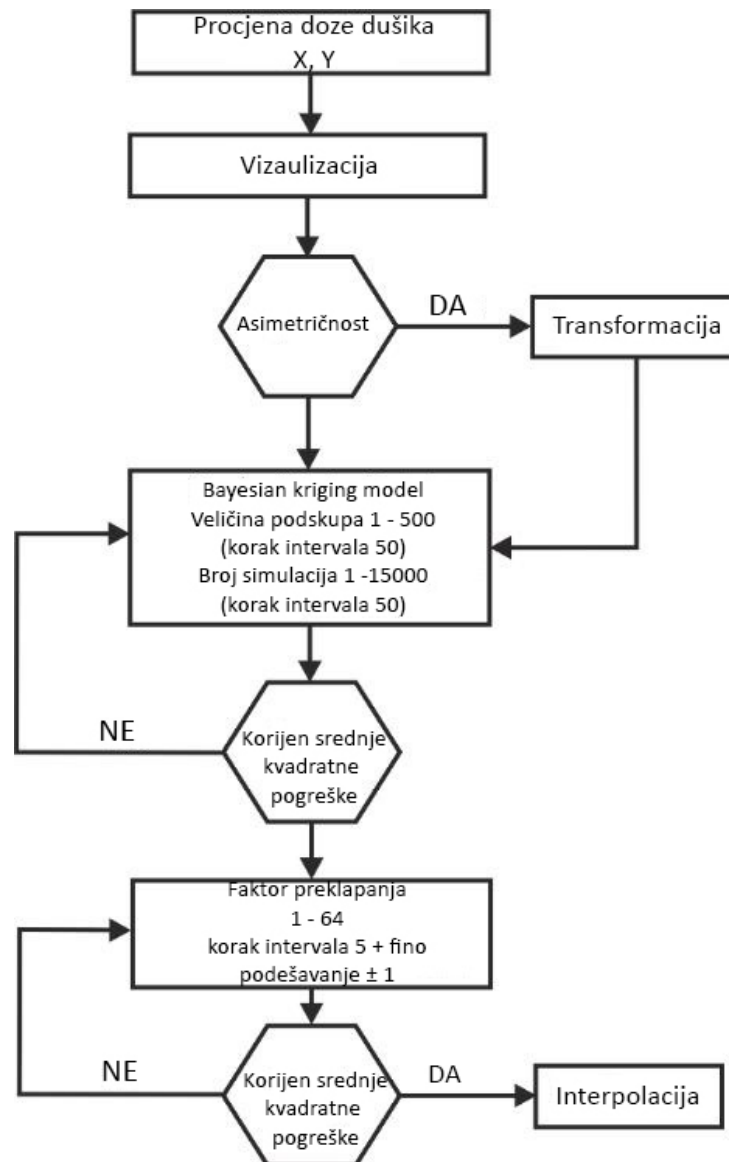
- Veličina podskupa – određuje broj točaka u svakom podskupu. Što je veća vrijednost veličine podskupa, duže je vrijeme računanja softvera.
- Faktor preklapanja – određuje stupanj preklapanja između podskupova. Svaka od točaka može pripadati većem broju podskupova, a faktor preklapanja određuje prosječan broj pripadanja točaka različitim podskupovima.
- Broj simulacija – određuje broj semivariograma koji će biti simulirani za svaki podskup.

Zbog razlika u postojanju, odnosno nepostojanju određenih parametara Bayesian metodu odlikuju i prednosti i nedostaci nad ostalim kriging metodama. Usporedba tih prednosti i nedostataka naspram ostalih kriging metoda vidljiva je u tablici 1 (Krivoruchko, 2012).

**Tablica 1.** Usporedba Bayesian kriging metode naspram ostalih kriging metoda

<b>PREDNOSTI</b>	<b>NEDOSTACI</b>
Zahtijeva minimalno interaktivno modeliranje	Vrijeme obrade rapidno se povećava s brojem ulaznih podataka za obradu, veličinom podskupa i faktorom preklapanja
Standardne pogreške procjene su preciznije	Obrada je sporija, naročito pri prebacivanju u raster
Omogućava točne procjene umjereno nestacionarnih podataka	Kokriging i anizotropne korekcije nisu dostupne
Precizniji na manjem uzorku	

Analiza je provedena prema shemi prikazanoj na slici 11. te su podaci prije analize testirani na asimetričnost i po potrebi izvršena je transformacija podataka.



**Slika 11.** Postupak izračuna procjene doze dušika

## 4. REZULTATI

### 4.1. Osnovne kemijske značajke istraživnog područja

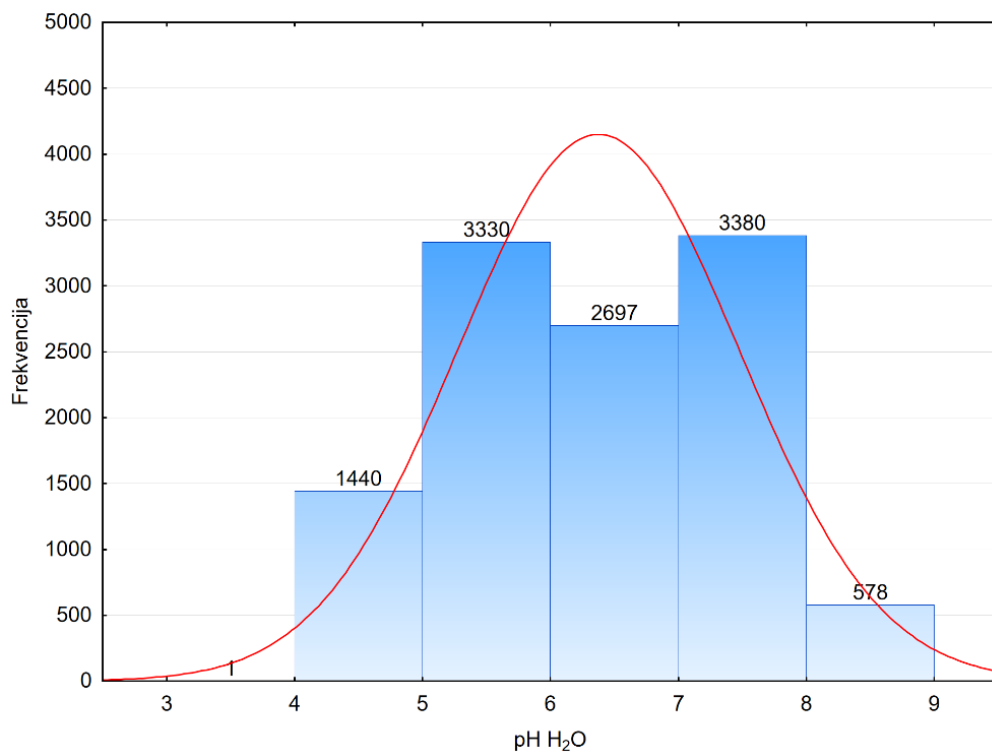
Prosječna pH vrijednost tla u vodi iznosila je 6,37, a pH u KCl-u 5,58. Najviša izmjerena vrijednost reakcije tla iznosila je 8,84, a najniža 3,94 (tablica 2). Izrazito kisela reakcija tla utvrđena je kod 1.440 analiziranih uzorka; umjereno do jako kisela kod 3.330 uzorka; slabo kisela do neutralna reakcija kod 2.697 uzoraka; slabo alkalna reakcija tla kod 3.380 uzorka, a umjereno do jako alkalna reakcija tla utvrđena je kod 578 uzorka tla (grafikon 1).

**Tablica 2.** Osnovne kemijske značajke ispitivanog područja

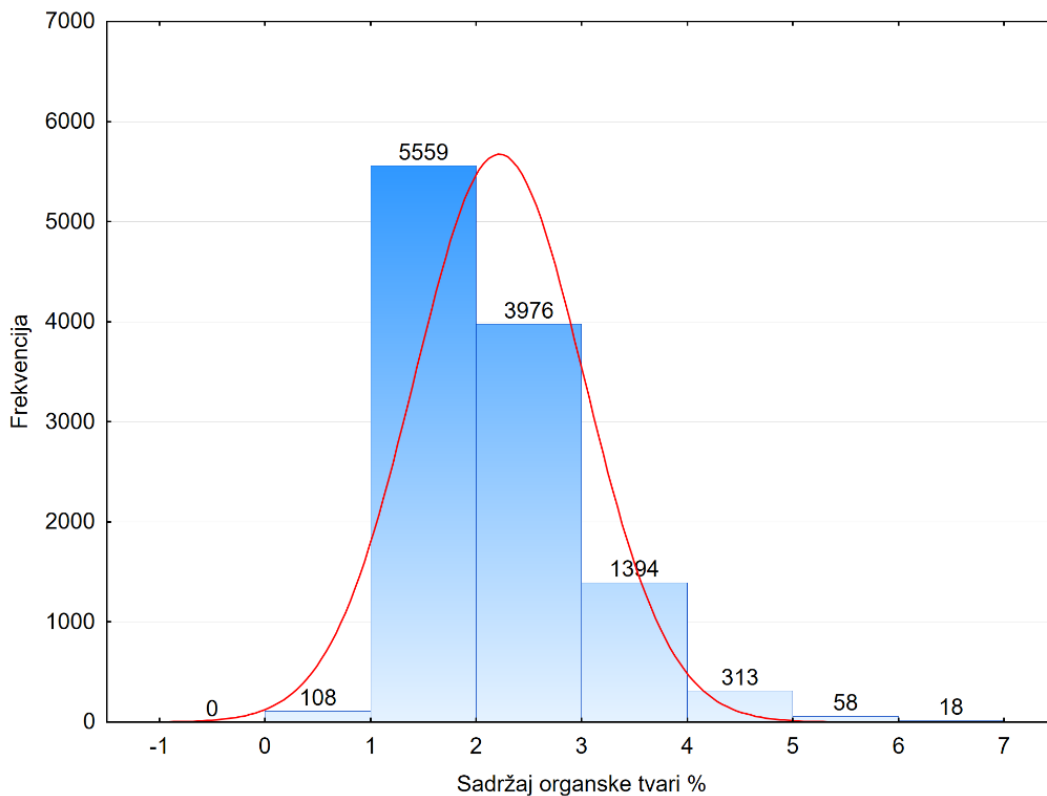
	$\Sigma N$	<b>X</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>SD</b>
<b>pH H<sub>2</sub>O</b>	11.426	6,37	3,94	8,84	1,10
<b>pH KCl</b>	11.426	5,58	3,37	8,20	1,22
<b>Organska tvar %</b>	11.426	2,22	0,32	6,92	0,80
<b>Hy cmol<sup>(+)</sup> kg<sup>-1</sup></b>	11.426	4,66	0,17	13,99	2,47
<b>Karbonati %</b>	11.426	3,48	0,08	32,78	3,70

X – prosječna vrijednost; SD – standardna devijacija

Prosječna koncentracija organske tvari u tlu iznosila je 2,22 %. Najmanja izmjerena vrijednost organske tvari u tlu iznosila je 0,32 % a najveća 6,92 % (tablica 2). U klasi vrlo slabo humoznih tala nalazilo se 108 uzorka tla; 9.535 uzorka nalazilo se u slabo humoznoj klasi tala; 1.707 uzoraka pripadalo je u dosta humoznu klasu tala; a u klasi jako humoznih tala nalazilo se samo 389 uzoraka tla (grafikon 2).



**Grafikon 1.** Reakcija tla u analiziranim uzorcima tala



**Grafikon 2.** Sadržaj organske tvari u analiziranim uzorcima tala



Hidrolitička kiselost je utvrđena samo u uzorcima koji su imali izmjerenu pH vrijednosti u KCl-u <6, a sadržaj karbonata u uzorcima s vrijednošću pH (KCl) >6. Vrijednost hidrolitičke kiselosti bila je od 0,17 do vrlo visokih 13,99 cmol(+) kg<sup>-1</sup> tla, a prosječna vrijednost iznosila je 4,66 cmol(+) kg<sup>-1</sup> tla. Sadržaj karbonata za analizirane uzorke u prosjeku je iznosio 3,48 %, dok je najmanji sadržaj karbonata iznosio 0,08 %, a najveći 32,78 % (tablica 2).

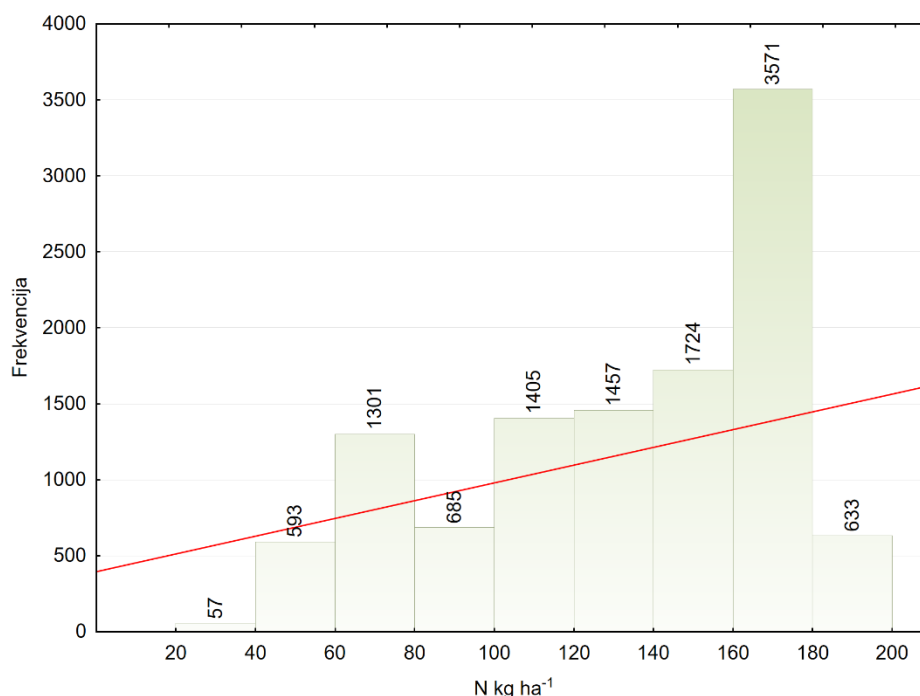
#### 4.2. Izračun potrebe dušika i geostatistička analiza

Prosječna izračunata potreba dušika iznosila je 134,15 kg N ha<sup>-1</sup>. Najniža preporučena doza dušika iznosila je 23 kg N ha<sup>-1</sup>, a najviša 200 kg N ha<sup>-1</sup> što je bio i maksimum koji se mogao izračunati kalkulatorom. Koeficijent varijacije bio je dosta visok i iznosio je 32,35 % (tablica 3. i grafikon 3).

**Tablica 3.** Statistička analiza izračunate potrebe dušika

	N	Min	Max	X	SD	Asimetričnost	CV %	Kurtosis
<b>N kg ha<sup>-1</sup></b>	11.426	23	200	134,15	43,40	0.55	32,35	2,06

X – prosječna vrijednost; SD – standardna devijacija; CV – koeficijent varijacije



**Grafikon 3.** Izračunata potreba dušika uz pomoć ALRxp kalkulatora

Prema već opisanom postupku izvršena je predikcija neuzorkovanog dijela površina županije (slika 8). Zabilježena asimetričnost bila je niža od jedan (tablica 3) te nije bilo potrebe za transformacijom podataka (Robertson, 2008). Najniži korijen srednje kvadratne pogreške iznosio je 0,394 s uključenih 25 susjednih točaka i 150 simulacija. Prosječna greška iznosila je 0,074, a standardizirana predikcijska greška 0,002. Nakon izračuna uz pomoć ARCmap softvera kreirana je karta procijenjene potrebe dušika za područje Osječko baranjske županije (slika 12).

## 5. RASPRAVA

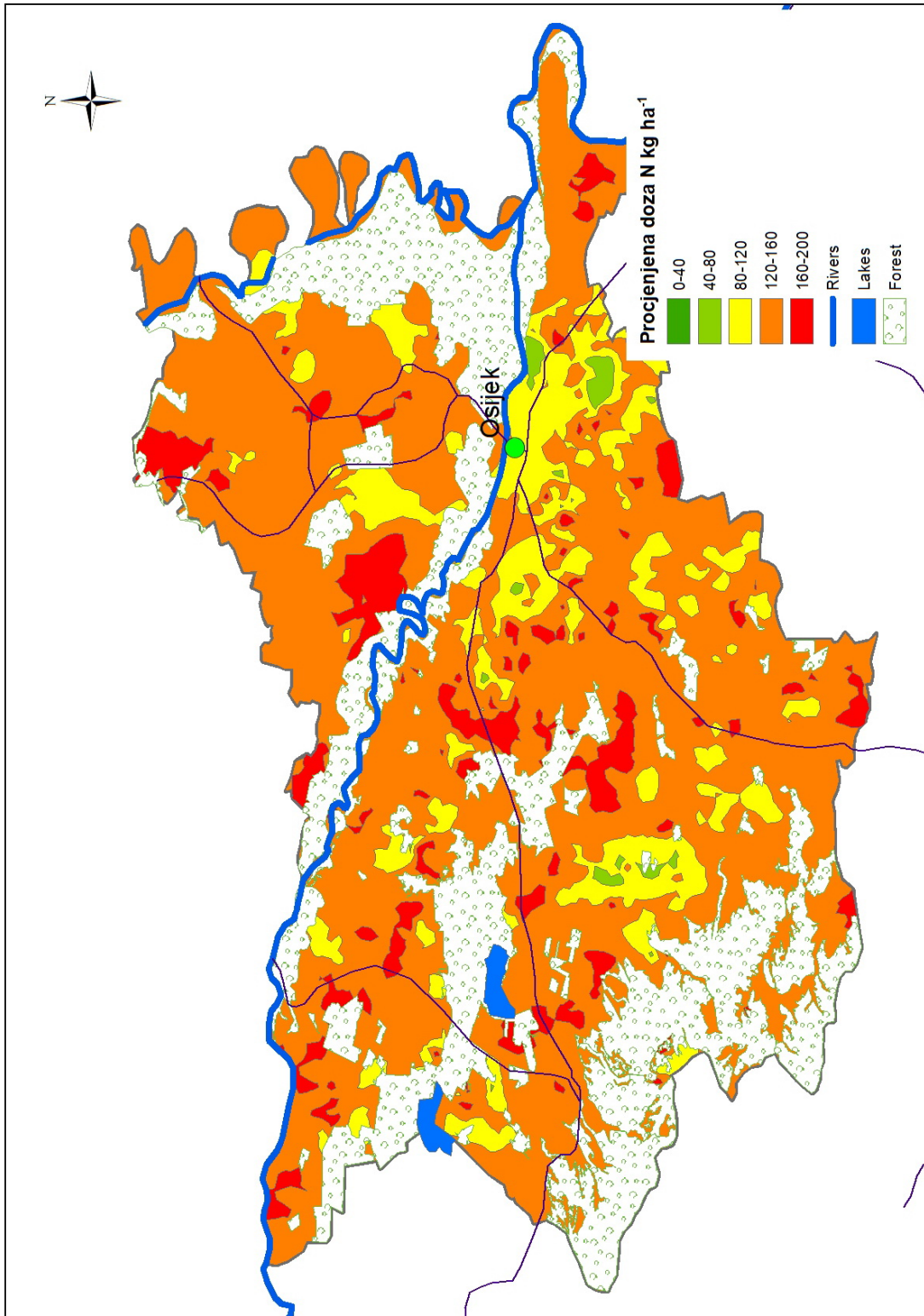
Često se gnojidba provodi bez potrebne analize i napamet bez izračuna i utvrđenih potreba uzgajanih biljnih vrsta. Takav management direktno dovodi do pada prinosa, profita, ali i često do degradacije i onečišćenja tala. U današnje vrijeme proizvoditi sigurnu hranu, a ujedno štititi okoliš postaje jedino rješenje uz sve težu i izazovnije poljoprivrednu proizvodnju. Zbog toga poljoprivredna proizvodnja treba biti racionalna, ekonomski isplativa što podrazumijeva primjenu gnojiva u količinama koje odgovaraju potrebama i stanju usjeva te istovremeno vodi računa o vremenskim uvjetima, okolišu i mogućem prinosu (Jug i sur., 2017; Vukadinović i Vukadinović, 2011).

Dušik kao snažni prinosotvorni element ima važnu ulogu u planiranju poljoprivredne proizvodnje te se primjenom naprednih tehnologija (gnojibeni kalkulator i geostatistička analiza) izračunala i procijenila potrebna doza dušika za cijelo područje Osječko baranjske županije. Od ukupno 11.426 uzoraka tla njih 41,75 % imalo je kiselu reakciju, a 34,64 % umjereno do jako alkalnu reakciju tla (grafikon 1). Kisela i alkalna reakcija tla značajno može utjecati na raspoloživost dušika u tlu. Naime, za proces nitrifikacije potrebna je dobra prozračenost tla, povoljna temperatura, povoljna vlažnost, pH 5.5-7.0 (kada je pH > 5.5-6.0 gotovo svi  $\text{NH}_4^+$  ioni bit će oksidirani do  $\text{NO}_3^-$ ). Također, ispod pH 5 ne dolazi do vezanja atmosferskog dušika kod asimbiotske fiksacije dušika (Vukadinović i Vukadinović, 2011).

Još snažnije na raspoloživost dušika u tlu utječe povoljan sadržaj organske tvari tla. Organski ostaci biljaka i životinja u tlu podliježu procesu mineralizacije čiji intenzitet poglavito zavisi od mikrobiološke aktivnosti i drugih uvjeta u tlu (pH, temperatura, C:N omjer i drugo) (Hall, 2008). Prosječna količina mineraliziranog dušika za šire područje Osijeka iznosi  $53 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ god}^{-1}$  što je vrlo značajna količina (Vukadinović i Vukadinović, 2011). Problem nastaje kada se počinje unositi sve manje žetvenih ostataka u tlo (spaljivanje, odnošenje s površina, pretjerana ispaša i drugo) te dolazi do degradacije tala i smanjenja plodnosti tla (Đurđević, 2010; Đurđević i sur., 2019). Takav trend zabilježen je i na području Osječko baranjske županije gdje je od ukupno 11.426 uzoraka tla njih 84,39 % ima sadržaj organske tvari tla ispod 3 % što ukazuje na neki vid degradacije tla (Liu i sur., 2006). Taj nedostatak i smanjenje plodnosti poljoprivredni proizvođači najčešće nadoknađuju povećanjem doza mineralnog gnojiva osobito dušičnih gnojiva. Također, na tlima s kiselom reakcijom tla i niskim sadržajem organske tvari

kalkulator ALRxp izračunati će više doze dušika koje je potrebno dodati mineralnim gnojivom, ali s bitnom razlikom te doze biti će usklađene s uporabama uzgajane kulture, ciljanim prinosom i zakonskom regulativom.

Prosječna kalkulatorom izračunata potreba dušika bila je 134,15 kg N ha<sup>-1</sup>. Navedena srednja vrijednost je veća nego što je predviđena u izvještaju Eurostata (2017.) prema kojem Hrvatska ima prosječnu potrošnju od 80,9 kg N ha<sup>-1</sup>. Ovakvi podaci ne začuđuju obzirom da je proučavano područje predstavlja glavnu površinu za uzgoj poljoprivrednih kultura u Republici Hrvatskoj pa se i očekuje veća potrošnja gnojiva na tim površinama od ostatka države. Također, u ALRxp modelu prinos za svaku gnojibenu preporuku postavljen je od strane poljoprivrednih proizvođača te se može zaključiti da oni precjenjuju plodnost svog tla (Đurđević, 2010). Ovo potvrđuje i frekvencija distribucije gdje je 3.571 (31,25 %) uzoraka tla imalo procijenjenu potrebu dušika između 160 i 180 kg N ha<sup>-1</sup> (grafikon 3). Samo 1.951 (17,07 %) uzorak imao je razinu dušika ispod 80 kg N ha<sup>-1</sup> što je ugrubo prosjek Europske Unije za 2017. godinu (Eurostat, 2017). Također, geostatistička analiza odnosno dobivena karta procjene potrebe dušika za područje Osječko–baranjske županije (slika 12.) prikazuje da je na većini površina preporučena doza dušika iznosila od 120 do 160 kg N ha<sup>-1</sup> što je najvjerojatnije povezano s već spomenutim precijenjenim prinosima tla od strane poljoprivrednih proizvođača ali sve većom degradacijom tala. Najveći problem na karti predstavljaju područja s visokim N razinama, odnosno onima između 160 i 200 kg N ha<sup>-1</sup>, a naročito ona u blizini rijeka i jezera jer se na tim površinama može očekivati ispiranje nitrata u vode i njihovo zagađenje. U takvim područjima potrebno je napraviti detaljne fizikalne i kemijske analize, a tek potom odlučiti o budućim akcijama koje se odnose na promjene u gospodarenju tlom i primijenjenim agrotehničkim mjerama.



**Slika 12.** Procijenjene doze dušika za područje Osječko–baranjske županije

## 6. ZAKLJUČAK

Na temelju izračuna potrebe dušika uz pomoć ALRxp kalkulatora i provedene geostatističke analize 11.426 uzoraka tla na području Osječko–baranjske županije može se zaključiti:

- Kako je srednja vrijednost potrebe dušika na području Osječko-baranjske županije iznosila 134,15 kg N ha<sup>-1</sup> što je za čak 53,25 kg N ha<sup>-1</sup> više nego što je procijenjena srednja vrijednost potrošnje dušika za područje cijele Republike Hrvatske.
- Najniža preporučena doza dušika iznosila je 23 kg N ha<sup>-1</sup>, a najviša doza 200 kg N ha<sup>-1</sup>.
- Površine s potrebom dušika od 120 do 160 kg N ha<sup>-1</sup> bile su najzastupljenije na području cijele županije.
- Najveći problem predstavljaju područja s preporučenim potrebama od 160 do 200 kg N ha<sup>-1</sup>, a naročito ona u blizini rijeka i jezera jer se u takvim područjima može očekivati ispiranje nitrata u vode te njihovo zagađenje.
- Korištenjem naprednih geostatističkih metoda, kao što je empirijski Bayesian kriging mogu se predvidjeti ranjiva područja ali nakon detekcije potrebno je izvršiti detaljnu analizu tla kao bi se mogli provesti potrebni agrotehnički zahvati ili promjena gospodarenja tlom.

## 7. POPIS LITERATURE

1. Artiola, J. F., Pepper, I. L., Brusseau, M. L. (2004.): Environmental Monitoring and Characterization. Elsevier, Amsterdam.
2. Bašić, F., Bogunović, M., Božić, M., Husnjak, S., Jurić, I., Kisić, I., Mesić, M., Mirošević, N., Romić, D., Žugec I. (2007.): The regionalisation of Croatian agriculture. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 72:27-38.
3. Beeson, S., Cook, M. C. (2004.): Nitrate in groundwater: a water company perspective. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 37(4): 261–270.
4. Bogunović, I., Trevisani, S., Seput, M., Juzbašić, D., Đurđević, B. (2017.): Short-range and regional spatial variability of soil chemical properties in an agro-ecosystem in eastern Croatia. *Catena*, 154:50-62.
5. Bogunović, M., Vidaček, Č., Racz, Z., Husnjak, S., Sraka M. (1996.): Soil map of Croatia at the scale 1: 300 000. Sveučilište u Zagrebu, Poljoprivredni fakultet, Zagreb.
6. Burden, R. J. (1982.): Nitrate contamination in New Zealand aquifers: a review. *New Zealand Journal of Science*, 25(3): 205–220.
7. Cameletti, M., Gomez Rubio, V., Blangiardo, M. (2019.): Bayesian modeling for spatially misaligned health and air pollution data through the INLA-SPDE approach. *Spatial Statistics*, 31.
8. Chilès, J. P., Desassis, N. (2018.): Fifty Years of Kriging. U: Daya Sagar, B. S., Cheng, Q., Agterberg, F. (ur.) *Handbook of Mathematical Geosciences – Fifty Years of IAMG*. Springer, Berlin, 589-613.
9. Cottenie, A. (1980.): FAO Soils Bulletin 38/2: Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations. Food and Agriculture Organization of the United Kingdom, Rome.
10. Cressie, N. (1990.): The Origins of Kriging. *Mathematical Geology*, 22(3): 239-252.
11. Deng, J, Iniguez, J. A., Liu, C. (2018.): Electrocatalytic Nitrogen Reduction at Low Temperature. *Joule*, 2(5): 846-856.
12. Duraković, S., Redžepović, S. (2002.): Uvod u opću mikrobiologiju. Kugler, Zagreb.

13. Đurđević, B. (2010.): Expert model of land suitability assessment for crops (in Croatian). Doktorska disertacija. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Poljoprivredni fakultet, Osijek.
14. Đurđević, B. (2014.): Praktikum iz ishrane bilja. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Poljoprivredni fakultet, Osijek.
15. Đurđević, B., Jug, I., Jug, D., Bogunović, I., Vukadinović, V., Stipešević, B., Brozović, B. (2019.): Spatial variability of soil organic matter content in Eastern Croatia assessed using different interpolation methods. *International Agrophysics* 33(1): 31-39.
16. Elbasiouny, H., Abowaly, M., Abu\_Alkheir, A., Gad A. A., (2013.): Spatial variation of soil carbon and nitrogen pools by using ordinary Kriging method in an area of north Nile Delta, Egypt. *Catena*, 113:70-78.
17. Eurostat (2017). Agri-environmental indicator - mineral fertiliser consumption. Posjećeno: 7. veljače 2019. Web stranica: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental\\_indicator\\_-\\_mineral\\_fertiliser\\_consumption](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental_indicator_-_mineral_fertiliser_consumption)
18. Fabozzi, F. J., Focardi, S. M., Rachev, S. T., Arshanapalli, B. G. (2014): *The Basics of Financial Econometrics: Tools, Concepts, and Asset Management Applications*. John Wiley & Sons, Inc, New York City.
19. Filipović, V., Petošić, D., Nakić, Z., Bubalo, M. (2013.): Prisutnost nitrata u podzemnim vodama; izvori i procesi. *Hrvatske vode*, 21(84): 119-128.
20. Giustini, F., Ciotoli, G., Rinaldini, A., Ruggiero, L., Voltaggio, M. (2019.): Mapping the geogenic radon potential and radon risk by using Empirical Bayesian Kriging regression: A case study from a volcanic area of central Italy. *Science of the Total Environment*, 661: 449-464.
21. Gorek, M. (2018.): Variografska analiza prostorne raspodjele otopljenog organskog ugljika u Dugopolju. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin.
22. Hall, R. (2008.): *Soil essentials: managing your farm's primary asset*. CSIRO Publishing, Australia.
23. How kriging works. Posjećeno: 8. lipnja 2019. Web stranica: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>



24. Jug, D., Jug, I., Vukadinović, V., Đurđević, B., Stipešević, B., Brozović, B. (2017.):  
Konzervacijska obrada tla kao mjera ublažavanja klimatskih promjena. U: Jug, D. Hrvatsko društvo za proučavanje obrade tala (HDPOT), Osijek.
25. Kaymaz, S. M. (2018.): Mapping Water Quality by Using Geostatistical Method (Marmaris Bay, Mugla, Turkey). *Journal of Marine Biology and Aquatic Research*, 1(1): 103-111.
26. Khan, H. (2018.): Importance of Soil tests.
27. Krivoruchko K. (2012): "Empirical Bayesian Kriging," ArcUser Fall 2012
28. Krosvalidacija. Posjećeno: 9. lipnja 2019. Web stranica:  
<http://struna.ihjj.hr/naziv/krosvalidacija/30943/>
29. Liu, X., Herbert, S.J., Hashemi, A.M., Zhang, X. and Ding, G. (2006.): Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation - a review. *Plant, Soil and Environment* 52:531–543.
30. Malvić, T. (2005.): Kriging - geostatistička interpolacijska metoda. Zagreb.
31. Malvić, T. (2008.): Primjena geostatistike u analizi geoloških podataka. INA-industrija nafte d.d., Zagreb.
32. Mikulčić, I. (2016.): Osnove geostatistike i njena primjena. Završni rad. Sveučilište Sjever, Varaždin.
33. Mondal, A., Khare, D., Kundu, S., Mondal, S., Mukherjee, S., Mukhopadhyay, A. (2017.): Spatial soil organic carbon (SOC) prediction by regression kriging using remote sensing data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 20:61-70.
34. Nakić, Z., Bačani, A., Vlahović, T. (2001.): Antropogeni utjecaj na podzemne vode crpilišta Strmec (Zagreb, Hrvatska). *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 13:25-38.
35. Park, E., Brorsen, B. W., Li, X. (2018.): How to Use Yield Monitor Data to Determine Nitrogen Recommendations: Bayesian Kriging for Site-Specific Parameter Estimates. *Agricultural & Applied Economics Association Annual Meeting*.
36. Piškorić, J. (2018.): Variografska analiza prostorne raspodjele arsena u Dugopolju. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin.
37. Robertson G. P. (2008.): *GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences*. Gamma Design Software, Plainwell.

38. Samsonova, V. P., Blagoveshchenskii, Y. N., Meshalkina, Y. L. (2017.): Use of Empirical Bayesian Kriging for Revealing Heterogeneities in the Distribution of Organic Carbon on Agricultural Lands. *Eurasian Soil Science*, 50(3): 305-311.
39. Savci, S. (2012.): Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment. *APCBEE Procedia*, 1:287-292.
40. Sila, A., Pokhariyal, G., Shepherd, K. (2017.): Evaluating regression-kriging for mid-infrared spectroscopy prediction of soil properties in western Kenya-East Africa. *Geoderma Regional*, 10:39-47.
41. Variogram. Posjećeno: 8. lipnja 2019. Web stranica: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Variogram>
42. Vugrinec, J. (2017.): Variografska analiza prostorne raspodjele olova u Dugopolju. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin.
43. Vukadinović, V., Vukadinović V. (2011.): Ishrana bilja. Sveučilište J. J. Strossmayera, Poljoprivredni fakultet, Osijek.
44. Žerjavić, V. (2011.): Geostatističko modeliranje razine podzemne vode. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin.
45. What is Empirical Bayesian kriging?. Posjećeno: 17. lipnja 2019. Web stranica: <http://bit.ly/2nR3zP7>
46. Wick, K., Heumesser, C., Schmid, E. (2012.): Groundwater nitrate contamination: Factors and indicators. *Journal of Environmental Management*, 111(3): 178-186.
47. Wolfe, A. H., Patz, J.A. (2002.): Reactive nitrogen and human health: acute and long-term implications. *Ambio*, 31(2): 120-125.
48. Yang, D. (2018.): Spatial prediction using kriging ensemble. *Solar Energy*, 171:977-982.
49. Vukadinović, V., Lončarić, Z., Bertić, B., Teklić, T. (2001.): AL-calculator for crop fertilization recommendation "on line". *Proceedings: Fertilizer, Food Security and Environmental Protection. Peking 2001*: 249-250.

## 8. SAŽETAK

Često se gnojidba provodi bez potrebne analize i napamet bez izračuna i uvažavanja potreba uzgajanih biljnih vrsta. Takva praksa može dovesti do pada prinosa, profita, ali i često do degradacije i onečišćenja tala. Kako bi se izbjegle negativne posljedice loše poljoprivredne prakse u današnje vrijeme poljoprivrednim proizvođačima na raspolaganju je niz naprednih alata (geostatistika, gnojidbeni kalkulatori) pomoću kojih mogu uskladiti gnojidbu sa zahtjevima uzgajanih kultura. Zbog toga je i cilj ovog rada da na temelju uzoraka tala, primjenom napredne geostatističke metode Bayesian kriging procijeni potrebe dušika na području Osječko-baranjske županije te izdvojiti ranjiva područja. Istraživanje je provedeno na površini od 4.152 km<sup>2</sup> gdje je prikupljeno ukupno 11.426 uzoraka tla. Potreba dušika izračunata je uz pomoć AlRxp kalkulatora, a geostatistička analiza i vizualizacija podataka izvršena je pomoću softverskog program ARCGIS. Prosječna izračunata doza dušika iznosila je 134,15 kg N ha<sup>-1</sup>. Najniža preporučena doza dušika iznosila je 23 kg N ha<sup>-1</sup>, a najviša 200 kg N ha<sup>-1</sup> što je bio i maksimum koji se mogao izračunati kalkulatorom. Površine s potrebom dušika od 120 do 160 kg N ha<sup>-1</sup> bile su najzastupljenije na području cijele županije. Najproblematičnija područja su ona s dozama dušika između 160 i 200 kg N ha<sup>-1</sup>, a naročito ona u blizini rijeka i jezera jer se u takvim područjima može očekivati ispiranje nitrata u vode što dovodi do njihovog zagađenja. Empirical Bayesian kriging metoda pokazala se uspješnom za predviđanje ranjivih područja Osječko-baranjske županije, ali nakon detekcije potrebno je izvršiti detaljnu analizu tla kao bi sa sigurnošću mogli utvrditi uzrok i ponuditi moguća rješenja u vidu agrotehničkih zahvata.

## 9. SUMMARY

Fertilization is often carried out without the necessary analysis and without calculation and identified needs of the cultivated plant species. Such practice can lead to declining yields, profit, but also can often lead to soil degradation and contamination. In order to avoid the negative consequences of poor agricultural practices, a variety of advanced tools (geostatistics, fertilization calculators) are available to farmers today to help them adjust fertilization to the requirements of cultivated crops. Therefore, the aim of this paper is to estimate the applied nitrogen doses in the Osijek-Baranja County using the advanced geostatistical Bayesian kriging method and to identify vulnerable areas based on collected soil samples. The survey was conducted on an area of 4,152 km<sup>2</sup> where a total of 11,426 soil samples were collected. The nitrogen dose was calculated using an AIRxp calculator and for the purposes of geostatistical analysis and data visualization, the ARCGIS software was applied. The average calculated dose of nitrogen was 134.15 kg N ha<sup>-1</sup>. The lowest recommended dose of nitrogen was 23 kg N ha<sup>-1</sup> and the highest 200 kg N ha<sup>-1</sup> which was also the maximum that could be calculated with the calculator. The areas with nitrogen demands from 120 to 160 kg N ha<sup>-1</sup> were the most prevalent in the entire county. The most problematic areas are those with nitrogen doses between 160 and 200 kg N ha<sup>-1</sup>, and especially those near rivers and lakes, since in such areas nitrate leaching into the waters can be expected leading to their pollution. The empirical Bayesian kriging method has been proven successful in predicting vulnerable areas in Osijek-Baranja County, but after detection it is necessary to carry out a detailed soil analysis in order to be able to determine the cause with certainty and to offer possible solutions in the form of agro-technical interventions.

## **10. POPIS TABLICA**

Tablica 1. Usporedba Bayesian kriging metode naspram ostalih kriging metoda

Tablica 2. Osnovne kemijske značajke ispitivanog područja

Tablica 3. Statistička analiza izračunate doze dušika

## 11. POPIS SLIKA

- Slika 1. Kruženje dušika u prirodi
- Slika 2. Usporedba površine rude i ploče za vađenje rude
- Slika 3. Grafički prikaz prostorne zavisnosti između promatrane točke (crvena točka) i ostalih točaka (crne točke) na kojoj se temelji kriging
- Slika 4. Prikaz eksperimentalnog semivariograma
- Slika 5. Teorijski semivariogram s prikazanim osnovnim dijelovima krivulje
- Slika 6. Usporedba sfernog, eksponencijalnog, Gaussovog, linearnog i logaritamskog semivariograma za isti niz podataka
- Slika 7. Tipovi tala Osječko-baranjske županije
- Slika 8. Grafički prikaz uzoraka uzetih na području Osječko-baranjske županije
- Slika 9. Shematski prikaz dopunskih podataka (informacija o tlu)
- Slika 10. Prikaz semivariograma za svaki podskup
- Slika 11. Postupak izračuna procjene doze dušika
- Slika 12. Procijenjene doze dušika za područje Osječko–baranjske županije

## **12. POPIS GRAFIKONA**

- Grafikon 1. Reakcija tla u analiziranim uzorcima tala
- Grafikon 2. Sadržaj organske tvari u analiziranim uzorcima tala
- Grafikon 3. Izračunata potreba dušika

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehnički znanosti u Osijeku  
Sveučilišni diplomski studij; smjer: Ishrana bilja i tloznanstvo

Procjena potrebe dušika primjenom empirical bayesian kriging metode na području  
Osječko-baranjske županije

**Juro Zovkić**

**Sažetak:**

Često se gnojidba provodi bez potrebne analize i napamet bez izračuna i uvažavanja potreba uzgajanih biljnih vrsta. Takva praksa može dovesti do pada prinosa, profita, ali i često do degradacije i onečišćenja tala. Kako bi se izbjegle negativne posljedice loše poljoprivredne prakse u današnje vrijeme poljoprivrednim proizvođačima na raspolaganju je niz naprednih alata (geostatistika, gnojidbeni kalkulatori) pomoću kojih mogu uskladiti gnojidbu sa zahtjevima uzgajanih kultura. Zbog toga je i cilj ovog rada da na temelju uzoraka tala, primjenom napredne geostatističke metode Bayesian kriging procijeni potrebe dušika na području Osječko-baranjske županije te izdvojiti ranjiva područja. Istraživanje je provedeno na površini od 4.152 km<sup>2</sup> gdje je prikupljeno ukupno 11.426 uzoraka tla. Potreba dušika izračunata je uz pomoć A1Rxp kalkulatora, a geostatistička analiza i vizualizacija podataka izvršena je pomoću softverskog program ARCGis. Prosječna izračunata doza dušika iznosila je 134,15 kg N ha<sup>-1</sup>. Najniža preporučena doza dušika iznosila je 23 kg N ha<sup>-1</sup>, a najviša 200 kg N ha<sup>-1</sup> što je bio i maksimum koji se mogao izračunati kalkulatorom. Površine s potrebom dušika od 120 do 160 kg N ha<sup>-1</sup> bile su najzastupljenije na području cijele županije. Najproblematičnija područja su ona s dozama dušika između 160 i 200 kg N ha<sup>-1</sup>, a naročito ona u blizini rijeka i jezera jer se u takvim područjima može očekivati ispiranje nitrata u vode što dovodi do njihovog zagađenja. Empirical Bayesian kriging metoda pokazala se uspješnom za predviđanje ranjivih područja Osječko-baranjske županije, ali nakon detekcije potrebno je izvršiti detaljnu analizu tla kao bi sa sigurnošću mogli utvrditi uzrok i ponuditi moguća rješenja u vidu agrotehničkih zahvata.

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

**Mentor:** Dr. sc. Boris Đurđević, izv. prof.

**Broj stranica:** 42

**Broj grafikona i slika:** 15

**Broj tablica:** 3

**Broj literaturnih navoda:** 49

**Broj priloga:** 0

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** Empirical Bayesian kriging, dušik, gnojidbeni kalkulator

**Datum obrane:** 28. listopad, 2019.

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. Prof. dr. sc. Irena Jug, predsjednik
2. Izv. prof. dr. sc. Boris Đurđević, mentor
3. Prof. dr. sc. Danijel Jug, član

**Rad je pohranjen:** Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.



**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Agrobiotechnological Sciences Osijek  
University Graduate Studies, Plant production, Herb nutrition and soil science**

**Nitrogen rate prediction using empirical Bayesian kriging method for Osijek-Baranja  
County**

**Juro Zovkić**

**Abstract:**

Fertilization is often carried out without the necessary analysis and by heart without calculation and identified needs of the cultivated plant species. Such practice can lead to declining yields, profit, but also can often lead to soil degradation and contamination. In order to avoid the negative consequences of poor agricultural practices, a variety of advanced tools (geostatistics, fertilization calculators) are available to farmers today to help them adjust fertilization to the requirements of cultivated crops. Therefore, the aim of this paper is to estimate the applied nitrogen doses in the Osijek-Baranja County using the advanced geostatistical Bayesian kriging method and to identify vulnerable areas based on collected soil samples. The survey was conducted on an area of 4,152 km<sup>2</sup> where a total of 11,426 soil samples were collected. The nitrogen dose was calculated using an AIRxp calculator and for the purposes of geostatistical analysis and data visualization, the ARCGIS software was applied. The average calculated dose of nitrogen was 134.15 kg N ha<sup>-1</sup>. The lowest recommended dose of nitrogen was 23 kg N ha<sup>-1</sup> and the highest 200 kg N ha<sup>-1</sup> which was also the maximum that could be calculated with the calculator. The areas with nitrogen demands from 120 to 160 kg N ha<sup>-1</sup> were the most prevalent in the entire county. The most problematic areas are those with nitrogen doses between 160 and 200 kg N ha<sup>-1</sup>, and especially those near rivers and lakes, since in such areas nitrate leaching into the waters can be expected leading to their pollution. The empirical Bayesian kriging method has been proven successful in predicting vulnerable areas in Osijek-Baranja County, but after detection it is necessary to carry out a detailed soil analysis in order to be able to determine the cause with certainty and to offer possible solutions in the form of agro-technical interventions.

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnological Sciences Osijek

**Mentor:** Boris Đurđević, PhD, professor

**Number of pages:** 42

**Number of figures:** 15

**Number of tables:** 3

**Number of references:** 49

**Original in:** Croatian

**Key words:** Empirical Bayesian kriging, nitrogen, fertilization calculator

**Thesis defended on date:** 28. October, 2019.

**Reviewers:**

**1. Prof. dr. sc. Irena Jug , chairman**

**2. Associate Professor Boris Đurđević, mentor**

**3. Prof. dr. sc. Danijel Jug, member**

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