

Procjena potrebe hraniva metodom kriginga za uzgoj kukuruza na području Osječko-baranjske županije

Galović, Pavo

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:151:846714>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-18**



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 U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Pavo Galović,

Diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Ishrana bilja i tloznanstvo

PROCJENA POTREBE HRANIVA METODOM KRIGINGA ZA UZGOJ
KUKURUZA NA PODRUČJU OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE

Diplomski rad

Osijek, 2020.

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Pavo Galović,
Diplomski studij Bilinogojstvo
Smjer Ishrana bilja i tloznanstvo

**PROCJENA POTREBE HRANIVA METODOM KRIGINGA ZA UZGOJ
KUKURUZA NA PODRUČJU OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE
Diplomski rad**

Osijek, 2020.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Pavo Galović,

Diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Ishrana bilja i tloznanstvo

PROCJENA POTREBE HRANIVA METODOM KRIGINGA ZA UZGOJ
KUKURUZA NA PODRUČJU OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE
Diplomski rad

Povjerenstvo za obranu i ocjenu 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, 2020.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Cilj istraživanja	2
2. PREGLED LITERATURE	3
2.1. Kukuruz	3
2.1.1. <i>Dušik u ishrani kukuruza</i>	5
2.1.2. <i>Fosfor u ishrani kukuruza</i>	7
2.1.3. <i>Kalij u ishrani kukuruza</i>	9
2.2. Geostatistička analiza	10
3. MATERIJAL I METODE	15
3.1. Značajke istraživanog područja	15
3.2. Uzorkovanje i kemijska analiza tla	15
3.2.1. <i>Reakcija tla</i>	16
3.2.2. <i>Sadržaj humusa u tlu</i>	16
3.2.3. <i>Hidrolitička kiselost tla</i>	16
3.2.4. <i>AL-metoda određivanja lakopristupačnog fosfora i kalija</i>	17
3.2.5. <i>Kationsko izmjenjivački kapacitet tla (KIK)</i>	17
3.3. Obrada rezultata	17
4. REZULTATI	19
4.1. Kemijska svojstva	19
4.2. Izračun potrebe hraniva i geostatistička analiza	23
5. RASPRAVA.....	28
6. ZAKLJUČAK.....	31
7. POPIS LITERATURE.....	32
8. SAŽETAK.....	35
9. SUMMARY	36
10. POPIS TABLICA.....	37
11. POPIS SLIKA	38
12. POPIS GRAFIKONA.....	39

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

BASIC DOCUMENTATION CARD

1. UVOD

Kukuruz (*Zea mays*, L.) je jednogodišnja prosolika žitarica iz porodice trava (*Gramineae* ili *Poaceae*). U grupi *Maydaeae* ima osam rodova, od kojih pet potječu iz Azije, a tri iz Amerike (Kovačević i Rastija, 2014.). Nakon što je Kolumbo otkrio Ameriku kukuruz je prenesen u Europu i na ostale kontinente.

Danas je kukuruz rasprostranjen u cijelome svijetu i predstavlja jednu od najvažnijih žitarica, što Gagro (1997.) objašnjava vrlo širokim uzgojnim arealom zbog različite duljine vegetacije hibrida. Također, može uspijevati i u lošijim klimatskim područjima, kao i na tlima niske plodnosti. Kao druga najvažnija žitarica na svijetu (odmah iza pšenice) ima vrlo široku i raznovrsnu primjenu u različitim industrijskim granama: prehrambenoj, farmaceutskoj, kozmetičkoj i tekstilnoj industriji.

Prema podacima FAOSTAT-a, u 2018. godini u svijetu je s kukuruzom zasijano oko 194 milijuna ha poljoprivrednih površina i ubrano 1,15 milijardi tona zrna. Optimalno područje za uzgoj kukuruza je na sjevernoj polutci od 15° do 45° sjeverne geografske širine, a na južnoj između 21° i 35° južne geografske širine (Todorović i Komljenović, 2003.).

Najveći proizvođači kukuruza su SAD s nešto više od 392 milijuna tona, Kina s 257 milijuna tona te Brazil s 82 milijuna tona. Kukuruz je u Hrvatskoj najzastupljenija žitarica. Prema podacima FAOSTAT-a (2020.) u RH je 2018. godine proizvedeno 2 147 275 tona kukuruza na 235 352 ha poljoprivrednih površina s prosječnim prinosom oko 9,1 t ha⁻¹.

Kako u svijetu raste broj stanovnika tako raste i potreba za hranom. Upravo je to razlog intenziviranja poljoprivredne proizvodnje i pojačanog iskorištavanja zemljišta što, nažalost, u ovom tisućljeću postaje sve očitije. Poljoprivredne površine se smanjuju zbog različitih oblika degradacije, ulaganja postaju sve veća, a prinosi nerijetko ne mogu zadovoljiti potrebe stanovništva. U takvim situacijama najčešće se pristupa prekomjernoj gnojidbi, koja osim što značajno povećava ulaganja još i postaje velika opasnost za okoliš, naročito onečišćenjem podzemnih voda. Ne treba zaboraviti niti da suvišak pojedinih hraniva (npr. dušika i fosfora) osim što zagađuje podzemne i površinske vodotoke utječe i na globalni proces zagrijavanja Zemlje (Vukadinović i Vukadinović, 2016.). Zbog toga se nameće potreba poštivanja načela dobre poljoprivredne prakse (MPRR, 2009.) koja nalažu kontinuiranu analizu tla i gnojidbu izbalansiranu prema potrebama usjeva uz minimalni

utjecaj na okoliš. S obzirom na sve rašireniju digitalizaciju u svim sferama ljudskog života izrazito je važno i poljoprivrednu proizvodnju uklopiti u te trendove i to ne samo deklarativno nego i praktično. Suvremeni pristup u proizvodnji hrane podrazumijeva primjenu računalnih softvera koji omogućavaju brzinu i točnost u izračunavanju gnojidbe. Softverska rješenja (kao što je ALRxp kalkulator) izračune rade automatizirano, a pri tome obrađuju mnoštvo podataka o geografskoj poziciji, agroekološkim uvjetima proizvodnog područja, reljefu, tlu, predkulturi, agrotehnici i sl. Ovakvi modeli su utemeljeni na GIS-u što im daje ogromnu prednost u odnosu na konvencionalni pristup upravo zbog brzine i pouzdanosti informacijskog sustava.

1.1. Cilj istraživanja

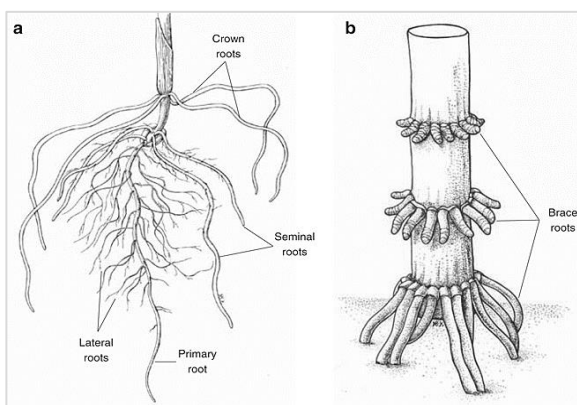
Cilj istraživanja je procijeniti količinu hraniva potrebnog za uzgoj kukuruza na području Osječko-baranjske županije primjenom napredne geostatističke metode kriginga.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Kukuruz

Kukuruz (slika 2.) je žitarica koja za razliku od ostalih *Poaceae* ima visoku i krupnu stabljiku s velikim listovima i krupnim zrnom (Kovačević i Rastija, 2014.). Korijenov sustav je žiličaste građe, jako dobro razvijen s najvećom masom u obradivom sloju (do 30 cm dubine), a dubina do koje prorasta tlo je 2,5 m i više.

Korijen može biti primarni (glavni, hipokotilni i mezokotilni) i sekundarni (podzemni nodijalni i zračni nodijalni) (slika 1.). Dobra razvijenost primarnog korijena i s tim vezana moć usvajanja vode i hraniva omogućava rast na slabije plodnim tlima (nepovoljna tekstura, slabo humozna, jako kisela i sl.). Zračno nodijalno korijenje učvršćuje biljku.



Slika 1. Korijen kukuruza
(Izvor: Hochholdinger, 2009.)



Slika 2. Kukuruz

Visina stabljike kukuruza varira (Gagro, 1997.) u našim agroekološkim uvjetima od 1,5 do 3,0 m, dok u tropskom području uz dovoljno vlage i topline to može biti puno više. Primjer je farmer u Kostariki koji je 2016. godine uzgojio kukuruz rekordne visine od 13,72 m. Kukuruz stvara dosta zametaka klipova, ali najčešće se razvija samo jedan. Količina klipova

ovisi o hibridu, plodnosti / produktivnosti tla i agrotehnici, jer biljka stvara onoliko klipova koliko je u mogućnosti ishraniti. Oblik i struktura zrna su kriteriji prema kojima se kukuruz razvrstava u devet podvrsta (Gagro, 1997., Kovačević i Rastija, 2014.). Podvrste zuban i tvrdunac najzastupljenije su u proizvodnji što znači da najviše hibrida koji se susreću na poljima pripada ovoj podvrsti.

Prinos kukuruza po jedinici površine varira od 2 do 41 t ha⁻¹, što je svjetski rekord postavljen 2019. godine u SAD-u. Za stabilan i profitabilan prinos potrebno je koristiti deklarirane hibride i pridržavati se agrotehničkih mjera. Prema Jugu i sur. (2015.) optimalan rok za sjetvu kukuruza je od 10. travnja do 5. svibnja. Dubina sjetve ovisi o zbijenosti tla pa je u rahlim tlima 6 - 8 cm, srednje zbijenim 5 - 7 cm, a u jako zbijenim 5 - 6 cm. Kukuruz je biljka C-4 tipa fotosinteze pa gustoća sjetve ima bitnu ulogu u postizanju optimalnog sklopa, jer uz preveliki broj biljaka pogoršava se svjetlosni režim donjih i srednjih listova (Kovačević i Rastija, 2014.). Optimalni indeks lisne površine (LAI) je 3 - 4.

Kukuruz najbolje uspijeva na propusnim, dubokim i plodnim tlima povoljne strukture i slabo kisele do neutralne reakcije (pH 6 - 7). Ovakvi uvjeti (Vukadinović i Vukadinović, 2016.) su optimalni za nesmetanu transformaciju hraniva iz organskih rezervi tla pomoću različitih mikroorganizama.

Najpovoljnije dnevne temperature za kukuruz su od 25 do 32 °C, a kod 37 °C pojavljuju se oštećenja na listovima. Visoke temperature u ljetnim mjesecima ne utječu na visinu prinosa ako u tlu ima dovoljno vlage, jer kukuruz može podnijeti manjak vode 25 - 30 %. Transpiracijski koeficijent ili potrebna količina vode (kg) biljkama za sintezu 1 kg suhe tvari, za kukuruz iznosi 250 - 350. Procjena potrebnih količina oborina tijekom vegetacije za postizanje ciljanog prinosa vrši se na temelju žetvenog indeksa. Tako je uz prosječni žetveni indeks 53:47 (zrno : kukuruzovina) za prinos 10 t ha⁻¹ suhog zrna potrebno oko 660 mm oborina (Vukadinović i Vukadinović, 2016.).

Kukuruz ima visok proizvodni potencijal. Kako bi se ostvario potrebno je uz odgovarajuću agrotehniku i izbor hibrida FAO grupe prikladne agroekološkim uvjetima proizvodnog područja osigurati dovoljnu količinu hraniva. Pravilna gnojidba podrazumijeva redovnu analizu tla (Vukadinović i Bertić, 2013., Đurđević, 2010., Hrgović, 2007.) te proračun gnojidbe na temelju potrebe biljke za pojedinim hranivima uz očekivani prinos. Kukuruz u fenološkim fazama do cvatnje metlice i klipa (svilanje) usvoji 80 % kalija i više od 50 %

dušika i fosfora. Iz tog razloga je tijekom cijele vegetacije, a naročito u početnim fazama razvoja, neophodna dovoljna količina pristupačnih hraniva. Pošto se dio potrebnih hraniva odnosi žetvom, odnosno berbom potrebno je nadomještati te količine redovitom gnojidbom.

2.1.1. Dušik u ishrani kukuruza

Dušik je esencijalni element koji je u atmosferi zastupljen sa 78 %. Međutim, biljke ga ne mogu usvajati u plinovitom obliku, već u nitratnom (NO_3^-) i amonijskom (NH_4^+) koji se nalaze u tlu. Nitratni oblik dušika je lako pokretan, ali za ugradnju u organsku tvar mora se reducirati u amonijski. Kukuruz stvara veliku biljnu masu što znači da su mu i potrebe za dušikom velike. Vukadinović i Vukadinović (2011.) navode da dušika u tlu ima oko 0,1 - 0,3 %, a od toga je neznatni dio (1 - 3 %) pristupačan biljkama. Veliki problem u poljoprivrednoj proizvodnji je što dušik stvara u tlu lakotopive spojeve, koji se ispiru iz zone korijena u dublje slojeve tla i podzemne vodotokove pa dolazi do onečišćenja. To predstavlja veliki problem u pjeskovitim tlima.

Ukupna količina dušika u tlu ovisi o tipu vegetacije, topografiji, klimi, matičnom supstratu itd. Dušik je rezultat aktivnosti živih organizama, prvenstveno mikroorganizama koji mogu vezati molekularni dušik iz atmosfere i graditi vlastitu organsku tvar. Procjene godišnje fiksacije dušika od strane mikroorganizama iznose 175×10^6 t što ni u kom slučaju nije dovoljno pa je u većini slučajeva potrebna dodatna gnojidba mineralnim gnojivima. Dušik dospijeva u tlo i ugibanjem te razgradnjom viših organizama čime nastaje organska rezerva.

Biljka u suhoj tvari sadrži u prosjeku 2 - 5 % dušika. Zbog nedostatka dušika listovi poprimaju žutu boju, najčešće u obliku slova V počevši od vrha lista (slika 3.). Budući da je dušik u biljci mobilan, žuta boja će se prvo pojaviti na starijim donjim listovima. Dušik je biljkama neophodan već od početnih faza, ali u malim količinama. Zbog toga se često može dogoditi da se ne uoči nedostatak na vrijeme. Razlog zaostajanja u rastu može biti i slabo razvijen korijen kod malih biljaka i one ga ne mogu usvojiti iako ga u tlu ima dovoljno. Kod manjka dušika biljka formira manju asimilacijsku površinu, lišće je kraće i uže te blijedozelene boje zbog manjka klorofila.

Zbog suviška dušika ubrzava se porast vegetativnih organa, a lišće poprima modrozelenu boju. Ako se gnojidbom dodaju previsoke koncentracije dušika biljkama slabi otpornost na

bolesti, štetnike i sušu, opada prinos i kvaliteta proizvoda. Izrazito velik problem je ispiranje nitrata iz laganih, pjeskovitih tala čime se zagađuje okoliš (ne samo tlo nego i voda).



Slika 3. Simptomi nedostatka dušika (Izvor:<https://blog-crop-news.extension.umn.edu/2017/05/4-key-nutrient-deficiencies-to-scout.html>)

Zbog svih ranije nabrojanih problema Vukadinović i Vukadinović (2016.) navode da za predstjetvenu, startnu prihranu treba koristiti gnojiva s amonijskim i nitratnim oblikom dušika (KAN, AN). Za osnovnu gnojidbu predlažu ureu, anhidrirani amonijak i UAN (najbolji učinak prskanjem žetvenih ostataka neposredno pred zaoravanje). Za sprječavanje volatizacije (neutralna i karbonatna tla) anhidrirani amonijak mora biti injektiran na dubinu 10 - 15 cm uz povoljnu vlažnost. Iz istog razloga ureu i UAN je dobro odmah zaorati. AN i KAN su gnojiva iz kojih se dušik potencijalno može izgubiti ispiranjem kod suviška padalina ili *denitrifikacijom* u kiseloj sredini.

2.1.2. Fosfor u ishrani kukuruza

Prosječna koncentracija fosfora u zemljinoj kori je $1,18 \text{ g kg}^{-1}$ što je znatno više od prosječne koncentracije u sloju tla do 50 cm dubine, koja je prema Ryanu i sur. (2012.), $0,5 \text{ g kg}^{-1}$. Fosfor kao esencijalni element sastavni je dio proteina, učestvuje u sintezi ATP i ADP, procesima glikolize i fotosinteze i u stimulaciji rasta korijena (Kovačević i Rastija, 2014.). Deficit fosfora u tlu vrlo brzo se uočava što rezultira promjenom boje najmlađih listova - dobivaju crvenkastu do ljubičastu boju (slika 4.) zbog sinteze antocijana, jer se akumulira šećer i smanjuje sinteza proteina.



Slika 4. Simptom deficita fosfora na kiselim tlima

Osim promjene boje biljke su nižeg uzrasta, a starije lišće ranije opada zbog lake pokretljivosti fosfora koji se brzo premješta u mlađe listove.

Suvišak fosfora u prirodi je vrlo rijetka pojava, ali može se dogoditi kada koncentracija fosfora u suhoj tvari pređe 1 % što izaziva deficit cinka i željeza. U takvim situacijama ubrzava se metabolizam (Vukadinović, Vukadinović, 2011.) i biljka prerano cvate.

Funkciju fosfora u biljkama ne može zamijeniti niti jedan element što znači da je neophodan za optimalni rast i reprodukciju bilja. Biljka ga usvaja korijenovim dlačicama većinom u obliku vodotopivog dihidrogenfosfata (H_2PO_4^-), a rjeđe kao hidrogenfosfat (HPO_4^{2-}) čiji sadržaj raste s porastom pH tla. Uslijed kemijske fiksacije pristupačnost fosfora se mijena. U kiselim i alkalnim tlima nastaju biljkama nepristupačni oblici fosfora (aluminijevi, željezni i kalcijevi fosfati) pa su (Vukadinović i sur., 2014.) biljke razvile niz prilagodbi kako bi mogle usvajati anorganski fosfor iz tla (povećanje korijena, grananje korijena, veći broj korijenskih dlačica).

Topivost anorganskog fosfora u različitim otapalima (Vukadinović i Vukadinović, 2011.) je kriterij za podjelu na:

- Vodotopivi fosfor – predstavlja frakciju fosfora u vodenoj fazi tla. Koncentracija je oko 1 kg ha^{-1} , a njen porast poslije gnojidbe potiče brzu transformacije u slabije topive oblike. Ovaj proces ovisi o kritičnoj koncentraciji ravnoteže vodotopivih i manje topivih oblika fosfora, a ponajviše o sadržaju fosfora u tlu. Podatak o koncentraciji vodotopivih oblika fosfora bitan je u agrotehnici jer upućuje na stupanj efikasnosti raspoloživog fosfora u tlu.
- Kod fosfora topivog u kiselinama razlikuju se fosfor topiv u jakim i slabim kiselinama. Fosfor topiv u slabim kiselinama je vrlo značajan za ishranu bilja, a čine ga citrat topivi fosfor i HPO_4^{2-} . Topivost u slabim kiselinama najčešće se određuje u otopini amonijeva laktata pa se takav fosfor naziva AL-topivim. Fosfor topiv u jakim kiselinama obuhvaća oblike koji se svrstavaju u teško raspoložive rezerve tla (apatit, fosforit, Al i Fe fosfati).
- Fosfor topiv u lužinama predstavlja frakciju koja ostaje u tlu neiskorištena u kiselim sredinama, a njezina topivost se testira u $0,25 \text{ mol dm}^{-3} \text{ NaOH}$. Ako je $\text{pH} > 8$ dolazi do djelomičnog otapanja Fe i Al fosfata koji pri tome grade hidrokside u obliku taloga. Količina fosfora koja se oslobađa u lužnatoj sredini prvenstveno ovisi o sadržaju kalcija, a kreće se između 50 i 600 ppm.
- Teško topivi fosfor je u potpunosti neraspoloživ za usvajanje od strane biljaka i takvi oblici se mogu otopiti samo u izrazito jakim kiselinama kao što su: fluorovodična kiselina (HF) ili zlatotopka (smjesa HCl i HNO_3).

Organski fosfor dospijeva u tlo unošenjem biljnih ostataka, ali mora proći proces mikrobiološke transformacije kako bi postao biljkama pristupačan. Ovaj proces je moguć

samo uz sadržaj fosfora u organskoj tvari >0,2 %. U suprotnom dolazi do biološke imobilizacije fosfora jer ga mikroorganizmi u cijelosti koriste za svoje potrebe. Ciklus se neprestano ponavlja i predstavlja kruženje fosfora u prirodi.

2.1.3. Kalij u ishrani kukuruza

Kalij se u tlu i biljkama nalazi u vidu K^+ iona, koji značajno utječe na aktivnost enzima i elektrolita. Ima ključnu ulogu u fotosintezi, transportu asimilata u floemu, metabolizmu dušika i akumuliranju rezervnih tvari. Treba naglasiti da je izuzetno važan za reguliranje sadržaja vode u biljkama. Također, biljkama omogućava prilagodbu na nepovoljne klimatske i zemljišne uvjete (mraz, suša, zaslanjivanje) i pomaže u jačanju otpornosti na različite patogene (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

U slučaju nedostatka kalija opada efikasnost fotosinteze što rezultira usporavanjem rasta i razvoja biljaka iako nema vidljivih simptoma (Vukadinović i sur., 2014.). Simptomi deficita prvo se javljaju na starijem lišću, nakon toga se vrlo brzo šire i na mlado lišće. Na starijem lišću javlja se rubna kloroza i list se savija prema dolje (slika 4.). Turgor se smanjuje pa biljke djeluju uvenulo (Kovačević i Rastija, 2014.).



Slika 4. Simptomi deficita kalija na kukuruзу (Izvor:

<https://andersonscanada.com/2014/10/14/potassium-key-ingredient-quality-crops/>)

Nedostatak kalija najčešći je u pjeskovitim tlima zbog slabe adsorpcije, u glinastim zbog fiksacije kalija ili u tlima sa suviškom kalcija ili magnezija. Suvišak kalija je vrlo rijetka pojava, ali moguća je na zaslanjenim tlima ili u slučajevima višekratne obilne gnojidbe.

Kalij u tlo dospijeva raspadom primarnih minerala. Veći dio se veže na adsorpcijski kompleks čime se smanjuje pokretljivost i mogućnost ispiranja. Koncentracija kalija u tlu ovisi o količini i vrsti minerala gline. Kalij ima sposobnost fiksacije u međulamelarni prostor ilita što izravno utječe na njegovo usvajanje od strane biljaka i profitabilnost gnojidbe. Kalij u otopini tla vezan na površinu kristalne rešetke minerala gline pristupačan je biljkama. Vezivanjem kalija na koloidnu micelu (tijelo sorpcije) dolazi do istiskivanja drugih iona u otopinu tla, najčešće Mg^{2+} i Ca^{2+} . Prosječni sadržaj kalija u tlu je 0,2 - 3,0 %. Koncentracija biljkama raspoloživog kalija (izmjenjivog) u prosjeku je između 40 i 400 ppm ili oko 2 % kationskog izmjenjivačkog kapaciteta tla (KIK). Gnojidba kalijem u prvoj godini ne mora biti uspješna zbog različitog KIK-a, ali se zato kontinuiranom gnojidbom problem rješava.

2.2. Geostatistička analiza

Klasične statističke metode zasnivaju se na pretpostavci da su pojedini uzorci međusobno statistički neovisni. Međutim, u geostatistici i krigingu podaci su u korelaciji s geografskom pozicijom pa se takve varijable nazivaju regionaliziranim varijablama (Medak, 2006.). Kriging se najčešće opisuje kao napredna interpolacijska metoda koja služi za procjenu vrijednosti regionalizirane varijable u točkama odabrane mreže. Geostatistika je metoda koja se koristi u analizi prostorno povezanih podataka pomoću variograma, a i nekih drugih tehnika u svrhu kvantificiranja i modeliranja prostorne povezanosti podataka (Mikulčić, 2016.).

Tvorcem geostatistike smatra se Georges Matheron, jer je prvi osmislio metodologiju procjene koncentracije ruda na nekom području. U to vrijeme geostatistika je predstavljala potpuno novu metodu koja nije bila povezana s matematičkim interpolacijama i modelima. Današnja, moderna geostatistika, omogućava integraciju multidisciplinarnih podataka u trodimenzionalne geostatističke modele Zemlje (Dubrule, 2018.)

Kriging se prvi puta pojavljuje 1951. godine kada je rudarski inženjer Danie Gerhardus Krige istraživao eksploataciju zlata i srebra u južnoafričkim rudnicima. Visoki troškovi

vađenja rude vrlo često su bili viši od vrijednosti izvađene rude pa je odabir prave lokacije bio ključan čimbenik profitabilnosti. Krige je napravio bazu podataka u kojoj je dodijelio težinski koeficijent (λ) svakoj ploči te komplementarni težinski koeficijent ($\lambda - 1$) nalazištu rude. Kasnije Georges Mathéron nailazi na isti problem pa teoriju kriginga izražava kao ekvivalent metodi najmanjih srednjih kvadrata primijenjenoj na linearnom Gaussovu modelu. Svoje prve rezultate geostatističkih istraživanja Mathéron objavljuje u doktorskoj disertaciji, a u čast Krigeu metodu naziva kriging. Intenzivnija uporaba ove metode započinje 80-ih godina 20. stoljeća u naftnoj industriji (Malvić, 2008., Dubrule, 2018., Cressie, 1990.)

Analiza u krigingu počinje pretpostavkom da udaljenost ili smjer između uzoraka odražava prostornu korelaciju koja se može koristiti za objašnjenje varijacija u tlu. Stoga, kriging odgovara matematičkoj funkciji za određeni broj točaka ili sve točke unutar određenog radijusa kako bi odredio izlaznu vrijednost za svako mjesto. To je proces koji uključuje više koraka, kao što su: istraživačko statistička analiza podataka, modeliranje variograma, stvaranje i istraživanje površine varijance.

Prema Malviću (2005.) kriging je definiran nizom jednadžbi kojima je najlakše prikazati njegov princip rada. Pomoću kriginga vrši se procjena vrijednosti regionalizirane varijable na izabranoj lokaciji (Z_k), temeljem postojećih okolnih vrijednosti (Z_i). Svakoj vrijednosti je pridružen odgovarajući težinski koeficijent (λ_i), a autor ističe da se vrijednost regionalizirane i slučajne varijable definira na slijedeći način:

$$Z_i = Z(x_i)$$

x_i = točka u kojoj je očitana vrijednost

Vrijednost varijable koja je procijenjena pomoću kriginga temeljem n okolnih kontrolnih točaka je slijedeća:

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

λ_i = weights (težinski koeficijenti svake lokacije)

Z_i = control points (kontrolne točke)

Z_k = vrijednost procijenjena s krigingom

Nakon toga slijedi procjena težinskih koeficijenata i Zk vrijednosti rješavanjem sustava linearnih jednadžbi kriginga. Kriging ovaj proces obavlja u dvije faze kroz kreiranje variograma i funkcija kovarijance za procjenu statističke ovisnosti (prostorne autokorelacije) i predviđanje nepoznatih vrijednosti. S obzirom da se proces odvija u dva koraka može se zaključiti kako kriging podatke koristi 2 puta (prvi put procjenjuje prostorne autokorekcije podataka, a drugi put stvara pretpostavku).

Prostorno modeliranje ili variografija često se naziva i strukturnom analizom, a podrazumijeva korištenje funkcija variograma u tumačenju svojstava koja su predmetom istraživanja (Mikulčić, 2016.). Rezultat prostornog modeliranja je variogram, odnosno semivariogram, kao osnovno sredstvo vrednovanja, kvantificiranja i prostorne ovisnosti. Prema Medaku (2005.) variogram je prosjek kvadrata razlika dviju vrijednosti izračunatih kao funkcije udaljenosti tih vrijednosti. Terminološki, pojmovi variogram i semivariogram su identični. Prema Malviću (2008.) variogramska jednadžba se može pojednostavniti na način da se iz nazivnika ukloni broj 2.

Dobivena funkcija 2 naziva se semivariogram:

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

γ = vrijednost semivarijance

$N(h)$ = broj parova podataka uspoređenih na udaljenosti 'h'

$z(u_n)$ = vrijednost na lokaciji 'u'

$z(u_n + h)$ = vrijednost na lokaciji 'u + h'

Semivarijanca je mjera prostorne zavisnosti istraživanih podataka iz istog skupa određenog smjera. Ako je zavisnost između podataka veća tada vrijednost semivarijance opada. Semivariogram (poluvariogram) je prostorni prikaz dobivenih rezultata i njihove međusobne ovisnosti. Postoje 2 tipa semivariograma: eksperimentalni i teorijski. Eksperimentalni variogram određuje se iz mjerenih podataka i podložan je nizu nedostataka, a za interpretaciju je vrlo često potrebno iskustvo i stručna procjena. Ovaj tip variograma ne pokazuje uvijek direktna svojstva polja koje se promatra. Teorijski semivariogram je predstavljen odabranom analitičkom funkcijom koja prati osnovne karakteristike

eksperimentalnog semivariograma. Važno je odabrati odgovarajući tip funkcije, a ne funkciju prilagođavati točkama variograma.

Malvić (2008.) ističe da se na eksperimentalnoj variogramskoj krivulji može očitati sljedeće:

- a) odstupanje - C_0 (eng. *nugget*) - slučajna komponenta regionalizirane varijable (kada krivulja siječe os Y u nekoj pozitivnoj vrijednosti C_0). Ovo obilježje upućuje na razliku u vrijednostima vrlo bliskih uzoraka i pojavljuje se u gotovo svim variogramima. Ponekad je moguće ukloniti odstupanje smanjivanjem uzorkovane površine ili povećanjem broja uzoraka.
- b) prag ili varijanca - C (eng. *sill*) - predstavlja razliku pojedinačnih i srednjih vrijednosti skupova podataka (definicija varijance). Nakon što je krivulja variograma dosegla prag prestaje njen pravilan rast te nastavlja oscilirati oko praga.
- c) doseg - a (eng. *range*) - vrijednost pri kojoj semivariogram prvi puta presijeca, nakon čega ne postoji prostorna korelacija ili ovisnost podataka.
- d) udaljenost ili korak - h (eng. *distance*) - vrijednost na kojoj se podaci međusobno uspoređuju. Svaka udaljenost čini jednu klasu.
- e) odmak (eng. *lag*) - predstavlja vrijednost koja se dodaje svakoj klasi kako bi se ona proširila, odnosno povećao broj parova i time dobio točniji rezultat.

Svaki variogram opisan je s nekoliko svojstava, a najčešća od njih su (Malvić, 2008):

- anizotropija je svojstvo koje opisuje promjenu vrijednosti variograma ovisno o smjeru u kojem se računa, najčešće zbog različitih struktura u kojima se izračunavaju različita svojstva.
- osciliranje odnosno pojava približno pravilne promjene vrijednosti variograma (najčešće oko praga) ukazuje na nepostojanje međusobne ovisnosti podataka.
- ekstremne vrijednosti na krivulji također predstavljaju čest problem. Ekstremi mogu biti izrazito visoke ili izrazito niske vrijednosti koje su u većini slučajeva posljedica premalog broja ulaznih podataka. Takve podatke treba izdvojiti i otkloniti na histogramu analizirane varijable, jer imaju velik utjecaj na izgled semivariograma.

Nakon toga treba uklopiti model s točkama koje tvore empirijski semivariogram. Modeliranje semivariograma ključni je korak između prostornog opisa i prostornog predviđanja. Glavna primjena kriginga je predviđanje vrijednosti atributa na područjima

koja nisu uzorkovana. Empirijski semivariogram daje informacije o prostornoj autokorelaciji skupova podataka, ali ne pruža informacije za sve moguće smjerove i udaljenosti. Iz tog razloga i kako bi se osiguralo da kriging predviđanja imaju pozitivne varijacije, potrebno je uklopiti model (kontinuiranu funkciju ili krivulju) na empirijski semivariogram. Ovo je slično regresijskoj analizi, u kojoj se kontinuirana linija ili krivulja postavlja na podatkovne točke.

3. MATERIJAL I METODE

3.1. Značajke istraživanog područja

Istraživanje je provedeno na području Osječko-baranjske županije, čija je ukupna površina 4 152 km² s prosječnom nadmorskom visinom 90 m (Bašić i sur., 2007.). Prostor županije omeđen je (OIKON, 2005.) s dvije države (na sjeveru s Republikom Mađarskom, a na istoku s Republikom Srbijom) i četiri županije (Vukovarsko-srijemskom na istoku, Virovitičko-podravskom i Požeško-slavonskom na zapadu te Brodsko-posavskom na jugu).

Prema podacima Zaninovića i sur. (2008.) u kontinentalnoj Hrvatskoj prevladava umjereno kontinentalna klima. Po Köppenovoj klasifikaciji (OIKON, 2005.), Osječko-baranjska županija je u području umjereno tople, kišne klime. Oborine su podjednako raspoređene tijekom godine s izuzetkom značajnijih sušnih razdoblja.

Srednja godišnja temperatura zraka u nizinskom području kontinentalne Hrvatske je oko 11 °C, a uslijed vrlo toplih ljeta u Osječko-baranjskoj županiji (OBŽ) može dostići i 12 °C (Zaninović i sur., 2008.). Prosječna količina oborina kreće se od 609 mm na istoku do 792 mm na zapadu županije. U lipnju je glavni maksimum oborina, a u studenom sekundarni.

Vrijednosti srednjeg godišnjeg trajanja sijanja Sunca su 1 800 - 1 900 sati, a u vegetacijskom periodu od 1 290 do 1 350 sati (OIKON, 2005.).

3.2. Uzorkovanje i kemijska analiza tla

U izradi diplomskog rada analizirani su podaci s područja Osječko-baranjske županije prikupljeni u sklopu projekta Kontrola plodnosti tla na poljoprivrednim gospodarstvima. Odabrani su uzorci analizirani u svrhu dobivanja gnojidbene preporuke za kukuruz.

Kod uzorkovanja tla na terenu treba imati na umu da: "... preko 75 % od ukupnih grešaka napravljenih u analitičkom postupku otpada na problematiku uzorkovanja..." (Anić, 2014., cit. Čoga i Slunjski, 2018.). Zbog toga je prikupljanje uzoraka obavljeno standardnom metodom (Đurđević, 2014.) referentnog uzorka nakon žetve ili berbe. Agrokemijskom sondom s dubine do 30 cm uzet je prosječni uzorak (0,5 - 1,0 kg tla) miješanjem 20 - 25 pojedinačnih uzoraka na homogenim poljoprivrednim površinama veličine 0,5 - 5,0 ha. Za

svaki referentni uzorak zabilježene su geografske koordinate GPS uređajem. Uzorci su u laboratoriju očišćeni od primjesa, osušeni, usitnjeni u specijaliziranom mlinu za tlo, prosijani kroz sito s otvorima promjera 2 mm te pohranjeni u kartonske kutije.

3.2.1. Reakcija tla

Reakcija tla ima značajan utjecaj na fizikalno-kemijska svojstva. pH-vrijednost je izraz za reakciju tla, a predstavlja negativan logaritam aktiviteta H^+ iona u otopini tla (Đurđević, 2014., Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Mjerenje pH u deioniziranoj vodi (aktualna kiselost) i u 1 mol dm^{-3} KCl-u (supstitucijska kiselost) obavljeno je elektrometrijskom metodom (Đurđević, 2014., Vukadinović i Bertić, 1989.) .

3.2.2. Sadržaj humusa u tlu

Sadržaj humusa u tlu određen je bikromatnom metodom. Tijekom mokrog spaljivanja organske tvari narančasta boja otopine kalijevog bikromata (uslijed prisustva Cr^{6+}) prelazi u zelenu (Cr^{3+}) što omogućava spektrofotometrijsko mjerenje organskog ugljika na 585 nm (Đurđević, 2014., Vukadinović i Bertić, 1989.). Rezultat se izražava u postocima (%) pa je dobivena očitavanja ugljika potrebno množiti s faktorom 1,724 (prosječni sadržaj ugljika u humusu je 58 % što znači: $1 \% C = 1,724 \% \text{ humusa}$).

3.2.3. Hidrolitička kiselost tla

Hidrolitička ili potencijalna kiselost tla: "...aktivira se alkalnim hidrolitičkim solima Na-acetata ili Ca-acetata..." (Đurđević, 2014.). U nastaloj kemijskoj reakciji adsorbirani H^+ ioni bivaju zamijenjeni baznim ionima acetata te nastaje octena kiselina. Količina nastale octene kiseline utvrđuje se titracijom. Hidrolitička kiselost je izražena u $\text{cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ tla.

3.2.4. AL-metoda određivanja lakopristupačnog fosfora i kalija

Sadržaj biljkama lako pristupačnih oblika fosfora i kalija određeni su AL-metodom ekstrakcije tla s amonij laktatom, prema Egner-Riehm-Domingu (Đurđević, 2014.). Fosfor se određuje plavom metodom i spektrofotometrijskim mjerenjem na 680 nm valne duljine, a koncentracija biljkama pristupačnog kalija emisijskom tehnikom na AAS-u. Rezultati se izražavaju u mg 100 g⁻¹ tla.

Sve izmjerene vrijednosti AL-P₂O₅ i AL-K₂O veće od 50 mg 100 g⁻¹ tla unesene su u bazu kao vrijednost 50 mg 100 g⁻¹. Razlog je što ovako visoke koncentracije ne utječu na izračun gnojidbe, a mogu biti posljedica pogrešnog uzorkovanja (prije žetve ili berbe, nakon gnojidbe i sl.).

3.2.5. Kationsko izmjenjivački kapacitet tla (KIK)

Kationski izmjenjivački kapacitet tla izražava se u cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹. Određen je empirijski u ALRxp kalkulatoru (Vukadinović i sur., 2001., citat: Đurđević, 2010.) prema formuli:

$$\text{KIK}_{\text{cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}} = \frac{\text{humus \%} \times \text{KIK}_{\text{hum}}}{100} + \frac{\text{glina \%} \times 50}{100}$$

3.3. Obrada rezultata

U obradi rezultata korištena je deskriptivna statistička analiza te su određeni srednja vrijednost (X), najmanja (min) i najveća (max) vrijednost, standardna devijacija (SD) te koeficijent varijacije (CV %) za istraživane parametre. U analizi je korišten Microsoft Office Excel i Statistica v12.

Procjena potrebe hraniva (N, P₂O₅, K₂O) za kukuruz donesena je na temelju rezultata kemijskih analiza tla, a izračun je napravljen ekspertnim računalnim programom - ALRxp kalkulator, autora Vladimira Vukadinovića. Kalkulator u izračunu koristi ulaznu bazu (uBazu) koju čine rezultati kemijske analize i niz dodatnih pokazatelja plodnosti tla (Vukadinović, 2013.). ALRxp kalkulator automatski obrađuje rezultate i pohranjuje ih u izlaznu, odnosno interpretacijsku bazu (iBazu). Ona sadrži izračune potrebe hraniva za

pojedine kulture, procjenu pogodnosti zemljišta, mjere popravke i interpretaciju rezultata (Vukadinović i sur., 2012.).

Geostatistička analiza i vizualizacija podataka napravljena je u softverskom programu ArcGIS 10.7, a predikcija neuzorkovanog dijela površine metodom Empirical Bayesian kriginga (EBK). EBK je geostatistička metoda prostorne interpolacije točaka (npr. mjesta uzimanja uzoraka tla) poznatih geografskih koordinata koja automatizira izradu kriging modela izračunavajući potrebne parametre kroz proces podskupa i simulacija. Druge metode, poput klasičnog kriginga zahtijevaju ručno prilagođavanje parametara kako bi se ostvarila potrebna pouzdanost modela. EBK čine dva geostatistička modela (kriging slučajnih funkcija i linearni mješoviti kriging). Za razliku od ostalih metoda interpolacije prostornih točaka EBK obračunava pogreške nastale procjenom osnovnog semivariograma, dok druge metode kriginga izračunavaju semivariogram temeljem poznatih koordinata podataka i koriste ga za predviđanje svojstava prostora koji ne sadrže podatke i stoga najčešće podcjenjuju standardne pogreške predviđanja (Krivoruchko i Gribov, 2019.).

Sve geostatističke metode interpolacije pretpostavljaju prostornu autokorelaciju (točke koje su bliže u prostoru sličnih su svojstava od udaljenijih), a semivariogram definira kako se ta sličnost smanjuje s udaljenošću. S obzirom na to da ima različitih semivariograma (eksponencijalni, Whittleov,...) ključ za dobivanje pouzdanih rezultata je odabir semivariograma koji se najviše podudara s ponašanjem istraživanog svojstva. Budući da novije verzije ArcGIS-a putem „geostatističkog čarobnjaka“ nude EBK kao alat, to značajno olakšava prostornu interpolaciju podataka.

4. REZULTATI

4.1. Kemijska svojstva

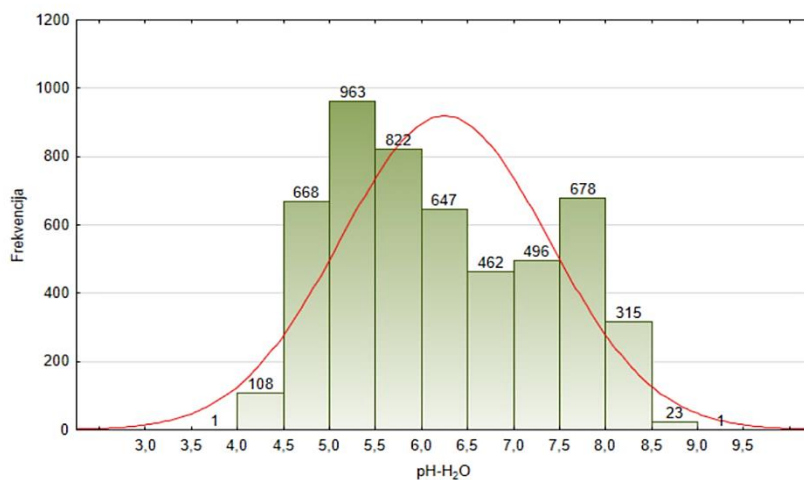
Analizirano je 5 184 uzoraka tla s poljoprivrednih proizvodnih površina predviđenih za sjetvu kukuruza.

Tablica 1. Deskriptivna statistička analiza kemijskih svojstava tla

	n	X	min	max	SD	CV
pH-KCl	5184	5,43	3,37	8,04	1,23	22,72
pH-H ₂ O	5184	6,23	3,98	9,02	1,13	18,06
Hk cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	5184	2,94	0,00	10,50	2,49	84,74
KIK cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹	5184	18,25	7,95	40,59	3,86	21,17
AL-P ₂ O ₅ kg 100g ⁻¹ tla	5184	19,94	1,40	50,00	10,48	52,57
AL-K ₂ O kg 100g ⁻¹ tla	5184	24,30	5,00	50,00	8,85	36,40
Humus %	5184	2,05	0,43	10,00	0,67	32,75
pNmin	5184	56,38	4,00	816,00	44,70	79,28

Tumač kratica: n = broj uzoraka, X = srednja vrijednost, min = najniža vrijednost, max = najviša vrijednost, SD = standardna devijacija, CV = koeficijent varijabilnosti.

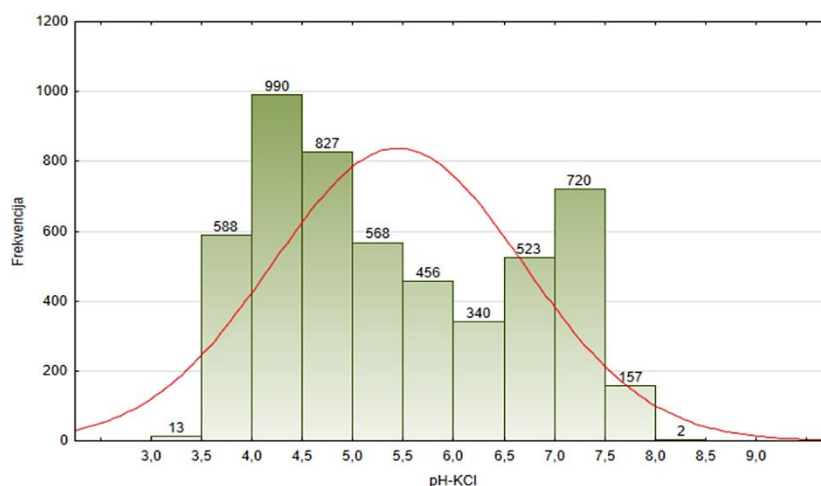
Srednja vrijednost aktualne kiselosti je 6,23, a supstitucijske 5,43 (tablica 1.). Najviša vrijednost pH-H₂O je 9,02 (jako alkalna reakcija), a najniža 3,98 (ekstremno kisela reakcija).



Grafikon 1. Distribucija aktualne kiselosti (pH-H₂O)

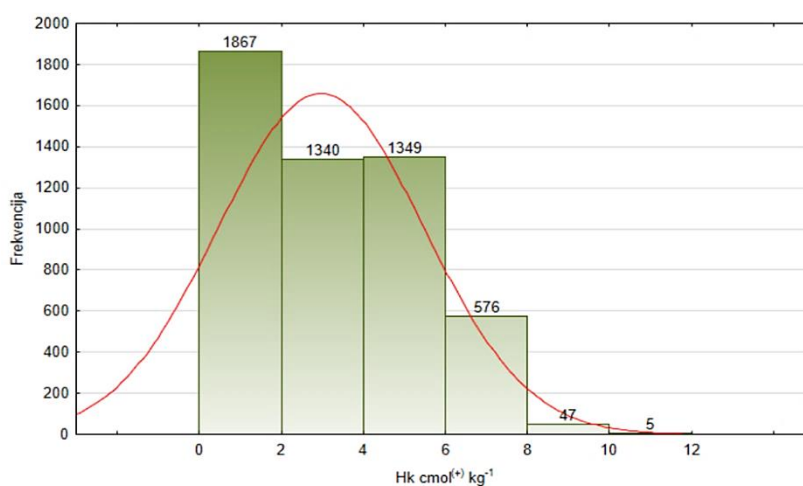
Na grafikonu 1. može se vidjeti da 3209 uzoraka (61,9 %) ima izmjeren pH-H₂O < 6,5 što označava kiselu reakciju. Najviše uzoraka, njih 963 ili 18,6 %, je u grupi s vrijednosti pH u vodi između 5,0 i 5,5.

pH u KCl-u je u granicama od 3,37 do 8,04 (tablica 1.) uz značajnu varijabilnost (CV = 22,72 %). Na grafikonu 2. je vidljivo da 3 782 uzorka (73 %) imaju kiselu reakciju s pH-KCl < 6,5. Ekstremno kisela reakcija je izmjerena u 109 uzoraka (2,1 %), vrlo jako kisela u 827 (15,9 %), jako kisela u 568 (10,9 %), umjereno kisela u 456 (8,8 %), a slabo kisela u samo 6,5 %, odnosno 340 uzoraka. Neutralnu do slabo alkalnu reakciju (pH-KCl 6,5 - 7,5) ima 1 243 uzorka ili 24 %.



Grafikon 2. Distribucija supstitucijske kiselosti (pH-KCl)

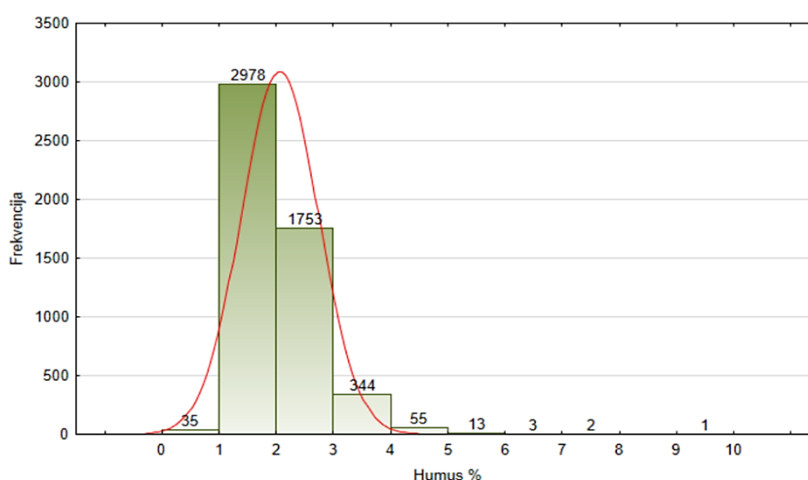
Vrijednosti hidrolitičke kiselosti (Hk) važne su u odlučivanju o potrebi kalcizacije. Srednja vrijednost hidrolitičke kiselosti je 2,94 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ (tablica 1.) uz vrlo visok koeficijent varijabilnosti (CV = 84,74 %).



Grafikon 3. Distribucija hidrolitičke kiselosti (Hk)

Veliko variranje je iz razloga što se hidrolitička kiselost određuje u uzorcima koji imaju pH u KCl-u < 6,0. To je bilo ukupno 3 442 uzorka, a za ostale je u bazu upisana 0 i određen sadržaj karbonata. Najviša vrijednost Hk je 10,50 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$.

Kalcizacija je preporučena mjera popravke kiselih tala kada je Hk viša od 4 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$. Histogram distribucije hidrolitičke kiselosti pokazuje da 61,9 % uzoraka (3 207) ima izmjerene vrijednosti niže od 4 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$. U 628 uzoraka (12,1 %) izmjerena je hidrolitička kiselost viša od 6 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ što uključuje obvezu provođenja kalcizacije.



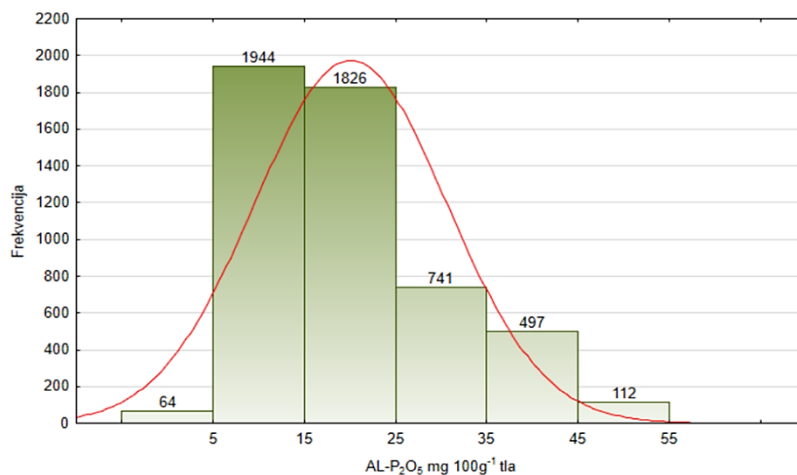
Grafikon 4. Distribucija sadržaja humusa

Prosječni sadržaj humusa u analiziranim uzorcima je 2,05 % (tablica 1.). Izmjerene vrijednosti vrlo značajno variraju ($CV = 32,75\%$) u rasponu od najniže (0,43 %) do najviše (10 %). Distribucija uzoraka prema sadržaju humusa (grafikon 4.) pokazuje da je 35 uzoraka vrlo slabo humozno (0,7 %), a da najviše uzoraka ima u kategoriji slabo humoznih tala (4 743 uzorka ili 91,5 %). 399 uzoraka (7,7 %) ima sadržaj humusa u granicama 3 – 5 % što ih svrstava u srednje humozna tla. Preostalih 19 uzoraka (0,4 %) pripada u klasu jako humoznih tala.

Srednja vrijednost koncentracije AL- P_2O_5 je 19,94 mg 100 g^{-1} tla, a biljkama pristupačnog kalija (AL- K_2O) je 24,30 mg 100 g^{-1} tla (tablica 1.). Variranje rezultata je vrlo visoko pa je za fosfor koeficijent varijacije 52,57 %, a za kalij 36,40 %.

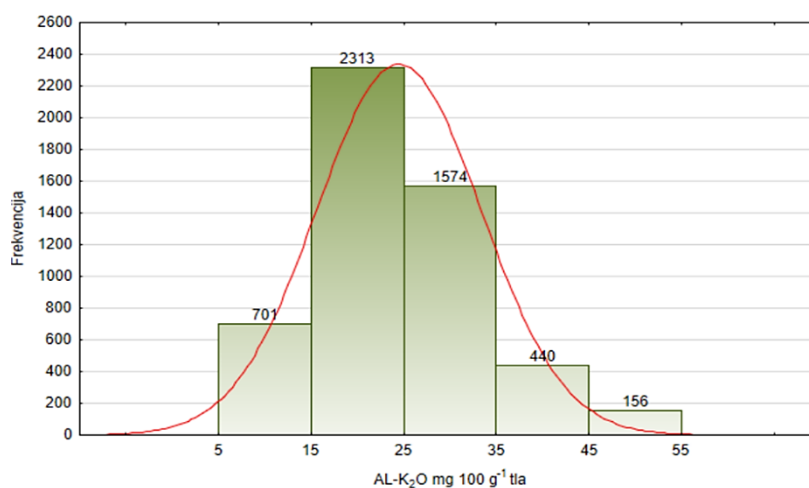
Najniža koncentracija AL- P_2O_5 je 1,40 mg 100 g^{-1} tla. Najviše uzoraka (1 944 ili 37,5 %) je siromašno fosforom jer sadrži 5 - 15 mg AL- P_2O_5 100 g^{-1} tla (grafikon 5.).

Dobra opskrbljenost fosforom je u 1 826 uzoraka (35,2 %), bogata u 1 238 uzoraka (23,8 %). Tala jako siromašnih fosforom ima svega 1,2 % (64 uzorka), a vrlo bogatih 2,2 % (112 uzoraka).



Grafikon 5. Distribucija biljkama raspoloživog fosfora (AL-P₂O₅)

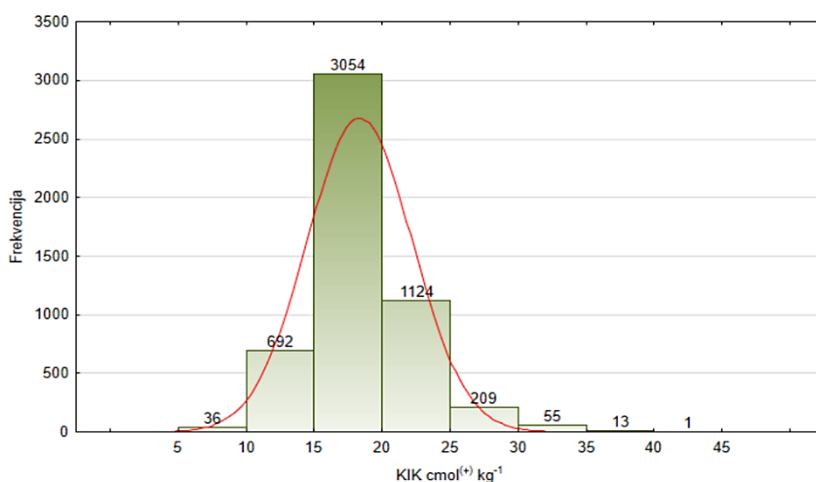
Najniža koncentracija AL-K₂O je 5 mg 100g⁻¹ tla. 701 uzorak (13,5 %) je s parcela koje sadrže 5 - 15 mg AL-K₂O 100g⁻¹ tla (grafikon 6.) i pripada u kategoriju siromašnih tala. Klasu dobro opskrbljenih tala, ovisno o teksturi čine uzorci s koncentracijom AL-K₂O u granicama 15 - 35 mg 100g⁻¹ tla. Ima ih 74,9 %, odnosno 3 887 uzoraka. Udio uzoraka koji su vrlo bogato opskrbljeni kalijem je 11,5 % (596 uzoraka).



Grafikon 6. Distribucija biljkama raspoloživog kalija (AL-K₂O)

Vrijednosti kationskog izmjenjivačkog kapaciteta tla (KIK) su 7,95 - 40,59 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ uz koeficijent varijacije 21,17 % (tablica 1.). Prosječni KIK je 18,25 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹. Od ukupne

mase uzoraka 58,9 % (3 054 uzoraka) ima vrijednost KIK-a 15 - 20 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ što ukazuje na praškasto ilovastu teksturu (Vukadinović i Vukadinović, 2011.), odnosno sadržaj gline do 27 %. Vrijednosti KIK-a niže od 10 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ (grafikon 7.) ima 36 uzoraka (0,7 %), a one, kako navodi Đurđević (2010.), koreliraju s vrlo niskim sadržajem gline i povećanim udjelom praha.



Grafikon 7. Distribucija vrijednosti KIK-a

4.2. Izračun potrebe hraniva i geostatistička analiza

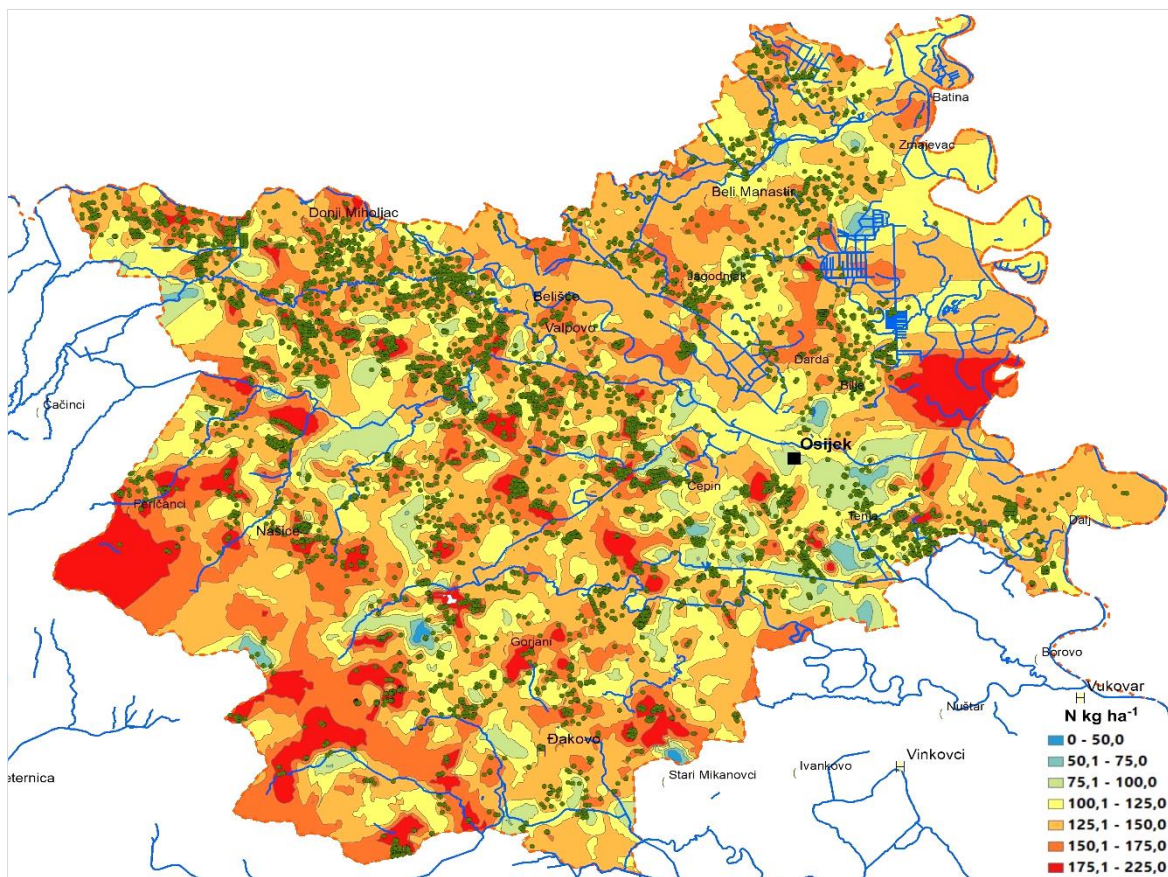
Izračun gnojidbe je izvršen ALRxp kalkulatorom. Prosječna potreba dušika za gnojidbu kukuruza je 170,23 kg ha^{-1} (tablica 2.). Raspon potreba za dušikom temeljem kemijske analize tla je od 45 do 210 kg ha^{-1} , uz standardnu devijaciju 37,96 te visoku varijabilnost ($\text{CV} = 22,30\%$).

Tablica 2. Deskriptivna statistička analiza potrebnih količina N, P_2O_5 i K_2O (kg ha^{-1}) za gnojidbu kukuruza te CaO (kg ha^{-1}) za kalcizaciju

	n	X	min	max	SD	CV
kg N ha^{-1}	5184	170,23	45,00	210,00	37,96	22,30
$\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$	5184	93,28	0,00	140,00	55,72	59,73
$\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$	5184	96,61	0,00	225,00	72,15	74,68
kg CaO ha^{-1}	5184	1801,22	0,00	4375,00	1811,51	100,57

Tumač kratica: n = broj uzoraka, X = srednja vrijednost, min = najniža vrijednost, max = najviša vrijednost, SD = standardna devijacija, CV = koeficijent varijabilnosti.

Interpolacija potrebnih količina dušika za gnojidbu kukuruza na području Osječko-baranjske županije napravljena je metodom EBK (Empirical Bayesian kriging) za 7 klasa (Đurđević i sur. 2019.) (slika 6.).

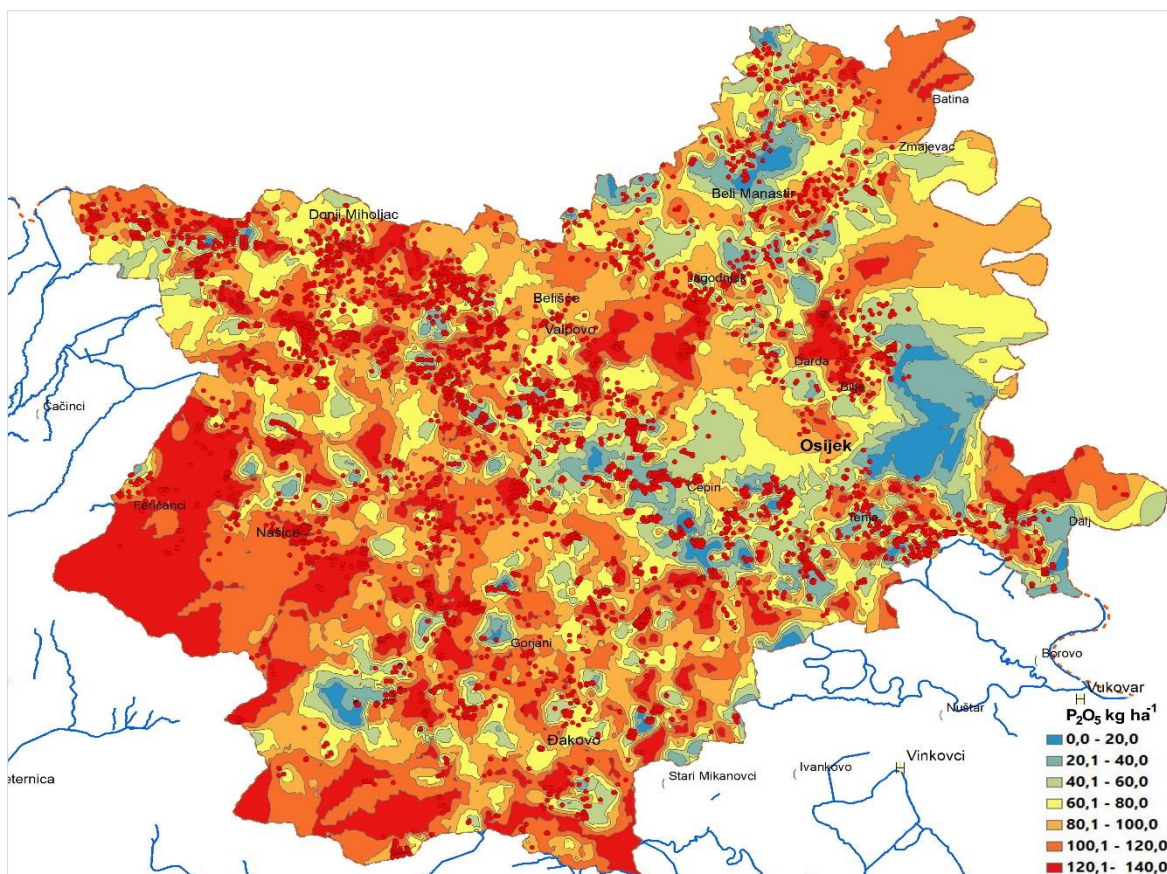


Slika 6. Potrebna količina dušika za gnojidbu kukuruza u Osječko-baranjskoj županiji na temelju 5184 uzoraka, empirical bayesian kriging

Grafikon 8. pokazuje da je najviše površina (176 171 ha) na kojima je potrebno dodati 125 - 150 kg N ha⁻¹ (slika 6.). Najniža potreba za dušikom (< 50 kg ha⁻¹) je na 512 ha, a najvišu ili tzv. ekonomski limitiranu dozu (175 - 225 kg N ha⁻¹) koja se preporučuje za očekivano najviši prinos od 15 t suhog zrna ha⁻¹, potrebno je primijeniti na 25 148 ha. Na 79 % površina (324 001 ha) potrebno je tijekom vegetacije unijeti u tlo od 125 do 175 kg N ha⁻¹ (slika 6. i grafikon 8.).

Lokacije na kojima je utvrđena vrlo visoka koncentracija fosfora (AL-P₂O₅ > 50 mg 100g⁻¹ tla) nije potrebno gnojiti fosforom gnojivima. Prosječna potrebna količina P₂O₅ za kukuruz je 93,28 kg ha⁻¹ (tablica 2.) uz vrlo visoku varijabilnost (CV = 59,73 %). Maksimalna potreba fosfora je 140 kg P₂O₅ ha⁻¹.

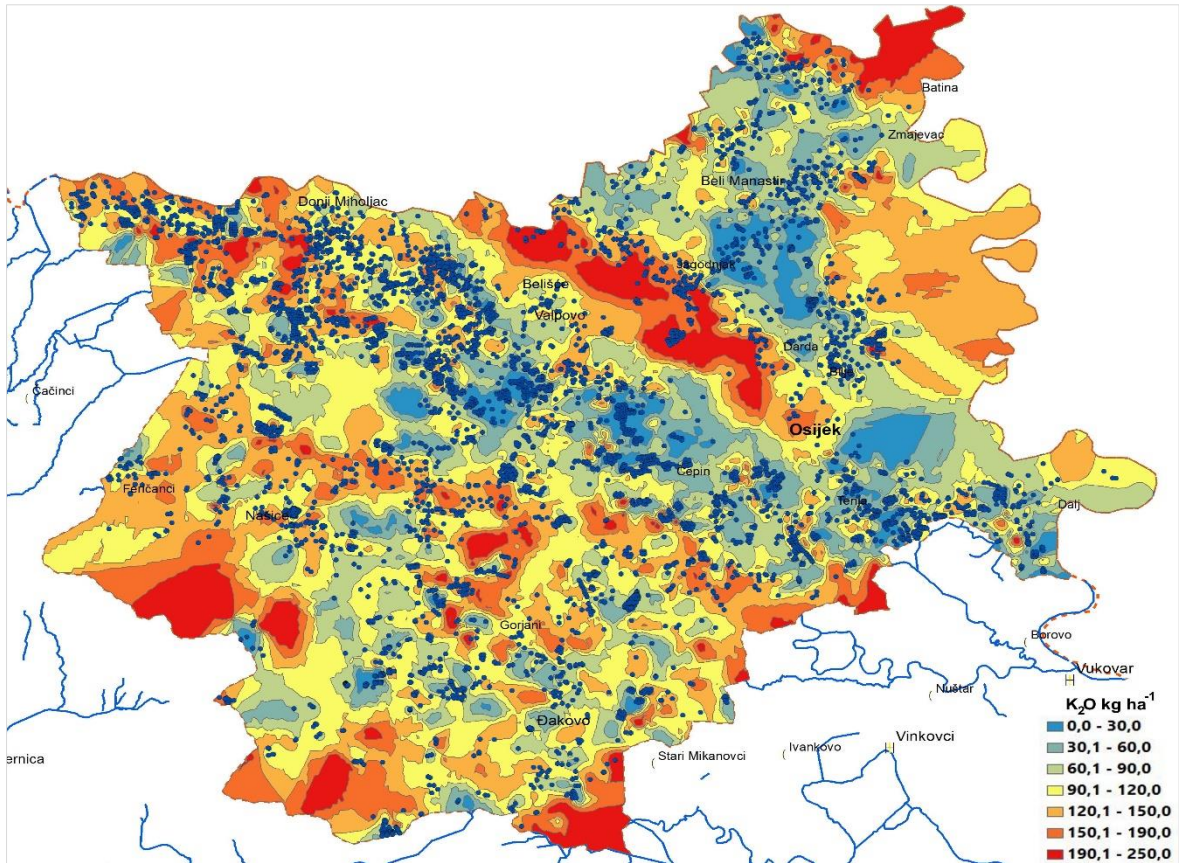
Interpolacija EBK prikazana je na slici 7. Najviše površina je u klasi površina na kojima treba dodati 100 - 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ i to 115 201 ha. Najmanje potrebe za fosforom u gnojidbi kukuruza (do 20 kg P₂O₅ ha⁻¹) su na 2 387 ha. Na 83 316 ha potrebno je dodati od 120 do 140 kg P₂O₅ ha⁻¹ (grafikon 8.).



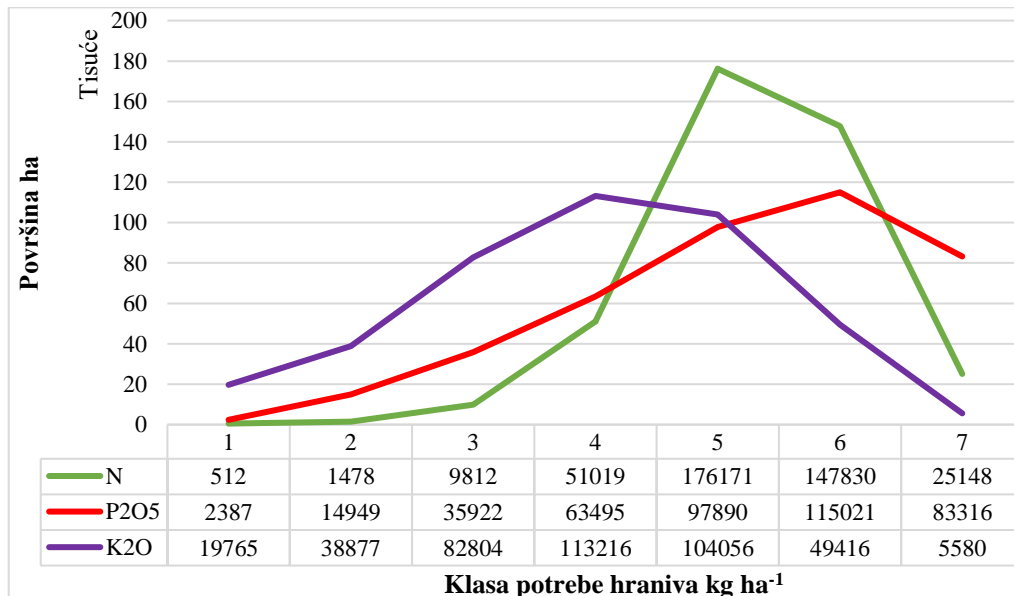
Slika 7. Potrebna količina fosfora za gnojidbu kukuruza u Osječko-baranjskoj županiji na temelju 5184 uzoraka, empirical bayesian kriging

Prosječna potreba kalija za gnojidbu kukuruza je 96,61 kg ha⁻¹ (tablica 2.). Kao i kod fosfora nije potrebno dodavati kalij na lokacijama s vrlo visokom koncentracijom AL-K₂O (> 50 mg 100g⁻¹ tla). Najveća potrebna količina kalija je 225 kg K₂O ha⁻¹. Varijabilnost u izračunatim potrebama kalija je vrlo visoka (CV = 74,68 %).

EBK je pokazao (slika 8.) da najveće doze kalija (190 do 225 kg ha⁻¹) treba primijeniti u gnojidbi kukuruza samo na 5580 ha. Na 19 765 ha (oko 5 % površina) nije potrebno više od 30 kg K₂O ha⁻¹ (grafikon 8.). Najviše je površina (113 216) s potrebom kalija od 90 do 120 kg ha⁻¹.

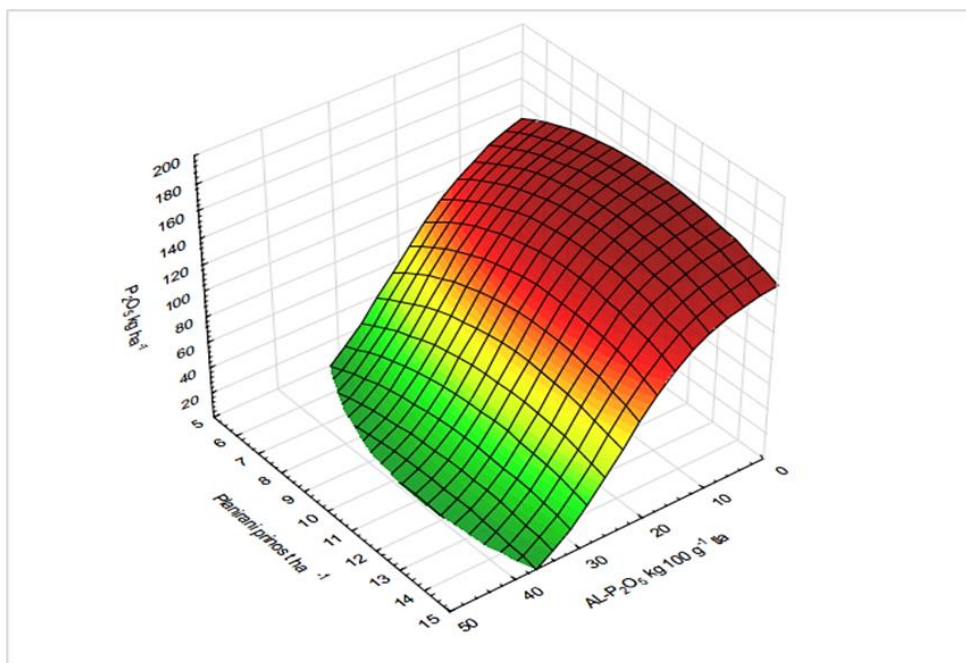


Slika 8. Potrebna količina kalija za gnojidbu kukuruza u Osječko-baranjskoj županiji na temelju 5 184 uzoraka, empirical bayesian kriging



Grafikon 8. Prikaz površina (ha) na području OBŽ prema klasama potrebe dušika, fosfora i kalija u gnojidbi kukuruza

Ranije je navedeno da 73 % uzoraka ima kiselu reakciju (grafikon 2.), a oko 38 % (grafikon 3.) hidrolitičku kiselost višu od $4 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$. Na lokacijama s kojih su uzeti ovi uzorci treba provesti kalcizaciju. Prema proračunu ALRxp kalkulatora prosječna količina kalcijevog oksida koji treba inkorporirati u tlo je $1\,801,22 \text{ kg ha}^{-1}$ (tablica 2.), a najviša $4\,375 \text{ kg ha}^{-1}$. Varijabilnost je vrlo velika ($CV = 100,57 \%$) zato što u uzorcima koji su imali pH-KCl viši od 6,0 nije određivana Hk, a njih je 30-ak %.



Grafikon 9. Utjecaj sadržaja hraniva ($\text{mg AL-P}_2\text{O}_5 \text{ } 100\text{g}^{-1}$ tla) u tlu i očekivane visine prinosa kukuruza na potrebnu količinu P_2O_5 (kg ha^{-1}) u gnojidbi

Grafikon 9. pokazuje kako su koncentracija biljkama pristupačnog fosfora u tlu i potreba biljaka za fosforom u gnojidbi obrnuto proporcionalne - viša koncentracija $\text{AL-P}_2\text{O}_5$ znači da će potreba kukuruza za fosforom u vegetaciji biti manja pa će se i manja količina P_2O_5 inkorporirati u tlo. Također, veći očekivani prinos od strane proizvođača, koji je vrlo često nerealan, znači i veću potrebu za fosforom.

5. RASPRAVA

U Republici Hrvatskoj kukuruzom je zasijano u prosjeku oko 250 000 ha poljoprivrednih površina. Osječko-baranjska županija raspolaže s 212 614 ha poljoprivrednih površina (APPRRR, 2019.), a na njima se zasije kukuruz na oko 50 000 ha. S obzirom na važnost kukuruza potrebno je posebnu pažnju posvetiti povećanju proizvodnje kroz postizanje viših prinosa i očuvanje okoliša. To između ostalog uključuje osuvremenjavanje proizvodnje u svim njenim aspektima, a prvenstveno u izračunu potrebe esencijalnih hraniva, ne samo za kukuruz nego i ostale kulture.

Korištenjem naprednih alata, kao što su geostatistička analiza i ALRxp gnojidbeni kalkulator moguće je napraviti preciznu, izbalansiranu gnojidbu prema zahtjevima biljaka utemeljenu na analizi tla.

Kukuruz za 1 t suhog zrna (13 % vlage) iznese iz tla približno 25,0 kg N, 12,0 kg P₂O₅ i 20,0 kg K₂O (Vukadinović i Vukadinović, 2011.). Pri kreiranju gnojidbene preporuke tu količinu hraniva je potrebno nadomjestiti. Uzima se u obzir i prinos koji vlasnik očekuje na analiziranoj parceli. Ponekad se planirana visina prinosa jako razlikuje od očekivane utvrđene na osnovu kemijske analize tla, potrebe kukuruza i relativne pogodnosti tla za kukuruz (koja uključuje i limite, odnosno ograničenja tvorbe prinosa). Ovakve situacije rezultiraju pozitivnim efektom, jer se podiže sadržaj biljkama raspoloživih fosfora i kalija u tlu, a s druge strane može doći do ekološkog opterećenja jer suvišne količine dušika koje biljka ne može iskoristiti završe u podzemnim ili površinskim vodotocima. Moguće je i da se bespotrebno poveća sadržaj fosfora i kalija u tlu što dodatno poskupljuje proizvodnju. U grafikonu 9. vidljivo je da kod izračuna potrebne količine fosfora za gnojidbu kukuruza ona raste s planiranjem viših prinosa iako su tla dobro opskrbljena raspoloživim fosforom (Vukadinović, 2013.).

Rezultati kemijske analize tla pokazali su da od ukupno analiziranih 5 184 uzoraka njih čak 62 % je kisele reakcije s pH-KCl < 6,5, a za 38 % površina se preporuča mjera kalcizacije, jer su vrijednosti hidrolitičke kiselosti > 4 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹. Ovi podaci ukazuju na probleme u proizvodnji. Naime, u uvjetima kisele reakcije fosfor prelazi u oblike (Al i Fe-fosfati) koji nisu biljkama pristupačni što ima za posljedicu usporeni rast biljaka, pojavu karakteristične crvene do ljubičaste boje mladih listova, slabiji prinos i lošiju kvalitetu zrna. Treba imati u

vidu i vrlo nisku učinkovitost gnojidbe fosforom na ovako kiselim tlima, naročito u prvim godinama primjene (Đurđević, 2010.).

Kod izračuna N-potrebe uzima se u obzir količina organske tvari, odnosno humoznost tla. Ako je više humusa tada se u izračunu oduzima rata mineralizacije organskih ostataka i biogenost tla. U analiziranim uzorcima jako humoznih tala ima < 1 %, a srednje humoznih, sa sadržajem humusa 3 - 5 %, ima 7,7 %. Dominacija slabo humoznih tala (91,5 % uzoraka) ukazuje na izostanak organske gnojidbe u proizvodnji, kao i na unapredovale procese degradacije gubitkom organske tvari (grafikon 4., tablica 1.) (Đurđević i sur. 2019.).

Uvažavanjem temeljnih principa izračuna gnojidbe, koji su ugrađeni u ALRxp kalkulator, zastupljenost kukuruza na oranicama Osječko-baranjske županije i prosječni prinos zrna kukuruza moguće je približno izračunati potrebnu godišnju količinu hraniva, kako za planirani, tako i za očekivani prinos. Za realizaciju rada korišteno je 5 184 podataka za koje je bila planirana sjetva kukuruza, a potrebe glavnih elemenata ishrane kukuruza za Osječko-baranjsku županiju bile su prema proračunu ALRxp kalkulatorom sljedeće:

- N-potreba = 170,23 N kg ha⁻¹ (8 511,5 t za 50 000 ha)
- P₂O₅-potreba = 93,28 P₂O₅ kg ha⁻¹ (4 664,0 t za 50 000 ha)
- K₂O-potreba = 96,61 K₂O kg ha⁻¹ (4 830,5 t za 50 000 ha)

Procjena potrebe elemenata ishrane kukuruza krigingom na širem proizvodnom području (slike 6., 7. i 8.) je okvirna, ali može poslužiti za strateško planiranje potrošnje gnojiva, primarne proizvodnje hrane ili vlakana, potrebu kondicioniranja, melioracijskih mjera, ali i za rajonizaciju poljoprivredne proizvodnje (Đurđević 2010.).

Potreba glavnih elemenata ishrane za kukuruz obavljena je geostatističkom analizom EBK (Empirical Bayesian Kriging) u 7 klasa za cijelo područje Osječko-baranjske županije. Analiza je obuhvatila 5 184 uzoraka tla, čija je gustoća uzorkovanja izrazito visoka u pojedinim, poljoprivredno intenzivnijim područjima županije, dok je znatno manje uzoraka s brdskih područja. Najveći broj uzoraka za N-potrebu nalazi se u klasi 6 (150 - 175 kg N ha⁻¹), za fosfor u klasi 5 (100 - 120 kg P₂O₅ ha⁻¹), a za kalij u klasi 3 (90 - 120 kg K₂O ha⁻¹). Osim toga, krivulja klasifikacije potrebe hraniva za dušik i fosfor nagnuta je prema većoj potrebi, dok je krivulja za kalij gotovo normalna podjela što je u suglasnosti s dobrom opskrbljenosti istraženih tala za AL-K₂O (utvrđeno je prosječno 24,30 mg AL-K₂O 100g⁻¹).

Važno je naglasiti da su procjene za potrebu fosfora i kalija mnogo pouzdanije u odnosu na procjenu potrebe dušika. Uzrok je velika varijabilnost raspoloživog dušika po vremenu, dubini soluma i prostoru zbog njegovog organskog porijekla u tlu, promjenjivog i često nepredvidljivog intenziteta mikrobiološke mineralizacije. Na varijabilnost utječe i niz drugih čimbenika, kao što su: temperatura, vlažnost tla, njegova biogenost, količina lakorazgradive organske tvari iz organske gnojidbe, žetvenih ostataka ili sideracije, kemijska svojstva tla, količina rezidualnog dušika itd. (Vukadinović i Vukadinović, 2011.).

Zbog ciklusa kruženja dušika u prirodi procjena potrebe dušika temeljem kriginga, ali i kemijske analize tla za kontrolu plodnosti nipošto nije dovoljno pouzdana već je potrebno analizirati količinu mineralnog dušika u tlu kojeg biljke mogu usvojiti, npr. Nmin metodom, EUF-metodom, analizom lakohidrolizirajućeg N ili pak analizom biljne tvari, najčešće za uzgoj u visoko profitabilnoj proizvodnji sjemena, voćarstvu, povrćarstvu i sl. Stoga je razumljivo kako je klasifikacija potrebe dušika krigingom linearna, odnosno jednolično raspoređena, izuzev u prvoj, najnižoj klasi potrebe N (0 - 50 kg ha⁻¹).

6. ZAKLJUČAK

U radu su obrađeni rezultati kemijskih i geostatističkih analiza 5 184 uzoraka tla s područja Osječko-baranjske županije za koje je bila planirana sjetva kukuruza. Na temelju toga može se zaključiti:

- U Osječko-baranjskoj županiji prevladavaju kiselina tla: prosječni pH-KCl = 5,43, 3 209 uzoraka ili 62 % je kiselina reakcije s pH-KCl < 6,5, a za 38 % uzoraka je preporučena kalcijacija.
- Primjena organskih gnojiva u proizvodnji je minimalna, jer je čak 91,5 % ili 4 743 uzoraka slabo humozno. Manje od 10 % uzoraka ima humusa > 5 %.
- Prosječna opskrbljenost pristupačnim fosforom i kalijem je dobra, ali uz vrlo visoku varijabilnost što upućuje na različite načine gospodarenja. Najviše uzoraka je u kategoriji siromašno opskrbljenih fosforom (1 944 uzoraka ili 37,4 %), a bogato opskrbljenih ima 1 238 ili 23,8 %. Prema sadržaju pristupačnog kalija 74,9 % ili 3 887 uzoraka je u klasi dobro opskrbljenih pristupačnim kalijem.
- Potrebe glavnih elemenata ishrane su:
 - N-potreba = 170,23 N kg ha⁻¹ (8 511,5 t za 50 000 ha)
 - P₂O₅-potreba = 93,28 P₂O₅ kg ha⁻¹ (4 664,0 t za 50 000 ha)
 - K₂O-potreba = 96,61 K₂O kg ha⁻¹ (4 830,5 t za 50 000 ha)

7. POPIS LITERATURE

1. APPRRR (2019.): Godišnje izvješće o radu Agencije za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju. Zagreb. 22.
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*
3. Cressie, N. (1990.): The Origins of Kriging. *Mathematical Geology*. 22:239-252.
4. Čoga, L., Slunjski S. (2018.): Dijagnostika tla u ishrani bilja. Priručnik za uzorkovanje i analitiku tla. Sveučilište u Zagrebu. Agronomski fakultet. 206.
5. Dubrule, O. (2018): Handbook of Mathematical Geosciences, Imperial College London. London.
6. Đurđević, B. (2014.): Praktikum iz ishrane bilja. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Poljoprivredni fakultet, Osijek.
7. Đurđević, B. (2010.): Ekspertni model procjene pogodnosti zemljišta za usjeve, doktorska disertacija. Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku. 115.
8. 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.
9. FAOSTAT (2020.): Crops.
<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> (14.9.2020.)
10. Gagro, M. (1997.): Ratarstvo obiteljskog gospodarstva: žitarice i zrnate mahunarke. Hrvatsko agronomsko društvo. Zagreb.
11. Hochholdinger, F. (2009.): The Maize Root System: Morphology, Anatomy, and Genetics. U: Bennetzen, J.L., Hake, S.C. (ur.) *Handbook of Maize: Its Biology*, Springer. 145-165.
12. Hrgović, S. (2007.): Osnove agrotehnike proizvodnje kukuruza (*Zea mays*). *Glasnik zaštite bilja*. 3: 48-61.

13. Jug, D., Birkás, M., Kisić, I. (2015.): Obrada tla u agroekološkim okvirima. Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku. Osijek. 275.
14. Kovačević, V., Rastija, M. (2014.): Žitarice. Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku. 125-203.
15. Krivoruchko, K., Gribov, A. (2019.): Evaluation of empirical Bayesian kriging. Spatial Statistics. 32: 1-27.
16. Malvić, T. (2008.): Primjena geostatistike u analizi geoloških podataka. INA industrija nafte d.d., Zagreb.
17. Malvić, T. (2005.): Kriging - geostatistička interpolacijska metoda. Zagreb. <http://geologija.hr/pdf/geomat/Kriging.pdf> (17.8.2020.)
18. Medak, D. (2006.): Geostatistika. Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet. 33.
19. Mikulčić, I. (2016.): Osnove geostatistike i njena primjena, završni rad. Sveučilište Sjever, Odjel za graditeljstvo. Varaždin.
20. MPRRR (2009.): Načela dobre poljoprivredne prakse u zaštiti tla. Zagreb. 78.
21. OIKON (2005.): Program zaštite okoliša za područje Osječko-baranjske županije. 2. Osnovna obilježja Osječko-baranjske županije. 16-26. <http://www.obz.hr/hr/pdf/zastitaokolisa/osnova%20obiljezja.pdf> (14.9.2020.)
22. Pernar, N., Bakšić, D., Perković, I. (2013.): Terenska i laboratorijska istraživanja, priručnik za uzorkovanje i analizu. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatske šume. Zagreb.
23. Ryan, J., Ibricki, H., Delgado, A., Torrent, J., Sommer, R., Rashid, A. (2012.): Chapter three - Significance of Phosphorus for Agriculture and the Environment in the West Asia and North Africa Region. Advances in Agronomy. 114:91-153.
24. Soil Survey Division Staff (1993.): Soil Survey Manual – Agricultural Handbook No. 18. Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture.
25. StatSoft. Inc., 2014. STATISTICA (data analysis software system), version 12. www.statsoft.com
26. Strock, J. S. (2008.): Ammonification. U: Jørgensen, S.E. and Fath, B.D. (ur.) Encyclopedia of Ecology. Elsevier Inc. 1: 162-165.

27. Todorović, J., Komljenović, I. (2003.): Posebno ratarstvo. Univerzitet u Banjoj Luci, Poljoprivredni fakultet. Laktaši, Banja Luka. 366.
28. Vukadinović, V., Vukadinović, V. (2016.): Tlo, gnojidba i prinos. Elektronsko izdanje: http://pedologija.com.hr/Literatura/eKnjiga_Tlo-gnojidba-prinos.pdf (17.8.2020.)
29. Vukadinović, V., Vukadinović, V. (2016.): Pregled rada na projektu „Kontrola plodnosti OBŽ“ od 2003. do 2015. godine.
http://pedologija.com.hr/Literatura/Tekstovi/Statistika_iBaze_2015-07-13.pdf (21.9.2020.)
30. Vukadinović, V., Jug, I., Đurđević, B. (2014.); Ekofiziologija bilja. Neformalna savjetodavna služba, Osijek. 223.
31. Vukadinović, V. (2013.): Prijedlog sustava kontrole plodnosti poljoprivrednog zemljišta RH. http://tlo-i-biljka.eu/Tekstovi/Studija_Kontrola_plodnosti.pdf (21.9.2020.)
32. Vukadinović, V., Bertić, B. (2013.): Filozofija gnojidbe, Sve što trebate znati o gnojidbi. Studio HS Internet d.o.o.. Osijek. 127.
33. Vukadinović, V., Vukadinović, V., Kraljićak, Ž., Đurđević, B., Jug, D., Jug, I., Kokanović, M. (2012.): Mogućnosti online interpretacijske baze zemljišnih resursa. U: Stipešević, B., Sorić, R. (ur.). Proceedings & abstracts 5th international scientific/professional conference „Agriculture in nature and environment protection“. Vukovar, 4th – 6th June 201. 306-311.
34. Vukadinović, V., Vukadinović, V. (2011.): Ishrana bilja. Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku. 442.
35. Vukadinović, V., Bertić, B. (1989.): Praktikum iz agrokemije i ishrane bilja. Sveučilište u Osijeku, BTZNC, Poljoprivredni fakultet Osijek. Osijek.
36. Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M., Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., Cindrić, K., Cvitan, L., Katuškin, Z., Kaučić, D., Likso, T., Lončar, E., Lončar, Ž., Mihajlović, D., Pandžić, K., Patarčić, M., Srnc, L., Vučetić, V. (2008): Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990., 1971–2000. DHMZ, Zagreb.

8. SAŽETAK

Kukuruz zbog vrlo širokog uzgojnog areala može uspijevati u različitim klimatskim područjima i na tlima različite plodnosti. U RH kukuruzom je zasijano oko 250 000 ha poljoprivrednih površina, od čega 1/5 u Osječko-baranjskoj županiji. S obzirom na važnost kukuruza potrebno je posebnu pažnju posvetiti povećanju proizvodnje kroz postizanje viših prinosa i očuvanje okoliša. Korištenjem naprednih alata kao što su geostatistička analiza i ALRxp gnojidbeni kalkulator moguće je napraviti preciznu, izbalansiranu gnojidbu prema zahtjevima biljaka utemeljenu na analizi tla. Iz tog razloga je cilj u izradi ovog rada bio procijeniti količinu hraniva potrebnog za uzgoj kukuruza na području Osječko-baranjske županije primjenom napredne geostatističke metode kriginga. Istraživanjem je obuhvaćeno 5 184 uzoraka tla s površina na kojima je bila planirana sjetva kukuruza. Na temelju rezultata kemijskih analiza u županiji prevladavaju kiselja tla uz prosječni pH-KCl 5,43 i slabo humozna s 2,05 % humus. Prosječna opskrbljenost pristupačnim fosforom i kalijem je dobra uz vrlo visoku varijabilnost što upućuje na različite načine gospodarenja. Prosječne vrijednosti potrebnih količina glavnih elemenata ishrane su: 170,23 N kg ha⁻¹, 93,28 P₂O₅ kg ha⁻¹ i 96,61 K₂O kg ha⁻¹. Potreba glavnih elemenata ishrane za kukuruz obavljena je geostatističkom analizom EBK (Empirical Bayesian Kriging) u 7 klasa za cijelo područje Osječko-baranjske županije. Najveći broj uzoraka za N-potrebu nalazi se u klasi 6 (150 - 175 kg N ha⁻¹), za fosfor u klasi 5 (100 - 120 kg P₂O₅ ha⁻¹), a za kalij u klasi 3 (90 - 120 kg K₂O ha⁻¹).

9. SUMMARY

Due to its very wide cultivation area, maize can thrive in different climatic areas and on soils of different fertility. In the Republic of Croatia, about 250,000 ha of agricultural land have been sown with corn, of which 1/5 is in Osijek-Baranja County. Given the importance of maize, special attention needs to be paid to increasing production by achieving higher yields and preserving the environment. Using advanced tools such as geostatistical analysis and ALRxp fertilization calculator it is possible to make a precise, balanced fertilization according to plant requirements based on soil analysis. For this reason, the purpose of this paper was to estimate the amount of nutrients needed for maize cultivation in the Osijek-Baranja County using an advanced geostatistical method of kriging. The research included 5184 soil samples from the areas where corn sowing was planned. Based on the results of chemical analyzes in the county, acidic soils with an average pH-KCl of 5.43 and weakly humus with 2.05% humus. The average supply of affordable phosphorus and potassium is good with very high variability, which indicates different ways of management. The average values of the required amounts of the main nutrients are: $N = 170.23 \text{ kg ha}^{-1}$, $P_2O_5 = 93.28 \text{ kg ha}^{-1}$ and $K_2O = 96.61 \text{ kg ha}^{-1}$. The need for the main elements of nutrition for corn was performed by geostatistical analysis of EBK (Empirical Bayesian Kriging) in 7 classes for the entire area of Osijek-baranja county. The largest number of samples for N need is in class 6 (150 - 175 kg N ha⁻¹), for phosphorus in class 5 (100 - 120 kg P₂O₅ ha⁻¹), and for potassium in class 3 (90 - 120 kg K₂O ha⁻¹).

10. POPIS TABLICA

Tablica 1. Deskriptivna statistička analiza kemijskih svojstava

Tablica 2. Deskriptivna statistička analiza potrebnih količina N, P₂O₅ i K₂O (kg ha⁻¹) za gnojidbu kukuruza te CaO (kg ha⁻¹) za kalcizaciju

11. POPIS SLIKA

- Slika 1. Korijenje kukuruza (Izvor: Hochholdinger, 2009.)
- Slika 2. Kukuruz
- Slika 3. Simptomi nedostatka dušika (Izvor:<https://blog-crop-news.extension.umn.edu/2017/05/4-key-nutrient-deficiencies-to-scout.html>)
- Slika 4. Simptomi deficita fosfora na kiselim tlima
- Slika 5. Simptomi deficita kalija na kukuruзу (Izvor: <https://andersonscanada.com/2014/10/14/potassium-key-ingredient-quality-crops/>)
- Slika 6. Potrebna količina dušika za gnojidbu kukuruza u Osječko-baranjskoj županiji na temelju 5184 uzoraka, empirical bayesian kriging
- Slika 7. Potrebna količina fosfora za gnojidbu kukuruza u Osječko-baranjskoj županiji na temelju 5184 uzoraka, empirical bayesian kriging
- Slika 8. Potrebna količina fosfora za gnojidbu kukuruza u Osječko-baranjskoj županiji na temelju 5184 uzoraka, empirical bayesian kriging

12. POPIS GRAFIKONA

- Grafikon 1. Distribucija aktualne kiselosti (pH-H₂O)
- Grafikon 2. Distribucija supstitucijske kiselosti (pH-KCl)
- Grafikon 3. Distribucija hidrolitičke kiselosti (Hk)
- Grafikon 4. Distribucija sadržaja humusa
- Grafikon 5. Distribucija biljkama raspoloživog fosfora (AL-P₂O₅)
- Grafikon 6. Distribucija biljkama raspoloživog kalija (AL-K₂O)
- Grafikon 7. Distribucija vrijednosti KIK-a
- Grafikon 8. Prikaz površina (ha) na području OBŽ prema klasama potrebe dušika, fosfora i kalija u gnojidbi kukuruza
- Grafikon 9. Utjecaj sadržaja hraniva (mg AL-P₂O₅ 100g⁻¹ tla) u tlu i očekivane visine prinosa kukuruza na potrebnu količinu P₂O₅ (kg ha⁻¹) u gnojidbi

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Sveučilišni diplomski studij Bilinogojstvo, smjer Ishrana bilja i tloznanstvo

Procjena potrebe hraniva metodom kriginga za uzgoj kukuruza na području Osječko-
baranjske županije

Pavo Galović

Sažetak: Kukuruz zbog vrlo širokog uzgojnog areala može uspijevati u različitim klimatskim područjima i na tlima različite plodnosti. U RH kukuruzom je zasijano oko 250 000 ha poljoprivrednih površina, od čega 1/5 u Osječko-baranjskoj županiji. S obzirom na važnost kukuruza potrebno je posebnu pažnju posvetiti povećanju proizvodnje kroz postizanje viših prinosa i očuvanje okoliša. Korištenjem naprednih alata kao što su geostatistička analiza i ALRxp gnojidbeni kalkulator moguće je napraviti preciznu, izbalansiranu gnojidbu prema zahtjevima biljaka utemeljenu na analizi tla. Iz tog razloga je cilj u izradi ovog rada bio procijeniti količinu hraniva potrebnog za uzgoj kukuruza na području Osječko-baranjske županije primjenom napredne geostatističke metode kriginga. Istraživanjem je obuhvaćeno 5184 uzoraka tla s površina na kojima je bila planirana sjetva kukuruza. Na temelju rezultata kemijskih analiza u županiji prevladavaju kiselina tla uz prosječni pH-KCl 5,43 i slabo humozna s 2,05 % humus. Prosječna opskrbljenost pristupačnim fosforom i kalijem je dobra uz vrlo visoku varijabilnost što upućuje na različite načine gospodarenja. Prosječne vrijednosti potrebnih količina glavnih elemenata ishrane su: 170,23 N kg ha⁻¹, 93,28 P₂O₅ kg ha⁻¹ i 96,61 K₂O kg ha⁻¹. Potreba glavnih elemenata ishrane za kukuruz obavljena je geostatističkom analizom EBK (Empirical Bayesian Kriging) u 7 klasa za cijelo područje Osječko-baranjske županije. Najveći broj uzoraka za N-potrebnu nalazi se u klasi 6 (150 - 175 kg N ha⁻¹), za fosfor u klasi 5 (100 – 120 kg P₂O₅ ha⁻¹), a za kalij u klasi 3 (90 - 120 kg K₂O ha⁻¹).

Rad je izrađen pri: Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Mentor: izv. prof. dr. sc. Boris Đurđević

Broj stranica: 39

Broj grafikona i slika: 17

Broj tablica: 2

Broj literaturnih navoda: 36

Broj priloga: -

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: kukuruz, Empirical Bayesian Kriging, dušik, fosfor, kalij, gnojidbeni kalkulator

Datum obrane:

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 u: Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
University Graduate Studies, Plant production, course Plant nutrition and soil science

Nutrient assessment need for corn using kriging method in Osijek baranja county
Pavo Galović

Abstract: Due to its very wide cultivation area, maize can thrive in different climatic areas and on soils of different fertility. In the Republic of Croatia, about 250,000 ha of agricultural land have been sown with corn, of which 1/5 is in Osijek-Baranja County. Given the importance of maize, special attention needs to be paid to increasing production by achieving higher yields and preserving the environment. Using advanced tools such as geostatistical analysis and ALRxp fertilization calculator it is possible to make a precise, balanced fertilization according to plant requirements based on soil analysis. For this reason, the purpose of this paper was to estimate the amount of nutrients needed for maize cultivation in the Osijek-Baranja County using an advanced geostatistical method of kriging. The research included 5184 soil samples from the areas where corn sowing was planned. Based on the results of chemical analyzes in the county, acidic soils with an average pH-KCl of 5.43 and weakly humus with 2.05% humus. The average supply of affordable phosphorus and potassium is good with very high variability, which indicates different ways of management. The average values of the required amounts of the main nutrients are: 170.23 N kg ha⁻¹, 93.28 P₂O₅ kg ha⁻¹ and 96.61 K₂O kg ha⁻¹. The need for the main elements of nutrition for corn was performed by geostatistical analysis of EBK (Empirical Bayesian Kriging) in 7 classes for the entire area of Osijek-baranja county. The largest number of samples for N need is in class 6 (150 - 175 kg N ha⁻¹), for phosphorus in class 5 (100 - 120 kg P₂O₅ ha⁻¹), and for potassium in class 3 (90 - 120 kg K₂O ha⁻¹).

Thesis performed at: Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

Mentor: PhD Boris Đurđević, assistant professor

Number of pages: 39

Number of figures: 17

Number of tables: 2

Number of references: 36

Number of appendices: -

Original in: Croatian

Key words: maize, Empirical Bayesian Kriging, nitrogen, phosphorus, potassium, fertilization recommendation calculator

Thesis defended on date:

Reviewers:

1. PhD Irena Jug, full professor - chairman
2. PhD Boris Đurđević, assistant professor - mentor
3. PhD Danijel Jug, full professor - member

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