

ISSN 1330-7142

UDK = 631.4+631.811.4

## GEOSTATISTIČKI MODEL PROCJENE KALCIZACIJE NA PRIMJERU OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE

V. Vukadinović<sup>(1)</sup>, Vesna Vukadinović<sup>(1)</sup>, Irena Jug<sup>(1)</sup>, Ž. Kraljićak<sup>(2)</sup>, B. Đurđević<sup>(1)</sup>

Izvorni znanstveni članak

Original scientific paper

### SAŽETAK

*Nepovoljan pH tla glavni je razlog brojnih problema u debalansu hraniva, a samim tim i u rastu i razvoju biljaka, pojavi kloroza i nekroza na lišću i plodovima i dr. Stoga se kalcizacija, kao mjera popravke kiselih tala, mora provoditi oprezno, uz detaljnu prethodnu kemijsku analizu tla. Ovaj rad predstavlja segment kompjutorskoga modela za utvrđivanje potrebe u gnojidbi koji obavlja procjenu potrebe za kalcizacijom. Rezultati procjene analizirani su geostatističkom interpolacijskom metodom, krigingom. Analizirano je 9.023 uzoraka tla u periodu od 2003. do 2007. godine. Prosječna supstitucijska kiselost iznosila je 5,49 (min. 3,41 do max. 8,20). Krigingom je utvrđeno kako je 241.379 ha (58,3%) površine Osječko-baranjske županije kiselo, od čega je na 90.593 ha supstitucijska kiselost manja od 4,5, a na 150.786 ha pH-KCl kreće se između 4,5 i 5,5. Osim karbokalka, za kalcizaciju preporučuje se primjena i drugih "sporodjelujućih" materijala za kalcizaciju, naročito za trajne nasade.*

**Ključne riječi:** *kisela tla, kalcizacija, kompjutorski model za procjenu kalcizacije, kriging*

### UVOD

Nizak pH tla izaziva niz različitih problema, jer prouzročuje deficit kalcija i magnezija, toksičnost aluminijske i/ili mangana, smanjenu raspoloživost fosfora, nisku efikasnost dušične i kalijске gnojidbe, nekrozu lišća i plodova, usporeni rast biljaka, lošu strukturu tala i dr. S druge strane, visok pH izaziva probleme kod usvajanja mikroelemenata (Fe, Mn, Zn, Cu i B) i fosfora, ubrzava razgradnju organske tvari i pad humusa. Stoga se kalcizacija mora provoditi oprezno uz detaljnu, prethodnu analizu tla i razmatranje mjera humizacije, fosfatizacije, unosa mikroelemenata i dr.

Koncept kvantifikacije produktivnosti zemljišta Slavonije i Baranje (Vukadinović i sur., 1992.), uz neprekidno usavršavanje tijekom niza godina, danas je podržan sofisticiranim kompjutorskim programima (Vukadinović, 2005.). Naime, na području Osječko-baranjske županije (od 415.500 ha samo je 211.811 ha obradivih površina) u razdoblju od 2003. god. do danas, sustavno se provodi kontrola plodnosti tala koju financira Županija (40%), jedinice lokalne samouprave (40%) i vlasnici zemljišta (20%), sa svrhom izrade gnojidbenih preporuka usjeva. Za potrebe ovoga rada iz baze, koju trenutno čini oko 15.000 uzoraka, izdvojeno je 9.023 uzorka, što odgovara površini od ~50.000 ha. Baza sadrži, pored kemijske analize, i podatke o vlasništvu, uređenosti zemljišta, predusjevu, organskoj gnojidbi te georeferencu, koja daje mogućnost prostorne analize i vizualizacije GIS alatima. U ovom istraživanju prikazan je segment kompjutorskoga modela za utvrđivanje potreba u gnojidbi, koji, ujedno, obavlja i procjenu potrebe za kalcizacijom. Rezultati procjene potrebe za kalcizacijom analizirani su geostatističkom interpolacijskom analizom na cjelokupnome prostoru Osječko-baranjske županije metodom kriginga (Malvić, 2005.), zbog vizualizacije i procjene svih površina Županije, s obzirom na potrebu kalcizacije.

---

(1) Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović, doc. dr. sc. Vesna Vukadinović, dr. sc. Irena Jug, dipl. ing. Boris Đurđević - Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Trg Svetog Trojstva 3, 31000 Osijek, (2) dipl. ing. Željko Kraljićak - Osječko-baranjska županija, Upravni odjel za poljoprivredu i gospodarstvo, Trg Ante Starčevića 2, 31000 Osijek

## MATERIJAL I METODE

Sustavna kontrola plodnosti zemljišta Osječko-baranjske županije provodi se od 2003. god. po unaprijed utvrđenoj metodologiji. Uzorci tla na terenu uzimani su agrokemijskom sondom do 30 cm dubine s 25 uboda. Geografska pozicija utvrđena je pomoću GPS-a, a potrebni podaci o vlasništvu, predkulturi, uređenosti zemljišta i sl. prikupljeni su na terenu kod uzorkovanja prema standardnome anketnome listu za proračun gnojidbe. Priprema uzoraka i njihova analiza u laboratoriju provedena je standardnim postupcima (Vukadinović i Bertić, 1989.). Svi podaci uneseni su u "ulaznu bazu" za proračun potrebe u gnojidbi ALRxp kompjutorskim programom (Vukadinović i sur., 2001.a; 2001.b). ALRxp je sofisticirani kompjutorski program, koji, na temelju ulaznih podataka, osim proračuna gnojidbe, procjenjuje proizvodnu pogodnost tla, potrebu za kalcizacijom i potencijal N-mineralizacije. Ujedno se preporučuje, u vidu komentara i savjeta, pridružuje tumačenje rezultata analize i proračuna gnojidbe, odnosno preporuka kalcizacije, s posebnim naglaskom na ograničavajuće činitelje produktivnosti tla. Svi ulazni podaci, uz rezultate kompjutorske preporuke gnojidbe, odnosno kalcizacije s vrstom i dozom gnojiva, bilancom hraniva, procjenom produktivnosti tla i dr., čuvaju se u "izlaznoj bazi", koja se statistički prostorno analizira/vizualizira u GIS alatu (ARCMAP 9.0).

Analiza tla obuhvaća sljedeće fizikalno-kemijske pokazatelje: AL-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, AL-K<sub>2</sub>O, pH-KCl, pH-H<sub>2</sub>O, Hy (hidrolitička kiselost), sadržaj humusa i karbonata. Kationski izmjenjivački kompleks (KIK) i volumna gustoća tla (ρ<sub>v</sub>) procjenjuju se na temelju empirijskih modela .

Kompjutorski proračun potrebe u kalcizaciji koristi kombinirani empirijsko-egzaktni postupak koji uzima u obzir zasićenost adsorpcijskoga kompleksa tla bazama (BS%), pH u KCl-u, hidrolitičku kiselost, volumnu gustoću tla (g·cm<sup>-3</sup>) i dubinu oraničnoga sloja do 30 cm. Prvi je korak procjena vrijednosti KIK-a na temelju analize humusa u tlu i teksturne klase. U tu svrhu korištena je formula (University of Minnesota, 2005.):

$$\text{KIK}_{\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}} = \frac{\text{humus \%} \times 200}{100} + \frac{\text{glina \%} \times 50}{100}$$

Tekstura se tla procjenjuje pri uzorkovanju, hidrolitička kiselost tla utvrđuje se u laboratoriju uvijek kada je pH<sub>KCl</sub> ≤ 6,0, a volumna gustoća i sadržaj gline empirijske su veličine izračunate iz teksturne klase na temelju egzaktnih proučavanja velikoga broja mehaničkih svojstava tala. Nakon toga se računa saturiranost adsorpcijskoga kompleksa tla bazama:

$$\text{BS \%} = \frac{\text{KIK} - \text{Hy}}{\text{KIK}} \times 100$$

Ciljna zasićenost KIK-a bazama (TBS%) ovisi o veličini KIK-a: kada je KIK < 19 cmol<sup>(+)</sup>·kg<sup>-1</sup> tla, TBS je 90%, za KIK 20-28 cmol<sup>(+)</sup>·kg<sup>-1</sup> to je 85%, a za KIK > 28 cmol<sup>(+)</sup>·kg<sup>-1</sup> tla TBS je 80%. Na kraju se, uz pomoć procijenjene veličine KIK-a i ciljne razine njegove zasićenosti bazama, izračuna potreba kalcizacije za usjeve u Ca t·ha<sup>-1</sup> za oranični sloj od 30 cm:

$$\text{Ca}_{\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}} = \frac{\text{TBS \%} - \text{BS \%}}{100000} \times \text{KIK}_{\text{cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}} \times 20 \times \rho_v \times 30$$

Proračun potrebe u kalcizaciji proveden je samo kad je pH<sub>KCl</sub> ≤ 5,5, bez obzira je li Hy > 4 cmol<sup>(+)</sup>·kg<sup>-1</sup> ili je hidrolitička kiselost tla niža. Za preračunavanje potreba kalcizacije u CaO t·ha<sup>-1</sup> izračunata potreba u Ca t·ha<sup>-1</sup> množi se faktorom 1,399, za CaCO<sub>3</sub> t·ha<sup>-1</sup> faktor je 1,78, a za saturacijski mulj osječke Šećerane (komercijalno ime je karbokalk) faktor je 1,483.

Vizualizacija pH tla, predikcija kalcizacije za cijelo područje Osječko-baranjske županije te proračun površina i količine materijala za kalcizaciju procijenjeni su krigingom (Malvić, 2005.), metodom geostatističke interpolacije na temelju poznatih koordinata uzoraka tla u ArcMap-u v9.0.

## REZULTATI I RASPRAVA

Osnovni statistički pokazatelji analize tla dati u Tablici 1. pokazuju da indikatori produktivnosti tla jako variraju, što je razumljivo, s obzirom na veliko proizvodno područje s vrlo jasnim razlikama u pedološkim, geomorfološkim i klimatskim svojstvima. Generalno, od istoka prema zapadu Županije raste količina oborina (~30%), nadmorska visina (od 82 m.n.m uz Dunav pa sve do blizu 600 m.n.m

na Krndiji), tla su kiselija, što naravno prouzročuje, uz različiti matični supstrat, razvoj različitih tipova tala, klimaks vegetacije i bitno drugačije agroekološke uvjete poljoprivredne proizvodnje.

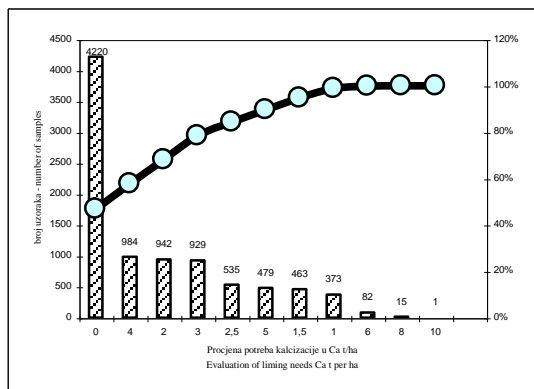
**Tablica 1. Agrokemijski podaci za procjenu potrebe u kalcizaciji**

*Table 1. Agrochemical data for evaluation of liming needs*

Statistika <i>Statistics</i>	pH-KCl	pH-H <sub>2</sub> O	Humus (%)	Hy	KIK	AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	AL-K <sub>2</sub> O	ρ <sub>v</sub> g·cm <sup>-3</sup>
				cmol <sup>(+)</sup> ·kg <sup>-1</sup> tla/soil		mg·100g <sup>-1</sup> tla/soil		
N	9023	9023	9023	9023	9023	9023	9023	9023
<b>Prosjeck Average</b>	<b>5,49</b>	<b>6,22</b>	<b>2,03</b>	<b>2,95</b>	<b>17,90</b>	<b>20,26</b>	<b>24,67</b>	<b>1,37</b>
Sd	1,22	1,08	0,70	2,37	2,77	10,05	7,95	0,09
Kv%	22,14	17,29	34,50	80,46	15,46	49,62	32,21	6,82
Min	3,41	3,94	0,32	0,00	10,55	0,40	3,60	1,10
Max	8,20	8,79	10,00	14,00	41,25	66,60	51,00	1,80

Utvrđene su izrazito jake korelacijske veze (s obzirom na velik broj statistički analiziranih uzoraka) između pojedinih indikatora produktivnosti tla. Očekivano je visoka negativna korelacija između pH<sub>KCl</sub> i Hy ( $r=-0,918^{***}$ ) te između pH<sub>KCl</sub> i humusa ( $r=0,366^{***}$ ), zbog slabije dekompozicije humusa u redukcijskim uvjetima, kao i KIK-a i teksture ( $r=0,740^{***}$ ), jer u težim tlima raste učešće gline. Također, vrlo je visoka korelacijska povezanost AL-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i AL-K<sub>2</sub>O ( $r=0,567^{***}$ ), što se može dovesti u vezu s antropogenizacijom, odnosno dugogodišnjom primjenom mineralnih gnojiva na poljoprivrednim površinama.

Procjena potrebne količine kalcija (Ca t·ha<sup>-1</sup>) za kalcizaciju prikazana je histogramom (Grafikon 1.). Kod proračuna kalcizacije uz BS = 90% (9.023 uzorka tla) utvrđeno je kako više od polovice uzoraka tla ima potrebu za kalcizacijom, od toga 2.490 uzoraka ima potrebu za 3 t·ha<sup>-1</sup> Ca ili više. Za proračun kalcizacije uz BS = 95% čak 3.695 uzoraka tla pokazuju potrebu za 3 ili više t·ha<sup>-1</sup> Ca za kalcizaciju.

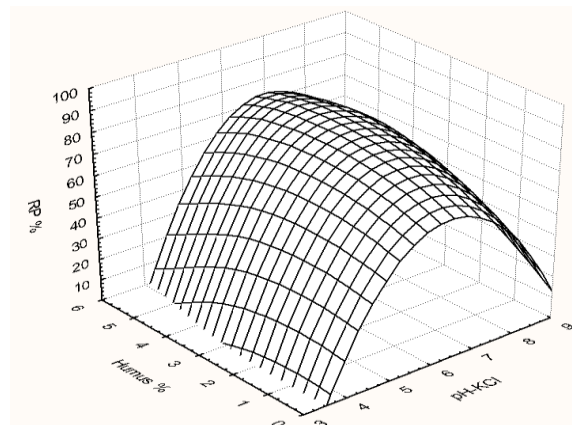


**Grafikon 1. Histogram preporučene kalcizacije (Ca t·ha<sup>-1</sup>) (BS = 90%)**

*Graph 1 Histogram for liming recommendation (Ca t·ha<sup>-1</sup>) (BS = 90%)*

### Geostatistička analiza rezultata

Za geostatističku analizu korišteno je 8.935 uzoraka. Proračun površine Osječko-baranjske županije GIS-om neznatno se razlikuje od službenoga podatka (413.923 ha prema službeno 415.500 ha). Vizualizacija kiselosti zemljišta provedena



**Grafikon 2. Model utjecaja pH<sub>KCl</sub> i humusa na produktivnost tala istočne Hrvatske**

*Graph 2. Model of influence of pH<sub>KCl</sub> and organic matter on efficiency soils in East Croatia*

krigingom (Slika 1.) zorno prikazuje prostornu raspodjelu kiselih tala. Istočno od Osijeka uglavnom su neutralna i alkalna tla, osim manjega dijela Baranje sjeverno od Darde i oko Jagodnjaka. Zapadno, osim aluvijalnoga pojasa neposredno uz rijeku Dravu, prostiru se kiselna i vrlo kiselna tla. Također, pojas uz cestu Čepin-Budimci-Našice nešto je manje kiseo, što je, vjerojatno, posljedica višegodišnje primjene kalcizacije, uglavnom saturacijskim muljem iz Osječke tvornice šećera.

**Tablica 2. Površine kiselih zemljišta Osječko-baranjske županije**

*Table 2. Area of acid soils in Osijek-Baranya County*

pH <sub>KCl</sub>	3,5 - 4,0	4,0 - 4,5	4,5 - 5,0	5,0 - 5,5	3,5 - 5,5
Ha	5.859,13	84.734,09	93.111,04	57.675,16	241.379,41

Primjena kriginga jasno pokazuje kako je vrlo velika površina zemljišta Osječko-baranjske županije kiselna do ekstremno kiselna (pH<sub>KCl</sub> < 5,5) i trenutno iznosi 58,32% (Tablica 2.), a površine, čiji je pH<sub>KCl</sub> ispod 4,5 i koje obavezno treba kalcizirati (Vukadinović i Lončarić, 1998.), zauzimaju 90.593,22 ha ili 21,89% ukupne površine Županije.

Geostatistička je analiza pokazala da 4.792 uzorka tla ima pH<sub>KCl</sub> ≤ 5,5 (53,63%), za koje je opisanim modelom uz BS% = 95% preporučena kalcizacija s prosječnom dozom od 3,28 t·ha<sup>-1</sup> Ca. Ako se ta prosječna doza preračuna na 90.593,22 ha koje treba neizostavno kalcizirati, tada je potrebno 297.146 t Ca ili 415.706 t CaCO<sub>3</sub> ili 440.668 t karbokalka. To odgovara približno 15-godišnjem radu Osječke tvornice šećera, koja godišnje proizvede, u prosjeku, 35.000 t karbokalka (5% v/v na prerađenu repu). Taj podatak upućuje na potrebu korištenja i drugih materijala za kalcizaciju, čije je djelovanje sporije, odnosno dugoročno neutraliziraju kiselost tla, jer su slabije topiva u tlu i krupnijih su frakcija prema karbokalku čije je djelovanje brzo, ali i ograničeno na nekoliko godina. Takvi „sporodjelujući“ materijali za kalcizaciju preporučuju se naročito za ekstremno kiselna tla i za trajne nasade.

Evaluacijom procjene KIK-a temeljem egzaktnog utvrđivanja za područje istočne Hrvatske utvrđeno je kako formula University of Minnesota (2005.) daje nižu procjenu za tla čiji je pH<sub>KCl</sub> ispod 5,5 pa je shodno rezultatima analize KIK-a, korigirana:

$$KIK_{\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}} = \frac{\text{humus \%} \times 240}{100} + \frac{\text{glina \%} \times 50}{100}$$

Naime, poznato je da je kod većine neutralnih i alkalnih tala kapacitet sorpcije ravnomjerno raspoređen na glinu i organsku tvar tla (Seybold i sur., 2005.), dok se u kiselim tlima veći dio kapaciteta sorpcije pripisuje glini, jer kapacitet sorpcije humusa pada s povećanjem kiselosti tla (Oorts i sur., 2003.). Zbog toga je provedena seriozna statistička analiza svih indikatora pogodnosti (dobivenih laboratorijskom analizom tla, kao i procijenjenih) te je utvrđena visoko signifikantna negativna sprega niskoga pH, humusa i relativne pogodnosti/produktivnosti (RP%) ispitivanih tala (Grafikon 2.).

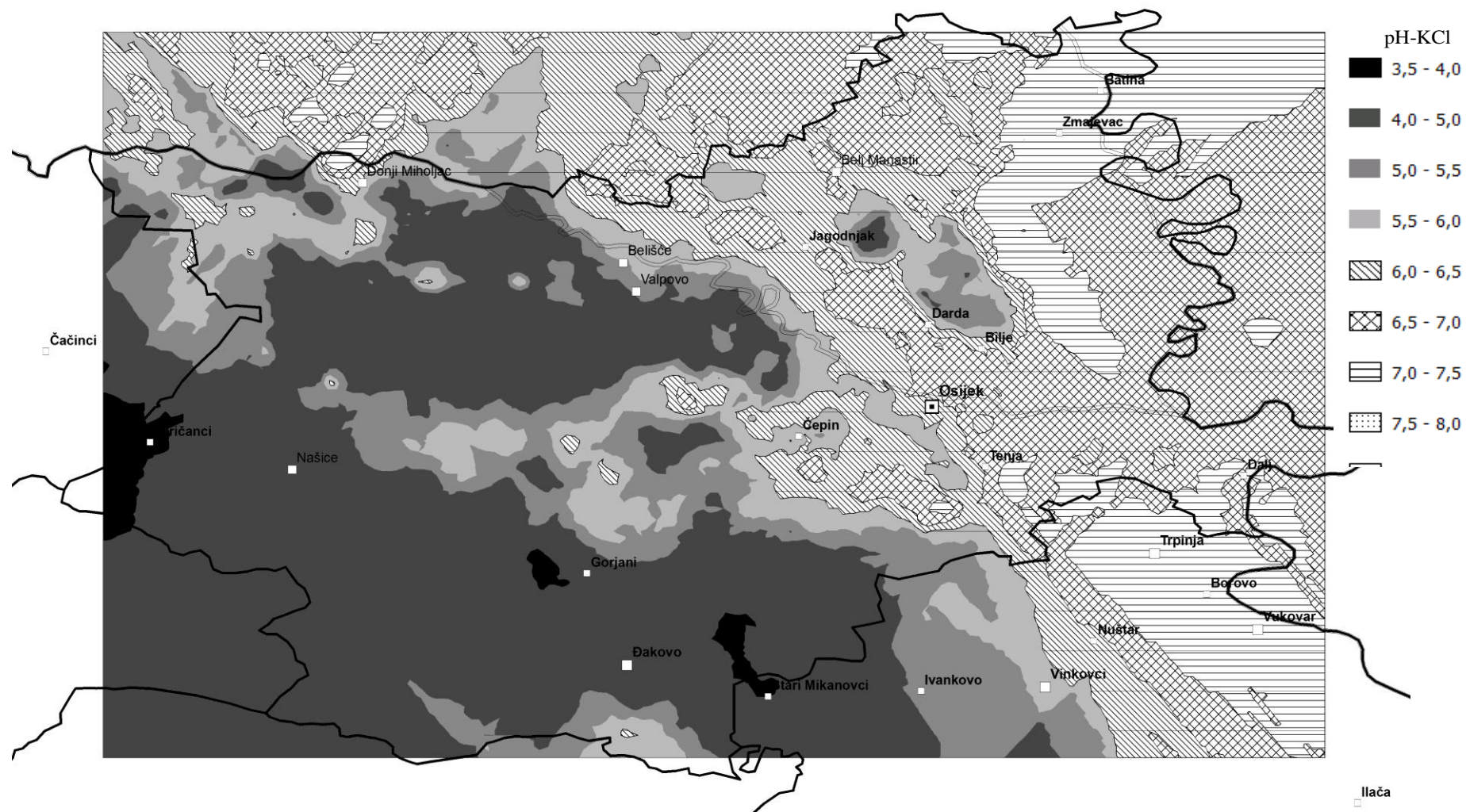
## ZAKLJUČAK

Na temelju rezultata kompjutorskoga modela procjene potrebe za kalcizacijom i geostatističke analize podataka kontrole plodnosti zemljišta Osječko-baranjske županije, može se ukratko zaključiti:

- 1) Analizirano je ukupno 9.023 uzoraka tla u periodu 2003. do 2007. godine i utvrđeno da je prosječna supstitucijska kiselost (pH<sub>KCl</sub>) 5,49 (min. 3,41 do max. 8,20).
- 2) Krigingom cjelokupne površine Osječko-baranjske županije utvrđeno je:
  - a. 90.593 ha ima supstitucijsku kiselost ispod 4,5 i hitno ih treba kalcizirati,
  - b. 150.786 ha ima pH<sub>KCl</sub> između 4,5 i 5,5 i treba ozbiljno razmotriti potrebu za njihovom kalcizacijom i
  - c. 241.379 ha Osječko-baranjske županije (od ukupno 413.923 ha) ili 58,3% je kiselu.
- 3) Procijenjena količina karbokalka za kalcizaciju oraničnih površina Osječko-baranjske županije odgovara približno 15-godišnjoj produkciji Tvornice šećera iz Osijeka te se preporučuje primjena i drugih, „sporodjelujućih“ materijala za kalcizaciju, naročito za trajne nasade.

**Slika 1. Predikcija pH-KCl (kriging) Osječko-baranjske županije (M 1:400.000)**

*Figure 1. Predicting pH-KCl (kriging) of Osijek-Baranya County (M 1:400.000)*



## LITERATURA

1. Malvić, T. (2005): Kriging, geostatistička interpolacijska metoda. 2. izdanje. Zagreb. <http://www.mapconsult.net>
2. Oorts, K., Vanlauwe, B., Merckx, R. (2003): Cation exchange capacities of soil organic matter fractions in a Ferric Lixisol with different organic matter inputs. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 100(2-3):161-171.
3. Seybold, C.A., Grossman, R.B., Reinsch, T.G. (2005.): Predicting Cation Exchange Capacity for Soil Survey Using Linear Models. *SSSAJ* 69(3):856-863.
4. University of Minnesota (2005): Cation Exchange & Cation Exchange Capacity. <http://www.soils.umn.edu/academics/classes/soil2125/doc/s11ch2.htm>
5. Vukadinović, V., Bertić, B. (1989.): Praktikum iz agrokemije i ishrane bilja. Sveučilište u Osijeku, BTZNC, Poljoprivredni fakultet Osijek, Osijek.
6. Vukadinović, V., Bertić, B., Kovačević, V. (1992.): Kvantifikacija produktivnosti tala Slavonije i Baranje. Zbornik radova Znanstveno-stručnog skupa "Obnova i razvoj istočne Hrvatske", Bizovac, 23-24.
7. Vukadinović, V., Lončarić, Z. (1998.): Ishrana bilja. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet Osijek, Osijek.
8. Vukadinović, V., Bertić, B., Teklić, T., Lončarić, Z., Galović, V., Rastija, D. (2001.): Analiza tla kao temelj procjene zdravlja tla i managementa hraniva. 37. Znanstveni skup hrvatskih agronoma s međunarodnim sudjelovanjem, Zbornik sažetaka, Opatija, 33-37.
9. 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, 249-250.
10. Vukadinović, V., Bertić, B., Galović, V., Rastija, D. (2005): Soil analyses and computer model for crop fertilization. Program and Abstract Book of 9<sup>th</sup> International Symposium on Soil and Plant Analysis: Soil, Plant and Water Analysis: Quality Analytical Tools for an Era of Ecological Awareness. Soil and Plant Analysis Council, Cancun, Mexico, 36.

## GEOSTATISTICAL MODEL EVALUATION OF LIMING ON OSIJEK-BARANYA COUNTY EXAMPLE

### SUMMARY

*Unfavorable pH of soil is the main reason for several different problems in debalance of mineral nutrition which can cause many problems in plant growth, such as leaves and fruit chlorosis and necrosis, etc. Therefore, liming as a measure for improving amount of acids soils must be conducted very carefully, with detail chemical soil analyses. This paper presents a segment of computer model for liming recommendation at the example of Osijek-Baranya County. Results of liming recommendation were obtained by geostatistical interpolation method – kriging. Totals of 9023 soil samples were analyzed in the period 2003–2007. The substitution acidity average was 5.49 (minimum 3.41 to maximum 8.20). Kriging shown that 241 379 ha (58.3%) area of Osijek-Baranya County were acids soil. Therefore 90 593 ha have substitution acidity lower than 4.5 and 150 786 ha have pH<sub>KCl</sub> between 4.5 and 5.5. Except carbocalk, other "slowly-effect" materials can be recommended for liming, especially for vineyards and orchards.*

*Key-words: acids soil, liming, computer model for liming recommendation, kriging*

(Primljeno 15. listopada 2008.; prihvaćeno 11. studenog 2008. - Received on 15 October 2008; accepted on 11 November 2008)