

ANALIZA POGODNOSTI ZEMLJIŠNIH RESURSA ISTOČNE HRVATSKE FUNKCIJSKIM MODELOM

¹V. Vukadinović, ¹Blaženka Bertić, ¹B. Đurđević, ¹Vesna Vukadinović, ¹Irena Jug i ²Ž. Kraljičak
¹Poljoprivredni fakultet u Osijeku, ²Osječko-baranjska županija

UVOD

Plodnost tla može se procjeniti vrednovanjem njegovih specifičnih funkcija koje kvantificiraju biljnu produktivnost, a utječu kako na okoliš, tako i na zdravlje ljudi. *Karlen et al. (1997)* i *Pierce and Larson (1993)* pojednostavljeno definiraju plodnost tla kao njegov „kapacitet za funkcioniranje“, a on može biti degradiran primjenom neodgovarajuće agrotehnike u ratarskoj ili stočarskoj proizvodnji (odsustvo primjene stajnjaka, navodnjavanje vodom loše kakvoće, neadekvatna i pretjerana gnojidba, neadekvatna primjena pesticida, gradskog ili industrijskog otpada ili drugih toksičnih nusprodukata i dr.).

Znanstvena procjena produktivnosti tla temelji se na utvrđivanju indikatora plodnosti koji moraju biti osjetljivi, pouzdani, reproducibilni, a dobro detektiraju promjene fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava i procesa u tlu te njihove interakcije (*Mausbach and Tugel, 1997*). Konvencionalne metode razvrstavaju tla u bonitetne klase, što je nedovoljno, jer kapacitet produkcije tla zavisi od složenog kompleksa i interakcije velikog broja ne samo biljno-proizvodnih činitelja. Zapravo, stvarna produktivnost tla zavisi i od motiviranosti proizvođača za proizvodni rizik, njihovom znanju, potrebe tržišta, ekonomske politike države te socijalne i kulturne tradicije. Zato dobra procjena proizvodnog potencijala nekog tla pored agroekoloških svojstava uključuje i kvantifikaciju načina njegove uporabe.

Gnojidbena preporuka mora imati za podlogu fizikalno-kemijske podatke analize tla, a izračun potrebne doze mora uvažavati profitabilnost, planirani, zapravo realno mogući prinos, specifične potrebe biljne vrste i potencijal plodnosti tla. Svaka improvizacija, uključujući subjektivnu vizualnu procjenu, najčešće rezultira smanjivanjem prinosa i kakvoće usjeva, odnosno profita. U rješavanju ove problematike može se očekivati brz napredak samo uz širu primjenu kemijskih analiza tla, kompjutorske tehnologije, korištenjem interpretacijskih baza podataka o svim relevantnim svojstvima tla te bilanciranjem hraniva ovisno o različitim agrološkim uvjetima proizvodnje.

U radu je opisan matematski model koji koristi tkzv. skor funkcije procjene pojedinih indikatora pogodnosti zemljišta čiji je primjena započeta na području Slavonije i Baranje prije 15-ak godina (*Vukadinović et. al., 1992*) i sada je u fazi intezivne primjene. Model je podržan sofisticiranim kompjutorskim programom (*Vukadinović, 2005*), koristi ulaznu relacijsku bazu za unos podataka o tlu, biljnoj proizvodnji, uređenosti zemljišta, primjeni agrotehnike, fizikalno-kemijskim svojstvima tla i dr., a rezultati kompjutorske obrade tih podataka tiskaju se kao preporuka gnojidbe. Model uključuje praćenje i tumačenje klime, tla, vegetacije i drugih aspekata zemljišta u smislu zahtjeva za alternativne oblike korištenja zemljišnih resursa unutar relevantnog fizičkog, ekonomskog i socijalnog konteksta. U dodatku gnojidbene preporuke su savjeti dobre poljoprivredne prakse, odnosno prijedlog agrotehničkih mjera za popravke zemljišta te potrebi i načinu eliminacije limitirajućih faktora. Svi podaci automatski se prenose u izlaznu relacijsku bazu za vizualizaciju i geostatističku analizu, uključujući i predikciju GIS alatima.

MATERIJAL I METODE RADA

U okviru projekta *Analiza tla kao temelj racionalizacije gnojidbe* na području Osječko-baranjske županije (2003-2009. godine) analitički je obrađeno 17.405 uzorka tla, od kojih ~2/3 uzorka pripadaju Osječko-baranjskoj županiji. U Zavodu za kemiju, biologiju i fiziku tla Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku razrađena je strategija uzimanja uzoraka i njihove analize, te izrađen sustav baze podataka podržane GIS-om i kompjutorskim programima za izdavanje gnojidbenih preporuka s potrebnim objašnjenjima. Organizirano uzimanje uzoraka na terenu i njihovu pripremu te laboratorijsku obradu provodilo je više laboratorija i dvije šećerane s područja istočne Hrvatske.

Uzorci tla su uzimani sondom i to 25 uboda do 30 cm na 3-5 ha (ovisno o veličini parcele i homogenosti tla), geografska pozicija parcele i njena nadmorska visina određeni su GPS-om, a potrebni podaci o vlasništvu, predkulturi i uređenosti zemljišta prikupljeni su na terenu prema standardnom

anketnom listu za proračun gnojidbe. Priprema uzoraka i njihova analiza u laboratoriji provedena je standardnim postupcima (Vukadinović i Bertić, 1989) te su svi podaci unešeni u "ulaznu bazu" za proračun potrebe u gnojidbi ALRxp kompjutorskim programom (Vukadinović et al., 2001a i 2001b).

Gnojidbene preporuke po predloženom modelu temelje se na fizikalno-kemijskoj analizi tla, prinosima ostvarenim u prethodnoj proizvodnji, organskoj gnojidbi i drugim svojstvima tla prikupljenih uvidom na terenu kod uzorkovanja. Kalkulacija potrebne doze gnojiva uvažava profitabilnost, planirani (realno mogući) prinos, specifične potrebe biljne vrste i potencijal plodnosti tla. ALRxp kalkulator je vrlo sofisticiran program koji jasnim objašnjenjima pokušava umanjiti nepovjerenje farmera prema kompjutorskom izdavanju gnojidbenih preporuka čija se vjerodostojnost mora u primjeni dokazati reakcijom prinosa usjeva na preporučenu gnojidbu, dakako uz porast profita. Stoga se neprestano unapređuje ALRxp program za proračun gnojidbe uz povećanje broja mjerljivih indikatora plodnosti, a korisniku sve detaljnije obrazlaže gnojidbena doza, raspodjela gnojiva, predlažu mjere eliminacije limitirajućih faktora i uz bilancu hraniva te procijenu relativne pogodnosti tla za usjeve predlaže gnojidba za ciklus plodosmjene (rotacija do 6 usjeva).

Model koristi nelinearne skor funkcije, s tim što je pogodnost zemljišta za usjeve procijenjuje s 7 analitičkih i 15 dopunskih indikatora produktivnosti: AL-P₂O₅, AL-K₂O, pH-KCl, pH-H₂O, Hy, humus % i karbonat %, dok se od dopunskih indikatora kationski izmjenjivački kompleks (KIK) i gustoća tla procjenjuju na temelju empirijskih modela, a u procjenu su još uključena organska gnojidba, prinos predkulture, žetveni ostaci, prosječna godišnja temperatura, prosječna godišnja količina oborina, biogenost tla, potencijal NP mineralizacije organske tvari, tekstura, nagib, uređenost tla, razina agrotehnike i zaštite usjeva te procjena relativne pogodnosti tla za usjeve. Vrlo slično ovom modelu, kako navode Seybold et al. (2005) za potrebe Nacionalne baze podataka o tlu SAD-a, koriste se prediktivni, ali linearni modeli, pri čemu se homogene grupe tala izdvajaju prema sadržaju organske tvari u tlu, pH, mineraloškoj klasi i KIK-u. Baza podataka koju koristi United States Department of Agriculture (USDA, 1995) za interpretaciju koristi preko 25 fizikalnih i kemijskih svojstava tla koji se pomoću ArcView programa mogu vizualizirati za svaku zemljišnu jedinicu.

REZULTATI S RASPRAVOM

Osnovni statistički pokazatelji analize tla (tab. 1.) prikazuju prosječne vrijednosti i variranja indikatora produktivnost zemljišta istočne Hrvatske koja su posljedica na tako velikom proizvodnom području zbog razlike u pedološkim, geomorfološkim i klimatskim svojstvima. Općenito, od istoka prema zapadu raste količina oborina (~30%) kao i nadmorska visina (od 80 m uz Dunav pa sve do blizu 1000 m na Papuku i Psunju), a tla su sve kiseliija, što uz različiti matični supstrat i različite tipove tala (kao i promjenu klimaks vegetacije) rezultira bitno drugačijim agroekološkim uvjetima poljoprivredne proizvodnje.

Tablica 1. Agrokemijski podaci za procijenu pogodnosti zemljišta ist. Hrvatske za usjeve

Statistika	pH-KCl	pH-H ₂ O	Humus (%)	Hy	KIK	AL-P ₂ O ₅	AL-K ₂ O	ρ g/cm ³	Rel. pog. %
				cmol ⁽⁺⁾ ·kg ⁻¹ tla		mg/100 g tla			
n	17405	17405	17405	17405	17405	17405	17405	17405	17405
Prosjek	5.61	6.50	2.13	2.59	13.39	19.27	23.85	1.42	56.23
Sd	1.20	1.10	0.75	2.41	2.13	10.71	8.17	0.09	20.83
Kv%	21.37	16.99	35.18	93.07	15.89	55.57	34.26	6.69	37.04
min	3.37	3.94	0.32	0.00	9.49	0.40	3.60	1.20	0.00
max	8.20	9.30	6.92	13.99	26.05	50.00	50.00	1.75	83.04

Uvrđene su izrazito jake korelacijske veze (tab. 2.) između pojedinih indikatora produktivnosti tla. Negativna veza između pH_{KCl} i Hy je očekivana, a visoki koeficijent korelacije (r = -0,930⁺⁺⁺) pokazuje da vrlo mali broj uzoraka odstupa od te pravilnosti. Između pH_{KCl} i humusa ostvarena je značajna pozitivna korelacija (r = 0,363⁺⁺⁺), vrlo vjerovatno uzrokovana slabijom dekompozicijom humusa u redukcijским uvjetima. Visoka i pozitivna korelacija između AL-P₂O₅ i AL-K₂O (r = 0,551^{+++*}) tipična je za antropogeni utjecaj, odnosno posljedica je dugogodišnje primjene kompleksnih mineralnih gnojiva na poljoprivrednim površinama. Prema istraživanjima Oorts et al (2007) najveći utjecaj na kvalitetu tla, posebice KIK, ima organska tvar u tlu, a

humus i pH objašnjavaju više od 85 % varijacija KIK-a u tlu. Sličnu korelaciju pokazuje i ovo istraživanje pa je tako utvrđena vrlo signifikantna korelacija između relativne pogodnosti tla i humusa ($r = 0,426^{***}$), odnosno RP% i KIK-a ($r = 0,659^{***}$), a nije bilo korelacije između gustoće tla i relativne pogodnosti što može biti i posljedica loše obučenosti uzorkivača, odnosno pogrešne primjene *feel metode*.

Tablica 2. Korelacije (linearne) između analitičkih indikatora pogodnosti

	pH_KCl	pH_HOH	Humus	AL-P ₂ O ₅	AL-K ₂ O	KIK	ρ	Hy	RP%
pH_KCl	1								
pH_HOH	0.963	1							
Humus	0.363	0.364	1						
AL- P ₂ O ₅	0.195	0.138	0.151	1					
AL- K ₂ O	-0.016	-0.081	0.053	0.551	1				
KIK	0.636	0.625	0.930	0.189	0.036	1			
ρ	-0.072	0.007	-0.091	-0.031	-0.061	-0.080	1		
Hy	-0.930	-0.911	-0.314	-0.147	0.061	-0.586	0.029	1	
RP%	0.816	0.814	0.426	0.238	0.061	0.659	0.000	-0.808	1

Relativna pogodnost ispitivanih površina u prosjeku je 56,03 % uz relativno visok koeficijent variranja ($Kv\% = 37,04$). Analizom multiple regresije utvrđeno je da relativna pogodnost tla za usjeve visoko signifikantno ovisi o svim uključenim indikatorima plodnosti ($R^2 = 0.993^{***}$ za 17405 opservacije):

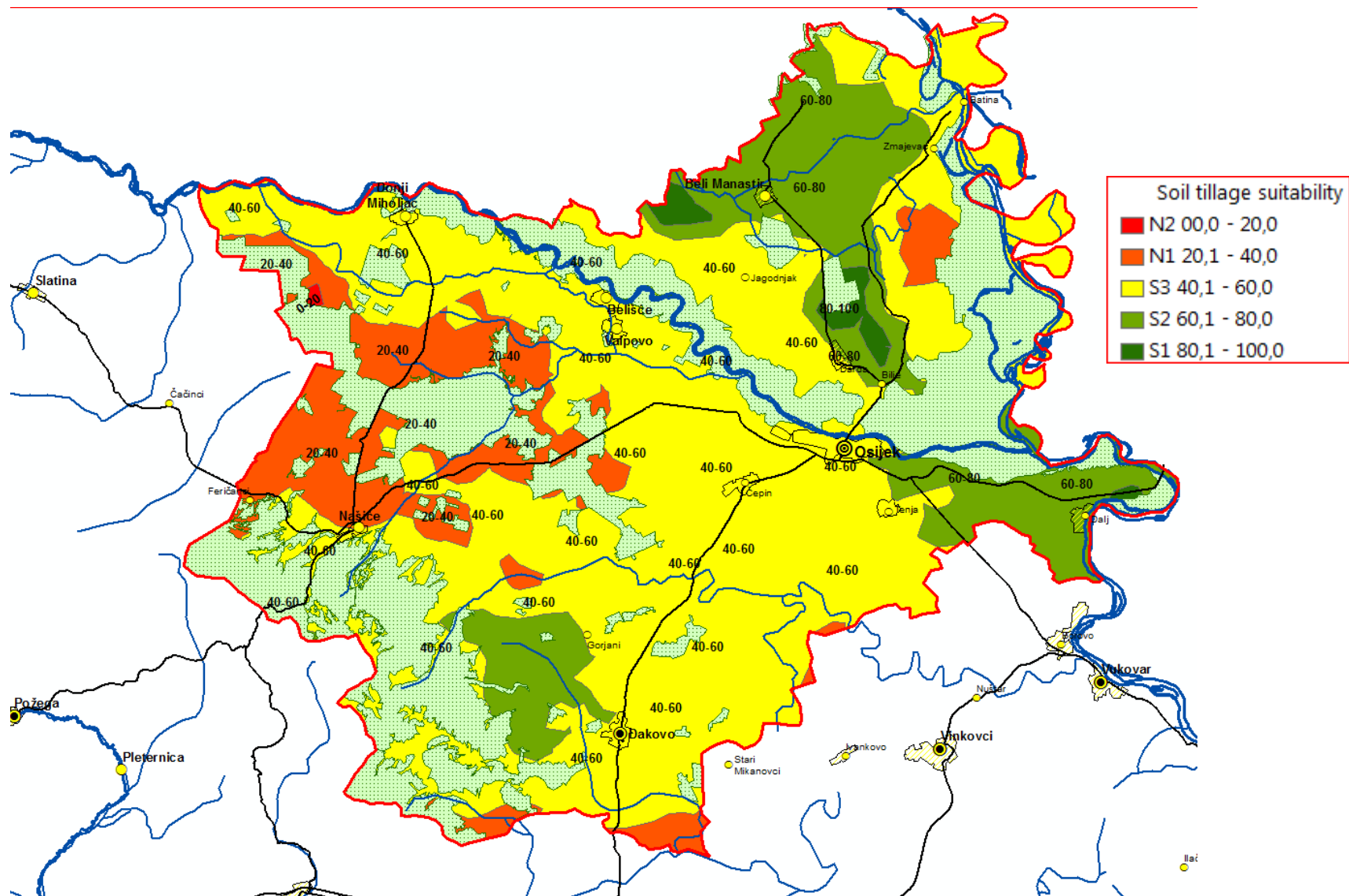
$$RP\% = -57.386 + pH-KCl \times 0,127 + Humus \times 0,172 + AL-P_2O_5 \times 0.199 + AL-K_2O \times 0.211 + \rho \times 0,214 + KIK \times 0,287 + Hy \times 0.225$$

Za geostatističku analizu pogodnosti zemljišta u istočnoj Hrvatskoj izabran je samo prostor Osječko-baranjske županije jer je najgušće pokriven uzorcima. Proračun površine Osječko-baranjske županije GIS-om neznatno se razlikuje od službenog podatka (413.461 ha prema službeno 415.500 ha).

Prema podacima o relativnoj pogodnosti (tab. 3.) u Osječko-baranjskoj županiji vrlo malo je površina privremeno i trajno nepogodno za uzgoj usjeva (~56.000 ha). Njihova neplodnost izazvana je najviše ekstremno kiselom reakcijom ($pH-KCl \leq 3,7$) ili vrlo niskim sadržajem organske tvari tla (humus $\leq 0,5\%$). Relativna pogodnost tla za usjeve smanjuje se od istoka prema zapadu Osječko-baranjske županije što jasno pokazuje procjena pogodnosti opisanim funkcijskim modelom (slika 1.).

Tablica 3. Relativna i FAO pogodnost zemljišta za usjeve Osječko-baranjske županije

	Klasa pogodnosti	Relativna pogodnost %	Ukupno ha	Bez šumskih površina
Nepogodno	N2	0-20	2.331,66	1.917,84
	N1	20-40	68.110,83	54.293,99
Pogodno	S3	40-60	159.107,70	102.851,50
	S2	60-80	183.910,36	142.393,37
	S1	80-100	0	0
Županija ha			413.460,58	301.456,71



Slika 1. Kriging relativne pogodnosti zemljišta Osječko-baranjske županije s lokacijom uzorkovanja

ZAKLJUČCI

Na temelju rezultata kompjutorskog, funkcijskog modela procijene pogodnosti zemljišta za usjeve i geostatističke analize podataka na području istočne Hrvatske može se ukratko zaključiti:

1) U razdoblju 2003-2009. godine na području istočne Hrvatske analitički je obrađeno 17405 uzorka tla, od kojih ~2/3 pripadaju Osječko-baranjskoj županiji. Prosječna relativna plodnost (RP%) je osrednja (56,23%) ili prema FAO klasifikaciji S3.

2) Utvrđene su značajne korelacijske veze između pojedinih indikatora produktivnosti tla: negativna veza između pH_{KCl} i H_y ($r=-0,930^{+++}$), pozitivna između pH_{KCl} i humusa ($r=0,363^{+++}$), kao i između $AL-P_2O_5$ i $AL-K_2O$ ($r=0,551^{+++}$) koja je vjerovatno rezultat antropogenih aktivnosti.

3) Analizom multiple regresije ($R = 0,993^{+++}$) utvrđen je parcijalni utjecaj svih analitičkih indikatora pogodnosti za usjeve prema slijedećem izrazu: $RP\% = -57,386 + pH-KCl \times 0,127 + Humus \times 0,172 + AL-P_2O_5 \times 0,199 + AL-K_2O \times 0,211 + p \times 0,214 + KIK \times 0,287 + H_y \times 0,225$

4) Krigingom površine Osječko-baranjske županije utvrđen je slijedeći prostorni udio: 56.212 ha (18,65%) nije pogodno za uzgoj usjeva, 102.852 ha (34,12%) je ograničeno plodno, a 142.393 ha ili 47,24% površina je dobre plodnosti.

LITERATURA

Karlen D.L., Mausbach M. J., Doran J.W., Clinem R.G., Harris R. F. and Schuman G. E. (1997): Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:4-10.

Malvić T. (2005.): Kriging, geostatistička interpolacijska metoda. 2. izdanje, Zagreb, http://www.geologija.hr/pdf/Kriging_2.izd..pdf.

Mausbach M.J. and Tugel A. (1997): Soil quality - A multitude of approaches. Kearney Foundation Symposium, Berkeley, California, March 25, 1997.

Miller G. (2002): The Iowa Soil Properties and Interpretation Database (ISPAID). Iowa State University, http://extension.agron.iastate.edu/soils/pdfs/ISPAID_73man_Final.pdf

Pierce F.J. and W.E. Larson (1993): Developing criteria to evaluate sustainable land management. p. 7-14. In: J. M. Kimble (ed), Proceedings of the Eighth International Soil Management Workshop: Utilization of Soil survey Information for Sustainable Land Use, May 3, 1993. USDA Soil Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.

Seybold C. A., Grossman R. B. and Reinsch T. G (2005.): Predicting Cation Exchange Capacity for Soil Survey Using Linear Models. Soil Sci Soc Am J 69:856-863

United States Department of Agriculture (USDA) (1995): Soil Survey Geographic (SSURGO) Data Base. <http://soildatamart.nrcs.usda.gov/documents/SSURGODataPackagingandUse.pdf>

Vukadinović V. i Lončarić Z. (1998): Ishrana bilja, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, udžbenik, str. 294.

Vukadinović V. i Bertić Blaženka (1989): Praktikum iz agrokemije i ishrane bilja. Poljoprivredni fakultet u Osijeku, 126 str.

Vukadinović V., Bertić Blaženka i Kovačević V., (1992): Kvantifikacija produktivnosti tala Slavonije i Baranje. Zbornik radova Znanstveno-stručnog skupa "Obnova i razvoj istočne Hrvatske", Bizovac, 23-24. 6.

Vukadinović V., Bertić Blaženka, Vukadinović Vesna, Rastija D. (2005): Soil analyses and computer model for crop fertilization. Program and Abstract Book of 9th International Symposium on Soil and Plant Analysis: Soil, Plant and Water Analysis: Quality Analytical Tools for an Era of Ecological Awareness. Etchevers, J.D., Hidalgo, C. (ed.). Soil and Plant Analysis Council. Cancun. Mexico. 2005: 36.

Vukadinović V., Lončarić Z. and Teklić Tihana (1997): Agrochemical Mapping of the Soil Fertility with Graphic Display of Fertilization Recommendations. Proceedings of the 19th International Conference on Information Technology Interfaces (ITI 97), University Computing Centre, Zagreb, 1997. 75-79.

Vukadinović V., Lončarić Z., Bertić Blaženka, Teklić Tihana (2001): AL-calculator for crop fertilization recommendation "on line". Proceedings: Fertilizer, Food Security and Environmental Protection. Peking 2001: 249-250.

Rad objavljen u časopisu [POLJOPRIVREDA, Vol.17 No.1 Lipanj 2011.](#)