

PROSTORNA VARIJABILNOST FIZIKALNIH SVOJTAVA PSEUDOGLEJA NA ZARAVNI

SPATIAL VARIABILITY OF PLAIN PSEUDOGLEY PHYSICAL PROPERTIES

**I. Bogunović, Aleksandra Jurišić, Marta Birkás,
M. Mesić**

SAŽETAK

Uporaba geostatističkih interpolacijskih metoda predstavlja značajan napredak u opisivanju i praćenju prostorne varijabilnosti svojstava tla. Odabirom interpolacijskih metoda možemo proizvesti predikacijske karte značajne točnosti, te smanjiti potreban broj uzoraka za opisivanje i determinaciju nekog tla. Na primjeru prikupljenih neporušenih uzoraka s eksperimentalnog polja „Potok 2“, geostatističkom obradom podataka i odabirom običnog kriginga kao interpolacijskog modela izrađene su prostorne karte za pojedina fizikalna svojstva pseudogleja na zaravni. U radu se prikazuje primjenjivost tehnike obični kriging za karakterizaciju prostorne varijacije fizikalnih svojstava tla na bazi 48 neporušenih uzoraka (0-20 cm) prikupljenih s površine 2.8 ha poljoprivrednog zemljišta na kojemu prevladava tip tla pseudoglej na zaravni, jako antropogenizirani. Istraživanje ukazuje na korisnost geostatističkih tehnika analiza prostornih distribucija pojedinih fizikalnih svojstava tla. Utvrđeni rezultati u obliku predikcijskih karata i njihovih pridruženih varijanci, ukazuju na mogućnost korištenja geostatističkih analiza za razvoj i provedbu daljnjeg korištenja zemljišta i planovima za očuvanje tla u istraživanom području.

Ključne riječi: mapiranje, fizikalna svojstva tla, interpolacijski modeli, pseudoglej

ABSTRACT

The use of geostatistical interpolation methods represents a significant progress in describing and monitoring the spatial variability of soil properties. With selection of interpolation methods we can produce prediction maps with

significant accuracy, and reduce the required number of samples to describe and determine a soil. On an example of undisturbed samples collected from experimental field „Potok 2“, with geostatistical data analysis and selection the ordinary kriging as interpolation model spatial maps have been generated for individual physical characteristics of plain pseudogley. This paper demonstrates the applicability of ordinary kriging techniques to characterize the spatial variation of soil physical properties on the basis of 48 undisturbed samples (0-20 cm) collected from 2.8 ha of plain pseudogley, strongly anthropogenized. Present research supports the usefulness of geostatistical techniques to analyze spatial distribution of some soil physical properties. Provided results in the form of predictive maps and their associated variance, indicate the possibility of using geostatistical analysis for the development and implementation of any further land management and plans for soil conservation in the study area.

Key words: mapping, soil physical characteristics, interpolation models, pseudogley

UVOD

Prostorna varijabilnost je općepoznat fenomen tala, a te varijacije su poznate već dugi niz godina (Burrough, 1993). Varijabilnost svojstava nekog tla u bilo kojoj okolini prirodna je pojava uvjetovana geološkim, pedološkim procesima, klimatskim i reljefnim značajkama. Međutim, treba naglasiti da osim prirodnim postankom i evolucijom, čovjek svojim utjecajem također mijenja pojedina svojstva tala. Za razliku od teksture i organske tvari, biljna hraniva (npr. fiziološki aktivan kalij ili fosfor) imaju veću vremensku promjenu u tlu ovisno o tlu ili usjevima koji se uzgajaju (Heege, 2013). Također, čovjek svojim djelovanjem preko agrotehničkih operacija mijenja pojedina svojstva tala. Pogotovo se to odnosi na fizikalna svojstva koja su podložna stalnim promjenama (rahljenje zbog obrade, te ponovno zbijanje tijekom naknadnih operacija ili zbog prirodnih faktora) (Birkás i sur., 2008). Iako se je većina studija bavila problematikom ishrane bilja, a manje fizikalnim svojstvima tla (Castrignano i sur., 2002), posljednjih su desetljeća bolje istraživačke metode rezultirale većom svjesnosti o varijabilnosti fizikalnih svojstava tala unutar nekog područja. Dakle, postoji velika potreba da se istraži prostorna varijabilnost fizikalnih svojstava tla preciznijim kvantifikacijskim tehnikama

kako bi se oplemenili i podržali različiti načini korištenja poljoprivrednim zemljištem.

Geostatistika se često koristi za izražavanje prostornih obrazaca varijabli okoliša (npr. Goovaerts, 1997; Webster and Oliver, 2007). Takav pristup koji uključuje ispravno primijenjeno uzorkovanje kroz interpolacijske tehnike omogućuje nam da otkrijemo vrijednosti pojedinih svojstva tala na neuzorkovanom području pomoću određenog broja uzoraka. Uvažavajući zakonitosti teorije regionalizirane varijable (Clark, 1979; Matheron, 1963) moguće je utvrditi potrebnu ovisnost između dva uzorkovana mjesta u prostoru, jer vrijednost varijable zavisi od mjesta uzorkovanja. Kriging, kao najpoznatija interpolacijska metoda, korišten je više desetljeća kao sinonim za geostatističku interpolaciju i dokazao se stabilnim za procjenu vrijednosti na neuzorkovanim mjestima obrađujući okolne uzorkovane podatke u određenoj shemi.

Posljednjih godina znanstvenici su usmjereni na primjenu geostatistike i različitih metoda kriginga da predvide svojstva neuzorkovanog tla, te da bolje razumiju prostorne varijabilnosti uzoraka u shemama različitih prostornih razmjera. Ovaj rad će ukazati na mogućnost primjene običnog kriginga (engl. Ordinary Kriging) (OK) kao interpolacijske metode radi izražavanja prostorne varijabilnosti fizikalnih svojstava pseudogleja na zaravni, jako antropogeniziranog: gustoće volumne (ρ_v), gustoće čvrstih čestica (ρ_c), momentalne vlažnosti (Mv), te ukupnog poroziteta (P) na temelju 48 uzoraka prikupljenih na površini (2.8 ha) poduzeća Moslavka d.d. u Moslavini, centralnoj Hrvatskoj.

Glavni ciljevi su (1) analizirati i opisati obrazac prostornog variranja fizikalnih značajki i (2) prikazati obrazac varijabilnosti kroz predikcijske karte s njihovim pridruženim varijancama.

MATERIJALI I METODE RADA

Mjesto istraživanja, uzorkovanje i laboratorijske analize

Istraživanje je provedeno na stacionarnom postavljenom pokusu „Potok 2“ (45°34' S; 16°34' E; 98 m NV) nedaleko od mjesta Popovače, u centralnoj Hrvatskoj. Područje istraživanja ukupno obuhvaća 2.88 ha ravnog terena, a karakterizira ga umjerena kontinentalna klima s prosječnom godišnjom temperaturom od 10.7° C i 865 mm godišnjih oborina. Dominatni tip tla je

I. Bogunović i sur.: Prostorna varijabilnost fizikalnih
svojstava pseudogleja na zaravni

pseudoglej na zaravni, jako antropogenizirani (Škorić i sur., 1985), s nepovoljnim vodnim režimom. Istraživana lokacija je hidromeliorirana s položenim drenskim cijevima, no pojavljuje se suvišno vlaženje iluvijalnog horizonta, pogotovo nakon jakih kiša. Podzemna voda javlja se na 175 cm dubine (Vuković i sur., 2008). Osnovne karakteristike tla istraživanog područja prikazane su na tablici 1.

Tablica 1: Kemijska svojstva i mehanički sastav tla na istraživanom području (n=48). Brojka iza simbola ± predstavlja standardnu devijaciju.

Table 1: Chemical properties and mechanical composition of investigated soil (n=48). Number after ± represents standard deviation.

Svojstvo/Property	Jedinica/Unit	Vrijednost/Value	
Ukupni ugljik/ Total Carbon	g/kg	0.93±0.004	
Ukupni dušik/ Total Nitrogen	g/kg	0.09±0.012	
Biljci pristupačni fosfor/ Plant available phosphorus (P ₂ O ₅)	mg/kg	24.55±4.46	
Biljci pristupačni kalij/ Plant available potassium (K ₂ O)	mg/kg	29.81±7.01	
Reakcija tla/ Soil reaction (pH) (in KCl suspension, 1:5 w/v ratio)	-log(H ⁺)	3.91±0.17	
Humus/ Soil organic matter	%	1.61±0.25	
Kategorije pojedinih čestica tla / Individual soil particles categories (mm)	2.0-0.2	%	0.41±0.14
	0.2-0.063	%	2.79±0.62
	0.063-0.02	%	33.83±3.14
	0.02-0.002	%	32.95±1.57
	<0.002	%	30.03±2.67

Uzorci tla su prikupljeni 25. listopada 2012 godine s dubine 0-20 cm, u pravilnoj mreži 25 x 25 m, s prethodno određenih koordinata. Precizno pozicioniranje u prostoru je provedeno GIS uređajem GeoExplorer GeoXH 6000, s točnošću pozicioniranja ±10 cm. Ukupno je prikupljeno 48 uzoraka u neporušenom stanju pomoću metalnih cilindara, zapremnine 100 cm³. U laboratoriju Zavoda za opću proizvodnju bilja provedene su fizikalne analize uzoraka tla prema važećim kriterijima u skladu s međunarodnim ISO

standardima: volumna gustoća suhog tla prema HRN ISO 11272:2004, gustoća čvrstih čestica tla i ukupna poroznost tla prema HRN ISO 11508:2004. Trenutačna vlaga određena je gravimetrijskom metodom sušenjem uzoraka u pećnici na 105°C.

Statistička analiza, transformacija podataka i prostorna analiza podataka

Upotrijebljena je osnovna deskriptivna statistika poput srednje vrijednosti (mean), standardne devijacije (SD), varijance (var), koeficijenta zaobljenosti (kurtosis), asimetrije (skewness), raspona, najmanje (min) i najveće (max) vrijednosti, te koeficijenta varijacije (CV%). Deskriptivni parametri su računati koristeći Microsoft Excel za Windows. Koeficijent zaobljenosti i asimetrije određuju normalnost podataka i asimetriju, što ima važan učinak na izvedbu interpolacijskih metoda. Za postizanje ispravne interpolacije podataka poželjno je imati uzorak podataka koji su što bliži obliku normalne distribucije (Goovaerts i sur., 2005), jer prisutnost ekstremnih vrijednosti i visoka asimetrija mogu dovesti do netočnosti prilikom interpretacije semivariograma. Procjena na temelju asimetrije podataka je da se normalna distribucija, na ovom slučaju podaci s rasponom od -1 do +1 asimetrije, smatra normalno distribuiranim podacima (Di Virgilio i sur., 2007; PazGonzales i sur., 2000). Poslije izvedenih geostatističkih analiza, podaci se za vizualni prikaz mogu obrnutom transformacijom vratiti na nivo originalnih vrijednosti. Najpoznatiji načini transformiranja podataka su logaritamske i Bok-Cox transformacije, no među drugima često se još upotrebljava transformacije kvadratnim korijenom, recipročna i kvadratna transformacija.

Geostatistika se temelji na prostornoj povezanosti među promatranim uzorcima, a ta korelacija se može matematički izraziti kroz model zvan varijanca. Varijanca je funkcija koja opisuje prostorne varijacije jednog promatranog parametra u prirodi. Može se izraziti pomoću formule:

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

Gdje je N broj parova podataka točaka razdvojenih udaljenostima h, a $Z_{(x_i)}$ i $Z_{(x_i+h)}$ su slučajne funkcije u točkama x_i i x_i+h . Grafički prikaz varijance $\gamma(h)$ kao funkcije prema udaljenosti h (predstavlja udaljenost između uzoraka) nazivamo variogramom. Postoje neki često korišteni modeli da opišu

eksperimentalni variogram: sferičan, eksponencialni, Gausov (engl. Gaussian) i linearni (Isaaks i Srivastava, 2011). Veličina varijance ovisi o razmaku uzorkovanja, pri čemu uzorkovanje na kraćim udaljenostima rezultira manjom varijancom i obrnuto. Povećanjem udaljenosti prilikom uzorkovanja – h varijanca raste do određene udaljenosti koju nazivamo raspon (engl. range). Od tog trenutka je postignuta konstantna vrijednost, poznata pod nazivom prag (engl. sill). Sve uzorke unutar raspona smatramo prostorno zavisnim. Varijanca promatrana na manjoj udaljenosti od udaljenosti uzorkovanja je identificirana kao pogreška uzorkovanja (eng. Nugget effect). Nugget može ukazivati, osim na spomenutu grešku uzorkovanja i na lokalno variranje u prostoru (Burgos i sur., 2006; Fu i sur., 2010). Ovaj rad prikazat će variograme neovisne o smjeru pružanja (omnidirektne variograme), što podrazumijeva da je varijabilnost svih istraživanih svojstava jednaka u svim smjerovima, jer prema Webster i Oliver (2007), potrebno je barem 150 prostornih podataka da se pouzdano identificira nazočnost anizotropije. Prostorna zavisnost izračunata je nugget/sill omjerom. Ako je omjer manji od 25% varijabla je snažno prostorno povezana; između 25% i 75% varijabla je umjereno prostorno zavisna; a kad je veći od 75% varijabla ukazuje na slabu prostornu zavisnost (Chien i sur., 1997). Normalno, jaka prostorna zavisnost se pripisuje unutarnjim svojstvima, a slaba prostorna zavisnost vanjskim svojstvima (Cambardella i sur., 1994).

Testiranje modela interpolacije provedeno je primjenom krosvalidacije (engl. cross-validation), već primijenjeno u radovima (Goovaerts, 1997; Robinson i Metternicht, 2006; Kerry i sur., 2012). Metoda se temelji na uklanjanju vrijednosti mjerene na odabranom mjestu i određivanje nove vrijednosti na istome mjestu, uzevši u obzir preostale podatke. Postupak se ponavlja za sve lokacije i na kraju se izračuna korijen srednje kvadratne pogreške (engl. root mean square error - RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \{Z(X_i) - \hat{Z}(X_i)\}^2}$$

gdje je RMSE– srednja kvadratna pogreška (krosvalidacija), $Z(x_i)$ - izmjerena vrijednost odabrane varijable, $\hat{Z}(X_i)$ – procijenjena vrijednost odabrane varijable. Takva vrijednost izračunata je za karte dobivene metodom OK. Interes je da RMSE vrijednost bude što manja. Statističke analize variograma i

interpolacijskih metoda provedene su pomoću ArcGis 10.0 (ESRI) geostatističkog softverskog programa.

REZULTATI I DISKUSIJA

Tablica 2 prikazuje deskriptivnu statistiku fizikalnih svojstava tla. Prema svim prikazanim podacima, istraživani parametri su normalno distribuirani i nije potrebno raditi dodatne transformacije podataka. Najmanju asimetriju pokazuje P i iznosi 0.13, dok je najveća asimetrija izražena kod ρ_c , s -0.84, no još uvijek unutar raspona za koji se smatra da su podaci normalno distribuirani. Koeficijent zaobljenosti kod svih parametara je mali (u rasponu -0.40 do 0.30) i ne predstavlja značajno odstupanje. Prosječna vrijednost ρ_v na temelju 48 uzoraka tla iznosi 1.53 g cm^{-3} , ρ_c 2.57 g cm^{-3} , a prosječna vrijednost P iznosi 40.02%. Prema ρ_v i ρ_c vrijednostima možemo zaključiti da tla promatranog područja spadaju u zbijenija tla, s malom poroznošću. Raspon zabilježenih vrijednosti P je od 34.04 do 45.97% vol, što čini raspon od 11.93 jedinica (tablica 2). Koeficijent varijacije (CV) je korišten da se prikažu ukupne promjene. Svi podaci koeficijenta varijacije pokazuju vrijednosti ispod 10%, što znači da su svi istraživani parametri slabo varijabilni. Rezultati CV manji od 10% ukazuju na slabu varijabilnost, dok oni veći od 90% ukazuju na opsežnu varijabilnost (Dahiya i sur., 1984). Prema tablici 2, ρ_c i M_v imaju najmanju odnosno najveću varijabilnost s 2.73%, odnosno 7.14%.

Usporedba s drugim rezultatima je otežana radi drugačijih fizikalnih svojstava tala, međutim moguća je usporedba varijabilnosti. Kavianpoor i sur. (2012) u istraživanju prostorne varijabilnosti na planinskim tlima Irana zamjećuju slabu varijabilnost ρ_v (CV 10.09%) i ρ_c (CV 8.45%), isto kao i kod Gholami i sur. (2011) koji su zabilježili varijaciju ρ_v od 8%.

Geostatistički parametri eksperimentalnih variograma za sve istraživane parametre prikazani su u na tablici 3, dok je njihov grafički prikaz vidljiv na slici 1. Iz prikaza na slici 1 najbolji odgovarajući modeli su eksponencijalnog oblika za M_v i ρ_c , te sferičnog oblika za ρ_v i P . Periodična struktura eksperimentalnih varijanci upućuje na ciklično prostorno variranje istraživanih parametara (slika 1).

I. Bogunović i sur.: Prostorna varijabilnost fizikalnih svojstava pseudogleja na zaravni

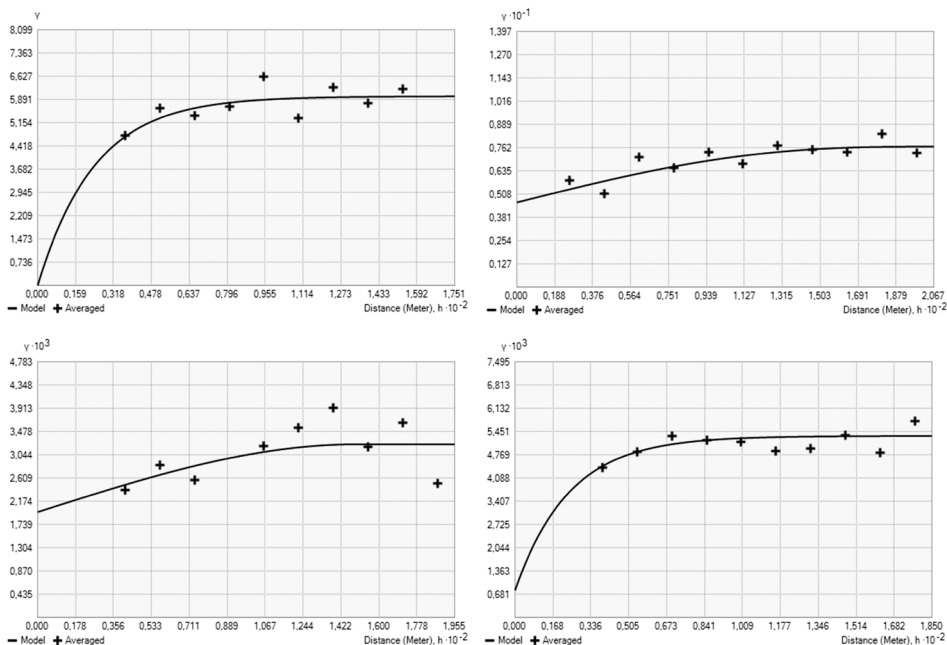
Tablica 2. Statistička svojstva tla u istraživanom području za P , Mv (%vol), ρ_v i ρ_s (gcm^{-3})
 Table 2. Basic statistics of soil property in investigated area for P , Mv (%vol), ρ_v i ρ_s (gcm^{-3})

Svojstvo/ Property	Srednja vrijednost /Mean	Standardna greska / Standard error	Standardna devijacija/ Standard Deviation	Zaobljenost/ Kurtosis	Asimetričnost/ Skewness	Raspon/ Range	Minimum /Min	Maksimum/ Max	Suma/ Sum	Broj/ Count	CV (%)
ρ_v	1,54	0,008	0,05	-0,20	-0,58	0,24	1,40	1,64	73,72	48	3,41
ρ_s	2,57	0,010	0,07	-0,03	-0,84	0,28	2,39	2,67	123,13	48	2,73
P	40,02	0,360	2,50	0,30	0,13	11,94	34,04	45,98	1920,88	48	6,24
Mv	32,13	0,331	2,29	-0,50	0,34	9,10	27,70	36,80	1542,10	48	7,14

Tablica 3. Odgovarajući modeli eksperimentalnog variograma za Mv , ρ_v , P , ρ_s i njihovi pripadajući parametri
 Table 3. Best-fitted models of experimental variogram models for Mv , Mv , ρ_v , P , ρ_s and corresponding parameters

Svojstvo/Property	Model	Pogreška/ Nugget	Prag/ Sill	Pogreška/prag/ Nugget/Sill (%)	Raspon/ Range (m)
Mv	Exponencialni	0,00	5,99	0,00	71,33
ρ_v	Sferični	0,00	0,00	60,89	148,93
P	Sferični	4,63	7,68	60,27	206,66
ρ_s	Eksponencialni	0,00	0,01	14,93	71,33

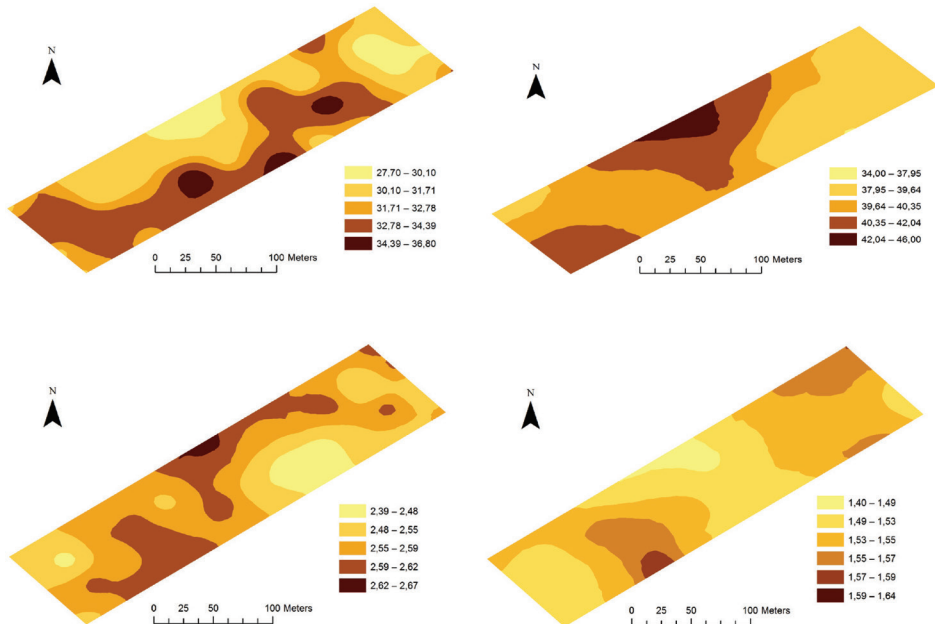
Rezultati pokazuju da P i ρ_v imaju najveći raspon s 206.66 i 148.93 m, dok najmanji efektivni raspon imaju Mv i ρ_c s 71.33m (Tablica 3). Navedeni podaci pokazuju da udaljenost unutar koje su uzorkovanja provedena je bitno manja od udaljenosti unutar koje su istraživani podaci međusobno prostorno korelirani. Takvi podaci upućuju na veću slobodu (udaljenost) među uzorcima u budućim



Slika 1. Izračunati omnidirekcijski semivariogrami: S lijeva na desno: prvi red- momentalna vlažnost (Mv), ukupni porozitet (P); drugi red – gustoća volumna (ρ_v), gustoća čvrstih čestica (ρ_c). Crna linija predstavlja najbolji odgovarajući model.

Figure 1. Calculated omnidirectional semivariograms. Left-to-right: first row - water content (Mv), total porosity (P); second row - bulk density (ρ_v), particle density (ρ_c). Bold line represents best fit model.

istraživanjima. Kerry i Oliver (2004) pokazuju da grubi orijentacijski vodič za određivanje budućih udaljenosti uzorkovanja može biti vrijednost malo manja od polovice vrijednosti raspona (range) dobivenog u eksperimentalnom variogramu.



Slika 2. Karte prostorne distribucije istraživanih svojstava. S lijeva na desno: prvi red- momentalna vlažnost (M_v - RMSE 2.29) i ukupni porozitet (P - RMSE 2.33); drugi red – gustoća čvrstih čestica (ρ_c - RMSE 0.07), gustoća volumna (ρ_v - RMSE 0.05).

Figure 2. Spatial distribution maps. Left-to-right: first row - water content (M_v - RMSE 2.29) and total porosity (P - RMSE 2.33); second row - particle density (ρ_c - RMSE 0.07), bulk density (ρ_v - RMSE 0.05)

Na eksperimentalnom polju prostorna povezanost pojedinih istraživanih svojstava je raznolika. ρ_v i P su svojstva koji prikazuju umjerenu prostornu zavisnost (povezanost), dok su uzorci Mv i ρ_c s nugget/sill omjerima 0.00% i 14.93% snažno prostorno povezani na istraživanom području.

Rezultati interpolacijske metode i grafički prikaz istraživanih parametara prikazani su na slici 2. Obični kriging (ordinary kriging) je izabran da prikaže prostornu raspodjelu fizikalnih svojstava tla. Točnost interpolacijske metode potvrđena je srednjom vrijednošću korijenom srednje standardne greške (RMSE). RMSE vrijednosti su najmanje za ρ_v i ρ_c što ide u prilog točnosti odabrane interpolacijske metode i dobivene grafičke raspodjele običnim krigingom. Možemo zaključiti da su interpolacije u ovoj studiji zadovoljavajuće.

ZAKLJUČAK

Na temelju obrađenih podataka možemo zaključiti da tlo istraživanog područja karakterizira jača zbijenost površinskog horizonta koji se također odlikuje manjom ukupnom poroznošću. Varijabilnost (CV%) istraživanih parametara pokazuje vrijednosti ispod 10%, što nam govori o velikoj homogenosti istraživanog područja. Najhomogeniji parametri su ρ_c i ρ_v s 2.7% i 3.43% CV, dok je najheterogeniji parametar Mv s 7.14%. Odgovarajući generirani variogrami su eksponencijalnog oblika za Mv i ρ_c , te sferičnog za ρ_v i P. Prema prostornoj zavisnosti točaka uzorkovanja ρ_v i P pokazuju umjerenu prostornu povezanost, dok Mv i ρ_c prikazuju snažnu prostornu povezanost uzoraka. Iz generiranih variograma, prema podacima raspona možemo zaključiti da buduća uzorkovanja na tlima sličnih svojstava mogu biti povećana na razmake 35 x 35 m. Rezultati ovog rada prikazuju primjenu geostatistike (u ovom slučaju običnog kriginga) za proučavanje i analizu prostornog ponašanja pojedinih svojstava tla. Predikcijske karte i tako dobiveni rezultati mogu biti od pomoći poljoprivrednicima i stručnjacima u svrhu pravilnog korištenja zemljištem i očuvanja tala, uzimajući u obzir prostornu heterogenost.

LITERATURA

1. Birkás, M., Szemók, A., Antos, G., Neményi, M. (2008): Environmentally-sound adaptable tillage. Akadémiai Kiadó.
2. Burgos, P., Madejón, E., Pérez-de-Mora, A., Cabrera, F. (2006): Spatial variability of the chemical characteristics of a trace-element-contaminated soil before and after remediation. *Geoderma*, 130(1), 157-175.
3. Burrough P.A. (1993): Fractals and Geostatistical methods in landscape studies. In: N. Lam& L. deCola (eds) *Fractals in geography*. Prentice Hall, Englewood Clifts, NJ, pp. 87-112.
4. Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Turco, R. F., Konopka, A. E. (1994): Field scale variability of soil properties in central Iowa soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58, 1501 – 1511
5. Castrignano, A., Maiorana, M., Fornaro, F., Lopez, N. (2002): 3D spatial variability of soil strength and its change over time in a durum wheat field in Southern Italy. *Soil Till. Res.* 65(1), 95-108.
6. Chien, Y. J., Lee, D. Y., Guo, H. Y., Houg, K. H. (1997): Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils. *Soil Science*, 162(4), 291-298.
7. Clark, I. (1979): *Practical geostatistics*. Applied Science Publishers, London.
8. Dahiya, I. S., Richter, J., Malik, R. S. (1984): Soil spatial variability: a review. *International Journal of Tropical Agriculture*, 11(1), 1-102.
9. Di Virgilio, N., Monti, A., Venturi, G. (2007): Spatial variability of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) yield as related to soil parameters in a small field. *Field crops research*, 101(2), 232-239.
10. Fu W, Tunney H, Zhang C. (2010): Spatial variation of soil nutrients in a dairy farm and its implications for site-specific fertilizer application. *Soil & Tillage Research* 106: 185–193.
11. Gholami, S., Hosseini, S. M., Mohammadi, J., Mahini, A. S. (2011): Evaluation of Spatial variability of soil quality in Wildlife Refugee of Karkhe in southwestern Iran. *International Journal of Environmental Sciences*, 1(7), 1806-1812.
12. Goovaerts P. (1997): *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford UniversityPress, NewYork, p. 496.

13. Goovaerts, P., AvRuskin, G., Meliker, J., Slotnick, M., Jacquez, G., Nriagu, J. (2005): Geostatistical modeling of the spatial variability of arsenic in groundwater of southeast Michigan. *Water Resources Research*, 41(7).
14. Heege, H. J. (2013): *Precision in Crop Farming*. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
15. Isaaks, E. H., Srivastava, R. M. (2011): *Applied Geostatistics*. London: Oxford University.
16. Kavianpoor, H., Ouri, A. E., Jeloudar, Z. J., Kavian, A. (2012): Spatial Variability of Some Chemical and Physical Soil Properties in Nesho Mountainous Rangelands. *American Journal of Environmental Engineering*, 2(1), 34-44.
17. Kerry, R., Oliver, M. A. (2004): Average variograms to guide soil sampling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(4), 307-325.
18. Kerry, R., Goovaerts, P., Rawlins, B. G., Marchant, B. P. (2012): Disaggregation of legacy soil data using area to point kriging for mapping soil organic carbon at the regional scale. *Geoderma*, 170, 347-358.
19. Matheron, G. (1963): Principles of geostatistics. *Econ. Geol.* 58(8), 1246-1266.
20. Paz-Gonzalez, A., Vieira, S. R., Taboada Castro, M. T. (2000): The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. *Geoderma*, 97(3), 273-292.
21. Robinson, T. P., Metternicht, G. (2006): Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and electronics in agriculture*, 50(2), 97-108.
22. Škorić, A., Filipovski, G., Ćirić, M. (1985): *Klasifikacija zemljišta Jugoslavije*. ANU BiH, Posebna izdanja, knjiga LXXVIII, Sarajevo.
23. Vukovic, I. Mesic, M., Zgorelec Z., Jurisic, A., Sajko K. (2008): Nitrogen use efficiency in winter wheat. *Cereal Research Communications* 36, 1199-1202.
24. Webster, R., Oliver, M.A. (2007): *Geostatistics for environmental scientists*. Wiley Interscience, 2 Edn., London.

Adresa autora – Authors' addresses:

Igor Bogunović, dipl.ing.agr.,
e-mail: ibogunovic@agr.hr

Dr. sc. Aleksandra Jurišić, e-mail: ajurisc@agr.hr

Prof.dr.sc. Milan Mesić, e-mail: mmesic@agr.hr

Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za opću proizvodnju bilja,
Svetošimunska 25, 10000 Zagreb

Primljeno – Received:

26.02 2014.

Prof.dr.sc. Marta Birkás, e-mail: birkas.marta@mkk.szie.hu

Szent Istvan University, Institute of Crop Production, H-2103 Gödöllő,
Hungary