

# Geostatistical Soil Data Analysis

---

## I. Measuring Spatial Variability of Soil Properties with Semivariograms

Boško MILOŠ

### SUMMARY

---

The objective of this study was to review an application of basic geostatistical methods - semivariograms analysis to the description and measurement spatial variability of soil properties. The application of these tools, to evaluate spatial structures of soil properties, were illustrated with soil data of Petrovo polje, covers 1904 ha, located in dalmatinska Zagora.

The values of  $\text{CaCO}_3$  and humus content from 136 pedons, segmented, each of them, in four equal depths (0-30; 30-60; 60-90 and 90-120 cm), were selected for geostatistical study. Eight semivariograms were calculated for each variable: direction-independent for each depth and direction-dependent for first depth (E-W, N-S, NE-SW, NW-SE).

This investigation shown that the analysed soil properties are a spatially dependent random functions. The top-soil horizons were anisotropically structures and showed greater spatial correlation, that is more continuity in the spatial behaviour (longer ranges and closer nugget effect), then those in the sub-soil horizons. The principal structural parameters of soil properties may be a consequence of different geology, topography and hydrography.

The applied geostatistical methods, based on the geographical location of individual observations, can offer a solution to the problem of quantifying the spatial variability of soil properties.

### KEY WORDS

---

**soil, geostatistics, semivariograms, spatial structure**

Institute for Adriatic Crops and Karst Reclamation  
Put Duilova 11, 21000 Split, Croatia  
E-mail: bosko@stijena.krs.hr  
Received: March 20, 2000



# Geostatističke analize pedoloških podataka

---

I. Mjerenje prostornog varijabiliteta svojstava tla semivariogramima

Boško MILOŠ

## SAŽETAK

---

Cilj ovoga rada je prikaz primjene osnovne geostatističke metode - semivariogram analize u opisivanju i mjerenju prostorne varijabilnosti svojstava tla. Primjena ovih analiza, u procjeni prostornih struktura svojstava tla, prikazana je na podacima pedoloških istraživanja Petrova polja (1904 ha), smještenog u dalmatinskoj Zagori.

U geostatističke analize su uključene vrijednosti  $\text{CaCO}_3$  i humusa iz 136 pedoloških profila koji su segmentirani na četiri jednake dubine (0-30; 30-60; 60-90 i 90-120 cm). Za svaku varijablu računato je osam semivariograma: neovisni o smjeru za svaku dubinu i ovisni o smjeru za prvu dubinu (E-W, N-S, NE-SW, NW-SE).

Istraživanja su pokazala da su analizirana svojstva tla prostorno zavisne slučajne varijable. Površinski horizonti/slojevi imaju anizotropičnu strukturu i bolju prostornu koreliranost, tj. kontinuiranije prostorno ponašanje (veći raspon i manji postotak neobjašnjivog variranja), nego svojstva tla iz dubljih horizonata/slojeva. Glavne prostorne strukturne značajke svojstava tla u svezi su sa matičnom podlogom, orografijom i hidrografijom.

Korištene geostatističke metode, temeljene na prostornim lokacijama uzorkovanja, mogu doprinijeti rješavanju problema kvantificiranja prostorne varijabilnosti svojstava tla.

## KLJUČNE RIJEČI

---

**tlo, geostatistika, semivariogrami, prostorna struktura**

Institut za jadranske kulture i melioraciju krša  
Put Duilova 11, 21000 Split, Hrvatska  
E-mail: bosko@stijena.krs.hr  
Primljeno: 20. ožujka 2000.

## UVOD

Koncept o tlu, kao trodimenzionalnom tijelu i produktu složenih interakcija stanišnih čimbenika (matična podloga, klima, hidrologija i reljef i biološka aktivnost kroz vrijeme) ne ističe u potpunosti činjenicu da između svakog i unutar svakog pojedinačnog čimbenika, može postojati mnogo različitih stupnjeva interakcija. Ako su čimbenici konstantni, dakle ne variraju u prostoru, tada i tlo zadržava jednoobraznost. Međutim, pedogenetski čimbenici su podložni prostornom variranju, što rezultira pojavom različitih oblika zemljišnog pokrova, koje nije moguće uvijek objasniti njihovim čisto funkcionalnim odnosima. Stoga, Fridland V. (1976), među prvima ispravno zaključuje da je konačan izgled tla rezultat interakcije prostornih procesa (pedogenetskih čimbenika) kombiniranih sa nizom slučajnih utjecaja.

Poznavanje varijabilnosti tla (zemljišnih struktura) je bitno radi ispravnih interpretacija i pouzdanih predviđanja svojstava tla na nekoj konkretnoj lokaciji i stoga je, već dugo, predmet interesa brojnih istraživača: Beckett i Webster (1971), Nortcliff (1978), Blyth i McLeod (1978). Međutim, i pored brojnih studija, današnje razumijevanje prostornog varijabiliteta uglavnom je samo kvalitativno. Razloga za to je više.

Prvi je posljedica prirode tla kao produkta složenih interakcija stanišnih čimbenika, kombiniranih sa nizom slučajnih utjecaja. Sljedeći razlog treba tražiti u visokim troškovima pedoloških istraživanja, uslijed čega je broj uzoraka (promatranja) često mali, a time je i udaljenost između uzoraka suviše velika za precizno ustanovljavanje prostornih struktura.

Jedan od razloga slabog razumijevanja je prostornog varijabiliteta tla proističe i iz metodološkog pristupa, jer do sada najčešće korišteni - konvencionalni statistički koncept, pri kvantificiranju zemljišnog varijabiliteta, ne uzima u obzir njegov prostorni karakter. U tom kontekstu ovaj rad je usmjeren testiranju i implementaciji suvremenih numeričkih metoda u izučavanju prostornih struktura tla.

Moderan geostatistički pristup, temeljen na konceptu "regionalizirane varijable", Journel i Hujibregts (1978), polazi od postavke da su, na nekom prostoru, susjedne točke međusobno korelirane. Teorijske osnove geostatistike opisalo je više autora: Matheron (1963 i 1982), Campbell (1978), Clark (1979), Hujibregts (1975), Journel i Hujibregts (1978).

Primjenom geostatističkih metoda u istraživanjima strukturalnih fenomena tla, Yost i sur. (1982), McBratney i Webster (1981; 1986), Vieira i sur. (1983), Burrough (1983), Trangmar i sur. (1985), Trangmar i Kemp (1989), Webster (1985), Warrick i sur. (1986), Ovalles i Collins (1988), Yates i M, Yates (1988), je ustanovljeno da, poput ostalih stanišnih varijabli, i tla pokazuju sklonost prostornoj korelaciji. Pri tome su strukturalne značajke svojstava tla definirane konstelacijom i varijabilitetom pedogenetskih čimbenika na konkretnoj lokaciji i izabranom shemom (intenzitetom) uzorkovanja.

Ciljevi ovoga rada su opisati osnovnu geostatističku metodu - semivariogram analizu i, na primjeru pedoloških istraživanja Petrova polja, ocijeniti njenu primjenljivost u pedološkim istraživanjima pri mjerenju i analizi prostornih struktura tla.

## MATERIJAL I METODE RADA

### Objekt istraživanja

Za potrebe ovoga rada korišteni su podaci pedoloških istraživanja Petrova polja (Miloš, B.: 1984; 1985; 1987) koji su pohranjeni u zemljišnom GIS-u Petrova polja (Miloš, B. 1998). Iz baze pedoloških podataka Petrova polja izabrana su slijedeća svojstva tla: CaCO<sub>3</sub> i sadržaj humusa iz 136 pedoloških profila koji su uzorkovani na četiri jednake dubine (0-30; 30-60; 60-90 i 90-120 cm).

Petrovo polje je krško polje, smješteno u dalmatinskoj Zagori, pored Driša. Prostor uključen u analizu zauzima središnji dio Polja i ima površinu od 1904 ha. Geološki, najveći dio Polja ispunjavaju aluvijalni nanosi rijeke Čikole i njene pritoke - bujice Mahnišaš. Koluvijske naslage su izgrađene od kršja mezozojskih vapnenaca izmješanih sa crvenicom i produktima trošenja paleogenih sedimenata, a rasprostranjene su uz rubove Polja. U zapadnom dijelu, na više lokaliteta izbijaju naslage permjskih spilitiziranih dijabaza i perm-trijaskih pješčenjaka i glinaca, zatim i pleistocenskih breča izgrađenih od fragmenata i produkata njihova trošenja.

U geomorfološkom pogledu istraživani teren predstavlja dolinu sa više plavnih terasa i uzdignutih priterasnih kaskada koji se nalaze izvan zone redovitog plavljenja. Iznad njih se uzdižu blagi humci perm-trijaskih naslaga i produkata njihova trošenja. Hidrologiju istraživanog terena karakterizira povremeno plavljenje glavne vodne arterije - rijeke Čikole i velika kolebanja razine podzemnih voda. Kako su hidromelioracijski zahvati provedeni samo na manjem prostoru, vodni režim je, još uvijek, ključni čimbenik ograničenja biljne proizvodnje.

U svezi sa složenim geološkim i geomorfološko-hidrološkim prilikama je i raznovrsna pedološka građa, koju karakterizira prisustvo različitih hidromorfni tala. Prema kriterijima klasifikacije tala (Škorić i sur. 1973), identificirani su sljedeći tipovi tla: fluvisol, humofluvisol, humoglej i euglej. Pedokartografski prikazi i detaljni opisi pedosfere, koju uz pedogenetsku raznovrsnost karakterizira i kompleksna struktura prostornog variranja tipova tla, dati su u više studija (Miloš, 1984; 1985 i 1987).

Općenito, tla Petrova polja su pretežno teškog teksturnog sastava sa često izraženim fenomenima vertičnosti (pukotine u suhom stanju i bubrenjem u mokrom, klizne površine i dr.), posebno na terenima koji su izgrađeni od spilitiziranih dijabaza i produkata njihova trošenja. Sadržaj humusa varira u širokom rasponu i u svezi je sa izraženosti pedogenetskih procesa. Najmanji sadržaj

humusa je u fluvijativnim tlima gdje sedimentacija prevladava pedogenezu. U ovisnosti o vrsti matične podloge sadržaj karbonatna varira u jako širokom rasponu.

### Semivariogrami

U geostatističkoj teoriji se prostorno variranje nekog svojstva  $Z$ , temelji na konceptu "regionalizirane varijable": Matheron (1963 i 1982), Campbell (1978), Clark (1979), Hujibregts (1975), Journel i Hujibregts (1978). Matematički, regionalizirana varijabla  $RVar$  je jednostavna funkcija  $f(x)$  koja na svakoj točki  $x$ , sa koordinatama  $(x, y, z)$ , ima određenu vrijednost. Vrijednosti regionaliziranih varijabli su elementi slučajne prostorne funkcije sa određenim, ali najčešće nepoznatim, rasporedom vjerojatnosti.

Semivarijanca je definirana kao porast varijance  $(Z_{x+h} - Z_x)$  povećanjem udaljenosti  $h$ , i izračunava se prema slijedećoj jednačini:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N-h} \sum_{i=1}^{N-h} (Z_{x+h} - Z_x)^2$$

gdje je:

$N$  broj parova podataka točaka razdvojenih udaljenostima  $h$ ,

$Z_x, Z_{x+h}$  su slučajne funkcije (vrijednosti regionaliziranih varijabli) u točkama  $x$  i  $x+h$ .

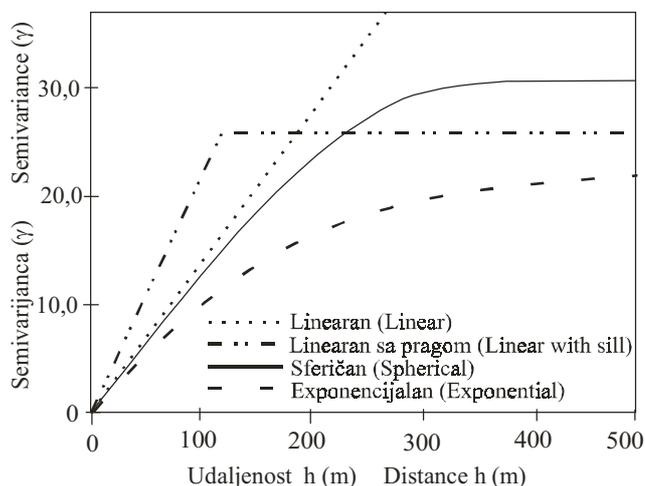
Grafički prikaz semivarijanca  $\gamma(h)$ , kao funkcije prema udaljenosti  $h$  (razmaku između točaka), naziva se eksperimentalni ili praktični semivariogram. Veličina semivarijanca zavisi o razmaku između točaka, pri čemu manja udaljenost doprinosi manjoj semivarijanca, a veća udaljenost rezultira većom semivarijancom. Praktično,  $\gamma(h)$  se izražava u kvadratima jedinica analiziranih parametara, npr.  $\text{CaCO}_3(\%)^2, (\text{mg/kg})^2$ .

Teoretski ili idealni semivariogrami mogu imati nekoliko karakterističnih oblika: linearni, linearni sa pragom, sferični, eksponencijalni i dr. (Slika 1). Prema definiciji, teoretski semivariogrami imaju očekivanu vrijednost semivarijanca nula ( $\gamma_h=0$ ), kada je razmak uzorkovanja nula ( $h=0$ ). Povećanjem razmaka uzorkovanja  $h$  semivarijanca raste, sve dok na određenoj udaljenosti, poznatoj kao raspon ( $A_0$ ) ili *range*, ne postigne više ili manje konstantnu vrijednost, koju nazivamo prag ili *sill*. Svi uzorci koji se nalaze unutar raspona su međusobno povezani (prostorno korelirani). Ako je pojedinačni razmak uzorkovanja veći od raspona, tada je semivarijanca jednaka varijanci za sve dužinske intervale.

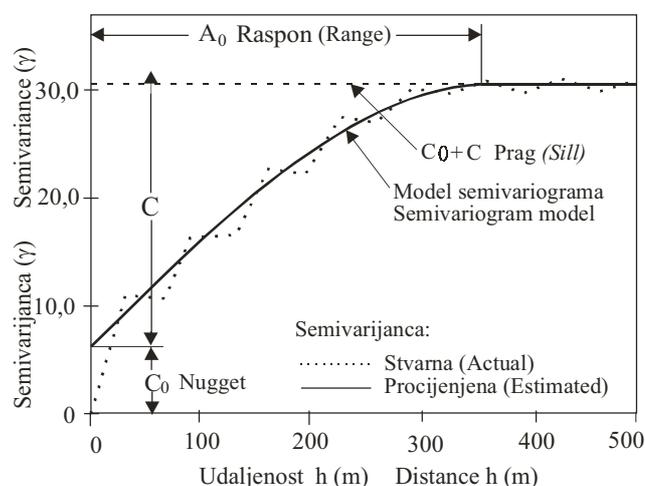
Međutim, mnogi eksperimentalno ustanovljeni semivariogrami za tlo i druge stanišne, npr. geološke podatke, teže vrijednostima različitim od nule, kada vrijednosti  $h$  teže nuli. Varijanca na  $y$ -osi, za udaljenost  $h=0$ , je intercept variograma i naziva se "nugget". Nugget varijanca ukazuje na prisustvo slučajne ili nestrukturirane komponente variranja a pojavljuje se kao posljedica lokalnog variranja i grešaka mjerenja. Za razliku od teoretskih modela, ovaj tip semivariograma

naziva se *praktičnim* ili *eksperimentalnim* modelom. Grafički prikaz parametara eksperimentalnog sferičnog modela semivariograma dat je u Slici 2.

Analiza semivariograma je provedena korištenjem podataka o pojedinačnim svojstvima tla (sadržaj  $\text{CaCO}_3$  i sadržaj humusa) iz 136 pedoloških profila tla Petrova polja koji su segmentirani na četiri jednake dubine (0-30cm; 30-60; 60-90 i 90-120cm).



Slika 1. Teoretske forme semivariograma  
Figure 1. Theoretic semivariograms forms



Slika 2. Parametri eksperimentalnog sferičnog modela semivariograma  
Figure 2. Parameters of experimental spherical model of semivariogram

Parametri prostornih struktura analiziranih svojstava tla ustanovljavani su računanjem eksperimentalnih semivariograma ovisnih o smjeru (omnidirekcionalnih) i neovisnih o smjeru (direkcionalnih). Omnidirekcionalni semivariogrami, kao funkcije razmaka uzorkovanja, bez obzira na smjer, su računati za sve četiri dubine. Direkcionalni semivariogrami su računati samo za svojstva tla iz prve dubine i to za svaki od četiri izabrana smjera: istok-zapad ( $E-W=0^\circ$ ); sjeveroistok-jugoizak (NE-SW= $45^\circ$ ); sjever-jug ( $N-S=90^\circ$ ) i jugoistok-

sjeverozapad (SE-NW=135°), pri čemu je 0° paralelno sa x-osom i uz dopušteno odstupanje od 15°.

Opisane analize su provedene uz primjenu geostatističkog paketa Geo-EAS. Kao mjera za procjenu upotrebljivosti odnosno valjanosti izabranog teoretskog modela korišteni su suma kvadrata grešaka procjene (Sse), koja je data slijedećim izrazom:

$$Sse_{1...n} = \sum_{1-n} (\text{Stvarna-procijenjena semivarijanca})^2$$

Eksperimentalne semivarijance analiziranih svojstava tla izravnote su sferičnim i linearnim teoretskim modelima, korištenjem Lavenberg-Marquardt-ove metode (Press 1986).

## REZULTATI I RASPRAVA

Statistički pokazatelji svojstava tla uključenih u geostatističke analize, dati u Tabeli 1, pokazuju da su istraživana tla, u prosjeku, karbonatna i humozna. Vertikalno variranje srednjih vrijednosti pokazuje da se u dubljim horizontima/slojevima, sadržaj CaCO<sub>3</sub> postupno povećava, a humusa naglo opada. Koeficijenti variranja (V<sub>k</sub>), pokazuju da izrazitije grupiranje oko srednjih vrijednosti ima sadržaj humusa. Visoki koeficijenti variranja (V<sub>k</sub>) sadržaja CaCO<sub>3</sub> i širok raspon (min. i max.) u svezi su sa velikom raznolikošću geološke građe.

### Prostorna struktura CaCO<sub>3</sub> (%)

Geostatistički parametri eksperimentalnih semivariograma za sadržaj CaCO<sub>3</sub> iz sve četiri dubine dati su u tabeli 2., a njihov grafički prikaz na Slici 3(a-d). U navedenim prikazima semivarijance (γ)h su izračunate kao funkcije udaljenosti (separatnih razmaka - h), bez obzira na smjer, što znači da se radi o omnidirekionalnim izotropnim semivariogramima.

Izloženi rezultati (Tabela 2 i Slika 3a-d) pokazuju da eksperimentalne semivariograme za CaCO<sub>3</sub> (%), iz sve četiri dubinske zone, karakterizira prisustvo nugget varijance (*γ-intercept*), praga (*Sill*) i raspona (*Range*). Semivarijance sadržaja CaCO<sub>3</sub> iz prve dubine (0-30cm) najbolje su izravnote linearnim modelom sa pragom, a iz ostalih dubina sferičnim modelom. Periodična struktura eksperimentalnih semivarijanci opućuje na ciklično prostorno variranje sadržaja CaCO<sub>3</sub>.

Eksperimentalni semivariogrami (Slika 3a-d) pokazuju da sadržaj CaCO<sub>3</sub> u površinskim horizontima/slojevima ima duži raspon, što znači njegovo kontinuiranije prostorno ponašanje (veću udaljenost unutar koje su točke uzorkovanja međusobno prostorno korelirane). Uočljivo je da najveći raspon (2450m) imaju tačke uzorkovanja CaCO<sub>3</sub> iz prvog i drugog horizonta/sloja (dubina 0-30cm i 30-60cm), a najmanji (700m) u dubinskoj zoni od 90-120cm.

Veći postotak neobjašnjivog variranja (*nugget*) u nižim dubinama znači i veći utjecaj slučajne ili nestrukturirane komponente variranja (grešaka mjerenja i varijabilnosti sadržaja CaCO<sub>3</sub>, unutar najkraće korištene udaljenosti - razmaka između točaka uzorkovanja).

Sadržaj CaCO<sub>3</sub> u nižim dubinama (Tabela 2) ima veće ukupno variranje (prag), uži odnos neobjašnjivog prema ukupnom variranju (nugget/prag). Veće odstupanje stvarne od procijenjene varijance (Sse) sadržaja CaCO<sub>3</sub> u dubljim horizontima/slojevima, znači slabiju prilagođenost izabranih teoretskih modela eksperimentalnim semivarijancama. Rješenje ovakvih problema treba tražiti u izboru složenijih modela (funkcija semivariograma).

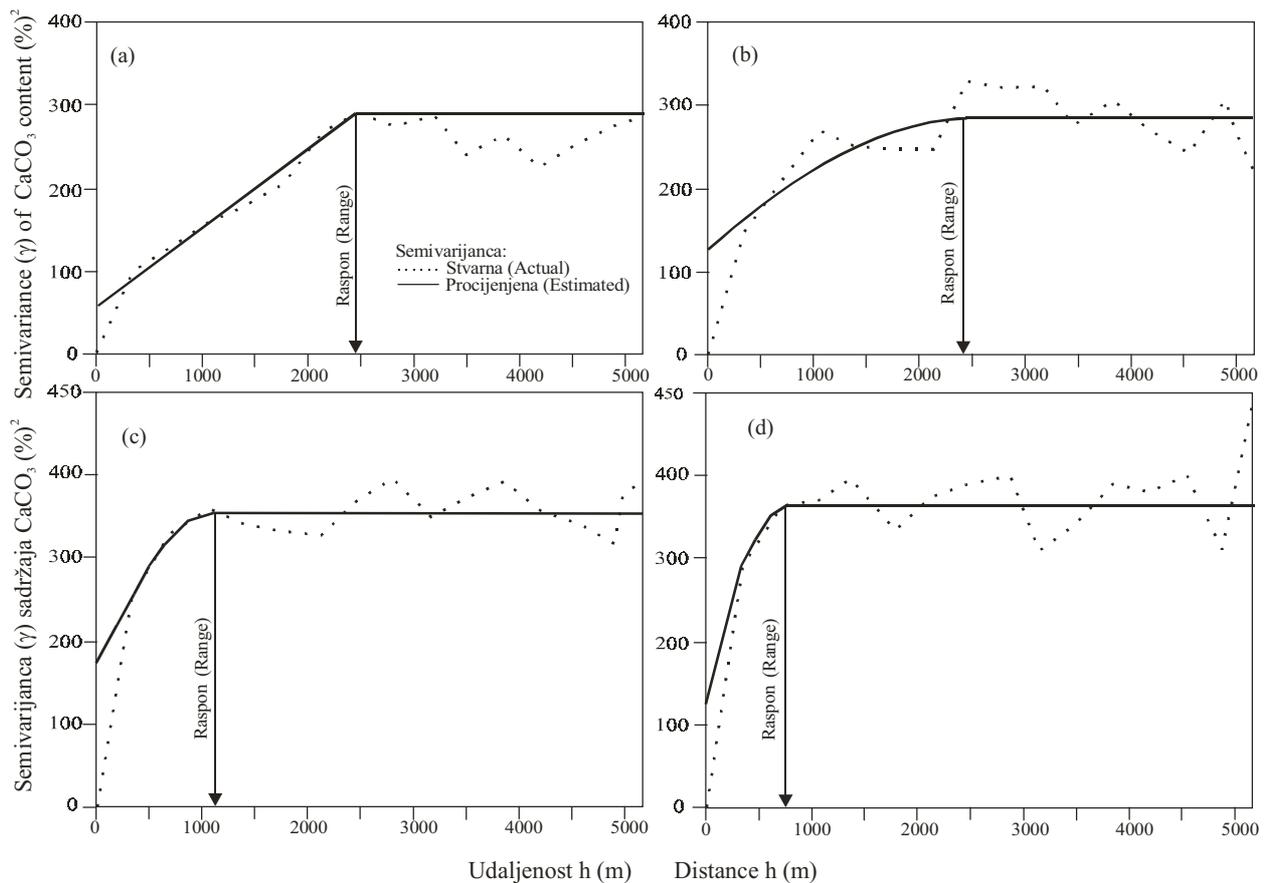
Rezultati istraživanja prostorne strukture sadržaja CaCO<sub>3</sub>, iz prve dubine (0-30 cm), u ovisnosti o smjeru (E-W ; NE-SW ; N-S; SE-NW), dati su u Tabeli 3 i Slici 4.

**Tabela 1.** Statistički pokazatelji analiziranih svojstava tla  
**Table 1.** Statistical parameters of analysed soil properties

Svojstvo Properties	Dubina tla Soil depth	$\bar{x}$	Varijanca Variance	St. dev. St. dev.	V <sub>k</sub> (%)	Min.	Max.
CaCO <sub>3</sub> (%)	0-30	17,7	224,8208	14,9940	84,71	0	58,1
	30-60	18,9	276,7632	16,6362	88,02	0	66,7
	60-90	22,9	358,1447	18,9247	82,64	0	66,5
	90-120	23,5	372,0122	19,2876	82,07	0	69,2
Humus (%)	0-30	3,62	2,4293	1,5586	43,06	1,71	8,53
	30-60	2,01	0,8489	0,9134	45,44	0,49	4,42
	60-90	1,19	0,4485	0,6697	56,28	0,17	3,06
	90-120	0,75	0,2102	0,4585	61,13	0,13	2,41

**Tabela 2.** Geostatistički parametri eksperimentalnog semivariograma sadržaja CaCO<sub>3</sub> (%)<sup>2</sup> za četiri dubine  
**Table 2.** Geostatistical parameters of CaCO<sub>3</sub> (%)<sup>2</sup> experimental semivariograms for four depths

Dubina tla (cm) Soil depth (cm)	Model	Sse	Nugget C <sub>0</sub>	Prag-Sill C <sub>0</sub> +C	Nugget/Prag (%) Nugget/Sill (%)	Raspon -Range A <sub>0</sub> (m)
0-30	Linearan	8795	63,8	292,8	0,22	2450
30-60	Sferičan	13854	135,4	276,2	0,49	2450
60-90	Sferičan	16088	175,1	358,1	0,49	1150
90-120	Sferičan	21635	125,2	372,0	0,34	700



**Slika 3(a-d).** Eksperimentalni semivariogrami sadržaja  $\text{CaCO}_3$  ( $\% \text{ }^2$ ) iz četiri dubine: 0-30cm (a), 30-60cm (b), 60-90cm (c) i 90-120cm (d)

**Figure 3(a-d).**  $\text{CaCO}_3$  ( $\% \text{ }^2$ ) experimental semivariograms for four depths: 0-30cm (a), 30-60cm (b), 60-90cm (c) i 90-120cm (d)

Geostatistički parametri direkcionalnih semivariograma sadržaja  $\text{CaCO}_3$ , (Tabela 3) i grafički prikaz teoretskih modela kojima su aproksimirane eksperimentalne semivarijane (Slika 4), pokazuju da im se svi bitni elementi (model, nugget, prag i raspon) mijenjaju sa promjenom smjera. To upućuju na anizotropičnu prostornu strukturu  $\text{CaCO}_3$ .

Veći raspon i niži udio neobjašnjivog variranja (nugget) sadržaja  $\text{CaCO}_3$  u smjeru istok-zapad (E-W), pokazuje da je i lokalno variranje čimbenika koji utječu na njegov sadržaj, prije svih geološke građe, kontinuiranije i sa manje naglih promjena nego u ostalim smjerovima.

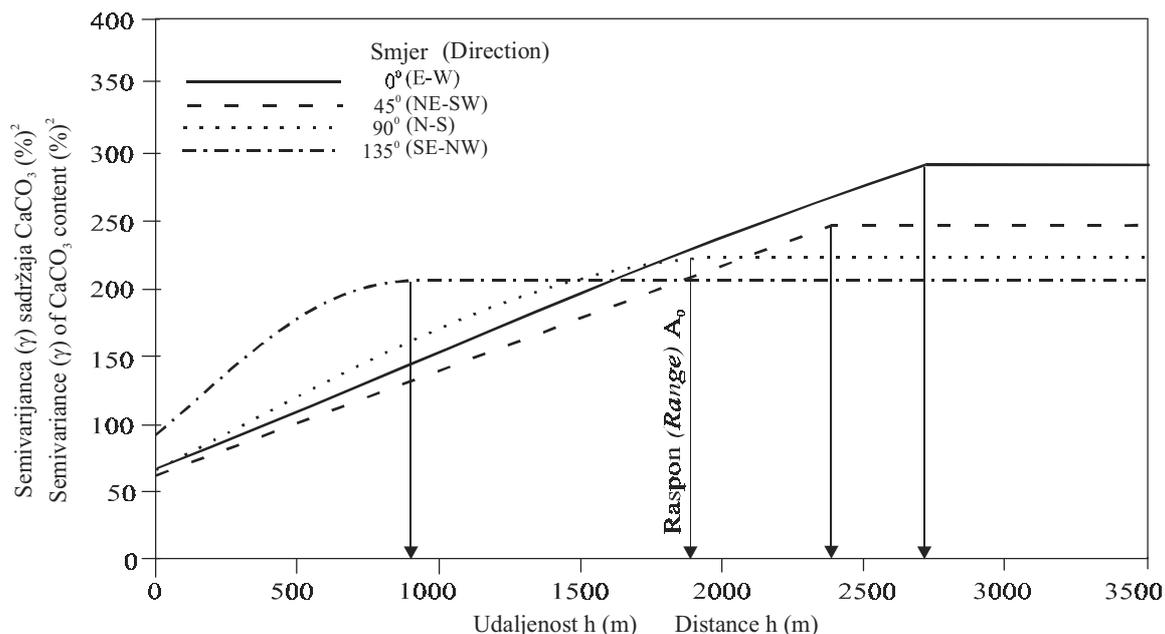
### Prostorna struktura humusa (%)

Rezultati geostatističkih analiza sadržaja humusa (Tabela 4 i Slika 5a-d), pokazuju da se svi bitni geostatistički pokazatelji prostornih relacija humusa u različitim dubinskim zonama međusobno jako razlikuju. Najznačajnija je razlika u rasponu, dakle dužini unutar koje su točke uzorkovanja međusobno prostorno korelirane. Najveći raspon ima sadržaj humusa iz prve dubine (0-30cm), zatim iz četvrte (90-120cm) i druge (30-60cm). Veliki raspon humusa iz prve dubine (Tabela 4), znači kontinuiraniji prostorni raspored sadržaja humusa, jer mjerenja (sadržaja humusa na točkama uzorkovanja) postaju međusobno prostorno nezavisna

**Tabela 3.** Geostatistički parametri eksperimentalnih semivariograma za  $\text{CaCO}_3$  ( $\% \text{ }^2$ ) iz prve dubine (0-30cm) za četiri različita smjera

**Table 3.** Geostatistical parameters of  $\text{CaCO}_3$  ( $\% \text{ }^2$ ), (depth 0-30cm) experimental semivariograms for four different directions

Smjer Direction	Model	Nugget $C_0$	Prag - Sill ( $C_0 + C$ )	Nugget/Prag (%) Nugget /Sill (%)	Raspon-Range $A_0$ (m)
E-W ( $0^\circ$ )	Linearan	65,1	279,4	23,3	2750
NE-SW ( $45^\circ$ )	Linearan	70,2	239,2	29,3	2450
N-S ( $90^\circ$ )	Sferičan	70,5	220,1	32,0	1900
SE-NW ( $135^\circ$ )	Sferičan	90,4	220,3	41,0	900



**Slika 4.** Eksperimentalni semivariogrami za  $\text{CaCO}_3$  (%)<sup>2</sup> iz prve dubine (0-30cm) za četiri različita smjera  
**Figure 4.**  $\text{CaCO}_3$  (%)<sup>2</sup> experimental semivariograms for four different directions (depth 0-30cm)

(nekorelirana) tek za udaljenost između parova točaka većoj od 4550m.

Eksperimentalne semivarijance sadržaja humusa iz prve i druge dubine najbolje su izravnate linearnim modelom, a iz četvrte dubine eksponencijalnim modelom.

Široki odnos nugget/prag (Tabela 4 i Slika 5c,d) ukazuje na veliki udio neobjašnjivog variranja u dubljim horizonima/slojevima tla. U slučajevima kada nugget varijanca dominira nad ukupnom varijancom izlaze treba tražiti u primjeni sofisticiranijih metoda koji se temelje na principu koregionalizacije varijabli.

Sadržaj humusa iz treće dubine (60-90 cm) pokazuje potpuni nugget efekt, jer je neobjašnjivo variranje jednako ukupnom variranju ( $C_0/C_0 + C = 1,0$ ). Zbog toga eksperimentalne semivarijance za humus (dubina 60-90cm) nije moguće aproksimirati bilo kojim od poznatih teoretskih modala. Nadalje, u trećoj dubini semivariogram za humus (Slika 5c), ima raspon kraći od intervala uzorkovanja. To znači da je izabrano prosječno prostorno uzorkovanje (350m) suviše kratko da bi pokazalo geografsku pravilnost-strukturu.

Kada je raspon kraći od intervala uzorkovanja treba odustati od izbora bilo koga modela. U tim slučajevima

izlaze treba tražiti u povećanju broja uzoraka, što će za posljedicu imati povećanje cijene istraživanja.

Rezultati istraživanja prostorne strukture humusa iz prve dubine (0-30 cm) u ovisnosti o smjeru su pokazali (Tabela 5 i Slika 6), da se svi bitni elementi direkcionalnih semivariograma (model, raspon, prag, nugget) mijenjaju s promjenom smjera, što upućuje na anizotropičnost kao bitnu značajku prostornog variranja humusa.

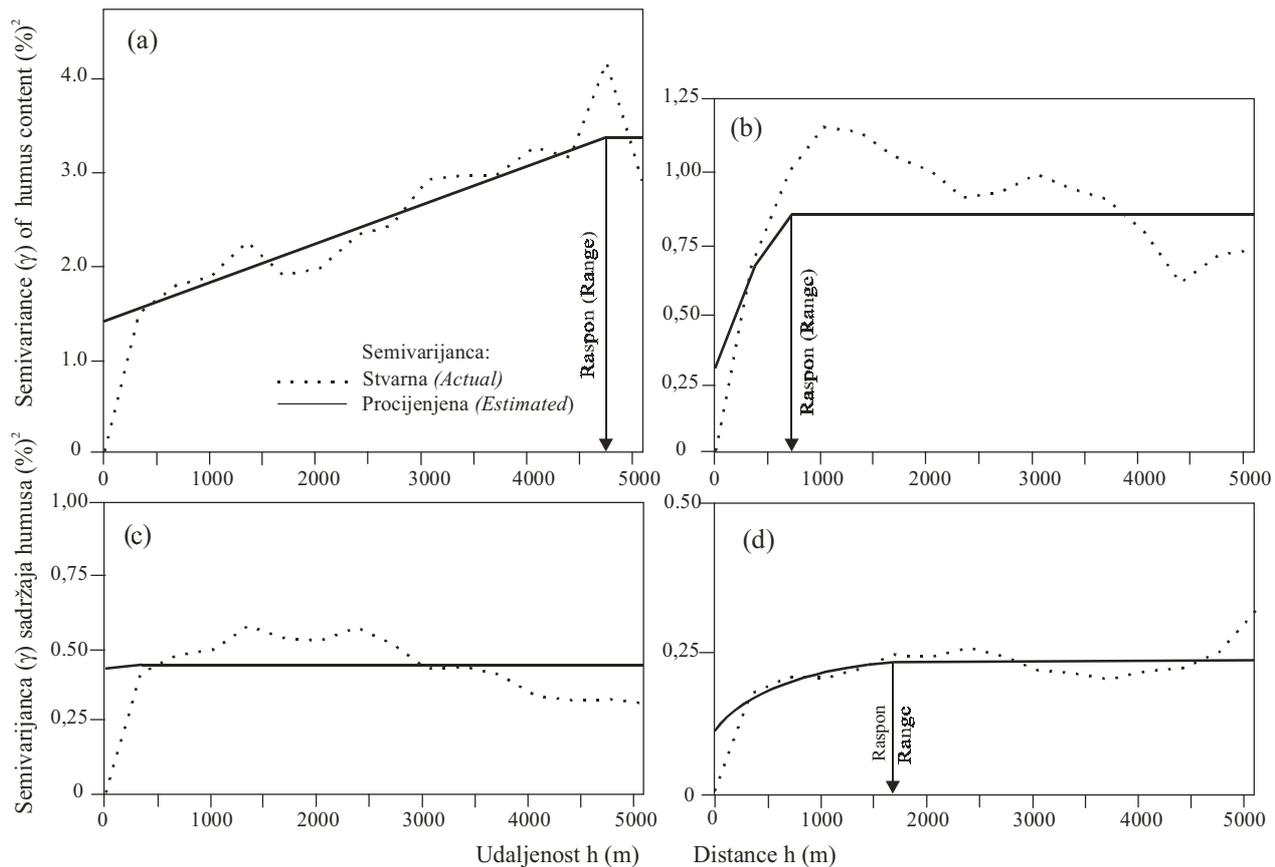
Najveći raspon (4500m), tj. dužinu za koju postoji prostorna koreliranost između parova eksperimentalnih točaka, ima smjer sjever-jug (N-S). Eksperimentalne semivarijance humusa ovog smjera su izravnate linearnim modelom sa pragom.

Najveći raspon (4500m), tj. dužinu za koju postoji prostorna koreliranost između parova eksperimentalnih točaka, ima smjer sjever-jug (N-S). Eksperimentalne semivarijance humusa ovog smjera su izravnate linearnim modelom sa pragom. Najkraći raspon (1400m) je u smjeru sjeveroistok-jugozapad (NE-SW).

Anizotropično variranje sadržaja humusa iz prve dubine (0-30cm) pokazuje da su čimbenici koji utječu na njegov varijabilitet, prije svih orografija i hidrografija, različiti u različitim smjerovima.

**Tabela 4.** Geostatistički pokazatelji parametara eksperiment. semivariograma sadržaja humusa (%) za četiri dubine  
**Table 4.** Geostatistical parameters of humus content (%) experimental semivariograms for four depths

Dubina tla (cm) Soil depth (cm)	Model	SSe	Nugget $C_0$	Prag - Sill ( $C_0 + C$ )	Nugget/Prag (%) Nugget /Sill (%)	Raspon-Range $A_0$ (m)
0-30	Linearan	1,43	1,11	3,35	0,33	4550
30-60	Linearan	0,63	0,35	0,81	0,43	700
60-90	-	0,16	0,43	0,43	1,00	<350
90-120	Sferičan	0,01	0,11	0,19	0,58	1650



**Slika 5(a-d).** Eksperimentalni semivariogrami sadržaja humusa ( $\% \text{ }^2$ ) iz četiri dubine: 0-30cm (a), 30-60cm (b), 60-90cm (c) i 90-120cm (d).

**Figure 5(a-d).** Humus ( $\% \text{ }^2$ ) experimental semivariograms for four depths: 0-30cm (a), 30-60cm (b), 60-90cm (c) i 90-120cm (d).

Tabela 5. Geostatistički parametri eksperimentalnih semivariograma sadržaja humusa ( $\% \text{ }^2$ ) iz prve dubine (0-30cm) za četiri različita smjera.

Table 5. Geostatistical parameters of humus content ( $\% \text{ }^2$ ) experimental semivariograms (depth zone 0-30cm) for four different directions

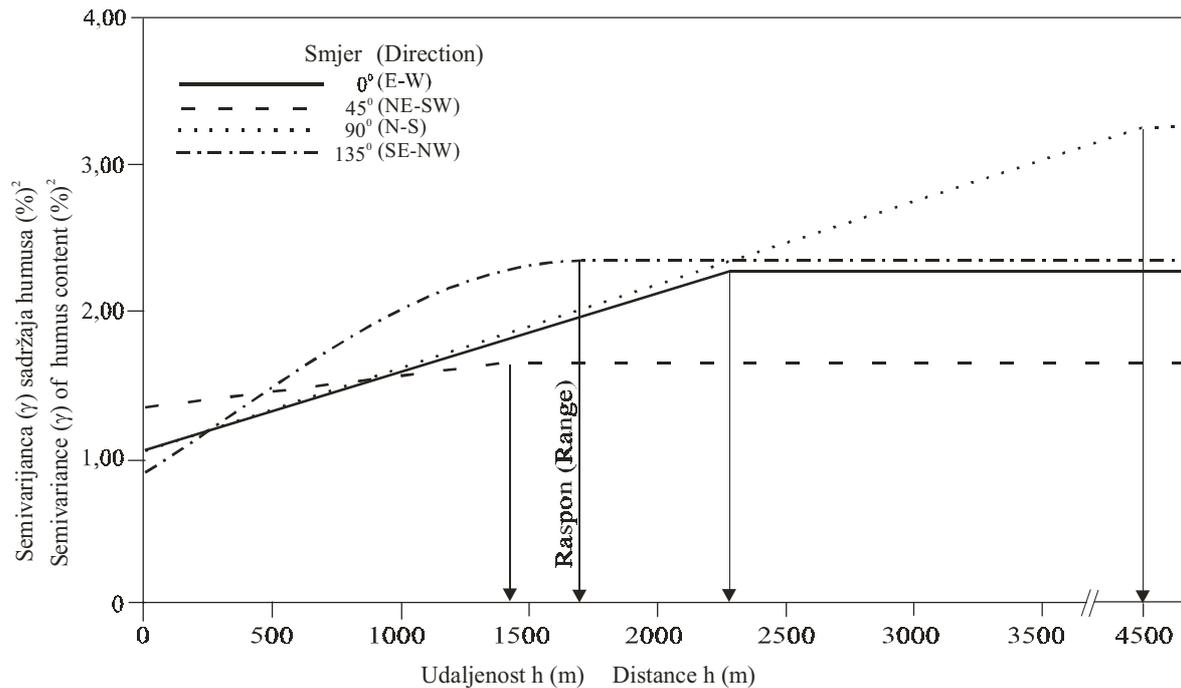
Smjer Direction	Model	Nugget $C_0$	Prag - Sill ( $C_0 + C$ )	Nugget/Prag (%) Nugget /Sill (%)	Raspon-Range $A_0$ (m)
E-W ( $0^\circ$ )	Linearan	1,08	2,28	0,47	2300
NE-SE ( $45^\circ$ )	Linearan	1,40	1,70	0,82	1700
N-S ( $90^\circ$ )	Linearan	1,08	3,23	0,33	4500
SE-NW ( $135^\circ$ )	Sferičan	0,91	2,31	0,39	1400

## ZAKLJUČCI

Rezultati istraživanja prostorne strukture svojstava tla Petrova polja, temeljena na konceptu "regionalizirane varijable", upućuju na slijedeća zapažanja:

- analizirana svojstva tla (sadržaj  $\text{CaCO}_3$  i humus) imaju anizotropičnu prostornu strukturu koja je aproksimirana linearnim i sferični teoretskim modelima.
- svojstva tla iz površinskih horizonata/slojeva imaju kontinuiranije prostorno ponašanje (izraženiju prostornu strukturu), od svojstva tla iz dubljih horizonata/slojeva.

- anizotropična struktura svojstva tla pokazuje da su i čimbenici, koji doprinose prostornom varijabilitetu, različiti u različitim smjerovima. Slabije izražena prostorna struktura sadržaja  $\text{CaCO}_3$  posljedica je raznovrsne geološke građe i njenih čestih cikličnih promjena. Kontinuiranije prostorno ponašanje humusa u svezi je s činjenicom da su prostorne promjene ključnih čimbenika koji određuju njegov sadržaj, posebno orografsko-hidrografske, znatno postupnije.
- za varijable sa potpunim nugget efektom i rasponom kraćim od intervala uzorkovanja (sadržaj humusa iz



**Slika 6.** Eksperimentalni semivariogrami sadržaja humusa (%) iz prve dubine (0-30cm) za četiri različita smjera  
**Figure 6.** Humus content (%) experimental semivariograms (depth 0-30cm) for four different directions

treće dubine), čije se eksperimentalne varijance nisu mogle aproksimirati ni sa jednim od poznatih teoretskih modela, je potrebno, provesti detaljnije uzorkovanje sa kraćim intervalima koji će biti prostorno korelirani.

Istraživanja su pokazala da korištena geostatistička metoda (semivariogram analiza) može doprinijeti kvantificiranju prostornih struktura i pomoći ustanovljanju i boljem razumijevanju uzroka prostornog variranja svojstava tla. Praktična primjena rezultata istraživanja proizilazi iz činjenice da se uključivanjem ustanovljenih anizotropičnih modela semivariograma u kriging interpolacijsku analizu može poboljšati pouzdanost lokalne procjene analiziranih svojstava tla na neuzorkovanim mjestima.

## LITERATURA

- Beckett P.H.T., Webster, R. (1971). Soil variability - a rereview. *Soils and Fertilizers* 34, 1-15.
- Blyth J.F., McLeod D.A. (1978). The significance of soil variability for forest soil studies in north-east Scotland. *Journal of Soil Sci.* Vol. 29:420-431.
- Burrough P.A. (1983). Multiscale sources of spatial variation in soil. I. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation. *Journal of Soil Sci.* Vol. 34:577-597.
- Clark Isobel (1979). *Practical geostatistics.* Applied Sci. Publ. Ltd, London.
- Campbell J.B. (1978). Spatial variation of sand content and pH within single contiguous delineations of two soil mapping units. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:460-464.
- Fridland V. (1976). *Pattern of the soil cover.* Kater Publishing House, Jerusalem.
- Journal G.A., Hujibregts Ch. J. (1978). *Mining geostatistics.* Academic Press, London.
- Hujibregts Ch. J. (1975). Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data. In J.C. Davis and M.J. cullagh (ed) *Display and analysis of spatial data.* NATO, Advances Studies, Jons Wiley & Sons, Inch., London.
- Matheron G. (1963). Principles of geostatistics. *Econ. Geol.* 58:1246-1266.
- Matheron G. (1982). The theory of the regionalized variables its applications. In J.A. DeGraffenreid (ed.). *Time and space dependent data in the eart sciences.* Kansas Geol. Survey, series in Spatial Analysis 6. Univ. of Kansas, Lawrence.
- McBratney A.B., Webster R. (1981). Spatial depedence and classification of the soil among a transect in northeast Scotland. *Geoderma*, Vol. 26:63-68.
- McBratney A.B., Webster R. (1986). Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *Journal of Soil Sci.* Vol. 37:617-639.
- Miloš B. (1984). Tla sekcije Šibenik 2. IJK Split.
- Miloš B. (1985). Pedološka karta Petrova polja. Institut za jadranske kulture i melioraciju krša - Split.
- Miloš B. (1987). Numerička klasifikacija hidromorfnih tala u osnovama za hidromelioracije. Disertacija, Sarajevo.
- Miloš B. (1998). GIS Petrova polja, Institut za jadranske kulture i melioraciju krša - Split.
- Nortcliff S. (1978). Soil variability and reconnaissance soil mapping: a statistical study in Norfolk. *Journal of Soil Sci.* Vol. 29:403-418.
- Ovalles F.A., Collins M.E. (1988). Use of principal component analysis of variability of soil properties in northwest Florida. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 52:1430-1435.

- Press W.H. (1986). *Numerical Recipes in C, The Art of Scientific Computing*. New York: Cambridge University Press, 1988.
- Trangmar B.B., Yost R.S., Uehara G. (1985). Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.* Vol. 38. Academic Press, New York, NY.
- Trangmar B.B., Kemp R.A. (1989). Use of geostatistics in designing sampling strategies for soil survey. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1163-1167.
- Vieira S.R., Hatfield J.L., Nielsen D.R., Biggar J.W. (1983): Geostatistical theory and application of variability of some agronomic properties. *Hilgardia* 51:1-75.
- Webster R. (1985). Quantitative spatial analysis of soil in field. *Adv. Soil Sci.* 3:1-27. Warrick, A.W., Myers, D.E., Nielsen, D.R. 1986: Geostatistical methods applied to soil science. In A. Klute (ed). *Methods of soil analysis. Part 1. Agronomy*, 9:53-8
- Yates S.R., Marylynn Yates (1988). Disjunctive kriging as approach to management decision making. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 52:1554-1558.
- Yost R.S., Uehara G., Fox R.F. (1982). Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. I. Semivariograms. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:1028-1032.
- Škorić A., Filipovski, G., Ćirić M. (1973). *Klasifikacija tala Jugoslavije*. ANUBiH, posebna izdanja, Knjiga LXXVIII, Sarajavo.

---

acs65\_27