

Pero MARIJANOVIĆ

M. PRSKALO

A. ČOLAK

PRIMJENA TEORIJE REGIONALIZIRANE VARIJABLE U ANALIZI MORFOLOŠKIH FENOMENA KRŠA HERCEGOVINE

Sažetak

U radu su interpretirani rezultati dugotrajnih znanstvenih istraživanja krša Hercegovine metodama Teorije regionalizirane varijable tj. geostatistike. Tijekom dvadesetak godina pozorno su se prikupljali podaci o morfološkim fenomenima krša koji su kroz geološku povijest sedimentacijski zapunjeni, time samo donekle konzervirani u nekoj njihovoj razvojnoj fazi, te prepušteni daljnjem morfološkom razvoju u takvim uvjetima. Prikupila se vrlo velika baza podataka (broj istraženih elemenata je prešao brojku od 100 000) čija je vrijednost i u činjenici kako su takvi morfološki elementi bili dostupni promatranju i mjerenju samo kraće vrijeme, kada su ponovo zatrpani. Razvijen je geostatistički model tla primjenom variografske analize na uzorcima tla uzetih na tri karakteristična glacijalna područja i definirane znanstveno utvrđene veze geomehaničkog modela i parametara geološkog nastanka.

***Ključne riječi:** Teorija Regionalizirane Varijable, morfološki fenomeni krša, baza podataka, geostatički model tla, glacijal, fluvio-glacijal, oblik zrna.*

1. Uvod

U radu se daje opis dijela rezultata znanstvenih variografskih istraživanja razvijenih krških morfoloških fenomena kao i strukturne građe glacijalnih i fluvio-glacijalnih tvorevina, zasnovanih na ispitivanju oblika zrna. Oba

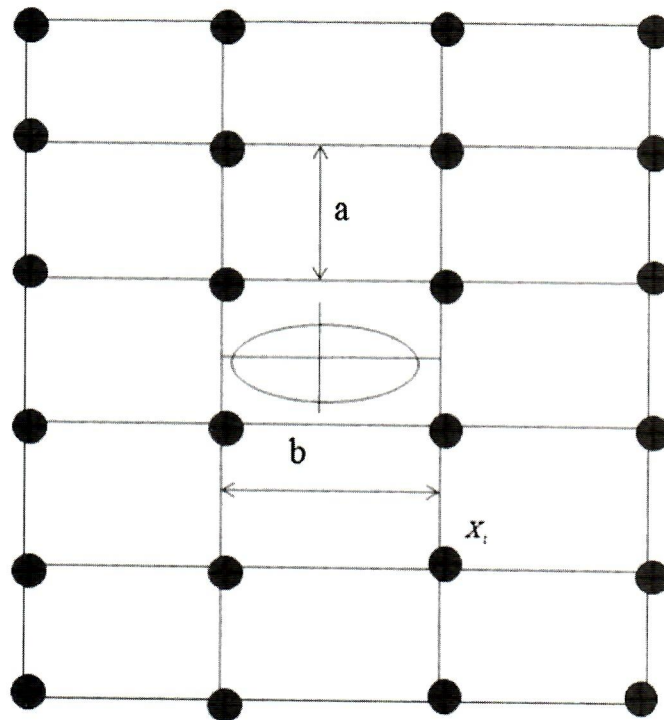
istraživanja su vezana za dinarski krš BiH (regija Hercegovine, glacijal i fluvioglacijal sinklinale Blidinje, slika 1).



Sl. 1. Karta Hercegovine.

2. Problem razdiobe varijable “debljina” krškog morfološkog fenomena

Skupovi podataka o nekoj krškoj formi, prikupljeni u regularnoj istražnoj mreži, (slika 2), značajno su pozitivno asimetrični. Taj pojam označava “*rep koji se vuče*” iza srednje vrijednosti u histogramu debljina, a s njezine desne strane. Lijeva strana histograma prirodno je ograničena s vrijednosti debljine 0, te je riječ o *zasječenim razdiobama* (MARIJANOVIĆ 2008).



Sl. 2. Regularna istražna mreža.

Analiza će pokazati kako je *asimetrija razdiobe* debljina unutar neke krške forme temelj razumijevanja njezinog razvoja kroz dugo geološko vrijeme. Pri tom će *lognormalna dvo i tro parametarska razdioba* biti vrlo česta u analizi krških morfoloških formi. Formula dvoparametarske lognormalne razdiobe je:

$$f(x) = \frac{1}{X_i \cdot \beta \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(X_i) - \alpha)^2}{2\beta^2}} \quad (1)$$

gdje je:

X_i – i-ta vrijednost debljine izmjerene u promatranom volumenu;

β – standardna devijacija logaritmiranih vrijednosti debljina izmjerenih u promatranom volumenu, odnosno β^2 odgovarajuća varijanca i

α – srednja vrijednost logaritmiranih vrijednosti debljina izmjerenih u promatranom volumenu.

Opsežna istraživanja pokazala su kako je vrlo često prisutna i lognormalna troparametarska razdioba debljina, prema:

$$f(x) = \frac{1}{(X_i + c) \cdot \beta \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(X_i + c) - \alpha)^2}{2\beta^2}} \quad (2)$$

gdje je:

c - konstanta.

Istraživanja su također pokazala kako su se u nekim slučajevima vrijednosti debljina pokoravale zakonu normalne razdiobe, prema formuli:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X_i - m)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

gdje je:

σ – standardna devijacija a σ^2 varijanca izmjerenih vrijednosti debljina u promatranom volumenu;

m – srednja vrijednost izmjerenih debljina.

2.1. Problem razdiobe debljine i volumena neke krške forme

Analiza razdiobe volumena počiva na sljedećim pretpostavkama: promatra se cijeli volumen krškog morfološkog objekta V , a on se sastoji od malih volumena v u čijim centrima su vrijednosti promjenjive debljina, X_i . Mali volumeni v su takvi da su X_i njihove srednje debljine (što je samo nužna pretpostavka). Sada se problem svodi na definiranje razdiobe malih volumena unutar velikog volumena. Analiza započinje izrazom za promatrani mali volumen v a koji u sebe uključuje vrijednost debljine X_i kao njegove srednje debljine (MARIJANOVIĆ, KOVAČ 1994).

Sve analize učinjene na vrlo bogatoj tehničkoj dokumentaciji o ovim fenomenima, proistekloj iz građevinske, geološke i rudarske prakse, pokazale su opravdanim razmatrati ove veličine. Uočava se kako su spomenute razlike funkcija razdiobe *debljina i volumena*, u intervalu 0 do srednje vrijednosti m , to veće što je morfološki fenomen razvijeniji. Razvijenost krškog fenomena ovdje se slikovito naziva njegovom *zrelošću*.

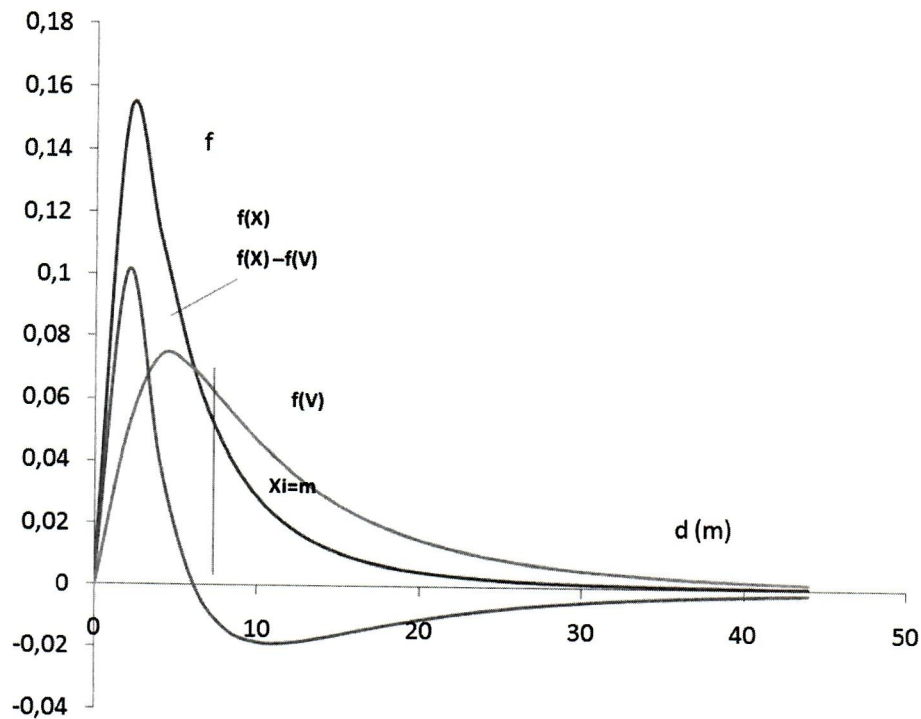
2.1.1. Jedan primjer (fenomen zvan Gajine)

Ukupno je izbušeno 127 bušotina, prosječne debljine 6.89 m.

Temeljem istražnih radova izračunate su mu ove statističke vrijednosti:

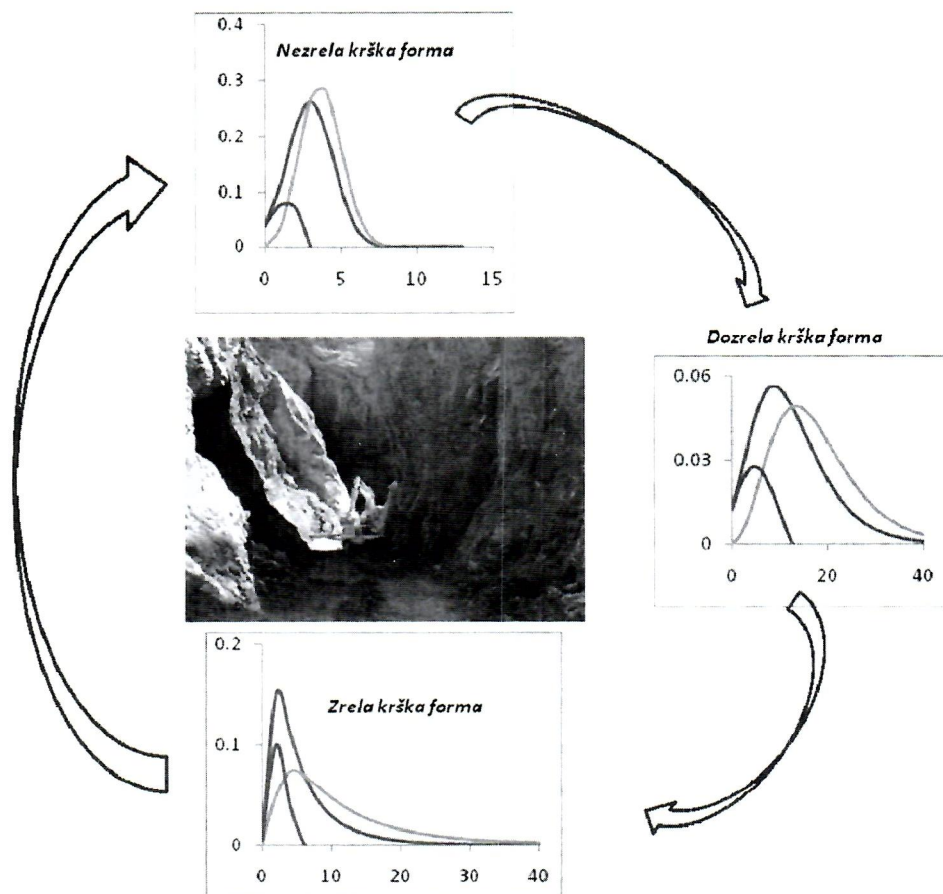
$m = 6.89$ m;

$\sigma^2 = 42.80$ m²; i koeficijent varijacije KV = 95 %.



Sl. 3. Razdioba debljina i volumena.

Usporedbom histograma debljina i volumena unutar promatrane krške forme, najčešće lognormalnog, troparametarskog tipa, (slika 3), omogućuje vrlo pouzdanu procjenu stupnja njegove morfološke složenosti. Općenito promatrano, razdiobe debljina i volumena transformiraju se od normalne sheme (nerazvijeni sustavi, *nezreli* sustavi), preko lognormalne ili lognormalne troparametarske s umjerenom pozitivnom asimetrijom (normalno razvijeni sustavi, *dozreli* sustavi) do lognormalne ili lognormalne troparametarske razdiobe s vrlo velikom pozitivnom asimetrijom (razvijeni sustavi, *zreli* sustavi) (MARIJANOVIĆ at al. 2009). Ideja o morfološkim razvojnim ciklusima razvijenih krških fenomena, temeljena na razdiobi varijable “debljina”, prikupljene u regularnoj odnosno poluregularnoj mreži, te na predloženoj vrijednosti koeficijenta zrelosti, pokazana je na slici 4. Na slici 4 vidi se jedan vrlo razvijeni (zreli) morfološki fenomen dijelom zapunjen boksitom. U “prstim” morfološkog fenomena (lokalitet Bojčića Bus, Čitluk)



Sl. 4. Prirodni morfološki ciklusi u kršu.

3. Analiza razdiobe veličine zrna glacijala i fluvioglacijala

Statističkom obradom zrna glacijalnog tla (uzorci od 100 zrna) došlo se do zaključka da su intervali veličine zrna u kojima bi se našlo 95% uzoraka uzetih na promatranom području samo 5% istih odstupalo od ovih vrijednosti. Ovo znači, kad bi s istog mjesta uzeli 100 uzoraka (od po 100 zrna), 95 njih bi imalo rezultate u dobivenim intervalima. Analiza razdiobe veličine zrna u svim ispitivanim uzorcima ukazala je na asimetričnu, log-normalnu razdiobu s najčešćom vrijednošću veličine zrna u uskim granicama (10-20 mm). Koeficijent varijacije veličine zrna iznosio je oko $50 \pm 10\%$ što znači da su zrna relativno ujednačene veličine (PRSKALO 2008).

3.1. Variogram kao posljedica prostorne korelacije varijabli

Na osnovi dobivenih rezultata analize oblika i zaobljenosti zrna razvijen je geostatički model tla i definirane i znanstveno utvrđene veze geomehaničkog modela i parametara geološkog postanka tla. Koriste li se varijable o stijeni ili tlu bitno je upoznati njihova svojstva da bi se napravio pouzdan geološki/geotehnički model (MARIJANOVIĆ 1996). Rezultate istraživanja i zaključke proizašle iz njih veže pouzdanost procjene. Pouzdanost procjene je ona mjera koja presuđuje o kvaliteti izvedenih istražnih radova i njihovoj količini, kojima je cilj prikupiti statistički dovoljan skup podataka. Premalo podataka znači izložiti se riziku velike pogreške u prosudbi, a prevelik skup redovito traži i velika ulaganja, koja prelazi granicu isplativosti. Zahtijeva se dakle statistički dovoljan skup podataka, ali prije svega ona metoda obrade koja će iz takvog skupa izvući najkvalitetnije zaključke s najmanjom pogreškom. Povezanost prostora i varijabli čini specifičnost ovih informacijskih sustava.

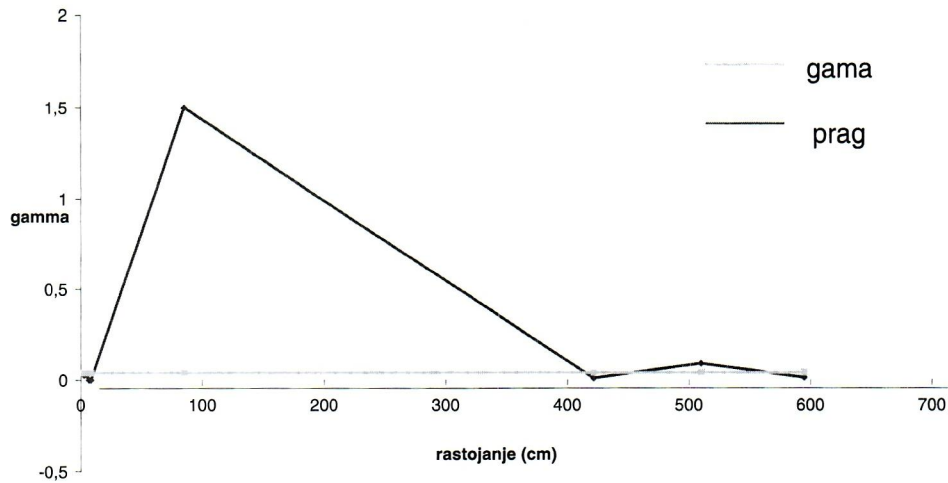
3.2. Variografska analiza građe glacijala

Pozornost u istraživanju je posvećena definiranju oblika i zaobljenosti kao značajnih osobina zrna s geomehaničkog aspekta (pijeska, šljunka i dr. Analizirajući oblik zaobljenost zrna glacijala na uzorcima uzetim sa terena i iz istražne sonde, zaključeno je kako je glacijalni sediment *krajnje heterogen*, a kao posljedica glacijalne erozije (npr. otkidanje, abrazija) nastaju *klasti* svih veličina, od velikih odvalnih blokova do sitnih čestica praha. Za analizu zrna iz formirane baze podataka očitane su vrijednosti koeficijent veličine zrna (k_f). Formirana je ulazna datoteka s vrijednostima parametra i relativnom koordinatom u stupu istražne sonde. Razvijen je *geostatistički modela tla* primjenom variografske analize i definirane znanstveno utvrđene veze geomehaničkog modela parametara geološkog nastanka. Korelacijska analiza *dubina, srednja vrijednost veće dimenzije zrna (d_1)* pokazala je kako takva zavisnost ne postoji (korelacijski koeficijent iznosi -0.339).

Dobiveni rezultati ukazuju na djelomično sortiranje na koje je moglo utjecati način unosa materijala u sedimentacijski prostor (slika 5).

Variogram je ukazao na netipičnu građu fluvioglacijalnog prostora sa nesortiranim materijalom.

Kada se načinio variogram gdje je za varijablu odabrana opća forma zrna, dobila se variogramska forma, slika 3. Sve bi se moglo protumačiti činjenicom da se ujednačenost zrna održava prosječno do dubine od 2 m, a zatečena forma zrna iz te zone još sljedeća dva metra.



Sl. 5. Variogram u odnosu na koeficijent oblika zrna.

4. Zaključak

Temeljno načelo rada s variogramom treba biti kritično provjeravanje funkcije variograma na osnovi poznatih svojstava varijable. Dakle, variogram se koristi i za otkrivanje novih, do sada nepoznatih svojstava, ali i ta njegova funkcija mora biti pod kontrolom zdravog promišljanja. Ovakav pristup tumačenju variograma osigurava stalnu prisutnost istraživačke, kreativne komponente u radu. Variogram se pokazuje generatorom istraživačke funkcije i akumulatorom stečenog znanja, ali i osigurava kvalitetnu transmisiju takvog znanja u inženjersku praksu, budući je nositelj procesa modeliranja. Zamisao o postojanju ciklusa u morfološkim mijenama krških fenomena počiva na utvrđenoj činjenici o stupnjevitim razlikama temeljnih statističko-geostatističkih parametara izmjenjenih na varijabli “debljina”, takvih da oslikavaju neka unutarnja morfološka “naprezanja” koja razvoj morfoloških formi “guraju” prema razgradnji najrazvijenije forme u više onih koji odgovaraju njezinoj početnoj razvojnoj fazi. Primjena variografske analize u slučaju glacijala i fluvio-glacijala, zasnovane na analiza oblika zrna, otkriva njihovu specifičnu građu kao osnovu svih geotehničkih analiza i računanja.

Očuvanje prirodnog okoliša moguće je samo ako je svijest onih koji ga nastanjuju na razini takvoga zadatka. Općenito, problem nije u svijesti ljudi ako oni zadatak razumiju i prihvaćaju. To znači da je spoznaja ljudi najvažnija. To je i cilj ovoga rada. Cilj je kazati više o rezultatima dugotrajnih znanstvenih istraživanja krša Hercegovine metodama Teorije Regionalizirane

Varijable (često nazvane Geostatistika). Tijekom dvadesetak godina pozorno su se prikupljali podaci o morfološkim fenomenima krša koji su kroz geološku povijest sedimentacijski zapunjeni, time samo donekle konzervirani u nekoj njihovoj razvojnoj fazi te prepušteni daljnjem morfološkom razvoju u takvim uvjetima. Najčešće gospodarska aktivnost je dovela do njihova čišćenja od sedimentacijskog taloga (rudarska eksploatacija mineralnih sirovina, građevinski duboki iskopi za potrebe gradnje većih objekata, brana, hidrocentrala i slično) kada su pažljivo snimani i proučavani. Prikupila se vrlo velika baza podataka (broj istraženih elemenata je prešao brojku od 100 000) čija je vrijednost i u činjenici kako su takvi morfološki elementi bili dostupni promatranju i mjerenju samo kraće vrijeme, kada su ponovo zatrpani. Akcent se stavlja na opisivanje morfoloških mijena u okviru dugotrajnih procesa okršavanja. Dolazi se i do odgovora na pitanje zašto i kako štititi taj malo poznati svijet krša kod nas.

Pero MARIJANOVIĆ

M. PRSKALO

A. ČOLAK

ANWENDUNG DER THEORIE ÜBER REGIONALISIERTE VARIABLE IN DER ANALYSE DES MORPHOLOGISCHEN PHÄNOMENS DES KARSTES DER HERZEGOWINA

Zusammenfassung

In der Arbeit sind Ergebnisse von langfristigen wissenschaftlichen Untersuchungen des Karstes der Herzegowina mit den Methoden der Theorie über regionalisierte Variable bzw. Geostatistik untersucht worden. Im Laufe von zwanzig Jahren wurden Angaben über morphologische Phänomene des Karstes umfassend gesammelt, welche durch die geologische Geschichte abgelagert wurden, dadurch nur zum Teil in einer ihrer Entwicklungsphasen konserviert und ihrer weiteren morphologischen Entwicklung in solchen Verhältnissen überlassen wurden. So wurde eine sehr große Datenbank erstellt (die Anzahl der erforschten Elementen beläuft sich auf über 100 000), die ihren besonderen Wert durch die Tatsache hat, dass solche morphologische Elemente nur eine kurze Zeit zur Beobachtung und Messung zur Verfügung standen, nachdem sie wieder

vergeschüttet wurden. Es wurde ein geostatistisches Boden-Modell entwickelt, indem die variographische Analyse der Bodenmuster von den drei charakteristischen Glazialgebieten angewendet wurde und die wissenschaftlich festgestellten Verbindungen zwischen dem geomechanischen Modell und den Parametern der geologischen Entstehung definiert wurden.

Stichwörter: Theorie der regionalisierten Variable, morphologische Phänomene des Karstes, Datenbank, geostatistisches Boden-Modell, Glazial, Fluvioglazial, kornförmig.

Izvori i literatura

MARIJANOVIĆ P., 1996. Računalo i modeliranje u rudarstvu, geologiji i geotehnici s elementima Teorije regionalizirane Varijable. Sveučilište u Mostaru, Mostar.

MARIJANOVIĆ P., Kovač, I. 1994. Geostatistical Analysis of Broken Morphological Blocks. 1st Regional APCOM symposium on computer applications and operations research in the mineral industries, Bled, Slovenia.

MARIJANOVIĆ P., 2008. Geostatistika krša Dinarida. Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru.

MARIJANOVIĆ, P., PRSKALO, M. and ČOLAK A., 2009. Morfološke mijene krša Hercegovine, I. međunarodni geografski znanstveni simpozij "Transformacija ruralnog područja u uvjetima tranzicije i integriranja u Europsku Uniju" Međunarodni znanstveni simpozij Kupres. (in Croatian with English abstract).

PRSKALO M., 2008. Geomehaničke odlike blidinjske sinklinale u funkciji geološkog nastanka prostora, Disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, ISBN 978-9958-9170-5-9, Mostar 64, 70.