

GEOMEHANIČKE I VARIOGRAFSKE KARAKTERISTIKE FLUVIOGLACIALA BLIDINJSKE SINKLINALE

1. UVOD

U razdoblju prije 20-tak tisuća godina, led je pokrивao sve visoke planine u Bosni i Hercegovini a do svojih sadašnjih granica povukli su se prije 7 tisuća godina. Značajne količine tla su pomaknute i deponirane od strane glacijalne aktivnosti ili zbog nje, a nakon što se ledenjak povukao, svo tlo uhvaćeno u ledu koji se topio je ispušteno. Dat je opis stvaranja ovakvih glacijalnih naslaga tla i izračunate neke od osnovnih geomehaničkih parametara tla.

Mnogi od karakterističnih oblika krajobraza oblikovanih ledom, na području Blidinja ali i na drugim glacijalnim područjima u Bosni i Hercegovini nisu rezultat jedne glacijalne epizode, nego stotina tisuća godina ponavljane glacijalne aktivnosti. Glacijacija je uvijek praćena karakterističnim tipom sedimenata, poznat pod nazivom til. Isto tako granulometrijska raspodjela sedimenata je temeljna značajka u razumijevanju okoliša zemljine površine i nužna alatka u klasificiranju sedimentacijskih sredina. Podaci dobiveni mjerenjima pružaju važne informacije o energiji i dinamici sedimentacijskih okolina i pomažu našem razumijevanju sedimentnog transporta.

Pokušavajući analizirati samo dio nekih geoloških zbivanja i njihov utjecaj na stvaranje reljefa, nastojalo se doći do geomehaničkih svojstava materijala blidinjske sinklinale. Upravo ovi parametri diktiraju brzinu ovih procesa ali i novo morfološko rješenje blidinjskog prostora, koji imaju izravan utjecaj na oblikovanje reljefa.

Geomehanički model postanka stvaranja tla na glacijalnim kosinama navodi na pomisao da se radi o materijalu mnogo kompaktnijem sa svoga geomehaničkog aspekta nego što bi se pretpostavilo na prvi pogled. Naime, ovakvi prirodni procesi koji su utjecali na stvaranje ovakvih geomehaničkih parametara pokrenutog i intaktnog materijala, prije svega njihova posmična čvrstoća i kut unutarnjeg trenja, diktiraju brzinu ovih procesa ali i «novi morfološki dizajn» cijelog blidinjskog prostora. Tako se formiraju i postupno oblikuju nove kosine i novi reljef sinklinale.

Procesi razaranja reljefa karakteriziraju vapnenačke kosine, kosine formirane u dolomitnom grusu te one formirane u glacijalu. Među sobom oni se bitno razlikuju a svojom razlikom doprinose tvorbi specifičnog, dopadljivog i prepoznatljivog blidinjskog reljefa.

Na temelju opsežnih istraživanja, terenskih i laboratorijskih mjerenja dan je značajan doprinos upoznavanju geomehaničkih parametara glacija i fluvioglacija. Kreirana je baza podataka rezultata istražnih radova u kojoj je obrađeno oko 1200 zrna iz istražne bušotine

sa dubine od 20 m do 30 m [1]. Svakom zrnju izmjerene su njegove tri dimenzije, masa, volumen, i izračunati su zapreminska masa, indeks zaobljenosti, indeks sferičnosti odnosno koeficijent oblika zrna. Određivanje oblika i zaobljenosti zrna daje korisne podatke o podrijetlu materijala, uvjetima transporta i relativnoj udaljenosti od matičnih stijena. Opisan je postupak, i dane su opisne i numeričke vrijednosti koeficijenta oblika zrna za glacijal Blidinja.

Interpretacijom variografije dopunjena sa vizualnim promatranjem uzoraka, dobila se preciznija slika građe ovoga materijala. Orijehtacija i položaj zrna su osobito važni u toj strukturi. Na prvi pogled može se činiti da zrna nemaju određenu orijentaciju ali pažljivijim pregledom jezgra kao i otvorenih profila primjećuje se da se većina uglastih zrna u svom kretanju zaustavljala više u uspravnom položaju, dok su zaobljenija zrna u prostoru zauzeli i drugačije položaje, ovisno o raspoloživosti prostora na kome su se našli. Ovakav raspored zrna u strukturi tla, njihov oblik i zaobljenost u geomehaničkom smislu predstavljaju tla s izraženom malom rezidualnom čvrstoćom, u odnosu na početnu, što se ima zahvaliti vrlo brzom popuštanju „zakačenih“ bridova pod opterećenjem.

2. ISTRAŽNI RADovi

Geomehanička ispitivanja koriste različite metode u svrhu dobivanja potrebnih rezultata koje se odnose na osnovne geomehaničke parametre tla, koheziju, kut unutarnjeg trenja, model kompresije kao i fizičke parametre tla optimalnu vlažnost, zapreminsku težinu, koeficijent vodopropusnosti tla i druge.

U ovom radu predstavljen je jedan dio ispitivanja koja su izvršena na uzorcima uzetim s četiri lokacije u Bosni i Hercegovini. To su lokacije u okolicama Blidinjskog, Boračkog i Prokoškog jezera (glacijal i fluvioglacijal), te kao usporedni prikaz uzorak s lokacije u samom središtu grada Mostara (riječni aluvij).

U granulometrijskim se analizama pokazuje pravilnost promjene granulometrijskog sastava s dubinom. Sadržaj krupnijih čestica s dubinom se smanjuje, a sudjelovanje sitnije frakcije raste. Ova se činjenica može objasniti tako što je prvobitni granulometrijski sastav čestica u glacijalnim nanosima s vremenom nešto izmijenjen, na način da su sitne čestice dimenzije praha i gline s površinskim vodama koje su se procjeđivale, prodirale sve više u dublje dijelove ledničkih naslaga. Na taj je način moglo doći do povećanja sudjelovanja fino-zrne frakcije, a smanjenja krupnozrne s porastom dubine. Vrijednosti koeficijenata filtracije dobivenih jednadžbom Terzaghija zadovoljavaju AC klasifikaciju koja je pretežito šljunkovito-pjeskovita.

Koeficijent filtracije tla dosta je ujednačen i njegova vrijednost iznosi 10^{-3} cm/s što po usvojenim standardima odgovara krupnom pijesku, odnosno materijalu velike propusne moći, za razliku od uzoraka uzetih u samoj blizini jezera (Blidinje) koji imaju veći sadržaj sitnih čestica pa samim tim i manji koeficijent filtracije. Voda se na površini ovih lokaliteta

zadržava kratko i svoj put pronalazi krećući se podzemljem, gdje se većina voda drenira k Blidinjskom jezeru i ponorima smještenim uz jugozapadni rub planine Čvrstice.

Rezultati koeficijenta filtracije uzorka glacijala s Prokoškog jezera slični su uzorcima glacijala s Boračkog i Blidinjskog jezera i ukazuju na prisutnost sitnije frakcije zrna, dok uzorak potočnog sedimenta ima približno isti koeficijent filtracije kao i prva tri uzorka s Blidinjskog jezera pa u tom slučaju zaključujemo da je voda isprala sitnije čestice, pa je samim tim i veća propusnost vode.

2.1 Modul kompresije

Ispitivanje modula kompresije kružnom pločom promjera $D=300$ mm napravljeno je na lokaciji II (fluvioglacijal) slika 2.2. Ispitivanje je provedeno na sloju dubine oko 4,0 m, za zadani interval opterećenja od $\Delta\sigma=0,05$ MPa na osnovi kojih su dobivene srednje vrijednosti slijezanja s u mm. Iz poznate jednadžbe za izračunavanje modula kompresije dobiven je rezultat $M_{kII} = 7$ MPa.

$$M_k = (\Delta\sigma / \Delta s) \cdot D \quad (2.1)$$

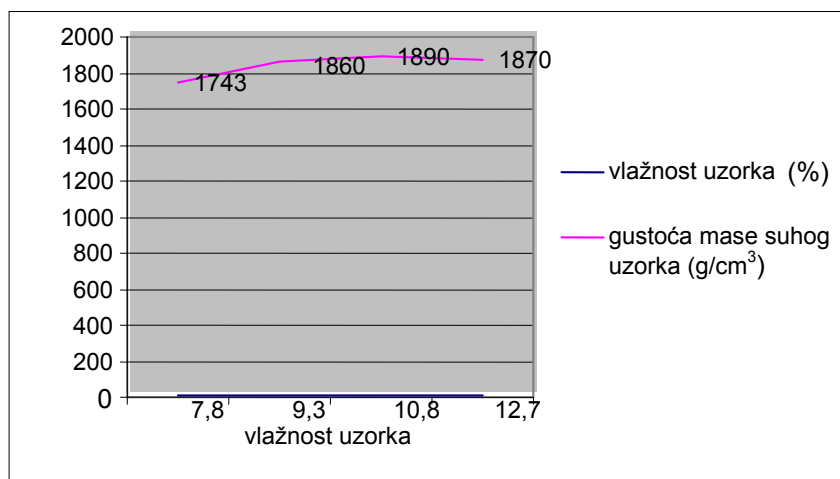
Isto je ispitivanje provedeno i na lokaciji I (deluvij) na dubini oko 80 cm. Vrijednosti modula kompresije u ovom slučaju je iznosila $M_{kIV} = 8$ MPa. Ove su vrijednosti dobivene mjerenjem očekivane s obzirom na AC klasifikaciju materijala. Po našim propisima, gdje su usvojeni kriteriji za ocjenu modula kompresije tla, možemo zaključiti da se radi o srednje stišljivom tlu, koje zadovoljava interval: $M_k = 5 - 10$ MPa za srednje stišljivo tlo.

Srednja vrijednost modula kompresije za ova dva uzorka je $M_{k,SR} = 7,5$ MPa, vrijednost kuta unutrašnjeg trenja $\varphi = 31^\circ$. Za uzorke glacijala s Prokoškog jezera procijenjen je modul kompresije na $M_k = 10$ MPa, a kut unutarnjeg trenja $\varphi = 29^\circ$.

Radi usporedbe prikazane su vrijednosti dobivene u riječnom aluviju, u samom središtu grada Mostara. Iz rezultata SPP slijedi da je relativna zbijenost šljunka u kategoriji "vrlo zbijen", te da su najmanje vrijednosti parametara posmične čvrstoće: $\varphi_{min} = 38^\circ$, $c = 0$ MPa a modul stišljivosti je procijenjen na $M_v = 75000$ kPa. Tlo pripada kategoriji malo stišljivog.

2.2 Proctorov opit

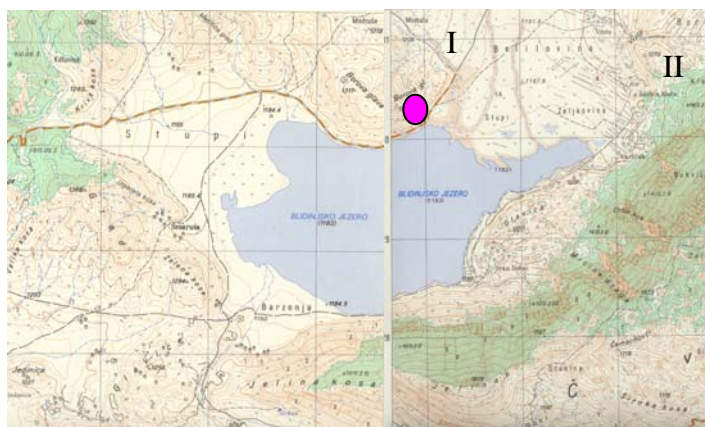
Ovaj postupak izvedene je laboratorijski na uzorku s lokacije II slika 2.2 (Blidinjsko jezero). Uzorak se slojevima ugrađivao u metalni kalup promjera 10,0 cm, visine 11,69 cm i nabijao maljem koji pada s visine od 30,5 cm za svaki sloj s 25 udaraca. Dobiveni rezultati su nanijeti na dijagram (slika 2.1) s kojeg je očitana vrijednost optimalne vlažnosti od 11% (moguća greška u rezultatu 2-3%). Optimalna vlažnost odgovara maksimalnoj zapreminskoj težini od $\gamma = 19$ kN/m³.



Slika 2.1: Dijagram određivanja optimalne vlažnosti

2.3 Geofizička ispitivanja

Ova su ispitivanja provedena u samoj blizini Blidinjskog jezera, a cilj ispitivanja primjenom metode električnog sondiranja, bio je određivanje električne otpornosti i debljine pojedinih električnih sredina. Električno sondiranje izvedeno je s polurazmakom strujnih elektroda $AB/2_{max} = 300$ m, što je omogućilo istraživanje do dubine najviše 100 m. Zona istraživanja dana je na slici 2.2 na tri geoelektrične sonde (S-1, S-2, S-3) međusobno udaljene oko 100 m.



Slika 2.2: Zona u kojoj je izvedeno geoelektrično sondiranje

Sredina 1 s vrijednošću SEO 135-334 Ω m, definirana je deluvijalnim sedimentima: barski i jezerski prah s drobinom i glinom. Veće vrijednosti SEO odgovaraju krupnozrnim frakcijama, a manje sitnozrnim. U okolici S-1, na dubini 2-4 m, je pretežito glinoviti materijal. Mogućnost infiltracije površinskih voda u podzemlje kroz ovu sredinu je moguća i to brže u

okolici S-2 i S-3, nego u S-1. debljina ove sredine je najviše 4 m, u okolini sonde S-1. Deluvij je relativno slabo vodopropusan.

Sredina 2 s vrijednostima SEO 597-4 818 Ω m, definira se morensko-glacijalnim sedimentima: nevezani i slabo vezani komadi vapnenca i dolomita izmješani su sa sitnom drobinom. Širok raspon SEO ukazuje na različitost krupnoće zrna sedimenta. Općenito, krupnoća zrna povećava se od S-1 do S-3. Dubina prostiranja ove sredine je najviše 35 m, u okolini sonde S-1. Morensko-glacijalni sedimenti su dobro vodopropusne naslage, međuzrnske poroznosti.

Sredine 3 i 4 s vrijednostima SEO 277-672 Ω m i 12957-23497 Ω m, definirane su sedimentima jure: više ili manje okršeni vapnenac ili dolomit. Manje vrijednosti SEO ukazuju na prisustvo veće okršenosti vapnenca s glinom i vlagom kao ispunom pukotina. Sredina 4 nije dovoljno definirana budući se slojevi protežu dublje od dubine ispitivanja.

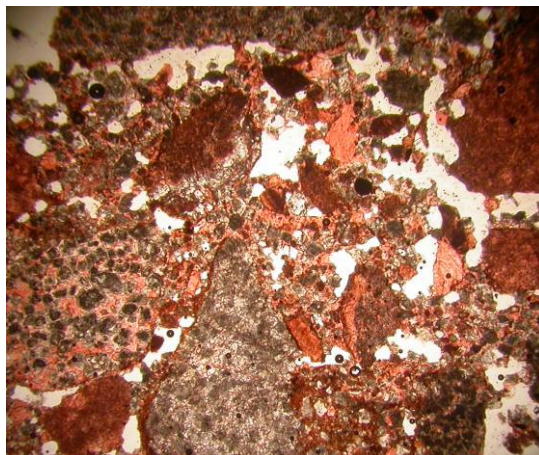
2.4 Petrografska analiza uzorka

Uzorak (26,5 m)



Slika 2.3: Ispitivani uzorak sa dubine od 26,5 m

Obrađeni uzorak petrografskom analizom uzet je iz istražne sonde na lokaciji S-1 sa dubine od 26,5 m. Makroskopski, uzorak je svijetle crvenkasto-smeđe boje i brečaste strukture. Na piljenoj površini uzorka vidljivo je poluuglasto do poluzaobljeno kršje (veličine presjeka 2 do 30 mm) i poluzaobljene do zaobljene valutice (veličine presjeka 2 do 25 mm) sive do smeđe boje, uloženi u crvenkasto-smeđe mineralno vezivo. Unutar veziva, odnosno između zrna, vidljive su nezapunjene pore i šupljine veličine presjeka do 9 mm a vezivo čini, u odnosu na kršje i valutice, oko 30 vol% uzorka (prema vizualnoj procjeni). Odnos kršja i valutica kreće se od 60:40 do 70:30 (slika 2.3 i slika 2.4).



Slika 2.4: Pogled na uzorak elektronskim mikroskopom

3. KOEFICIJENT OBLIKA ZRNA

S obzirom na opsežnu građu i na jako veliki broj činitelja bitnih za prepoznavanje prirodnih procesa u ovom radu naglasak je dan na istraživanje oblika i zaobljenosti zrna glacialnog i fluvioglacialnog materijala na već spomenutim lokacijama.

Granulometrijska raspodjela sedimenata je temeljna značajka u razumijevanju okoliša zemljine površine i bitna alatka u klasificiranju sedimentarnih okoliša. Granulometrijski podaci pružaju važne informacije o energiji i dinamici taložnih okoliša.

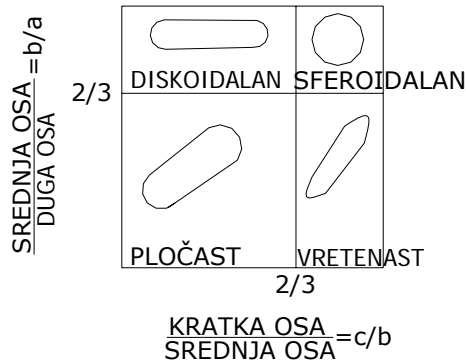
3.1 Oblik i zaobljenost

Već dugo su geolozi opčinjeni problemom izdvajanja geoloških informacija iz analize veličine zrna (granulometrijske analize) pijeska i šljunka. Stoga postoji brojna literatura o tehnikama i tumačenju veličine zrna nego o bilo kojem drugom aspektu teksture. Zasigurno nema znaka popuštanju stope publiciranja u ovom području. Premda je to jedan od najšire korištenih pojmova u sedimentologiji, "veličina" čestice nije jedinstveno definirana osim možda samo za najjednostavnije geometrijske predmete kao što su sfera (promjer) ili kocka (dužina ruba). Ali za nepravilne čestice kao zrna pijeska, veličina uobičajeno ovisi o metodi mjerenja, koja sa svoje strane ovisi o predmetu proučavanja.

Oblik i zaobljenost su osobine zrna koje imaju značaj za proučavanje učinka procesa prijenosa na talog isporučen od izvornog područja. Ove osobine otkrivaju promjenu uglatih zrna mnogih oblika putem abrazije, otapanja (solucije) i strujnog sortiranja. Zaobljenost osobito odražava povijest abrazije, koja pak ovisi o različitim geološkim kontrolama kao što su reljef, vrsta izvornih stijena, proces prijenosa, i mineralogija zrna.

Oblik se zrna odnosi na sve aspekte vanjske morfologije čestice, uključujući ukupnu formu (ekvidimenzionalnost ili sferičnost), zaobljenost (oštrinu rubova i kutova) i teksturu površine (grubost ili glatkoća u maloj razmjeri).

Neki se oblici zrna mogu opisati kvalitativno u smislu sličnosti s lako prepoznatljivim geometrijskim oblicima ili organskim analogijama, kao što su sfere, sferoidi, elipsoidi, diskoidi, oštrice i šipke. Međutim, takvi opisni termini su subjektivni i od male su pomoći kada zrnca nemaju jasno prepoznatljiv oblik. Kvantitativno opisivanje i statistička usporedba oblika populacija zrna se može postići samo korištenjem numeričkih parametara oblika. Godine 1935. Zingg je ustanovio da je moguće izdvojiti četiri osnovna oblika valutaka šljunka na osnovi odnosa njihovih osi. U obzir je uzeo odnos srednje prema dužoj osi (b/a) i kraće prema srednjoj osi (c/b) (slika 3.1) i na taj način dobio diskoidal, sferoidal, pločast i vretenast oblik zrna (slika 3.2).



Slika 3.1: Osnovni oblici valutaka šljunka prema Zinggu

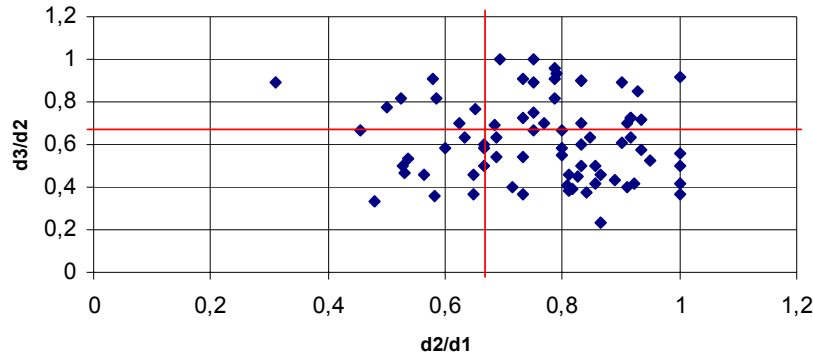
klasa	b/a	c/b	oblik
1	$>2/3$	$<2/3$	diskoidal
2	$>2/3$	$>2/3$	sferoidal
3	$<2/3$	$<2/3$	pločast
4	$<2/3$	$>2/3$	vretenast

Tablica 3.1: Određivanje oblika zrna prema Zinggu



pločast	vretenast	diskoidal	sferoidal
---------	-----------	-----------	-----------

Slika 3.2: Osnovni oblici valutaka glacijala uz Blidinjsko jezero



Slika 3.3: Prikaz oblika zrna prema Zinggu za uzorak glacijala

Slika 3.3 pokazuje najveći omjer zastupljenosti zrna vretenastog oblika na ispitanom uzorku, što je potvrda da ova zrna nisu prošla kroz više ciklusa sedimentacije.

4. VARIOGRAM KAO POSLJEDICA PROSTORNE KORELACIJE VARIJABLE

Koriste li se varijable o stijeni ili tlu bitno je upoznati njihova svojstva da bi se napravio pouzdan geološki / geotehnički model. 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 greške 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.

Variogram je osnovna geostatistička funkcija i posljedica je prostorne korelacije u polju varijable. Jasna i često vrlo jaka prostorna korelacija krije se u naoko kaotičnim rezultatima istraživanja. Variogram je kadar otkriti i definirati takvu korelaciju.

Prema definiciji, variogram je dijagram tzv. gama-funkcije i udaljenosti između parova. S korelogramom ga povezuju pojmovi koraka, tolerancije koraka i traženje parova, samo što se za takve parove ne računa koeficijent korelacije, već tzv. funkcija gama. Zato je lakše variogram pratiti u usporedbi s korelogramom.

Eksperimentalne vrijednosti variograma neke varijable računaju se prema jednadžbi:

$$g_{(i+h)} = 0,5 \frac{\sum (VARBA_i - VARBA_{(i+h)})^2}{n_{(i)}} \quad (4.1)$$

gdje su:

- i – redni broj koraka u variogramu
- h – korak variograma

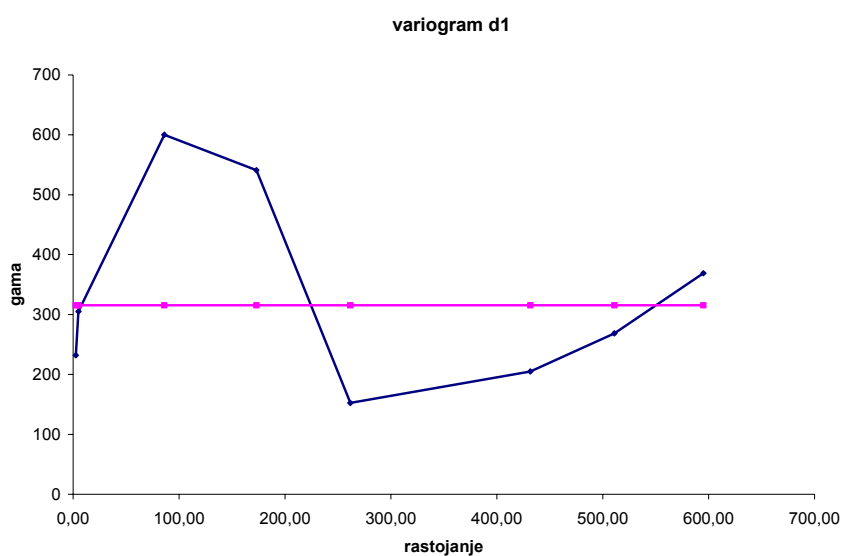
$g_{(i+h)}$ – vrijednost funkcije gama u i-tom koraku

$VARBA_i - VARBA_{(i+h)}$ – razlika vrijednosti varijable VARBA u točkama udaljenim i, i+h

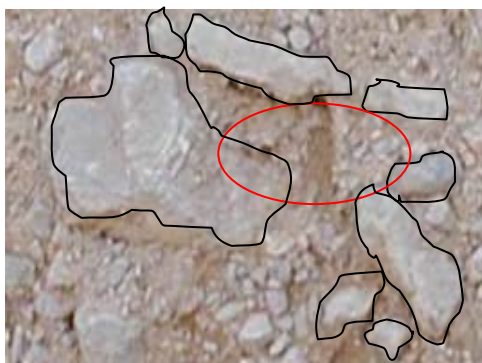
n_i – broj parova točaka u i-tom koraku

4.1 Primjena variograma u interpretaciji geomehaničke građe glacijala

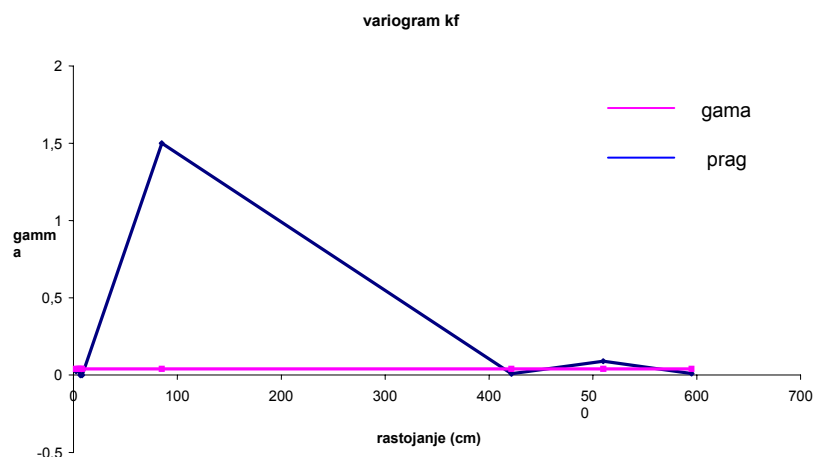
Variografska je analiza provedena na uzorcima tla iz istražne bušotine S-1 uzetih na svaki 75 cm izvađene jezgre.



Slika 4.1: Variogram u odnosu na veću dimenziju zrna



Slika 4.2: Orijentacija zrna u jezgri presjeka tla



Slika 4.3: Variogram u odnosu na koeficijent oblika zrna

Kada se načinio variogram istog rasporeda zrna u prostoru, i za varijablu odabrana opća forma zrna slika 4.3 umjesto jedne njegove dimenzije slika 4.2, dobila se slična variogramska forma, ali je debljina lokalne, umetnute strukture sada točno dva puta veća (4 m) slika 4.3. To je još jedna zanimljivost u građi ovoga materijala. Sve bi se moglo protumačiti činjenicom da se takve zone odlikuju, ne samo ujednačenijim zrnima po veličini od svoje okoline, već i drugačijom općom formom. Ujednačenost zrna održava se prosječno do dubine od 2 m, a zatečena forma zrna iz te zone još sljedeća dva metra.

Mogli bi govoriti o složenoj zonalnoj strukturi umetnutoj u fluvioglacijal blidinjske sinklinale, ili čak o dvije vrste takvih zona. Ako se takva zona smatra jedinstvenom tada ju je moguće podijeliti na dva dijela po visini.

U gornjoj zoni, prosječne debljine dva metra, održava se jednoličnija granulacija od one u okolini, koja je ujedno prosječno veća ili manja, ali i drugačija opća forma zrna. U donjem dijelu te lokalne strukture, opet prosječne debljine dva metra, gubi se ona ujednačenost veličine zrna, ali se zadržava njegova različita forma od okoline.

Cijela se lokalna struktura može tretirati i kao jedna struktura s dvije podstrukture. Treba napomenuti kako je lokalna struktura i podstrukture lećastog oblika, što se zna iz iskustva s drugim materijalima. U geomehaničkom smislu ovo su materijali s izraženom malom rezidualnom čvrstoćom u odnosu na početnu, što treba zahvaliti vrlo brzom popuštanju „zakačenih“ bridova pod opterećenjem.

LITERATURA

- [1] Prskalo, M., [2008], Doktorska disertacija, *Geomehaničke odlike blidinjske sinklinale u funkciji geološkog nastanka prostora*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, Mostar
- [2] Marjanović, Pero [1996], *Računalo i modeliranje u rudarstvu, geologiji i geotehnici s elementima teorije regionalizirane varijable*, Mostar
- [3] Marjanović, P., Prskalo M, Galić A., [2005], *Geološke, geomorfološke i geomehaničke odlike Parka prirode Blidinje*, Prvi međunarodni znanstveni simpozij Blidinje
- [4] Marjanović, P., Prskalo M, Galić A., [2006], *Glacijalni i fluvioglacijalni materijali u Bosni i Hercegovini*, PEMS Sarajevo
- [5] Prskalo, Maja [2003], *Zbirka riješenih zadataka iz Mehanike tla*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru
- [6] Bognar, A., Šimunović, V., [2005], *Geomorfološke značajke Parka prirode Blidinje*, Prvi međunarodni znanstveni simpozij Blidinje
- [7] Eldrett, James S. and others, [2007], *Nature, The International Weekly Journal of Science*, Vol.446, (www.nature.com/nature)
- [8] Grubić, Aleksandar, Obradović, Jelena, [1975], *Sedimentologija*, Građevinska knjiga Beograd
- [9] Hrvatović, Hazim., [1999], *Geološki vodič kroz Bosnu i Hercegovinu*, Zavod za geologiju, Sarajevo, No 16,20, 173,175
- [10] Hrvatović, H., [2007], *Ledena Bosna*, Okrugli stol "Glacijal Bosne i Hercegovine", Mostar
- [11] Knight, Jasper, [2000], *The geological conversation of glaciofluvial sand and gravel resources in N. Ireland : An Integrated approach using natural areas*, Universitet of Ulster, UK
- [12] Marjanac, T., Marjanac Lj., [2007], *Dinaridski model glacijacije*, Okrugli stol "Glacijal Bosne i Hercegovine" Mostar