

Analiza odminirane mase sijanjem i obradom slike

Branko Božić, Stjepan Strelec

Ključne riječi

*fragmentacija,
granulometrijski
dijagram, odminirana
stijenska masa,
računalni program,
sijanje, analiza slike*

B. Božić, S. Strelec

Stručni rad

Analiza odminirane mase sijanjem i obradom slike

U radu se analizira razlika dobivena pri određivanju granulometrijskog dijagrama odminirane stijenske mase metodom sijanja i obradom slike za situaciju kada se fragmenti međusobno preklapaju. Ukratko je opisana tehnička analiza sijanja i analize slike. Pokazano je da se računalnim programom GoldSize dobivaju bliski rezultati onima koji se dobivaju sijanjem te da se taj program može vrlo uspješno primijeniti za određivanje granulometrijskog dijagrama odminirane stijenske mase.

Key words

*fragmentation,
grain size distribution,
blasted rock mass,
computer program,
sieving,
image processing*

B. Božić, S. Strelec

Professional paper

Analysis of blasted mass by sieving and image processing

The difference obtained by determining grain size distribution diagram of the blasted rock mass by sieving method and by image processing, in situations when fragments are overlapping, is presented in the paper. The technical analysis of sieving and image processing is described in general terms. The authors demonstrate that results close to sieving results have been obtained by GoldSize program and that this program can successfully be used for determining grading of the blasted rock mass.

Mots clés

*fragmentation,
diagramme
granulométrique,
roche abattue,
logiciel, tamisage,
analyse de l'image*

B. Božić, S. Strelec

Ouvrage professionnel

Analyse de la roche abattue par tamisage et par traitement de l'image

L'article analyse la différence obtenue lors de la détermination du diagramme granulométrique de la roche abattue par la méthode de tamisage et de traitement de l'image pour la situation où les fragments se recouvrent. On décrit succinctement l'analyse technique de tamisage et de l'image. On montre que le logiciel GoldSize permet d'obtenir des résultats proches de ceux obtenus par tamisage et on conclut que ce logiciel peut être utilisé avec succès dans la détermination du diagramme granulométrique de la roche abattue.

Schlüsselworte:

*Fragmentierung,
Kornaufbaudiagramm,
abgesprengte
Gesteinsmasse,
Komputerprogramm,
Bildanalyse*

B. Božić, S. Strelec

Fachbericht

Analyse der abgesprengten Masse durch Sieben und Bildbearbeitung

Im Artikel analysiert man die Differenz die bei der Kornaufbaubestimmung der analysierten Gesteinsmasse nach dem Siebverfahren und der Bildbearbeitung auftritt im Fall dass sich die Fragmente gegenseitig überklappen. Kurz wird die technische Analyse des Siebens und die Bildanalyse beschrieben. Es wird gezeigt dass mit dem Computerprogramm GoldSize Ergebnisse erreicht werden die denen durch Sieben gewonnenen sehr nahe liegen, sowie dass man dieses Programm sehr erfolgreich für die Kornaufbaubestimmung der abgesprengten Gesteinsmasse anwenden kann.

Autori: Prof. dr. sc. **Branko Božić**, dipl. ing. geol.; mr. sc. **Stjepan Strelec**, dipl. ing. rud., Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet Varaždin, Hallerova aleja 7

1 Uvod

Veličina fragmenata vrlo je važna značajka fizikalnih svojstava u geologiji, rudarstvu, proizvodnji agregata i graditeljstvu. U rudarstvu, razdioba veličine fragmenata ne utječe samo na miniranje stijene, već na čitav slijed rudarskih operacija [1]. U proizvodnji drobljenih agregata, veličina fragmenata i njihova razdioba moraju odgovarati zahtjevima kupaca za proizvodnju betona, pri gradnji nevezanih cestovnih nosivih slojeva, izradi asfalta i tucanika željezničkih konstrukcija. U geologiji se veličina i razdioba veličine sedimenata primjenjuju u analiziranju i opisivanju lokalnih geoloških značajki.

Metode analize slike za mjerenje agregata, mogu se klasificirati kao jednodimenzionalne (1D), dvodimenzionalne ili trodimenzionalne (2D ili 3D). Metoda 1D je jednostavna (duljina ravne linije između dviju točaka) i gruba. Metoda 3D je složena i ovisi o specijalnoj opremi. Danas je najviše u uporabi metoda 2D s obzirom na njezinu točnost (u odnosu na 1D) i njezinu industrijsku primjenu (u usporedbi sa 3D). Analiza slike 2D za mjerenje agregata upotrebljuje se u laboratorijima (tamo gdje se rabila i još uvijek se rabi analiza sijanjem), u analizi miniranjem odminirane stijenske mase, za analizu agregata na transportnim trakama, za analizu veličine agregata na kamionima itd. Međutim, glavni problem u primjeni jest, kako postaviti standard za dobivanje razdiobe veličine fragmenata kad se rabi analiza slike. Standarda za analizu slike još uvijek nema, osim što se želi metodom 2D iz analize slike dobiti razdiobu veličine fragmenata koja se podudara s razdiobom u analizi sijanja. Zbog toga predložen je veliki broj metoda za pretvaranje razdiobe veličine 2D u razdiobu veličine kod sijanja [2, 3].

Općenito, u analizi slike 2D mjere se duljina, širina, površina i opseg fragmenata. Da bi ocijenili rezultat analize slike, većina istraživača direktno ili indirektno pretvara razdiobu veličine 2D u razdiobu veličine koja je u vezi s volumenom jer vjeruju u tradicionalnu metodu analize sijanja. Analiza rezultata sijanja manjim se dijelom razlikuje od rezultata analize slike.

2 Analiza sijanja

Od velike je važnosti da metode analize veličine fragmenata budu točne i pouzdane. Na osnovi laboratorijskih pokusa sijanja i dobivenih rezultata mogu se poduzeti određene korekcije i što se tiče određivanja veličina miniranja (za dobivanje željene fragmentacije odminirane mase) i što se tiče prilagođavanja otvora na drobilici i sita u radu drobilinih postrojenja.

Pokusno sijanje jest najraširenija metoda za analizu veličine fragmenata. Ono pokriva široko područje veličina fragmenata od 10 do 100.000 mikrona. Sijanje je jedna od najstarijih metoda analize veličine, a izvodi se prola-

zom poznate količine materijala uzorka kroz sve sitnija sita i vaganjem materijala koji ostaje na situ. Tako se izračunava postotak pojedinačnih veličina fragmenata. Pokusna sita izrađuju se sa standardnim veličinama otvora, koje su predstavljene nominalnim središnjim razmakom nasuprotnih stranica kod kvadratnih ili pravokutnih otvora ili promjerom kružnog otvora.

Materijal koji treba ispitati polaže se na najviše, najgrublje sito. Ono se nakon toga postavlja u vibracijsko sito – tresilicu, koja vibrira materijal u vertikalnoj ravnini, a kod nekih modela u horizontalnoj. Nakon određenog vremena vibriranja ono se rastavlja, a količine materijala koje su se zadržale na pojedinim sitima se važu.

Rešetkasto sito ima zadaću da zadrži fragmente koji su veći od otvora na rešetki, dakle preveliki da bi mogli proći kroz otvore (nadzrna ili nadveličine), da propusti sve fragmente koji su dovoljno mali da mogu propasti kroz otvor (podzrna ili podveličine). Na taj su način razdvojeni fragmenti koji ostaju od fragmenata koji prolaze [4].

Čestice agregata često imaju nepravilan oblik. Sijanje klasificira čestice na osnovi najmanje površine njihovih presjeka. Metoda mjerenja osniva se na pretpostavci da su konstitutivne čestice kugle ili da se provedeno mjerenje može izraziti kao promjeri ekvivalentnih kugli. Ako ovi uvjeti nisu ispunjeni, onda navedene veličine neće biti potpuno ispravne.

Budući da se u analizi sijanja rabe tek vrlo male količine materijala, bitno je da uzorak bude reprezentativan, a jednaku pozornost treba obratiti i uzimanju uzoraka za slikovnu analizu veličine fragmenata.

3 Program GoldSize

GoldSize je program kojim se može odrediti granulacija odminiranog materijala prikazanog na fotografijama [5]. Određivanje veličine granula (fragmenata) jest zapravo procjena skupine fragmenata stijenske mase. Da bi to bilo moguće potrebno je fotografirati skup fragmenata, načiniti fotografije i prebaciti slike pojedinih elemenata skupa s fotografije u "veličinu" koja u kombinaciji s drugim veličinama fragmenata s iste fotografije tvori jedan uzorak veličine distribucije od ukupne granulacije. Na taj način svaka fotografija osigurava jedan uzorak veličine distribucije dijela odminirane stijenske mase.

Postoje dva posebna postupka pri fotografskom određivanju veličine fragmenata s pomoću programa GoldSizea:

- distribucija uzoraka dobivena je za snimljene fragmente na slici
- distribucija uzoraka s više slika dobivena je njihovom kombinacijom.

Procjena veličine distribucije fragmenata s jedne slike osnova su za mogućnost određivanja veličine fragmenata na fotografiji i brojenje fragmenata u svakoj od veličina koja predstavlja distribuciju. Postupak obuhvaća određivanje rubova fragmenata, skaliranje koordinata fotografije na realne koordinate, odabir veličine rezultirajućeg poligona i na kraju zbrajanje dobivenih veličina.

Kombinatorika distribucije uzoraka jest složena i zahtijeva brojne restriktivne pretpostavke. Umjesto toga, program GoldSize koristi se numeričkom simulacijom i tehnikom traženja za određivanje populacijske veličine distribucije. Numerička je simulacija uporabljiva metoda koja omogućuje različite podgrupe veličina distribucije (npr. Rosin-Rammlerova ili Log-normal). Simulacija omogućuje jednostavnu metodu za kombiniranje bilo kojeg broja fotografija uz toleriranje standardne pogreške, a koje se mogu statistički izračunati.

S pomoću analize fotografije možemo procijeniti veličinu neke površine, ali ništa više. Međutim, ako imamo više fotografija minimalizira se pogreška uzorka, pretpostavlja se pravi trodimenzionalni oblik objekta, a preklapanjem fotografije reducira se lokalni utjecaj koji može utjecati na točnost mjerenja.

Program GoldSize je sredstvo s pomoću kojeg procjenjujemo veličinu distribucije objekta na slici (fotografiji). Slika se pohranjuje u slikovne datoteke na disku. Tada se svaka slika mjeri, određuje rub svake čestice i na kraju se svi izmjereni i digitalizirani elementi uvrštavaju u ukupnu veličinu distribucije.

Neka su područja, kao što su fine korekcije procijenjenoga najsitnijeg materijala, posebno određena u granulometrijskoj analizi. Također i veličine, za koje nemamo podatke, empirijski se prilagođuju dobivenom rezultatu.

Sam postupak određivanja veličine fragmenata podijeljen je u tri koraka:

- digitalizacija objekta najzahtjevniji je dio postupka jer se izvodi ručno, a označavaju se samo fragmenti s pomoću miša
- mjerenje povezuje donji i gornji dio slike s bližim i daljim dijelom hrpe materijala na slici, uz pretpostavku da svi objekti pripadaju ravnini
- veličine fragmenata proračunavaju se na temelju njihovih širina, zbog toga što je to u najbližoj korelaciji s prosijanim fragmentima.

Označivanjem rubova fragmenata u slikovnoj datoteci formira se digitalizirana datoteka koja sadrži konture svih značajnih čestica i mjerilo za sliku. Mjerilo za sliku može se prilagoditi u bilo kojem koraku.

Dvije vrste datoteka (zapisa) podržavaju GoldSize, jedna je slikovna, a druga digitalizirana.

Svaka slikovna datoteka ima odgovarajući digitalizirani zapis što predstavlja jedan uzorak. Podaci su pohranjeni u grupnoj datoteci, nazvanoj tako da bismo razlikovali skupine slika koje predstavljaju različite uvjete fragmentacije.

Rezultati procjena veličine fragmenata pohranjeni su u datoteci veličina. Postoji samo jedna datoteka veličina za svaku grupu datoteka, a dvije datoteke veličina predstavljaju GoldSize projekt.

Odnosi između ovih četiriju vrsta datoteka omogućuju dobivanje jednog rezultata iz mnogo uzoraka. Svaki uzorak ima neobrađen (slika) i obrađen (digitalizirani) oblik, a analiza je kontrolirana projektom koji sadrži popis uzoraka (grupa) i daje jedinstveni rezultat (veličinu).

4 Razlika između analize sisanjem i analize slike

Ako gledamo fragment kojem je najdulja dimenzija označena sa a , širina sa b i treća (najmanja) dimenzija sa c , kad miruje na ravnini, on će nastojati zauzeti takav položaj da mu dvije dimenzije a i b budu paralelne s ravninom i da mu najmanja dimenzija c bude vertikalna. U takvom položaju slike može se mjeriti a i b , ali ne može c . Pri prosijavanju nekog fragmenta - uz uvjet da ga dovoljno vibriramo - otvor kroz koji će fragment proći bit će određen sa b i oblikom fragmenta.

Za pravokutni otvor $D_1 \times D_2$, [6], eksperimentalno i teorijski pokazalo se da će čestica eliptičnog presjeka s poluosima b i c proći kroz otvor ako bude ispunjen uvjet:

$$(2b)^2 + (2c)^2 \leq D_1^2 + D_2^2$$

Za kvadratni se otvor D jednadžba svodi na oblik:

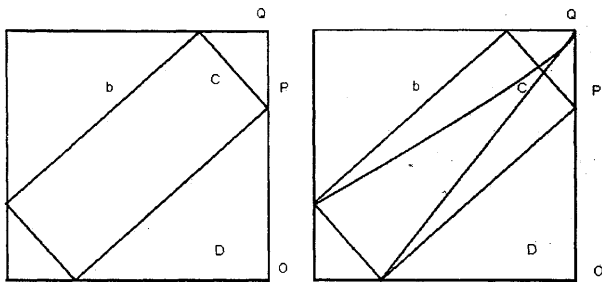
$$D \geq (2b^2 + 2c^2)^{0,5}$$

U rudarstvu i u industriji kamena oblik fragmenata je uglavnom trapezoidan.

Za katalogiziranje veličine i oblika fragmenata često se rabi pravokutnik koji je opisan oko fragmenta. Za kvadratni otvor D i čestice pravokutnog oblika, ako je $b > D$, slika 1., imamo $D = |OP| + |PQ|$ i dobivamo maksimalnu veličinu otvora za fragment koji prolazi kroz sito:

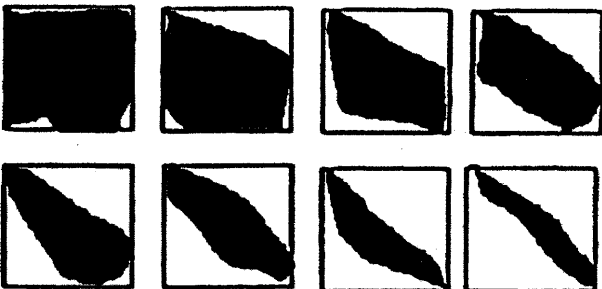
$$D \geq \frac{(b+c)}{\sqrt{2}}$$

Za prolazanje fragmenta koji ima oblik trokuta ili trapezoida može se dobiti slična formula [7]. Veličina otvora na situ definirat će veličinu fragmenta na osnovi dviju manjih dimenzija. Na slici 1. vide se čestice pravokutnog oblika i oblika trokuta, u tom slučaju kada je format sisanja kvadratičan, a veličina otvora na situ je D , veličina sisanja fragmenta varira od D do $\sqrt{2D}$.



Slika 1. Čestice pravokutnog oblika i oblika trokuta

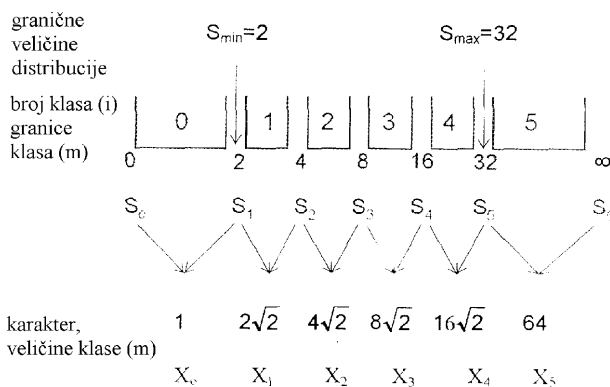
Ova varijacija uglavnom ovisi o maksimalnoj širini i o obliku čestice. Na slici 2. vide se različite čestice agregata koje mogu proći kroz isti kvadratni otvor



Slika 2. Različite čestice agregata koje mogu proći kroz isti kvadratni otvor

Za razliku od sijanja gdje imamo sita različitih dimenzija otvora na kojima dolazi do odvajanja određenih klasa stijenske mase, pri analizi slike za određivanje razdiobe veličine fragmenata potrebno je na slici označiti rubove fragmenata.

Za određivanje veličine fragmenata analizom slike treba izvršiti konverziju bipmapirane fotografije (BMP) u digitalizirani oblik koji omogućava praktičnu primjenu, odnosno konverziju u realne koordinate i time omogućuje postupak određivanja veličine fragmenata na slici. Da bi se moglo raditi s populacijom fragmenata, pojedinim fragmentima dodjeljuje se područje veličina koje je poznato pod imenom klasa koju karakterizira gornja i donja granična veličina. Na slici 3. shematski je prikaz definicije klasa koji primjenjuje program GoldSize (broj klasa 6).



Slika 3. Shematski prikaz razdiobe veličina šest klasa

Veličine klasa osnivaju se na geometrijskom mjerilu tako da je između dviju graničnih veličina definiran određeni broj klasa. Nula i beskonačnost uvijek su definirani kako bi se mogli obuhvatiti i oni fragmenti čije veličine leže izvan definiranih granica.

Za izračunavanje veličina pojedinih klasa primjenjuje se jednadžbe [8]:

$$G_s = \left(\frac{S_{max}}{S_{min}} \right) \times \left(\frac{1}{N-2} \right)$$

gdje su :

G_s - interval geometrijske veličine

S_{max} - maksimalna veličina

S_{min} - minimalna veličina, $S_0 = 0, S_1 = S_{min}$

N - broj klasa.

Ako se u jednadžbu uvrste vrijednosti $S_0 = 0, S_1 = S_{min}$ dobivamo :

$$S_i = S_{i-1} \cdot G_s$$

odnosno:

$$S_{N-1} = S_{N-2} \cdot G_s = S_{max}$$

gdje su:

G_s - interval geometrijske veličine

S_{max} - maksimalna veličina

N - broj klasa,

S_i - i-ta veličina,

i - broj klasa.

Karakteristične veličine pojedinih klasa prema slici 3. dobivamo iz sljedećih izraza:

$$X_0 = \frac{1}{2} (S_0 + S_1)$$

$$X_i = \sqrt{S_i} \cdot S_{i+1}$$

$$X_{N-1} = S_{N-1} \cdot G_s$$

gdje je:

X_i - karakteristična veličina klase.

Fragment stijene određene veličine mora se dodijeliti odgovarajućoj klasi. Budući da veličine odgovaraju veličinama sita, mora se kalibrirati ponašanje fragmenata stijene pri sijanju. GoldSize to postiže variranjem faktora za korekciju prosijavanja prema sljedećem izrazu:

$$X_e = X \cdot F_s$$

$i = 0$ kada je $X_e < S_1$

$$i = \frac{\ln(X_e) - \ln(S_{min})}{\ln(G_s)} \quad \text{kada je } S_1 \leq X_e < S_{N-1}$$

$i = N - 1$ kada je $S_{N-1} \leq X_e$

gdje su:

X - veličina koja se dodjeljuje klasi

X_e - efektivna veličina za dodjelu klasi

F_s - faktor korekcije sijanja koji uzima u obzir greške u procesu sijanja.

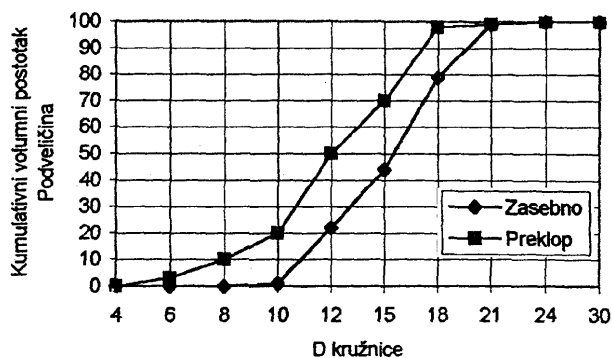
Volumen materijala (V_i) u svakoj klasi treba ispravno izračunati uz pretpostavku za sljedeći odnos:

$$V_i = X_i^p$$

gdje je p faktor oblika fragmenta. Član s eksponentom jest empirijska vrijednost koja se kalibrira prema fragmentaciji. Najčešća vrijednost dobivena eksperimentalnim putem pri sijanju većeg broja uzoraka odminirane mase kreće se oko vrijednosti 2,2 [8].

5 Razlika između analize sijanja i analize slike u situaciji "preklapanja"

Razlika između analize sijanja i analize slike u situaciji preklapanja općenito je prikazana na slici 4. [9]. Analiza slike ima tendenciju umanjivanja.



Slika 4. Različite veličine istog materijala između preklapljenih i odvojenih čestica

Za ovu tendenciju "umanjivanja" postoji više razloga. Jedan od glavnih razloga može biti preklapanje. Faktori koji čine uzrok problemu "umanjivanja" mogu biti:

- pogreška sustava za uzimanje slike (kamera ili fotografski aparat)
- kvaliteta materijala agregata i
- radna sposobnost softvera (algoritam ili program).

Pogrešci sustava za uzimanje slike pripadaju: uvjeti osvjetljenja, položaj kamere ili fotografskog aparata i kvaliteta. Zbog slabog osvjetljenja može doći do gubitka pojedinih dijelova čestice. Dobar položaj znači da je rezolucija slike konstantna po određenom području. Kvaliteta kamere ili fotografskog aparata znači da je kamera zaštićena od prašine, kiše, temperature itd.

Kvaliteti agregata uglavnom pripadaju: varijacija boje površine čestice, stupanj preklapanja koji stoji u određenom odnosu s razdiobom veličine čestice i trodimenzionalnim geometrijskim svojstvima čestica. Velika varijacija boje (siva vrijednost) može biti uzrokom problema presegmentacije. U razdiobi veličine, što je područje veličina uže, to je stupanj preklapanja veći. Složena trodimenzionalna geometrija i hrapavost na površini čestica također stvaraju problem presegmentacije.

Radna sposobnost softvera (algoritma ili programa) sadrži uglavnom segmentaciju, račun veličine i algoritme za pretvorbu. Radna sposobnost segmentacije trebala bi u idealnom slučaju odgovarati sposobnosti čovječjeg oka. Računanje veličine i postupci pretvorbe moraju biti ispravni.

Ako ukupnu pogrešku označimo sa E (sustavna pogreška) koja je uzrok problemu tendencije umanjivanja, E možemo opisati:

$$E = E_{kamera} + E_{materijal} + E_{program} + E_{drugo}$$

Težina svake pogreške u jednadžbi ovisi o aplikaciji.

Općenito, pogreške u kameri (E_{kamera}) i druge (E_{drugo}), kao i tehniku snimanja uzoraka, treba provjeravati i smanjiti na najnižu moguću mjeru.

Pogreška se može opisati :

$$E_{materijal} = E_r + E_e + E_o + E_d + E_c + E_w + E_f + E_b$$

Pojedine pogreške su sljedeće:

- r - hrapavost i geometrija površine čestice
- e - čestice na rubovima okvira slike
- o - stupanj preklapanja (prekrivanja)
- d - razdioba veličine ili varijacija područja
- c - varijacija boje između čestica i/ili na jednoj čestici
- w - mokri materijal također utječe na rezultate
- f - količina sitnog materijala
- b - boja pozadine u usporedbi s bojom čestice.

Osnovna je pogreška što se čestica čini manjom nego što zapravo jest. S obzirom na tu i ostale pogreške jedino što se može učiniti jest pokušati da se totalna pogreška drži što konstantnijom u određenoj primjeni.

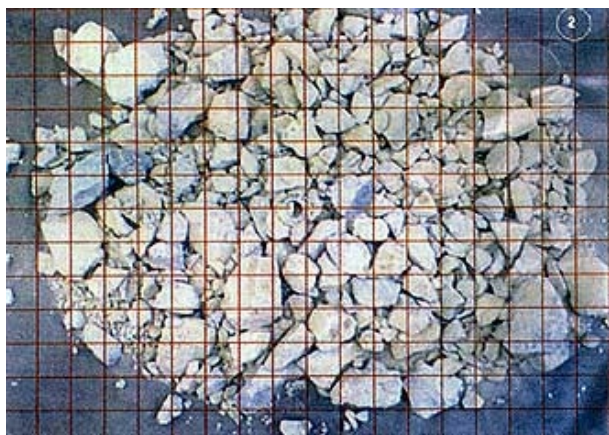
6 Primjer iz prakse

Reprezentativni uzorci odminirane stijenske mase iz kamenoloma dolomita Očura ispitani su u laboratoriju IGH Varaždin. Podaci o sijanju prikazani su u tablici 1. dok je granulometrijski dijagram prikazan na slici 10.

Tablica 1. Podaci o sijanju

Otvor sita [mm]	IGH			GoldSize
	ostatak na situ [g]	ostatak na situ [%]	kumulativno	kumulativno
95,00	0,0	0,00	100,00	100,00
63,00	11295,0	21,50	78,50	77,00
45,00	11239,0	21,40	57,10	55,00
31,50	10280,0	19,57	37,53	31,00
22,40	8108,0	15,44	22,09	17,00
16,00	4041,0	7,69	14,40	8,53
11,20	2373,0	4,52	9,88	5,50
8,00	1425,0	2,71	7,17	4,80
4,00	1624,0	3,09	4,07	4,10
2,00	607,0	1,16	2,92	3,07
1,00	356,0	0,68	2,24	1,50
0,71	154,0	0,29	1,95	1,40
0,50	74,0	0,14	1,81	1,20
0,25	303,0	0,58	1,23	1,00
0,125	251,0	0,48	0,75	0,80
0,100	395,0	0,75	0,00	0,00
Ukupno	52525,0	100,00		

U istoj odminiranoj stijenskoj masi izvršeno je slikanje i izrađene su fotografije. Na slici 5. prikazana je jedna od fotografija odminirane mase. Pri slikanju stavlja se na odminiranu stijensku masu tijelo poznate veličine, prema kojoj računalni program mjeri ostale veličine. Na slici 6. mogu se vidjeti fragmenti stijena koji su ručno okruženi s pomoću miša. Označivanjem rubova fragmenata u slikovnoj datoteci stvaramo digitaliziranu datoteku koja sadrži obrise svih značajnih čestica i mjerilo za sliku. Mjerilo za sliku može se prilagoditi. Na slici 7. su digitalizirani fragmenti stijena. GoldSize omogućava prikaz realnog mjerila za sve digitalizirane fragmente stijene. To se može uporabiti za provjeru relativne stvarne veličine svih fragmenata na slici. Također pokazuje definiciju u veličini fragmenata s pomoću ocrtanih kvadrata oko svakoga skaliranog fragmenta. Širina kvadrata za određuje veličine fragmenta zbog toga jer je u najbližoj relaciji sa standardnim otvorom sita.



Slika 5. Odminirani fragmenti materijala

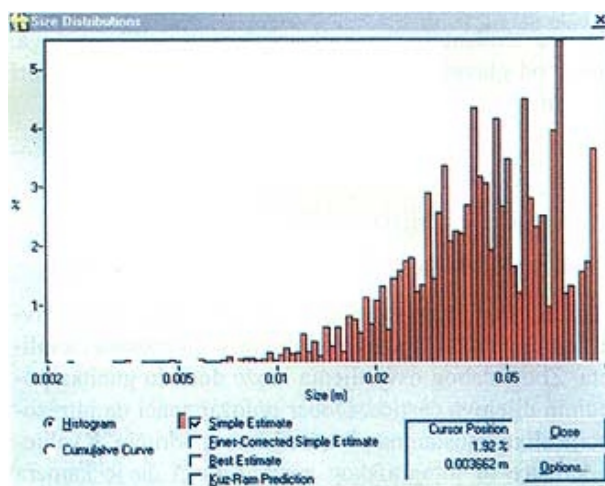


Slika 6. Fragmenti stijenske mase kojima su s pomoću miša označeni rubovi

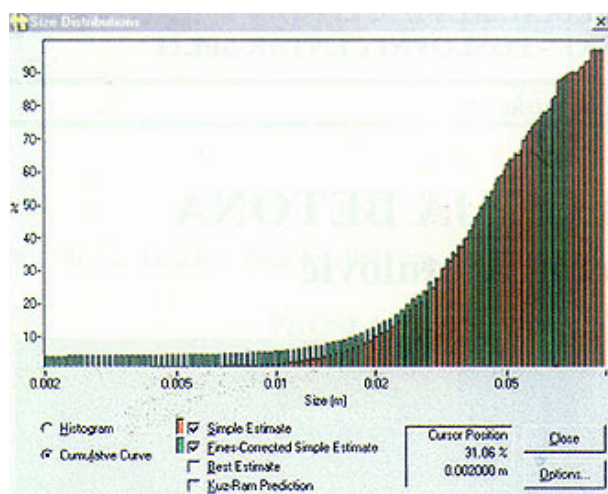


Slika 7. Digitalizirana slika fragmenata stijena

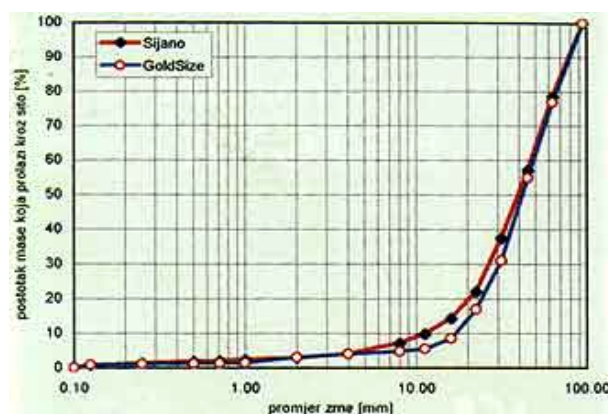
Pošto smo digitalizirali označene fragmente stijena, program GoldSize računa i prikazuje razne dijagrame i histograme. Tako možemo odrediti histogram zastupljenosti pojedinih fragmenata kao što je prikazano na slici 8.



Slika 8. Histogram zastupljenosti pojedinih fragmenata



Slika 9. Kumulativni dijagram s korekcijom za sitnu frakciju



Slika 10. Granulometrijski dijagram određen metodom sijanjanja i metodom analize slike

IZVORI

- [1] Božić, B.: *Miniranje u rudarstvu, graditeljstvu i geotehnici*, Sveučilište u Zagrebu. Geotehnički fakultet Varaždin, 1998.
- [2] Hunter, G. C.; McDermott, C.; Miles, N. J.; Sing, A. & Scoble, M. J.: *A review of image analysis techniques for measuring blast fragmentation*, Mining Science and Technology, 19.-36., 1990.
- [3] Rholl, S. A.; Grannes, S. G. & Stagg, M. S.: *Photographic assessment of the fragmentation of rock quarry muckpiles*, 4th International symp. on Rock Fragmentation by Blasting, 501.-506., 1993.
- [4] Charles, B. G.: *Materials Benefaction*, Springer-Verlag., 43.-81. NewYork, 1991.
- [5] *GoldSize-računalni program*
- [6] Nakajama, Y.; Whiten, W. J. & White, M. E.: *Method for measurement of particule -shape distribution by sieves*, Trans. Inst. Min. Metall., Sect. C, Mineral Proc. and Extractive Metall. 1. 193.-203. 1978.
- [7] Wang, W. X.: *Automatic Image Analysis of Aggregates from A Moving Conveyer Belt. Licentiate Thesis*, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. 1995.
- [8] Kleine, T. H.: *Blast fragmentation measurement using GoldSize*, Franklin & Katsabanis (eds), Balkema, Rotterdam. 1996.
- [9] Rholl, S. A.; Grannes, S. G. & Stagg, M. S.: *Photographic assessment of the fragmentation of rock quarry muckpiles*, 4th International symp. on Rock Fragmentation by Blasting. 501.-506. 1993.

Kumulativni dijagram s korekcijom za sitnu fragmentaciju prikazan je na slici 9., a podaci su kumulativno prikazani i u tablici 1.

Na slici 10. prikazani su granulometrijski dijagrami za odminiranu stijensku masu dolomita u kamenolomu Očura dobiveni metodom sijanjanja i metodom analize slike.

Iz granulometrijskog dijagrama može se vidjeti da je razlika između dijagrama sijanjanjem i dijagrama određenog metodom analize slike vrlo mala.

7 Zaključak

Izloženi računalni program GoldSize praktičan je za brzo određivanje granulometrijskog sastava odminirane stijenske mase. Rezultati dobiveni analizom slike vrlo su bliski rezultatima dobivenim metodom sijanjanja.

U radu se daje kratki opis tehnike analize sijanjanja i analize slike te teorijske analize mogućih razlika u dobivenim podacima između analize sijanjanja i analize slike.

Razmatrane su pogreške koje mogu nastati primjenom analize slike u široj industriji. U odnosu prema analizi sijanjanjem analiza slike ima tendenciju umanjivanja, čemu nije uzrok samo "preklapanje čestica". Uzrok ovom problemu mogu biti pogreške u različitim aspektima, na primjer sustavu za uzimanje slike, tipu stijene, softveru koji se primjenjuje za procesuiranje slike i drugim pogreškama. Pozornost treba obratiti pri snimanju fotografija kako bi one predstavljale stvarnu fragmentaciju odminirane mase. Potvrđeno je da se računalni program GoldSize može vrlo uspješno rabi za određivanje granulometrijskog dijagrama odminirane stijenske mase.