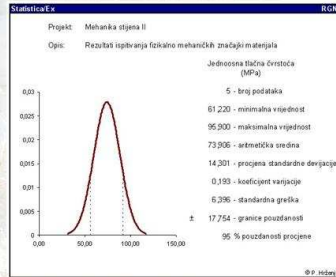


### 3. Obrada i prikaz rezultata provedenih istraživanja

- Rezultati geoloških i inženjerskogeoloških istraživanja
- Rezultati ispitivanja fizikalno-mehaničkih značajki intaktnog materijala
- Rezultati snimanja podataka strukturnih značajki



### Rezultati geoloških i inženjerskogeoloških istraživanja

- Geološke i inženjerskogeološke karte
  - Rasprostiranje naslaga s utvrđenim geološkim kontaktima i granicama između stijena različitog tipa te izdvojenim značajnim litostratigrafskim članovima
  - Prikaz elemenata primarnih i sekundarnih struktura, značajnih pojedinačnih pukotina, rasjeda i rasjednih zona te ostalih značajki
- Prognozni geološki i inženjerskogeološki profili
- Prikaz pozicija ostalih istražnih radova
  - Istražni raskopi
  - Istražne bušotine

### Najčešće određivane fizikalno-mehaničke značajke intaktnog materijala

- Gustoća, poroznost i vlažnost
- Jednoosna tlačna i vlačna čvrstoća
- Deformabilnost materijala
  - Youngov modul elastičnosti
  - Poissonov koeficijent (omjer)
- Čvrstoća u troosnom stanju naprezanja
- Posmična čvrstoća
- Ostale značajke
  - Brzine prolaza elastičnih valova
  - Dinamičke konstante elastičnosti
  - Tvrdća i žilavost

## Obrada i prikaz rezultata ispitivanja fizikalno-mehaničkih značajki intaktnog materijala

- Obrada i prikaz rezultata ispitivanja osnovnih fizikalno-mehaničkih značajki (gustoća, poroznost, jednoosna tlačna i vlačna čvrstoća, Youngov modul elastičnosti, Poissonov koeficijent, dinamičke konstante i sl.)
- Obrada i prikaz rezultata troosnih ispitivanja
  - Mohr-Coulombov kriterij čvrstoće
  - Hoek-Brownov kriterij čvrstoće
- Obrada i prikaz rezultata ispitivanja posmične čvrstoće
  - Coulombov kriterij čvrstoće

## Obrada i prikaz rezultata ispitivanja osnovnih fizikalno-mehaničkih značajki

- Aritmetička sredina (prosjeak)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

- Standardna devijacija podataka

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- Procjena standardne devijacije osnovnog skupa (utvrđivane značajke)

$$s_0 = \sigma \sqrt{\frac{n}{n-1}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

## Obrada i prikaz rezultata ispitivanja osnovnih fizikalno-mehaničkih značajki

- Koeficijent varijacije

$$v = \frac{s_0}{\bar{x}}$$

- Rasipanje podataka osnovnog skupa

- 68,27 % -  $\bar{x} \pm 1s_0$
- 95,45 % -  $\bar{x} \pm 2s_0$     99,73 % -  $\bar{x} \pm 3s_0$

- Standardna greška

$$s_{\bar{x}} = \frac{s_0}{\sqrt{n}}$$

## Obrada i prikaz rezultata ispitivanja osnovnih fizikalno-mehaničkih značajki

- Procjena očekivane vrijednosti u intervalu pouzdanosti

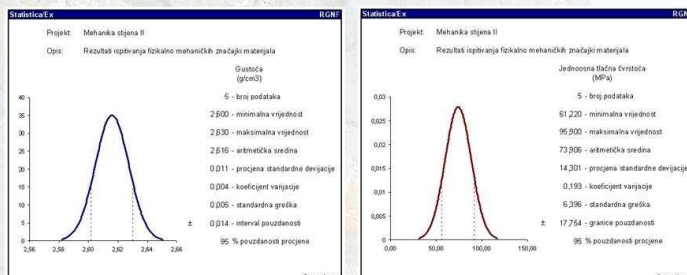
$$\bar{x} - g \cdot s_x < \mu < \bar{x} + g \cdot s_x \quad g = 1 \rightarrow 68,27 \%, \quad g = 2 \rightarrow 95,45 \%$$

- Interval pouzdanosti, koji je određen standardnom greškom i granicama pouzdanosti uz zadanu pouzdanost procjene, ovisi i o vrsti raspodjele (distribucije) podataka osnovnog skupa
- Podaci ispitivanja osnovnih značajki najčešće su distribuirani prema normalnoj (Gaussovoj) raspodjeli
- Određivanje granica pouzdanosti prema normalnoj raspodjeli vrijedi za rezultat s više od 30 podataka
- Za manji broj podataka, granice pouzdanosti određuju se prema T-raspodjeli

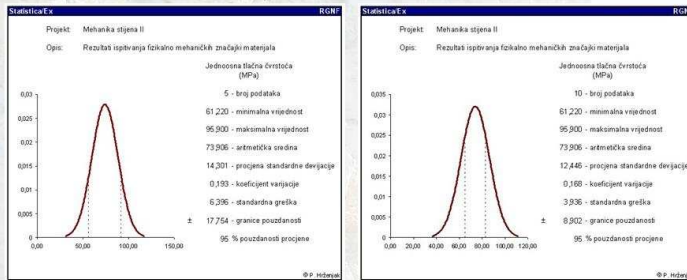
## Primjer rezultata ispitivanja osnovnih fizikalno-mehaničkih značajki

Oznaka uzorka i bušotine	Interval dubine (m)	Gustoća (g/cm <sup>3</sup> )	Jedno. čvrstoća (MPa)	Modul deforma. (GPa)
08 0941J GB-3	9,80-9,95	2,61	77,68	21,09
08 0944J GB-3	21,20-21,40	2,62	73,43	22,37
08 0947J GB-3	36,40-36,60	2,60	61,30	22,46
08 0951J GB-7	12,00-12,20	2,62	95,90	23,70
08 0953J GB-7	18,70-18,90	2,63	61,22	29,72
Aritmetička sredina $\bar{x}$		2,616	73,906	23,868
Standardna devijacija $s_0$		0,011	14,301	3,399
Koficijent varijacije $v$		0,004	0,193	0,142
Standardna greška $s_x$		0,005	6,396	1,520
Interval 95 % pouzdanosti $\bar{x} \pm$		0,014	17,754	4,222

## Primjer obrade i usporedbe rezultata ispitivanja dviju različitih značajki



## Primjer obrade i usporedbe rezultata ispitivanja iste značajke



## Obrada i prikaz rezultata troosnih ispitivanja Mohr-Coulombovim kriterijem čvrstoće

- Mohr-Coulombov kriterij čvrstoće izražen u  $\sigma_3 - \sigma_1$  dijagramu

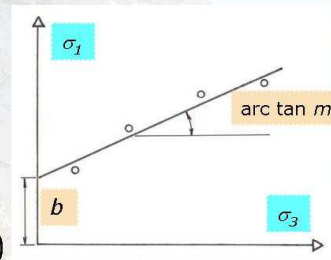
- Izračun veličina  $b$  i  $m$  linearnog kriterija čvrstoće

$$m = \frac{(\sum y_i \cdot \sum x_i) - (\sum x_i y_i \cdot n)}{(\sum x_i)^2 - (\sum x_i^2 \cdot n)}$$

$$b = \frac{(\sum x_i \cdot \sum x_i y_i) - (\sum y_i \cdot \sum x_i^2)}{(\sum x_i)^2 - (\sum x_i^2 \cdot n)}$$

- Izračun vrijednosti kuta unutarnjeg trenja i kohezije

$$\varphi = \arcsin \frac{m-1}{m+1} \quad c = b \frac{1 - \sin \varphi}{2 \cos \varphi}$$



## Obrada i prikaz rezultata troosnih ispitivanja Hoek-Brownovim kriterijem čvrstoće

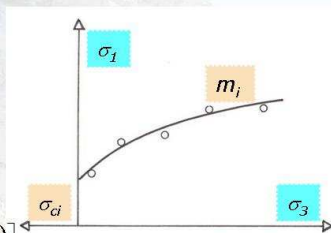
- Hoek-Brownov kriterij čvrstoće izražen u  $\sigma_3 - \sigma_1$  dijagramu

- Izračun veličina  $\sigma_{ci}$  i  $m_i$  nelinearnog kriterija čvrstoće

$$x_i = \sigma_3 \quad y_i = (\sigma_1 - \sigma_3)^2$$

$$m_i = \frac{1}{\sigma_{ci}} \left[ \frac{\sum x_i y_i - (\sum x_i \sum y_i / n)}{\sum x_i^2 - (\sum x_i^2 / n)} \right]$$

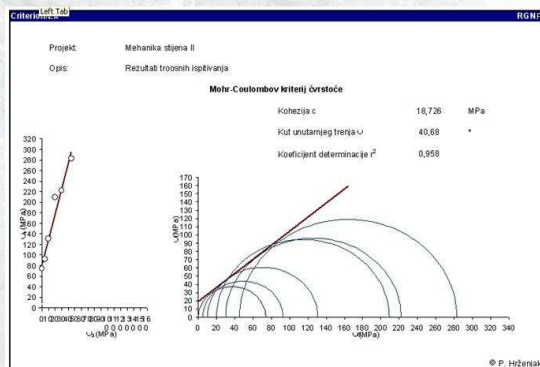
$$\sigma_{ci}^2 = \frac{\sum y_i}{n} - \left[ \frac{\sum x_i y_i - (\sum x_i \sum y_i / n)}{\sum x_i^2 - (\sum x_i^2 / n)} \right] \frac{\sum x_i}{n}$$



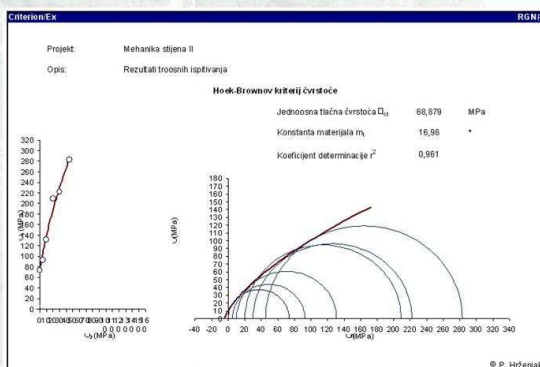
## Primjer rezultata troosnih ispitivanja

Oznaka uzorka i bušotine	Interval dubine (m)	Gustoća (g/cm <sup>3</sup> )	Čelijski tlak (MPa)	Troosna čvrstoća (MPa)
08 0946T GB-3	32,70-32,90	2,62	10	130,91
08 0948T GB-3	39,40-39,60	2,62	5	92,66
08 0950T GB-7	8,10-8,30	2,62	20	208,99
08 0951T GB-7	12,20-12,40	2,62	30	222,12
08 0954T GB-7	22,35-22,50	2,64	45	282,86

## Primjer obrade i prikaza rezultata troosnih ispitivanja Mohr-Coulombovim kriterijem

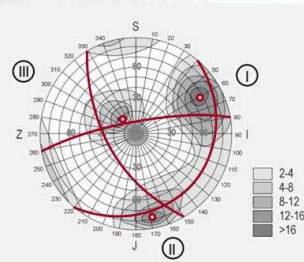


## Primjer obrade i prikaza rezultata troosnih ispitivanja Hoek-Brownovim kriterijem



## Statistička obrada i prikaz diskontinuiteta osnovnog strukturnog sklopa

- Sferna projekcija
  - Prikaz diskontinuiteta polovima normala
  - Pobrojavanje i određivanje klasa gustoće
  - Izdvajanje maksimuma
  - Prikaz izdvojenih maksimuma (familija) polovima normala i tragovima njihovih ravnina
- "Fuzzy Cluster" metoda
  - Određivanje pripadnosti svakog diskontinuiteta sa svim njegovim značajkama određenoj grupi (clusteru)



## "Fuzzy Cluster" metoda

- Picardov postupak iteracije za nalaženje minimuma objektne funkcije dane izrazom

$$J_m(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^N (\mathbf{u}_{ij})^m d^2(\mathbf{X}_j, \mathbf{V}_i)$$

- $d^2(\mathbf{X}_j, \mathbf{V}_i)$  - predstavlja udaljenost između obilježja  $X_j$  i središte grupe  $V_i$
- $u_{ij}$  - predstavlja stupanj pripadnosti određenog vektora određenoj grupi odnosno prototipu grupe
- $m$  - predstavlja faktor neizrazitosti (fuzzyness). Što je faktor bliži 1 to je postupak grupiranja 'tvrđi', što znači oštrije granice između pripadnosti pojedinim grupama, a što je faktor veći od 1 to je postupak 'mekaniji', granice između pripadnosti nejasnije.

## "Fuzzy Cluster" metoda

- Mjera udaljenosti između vektora orijentacije diskontinuiteta i vektora grupe (sferni prostor)

$$d^2(\mathbf{X}_j, \mathbf{V}_i) = 1 - (\mathbf{X}_j \cdot \mathbf{V}_i)^2$$

- Mjera udaljenosti između vektora ostalih obilježja diskontinuiteta (razmak, hrapavost, čvrstoća,...) i vektora grupe (Euklidski prostor)

$$d^2(\mathbf{X}_j, \mathbf{V}_i) = \sum_{p=1}^P (\mathbf{X}_{jp} - \mathbf{V}_{ip})^2$$

- Normalizacija vektora koji leže u Euklidskom prostoru

$$\mathbf{X}_{jp} = \frac{(\ddot{\mathbf{X}}_{jp} - \bar{\mathbf{X}}_p)}{\mathbf{S}_p}$$

## “Fuzzy Cluster” metoda

- Prototipovi (središta grupa) za vektore koji leže u sfernom prostoru, računaju se svojstvenim analizama matrica orijentacija vektora, pri čemu vektor prototipa predstavlja svojstveni vektor s najvećom svojstvenom vrijednošću
- Za vektore koji leže u Euklidskom prostoru prototipovi (središta grupa) računaju se prema izrazu

$$\bar{V}_i = \frac{\sum_{j=1}^N (u_{ij})^m x_j}{\sum_{j=1}^N (u_{ij})^m}$$

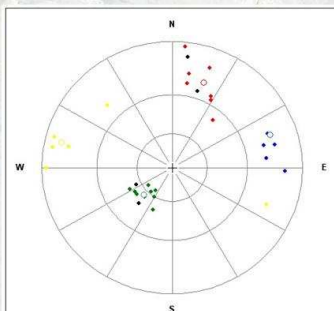
## “Fuzzy Cluster” metoda

- Stupanj pripadnosti određenog vektora određenoj grupi odnosno prototipu grupe

$$u_{ij} = \left[ \frac{1}{d^2(x_j, V_i)} \right]^{1/(m-1)} \cdot \left[ \sum_{k=1}^K \left( \frac{1}{d^2(x_j, V_k)} \right)^{1/(m-1)} \right]^{-1}$$

- Proračun kreće od pretpostavljanja prototipova vektora, tj. reprezentativnih vektora za središta grupa, nakon čega se računaju udaljenosti, a zatim stupnjevi pripadnosti. Nakon toga računaju se novi prototipovi vektora pa novi stupnjevi pripadnosti te razlike između novih stupnjeva i starih. Ukoliko su razlike u dozvoljenim granicama postupak se zaustavlja, a ukoliko nisu postupak se ciklički nastavlja.

## Primjer “Fuzzy Cluster” metode obrade i prikaza značajki diskontinuiteta



Opis	Azimut (°)	Nagib (°)	Razmak (cm)	Prot. (m)	Otvor (mm)	Opjena ispunje	Opjena brojnost	Opjena trisp.	JRC	JCS (MPa)
Sljepovost	45	34	34,21	7,53	2,51	5,46	4,69	2,79	9,00	45,09
			24,515	3,596	1,704	0,660	0,529	0,552	1,016	4,538
SK1	251	77	55,85	6,04	3,69	4,57	3,06	2,96	0,81	53,96
			34,929	3,460	1,207	1,050	0,600	0,764	1,932	7,316
SK2	200	71	49,67	1,89	2,07	5,46	4,77	3,47	10,07	59,04
			33,346	1,875	1,475	0,812	0,916	0,635	2,139	9,163
SK3	100	71	34,37	5,33	3,55	5,27	4,79	2,99	9,80	51,50
			20,908	2,766	1,146	0,834	0,774	0,530	1,657	5,994