

2.1. FIZIČKO-MEHANIČKA SVOJSTVA STIJENA

Čvrstoća stijene

- Čvrstoća stijene je osnovno svojstvo i predstavlja otpor stijene prema vanjskim silama koje je nastoje deformirati.
- Ovisno o vrsti naprezanja, razlikujemo čvrstoću na tlak, vlak, savijanje, smicanje i dr.
- Jedinica za čvrstoću je N/m^2 , odnosno u Pa

Naprezanja

Tlačna (normalna) naprezanja (σ_T)

$$\sigma_T = \frac{F}{A}, \text{ Pa}$$

F - sila, N

A - površina, m²

Vlačna naprezanja (σ_{VL})

$$\sigma_{VL} \cong 0,1 \sigma_T, \text{ Pa}$$

Posmična naprezanja (τ)

$$\tau = \sigma_N \operatorname{tg}(\varphi+c), \text{ Pa} \quad (2.1)$$

σ_N - tlačna (normalna) naprezanja, Pa

c - kohezija, Pa

φ - kut unutarnjeg trenja, °

Vertikalna (statična) naprezanja (σ_V)

$$\sigma_V = \gamma_s g h, \text{ Pa}$$

γ_s - obujamska masa stijene, kg/m³

g - gravitacija, 9,81 m/s²

h - visina (debljina) nadsloja, m

Ovisnost između naprezanja

Naprezanju smicanja (τ) suprotstavlja se kohezija (c) i sila trenja po površini smicanja, koja je jednaka umnošku normalnog naprezanja i koeficijenta unutarnjeg trenja $f_0 = \operatorname{tg}\varphi$.

- Za poluvezane stijene, gdje je $\operatorname{tg}\varphi = 0$

$$\tau = c$$

- Za nevezane materijale, gdje je $c = 0$

$$\tau = \sigma \operatorname{tg}\varphi$$

Protodijakonov koeficijent čvrstoće

Ako se izraz (2.1.) podijeli s (σ), dobije se:

$$\tau/\sigma = c/\sigma + f_0$$

$$\tau/\sigma = f$$

$$f = c/\sigma + f_0$$

(f) je Protodijakonov koeficijent čvrstoće i približno je jednak stotom dijelu čvrstoće na tlak pri jednoosnom opterećenju.

Tvrdoća

- **Tvrdoća** je otpor koji stijena pruža prodiranju nekog drugog, tvrdjeg (oštrog) tijela, pri čemu dolazi do plastičnog krtoog loma površinskog sloja u neposrednoj blizini prodiranja.

Tvrdoća-Mohsova skala

- talk (milovka),
- gips,
- kalcit,
- fluorit,
- apatit,
- ortoklas (glinenac),
- kvarc,
- topaz,
- korund,
- dijamant .

Elastične i plastične značajke

- **Elastične i plastične značajke** stijene karakteriziraju se Youngovim modulom elastičnosti (E), modulom klizanja (smicanja) (G), volumenskim modulom elastičnosti (K) i Poissonovim koeficijentom (μ) (koeficijent poprečne dilatacije). Ove veličine vezane su međusobno slijedećim ovisnostima:
 - $E = 2G(1+\mu)$, (MN/cm²)
 - $E = 3K(1-\mu)$
 - $\mu = \frac{E - 2G}{E + G}$
- Prema modulu elastičnosti, L.A. Šrejner dijeli stijene u osam kategorija.
- Prema plastičnosti, isti autor dijeli stijene u tri grupe (6 kategorija): elastično krte, elastično plastične i stijene bez krteg razaranja
- Ovim grupama pridružen je koeficijent plastičnosti definiran kao odnos rada potrebnog za elastične deformacije i ukupnog rada utrošenog za razaranja uzorka. Elastično krte su, primjerice, kvarciti, bazalti i graniti, a elastično plastične su vapnenci i dolomiti. Plastične značajke stijene bitno se mijenjaju promjenom mineraloškog sastava, poroznosti i vlažnosti.

Gustoća, obujamska masa i nasipna masa (gustoća)

- **Gustoća** (γ_o) reprezentira masu jedinice volumena bez pora i pukotina koje su prirodno dane u stijeni.
- **Obujamska masa** (γ) označava masu jedinice obujma stijene onakvu kakva je ona zaista u stvarnosti (u sraslom stanju s porama i pukotinama).
- **Nasipna masa** (γ_n) dobije se nakon odvajanja stijenske mase iz masiva (rastresito stanje određenog granulometrijskog sastava)
- **Poroznost** je udio obujma pora u jedinici obujma stijene i računa se prema izrazu:

$$\underline{n=(1-\gamma/\gamma_o)\times 100, \% \text{ ili } n=(\gamma_o-\gamma)/\gamma_o \times 100, \%}$$

- **Koeficijent poroznosti** ($e=\gamma/\gamma_o$) izražava odnos obujamske mase i gustoće tla ili stijene.
- Odnosi čvrste, tekuće i plinovite faze u stijenama opisuju se poroznošću (n), koeficijentom poroznosti (e) i stupnjem vlažnosti (vodozasićenosti) (S_v). Stupanj vlažnosti ovisan je o efektivnoj poroznosti odnosno o vodopropusnosti (porama koje su povezane).

Koeficijent rastresitosti (k_r)

- **Koeficijent rastresitosti (k_r)** je odnos obujamske mase (γ) i nasipne mase (γ_n), odnosno odnos obujma stijenske mase nakon rastresanja i obujma stijenske mase u sraslom stanju:
- $$k_r = \gamma / \gamma_n$$

Granulometrijski sastav

- **Granulometrijski sastav** je obilježje nevezanih i izdrobljenih stijena i pokazuje udio (%) pojedinih frakcija u jedinici obujma.
- Veličina od 2 mm je granica krupnozrnog i sitnozrnog sastava tla.
- Veličina 0,2 mm je granica između krupnozrnog (oštog) i sitnozrnog (mekog) pijeska.
- Veličina 0,02 mm je granica nevezanog tla i gline.
- Veličina 0,002 mm je granica gline i koloidne gline.

Vlažnost (W) i vodopropusnost

- **Vlažnost (W)** je količnik mase vode koju stijena sadrži i mase čvrstih sastojaka, izražen u (%). Razlikuju se tri stanja vlažnosti: stijene zasićene vodom, djelomično zasićene i suhe.
- **Stupanj vlažnosti (S_v)** je količnik stvarne mase vode u stijeni i mase maksimalne zasićenosti.
- **Vodopropusnost** ovisi o veličini pora u stijeni i njihovoj povezanosti. Pri opterećenju pore se stisnu i vodopropusnost se smanjuje.
- **Koeficijent filtracije (k_f)** odražava vodopropusnost i proporcionalan je koeficijentu poroznosti (e). Koeficijent filtracije kreće se u granicama od $k_f < 10^{-11}$ cm/s za skoro vodonepropusne stijene do $k_f < 10^{-1}$ cm/s za vrlo vodopropusne stijene.
- Primarna poroznost-pore nastale sa stijenama
- Sekundarna poroznost-pore nastale djelovanjem vode i mraza nakon postanka stijena

Abrazivnost

- **Abrazivnost** stijene je sposobnost habanja bušaće krune, zubi ili noževa otkopnog stroja ili drugih radnih dijelova stroja pri dobivanju rude. Stupanj abrazivnosti neke stijene određuje se prema količini materijala koji izgubi cilindar etalon u određenom vremenu. U klasifikaciji stijena prema abrazivnosti L.I. Barona mjera je izgubljeni materijal u mg, koji se kreće u rasponu od >5 mg (primjerice vapnenac, kamena sol) do >90 mg (stijene s korundom).

Žilavost i krtost

- Žilavost je svojstvo stijene da pri dinamičkom opterećenju pretrpi lom tek nakon znatne deformacije.
- Krtost je suprotno svojstvo; stijena se lomi bez prethodne deformacije.

Ljepljivost

- Ljepljivost je svojstvo stijena s umetcima ili primjesama glinovitih materijala ili tankih ljepljivih frakcija. Neke sulfidne rude imaju to svojstvo uslijed oksidacije površine i tvorbe tanke opne sulfata koji je ljepljiv. Ljepljivost stvara poteškoće prilikom ispuštanja rude, pa se ne mogu primijeniti neke masovne metode.

Oksidacija i samozapaljivost

- Oksidacija sulfidnih ruda dolazi nakon dužeg stajanja izdrobljenog materijala, što stvara poteškoće pri flotiranju te se smanjuje stupanj iskorištenja metala.
- Samozapaljivost je svojstvo nekih tvari da se same zapale pri određenoj temperaturi i stupnju vlažnosti. Samozapaljivost se pojavljuje kod sulfidnih ruda s piritom i pirotinom te kod ugljenih ležišta. Takva značajka ležišta zahtijeva primjenu otkopne metode kod koje se opasnost od požara može smanjiti ili potpuno otkloniti. Oksidaciju, kao prvi stupanj samoupale, pospješuje fino zdrobljena masa ugljena ili sulfidnih ruda, pogotovo u dodiru s ostavljenom drvenom građom. Samoupala je potpomognuta visokom temperaturom, koja nastaje tijekom prolaska zraka kroz pukotine u sloju ili kroz stare radove uslijed dovodenja kisika uz nedovoljnu odvodnju topline, ili djelovanjem kiselih jamskih voda.