

Поглавље 7 - Побољшање стијенских маса. Основна својства стијенских маса.

7.1. Увод

Побољшање стијенске масе тј. геотехничке мелиорације обухвата:

- сидрење стијенске масе примјеном стијенских сидара – анкера (*rock bolts, anchors*)
- ињектирање стијенских маса (*grouting*)
- дренажање
- коришћење прсканог бетона – торкрета (*shotcrete, gunite*)

7.2. Општа физичко-структурна својства стијенске масе

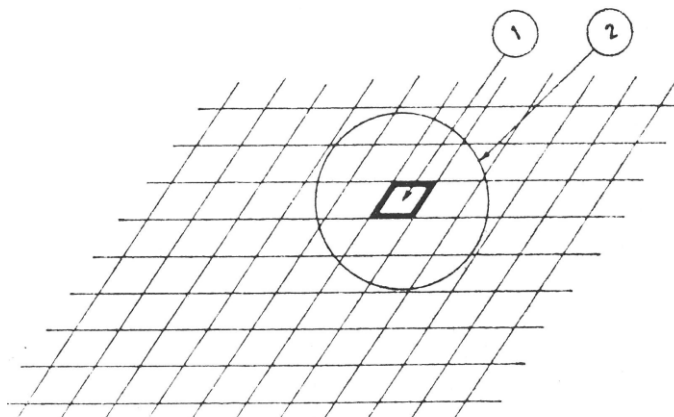
Стијенска маса је у природи испуцала (дисконтинуална), хетерогена, анизотропна и већ се налази у неком природном стању напрегнутости. Отуда су и основна физико-структурна својства стијенске масе:

- дисконтинуалност
- природна напрегнутост
- хетерогеност и
- анизотропија

и представљају битна и суштинска својства стијенске масе те се при формирању геотехничког и математичког модела при рјешавању конкретних проблема јављају као неизоставне улазне величине. Сви проблеми механике стијена као реалне средине морају се посматрати имајући у виду параметре општих физичко-структурних својстава, што се уводи као метод у механици стијена.

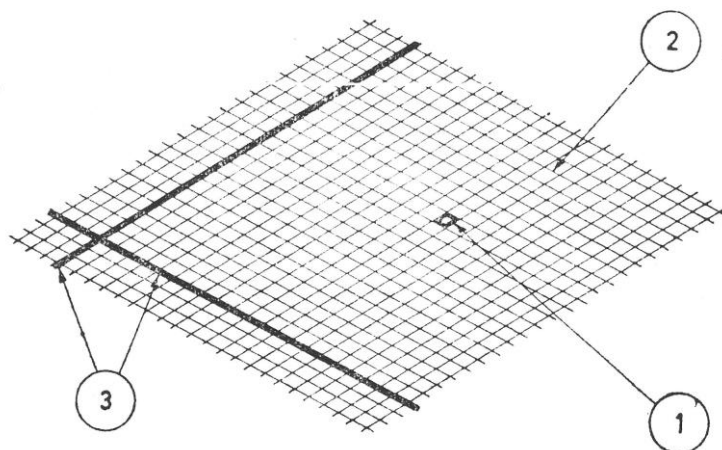
7.1.1. ДИСКОНТИНУАЛНОСТ(ИСПУЦАЛОСТ)

Својство стијенске масе да је прожета пукотинама назива се испуцалост. Са механичког становишта та особина стијенске масе сврстава у групу дисконтинуалних средина, те је отуда и дисконтинуалност основна структурна особина стијенске масе и та карактеристика је битно разликује од тла које се може сматрати континуумом.



Слика 7.1: Дисконтинуитет стијенске масе, (1) монолит – јендочлани дио стијенске масе, (2) вишечлани дио стијенске масе

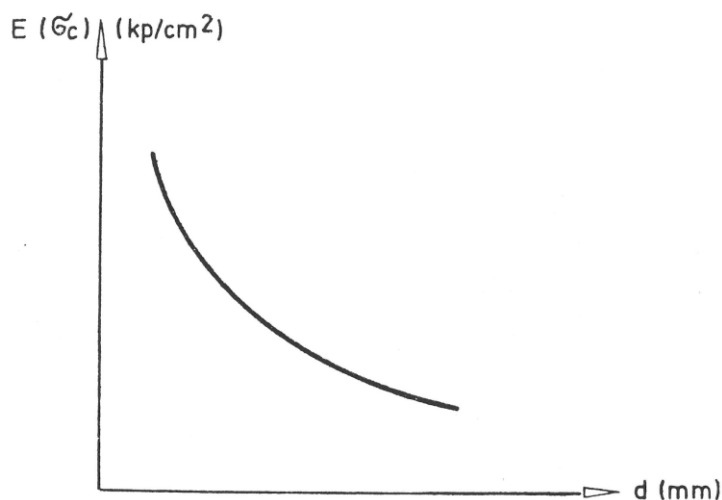
Дисконтинуитети се јављају као релативна величина у односу на величину посматраног подручја. Наиме, ако се дисконтинуум приказан на скици а) посматра као велико подручје у оквиру већих дисконтинуитета (3) онда се тада подручје унутар великих дисконтинуитета може сматрати континуумом. Унутар квазиконтинуалног подручја значај мањих дисконтинуитета опада у односу на велике и утицај малих дисконтинуитета се у прорачунски модел уноси кроз просјечне вриједности механичких параметара.



Слика 7.2: Дисконтинуитет стијенске масе, (1) монолит – континуум, (2) квазиконтинуум, (3) дисконтинуитет вишег реда

Механичка својства монолита битно се разликује од механичких својстава стијенске масе. У првом реду модул еластичности (E), модул деформација (D) и механичка чврстоћа (β) знатно су већи за монолит због утицаја: оштећења, пукотина и прелина, као и утицаја пукотинске испуне.

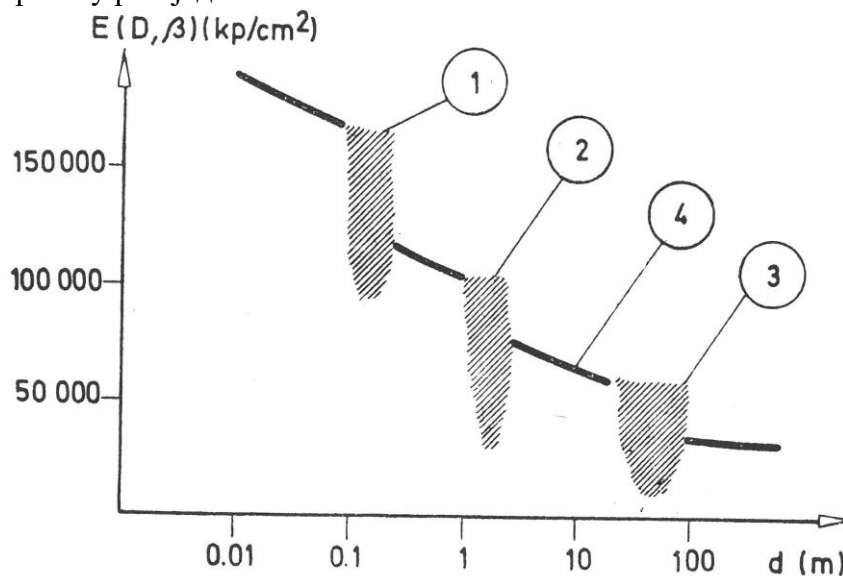
Закон по коме се вредност механичких карактеристика стијенске масе смањују тј. мијења у функцији од посматраног подручја не може се изразити једном континуалном кривом. Дијаграм а) приказује генерални облик зависности механичких карактеристика (E, D, β) одређених на монолиту у зависности од величине узорка (ефекат размјере).



Слика 7.3: Ефекат размјере

Величина и број оштећења не расте континуално са повећањем посматраног подручја; наине, постоје подручја која се могу тачно дефинисати у којима долази до јављања нових елемената дисконтинуитета. По Müller-у ред величине подручја лежи на око 20-30 цм у вези појаве малих пукотина, или при 10-20 цм при појави великих пукотина (даље се границе могу наћи у реду величине расједа или величине кристала).

Може се говорити о сљедећој законитости: уколико је веће посматрано подручје утолико на механичка својства утиче више кинематичких механизма, почев од помјерања кристалне решетке до помјерања у расједима.



Слика 7.4: Механичке карактеристике E, D, B у функцији ред величине посматраног подручја. (1) мале пукотине, (2) велике пукотине, (3) врло велике пукотине, (4) квазинконтинуум

ЕФЕКАТ РЕЛАЦИЈЕ

Уводи се у разматрање релативна величина објекта и величина монолита у испуцалој стијенској маси у којој се гради објекат, и дефинише се као:

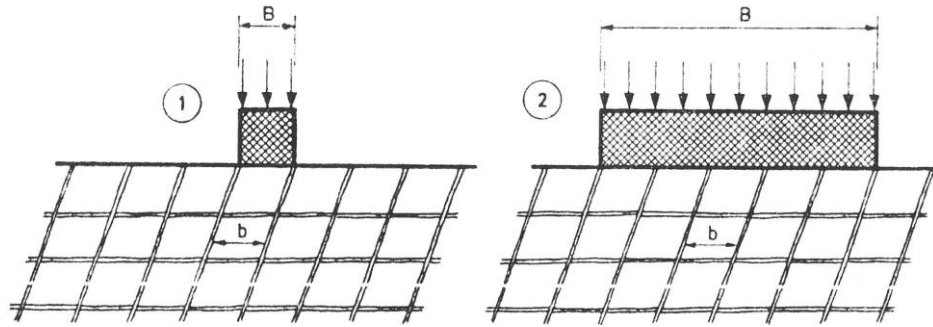
$$r = \frac{b}{B}$$

b – карактеристична димензија монолита;

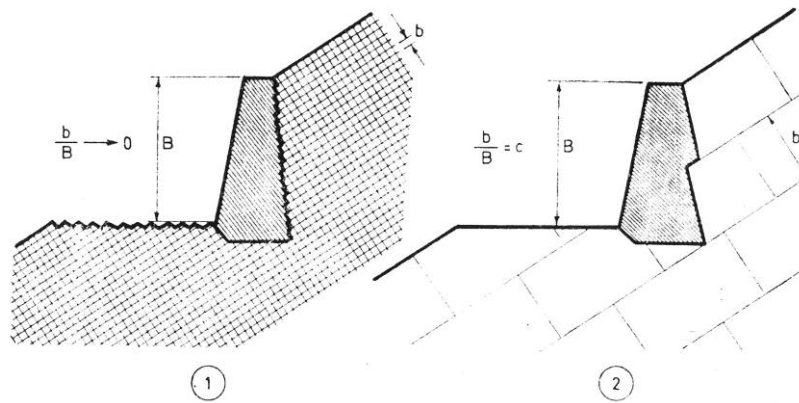
B – карактеристична димензија објекта;

У зависности од величине објекта и величине монолита једна стијенска маса се може посматрати као континуум или дисконтинуум.

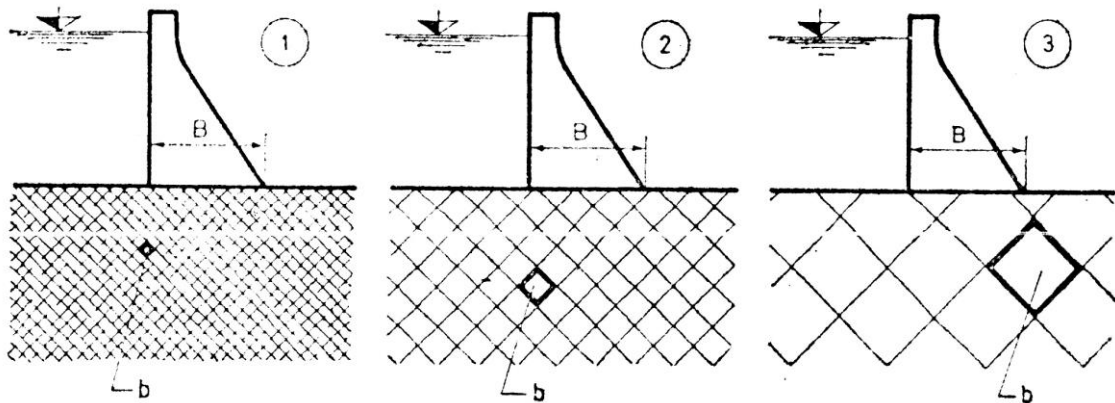
За случај под 1) адекватно је прорачун провести као да је стијенска маса континуална, односно графички или аналитички како је уобичајено у механици тла. Дисконтинуитету се у прорачун уводе кроз просјечан утицај на механичке параметре (E, D, β или ϕ и ψ). За случај под 2) прорачун је адекватно провести за дисконтинуалну средину. У овом случају поједини монолити се сматрају крутим са међусобним утицајем преко дисконтинуитета или у дискретним тачкама додира.



Слика 7.5: Ефекат релације-примјер темеља



Слика 7.6: Ефекат релације за случај потпорног зида: (1) квазиконтинуум, (2) дисконтинуум



Слика 7.7: Ефекат релације за случај гравитационе бране: (1) квазиконтинуум, (2) гранично подручје квазиконтинуума и дисконтинуум, (3) дисконтинуум

7.1.2. ПРИРОДНА НАПРЕГНУТОСТ

Основни узроци постојања природне напрегнутости тј. примарних напона у стијенској маси си утицај:

- гравитације
- тектонике и
- ерозије земљине коре

Најчешће су максимални напони притиска који се јављају у стијенској маси *вертикални напони* (или напони блиски вертикалном), док *хоризонтално поље напона* варира као хоризонтална елипса у односу $0.15 < \sigma_1 / \sigma_2 < 0.6$, тј. постоји напонска анизотропија у хоризонталном пољу напона.

Могућа је ситуација у којој је хоризонтални напон највећи напон притиска као последица дјеловања тектонских сила или ерозије.

Ред величине примарних напона у стијенској маси је такав да се скоро редовно мора узети у обзир код пројектовања и грађења у стијенској маси. Основна су два приступа при квантификацији тј. дефинисању поља примарних напона у стијенској маси: теоретски приступ и мјерење *in situ*.

Теоретски приступ дефинисања поља примарних напона

Због великог броја феномена који су били од утицаја на стијенску масу у току геолошке историје, реално поље примарних напона је могуће одредити једино теренским мјерењима. Међутим, у појединим случајевима могуће је на основу идеализованих рачунских модела добити употребљиву слику примарног поља напона. Општа теорија за дефинисање примарних напона у стијенској маси није још увијек формулисана.

Heim-ова теорија (1878)

Према Хеим-овој теорији вертикална компонента напона σ_v зависи од тежине надслоја:

$$\sigma_v = \gamma \times h = \sigma_h \quad \lambda = \sigma_h / \sigma_v = 1.0$$

тј. притисак је једнак у свим правцима, па је и напон смицања једнак нули.

Генерално је доказано да са дубином напон смицања опада, па за дубоке ископе ова идеја има свој смисао.

Tercaghi-јев приступ

Tercaghi даје тумачење примарних напона на основу претпоставке о континуалности, еластичности, хомогености и изотропији стијенске средине.

У једној сасвим регуларној геолошкој ситуацији, у којој честице стијенске средине немају хоризонталне компоненте помјерања тј. $u_x = u_y = 0$ (спријечено бочно помјерање), из једначина равнотеже у еластичном, хомогеном и изотропном полупростору, вертикални напон на дубини z може се изразити као:

$$\sigma_v = \sigma_z = \gamma \times z$$

Одговарајући бочни-хоризонтални напон, са обзиром на преузету хомогеност, једнак је у свим правцима, а када се механичко понашање слојеваунутар једне запреминске тежине може описати генерализаним Hook-овим законом, износи:

$$\sigma_g = \sigma_x = \sigma_y = \frac{\nu}{1-\nu} \times \sigma_v = \lambda_o \times \sigma_v \quad \nu - \text{Поиссон-ов коефицијент}$$

Према овом теоретском доказу класичне природе, стаље напона је функција искључиво дубине z и параметарских константи γ и ν .

Побољшање дате идеализације може се извести уз употребу квази Поиссон-овог броја који није константа и зависи од Поиссон-овог броја, геолошких фактора и других фактора утицајних на хоризонталне напоне. Његове вриједности се мјере на терену.

Дефинисање поља примарних напона мјерењима на терену

Методe мјерења примарних напона на терену могу се сврстати у статичке и динамичке методe.

статичке методe омогућују мјерење напона у апсолутним износима и заснивају се на ослобађању напона и њиховом поновном успостављању.

динамичке методe дају увид у расподјелу напона у функцији од удаљености од ископа али не њихове апсолутне величине.

Комбиновањем статичких и динамичких метода могуће је успоставити корелационе везе и њих користити за израду инжињерско геолошких модела по параметру напона.

7.1.3. ХОМОГЕНОСТ

Под хомогеним тијелом се подразумијева оно тијело које је у свим својим тачкама саграђено на исти начин.

Појам хомогености у механици стијена је релативан у односу на размјеру посматрања, те се може говорити о статистичкој или квазихомогености у односу на поједина и одређена својства.

Хетерогеност стијенске масе условљена је првенствено литолошким саставом.

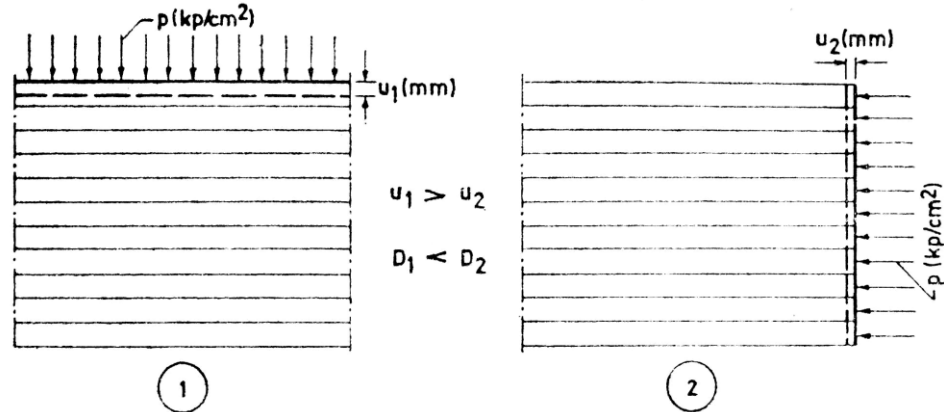
Проблем хетерогености стијенске масе обично се рјешава на тај начин што се хетерогена стијенска маса подијели на поддомене у којима се може сматрати хомогеном. Сваки подомен стијенске масе се даље дио по дио третира као хомогена.

7.1.4. ИЗОТРОПИЈА

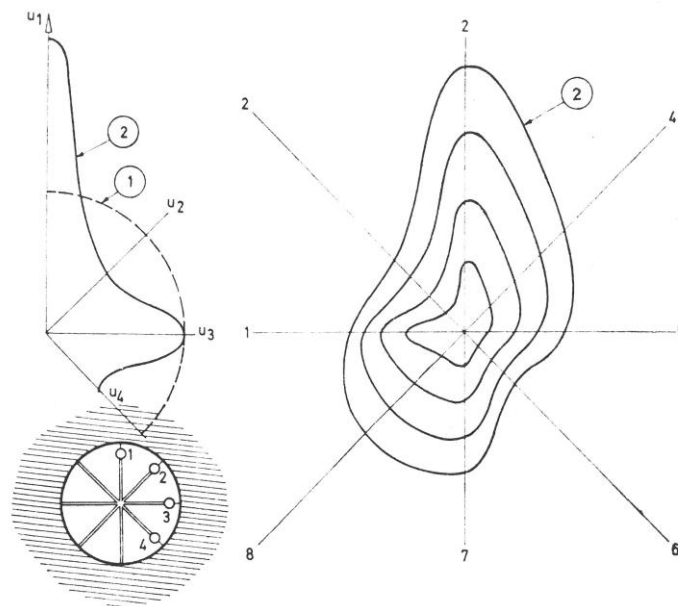
Под изотропијом се подразумијева онај материјални систем чије су физичко механичке карактеристике (деформабилност, кохезија, ширење при промјени температуре, електропроводљивост, и тд.) једнаке у свим правцима. Стијенска маса је по правилу изузетно анизотропна што је условљено у првом реду испуцалошћу, слојевитошћу и шкриљавошћу.

Слојевитост доминантно утиче на анизотропност:

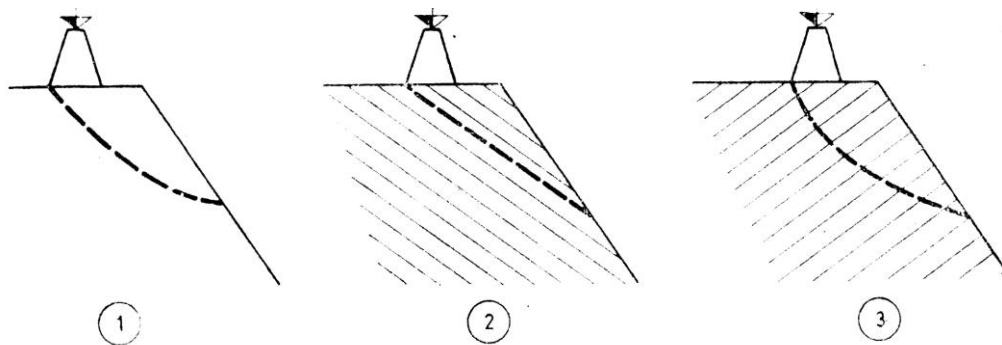
- деформација
- смичуће чврстоће
- водопропустљивости



Слика 7.8: Анизотропија у односу на деформабилност услед постојања једне фамилије пукотина



Слика 7.9: Поларни дијаграми помјерања, (1) изотропна и (2) анизотропна стијенска маса



Слика 7.10: Анизотропија смицања

Струјне силе које се јављају зависе од геометрије пукотина. Ова тзв. *филтарциона анизотропија* значајна са становишта геотехничких мелиорација посебно ињектирања.

Утицај анизотропије стијенске масе се без већих тешкоћа може укључити у нумеричке моделе при рјешавању напонских зависних феномена у механици стијена.

7.3. Врсте механичких дисконтинуитета

Најчешће и најдоминантније врсте дисконтинуитета:

- Дијаклазе
- Пукотине смицања
- Пукотине клизања
- Међуслојне пукотине (*bedding joints*)
- Шкриљавост, кливаж
- Цепљивост
- Пукотине лучења
- Пукотине растерећења
- Пукотине усљед гравитационог клижења
- Раседи
- Смрвљене зоне
- Карстне појаве и облици
- Вјештачке пукотине

Дијаклазе су типични представници кртих ломова који настају у троосном напонском стању притиска, у материјалима зрнасте структуре. Дијаклазе су храпаве и без трагова трења. Настају када је чврстоћа на смицање релативно велика а чврстоћа на затезање мала или када је брзина деформисања тако велика да се стијен апонаша као крт материјал. По правилу се у стијенским масама јавља више фамилија дијаклаза. У многим случајевима гстина дијаклаза је толика да стијенској маси даје квалитет шкриљавости (пукотинска шкриљавост).

Пукотине смицања се најчешће испољавају као крти ломови. Увијек су храпаве и не ријетко показују трагове трења на свјежој површини лома.

Пукотине клизања настају у материјалима који се под дејством оптерећења понашају пластично и који имају релативно малу чврстоћу на смицање. У природи се јављају често-

Међуслојне пукотине су механички дисконтинуитети у седиментним стијенским масама до којих долази усљед релативно ниске отпорности на затезање и смицање у слојним површинама. Узроци настанака: скупљање и слегање усљед сушења и релативног помјерање усљед тектонских покрета. Величина међусобних ратсојања ових пукотина представља параметар према коме се седиментне стијенске масе дијеле на: банковите, плочасте и листасте.

Слојевитост је својство стијенских маса да се у склопу терена јављају издијелене приближно паралелним генетским дисконтинуитетима, у виду плоча или табли које називамо слојевима. Слојевитост је типично својство седиментних стијена. Слојеви имају велико пружање а веома малу дебљину. Према дебљини слојева постоји следећа подјела:

- масивна (псеудомасивна) > 200cm,
- банковита < 200 cm

- слојевита < 60cm,
- плочаста < 5cm,
- листаста < 0,5 cm.

Шкриљавост, кливаж је врста дисконтинуалности која се изражава у могућности цепања или одвајања стијенске масе по међусобно паралелним раздјелницама, по правилу на малим међусобним растојањима милиметарског и сантиметарског реда величине. Ову дисконтинуалност је стијенска маса добила накнадно (секундарно) дејством напона притиска. Дисконтинуитети ове накнадне шкриљавости могу да се покlope са већ претходно постојећом слојевитошћу или орјентацијом зрна тј. линеацијом и фолиацијом (листавост), али то не мор ад а буде случај.

Све док су раздјелнице у слојевитим и шкриљавим стијенским масама затворене њихов механички утицај је мали. Међутим, уколико је дуж ових раздјелница веза разлабављена или сасвим уништена, онд аове раздјелнице играју улогу фамилије орјентисаних великих пукотина.

Цепљивост је потенцијална испуцалост и представља посебну врсту латентне дисконтинуалности и анизотропије. Она се огледа у смањеној отпорности на сатезање или смицање у правцу једне или више равни. Код седиментних стијена се цепљивост јавља дуж слојница, тј. дуж површина које формиране промјеном всте материјала који се таложио или прекидима процеса исталожавања. Код шкриљаца и ганјсева потенцијалну дисконтинуалност представљају површине шкриљавости које се испољавају у изразито орјентисаној текстури стабличастих или листастих минерала. Код магматских стијена текстура тј. распоред минералних зрна има битан утицај на потенцијалну цепљивост.

Пукотине лучења настају код магматских стијена усљед хлађења и груписања минералних састојака. Лучење је најчешће паралелопипедно, плочасто, стубасто и кугласто.

Пукотине растерећења. У процесу формирања долина насталих дејством ерозије, односно усијецања водног тока у стијенску масу, долази у боковима долине до појаве ослобађања напона. Као последиц адекомпресије јављају се у боковима фамилије пукотина паралелне току. Ова појава је нарочито изражена у теснацима односно клисурама. усљед ослобађања напона и формирања пукотина, бокови долине се помјерају према простору долине.

Смрвљене зоне се одликују великим бројем ломова тако да се ти ломови по њиховој просторнох орјентацији више не могу статистички обрађивати. Стијенска маса у овим зонама може бити смрвљена до финозрног материјала – *милонита*. Милонит у додиру са водом добија својства течности.

Карстне појаве и облици - шупљине у карбонатним и гипсним стијенским масама створене дејством воде која продир екроз пукотине и врши растварање стијенског материјала. Најчешће су то подземне каверне и различити подземни канали.

Вјештачке пукотине настају у процесу инжењерске дјелатности човјека, усљед дејства експлозива при минирању стијенске масе и усљед ослобађања напона при подземном и надземном ископу. При наглос ослобађању напона у случају њихових великих концентрација, у кртим стијенским масама се јавља и *горски удар*.

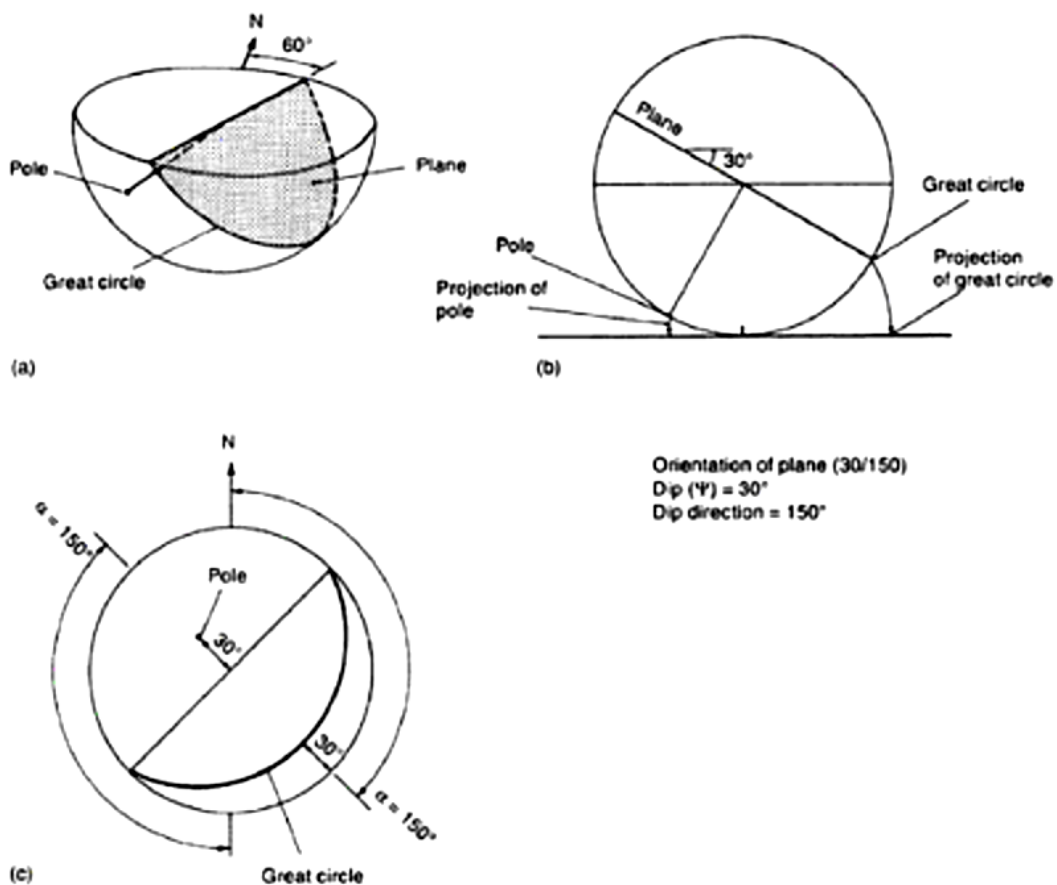
7.4. Параметри описивања пукотина

- Положај
- Елементи пада
- Простирање пукотина
- Ширина дисконтинуитета. Величина зева
- Изглед зидова пукотина
- Пукотинске испуне

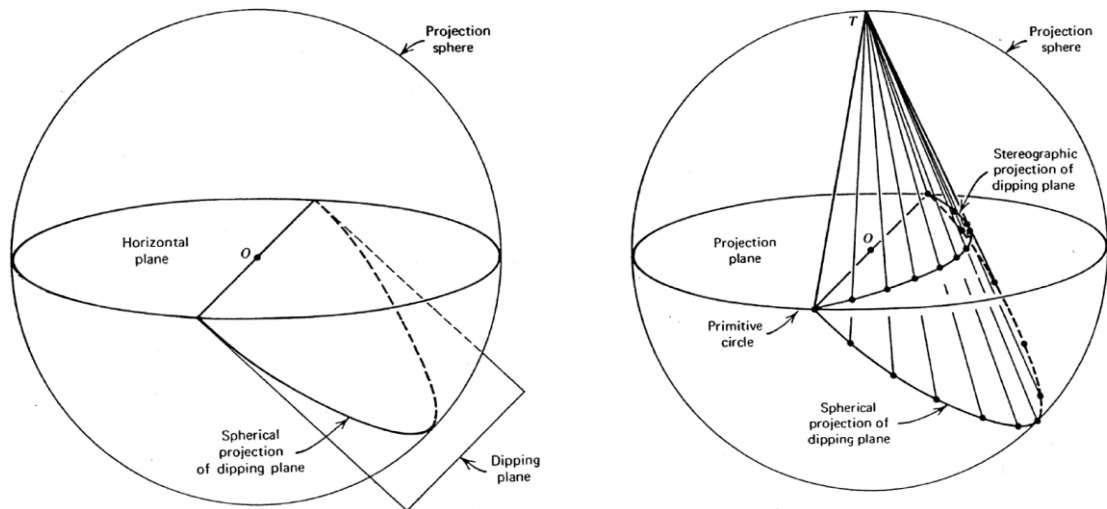
Положај и елементи пада

Положај равни дисконтинуитета у простору се дефинише елементима пада:

- Падни угао (*dip*)
- Азимут (*dip direction*)



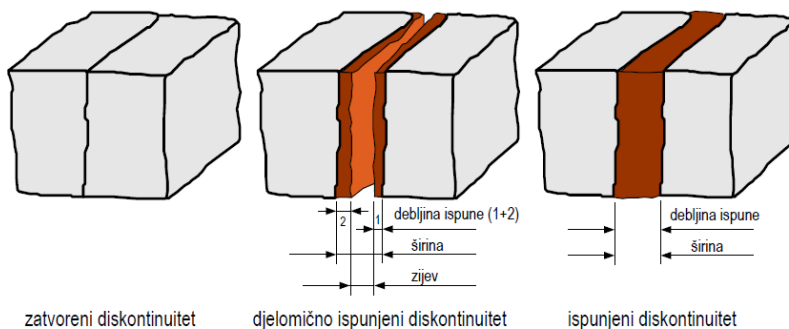
Слика 7.11: Елементи пада исконтинуитета



Слика 7.12: Стереографска пројекција равни дисконтинуитета

Ширина дисконтинуитета. Величина зева

Зев дисконтинуитета је онај дио дио ширине дисконтинуитета који не заузима испуна.



Слика 7.13: Ширина дисконтинуитета и величина зева

Изглед зидова пукотине (морфологија пукотина) прије свега битно утиче на параметре отпорности на смицање. Према облику зидова пукотине јављају се следеће врсте пукотина:

- са равним површинама
- са кривим површинама (таласасте, витоперне итд.)
- са изломљеним површинама

Према храпавости пукотине се могу подијелити на:

- са глатким површинама
- са неуједначеном рапавошћу
- са текстурном рапавошћу

Један од параметара којим се користи у Q класификацији је индекс храпавости пукотине J_r (joint roughness number).

Пукотинске испуне су материјали којима је пукотина потпуно или дјелимично испуњена или којима су зидови пукотина потпуно или дјелимично обложени. Материјал пукотинских испуна може да буде донијет подземном водом која га исталожава у пукотини а може да буде и смрвљени материјал стијенске супстанције настао при формирању саме пукотине. Може да буде искристалисан из раствора у подземној води. Пукотине су отворене ако је међупростор између зидова пукотине празан или испуњен водом. При већем зеву то су тзв. *зјапеће пукотине*. Ако су испуњене кристализационом испуном често се зову „залијечене“ или „жилице“. Од врсте и карактеристика пукотинских испуна зависи покретљивост појединих монолита а тиме и деформабилност стијенске масе.

Од механичких карактеристика пукотинских испуна зависи водопропустљивост масе као и дејство воде на стијенску масу. Погодност с.м. за геотехничке мелиорације тј. дренарање, ињектирање и сидрење такође зависи од својстава и карактеристика пукотинске испуне.

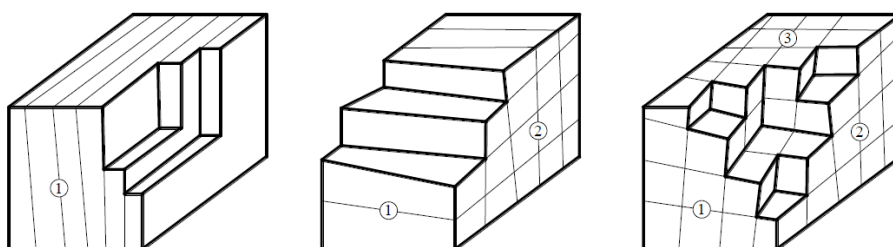
Условна класификација:

- пукотине без испуне – отворене
- пукотине са трошном испуном – испирају се прије ињектирања
- пукотине са глинеом испуном – испирају се само у случају консолидационог или напонског ињектирања.
- пукотине са кристализационом испуном (калцит, кварц) тзв. затворене пукотине у механичком смислу не представљају дисконтинуитете али могу да представљају потенцијалне дисконтинуитете.

У Q класификацији се као један од параметара користи индекс пукотинске испуне J_a (*Joint alteration number*).

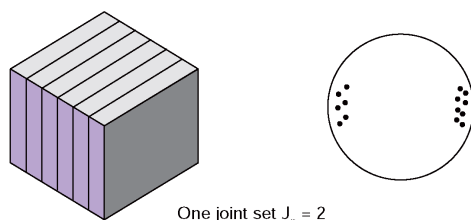
Фамилије (скупови) пукотина (*Joint sets*)

Равни пукотина се обично јављају у облику фамилија пукотина са сличним елементима пада као што је приказано на доњој слици. Један од параметара којим се користи у Q класификацији је и број фамилија (скупова) пукотина J_n . На слици 7.15 су приказани различити скупови пукотина шематски и у стереографској пројекцији заједно са одговарајућим вриједностима J_n .

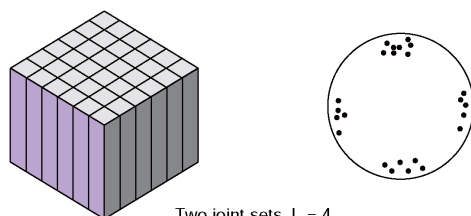


Слика 7.14: Стијенска маса са 1,2 и 3 система пукотина

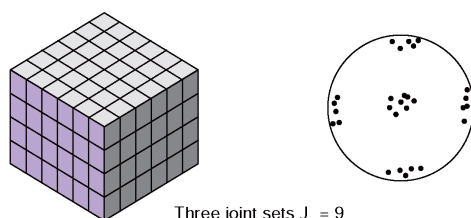
Однос RQD/J_n представља процјену степена испуцалости (*degree of jointing*) тј. величине блока стијенске масе одвојеног пукотинама.



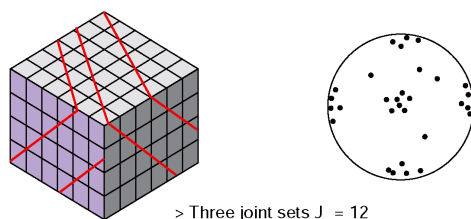
One joint set $J_n = 2$



Two joint sets $J_n = 4$

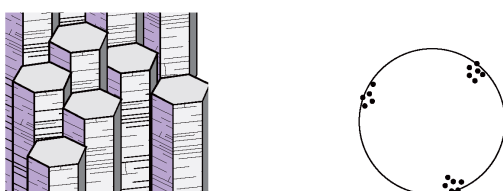


Three joint sets $J_n = 9$



> Three joint sets $J_n = 12$

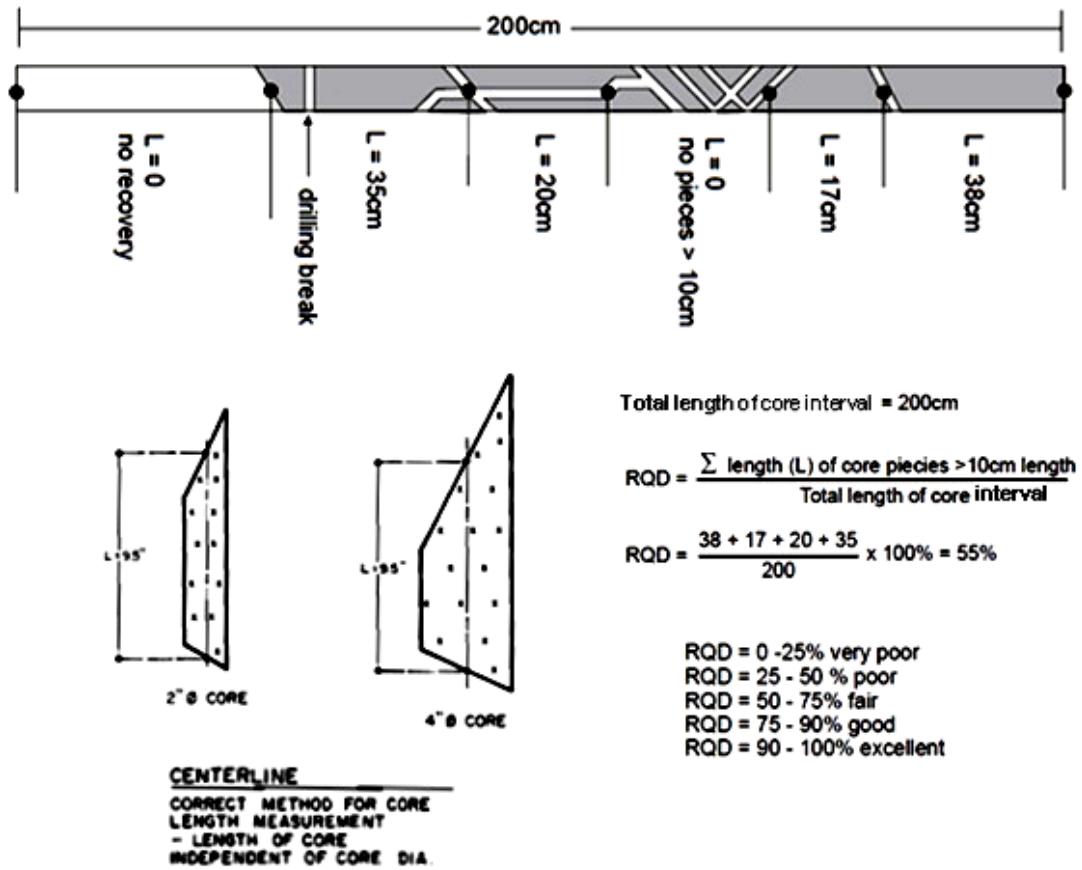
Note:
The number of joint directions is not always the same as the number of joint sets



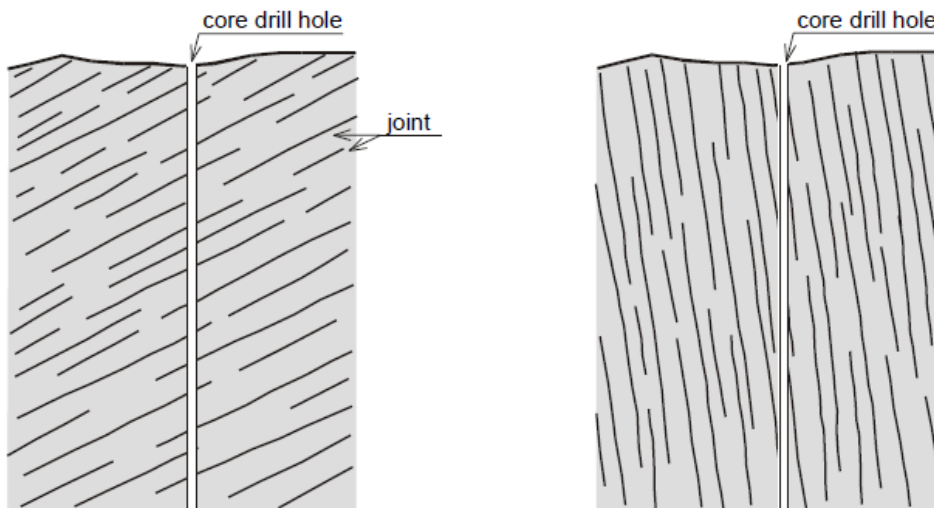
Columnar jointing with three joint directions, but $J_n = 4$

Слика 7.15: Различити системи пукотина и одговарајући прикази у стереографској пројекцији

Пројена испуцалости дуж истражне бушотине – индекс квалитета језгра RQD (Rock Quality Designation)

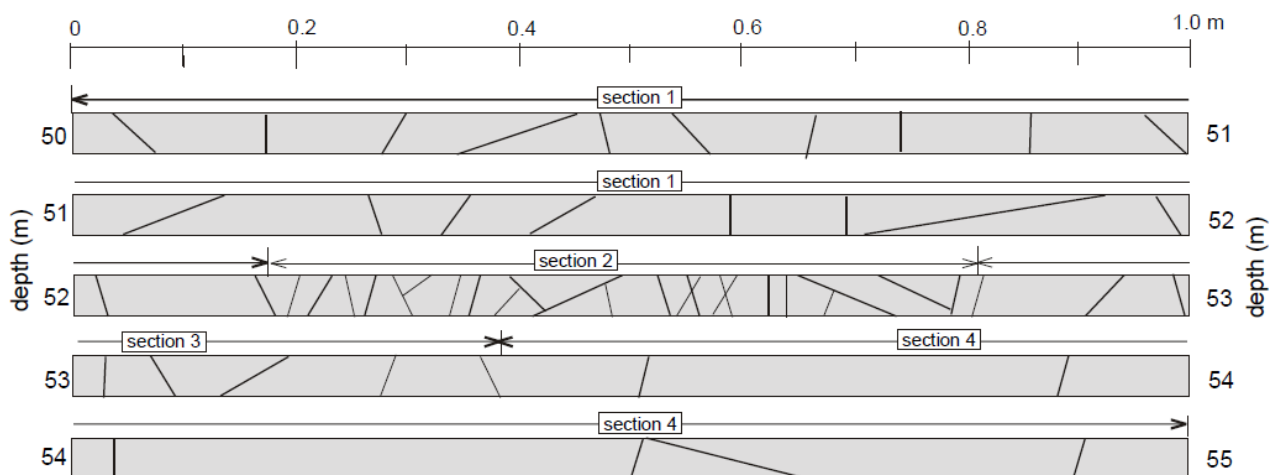


Слика 7.16: Индекс квалитета језгра RQD (Deer, 1968)



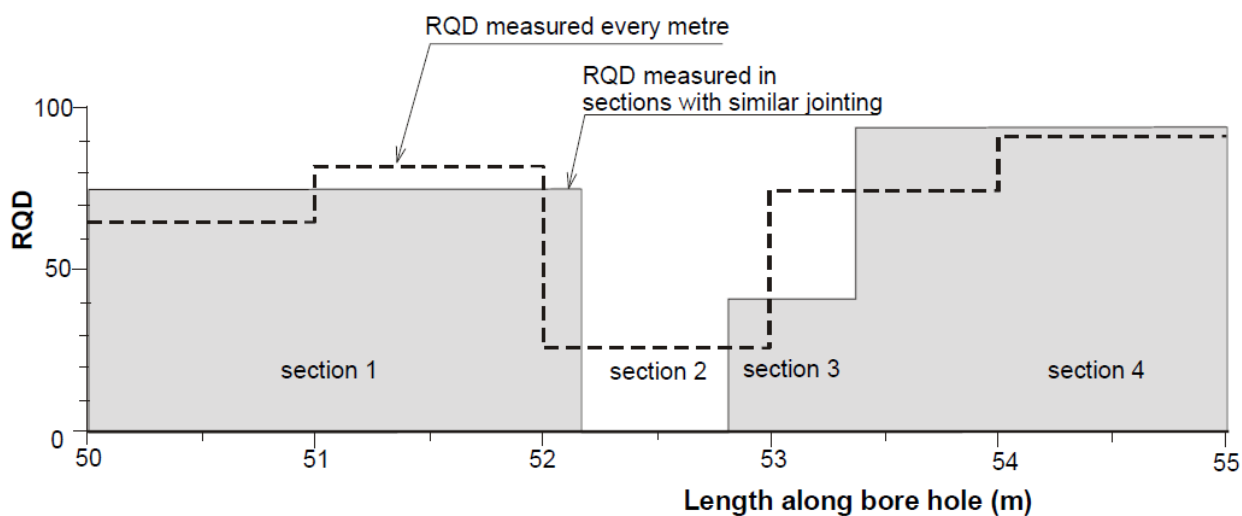
Слика 7.17: Угао између бушотине и дисконтинуитета значајно утиче на дужине дјелова језгра тј. измјерену густину дисконтинуитета

У већини случајева индекс квалитета језгра се срачунава мјерењем дужина дјелова језгра на једном метру дужном језгра. колико постоје дионице (секције) с аразличитим густинама дисконтинуитета онда ово може довести до грешке у оцјени испуцалости као што је приказано на доњој слици и табели. Зато је боље језгра подијелити на интервале сличне густине пукотина и за сваки интервал срачунати индекс квалитета језгра посебно.



MEASUREMENT IN SECTIONS			
Section	Length	Core pieces > 10 cm	RQD
1	2.17	1.62	75
2	0.63	0	0
3	0.56	0.23	41
4	1.63	1.55	95

MEASUREMENT EVERY METRE			
Interval	Length	Core pieces > 10 cm	RQD
50 - 51	1.0	0.66	66
51 - 52	1.0	0.82	82
52 - 53	1.0	0.26	26
53 - 54	1.0	0.75	75
54 - 55	1.0	0.92	92



Слика 7.18: Подјела језгра на интервале (секције) сличне густине