Содржина

ВОВЕД **4**

1. АКТУЕЛНОСТ НА ТЕМАТА И ПРЕГЛЕД НА ДОСЕГАШНИТЕ ИСТРАЖУВАЊА **7**

2. СТРУКТУРНИ СВОЈСТВА НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ **9**

2.1. Поим за карпеста маса, карпа, камен и почва **10**

2.2. Хомогеност и хетерогеност на карпестите маси **12**

2.3. Анизотропија на карпестите маси **14**

2.4. Природна напрегнатост на карпестите маси **14**

2.5. Дисконтинуалност на карпестите маси **15**

3.5.1. Испуканост на карпестите маси 16

3. ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ **19**

3.1. Физички својства на карпите **20**

3.2. Механички својства на карпите **22**

- Јакост на карпите 22
- Деформабилност на карпите 29
- Тврдина 31

4. КЛАСИФИКАЦИЈА НА КАРПИТЕ **33**

4.1. Геолошка класификација на карпите **33**

4.1.2. Седиментни карпи 34

4.1.3. Метаморфни карпи 35

4.2. Општи инженерско-геолошки класификации на карпите **36**

4.2.1. Инженерско-геолошки видови на карпи 36

4.3. Инженерско-геолошка класификација според препораките на меѓународно друштво за инженерска геологија (IAEG) 40

4.4. Геотехнички класификации на карпестите маси 42

4.4.1. Приказ на постојни класификации 45

5. ПРЕДЛОГ-МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕ И ДЕФИНИРАЊЕ НА ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ 57

5.1. Геолошко, ИГ и ХГ картирање на теренот 59

5.1.1. Геолошко картирање 59

5.1.2. Инженерско-геоложко картирање 64

5.1.3. Хидрогеолошко картирање 68

5.2. Геофизички испитувања 69

5.2.1. Рефракциона метода 70

5.2.2. Рефлективна метода 73

5.3. Дупчење и картирање на јадро 74

6. МЕТОД НА КОРЕЛАЦИЈА И РЕГРЕСИОНА АНАЛИЗА 78

6.1. Физичко-механички и геофизички карактеристики на варовникот од наоѓалиштата Слоештица и Рашанец 80

6.2. Корелациски зависности помеѓу вредностите за квалитет на карпеста маса со брзината на еластичните бранови 94

7. УПОТРЕБА НА ГЕОТЕХНИЧКИ МЕТОДИ (ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКИ ПРЕСЕЦИ (ИГП) И ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКИ МОДЕЛИ (ИГМ) ВО ИСТРАЖУВАЊЕ НА НАОЃАЛИШТА НА АРХИТЕКТОНСКО-ГРАДЕЖЕН КАМЕН 102

7.1. Дефиниција и структура на геотехничките модели 102

7.2. Врска помеѓу геолошките, инженерско-геолошките, геотехничките и модели на интеракција **103**

7.3. Модел на природна геолошка средина **105**

7.3.1. Инженерско-геолошки пресеци (ИГП) и инженерско-геолошки модел (ИГМ) 108

ЗАКЛУЧОК **123**

ЛИТЕРАТУРА **125**

ВОВЕД

Инженерската геологија во принцип го изучува теренот како природна геолошка конструкција, но и како работна и животна средина. Според принципите, методите и предметот на изучување, таа обезбедува синтеза и дава една реална оцена за меѓусебното влијание на природната геолошка конструкција (терен) и вештачките конструкции (објекти). Во литературата се среќава и под името геолошко инженерство т.е. научна дисциплина која се занимава со примена на геолошките знаења во решавање на инженерски проблеми. Таа опфаќа група на научни дисциплини кои се занимаваат со изучување на теренот, просторното планирање и градење на објекти во областа на градежништвото, рударството, енергетиката итн.

Во зависност од проблемите што се ги третира инженерската геологија, некои автори направиле нејзина систематизација и поделба. П.Н.Пањуков (1965) ја предложил следната поделба:

- инженерска петрографија;
- инженерска геодинамика;
- регионална инженерска геологија;
- специјална инженерска геологија.

Секако дека сите гранки од инженерската геологија се во тесни меѓусебни врски и скоро секогаш при решавање на конкретен проблем се применуваат заедно.

Кога станува збор за користење и имплементирање на инженерско-геолошките методи и техники во рударството најважна гранка, секако, е специјалната инженерска геологија. Специјалната инженерска геологија ги разгледува научните и теоретските прашања поврзани со инженерско-геолошкото изучување за рационално проектирање при градба на населени места, индустриски и градежни објекти од високоградбата и нискоградбата, рударски, архитектонски и други објекти и условите за

примена на различни мерки за подобрување на состојбата на теренот (геотехнички мелиорации).

Инженерската геологија има развиено својствени методи на научно истражување. Терминот **научна метода** се однесува на соодветен воспоставен систем за запознавање на даден објект, со чијашто помош се овозможува собирање и анализа на потребните податоци (Е.М.Сергеев, 1984).

Во специјалните методи се вбројува и методата на **моделирање на теренот** и истата е една од најраспространетите во инженерската геологија и геотехниката. Се поаѓа од фактот дека секој модел претставува поедноставена варијанта на вистинските услови во склоп на теренот. Како правило треба да се прифати фактот дека физичкиот модел на теренот секогаш треба да биде основа за избор на соодветен математички модел за анализа.

Во инженерската геологија многу е развиена методологијата на **инженерско-геолошко и геотехничко моделирање** по различни параметри кои се од интерес за проектирање (Кујунџиќ, 1978).

Како посебен тип на графички физички модели треба да се сметаат и сите геолошки, инженерско-геолошки и други карти, профили или било какви пресеци на теренот кои се добиваат со соодветна анализа и синтеза на сите теренски и лабораториски податоци.

Потребите за моделирање во инженерската геологија и геотехниката се многу поизразени отколку во другите науки од проста причина што геолошката средина е многу сложена.

Геотехничкото моделирање е нормална последица на потребите да што подетално и пореално се согледаат својствата на природната средина и нејзината реакција на промените кои настануваат со инженерската дејност на човекот.

Во минатото резултатите од теренските и лабораториските истражувања најчесто директно се имплементирале во проектните решенија. Не се посветувало многу внимание на фактот што теренот не е монолит, туку истиот треба да се гледа како целина.

Геотехничките и инженерско-геолошките модели даваат можност за брзо и прецизно претставување на повеќе фактички состојби на теренот и можност за манипулирање со повеќе параметри и реално согледување на последиците од инженерската дејност на човекот. Секако од извонредно значење за развојот на овие методи е и развојот на компјутерските системи и нумеричките методи.

Земајќи го предвид горекажаното во овој труд имаме намера да предложиме методологија на инженерско-геолошко истражување на наоѓалиштата на архитектонско-градежен и технички камен во Р. Македонија, која значително ќе се разликува од она што досега се користело како рутина за истражување на ваков тип наоѓалишта во земјава.

Во оваа нова методологија на истражување ќе се обидеме да внесеме дел од **геотехничките методи на истражување, преку користење на геотехнички модели (инженерско-геолошки пресеци (ИГП) и инженерско-геолошки модели (ИГМ) во истражување на наоѓалишта на архитектонско-градежен и технички камен**. Овие модели веќе подолго време се применуваат во геотехниката при фундирање на објекти (најчесто на високи брани), па оттаму е и главната интенција да направиме обид истите да се имплементираат и при истражувањето и проектирањето на површински копови преку примерот на истражување на наоѓалишта на градежен камен.

1. АКТУЕЛНОСТ НА ТЕМАТА И ПРЕГЛЕД НА ДОСЕГАШНИТЕ ИСТРАЖУВАЊА

Во последните десетина години во Р. Македонија се извршени бројни геолошки истражувања на неметалични минерални суровини, а како резултат на овие истраги се отворени многу површински копови пред сè на архитектонско-градежен и технички камен. При вршење на овие детални геолошки истраги неретко се вршат и сосема коректни и доследни инженерско-геолошки истражни работи. Во принцип при инженерско-геолошките истражни работи значајно внимание се посветува на состојбата на испуканост на карпестите маси и физичко-механичките својства на минералната суровина.

- Во текот на геолошкото картирање, детално литолошки-структурно се опсервираат мерни места при што се утврдуваат главните пукнатински системи врз основа на кои се врши пресметка на RQD параметарот.
- Од физичко-механичките својства најчесто се извршуваат: јакост на притисок во сува состојба, јакост на притисок во водозаситена состојба, водовпивање, волуменска тежина, специфична тежина, порозност, постојаност на дејство на мраз итн.

Од гореизнесеното може да се види дека од инженерско-геолошките истражни работи произлегуваат голем број конкретни податоци кои на проектантот на идниот површински коп треба да му бидат јасни патокази за решавање на голем број проблеми, пред сè, врзани со геометријата на копот, висината на етажите, стабилноста на косините, проектирањето на патиштата и др.

Идејата на овој труд е како што рековме во воведот да сите испитани параметри и сите добиени резултати ги претставиме во една сводна форма во вид на инженерско-геолошки пресеци (ИГП) и инженерско-геолошки модели (ИГМ) со помош на користење на методологијата на **геотехничко моделирање.**

Оваа методологија досега е применувана при проектирање на најосетливи и најсложени инженерски објекти, како што се бетонски брани, длабоки тунели, големи мостови, длабоки ископи и сл. Сега ќе се обидеме да ја примениме истата при проектирање на површински копови и да ја наметнеме како стандардна постапка во методологијата за утврдување на инженерско-геолошките карактеристики на карпестите маси во рударството.

Методологијата на геотехничко моделирање, главно, е заснована на поставките дадени од страна на Кујунџиќ (1973), а со тек на времето постојано е надградувана, па во тој контекст треба да се спомната работите на Кујунџиќ и Петровиќ (1980); Локин и Чолиќ (1980, 1990 и 1996); Јовановски, Гапковски и Петревски (1996); Јовановски и др. (2000); Јовановски, Гапковски, Илиовски (2002, 2003, 2004) и др.

Во последните дваесетина години во геотехниката се посветува голема важност на проблемите на интеракција на геолошката средина и инженерските активности, при што се истакнуваат работите на Павловиќ 1992, 1995 и 1996.

Со проблемите на општите физичко-структурни особини, посебно дисконтинуалноста, се занимавале следниве автори: Deere (1967), Annon (1970), Локин (1973-1978), Rolofs i Beyer (1981); Кујунџиќ (1977, 1979, 1983) и др.

Од големиот број класификациони системи кои се развиени во механиката на карпи овде треба да се спомене Геомеханичката класивикација – RMR – Rock Mass Rating (Bieniawski, 1970, 1973, 1974, 1975, 1976, 1979, 1989); RSR - Rock Structure Rating (Wickham, Tiedemam и Skinner, 1972 и 1974); Q sistem - Rock Mass Quality (Barton, Lien и Lunde, 1974), повеќепараметарски класификационен систем, преку кој можат да се опфатат проблеми од сите главни начини на ископ пазвиен од страна на Јовановски (2001) и е наречен ERMR (Excavation Rock Mass Rating).

Од страна на овие и на многу други автори е направен значаен напор што е можно поуверливо да се дефинираат состојбите и својствата на карпестите маси. Од друга страна, јасно е дека оваа област е практично неисцрпна за понатамошна научна работа, посебно на полето на геотехничкото моделирање.

2. СТРУКТУРНИ СВОЈСТВА НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

При инженерско-геолошките истражувања за успешно дефинирање на карактеристиките на теренот и карпестите маси е неопходно познавање на голем број својства и состојби.

Состојбата на карпестата маса објективен израз на севкупноста на сите геолошки процеси кои довеле до моменталниот изглед на теренот, но таа под одредени услови може да се промени при појава на нови термодинамички услови.

Својствата на карпестите маси се запис од сите процеси во геолошката историја кои влијаеле врз нивниот состав и градба. Квантитативен израз на својствата на карпестите маси се параметрите на состојбата. Состојбите и својствата на карпестите маси се прикажани на слика 1.

Слика 1. Приказ на основни својства и состојби на карпестите маси

Figure 1. Presentation of basic properties and conditions of the rock mass

2.1. Поим за карпеста маса, карпа, камен и почва

Во инженерската геологија е мошне значајно да се има предвид реалната состојба на карпестите маси во склоп на теренот. Реалната состојба подоцна може да се прикаже со определени упростувања во вид на модел на теренот.

За оваа цел е потребно јасно определување на поимите терен, карпеста маса, карпест масив, карпа, камен и почва (градежна почва). Овие поими во пракса често се мешаат или се употребуваат како синоними, но кога природните геолошки материјали се третираат од физичко-механички аспект треба да се прави јасна разлика меѓу нив.

Во општата геологија под поим карпа се подразбираат сите природни материјали кои ја сочинуваат Земјината кора. Со ова име се нарекуваат сите цврсто сврзани, слабоврзани и неврзани материјали.

Меѓутоа, во инженерството (градежништвото) е вообичаено под поим карпа да се подразбираат само цврсто сврзаните карпи, додека слабоврзаните и неврзаните материјали се именуваат како почва (односно градежна почва). Со терминот градежна почва се прави разлика од земјоделската обработлива почва.

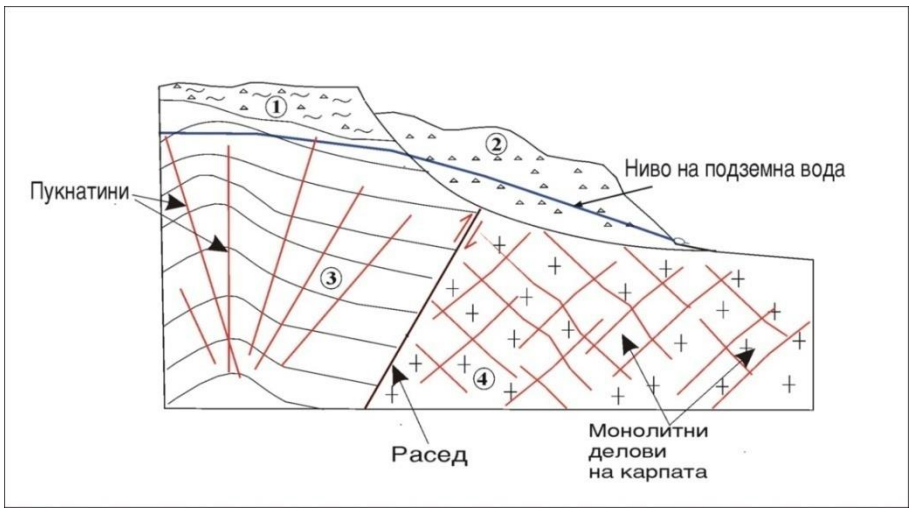
Исто така, се прави јасна разлика меѓу поимите карпа (примерок, монолит) и карпест масив. Под поимот карпа или монолит се подразбира изолирано парче на карпата кое уште се нарекува монолит (анг. Intact Rock). Монолит е петрографски најчесто хомогена маса составена од иста група на минерали, без некои видни дефекти. За него во најголем број на случаи и важат законите на механиката на континуум, односно поставките на теоријата на еластичност, теорија на пластичност и јакоста.

Под поимот карпеста маса (анг. Rock Mass) се подразбира дел од теренот со сите својства и состојби во склоп на теренот. Во пракса како синоним може да се користи и термин карпест масив.

Карпестиот масив може да се состои од повеќе петролошки видови на карпи со различно потекло и залегање, различен историски развиток, различни инженерско-геолошки својства во различни делови на карпестата маса и др. По правило карпестата маса е хетерогена, анизотропна, природно напрегната и испукана маса.

За карпестата маса генерално не можат да важат законите на механиката на континуум, туку законите кои се засноваат на претпоставки на дисконтинуум (прекинатост) на средината. Според тоа, законитостите кои важат за механичкото однесување на почвите, како и за карпата-монолит, не можат директно да се пренесуваат за цел карпест масив.

Шема на карпест масив е дадена на слика 2 од каде што можат да се согледат значајните разлики на монолитен дел од масивот во однос на вкупниот склоп на својствата и состојбите на карпестиот масив.



Слика 2. Шема на карпест масив: 1 до 4 - различни петролошки и генетски видови карпи (1-делувиум; 2-свлечиште; 3-набрани шкрилци; 4-гранит во тектонски контакт со шкрилците)

Figure 2. Scheme of rock massif: 1 to 4 - different petrolopic and genetically rock types (1 deluvium; 2-landslide, 3-harvested shale, 4- granite in tectonic contact with schist)

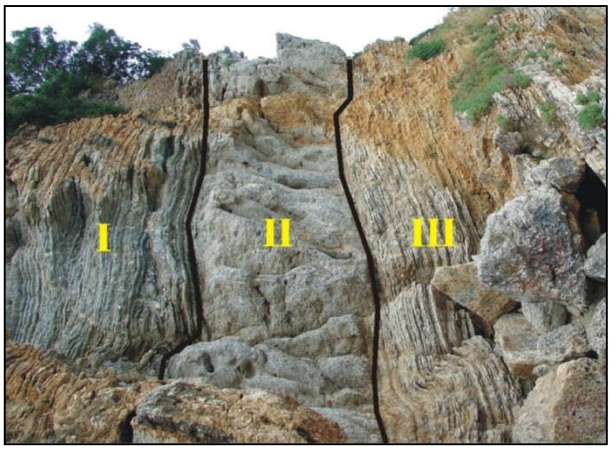
2.2. Хомогеност и хетерогеност на карпестите маси

Хомогеноста односно хетерогеноста на карпите е својство кое го дефинира начинот на нивната градба. По дефиниција, хомогено е она техничко или геолошко тело кое во сите свои делови е изградено на ист начин, односно сите негови физичко-механички својства се еднакви во секоја негова точка. Во спротивно, телото е нехомогено, односно хетерогено. Скоро, по правило, карпестиот масив е хетероген. Неговата хетерогеност е условена од низа фактори, меѓу кои најчести се:

- Хетерогеност на составот и физичкатата состојба која е условена од литолошките промени на карпите во масивот, карактерот на појавувањето (масивност, слоевитост, шкрилавост, набраност и друго, различната испуканост во различните делови, зони на распаѓање, различна водопропустност и сл.);
- Хетерогеност на напонската состојба, која е предизвикана со невоедначената распределба на природните напони во масивот на карпите, како и со промените на напрегањата како резултат на градежната активност (изградба на објекти, засечување на падините, подземни ископи, притисок од објектите, вештачките акумулации, промена на хидродинамичкиот режим и др.).

Поимот хомогеност или хетерогеност на карпестите маси е релативен и во основа зависи од волуменот кој се разгледува. Имено, карпестите маси се одликуваат со различни квалитативни и квантитативи својства со промена на разгледуваниот волумен.

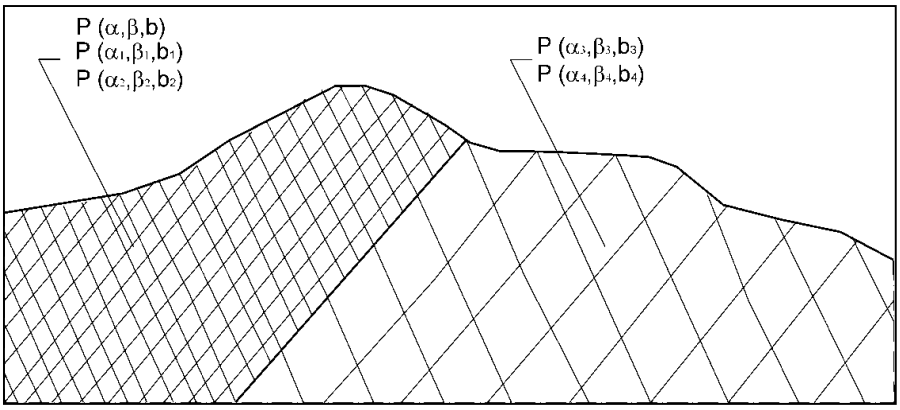
Затоа, во пракса кај карпестите маси, од посебно значење е да се дефинира т.н. „статистичка хомогеност" или „квазихомогеност".



Слика 3. Реален изглед на хетероген варовнички масив

Figure 3. Realistic-looking of heterogeneous limestone massif

I, II, III-quasi-homogeneous zones according to the situation of cracking



Слика 4. Шематски изглед на хетероген масив според состојбата на испуканоста
P (a, b, b) - различни параметри со кои се опишуват пукнатините
Figure 4. Schematic view of the of heterogeneous massif according to the situation of cracking P (a, b, b) - various parameters that describe the cracks

На слика 3 се гледа дека иако се работи за карпест масив со ист петролошки состав (варовник), според испуканоста јасно се разликуваат многу испуканите и набрани квазихомогени зони I и III и послабо испуканата масивна зона II.

Една од најбитните работи во овој труд е токму одредување на квазихомогените зони на површинските копови и нивно прикажување на инженерско-геолошкиот модел.

2.3. Анизотропија на карпестите маси

Поимот изотропно тело се однесува на она тело чиишто физичко-механички својства се еднакви во сите правци. Кога карпестите маси покажуваат различни физичко-механички својства во различни правци повлечени од една точка, тие се нарекуваат анизотропни карпи.

Ако својствата притоа се менуваат и од точка до точка (од зона до зона), телото (карпестата маса) е истовремено и анизотропна и хетерогена.

Како и кај хомогеноста и овде се воведува поимот квазиизотропија, кој е сврзан за воуменот на разгледуваното подрачје.

2.4. Природна напрегнатост на карпестите маси

Карпестите маси во природата пред каква било интервенција на човекот се наоѓаат во таканаречена природна **напонска состојба**.

Според тоа, тие мораат да се разгледуваат како претходно напрегнати средини. Ваквите напони се нарекуваат примарни напони и имаат битно влијание врз механичките својства, карактеристиките и однесувањето на карпестите маси.

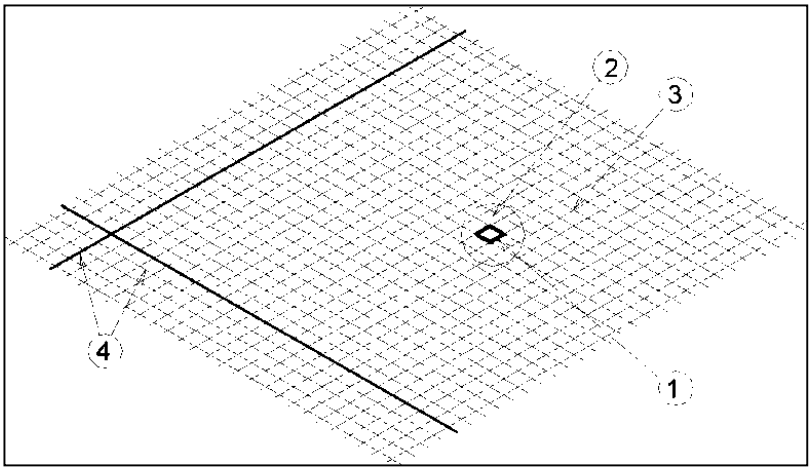
Причините за настанување на примарните напони можат да се сведат на следните четири основни дејства:

- дејство на гравитацијата;
- дејство на тектониката;
- дејство на ерозијата на Земјината кора;
- температурни влијанија.

Овие напони се посебно изразени и треба да се земат предвид при изработка на рудници со подземна експлоатација и други подземни објекти.

2.5. Дисконтинуалност на карпестите маси

Карпестите маси се одликуваат со тоа што содржат разни видови на дисконтинуитети, што значи тие треба да се третираат како дисконтинуум т.е. прекинати средини, а не како континуум (слика 5).



Слика 5. Шема на дисконтинуалност

Figure 5. Scheme of discontinued

На сликата со (1) е обележан т.н. **монолит**, кој претставува камена супстанца одделена од сите страни со системи на пукнатини, а целото разгледувано подрачје се смета за дисконтиниум. Меѓутоа, поимот дисконтиниум во геотехниката најчесто се третира како релативна категорија во однос на големината на набљудуваното подрачје и димензиите на објектот. Ако дисконтиниумот прикажан со (3) се разгледува како големо подрачје внатре во големите пукнатини (4), тогаш ова подрачје може да се смета за квазиконтиниум.

Во инженерската геологија како позначајни видови на дисконтинуитети се третираат:

- испуканоста,
- слоевитоста,
- шкрилавоста,
- цепливоста,
- лачењето,
- карстните форми и појави и др.

Од механички аспект испуканоста на карпестите маси зазема најзначајно место.

3.5.1. Испуканост на карпестите маси

По L. Muller, под пукнатини „**се подразбираат сите површини на прекин во карпестите маси по должинатакаде што е нарушена сврзаноста на материјалот, независно од тоа дали тие се отворени или затворени, дали се протегаат на десетина метри, или на неколку сантиметри, дали се рамна или нерамна површина, заполнети со материјал или не".**

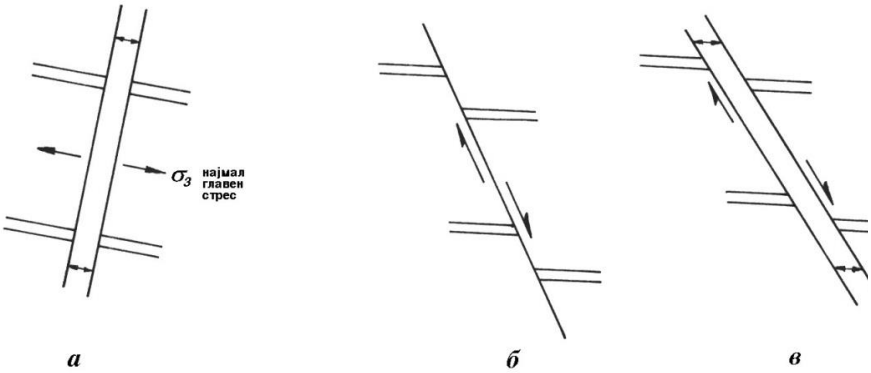
Испуканоста на карпестите маси претставува едно од основните физичко-структурни својства на карпестите маси, од кое пак во најголема мера зависат скоро сите физички и механички карактеристики, резултатите од механичките истражувања, нивното однесување при оптоварување и растоварување, хидрауличните својства, можноста за примена на одредени технички интервенции и ефектите од нив, носивоста и стабилноста, техниката и техологијата на ископ итн.

Карактеристиките на испуканоста битно влијаат и врз т.н. **ефект на размер** и критериумите за дефинирање на квазихомогеност и квазиконтинуум.

ГЕНЕТСКА КЛАСИФИКАЦИЈА НА ПУКНАТИНИТЕ

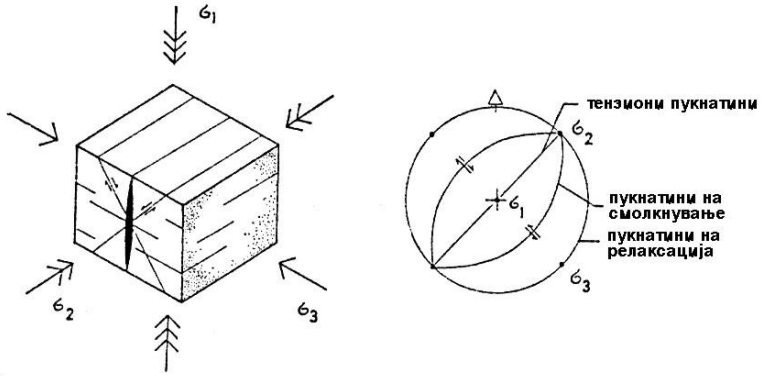
Од механичка гледна точка до појавата на лом во карпестите маси доаѓа во моментот кога силите кои дејствуваат врз нив ќе ги пречекорат граничните јакости на овие материјали (границите на нивните механички јакости). Во тој момент доаѓа до прекин на меѓумолекуларните врски и до наполно губење на кохезијата по должината на површините на ломот.

Во поле на триосно напрегање се формираат три главни кинематски типови на пукнатини (слики 6 и 7).



Слика 6. Кинематски типови на пукнатини: а-тензиона пукнатина; б-пукнатина на смолкнување; в-комбиниран систем на пукнатина со смолкнување и екстензија
Figure 6. Kinematic types of cracks: a. tenzion crack b. crack of shear c. a combined system of crack with shear and extension

Тензиони или **дилатациони пукнатини** се пукнатини кои се создаваат во триаксијално напрегање и имаат површина нормална на најмалото главно напрегање σ_3. **Пукнатини на смолкнување** се јавуваат во парови системи кои затвораат агол 60° и повеќе (може да биде развиен и само едниот систем). По површината на овие пукнатини на смолкнување се одвива мало поместување на крилата создавајќи така тектонски огледала со стрии, каскади и минерална линеација. **Комбиниран систем на пукнатини на смолкнување и екстензија** се создаваат во услови на дејствување на два механизма.



Слика 7. Динамичка анализа на пукнатинските системи. Тензионите пукнатини се развиени под агол од 90° кон σ_3. Пукнатините на смолкнување се во парови системи со меѓусебен агол α>60°, а нивниот пресек лежи во σ_2
Figure 7. Dynamic analysis of systems of cracking. Tension cracks developed at an angle of 90 ° to σ_3. Shear cracks are in pairs systems with mutual angle α> 60°, and their intersection lies in σ_2

По својот постанок се разликуваат следниве генетски видови на пукнатини:

- *Тектонски пукнатини*, кои настанале под влијание на тектонските процеси во Земјината кора, тие се најзастапени и најважни пукнатини во карпестата маса;
- *Примарни пукнатини*, кои настанале при процесите на лачењето во магматските карпи и дехидратацијата кај седиментните карпи;
- *Пукнатини на слоевитоста*, кои се јавуваат по должината на површините на слоевитоста кај седиментните карпи;
- *Пукнатини кои настанале со процесите на физичко-механичкото распаѓање на карпестите маси*, сврзани за мали длабини (15 - 30 м) и со неправилна форма;
- *Гравитациони пукнатини*, кои настанале по должината на падините и косините предиспонирани за појава на одрони, свлечишта и слични процеси;
- *Пукнатини кои настанале како резултат на ефектот на ослободување на напрегањата во карпестите маси при оформувањето на ерозионите врезови* (речни долини, суводолици и слични морфолошки форми на теренот).
- Пукнатините ретко кога се јавуваат осамени. По правило се јавуват низа помали пукнатини, со повеќе или помалку правилна местоположба во просторот.

Множество на паралелни или субпаралелни пукнатини чинат еден **систем или фамилија** на пукнатини.

Сите пукнатини од едно подрачје кои можат да припаѓаат на еден или повеќе системи сочинуваат **пукнатинска мрежа** на испуканоста.

Доколку испуканоста се одликува со голем број блиско поставени површини на пукнатините, ова се нарекува **пукнатинска зона**, која обично може да се апроксимира во една површина.

Пукнатинските мрежи пресекувајќи го карпестиот масив во различни правци, формираат во него одделни парчиња-блокови со различна форма и големина. Тие на масивот му даваат специфична структура која е наречена **блоковска структура**.

За наоѓалиштата на архитектонско-градежен камен оваа блоковитост е многу важна т.е. ако пукнатинските системи се поретки толку е поголема можноста да се добие квалитетен комерцијален блок, додека кај наоѓалиштата на технички камен блоковитоста и не е толку важна од аспект на квавитет и вредност на минерална суровина, но е од суштинска важност за стабилноста на косините на копот.

3. ТЕХНИЧКИ СВОЈСТВА НА КАРПИТЕ

Покрај петрографските својства кои се дефинирани со минеролошкиот состав и структурно-текстурните карактеристики, постојат и голем број на својства со чијашто помош можеме да извршиме проценка дали се карпите поволни за употреба во градежништвото, какви се условите за изведба на работните операции во нив и на нив, или пак да се предвиди нивното механичко однесување. Тие обично се нарекуваат *технички својства на карпите* каде припаѓаат:

- физичките својства,
- механичките својства.

По правило, петрографските својства во голема мера влијаат врз останатите технички својства, иако влијанието најчесто може да се согледа само на индиректен начин (слика 8).

Слика 8. Шема на влијанија меѓу петрографски и технички својства на карпите
Figure 8. Scheme of influences between petrographic and technical features of rocks

Принципиелното разбирање на индиректното влијание овозможува правилно програмирање на истражните работи за дефинирање на некои својства, како и дефинирање на меѓусебна зависност (корелацијата) меѓу одделните параметри.

3.1. Физички својства на карпите

Физичките својства се природни карактеристики со чијашто помош карпите може да се дефинираат на квалитативен и квантитативен начин. Во најголема мерка зависат од минералошкиот состав и склопот на карпата. Генерално кажано, тие зависат од видот, големината, формата и меѓусебна врска на зрната, како и од нивната просторна распределба во масата на карпата. Се определуваат и испитуваат главно на карпести примероци во лабораториски услови. Постои поголем број на физички својства, но од инженерска гледна точка во градежништвото се најзначајни следните:

- специфична тежина,
- волуменска тежина,
- порозност,
- гранулометриски состав,

- пластичност и конзистенција,
- збиеност,
- стисливост,
- водопропустливост,
- влажност,
- бабрење и собирање.

Всушност, за дел од физичките својства се користи терминот *индексни својства*, кои многу се користат при класификацијата на карпите.

Специфична тежина се изразува како тежина на цврстите честички на карпата (на нејзината минерална супстанца) во единица на волумен, без учество на пори, пукнатини или каков било друг празен простор во вкупниот волумен на карпата, а се изразува со следниот однос:

$$\gamma_s = \frac{G_s}{V_s} \quad [\text{ кN/м}^3 \text{ }]$$

каде што:

γ_s - волуменска тежина на цврстите честички на карпата [кN/m^3]

Gs - тежина на сува минерална супстанца [kN]

Vs - волумен на минералната супстанца [m^3]

Специфичната тежина кај карпите најчесто се движи во границите од γ_s=26 - 32 кN/м^3. Дијапазонот на вредностите е во границата на средната вредност на специфична тежина на поважните петрогени минерали.

Волуменска тежина на карпите е тежина на единица на волумен на карпест примерок заедно на минералната супстанција и нејзините пори. Се изразува со следниот однос:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad [\text{ кN/м}^3]$$

каде што:

γ - волуменска тежина на карпи во природна состојба [кN/м^3]

G - тежина на карпест примерок во природна состојба [кН]

V = Vs + Vp - волумен на примерок [$м^3$]

Vs- волумен на минерална супстанца

Vp- волумен на порите

Порозноста на карпите го претставува сиот празен простор (пори, пукнатини, шуплини и др.) во единица волумен на карпата. Според времето на постанокот, порозноста може да биде *примарна* - кога настанува истовремено со постанокот на карпата и *секундарна* - која се јавува дополнително по постанокот на карпата, под дејство на различни фактори.

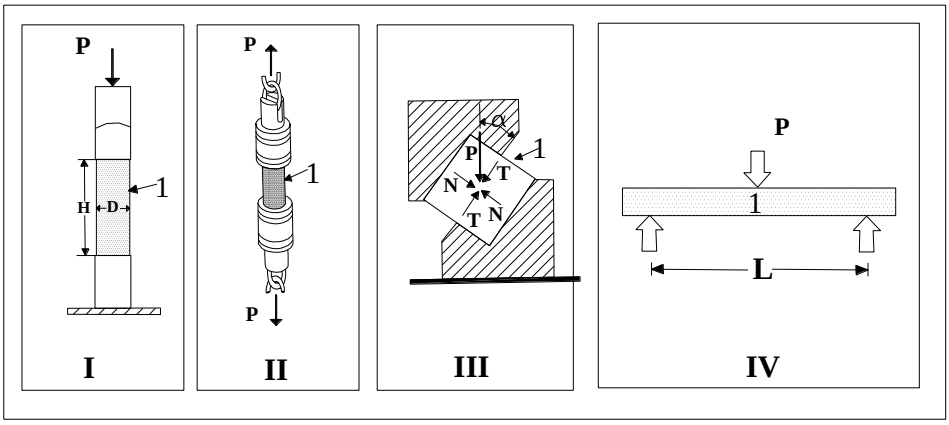
3.2. Механички својства на карпите

Под поимот *механички својства* се подразбираат оние својства кои се манифестираат кога карпите се изложени под дејство на сила. Притоа, оптоварувањето може да биде статичко или динамичко. Во овие својства поважни се *јакоста на карпите, елатичноста, пластичноста, тврдината, деформабилноста, жилавоста*, *абразивност*, *абењето* и др.

- Јакост на карпите

Јакоста на карпите е отпор кој тие го даваат кога се изложени на дејство на различни напрегања. Во зависност од видот на напрегање (притисок, затегнување, свиткување, смолкнување и др.) разликуваме повеќе видови на јакост и тоа *јакост на притисок, затегање, свивање, торзија* итн. (слика 9)

Кога приложувањето на товарот е континуирано и постепено (бавно) карпата манифестира ***статичка јакост***. Кога приложувањето на товарот е краткотрајно и брзо тогаш карпата манифестира ***динамичка јакост***. Јакоста кај карпите зависи од цврстината на минералите, начинот на нивната поврзаност, порозноста, свежината на минералите, количеството на врзивото (ако зрната се посредно сврзани), влажност и друго.



Слика 9. Видови на напрегања кај карпите
Figure 9. Types of strain in rocks

I - притисок врз цилнидрично пробно тело (1)
II - затегање преку директно затегање на цилиндричнопробно тело (1)
III - смолкнување на пробно тело (1) оптоварено со сила P
IV - свиткување на призматично тело оптоварено со сила P

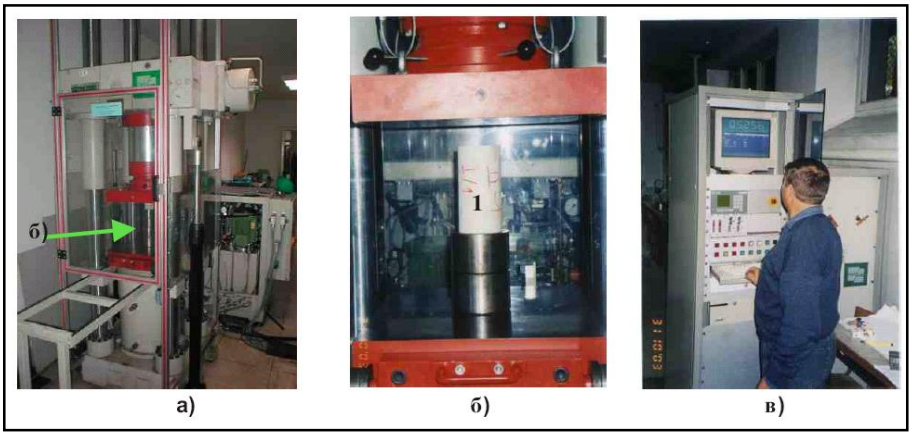
Со оглед на тоа што карпите се многу поотпорни кога се изложени на напони на притисок, од интерес во инженерство е најчесто се анализира јакоста на притисок.

Јакост на притисок на карпите (sp)

Јакоста на притисок се испитува лабораториски, на карпести примероци во правилни геометриски форми. Зависно од стандардот кој се користи при испитувањето може да се испитуваат примероци во вид на коцки, призми или цилиндри (10).

Слика 10. Изглед на пробни тела за испитување на јакост на притисок
Figure 10. Appearance of test fixtures for testing the strength of the pressure

Пробните тела се ставаат под дејство на силата на притисок со помош на хидраулични преси (слика 11), а се обработуваат со посебни машини за сечење, дупчење и полирање. Примероците може да бидат се различни димензии (најчесто во вид на коцки 10∗10∗10 cm). Според препораките на Меѓународното друштво за механика на карпи (ISRM-International Society for Rock Mechanics), јакоста на притисок се испитува на цилиндрични пробни тела со димензии H:D=2,5-3 (*H-висина; D-дијаметар на примерок).*



Слика 11. Преса за испитување на јакост на притисок на карпести маси со *сопствена контрола*
Figure 11. Press for testing the strength of pressure for the rock mass with "own control"

Се препорачува дијаметарот на пробното тело да не биде помал од D=54 mm (т.н. NX јадро). Силата се приложува сè додека не се предизвика лом на примерокот, така што таа сила се зема како меродавна за пресметка на јакоста на притисок:

$$\sigma_p = \frac{P}{A} \quad [\text{ кN/m}^2 \text{ или MN/m}^2 \text{ }]$$

каде што:

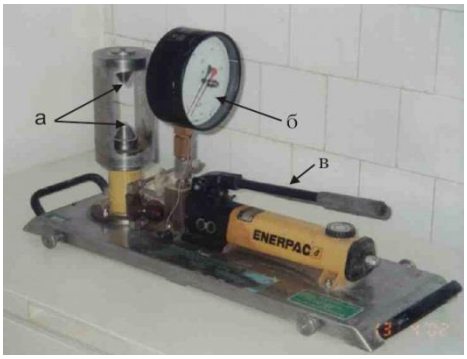
P – сила во момент на лом ма примерокот [кN или MN]

A - површина на напречен пресек на примерокот [m^2]

Индекс на јакост (Js)

Во праксата, како показател за јакоста најчесто се користи метода која е препорачана од страна на ISRM со испитување на таканареченият индекс на јакоста (Js). Овој параметар се добива на едноставен начин преку *тест на точкесто оптоварување на примерокот (*анг. Point Load Test-PLT*)*. Со испитување на индесот на јакост се занимавале повеќе автори започнувајќи од Протоѓаконов, (1950), Wittke и Louis (1969), Duffaut (1968), Reichmut (1968), Franklin (1970), D' Andrea и други (1965), Guidicini и други (1973), Bieniawski (1974) и други.

Индексот на јакост се добива со притискање на примерокот помеѓу два шилци, со апарат за точкесто оптоварување, кој најчесто се нарекува Франклинова преса (слика 12). Овој тест е стандардизиран по препораки на ISRM. Применлив е за карпести примероци со цилиндрична форма кои се добиваат директно од јадрата на дупнатините, како и на неправилни примероци без никаква посебна подготовка.



Слика 12. Преса за испитување на индекс на јакост

Figure 12. Press for testing the strength index

Пресметката за цилиндрични примероци со дијаметар од 50 мм се пресметува како однос помеѓу силата при лом (P) и дијаметарот на примерокот (D) по следната формули:

$$Js_{(50)} = \frac{P}{D^2}$$

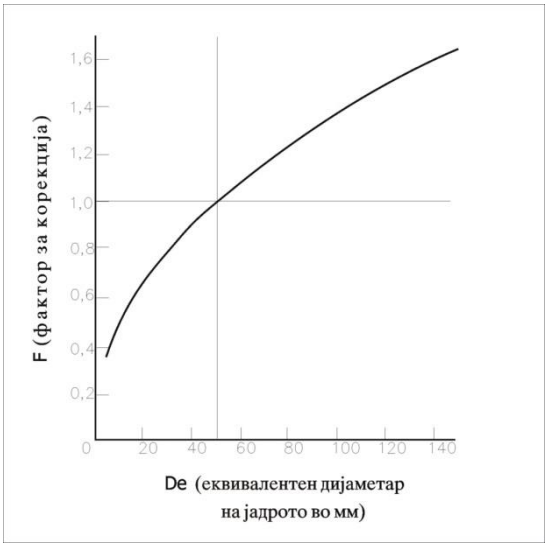
За цилиндрични јадра со друг дијаметар се воведува фактор на корекција (F), односно се разликуваат т.н. *некоригирана и коригирана јакост.*

Некоригирана јакост $Js = \frac{P}{D^2}$

Коригирана јакост $Js_{(50)} = F\frac{P}{D^2}$

Фактор на корекција $F = \left(\frac{D}{50}\right)^{0.45}$

Факторот за цилиндрични тела може да се добие и дијаграмски (слика 13).



Слика 13. Дијаграм за добивање на фактор за корекција (F)

Figure 13. Diagram for obtaining the correction factor (F)

За примероци со неправилна форма или во вид на призма за да се добие вредноста на т.н. еквивалентен дијаметар (De) се применуваат следниве формули:

$$A = WD = \frac{\pi}{4}De^2$$

$$W = \frac{W_1 + W_2}{2}$$

$$De^2 = \frac{4}{\pi}WD$$

каде што:

W - просечна димензија на примерокот (просечно помеѓу W1 и W2 од слика 7.16.)

De - еквивалентен дијаметар на примерокот

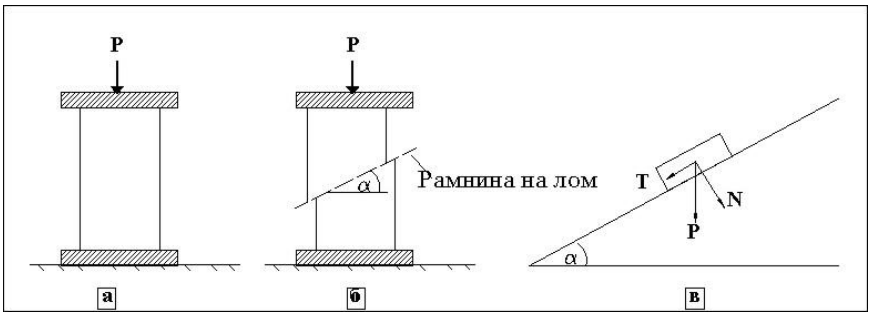
Js - некоригирана вредност на индексот на јакост при точкесто оптоварување

Js(50) - коригирана вредност на индексот на јакост при точкесто оптоварување за дијаметар од 50 мм

За пресметка на средната вредност се препорачува да се испитаат најмалку десет примероци од еден тип на карпа, што значи дека во случај на анизотропија треба и до дваесет примероци, со оглед дека вообичаено резултатите доста варираат.

Јакост на смолкнување

Јакоста на смолкнување се дефинира како отпор кој карпите го даваат при дејство на силите на смолкнување. Ако карпестата маса во природа или пак на примерок во лабораторија постепено се оптоварува со сила P, во момент кога ќе се надмине (исцрпи) јакоста на карпите на смолкнувањето ќе настане поместување по определена рамнина, која ќе биде наклонета под агол α.



Слика 14. Лом на примерок или на тело во природа заради сили на смолкнување (**T**)

Figure 14. Fracture on a sample or the body in nature due to the shear forces (T)

Аголот **α** се нарекува агол на најмал отпор на смолкнување. Наједноставна илустрација на процесот на смолкнување се гледа од сликата 17 - в, за едно тело (блок) на една наклонета рамнина. Ако аголот на наклонетата рамина се зголемува, телото со тежина која влијае како сила (P) е во стабилна состојба сè додека тангенцијална компонента (T) не

стане поголема од силата на триењето (N), која се јавува меѓу телото и рамнината на наклон. Од тој услов се добива силата на триењето:

$$T = Ntg\varphi$$

Збирот на сите сили на триење, поделен со вкупната допирна површини (A), ќе ја даде јакоста на смолкнување на почвата (T), додека збирот на сите нормални сили поделени со вкупната допирна површина го дава нормалното напрегање (c) па се добива:

$$\frac{\sum T}{A} = \frac{\sum N}{A} tg\varphi$$

Јакост на смолнување кај врзани материјали

Слабо врзаните и цврстоврзаните материјали, во допирните површини на честичките, покрај триењето, поседуваат уште едно својство, а тоа е кохезијата (c). Таа е продукт на внатрешните структурни врски и молекуларни сили. Според тоа, равенката за јакоста на смолкнување кај ваквите материјали ќе биде:

$$\tau = \sigma * tg\varphi + c$$

каде што е:

c - кохезија
φ - агол на внатрешно триење
t - тангенцијален напон
s - нормален напон

Горната равенката е позната како равенка на Coulomb. Подоцна, таа е делумно модифицирана од Terzaghi, кој го воведува терминот **ефективен** нормален напон:

$$\tau = (\sigma - u) * tg\varphi + c$$

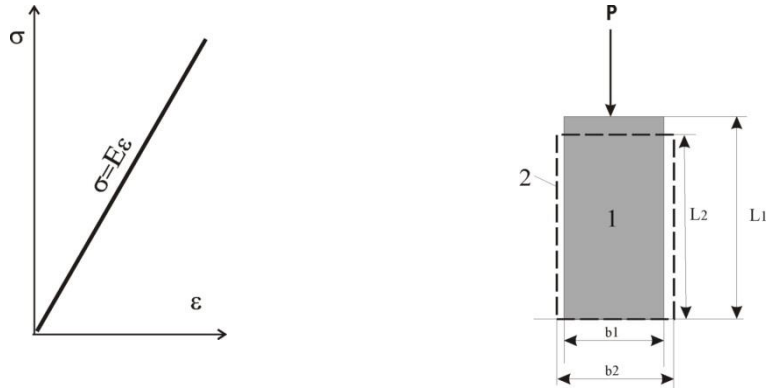
каде што е:
u - притисок од вода во порите на почвата

Јакоста на смолкнување, воопшто, се смета како најзначајна при решавање на голем број на проблеми од геотехниката како:

- дефинирање на стабилноста на падините и косините;
- дефинирање на носивоста на подлогата при оптоварување со објектите;
- стабилност на ископот кај подземни објекти и др.

- Деформабилност на карпите

Деформабилноста е својства на карпите да го менуваат волуменот и формата кога се изложени на дејство на надворешните сили. Притоа, силите треба да се под граничните, како не би се предизвикал лом (со што се навлегува во јакоста на карпите). Кога карпите се користат како природен градежен материјал, нивните деформабилни својства се испитуваат во лабораторија на карпести примероци во форма на призма или цилиндар (слика 15). Според тоа се мерат почетните димензии (L1,b1) и димензиите при соодветен товар (L2,b2). Мерењата треба да се вршат во средната зона на примерокот поради чистата рамномерна распределба на напоните на притисок. За карпести примероци без дефект (*пукнатини, шуплини*, *шкрилавост* и сл.) и напони до граница на пропорционалноста (до каде што и се дозволува товарењето во инженерството), важат законите на теоријата на еластичноста за идеално еластично (Хуково) тело.



Слика 15. Дијаграм напон-деформација за Хуково тело
Figure 15. Diagram stress - deformation of Hook body

Како израз или мерка за деформабилноста се користи модулот на еластичноста - E (Јунгов) и модулот на деформацијата - D, како и коефициентот на напречната деформација - ν (*Поасонов коефициент*).

Од познатата равенка *Хукова равенка* за пропорционалноста помеѓу напоните и дилатациите (релативни деформации) имаме:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \text{ односно } \quad E(D) = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [\text{МН/м}^2]$$

$$\text{при што е: } \quad \sigma = \frac{P}{A} \ , \ \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \text{ и } \ \Delta \mathrm{l} = \mathrm{L1} - \mathrm{L2}$$

каде што:

P - оптоварување [кN];

A - напречен пресек на примерокот [m^2];

σ - предизвикани напон на притисок од силата P;

ε - надолжна дилатација (во правец на силата P);

L1- почетна висина во случајов (димензија во правец на дејството на силата P);

L2- иста димензија по приложениот товар;

D- деформација (скратување на примерокот, однодсно промена на висината - димензија во правец на дејството на силата P).

Бидејќи карпите се одликуваат и со деформација која е нормална на правец на дејството на силата P, се јавува т.н. Поасонов ефект:

$$\nu = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon} \ , \quad \varepsilon_b = \frac{\Delta b}{b} \ , \quad \Delta \mathrm{b} = \mathrm{b2} - \mathrm{b1}$$

каде што:

ν - Поасонов коефициент;

ε_b - напречна деформација (релативна деформација напречно на дејство на силата P);

Δb- деформација (проширување на примерокот, мерна база, напречно на силата P); b2 - промена на димензијата напречно на силата P.

Реципрочна вредност на ν е еднаква на:

$$m = \frac{1}{\nu} \quad \text{е Поасонов број.}$$

За свежи карпести примероци вредностите за модулот на еластичноста и Поасоновиот коефициентот се движат во следните граници:

***Табела 1**. Типични вредности за јакост на притисок за одредени видови карпи*
Table 1. Typical values for the strength of the pressure on specific types of rocks

Карпа	Модул на еластичноста (E)[GN/m^2]	Поасонов коефициент (неименуван број)
Варовник	20,0	0,2 - 0,3
Песочник	31,0	0,05 - 0,25
Андезит	33,0 - 48,0	0,21 - 0,32
Гранит	35,0	0,20 - 0,36
Мермер	10,0 - 30,0	0,25 - 0,30
Глинец	10,0	0,35 - 0,40

Лабораториските испитувања се вршат аналогно на јакоста на притисок, односно силата се предизвикува со хидраулички преси.

Во пракса, за класификација на карпите кога се комбинира јакоста со деформабилноста, најчесто се користи класификацијата на Deere и Muler.

- Тврдина

Тврдината се дефинира како отпор кој карпестите маси го покажуваат при продирањето на некое друго (потврдо) поостро тело.

Се смета за едно од најзначајните својства на работната средина. Така, според Л.А. Шрејнер таа е „**една од сновните константи кај разорувањето на кртите материјали**", а според Л.И. Барон „**таа е единствена константа**" на чијашто основа е можно да се процени карактерот на разорувањето на кртите материјали. Во праксата постојат повеќе методи за испитување на ова својство, посебно за јагленот,

проширени како за статичкото, така и за динамичкото дејствување на оптоварувањето.

Покрај статичките методи постојат и низа динамички методи за испитувањето на тврдоста.

Во последно време најпримененувана е склерометарската метода или метода на испитување со Шмитов чекан (слика 16). Принципот на методата е заснован на мерење на еластичниот отскок на ударното тело, кое влегува во апаратурата на Шмитовиот чекан.

Слика 16. Изглед на склерометар
Figure 16. Look of the sklerometar

Таа е една од најбрзите и најекономичните методи за одредување на тврдоста, т.е. јакост на притисок за одредени корелациони зависности.

Во праксата покрај наведените методи за испитување на тврдоста се користи и т.н. Мосова скала за релативната тврдост на минералот како наједноставен начин за оценка на ова својство со вредноста на отскок на Шмитовиот чекан.

Исто така е утврдена е корелациона зависност помеѓу релативната тврдост за вредности по Мосовата скала (М) поголема од 1 со т.н. **коефициент на јакост f,** дадено со следната равенка.

$$f = 3.2\,M - 2.8$$

Тврдината добиена со различни методи често служи како основа за разни корелации за добивање отпор при разорување (ископ) на карпестите маси, што е дадено во некое од наредните поглавија.

4. КЛАСИФИКАЦИЈА НА КАРПИТЕ

Во геологијата, инженерската геологија и општо во геотехниката може да се сретнат голем број на класификации на карпите и карпестите маси во зависност од намената и функцијата на истите. Во овој труд ќе ги споменеме оние кои најчесто се користени во земјините науки, а дел од нив се користени и за потребите на овој труд. Најчесто се среќаваат следниве класификации:

- Геолошка класификација на карпите;
- Општи инженерско-геолошки класификации на карпите;
- Инженерско-геолошка класификација според препораките на меѓународно друштво за инженерска геологија (IAEG);
- Геотехнички класификации на карпестите маси.

4.1. Геолошка класификација на карпите

Постојат многу поделби на карпите кои во основа се засноваат на различни критериуми и тоа:

- постанок на карпите,
- минералниот состав на карпите,
- хемискиот состав на карпите.

Ние овде ќе ја прикажеме генетската класификација на карпите, односно класификацијата која се темели на начинот и условите на постанок на карпите. Хемискиот и минералниот состав на карпите во основа произлегуваат од условите и начинот на постанок, па според тоа и тие се составен дел на класификацијата. Врз основа на оваа класификација карпите се поделени на три групи и тоа:

- магматски карпи,
- седиментни карпи,
- метаморфни карпи.

4.1.1. Магматски карпи

Магматските карпи настануваат со консолидација на вжештениот силикатен течен растоп кој се нарекува магма или лава.

Магматските карпи се поделени на три групи и тоа:

- длабински,
- жилни,
- изливни.

Длабинските магматски карпи уште се нарекуваат и интрузивни или плутонски. Настануваат во горниот и долниот плутонски ниво. Се појавуваат во форми на батолити, лаколити, лополити и штокови. Настануваат при бавна кристализација на магмата и имаат зрнести структури.

Жилните магматски карпи се диференцијати на длабинските магматски карпи и тие претставуваат странични огранци на длабинските карпи.

Тие настануваат во нивото во кое настануваат и длабинските магматски карпи и се појавуваат во форма на жили.

Изливните карпи уште се нарекуваат и ефузивни и тие се формираат во вулканскиот или субвулканскиот ниво и имаат порфирски структури. Врз база на времето (геолошко) во кое се формирани се поделени на млади или кенотипни (кредни и терциерни до современи) и стари или палеотипни (мезозојски, палеозојски).

4.1.2. Седиментни карпи

Седиментните карпи настануваат со таложење или седиментација на иситнетиот или растворениот материјал кој потекнува од распаѓањето на порано настанатите карпи.

Процесот на формирање на седиментните карпи се нарекува литогенеза и во основа ги опфаќа следните моменти:

- површинско распаѓање на порано создадените магматски, седиментни и метаморфни карпи;

- таложење (седиментација) на седиментниот материјал, а во зависност од физичко-хемиските и хидролошки услови кои опстојуваат во басенот;

- преобразување на седиментите во седиментните карпи (дијагенеза и литификација).

Застапеноста на седиментните карпи во литосферата е релативно мало, бидејќи тие главно во горните делови на литосферата. Ако само површината на Земјината кора констатира дека седиментните карпи се тоа со количина од 76%.

4.1.3. Метаморфни карпи

Метаморфните карпи настануваат со преобразба на магматските или седиментните карпи под физичко-хемиски услови кои се поинакви од оние во кои тие карпи настанапе (карпите кои се преобразуваат).

Минералниот состав на карпата и нејзиниот склоп се последица на физичко-хемиските услови под кои таа настанала. Така, на пример, минералниот состав и склопот на магматските карпи се приспособени на високи температури и релативно високи до средни притисоци, додека при формирањето на седиментните карпи имаме ниски температури и ниски притисоци. Кога овие карпи ќе се најдат во услови кои се многу поинакви од оние при кои се формирале, тогаш нивниот минерален состав и склоп веќе не е во рамнотежа со новонастанатите услови и притоа кај карпите се појавува тенденција за приспособување кон новите услови. Најчест начин на промена на физичко-хемиските услови во природата се случува оној момент кога карпите кои се формирани на површината ќе бидат доведени во подлабоките делови од Земјината кора. Како последица на

промената на физичко-хемиските услови кај карпите се забележуваат процеси на приспособување кон новонастанатите услови, односно тие се метаморфозираат. Под поимот метаморфизам се опфатени сите промени кои се вршат на карпите при зголемени температури (во интервалот од 150 до 700 Целзиусови степени) и зголемен притисок. Карпите кои се продукт на ваквите промени се нарекуваат метаморфни карпи.

Метаморфните карпи можат да настанат со метаморфизам на магматските и седиментните карпи. Метаморфните карпи настанати со метаморфизам на магматските карпи се нарекуваат ОРТО-метаморфни карпи, а метаморфните карпи настанати со метаморфизам на седиментните карпи се нарекуваат ПАРА-метаморфни карпи.

Метаморфизмот, односно метаморфните промени како процес се контролирани од одредени физичко-хемиски закони, односно тие не се случајни промени туку се строго дефинирани.

4.2. Општи инженерско-геолошки класификации на карпите

Општите инженерско-геолошки класификации се користат, пред сè, за потребите на изработката на инженерско-геолошката графичка документација, односно при подготовка на инженерско-геолошките карти и профили. Со доследна примена на ваквите класификационите системи се овозможува полесна комуникација меѓу сите стручни лица кои се вклучени во решавање на геотехнички проблеми. Во оваа смисла, овде се прикажани некои од постојните класификациони системи со цел да се утврдат сличностите и разликите меѓу нив, а за практична употреба се предлагаат оние кои се препорачани од меѓународните институции како соодветни стандарди (кодови).

4.2.1. Инженерско-геолошки видови на карпи

За разлика од природните геолошки науки, каде што под поим на карпа се подразбираат сите природни минерални агрегати кои учествуваат во градба на Земјината кора, во инженерската геологија сите карпи се поделени во три основни групи и тоа:

• цврстосврзани карпи;
• слабосврзани;
• несврзани карпи.

Ваквата поделба е извршена врз основа на цврстина на врските кои постојат помеѓу зрната на карпите, а главно е разработена од страна на научниците од поранешната школа на Советскиот сојуз. Во основа, ваквата поделба може да се препознае и во инженерско-геолошката класификација која е предложена од посебна комисија на Меѓународното друштво за инженерска геологија. Имено, специјална комисија на друштвото во 1976 година има подготвително т.н. *Водич за подготовка на инженерско-геолошки карти*, издаден од страна на UNESCO.

Кај наведените три групи на карпи постојат суштински и остри разлики помеѓу нивните физичко-механички својства, како и нивното механичко однесување при работење во нив и со нив. Од практична гледна точка за инженерството, скоро да не постојат значајни физичко-механички разлики во рамките на една група. На пример, нема значајни разлики во физичко-механичките карактеристики и инженерското однесување при ископ или оптоварување меѓу гранит, дијабаз, габро, дацит, потоа меѓу мермер, варовник, доломит, помеѓу чакал и песок или пак помеѓу глините и лапорот, а при исти други услови на збиеност, распаднатост, влажност и слично.

- Цврстосврзани карпи

Кај цврстоврзаните карпи, помеѓу нивните зрна постојат претежно цврсти кристализациони врски. Нивните основни својства, пред сè, зависат од следните карактеристики:

• видот на минералните состојки, минералниот вид на врзивото и негово количество;

• склопот на карпите (големина, форма и распоредот на зрната во масата на карпата, како и начинот на нивната врска);

• разни дефекти во градбата на карпата (пори, пукнатини и други разни шуплини).

Цврстосврзаните карпи се и најчести карпи во Земјината кора. По своите физичко-механички својства можат да се издвојат во две подгрупи и тоа каменити и полукаменити цврстосврзани карпи.

Каменитите карпи (hard rocks) се одликуваат со голема кохезија, која им дава многу цврста врска меѓу минералните зрна, имаат мала деформабилност, голема јакост и генерално се со задоволнителна постојаност на дејство на надворешни влијанија. Јакоста на притисок на карпест примерок е $\sigma_p \geq$ **50 MN/m²**. При товари поголеми од граничните, деформацијата се манифестира со крт лом. Неоштетените каменити карпи се одликуваат со многу мала порозност, незначителна водопропусност или се практично водонепропустливи. Во ова инженерско-геолошка подгрупа припаѓаат сите магматски карпи, варовникот, доломитот, гнајсевите и масивни метаморфни карпи. Својствата на испуканите каменити карпи во одредени случаи многу се влошуваат. Во овој контекст, нивното механичко однесување е во најголема мера зависно од нивната испуканост. Така, во одредени случаи, за цврстоврзаните карпести маси може да бидат значајни проблеми поврзани со стабилност на одделни блокови кај падините, стабилност на косините, водопропустноста, условите за инјектирање, сидрење и слично. Научна област која првенствено се занимава со изучување на физичко-механичките својства и механичкото однесување на оваа подгрупа е механиката на карпите.

Полукаменитите карпи (soft rocks) се со понеповолни својства од каменитите. Така, јакоста на притисок на карпест примерок им е $\sigma_p \leq$ **50 MN/m²**, постојаноста кон надворешните влијанија им е намалена, главно имаат мала порозност, практично се водонепропустливи, а при дејство на вода слабо отпорни до растворливи. Во оваа инженерско-геолошка подгрупа припаѓаат глинците, лапорците, шкрилци со понизок кристалинитет, гипситот, некои видови на туфови и туфити и слични карпи. Треба да се спомене дека кај овие видови на карпи, заради можното влијание на влагата, водата, мразот и другите надворешни агенси, механикото однесување може да им биде многу карактеристично и променливо во тек на време и простор. Така, можни се појави на бабрење

(глинци, лапорци, туфови), појава на свлечишта од големи размери (глинци, лапорци, туфови), потоа распаѓање, временски деформации, одрони и сипари (во кристалести шкрилци) и друго. Во одредени случаи дури е можна појава на специфични процеси како хемиска интеракција со објектот и растворање. Хемиска интеракција во вид на влијание на карпата врз бетонот е можна кај туфовите кои содржат киселини во својот состав, како остаток од вулканските активности. Кај гипситот е можно создавање на бетонски бацил, заради содржината на сулфатен анјон, а можно е и хемиско растворање во тек на време, посебно кога се во контакт со површински води. Во случај кога јакоста на притисок е помала од σ_p **< 1.5 MPa**, некои од овие карпи прават преод кон слабоврзаните карпи. Така, за ваквите материјали може да се сретнат термини како цврсти почви (hard soils) или слаби карпи (weak rocks) како синоними. Инженерското однесување на овие карпи во најголема мера е зависно од дејството на надворешните фактори (мраз, вода, сонце). Кај ваквите карпи, во одредени случаи се можни крти ломови како за цврсти карпи (одрони и смолкнувања на блокови), а во други случаи при повисоки нивоа на оптоварување може да пројават типично механичко однесување за почвени материјали (пластификација, течење, бабрење и др.).

- Слабосврзани карпи

Во **слабосврзани карпи (cohesive soils)** се вброени оние претставници кои се изградени од честички поситни од 0,002 мм. Најтипични претставници се глини и лапори. Поврзаноста на нивните честички е остварена преку колоидните врски. Нивните својства се условени од соодносот меѓу цврстите честички, вода и воздухот во единица волумен, како и од минералниот и гранулометрискиот состав. Со промената на влажноста им се менува збиеноста и состојба на конзистенција. Во сува состојба се релативно цврсти, при влажење стануваат пластични и лепливи, а презаситени со вода и течливи. Порозноста е редовно голема, но со многу изолирани фини пори (голем број пори со мали димензии). Капиларноста е голема, но бавна, а по водозаситувањето практично се водонепропустливи. При товари кои се поголеми од граничните се манифестираат пластичните деформации со

истиснување на материјалот. Од инженерско-геолошки аспект се средина каде што може да се манифестираат појави на бубрење, консолидациони слегнувања, истиснувања, свлекувања, пречекорување на носивоста и друго. Во нив, често се јавува потреба од подобрување на нивните својства.

- Несврзани карпи

Во групата на **неврзани карпи (non-cohesive, cohesionless soils)** се класифицираат седименти изградени од минерални зрна или парчиња на карпи кои меѓусебно само контактираат, т.е. кои се целосно одвоени. Сите позначајни својства зависат од видот, големината, формата и сложеноста-густината на зрната. Деформациите под притисок се неповратни (поради преместување и меѓусебно зближување на зрната под товарот) и се одвиваат брзо, веднаш по оптоварувањето. Според големината на зрната (гранулометрискиот состав) разликуваме чакалести, песокливи и прашинести несврзани карпи. Генерално гледано, кај некои од карпите од оваа инженерско-геолошка група се можни појави на суфозија, ликвефакција, проламање, течишта и друго. Главно имаат висока водопропустност.

4.3. Инженерско-геолошка класификација според препораките на Меѓународно друштво за инженерска геологија (IAEG)

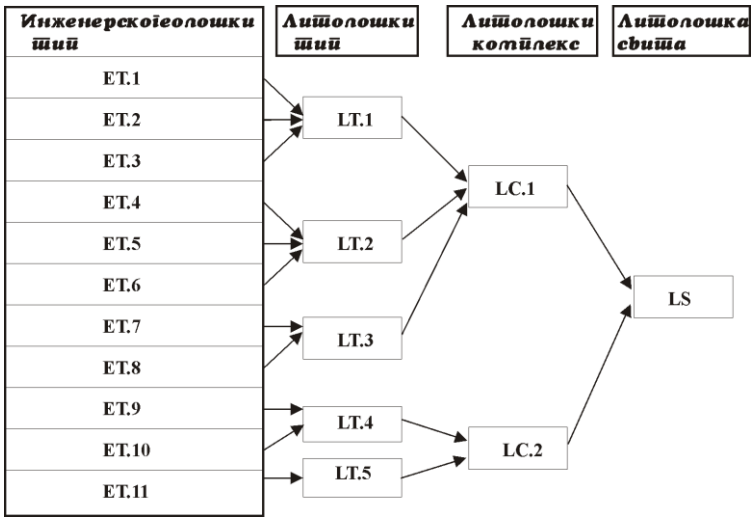
Принципите на разработениот класификационен систем од Комисијата за инженерско-геолошко картирање при IAEG се засновани на таканареченото литогенетски критериум. Имено, покрај видот на карпата (литологија), се посветува внимание на нејзината генезата (начин на постанок). За издвоените литолошки единици, врз основа на одредени критериуми, понатаму се издвојуваат репрезентативни (меродавни) природни карактеристики на карпите, со цел да се издвојат класи на карпи со слично инженерско однесување.

Основни начела на литогенетска класификација

Кај оваа класификација, основните единици се делат на следен начин:

• инженерско-геолошки тип (ET);
• литолошки тип (LT);
• литолошки комплекс (LC);
• литолошка серија (свита) (LS).

Шемата на поврзување на основните таксономски единици е дадена на слика 17.



Слика 17. Шема на поврзување на основните единици според препораки на IAEG
Figure 17. Scheme of connection of basic units according to recommendations of the IAEG

Инженерско-геолошкиот тип има највисок степен на физичка хомогеност (хомогеност на сите својства и состојби на карпата). Ова значи дека издвоениот инженерско-геолошки тип во разгледуваниот волумен треба да е хомогено граден во однос на одредени негови физичко-механички својства, кои може да бидат дефинирани со нивни статистички вредности. Статистички вредности на даден параметар (на пример волуменска тежина) се дефинира со неговата средна вредност (Xsr), како и отстапувањата околу средната вредност изразено во вид на коефициент на варијација (Kv) или стандардна девијација (Sd). Издвојувањето на инженерско-геолошките типови е од значење, главно, при изработка на карти од покрупна мерка, каде што може да се претстават повеќе детали.

Литолошкиот тип, пак, има хомогеност по однос на неговата литолошка градба, но не мора да биде хомоген по некое својство во склоп на целата негова маса. На пример, карпата гранит на даден локалитет може да биде литолошки хомогено градена, со иста структура и текстура, но во различни делови од теренот може да има различен степен на распаднатост, испуканост, модул на деформација или водопропустност. Ова значи дека кај еден карпест масив литолошкиот тип не е можно да биде претставен со статистички дефинирани вредности, туку во склоп на него е потребно да се издвојат посебни инженерско-геолошки типови (зони), каде што конкретните параметри нема да варираат многу околу статитичките вредности.

Литолошкиот комплекс се состои од неколку литолошки типови, кои се создадени во слични палеогеографски и геотектонски услови. На пример, во седименти создадени во езерска средина во тек на една геолошка ера може да се наталожат различни литолошки типови (одделни слоеви од глина, чакал, песок, кои заедно го сочинуваат литолошкиот комплекс). Ова значи дека не е можно цел литолошки комплекс да биде еднозначно дефиниран со една вредност за кое било физичо-механичко својство. Дефинирањето на литолошкиот комплекс е од основно значение при изработка на карти од средна и поретко ситна мерка.

Литолошка свита (серија) е составена од неколку литолошки комплекси, кои се создадени во слични палеографски и тектонски услови, но секој од литолошките комплекси во склоп на серијата се карактеризираат со јасно изразени литолошки разлики. Литолошката свита се користи како критериум за издвојување кај карти со ситна мерка.

4.4. Геотехнички класификации на карпестите маси

Аналитичките и нумеричките техники (и покрај нивната развиеност и многубројност) не обезбедуваат секогаш еднозначни решенија на проблемите. Од друга страна, инженерите во практиката се судруваат со низа конкретни проблеми кои мора да бидат решени врз основа на

инженерско чувство и опит. Во оваа смисла, искуствата кои се насобрани од различни објекти, секогаш се драгоцени и од голема помош.

Пристапот во геолошката и геотехничката наука и пракса, кој се засновува на собирање, анализа, систематизација и класификација на собраните податоци се нарекува ***емпириски*** (искуствен) пристап при проектирањето. Основа на овај пристап е класифицирање на карпестите маси во категории (групи) со слични својства кои се релевентни за даден инженерски проблем. Во склоп на една група (класа) на карпести маси се очекуваат слични геотехнички услови за изведба на дадена објект. Со примена на одредени критериуми се создаваат т.н. *инженерски класификациони системи*, кои се употребуваат како орудие кое им овозможува на проектантите да воспоставатат содветен однос меѓу својствата и состојбите на карпестата маса со карактеристиките на инженерскиот објект или интервенција. Со други зборови, со примена на класификационите системи се предлагаат решенија за конкретен проблем (подграден систем кај подземните работи, проценка на деформабилноста, јакоста на смолкнување, прогноза на стабилноста на косините и др).

Генерално, класификациите можеме да ги поделиме според повеќе критериуми. Така, според бројот на параметри кои се класифицираат и рангираат се делат на:

- класификации по еден параметар;
- класификации по два параметри;
- повеќепараметарски класификации.

Според нивниот карактер може да се поделат на:

- квалитативни (каде што класите на карпестите маси се делат описно);
- квантитативни (каде што класите се дефинирани со бројна

големина на некој параметар).

Според нивната намена може да се поделат на:

- класификации за изведба на подземни работи;
- класификации на ископ (општи, за риперување, минирање или копање);
- класификации за одделни директни параметри за разорување на средината (дупчивост, по услови за минирање, товарење, транспорт и друго).

Историски гледано, може да се каже дека најпрво се користеле класификациите од описен карактер, кои подоцна со развој на методите на истражување, проектирање, како и изведбата на сѐ посложените интервенции се покажале како недоволно прецизни и неадекватни. Тоа довело до потреба од развој на класификации каде што параметрите се изразуваат на квантитативен начин.

На сегашното ниво на развој на науката и техниката, за најдетални се сметаат т.н. **повеќепараметарски класификациони системи**. Во овие системи, со избор на повеќе влијателни параметри и нивна комбинација, се тежнее да се дефинира т.н. **квалитет на карпеста маса.** За дадена класа на карпеста маса се смета дека постојат слични услови за изведба на даден објект или работна операција.

Со примената на класификационите методи се има за цел да се постигне следното: (делумно модифицирано и надополнето, според Bieniawski, 1974):

- поделба на карпестите маси во групи со слично однесување (за дадена класа треба да постојат исти услови за ископ, товарење, трансопрт, заштита од појави на нестабилност и др.);

- остварување на предуслови за разбирање на карактеристиките на секоја група на карпести маси;

- да се дадат квантитативни податоци за секоја од наведените групи на инженерски проблеми;

- да овозможи делотворно комуницирање помеѓу лица кои се занимаваат со конкретниот проблем.

За успешно решавање на секој конкретен проблем, секоја конзистентна класификација треба да е заснована на јасно воспоставени и разбирливи принципи, во истата да се вклучени најмеродавните параметри кои релативно лесно може да се мерат.

4.4.1. Приказ на постојни класификации

Во сегашноста, во градежната и рударската наука, постојат неколку класификации кои најчесто се во употреба. Најголемиот развој и примена на класифиционите методи е поврзан за решавање на проблемите на стабилност на подземните отвори за објекти со различен карактер (сообраќајни и хидротехнички тунели, машински хали, подземни рудници и др).

За развој на овие класификации од значење се повеќе претходно трудови, кои на посреден или непосреден начин придонесле кон нивното оформување. Тука треба да се истакнат класификациите на Terzaghi (1946), како прв практичен систем, кој подолго време бил во употреба во САД во тунелоградбата, при примена на заштита на откопот со челични лакови. Lauffer (1958), пак, за првпат го вовел терминот „**време на стоење на стабилен отвор**”, со кој се дефинира всушност димензијата на отвор кој може да биде стабилен без примена на примарен или дефинитивен подграден систем. D. Deere (1967), разработил класификација која предвид го зема степенот на испоуканост на карпестите маси. Во оваа класификација за првпат е дефиниран т.н. ***RQD*** параметарот, кој подоцна често е применуван во други класификациони системи како интегрален дел. Во оригинал, овој параметар е замислен да го дефинира квалитет на карпата (***Rock Quality Designation).***

Во рударството, пак, големо историско значење има класификацијата на М.М.Протоџаконов (1926). Овој автор за потребите на рударските работи ја воведува т.н. „***скала на јакоста***”, каде што како

основен параметар кој служи за детерминирање на дадена класа е т.н. „коефициент на јакост” (f). Овој параметар, според разбирање на авторот, на некој начин ги обединува јакоста на смоклнување и притисок. Врз основа на овај коефициент, авторот сите карпи ги поделил во 15 класи со вредности на **f** од 0.3-20. Класификацијата претрпела одредени измени и надополнувања во тек на време, но овај коефициент и ден-денес се користи во одредени пресметки на минерски работи, дупчивоста, пресметка на оптоварувањето од карпестата маса врз тунелската подграда и др.

Постојат и низа други класификации, кои во помала или поголема мера имаат одредено значење за развојот на принципот на класифицирање.

Чекор напред на ова поле претставуваат трудовите на **Franklin** (1970) и **Franklin, Broch** и **Walton** (1971), како и на **Louis** (1974). Овие автори на еден логичен начин ги поврзале параметрите на јакоста и испуканоста, при што како резултат на тоа е можно да се изврши избор на начин на ископување на средината. **Abdulatiff** и **Cruden** (1983) извршиле анализа за можноста на примена на класификациите на **Bieniawski** и **Barton**, при одредување на начинот на ископ.

Во сегашниот момент на развој на геотехничката наука најпознати се т.н. RMR (Rock Mass Rating) систем кој е разработен од страна на Z.T. Bieniawski и т.н. (Q-систем), разработен од норвешките автори Barton, Lien и Lunde (1974).

Треба да се истакне дека се овие класификации се разработени врз основа на многу голем број анализирани примери од изведени објекти, така што покриваат голем број проблеми од пракса.

Квалитетот (рејтингот) и категоријата на карпестите маси се дефинира како продукт од повеќе класификациони параметри, а крајниот резултат се добива во вид на квантитативен показател (бројка) што ја

дефинира класата на карпести маси. Заради нивното значење и голема примена во практиката, истите се подетално анализирани.

- RMR (Rock Mass Rating) систем на Bieniawski

Оваа класификацијата е заснована на квантитативна поделба на карпестите маси, врз основа на комбинација од пет основни класификациони параметри. За дадена вредност на параметрите, авторот доделува одреден број поени. Нивниот збир го дефинира вкупниот рејтинг. Како шести (дополнителен) параметар се воведува поправка за ориентацијата на најмеродавниот пукнатински систем, чијашто вредност се одзема од вкупниот збир на поени. Според квалитетот на карпеста маса (нејзиниот рејтинг) карпите се поделени во пет основни категории, со соодветен квалитативен и квантитативен опис (табела 2).

Теоретски, карпите со најслаб квалитет имаат вредност RMR≤ 20, а највисок квалитет се однесува за многу цврста карпеста маса без пукнатини, која има вредност на RMR=100.

Основните класификациони параметри се однесуваат на некои од најзначајните својства и состојби на карпестите маси, и тоа:

1. Јакост на монолитни делови од карпата која може да се изрази или преку едноаксијалната јакост на притисок (sp) или преку т.н. индекс на јаксот (Js).
2. Параметар кој се однесува на степен на испуканост, дефиниран преку т.н **RQD**-вредност, првобитно дефиниран од страна на D.Deere (во оригинал Rock Quality Designation).
3. Растојание меѓу пукнатините (под поимот **пукнатина** се подразбираат сите дисконтинуитети како пукнатини, раседи, кливаж, фолијација, шкрилавост, слоевитост).
4. Состојба на пукнатините, се однесува на отворот, видот на заполнител и неговата дебелина, континуитет и рапавоста.

5. Состојба на подземна вода, за која е посветено соодветно внимание, со оглед дека е од големо значење за стабилноста на подземниот отвор.

Авторот воведува и шести параметар кој се смета како дополнителен и се однесува на ориентацијата на најмеродавниот пукнатински систем, во однос на ориентацијата на ископот. Треба да се спомене дека авторот извршил повеќе модифициии на методата, така што низ стручната литература се среќаваат неколку верзии (1973, 1974, 1976, 1979 и 1989). Најновата верзија е од 1989 год., а со сите потребни детали е прикажана во табела 2.

Класификацијата на Bieniawski одиграла голема улога во развојот на низа други класификациони системи, засновани на сличен принцип на бодување (рангирање) на карпестите маси, како и при проценка на деформабилноста на масивот, стабилност на косини, услови за фундирање во карпа и слично.

Табела 2. Класификација на карпести маси според Bieniawski, 1989
Table 2. Classification of the rock masses according to Bieniawski, 1989

А.Параметри за класификација и нивни рејтинг								
Параметар		Дијапазон на вредностите						
1. Јакост на моно-литни-те дело-ви	Индекс на јакост Jc (MPa)	>10	4-10	2-4	1-2	<1		
	Јакост на притисок σр(MPa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
поени		15	12	7	4	2	1	0
2. Показател на квалитет RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
поени		20	17	13	8	3		
3. Растојание меѓу пукнатини		>2 м	0.6-2м	0.2-0.6 м	60-200 мм	<60 мм		
поени		20	15	10	8	5		

4.Состојба на пукнатините		многу рапави пукнатини неконтинуирани без отвор свежи пукнатински ѕидови	брановидни пукнатински површини отвор < 1мм слабо изменети пукнатински ѕидови	брановидни пукнатински површини отвор < 1мм силно изменети пукнатински ѕидови	рамни и мазни пукнатини или заполнител со дебелина < 5 мм отвор 1-5 мм континуиран	мек заполнител >5 мм дебелина или отвор >5 мм Континуиран
поени		30	25	20	10	0
5.Состојба на подзе-ммна вода	Доток на 10 м должина од тунел **(л/мин)**	Без доток	<10	10-25	25-125	>125
	Однос меѓу притисок од вода и главен напон	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
	Генерал-на состојба	Целосно суво	Слабо провлажување	Влажно	Капење	Течење
поени		15	10	7	4	0
Б. Поправка заради ориентација на пукнатините						
Ориентација на протегањето и пад на пукнатините		Многу поволно	Поволно	Добро	Неповолно	Многу неповолно
Поени	Тунели и рудници	0	-2	-5	-10	-12
	Темели	0	-2	-7	-15	-25
	Косини	0	-5	-25	-50	-60
В. Класи на карпести маси одредени од вкупниот збир на бодови						
Рејтинг		100-81	80-61	60-41	40-21	<21
Класа бр.		**I**	**II**	**III**	**IV**	**V**
Опис		Многу добра карпеста маса	Добра карпеста маса	Поволна карпеста маса	Слаба карпеста маса	Многу слаба карпеста маса

Класификација на Barton, Lien и Lunde, 1974 (Q-sistem)

Еден од најчесто употребуваните и напознатите класификациони системи во тунелоградбата е развиен во Норвешкиот геотехнички институт (NGI), од страна на Barton, Lien и Lunde, 1974. Авторите анализирале голем број подземни ископи, при што параметарот кој на нумерички начин го одредува квалитетот на карпестата маса го нарекле индекс на квалитет

Q (quality index). Овој индекс е дефиниран со комбинација на неколку параметри на следен начин:

$$Q=(RQD/Jn)*(Jr/Ja)*(Jw/SRF)$$

каде што е:

RQD - показател на степен на испуканост RQD според D.Deere;
Jn - показател кој се однесува на број на пукнатински системи (joint set number);
Jr - параметар кој се оденесува на рапавоста на пукнатините (joint rougness number);
Ja - параметар кој се оденесува на изменетоста на пукнатините (joint alteration number);
Jw - показател за редукција заради воден притисок (joint water reduction number);
SRF - фактор за редукција на напонот

Вредноста на индексот Q може да се движи од 0.001 до максимум 1.000. Сите овие параметри за различна состојби се дефинирани преку соодветни препораки на авторите, во вид на нумеричка вредност кои може да се најдат во стручната литература.

Генерално, првиот член во формулата (RQD/Jn) се однесува на големината на блок во масивот, односно структурата на масивот. Вториот (Jr/Ja) ја репрезентира рапавоста и својствата на триење на пукнатинските ѕидови или заполнителот, а третиот (Jw/SRW) е репрезент на напонската состојба во масивот. Со детални анализи на повеќе автори се покажало дека за секој од овие параметри може да се утврдат одредени ограничувања, но бидејќи во класификацијата се понудени повеќе алтернативи, таа се покажала како доста погодна за примена во практиката.

Повеќепараметарска класификација на теренот како работна средина развиена врз основа на податоци од Р.Македонија

Повеќепараметарски класификациски систем во кој се опфатени проблеми на сите главни начини на ископ е разработен од страна на Јовановски (2001) е наречен ERMR (excavation rock mass rating). Тој се однесува за сите видови карпести маси (неврзани, слабоврзани и цврстоврзани). Неговата разработка е направена врз основа на принципот на бодување (рангирање) на карпестите маси. Основите на овој систем се прикажани во табела 3. При изборот на влезните параметри е водено сметка истите да влијаат „рамномерно" врз отпорот при копање, а да се доволно репрезентативни како карактеристиките на масивот, така и на монолитните делови.

Табела 3. *Повеќепараметарска класификација на терен како работна средина* ***(ERMR)***
Table 3. *Multiple parametric classification for field as work environment (ERMR)*

Параметар	**Класа**						
	I	**II**	**III**	**IV**	**V**	**VI**	**VII**
1.Јакост на притисок (sp)	Неврзани почви	<1	1-5	5-10	10-30	30-70	>70
Индекс на јакост Is (MPa)		<0.1	0.1-0.7	0.7-1.2	1.2 - 2	2.5-4	>4
поени	0	3	5	8	10	12	20
2.Тврдина по Мосова скала	Полвени материјали	1-1.5	1.5-2	2-3	3-5	5-6	>6
Вредност на SHRV	(SHRV<10)	10-13	13-17	17-26	26-35	35-50	>50
поени	1	3	5	8	10	15	20
3.Волуменска тежина (kN/m^3)	12-15	15-18	18-22	22-24	24-27	27-30	>30
поени	3	4	6	8	12	15	20
4.Средна димензија на блок- **Ls** (cm)	Неврзани почви	<2	2-6	6-10	10-30	30-200	>200
Показател **RQD(%)**	0	0-10	10-25	25-50	50-75	75-90	90-100
поени	0	4	8	13	16	18	25

5.Состојба на пикнатини	Неврзани почви	**1**.Мазни **2**.Континуирани **3**. Отвори > 10 mm , **4**.Мека исполна (дебалина >10 mm)	**1**.Мазни **2**. Континуирани **3**.Отвори 5-10 mm **4**. Мека исполна (дебалина 5-10 mm)	**1**.Средно рапави **2.**Континуирани **3**. Отвор <1-2 mm, **4**.Силно изменети ѕидови	**1**.Рапави **2**.Континуирани **3**.Отвор <1mm, **4**.Силно изменети ѕидови	**1**.Рапави **2**.Континуирани **3**.Отвор <1mm, **4**.Слабо изменети ѕидови	**1**.Многу рапави **2.**Неконтинуирани **3.**Без отвор (стиснат) **4.**Неизме-нети ѕидови
	тип 1	тип 2	тип 3	тип 4	тип 5	тип 6	тип 7
поени	0	1	2	4	7	8	15
ВКУНО ПОЕНИ (ERMR)	**<10**	**10-25**	**26-40**	**41-50**	**51-60**	**61-80**	**81-100**
Можен метод на ископ	Лесно копање	Вообичаени услови за копање	Многу тешко копање, лесно рипување	Рипување	Рипување - минирање со растресување	Минирање	Тешки услови за минирање
Механизација	RH5	RH8	RH9/D7	D8/D7	D9/D9G		Голема потрош. на експлозив, блиски мински дупки

Како карактеристики на монолитните делови може да се сметаат следниве параметри:

- јакоста на монолит (**sp** или **Js**, алтернативно);
- волуменска тежина (**g**);
- тврдина, која може да се изрази квалитативно преку Мосовата скала и квантитативно преку параметарот SHRV (по корелација SHRV=8.72M-0.04).

Карактеристиките на масивот се презентирани со следните параметри:

- степен на испуканост преку параметрите - средна димензија на блок (**Ls)** или алтернативно преку показателот **RQD**;
- состојба на пукнатинските ѕидови (која алтернативно може да се дефинира и како даден даден тип на пукнатини, како арбитрарна замена за најзначајните карактеритики како должината (континуитет), отворите, рапавост, заполнител и др.

Класификации за проценка на стабилноста на косини

При третман на проблеми поврзани со стабилноста на косини, класификационите методи исто така може да најдат свое место. Така, Romana (1985) разработил една таква класификација врз основа на податоци од случаи на 28 косини (табела 4). Од анализираните примери, шест косини биле целосно биле срушени (настанал нивни лом). Основа за овај систем е класификацијата на Bieniawski, со одредени измени во поправките за ориентација на меродавните пукнатински системи. Притоа, Romana утврдил дека има релативно добро усогласување на предвидениот степен на стабилност со SRMR (Slope Rock Mass Rating) системот.

При користење на кој било класификационен систем треба да се имаат предвид за да се избегнат одредени несогласувања во фаза на изведба на објектите.

Имено, според Bieniawsk, класификациите на карпестите маси никогаш немале за цел да дадат безусловни решенија на проблемите при проектирањето, туку единствено да помогнат кон решението. Ова значи дека тие немаат за цел целосно да ги заменат аналитичките техники, теренските набљудувања или пак да го елиминираат значењето на инженерското расудување. Нивната основна цел е да бидат дел од вкупната процедура на истражување, проектирање и изведба на објектите, за да се овозможи полесно решение на проблемите.

Tabela 4. *Класификација за косини (т.н. SMR-Slope mass rating, според Romana)*
Tabela 4. *Classification for slopes (called SMR-Slope mass rating, according to Romana)*

А.Параметри за класификација и нивни рејтинг						
Параметар		Дијапазон на вредностите				
1.Јакост на моно-литните	Индекс на јакост Js (MPa)	>10	4-10	2-4	1-2	За толку ниски вред-ности, пого-ден е тест на едноаксијалн а јакост

делови	Јакост на прити-сок σр(МРа)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
поени		15	12	7	4	2	1	0
2. Показател на квалитет RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
поени		20	17	13	8	3		
3. Растојание меѓу пукнатини		>2 m	0.6-2m	0.2-0.6 m	60-200 mm	<60 mm		
поени		20	15	10	8	5		
4.Состојба на пукнатините		Многу рапави пукнатини неконтину-ирани без отвор свежи пукнатински ѕидови	брановидни пукнатински површини отвор < 1mm слабо изменети пукнатински ѕидови	брановидни пукнатински површини отвор < 1mm силно изменети пукнатински ѕидови	рамни и глатки пук-натински површини заполнител дебел < 5 mm отвор на пукнатините 1-5 mm континуирани	мек заполни-тел >5 mm дебелина или отвор >5 mm континуирани		
поени		30	25	20	10	0		
5.Состој-ба на подзем-на вода								
	Гене-рална состојба	Целосно суво	Слабо провлажну-вање	Влажно	Капење	Течење		
поени		15	10	7	4	0		
Б. Поправка заради орентација на пукнатините								
Случај на лом		Многу поволно	Поволно	Добро	Неповолно	Многу неповолно		
Рамнин-ски лом (R)	(a1-as)	>30	30-20	20-10	10-5	<5		
Преврту-вање (P)	(a1-as-180)	>30	30-20	20-10	10-5	<5		
R/P	F1	0.15	0.4	0.7	0.85	1		
R	(b1)	<20	20-30	30-35	35-45	>45		
R	F2	0.15	0.4	0.7	0.85	1		
P	F2	1	1	1	1	1		
R	b1-bs	>10	10-0	0	0-(-10)	<-10		
P	b1-bs	<110	110-120	>120				
R/P	F3	0	-6	-25	-50	-60		

Забелешка: as-насока на пад на косина: bs-паден агол на косина

a1- насока на пад на пукнатина; b1-паден агол на пукнатина

Табела 4 (продолжение). *Класификација за косини (т.н. SMR-Slope mass rating, spored Romana)*

Table 4 (continued). *Classification for slopes (called SMR-Slope mass rating, according to Romana)*

Поправка за начин на ископ на косините					
Метод на ископ	Природна косина	Пресплит минирање (претходно оконтурува-ње)	Мазно минирање	Вообичаено минирање	Многу лошо минирање
Фактор на попрвака F4	+15	+10	+8	0	-8
SMR=RMR- (F1*F2*F3) +F4					
Опис на SMR класи					
Класа бр.	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Опис	Многу слаба карпа	Слаба карпа	Поволна карпа	Добра	Многу добра
Стабилност	Многу нестабилна	Нестабилна	Делумно стабилна	Стабилна	Целосно стабилна
Начин на лом	Големи планарни ломови или во вид на почва	Рамнински лом или големи клинови	Лом по должината на некои од пукнатини или неколку клинови	Само лом на некои блокови	Без појава на лом
Подградува-ње	Растоварува ње или целосен ископ	Корективни мерки од голем обем	Систематско подградува-ње	Повремено подградува-ње	Без подграда

F1- фактор за поправка кој се однесува на степен на паралелност меѓу косината и протегање на дисконтинуитетот;

F2 - фактор кој се однесува на падниот агол на дисконтинуитетот во однос на наклонот на рамнината на лом (можниот тип на лом);

F3 - фактор кој се однесува на односот меѓу паден агол на косината и пукнатината;

F4 - фактор за поправка во зависност од методот на ископ.

Класификација според Геолошки индекс на јакост (GSI)

Од страна на Hoek и соработниците (1995) е воведена класификација според т.н. Геолошки индекс на јакост (слика 24). Овој параметар често се користи во пракса, а името го добива од терминот Geological Strength Index.

Слика 18. Класификација според GSI (Hoek и сораб., 1985)

Figure 18. Classification according to GSI (Hoek ett all, 1985)

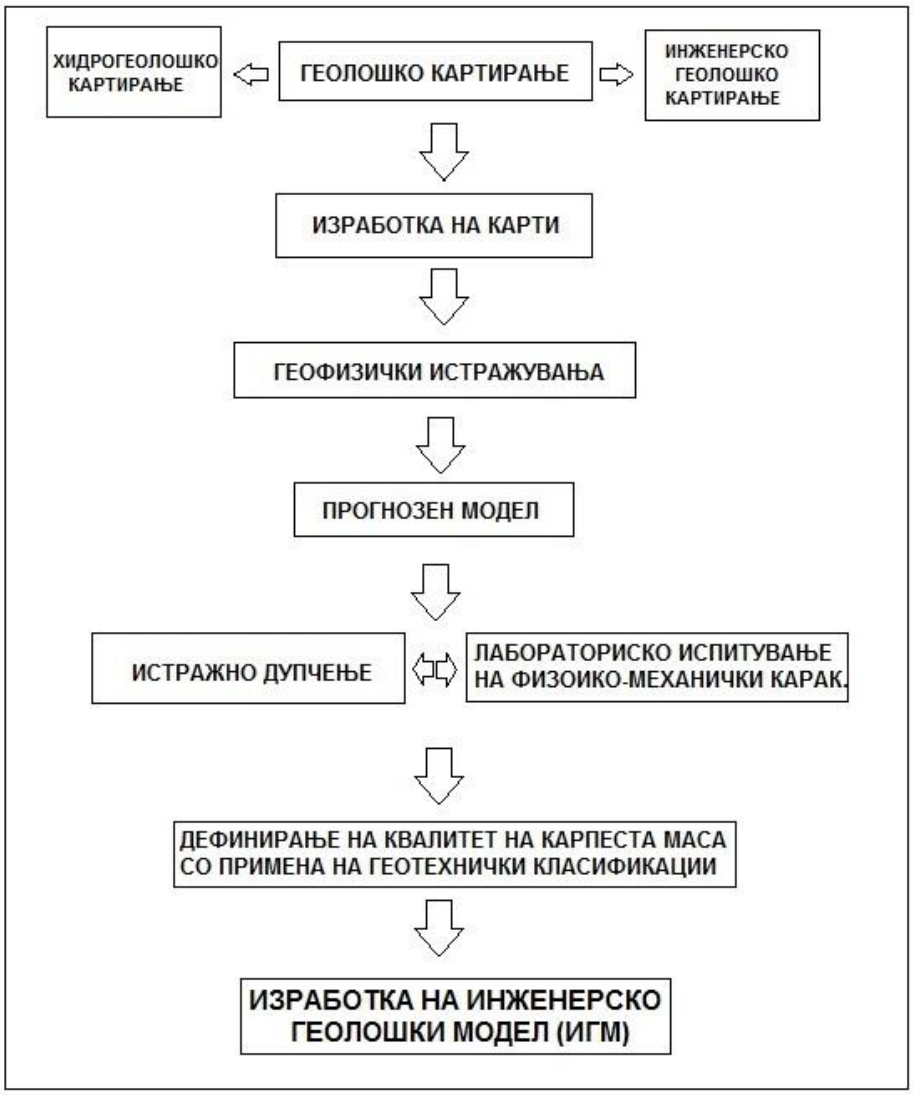
5. ПРЕДЛОГ-МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕ И ДЕФИНИРАЊЕ НА ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА КАРПЕСТИТЕ МАСИ

Во ова поглавје се презентирани основните методи на истражување на карпестите маси и можностите за дефинирање на нивните инженерско-геолошки карактеристики. Важен момент при истражувањето на даден простор, односно карпест масив, е примената на правилен распоред на методите за истражување (дијаграм 1). По правило, најправин се спроведува геолошкото картирање кое во себе ги вклучува хидрогеолошкото и инженерско-геолошкото картирање. По спроведеното картирање се изработуваат детални карти на истражниот простор. Со овие истражувања спроведени на површината на теренот се создава почетен модел за истражниот простор.

Врз база на овие истражувања се проектираат геофизички истражувања. За дефинирање на потребните параметри на карпестиот масив е можна примена на сеизмичките и геоелектричните методи. Во зависност од геолошките услови можно е една од овие методи да е поефикасна т.е. да дава можност за пореално дефинирање на потповршинската градба на карпестиот масив. Генерално гледано паралелната примена на двете методи претставува најдобро решение. По спроведување на овие истражувања се прави прогнозен модел на карпестиот масив.

Врз база на спроведените анализи од геофизичките истражувања се дефинираат местата каде што ќе се врши дупчењето со јадрување. По спроведеното бушење и картирање на јадрото се прави реинтерпретација на претходно изработениот модел.

На крајот, откако ќе се добијат и резултатите од лабораториските испитувања на физичко-механичките карактеристики на карпестите маси (поглавје 3), веќе можат да се користат и геотехничките методи и да се пристапи кон изработка на инженерско-геолошки модели (ИГМ) на истражниот простор.



Дијаграм 1. Распоред на истражните методи при имплементација на предлог-методологија за истражување и дефинирање на инженерско-геолошките карактеристики на карпестите маси.
Diagram 1. Schedule of the investigative methods in implementing the proposed methodology for researching and defining the engineering-geological characteristics of the rock mass.

Предложениот распоред на дадените методи на истражување треба секогаш да се почитува и прескокнувањето на која било фаза, со цел да се поевтини истражувањето доведува до грешки и пропусти кои можат сериозно да го загрозат текот на истражувањето.

5.1. Геолошко, инженерско геолошко и хидрогеолошко картирање на теренот

5.1.1. Геолошко картирање

Со геолошкото картирање се испитуваат и решаваат повеќе категории на геолошки проблеми. Имено, со картирањето се изработува геолошка карта на која се прикажуваат литолошкиот состав и структурно-тектонската градба на теренот, се одредува староста на карпите, редоследот на нивното создавање и др. Решавањето на секоја од овие категории на податоци бара ангажман на повеќе геолошки дисциплини и специјалисти од тие области. Проблемите можат да бидат уште повеќе усложнети ако се јавуваат повеќе картирани единици кои припаѓаат на различни геотектонски единици.

Според тоа, во зависност од намената на геолошкото картирање, од големината на подрачјето што треба да се картира и од геолошката и геоморфолошката сложеност на теренот се формира тимот геолози за картирање по број и специјалност. За одредена теренската работа може да биде ангажиран еден геолог, а по потреба се ангажираат специјалисти за лабораториска и кабинетска работа. Додека, за реализација на поголеми проекти се ангажираат два-тројца геолози и повеќе за теренската работа, техничар за цртање, како и геолози и други специјалисти за лабораториски испитувања.

Денес, насекаде во светот, па и кај нас, постојат една или повеќе верзии на геолошки карти. Така што новите картирања за различни намени претставуваат надградба на поранешните знаења за теренот. Поради тоа геологот, пред започнувањето на новото геолошко картирање мора добро да се запознае со сите резултати и нерешени проблеми од поранешните истражувања. Во таа смисла се врши рекогносцирање, систематско картирање, компилација и реамбулација.

1. Рекогносцирање претставува прелиминарно запознавање на проблемите што треба да се решаваат со геолошкото картирање. Во првата фаза од картирањето теренот се обиколува со ретки маршрути, но добро распоредени, при што би се добиле повеќе податоци за геолошката

градба. Обемот на прелиминарните истражувања зависи од големината на подрачјето, од геолошката сложеност и од намената на картирањето.

2. Систематското картирање претставува ново картирање во друг размер од претходното картирање. Систематското картирање се врши по утврдена методологија.

Врз основа на претходно добиената претстава за геолошкиот состав на теренот, начинот на деталното систематско картирање се избира во зависност од геолошката градба, покриеноста и тектонскиот стил. Тоа е многу важно, бидејќи не може на ист начин да се проучува и картира терен изграден од мали интрузивни тела или од крупни интрузивни тела со неправилни граници, или е изграден од издолжени паралелно ориентирани седиментни или метаморфни карпи. Планирањето на маршрутите зависи и од покриеноста на теренот. На откриен терен границите многу полесно се следат и картирањето се врши на еден начин. На друг начин картирањето се изведува ако теренот е покриен или пошумен, бидејќи границите во тој случај се издвојуваат со интерполација или екстраполација од видливите точки на границите. Според тоа, зависно од горенаведените карактеристики на теренот, при систематското картирање за минување на теренот се користат една или комбинација на две или три од подоле наведените методи:

- метода на напречно профилирање,
- метода на следење на контакти (граници) и
- метода на набљудување на сите изданоци.

Метода на напречно профилирање

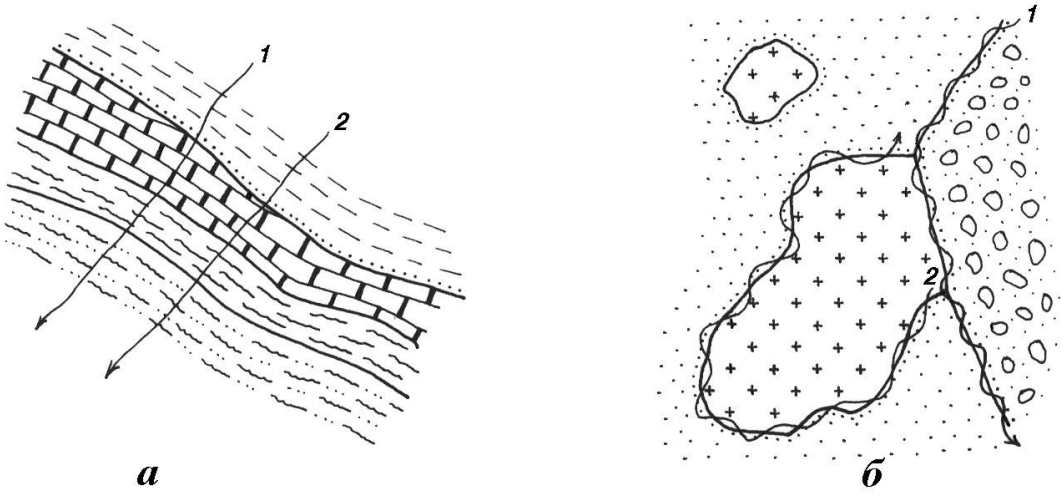
Оваа метода се состои од поминување на теренот со паралелни маршрути, напречно ориентирани на протегањето на геолошките тела. Во многу случаи методата успешно се применува, а нејзина предност е во тоа што во текот на минувањето на теренот геолошките тела и карпите се набљудуваат и проучуваат по геолошкиот столб од најстарите кон најмладите или од најмладите кон најстарите стратиграфски нивоа. Методата успешно се применува на откриени терени, со зонален распоред на карпестите маси во паралелни појаси (слика 19 - а).

Метода на следење на контакти (граници)

Оваа метода се состои од следење на границата со маршрутата и нанесување на картата. На овој начин се добива точна локација на контактот (границата) меѓу две литолошки единици или трасата на раседната структура, без примена на екстраполација и интерполација (освен во покриени терени). Се применува при потреба од следење на неправилни граници, а такви се границите на неправилни магматски тела, граници на лушпи и навлаки, граници на клипи, тектонски прозорци, траси на слоеви со благ пад, реперни хоризонти, оруднети слоеви и слично.

При картирањето со ова метода, геологот појдува од видлива откриена граница која потоа ја следи и обележува на картата. Кога ќе стигне на покриено подрачје границата се одредува со „методата на утврдување на покриени граници".

Недостаток на методата е што просторот меѓу следените граници (контакти) не е виден од геологот и тој дел не е картиран (слика 19 - б).



Слика 19. Методи на минување на теренот при геолошкото картирање:
а – метода на напречно профилирање, б – метода на следење на гараница

Figure 19. Methods of the passing on the ground in geological mapping:
a - cross-profiling method, b - method of tracking the geological boundary

Метода на набљудување на сите изданоци

Методата се користи при изработка на детални геолошки карти (планови). Прво се поминува теренот и се издвојуваат изданоците на топографската основа. Се изработува геолошка карта на изданоците со исцртани граници со полна линија. Потоа, со интерполација и „методата на утврдување на покриени граници" се дополнува геолошката карта за просторот меѓу изданоците, означувајќи ги границите со знакот за покриени, односно претпоставени граници.

Според горенаведеното, поединечно овие методи можат да се применат само на терени со одредена специфична градба. Меѓутоа, во геолошката пракса, во текот на картирањето се применува комбинација на овие методи, со што се постигнува многу повисок квалитет на изработка на геолошката карта.

3. Компилација претставува изработка на нова геолошка карта со помал размер со пренесување на геолошките податоци од карти со покрупен размер и со внесување нова интерпретација на геологијата

4. Реамбулација претставува повторно картирање на одреден терен. Причините за реамбулација можат да бидат различни. Најчесто реамбулација на терен се врши поради нови сознанија во геолошката наука и поради потреба од дополнување на геолошката карта за одредено подрачје со нови податоци. Во ретки случаи се врши реамбулација и поради лошо претходно картирање.

ДОКУМЕНТИРАЊЕ НА ТЕРЕНСКИТЕ ИСПИТУВАЊА

Во текот на теренската работа се собира голем број разновидни геолошки податоци, кои имаат целосна вредност само ако се прецизно лоцирани, ако се точни и сеопфатни и доволно јасни за разјаснување на геологијата на теренот. Таквите податоци треба да се добро средени за да можат лесно да се користат при финалната обработка на геолошката карта. Документирањето на теренски собраните податоци се врши графички, текстуално и материјално.

Документациска карта

Доколку се врши класично картирање во регионални рамки, а по потреба и за специјални намени, геолошката карта е придружувана и од документациска карта. Оваа карта, со ист размер како и геолошката карта, се изработува на терен. На неа сукцесивно, секојдневно се нанесуваат набљудуваните точки на терен, од сите членови на тимот геолози. Со карактеристични знаци на документационата карта се обележуваат местата на земените примероци и проби. Обично се користат мали кругчиња карактеристично обоени за петрографски и минералошки испитувања, за хемиски и геохемиски анализи, за палеонтолошки и изотопски одредби и др.

Текстуална документација

Теренските набљудувања и проучувања детално и опширно се документираат и со пишуван текст. Во текстуалната документација, пред сè, влегува теренскиот дневник, извештајот за петрографските и минералошките испитувања, исто и извештајот за палеонтолошките испитувања, за седиментолошките испитувања, за хемиските испитувања и рудно-микроскопските и други испитувања.

Извештаите за наведените лабораториски испитувања се изработуваат во случаи кога се врши специјално картирање и е потребно за геолошката карта. На пример, ако се картираат подрачја со седиментни наслојки тогаш се вршат и палеонолошки и седиментолошки испитувања. Ако се картираат терени изградени од метаморфни и магматски карпи, тогаш најважни се петрографско-минералошките и хемиските испитувања на карпите итн.

Теренските опсервации се бележат во теренскиот дневник или се снимаат на магнетофон (во непогодни временски услови).

5.1.2. Инженерско-геолошко картирање

Со деталното инженерско-геолошко картирање на теренот треба да се утврдат следниве карактеристики:

- инженерско-геолошките и геотехничките својства на карпестите маси;
- постоење на егзодинамички процеси и појави (свлечишта и др.);
- инженерско-геолошките услови за изградба на објекти (стабилност).

Инженерско-геолошкото картирање се изведува по деталното геолошкото картирање и во принцип се врши на површината на теренот, како и на избушеното јадро.

Овој тип на картирање како една од од фазите на предложената методологија, претходи на геофизичките истражувања, истражното дупчење и лабораториските испитувања. Со инженерско-геолошкото картирање се добиваат податоци за односите меѓу различни литолошки комплекси, тектониката, состојбата на карпестата маса, пукнатините и пукнатинските системи и егзодинамични геолошки појави и нивно евентуално напредување.

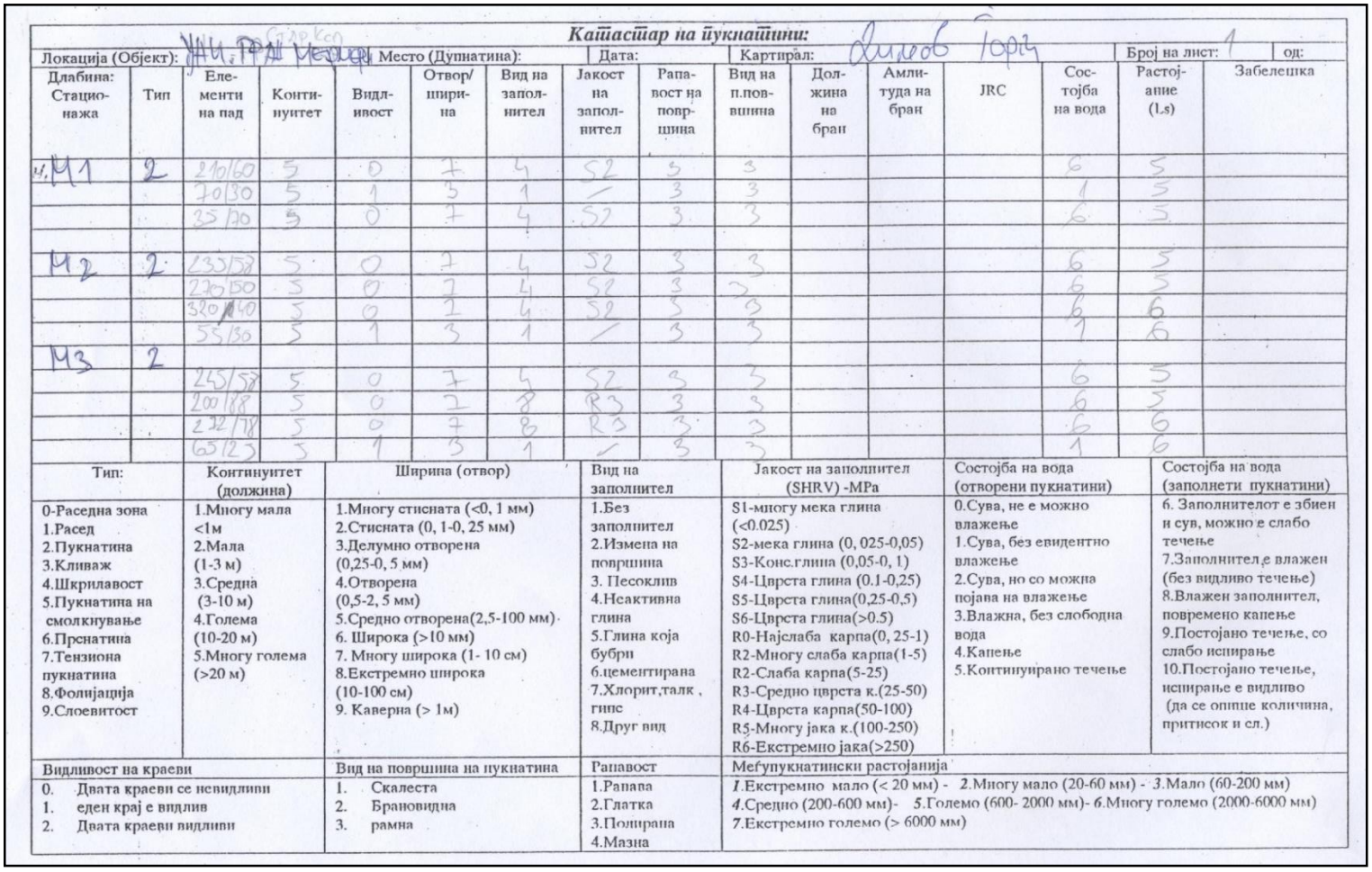
При одредување на структурно-тектонските карактеристики, најголемо внимание се посветува на слоевитоста (кај седиментните карпи), лачењето (кај магматските) и шкрилавоста (кај седиментните карпи), т.е. испуканоста кај сите видови на карпи. Истражувањето на тектонските карактеристики во принцип се состои од детално истражување на елементите на раседите, пропратните пукнатини, раседните зони и неотектонските движења, наборите и сите манифестации кој се случуваат поради набирањето.

Кога се врши на површината на теренот најправо се лоцираат мерните места. Мерните места треба да бидат лоцирани во свежи и репрезентативни изданоци на карпеста маса. Сите мерења што се спроведуваат на овие мерни места во принцип се во функција на мерење, дефинирање и опис на пукнатините и пукнатинските системи.

За оваа цел е изработен теренски мерен протокол наречен Катастар на пукнатини (слика 20) со чиештто пополнување добиваме табеларен приказ на повеќе параметри кои ги дефинираат пукнатините, како што се: тип на пукнатини, елементи на пад на пукнатина, континуитет (должина), ширина на пукнатината, вид на заполнител, јакост на заполнител, состојба на вода, вид на површина на пукнатини, рапавост и меѓупукнатинско растојание.

Потатоците од оваа табела подоцна се користат за одредување на квалитетот на карпестиот масив со помош на класификациите кои се базираат на „бодување“, при што на различните параметри (показатели) им се препишуваат разни бројчани вредности во зависност од нивната важност што ја имаат за севкупната класификација на карпестите маси.

Подоцна, доколку се врши длабинско истражно дупчење со јадрување, потребно е јадрото да се картира од инженерско-геолошки аспект, при што се забележуваат и се картираат сите пукнатини во јадрото и се земаат проби за физичко-механички лабораториски истражувања.



Катастар на пукнатини:

Локација (Објект): Место (Дупнатина): Дата: Картирал: Број на лист: 1 од:

Длабина: Стационажа	Тип	Елементи на пад	Континуитет	Видливост	Отвор/ширина	Вид на заполнител	Јакост на заполнител	Рапавост на површина	Вид на п.површина	Должина на бран	Амплитуда на бран	JRC	Состојба на вода	Растојание (1,s)	Забелешка
M1	2	210/60	5	0	7	4	S2	3	3				6	5	
		70/30	5	1	3	1	/	3	3				1	5	
		35/20	5	0	7	4	S2	3	3				6	5	
M2	2	235/58	5	0	7	4	S2	3	3				6	5	
		270/50	5	0	7	4	S2	3	3				6	5	
		320/40	5	0	7	4	S2	3	3				6	6	
		55/30	5	1	3	1	/	3	3				1	6	
M3	2														
		245/58	5	0	7	4	S2	3	3				6	5	
		200/88	5	0	7	8	R3	3	3				6	5	
		232/78	5	0	7	8	R3	3	3				6	6	
		65/25	5	1	3	1	/	3	3				1	6	

Тип:	Континуитет (должина)	Ширина (отвор)	Вид на заполнител	Јакост на заполнител (SHRV) -MPa	Состојба на вода (отворени пукнатини)	Состојба на вода (заполнети пукнатини)
0-Раседна зона 1.Расед 2.Пукнатина 3.Кливаж 4.Шкрилавост 5.Пукнатина на смолкнување 6.Прснатина 7.Тензиона пукнатина 8.Фолијација 9.Слоевитост	1.Многу мала <1м 2.Мала (1-3 м) 3.Средна (3-10 м) 4.Голема (10-20 м) 5.Многу голема (>20 м)	1.Многу стисната (<0, 1 мм) 2.Стисната (0, 1-0, 25 мм) 3.Делумно отворена (0,25-0, 5 мм) 4.Отворена (0,5-2, 5 мм) 5.Средно отворена(2,5-100 мм) 6. Широка (>10 мм) 7. Многу широка (1- 10 см) 8.Екстремно широка (10-100 см) 9. Каверна (> 1м)	1.Без заполнител 2.Измена на површина 3. Песоклив 4.Неактивна глина 5.Глина која бубри 6.цементирана 7.Хлорит,талк , гипс 8.Друг вид	S1-многу мека глина (<0.025) S2-мека глина (0, 025-0,05) S3-Конс.глина (0,05-0, 1) S4-Цврста глина (0.1-0,25) S5-Цврста глина(0,25-0,5) S6-Цврста глина(>0.5) R0-Најслаба карпа(0, 25-1) R2-Многу слаба карпа(1-5) R2-Слаба карпа(5-25) R3-Средно цврста к.(25-50) R4-Цврста карпа(50-100) R5-Многу јака к.(100-250) R6-Екстремно јака(>250)	0.Сува, не е можно влажење 1.Сува, без евидентно влажење 2.Сува, но со можна појава на влажење 3.Влажна, без слободна вода 4.Капење 5.Континуирано течење	6. Заполнителот е збиен и сув, можно е слабо течење 7.Заполнител е влажен (без видливо течење) 8.Влажен заполнител, повремено капење 9.Постојано течење, со слабо испирање 10.Постојано течење, испирање е видливо (да се опише количина, притисок и сл.)

Видливост на краеви	Вид на површина на пукнатина	Рапавост	Меѓупукнатински растојанија
0. Двата краеви се невидливи 1. еден крај е видлив 2. Двата краеви видливи	1. Скалеста 2. Брановидна 3. рамна	1.Рапава 2.Глатка 3.Полирана 4.Мазна	1.Екстремно мало (< 20 мм) - 2.Многу мало (20-60 мм) - 3.Мало (60-200 мм) 4.Средно (200-600 мм)- 5.Големо (600- 2000 мм)- 6.Многу големо (2000-6000 мм) 7.Екстремно големо (> 6000 мм)

Слика 20. Теренски мерен протокол Катастар на пукнатини

Figure 20. Field measurement protocol "Cadastre of the cracks"

Нареден чекор што треба да се направи е систематски да се класифицираат карпестите маси по параметар испуканоста (RQD) по методата што ја предложил D. Deer, а подоцна Palstrom ја доработил.

Како показател на испуканоста на карпестите маси D. Deer го усвоил параметарот на „квалитетот на карпата“ - RQD (rock quality designation), кој се определува со следниов израз:

$$\mathrm{RQD} = \frac{Lp}{L} * 100, [\ \%\ ]$$

Lp – должина на парчињата на јадрото еднакви и поголеми на 10 cm;

L – должина на интервалот на дупчењето за кој се поределува Lp.

Според оваа класификација за RQD се дадени следниве вредности:

RQD (%)	**квалитет на карпеста маса**
0 - 25	многу слаба карпа
25 - 50	слаба карпа
50 - 75	задоволителна карпа
75 – 90	добра карпа
90 – 100	многу добра карпа

Во праксата оваа класификација доста неадекватно и погрешно се применува што може да наведе на погрешни заклучоци.

Имено, определувањето на RQD факторот бара квалитетно дупчење без механичко оштетување на јадрото, во спротивно методологијата нема да даде коректни резултати.

Најчесто се добива привидната должина на парчињата при дупчењето. Вистинската должина се добива кога дупчењето е нормално на слоевитоста и фолијацијата или блиску на тоа. При вертикално дупчење и субвертикални пукнатини може да се добие висока вредност на RQD, а карпата да биде многу испукана. „Неосетливост“ на методата се јавува кога пукнатините се на меѓусебно растојание од 10 до 11 cm (RQD = 100 %, при наполно вадење на јадрото), како и на 8 – 10 cm, кога се добива најниска вредност на RQD, а всушност се работи за практично ист степен на испуканост.

Кога се работи за површински испитувања (не на избушено јадро) и кога сакаме да го примениме овој методот на испитување на вредноста на RQD мораме да се придржуваме до формулата на Palstrom:

$$RQD\ (\%) = 115 - 3.3\ Jv$$

Каде што е:

Jv - вкупен број на пукнатини на $1m^3$ карпеста маса (во случај ако Jv< 4.5 степен на испуканост тогаш RQD = 100%).

5.1.3. Хидрогеолошко картирање

Хидрогеолошките истражувања концепциски се усогласени со геолошките истражувања и методолошки се поставени така што одговарат на потребни задачи, а со цел да се добијат релевантни податоци кои ќе послужат за рационално и сигурно проектирање на технологијата на ископ. Со тоа се добиени податоци неопходни за проектирање на следните аспекти:

- услови на заштита од подземните води, односно параметри за евентуелно одводнување;
- предуслови за реални анализи на стабилност на работните и завршните косини, дотолку повеќе што подземната вода е еден од највлијателните фактори врз стабилноста на работната средина.

Во поглед на хидрогеолошките услови на пошироката и поблиската околина на истражуваниот терен земени се предвид хидрогеолошката функција на карпите и видовите на хидрогеолошки појави.

Со хидрогеолошкото картирање на истражниот простор ќе се утврди постоењето на водни текови, извори, пиштевини и сл., и сето тоа ќе се нанесе на топографска основа.

Имајќи ги предвид геолошките услови на истражуваниот терен, карпите што постојат на овој терен во поглед на нивната хидрогеолошка функција се класифицирани на следниов начин:

- доброводопропусни;
- слабоводопропусни до водонепропусни;
- комплекс на водопропусни и водонепропусни карпи.

5.2. Геофизички испитувања

Кога станува збор за истражување на неметалични минерални суровини мора да се напомени дека најчесто се користат сеизмичките испитувања и тоа рефракционата и рефлективната метода.

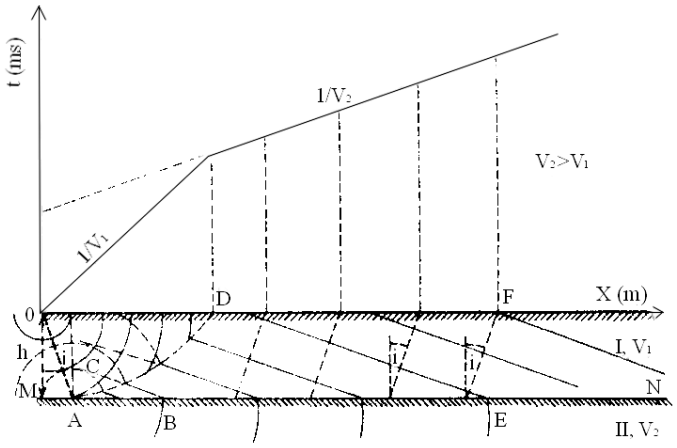
Во рефлективната сеизмика се изучува простирањето на еластичните бранови кои се одбиваат од разни еластични граници, а во рефракционата сеизмика се проучуваат простирањето на прекршените бранови.

Кај истражувањето на нафта доминира рефлективната метода, додека за истражување во современото инженерство (инженерска геологија, геотехника, механика на почви, механика на карпи, хидрогеологија и др.) се користат рефракционите сеизмички методи.

Кај сеизмичките методи, од точката на побудување на брановите на површината на земјата, на одредени растојанија се поставуваат геофони (специјални сеизмографи) кои со помош на кабел се споени со сеизмичката апаратура. Откако ќе се изврши побудување (минирање, со удар или со вибрација) на сеизмички бранови, од оваа точка во сите правци на површината продираат еластични бранови. Кога сеизмичкиот бран ќе наиде на граница која ги раздвојува различните еластични средини, бранот од неа се прекршува и се „враќа” кон површината на теренот. На површината на теренот се поставени геофони кои ги претвораат механичките осцилации на средината во електрични импулси, кои патуваат до сеизмичката апаратура. Овде тие се појачуваат, евентуално се филтрираат и се снимаат. На снимката се регистрира не само времето на доаѓањето на бранот до одделните геофони, туку и моментот на побудување на средината. Врз основа на овие снимки од сеизмограмите, можно е да се конструираат дијаграми кои даваат зависност помеѓу растојанието на геофоните од точката на побудување и времето на наидување на брановите до одделните геофони. Таквите дијаграми се нарекуваат ходохрони или дромохрони.

5.2.1. Рефракциона метода

Под површината на теренот на длабочина h се наоѓа граничната рамнина MN која е паралелна со површината на теренот. Над граничната рамнина се наоѓа еластична средина I низ која надолжните еластични бранови се простираат со брзина V_1 (слика 21).



Слика 21. Двослојна хоризонтална средина ($V_1<V_2$)

Figure 21. Bilayer horizontal environment (V1 <V2)

Под граничната рамнина MN се наоѓа еластична средина II низ која надолжните еластични бранови се простираат со брзина V_2. Неопходен услов за примена на рефракционата метода е: $V_1<V_2<V_3<...<V_n$. Што значи дека секоја подлабока средина да има поголема брзина на простирање на брановите од претходната средина. Ако површината на теренот се побуди во точка O, настанатите сферни еластични бранови ќе се простираат во сите правци. Кога сферниот бран од точката O ќе стигне до граничната површина MN дел од енергијата продира во еластичната средина II, а дел од енергијата се прекршува и низ средината I се „враќа” кон површината на Земјата. Во оваа метода од интерес се само прекршените бранови. Сеизмичкиот бран со сферен бранов фронт кој под критичен агол i паѓа на граничната рамнина, се прекршува на неа според законот на Снелиус:

$$\sin i = \frac{V_1}{V_2}$$

Според Хајгенсовиот принцип, секоја точка на брановиот фронт е извор на нов сферен бран, така и во точката A, каде што дошло до

прекршување, станува извор на нов бран. Брановите се шират по должината на граничната рамнина MN со брзина V_2, а во средината I со брзина V_1, а во средината II со брзина V_2 . Од сликата се гледа дека за време додека сферниот бран од точка A стигне до сферата C во еластичната средина I, за истото време сеизмичкиот бран по должината на граничната површина MN ќе стигне до точката B. Резултатниот бранов фронт во горната еластична средина I се движи кон површината на теренот по должината на брановиот фронт $\overline{CB}$. Тоа е рамнински бранов фронт кој со граничната рамнина MN го заклопува аголот i. Имено, сеизмичкиот бран кој се рефрактира кон површината на Земјата исто така заклопува со нормалата на граничната површина критичен агол i. Патот на сеизмичкиот бран од точката 0 до точката F кој се прекршува на граничната рамнина MN даден е со должините: $\overline{OA}, \overline{AB}, \overline{BE}$ и $\overline{EF}$. Од сликата се гледа дека до точката D директниот сферен бран ќе пристигнува пред рефрактираните бранови. По точката D побрзо ќе пристигнуваат рефрактираните бранови. Во точката D истовремено стигнуваат директниот сферен бран и рамнинскиот рефрактиран бран. Точката D се нарекува критична точка, а растојанието од точката D до изворот на импулси, точка 0, се нарекува критична оддалеченост. Значи до геофоните кои се разместени помеѓу точките на побудување, точка 0, и критичната точка D, сеизмичките бранови пристигнуваат со брзина V_1, а по критичната точка со брзина V_2. Јасно се гледа дека до критичната точка ходохроната има еден, а по критичната точка друг агол на прекршување.

Исто така, се гледа дека во првата еластична средина I во подрачјето OAD се застапени сферни бранови. Во еластичната средина I, но по критичната точка D, брановите се рамнински, а во еластичната средина II брановите се сферни.

Со рефракционата сеизмичка метода успешно се одредуваат хоризонталните, вертикалните и стрмните гранични рамнини, но под услов брзината на простирање на сеизмичките бранови да е во секој подлабок слој поголема од брзината во претходниот слој. Меѓутоа, кога тој услов не е исполнет или кога не се доволно изразени разликите во еластичните карактериситики помеѓу одделните еластични средини и кога граничните

рамнини се на поголеми длабочини, примената на рефракционата метода не е сигурна. Тоа е поради тоа што должината на рефракциониот сеизмички профил треба да е 3 - 5 пати подолга од длабочината до граничната рамнина која се испитува. Тоа значително го отежнува истражувањето, поради тоа што кога должината на профилот на испитување е голема мора да се користи повеќе експлозив, кога се користи повеќе експлозив бушотината во која се поставува експлозивот мора да биде на поголема длабочина, што значи и поскапување на работите, кога при минирањето се користи повеќе експлозив, поголема е веројатноста да дојде до оштетување на околните објекти.

Поради тоа, веќе во 1929 година наместо рефракционите сеизмички испитувања се користи рефлективната метода. Со постепено усовршување на апаратурите и техниката на испитување методата на интерпретација, а посебно со воведување на компјутерска техника сè повеќе се употребува рефлективната сеизмичка метода, посебно при истражување на нафта. Меѓутоа, рефлективната сеизмичка метода сè повеќе се приспособува на потребите на инженерската геологија и хидрогеологија.

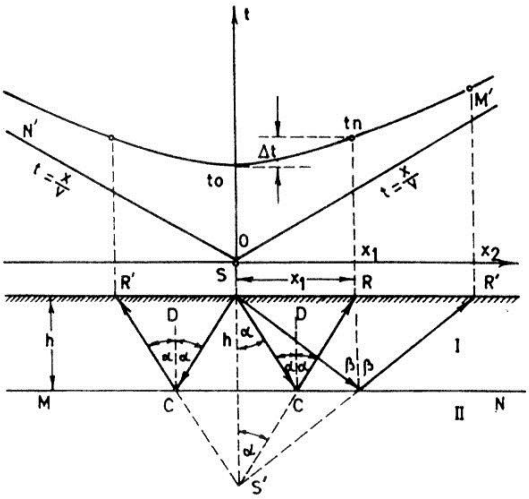
Со рефлективната метода се одредуваат длабочината и наклоните на граничните рамнини кои ги раздвојуваат различните елестични средини. Овие параметри се одредуваат преку времето кое е потребно сеизмичкиот бран (импулс) од изворот да стигне до геофоните поставени на површината на теренот по должината на одредени траси, со тоа што претходно се одбива од граничните рамнини кои постојат под површината на теренот.

Методата се засновува на принцип на одбивање (рефлектирање) на брановите.

Основните тешкотии кои се јавуваат при користењето на оваа метода произлегуваат од сложеноста на теренот кој се истражува (стрмни гранични рамнини, раседи, исклинувања, латерални сменувања на разни фации на теренот и др.), од друга страна се појавува тешкотија во дешифрирањето на рефлексијата поради површинските пречки кои се јавуваат при повеќеслојно рефлектирање, дифракција и различни штетни осцилации.

5.2.2. Рефлективна метода

Тоа е случај кога граничната рамнина е паралелна со површината на теренот, а местото на палење е во точката S на површината на теренот (слика 22). Рефлектор е граничната површина MN на длабочина h. Енергијата од точката S се простира по должината на бранот SC, во точката C се одбива од граничната површина MN под ист агол под кој стигнал на граничната рамнина. Од точката C сеизмичкиот бран до површината на теренот стигнува по патеката CR. Ликот на точката S во однос на рамнината MN е во точката S'.



Слика. 22. Ходохрона на рефлектиран бран за паралелни слоеви

Figure. 22. Hodohrona for the reflected wave for parallel layers

Ако се спои точката S' и C и се продолжи до точката R, дел од патот $\overline{CR}$ претставува дел од пат на рефлектираниот бран. Бидејќи линијата $\overline{CD}$ е паралелна со линијата SS', упадниот и рефлектираниот агол α се еднакви. Ако V е брзината на простирање на сеизмичките бранови низ средината I (средина која е непосредно под површината на теренот), тогаш времето на патување на рефлектираните бранови или „патувањето" на рефлектираниот сеизмички бран ќе е дадено со изразот:

$$t = \frac{\overline{SC} + \overline{CR}}{V} \qquad (4.59)$$

Бидејќи $\overline{SC} = \overline{SC'}$ и патот $\overline{S'R}$ е еднаков со патеката на рефлектираниот бран $\overline{SCR}$, времето на простирање на рефлектираниот бран е дадено со равенката:

$$t = \frac{\overline{S'R}}{V}$$

Ако x е оддалеченоста на геофонот од точката на палење S, тогаш следува:

$$(S'R)^2 = x^2 + (2h)^2 = x^2 + 4h^2$$

времето на патување на рефлектираниот сеизмички бран е даден со изразот:

$$t^2 = \frac{x^2}{V^2} + \frac{4h^2}{V^2}$$

Оваа равенка претставува ходохрона на рефлектираниот бран, а тоа е равенката на хипербола.

5.3. Дупчење и картирање на јадро

Истражувањето на минералните суровини денес не може да се замисли без примена на длабинското дупчење кое се применува од површината и од подземните простории. Дупчењето може да се изведува под различни агли на наклонување, за сите типови на наоѓалишта.

За истражување на наоѓалишта на архитектонско-градежен и технички камен најмногу се применува длабинското дупчење со јадровање, бидејќи со помош на јадрото се добиваат податоци за квалитетот на минералната суровина, типовите на карпите во кои се јавува наоѓалиштето, а со поголем број дупнатини распоредени по одредени системи можат да се изработат геолошки профили, врз основа на кои се добива увид во просторната положба на наоѓалиштето и неговата структура.

Според правилниците за детални геолошки и геотехнички истражувања во Р. Македонија дупчењето треба да се изведува со почетен дијаметар 101 mm и завршен дијаметар 86 mm.

Со јадрувањето треба да се обезбеди 95% компактно јадро во состојба која ќе овозможи увид во реалните карактеристики на карпестите маси. Како компактно јадро се смета она кое не е механички оштетено со работниот процес.

Заради ова работниот прибор и режимот на дупчење треба да се приспособи кон карактеристиките на средината со соодветен вид и тип на круни, притисок, брзина на ротација и др. За да се постигне тоа е потребно да се обезбедат соодветна опрема, прибор и стручен кадар за изведба на работите.

Изваденото јадро задолжително се сместува во стандардни сандаци со должина од 1 m, заштитени со капак од надворешни влијанија. Секој маневар се бележи со своја длабина, а на сандакот се обележува објект, број на дупнатина, длабина на интервал и др. (слика 23).

Слика 23. Извадено јадро од дупнатина

Figure 23. Taken out core from borehole

Најпрво се врши детално картирање на јадрото и составување на литолошкиот профил. Картирањето се изведува внимателно, со детално регистрирање на сите литолошки промени, со потполн опис на јадрото. Посебно важно за ваков тип на истражувања е детално да се регистрира испуканоста на јадрото. Како што напоменавме погоре, за да одредиме што е можно поточен RQD (показател на испуканоста на карпестите маси) на наоѓалиштето неминовно е да се спроведе прецизно картирање на јадрото. Особено е важно да се мери прецизно должината на парчињата на јадрото и да се внимава добро дали пукнатините се заполнети, каков е видот на површината на пукнатината и нивната рапавост. За овој вид на картирање е потребно да биде спроведено од страна на искусен геолог кој може добро да ги разликува тектонските пукнатини од оние механички пукнатини што е можно да настанат при процесот на дупчење.

Се земаат примероци за петролошка анализа, како и за хидрогеолошки испитувања на примероците. Со детален литолошки профил секогаш се впишуваат појавите на подземни води во текот на дупчењето со опис на статичкото и динамичкото ниво од одредените литолошки единици, односно водоносните хоризонти. Сите забележувања внимателно се запишуваат во теренскиот дневник врз основа на кој подоцна се составува завршниот извештај.

За секоја дупнатина се води дневен извештај во смени, во кој покрај другото се регистрираат сите значајни појави кои би можеле да послужат како податок за толкување на резултатите од дупчењето (нелогичности како олеснето, отежнато дупчење, заглави и др.). На работилиштето се води и дневник на работењето.

Дупнатината се смета за завршена по примопредавање од стручни лица, при што се проверува локацијата, длабината, процентот и состојбата на извадено јадро. За ова се составува записник на примопредавање. Лоцирањето на дупнатините се врши геодетски со коти и координати. По извршеното примопредвање сите дупнатини задолжително се ликвидираат по познати постапки со заполнување на глина. На тој начин, ќе се спречи продор на површинските и подземните води во подземјето, односно се намалува вештачката оводнетост на теренот.

Многу често при истражување на инженерско-геолошките и геотехничките карактеристики на карпестите маси се користат и истражните раскопи. **Истражните раскопи** се изработуваат во вид на истражни засеци и усеци, истражни јами и истражни поткопи. Со помош на овие истражни раскопи се добива можност за разгледување и мерење на одредени делови на карпестите маси во нивното природно опкружување. Истражните засеци и усеци се изведуваат на падини во сите видови на карпи. Истражните јами се изведуваат со цел да се увидат подлабоките делови на карпестите масиви да се земат непореметени примероци за лабораториски испитувања.

Во сите случаи на земање на примероците (како и пробите за геомеханички анализи), истите се обележуваат на посебен лист. Листот се обележува на начин кој е прикажан во следниов пример:

ОБЈЕКТ: НАОЃАЛИШТЕ „Говрлево”
Датум: 10.5. 2012 г.
Дупнатина бр. 2
Длабочина: 8-10м
Вид на проба: Поединечна проба од мермер
Потребно испитување: според Правилникот
Пробата ја земал: Ѓорги Димов

По изборот на примероците се транспортираат до лабораторија, каде што подлежат на натамошна обработка.

Постојат голем број својства и постапки, со чијашто помош можеме да извршиме проценка дали се карпите поволни за употреба во градежништвото, какви се условите за изведба на работните операции во нив и на нив, или пак да се предвиди нивното механичко однесување. Тие обично се нарекуваат *технички својства на карпите* каде што припаѓаат:

- физичките својства;
- механичките својства.

Сите овие својства на карпите детално се опишани во поглавје број 3.

6. МЕТОД НА КОРЕЛАЦИЈА И РЕГРЕСИОНА АНАЛИЗА

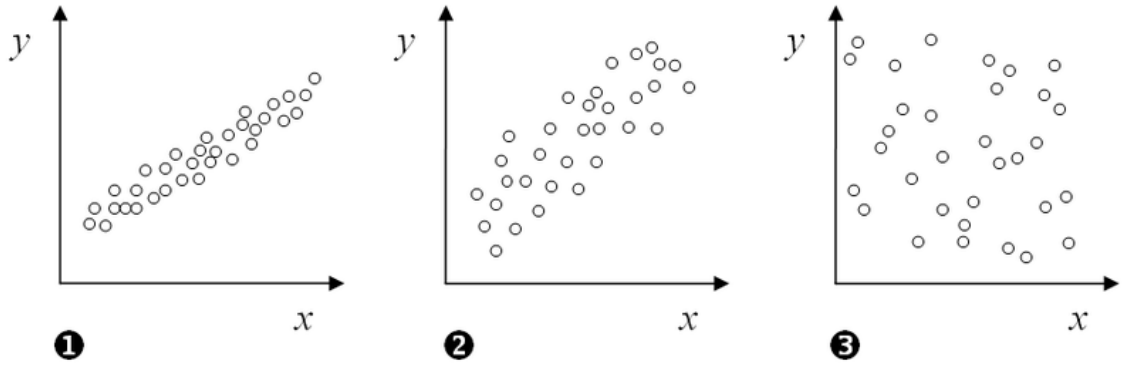
При решавање на корелационите параметри, за дефинирање на модел на квалитет на карпеста маса од геолошките, геотехничките и геофизичките податоци, применета е метода на регресивна анализа.

Сакајќи да ја откриеме, дефинираме и анализираме врската помеѓу два или повеќе параметри, мора истовремено симултано да се следат и споредуваат варијациите на двата параметра и да се мерат односите помеѓу тие варијации. Заради тоа оваа метода се нарекува метода на корелација (метода на истражување на заемни односи).

Во потесна смисла за зборот, корелацијата претставува синоним на корелацискиот коефициент R, што претставува мерка за линеарна зависност помеѓу две случајни величини x и y, дефинирана како нормирана коваријација на двете величини:

$$R = \frac{Cov(x,y)}{\sqrt{Var(x).Var(y)}}$$

Ако случајните величини се независини, т.е. се некорелирани, тогаш R=0. Од друга страна, кога R=1 тогаш случајните величини се врзани со силна линеарна зависност.



Слика 24. 1 - силна корелација, 2- слаба корелација, 3 - никаква корелација

Figure 24. 1 - strong correlation, 2 - weak correlation, 3 - no correlation

Во претходното поглавје беа изнесени податоци за разни геотехнички класификации и сите, главно, се поврзани со некое „бодовно“ изразување на квалитетот на карпестите маси, а нешто понапред беа

презентирани и основните механичи параметри на карпите. Со прецизно определување на сите овие параметри значително се зголемува прецизноста на резултатите што го дефинираат квалитетот на карпестиот масив.

Наредна работа ќе биде да ги изнесеме корелационите врски помеѓу овие параметри за да се видат односите помеѓу нив и нивното значење за дефинирање реални модели на природна геолошка средина.

Со детална анализа на сите параметри може да се усвојат корелациони модели кој понатаму ќе се користат во постапката на моделирање на средината. Досега во геотехниката најчесто се изработувале корелациски зависности помеѓу вредностите на параметрите од статичките испитувања (вршени со различни методи), со брзините на простирање на еластичните бранови Vp. Во овој труд ќе се обидеме да ги изработиме корелациските зависности помеѓу вредностите за квалитет на карпеста маса (RMR, RQD и ERMR) со брзината на еластичните бранови Vp, како и меѓусебните зависности на параметрите кои го одредуваат квалитетот на карпестата маса.

По гореприкажаниот принцип за потребите на оваа докторска дисертација за првпат ќе се направи обид да се корелираат вредностите за квалитет на карпеста маса (RMR, RQD и ERMR) со брзината на еластичните бранови Vp, како и меѓусебните зависности на вредностите за квалитет на карпеста маса, за наоѓалишта на неметалични минерални суровини во Р. Македонија.

Во конкретниов случај се земени резултатите од геофизичките истражувања на наоѓалиштата на мермеризиран варовник Слоештица – Демир Хисар и Рашанец – Охрид и истите се корелирани со резултатите добиени од истражувањето на квалитативните параметри на карпестиот масив.

6.1. Физичко-механички и геофизички карактеристики на варовникот од наоѓалиштата Слоештица и Рашанец

Слоештица

Во теренски и лабораториски услови е изведен одреден обем на истражни и испитателни работи со цел да се додефинираат што е можно поегзактно инженерско-геолошките и геотехничките карактеристики на мермерот.

Табела 5: *Физичко-механички параметри на испитуваните материјали*
Table 5: *Physical - mechanical parameters for the the tested materials*

Реден бр.	Параметар	Метода според МКС	Единечна мерка	Резултат од испитувањето
1.	Јакост на притисок во сува состојба	Б.Б8.012-Неакредитирана метода	MPa	130,5
2.	Јакост на притисок во водозаситена состојба	Б.Б8.012-Неакредитирана метода	MPa	121,3
3.	Водовпивање	Б.Б8.010-Неакредитирана метода	%	0,1
4.	Волуменска тежина	Б.Б8.032-Неакредитирана метода	kN/m^3	27,00
5.	Специфична тежина	Б.Б8.032-Неакредитирана метода	kN/m^3	27,80
6.	Степен на густина	Б.Б8.032-Неакредитирана метода	%	96,8
7.	Порозност	Б.Б8.032-Неакредитирана метода	%	3,20
8.	Постојаност на дејство на мраз	Б.Б8.001	±5%	Дозволена загуба на јакост на притисок по 25 циклуси на мрзнење-max.20%
9.	Минералошко-петрографски состав	Б.Б8.003-Неакредитирана метода		Поволен
Сулфати-не содржи				
Сулфиди-не содржи				

Дефинирање на индексот на јакост

Со лабораториските работи се утврди и индексот на јакост на монолитните делови. Резултатите се дадени во следната табела.

Табела 6. *Резултати од испитување индекс на точкеста јакост*
Table 6. *Results from investigation of index dotted strength*

Вид на карпа	Волум. тежина γ [kN/m^3]	Индекс на точкаста јакост $J_{s(50)}$ [MPa]	Јакост на притисок $\sigma_p = 22 \cdot J_{s(50)}$	Јакост на затегање $\sigma_z = 1.5 \cdot J_{s(50)}$	забелешка
Варовник	27.12	5.99	131.76	8.98	А-сува
Варовник	26.92	6.08	133.73	9.12	В-сува
Варовник	26.92	5.36	117.88	8.04	С-сува
Варовник	27.12	4.75	104.55	7.13	А-засит.
Варовник	26.92	4.65	102.39	6.98	В-засит.
Варовник	26.92	5.14	113.17	7.72	С-засит.

А-најниска етажа, В-средна етажа, С-највисока етажа

Од резултатите може да се констатира дека на ниво на монолит, испитаните примероци од мермерот независно од квазихомогената зона од која се земени, покажуваат одлични јакосни карактеристики, што е од основно значење за нивната примена како технички или архитектонско градежен камен.

Јакост на смолкнување на карпестиот масив

Општопознат е фактот дека физичко-механичките карактеристики на монолитните делови не можат да бидат репрезентативни за карпестиот масив. Поради ова, покрај спроведените испитувања јакост на смолкнување по должината на пукнатини, одредена е деформабилноста и јакоста на смолкнување на карпестиот масив и со примена на т.н. емпириски методи. Одредувањето на модулот на деформација (Em) и параметрите на јакост на смолкнување на масивот (кохезија на масив–Cm и агол на внатрешно триење на масив-φm) е извршено според генерализираниот критериум на лом на Hoek-Brown:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci}\left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

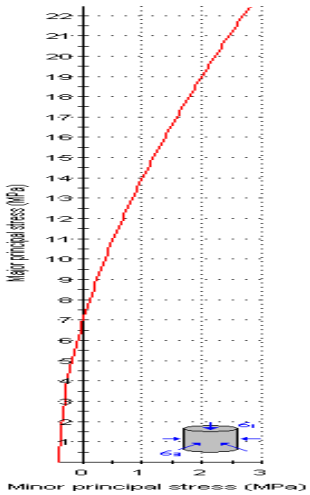
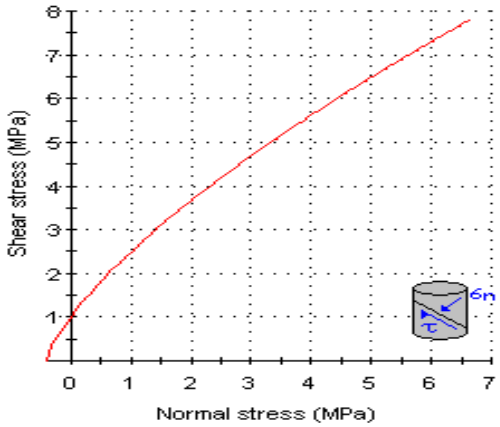
$$E_m(GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right)\sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{((GSI-10)/40)}$$

каде што е:

Em-модул на деформација во GPa според модифициран критериум на Hoek и сораб. (2002)
GSI - квалитет на карпестата маса по Hoek поврзан со категоризација на карпите според Bieniawski
m,s - емпириски константи зависни од квалитетот на карпата GSI и RMR
D - коефициент на нарушување на масивот
σ_1, σ_3 - главни нормални напрегања

σ_{ci}=σ p-јакост на притисок

Врз основа на состојбата на карпестата маса, во анализата се земени соодветните параметри добиени со извршените испитувања и соодветната геометрија на наоѓалиштето, имајќи предвид дека наоѓалиштето е во активна експлоатација, вклучен е и факторот на нарушеност на масивот кој произлегува од минирањето. Надолу се дадени компјутерски изводи од програмот ROCKDATA 3.0 со кој се одредени физичко-механичките параметри на карпестиот масив. Добиените резултати за c_m**1.2 MPa** и φ_m **45°** укажуваат на многу поволни физичко-механички параметри на карпестата маса.

Hoek-Brown Classification sigci 105 MPa GSI 62 mi 9 D 0.7 Hoek-Brown Criterion mb 1.11551 s 0.00405726 a 0.502459 Failure Envelope Range Application Slopes sig3max 2.78534 MPa Unit Weight 0.027 MN/m3 Slope Height 125 m Mohr-Coulomb Fit **c 1.2455 MPa** **phi 45.0249 degrees** Rock Mass Parameters sigt -0.381899 MPa sigc 6.59817 MPa sigcm 15.376 MPa Em 12969.2 MPa	 

Слика 25. Извод од компјутерска програма ROCKDATA 3.0
Figure 25. Excerpt from a computer program ROCKDATA 3.0

Осврт кон резултатите од геофизичките испитувања

Целта на геофизичките испитувања е врз основа на брзината на простирање на еластичните лонгитудинални сеизмички бранови да се дефинира соодветната длабина на варовникот како корисна суровина, како и да се помогне во дефинирањето на физичките карактеристики и состојбата на карпестата маса.

На копот Слоешница применета е методата на рефракциони сеизмички испитувања.

Рефракционите сеизмички испитувања се изведени по должината на пет профили од кои три се лоцирани во ископот PR-1 до PR-3, а другите два SP-1 и SP-2 на страна.

Положбата и должината на сеизмичките профили и геоелектрични сонди беа диктирани од моменталната состојба на наоѓалиштето односно се приспособени на постојните услови, така што има отстапување во однос на проектираните.

Рефракционите сеизмички испитувања се изведени по должината на профил со меѓусебно растојание на геофоните од 10 m и со три извори за побудување на еластични лонгитудинални бранови. Како извор на еластични лонгитудинални бранови е користен механички чекан. За овие испитувања е користена современа геофизичка апаратура DAQLink III System 24 bit Acquisition System, производство на Seismic Source Co, USA. За интерпретација на добиените резултати е користен софтвер REFRAK.

Добиените резултати од рефракционите сеизмички испитувања по должината на профилите се прикажани на сеизмичките пресеци.

Во прилог 1.1. се прикажани добиените резултати по должината на сеизмичкиот профил PR-1 кој е лоциран на средното ниво на ископот околку кота 750 m. Со интерпретација на добиените резултати по должината на овој профил издвоени се две еластични средини.

Во површинскиот дел на ова етажа на ископот издвоена е еластична средина 1 со вредности на брзината на простирање на еластичните лонгитудинални бранови од 2.180 m/s. Моќноста на оваа издвоена еластична средина е променлива по должината на профилот и се движи од околку 0.5 m на почетниот дел на профилот до околу 14.5 m на геофонот бр.8. Со добиениот пресек се забележува пораст на моќноста на извдоената еластична средина од почетниот дел до геофонот бр.8, потоа нејзино смалување на геофонот бр.10 до околу 8.2 m и повторно зголемување на крајот на профилот до околку 12.2 m. Литолошки оваа издвоена зона би одговарала на основната карпеста маса-варовник, која со разни тектонски движења е нарушена, при што местата на профилот со најголема моќност веројатно би можеле да укажат на помали или поголеми раседни-разломни зони. Треба да се има предвид дека извесно влијание на оваа извдоена еластична средина во текот на времето имало

и ослободувањето на напоните по ефектот на создавање на долината, ископот како еден дел и минирањето. Сите овие параметри помалку или повеќе имале влијание на физичките карактеристики на оваа издвоена еластична средина.

Под оваа, издвоена е еластична средина 2 која се карактеризира со вредности на брзина на простирање на еластичните лонгитудинални бранови од 3.150 m/s. Литолошки оваа издвоена средина би одговарала на релативно свежа основна карпа- мермеризиран варовник.

Добиените резултати од рефракционите сеизмички испитувања по должината на профилот PR-2 лоциран на кота 780 m се прикажани на прилог бр. 1.2.

Еластичната средина 1 е издвоена на површинскиот дел на горната етажа. Се карактеризира со вредности на брзината на простирање на еластичните лонгитудинални бранови од 2.100 m/s и променлива моќност. Моќноста на оваа издвоена еластична средина се движи од 1.7 m на 11 геофон до околу 6.5 m на изворот на еластични бранови С. Од добиениот пресек се гледа извесно намалување на моќноста на оваа издвоена еластична средина на геофонот 7 до околу 2.1 m, додека на преостанатиот дел на пресекот моќноста се движи во опсег од 3 до 5 m. Зголемена моќност на оваа издвоена еластична средина при крајот на профилот може да укаже на поголеми разломни зони на тој дел.

Во подлабоките делови на теренот под издвоената еластична средина 1 е издвоена еластична средина 2, која се карактеризира со добиени вредности на брзината на простирање на еластичните лонгитудинални бранови од 3.120 m/s. Литолошки оваа издвоена еластична средина одговара на релативно здрава основна карпа.

На прилог 1.3. се прикажани добиените резултати од рефракционите сеизмички испитувања по должината на сеизмичкиот профил PR-3 лоциран на најниската етажа-кота 695 m.

Еластична средина 1 со добиени вредности на брзината на простирање на еластични лонгитудинални бранови од 2.420 m/s издвоена е на површинскиот дел на етажата. Моќноста на оваа издвоена еластична средина се движи во опсег од 3.7 до 10.2 m. Позначајни разломни зони на овој профил се очекуваат во пределот помеѓу 2 и 3 геофон, како и во

пределот на геофон 7. Литолошки оваа издвоена еластична средина би одговарална на оштетена карпеста маса која е резултат веројатно на разни тектонски движења.

Под издвоената еластична средина 1 издвоена е еластична средина 2 со вредности на брзината на простирање на еластични лонгитудинални бранови од 4.030 m/s.

Литолошки оваа издвоена средина би одговарала на здрава основна карпа – мермер.

Добиените резултати од рефракционите сеизмички испитувања по должината на профилот SP-1 се прикажани на прилог бр. 1.4. Сеизмичкиот профил 1 е лоциран во пределот помеѓу коти 780-800 m. Со интерпретација на резултатите се издвоени две еластични средини.

Еластичната средина 1 е издвоена во површинскиот дел на теренот. Се карактеризира со вредности на брзината на простирање на еластичните лонгитудинални бранови од 2.100 m/s. Литолошки оваа средина би одговарала на деградирана и тектонски оштетена карпеста маса, вклучувајќи и тенок слој делувиум. Моќноста на оваа издвоена еластична средина е значајна и се движи од околу 9.5 m до околу 16.0 m. Со добиениот пресек се забележува пораст на моќноста на оваа издвоена еластична средина одејќи лево и десно од геофонот 6. Помали индикации за постоење на евентуални дисконтинуитети по должината на овој профил се забележуваат на 2, 4 и 11 геофон.

Под издвоената еластична средина 1 се издвојува еластична средина 2. Неа ја карактеризираат вредности на брзината на еластичните лонгитудинални бранови од 3.830 m/s. Литолошки оваа средина би одговарала на релативно здрава основна карпа.

Во прилог 1.5. се прикажани добиените резултати од рефракционото сеизмичко испитувања по должината на сеизмичкиот профил SP-2. Сеизмичкиот профил SP-2 е лоциран околу кота 800 m. Со интерпретација на добиените реузлтати се издвоени две еластични средини прикажани на сеизмичкиот пресек.

Еластичната средина 1 се издвојува во површинскиот дел на теренот и е со променлива моќност. Моќноста на оваа издвоена еластична средина се движи од околу 2.5 m до околу 8.5 m. Зголемена моќност на

оваа средина се забележува на геофоните 4, 5 и 6 во левиот дел на профилот, како и при крајот на профилот и на и истите се можни дисконтинуитети во карпестата маса. Литолошки оваа издвоена еластична средина најверојатно би одговарала на деградирана основна карпа вклучувајќи и тенок слој делувиум. Под неа е издвоена еластична средина 2 со вредности на брзината на простирање на еластичните лонгитудинални бранови од 2.890 m/s. Литолошки оваа издвоена средина би одговарала на релативно здрава основна карпа.

Рашанец

Во теренски и лабораториски услови е изведен одреден обем на истражни и испитателни работи со цел да се додефинираат што е можно поегзактно инженерско-геолошките и геотехничките карактеристики на предметниот варовник.

Табела 7. *Физичко-механички параметри на испитуваните материјали*
Table 7. *Physical - mechanical parameters for the the tested materials*

Бр.	Параметар	Метода според МКС	Единечна мерка	Резултат од испитувањето
1.	Јакост на притисок во сува состојба	Б.Б8.012-Неакредитирана метода	MPa	148,7
2.	Јакост на притисок во водозаситена состојба	Б.Б8.012-Неакредитирана метода	MPa	131,1
3.	Водовпивање	Б.Б8.010-Неакредитирана метода	%	0,14
4.	Волуменска тежина	Б.Б8.032-Неакредитирана метода	kN/m^3	26,80
5.	Специфична тежина	Б.Б8.032-Неакредитирана метода	kN/m^3	27,20
6.	Степен на густина	Б.Б8.032-Неакредитирана метода	%	98,5
7.	Порозност	Б.Б8.032-Неакредитирана метода	%	1,47
8.	Постојаност на дејство на мраз	Б.Б8.001	%	1,0
9.	Минреалошко-петрографски состав	Б.Б8.003-Неакредитирана метода		поволен
Сулфати-не содржи				
Сулфиди-не содржи				
Хлориди-не содржи				
Тотален сулфур-не содржи				

Дефинирање на индексот на јакост

Со лабораториските работи се утврди и индексот на јакост на монолитните делови. Резултатите се дадени во следната табела.

Табела 8. *Резултати од испитување индекс на точкеста јакост*
Table 8. *Results from investigation of index dotted strength*

Вид на карпа	Волум. тежина γ [kN/m^3]	Индекс на точкеста јакост $J_{s(50)}$ [MPa]	Јакост на притисок $\sigma_p = 22 \cdot J_{s(50)}$	Јакост на затегање $\sigma_z = 1.5 \cdot J_{s(50)}$	Забелешка
Варовник	26.87	4.23	93.16	6.35	А-сува
Варовник	26.79	4.78	105.15	7.17	В-сува
Варовник	26.83	4.70	103.33	7.05	С-сува
Варовник	26.80	3.81	83.82	5.71	А-засит.
Варовник	26.79	3.67	80.64	5.50	В-засит.
Варовник	26.83	3.93	86.36	5.89	С-засит.

А-најниска етажа, В-средна етажа, С-највисока етажа

Од резултатите може да се констатира дека на ниво на монолит, испитаните примероци од мермеризираниот варовник независно од локацијата од којашто се земени покажуваат одлични јакосни карактеристики, што е од основно значење за нивната примена како градежен материјал.

Јакост на смолкнување на карпестиот масив

Општопознат е фактот дека физичко-механичките карактеристики на монолитните делови не можат да бидат репрезентативни за карпестиот масив. Поради ова, покрај спроведените испитувања јакост на смолкнување по должината на пукнатини, одредена е деформабилноста и јакоста на смолкнување на карпестиот масив и со примена на т.н. емпириски методи. Одредувањето на модулот на деформација (Em) и параметрите на јакост на смолкнување на масивот (кохезија на масив–Cm и агол на внатрешно триење на масив-φm) е извршено според генерализираниот критериум на лом на Hoek-Brown:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci}\left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s\right)^a \qquad s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$E_m(GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right)\sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{((GSI-10)/40)}$$

каде што е:

Em - модул на деформација во GPa според модифициран критериум на Hoek и сораб. (2002)

GSI - квалитет на карпестата маса по Hoek поврзан со категоризација на карпите по Bieniawski

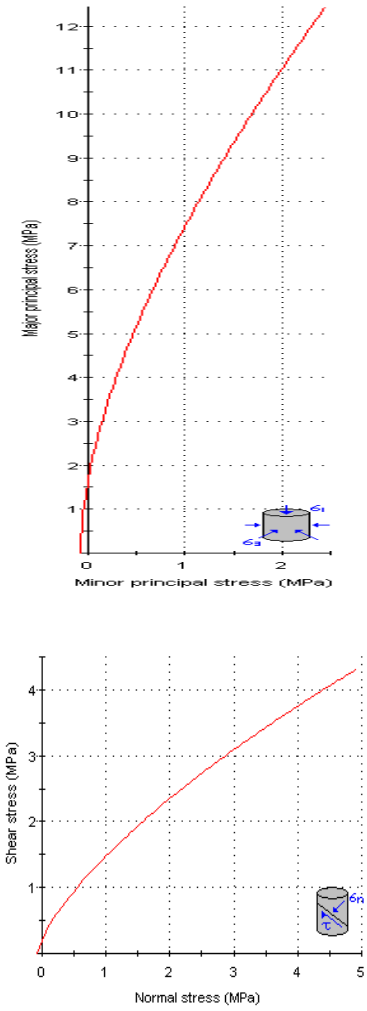
m,s - емпириски константи зависни од квалитетот на карпата GSI и RMR

D - коефициент на пореметеност на масивот

σ_1, σ_3 - главни нормални напрегања

σ_{ci}=σ p-јакост на притисок

Надолу се дадени компјутерски изводи од програмата ROCKDATA 3.0 со која се одредени физичко-механичките параметри на карпестиот масив.

Hoek-Brown Classification sigci 120 MPa GSI 35 mi 7 D 0.4 Hoek-Brown Criterion mb 0.384475 s 0.000240369 a 0.51595 Failure Envelope Range Application Slopes sig3max 2.44811 MPa Unit Weight 0.0268 MN/m3 Slope Height 115 m Mohr-Coulomb Fit **c 0.676428 MPa** **phi 38.0553 degrees** Rock Mass Parameters sigt -0.0750226 MPa sigc 1.62891 MPa sigcm 9.18132 MPa Em 3373.57 MPa	

Слика 26. Извод од компјутерска програма ROCKDATA 3.0

Figure 26. Excerpt from a computer program ROCKDATA 3.0

Врз основа на состојбата на карпестата маса, во анализата се земени соодветните параметри добиени со извршените испитувања и соодветната геометрија на наоѓалиштето, имајќи предвид дека наоѓалиштето е во активна експлоатација, вклучен е и факторот на нарушеност на масивот кој произлегува од минирањето. Добиените резултати за c_m**0.6 MPa** и φ_m **38°** укажуваат на многу поволни физичко-механички параметри на карпестата маса. Исто така, овој емпириски

добиен параметар добро се поклопува и со лабораториските испитувања на јакоста на смолкнување по должината на пукнатини.

Осврт кон резултатите од геофизичките испитувања

Целта на геофизичките испитувања е врз основа на брзината на простирање на еластичните лонгитудинални сеизмички бранови да се дефинира соодветната длабина на варовникот како корисна суровина, како и да се помогне во дефинирањето на физичките карактеристики и состојбата на карпестата маса.

На наоѓалиштето Слоешница применета е методата на рефракциони сеизмички испитувања.

Рефракционите сеизмички испитувања се изведени по должината на четири профили од кои по должината на три профила испитувањата се изведени со 24 геофони на меѓусебно растојание од 10 m и по должината на еден профил со меѓусебно растојание на геофоните од 5 m. Како извор на еластичните лонгитудинални бранови е користен механички извор. При овие сеизмички испитувања користена е 24 канална сеизмичка апаратура DAQLink III 24-bit производство на Seismic Source Co, USA.

Ситуација со положбата на геофизичките работи е прикажана на прилог бр.2.

Во прилог бр.2.1. се прикажани добиените резултати од рефракциони сеизмички испитувања во облик на сеизмички пресек по должината на сеизмичкиот профил SP – 1.

По должината на овој профил се издвоени две еластични средини. Еластична средина 1 е издвоена во површинскиот дел на теренот и е со променлива моќност која се движи од околу 15.2 m на 15. геофон до околу 28.1m на 6. геофон. Одејќи од почетокот на профилот од еластичниот извор А кон крајот на профилот од добиениот пресек може да се забележи нејзината моќност која се движи претежно околу 23 – 27 m, потоа смалување од 14. до 16. геофон и повторно зголемување од 17. геофон до крајот на профилот со моќност околу 23 до 24.7 m. Издвоената еластична средина 1 се карактеризира со добиени вредности за бризината на простирање на еластичните лонгитудинални бранови од 2.320 m/s. Според

добиените индикации поголеми и позначајни дисконтинуитети се очекуваат околу 12. и 17. геофон.

Под издвоената еластична средина 1 е издвоена еластична средина 2 која се карактеризира со вредности за брзината на простирање на еластичните лонгитудинални бранови од 4.880 m/s. Овде треба да се истакне дека и двете еластични средини се однесуваат на иста литолошка средина – варовници, но со различен степен на испуканост-оштетеност, што може да се препише на последиците од масовното минирање во еластичната зона 1. При нагли промени на брзините е можна локална тектонска оштетеност.

Положбата на рефракциониот сеизмички профил SP – 2 е прикажана на прилогот бр.2.

Добиените резултати по должината на овој профил се прикажани на прилог бр. 2.2. Издвоени се две еластични средини. Во површинскиот дел на теренот е издвоена еластична средина 1 со променлива моќност, која се движи од околу 12.0 m на изворот на еластични бранови C до околу 24.4 m на 5. геофон. Имено, оваа издвоена еластична средина покажува зголемена моќност од околу 23.0 m на изворот на еластични бранови A потоа одејќи по должината на профилот извесно намалување на 3. геофон па повторно зголемување на 5. и 6. геофон и на постепено смалување до крајот на профилот. Издвоената еластична средина 1 се карактеризира со добиени вредности за брзината на простирање на еластичните бранови од 2.300 m/s. Поголеми дисконтинуитети можат да се очекуваат околу изворот на еластични бранови A и во пределот помеѓу 5. и 6. геофон.

Под издвоената еластична средина 1 е извдоена еластична средина 2 која се карактеризира со брзина на простирање на еластичните лонгитудинални бранови од 3.160 m/s. И овде издвоените еластични средини се однесуваат на иста литолошка средина – варовник, со ист коментар како и за SP1, што важи и за сите останати сеизмички профили.

Добиените резултати од сеизмички рефракциони испитувања по должината на сеизмичкиот профил SP–3 се прикажани во облик на сеизмички пресек на прилогот бр. 2.3. По должината на овој сеизмички профил се издвоени две еластични средини.

Еластичната средина 1 е издвоена во површинскиот дел на теренот и е со доста променлива моќност. Најмала моќност од околу 5.2 m се забележува на изворот на еластични бранови C односно при крајот на профилот, додека најголема моќност на оваа издвоена еластична средина се забележува на почетниот дел на профилот, односно на изворот на еластични бранови A. Од добиениот пресек се забележува нејзината зголемена моќност во почетниот дел на профилот која се смалува помеѓу 6. и 8. геофон па повторно зголемува на 9. и 10. геофон со повторно смалување на 14. и 15. геофон. Одејќи понатаму по должината на профилот се забележува нејзино повторно зголемување помеѓу 15. и 17. геофон и на крај постепено смалување кон крајот на профилот каде што достигнува минимум. Поголеми пукнатини можат да се очекуваат во почетниот дел на профилот, а позначајни дисконтинуитети околу 9. и 16. геофон. Издвоената еластична средина 1 се карактеризира со добиени вредности за брзината на простирање на еластичните лонгитудинални бранови од 2.530 m/s.

Под издвоената еластична средина 1 е издвоена еластична средина 2 која се карактеризира со добиени вредности за брзината на простирање на еластичните бранови од 3.870 m/s.

Во прилогот бр. 2.4 се прикажани добиените резултати од рефракциони сеизмички испитувања во вид на сеизмички пресек по должината на сеизмичкиот рефракционен профил SP – 4. И по должината на овој сеизмички профил се издвоени две еластични средини.

Во површинскиот дел на теренот е издвоена еластична средина 1 со променлива моќност од околу 5.5 m на изворот на еластични бранови A до околу 31.6 m на 17. геофон. Од добиениот пресек може да се забележи дека моќноста на издвоената еластична средина 1 генерално расте одејќи по должината на профилот од изворот на еластични бранови A до 19. геофон, од каде нејзината моќност нешто се смалува и од 20. геофон до крајот на профилот се движи помеѓу 19.0 и 22.7 m. Напред издвоената еластична средина 1 се карактеризира со добиени вредности за брзината на простирање на еластичните лонгитудинални бранови од 2.250 m/s.

Еластична средина 2 е издвоена под издвоената еластична средина 1 и се карактеризира со добиени вредности за брзината на простирање на

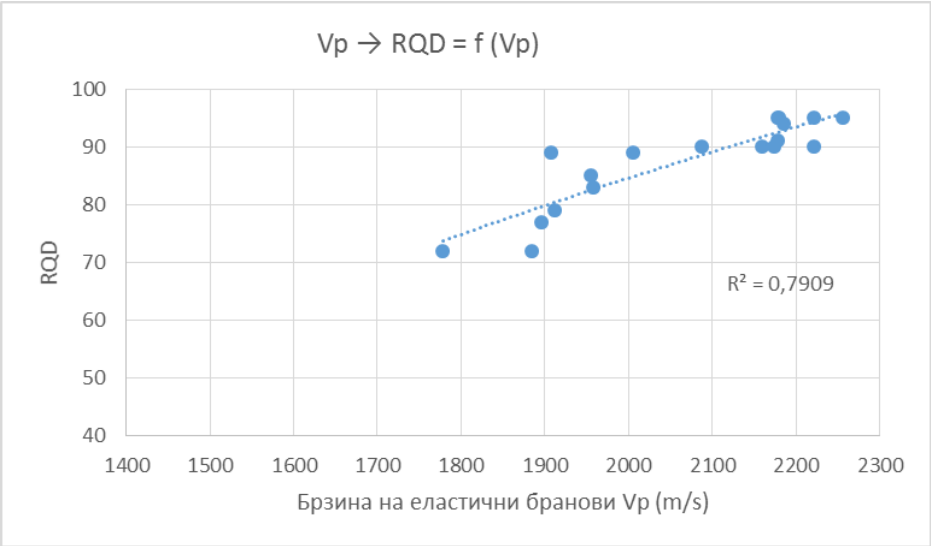
еластичните лонгитудинални бранови од 3.640 m/s. И двете издвоени еластични средини се однесуваат на иста литолошка средина – мермеризирани варовници.

6.2. Корелациски зависности помеѓу вредностите за квалитет на карпеста маса со брзината на еластичните бранови

Како што рековме при решавање на корелационите параметри, за дефинирање на модел на квалитет на карпеста маса од геолошките, геотехничките и геофизичките податоци, применета е метода на регресивна анализа.

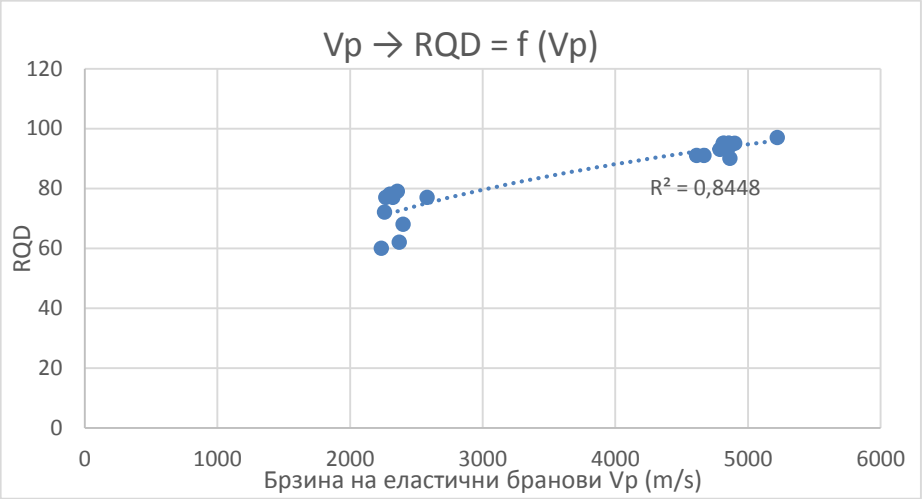
Најпрво се дадени директните корелации меѓу RMR, RQD и ERMR параметрите со брзините на еластичните бранови Vp, а потоа следуваат и корелации помеѓу параметрите кои го определуваат квалитетот на карпестиот масив. Освен гореспомнатите (RMR, RQD и ERMR) пресметани и одредени се и индексот на квалитет Q, како и параметарот Gsi-квалитет на карпестата маса по Hoek со цел да се направи обид истите да се корелираат со RMR.

На сликите 27 и 28 е прикажана зависноста на RQD параметарот (параметарот по испуканост) со брзините на еластилните бранови. Поставена е логаритамска зависност на параметрите, при што факторот на детерминација R^2 е доста висок. Факторот на детерминација кај Слоештица е 0,79, а кај Рашанец е дури 0,84, што укажува на јака врска на испитуваните параметри.



Слика 27. Корелација помеѓу RQD параметарот и брзините на еластичните бранови Vp → RQD = f (Vp) во наоѓалиштето Слоештица

Figure 27. Correlation between RQD parameter and elastic wave speeds Vp → RQD = f (Vp) in the site Sloeshtica

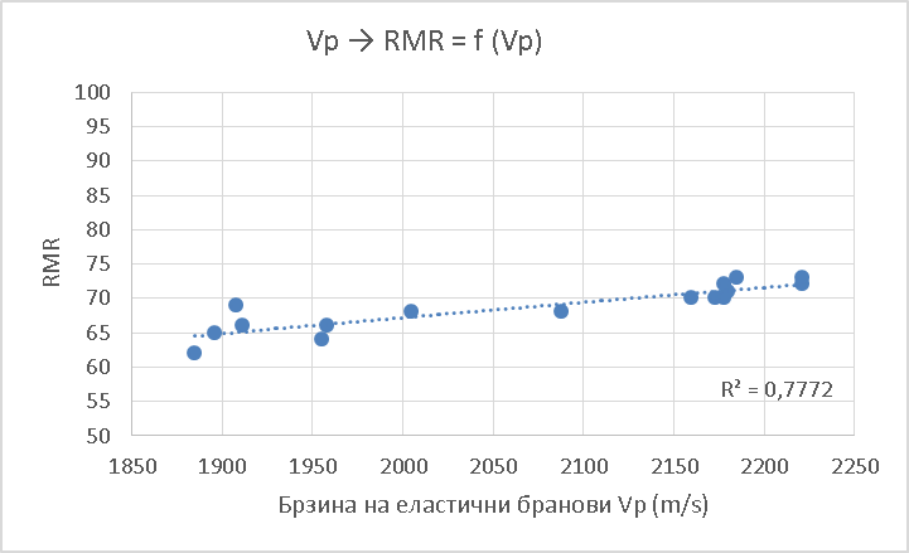


Слика 28. Корелација помеѓу RQD параметарот и брзините на еластичните бранови Vp → RQD = f (Vp) во наоѓалиштето Рашанец

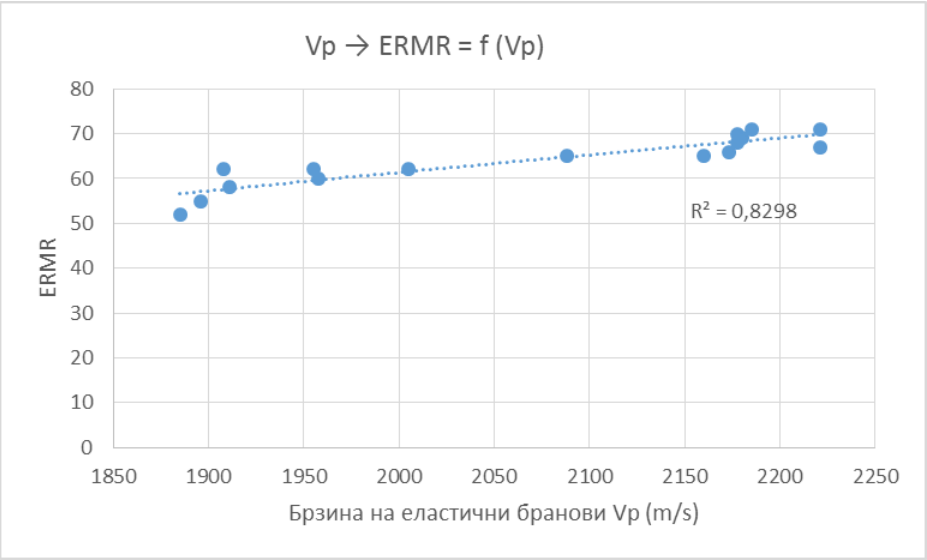
Figure 28. Correlation between RQD parameter and elastic wave speeds Vp → RQD = f (Vp) in the site Rasanec

На сликите 29, 30, 31 и 32 се прикажани зависности на квалитетот на карпестата маса дефиниран со класификацијата на Bieniawski – RMR и Јовановски (2001) - ERMR, како сума на бодови со брзините на еластичните бранови Vp. Од прикажаното може да се види дека во првите два случаја (Слоештица) е воспоставена логаритамска зависност на параметрите, а во вторите два (Рашанец) полиномна зависност, при што факторот на детерминација на параметрите R^2 е висок (0.81 односно 0.83

кај наоѓалиштето Слоештица и 0.72 и 0.74 кај Рашанец), што укажува на јака врска на испитуваните параметри. Покрај прикажаната логаритамска и полиномна зависност, исто така, добри резултати се добиваат и при воспоставување на линеарна или експоненцијална зависност, при што се добиваат скоро идентични криви и многу блиски вредности на факторот на детерминација.

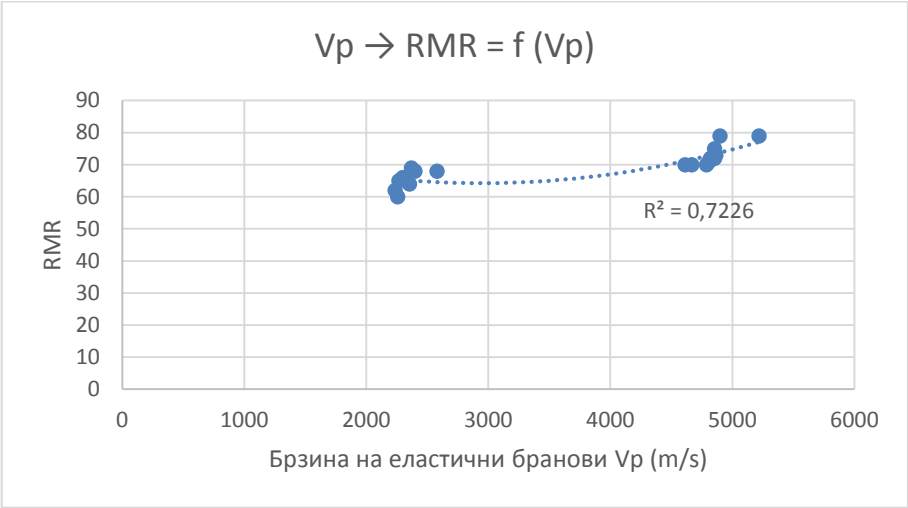


Слика 29. Корелација меѓу RMR параметарот и брзината на еластичните бранови Vp → RMR = f (Vp) Слоештица
Figure 29. Correlation between RMR parameter and speed of elastic waves Vp → RMR = f (Vp) Sloeshtica



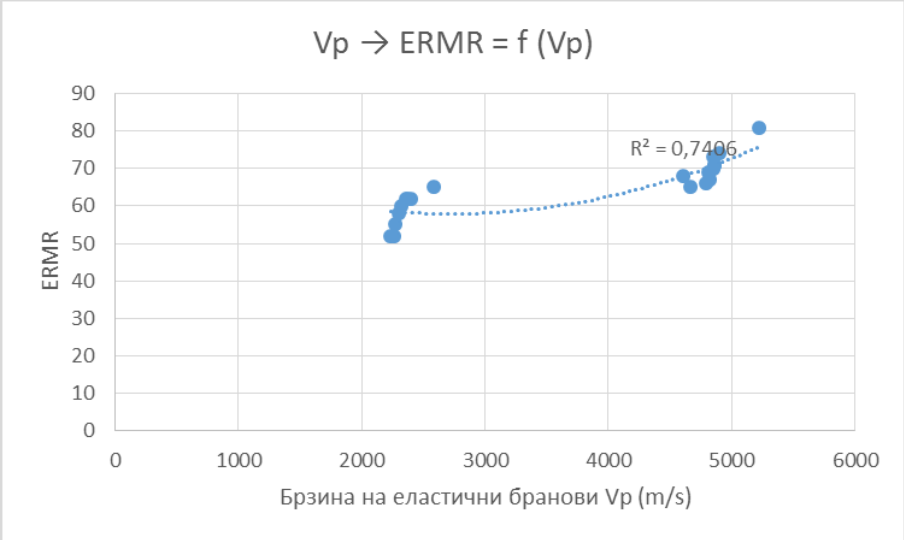
Слика 30. Зависност на ERMR параметарот од брзината на еластичните бранови Vp → RMR = f (Vp) Слоештица
Figure 30. Depending on the parameter ERMR from the speed of elastic waves Vp → RMR = f (Vp) Sloeshtica

Од погорните слики за наоѓалиштето Слоештица можеме да заклучиме дека се јавуваат две групирања на вредностите. Првата група се однесува начелно на вредности на RMR од 61 - 69 и ERMR од 51- 61 поен и брзини помали од 2.000 (m/s) кои се карактеристични за категоријата на поволни карпести маси, а втората група на вредност и на параметрите одговараат на добра карпеста маса (70-74 RMR и 65-72 ERMR со брзини на еластични бранови поголеми од 2150 (m/s)).



Слика 31. Корелација меѓу RMR параметарот и брзината на еластичните бранови Vp → RMR = f (Vp) Рашанец

Figure 31. Correlation between RMR parameter and speed of elastic waves Vp → RMR = f (Vp) Rasanec

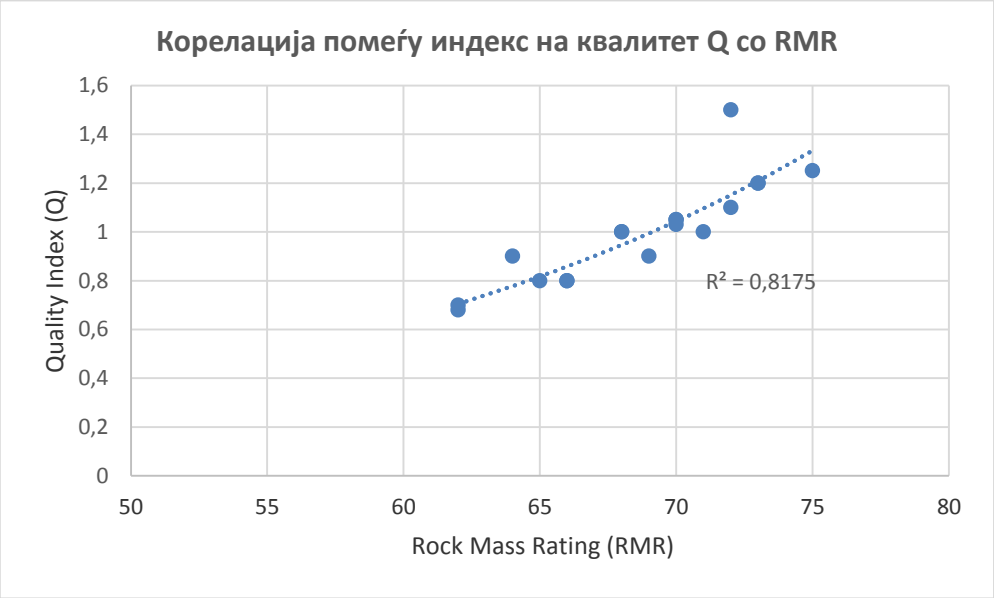


Слика 32. Зависност на ERMR параметарот од брзината на еластичните бранови Vp → RMR = f (Vp) Рашанец

Figure 32. Depending on the parameter ERMR from the speed of elastic waves Vp → RMR = f (Vp) Rasanec

Горекажаното во голема мера се однесува и за наоѓалиштето Рашанец, со тоа што групирањето на вредностите овде е уште поизразено од причина што овде постојат две еластични средини. Овде треба да се истакне дека и двете еластични средини се однесуваат на иста литолошка средина – варовници, но со различен степен на испуканост (оштетеност), што може да се препише на последиците од масовното минирање во горната еластичната зона. Токму од овие причини имаме и две групи на квалитативни вредности. Првата група се однесува начелно на вредности на RMR од 58 - 69 и ERMR од 50 - 61 поен и брзини помали од 2.900 (m/s) кои се карактеристични за категоријата на поволни карпести маси, а втората група на вредност и на параметрите одговараат на добра карпеста маса (69-80 RMR и 65-81 ERMR со брзини на еластични бранови поголеми од 4.700 (m/s)).

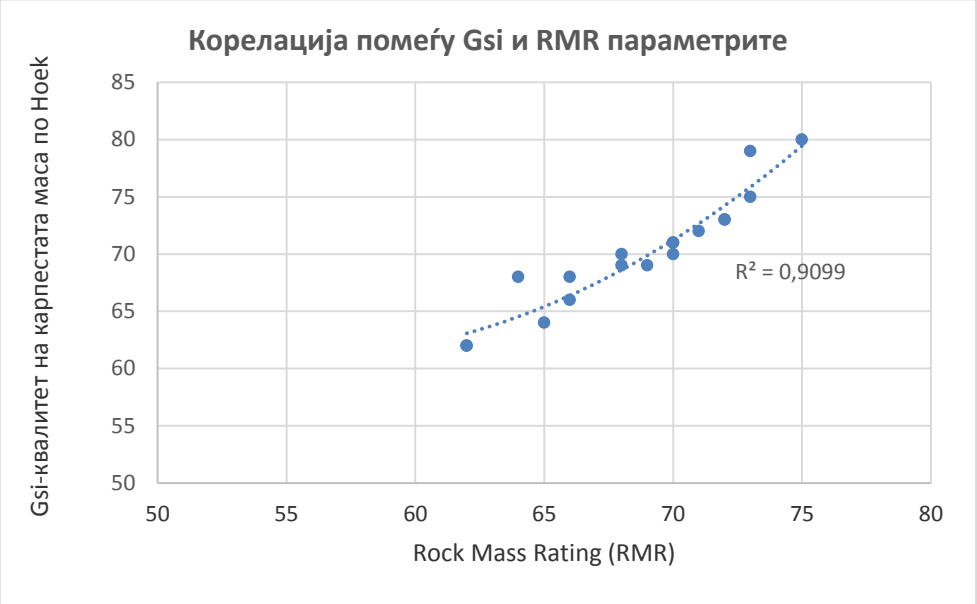
Во продолжение се дадени корелациsки зависности помеѓу добиените вредности од изработената класификација на карпестите маси по различни геотехнички касификации. На слика 33 е прикажана зависност на извршената категоризација на карпеста маса според класификацијата на Bieniawski (RMR) со касификацијата на Barton (Q – систем). Воспоставената е експоненцијална зависност и како што може да се види од сликата е добиен висок фактор на детерминација $R^2 = 0,81$.



Слика 33. Зависност помеѓу индексот на квалитет Q со RMR

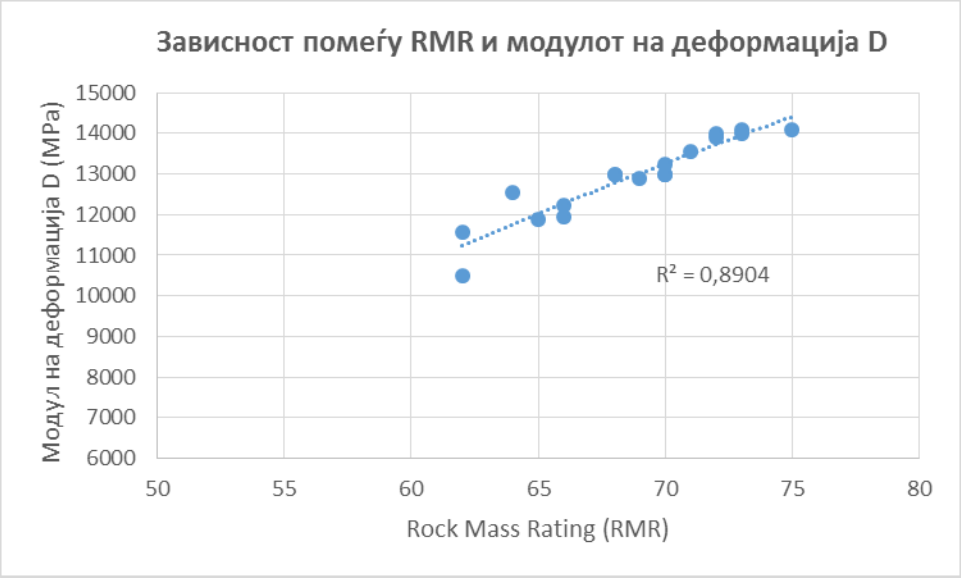
Figure 33. Dependence between quality index Q with RMR

На силка 34 е прикажана зависност на извршената категоризација на карпеста маса според класификацијата - квалитет на карпестата маса по Hoek (Gsi) со класификацијата на Bieniawski (RMR). Како може де се види од дијаграмот, воспоставена е одлична полиномна зависност и добиен е висок фактор на детерминација од R^2 = 0,9.



Слика 34. Корелација помеѓу квалитетот на карпестата маса по Hoek (Gsi) и класификацијата на Bieniawski (RMR).
Figure 34. Correlation between the quality rock mass acoording to Hoek (Gsi) and Bieniawski (RMR).

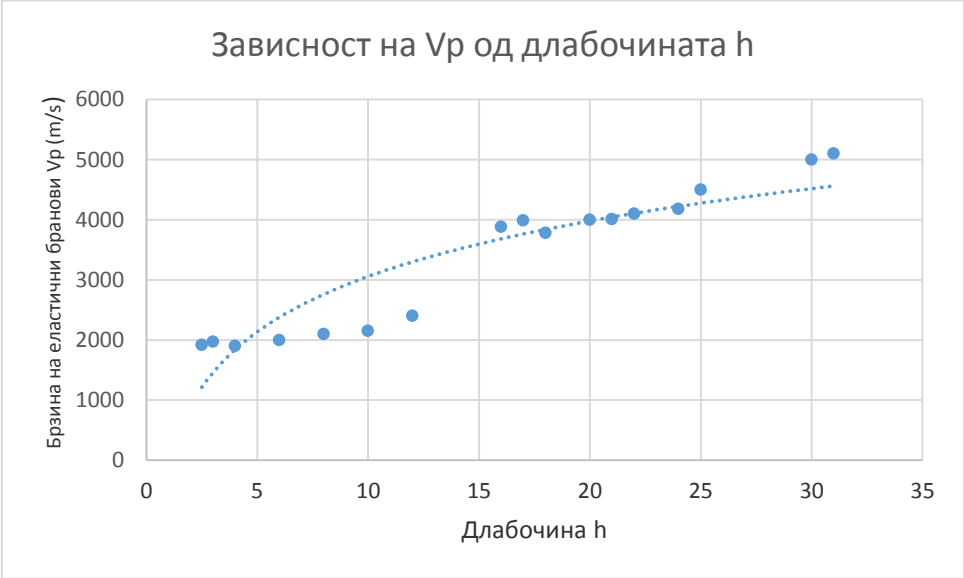
На слика 35 е прикажана е зависноста на модулот на деформација D од RMR параметарот. Зависноста е логаритамска со висок степен на детерминација R^2 = 0,9.



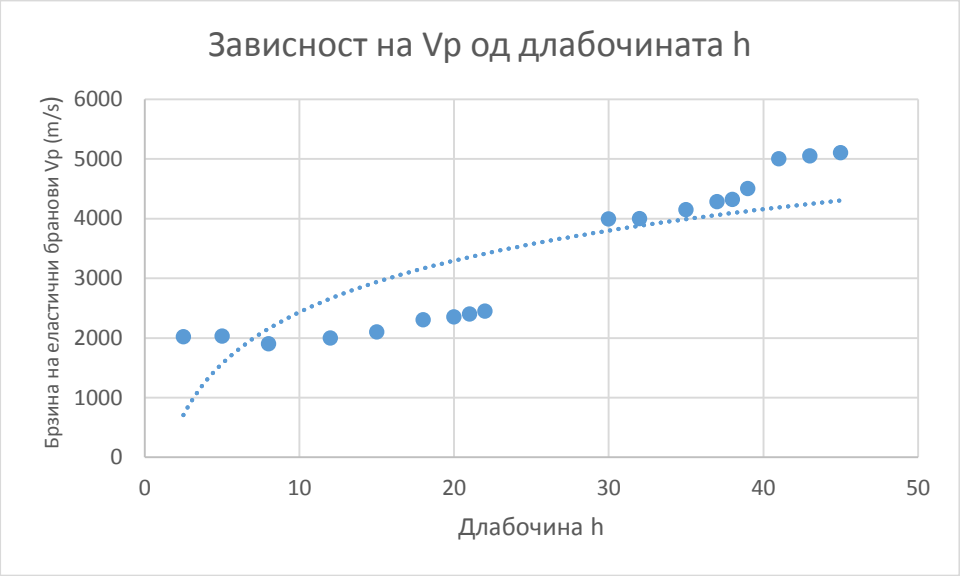
Слика 35. Корелација помеѓу RMR и модулот на деформација D
Figure 35. Correlation between RMR and modulus of deformation D

Како закучок од сите гореприкажани зависности може да се каже дека кај сите е добиен доста висок фактор на детерминација (поголем од 0.73), што укажува на мошне јака врска помеѓу испитуваните параметри.

Во наредниве два дијаграми (слика 36 и 37) е дадена логаритамска зависноста помеѓу брзината на еластичните бранови Vp и длабочината на теренот на којшто се вршат истражувањата h.



Слика 36. Зависност помеѓу брзината на еластичните бранови **Vp** и длабочината **h** за карактеристичен сеизмички профил PR-3 во наоѓалиштето Слоештица
Figure 36. Dependence between the speed of elastic waves **Vp** and depth **h** for characteristic seismic profile PR-3 in the site Sloeshtica



Слика 37. Зависност помеѓу брзината на еластичните бранови **Vp** и длабочината **h** за карактеристичен сеизмички профил PR-1 во наоѓалиштето Рашанец
Figure 37. Dependence between the speed of elastic waves **Vp** and depth **h** for characteristic seismic profile PR-1 in the site Rasanec

Анализирајќи ги двата случаја може да се дојде до заклучок дека и за двата карбонатни масиви важи правилото дека со зголемување на длабочината доаѓа до зголемување на брзината на сеизмичките бранови. Логичен заклучок што произлегува од оваа состеојба е дека зголемувањето на брзините е поврзано со намалување на дисконтинуалноста на самиот масив.

На длабочини поголеми од 45 метри брзината на сеизмичките бранови достигнува и преку 5.000 метри во секунда. Од претходно искуство знаеме дека овие брзини поголеми од 5.000 m/s се карактеристични за здрави карпести маси (или по Bieniawski RMR над 90 категоризирани како „многу добра карпеста маса”), кај кои е возможна и експлоатација на архитектонско-градежен камен.

Ова посебно се однесува на наоѓалиштето Слоештица каде што карбонатот, всушност, претставува силно мермеризиран варовник со сивкаста боја наместа благо црвеникави партии пигментирани со оксиди на Fe. Кај ова наоѓалиште на длабочина поголема од 25 метри може да се очекува материјал кој би се јавувал во блокови со комерцијална вредност и истиот би можел да се користи како архитектонско-градежен камен.

7. УПОТРЕБА НА ГЕОТЕХНИЧКИ МЕТОДИ (ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКИ ПРЕСЕЦИ (ИГП) И ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКИ МОДЕЛИ (ИГМ)) ВО ИСТРАЖУВАЊЕ НА НАОЃАЛИШТА НА АРХИТЕКТОНСКО-ГРАДЕЖЕН КАМЕН

7.1. Дефиниција и структура на геотехничките модели

Под поимот геотехнички модел подразбираме спој помеѓу теориски и практични сознанија за својствата на природните геолошки средини и промените во нив настанати како последица на инженерската дејност и задача на овој модел е да врз основа на дефинираните интеракции формулира оптимални технички решенија. Ваков сложен геотехнички модел се состои од три основни модели:

- **Модел на природна геолошка средина:**
  - инженерско-геолошки пресеци;
  - интегрални инженерско-геолошки пресеци;
  - инженерско-геолошки модели.
- **Модел на инженерска дејност:** геотехнички модел во потесна смисла на зборот.
- **Модел на интеракција:** модел на напонско-деформациско однесување.

Наведените елементи на моделите се меѓусебно нераздвоиви и само како такви претставуваат геотехнички модел во целина. Меѓу нив постојат сложени односи, меѓузависност и условеност. Така, карактеристиките на планираната инженерска дејност влијаат на изборот на најзначајните параметри на моделот на геолошка средина, па со тоа и на неговата изработка и конечниот изглед. Од друга страна, моделот на геолошка средина, кој е строго зависен од геолошките услови на подрачјето, влијае на одредени технички и конструктивни определувања на инженерската дејност, па со тоа и на битни елементи на нејзиниот модел.

Познато е дека карпестите масиви се карактеризираат со изразена просторна и временска променливост скоро на сите нејзини својства и состојби. Карпестата маса, посматрано микроскопски, по правило е

дисконтинуална, хетерогена и анизотропна средина што е последица на условите на постанокот, тектониката и природните физичко-механички процеси. Токму затоа секој обид на нејзино претставување во поголема или помала мера е идеализација и генерализација. На тој начин добиваме воопштена слика – модел на геолошка средина, кој е всушност упростување на реалната ситуација и е одраз на степенот на познавање на проблемот кој се изучува. Коректна карактеризација, а со тоа и сигурна прогноза на однесувањето на природната средина како целина, најчесто не е возможна.

Во процесот на моделирање се врши издвојување, односно ограничување на одделни подрачја во геолошката средина во кои карпестата маса има исти или приближно исти својства. Пред разграничување на овие подрачја се врши избор на едно или повеќе својства за кое се бара униформност во едно подрачје. Ваквите подрачја или зони ги нарекуваме квазихомогени зони и тие претставуваат основни конструктивни елементи на моделот на геолошка средина. Во ваквите зони, одредени својства или услови се исти во секоја точка, а битно различни во однос на просторот надвор од нивните граници.

Бројот на квазихомогените зони не зависи само од променливоста на својствата на масивот, туку и од можноста и целта на истражувањата. Секако, колку бројот на издвоените зони е поголем, а нивната големина помала, толку моделот ќе биде пореален. Освен тоа, со намалување на големината на зоните се намалува и несигурноста при екстраполацијата и опсегот на можните варирања на вредностите на репрезентативните параметри.

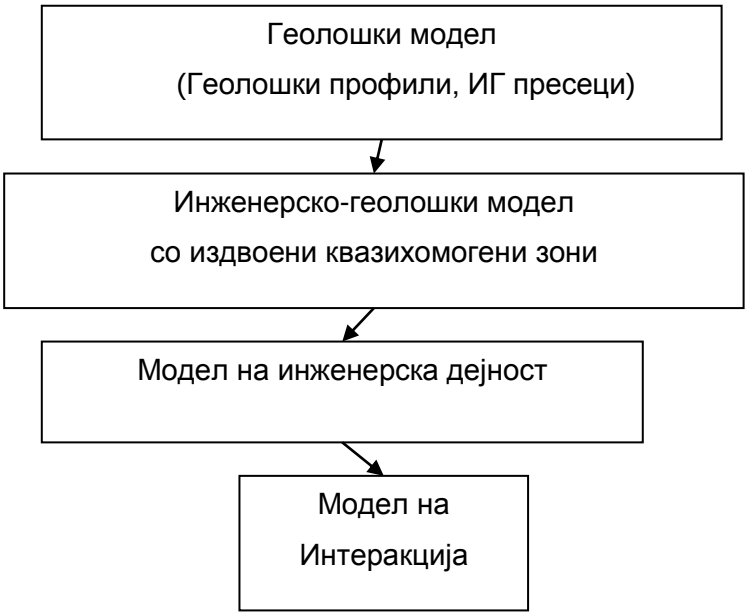
7.2. Врска помеѓу геолошките, инженерско-геолошките, геотехничките и модели на интеракција

Моделот на природна геолошка средина ги одразува сите битни својства на природната геолошка средина кои се релативни за специфицни аспекти на проблемите кои се изучуваат.

Модел на инженерска дејност – ја претставува карпестата маса издвоена на поединечни зони во кои треба да се проектира, односно да се изврши некоја инженерска дејност.

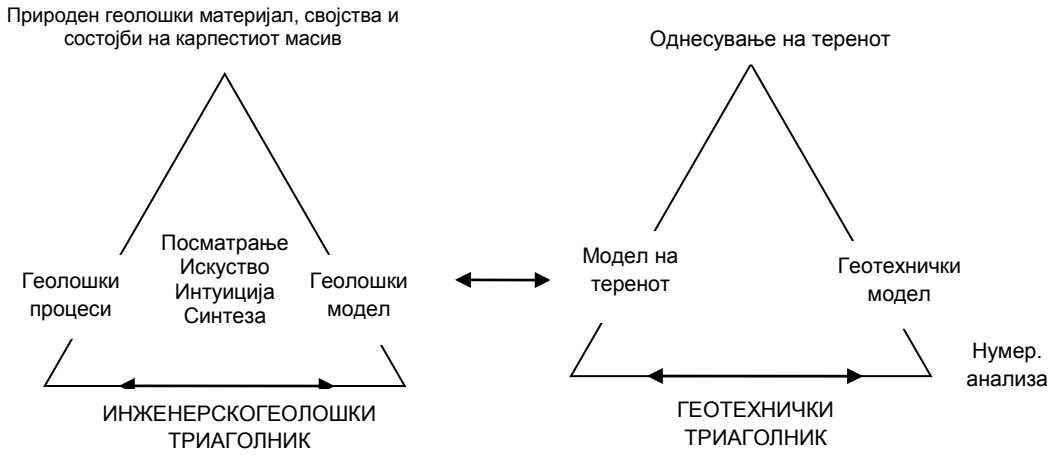
Модел на интеракција – претставува субституција на реалното однесување на карпестите маси во новонастанати услови во тек на изведувањето на работи, со примена на некој од можните моделски пристапи.

Линеарен начин да се искажат фазите во дефинирањето на моделот на интеракција е даден на слика 39. Од сликата може да се види дека крајната фаза од геотехничкото моделирање ја сочинуваат моделот на инженерска дејност и моделот на интеракција.



Слика 38. Линеарна врска во дефинирањето на моделот на интеракција
Figure 38. Linear relation in the definition of the model of interaction

Погоден начин за да се покажат односите помеѓу одделните различни типови на модели е даден на слика 39 преку инженерско-геолошкиот и геотехничкиот триаголник. Прикажаните триаголници укажуваат дека во секој конкретен случај, моделот на геолошка средина дефиниран на основа на истражувања, посматрања, искуство и интуиција е основа за други типови на модели, со цел на крај да се добијат податоци за реална нумеричка анализа.



Слика 39. Врска помеѓу инженерск-огеолошкиот и геотехничкиот триаголник и врски помеѓу геолошките, геотехничките модели и нумеричките анализи

Figure 39. Connection between the engineering-geological and geotehnical triangle and links between geological, geotechnical models and numerical analysis

Во овој труд ќе се задржиме и детално ќе ги разработиме само моделите на природна геолошка средина кои се изработуваат во вид на инженерско-геолошки пресеци (ИГП) и инженерскогеолошки модели (ИГМ).

7.3. Модел на природна геолошка средина

Моделот на природна геолошка средина ги одразува сите битни својства на природната геолошка средина кои се релевантни за специфичните аспекти на проблемот кој се изучува или решава (Павлович, 1995). Тој претставува синтеза на резултати од детални теренски мерења и истражувања, лабораториски анализи, комплексни геофизички истражувања и примена на методи на математичка статистика и теорија на веројатност. Сите истражни работи, по правило, се вршат по повеќе параметри и само една потполна анализа овозможува детално запознавање со својствата на карпестиот масив кои ќе послужат како подлога за геотехничко проектирање на големи и сложени објекти, како што се рудници (независно дали станува збор за рудници со подземна експлоатација или површински копови), високи брани, тунели, мостовски столбови и др.

При креирање на модел на геолошка средина, теренските истражувања, освен вообичаените геолошки, геофизички и инженерско-геолошки постапки, вклучуваат стратиграфски и други потребни седиментолошки истражувања, потоа снимање на тектонскиот склоп со генетска класификација на дисконтинуитетите, мерење на растојанието помеѓу дисконтинуитетите од иста фамилија, одредување на морфолошки и други карактеристики на дисконтинуитетите со помош на методи кои се користат и интерпретираат во механиката на карпи. Лабораториските испитувања ги вклучуваат сите потребни анализи за дефинирање на карактеристиките на карпите. Основа за обработка на резултатите од теренските и лабораториските истражувања е нивното синтетизирање (земајќи предвид дека на терен постојат тектонски блокови, различни по стратиграфска припадност и литофацијални карактеристики), разврстување на карпестите маси по типови, во тектонските блокови и во целина за целиот масив, како и одредување на сите влезни податоци потребни за класификација на карпестите маси по постапките кои се препорачуваат од Интернационалната асоцијација за механика на карпи (ISRM).

Како што претходно напоменавме, моделите на природна геолошка средина се изработуваат во вид на инженерско-геолошки пресеци (ИГП), интегрални инженерско-геолошки пресеци (ИИГП) и инженерско-геолошки модели (ИГМ).

- Инженерско-геолошките пресеци (ИГП) ги прикажуваат резултатите добиени со мераење, истражување и испитување во природна средина и тие во суштина претставуваат фактографски приказ на добиените резултати.

Инженерско-геолошките пресеци се работат најчесто како вертикални пресеци на теренот, но кога е неопходно можат да се изработат и како хоризонтални пресеци на различни нивоа. Многу ретко се работат како коси пресеци.

Инженерско-геолошките пресеци се изработуваат по одредени параметри на испитување, и содржат приказ на сите поединечни резултати на одредена врста испитувања.

Кога се во прашање наоѓалишта на архитектонско-градежен и технички камен најчесто се работат ИГП по следниве параметри на исипитување:

• литолошки состав и склоп;
• испуканост (дисконтинуалност);
• физичко-хемиска распаднатост.

- Интегралниот инженерско-геолошки пресек (ИИГП) претставува синтеза од сите параметарски инженерско-геолошки пресеци и е производ на нивната анализа и интерпретација со вклопување на сите резултати до истражувањата во една логичка целина.

Се добива на тој начин кога сите инженерско-геолошки пресеци ќе се преклопат на еден цртеж. Вака преклопените параметарски инженерско-геолошки пресеци овозможуваат комплексна интерпретација на сите податоци добиени со мерење на терен и нивно уклопување во една логичка целина.

ИИГП претставува основен документ со резултати од истражните работи и служи како подлога за изработка на главниот рударски проект. По правило, интегралниот инженерско-геолошки пресек се работи во вертикална проекција.

Заедно со ИИГП се дава и текстуален извештај во кој, покрај толкувањето на графичкиот приказ, се даваат основни податоци за одредени својства на истражуваниот карпест масив и се формулираат заклучоци и препораки за проектирање на копот и развој на понатамошната експлоатација на истиот.

- Инженерско-геолошки модел (ИГМ) претставува специфициран приказ на теренот со разграничување на квазихомогените зони по параметри кои се неопходни за проектирање на објекти.

Овие модели се работат по одредени параметри кои се потребни за изработка на објектот и, во поголема или помала мера, претставуваат упростена претстава за природната средина, односно карпестиот масив. Во инженерско-геолошкиот модел се оконтуруваат квазихомогени зони, по

параметрите потребни за проектирање, со нумерички карактеристики за својствата карпестата маса во секоја квазихомогена зона.

Најчесто се изработуваат инженерско-геолошки модели по следниве параметри:

- деформабилност;
- испуканост;
- отпорност на смолкнување;
- квалитет на карпестата маса,

и други модели во зависност од тоа кои параметри се потребни за изработка на проектот за копот.

7.3.1. Инженерско-геолошки пресеци (ИГП) и инженерско-геолошки модел (ИГМ)

Вообичаено оваа метода се користи при проектирање на високите брани, но овој труд претставува добра можност оваа метода да се афирмира и при истражување на минерални суровини и проектирање на површински копови. Резултатите од испитаните параметри со различните видови на истражни работи се прикажуваат на т.н. *инженерско-геолошки пресеци и модели.* Оваа методологија главно се заснова на постапките афирмирани од Кујунџиќ (1973), а во текот на време, таа е постојано надградувана.

Инженерско-геолошките пресеци се направени по различно испитани параметри на карпестата маса за кои во текот на истражувањето се добиени поголем број на податоци (нумерички или описни). Во конкретниов случај изработени се инженерско-геолошки пресеци по три испитани параметри.

Во продолжение ќе ја презентираме гореприкажаната методологија на истражување и моделирање преку примерот на наоѓалиштето на минералната суровина калцитски мермер „Говрлево“.

За да можеме да преминеме на фазата на моделирање на природната геолошка средина т.е. пред да почнеме да ги изработуваме инженерско-геолошките пресеци и модели мораме детално геолошки и инженерско-геолошки да го осознаеме и дефинираме истражниот простор.

За оваа цел е потребно доследно се користат сите предложени методи дадени во поглавје 5.

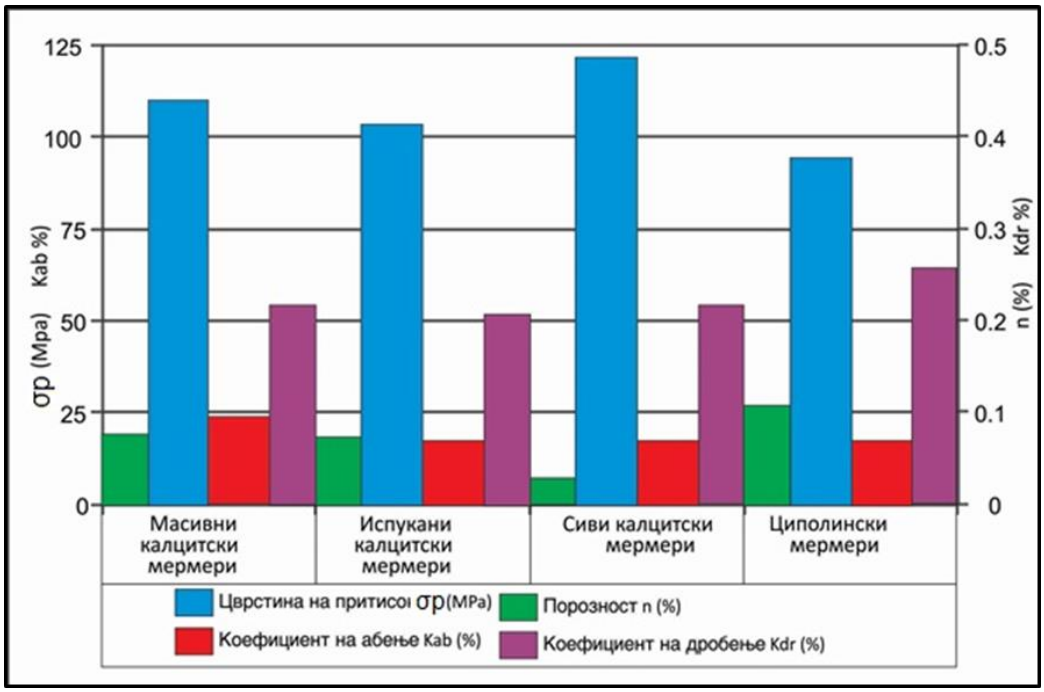
Најпрвин детално беше картиран целиот истражен простор и неговата поблиска околина. Како резултат на оваа активност беше изработена геолошка и инженерско-геолошка карта на истражниот простор во размер 1 : 1.000. На оваа карта се дадени сите литолошки членови присутни на истражноит простор, како и сите структурно-тектонски дисконтинуитети (раседи, раседни зони и пукнатини) (прилог 3).

На картата, исто така, се обележани местата од каде што беа земени проби за испитување на физичко-механичките карактеристики, хемиски својства и детална минералошко-петрографска анализа на земените примероци. За истакнување е дека во рамките на овие истражувања е изработен детален катастер на пукнатина. На повеќе од 80 мерни места мерени се сите позначајни параметри на пукнатините како што се: тип, елементи на пад на пукнатина, континуит, видливост, отвор/ширина, заполнител, вид на површина на пукнатината, состојба на вода и меѓупукнатинско растојание. Со обработка и анализа на сите овие податоци добивме една сосема коректена претстава за состојбата на пукнатинските системи, раседите и раседните зони на истражуваниот простор.

Од друга страна, инженерско-геолошките податоци добиени со гореопишаната методологија ни овозможија точно да го одредиме RQD параметарот за сите мерни места и веќе да имаме одредена претстава за квалитетот на карпестиот масив. За да почнеме со процесот на моделирање на истражуваниот простор потребни ни се и податоците од лабораториските испитувања (слика 40, табела 9).

Табела 9. *Средни вредности на минералошкиот состав, хемискиот состав и физичко-механичките параметри на секоја проба посебно*
Table 9. *Average values of the mineralogical composition, chemical composition and physico-mechanical parameters to each test separately*

Литологија	Бр. на проба	Мин. состав калцит доломит кварц+муск.	Хемизам CaO MgO	Физичко-механички карактеристики					
				Цврстина на притисок	Зафатнинска маса	порозност		коеф. на дробење	коеф. на абење
		(%)	(%)	σ p (MPa)	gr/cm³	%	gr/cm³	%	cm³/50cm²
Масивни калцитски мермери	3, 5	98,2 0,65 0,56	55,201 1,40	110	2,69	0,096	2,69	0,22	23,73
Испукани калцитски мермери	2,4,7,9,	98,43 0,28 0,92	55,06 1,49	103,65	2,65	0,075	2,70	0,21	17,29
Сиви калцитски мермери	1, 8	98,40 0,68 0,50	55,575 1,23	121,55	2,68	0,03	2,69	0,22	17,29
Циполински мермери	6	96,80 0,43 1,73 (-к)	54,416 1,65	94,40	2,68	0,11	2,71	0,26	17,30



Слика 40. Дијаграм на физичко-механичките карактеристики
Figure 40. Diagram of physical mechanical characteristics

Овен овие испитувани параметри за да добиеме што поточен модел добро е да се знаат вредностите на **кохезијата с** и аголот на **внатрешно триење ф.** Овие два параметра, како и модулот на деформација D (кој го користевме при воспоставување на корелациите меѓу геотехничките параметри во претходното поглавје), се пресметковно добиени користејќи ги услугита на софтверскиот пакет Rocscience т.е. апликацијата RocLab.

Користејќи ги сите расположливи податоци, на крај карпестиот масив го класифицираме со помош на некои од геотехничките класификации. За потребите на овој труд во геотехничкиот модел беа користени повеќепараметарски класификациони системи. Во овие системи, со избор на повеќе влијателни параметри и нивна комбинација се тежнее да се дефинира т.н. квалитет на карпеста маса. За потребите и функцијата на овој модел се искористени следниве класификации:

- RMR (Bieniawski);
- ERMR (Јовановски);
- SMR (Romana).

Исто така, извршена е и класификација на теренот по параметар Степан на испуканост (RQD).

Со комбинирање на податоците од теренските истражувања со податоците добиени од лабораториските испитувања имаме можност да вршиме геотехничкото и инженерско-геолошкото моделирање на теренот со помош на методите на Инженерско-геолошки пресеци (ИГП) и Инженерско-геолошки модел (ИГМ).

- Инженерско-геолошки пресеци (ИГП) по параметар на литологија и склоп

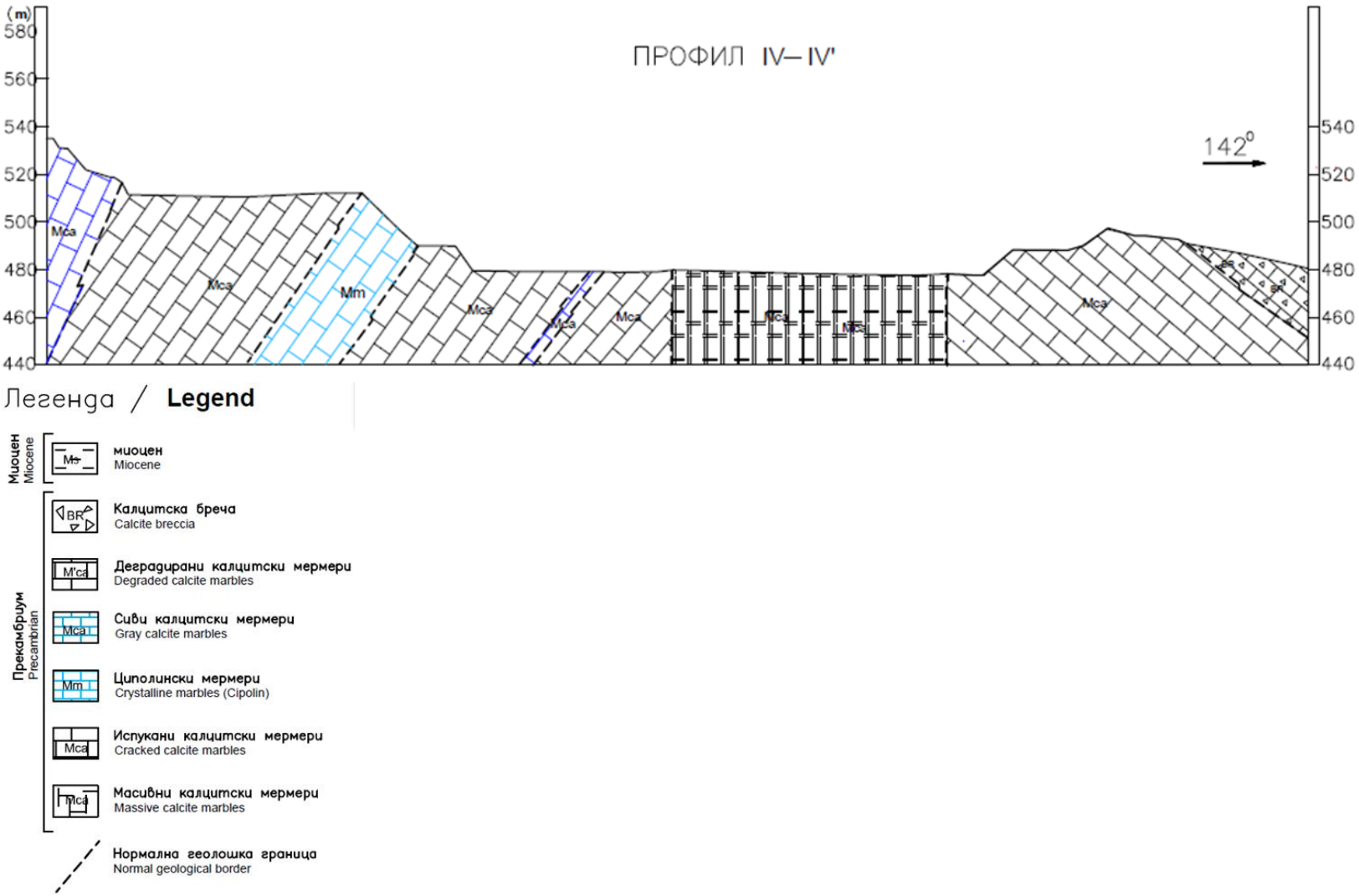
За истражуваниот терен во зоната на ископ изработени се карактеристични ИГП по параметар на литологија. Имено, вкупно се изработени седум (7) ИГП по овој параметар и истите се ориентирани во правец северозапад-југоисток, така што се опфатени сите косини на копот (прилог 4).

На инженерско-геолошки пресеци се дадени најважните литолошки и карактеристики на застапените карпести маси.

Овде во резимирана форма се дава приказ само на конкретната ситуација за профилите 4 и 1 кои се најрепрезентативни и на нив ги има застапени сите литолошки членови кои се јавуваат на овој терен (слика 41 и 42). Во врска со литологијата и склопот на истражуваниот терен може да се истакнат следните факти:

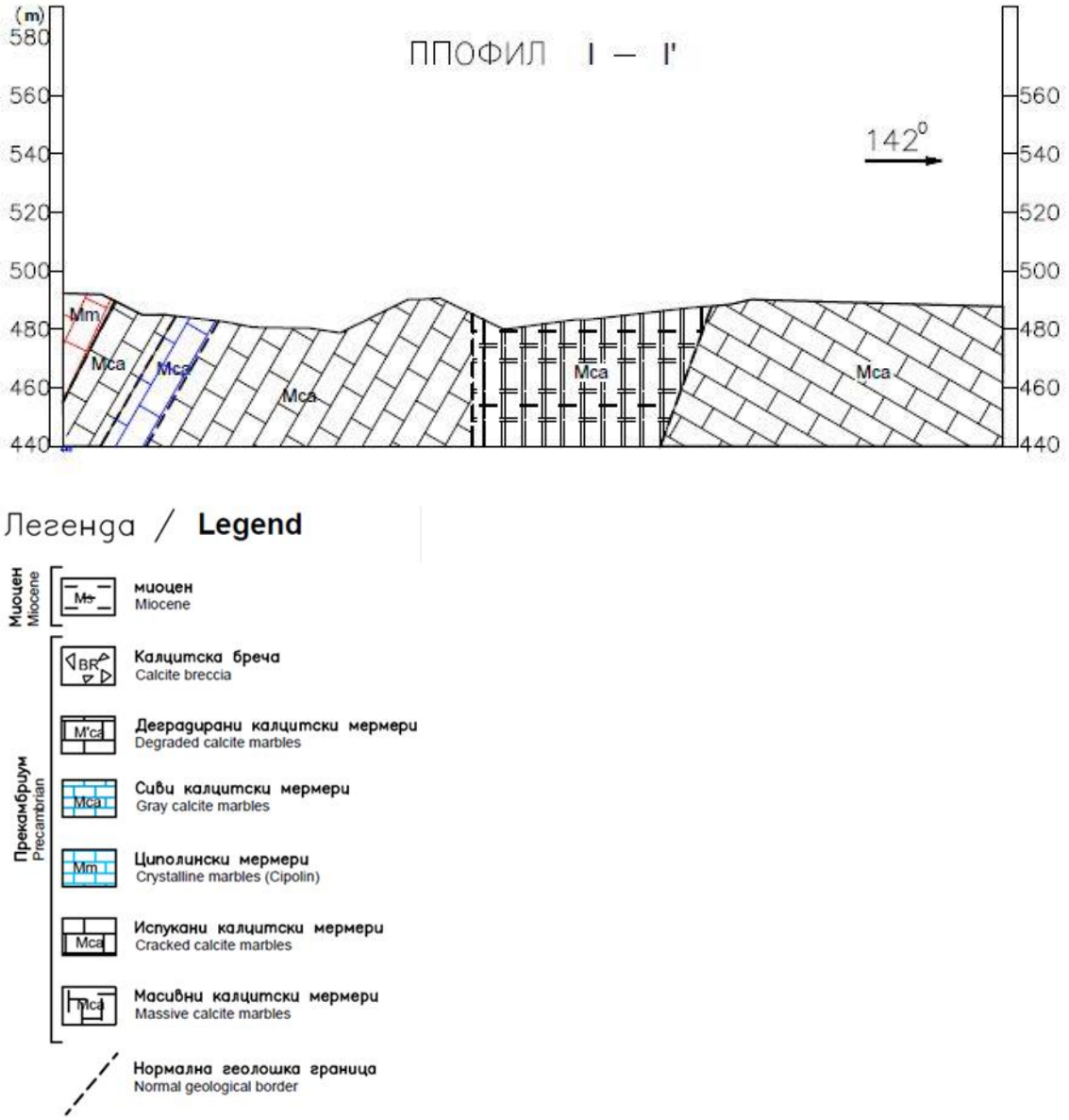
Левата страна од профилот или северозападните делови на копот претежно се изградени од испукани калцитски мермери (Mca) кои се релативно свежи и испукани со главно три пукнатински системи. Во централниот дел на овие мермери лоцирана е трака на циполински мермери (Mm) со дебелина од 30 метри, кои се нешто помалку испукани од калцитските мермери но имаат полоши физичко-механички карактеристики. Одејќи кон крајните северни делови на копот испуканите калцитски мермери преминуваат во сиви калцитски мермери. Овој вариетет се карактеризира со поголема цврстина на мини блоковите во однос на другите вариетети.

Во централните делови на копот се јавува блок од масивни калцитски мермери (Mca). На северната и јужната страна е опкружен со испуканите калцитски мермери со кои има постепен преод. По боја е бел до светлосив со тенки прослојки од жолтеникави до кафени ленти. Како последица од интензивните тектонски активности во минатото овие мермери се доста испукани со систем на вертикални пукнатини со протегање СИ-ЈЗ. Издвоени се како посебен литолошки член, затоа што имаат релативно понизок степен на испуканост во однос на околните мермери. Покрај тоа, во нив не е забележена фолијација.



Слика 41. Карактеристичен инженерско-геолошки пресек (ИГП) по параметар на литологија

Figure 41. A typical engineering-geological cross section (IGC) by parameter of litology



Слика 42. Карактеристичен инженерско-геолошки пресек (ИГП) по параметар на литологија

Figure 42. A typical engineering-geological cross section (IGC) by parameter of litology

Како што напоменавме погоре, одејќи кој југоисток масивните мермери постепено поминуваат во испукани калцитски мермери. Во крајните југоисточни делови на копот испуканите калцитски мермери се покриени со калцитски бречи. Бречите во основа претставуваат калцитски мермери кои се зафатени со интензивни тектонски движења и дробење кои во подоцнежниот период се врзани со карбонатно врзиво. Од овие причини бречите имаат многу неповолни инженерско-геолошки карактеристики.

- Инженерско-геолошки пресек (ИГП) по параметар на испуканост

Инженерско-геолошкиот пресек (ИГП) по параметар на испуканост е изработен со внимателна анализа и синтеза на податоците од картирањето на површината на теренот (прилог 5). Така, на инженерско-геолошкиот пресек е прикажана фактографска состојба со сите главни тектонски структури кои ја предусловуваат тектонската градба на целиот истражен простор.

Во претходното поглавје кога зборуваваме за литологијата на истражуваниот простор, детално ја опишавме состојбата со пукнатините на секоја литолошка единица.

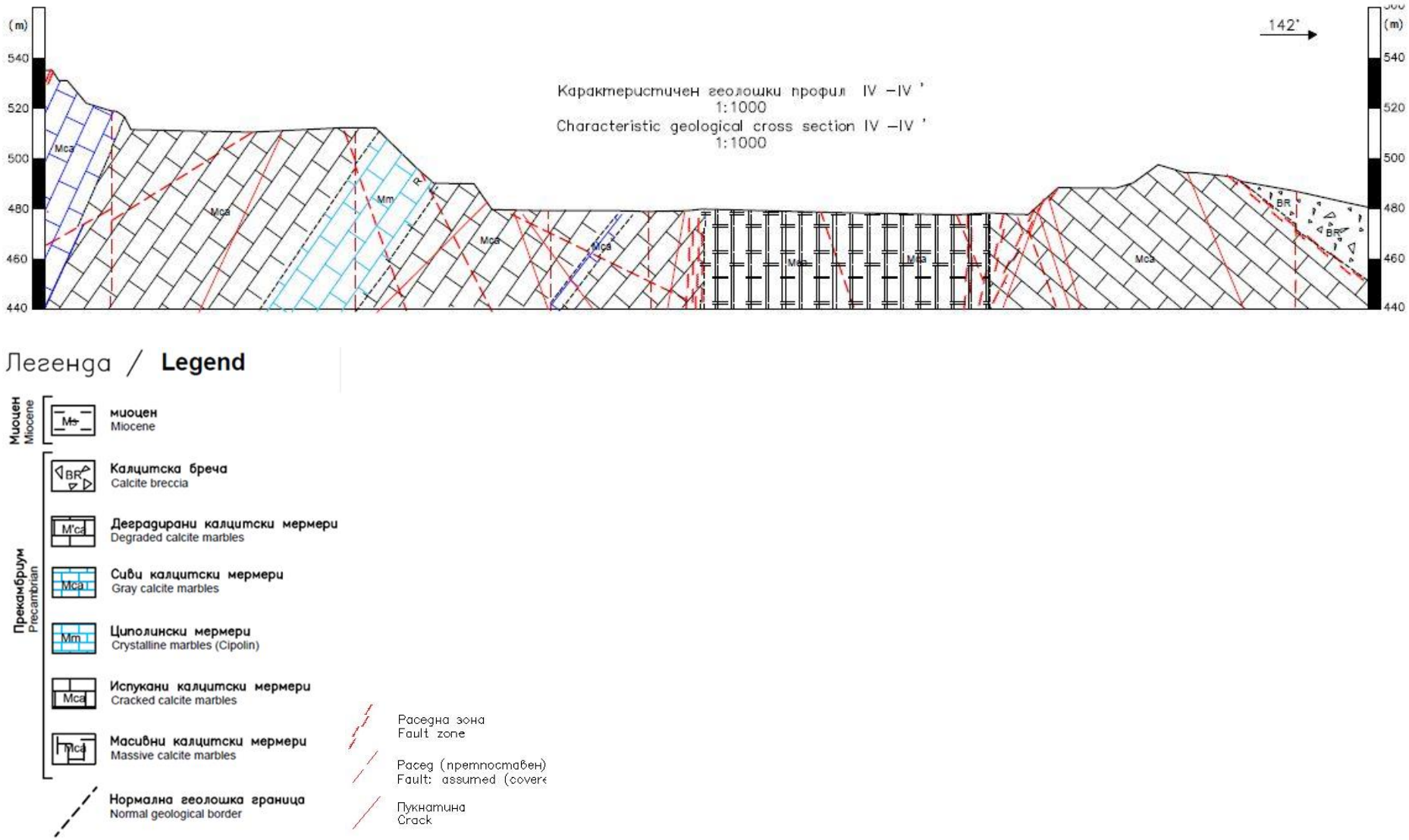
Овде треба да додадеме уште дека на истражниот простор се лоцирани и неколку раседни зони со дебелина од 2 до 5 метри. Скоро сите се ориентирани (се протегаат) приближно исток-запад, додека падниот агол им е помеѓу 75° и 85°. Само една раседна зона се протега во споротивен правец од останатите (северозапад-југоисток) и местата каде што се сечат овие раседни зони се доста симптоматични од аспект на физичко-механичките карактеристики и значително ја загрозуват стабилноста на косините.

По должината на површината на инженерск-геолошкиот пресек по испуканост се прикажани податоците за RQD показателот (може да се види на слика 45 на инженерско-геолошкиот модел), а исто така се прикажани и најзначајните најмаркантните пукнатини во склоп на издвоените квазихомогени зони во класи според: ориентацијата, должината, големината на отворот, степенот и видот на заполнувач и др.

Подолу во резимирана форма се дава приказ само на конкретната ситуација за профил 4 и профил 1 (карактеристичен инженерско-геолошки пресек (ИГП) по параметар на испуканост), кој е најрепрезентативен и на истиот ги има застапени сите помаркантни пукнатини, раседи и раседни зони (слика 43 и 44).

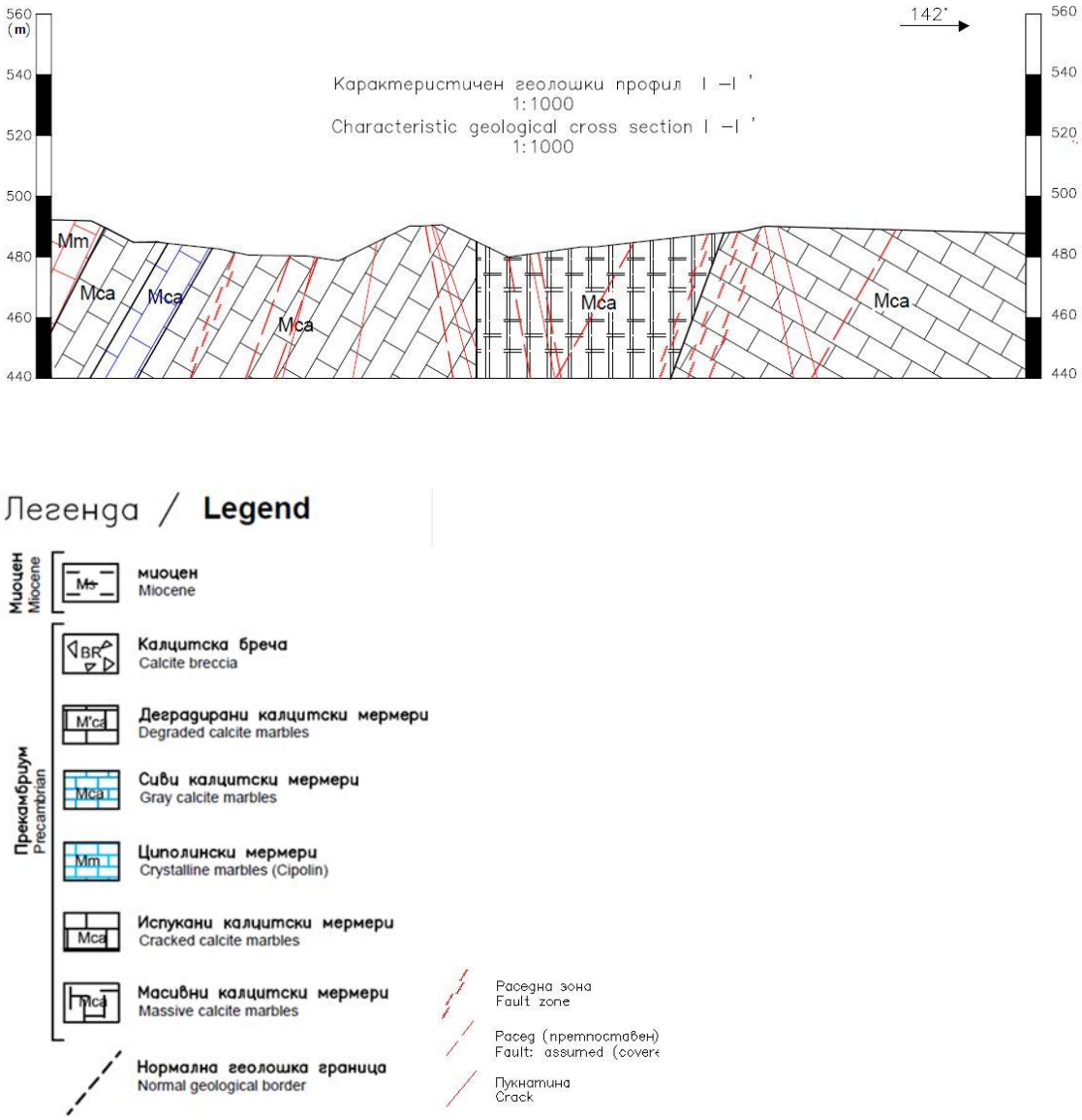
Како што може да се види од приложените слики и прилози целиот терен е доста испукан и раседнат. Постојат делови кои се поздрави и

помалку распаднати, но и делови кои се сосема дезинтегрирани. Кога станува збор за централните делови на истражниот простор (испукани калцитски мермери) може да се каже дека одредени партии се потполно распаднати и дезинтегрирани. Ова се должи на појавата на раседни зони во о наоѓалиштето, а на местата каде што овие зони се сечат (на источната граница меѓу испукните калцитски мермери и масивните калцитски мермери се сечат три раседни зони) масивот е целосно распаднат.



Слика 43. Карактеристичен инженерско-геолошки пресек (ИГП) по параметар на испуканост

Figure 43. Characteristic engineering-geological cross section (IGP) by parameter of cracking



Слика 44. Карактеристичен инженерско-геолошки пресек (ИГП) по параметар на испуканост

Figure 44. Characteristic engineering-geological cross section (IGP) by parameter of cracking

- Инженерско-геолошки пресек (ИГП) по параметар на физичко-хемиска распаднатост (квазихомогени зони)

Врз основа на литологијата, степенот на испуканост и физичко-механичките својства на карпестиот масив, истиот е поделен на неколку квазихомогени зони.

Зона А – Циполински мермери (RQD ≈ 70 % , s_p = 80 – 90 Mp, γ= 2.65 gr/cm^3);

Зона В – Испукани калцитски мермери и сиви калцитски мермери (RQD = 70 – 75 % , s_p = 100 – 115Mp, γ= 2.65 - 2.68 gr/cm^3);

Зона В$_1$ – Испукани калцитски мермери со зона на калцитски бречи (RQD = 65 – 75 % , s_p = 100 – 115Mp за мермерите, γ= 2.65 - 2.68 gr/cm^3);

Зона С – Масивни калцитски мермери (RQD = 85 – 90 % , s_p = 110 – 121 Mp за мермерите, γ= 2. 69 gr/cm^3);

Зона D – Раседна зона (RQD = 20 – 25 %)

- Инженерско-геолошки модел (ИГМ)

Инженерско-геолошки модл (ИГМ) претставува специфициран приказ на теренот со разграничување на квазихомогените зони по параметри кои се неопходни за проектирање на објекти.

Како што напоменавме погоре овие модели се работат по одредени параметри кои се потребни за изработка на објектот и, во поголема или помала мера, претставуваат упростена претстава за природната средина, односно карпестиот масив.

Во овој труд, на примерот на наоѓалиштето Говрлево, изработени се инженерско-геолошки модели кои всушност претставуваат мултипараметарски приказ на состојбата на карпестиот масив, т.е. не се изработени поединечни модели за секој параметар, туку на еден своден модел (изработен за два карактеристични профила (прилог 6/1, 6/2)) се претставени сите испитувани параметри.

Дел од параметрите се претставени графички на моделот, како што се параметрите по литологија и испуканост, додека останатите се дадени во табела под профилот (слика 45). Табелата е поделена според распоредот на квазихомогените зони кои се издвоени во моделот, а во неа уште се класифицирани сите квазихомогени зони по RMR (Bieniawski),

ERMR (Јовановски) и SMR (Romana). На крајот во последнит ред на табелата како резултат на сè што погоре е изнесено е даден предлог за начин на ископ.

Овој своден инженерско-геолошки модел недвосмислено треба ги одразува сите битни својства на природната геолошка средина кои се релевантни за специфичните аспекти на проблемот кој се решава.

Овој модел нуди можност за многу брз и релативно точен увид на состојбата на карпестиот масив. Гледаќи го моделот точно знаеме која квазихомогена заона каде што се наоѓа, од што е изградена, какви се нејзините физичко-механички карактеристики, каков и е степанот на испуканост и секако, какви се квалитативните показатели за секоја зона.

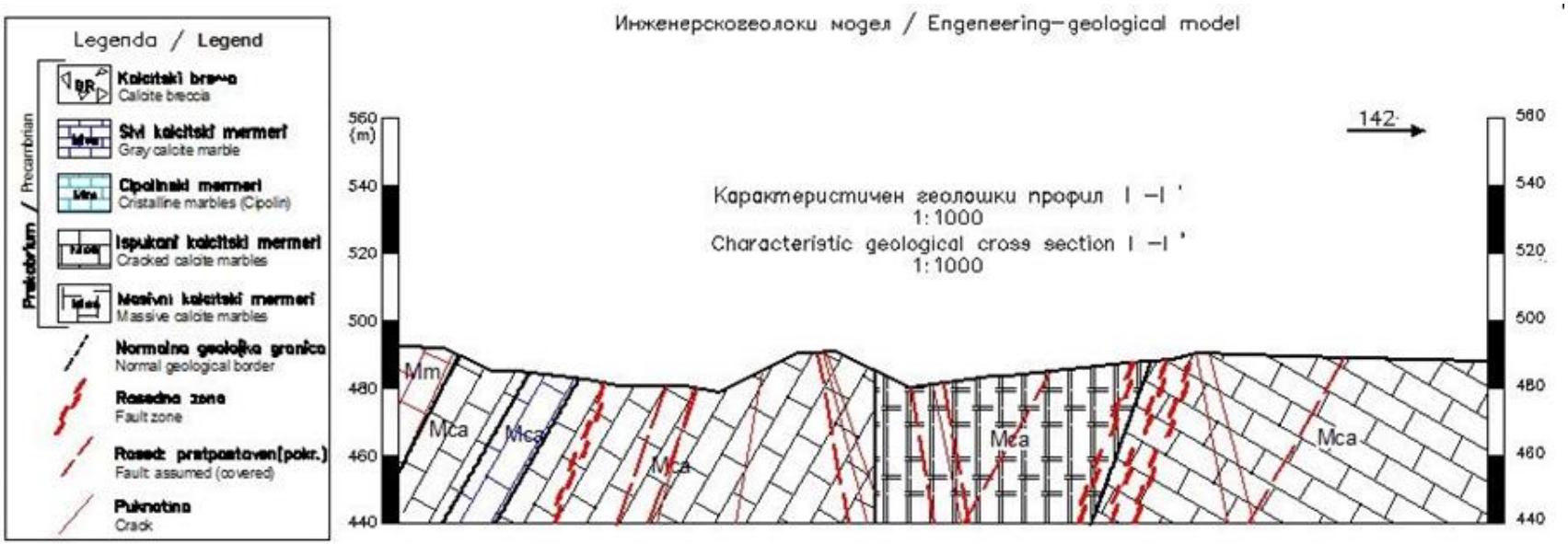
Од овој модел јасно може да видиме кои делови од масивот за која намена можеме да ги користиме. Распаднатите и дезинтигрираните делови каде вредноста на параметарот RMR е под 60 поени можат да се користат само како технички камен додека посвежите и покомпактни партии со поголема вредност на RMR (над 75 поени) може да се разгледува можноста за експлоатација на комерцијални блокови на архитектонско-градежен камен.

Квалитетот на карпестата маса е определен според Bieniawski и за квазихомогените зони издвоени на моделот RMR се движи од 58 до 75 што значи дека карпестата маса е добра (кај масивните мермери) или поволна (кај сите останати литолошки членови) со исклучок на раседните зони каде што RMR е околу 23 (слаба карпеста маса).

Дадена е и класификација на теренот како работна средина според Јовановски. Овде вредноста на ERMR се движи од 60 до 72 што значи дека за да се врши ископ во која било зона од теренот мора да се користи минирање, освен во раседните зони каде што е можна употреба на тешко копање.

Стабилноста на теренот посебно на косините на коповите е од суштинско значење за динамиката на работа и развојот на копот. Затоа во овој модел е извршена проценка на стабилноста на косини за сите зони според авторот Romana. Вредностите на SMR параметараот се движат од

61 – 76 што само по себе зборува дека во принцип косините се стабилни освен во раседните зони каде имаме изразита нестабилност.



Квазихомогени зони	A	B	C	D	B_1
Литологија	Ципол. мермер	Испукани калцитоки мермери и сиви калцитоки мермери	Масивни калцитоки мермери	Раседна зона	Испукани калцитоки мермери
Хидрогеолошка функција	Хидрогеолошки колектори со пукнатински тип на порозност				
Степен на испуканост	RQD = 75%	RQD = 70 - 75% Ls = 200 - 250	RQD = 85 % Ls = 200 - 250	RQD = 20 % Ls = 50 - 80	RQD = 70 - 75% Ls = 200 - 250
Физичко-механички кар. γ(gr/cm³), σ_p(Mpa) φ(°) c(kPa)	γ=2,65 σp=90 φ=20.49 c=2.7	γ=2,65-2,68 σ_p=110-121 φ=24.99 c=4.570	γ=2,69 σ_p=101-119 φ=31.48 c=6.91	γ=2,65 σp=77 φ=9.66 c=0.869	γ=2,65 σp=98-110 φ=16.31 c=2.41
Класификација на карпеста маса: RMR (Bieniawski)	62 II класа	60 III класа (поволна)	74 II класа (добра)	21-23 IV класа	58 III класа (поволна)
Класификација на карпеста маса: ERMR (Јовановски)	60-62 минира.	65-69 миниране	72 миниране	30-35 тешко копање	65-69 миниране
Класификација на карпеста маса: SMR (Romana)	61 дел. стабилна	65 стабилна	76 стабилна	30-32 нестабилна	63 стабилна
Начин на ископ	Внимателно миниране во мермерите Mca а наместа во циполинските мермери Mm можно е и копање со риперување				

Слика 45. Инженерско-геолошки модел изработен по профил I-I'

Figure 45. Engineering-geological model developed by profile I-I '

ЗАКЛУЧОК

Основна цел на овој докторска дисертација е да предложи една концепција на вршење на инженерско-геолошки истражувања на неметеаличните минерални суровини користејќи ја методата на **моделирање на теренот.** Се поаѓа од фактот дека секој модел претставува поедноставена варијанта на вистинските услови во склоп на теренот.

Оваа методологија досега е применувана при проектирање на најосетливи и најсложени инженерски објекти, како што се бетонски брани, длабоки тунели, големи мостови, длабоки ископи и сл. Во овој труд за прв пат се врши обид истата да ја примениме при проектирање на површински копови и да ја наметнеме како стандардна постапка во методологијата за утврдување на инженерско-геолошките карактеристики на карпестите маси во рударството.

Генерално може да се заклучи дека презентираната методологија се сведува на следниве чекори:

- Геолошко, ИГ и ХГ картирање на теренот
  - Геолошко картирање,
  - Инженерско-геоложко картирање,
  - Хидрогеолошко картирање;
- Геофизички испитувања
  - Траекторија на рефрактиран бран кога граничната рамнина е паралелна со површината на теренот,
  - Геометрија на рефлектираните бранови - хоризонтална гранична рамнина;
- Дупчење и картирање на јадро;
- Дефинирање на физичко-механичките и квалитативните параметри на средината;

- Воспоставување на корелациски зависности помеѓу испитуваните параметри на средината;
- Изработка на геотехнички модел на средината.

Добиените инженерско-геолошки модели, всушност, претставуваат повеќепараметарски приказ на состојбата на карпестиот масив, т.е. не се изработени поединечни модели за секој параметар туку на еден своден модел се претставени сите испитувани параметри. Овој своден инженерско-геолошки модел недвосмислено ги одразува сите битни својства на природната геолошка средина, кои се релевантни за специфичните аспекти на проблемот кој се решава.

Во овој труд, исто така, се воспоставени корелациски врски помеѓу сите користени параметри, за да се видат односите помеѓу нив и нивното значење за дефинирање на реални модели. Како закучок од сите воспоставени зависности може да се каже дека кај сите е добиен доста висок фактор на детерминација (поголем од 0.73), што укажува на мошне јака врска помеѓу испитуваните параметри.

Инженерско-геолошките пресеци и модели изработени во оваа докторска теза, како и целата предложена методологија на истражување на неметалични наоѓалишта даваат можности на проектантите на површински копови да можат во секое време да добијат јасни патокази за решавање на голем број проблеми, пред сè, врзани со геометријата на копот, висината на етажите, стабилноста на косините, проектирањето на патиштата и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Barton N. (1994): Physical and discrete element model of exvation and failure in jointed rock, NGI, Oslo
2. Barton N., T.L.B.Y, Chryssantakis P., Tundbridge L. (1994): Predicted and mesaured performance of 62 m span Norwegian olympic Ice Hockey Cavern at Gjovik, NGI, Oslo, 1994
3. Bieniawski Z.T.: Geomechanics classification of rock masses and it's application in tunneling, Proceedings of 3-rd International Conference in Rock Mechanics, Denver 1974
4. Bieniawski Z.T.: Classification of Rock Masses for Engineering: The RMR System and future trends. Comprehensive Rock Engineering, 1993
5. Beyer F., Rolofs F.: Size distributions of Rock Blocs from measuerement of Rock faces, Rock mechanics, Vol. 14, No. 2, 1981
6. Brown E.T., Hoek E.: Determination of shear envelope in Rock masses, Journal of Geotechnical Engineering , Vol. 194, 1980
7. Боев Б., Стојанов Р., (1994): Петрографија. Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје, Рударско-геолошки факултет - Штип
8. Deere D.U. (1969): Geological consideration, Rock Mechanics, John Wiley and soons
9. Делипетров Т., (2003): Основи на геофизика, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје, Рударско-геолошки факултет - Штип
10. Делипетров Т., (1991): Врската помеѓу коровите и поткоровите структури на територијата на Македонија и сеизмичноста - докторска дисертација. Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје, Рударско-геолошки факултет - Штип
11. Думурџанов Н., Петров Г., (2002): Геолошко картирање, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје, Рударско-геолошки факултет - Штип
12. Думурџанов Н.,(1999): Структурна геологија. Учебник на Универзитетот „Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Рударско-геолошки факултет - Штип

13. Hoek E., Brown E.T., (1980): *Empirical strenght criterion for rock masses*. J. Geotech. Engng Div., ASCE 106 (GT9), pp 1013-1035

14. Hoek E., Brown E.T., (1997): *Practical estimates of rock mass strenght*. Intnl. J. Rock Mech&Mining Sci.&Geomechanics Abstracts. 34(8), pp 1165-1186

15. Hoek E., Marinos, P., Benissi, M., (1998): *Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses*. The case of the Athens Schist Formation. Bull Eng Geol Environ (1998) 57, pp 151-160

16. Илијовски З., Јовановски М., Велевски А., (2004): Методологија на инженерско-геолошко моделирање на преградното место за брана „Св. Петка“. Прв национален конгрес на брани, Охрид

17. Илијовски З. (2005): Методологија на екстраполација на параметри за моделирање на подлогата кај бетонски брани со геофизички геотехнички методи низ примерот на браната „Света Петка“ – магистерски труд. Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје, Рударско-геолошки факултет – Штип

18. Јовановски М., (2013): Инженерска геологија, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје, Градежен факултет - Скопје

19. Јовановски М., (2001): Прилог кон методологијата на истражување на карпестите маси како работна средина, докторска дисертација. Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје, Градежен факултет - Скопје

20. Јовановски М., Гапковски Н., (1995): Анализа на можностите на емпириски методи при проектирање на подземни објекти. 6-ти симпозиум на Друштво на градежни конструктори на Македонија – Охрид

21. Јовановски М., Крвавац-Шпаго А., Илијовски З., Пешевски И., (2008): Некои зависности за инженерско-геолошките карактеристики на карбонатни карпести маси од Балканскиот Полуостров. Прв конгрес на геолозите на Македонија

22. Jovanovski, M., Gapkovski, N., Ilijovski, Z., (2002): Correlation between Rock Mass Rating and deformability on a profile for arch dam Sveta Petka. 10-th International Conference of the DGKM, Ohrid.
23. Jovanovski, M., Gapkovski, N., Petrevski, Lj., (1996): Primer ekstrapolacije rezultata istraživanja kod specifičnih mekih stenskih masa. The International Conference: Trends in the Development of Geotechnics, Beograd.
24. Jovanovic R., (1986): Uloga inzenerske geologije u razvoju geoloskih i tehnickih nauka, Instutut za vodoprivredu Jaroslav Cerni, Beograd
25. Krvavac A., Jovanovski M., Gapovski N., Ilijovski Z., (2006): Fizički i analitički modeli za karbonatne stijenske masive. II Simpozijum makedonskog udruženja za geotehniku, Ohrid.
26. Krvavac A.,(2009). Metodologija geotehničkog modeliranja karbonatnih stijenskih kompleksa - Doktorska disertacija, Univerzitet “Sv. Kiril I Metodij“ Skopje, Građevinski Fakultet - Skopje
27. Kujundzic B. (1973): Sadržina i metodika izrade inženerskogeoloških preseka, modela i geotehničkih modela, Saopštenja IX Kongresa Jugoslovenskog komiteta za visoke brane, Zlatibor, 1973
28. Kujundzic B. (1977): Osnove mehanike stena, Gradjevinski kalendar, SIT, Beograd, 1977
29. Kujundzic B. (1980): Ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstva stenskih masa, Generalni izveštaj, V Simpozijum, JDSMPR, Split, 1980
30. Ломтадзе В.Д., 1977: Инженернаја геологија (инженерна геодинамика), Недра, Ленинград, 1977
31. Malinowski J., (1967): Geologia Inzynerska, Wydawnictwa geologiczne, Warshawa
32. Мирчовски В., (2002): Хидрогеологија и инженерска геологија (рецензирана скрипта), Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје, Рударско - геолошки факултет – Штип
33. Панов З. (2011): Механика на карпи, Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип, Факултет за природни и технички науки – Штип

34. Pavlović, N., (1995): Neka razmatranja o geotehničkom modeliranju. Istraživanje i sanacija klizišta, Drugi simpozij, Donji Milanovac, str. 171-176.

35. Pavlović N. (1996) : O metodologiji geotehničkog modeliranja, International Conference, Trends of Developments on Geotecnics, Beograd, 1996

36. Pavlović N. (1996): Interakcija geološke sredine i inženerske delatnosti, International Conference, Trends of Developments on Geotechnics, Beograd,1996

37. Stilborg B. (1986): Profesional users handbook for Rock Bolting, Trans Tech publications, 1986

38. Šutić J. (1976): Klasifikacija stenskih masa za potrebe podzemnih gradjevina, IV JSHGIG, Skopje, 1976

39. Terzaghi K. (1943): Theoretical soil mechanics, John Willey and sons, New York, (1943)

40. Waltham T., 2002: Foundations of Engineering Geology, Second Edition, Spon Press, London and New York