



УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ - ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ - ШТИП
Градежно инженерство / Геомеханика
Штип

Соња Паунова

**КОРЕЛАЦИЈА ПОМЕЃУ СЕИЗМИЧКИТЕ БРЗИНИ И
ГЕОМЕХАНИЧКИТЕ ПАРАМЕТРИ НА ИСТРАЖНИОТ
ПРОСТОР МХЕЦ КЛЕПАЛСКА РЕКА**

- МАГИСТЕРСКИ ТРУД -

Штип, Декември 2017

Комисија за оценка и одбрана

Ментор: проф. д-р Тодор Делипетров

Редовен професор, Факултет за природни и технички науки - Штип

Членови на комисија за оцена и одбрана

Претседател: доц. д-р Благица Донева

Факултет за природни и технички науки - Штип

Член: доц. д-р Ристо Поповски

Факултет за природни и технички науки - Штип

Член: проф. д-р Тодор Делипетров

Факултет за природни и технички науки - Штип

Научно поле: Геомеханика, инженерска геологија, сеизмика

Научна област: Геомеханика

Датум на одбрана: 25.12.2017 год.

Посвета и благодарност

Овој труд не ќе беше ова што е, ако немав голема помош и поддршка пред сè од моето семејство, за кое можам да кажам дека во периодов додека го работев трудот беа запоставени од мене и со оваа посвета и овој труд сакам да им се заблагодарам и да им го посветам на ќерка ми Андреа и моите родители.

Од стручниот дел и обликувањето на овој труд имав поддршка и огромна помош од професорите на Факултетот за природни и технички науки и тоа:

доц. д-р Ристо Поповски, благодарност за помошта при анализирањето и користењето на геомеханичката лабораторија на универзитетот, проф. д-р Војо Мирчовски, доцент д-р Ѓорги Димов и на крајот ќе ги споменам најзаслужните проф. д-р Тодор Делипетров, проф. д-р Марјан Делипетров и доц. д-р Благица Донева.

Без сите горенаведени сето ова немаше ниту да започне и затоа можам на сите заедно да им кажам:

ЕДНО ГОЛЕМО БЛАГОДАРАМ !

„ Корелација помеѓу сеизмичките брзини и геомеханичките параметри на теренот на теренот за изградба на МХЕЦ на Клепалска Река – Берово

Краток извадок

Прецизното утврдувањето на една потповршинска средина е комплексен процес и за истиот се користат сеизмички и геофизички истражувања како и утврдување на геомеханичките карактеристики т.е. геомеханички параметри на истражниот простор.

Со геомеханичките испитувања и истражувања се добиваат релевантни податоци и параметри на физичко-механичките својства за одреден терен. Во зависност од градбата која ќе се гради на теренот се испитуваат и различни геомеханички параметри.

Инженерската сеизмологија е наука која ја проучува и применува сеизмиката за инженерски цели. Со сеизмичките методи на истражувања се добиваат податоци за брзината со која се движат сеизмичките бранови низ терен со различна густина по длабочина, а со нив се добиваат податоци за дебелината на различните слоеви на почви и цврстата карпеста маса.

Клучни зборови: геомеханички испитувања и истражувања, физичко-механички својства, сеизмички и геофизички истражувања, сеизмички методи, сеизмички бранови

“Correlation between seismic velocities and geomechanical parameters of the terrain on the ground for the construction of mini hydroelectric power plant on river Klepalska – Berovo”

Abstract

The precise determination of a subsurface characterization environment is a complex process and it is used seismic and geophysical surveys and determining the geo-mechanical characteristics or geomechanical parameters of investigating space.

With geomechanical studies and surveys are getting relevant data and parameters of physico-mechanical properties of a field. Depending on the building that will be built on the ground are examined and different geomechanical parameters.

Engineering Seismology is a science that studies and applies seismicity for engineering purposes. With seismic methods research provides data about the speed at which seismic waves move through the field and densities in depth, and with them you get information about the thickness of the various layers of soil and rock solid mass.

Key words: geomechanical testing and research, physical and mechanical properties, seismic and geophysical surveys, seismic methods, seismic waves

СОДРЖИНА

ЛИСТА НА СЛИКИ И ТАБЕЛИ.....	8
ВОВЕД.....	9
<i>I ГЛАВА: ТИПОВИ НА КАРПИ И ТИПОВИ НА ПОЧВИ</i>	10
1.1 Формирање на карпи.....	10
1.2 Класификација на карпи	11
1.3 Почвена структура.....	16
1.4 Класификација на почвите	21
<i>II ГЛАВА: ТЕРЕНСКИ ИСТРАЖУВАЊА ИНЖЕНЕРСКО-ГЕОЛОШКО КАРТИРАЊЕ НА ТЕРЕНОТ И ЛАБОРАТОРИСКИ ИСПИТУВАЊА НА ИСТРАЖНИОТ ПРОСТОР</i>	24
2.1 Општи податоци за истражниот простор	24
2.2 Осврт на досегашни истражувања.....	25
2.3 Основни геолошки карактеристики на теренот	26
2.4 Геоморфолошки карактеристики на теренот	28
2.5 Теренски истражни работи.....	28
2.6 Инженерско геолошко картирање на теренот на водозафатот.....	29
➤ Нескаменети неврзани и полуврзани глиновито – кластични седименти	30
➤ Цврсто врзани скаменети седиментни карпи	31
2.7 Изведба на истражни бунари и раскопи	32
2.8 Лабораториски испитувања	35
➤ Природна влажност	36
➤ Специфична тежина	36
➤ Природна волуменска тежина	36
➤ Гранулометриски состав	36
➤ Граници на конзистенција	37
➤ Јакост на смолкнување	37
➤ Модул на стисливост.....	37
➤ Точкаста јакост и Индекс на јакост	37
2.9 Геотехнички својства на теренот.....	38
2.10 Тектонски склоп.....	38
2.11 Инженерско геолошки видови на карпести маси.....	39

➤ Геомеханички профил и геомеханички карактеристики на неврзаните карпести маси	39
➤ Физичко механички карактеристики на неврзаните карпести маси	40
2.12 Геотехнички карактеристики на карпестите маси	40
➤ Состојба на испуканост (дисконтинуалност)	41
➤ Состојба на распадатост	42
2.13 Физичко механички карактеристики	42
➤ Физичко механички карактеристики на монолитните делови	42
III ГЛАВА: СЕИЗМОТЕКТОНСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ИСТРАЖУВАНИОТ ПРОСТОР И ГЕОФИЗИЧКИ СНИМАЊА НА ТЕРЕНОТ	45
3.1 Сеизмички методи	45
➤ Рефракциона метода	45
➤ Рефлективна метода	48
3.2 Основни сеизмотектонски карактеристики на истражуваниот простор	50
3.3 Изведба на геофизички снимања на теренот	50
➤ Сеизмичко снимање на вертикални профили (метода на рефракција)	51
➤ Сеизмичко снимање со метода на хоризонтални геофони	52
3.4 Анализа на сеизмичките истражувања на истражниот простор	55
➤ Георадарско снимање – електромагнетна метода	55
➤ Сеизмичко снимање на плитка рефракција на профили	55
3.5 Корелација помеѓу сеизмичките и геомеханичките параметри	56
➤ Врска помеѓу сеизмичките брзини и геомеханичките параметри	57
ЗАКЛУЧОК	59
ГРАФИЧКИ ПРИЛОЗИ	62
ПРИЛОГ ФОТОГРАФИИ	77
КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА	82

ЛИСТА НА СЛИКИ И ТАБЕЛИ

Слика 1. Циклус на карпи / Figure 1. Cycle of rocks
Табела 1. Класификација на карпи според состав и потекло / Table 1. Classification of rocks according composition and origin
Табела 2. Класификација на почви / Table 2. Classification of soils
Слика 2. Двослојна хоризонтална средина ($V_1 < V_2$) / Figure 2. Bilayer horizontal environment ($V_1 < V_2$)
Слика 3. Исечок од Основна геолошка карта (ОГК) за лист Делчево / Figure 3. Fragment od Basic Geological map (BGM) for Delchevo
Слика 4. Локација на Српско – Македонската маса каде што припаѓа истражниот простор (М. Арсовски, 1997) / Figure 4. Location of Serbian-Macedonian mass where the exploration space belongs (M. Arsovski, 1997)
Слика 5. Истражен бунар Б-1 / Figure 5. Exploration weel B-1
Слика 6. Истражен бунар Б-2 / Figure 6. Exploration weel B-2
Слика 7. Профил на водозафат – Бунар 1 / Figure 7. Profile of water intake – Weel 1
Табела бр.3. Податоци за степенот на испуканост на мерните места / Table 3. Data on the degree of cracking at the measuring points
Табела бр.4 Бодувачки систем на карпеста маса / Table 4. Rock mass system for rock masses
Табела бр.5 Податоци за кохезијата и аголот на внатрешното триење / Table 5 Data on cohesion and the angle of internal friction
Слика 9. Двослојна хоризонтална средина ($V_1 < V_2$) / Figure 9. Bilayer horizontal environment ($V_1 < V_2$)
Слика 10. Ходохрона на рефлектиран бран за паралелни слоеви / Figure 9. Hodohrona for the reflected wave for parallel layers
Слика 11. Шематски приказ на сеизмичко снимање (метода на плитка рефракција) / Figure 11. Schematic representation of seismic recording (a method of shallow refraction)
Слика 12. Распоред на геофоните на позиција на снимање и шематски приказ на снимање на еден профил со плитка рефракција / Figure 12. Geophones layout at a recording position and a schematic representation of a single-profile with shallow refractive
Слика 13. Точки на кои е извршено сеизмичко снимање / Figure 13. Points on which the seismic recording was performed
Слика 14. Сеизмички профил на водозафат сниман со георадар / Figure 14. Seismic profile of water intake recorded with georadar
Слика 15. Сеизмички профил на водозафат сниман со вертикални и хоризонтални геофони / Figure 15. Seismic profile of water intake recorded with vertical and horizontal geophones

ВОВЕД

Карпите претставуваат структурен дел од целокупната литосфера и тие во својот состав содржат повеќе минерали. Исклучок се некои карпи кои може во својот состав да имаат само еден минерал, од каде е јасно дека составот на карпата е поврзан и со самата природа на карпата и видот на карпата. Почвите се разликуваат едни од други според почвениот профил од каде се добиваат информации за нивниот состав, структура и квалитет. При тоа, секоја од почвите има своја намена и квалитети, чии потенцијали може да бидат искористени.

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 најде 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.

Истражувањето во магистерскиот труд во фокусот ја поставува корелацијата помеѓу сеизмичките брзини и геомеханичките параметри на истражниот простор, при што во првата глава со наслов **ТИПОВИ НА КАРПИ И ТИПОВИ НА ПОЧВИ** се анализира природата на карпите, во следниот дел со наслов **ТЕРЕНСКИ ИСТРАЖУВАЊА ИНЖИНИЕРСКО-ГЕОЛОШКО КАРТИРАЊЕ НА ТЕРЕНОТ И ЛАБОРАТОРИСКИ ИСПИТУВАЊА НА ИСТРАЖНИОТ ПРОСТОР** се елаборираат теренските истражувања и лабораториските испитувања, со фокус на конкретни истражувања и во третата глава со наслов **СЕИЗМОТЕКТОНСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ИСТРАЖУВАНИОТ ПРОСТОР И ГЕОФИЗИЧКИ СНИМАЊА НА ТЕРЕНОТ** се елаборираат сеизмотектонските карактеристики и сеизмичките истражувања на теренот.

I ГЛАВА: ТИПОВИ НА КАРПИ И ТИПОВИ НА ПОЧВИ

1.1 Формирање на карпи

Карпите се проучувани од наука наречена петрологија¹, чие внимание е насочено кон настанокот, составот, карактеристиките на карпите и нивното постоење на Земјината кора. Во фокусот на науката е да се истражи како природно настанува карпата и зошто постојат повеќе видови на карпи, барајќи го одговорот во составот на карпите во однос на минералите.

Карпите претставуваат структурен дел од целокупната литосфера и тие во својот состав содржат повеќе минерали. Исклучок се некои карпи кои може во својот состав да имаат само еден минерал, од каде е јасно дека составот на карпата е поврзан и со самата природа на карпата, видот на карпата.

Stewart (2002) констатира дека иако се создале на различни начини и на разни длабочини, тие може да се најдат на целата земјина површина бидејќи се јавуваат во облик на површински појави.² Не постои универзално правило според кое може да се претпостави на кое место би постоела карпа или би немало реална основа за нејзината појава. Теренски, тие се присутни на различни површини низ земјата.

Federico (2003) наведува дека сите карпи, според начинот на настанувањето, се делат на три основни групи: магматски, седиментни и метаморфни и дека со текот на милиони години карпа од еден вид може да стане карпа од друг вид. Авторот тоа го нарекува како циклус на карпите (претставено на Слика 1.).³

¹ Види повеќе на <https://ocw.mit.edu/courses/earth-atmospheric-and-planetary-sciences/12-109-petrology-fall-2005/> (5.5.2017).

² Stewart, M. (2002) *Metamorphic rocks*, Reed Educational and Professional Publishing, Chicago, Illinois, p.111.

³ Federico, D. (2003) *Grid Systems Deployment & Management Using Rocks*, IEEE International Conference on Cluster Computing, San Diego, p.87.



Слика 1. Циклус на карпи

Figure 1. Cycle of rocks

1.2 Класификација на карпи

Во продолжение на трудот, се елаборираат трите основни видови на карпи, според добиени резултати од истражувања на различни автори.

Магматските карпи настануваат со ладењето или стврднувањето на вулканската лава или магма во самата Земјина кора или на нејзината површина.⁴ Кога ладењето е многу брзо, нема време да се создаваат кристали, но ако тоа се случува бавно, колку подолго ќе трае процесот, толку поголеми ќе бидат карпестите кристали. Овие карпи се одликуваат со голема цврстина и имаат голема примена во градежништвото. Тие немаат слоеви и не содржат фосилни остатоци. Магматските карпи се класифицираат на најразлични начини. Ако се поделат според начинот на настанувањето, има:⁵

- *Плутонски/длабински, кои кристализираат внатре во кората и создаваат големи маси на правилни кристали;*

⁴ Papadopoulos, Ph. (2001) NPACI Rocks: Tools and Techniques for Easily Deploying Manageable Linux Clusters, IEEE International Conference on Cluster Computing, San Diego, p.123.

⁵ Cann, R. (1971), "A Bibliography of Ocean-Floor Rocks", Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 268, No. 1192, pp. 737-743.

- Жилни, кои се стврднуваат преку пукнатините низ кои магмата си отвора пат и создаваат големи и мали кристали;
- Вулкански/изливни, чијшто начин на стврднување е надвор по вулканските ерупции и создаваат само некои кристали.

Се класифицираат и според процентот на силициум што го содржат:

- кисели, се состојат од над 66% силициум (како гранитот, на пример),
- интермедијарни, имаат меѓу 52 и 66% силициум (како андезитот),
- базични, се состојат од 45 до 52% силициум (на пример, базалт) и
- ултрабазични, во составот имаат под 45% силициум.

Оттука, кога една карпа ќе се истражува и откако ќе се сознае дека истата претставува магматска карпа од големо значење е во предвид да се земе и начинот на настанување и да се провери според овој фактор за каков вид на карпа станува збор бидејќи промените во карпите често настануваат токму поради внатрешната структура, составот на настанувањето.

Седиментните карпи настануваат со седиментација (напластување или таложење) на ситен материјал во морињата, езерата, реките и на копното. Овие карпи најчесто се напластени во хоризонтална положба и се состојат од слоеви со различна дебелина. Во нив може да се сретнат фосилни остатоци од растенија или животни. Според потеклото и видот на материјалот што се напластува, тие можат да бидат:⁶

- *Механичко потекло, настануваат со напластување на механички иситнет или раздробен материјал во водите или на копното. Напластениот материјал се слепува, се цементира и се преобразува во цврста карпа. Карпи од ваков вид се конгломератите, глинестите карпи, лапори, песоци, чакали и бречни.*
- *Хемиско потекло, се создаваат со таложење на материјал кој води потекло од растворите на минералите во водата. Примери за вакви*

⁶ Ibidem,

карпи се гипсот, бигорот, готварската сол, варовникот, дололитот и други.

- Органогено потекло, настануваат со седиментација на остатоци од фосилни организми, и тоа најчесто планктонски. Органогени карпи се кредата, коралите, јагленот, варовниците и други.

Во своите истражувања, експертите особено го земаат во предвид потеклото на карпите како значаен фактор за проучување на седиментите карпи и за проучување на разликите кои се појавуваат помеѓу карпите, иако тие припаѓаат на една група-седименти карпи.

Метаморфните (видоизменети) карпи имаат променлив состав и потекнуваат од метаморфозата (видоизменувањето) на физичко-хемиските особини на кој било друг вид на карпи (магматски, седиментни).⁷ Метаморфизмот најчесто се врши во подлабоките слоеви на Земјината кора. Главни фактори за видоизменувањето се високиот притисок и високите температури, кои придонесуваат кристалографската структура на карпата да се измени (процес познат како прекристализација), а резултатот е создавање нови минерали. Метаморфни карпи се мермерот, гнајсот, шкрилците, кварцитот, амфиболитот и слично.⁸

Понатаму, авторот Voxhall (1989)⁹ прави класификација на карпите според која постојат три основни вида на карпи (Табела 1.):

Табела 1. Класификација на карпи според состав и потекло

Table 1. Classification of rocks according composition and origin

⁷ Anderson, J.L. and Walker, I.J. (2006) *Airflow and sand transport variations within a backshore-parabolic dune plain complex: NE Graham Island, British Columbia, Geomorphology, Canada, p. 77.*

⁸ Arkell, W.J. (1994) "Whitsun Field Meeting, 1934, The Isle of Purbeck", *Proceedings of the Geologists' Association, Vol.4, No.5, pp. 412-419.*

⁹ Voxhall, S.R. (1989) *Environmental Monitoring Poole Bay 1989. Surface Drifter Study: Block 98/6 for BP Exploratio, Southampton University, Southampton, p.222.*

Вид на карпа	Објаснување на карпа
Магматски карпи	<ul style="list-style-type: none"> - Се формираат со ладење и стврднување на растопената магма. Ако како последица на вулканска ерупција магмата се олади бргу, создадената карпа содржи мали кристали. Ако ладењето се одвива бавно, под површината на Земјата, кристалите се поголеми.
Седиментни карпи	<ul style="list-style-type: none"> - Се формираат со распаѓање под дејство на надворешни влијанија и таложење на други карпи. Честичките од карпите се пренесуваат преку водотоците сè до морето, каде што формираат слоеви од седименти (талози). - Со текот на милиони години овие седименти се збиваат и се формираат седиментни карпи. Младите седиментни карпи најчесто се наоѓаат на површината на Земјата, над постари карпи. - Седиментите содржат докази (остатоци од животински или растителни организми) за начинот на нивното настанување. Определените слоеви на честички покажуваат дека слоевите не биле нанесувани постојано, додека нерамнините биле формирани од теченија или бранови што влијаеле врз процесот на седиментација. Седиментните карпи честопати се извиткани и може да бидат дури и превртени наопаку.

	<ul style="list-style-type: none"> - Ова е доказ дека Земјината кора е постојано подложна на мошне големи сили, со што истата се движи и некогаш распукнува. Големите тектонски движења во Земјината кора во текот на милиони години може да предизвикаат создавање на планински венци. - Новите планински венци ги заменуваат постарите, коишто подолго време биле подложни на ерозија под дејство на атмосферски влијанија. Седиментните карпи честопати содржат фосили на растенија и животни, потрупани во времето на формирањето на карпата.
<p style="text-align: center;">Метаморфни карпи</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Се формираат од други видови карпи кои на некој начин се нашле во внатрешноста на Земјата, каде што постои висока температура и притисок, при што настануваат промени во нивната структура и тие се одликуваат со голема цврстина и често имаат вградени кристали. - Иако се формирани длабоко под површината на Земјата, тие може да се појават и на самата површина под влијание на движењата на тектонските плочи, што ја сочинуваат површината на Земјата.

1.3 Почвена структура

Почвата е проучувана од наука позната како педологија¹⁰. Со цел да се даде една општа дефиниција за почвата се направени бројни истражувања за литосферата на Земјата и нејзините карактеристики.

Belamy (2004) објаснува дека почвата е површинскиот слој од литосферата на Земјата кој најчесто е плодороден и претставува повеќефункционален хетероген и отворен четирифазен структурен систем кој се образува со раздробување на карпите и животната активност на организмите. Следно, таа се смета за посебна природна мембрана (биогеомембрана) што го регулира взамодејството меѓу биосферата, хидросферата и атмосферата на Земјата. Почвата се формира под влијание на климата, релјефот, првобитниот почвообразувачки материјал (родителски материјал или матичен супстрат), но исто така и од микроорганизмите и останатите живи организми и на крајот, објаснува дека почвата се менува со текот на времето.¹¹

На неговото истражување се надоврзува авторот Bradley (2004) според кој почвата е независно природно-историско органоминерално природно тело кое се создало на површината на Земјата како резултат на долготрајното изложување на биотичките, абиотичките и антропогените фактори, кое се состои од тврди минерални и органски честичи, вода и воздух и кое има специфични генетско-морфолошки својства создадени за растот и развитокот на растенијата при соодветни услови.¹²

Морфолошки, во процесот на почвообразување, пред сè под дејството на вертикалниот (искачувачки и симнувачки) проток на материја и енергија, а исто

¹⁰ Види повеќе кај <https://www.winefrog.com/definition/1799/pedology> (5.5.2017).

¹¹ Belamy, P. (2004) "Performance criteria for soil monitoring", *Proceeding of Eurosoil conference, Freiburg*, p.200-201.

¹² Bradley, R. (2004) *UK soil database for modelling soil carbon fluxes and land use for the national carbon dioxide inventory.* Defra Project: SP0511.
http://www2.defra.gov.uk/research/project_data/Default.asp

така и на нееднородноста на распространувањето на живата материја, матичниот супстрат се раслојува на генетски хоризонти.¹³ Често почвите се формираат на првобитни вертикално нееднородни двочлени карпи, состојба која има влијание на почвообразувањето и распоредот на хоризонтите.¹⁴ Хоризонтите се сметаат за еднородни или хомогени (низ целата почвена маса) делови на почвата, меѓусебно поврзани и заемно обусловени, кои се одликуваат по хемискиот, минералоскиот, гранулометрискиот состав, физичките и биолошките својства. Комплексот од хоризонти, карактеристичен за даден тип на почвообразување, го образува почвениот профил.¹⁵ Анализата на почвениот профил е потребна со цел да се добие реална претстава за квалитетот на почвата и нејзината структура.

Авторот Dufour (1998) го проучува минералниот дел на почвата и објаснува дека:¹⁶

- Приближно 50-60% од обемот (волуменот) и до 90-97% од масата на почвата се состои од минерални компоненти. Минералниот состав на почвата се разликува по составот на карпите од кои таа се образувала — колку е постара почвата, толку е посилна оваа разлика. Минералите кои се јавуваат како остаточен (резидуален) материјал при раздробувањето и почвообразувањето се наречени првични или примарни минерали. Во зоната на хипергенезата повеќето од нив се нестабилни и се распаѓаат со различна брзина. Едни од првите кои се распаѓаат се оливинот, амфиболите, пироксените и нефелинот. Постабилни се фелдспатите кои чинат 10-15% од масата на тврдата фаза на почвата.
- Многу често се јавуваат во форма на релативно големи песочни честици. Со висока отпорност се одликуваат епидотот, дистенот, гранатот,

¹³ Hallet, S. (1995) *Water retention, porosity, and density of field soils. Soil Survey Technical Monograph Harpenden, UK, p.77.*

¹⁴ Hallet, S. (2006) *Towards a World Soil Survey Archive and Catalogue", Soil Use and Management.*

¹⁵ Hodgson, J. (1991) *Soil Survey – a basis for European soil protection. Soil and Groundwater Report 1. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, p.214.*

¹⁶ Dufour, M. (1998) *Spatial Information Systems for Environmental Impact Assessment in the UK. In: Land Information Systems: Developments for planning the sustainable use of land resources.*

ставролитот, цирконот и турмалинот. Нивната застапеност е незначителна, меѓутоа тие даваат индикации за потеклото на матичниот супстрат и времето на почвообразување. Најотпорен е кварцот, кој се раздробува за неколку милиони години. Благодарение на ова, во услови на продолжено и интензивно раздробување, придружено со изнесување на продуктите од распаѓањето на минералите, произлегува неговата релативна акумулација.

- Почвата се карактеризира со висока содржина на секундарни минерали, образувани како резултат на големата хемиска преобразба на примарните минерали, или пак, синтетизирани непосредно во почвата. Особено важна улога меѓу нив имаат глинените минерали — каолинит, монтморилонит, халојзит, серпентин и многу други. Тие имаат високи сорпциони (впивачки) способности, поголем капацитет за размена катјони и анјони, способност за набабрување и задржување на водата, адхезија итн. Овие својства во голема мерка се условени од апсорптивниот капацитет на почвата, нејзината градба и во краен случај, плодноста.
- Високата содржина на минерални оксиди и хидроксида на железото (лимонит, хематит), манганот (вернадит, пиролузит, манганит), алуминиумот (гибсит) и др., исто така влијае на својствата на почвата — тие учествуваат во формирањето на структурата, почвениот апсорптивен комплекс (особено кај силно растреситите тропски почви), а земаат учество и во оксидационо-редукционите процеси. Голема улога во почвата играат карбонатите (калцит, арагонит, видете карбонатно-калциумова рамнотежа во почвата). Во сушните региони во почвата често се натрупуваат леснорастворливи соли (натриум хлорид, натриум карбонат и др.), кои влијаат на целиот тек на почвообразувачкиот процес.

Авторот во своето истражување се фокусира на органскиот дел на почвата и објаснува дека во почвата има одредено количество на органска материја. Во органогените (тресетни) почви таа може да преовладува, а во повеќето

минерални почви нејзиното количество не надминува неколку проценти во горните хоризонти.¹⁷

Loveland (2001) објаснува дека минералните почвени честници секогаш се обединети во агрегати со различна силина, големина и форма. Целата севкупност од агрегати кои се карактеристични за почвата се означува како нејзина структура. Фактори на образувањето на агрегатите се: набабрување, компресија и распукување на почвата во текот на циклусот на навлажување-исушување и замрзнување-одмрзнување, коагулација на почвените колоиди (од кои најважна улога имаат органските колоиди), цементирањето на честниците со малку растворливи соединенија, образување на водородни врски, врски меѓу некомпензираните електрични полнежи на кристалната решетка на минералите, адсорбција, механичкото разделување на честниците со хифите од габите, актиномицетите и корењата на растенијата, агрегацијата на честниците при минувањето низ цревата на почвените животни.¹⁸

Структурата на почвите укажува влијание на продорот на воздух во корењата на растенијата, задржувањето на влагата и развитокот на микробната заедница. Оптималната структура за развиток на растенијата е таа во која преовладуваат агрегати со големина од 0,25 до 7—10 mm (земјоделски вредна структура). Важно својство на структурата е нејзината силина, особено водозадржливоста.¹⁹

Преовладувачката форма на агрегати е важен дијагностички признак на почвата. Се разликуваат кружно-кубовидна (зрнеста, ритчеста), призмовидна (столбовидна, призматична) и плитовидна структура, како и низа на преодни форми и градации по големина. Првиот тип е карактеристичен за горните

¹⁷ *Ibidem*,

¹⁸ Loveland, P. (2001) *Identification and development of a set of national indicators of soil quality. Environment Agency R&D Technical report P5-053/2/TR. Environment Agency, Bristol, pp.44-47.*

¹⁹ Jarvis, M. (1999) *Soil Information and its Application in the United Kingdom: An Update. In: Soil Resources for Europe. P. Bullock, R.J.A. Jones and L. Montanarella (eds.). European Soil Bureau Research Report No. 6. EUR 18991, p.195.*

хумусни хоризонти и е со поголема порозност, вториот — за делувијалните и метаморфните хоризонти, третиот — за алувијалните.²⁰

Proctor (1989) ја истражува течната фаза на почвата и објаснува дека најчесто поголемиот дел од водата во почвата преку најразлични сили се сврзува со честиците од тврдата фаза, што ја намалува нејзината подвижност и достапност за растенијата и микроорганизмите. Најпрво механизмите со кои се држат овие две фази се високоенергетски и претставуваат подолготрајни взаемодејства, а потоа, со заситување на почвата со вода, се образуваат помалку силни врски. Влажноста при која произлегува менувањето на карактерот на силите кои ја врзуваат водата со почвените честици се нарекува енергетска константа.²¹

Најсилно сврзана со честиците е адсорбираната влага. Таа се карактеризира со најголема разлика од слободната вода — има поголема густина и вискозитет, помала диелектрична константа и способност за растворање на материји. При нејзиното создавање се издвојува топлинска енергија. Почвата, наоѓајќи се во рамнотежа со атмосферата, секогаш содржи одредено количество на вода (хигроскопска влажност), кое на определен начин е зависно од влажноста на воздухот. Најголемото количество на вода, кое се задржува од почвените адсорпциони сили, соодветствува на максималниот адсорпционен капацитет (МАК), кој се постигнува при воздушна влажност од околу 95%.²²

²⁰ Loveland, P. (2001) *Identification and development of a set of national indicators of soil quality. Environment Agency R&D Technical report P5-053/2/TR. Environment Agency, Bristol, pp.44-47.*

²¹ Proctor, M. (1989) *Interpretations of the digital EC soil map for agricultural and environmental applications in the U.K. In: Agriculture: Application of computerized EC soil map and climate data (ed J. Feyen), pp.107-118.*

²² *Ibidem,*

1.4 Класификација на почвите

Авторот Loveland (2001)²³ ги дели почвите на автоморфни, хидроморфни, халоморфни и подводни. Детални карактеристики на овие почви се наведени во табелата подолу.

Табела 2. Класификација на почви

Table 2. Classification of soils

Автоморфни почви — природно се наводнуваат само со атмосферските врнежи. Тоа се релативно порозни почви, при што водата не се задржува долго време врз некој непропуслив хоризонт. Класа со профил (A)-C: неразвиени автоморфни почви — опфаќа недоразвиени почви кај кои образувањето на хумусно-акумулативниот хоризонт е во својата почетна (ембрионална) фаза и се означува како (A). Доколку е под дејство на човекот, хоризонтот (A) се антропогенизира, односно се означува како Ap[a]. Се образуваат на различни геолошки супстрати, освен на современи речни, езерски и морски наноси. Тука припаѓаат почвените типови камењар, регозол, еолски песок, колувијална почва.

- Класа со профил A-C: автоморфни хумусно-акумулативни почви — ова се почви со издиференциран типичен хумусно-акумулативен хоризонт A, кој преку еден преоден хоризонт AC или директно се граничи со матичниот супстрат C[b] или R[v]. Тука припаѓаат: варовничко-доломитна црница, рендзина, ранкер, црница (чернозем) и смолница.
- Класа со профил A-(B)-C: камбични почви — се одликуваат со присуство на камбичен хоризонт (B), кој одгоре се граничи со хоризонтите A или O, а оддолу со матичниот супстрат C или R. Ги вклучува типовите кафеава шумска почва, циметна шумска почва, калкокамбизол и црвеница.
- Класа со профил A-E-B-C: елувијално-илувијални почви — Имаат илувијален хоризонт B кој лежи под елувијален хоризонт E. Ги опфаќа типовите лесивирана почва, подзол и кафеава подзолеста почва.
- Класа со профил P-C: антропогени автоморфни почви — се одликуваат со присуство на антропогениот хоризонт P. Ги вклучува ригозол, градинарска почва и депониска почва.

²³ Loveland, P. (2001) Identification and development of a set of national indicators of soil quality. Environment Agency R&D Technical report P5-053/2/TR. Environment Agency, Bristol, pp.44-47.

Хидроморфни почви — освен со атмосферските врнежи, овие почви повремено или постојано додатно се наводнуваат со подземни води или со површински (поплавни) води. Овие води се незасолени и неалкализирани.

- Класа со профил (A)-G или (A)-C: неразвиени хидроморфни почви — овие почви се всушност наноси од речно, езерско или морско потекло кај кои би можеле да се образувани хоризонтите (A) или Ap и G[g]. Процесот на педогенеза е слабо изразен поради тоа што ова се млади почви или поради тоа што седиментацијата преовладува над педогенезата. Во Македонија ваков тип на почва е алувијалната почва.
- Класа со профил A-C-G: ливадски почви (семиглеј) — поседуваат глеен хоризонт G на длабочина поголема од 100 cm, а хумусно-акумулативниот хоризонт има терестрична форма. Типот кој припаѓа во оваа класа го носи истото име како и самата класа.
- Класа со профил A-G: глејни почви — имаат добро оформен глеен хоризонт G. Хумусно-акумулативниот хоризонт има полутерестрична форма (Aa). Тука припаѓаат типовите на псевдоглеј-глеј, ритска црница, блатна почва и тресетно-глејна почва.
- Класа со профил A-Eg-BgC: псевдоглејни почви — се одликува со присуство на псевдоглејниот хоризонт g[d] (g1 и g2) во горните хоризонти до длабочина од 70 cm. Типот го носи истото име како и класата.
- Класа со профил T-G: тресетни почви (хистозоли) — органогени хидроморфни почви со тресетен хоризонт T подебел од 30 cm. Ги опфаќа типовите висок или издигнат тресет, преоден тресет и низок тресет.
- Класа со профил P-G и Ap-G: антропогени хидроморфни почви — водниот режим е под влијание на човекот: риголувана тресетна почва (риголичен хистозол), оризна почва (ризозол) и хидромелиорирана почва.

Халоморфни почви — се одликуваат со додатно природно наводнување со подземни (поретко со површински) води кои се засолени и алкализирани.

- Класа со профил Asa-G или Asa-C/G: солончак — ова се акутно засолени почви. Имаат засолен (саличен) хоризонт Asa.
- Класа со профил A-Bt, na-C: солонец — се одликуваат со присуство на аргилувично-натричниот хоризонт Bt, na.

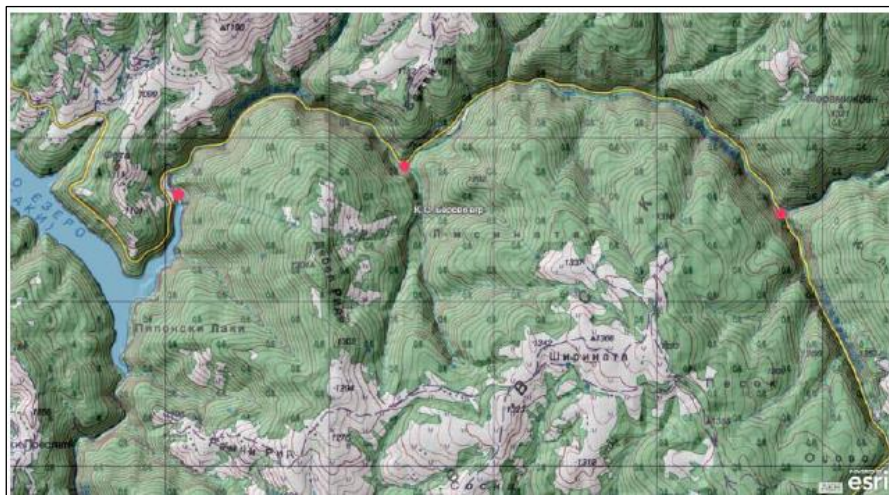
Подводни почви — постојано се прекриени со мирувачка плитка вода (дно на бари, езера и крајбрежните морски области). Често се мешаат процесите на педогенеза и седиментација.

- Класа со профил (A)-C и (A)-G: неразвиени подводни почви — почви во почетна фаза на образување врз растреситите водни седименти. Имаат почетен хумусно-акумулативен хоризонт (A). Го опфаќа типот протопедон.
- Класа со профил A-C или A-G: развиени подводни почви — се одликуваат со добро оформен хумусно-акумулативен хоризонт A. Ги вклучува типовите тиња, дај и сапропел.

II ГЛАВА: ТЕРЕНСКИ ИСТРАЖУВАЊА ИНЖЕНЕРСКО- ГЕОЛОШКО КАРТИРАЊЕ НА ТЕРЕНОТ И ЛАБОРАТОРИСКИ ИСПИТУВАЊА НА ИСТРАЖНИОТ ПРОСТОР

2.1 Општи податоци за истражниот простор

Локацијата на мала хидроелектрична централа на Клепалска Река се наоѓа во источниот дел на Република Македонија, во централниот дел на Малешевските Планини. За пристап до локацијата, постои асфлатен пат од Берово до Клепало каде е предвиден граничен премин кон Република Бугарија. Трасата на патот оди по долината на Клепалска Река (Сл. 2). Со извршените теренски и лабораториски истражувања и испитувања е дефинирана природната конструкција на теренот за потребните делови со анализа на сите резултати и интерпретација.



Слика 2. Локација на Клепалска Река

Figure 2. Location of river Klepalska

Со извршените теренски и лабораториски истражувања и испитувања, е дефинирана природната конструкција на теренот за потребните делови, а со анализа на сите резултати и нивна корелација и интерпретација. Направени се геолошки, геомеханички, сеизмички и хидрогеолошки истражувања и испитувања, земање на репрезентативни проби на почви и карпи за одредување

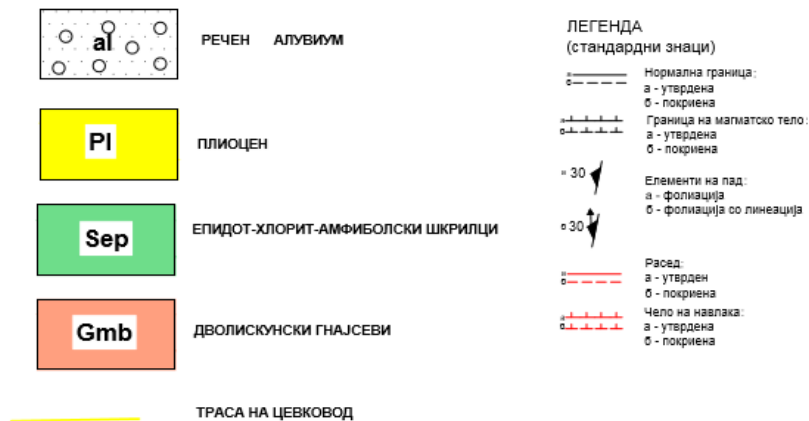
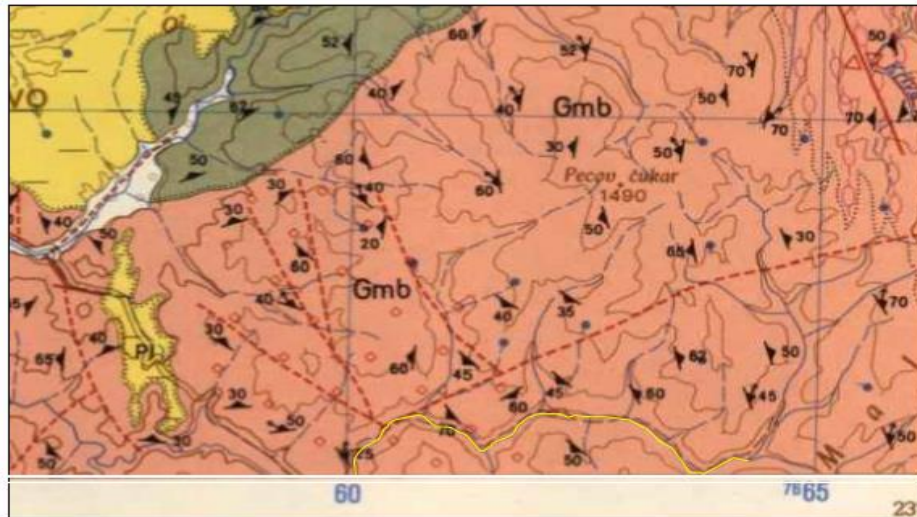
на физичко-механичките карактеристики на теренот по текот на реката и локацијата се изведени предвидените објекти: водозафатот на реката, трасата на цевководот и машинска зграда. Резултатите од извршените испитувања се прикажани во соодветни графички прилози во вид на табели и дијаграми, поткрепени со карти и фотографии.

2.2 Осврт на досегашни истражувања

Првите посеопфатни геолошки истражувања и испитувања на актуелниот терен се сврзани за изработка на основна геолошка карта (ОГК), која има регионален карактер. Како резултат на овие работи е печатена ОГК 1:100 000 по соодветен лист (конкретно во случајов: лист Делчево периодот од 1966 - 1973 - Геолошки завод, Скопје) со толкувачи во кои се даваат податоци, покрај другото и за геолошко-геотектонска градба на теренот како основа за сите понатамошни разработки (Сл. 3). Други истражувања на овој простор не се вршени.

ГЕОЛОШКА КАРТА НА ПОШИРОКАТА ОКОЛИНА НА ЛОКАЦИЈАТА ЗА МХЕЦ 321 И 322 КЛЕПАЛСКА РЕКА - БЕРОВО
1: 100.000

Исечок од ОГК лист Делчево



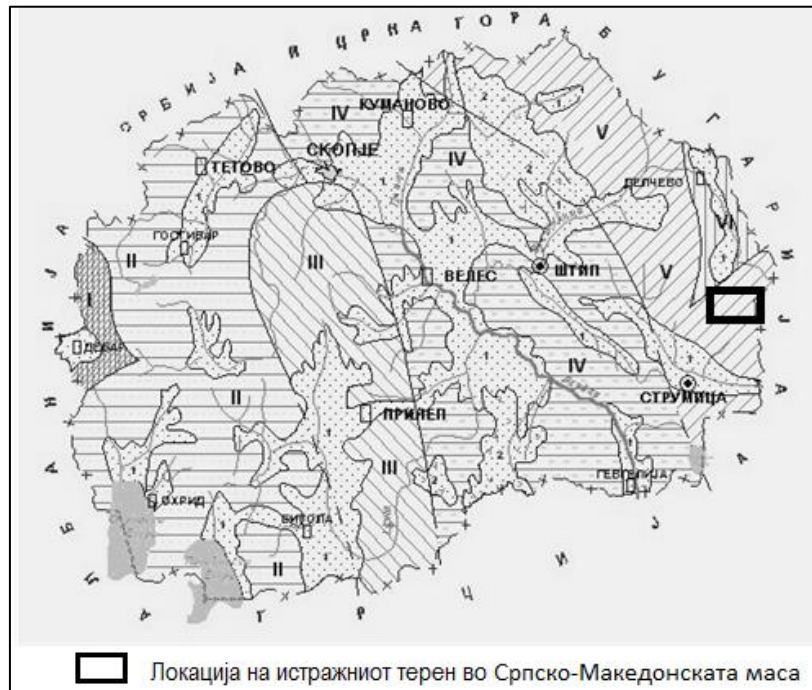
Слика 3. Исечок од Основна геолошка карта (ОГК) за лист Делчево

Figure 3. Fragment od Basic Geological map (BGM) for Delchevo

2.3 Основни геолошки карактеристики на теренот

Истражуваниот терен припаѓа на централниот дел на Малешевските Планини кој се карактеризира со благ релјеф и зарамнети била, овие терени се најстарите геолошки копна формирани на територијата на Република Македонија. Подрачјето на Клепалска Река, во регионален тектонски поглед припаѓа на

зоните врзани за структурите типични за Српско-Македонската маса како геотектонска единица, (Арсовски 1997) што може да се види на Сл. 4.



Слика 4. Локација на Српско – Македонската маса каде што припаѓа истражниот простор (М. Арсовски, 1997).

Figure 4. Location of Serbian-Macedonian mass where the exploration space belongs (M. Arsovski, 1997)

Геолошката градба на пошироката околина на истражуваниот локалитет е прикажана според податоците од ОГК 1:100 000 лист Делчево. Ковачевиќ, М., Ракичевиќ, Т. (1973) – Слика 3. Како што може да се види од геолошката карта, (Сл. 3) пошироката околина на истражниот терен е изградена од алувијални седименти, пиоценски седименти, епидот – хлорит- амфиболски шкрилци и дволискунски тракасти гнајсеви. По ободните делови на Клепалска Река на мал простор се јавуваат и делувијални седименти кои на геолошката карта не се претставени. Теренот во зоната на водозафатот на МХЕЦ на Клепалска Река – Берово, е изграден од цврсто врзани стари прекамбриски дволискунски тракасти гнајсеви, преку кои по целата траса трансресивно лежат алувијални и делувијални седименти.

2.4 Геоморфолошки карактеристики на теренот

Предвидениот терен за истражување припаѓа на централниот дел на Малешевските Планини. Клепалска Река ги дренира водите од целиот масив и со Заменичка река кај вештачкото езеро ја формираат Ратевска Река.

Целиот масив на Малешевските планини се карактеризира со зарамнети била со висина до 1450 m и не така стрмни речни долини. Клепалска Река на некои делови има пострмни засеци во облик на латинската буква „V“. Клепалска Река на просторот предвиден за изградба на МХЕ има правец на течење од исток кон запад.

Теренот на водозафатот на реката Клепалска Река за МХЕ 322 се наоѓа во зоната на гнајсеви на кота 1.069 m кои се прекриени со речен алувион, машинската зграда се наоѓа на кота 992 m на десниот брег на Клепалска Река покрај асфалтниот пат, теренот е изграден од гнајсеви кои се засечени со трасата од патот, во речното корито има алувијално-делувијален нанос и насип од изградбата на патот.

Истражуваниот терен припаѓа на Српско-Македонската маса, издвоена како посебна геотектонска единица, која се одликува со крупни пликативни набори и руптурни елементи, во чиј состав влегуваат метаморфни карпи од прекамбриска старост кои се претставени од гнајсеви како дел од метаморфниот комплекс. На предвидениот простор има појави на гнајсеви преку кои лежат делувијални и алувијални наноси на одредени простори по целата должина на трасата на цевководот.

2.5 Теренски истражни работи

Пред отпочнување со теренските истражни работи е извршено рекогносцирање на теренот вдолж трасата на цевководот, водозафатот и машинската зграда, а со цел запознавање со инженерско геолошката, хидрогеолошката и геотехничката проблематика и евентуалната потреба од реамбулација (прекартирање) на основната траса. За подетално прикажување на теренот по

трасата на цевководот, водозафатот и машинската зграда се применети следниве теренски истражни работи:

- *Инженерско геолошко картирање на теренот;*
- *Изработка на истражни бунари;*
- *Картирање на сите бунари;*
- *Земање на оптимален број на пореметени и непореметени примероци.*

Во постојниот магистерски труд се анализираат истражувањата за геотехничките карактеристики на теренот за изградбата на МХЦ Клепалска Река. Во склоп на овие истражувања, во периодот од 3.9.2014 до 29.9.2014 год. на наведената локација се изведени теренски проспекции и истражни работи во обем и количини предвидени со програмата за геотехнички истражувања на предвидената локација.

Теренските истражни работи на посочената локација се извршени во месец септември 2014 год. при што е изведено рачно копање на 12 (дванаесет) истражни бунари со максимална длабочина од 2.20 м' и истите се изведени целосно во склад со важечките закони и стандарди за ваков тип на работа.

2.6 Инженерско геолошко картирање на теренот на водозафатот

Деталното инженерско геолошко картирање на теренот е основна теренска метода за дефинирање на составот и склопот на теренот по должина на трасата на водозафатот, идниот цевковод и машинската зграда. Со инженерско геолошкото картирање, покрај собирањето на податоци за геолошко-генетските карактеристики, се врши и правилно лоцирање на дополнителните теренски истражни работи т.е. лоцирање на истражни бунари, раскопи и други работи, како и детално картирање на сите видливи изданоци и следење на геолошките граници на основните карпи на теренот, потоа застапените јаруги, долови, стрмни отсеци и др.

Имајќи ја во предвид геолошката градба на теренот, од инженерско геолошки аспект може да се констатира дека вдоль водозафатот на МХЦ Клепалска Река референтен број 322, теренот е изграден од нескаменети неврзани и полуврзани глиновито кластични седименти и компактни метаморфни карпи од серијата на

мусковит биотитски гнајсеви (Gmb), опишани во Геолошки профил/Надолжен профил на водозафат – цевковод од км 0+000,00 до км 1+000,00 (Прилог бр. 1) и во Карактеристичен попречен пресек на водозафат (Прилог бр. 2).

Сите горенаведени карпи имаат свои специфични инженерско геолошки карактеристики во смисла на стабилност на падините, подложни на ерозија и друго.

➤ **Нескаменети неврзани и полуврзани глиновито – кластични седименти**

Во групата на нескаменети неврзани и полуврзани глиновито – кластични седименти влегуваат: алувијални (**al**) и делувијални седименти (**d**). Пошироко, теренот предвиден за овие истражувања за МХЦ Клепалска Река припаѓа на планинскиот масив на Малешевските Планини.

Алувиум (al) - Од квартерните седименти алувијалните наслаги се застапени по долината на Клепалска Река и во речните долини на притоците.

Алувијалните наслаги се изградени од грубокластичен материјал, составен од песокливи глини, песоци, чакали и облудоци од карпи, кои се совршено обработени и со различни димензии. Минералната асоцијација и формата на зрната, укажуваат дека изворниот материјал за создавање на овие седименти, потекнува од околните падини. Дебелината на алувиумот во речните долини е различен во зависност од местоположбата. Во планинските реки може да биде до 2,5 m, додека во пониските делови тој изнесува и преку 3 m. Овие седименти на дадената локација се присутни по целата траса на објектите од водозафатот до машинската зграда. Алувијалните седименти се растресити неврзани карпи, добро водопрпусни, заситени со подземна вода, се формира збиен тип на издан со меѓузрнеста порозност. Според градежните прописи, овие наноси се вброени во III категорија на површински ископ, каде работите може да се изведуваат со помош на механизација.

Делувиум (d) - делувијалните наслаги се застапени на помал простор. Тие се составени од глиновит материјал помешан со дробина од разновиден материјал. Делувијалните наслаги на овие простори се формирани по ободните делови на

речното корито на Клепалска Река, каде дебелината ретко преоѓа повеќе од 2,5 m. На предвидениот простор за изведба на градежни работи нема наслаги кои можат да бидат подложни на свлекување.

➤ **Цврсто врзани скаменети седиментни карпи**

Во оваа група влегуваат карпите од прекамбрискиот метаморфен комплекс, кои учествуваат во градбата на теренот околу Клепалска Река. Од овие карпи се присутни само мусковитско биотитски гнајсеви (**Gmb**).

Мусковитски-биотитски гнајсеви (Gmb) - Овие карпи се од прекамбриска старост и претставуваат главната карпеста маса во градбата на теренот преку кои трансгресивно лежат алувијално-делувијалните седименти, во кои ќе се изведуваат идните објекти за МХЦ на Клепалска Река. Генералниот правец на протегање на серијата е СЗ-ЈИ, со пад на ЈЗ и ЈИ поради изразената плисирана пликативна набраност на гнајсевите. Гнајсевите имаат изразена фолијација, тектонски доста се здробени и искршени. Структурата им е гранобластична и лепидобластична. По боја се сивкасти, до зеленкасти и црвенкасто-кафеави што зависи од степенот на распаѓање и присуството на примеси од железо и други минерали. Минерали кои учествуваат во градбата на карпите се: кварц, фелдспати, биотит и мусковит како главни минерали, како споредни се јавуваат гранат, магнетит, циркон и др.

Главни карактеристики на овие карпи се појави на наизменични прослојци од кварц и фелспати со прослојци од мусковит, со чести појави на кварцитски жици. Овие карпи се карактеризираат со изразена цврстина на компактните блокови ушкриленост, тектонски оштетени, на некои делови имаат алтерации што доведува до распаѓање на основната структура на карпата. Дебелината на серијата на гнајсеви е проценета преку 1200 m. За добивање на инженерско геолошки, хидрогеолошки и геотехнички карактеристики на теренот во функција на длабина е изведен одреден вид и обем на истражни бунари и раскопи од кои се земени репрезентативни примероци за лабораториски испитувања, т.е. дефинирање на физичко механичките својства на застапените материјали на теренот на водозафатот.

2.7 Изведба на истражни бунари и раскопи

Изведбата на истражните бунари е вршена рачно, со копање, со дијаметар \varnothing 800 mm и исфрлање на материјалот околу бунарот. Од бунарот, директно по извршениот ископ до планираната длабочина е извршено геомеханичко картирање и фотографирање на истите и се земени репрезентативни примероци за понатамошни лабораториски испитувања (Сл. 5 и Сл. 6). Изведени се вкупно 12 (дванаесет) истражни раскопи и бунари, вдоль трасата и на објектите. Во текот на теренските истражни работи (септември, 2014 год.) во истражните бунари, Б-1, Б-10 и Б-11 до истражуваната длабочина од 2,50 m, е регистрирано ниво на подземна вода, на кота (0,50 m до 1,20 m) мерено од котата на теренот, зависно од морфологијата на теренот.



Слика 5. Истражен бунар Б-1

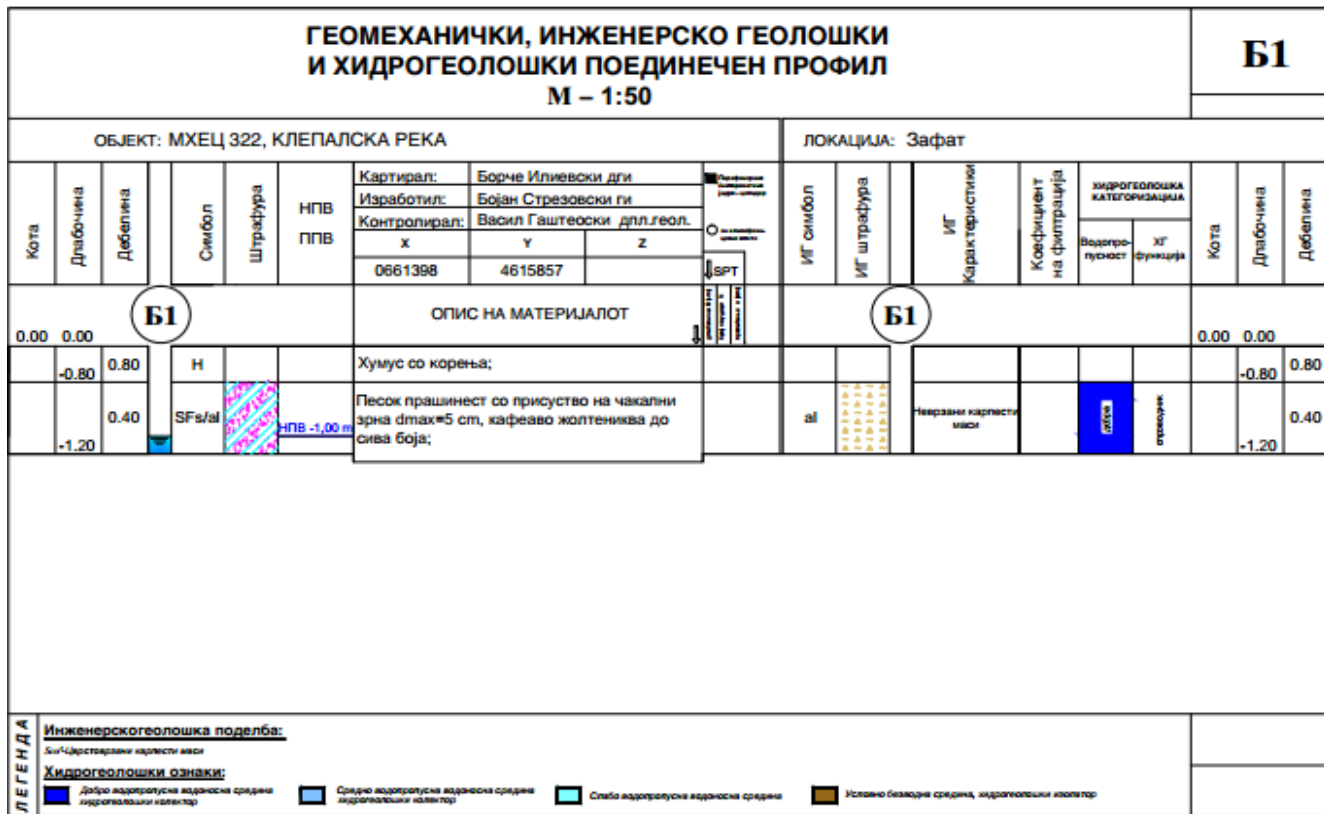
Figure 5. Exploration well B-1



Слика 6. Истражен бунар Б-2

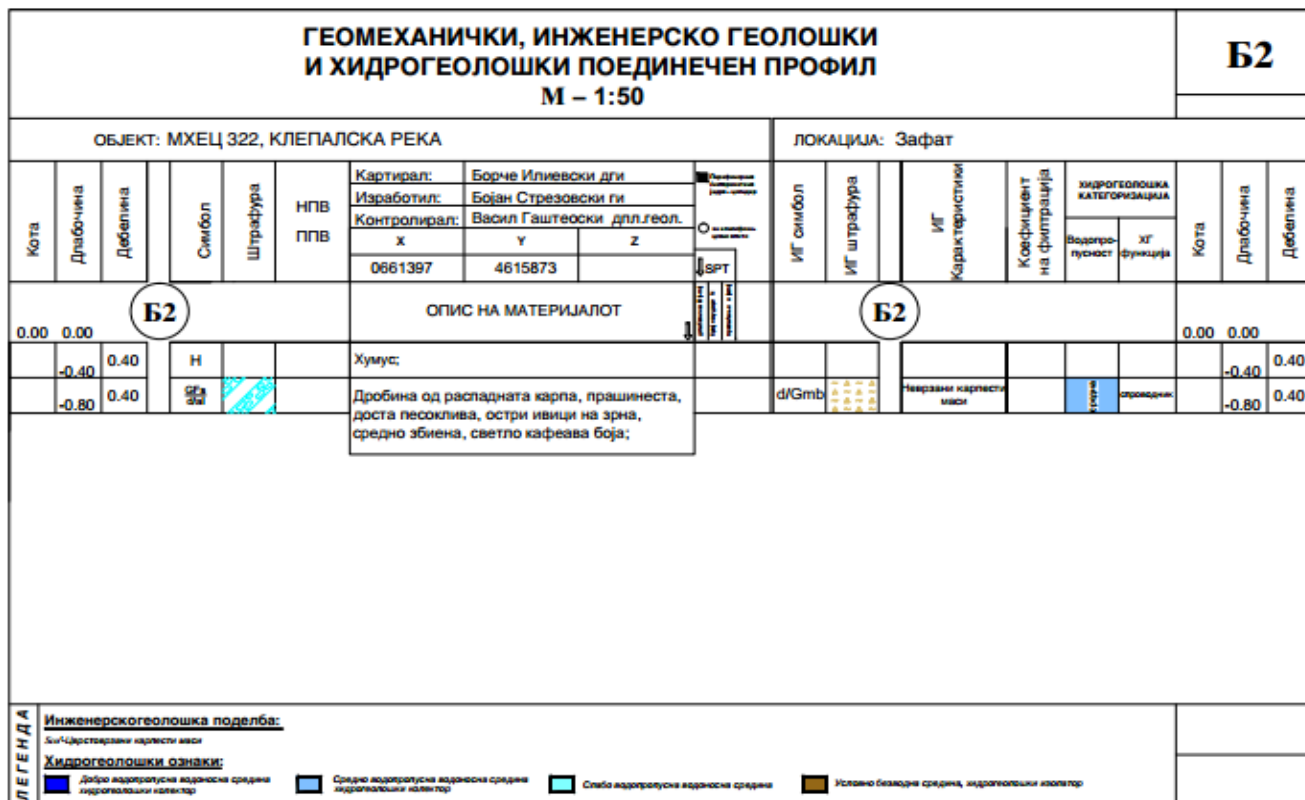
Figure 6. Exploration well B-2

За секој истражен бунар е направен геомеханички, инженерско-геолошки и хидрогеолошки поединечен профил. Во продолжение се прикажани два поединечни профила кои се направени за водозафатот (Сл. 7 и Сл. 8).



Слика 7. Профил на водозафат – Бунар 1

Figure 7. Profile of water intake – Weel 1



Слика 8. Профил на водозафат – Бунар 2

Figure 8. Profile of water intake – Weel 2

Вкупната длабочина на истражните бунари на предметната локација изнесува 16.50 m'. Истражните бунари се изведени со цел да се изврши макроскопска идентификација на почвените материјали во длабина, да се утврди нивниот просторен распоред, да се земат потребниот број на примероци за лабораториски испитувања и да се утврдат сите аспекти кои би дале прилог кон поцелосно дефинирање на теренот како природна конструкција.

2.8 Лабораториски испитувања

По извршеното геомеханичко картирање на откриените материјали ин ситу и земањето на репрезентативни примероци од истите според прегледот прикажан во продолжение, а со цел да се потврди теренската идентификација и класификација, како и да се дефинираат физичко-механичките карактеристики

на материјалите застапени на испитуваната локација, се извршени следните лабораториски испитувања над пореметени и непореметени примероци:

- **Определување на природна влажност MKTC CEN ISO/TS
17892-1:2010**
- **Определување на природна волуменска тежина.... MKTC CEN ISO/TS
17892-2:2010**
- **Определување на гранулометриски состав..... MKTC CEN ISO/TS
17892-4:2010**
- **Определување на граници на конзистенција MKTC CEN ISO/TS
17892-12:2010**
- **Опит на директно смолкнување..... MKTC CEN ISO/TS
17892-10:2010**
- **Определување на модул на стисливост..... MKTC CEN ISO/TS
17892-5:2010**
- **Опит на точкаста јакост
MKS U.B1.031;**

➤ **Природна влажност**

Природната влажност на репрезентативните примероци е определена со сушење на истите на температура од 105°C до константна тежина. Резултатите се движат во границите од 4.70 - 6.10%.

➤ **Специфична тежина**

Специфичната тежина на кохерентните материјали е определена со метод на пикнометар со волумен од 100 cm³ и изнесува 2.67 - 2.79.

➤ **Природна волуменска тежина**

Волуменската тежина во природна состојба е определена над примероци со помош на цилиндри со познат волумен за кохерентни материјали, а за некохерентните материјали преку техничка волуменска тежина и се движи во границите од 19.10 - 23.17 kg/m³.

➤ **Гранулометриски состав**

Гранулометрискиот состав е определен по пат на сеење и аерометрирање како и со комбинација на методите на сеење и аерометрирање, во зависност од видот и јадроста на секој обработен материјал поодделно. Резултатите од извршените испитувања се презентирани преку дијаграмите на гранулометриски состав и

гранулометриските анализи на наносот од речното корито во зоната на водозафатната градба во Прилог бр. 3 и Прилог бр. 4.

➤ **Граници на конзистенција**

Границите на конзистенција се определени за кохерентните почвени материјали и тоа границата на течење со помош на Casagrande-вата трескалка, границата на пластичност со извлекување на валјаци од почвениот материјал до дијаметар од 3 mm, а индексот на пластичност емпириски, како разлика помеѓу двете горенаведени граници.

➤ **Јакост на смолкнување**

Јакостните параметри, агол на внатрешно триење и кохезија, за кохерентните материјали се определени преку опит на директно смолкнување над непореметени примероци со димензии во основа 60x60 mm и височина 30 mm со смолкнување при контролирана деформација со брзина од $v = 0.05 \text{ mm/min}$. Опитот е изведен како консолидирано дрениран со три точки на товарење и тоа: 100, 200, 300 kPa. Дијаграмите на јакост на смолкнување се прикажани во Прилог бр. 5 и Прилог бр. 6.

➤ **Модул на стисливост**

Модулот на стисливост на ситнозрните материјали е определен со едометарски опит на цилиндрични примероци со дијаметар $D = 100 \text{ mm}$ и височина $H=20 \text{ mm}$ со следните степени на оптоварување: 50, 100, 200 и 400 kPa. Материјалот во апаратот со спречено бочно ширење е вградуван со непореметена структура. Резултатите се прикажани во Прилог бр. 7 и Прилог бр. 8.

➤ **Точкаста јакост и Индекс на јакост**

Точкаста јакост и Индексот на јакост се определува врз карпести парчиња од матична карпа со однапред определена дебелина и површина на примерокот. Истите се определуваат врз база на резултатите од кршење при изложување на истите на едноаксијална сила на притисок. Резултатите од извршените испитувања се презентирани во Прилог бр. 9 и истите се искористени во понатамошна анализа за дефинирање на карактеристиките на карпестите маси.

Сите погоренаброени испитувања се извршени целосно во согласност со важечките стандарди, секој одделен опит преку процедурата која ја пропишува соодветниот МКС стандард, погоренаведен покрај опитот на кој се однесува.

2.9 Геотехнички својства на теренот

За одредување на геотехничките својства на материјалите застапени вдоль трасата на делницата од трасите на хидротехничките објекти, извршен е потребен број на геотехнички истражувања и испитувања со што, на потребно ниво, се дефинирани сите влезни геолошки и геотехнички елементи. Истражувањата во оваа фаза, главно се концентрирани на објектите проектирани вдоль трасата, водозафатот и машинската зграда.

Геотехничките карактеристики на теренот се дефинирани на основа геолошкото, хидрогеолошкото и инженерско геолошкото картирање, како и од резултатите добиени од теренските истражни работи и лабораториските испитувања. Сите параметри од геотехничките истражувања, со одреден степен на екстраполација, се прикажани на надолжниот профил на трасата, попречните профили, како и соодветно приложените прилози, со соодветни препораки за технологијата за ископ, заштита на косини и класификација на карпестите маси.

2.10 Тектонски склоп

Подрачјето на Клепалска Река и пошироко, во регионален тектонски поглед припаѓа на зоните врзани за структурите типични за Српско-Македонската маса како геотектонска единица. Самата локација припаѓа на посебно издвоениот блок на Малешевски Планини во кој е изразена пликативна тектоника следена со голем број на раседи, од кои еден е и самата речна долина на Клепалска Река. На теренот не се забележани некои изразени тектонски оштетувања кои деструктивно би влијаеле на геолошката градба на теренот, што би довело до создавање на свлечишта. Од тој аспект, тектонскиот склоп на теренот има поволни услови за изведба на идните градежни работи. Тектонскиот развој на теренот, како најстаро копно во Македонија, е поврзан за сите крупни орогенези присутни во геолошкиот развој на геолошката градба на теренот како што се: бајкалска, каледонска, херцинската и алписката. Со овие тектонски движења е создаден денешниот изглед на теренот.

2.11 **Инженерско геолошки видови на карпести маси**

Трасата на делницата од цевководот, поминува низ поедноставни геолошки, хидрогелешки, инженерско геолошки терени, но со слабо изразени геоморфолошки облици и терени со поблаги падини. Анализираниите интервали претставуваат целини со слични инженерско геолошки карактеристики и подеднакви услови за градежни работи, па според тоа на истражуваниот терен долж трасите на објектите, од инженерско геолошки аспект може да се издвојат следните видови на карпести маси:

- *Нескаменети неврзани и полуврзани глиновито кластични седименти (al,d);*
- *Цврсти карпести маси изградени од метаморфниот комплекс на гнајсеви (Gmb).*

➤ **Геомеханички профил и геомеханички карактеристики на неврзаните карпести маси**

Врз основа на теренската проспекција и извршените лабораториски анализи над примероци земени директно од самата матична карпа, е извршено разграничување на одредени литолошки формации и слоеви. Според извршените теренски истражни работи и лабораториските класификациони и идентификациони испитувања на предметната локација генерално може да се заклучи дека на локацијата, се застапени следниве материјали:

- Н - Хумус, со корења од растенија, наслаги од лисја, со песоклива фракција со темно кафеава боја;
- GFs/d - Дробина од распадната карпа, прашинеста, доста песоклива, со појава на чакални зрна, остри и заоблени ивици на зрна, средно збиена, светло кафеава боја;
- SFs/ad - Песок прашинест со присуство на чакални зрна $d_{max}=5\text{cm}$, кафеаво жолтеникава боја

- GP/d - Чакал, крупнозрнест со делувиялен нанос, песоклив, прашинест, крупнозрн, збиен со заоблени и остри ивици на зрна, $d_{max}=20-30\text{cm}$, со светло кафеава боја.
- GP/ad - Крупнозрнест чакал, песоклив прашинест со заоблени ивици на зрна, збиен, $d_{max}=25-30\text{cm}$, светло кафеава до сива боја;
- SU - Фин песок, еднолично гранулиран, светло кафеава до жолтеникава боја;
- MN - Прашина муљевита, органска, малку песоклива, стислива и еластична, темно сива до црна боја;
- Gmb – Гнајсеви.

➤ **Физичко механички карактеристики на неврзаните карпести маси**

Со оглед на карактеристиките на застапените литолошки единици, нивните физичко-механички параметри се одредени според податоците од теренската проспекција и се земени искусствено поради неможноста да се извршат класични лабораториски испитувања, поради тоа што се работи за претежно крупнозрнести материјали. За слојот со геомеханичка ознака GFs/d, GP/d, GP/al, SFs/al можат да се препорачаат следните геомеханички параметри:

$$y=19.10-23.17 \text{ kN/m}^3 \quad y_d=19.13-21.93 \text{ kN/m}^3 \quad y'=11.34-13.95 \text{ kN/m}^3 \quad \varphi=27.70-33.00^\circ$$

$$c=0.00-2.00 \text{ kPa} \quad M_v=14 \text{ 034-18 964 kN/m}^2 \quad \omega=4.70-6.10\% \quad G_s=2.67-2.79 \quad k=0.72-14.58$$

2.12 **Геотехнички карактеристики на карпестите маси**

Збирното влијание на процесите од ендеген, егзоген и техноген карактер врз карпестите маси од времето на нивното создавање до денес, го условиле сегашниот склоп на својства и состојби на карпите во конкретниот момент. Покрај феноменолошкиот карактер, ова има и свое практично значење, со оглед дека од својствата и состојбите на карпестите маси зависат проектните решенија на идниот објект. Согласно на ова, подолу се прикажани сите значајни својства и состојби на карпестиот масив.

➤ **Состојба на испуканост (дисконтинуалност)**

За дефинирање на состојбата на испуканост, се применети методи на директно определување на параметрите со мерење од површина на терен. Мерењата на соодветните мерни места се извршени со цел да се добијат параметри за понатамошна класификација на карпестите маси. Оваа метода е заснована на структурни мерења на испуканост на карпестиот масив - дефинирање на дисконтинуитетите и нивните отвори. За време на теренските активности на терен мерени се густината на пукнатините (G_i каде $i=1,2,3$), изразена како број на пукнатини на единица должина (p/m'). Влезните и пресметаните параметри на степенот на испуканост се прикажани во следната табела за мерните места од повеќе локации.

Табела бр.3. Податоци за степенот на испуканост на мерните места

Table 3. Data on the degree of cracking at the measuring points

Проба	Мерна точка	G_1 (p/m')	G_2 (p/m')	$J_v(p/m')$	RQD (%)
1	Б-2	7	12	19	52
2	Б-5	10	5	15	66
3	Б-6	8	11	19	52
4	Б-7	8	10	18	56
5	Б-8	6	2	18	56

RQD (%) - определување на квалитет на карпата, пресметано по Palstrom 1982 ($RQD=115-3.3J_v$)

$J_v(p/m^3)$ - вкупен број на пукнатини на единица волумен, како збир на пукнатините.

➤ **Состојба на распаднатост**

Податоците од картирањето се искористени за квалитативно определување на состојбата на распаднатост на карпестиот масив по критериумите од W.D.Dearman. Принципите на категоризација на овој автор се состојат од квалитативен опис на степенот на изразеност на измените, во матриксот од основната карпеста маса.

Така од согледувањата во фаза на картирањето може да се констатира следното: - делувијални творби (d) се класифицирани во V и VI категорија (целосно распаднати карпи до почва),

- изменетите зони на раседната класификација во IV категорија на многу изменета карпа,

- креден флиш може да се класифицира во III и IV категорија на слабо до доста распадната карпа (изменета долж дисконтинуитетите и површинските слоеви).

2.13 Физичко механички карактеристики

Физичко механичките карактеристики на карпестите маси се анализирани за основните карпести маси на посочената локација. Истите се одредени преку комбинирани теренски и лабораториски испитувања, како и преку примена на афирмирани методи во светската геотехничка наука и пракса. Сите согледувања се прикажани во продолжение:

➤ **Физичко механички карактеристики на монолитните делови**

Вредноста на јакоста на монолитните делови е добиена со помош на дефинирање на индексот на јакост, со преса на точкасто оптоварување. Применети се препораките за пресметка на овој параметар според ISRM. Тој е пресметан со следнава формула:

$$J_s = p/D^2 \text{ (MPa)}$$

каде: p - сила во моментот на лом,

D - растојание помеѓу точките на лом.

Со помош на следната корелација е проценета јакоста на притисок $\sigma_p = 24J_s$ (MPa). Врз основа на добиените вредности од истражното дупчење за густината на дисконтинуитетите, квалитетот на карпестите маси и вредностите на физичко механичките карактеристики е извршена геомеханичка класификација на карпестите маси по Биениавски за литолошката средина:

Табела бр.4 Бодувачки систем на карпеста маса за карпестите маси

Table 4. Rock mass system for rock masses

Реден број	Мерна точка	Локација	Бодови (RMR)	Категорија
1	Б-2	Машинска 322 Клепалска	48	III
2	Б-5	Цевковод 322 Клепалска	46	III
3	Б-6	Цевковод 322 Клепалска	45	III
4	Б-7	Цевковод 322 Клепалска	52	III
5	Б-8	Цевковод 322 Клепалска	58	III

Од резултатите, се гледа дека се застапени карпести маси од III категорија на карпи според Bieniavski (RMR = 46 - 58). Во оваа категорија припаѓаат поволни и слаби карпи. Резултатите со сите влезни параметри за пресметка на јасно деформабилните карактеристики на карпестиот масив се изведени во посебен софтвер за таа намена ROCKLAB, додека основните параметри се дадени подолу. Врз основа на ваквата методологија се добиени следните вредности на основните физичко-механички параметри на масивот, Табела бр.5.

Табела бр.5 Податоци за кохезијата и аголот на внатрешно триење

Table 5 Data on cohesion and the angle of internal friction

Карпеста маса (категија по Bieniawski, 1989)	III
RMR (rock mass rating)	46-58
GSI (geological strength index)	23-43
Вистинска кохезија на масивот С(КПа)	170-470
Агол на внатрешно триење на масивот	30-49
Модул на деформација E_m (МПа)	290-550

Овој терен припаѓа во групата на стабилни терени. Поради појавата на пукнатини и раздробеност на карпестите масиви по трасата локално се очекува појава на нестабилни косини. При ископ се очекува појава на одрони од блокови и самци за кои треба изведувачот посебно да обрне внимание и да примени соодветна техника на ископ.

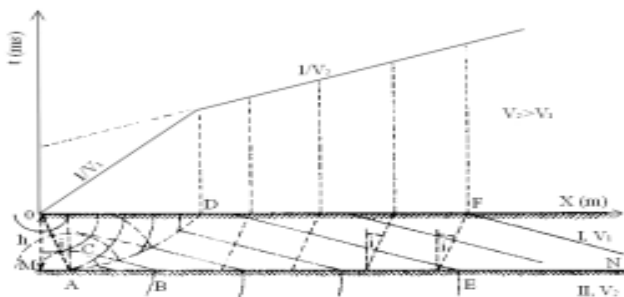
Според техничките прописи за условите за работа, припаѓаат во IV и V категорија, каде при изведување на ископ мора да се употреби тешка механизација. На мал број места е потребно примена на пикамер или минирање.

III ГЛАВА: СЕИЗМОТЕКТОНСКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ИСТРАЖУВАНИОТ ПРОСТОР И ГЕОФИЗИЧКИ СНИМАЊА НА ТЕРЕНОТ

3.1 Сеизмички методи

➤ 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 (Сл 9).²⁴



Слика 9. Двослојна хоризонтална средина ($V_1 < V_2$)

Figure 9. Bilayer horizontal environment ($V_1 < V_2$)

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: $V_1 < V_2 < V_3 < \dots < V_n$. 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

²⁴ Stilborg B. (1986): *Profesional user's handbook for Rock Bolting*, Trans Tech publications, 1986.

„враќа“ кон површината на Земјата. Во оваа метода од интерес се само прекршените бранови.²⁵

Сеизмичкиот бран со сферен бранов фронт кој под критичен агол и паѓа на граничната рамнина, се прекршува на неа според законот на Снелиус:²⁶

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

Според Хајгенсовиот принцип, секоја точка на брановиот фронт е извор на нов сферен бран, така и точката А, 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 А стигне до сферата С во еластичната средина I, за истото време сеизмичкиот бран по должината на граничната површина MN ќе стигне до точката В. Резултантниот 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 О до точката F кој се прекршува на граничната рамнина MN е даден 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.²⁷

Точката D се нарекува критична точка, а растојанието од точката D до изворот на импулси, точка О, се нарекува критична оддалеченост. Значи до геофоните кои се разместени помеѓу точките на побудување, точка О, и критичната точка

²⁵ *Ibidem*,

²⁶ *Ibidem*,

²⁷ Waltham T., 2002: Foundations of Engineering Geology, Second Edition, Spon Press, London and New York.

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.²⁸

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 карактеристики помеѓу одделните еластични средини и кога граничните \overline{CB} , \overline{AB} , \overline{BE} и \overline{EF} 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 дупнатината 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.²⁹

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.³⁰

²⁸ Ibidem,

²⁹ Ibidem,

³⁰ Pavlović N. (1996): *O metodologiji geotehničkog modeliranja, International Conference, Trends of Developments on Geotechnics, Beograd, 1996.*

Со рефлективната метода се одредуваат длабочината и наклоните на граничните рамнини кои ги раздвојуваат различните еластични 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.³¹

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.³²

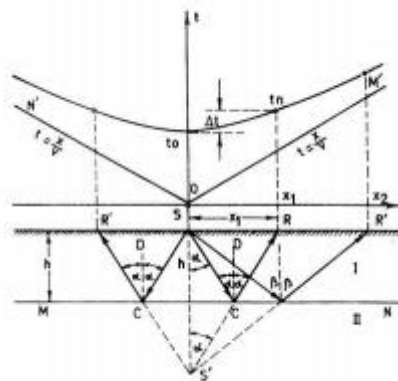
➤ **Рефлективна метода**

Тоа е случај кога граничната рамнина е паралелна со површината на теренот, а местото на палење е во точката S на површината на теренот. 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' ³³ (Сл. 10).

³¹ Malinowski J., (1967): *Geologia Inzynerska, Wydawnictwa geologiczne, Warszawa.*

³² *Ibidem,*

³³ *Ibidem,*



Слика 10. Ходохрона на рефлектиран бран за паралелни слоеви

Figure 10. Hodohrona for the reflected wave for parallel layers

Целта на геофизичките испитувања е врз основа на брзината на простирање на еластичните лонгитудинални сеизмички бранови да се дефинира соодветната длабина на различните средини, како и да се помогне во дефинирањето на физичките карактеристики и состојбата на карпестата маса. При решавање на корелационите параметри, за дефинирање на модел на квалитет на карпеста маса од геолошките, геотехничките и геофизичките податоци е применета метода на регресивна анализа.³⁴

Сублимирано, почвите се разликуваат едни од други според почвениот профил од каде се добиваат информации за нивниот состав, структура и квалитет. При тоа, секоја од почвите има своја намена и квалитети, чии потенцијали може да бидат искористени.

Со цел добивање на подетални и по репрезентативни податоци, покрај останатите анализи за предметната траса на цевководот, водозафатот и машинската зграда на МХЦ на Клепалска Река под референтен број 322, подетално се обработени геолошките карактеристики како на поширокиот терен, така и по делот на трасите на идните објекти. За таа цел во склоп на теренските истражувања и обработка на вкупниот број на расположиви податоци, потребно

³⁴ Ibidem,

е да се добие увид во следните карактеристики кои се значајни за проектирањето и тоа:

- Сеизмотектонските карактеристики по должина на трасите и објектите.
- Изведба на геофизички снимања на теренот.

3.2 Основни сеизмотектонски карактеристики на истражуваниот простор

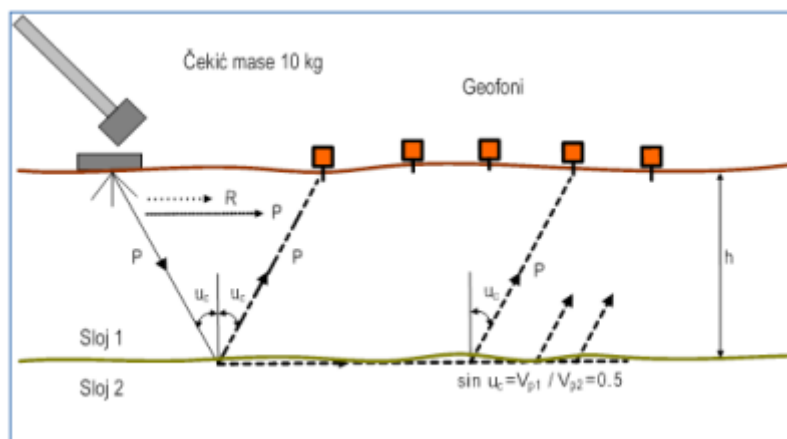
Во корелација со геолошкиот развој на теренот и геолошките појави, како и процеси и активните тектонски движења во просторот укажува дека некој од вертикалните руптури се активни и денес, што го потврдува податокот за сеизмичките активности на делови од оваа сеизмичка зона. Истражуваниот терен, од аспект на сеизмотектонските карактеристики спаѓа во склоп на Пехчевско - Кресненската сеизмичка зона. Интензивните тектонски движења во Српско- Македонската маса, се поврзани со крупни раседи што се манифестира со многу остри премини и според макросеизмичката скала. Тоа се терени со сеизмичност до 10 степен по MCS на зголемена сеизмичка активност. Некои од вертикалните руптури и денес се активни на што укажуваат честите потреси околу Кресна во Бугарија. Согласно овие параметри коефициентот на сеизмичност за овој простор изнесува $K_s = 0,08- 0,09$. Затоа при проектирањето и изградбата треба да се обрне внимание на овој феномен.

3.3 Изведба на геофизички снимања на теренот

Во склоп на теренските истражни работи во истиот период се извршени геофизички испитувања со метода на геосеизмика. Со овие активности се опфатени профилите кај водозафатот и машинската зграда. Истите се извршени со цел поточно дефинирање на литолошките средини во длабочина. Изведени се две снимања по два профила со вкупна должина од 200 m.

➤ **Сеизмичко снимање на вертикални профили (метода на рефракција)**

Со оваа метода се добиваат податоци за брзините на простирањето на лонгитудиналните вертикални бранови (V_p) низ карпи со различна густина со што можат да се добијат податоци за дебелината на насипниот материјал и контактот со цврстата матична карпа. Снимањето се изведува така што на една точка се генерира извор на бран (удар со чекан или експлозија) и мерењето се врши со геофони (Сл. 11).

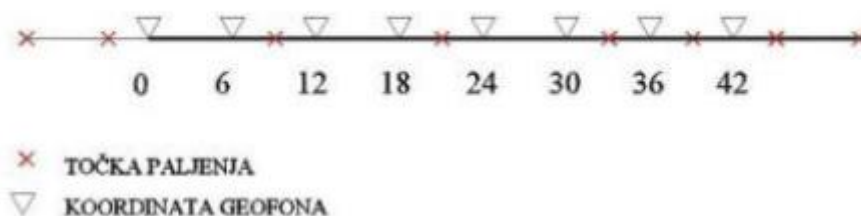


Слика 11. Шематски приказ на сеизмичко снимање (метода на плитка рефракција)

Figure 11. Schematic representation of seismic recording (a method of shallow refraction)

Сеизмичкото снимање е извршено со сизмички инструмент Geometrics EC-3000 со осум геофони (14 Hz).

Шема на снимање на рефракцијата



Слика 12. Распоред на геофоните на позиција на снимање и шематски приказ на снимање на еден профил со плитка рефракција

Table 12. Geophones layout at a recording position and a schematic representation of a single-profile with shallow refractive

➤ **Сеизмичко снимање со метода на хоризонтални геофони**

Со оваа метода, се добиваат податоци за брзините на простирање на брановите на хоризонтално смолкнување, низ карпите кои учествуваат во геолошката градба на истражуваниот терен. Снимањето се изведува на сличен начин како снимање со вертикални геофони, со тоа што ударот за генерирање на хоризонтален бран се изведува со удар по плоча која е поставена на површината на земјата, и вообичаено ударот е вертикално во однос на површината на теренот, односно било каков удар во еластична средина секогаш предизвикува и лонгитудинални и трансферзални бранови во исто време кои не се шират со иста брзина. Секогаш лонгитудиналниот бран се шири со поголема брзина за 1,2 пати од трансферзалниот бран ($V_p \approx 1.2 V_s$) и при анализите на сеизмограмот, прво наидува лонгитудиналниот бран со брзина V_p , а после одредено време Δt наидува трансферзалниот бран со брзина V_s , а тоа се регистрира на сеизмограмот со зголемување на амплитудата. При снимањето се користат осум хоризонтални геофони.

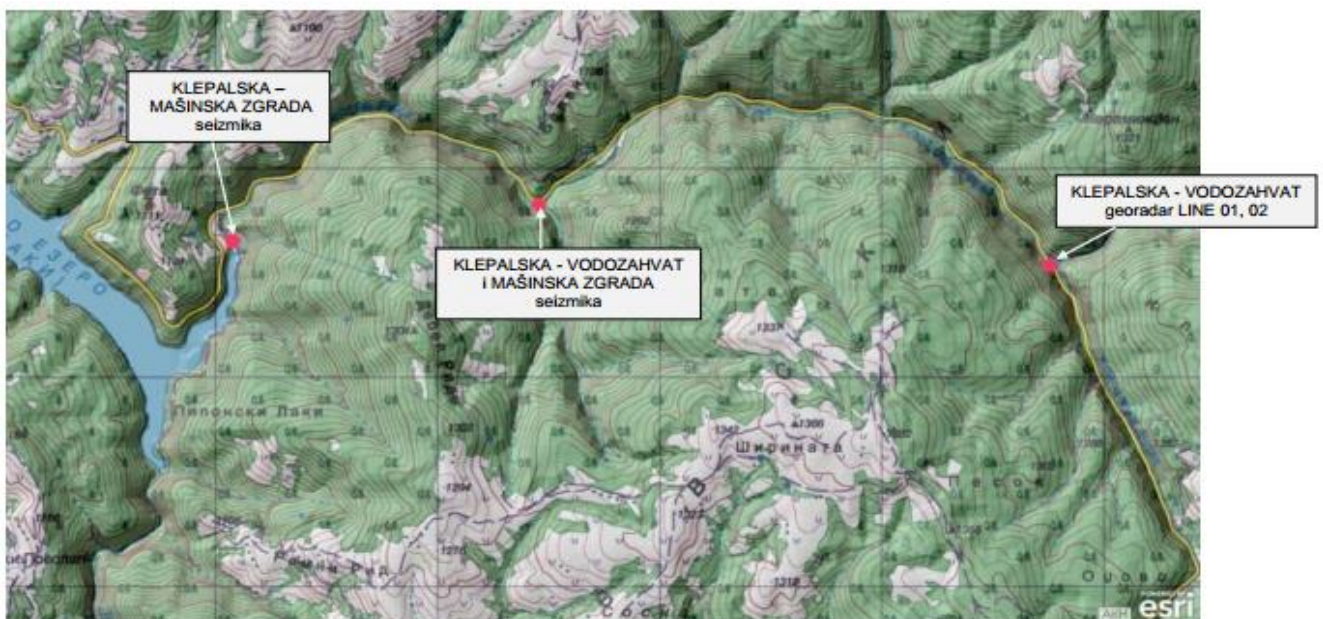
Со анализа на брзините на надолжните (лонгитудинални) P бранови и напречните S-бранови (V_s) можат да се одредат динамичките константи на еластичност (E , ν , G , K), преку кои може да се пресмета динамичкиот Поасонов коефициент (ν). Надолжните (лонгитудинални) P бранови се манифестираат како промена на волуменот на одредено тло (маса). Волуменот може да се менува кај цврстите тела, течностите и гасови, лонгитудиналните бранови се шират низ масите во сите агрегатни состојби. P брановите предизвикуваат прогресивни и регресивни вибрации на честичките во правците на ширење, каде се манифестираат и најголеми брзини на ширење што се од посебна важност за сеизмичките истражувања.

Напречните S-бранови се обидуваат да влијаат на промената на структурниот облик на геомедиумот низ кој се шират, делувајќи смолкнувачки. Овие испитувања се важни за цврстите карпи, кои имаат цврстина на смолкнување,

кои се значајни за сеизмичките истражувања применети во геотехничките истражувања.

По пресметките на брзините на Р брановите се одредуваат дебелините на поединечните слоеви на масите, а со познавање на брзините на Р и S брановите можат да се пресметаат вредностите на Поасоновиот коефициент (ν). Со користење на емпириски податоци за густина на геомедиумот (ρ), а со познавање на брзините на еластичните бранови може да се пресметаат динамичките вредности на Young-ов модул (E_{dyn}), динамички волуменски модул на еластичност (B_{dyn}) и динамички модул на смолкнување (G_{dyn}).

Резултатите од геофизички снимања на теренот под водозафатот се прикажани во Прилог бр. 10.



Слика 13. Точки на кои е извршено сеизмичко снимање

Figure 13. Points on which the seismic recording was performed



Слика 14. Сеизмички профил на водозафат сниман со георадар
Figure 14. Seismic profile of water intake recorded with georadar



Слика 15. Сеизмички профил на водозафат сниман со вертикални и хоризонтални геофони
Figure 15. Seismic profile of water intake recorded with vertical and horizontal geophones

3.4 Анализа на сеизмичките истражувања на истражниот простор

Во продолжение е прикажана анализа на добиените резултати од сите методи користени на истражниот терен.

➤ Георадарско снимање – електромагнетна метода

Најпрво е направено георадарско снимање на два сеизмички профила (Сл. 14) Георадарското снимање е електромагнетна геофизичка метода на истражување која се заснова на емитување на електромагнетни бранови со одредена фреквенција во кратки временски интервали, преку централна единица-сеизмички инструмент преку кабли до предавателни антени.

Првиот георадарски профил **1g – 1g' “Line 1”** (Прилог бр.10) сниман со георадар, прикажува дека од 0-2 m длабочина се простираат глини и распаднати шкрилци, од 2-6 m длабочина се шкрилци во зона на површинско распаѓање и на 6 m длабочина е првиот контакт со компактна карпа.

Вториот георадарски профил **2g – 2g' “Line 2”** (Прилог бр.11), прикажува дека од 0-2 m длабочина се простираат глини и распаднати шкрилци, од 2-6 m длабочина се шкрилци во зона на површинско распаѓање и на 6 m длабочина е првиот контакт со компактна карпа.

Добиени се исти резултати за дебелината на слоевите на масите на двата георадарски профила.

➤ Сеизмичко снимање на плитка рефракција на профили

Снимени се два сеизмички профила на истражниот терен, од кои на едниот профил **1v – 1v'** е снимена брзината на V_p брановите со метода на вертикални геофони (Прилог бр.13) и на другиот профил **1н – 1н'** брзината на хоризонталните V_s бранови со метода на хоризонтални геофони (Прилог бр.12).

Од профилот **1v – 1v'** се отчитува дека од 0-1 m длабочина е хумусниот слој и почва каде брзината на V_p бранот се движи од 300-500 m/s, 1-2 m длабочина се простираат распаднати шкрилци каде брзината на V_p бранот се движи од 500-1200 m/s, од 2 m до приближно 8 m длабочина се простираат средно распаднати шкрилци и низ таа средина V_p брановите се пробиваат со 1200-2600 m/s. И под 8 m длабочина од површината на теренот се отчитани компактните шкрилци каде брзината на V_p бранот се движи од 2600-3000 m/s.

Од профилот **1н – 1н'** се отчитува дека од 0-1 m длабочина е хумусниот слој и глина (меко тло) каде брзината на V_s бранот се движи од 150-250 m/s, 1-2 m длабочина се простираат распаднати шкрилци (средно цврсто тло) каде

брзината на V_s бранот се движи од 250-450 m/s, од 2-4 m длабочина се простираат средно распадни шкрилци (цврсто тло) и низ таа средина V_s брановите се простираат со 4500-700 m/s, од 4-8 m длабочина се компактни шкрилци (компактна карпа) каде брзината на V_s бранот се простира од 700-1200 m/s и под 8 m длабочина од површината на теренот се отчитани компактните шкрилци (интактна карпа) каде брзината на V_s бранот се простира >1200 m/s.

Пресметките кои ги вклучуваат брзините на V_p и V_s брановите, Поасоновиот коефициент и динамичките вредности на Young-ов модул (E_{dyn}), динамички волуменски модул на еластичност (B_{dyn}) и динамички модул на смолкнување (G_{dyn}) се прикажани во Прилог бр.13.

3.5 Корелација помеѓу сеизмичките и геомеханичките параметри

Сите геофизички методи се базираат на регистрирање на определен параметар. Недостатоците на рефрактивната метода се јавуваат во случај кога одреден слој има редуцирана брзина на определена длабочина и истата повеќе не може да се користи.

Во средина со одредена еластичност т.е. за изотропни хомогени средини зависноста на брзината на простирање на сеизмичките еластични бранови е определена со равенствата:

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}; \quad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Каде:

λ, μ – Ламеови коефициенти

ρ – густина;

V_p – брзина на простирање на лонгитудинален бран;

V_s – брзина на простирање на трансверзален бран.

Брзините V_p и V_s можат да бидат претставени преку Јунговиот модул на еластичност E , модулот на смолкнување G и поасоновиот коефициент ν .

$$V_p = \sqrt{\frac{1}{\rho} \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1+2\nu)}}; \quad V_s = \sqrt{\frac{E}{\rho \cdot 2(1+\nu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Од претходно наведените равенства се определува зависноста на брзините V_p и V_s од геомеханичките параметри на геолошките средини.

➤ **Врска помеѓу сеизмичките брзини и геомеханичките параметри**

Магистерскиот труд се базира на определување на корелација меѓу брзините на простирање на еластичните бранови V_p и V_s и геомеханичките параметри на истражниот простор. Од физички аспект, простирањето на еластичните бранови се определува во средина со познати еластични карактеристики, теренот се карактеризира како пластична средина т.е. како зона на пластичност. Теоретските разлики помеѓу еластичните и пластичните карактеристики на теренот како и неговата нехомогеност, ја намалуваат прецизноста при определувањето на геомеханичките параметри преку брзините на простирање V_p и V_s , во однос на лабораториските испитувања.

Предноста на геофизичките (сеизмичките) испитувања во однос на геомеханичките испитувања на картираниот материјал, е тоа што сеизмичките испитувањата обезбедуваат релевантни податоци за целиот истражен простор, додека истражните дупнатини ги определуваат карактеристиките само за една определена точка.

Деформирање во теренот настанува кога тангенцијалната сила G го надминува отпорот на деформирање, или кога $G \geq s$. Знаејќи дека:

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \text{ и } s = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi$$

Доколку претходната равенка за тангенцијалната сила G се замени со изразот за отпорот на деформација s , се добива дека:

$$V_s = \sqrt{\frac{\sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi}{\rho}} \quad \text{or} \quad \operatorname{tg}\varphi = \frac{\rho V_s^2}{\sigma}$$

Од последните равенства се утврдува дека аголот на внатрешно триење за определена средина може да се определи преку густината ρ , брзината V_s и нормалната сила σ . Доколку нема дополнителни сили, нормалната сила може да се дефинира како геостатична.

Од сите вредности кои се истражени и добиени во оваа студија, може да се забележи дека брзината на простирање на сеизмичките бранови е во корелација со геомеханичките параметри. Според добиените податоци може да се заклучи дека високите брзини на простирање во принцип значат дека материјалот има голема компактност и кохезија, додека помалите брзини на простирање индицираат раздробени зони или почви со помала кохезија.

ЗАКЛУЧОК

Согласно пренесените теориски и истражувачки податоци во магистерскиот труд се дојде до следните заклучни согледувања:

- 1) Карпите претставуваат структурен дел од целокупната литосфера и тие во својот состав содржат повеќе минерали. Исклучок се некои карпи кои може во својот состав да имаат само еден минерал, од каде е јасно дека составот на карпата е поврзан и со самата природа на карпата, видот на карпата. Почвите се разликуваат едни од други според почвениот профил од каде се добиваат информации за нивниот состав, структура и квалитет. При тоа, секоја од почвите има своја намена и квалитети, чии потенцијали може да бидат искористени.
- 2) Пред отпочнување со теренските истражни работи е неопходно да се изврши рекогносцирање на теренот долж трасата на цевководот, водозафатот и машинската зграда, а со цел запознавање со инженерско геолошката, хидрогеолошката и геотехничката проблематика и евентуалната потреба од реамбулација (прекартирање) на основната траса. За подетално прикажување на теренот по трасата на цевководот, водозафатот и машинската зграда и за изработка на структурата на магистерскиот труд се применети следниве теренски истражни работи:
 - *Инженерско геолошко картирање на теренот;*
 - *Изработка на истражни бунари;*
 - *Картирање на сите бунари;*
 - *Земање на оптимален број на пореметени и непореметени примероци.*
- 3) Анализирајќи ја кохезијата се дојде до заклучокот дека кохезијата претставува молекуларна привлечна сила што дејствува помеѓу соседните честички на супстанцијата. Најсилно влијание има врз материји во цврста состојба, многу помало влијание има врз супстанции во течна состојба, а влијанието во однос на гасовите е речиси сведено на нула. Органските

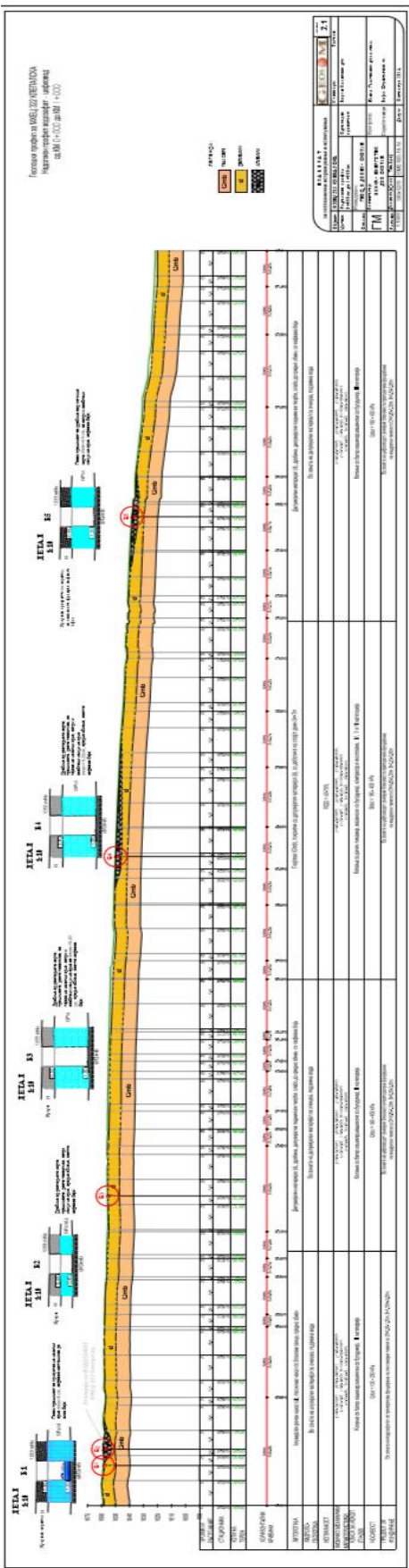
супстанции ретко имаат силни кохезиони сили бидејќи органската материја е ретко поларна. Кохезијата најчесто се користи со цел да се објасни површинскиот напон и капиларноста.

- 4) Кај сеизмичките методи, од точката на побудување на брановите на површината на земјата, на одредени растојанија се поставуваат геофони 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.
- 5) Со рефлексивната метода се одредуваат длабочината и наклоните на граничните рамнини кои ги раздвојуваат различните еластични 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.
- 6) 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. 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.

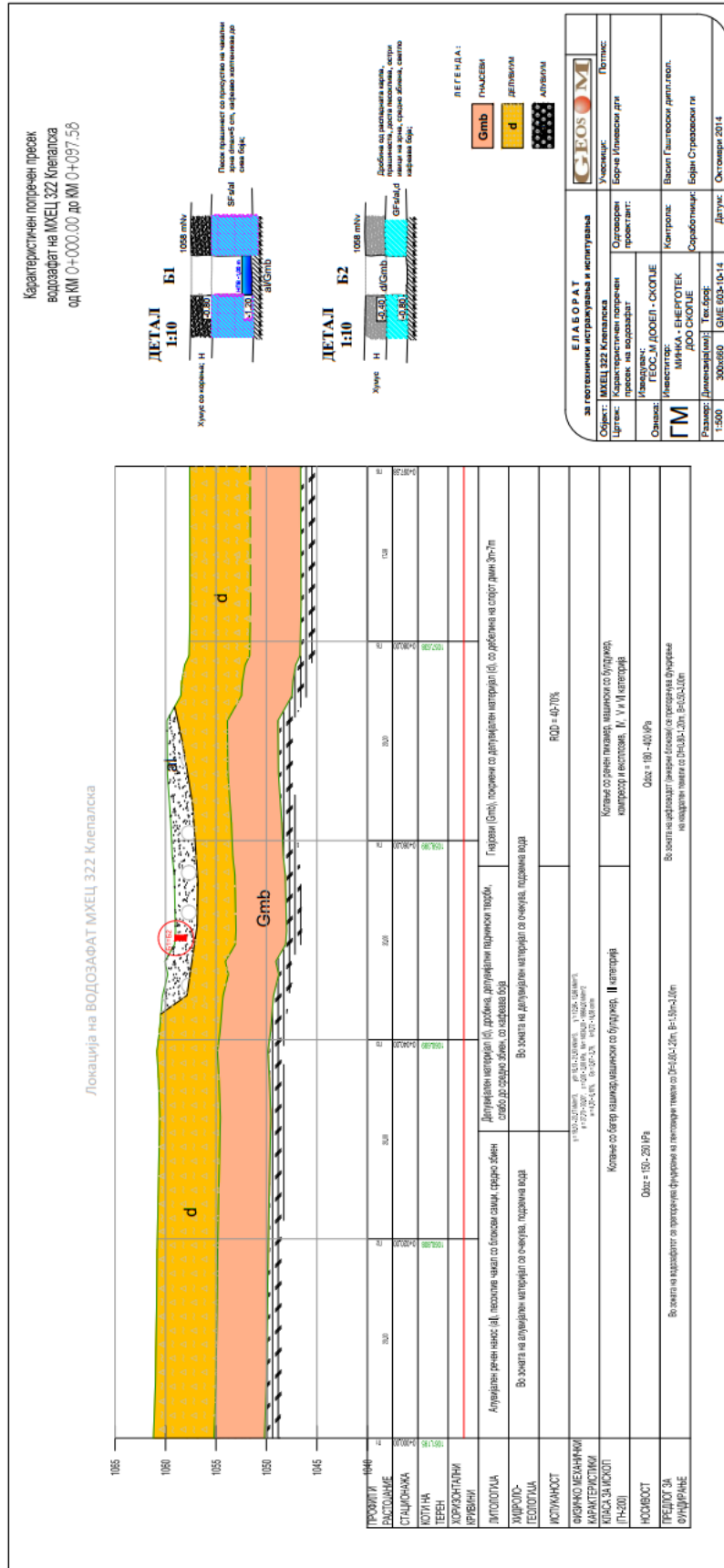
- 7) Сеизмичките истражувања ги дефинираат геомеханичките параметри на целиот истражен простор, додека геомеханичките истражувања со анализа на јадрата од дупчењата ги дефинираат параметрите во точката на дупчењето.
- 8) Геофизичките истражувања треба да ги дефинираат точките на будење за вадење на јадро кое подоцна ќе се испитува лабораториски.
- 9) Со податоците од геомеханичката лабораторија се прави реинтерпретација на геотехничкиот модел добиен од сеизмичките истражувања.

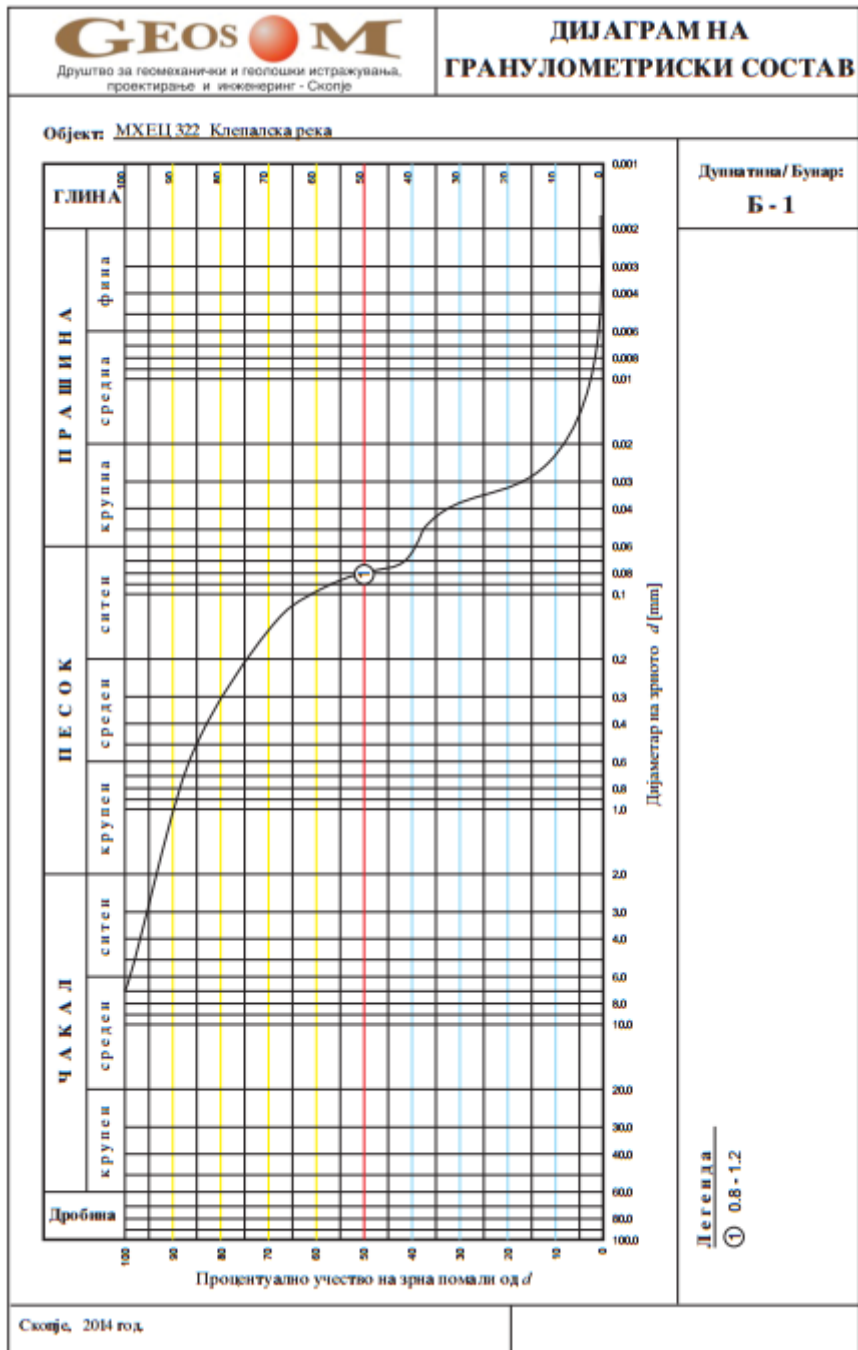
ГРАФИЧКИ ПРИЛОЗИ

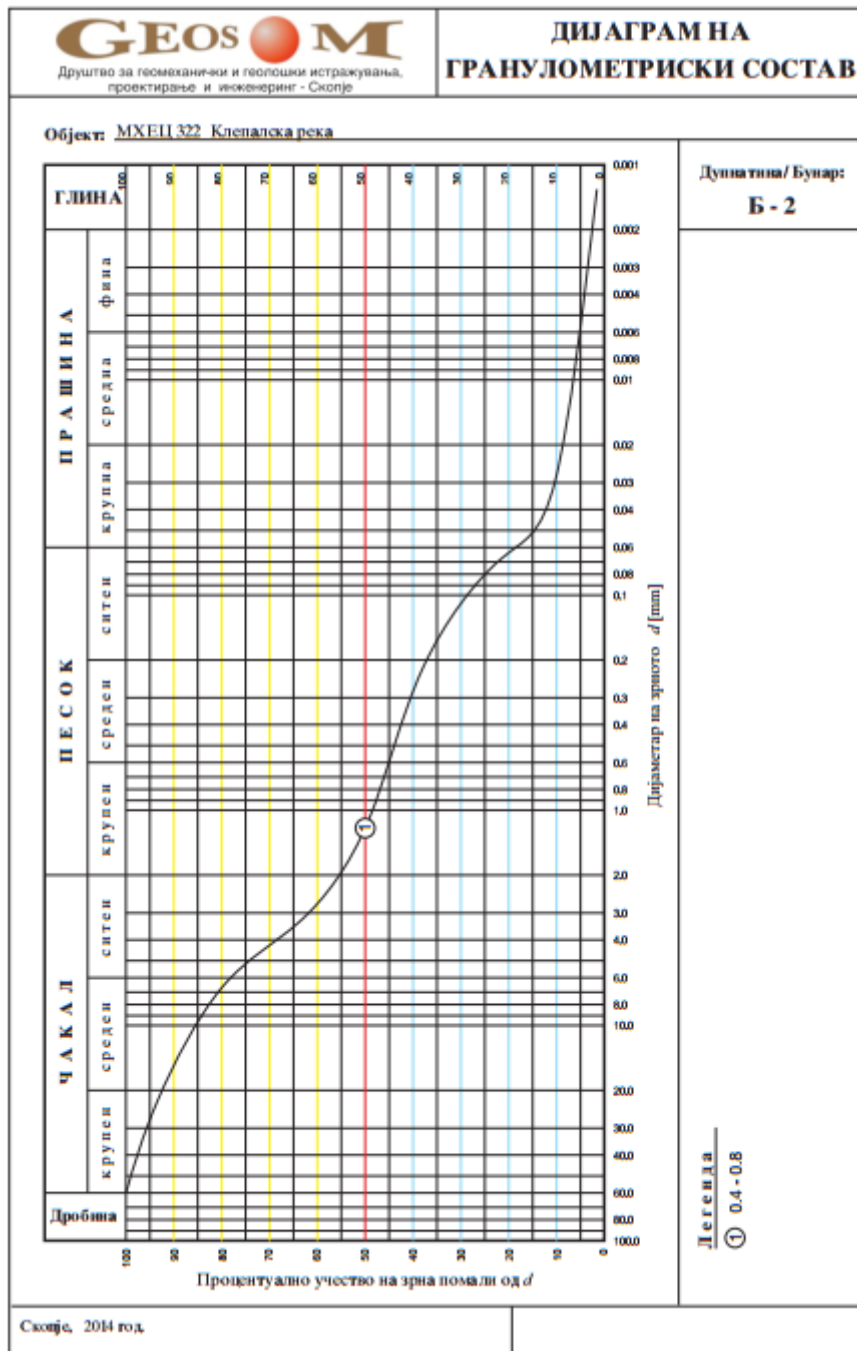
[КОРЕЛАЦИЈА ПОМЕЃУ СЕИЗМИЧКИТЕ БРЗИНИ И ГЕОМЕХАНИЧКИТЕ ПАРАМЕТРИ НА ИСТРАЖНИОТ ПРОСТОР]



Прилог бр. 1









Друштво за геомеханички и геолошки истражувања,
проектирање и инженеринг - Скопје

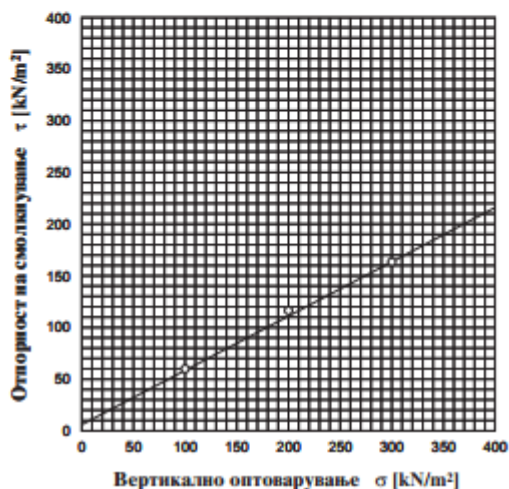
ДИЈАГРАМ НА ЈАКОСТ НА СМОЛКНУВАЊЕ

Објект: МХЕЦ 322 Клепалска река

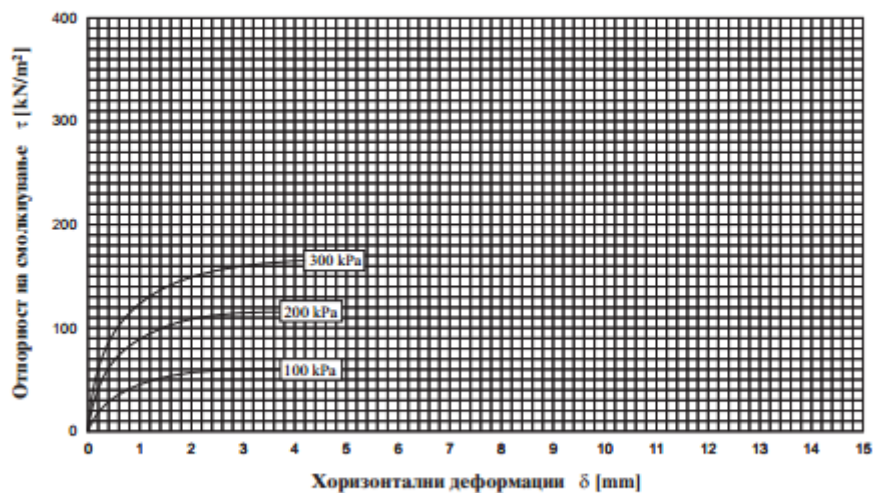
Бунар/Дупнатина: Б - 1

Длабочина: 0.90 - 1.20

Состојба на примерок	пореметен	
Димензии	6x6x1.9	[cm]
Влажност пред опит	6.25	[%]
Влажност по опит	11.0	[%]
Волуменска тежина	19.2	[kN/m ³]
Сува волум. тежина	18.07	[kN/m ³]
Консолидација	24	[h]
tg φ	0.520	
Агол внат. триење - φ	27.5	[°]
Кохезија - c	3.00	[kPa]



ТЕК НА СМОЛКНУВАЊЕ



Скопје, 2014 год.



Друштво за геомеханички и геолошки истражувања,
проектирање и инженеринг - Скопје

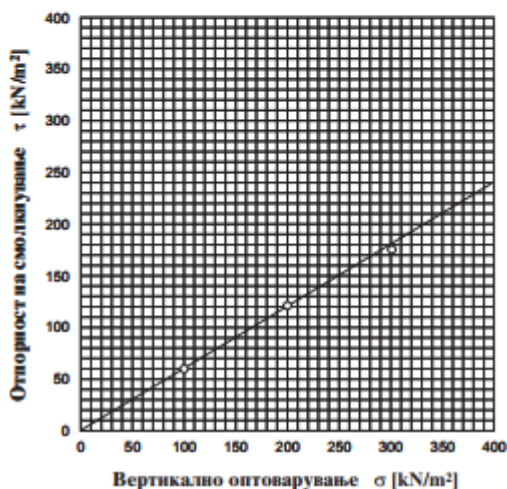
ДИЈАГРАМ НА ЈАКОСТ НА СМОЛКНУВАЊЕ

Објект: МХЕЦ 322 Клепалска река

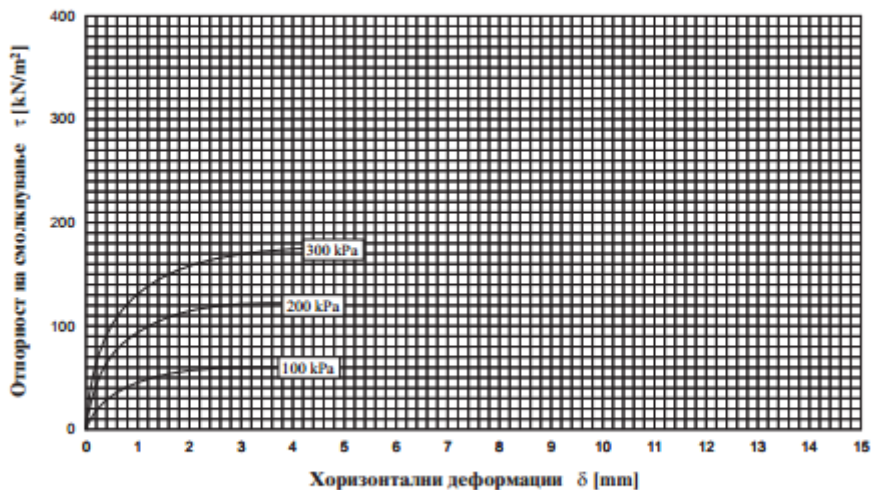
Бувар/Душнатина: Б - 2

Длабочина: 0.50 - 0.80

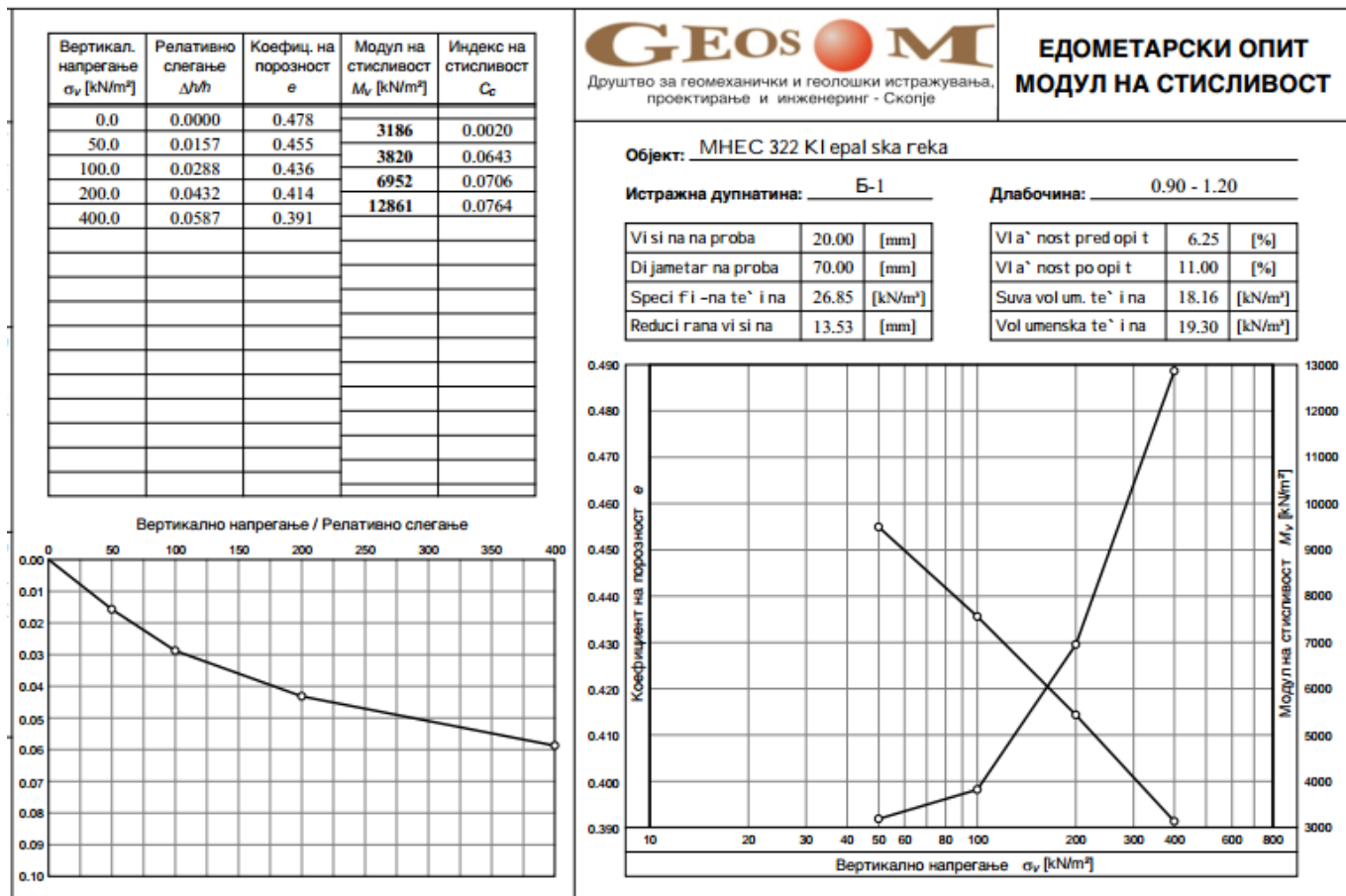
Состојба на примерок	пореметен	
Димензии	6x6x1.9	[cm]
Влажност пред опит	6.30	[%]
Влажност по опит	11.5	[%]
Волуменска тежина	20.35	[kN/m ³]
Сува волум. тежина	19.14	[kN/m ³]
Консолидација	24	[h]
tg φ	0.596	
Агол внат. триење - φ	30.8	[°]
Кохезија - c	0.00	[kPa]



ТЕК НА СМОЛКНУВАЊЕ



Скопје, 2014 год.



**ЕДОМЕТАРСКИ ОПИТ
МОДУЛ НА СТИСЛИВОСТ**

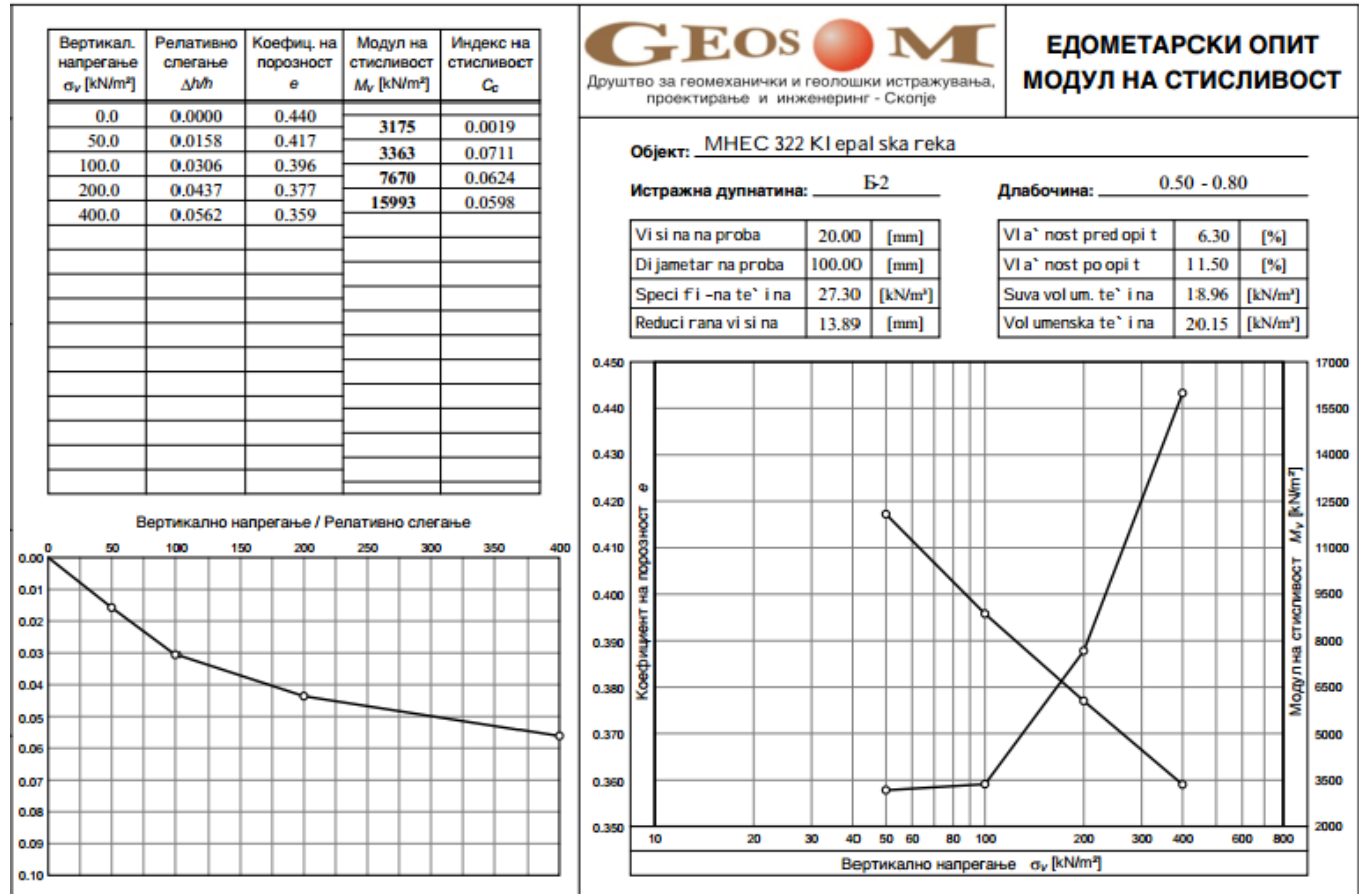
Објект: МНЕС 322 КИ епалска река

Истражна дупнатина: Б-1

Длабочина: 0.90 - 1.20

Ви си на на проба	20.00	[mm]
Дијаметар на проба	70.00	[mm]
Специфична тежина	26.85	[kN/m ³]
Редукцирана ви си на	13.53	[mm]

Влажност пред опит	6.25	[%]
Влажност по опит	11.00	[%]
Сува волуменска тежина	18.16	[kN/m ³]
Волуменска тежина	19.30	[kN/m ³]

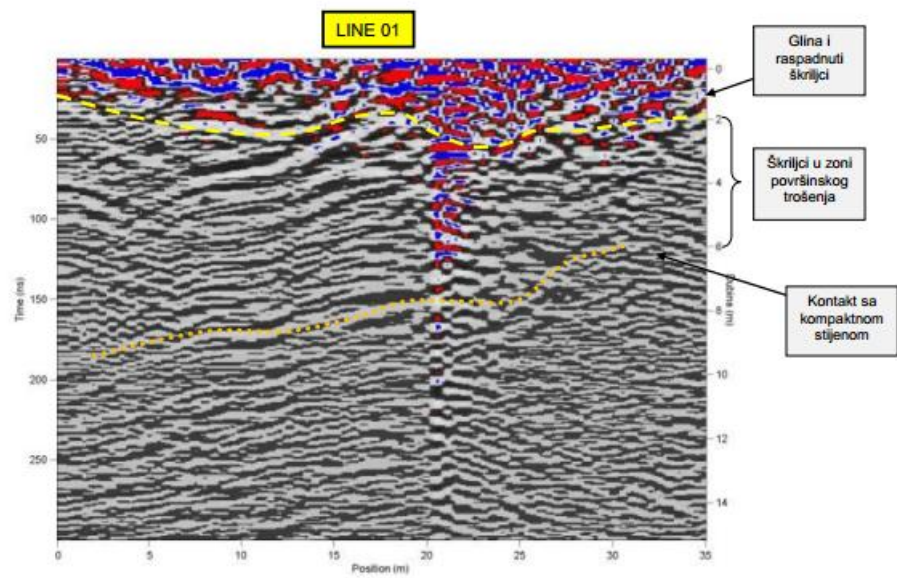


ИСПИТУВАЊЕ НА ТОЧКАСТА ЈАКОСТ НА ПРИТИСОК (PLT)-Is

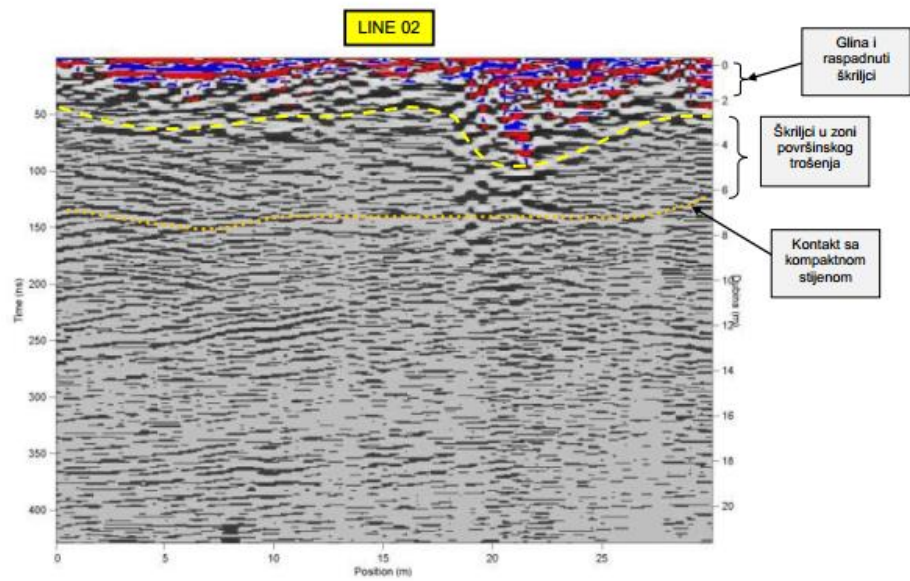
Објект: МХЕЦ 322 Клепалска река

Проба	Мерна точка	Испитување	Локација	A/B (cm)	H (mm)	H ² (mm ²)	Сила P(kN)	Точкаста јакост Is (MPa)	Едноаксијална јакост на притисок σ _p (MPa)
1	Б - 1	1	VodozaFat	4.1/4.5	41	1681	9.00	5.4	117.7
2	Б - 2	2	VodozaFat	5.5/5.8	55	3025	18.20	6.0	132.2
3	Б - 3	3	Cevkovod	4.3/4.7	43	1849	15.00	8.1	178.3
4	Б - 4	4	Cevkovod	5.75/5.91	57.5	3306.3	19.10	5.8	127.0
5	Б - 6	5	Cevkovod	4.2/3.8	42	1764	14.60	8.3	181.9
6	Б - 7	6	Cevkovod	5.3/5.4	53	2809	17.20	6.1	134.6
7	Б - 8	7	Cevkovod	4.85/5.00	48.5	2352.3	17.60	7.5	164.5
8	Б - 9	8	Cevkovod	5.15/5.34	51.5	2652.3	18.25	6.9	151.2
9	Б - 10	9	Cevkovod	3.2/3.4	32	1024	9.00	8.8	193.2
10	Б - 10	10	Cevkovod	4.85/4.15	48.5	2352.3	17.85	7.6	166.8

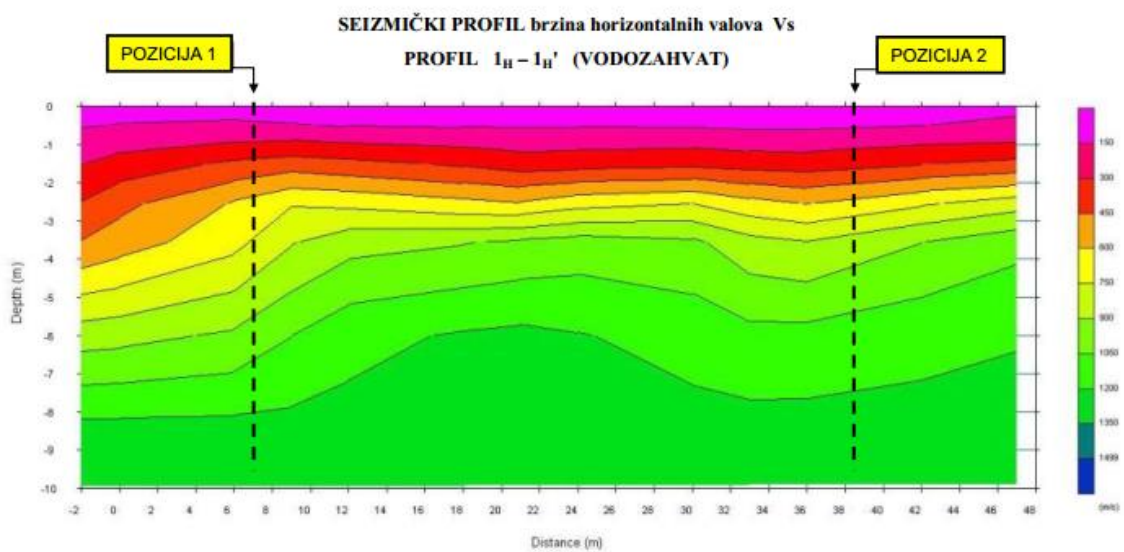
Испитани се вкупно 10 (десет) проби со потекло од водозафат и цевководот на Клепалска река.



GEORADARSKI PROFIL 2_G - 2_{G'}
(VODOZAHVAT)

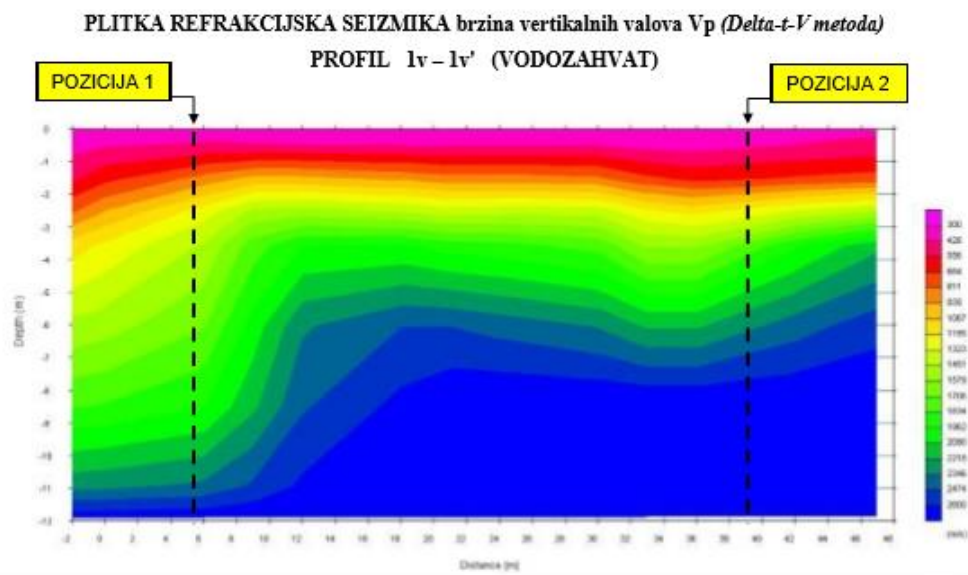


Lokalitet: Klepalska reka, Berovo, Makedonija



LEGENDA BRZINA V_s VALOVA:

	150 - 250 m/s Humusni sloj i glina → mekano tlo		250 - 450 m/s Raspadnuti škriljci → srednje tvrdo tlo		450 - 700 m/s Srednje raspadnuti škriljci → tvrdo tlo		700 - 1200 m/s Kompaktni škriljci → kompaktna stijena		> 1200 m/s Kompaktni škriljci → intaktna stijena
--	---	--	---	--	---	--	---	--	--



LEGENDA BRZINA V_p VALOVA:

 300 - 500 m/s Humusni sloj i zemlja	 500 - 1200 m/s Raspadnuti škriljci	 1200 - 2600 m/s Srednje raspadnuti škriljci	 2600 - 3000 m/s Kompaktni škriljci
--	---	--	---

**KLEPALSKA VODOZAHVAT -
POZICIJA 1**

DUBINA (m)	Vp	Vs	ρ	Poissonov koeficijent ν	Young E_{din}	Dinam. Modul posmika G_{din}	Bdin	Vp/Vs
0.0 - 1.0	450	180	1.90	0.40	172954	61560	302670	2.50
1.0 - 2.0	600	280	1.90	0.36	405408	148960	485387	2.14
2.0 - 4.0	1300	600	1.90	0.36	1866857	684000	2299000	2.17
4.0 - 9.0	1900	900	1.90	0.36	4171789	1539000	4807000	2.11
> 9.0	2600	1300	1.90	0.33	8562667	3211000	8562667	2.00

**KLEPALSKA VODOZAHVAT -
POZICIJA 2**

DUBINA (m)	Vp	Vs	ρ	Poissonov koeficijent ν	Young E_{din}	Dinam. Modul posmika G_{din}	Bdin	Vp/Vs
0.0 - 1.0	450	180	1.90	0.40	172954	61560	302670	2.50
1.0 - 2.0	600	280	1.90	0.36	405408	148960	485387	2.14
2.0 - 3.0	1300	600	1.90	0.36	1866857	684000	2299000	2.17
3.0 - 7.0	1900	800	1.90	0.39	3385966	1216000	5237667	2.38
> 7.0	2600	1200	1.90	0.36	7467429	2736000	9196000	2.17

ПРИЛОГ ФОТОГРАФИИ









КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- 1) Anderson, J.L. and Walker, I.J. (2006) *Airflow and sand transport variations within a backshore-parabolic dune plain complex: NE Graham Island, British Columbia, Geomorphology, Canada,,p. 77*
- 2) Arkell, W.J. (1994) "Whitsun Field Meeting, 1934, The Isle of Purbeck", *Proceedings of the Geologists' Association, Vol.4, No.5, pp. 412-419*
- 3) Belamy,P. (2004) "Performance criteria for soil monitoring", *Proceeding of Eurosoil conference, Freiburg, p.200-201.*
- 4) Boxall , S.R. (1989) *Environmental Monitoring Poole Bay 1989. Surface Drifter Study: Block 98/6 for BP Exploratio, Southampton University, Southampton, p.222*
- 5) Bradley,R. (2004) *UK soil database for modelling soil carbon fluxes and land use for the national carbon dioxide inventory. Defra Project: SP0511. http://www2.defra.gov.uk/research/project_data/Default.asp*
- 6) Cann,R. (1971), "A Bibliography of Ocean-Floor Rocks", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 268, No. 1192, pp. 737-743*
- 7) Dufour, M.(1998) *Spatial Information Systems for Environmental Impact Assessment in the UK. In: Land Information Systems: Developments for planning the sustainable use of land resources.*
- 8) Hallet,S. (1995) *Water retention, porosity, and density of field soils. Soil Survey Technical Monograph Harpenden, UK, p.77*
- 9) Hallet,S. (2006) *Towards a World Soil Survey Archive and Catalogue", Soil Use And Management. 3*

- 10) Hodgson, J. (1991) *Soil Survey – a basis for European soil protection. Soil and Groundwater Report 1. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, p.214*
- 11) 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*
- 12) Federico, D. (2003) *Grid Systems Deployment & Management Using Rocks, IEEE International Conference on Cluster Computing, San Diego, p.87*
- 13) Jarvis, M. (1999) *Soil Information and its Application in the United Kingdom: An Update. In: Soil Resources for Europe. P. Bullock, R.J.A. Jones and L. Montanarella (eds.). European Soil Bureau Research Report No. 6. EUR 18991, p.159-168*
- 14) Jarvis, M. (1994) *Use of soil maps to predict the incidence of corrosion and the need for iron mains renewal. Journal of the Institution of Water and Environmental Management 8, (1) 68-75.*
- 15) Јовановски М., (2013): *Инженерска геологија, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје, Градежен факултет – Скопје*
- 16) 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*
- 17) Krvavac A., (2009). *Metodologija geotehničkog modeliranja karbonatnih stijenskih kompleksa Doktorska disertacija, Univerzitet “Sv. Kiril I Metodij” Skopje, Građevinski Fakultet – Skopje*

- 18) Kujundzic B. (1973): *Sadržina i metodika izrade inženerskogeoloških preseka, modela i geotehničkih modela*, Saopštenja IX Kongresa Jugoslovenskog komiteta za visoke brane, Zlatibor, 1973
- 19) Loveland, P. (2001) *Identification and development of a set of national indicators of soil quality. Environment Agency R&D Technical report P5-053/2/TR. Environment Agency, Bristol, pp.44-47*
- 20) Malinowski J., (1967): *Geologia Inzynerska*, Wydawnictwa geologiczne, Warszawa
- 21) Papadopoulos, Ph. (2001) *NPACI Rocks: Tools and Techniques for Easily Deploying Manageable Linux Clusters*, IEEE International Conference on Cluster Computing, San Diego, p.123
- 22) Pavlović N. (1996) , *O metodologiji geotehničkog modeliranja*, International Conference, Trends of Developments on Geotechnics, Beograd, p. 66
- 23) Proctor, M. (1989) *Interpretations of the digital EC soil map for agricultural and environmental applications in the U.K. In: Agriculture: Application of computerized EC soil map and climate data (ed J. Feyen)*, pp.107-118
- 24) Stewart, M. (2002) *Metamorphic rocks*, Reed Educational and Professional Publishing, Chicago, Illinois, p.111
- 25) Stilborg B. (1986): *Profesional users handbook for Rock Bolting*, Trans Tech publications, 1986
- 26) Terzaghi K. (1943): *Theoretical soil mechanics*, John Willey and sons, New York, (1943)
- 27) Waltham T., 2002: *Foundations of Engineering Geology, Second Edition*, Spon Press, London and New York

28) <https://ocw.mit.edu/courses/earth-atmospheric-and-planetary-sciences/12-109-petrology-fall-2005/> (05.05.2017)

29) <https://www.winefrog.com/definition/1799/pedology> (05.05.2017)