



УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
РУДАРСКИ ФАКУЛТЕТ ПРИЈЕДОР



Мр Александар Радоје Голијанин, дипл. инж. геол.

**УТИЦАЈ ИНЖЕЊЕРСКОГЕОЛОШКИХ
СВОЈСТАВА ДУРМИТОРСКОГ ФЛИША НА
ГЕОТЕХНИЧКЕ УСЛОВЕ ИЗГРАДЊЕ
ОБЈЕКТА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Приједор, 2019.



UNIVERSITY OF BANJA LUKA
FACULTY OF MINING PRIJEDOR



Aleksandar Radoje Golijanin

**THE IMPACT OF ENGINEERING
GEOLOGICAL PROPERTIES OF FLYSCH ON
GEOTECHNICAL CONDITIONS FOR
CONSTRUCTION**

DOCTORAL DISSERTATION

Prijedor, 2019.

УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ

РУДАРСКИ ФАКУЛТЕТ ПРИЈЕДОР

Ментор: др Драгутин Јевремовић, редовни професор

Универзитет у Београду, Рударско - геолошки факултет Београд

Наслов докторске дисертације:

УТИЦАЈ ИНЖЕЊЕРСКОГЕОЛОШКИХ СВОЈСТАВА ФЛИША НА ГЕОТЕХНИЧКЕ
УСЛОВЕ ИЗГРАДЊЕ ОБЈЕКТА

Резиме:

Овај рад представља покушај обједињавања резултата врло скромних инжењерско-геолошких истраживања у подручјима које гради дурмиторски флишни комплекс с циљем јасног дефинисања геотехничких услова изградње различитих објеката у овој литолошкој формацији. У том смислу коришћени су сви расположиви подаци до којих је аутор могао доћи, те на један свеобухватан начин синтетизовани су у овом раду, с јасним циљем дефинисања геотехничких услова изградње објеката путне инфраструктуре (саобраћајница, мостова, тунела), као и могућности изградње хидротехничких објеката и формирања акумулација у теренима које изграђује дурмиторски флишни комплекс.

Дурмиторски флишни комплекс представља врло сложену литолошку формацију, која је настала у врло специфичним геолошким условима, те као такав представља посебан изазов приликом синтезе постојећих резултата инжењерскогеолошких истраживања, као и резултата истраживања до којих сам дошао током реализације одређених пројеката у којима сам и сам учествовао.

Анализа и синтеза резултата детаљних инжењерскогеолошких и геотехничких истраживања, на подручјима које гради дурмиторски флиш, омогућиће да се сагледају регионалне карактеристике појава нестабилности. Дефинисање геотехничких модела терена, поред теоретског имаће и примјењени допринос за потребе пројектовања и изградње саобраћајница, мостова, тунела и других објеката. То ће свакако олакшати пројектантима да одаберу, са геотехничког аспекта повољне локације важнијих

објеката, најповољније варијанте саобраћајница, најпогоднија преградна мјеста за евентуалну градњу брана итд.

У научној области инжењерска геологија до сада није било значајнијих радова, па ова теза представља значајан документ као допринос развоју регионалне инжењерске геологије, као и геотехнике, која као научна дисциплина припада техничкој групацији наука.

Кључне ријечи: дурмиторски флиш, инжењерскогеолошка својства, геотехнички услови, стабилност косина, модели терена

Научна област: Инжењерство и технологија

Научно поље: Инжењерство животне средине

Класификациона ознака (CERIF): R470, Хидрогеологија, инжењерска географија и инжењерска геологија

УДК 624 13:55 (497.16) (043.3)

UNIVERSITY OF BANJA LUKA
FACULTY OF MINING PRIJEDOR

Mentor:

Prof. Dragutin Jevremović, DSc

University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology

Title of doctoral dissertation:

THE IMPACT OF ENGINEERING GEOLOGICAL PROPERTIES OF FLYSCH ON
GEOTECHNICAL CONDITIONS FOR CONSTRUCTION

Summary:

This dissertation aims to consolidate the results of very modest engineering and geological researches in the areas composed of the Durmitor flysch complex, with the aim of clearly defining the geotechnical conditions for construction of various facilities in the lithological formation. In this regard all the available data that the author could have obtained were used and they are synthesized in a comprehensive manner in this paper, with the clear aim of defining geotechnical conditions for construction of road infrastructure (roads, bridges, tunnels), as well as possibility of constructing hydrotechnical facilities and formation of accumulations in the terrains composed of the Durmitor flysch complex.

The Durmitor flysch complex represents a very complex lithological formation, created in specific geological conditions and as such it represents a particular challenge in synthesizing the existing results of engineering geological researches, as well as the research results I have obtained during implementation of the projects in which I participated.

Analysis and synthesis of the results of detailed engineering geological and geotechnical researches in the areas composed of the Durmitor flysch will enable consideration of the regional characteristics of instabilities. In addition to theoretical contribution, defining geotechnical terrain models shall also make applied contribution to designing and construction of roads, bridges, tunnels and other facilities. From the geotechnical aspect, this will certainly make it easier for designers to choose favourable locations for important facilities, the most appropriate variations of roads, the most suitable barrier points for prospective dam construction, etc.

In the scientific area of engineering geology, there have been no significant papers so far and this thesis represents a significant document as a contribution to development of the regional

engineering geology, as well as geotechnics which, as a scientific discipline, belongs to the engineering sciences group.

Key words: the Durmitor flysch, engineering geological properties, geotechnical conditions, slope stability, terrain models.

Scientific area: Engineering and Technology

Scientific field: Environmental Engineering

Classification Code (CERIF): R470, Hydrogeology, Engineering Geography and Engineering Geology

UDK 624 13:55 (497.16) (043.3)

Прошле су године многе

И у мојим грудима је бол некако одуминуо,

Ал` у оку... још увијек стоји суза.....

Сјенима вољеног оца

Александар

САДРЖАЈ

1. УВОД	16
2. ФИЗИЧКО – ГЕОГРАФСКА СВОЈСТВА ТЕРЕНА	19
2.1. Географски положај дурмиторског флишног комплекса.....	19
2.2. Морфолошка својства терена.....	21
2.3. Хидрографска и хидролошка својства истражног подручја	24
2.3.1. Хидрографска својства терена.....	24
2.3.2. Хидролошка својства.....	29
2.4. Климатолошка својства истражног простора.....	31
2.5. Саобраћајна инфраструктура истражног простора.....	32
3. ГЕОЛОШКА СВОЈСТВА ДУРМИТОРСКОГ ФЛИШНОГ КОМПЛЕКСА.....	33
3.1. Литостратиграфски састав	33
3.2. Тектонска својства дурмиторског флишног комплекса	43
3.3. Хидрогеолошка својства дурмиторског флиша	49
3.3.1. Опште.....	49
3.3.2. Подземне воде у клизиштима	53
3.3.3. Подземне воде у дурмиторском флишу.....	76
3.4. Физичко механичка својства стијенских маса	78
3.5. Сеизмолошка својства истражног простора.....	82
3.5.1. Увод.....	82
3.5.2. Сеизмичка опасност – сеизмички хазард	83
3.5.3. Сеизмички ризик.....	93
3.5.4. Утицај сеизмичке активности на савремене геодинамичке процесе	96
3.5.5. Препоруке за дефинисање инжењерских параметара сеизмичности	99
4. ГРАВИТАЦИОНИ ПАДИНСКИ ПРОЦЕСИ	101
4.1. Увод.....	101
4.2. Клизишта.....	102
4.2.1. Узроци настанка клизишта у појасу дурмиторског флиша	103
4.2.2. Основни елементи клизишта	105
4.2.3. Опште подјеле клизишта.....	108
4.2.4. Инжењерскогеолошка истраживања клизишта	112
4.3. Одрони.....	115
4.3.1. Опште.....	115
4.3.2. Зона одроњавања и елементи одрона.....	117
5. КЛИЗИШТА И ОДРОНИ У ПОЈАСУ ДУРМИТОРСКОГ ФЛИШНОГ КОМПЛЕКСА	121
5.1. Опште	121

5.2.	Типови конструкција терена у дурмиторском флишном комплексу	122
5.3.	Одрони у дурмиторском флишу	141
6.	МЕТОДЕ И ПОСТУПЦИ СТАБИЛИЗАЦИЈЕ КОСИНА	145
6.1.	Увод	145
6.2.	Методе и поступци санације клизишта	145
6.2.1.	Промјена геометрије пресјека	146
6.2.2.	Дренирање	147
6.2.3.	Дренажне бушотине, бунари и галерије	147
6.2.4.	Ископ дренажних канала	148
6.2.5.	Електроосмоза	149
6.2.6.	Потпорне конструкције	151
7.	ГЕОТЕХНИЧКИ УСЛОВИ ИЗГРАДЊЕ САОБРАЋАЈНИЦА У ТЕРЕНИМА ФЛИШНОГ КОМПЛЕКСА	157
7.1.	Увод	157
7.2.	Стабилност ископа приликом градње саобраћајница	158
7.2.1.	Утицај слојевитости на стабилност косина у усјецима и засјецима	159
7.2.2.	Утицај слојевитости на стабилност насипа	164
7.2.3.	Утицај површинских и подземних вода на стабилност ископа и насипа	170
8.	ГЕОТЕХНИЧКИ УСЛОВИ ИЗГРАДЊЕ МОСТОВА У ТЕРЕНИМА ФЛИШНОГ КОМПЛЕКСА	173
8.1.	Увод	173
8.2.	Одређивање граничног и дозвољеног оптерећења	174
8.3.	Прорачун слијегања темеља	176
8.4.	Анализа клизања стубова дуж пукотина и површина слојевитости	177
9.	ГЕОТЕХНИЧКИ УСЛОВИ ИЗГРАДЊЕ ПОДЗЕМНИХ ОБЈЕ-КАТА У ТЕРЕНИМА ФЛИШНОГ КОМПЛЕКСА	179
9.1.	Увод	179
9.2.	Инжењерскогеолошки фактори значајни за изградњу подземних објеката	180
9.3.	Геолошке и инжењерскогеолошке појаве у подземним објектима	184
9.4.	Геотехнички услови изградње подземних просторија у дурмиторском флишу 189	
9.4.1.	Увод	190
9.4.2.	Утицај слојевитости на стабилност ископа у флишу	192
9.4.3.	Утицај испуцалости стијенске масе на стабилност ископа	193
9.4.4.	Утицај подземних вода на стабилност ископа	196
9.5.	Класификације стијенске масе које се примјењују приликом пројектовања и градње тунела	198
9.5.1.	Класификација М.М. Протођаконова	199

9.5.2.	Класификација N. Bartona, R. Liена и J.Lundea (Q – систем)	200
9.5.3.	RMR класификација стијенске масе или класификација Bieniawskog	209
9.5.4.	Класификација по В. Мариносу (еоценски флишни седименти).....	213
10.	ГЕОТЕХНИЧКИ УСЛОВИ ГРАЂЕЊА БРАНА И МОГУЋНОСТИ ФОРМИРАЊА АКУМУЛАЦИЈА У ФЛИШУ	218
10.1.	Историјат грађења брана у свијету и код нас	218
10.2.	Врсте брана.....	220
10.3.	Значајни фактори који утичу на градњу брана	221
10.4.	Мјеродавни фактори за градњу брана и формирање акумулација	228
11.	ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА	233
12.	СПИСАК ЛИТЕРАТУРЕ	244

ПОПИС СЛИКА

Сл. 1.: Карта распрострањења дурмиторског флиша	20
Сл. 2.: Дурмиторска флишна формација на путу Жабљак - Шавник	23
Сл. 3.: Водоток Сутјеска.....	27
Сл. 4.: Долина ријеке Сутјеске у мјесту Саставци.....	29
Сл. 5.: Ријека Неретва са постојећим и потенцијалним преградним мјестима.....	28
Сл. 6.: Ауто карта источне Херцеговине и Црне Горе	32
Сл. 7.: Дурмиторски флиш - распрострањење, фације и палотранспорт	35
Сл. 8.: а) Засјек на путу Гацко-Фоча, локалитет Врба, изграђен од базалне кречњачке брече и конгломерати ($^1K_2^3$) и б) КТ-1 конструкција терена	36
Сл. 9.: а) Слојевите брече и кречњаци ($^2K_2^3$) и б) конструкција терена КТ-2.....	37
Сл. 10.: а) Падина изграђена од бреча, кречњака и лапораца ($^3K_2^3$) и б) Конструкција терена КТ-3.....	38
Сл. 11.: а) Падина изграђена од стјесних маса пјесковито-лапоровите серије ($^4K_2^3$)- падина је у цјелини стабилна, активан је процес спирања и б) Констркција терена КТ-4	39
Сл. 12.: а) Брече, кречњаци и лапорци ($^5K_2^3$) и б) Конструкција терена КТ-5.....	41
Сл. 13.: Чело навлаке, Вратар – кањон Сутјеске.....	45
Сл. 14.: Набори у пјесковито лапоровитој серији ($^4K_2^3$), корито ријеке Сутјеске, Вратар.....	46
Сл. 15.: Схематски приказ узајамног дјеловања молекуларних сила у систему чврста честица - вода: а - шема грађе везане воде; б - орјентација дипола воде око наелектрисане чврсте честице; В - дијаграм промјене величине молекуларних сила у зависности од растојања од површине минералне честице	55
Сл. 16.: Схематски хидрогеолошки профил терена: К - хидрогеолошки колектор; И - хидрогеолошки изолатор; 1 - надизданска зона: а - рудински појас; б - прелазни појас с „лебдећом“ издану у њој; в - капиларни појас; 2- изданска она и издан у њој; 4 - копани бунар са нивоом лебдеће издани и 5 - пиезометар лјеса нивоом издани	57
Сл. 17.: Капиларне појаве у цјевчицама са неједнаком висином пењања услед различите ширине или затворености цјевчица	59
Сл. 18.: Схематски приказ апарата за провјеру Дарсијево једначине: $Z_A; Z_B$ - ниво течности у посуди А и В од референтне равни (ниво мора); $Z_1; Z_2$ - хипсометријски ниво горње и доње површине цјевчице узорка пјеска од референтне равни; 1 - висина узорка пјеска; $h_1 = Z_A - Z_1$; $h_2 = Z_B - Z_2$ - ниво воде изнад врха и дна узорка	62
Сл. 19.: Клизиште Запљевац-Пеновићи: 1. делувијум: кречњачки блокови; 2. делувијум: прашинасто-пјесковито-глиновита дробина; 3. делувијум: дробина шкриљаца и пјешчара са доста мангана; 4. делувијум: шкриљаца и пјешчара мало глиновит; 5. флувиоглацијална тераса; 6. Основна стијена: шкриљци и пјешчари, са гипсом ; 7. Ожиљци и клизне површине.	64
Сл. 20.: Утицај филтрационог (хидродинамичког) притиска на стабилност косина	66
Сл. 21.: Утицај филтрационог (хидродинамичког) притиска на стабилност косина: η - фактор сигурности; ϕ - угао унутрашњег трења пјеска; криве нагиба косине су од 1:1(45°) до 1:4 (14°)	66
Сл. 22.: Пресјек нестабилне падине на којој лежи село Ритопек са положајем генералне клизне површине и литолошки састав бушотине В-1 у центру села	68
Сл. 23.: Огромни блок јурских и кредних кречњака, склизао је у акумулацију Вајонт у Италијанским Алпима и изазвао је катастрофални поводањ у долини ријеке Пјаве: 1- кречњаци (догер); 2 - танкослојевити кречњаци са прослојцима глина	

(малм); 3- дебелослојевити кречњаци са силикатним глинцима (креда); 4- лапоровити кречњаци (креда); 5 - остаци старог клизишта; 6- клизна површина; 7- долина затрпана клизиштем	70
Сл. 24.: Детаљ тијела мега клизишта Умка: ножични дио се налази у кориту ријеке Саве и под утицајем је ријечне ерозије.....	72
Сл. 25.: Детаљ тијела мега клизишта Умка: депресија (увала) са стајаћом водом у тијелу клизишта, која се веома споро и у малим количинама инфилтрира у клизиште, које је изграђено од претежно глиновитих депозита.....	73
Сл. 26.: Развијени инжењерскогеолошки профил истражног окна О-1 на клизишту „Умка”, крај Обреновца	75
Сл. 27.: Фрагмент Сеизмолошке карте Југославије (на основу максимално догођених интензитета до 1950. год.) за изучавано подручје (сеизмички интензитет је изражен у скали МКС).....	85
Сл. 28.: Фрагмент Привремене сеизмолошке карте СФРЈ- карта максимално догођених интензитета до 1978 године на простору Југославије (сеизмички интензитет изражен је у скали МКС).....	86
Сл. 29.: Фрагмент олетате Сеизмолошке карте СФРЈ, за повратни период земљотреса од 50 година (сеизмички интензитет изражен је у скали МСК-64)	88
Сл. 30.: Фрагмент олетате Сеизмолошке карте за повратни период земљотреса од 100 год. лијево и 200 година десно (сеизмички интензитет изражен је у скали МСК-64)	89
Сл. 31.: Фрагмент олетате сеизмолошке карте за повратни период земљотреса од 500 година из које се види да је истражни простор у зони седмог и осмог сеизмичког степена.....	89
Сл. 32.: Фрагмент олетате сеизмолошке карте за повратни период земљотреса од 1000 година из које се види да је истражни простор у зони осмог и деветог сеизмичког степена	90
Сл. 33.: Детаљ Сеизмолошке карте СФРЈ из 1987. године, олетата за повратни период од 500 год.	97
Сл. 34.: Шематски приказ клизишта, а) ситуација, б) пресјек, са елементима: План и пресјек клизишта: А-Б чеони ожиљак, Б - увала (депресија клизишта), Г - секундарни ожиљци, Д - трбух клизишта; Ћ - ножица клизишта; Е - подлога клизишта, 1-1' - дужина клизишта, 2-2' ширина клизишта, 3-3' дубина клижења, 4 - граница клизишта	106
Сл. 35.: Облици тијела клизишта: 1. Изометрично ($L=D$); 2. Фронтално ($L>D$); 3. језичасто ($L<D$); L - ширина и D - дужина клизишта.....	107
Сл. 36.: Подјела клизишта према Саваренском Ф. П.: а) секвентна клизишта б) консеквентна клизишта в) инсеквентна клизишта	109
Сл. 37.: Подјела клизишта према положају клизне равни: а) Ножична клизишта б) подножична клизишта	110
Сл. 38.: Примјер регионалних типова и стадијума појаве нестабилности у области карпатских планина: 1 - издјељени (испуцали) блокови у падини, усјецање долине до основне стијене у флишу, 2 - распадина и издјељени блокови у бедроку (основној стени) флиша склони одроњавању, 3 - блокови распадине и блокови у бедроку флиша са клижењем и тециштем дуж равни слојевитости, 4 - блокови распадине и блокови у слојевима флиша који се одроњавају низ падину, 5 - реликтни блокови пузања дуж слојевитости, од којих настају клизишта, 6 - гравитациона дезинтеграција цијелог флишног гребена у распадину и блокове у основној стијени на чијим рубовима настају клизања и течења (тецишта), 7 - глиновито-дробински површински депозити (делувијум) на падини, у ножичном	

дијелу се формира пужење, 8 - површинска клизишта и тецишта: падински флишни депозити се помјерају по површинама паралелним падини, 9 - површинска клизишта и тецишта изграђена од падинских депозита, помјерања се одвијају по слојевитошћу флиша која пада ка падини	119
Сл. 39.: Одрони и одроњавање појединачних блокова	120
Сл. 40.: Схема образовања одрона - претурања: А) појединачни блок и Б) вишеструко претурање.....	120
Сл. 41.: План и пресјек сипара (осулине): 1 - површина сипара; 2 - прислона површина сипара; 3 - базисна (основична) површина сипара; 4 - тијело сипара; 5 - матичне стијене сипара - банковити до масивни кречњаци; 6 - филити	120
Сл. 42.: Схематски приказ конструкција терена (КТ) изграђених од само једне средине (објашњење је дато у)	123
Сл. 43.: Схематски приказ конструкција терена (КТ) изграђених од двије средине	124
Сл. 44.: Схематски приказ конструкција терена које се састоје од три и више средина	124
Сл. 45.: Типови конструкције терена у дурмиторском флишном комплексу: 1 - пластична средина; 2 - пластична до квазипластична средине; 3- квазипластична средина; 4 - крта средина; h - висина конструкције; h ₁ - висина средине и КТ1 - КТ5 - ознака конструкције терена	128
Сл. 46.: Схематски приказ распрострањења конструкција терена у подручју Гацког .	129
Сл. 47.: Попречни пресјек терена на клизишту Мушница.....	130
Сл. 48.: Попречни пресјек терена на клизишту Ждралов поток	132
Сл. 49.: Попречни пресјек терена на клизишту Сутјеска.....	135
Сл. 50.: Клизиште Чемерско Осоје.....	139
Сл. 51.: Клизиште Чемерско Осоје II – инжењерскогеолошки пресјек терена	141
Сл. 52.: Фосилизирани одрон на локалитету Осјелине, Чемерно	143
Сл. 53.: Одрон на ријеци Тари, магистрални пут Ђурђевића Тара - Мојковац на стационачи 23+500	144
Сл. 54.: Стабилизација косина промјеном геометрије пресјека	146
Сл. 55.: Типови дренажа	147
Сл. 56.: Грађење дренажног јарка омотаног геотекстилом: а) ископ, б) постављање геотекстила, в) постављање постељице за цијев, г) насипање и постављање дренажног материјала, д) омотавање геотекстилом, ђ) засипање и збијање материјала	149
Сл. 57.: Принцип исушивања тла електроосмозом	150
Сл. 58.: Схематски приказ примјене електросмозе на примјеру дренажа глина: А - на усјеку пута и Б - схема конструкције катоде за прашинасте водозасићене глине $k < 1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$	151
Сл. 59.: Габионска кошара	152
Сл. 60.: Армирано бетонски зид Т и L облика	153
Сл. 61.: Гравитациони армирано-бетонски потпорни зид на локалитету Трнова лука, магистрални пут М -20 Гацко-Фоча.....	154
Сл. 62.: Гравитациони потпорни зид	154
Сл. 63.: Потпорни зид са конзолом	155
Сл. 64.: Потпорни зид са анкером	156
Сл. 65.: Армирано бетонско тло на косини Магистрални пут М-20 Фоча - Гацко, локалитет Чемерно.....	156
Сл. 66.: Анализа просторног положаја пукотина и површине слојевитости, по Панет-овом критеријуму на стационачи 11+500 магистралног пута М-20 Гацко-Фоча, на терену који изграђују седименти првог суперпозиционог пакета	160

Сл. 67.: Положај слојева флишне серије на Траси пута М-20 Гацко-Фоча, на стационажи 15+450	160
Сл. 68.: Анализа кинематске могућности клизања лабилног блока по критеријуму Панета-е на траси пута М20 Фоча-Гацко на стационажи 15+450	161
Сл. 69.: Рачунска метода	163
Сл. 70.: Шематски приказ утицаја начина појављивања и просторног положаја слојева на нагиб и стабилност косина на путу, (+) стабилна косина и (-) нетабилна косина	163
Сл. 71.: Повољан положај слојева (а) и неповољан (б) положај слојевама приликом градње насипа	165
Сл. 72.: Слијегање услед пропадања застора кроз планум у насип пруге: а) „засторни цепови“, б) „засторно корито“ и в) „засторна врећа“	170
Сл. 73.: Мост Трнова лука, магистрални пут М-20, Гацко - Фоча	173
Сл. 74.: Тунел Чемерно, излазни портал, магистрални пут М-20, Гацко - Фоча	180
Сл. 75.: Различит положај тунела у слојевитим стијенским масама: а) хоризонтална слојевитост, б) вертикална слојевитост паралелна са осом тунела, в) вертикална слојевитост управна на осу тунела, г) вертикална слојевитост дијагонална на осу тунела, д) коса слојевитост са пружањем паралелним оси тунела, ђ) коса слојевитост са пружањем управним на осу тунела, е) коса слојевитост дијагонална у односу на осу тунела	182
Сл. 76.: Санација хидротехничког тунела Фатничко поље - акумулација Билећа на стационажи 0+465	187
Сл. 77.: Врсте подземних притисака по смјеру дјеловања: а) повлатни, б) подински, в) чеони, г) бочни	188
Сл. 78.: Карактеристични случајеви тунелских конструкција у зависности од дјеловања сила подземних притисака: а) кружни пресјек, б) засведен пресјек са вертикалним опорцима, б) засведен пресјек са закривљеним опорцима, г) несиметричан пресјек, д) засведен пресјек са горњим сводом, ђ) рамовски облик	188
Сл. 79.: Процјена стабилности потенцијално нестабилних блокова: А - могућност гравитационог испадања блока, В и С могућност помјерања клизањем	195
Сл. 80.: Категорија подграде	204
Сл. 81.: Однос притиска на подграду и квалитета стијенске масе Q	205
Сл. 82.: Дијаграм за одређивање времена стабилности неподграђеног подземног ископа у функцији распона и категорије стијенске масе	212
Сл. 83.: Утицај геолошких структура и састава на могућност губљења воде и стабилност бране: а) моноклина серија са стрмим узводним падом – повољан положај бране; б) повољан положај бране на крилу антиклинале саузводним падом; в) моноклина серија са благим падом уз ток ријеке - неповољан положај због могућности клизања бране по међуслојним површинама; г) синклинала – неповољан положај бране на крилу синклинала нагнутом у правсу тока ријеке; д) моноклина серија са благим падом низ ток ријеке, расједнута- неповољан положај због могућности губљења воде кроз пропусне стијене и дуж расједа; ђ) и е) утицај моноклизе серије различито водопропустљивих стијена, са падом низ ток ријеке и антиклинале на микролоциранује бране: 1 - повољан положај и 2 - неповољан положај	226
Сл. 84.: Дијаграм промјене карстификације по дубини (лијево) и дубина карстификације, схематски приказ: 1 - промјена карстификованости са дубином, 2 - зона са базним токовима, 3 - зона осцилације нивоа подземне воде, 4 - дијаграм вертикалне дистрибуције активне карстне порозности, 5 - база	

карстификации, 6 - дијаграм електричног сондирања, 7 - некарстификована стијена, 8 - ниво подземне воде	227
Сл. 85.: Зидана камена брана “Клиње” на рујечи Мушници код Гацка: а) ситуација и б) попречни пресјек	230
Сл. 86.: Клиње данас	231
Сл. 87.: Насута брана “Врба” за потребе водоснабдијевања ТЕ Гацко	232
Сл. 88.: Шематски приказ утицаја начина појављивања и просторног положаја слојева на нагиб и стабилност косина на путу, (+) стабилна косина и (-) нестабилна косина	238
Сл. 89.: Повољан положај слојева (а) и неповољан положај (б) слојева приликом градње насипа	239
Сл. 90.: Резултати прорачуна стабилности насипа на магистралном путу М-20 Гацко- Фоча на дионици Врба - Трнова лука	240
Сл. 91.: Карактеристични случајеви тунелских конструкција у зависности од дјеловања сила подземних притисака: а) кружни пресјек, б) засведен пресјек са вертикалним опорцима, в) засведен пресјек са закривљеним опорцима, г) несиметричан пресјек, д) засведен пресјек са горњим сводом, ђ) рамовски облик	243

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 1. Просјечни протицаји на ријеци Неретви	28
Табела 2. Просјечни и максимални протицаји	29
Табела 3. Просјечне мјесечне и годишње падавине на кишомјерним станицама у mm воденог стуба (РХЗЦГ И ХЕТ)	30
Табела 4. Просјечне мјесечне и годишње температуре ваздуха (РХЗЦГ и ХЕТ)	31
Табела 5. Просјечна висина капиларног пењања.....	60
Табела 6. Средња висина капиларног пењања и потребан број дана за достизање max. висине капиларног пењања	61
Табела 7. Однос између порозности и водопрпусности	62
Табела 8. Средњи коефицијент филтрације за поједине стијенске масе	63
Табела 9. Вриједности физичко-механичких параметара стијенске масе на локацији Трнова Лука	79
Табела 10. Вриједности физичко-механичких параметара стијенске масе на локацији Веруша - Матешево	79
Табела 11. Вриједности физичко-механичких параметара квартарних творевина	80
Табела 12. Резултати лабораторијских испитивања тла.....	81
Табела 13. Резултати физичкомеханичких испитивања стијенских маса	81
Табела 14. Резултати испитивања потенцијалних грађевинских материјала	82
Табела 15. Вриједности интервалних убрзања	91
Табела 16. Нестабилности терена у зависности од интензитета земљотреса у степенима сеизмичке скале ЕМС-9	98
Табела 17. Подјела клизишта према нагибу падине	110
Табела 18. Подјела клизишта према величини	111
Табела 19. Подјела клизишта према дубини	111
Табела 20. Резултати прорачуна стабилности насипа на магистралном путу М-20 Гацко - Фоча на дионици Врба - Трнова лука.....	166
Табела 21. Расположиви локални грађевински материјал на траси магистралног пута М-20, локалитет Чемерно и критеријуми за израду насипа према ЈУС-у ...	168
Табела 22. Прогнозни параметру фитичко-механичких својстава појединих категорија.....	192
Табела 23. Класификација стијенске масе Протођаконова М.М.	199
Табела 24. Класификација Бартонa Н., Лиена Р. и Лундеа Ј.	201
Табела 25. Подграда за стијенску масу изузетно доброг, посебно доброг, врло доброг и доброг квалитета Q (1000-10)	205
Табела 26. Подграда за стијенску масу повољног и слабог квалитета (Q 10-1)	206
Табела 27. Подграда за стијенску масу врло лошег квалитета (Q 1,0-0,1).....	207
Табела 28. Подграда за стијенску масу изузетно слабог и посебно слабог квалитета .	208
Табела 29. RMR класификација.....	209
Табела 30. Утицај оријентације пукотина у односу на осу тунела	211
Табела 31. Класификација стијенских маса на основу збирне оцјене	211
Табела 32. Значење категорије стијенске масе у односу на угао унутрашњег трења ϕ и кохезију c и вријеме стабилности неподграђеног отвора	211
Табела 33. Преглед радова на ископу и подграђивању у зависности од категорије стијенске масе по геомеханичкој класификацији стијенских маса - RMR систем.....	212
Табела 34. Вриједности карактеристичних геотехничких параметара.....	214
Табела 35. Стање површине дисконтинуитета	216

1. УВОД

Појам „дурмиторски флиш“¹ први је у нашу геолошку литературу увео још 1948. године Зарија Бешић. Под овим појмом Бешић подразумјева моћну геолошку формацију, формирану на прелазу горње креде у палеоген, која почиње од сјеверноалбанске табле и Цукали зоне у Албанији, преко средишњег дијела Црне Горе, сјевероисточне Херцеговине па све до средње Босне (сл. 1). Само име је добила по јако уочљивом и пространом развићу југозападних падина планине Дурмитор.

Ова геолошка формација била је предмет истраживања и проучавања многих геолога из области регионалне геологије, дјелимично хидрогеологије, док су инжењерскогеолошка истраживања била сасвим ријетка и уско везана за поједине објекте.

Преко ове геолошке формације изграђене су двије веома битне саобраћајнице. Једна је у Босни и Херцеговини и представља најближу везу између дубровачког приморја Сарајева (и Београда), односно повезује Фочу и Гацко. Друга саобраћајница повезује сјеверну Црну Гору и Србију, са Подгорицом и црногорским приморјем. Значи обадвије представљају изузетно важне саобраћајнице и у једној и у другој држави.

Путујући више година, малтене сваке седмице између Фоче и Требиња, а дјелимично и учествујући на рјешавању ситнијих проблема који су се дешавали на потезу проласка ове саобраћајнице кроз зону планинског превоја Чемерно, имао сам прилику да пратим и посматрам колапс веома скупог, односно нерационалног и што је још важније неадекватног и нефункционалног рјешења санације клизишта Чемерско осоје, које је релизовано у периоду 1995. и 2000. године.

Разлоге колапса овог санационог рада у чију изградњу и истражне радове је уложено преко 4,5 милиона конвертибилних марака, треба тражити прије свега у чињеници да инжењерскогеолошка истраживањима, по методологији, врстама и обиму нису била примјерена потребама дефинисања свих неопходних параметара за пројектовање адекватног санационог рјешења. Ова појава нестабилности, између осталог је условљена и специфичностима флиша као радне средине, коју истраживачи

¹ За флишну зону која се налази у дијеловима Кучке краљушти на југозападу и чела дурмиторске навлаке на сјевероистоку, Димитријевић Д. М. (1995) је предложио назив *Сарајевска сигмоида* и тај термин се користи у бројним радовима о геолошким и тектонским карактеристикама изучаваног дијела терена.

и пројекатнти нису познавали и као резултат тога је пројектовано сасвим проблематично грађевинско рјешење које није ни доведено до краја. Наиме у марту 2004. дошло је до поновног активирања овог клизишта, које је уништило изграђене санационе објекте, а за око два мјесеца дошло је до потпуног прекида саобраћаја. Колапс овог клизишта, довео је до затварања ове саобраћајнице и приморао Дирекцију за путеве Републике Српске на изградњу обилазнице, односно измјештање трасе пута у дужини од 7 km.

Управо из разлога поновног акивирања клизишта Чемерско осоје, затим санације низа мањих клизишта на траси овог пута кроз флишну формацију на којима сам учествовао, пробијање нове трасе, затим специфичности и комплексности које карактеришу флиш као радну средину, као и недовољна, боље речено слаба проученост овог подручја са аспекта савремених геодинамичких процеса, навели су ме на идеју да овим радом дам свој допринос с циљем јаснијег и квалитетнијег познавања дурмиторског флишног комплекса као радне средине, али и свеобухватног дефинисања и детерминисања савремених геодинамичких процеса на овом подручју.

Флишни комплекс представља специфичну геолошку средину, која је настала у условима спрегнутог односа копненог режима и постојања седиментационог басена. Наиме, површински токови и ерозија стијенских маса у копненом појасу, односно принос материјала у седиментациони басен, уз тектонске активности, допринио је формирању литолошки хетерогених стијенских маса, које се састоје од ритмичког смјењивања кречњачких бреча и конгломерата, пјешчара, лапораца и глинаца. Литолошка хетерогеност, између осталог условила је и хетерогеност физичко-механичких својстава, односно понашање таквих средина, под дјеловањем статичких и динамичких оптерећења, односно при нарушавању примарног геостатичког стања у терену. То се такође односи на отпорност тих комплекса на разарачки рад егзогених агенаса (атмосферских и других) односно на појаве нестабилности терена, како у условима природних, тако и техногених (антропогених) утицаја. О генези флишних седимената, постоји низ саопштења, и нека питања су рјешена на задовољавајући начин, док су нека отворена. По нашем мишљењу, основни разлог за то је, што су истраживања у оквиру израде Основних геолошких карта 1:100.000 за листове: Шавник, Жабљак, Гацко, Невесиње, радиле различите екипе и различите организације и што није извршена синтетизација (усаглашавање) резултата. Поред тога и методологија истраживања се углавном састојала од стандардних теренских истраживања опсервација (картирања), са недовољним лабораторијским испитивањима

(седиментолошких и др.). Но, када су у питању инжењерскогеолошка и геотехничка својства флиша, ситуација је још лошија. Посебно су дефицитарни радови о тим својствима у подручјима која су предмет овог рада.

Значајно је нагласити да у подручјима које изграђује дурмиторска флишна формација, егзистирају насеља, саобраћајни, хидроенергетски и други значајни објекти. Како су та подручја изложена снажном дејству атмосферилија, а самим тим површинском распадању и активностима процеса клижења, који не само да угрожавају безбједну градњу и експлоатацију тих објеката, већ својим секундарним дјеловањем могу да угрозе насеља и индустријске објекте, као и саобраћајнице. Због тога је основни циљ ове дисертације да најпре изврши прикупљање и синтетизацију резултата досадашњих инжењерскогеолошких и геотехничких истраживања (обзиром да за потребе ове дисертације нисам располагао ни са кавим финансијским средствима), и да на бази тога дефинишем опште услове и могућности рационалног коришћења предметних терена, односно изградње разноврсних објеката. Посебна пажња је посвећена и препорукама будућим истраживачима ових терена како би се избегла неповољна рјешења, нажалост којих је било у прошлости.

Ова дисертација, дакле представља резултат вишегодишњег истраживачког рада на подручју источне Херцеговине, на изградњи, односно завршетку хидротехничког тунела Фатничко поље - акумулација Билећа, затим изради подлога, инжењерско-геолошких и хидрогеолошких за потребе формирања акумулација Заломка и Невесиње у хидроенергетском систему Горњи хоризонти, па се логично наметнула и потреба што стручнијег упознавања флишног комплекса који се географски надовезује на источно-херцеговачки карст. Само подручје ове литолошке серије које се налази у Босни и Херцеговини не би било довољно за димензије једног оваквог рада, па у договору са Проф. Др. Душком Сунарићем и Проф. Др Драгутином Јевремовићем, одлучили смо се да тема овог рада обухвати цјелокупни појас флишног комплекса са акцентом на развиће ове формације које покрива лист Гацко ОГК СФРЈ.

2. ФИЗИЧКО – ГЕОГРАФСКА СВОЈСТВА ТЕРЕНА

2.1. Географски положај дурмиторског флишног комплекса

Појам дурмиторски флиш, или дурмиторски флишни комплекс, као што је већ раније наглашено, први је у литератури употребио Зарија Бешић^[3]. Под овим појмом он подразумјева моћне насlage флиша који у основи припадају најгорњим хоризонтима креде и прелазе у доњи палеоцен а простиру се од сјеверозападне Албаније, преко средишњег дијела Црне Горе до сјевероисточних дијелова Херцеговине и завршавају се у југоисточном дијелу Босне. Генерални правац пружања ове формације (поједини истраживачи говоре о постојању двије формације) поклапа се са динарским правцем пружања сјеверозапад - југоисток (сл. 1).



Сл. 1.: Карта распрострањења дурмиторског флиша

Зарија Бешић у свом дјелу „Геологија Црне Горе - стратиграфија и фацијални састав“^[4] пише: „Ово име сам им дао због тога што изграђују у цјелини многе истакнуте јужне и југозападне дурмиторске гребене као: Стожину, Ранисаву, Седло, Увиту греду, горостасни Пруташ и друге“.

Нопча Ф.^[45] је констатовао слојеве дурмиторског флиша у Албанији и то у простору његових великих геотектонских јединица: Сјеверноалбанској табли и јединици Цукали. Он их је издвојио у оквиру еоцена. Албански геолози^[45] проучавали су тај флиш са оба простора, па су онај са сјеверноалбанске табле назвали Врмошка формација (*Formation de Vermochi*), а онај у простору Цукали формације Ксани (*Formation de Ksani*).

Живаљевић М. (1959. стр. 171) констатује да творевине дурмиторског флиша у околини Гусиња из Албаније улазе у рејону Валушнице и Ћафе Курикул. Даље се пружају у сјевероисточном правцу и изграђују обадвије стране долине Доље. Друга зона овог флишног комплекса издвојена је у простору Ћосовића, Ћонбалића, Вусања, Жаровнице и даље се пружа према Сапиту, са правцем пружања ЈИ-СЗ.

Пространу и моћну формацију дурмиторског флиша у простору Гусиња, Горње Таре, Црне планине, Загона и Рикавачког језера проучавали су још Ђокић В., Живаљевић М. и Перовић З.^[19]. Они су проширили простор распрострањења ове формације у односу на простор који је до тада био познат.

Из подручја Рикавачког језера у долини ријеке Скробатуше, гдје је пространство дурмиторског флиша доста ограничено, ова формација пружа се према сјеверозападу и одмах у изворишном дијелу ријеке Таре нагло се шири, па захвата поред осталих простора високу планину Маглић и Црну планину, затим Мокро, сливове ријека Леваје, Веруше, Опаснице и Дречке, скоро цијели слив Горње Мораче до ријеке Мртвице. Из подручја Мораче ова формација се даље непрекидно шири према сјеверозападу, па изграђује многе високе планинске гребене и просторе између њих као: Морачке капе, Тали, Зебалац, Брник, Журиме, Гацкове греде, Остравицу, Кравицу, Јаворје, Струг, Ивицу, а у подручју Дурмитора његове југозападне гребене: Стожину, Увиту греду, Ранисаву, Седло, Вјетрено брдо, Пруташ, Крецмане и друге. То је простор високих црногорских планина чији су врхови углавном виши од 2000 метара. Између тих врхова су многе дубоке увале и ријечне долине и други геоморфолшки облици који су настали у слојевима дурмиторског флиша.

Сјеверозападно од Дурмитора, флишни слојеви су опет сведени на малу ширину, негдје и на пар стотина метара, нарочито на потезу Тодоров до - Крстац - Плужине, али се у простору слива ријеке Врбице поново шири, тако да је највећи дио слива ове ријеке, изграђен од флишних седимената.

Идући према сјеверозападу овај комплекс се лагано шири преко сјевероистока Херцеговине и југоисточне Босне гдје изграђује високе планинске гребене у подручју горњег тока ријека Сутјеске и Неретве. Ова формација се на овом подручју може дуго и веома једноставно пратити и увијек има исти положај: дуж југозапада је трансгресиван, а дуж сјевероистока граница му је геотектонска. Седименти ове формације изграђују терен превоја Чемерно, преко кога прелази главна саобраћајница између Гацка и Фоче, а самим тим и најближа веза између источне Босне и источне Херцеговине и дубровачког приморја. Треба нагласити да управо на подручју овог планинског превоја имамо најљепше, али и за геолошко проучавање најпогодније развиће ове литолошке формације. Даље ова формација изграђује сјевероисточни дио терена који обухвата лист ОГК Невесиње, извориште ријеке Неретве, даље преко Вучеве планине и Морина прелази на подручје које обухвата листа ОГК Калиновик, пратећи ток ријеке Неретве до испод Улога, гдје је расјед Трешњевица - Стране одваја од тријаско-јурских седимената. Даље се ова формација протеже још десетину километара према сјеверозападу.

Генезу седимената овог подручја су истраживали су бројни геолози, а резултате истраживања су саопштени у бројним радовима (Димитријевић Д. М., Мојићевић М., Лаушевић М., Димитријевић М. и др).

2.2. Морфолошка својства терена

Веома битна карактеристика терена, са аспекта проучавања савремених геодинамичких процеса је његова морфологија.

Цјелокупно подручје које изграђују седименти дурмиторског флиша, почевши од сјеверозапада, односно од централног дијела Босне и Херцеговине, преко сјевероисточне Херцеговине и области планинског превоја Чемерно, затим југозападних дијелова Дурмитора, средишњег појаса Црне Горе, гдје је развиће ове геолошке формације и најшире, па преко сјеверне Албаније и области Врмоши, па све до Гусиња, одликује се типичним планинским рељефом. Падине су релативно блажих

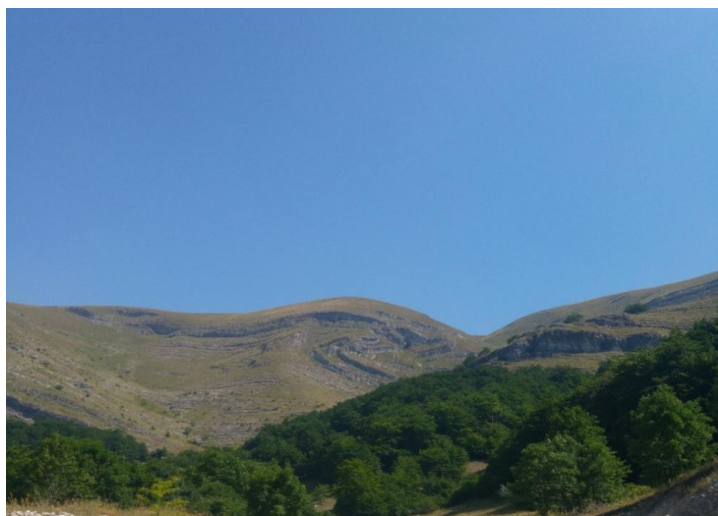
и изломљених профила: стрмијег су нагиба у дјеловима који су изграђени од компетентнијих пакета слојева (конгломерати, кречњаци, пјешчари), а блажи у дјеловима изграђеним од лапоровито-глиновитих седимената. Планински гребени су претежно заобљених форми (сл. 2), што их битно разликује од околних крашких.

Геоморфолошка својства терена, на цјелокупном простору који изграђују флишни седименти, су врло комплексна, прије свега због литолошког састава (фације и пакета флишне серије), сложених тектонских односа, неотектонске активности и различите отпорности стијенских маса на утицај егзогених геолошких агенаса. Значи, може се констатовати, да се геоморфолошки облици могу разликовати према времену настанка, грађи, правцу пружања, облику и висини.

Геохронолошки посматрано произилази да су основне геотектонске форме настале у периоду неогеног убирања, макро и мезо морфолошке форме у току неотектонске активности кроз плеистоцен и холоцен, а савремене морфолошке форме ерозионо-денудационим и мјестимично глацијалним процесима. Терен који изграђују ови седименти одликује се морфолошком разуђеношћу, изразито суженим ријечним долинама и веома стрмим падинама. Овакав морфолошки склоп резултат је узајамног дјеловања неотектонског процеса издизања с једне стране и интензивног преиначавања примарних морфолошких облика, прије свега радом површинских водених токова са друге стране. Подручје које изграђују седименти дурмиторског флиша, одликује се великом количином падавина и слабом водопрпусношћу терена, због тога у билансу вода преовлађује површинско отицање, односно инфилтрација падавина и евапорација су скоро занемарљиве. У овим подручјима је због тога веома развијена хидрографска мрежа са бројним сталним и повременим токовима. Форме рељефа настале линијском ерозијом су израженије од површинске денудације, што има за последицу формирање специфичних ријечних и других долина, због бржег усијецања корита. Долинске стране су релативно стрме, а ријечна корита уска. У вријеме великих падавина или наглог топљења сњежног покривача, потпуно су запуњена водом па матица подлокава ножичне дијелове падина и еродује ослонац и подсјеца падину, чиме се стварају повољни услови за појаву и развој гравитационих процеса, ради успостављања нарушене равнотеже.

Основни или примарни морфолошки облици су накнадно преобликовани егзогеним процесима, нарочито интензивираним након горњег плеистоцена, када је подручје Балкана захватила снажна Вирмска глацијација. Она се најпре испољава глацијалном ерозијом, односно формирањем глацијалних облика рељефа: валова са

исталоженим еродованим материјалом - моренама (падинске, бочне и чеоне). Главна карактеристика локалних материјала су крупни блокови, дробина или валутице уроњени у пјесковито-глиновиту масу. Глацијација је праћена и појачаним падинским процесима, а њен завршетак карактерише нагла појава великих количина вода које су условиле глацио-флувијалне процесе. Као посљедица активности глацијалног процеса формиране су морене као глацио-акумулациони облици рељефа. Овакви облици су развијени у околини Смријечног, затим најизраженије су развијени у околини Шавника (Крново поље, Мљетичак, итд).



Сл. 2.: Дурмиторска флишина формација на путу Жабљак - Шавник

Флувијални процеси су интензивирани у току холоцена, нарочито на некарбонатним теренима, а падинске и долинске стране обликују падински процеси са површинским спирањем материјала (делувијални процес), јаружањем (пролувијални процес) и клижењем. На падинама композитног састава присутни су и колувијални процеси (одроњавање и осипање).

Сви напријед наведени процеси у појасу дурмиторског флиша су били изузетно интензивни, тако да терен обилује облицима насталим овим процесима.

Јаруге као типични облици рељефа, настали су као посљедица израженог бујичног процеса. Веома су присутне у појасу дурмиторског флиша и мјестимично представљају веома сложене препреке приликом градње саобраћајница. На најнижим тачкама ових ерозионих морфолошких облика, односно на мјестима гдје се јаруге спајају са сталним ријечним токовима формирају се акумулациони морфолошки облици, такозване *плавинске левезе*.

Клизишта на падинама изграђеним од флишних седимената настала су као последица активности савремених геодинамичких процеса. Клизишта су најчешће везана за стрме падине са дисконтинуалним нагибима (мјестимично благим и мањим заравњењима) и углавном су присутна на долињским странама ријечних токова. Клизишта такође представљају веома сложене препреке приликом градње саобраћајница, а најбољи примјер за то представља клизиште Чемерско осоје на магистралном путу Фоча - Гацко. На овој дионици, гдје пут пролази кроз дурмиторску флишну формацију, веома су честе појаве мањих клизишта која угрожавају ову саобраћајницу (Бољачића коса, Саставци и др.).

Подручје које захвата ова литофацијална јединица одликује се веома израженом хидрографском мрежом. Настанак долињских система ријека Сутјеске, Клобучарице, Буковице, Бијеле, Мораче, Таре, Веруше предиспониран је тектонском активношћу, односно процесом расједања. По већ предиспонираним правцима, трасама расједа, формиран су ови ријечни токови. Све ове ријечне токове прате ерозивни и акумулативни морфолошки облици као што су алувијалне заравни и ријечне терасе. На ушћима бујичних потока у ријечне токове јављају се акумулативни облици у виду плавинских лепеза. Сви ови морфолошки облици нису већих димензија, него су у уском појасу везани за саме токове.

Поред ових облика, преко читаве сјевероисточне границе дурмиторског флиша која уједно представља и чело навлаке, формиран су веома велики сипари, цементиран и прекривени делувијалним материјалом.

2.3. Хидрографска и хидролошка својства истражног подручја

Веома битна својства терена са аспекта дефинисања геодинамичких специфичности терена дурмиторског флиша су његове хидрографске и хидролошке карактеристике.

2.3.1. Хидрографска својства терена

Регион дурмиторског флиш испресјечан је бројним ријечним токовима и потоцима, што је последица како обилних падавина, тако и интензивног површинског распадања, а самим тим и значајне еродибилности флишних седимената. Управо на

подручју које захвата дурмиторски флиш налази се вододјелница између два слива: Црноморског и Јадранског. Црноморском сливу припадају токови који дренирају ка ријекама Сутјесци, Тари и Пиви, док јадранском сливу припадају токови који дренирају ријекама Неретви, Морачи, као и токови који се налазе у сливу ријеке Требишњице.

Ријека Неретва припада јадранском сливу и извире, односно настаје испод самог планинског превоја Чемерно, од неколико изворишта, на надморској висини око 1200 m. На слици 4. приказан је уздужни пресјек ријеке Неретве са постојећим и потенцијалним преградним мјестима за хидроенергетска постројења. У табелама 1. и 2. дати су протицаји измјерени на одређеним преградним профилима.

Сливу ријеке Требишњице, највеће понорнице у Европи дренира више мањих токова које су такође понорнице. То су ријека Грачаница која понире у Срђевићима, затим ријека Мушница на којој су формиране акумулације Врба и Клиње, понире у Гатачком пољу, и више мањих ријечица које гравитирају ка Мушници. Већина ових ријечица извире испод планине Лебршника.

Ријека Морача највећим дијелом свога тока протиче кроз вододрживи појас дурмиторског флиша припада јадранском сливу. Настаје на коти од 975 мнм, у простору Горње Мораче, као и Неретва од низа повремених и сталних потока са источних падина Зебалаца и Шупље Гресе и сјеверних падина Морачких капа, међу којима су најзначајнији Рзачки и Јаворски поток. У предјелима гдје Морача протиче кроз флишне седименте ријечна долина је значајно проширена, док у дијелу тока кроз кречњаке и доломите ријечна долина има карактеристике кањона. Сличан случај је и са ријеком Сутјеском. Најзначајније притоке Мораче које протичу кроз флишну формацију су Ратна ријека, Пожња, Тепли поток, Врела, Ибришница, Јаворски поток, Слатина, Коштаница, Сјеверница и низ других мањих ријечних токова. Већина мањих притока Мораче пресуше у лјетном периоду.

Ријека Сутјеска, настаје од више потока који извиру на сјевероисточној страни планине Лебршник, на надморској висини око 1500 метара. Воде ријеке Сутјеске припадају Црноморском сливу. Карактерише се исто као ријека Морача широком ријечном долином у предјелу гдје ток пролази кроз појас дурмиторског флиша, док кроз тријаске кречњаке ова ријека је усјекла кањон са вертикалним странама. Највеће притоке Сутјеске су ријечице Клобучарица и Јабушница. На слици 3 приказана је вјероватноћа протицаја на стациоажима 26 +600.

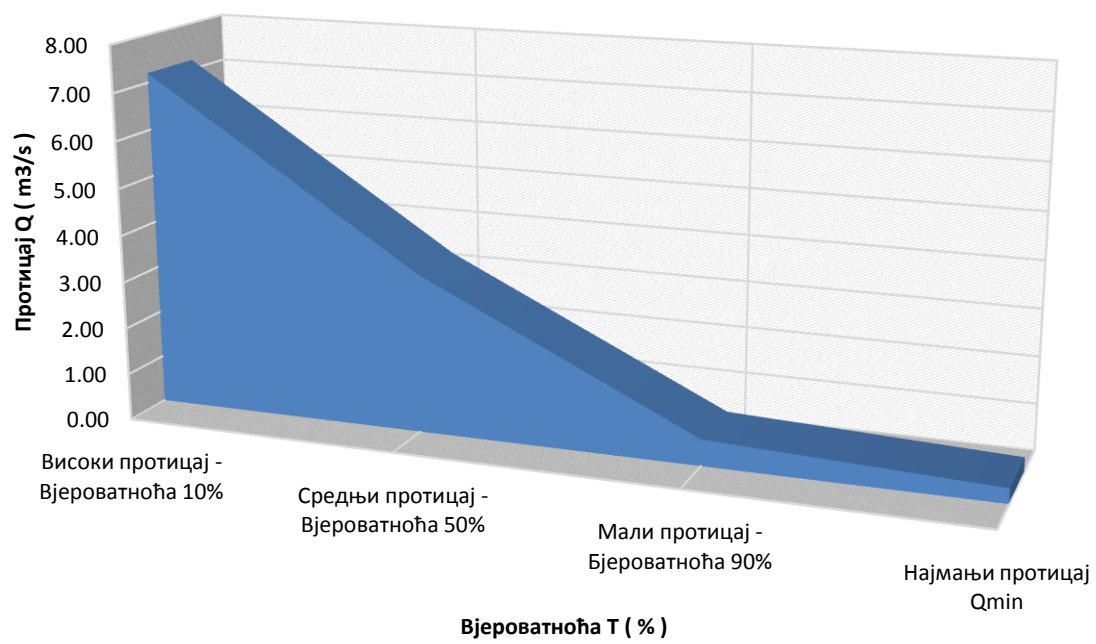
Сливу ријеке Пиве припадају ријеке Врбница која се са улијева у акумулацију Мратиње, затим ријеке Тушиња и Буковица и ријека Бијела која протиче кроз Шавник.

Ријека Тара извире испод врхова Маглића и Каримана. Припада црноморском сливу. Настаје спајањем Веруше са Опасаницом на коти око 1100 mnm. Одатле па све до Мојковца Тара има меридијански правац тока, а са становишта ове дисертације, значајан је дио тока ријеке Таре који протиче кроз дурмиторску флишну формацију. Најважније притоке ријеке Таре у овом појасу су: Пчиња, Пјешчаница, Скрбуша, Дрцка и Веруша и Опасаница од којих и настаје.

Водоток: Сутјеска

ПРЕГРАДНО МЈЕСТО km 26 + 600
ЛИНИЈА ТРАЈАЊА ПРОТИЦАЈА
ЗА ПЕРИОД 1947-1976 г.
С – 2 / С – 2а /

Орограф. подручје слива	$F = 41 \text{ km}^2$
Високи протицај	$Q_{10\%} = 7,20 \text{ m}^3/\text{s}$
Средњи протицај	$Q_{50\%} = 3,40 \text{ m}^3/\text{s}$
Мали протицај	$Q_{90\%} = 0,56 \text{ m}^3/\text{s}$
Најмањи протицај	$Q_{\min} = 0,32 \text{ m}^3/\text{s}$
Специфични протицај	$q_{\text{sp.sr}} = 82,0 \text{ l/s/m}^2$



Сл. 3.: Водоток Сутјеска



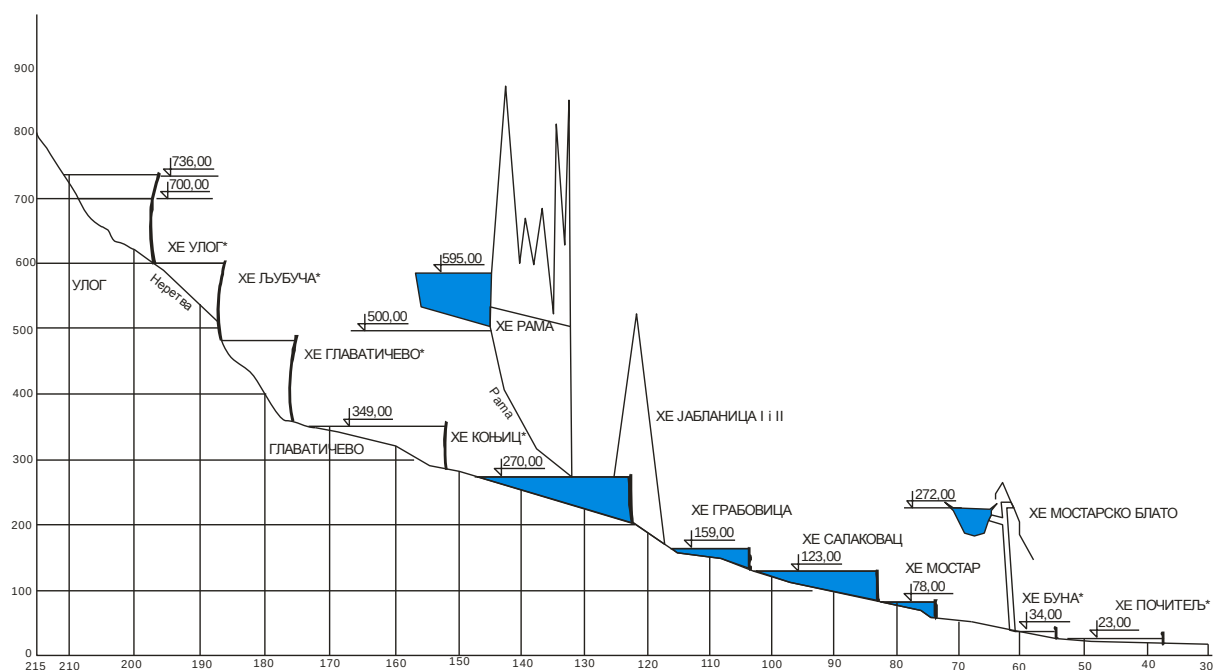
Сл. 4.: Долина ријеке Сутјеске у мјесту Саставци

Табела 1. Просјечни протицаји на ријеци Неретви

	Орограф. површина слива	Просјечни протицај за период 1926- 1985
	$F \text{ (km}^2 \text{)}$	m^3 / s
ХЕ Улог	342,5	10,6
ХЕ Љубуча	604,3	26,8
ХЕ Главатичево	775,7	34,5
ХЕ Коњиц	1275,5	52,1

Табела 2. Просјечни и максимални протицаји

ХЕ	Просјечни протицај	Максимални протицај	Запремина акумулације	Инсталисана снага
	m ³ / s	m ³ / s	hm ³	MW
Улог	10,6	32,0	389,0	36,0
Љубуча	26,0	100,0	62,2	92,0
Главатицево	34,5	150,0	157,0	152,0
Коњиц	52,1	180,0+12,0	69,0	114+7,7
Рама	33,1	64,0	466,0	160,0
Јабланица I и II	111,7	180,0+120,0	288,0	150,0+109,0
Грабовица	136,2	380,0	5,0	113,0
Салаковац	182,7	540,0	16,0	210,0
Мостар	197,4	360,0	6,4	75,0
Мостарско блато	15,7	50,0	3,5	80,0
УКУПНО	-	-	1462,1	1298,7



Сл. 5.: Ријека Неретва са постојећим и потенцијалним преградним мјестима

2.3.2. Хидролошка својства

Да би се добила потпуна слика о режиму падавина неког региона, потребно је поменути и факторе који имају непосредног и посредног утицаја на овај метеоролошки елемент и његове параметре. Атмосферске падавине су један од најпромјењивијих метеоролошких елемената и на њихову појаву, интензитет и расподелу дјелује велики

број чинилаца, прије свега географска ширина од 42° до 44°. Овакав географски положај условљава и појаву четири сезоне са свим својим карактеристикама, па тиме и различитим сезонским режимима падавина. Општа слика динамике струјања ваздуха, такође има непосредан утицај на количине и распоред падавина.

„Веома чести продори ваздушних маса са Атланског океана, представљају изузетно важан чинилац режима падавина у централним и сјеверним областима територије Црне Горе. С друге стране, како се подручје западног Медитерана издваја као јединствена област у погледу стварања барометарских депресија – циклона, та ваздушна струјања у великом броју дана у години непосредно утичу и на режим падавина у цијелој Црној Гори и Источној Херцеговини. Утицај југозападних струјања, која са собом доносе и довољно влаге са Средоземног мора, нарочито је велики и значајан у току јесени и зиме“^[62].

У следећој табели дат је преглед просјечних падавина у мм воденог талоба мјереним од 1949 - 2001 године. Кориштени су подаци Републичког хидрометеоролошког завода Црне Горе и подаци са кишомјерне станице Чемерно Хидроелектрана на Требишњици. Овом табелом обухваћене су све постојеће кишомјерне станице чији показатељи имају утицај на подручје које захвата дурмиторски флишни комплекс.

Табела 3. Просјечне мјесечне и годишње падавине на кишомјерним станицама у тт воденог стуба (РХЗЦГ И ХЕТ)

Број	Станица	Мјесец												Год.
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	Чемерно	125	130	160	170	130	100	70	70	125	180	220	170	1650
2	Жабљак	111	112	101	112	119	106	82	74	112	161	208	159	1456
3	Колашин	217	211	169	174	127	100	71	84	125	198	302	279	2057
4	Беране	78	70	62	73	81	73	59	56	69	86	114	94	914
5	Рожаје	69	61	60	69	88	85	73	61	67	72	93	85	882

Такође треба нагласити значај сњежног покривача, за укупно одређивање водног биланса. Велика вертикална разуђеност терена Црне Горе и сјевероисточне Херцеговине као и различити температурни и падавински режими, условљавају одржавање снијежног покривача. У снијежном покривачу акумулирана је знатна количина воде, и код наглих отапања у прољетним мјесецима обично долази до појаве јаких површинских отицања на већем дијелу терена.

2.4. Климатолошка својства истражног простора

Климатске одлике Црне Горе и источне Херцеговине су сложене што је посљедица утицаја близине мора, рашчлањености рељефа, ваздушних струјања, што се карактерише израженим варијацијама у времену и простору. Простор Црне Горе и источне Херцеговине, а поготово терен који изграђује дурмиторски флиш, налази се на самом прелазу односно у зони сучељавања топлих ваздушних маса из тропских области и хладних арктичких ваздушних маса, у склопу изражене циклонске активности. Као посљедица јављају се обимније падавине у хладнијем периоду године.

Терен који изграђује дурмиторски флиш одликује се веома великим висинским разликама. Та велика вертикална разуђеност, као различити температурни и падавински режими, условљавају дуго задржавање сњежног покривача. У снијезном покривачу акумулирана је велика количина воде и код наглих отапања у прољетним мјесецима долази и до појаве веома великих површинских отицања на готово читавом дијелу терена. У највишим дијеловима овог појаса због веома дугих и хладних зима и обилних падавина током јесени веома је изражен процес физичко-механичке дезинтеграције стијенске масе, односно њеног распадања под дејством мраза.

Најхладнији мјесец на овом подручју је јануар, а најтоплији јули и август. За љетње мјесеце карактеристично је веома велико колебање температуре у току 24 сата, што такође проузрокује веома велику активност на механичкој дезинтеграцији стијенске масе. У следећој табели дат је преглед средњих температурних вриједности мјерених на метеоролошким станицама у мјестима значајним за овај рад.

Табела 4. Просјечне мјесечне и годишње температуре ваздуха (РХЗЦГ и ХЕТ)

Бр.	Станица	Мјесец												Сред.
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1.	Чемерно	-3,4	-2,2	0,6	3,9	9,4	12,5	14,7	14,4	11,4	7,0	3,0	-1,5	5,8
2.	Жабљак	-4,4	-3,7	-1,0	3,2	8,3	12,0	14,1	13,7	10,2	5,5	1,2	-2,4	4,7
3.	Колашин	-1,9	-0,6	2,1	6,3	10,8	14	15,9	15,3	12,1	7,7	3,7	-0,1	7,1
4.	Беране	-1,5	0,7	4,5	8,9	13,6	16,5	18,9	18,4	14,6	9,5	4,9	0,4	9,1

2.5. Саобраћајна инфраструктура истражног простора

Обзиром да је истражно подручје претежно планинско, слабо насељено то је ралитивно слаба и локална инфраструктура. Међутим овим подручјем пролазе два изузетно ваажна саобраћајна правца. У источној Херцеговини то је путни правац Фоча - Гацко - Требиње (Херцег Нови, Дубровник), који прелази преко флишног комплекса на планинском превоју Чемерно. Ова веома важна регионална саобраћајница баш на овом дијелу налази се у веома лошем стању, прије свега због великог нагиба трасе пута, затим због специфичних геолошких проблема (велики број клизишта, положај структуре стијенске масе у односу на трасу саобраћајнице) и Подгорица - Бијело Поље.



Сл. 6.: Ауто карта источне Херцеговине и Црне Горе

3. ГЕОЛОШКА СВОЈСТВА ДУРМИТОРСКОГ ФЛИШНОГ КОМПЛЕКСА

3.1. Литостратиграфски састав

Флишна серија, као што је већ наглашено, у геолошкој литератури издвојена је као „дурмиторски флиш“^[3] почела се стварати у току сенона, односно горњег мастрихта. Њено ставрање је настављено и током палеогена. Ова формација има веома велику моћност (дебљина се креће и до 800 метара), док се ширина креће од пар стотина метара (граница Црне Горе и Босне и Херцеговине) до више десетина километара (средишњи дио Црне Горе).

Седименти дурмиторског флиша леже ерозионо-дискордантно преко разних литостратиграфских јединица, почев од горњег тријаса па закључно са доњим мастрихтом. Југозападна, односно, јужна граница флиша је изразито ерозионо-дискордантна, а сјеверна, односно сјевероисточна је тектонска и то на потезу од Сутјеске (Вратара) до пивске Планинице. Од пивске Планинице, па даље у правцу истока и југоистока граница је на неким мјестима тектонска (између Бандијерене и Крње јеле и од Гракала до Ветрењаче).

У дијеловима гдје је граница тектонска преко седимената дурмиторског флиша навучени су тријаски (средњи и горњи), а мјестимично и седименти јуре.

Мјестимично преко флишних седимената леже творевине квартара и то: глацијални седименти, флувиоглацијални седименти, делувијални, делувијално-пролувијални и алувијални наноси.

На дијелу терена, који је обухваћен на геолошком картом - ОГК СФРЈ лист Шавник 1:100 000, издвојена су четири суперпозициона пакета (¹К,Рg; ²К,Рg; ³К,Рg; ⁴К,Рg). М. Мирковић у својој докторској дисертацији „Геолошки састав и тектоника планина Дурмитора, Пивске планине и Волујака“ Титоград 1983. год. каже „Тачно стратиграфско мјесто сваког од издвојених пакета нисмо могли одредити услед недостатка фосила². Старост дурмиторског флиша до сада је третирана као горњокредна или сенонска. Нашим испитивањима смо доказали да седименти дурмиторског флиша припадају интервалу горњи мастрихт - палеоцен“.

² Према схватању Димитријевића Д. М.^[16] (1995) литолошка разлика у фацијама овог флиша је последица разлике у геолошкој грађи терена сливног подручја, а не последица различите старости.

Неопходно је нагласити неусаглашеност мишљења о старости дурмиторског флиша. Геолози који су радили лист ОГК Гацко, Калиновик и Невесиње, издвојили су га у оквиру горње креде, односно сенонског ката, док су црногорски геолози ову формацију издвојили на прелазу креде у палеоген. На овим листовима у оквиру дурмиторског флишног комплекса издвојено је пет суперпозиционих пакета (поткатава) у оквиру сенонског ката горње креде (K_2^3). Веома је битно за овај рад издвојити и дефинисати те литолошке чланове, јер са инжењескогеолошког аспекта они су веома различити. Ови пакети су издвојени и јасно издиференцирани на листовима ОГК Гацко, Калиновик, Невесиње и Жабљак и Шавник, док на листовима ОГК Иванград и Гусиње нема јасне диференцијације.

Према Грубић А. и Обрадовић Ј.^[13]: “Геометрију флишних басена је тешко одредити, због тога што се флишни седименти налазе у веома сложеним тектонским односима са суседним теренима. Углавном данас се сматра да су флишни басени били изужени паралално са дужом осом геосинклинале и да су били дубоки”.

Према Димитријевићу Д. М.^[16]: “Негде у мастрихту (горња креда) у Сарајевској сигмоиди наступа кратак, али буран период тектонских покрета и изроњавања са спирањем. Већина аутора ове покрете назива епирогеним, подаци показују да је у то вријеме спрано више од 1000m наслага, тако да су на површини терена појавили чак и тријаски седименти. Прије нове трансгресије творевине су убране, што се најбоље запажа на североисточним падинама Јаворових врхова (источно од Гатачког поља)”.

“Нова седиментација почиње у мастрихту, врло бурно уз нагло тоњење басена и депоновање базалне блоковске фације преко разуђеног рељефа. Дебљина ових рудита је 0-50m. Састав им је условљен саставом скоро непосредне подине, тако да су најчешћи фрагменти доломита и кречњака горњег тријаса, јуре и доње креде, па и гроњокредних кречњака (рудиста) и црвених кречњака. Фрагменти су угласти или слабо заобљени са пречником ид до 70cm.

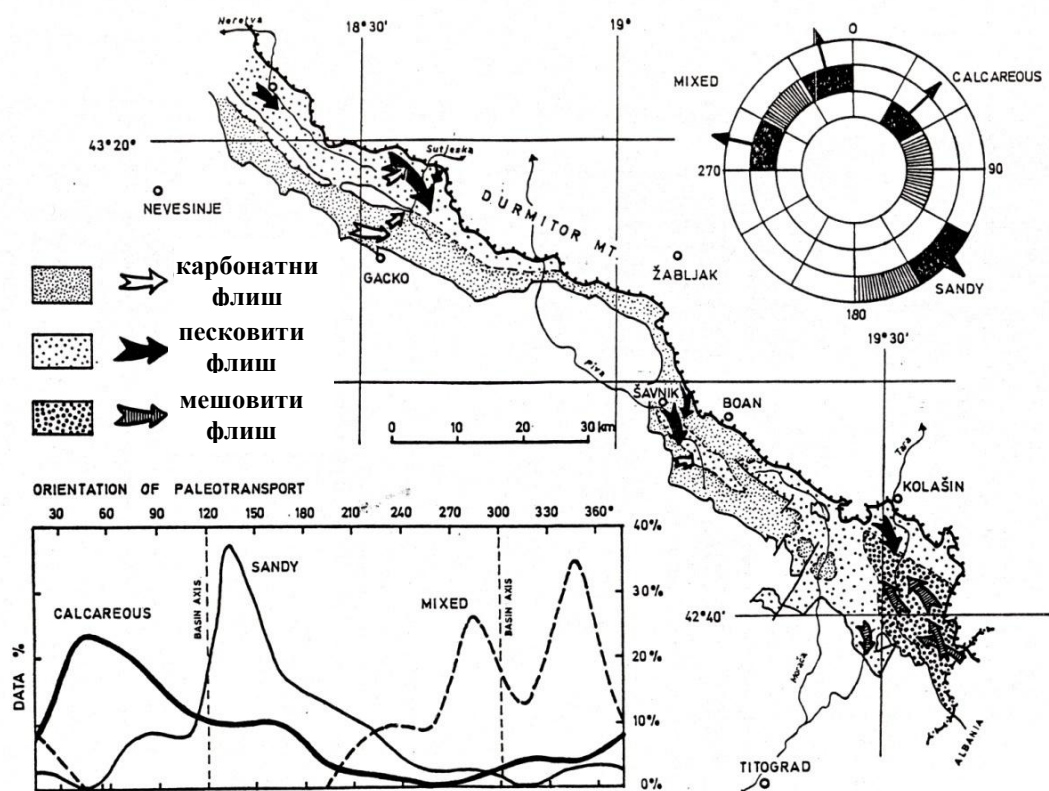
Ови груби неорганизовани калкрудити (грубозрни карбонати) прелазе навише у слојевите творевине са турбидитским карактеристикама. Секвенце су метарске, градиране, са прелазом навише на калкарените (карбонати ситнозрнији од 0,5mm) (интрабиоспарите) са градцијом и ламинацијом течења. Када су секвенце потпуније развијене, изнад калкаренита слиједе лапоровити биомикрити са муглама и прослојцима рожнаца”.

Овај флиш се састоји из двије фације - карбонатне и пјесквите (“нормалне”, силицикластичне), касније је у југоисточним дјеловима потврђено постојање и мјешовитог типа флиша.

Седиментолошки је доказано да су литолошке разлике у флишу последица литолошког састава сливног подручја (састава изворишне области), а не старости.

“Карбонатни флиш је преобладајући на ЈЗ ободу басена и састоји се претежно од карбонатних турбидита. Секвенце су дебеле од неколико дециметар до неколико метара и показују градијенту од калкрудита до биомикрита, прко калкаренига и лапораца са ситним пелашким фосилним детритусом. Рожнаци понегдје граде танке прослојке у средњим дјеловима секвенци. Цемент свих кластичних варијетета је карбонатни муљ, рекристалисаоу спари-калцит. Фрагменти стијена су углавном јурски и кредни кречњаци.^[16]

Силицикластичне (пјесковите) фације граде претежно сјеверозападно подручје (лист Гацко, Сутјеска) и дио ЈЗ подручја басена (ЈИ Шавник, Морача). Секвенце су веома разнолике, али ријетко потпуно развијене. Грауваке и алевролити су главни литотипови, скоро свугде богати карбонатима, док су микроконгломерати и пјесковити лапорци подређени.

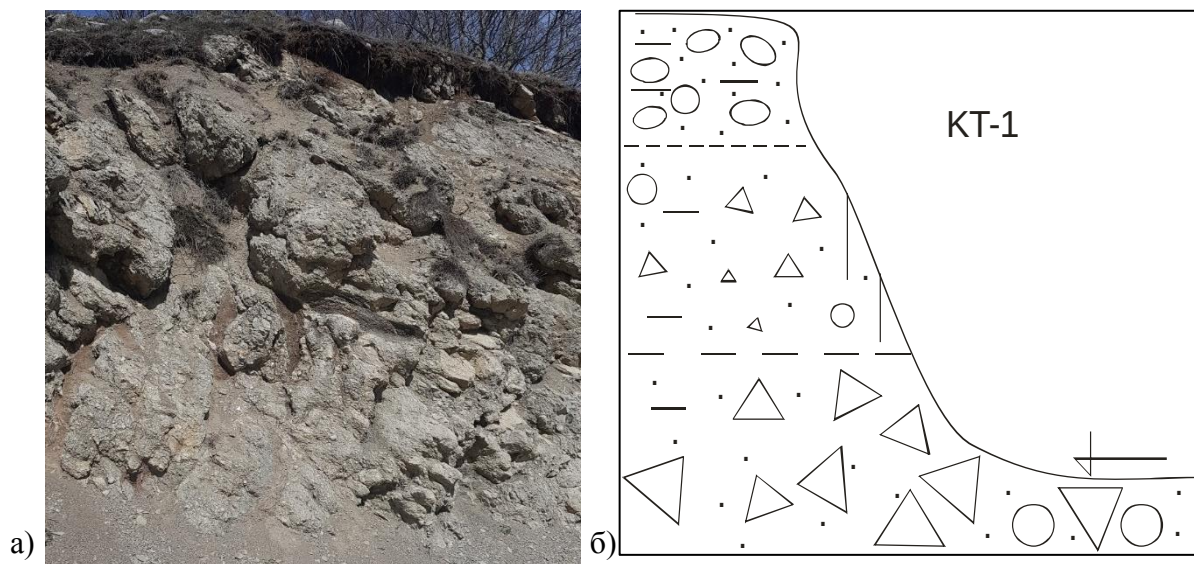


Сл. 7.: Дурмиторски флиш - распрострањење, фације и палотранспорт^[16]

Базалне кречњачке брече и конгломерати ($^1K_2^3$) имају највеће распрострањење а и дебљину, поготово тамо гдје леже преко кречњака горње јуре и доње креде. Састав бреча и конгломерата зависи од подлоге преко које леже, као и врсте стенских маса које изграђују сливно подручје басена.

Најчешће су изграђене од комада и валутака доњокредних кречњака са гастроподима и реквиендима и горњојурских кречњака са остацима елипсактинија и алги, а ређе од кречњака горње креде са рудистима. У дијеловима терена гдје флиш лежи преко седимената горњег тријаса, брече су изграђене од комада доломитичног кречњака. Пречник комада, односно фрагмената кречњака у бречама креће се од 0,7 мет (сл. 8).

Везиво је карбонатно. Овај пакет седимената откривен је на узаном потезу од Грачанице до Липника, затим на нешто већем простору на сјеверним падинама Леденице, у Тодоровом долу и на јужним падинама Пивске Планинице, на сјеверним падинама Трескавца, као и на подручју Дурмитора између Бандијерне и Боботовог кука и на десној страни ријеке Комарнице у атару истоименог села. Дебљина бреча и конгломерата у овом дијелу креће се од 10 до 100 метара^[41].



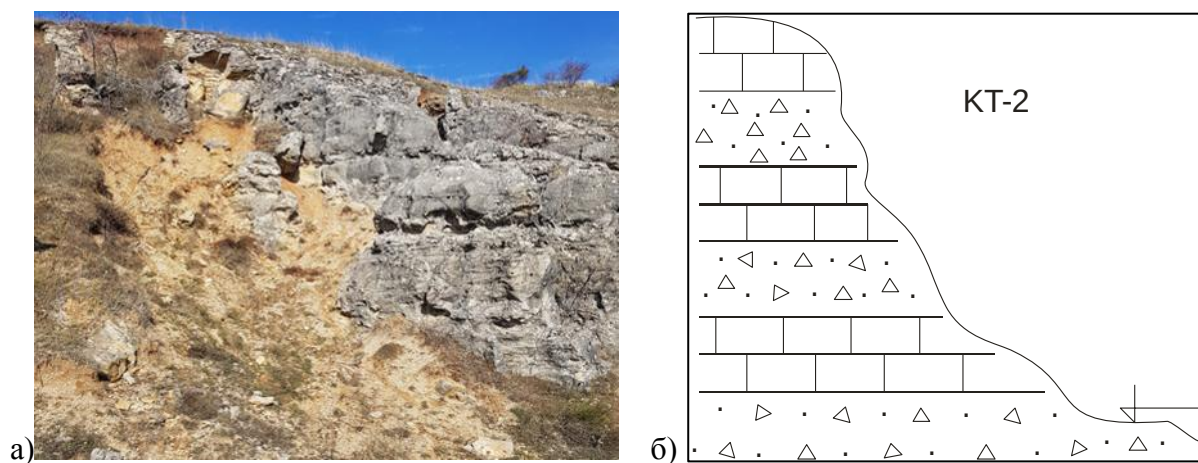
Сл. 8.: а) Засјек на путу Гацко-Фоча, локалитет Врба, изграђен од базалне кречњачке брече и конгломерати ($^1K_2^3$) и б) КТ-1 конструкција терена^[9]

Слојевите брече и кречњаци ($^2K_2^3$) издвојени су као други пакет и изграђена је претежно од карбонатних седимената. Крупнозрни кречњачки конгломерати и брече јављају се у виду банака дебљине 2 - 5 метара. Изграђени су од валутака и комада ситнозрних бреча флиша, разноврсних кречњака и лапораца. Везиво је лапоровито и

карбонатно. Конгломерати у стубу прелазе у средњезрне, а ове у ситнозрне слојевите кречњачке брече. Брече су изграђене од комада кречњака, рожнаца и лапораца. Садрже редовно мугле рожнаца. Дебљина бреча креће се од 2 до 6 метара. Преко бреча леже слојевити, жућкасти, пјесковити кречњаци - калкаренити. Јављају се у слојевима од 0,2-0,8 метара. Редовно се јављају као други члан секвенце и дебљина им износи од 1-3 метра. Преко пјесковитих леже лапоровити кречњаци који се јављају у виду слојева дебљине до 0,3 метра. Заступљени су као последњи члан ове серије.

Флишни карактер ове серије огледа се у ритмичности смјењивања, јасно израженој код бреча, хоризонталној и косој ламинацији код кречњака.

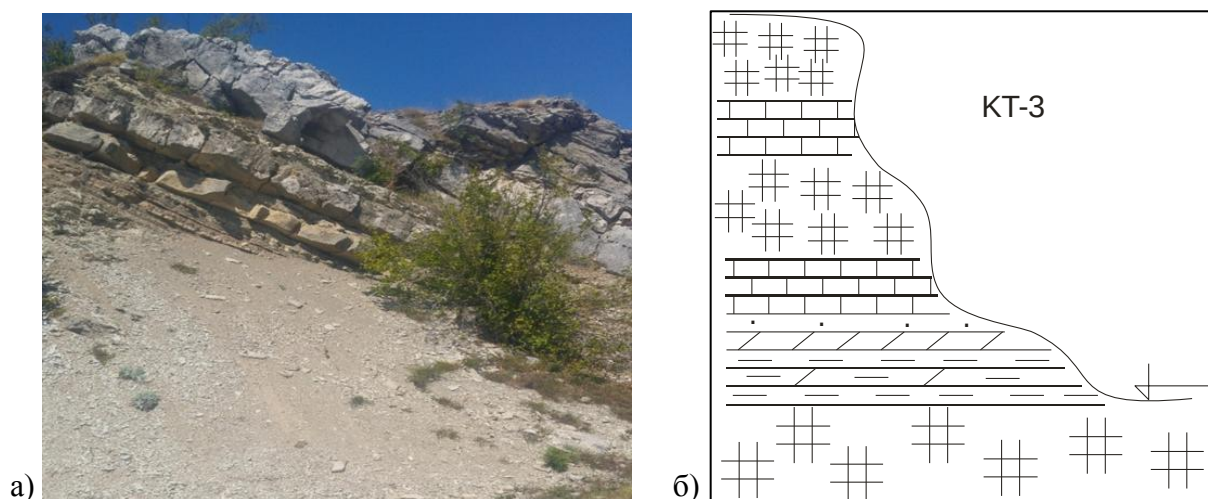
У овој серији преовлађује секвенца изграђена од бреча, пјесковитих кречњака и лапоровитих кречњака са прослојцима и муглама рожнаца.



Сл. 9.: а) Слојевите брече и кречњаци (${}^2K^3_2$) и б) конструкција терена КТ-2^[9]

Седименти ове серије издвојени су на југозападном ободу Гатачког поља између Међулића и Срђевића и сјеверно од Гацка између Грачанице и језера Клиње у предјелу Поникве. Од ових седимената израђена је планина Лебршник, Кнеж-страна и Брштевац.^[41]

Брече, кречњаци и лапорци (${}^3K^3_2$) представљају трећи пакет седимената, који уједно заузимају и највеће распрострањење у оквиру простора који изграђује дурмиторски флиш. Јављају се у виду широког појаса правца пружања, сјеверозапад-југоисток. Кречњачке брече се јављају у виду банака и слојева. Дебљина им је различита од секвенце до секвенце и креће се од 0,5 до 10 метара. Брече се врло лијепо уочавају на терену у виду банака који се могу пратити по пружању на великој дужини.



Сл. 10.: а) Падина изграђена од бреча, кречњака и лапораца ($^3K_2^3$) и б) Конструкција терена КТ-3^[9]

Преко бреча леже пјесковити кречњаци и калкаренисти сиве, мркосиве и жућкасте боје. Јављају се у слојевима дебљине 25 до 50см. Изграђени су од карбонатног и органогеног теригеног материјала и пјесковите компоненте. Карбонатни теригени материјал чине одломци разноврсних кречњака, а органогени чине одломци макро и микро фауне. Пјесковита компонента је представљена кварцом, плагиокласом, мусковитом и кварцитом. Величина зрна пјесковите компоненте 2 - 3 mm.

У слојевима пјесковитих кречњака и калкарениста има градиције, хоризонталне ламинације и ламинације течења и то косе и таласасте. На доњој површини слојевитости и то код пјесковитих кречњака, када се јављају као први члан секвенце, налазе се трагови течења.

Дебљина пјесковитих кречњака и калкарениста варира од секвенце до секвенце и креће се у границама од 0,5 до 2,5 метара. Уочено је и то, да се дебљина ових седимената идући од базе према врху серије смањује.

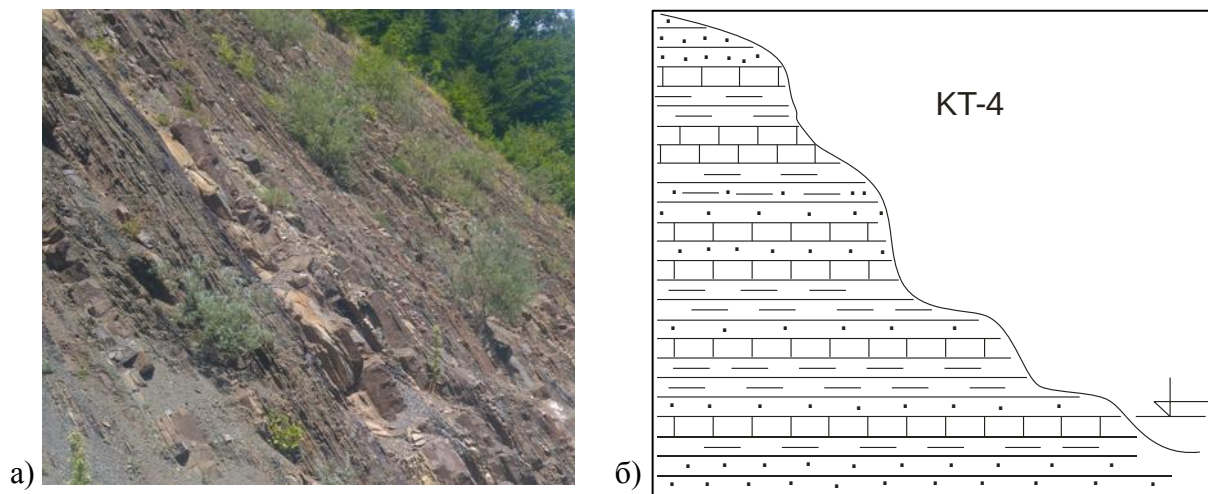
Пјесковити кречњаци у профилу секвенце прелазе у пјесковите лапорце, а ови у сивозелене мрке плочасте лапорце. У вишим дијеловима овог пакета на југозападним падинама Живња и Лебршника, као завршни члан секвенце, јављају се плочасти затворено црвени лапорци који се постепено развијају из сивомрких лапораца.

Седименти овог пакета заузимају највеће распрострањење у оквиру простора који изграђује дурмиторски флиш. Јављају се у виду широког појаса правца сјеверозапад-југоисток. Изграђују терен између Лебршника и Кнеж-страна на сјеверу и Ковиоце и Леденика на југу, затим терен између Жагрице на сјеверу и Леденица на југу. Из овог

подручја седименти овог пакета простиру се у виду узаног појаса преко Стабана, Седлара, Милошевића, Плужина, Пирног и Бљуштурног дола до Тодоровог дола. Од Тодоровог дола у правцу југоистока ова флишна зона се шири и учествује у изградњи терена Пруташа, Доброг дола, Вјетреног брда, Увите греде, Седла, Крње Јеле и Ивице.

Падине или њени дијелови изграђени од пакета бреча, кречњака и лапораца, због различите отпорност појединих литолошких чланова на дјеловање атмосфера. подложне су појавама нестабилности. Лапорци и брече, као подложнији распадању формирају делувијалну распадину, а кречњаци као отпорнији дио пакета штрчи у виду остеоњака – литице из којих се одроњавају поједини блокови (сл. 10).^[41]

Пјесковито лапоровита серија флиша ($^4K_2^3$): “Ова серија дурмиторског флиша развијена је у горњем току ријеке Сутјеске између Волујака, Власуље и Лебршника, а изграђује атаре села: Чемерно, Трторија и Изгори (сл. 11). То су типични седименти флиша. Представљени су микроконгломератима, граувакама, алевролитима и лапорцима. Поред ових главних представника серије јављају се у мањем проценту кречњачке брече, пјесковити и лапоровити кречњаци. У слојевима већине ових литолошких чланова налазе се мугле и сочива разнобојних рожнаца.



Сл. 11.: а) Падина изграђена од стјесних маса пјесковито-лапоровите серије ($^4K_2^3$) - падина је у цјелини стабилна, активан је процес спирања и б) Констркција терена КТ-4^[9]

Најзаступљеније су секвенце које су изграђене од микроконгломерата, граувака, алевролита и лапораца.

Микроконгломерати се јављају као први члан секвенце. Изграђени су од валутака кречњака, пјешчара, дијабаза, серпентинита, рожнаца црвене и зелене боје, лапораца, зрна плагиокласа и кварца и лиски мусковита. Везиво им је карбонатно. Јављају се у

виду слојева и банака дебљине 0,2 до 2 метра. Код слојева конгломерата развијена је градиациона слојевитост. На доњој површини слојева микриконгломерата налазе се трагови палеотечења.

Грауваке се јављају као други члан секвенце. Развијене су у више слојева дебљине 0,2-0,4 метра. Боје су сиве, зеленкастосиве и мрке. Изграђене су од зрна кварца, плагиокласа, мусковита, и одломака стијена: кварцних пјешчара, рожнаца, лапораца, дијабаза и серпентинита. Од минерала доминира кварц, али је подређен укупно на остале састојке. Везиво граувака је карбонатно. У слоју граувака заступљена је хоризонтална и коса ламинација.

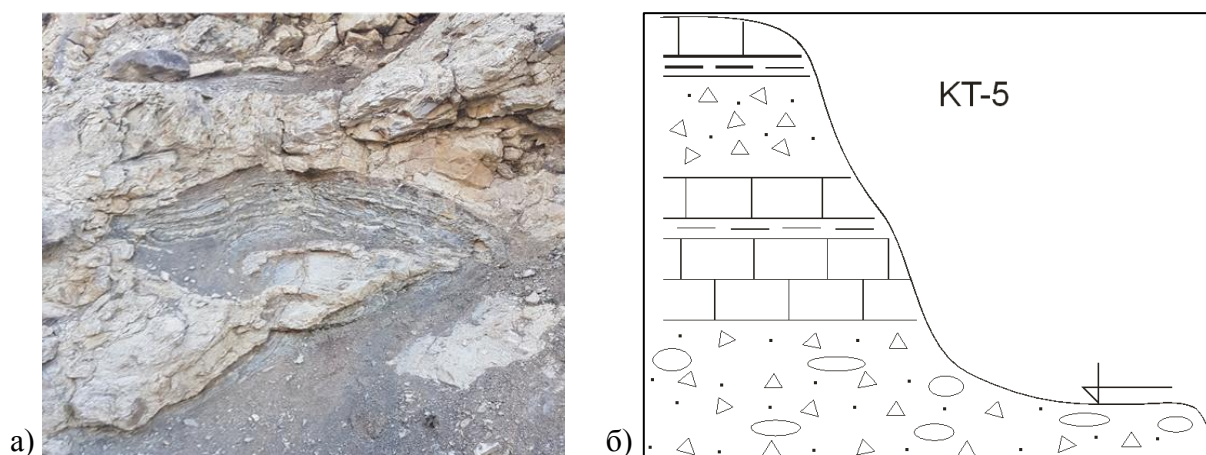
Алевролити се јављају као трећи и ријетко као завршни члан секвенце. Јављају се у слојевима дебљине 0,5 до 2 метра. Изграђени су од микро и криптокристаластог калцита и ситнозрне пјесковите компоненте, коју чине, кварц, мусковит и рјеђе плагиоклас.

Лапорци су зеленкасте, сиве и црвене боје. Јављају се у виду плоча и лиски. Изграђени су од глиновито карбонатне компоненте. Садрже и пјесковиту прашину изграђену од кварца, мусковита и серицита.

Поред наведених литолошких чланова у оквиру ове серије заступљене су мјестимично и кречњачке брече. Леже преко лапораца и алевролита”.^[41]

Брече, кречњаци и лапорци ($^5K_2^3$), представљају посљедњи пети пакет дурмиторског флишног комплекса. Грађен је од претежно карбонатних седимената. На подручју захваћеном ОГК Гацко овај пакет слојева изграђује терене планине Лебршник, затим Кнез Стране, Брда, Кук, Живањ, Ријеглав и Кремен до. У оквиру овог суперпозиционог пакета дурмиторског флиша заступљени су крупнозрни кречњачки конгломерати и брече, кречњачке брече средње до ситнозрне, лапоровити кречњаци и лапорци са муглама рожнаца. Крупнозрни кречњачки конгломерати и брече јављеју се у виду банкова дебљине 2 до 5 метара. На сјеверним падинама Лебршника леже преко седимената пјесковито-лапоровито лапоровитог пакета ($^4K_2^3$).

“Конгломерати и брече су изграђени од валутака и комада кречњачких ситнозрних бреча из флиша, разноврсних кречњака и лапораца. Везиво им је глиновито лапоровито.



Сл. 12.: а) Брече, кречњаци и лапорци (K_2^3) и б) Конструкција терена КТ-5^[9]

Конгломерати даље, у геолошком стубу прелазе у кречњачке брече средњег зрна, које се јављају у виду банака и слојева. Садрже мугле сивих до мрких рожнаца. Даље на стубу као други члан овог пакета редовно се појављују слојевити жути детритични кречњаци, а дебљина слојева је од 0,2 до 0,8 метара.

Као посљедњи члан овог пакета јављају се плочасти сиви до сивозелени лапорци. Флишни карактер овог пакета огледа се у ритмичном, наизмјеничном смјењивању литолошких чланова пакета, јасно израженој градацији и ламинацији. У оквиру овог пакета флишних седимената преовлађује секвенца коју чине брече, пјесковити кречњаци и лапоровити кречњаци са муглама рожнаца. Њихова дебљина се креће од 2 до 5 метара”.^[41]

На терену који припада ОГК Шавник седименти овог пакета нису издиференцирани.

Што се тиче листова ОГК Иванград и Гусиње ова формација је издвојена као кредно-палеогени флиш и није се овако детаљно улазило у диференцијацију литолошких чланова. “У оквиру рада на изради ових листова у кредно палеогеном флишу^[19] утврђено је развиће горњег мастрихта, дански кат?, палеоцен и доњи еоцен. Извршена је диференцијација литолошких чланова тако да ова формација почиње слабо везаним бречама и конгломератима преко којих леже црвени лапорци, зелени и сиви лапорци, глинци и пјешчари са ријетким интеркалисаним банцима и сочивима микробреча од 0,15 до 2 метра дебљине. Код микробреча и пјешчара развијена је градациона слојевитост. Преко лапораца и пјешчара мјестимично леже банкови грубозрних конгломерата, дебљине и до три метра, изграђених од крупних фрагмената кречњака везаних пјесковито лапоровитим цементом. Преко конгломерата горњег

мастрихта леже лапоровити слојеви данског ката а затим долазе палеоценски тамносиви и плавичасте глинци црвене и зелене боје, лапорци и пјешчари са ријетким интеркалисаним банцима микробреча од 0,15 до 2 метра дебљине. И код ових бреча и пјешчара развијена је градациона слојевитост. Дебљина палеоценских слојева износи од 50 - 100 метара”.^[19]

Преко палеоценске серије слојева леже слојеви доњег еоцена, представљени глинцима и лапорцима са неколико интеркалисаних банака микробреча код којих се запажа градациона слојевитост.

Квартар Q

Седименти квартара изграђују значајан дио терена на простору који заузима дурмиторски флиш. Заступљени су глацијални и глацио-флувијални седименти, делувијални, делувијално-пролувијални и алувијални наноси. Ови седименти имају веома значајну улогу у савременим геодинамичким процесима који се одвијају на овом простору.

Глацијални седименти (gl) представљени су чеоним и бочним моренама са доста великим степеном обраде комада стијена. Моренски материјал се састоји од пијеска, пјесковите глине и добро обрађених фрагмената различитих величина и састава. Доминирају обликовани кречњачки комади и блокови, а присутни су и комади пјешчара, лапораца и рожнаца. На простору који захвата лист ОГК Гацко морене су констатоване испод врха Орловац, затим на више локалитета у околини Смријечна, и на више других локација али оне су ван флишног појаса.

На подручју које захвата лист ОГК Шавник значајно су заступљени седименти глацијалног поријекла. Изграђују значајне просторе, највеће је Крново поље, затим већи простор око градића Шавника, затим већи простор око врха Струг, затим околина Колашина, долина ријеке Веруше.

Глациофлувијални седименти (glf), присутни су као терасне заравни које се састоје од шљунковитог и глиновитог-пјесковитог материјала. Често су прекривене дебљим хумусним или делувијално-пролувијалним наносом. Терасни одсјеци могу бити и до 10 метара. Ови седименти констатовани су у долинама ријека Тушиње, Комарнице, Веруше.

Делувијални седименти (dl), састављен од распаднутих дијелова основних стијена, односно различито уситњених комада појединих чланова флиша. Покривају у цијелости или највећи дио падина терена изграђеног од флишних седимената. Овим наносом прекривена је велика површина терена. Дебљина делувијалних седимената

варира од неколико центиметара до више десетина метара. Ови седименти су најдебљи и најраспрострањенији у долињским странама ријечних корита (Неретва, Сутјеска, Морача, Тара).

Делувијално-пролувијални седименти (дпр), представљени су најчешће плавинским лепезама потока и јаруга при њиховом уласку у алувијалне и терасне заравни. Изграђени су углавном од неуређеног, грубозрног до финозрног наноса од различитих литолошких чланова флиша. Ови седименти везани су за ушћа већих потока у ријечне токове.

Алувијални седименти (ал) представљени су алувијалним заравнима односно ријечним терасама, које се мјестимично степенасто налазе једна изнад друге. Висина степеница може бити и по неколико метара. Ријечне терасе изграђене су од шљунка, пијеска и пјесковите глине са хумусним слојем од 0,2 до 0,5 метара.

Поред ових седимената издваја се и алувион, који испуњава ријечна корита и њихову непосредну околину, састављен најчешће од крупног шљунка, пијеска и глиновито-пјесковитог наноса. Дебљина алувијалног наноса креће се и до 20 метара.

3.2. Тектонска својства дурмиторског флишног комплекса

Као што је за сваки лист ОГК који обухвата зону дурмиторског флиша посебно описана литостратиграфска својства терена, тако ћу исто бити приказана и тектонска својства са једним општим закључком на крају. Појас дурмиторског флиша на листу ОГК Гацко издвојен је у оквиру Кучке тектонске јединице.

Дурмиторска тектонска јединица је са сјевероистока навучена преко Кучке тектонске јединице, дуж трасе дурмиторске навлаке. На подручју које обухвата лист ОГК Гацко та траса се може пратити од „Придворице па преко Прутаче, до западних падина Врањаче гдје су преко сенонског флиша навучени кречњаци средњег тријаса. Даље од Јаворка и десном страном ријечице Јабушнице, па преко Кољена спушта се у кањон Сутјеске код Вратара. Даље на југоисток навлака се простира југозападним падинама планина Волујака и Власуље, јужним падинама Биоча, до ушћа Врбнице у Пиву, даље иде десном обалом Пиве а затим се пење преко Пишча до Планинице. Даље према истоку нема навлачења, него преко јурских кречњака леже ерозионо-дискордантно седименти сенонског ката. Највећи интензитет навлачења у дијелу између

Прутаче и Врањаче. У овом дијелу угао површине навлачења је између 30° и 35° , док је у осталим дијеловима угао навлачења око 50° .^[41]

Јужна, односно југозападна граница дурмиторског флиша је ерозионо-дискордантна. Седименти флиша леже, у рејону Гацка, у дискордантном односу преко преко кречњака лијаса и догера, затим даље преко спрудних кречњака горње јуре, долином ријеке Мушнице, и даље на исток преко кречњака доње креде, ценоманских и туронских кречњака, до тзв. краљушти Голије.

И даље до Смријечна гдје нестају. Некако на самој географској граници између Босне и Херцеговине и Црне Горе, појас флиша се сужава на свега неколико стотина метара. Јужне границе дурмиторског флиша источно од Плужина такође леже у ерозионо - дискордантном односу преко кречњака горње јуре и доње креде. Од Тодоровог дола појас флиша се лагано шири према истоку и југоистоку.

“Од већих структурних облика издвојени су сљедећи: сјеверно од Гацка синклинала Живња, затим се наставља Гатачки синклиноријум, па синклинала Лебршника, синклинала Брштевца и синклинала Тодоровог дола. Гатачки синклиноријум обухвата широк простор између Гацка и Автовца на југозападу и Товарнице и Волујака на сјевероистоку. Изграђен је од кречњачких флишних седимената на југозападу и пјесковито-лапоровитих седимената флиша у сјевероисточном дијелу преко којих су навучени седименти тријаса и јуре.

Југозападно крило Гатачког синклиноријума изграђују сенонске флишне творевине и то: базалне брече и конгломерати ($^1K^3_2$), услојене брече, кречњаци и лапоровити кречњаци ($^2K^3_2$), стратификоване брече, кречњаци, пјешчари и лапорци ($^4K^3_2$). Сјевероисточно крило синклиноријума изграђују конгломерати, пјешчари и лапорци ($^5K^3_2$).“^[41]

Базалне брече и конгломерати су слабо стратификоване и имају генерални правац пада према сјевероистоку.

Брече кречњаци и лапоровити кречњаци такође имају генерални правац пада ка сјевероистоку.

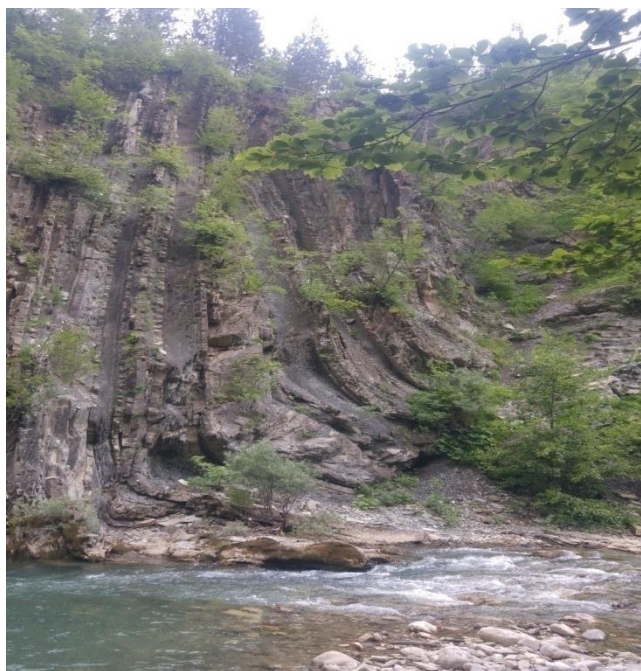
Непоремећени су, тј. код њих није уочен процес набирања, а руптурни облици представљени су попречним и дијагоналним декаметарским расједима.

Слојеви стратификованих бреча, кречњака, калкарених и лапораца убрани су у бројне метарске, декаметарске и хектометарске, усправне, косе и преврнуте наборе са распоном крила од неколико до 500 метара. Многи набори су у једном свом дијелу

простирања усправни, а у другом коси. Аксијалне површине су усправне или косе. Вергенца им је југозападна, а угао вергенце се креће до 10° .



Сл. 13.: Чело навлаке, Вратар – кањон Сутјеске



Сл. 14.: Набори у пјесковито лапоровитој серији (${}^4K_2^3$), корито ријеке Сутјеске, Вратар

“У оквиру пакета (${}^4K_2^3$) конгломерата, граувака, пјешчара и лапораца, који изграђују сјевероисточно крило синклиноријума, развијени су бројни метарски и декаметарски, усправни и коси, преврнути и полегли набори. Распон крила креће се од 1 до 10-так метара. За разлику од набора у оквиру пакета (${}^3K_2^3$) набори у овом пакету, на терену се могу пратити на веома малом растојању, пошто је терен обрастао вегетацијом. Набори се уочавају у коритима потока и усјецима шумских путева. Врло лијепо ове наборе можемо пратити дуж регионалног пута Фоча - Гацко, у мјесту Саставци. У језгру синклиноријума су развијене стратификоване кречњачке брече, кречњаци и лапорци. Исти су убрани у метарске и декаметарске наборе, усправне косе и преврнуте (сл. 14).

Синклинала Живња има пружање сјеверозапад - југоисток. Средњи статистички пад југозападног крила, косог дијела синклинале износи 44/34, а сјевероисточног 191/38. Елементи пада осе су 191/11. Аксијална површина је коса. Вергенца је југозападна.

Синклинала Лебршника је у ствари југоисточно продужење синклинале Живња, која је ерозијом разорена у предјелу ријеке Врбе. Има пружање сјеверозапад-југоисток. Простире се од Равне греде до Кнез стране. Спада у групу усправних набора. Средњи статистички пад југозападног крила 28/25 а сјевероисточног 199/27. Оса синклинале тоне у правцу ЈИ под благим углом. Аксијална површина је вертикална”.^[41]

У југоисточном распрострањењу сенонског дурмиторског флиша развијена је синклинала Тодоровог дола. Изграђују је слојеви стратификованих бреча, кречњака, лапоровитих кречњака и лапораца (3K_2). Простире се од брда па преко Бљуштурног и Тодоровог дола да Пруташа. Средњи статистички пад југозападног крила је 32/27 а сјевероисточног 194/64. Вергенца је југозападна, а угао вергенце износи 18°. Синклинала Тодоровог дола спада у групу косих набора. На југозападном крилу синклинале Тодоровог дола развијени су бројни метарски набори, усправни, коси и преврнути.

И даље у оквиру Кучке геотектонске јединице а на подручју које захвата лист ОГК Шавник велики дио простора изграђују седименти дурмиторског флиша. Постепено идући од сјеверозапада, на подручју које захвата овај лист, долази до ширења појаса дурмиторског флиша у правцу југоистока.

“Јужно од Шавника, јужна граница дурмиторског флиша је у дискордантном односу према кречњацима и доломитима доње креде, и простире се од Шавника преко Милошевића, Крновог поља, гдје су седименти флиша прекривени глацијалним наносима, преко Великог и Малог Журима до Капетановог језера. Од Капетановог језера па све до ушћа Ријечице у Мртвацу седименти флиша леже дискордантно преко туронских масивних кречњака. Одатле па све до расједа Мртво Дубоко седименти флиша леже преко јурско-кредних кречњака. На самом југоисточном дијелу листа Шавник седименти флиша поново леже дискордантно преко кречњака и доломита доње креде.

Сјеверну, односно сјевероисточну границу дурмиторског флиша представља чело навлаке, које је врло често прекривено флувиоглацијалним или делувилним седиментима”.^[31] Кречњаци доњег и средњег тријаса навучени су преко седимената флиша у истом оном односу како сам описао за лист ОГК Гацко. Траса навлаке протеже се од Црквине, преко Драговић поља и даље до Боана.

“Синклиноријум Горње Мораче на листу Шавник представља највећи наборни облик, чија је дужина већа од 40 км а ширина се креће од 3-15 км, са правцем пружања сјеверозапад-југоисток. Овај синклиноријум је испуњен седиментима лапоровито-пјесковите и кречњачке фације горњокредног флиша”.^[3]

У доњим дијеловима флишног стуба налазе се листасти, плочасти до танкослојевити лапорци са прослојцима лапоровитих и пјесковитих кречњака. Горњи дио овог стуба изграђују слојевити и банковити кречњаци који су најчешће лапоровити и пјесковити, калкарени, кречњачке брече и друге релативно круте стијене. Овакав

распоред стијена је условио да се у образују врло ситне декаметарске и метарске, а у другим крупне боре, понекад са распоном осе и преко 10 км. Једини наборни облик већих размјера на овом подручју могуће је издвојити као антиклиналу Горње Љуте, чије је тјеме а и језгро дјеломично разорено.

Најуочљивији разломни облик у овом дијелу је краљушт Љута-Лебршник, дуж које су раскинути и навучени седименти лапоровито пјесковите фације преко кречњачке. Раван навлачења је прилично стрма, мјестимично и до 70°.

Централни и сјеверозападни дио синклиноријума изграђују стијене кречњачке фације које су убране у већи број набора релативно већих димензија.

Најљепши наборни облици на овом дијелу дурмиторског флиша налазе се на планини Лоли, гдје се уједно налазе и најмлађи палеоценски седименти, у којима се вјероватно налази оса синклиноријума.

Разломни облици су испољени у знатној мјери. Сви су локалног карактера.

Посебно битно подручје за тематику овог рада је оно које захвата југозападни дио листа Иванград и сјеверозападни дио листа Гусиње. Управо кроз ово подручје пролази траса ауто-пута која повезује сјеверни са јужним крајем Црне Горе, односно Колашин са Подгорицом.

На листу Иванград сјевероистична и источна граница представљена је тзв. Дурмиторском дислокацијом, тј. преко седимената дурмиторског флиша навучени су доломитични кречњаци, доломити и лапоровити пјешчари и шкиљци доњег перма. “На овом дијелу терена та навлака се протеже од Бабљака код Колашина, иде према југоистоку ка Скрбуши и Врањештици, а одавде скреће према југу ка Барама Краљским. Од овог села дислокација се наставља у југоисточном правцу према Љубаштици одакле скреће у југозападном смјеру преко катуна Маргарите и Турјака, преко катуна Веља Чура до албанске границе, гдје залази у област Врмоши и поново у околини Гусиња прелази на територију Црне Горе. На југу овау јединицу омеђује Кучка краљушт”.^[19]

Овај дио терена углавном је покривен бујном вегетацијом и дебелим кварталним творевинама, због чега је његово проучавање и детаљно анализирање знатно отежано. Запажања се углавном могу одвијати у усјецима и природним засјецима терена, као и оним које је створио човјек. Ова запажања углавном говоре да су седименти дурмиторског флиша, као и на осталим напријед описаним подручјима интезивно убрани. Боре су малих размјера, мјестимично полегле а негдје и раскинуте. И на овом

дијелу дурмиторског флиша може се закључити да седименти имају генерално правац пада према сјеверу-сјевероистоку.

Што се тиче ријечних долина, којима обилује простор који изграђују седименти дурмиторског флиша, углавном су контролисане расједима. Запажају се обадва основна случаја међусобних односа расједа на овом дијелу терена и то они динарског правца пружања као и они који су попречни у односу на њих. Несумњиво је да је неколико већих ријечних токова предиспонирано расједима, а то су горњи ток Неретве, Јабушница, Клобучарица, Сутјеска, Буковица, Морача, Бијела, затим ток ријеке Таре кроз подручје дурмиторског флиша, Опаснице и Веруше.

Тектонски односи и структурна својства седимената дурмиторског флиша веома су битни за тематику овог рада, па сам им зато и посветио прилично простора и до у детаље по сваком листу појединачно их описао.

3.3. Хидрогеолошка својства дурмиторског флиша

3.3.1. Опште

Обзиром да је утицај подземних вода неспоран на стабилност терена и услове извођења радова у њима и изградњу подземних објеката, нажалост у пракси су још увек присутна одређења прагматична рјешења која не уважавају њихову специфичност. У теренима изграђеним од флиша, још више је утицај подземних вода доста магловит. Да би се та питања појаснила, најпре ће бити приказани неки општи појмови из хидрогеологије, односно од порозности стијенских маса и њиховог утицаја на циркулацију подземних вода, потом услова настанка, специфичности утицаја подземних вода на стабилност и услове изградње објеката. Можда ће неки изнијети ставови изгледати непотребни, али су они изнијети у минималном обиму, како би се обухватила цјелина проблема.

Подземне воде и стијенске масе образују један динамички систем, који битно утичу на услове изградње и експлоатације објеката. Због тога их треба разматрати, као једну од основних компоненти инжењерскогеолошких услова одређеног простора. Простори изграђени од флишних седимената, по много чему испољавају одређене специфичности, и то се посебно односи на подземне воде. Оне у значајној мјери, у површинским дјеловима доприносе развоју геодинамичких процеса, али и условима

изградње и експлоатације разноврсних објеката. У дубљим дјеловима значајно утичу на услове извођења подземних радова (тунела, подземних складишта и др.) и то како количинама, тако исто утичу на физичко-механичка својства средина, стање напона и деформација, а све то значајно утиче на цијену коштања радова и експлоатације објеката.

Да би објаснили горње тврдње, најпре је неопходно у кратким цртама приказати и неке опште ставове, који се односе на услове циркулације подземних вода у стијенским масама. Напомињемо да се у хидрогеологији, прије свега изучава законитост формирања и кретања подземних вода, затим њихова хемијска и физичка својстава, режим и количине. Све више су значајна и питања заштите подземних вода у циљу њиховог коришћења за водоснабдијевање, као минералних вода и сировина за хемијску индустрију. Поред тога, оне се разматрају и као узгредни, често негативни фактор, нарочито при експлоатацији минералних сировина.

У инжењерској геологији, подземне воде, у највећем броју случајева компликују услове грађења и експлоатације објеката или коришћења територија. Често се као један од главних задатака инжењерскогеолошких истраживања поставља питање изучавања стања и режима подземних вода у циљу примјене мјера за елиминацију њиховог штетног утицаја на стабилност објеката и на активирање геодинамичких процеса. Тај сегмент изучавања често се назива *инжењерска хидрогеологија*.

Изучавање подземних вода као инжењерскогеолошког фактора уважава њихов вишефакторни карактер дјеловања. Подземне воде се јављају као *компонента стјенских маса (гелолошке средине)*, истовремено се јављају и као значајне силе (хидростатичке и хидродинамичке), а такође је значајно и њихово хемијско и физичко дјеловање, када доводе до измјене грађе и својстава стјенских маса. На пример, при повећању влажности стјенских маса мјењају се њихова својства: снижава се чврстоћа, расте деформабилност, повећава брзина лонгитудиналних сеизмичких таласа и тежина масива. У макропорозним (међузрнске поре, испуцалост и сл.) стјенским масама јављају се хидростатички и хидродинамички притисци, тј. подземне воде делују као силе. У инжењерској геологији подземне воде, које се налазе у стијенама у виду физички везане и слободне (гравитационе) воде изучавају се и оцјењују због сљедећих утицаја:

- 1) Утицај нивоа и режима (сезонског и вишегодишњег) оводњености стјенских маса на њихово стање, механичка својства и на растворљивост. Повремено влажење и сушење, у првом реду глиновито-лапоровитих стијена доводе до формирања прслина,

односно нарушавања веза и њихове структурне везе, која је формирана у литогенези. Првобитно доста чврсти лапори и глине се распадају и при томе вишеструко се смањује њихова носивост и чврстоћа на смицање, повећава пластичност и наступају неповољни инжењерскогеолошки услови.

2) Утицај на развој карстификације, суфозије, слијегања у лесу, клижења и др. При циркулацији воде у стјенама, особито испуцалим, које садрже невезане испуне, при релативно великим брзинама (градијентима) настаје механичка суфозија која прераста, у одређеним условима, у клижења, одроњавања или подземне токове. На пример, сличне појаве могу да настану у систему крупних карстних каверни и канала са образовањем карактеристичних подземних ерозионих и акумулативних микро форми. Код лесних, прашинастих слабовезаних глиновитих седимената понекад се формирају канали и шупљине. Интензитет водозамене, количине и агресивност подземних вода утичу на карстификацију, јасно различиту у карбонатним, сулфатним (гипс) и соним седиментима. На настанак и развој процеса клижења, као и слијегања у лесу, подземне воде имају значајно дејство.

3) Хидраулично дјеловање подземних вода на стијене огледа се у виду:

- *хидродинамичког притиска* који настаје при брзом и значајном снижавању нивоа ријека: последице поводња, код акумулација, при црпењу вода при ископу темељних јама, површинских копова, подземних рудничких просторија, тунела и подземних радова, а такође и као резултат интензивног вјештачког наводњавања;

- *хидростатичког притиска*, услед тежине воденог стуба ($p_v = \gamma_v h_v$), који добија велико значење у случају филтрационе анизотропије стјенских маса, када водопропустљивост у вертикалном правцу по великим пукотинама, раседима или карстним каналима (сезонски оводњеним) битно превазилази пропустљивост у хоризонталном правцу. То не обезбеђује брзо оцјеђивање и ток инфилтрираних вода, па тај хидростатички притисак дјелује дуже вријеме. Код појединих стијенских маса и њиховог положаја у рељефу и при великим градијентима подземних вода, може настати узгон и слом дна ископа, а такође и механичка суфозија пукотинских испуна или ситних фракција из пјесковито-шљунковитих седимената.

4) Агресивност подземних вода, односно њена интеракција са стијенским масама, бетонским објектима, металним конструкцијама, зависи од њиховог хемијског и гасног састава, температуре, бактерија и од измјене тих карактеристика по сезонама, али и у вишегодишњој размјери.

5) Биланс подземних вода у стјенским масама, у којима настају карстни, клизни, „просадочни” и суфозиони процеси, је неопходан за процену квалитативне прогнозе њиховог интензитета у времену и за успостављање ефикасних дренажа и других заштитних мера. Но, питање биланса подземних вода, за потребе инжењерскогеолошких истраживања, је најчешће могуће само квалитативно процјењивати, јер је за одређивање биланса подземних вода, неопходно успостављање специјалних климатских, хидролошких и хидрогеолошких осматрања, најмање у трајању од једног хидролошког циклуса. То за инжењерскогеолошке потребе, најчешће није могуће.

6) Динамика и режим подземних вода, како у природним, тако и техногеним условима, представља важно питање при инжењерскогеолошким истраживањима. Те информације су неопходне за рјешавање многих практичних проблема: плављења индустријских, градских и сеоских територија, прогнозе филтрације код брана, канала и акумулација, оцјене притока воде, провале воде у темељне ископе, шахте, јаме, оцјене стабилности падина и косина. Теорија динамике и режима подземних вода и методе њиховог изучавања је предмет хидрогеологије. Међутим, при постављању задатка, интерпретацији и коришћењу резултата хидрогеолошких истраживања, као подлоге за пројектовање и изградњу објеката, заштиту територија и при оцјени утицаја на стјене и геолошке процесе битну улогу има стручњак инжењерске геологије.

7) Размекшавањем везивних супстанци у стијенама при: замрзавању, суфозији и ерозији филтрационог тока по зонама и контактима ослабљених зона унутар стјенских маса, долази до сложених, а понекад и катастрофалних посљедица. На примјер при рушењима високих брана: Сан Френсис, Малпасе и других, продори воде у тунеле и течљивих пескова у шахте. Неефикасност противфилтрационих, противсуфозионих заштитних мјера на дјеловима брана и подземних објеката (радова), обично је условљено недовољним изучавањима законитости кретања подземних вода у нехомогеним, испуцалим срединама.

Изучавање процеса испирања и замрзавања, које се изводи у лабораторији на узорцима стјена великих размера, могу да дају само оквирне, прогнозне вриједности. Поузданије податке дају опити на терену (ин ситу), због тога се обавезно изводе код иоле значајанијих објеката (брана, већих ископа за фундаменте, подземних објеката и сл.).

Хидрогеолошко и инжењерскогеолошко значење процеса колматације је, у многим случајевима значајно, па га је неопходно проценити. На примјер колматација алувијалних седимента прашинасто-глиновитим фракцијама приликом поводња, често омо-

гућава лакши ископ темељних јама, обзиром на мањи приток воде. То је позитиван ефекат колматације. Међутим, колматација колектора у алувиону ријеке Саве код Београда, је знатно смањила издашност рени бунара на Новом Београду. То је најпре оцењено као негативан ефекат, због смањења издашности бунара, али је позитивно утицало на квалитет подземних вода, обзиром да су воде Саве временом бивале све загађеније.

3.3.2. Подземне воде у клизиштима

Већ су наведени одређени аспекти подземних вода, па између осталог и на настанак и развој егзогенних геодинамичких процеса и њихових творевина. Наглашено је, да подземне воде³ образују, заједно са стијенама један динамички систем, који битно доприносе развоју егзогенних геодинамичких процеса, па у том контексту и на процес клижења. Многи аутори, с правом констатују *да нема клижења без утицаја подземних вода*. С тога су најчешће примјењиване мјере за санацију клизишта израда различитих дренажа: ровова, поткопа, копаних и бушених бунара и бушотина. Обзиром да те санационе мјере често нису дјелотворне, неопходно је фокусирати пажњу на специфичности утицаја подземних вода на настанак и развој клизишта, и посебно размотрити ефикасност дренажа као санационих мјера.

Подземне воде учествују у грађи минерала, као кристализационе и конституционе воде не учествују у хидролошком циклусу, односно њих није могуће дренирати, тако да нису интересантне са становишта санације клизишта. Због тога оне даље неће бити третиране.

Подземне воде представљају и компоненту геолошке средине, коју чине: чврсте честице, поре и вода у виду паре, течног и чврстог стања (у виду леда). Зависно од величине пора, подземне воде могу бити: *слободне, капиларне или везане*.

Све стјенске масе су, мање или више порозне и у њима се налазе, сингенетске међузрнске (интергрануларне), пукотинске, сунђерасте или кавернозне поре. Услед тектонских сила, процеса распадања или других утицаја настају постгенетске, најчешће пукотинске или кавернозне поре. Веома је, са становишта разматраног проблема,

³ Овдје није случајно употребљена множина, обзиром да се подземне воде разликују, како по хемијском саставу, физичким карактеристикама, видовима појављивања и друго, па их је заиста испарвно сматрати као збирну именицу.

значајна величина односно мјеродавни⁴ пресјеци пора, јер од тога зависе и услови циркулације подземних вода. По том параметру оне се дјеле на:

- *суперкапиларне*
- *капиларне и*
- *субкапиларне поре.*

Суперкапиларне поре, у стјенским масама, су оне код којих су мјеродавни пресјеци, релативно крупни. Они су код пукотинске порозности са зјевом већим од 0,25mm, а код интергрануларних са пречником $\varnothing > 0,5\text{mm}$. У порама оваквих димензија подземне воде се крећу под утицајем гравитационих сила, а кретање се одвија сагласно са хидрауличким законима, односно по Дарсијевом закону (*Darcy H., 1856*), који важи за ламинарни режим течења. Због тога и имају назив - *физички слободне подземне воде*. Када се слободне подземне воде крећу у турбулентном режиму филтрација се не подвргава том закону, и једначина кретања је нешто компликованија. Оне су дио хидролошког циклуса, преносе хидростатичке притиске, успјешно се дренирају (дренажни ровови, бунари и др.), а замрзавају на температурама испод 0°C.

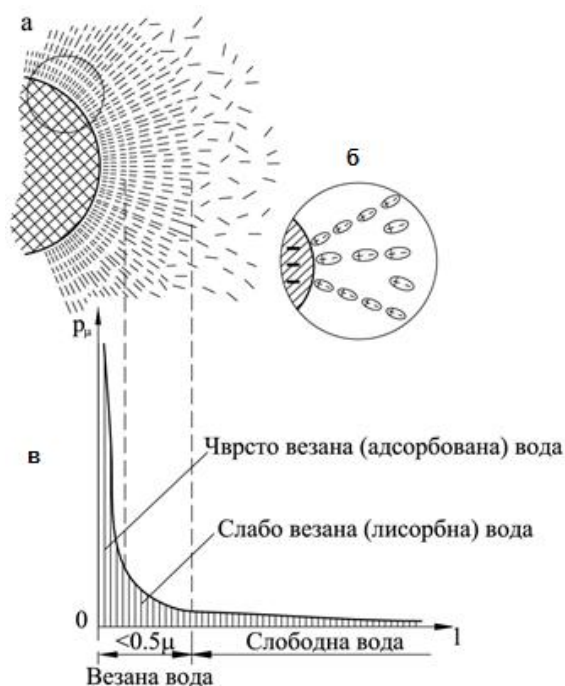
Капиларне поре су оне са мјеродавним пресјецима пора: код пукотина са зјевом величине од 0,001 - 0,25 mm (1-250 μ), а код интергрануларне порозности са пречником $\varnothing = 0,002 - 0,5\text{mm}$ (2 -500 μ). Циркулација подземних вода, у овим порама, обавља се под дјеловањем капиларних и сила површинског напона, а само незнатно под дјеловањем гравитације. Због тога се називају *капиларним подземним водама*. Стијенске масе са претежним садржајем капиларних пора су *слабо оцједљиве*, односно *полупропусне* су. Због тога овај тип подземних вода није рационално дренирати, односно стандардне дренаже дају незнатне ефекте, поготово у односу на износ утрошених средстава. Вода из капиларних пора се може одстранити сушењем на температури од око 110°C, а она мрзне на температури испод 0°C.

Претходне тврдње најсликовитије потврђује примјер из праксе.^[8] За потребе дренирања тресетног слоја дебљине између 2,5-4,5m, чији је коефицијент филтрације $K = 0,35\text{m/дан}$ ($4,05 \times 10^{-6}\text{m/s}$), а ниво подземних вода био на дубини 2,25-3,25m, положени су хоризонтални азбестно цементни дренажи $\varnothing = 250\text{mm}$. Црпење је трајало 1,5 годину, при чему је ниво снижен за 2,25m, али је радијус депресије износио свега $14,0 \pm 1,0\text{m}$ од дренажних цијеви.

⁴ Под *мјеродавним пресјецима пора* треба подразумевати најмањи пресјек пора који одређују њену водо-пропустљивост. То се може сликовито представити ширином врата на соби која одређује који највећи дио намештаја се може унијети у ту просторију.

Субкапиларне поре су оне код којих су мјеродавни пресјеци: код прслинске порозности са зјевом мањим од 1μ , а код интергрануларних са пречником $\varnothing < 2\mu$. Када вода доспије у поре таквих димензија бива усисана адхезионим силама и представља физички везану подземну вода. Она је потпуно искључена из хидролошког циклуса, а не преноси хидрауличке притиске. Ова вода, у виду финог филма дебљина $6-80\mu$, обавија чврсте честице, а код минерала глина битно утиче на својства глиновитог тла. На слици 15. дат је, веома инструктиван и често цитиран, шематски приказ узајамног дјеловања молекуларних сила у систему чврста честица - вода (по Цитовичу Н.А. из Пањукова П.Н.).

[48]



Сл. 15.: Шематски приказ узајамног дјеловања молекуларних сила у систему чврста честица - вода (по Цитовичу Н.А. из Пањукова П.Н.)^[48]: а - шема грађе везане воде; б - оријентација дипола воде око наелектрисане чврсте честице; в - дијаграм промјене величине молекуларних сила у зависности од растојања од површине минералне честице

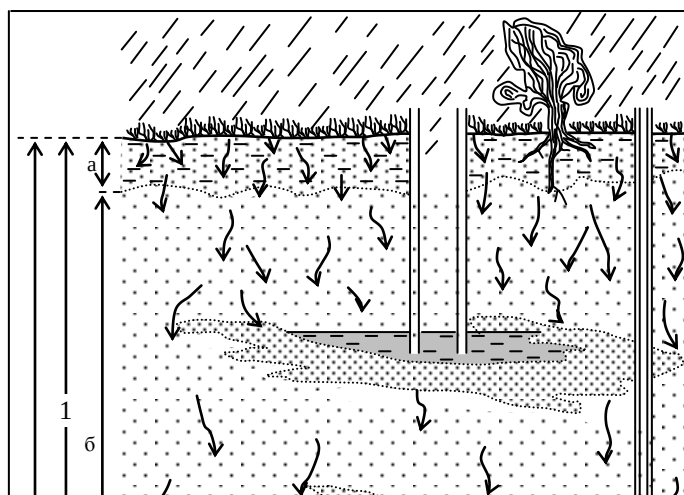
На слици са ознаком - а, шематски је приказана грађа физички везане воде. Око чврсте честице налази се чврсто везана - апсорбована вода. Она је везана електромагнетним силама привлачења које су према литературним подацима изузетно велике (1000 па и више MN/m^2). Те силе, са удаљавањем од чврстих честица, као што је видљиво на дијаграму - в, опадају веома брзо (са седмим или чак осмим корјеном одстојања) и на одстојању од око $0,5\mu$ достижу 0, односно формира се слободна вода. На

детаљу - **б** приказана је оријентација (распоред) дипола воде око наелектрисане чврсте честице, који образују електромагнетну везу: чврста честица (-) и молекул воде (+).

У субхоризонталним теренима и стабилним падинама хидрогеолошки услови су најчешће сложени и разнолики, што је посљедица геолошке грађе, историје ставарња терена, као и постгенетских услова у којима су се налазиле стијенске масе. Ти услови се, на свакој конкретној локацији, изучавају уз примјену методологије хидрогеолошких истраживања.

Но ради јаснијег сагледавања проблема на слици (сл. 16) приказан је схематски хидрогеолошки пресек терена (по Степановић Б.),^[59] који прегледно омогућава да се, најдиректније сагледају хидрогеолошка својства приповршинских дјелова на стабилним падинама. Након тога ће бити приказане и специфичности подземних вода у *тијелу клизишта*.

Најчешће се, у хидрогеолошком профилу терена могу издвојити хидрогеолошки колектори, макропорозна средина - (К) и изолатори - (I), у овом случају су то подински водонепропусни слојеви. У колекторима се налазе подземне воде и они се, најчешће могу поделити на двије зоне: *надизанску* (1) и *изданску* (2).



Сл. 16.: Схематски хидрогеолошки профил терена: К - хидрогеолошки колектор; И - хидрогеолошки изолатор; 1 - надизданска зона: а - рудински појас; б - прелазни појас с „лебдећом“ издану у њој; в - капиларни појас; 2 - изданска зона и издан у њој; 4 - копани бунар са нивоом лебдеће издани и 5 - пиезометар леса нивоом издани^[59]

Изданска зона (2) представља колекторе који су стално водозасићени (испуњени слободним подземним водама) и најчешће је ниво издани континуалан у интергрануларним колекторима и то је *збијени тип издани*. У пукотинским и кавернозним колекторима, ниво издани је дисконтинуалан, и то су *разбијене издани*^[36] код којих је структура издјељена (разбијена) на многобројне пукотине у стијенским масама. Зависно од степена издјељености стијенских маса, као и зјева пукотина и хидрауличка веза разбијених издани може бити добра или веома слаба. Због тога и ниво издани, по правилу није континуалан, сем у случају велике испуцалости (око расједних зона и сл.).

У природи су веома ријетки колектори код којих су присутне само суперкапиларне поре, већ су упоредо, заступљенеи поре капиларних и субкапиларних димензија. Због тога је, на схематском пресјеку ниво издани расплинут, односно изнад нивоа констатованог у пиезометрима, копаним бунарима или пиштевинама (слободни ниво издани), постоји капиларни појас, који је на сл. 16. означен словом - *в*. Висина тог појаса је зависна од пресјека пора, што су капиларе ситније тај појас је израженији.

Ниво издани је промјењив у току године, зависно од прихрањивања и пражњења. Максималан је у периоду интензивних падавина или топљења сњежног покривача. На падинама најчешће не постоје издани, сем у случајевима када се у грађи падине налазе хидрогеолошки изолатори - баријере. Но и у тим случајевима то су издани са скромним количинама подземних вода, односно то су типичне *повремене (лебдеће) издани*. На падинама се чешће сусрећу лутајуће, оцједне воде, које се услед гравитације спуштају до нивоа издани, заостају у субкапиларним порама и ситним капиларима или на локалним изолаторима - баријерама. У сваком случају оне повећавају водозасићеност стијенских маса у надизданској зони, а тиме доприносе смањењу чврстоће на смицање стијенских маса, односно смањењу отпорних сила у падини. Водозасићена средина, поред тога доприноси и повећању активних сила, односно погодује активирању клизишта.

Надизданска зона (1) је, у схематском хидрогеолошком профилу, приказана до саме површине терена, али то у природи није увијек случај. Наиме сусрећу се и падине са повлатним хидрогеолошким изолаторима. У тим случајевима ситуација је сложенија.

Инфилтриране падавине се, дуж суперкапиларних пора, у колекторима надизданске зоне, крећу хаотичним трајекторијама, као што је приказано на сл. 16. па су стога добиле назив *лутајуће (амбулантне) подземне воде*. Њихов утицај на настанак и динамику клижења није занемарљив. Наиме оне могу изазвати суфозију (механичку или хемијску) и на тај начин повећати порозност стијенских маса, односно допринијети повећању инфилтрације падавина. Све то често може допринијети и деформацијама терена, односно представљати један од чинилаца за активирање клизишта. Због тога се, у периодима интензивних падавина или топљења сњежног покривача и реактивирају клизишта.

У приповршинским дјеловима падина налазе се, поред хумуса и рудинске капиларне воде - *рудински појас* (а), који је условљен падавинама, али је изузетно значајан за опстанак и развој биљног свијета. Нормално, овај је појас везан само за падине у којима се налазе делувилални депозити (код чврстих стијенских маса он изостаје).

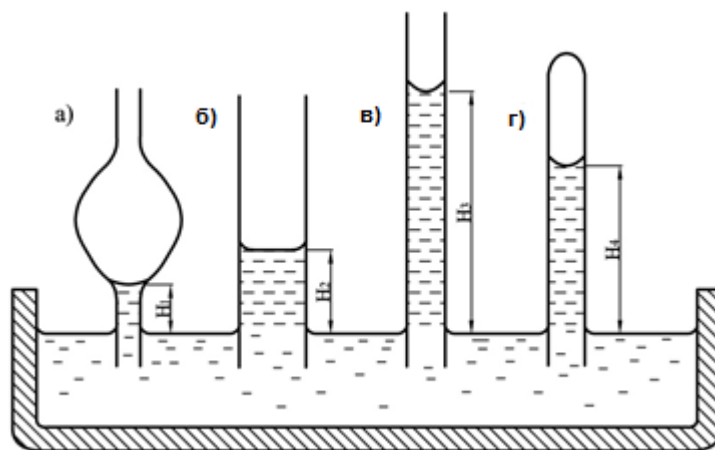
У интергарнуларним и пукотинским порама капиларних мјеродавних пресјека, као што је већ наглашено, јавља се, под дејством сила површинског напона - *капиларна вода*. На сл. 17. прегледно је приказана висина капиларног пењања у цјевчицама зависно од величине пресјека и облика цјевчице (*a - z*), као и висина пењања код

затворене цјевчице (*d*). Мада су у природи облици и својства капилаара много сложенији, због промјена пресјека, храпавости површина и др., као и физичких својстава подземних вода, ипак је слика сасвим илустративна и јасно дочарава феномен капилараних подземних вода.

Разлика молекуларних притисака p_k може се условно разматрати као пластични напони условљени водом, која се налази у капиларној цјевчици на нивоу мениска. Сагласно трећем Њутновом закону, на зидовима цјевчице, на том нивоу по контури налази се смичући притисак једнак капиларном притиску p_k . Он је раван запремини подигнутог стуба воде капиларним силама, односно једнак је производу $-\gamma_w h_k$ (γ_w - запреминска тежина воде; h_k - висина капиларног пењања).

Максимална висина капиларног пењања h_k у цилиндричној цевчици одређује се на основу једначине:

$$-p_k + \gamma_w h_k = 0$$



Сл. 17.: Капиларне појаве у цјевчицама са неједнаком висином пењања услед различите ширине или затворености цјевчица^[23]

обзиром да је капиларни притисак једнак: $p_k = \frac{2\alpha}{r}$ —

где је: α — површински напон воде на граници са ваздухом, а r - пречник мениска у см.

Висина капиларног пењања једнака је:

$$h_k = \frac{2\alpha}{r\gamma_w}$$

Висина капиларног пењања у тлу, у зависности од величине пора, може се одредити формулом Козена:

$$H_k = 0,446 \frac{\alpha}{r\gamma_w} \text{ (—)}$$

где је: H_k - висина капиларног пењања (cm); n - порозност; d_e - ефективни пречник честице стијене или d_{10} .

Брзина капиларног пењања воде у тлу може се израчунати из обрасца:

$$V = \frac{K_f}{h} \cdot H_k \cdot n \cdot d_e$$

K_f - коефицијент филтрације; H_k - висина капиларног пењања, h - висина капиларног пењања у датом моменту времена.

Брзина и висина капиларног пењања не зависи само од пречника пора, већ и од врсте минералних честица, подижуће силе мениска, електрохемијских сила привлачења чврсте честице и воде, па и хемијског састава воде, због тога се у литератури могу наћи различити подаци о висини капиларног пењања. Тако по подацима П.С. Косовича подземна вода у лесу подиже се, под дејством капиларних сила, до 4m у току 2 године, а у глиновитим стијенама максимална висина капиларног пењања достиже 8m.^[48]

Висина капиларног пењања, за поједине врсте тла одређује се у лабораторијским опитима, а просечне висине су у следећим границама.^[46]

Табела 5. Просјечна висина капиларног пењања^[46]

Врста тла	Просјечна висина капиларног пењања
шљунак	до 30 cm
средњи песак	20-40cm
ситан пјесак	40-80cm
иловача, лес	1 – више метара
глина	више метара до преко 100m

Физички слободне или гравитационе воде налазе се у суперкапиларним порама (интергарнуларним, пукотинским и кавернозним) и у њима се вода креће услед разлике у положајима нивоа подземних вода у два разматрана пресека (разлика у потенцијалима - сл. 17). То кретање (филтрација) у пјесковитим колекторима, у којима су претежно суперкапиларне поре, одвија се по Дарсијевом закону (1856. год.), који се уз извјесне допуне и ограничења и данас користи. Дарси је разматрао филтрацију кроз цијев напуњену ситнозрним пијеском на чијем крају је био филтер који је спречавао испирање пијеска (В-В) и мјерио је количину истекле воде. Он је установио „даје количина воде која протиче кроз слој пијеска, одређених карактеристика,

пропорционална хидрауличком притиску, а обрнуто пропорционална дебљини слоја пјеска”.

Средња висина капиларног пењања, као и број дана за постизање максималне висине за неке стијене приказана је у табели 6.^[17]

Табела 6. Средња висина капиларног пењања и потребан број дана за достизање *тах*. висине капиларног пењања (Гавич и др., 1985)

Стена	Висина капиларног пењања h (cm)	Број дана за достизање максималне висине капиларног пењања
Крупнозрни пијесак	3-12	80
Средњезрни пијесак	12-35	180-188
Ситнозрни пијесак	35-120	188-160
Глиновити пијесак	120-350	160-475
Пјесковита глина	350-650	-
Лака глина	650-1200	-

Пијезометарски пад – градијент се, за случај са сл.12.20, добија из једначине:

$$I = \frac{h_1 - h_2}{l} = -\frac{(h_1 - h_2)}{l}$$

Дарсијева једначина у изворном облику је гласила:

$$V = fI$$

$$q = \sigma V = f\sigma I$$

гдје је: V - брзина филтрације кроз порозну средину (cm/s); q - количина филтриране воде кроз узорак (cm³/s); f - коефицијент филтрације (водопропустљивости)(cm/s); σ - попречни пресјек цијеви, односно филтрирајућег система (cm²); l - дебљина слоја пијеска (cm) и h_1 - висина воденог стуба изнад узорка (cm); h_2 - висина воденог стуба изнад филтера (cm).

Чешће се, у нашој стручној пракси, Дарсијева једначина пише у следећем облику:

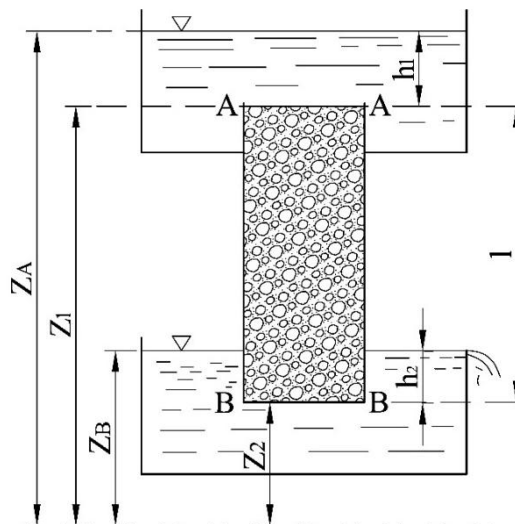
$$V = K_f I = K_f \frac{h_1 - h_2}{l}$$

$$Q = K_f F I$$

Q - количина филтриране воде кроз узорак (cm³/s); K_f - коефицијент филтрације (водопропустљивости)(cm/s); F - попречни пресјек узорка (cm²); I - хидраулички градијент: $I = -\frac{dh}{dl}$ (бездимензионални број).

Водопропустљивост је свакако зависна од порозности стијенских маса, односно битно зависи и од мјеродавних пресјека пора. Како је већ наглашено, у стијенским

масама се налазе, како суперкапиларне, тако поре капиларних и субкапиларних димензија. Због тога, су пропусније оне стјенске масе код којих је већи садржај макропора. Познато је да су стјенске масе са интергрануларним суперкапиларним порама најбољи хидрогеолошки колектори.



Сл. 18.: Схематски приказ апарата за провјеру Дарсијеве једначине^[37]: Z_A ; Z_B - ниво течности у посуди A и B од референтне равни (ниво мора); Z_1 ; Z_2 - хипсометријски ниво горње и доње површине цјевчице узорка пјеска од референтне равни; l - висина узорка пјеска; $h_1 = Z_A - Z_1$; $h_2 = Z_B - Z_2$ - ниво воде изнад врха и дна узорка

Да би имали увид у ред величине односа укупне порозности (њу чине: суперкапиларне, капиларне и субкапиларне поре) и ефективне (макро) порозности и водопропустљивости неvezаних и кохерентних стијенских маса дата је табела 7.^[17] Видљиво је да глиновити седименти имају највећу укупну порозност, али им је ефективна порозност, као и водопропусност, занемарљива. Код шљунка је такође присутна разлика између укупне и ефективне порозности, али у знатно мањем проценту и она је последица примјеса ситнозрних, пјесковито глиновитих гранулата.

Физички слободне подземне воде, које се налазе у агрегатима пора на падинама, истовремено производе (испољавају) и значајне хидрауличке, односно хидростатичке и хидродинамичке силе.

Табела 7. Однос између порозности и водопропусности^[17]

Стена	Укупна порозност (%)	Ефективна порозност (%)	Водопропусност (m/s)
Шљунак	45	40	3×10^{-1}

Пијесак	40	30	6×10^{-4}
Муљ	36	30	3×10^{-8}
Глина	47	0	5×10^{-10}

Хидродинамичке силе зависе од коефицијента филтрације стијена (Табела 8).

Табела 8. Средњи коефицијент филтрације за поједине стјенске масе

Врста и квалитет стјене		Средњи коефицијент филтрације	
		m/dan	cm/s
1	Веома пропусан шљунак и пијесак	100-1000 и више	$1,16 \times 10^{-1} - 1,2 \times 10^{-1}$
2	Добро пропусан шљунак и средњезрни пијесак	100-10	$1,2 \times 10^{-1} - 1,2 \times 10^{-2}$
3	Пропусни песковити шљунак и средњезрни пијесак	10 – 1,0	$1,2 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-3}$
4	Слабо пропусни ситнозрни песак и глиновити пијесак	1,0 -0,1	$1,2 \times 10^{-3} - 1,2 \times 10^{-4}$
5	Веома слабо пропусне пјесковите глине	0,1 – 0,001	$1,2 \times 10^{-4} - 1,2 \times 10^{-6}$
6	Потпуно непропусне глине	< 0,001	< $1,2 \times 10^{-6}$

На падинама хидрауличке силе, повећавају резултанту смичућих (активних) сила, односно сила које доводе до помјерања маса на падинама (клизишта и сличне појаве). Хидростатички притисак се нарочито повећава у вријеме атмосферских падавина (хидролошког максимума), док је у сушном периоду занемарљив. То је један од разлога што се клизишта, у нашим пределима, активирају у времену интензивних падавина (јесен) или топљења снежног покривача (април-мај).

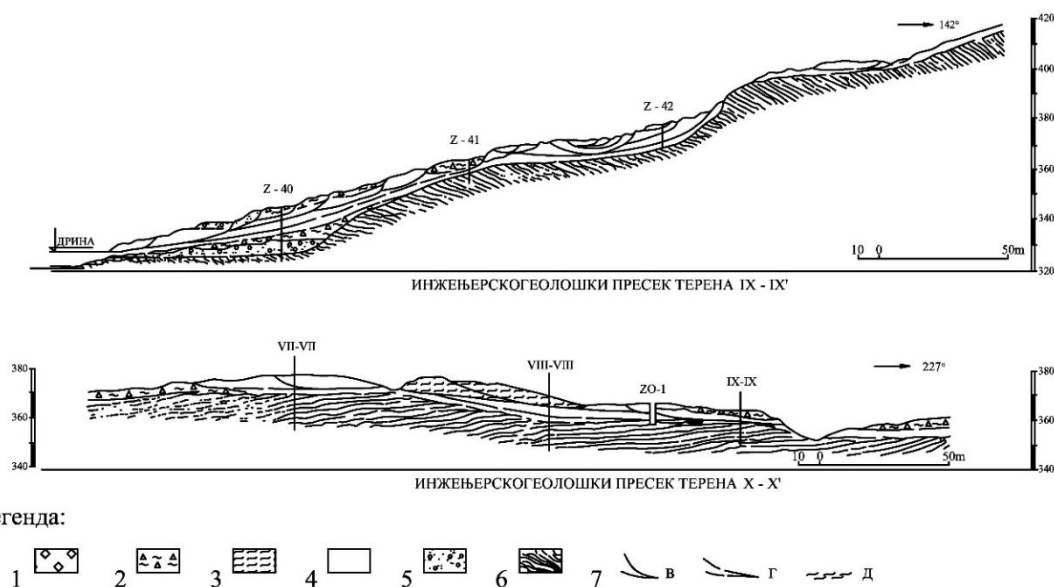
Подземне воде, поред тога дјелују хемијски и физички, као фактори измјене грађе стјенских маса, кроз процесе дијагенезе и распадања. На примјер, при водозасићењу стјенске масе мјењају својства: снижава се њихова чврстоћа, расте деформабилност, мјења се тежина стијенских маса, повећавају се брзине лонгитудиналних сеизмичких таласа.

Дакле да закључимо, подземне воде се у стјенским масама налазе у виду *физички везане и физички слободне (гравитационе) воде*. Зависно од типа подземних вода и изучавање тих ефеката је различито.

Слободне подземне воде се изучавају у теренским условима примјеном хидрогеолошке методике и то:

1. Утицај нивоа и режима

Сезонске и вишегодишње промене нивоа и режима подземних вода битно утичу на водозасићеност стјенских маса, односно на њихово стање (подразумева се и стање напона), механичка својства и на растворљивост. Повремено влажење и сушење, у првом реду глиновитих стјена, доводи до формирања прслина, односно нарушавања веза и њихове структура, која је формирана у литогенези. Првобитно чврсте (тврде), нарочито глиновите, али и друге стјенске масе распадају се и при томе се вишеструко смањује њихова носивост и чврстоћа на смицање, повећава пластичност и наступају повољнији услови за настанак клизишта.



Сл. 19.: Клизите Запјевац-Пеновићи^[58]: 1. делувијум: кречњачки блокови; 2. делувијум: прашинасто-пјесковито-глиновита дробина; 3. делувијум: дробина шкриљаца и пјешчара са доста мангана; 4. делувијум: шкриљаца и пјешчара мало глиновит; 5. флувиоглацијална тераса; 6. Основна стијена: шкриљци и пјешчари, са **гипсом**; 7. Ожиљци и клизне површине

2. Кретање подземних вода кроз пукотинске колекторе

При кретању подземних вода кроз пукотинске колекторе, који садрже неvezане испуне, при релативно великим брзинама (градијентима) настаје *механичка суфозија* која прераста, у одређеним условима, у процесе подземног течења. У лесоликим и прашинастим слабовезаним глиновитим седиментима, понекад се формирају канали и шупљине кроз које циркулишу подземне воде. Овај процес се понекад неправилно

назива - глиновитим карстом. Интензивност водозамене, количине и агресивност подземних вода опредјељује процесе *хемијске суфозије*, нарочито у палеозојским семиметаморфитима који садрже гипс или седimente соли, доприноси активирању клизишта. *Клизиште Запјевац - Пенковићи*, које се налази низводно око 7km од Горажда (БиХ), на десној долињској страни Дрине, је детаљно истраживано (14 истражних бушотина, дубина од 10 до 21m; истражно окно дубине 7m; 18 геоелектричних сонди и стандардна геомеханичка испитивања. Поред тога, из истражног окна из зоне клижења, на непоремећеном и оријентисаном узораку је изведен опит смицања у триаксиалним условима).

Истраживањима је констатовано да се тијело клизишта састоји од делувинално-колувијалних наслага аргилошиста и пјешчара, а некретану подлогу чине шкриљци и пјешчари, са гипсом.

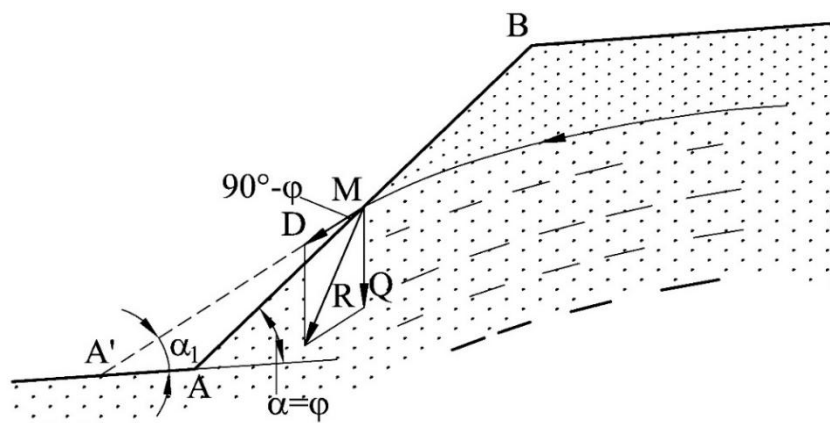
На формирање и активност овог клизишта, поред других утицаја, значајна је и суфозија гипса. Наиме испирањем гипса на површини терена јављају се депресије у којима се, у вријеме падавина задржава вода, а у приповршинским срединама се повећава порозност. Инфилтрација падавина се, на тај начин повећава што повремено доводи до реактивирања процеса клижења.

На развитак процеса клижења и слијегања у лесу подземне воде имају значајан утицај. У Кини и Русији се јављају специфична клизишта-тецишта у пространим лесним теренима често имају експлозиван карактер. Блатна маса носећи огромне количине суспендованог материјала носи све пред собом, а кад јој енергија ослаби зна да затрпа и бројне објекте, па и људе, уколико се нађу таквом окружењу.

3. Хидрауличко дјеловање подземних вода

Хидрауличко дјеловање подземних вода на стијенске масе испољава се на следећа два начина:

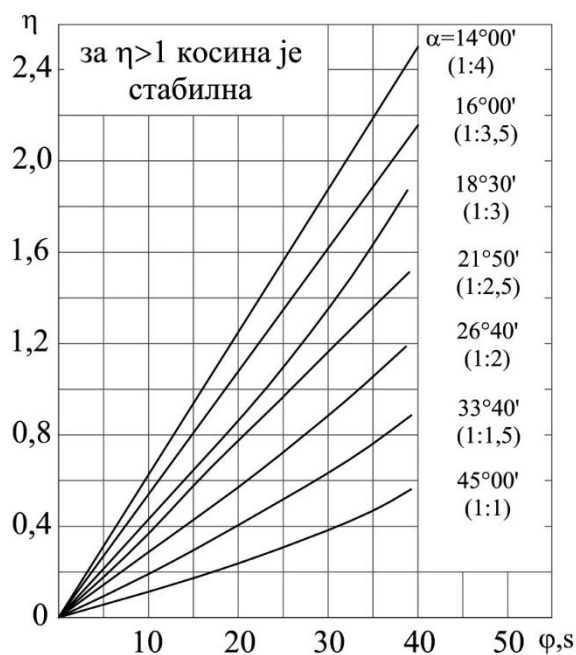
а) *Хидродинамички (филтрациони) притисак* који настаје при брзом и значајном снижавању нивоа ријека последице поводња, код акумулација, при црпењу вода код темељних јама, површинских копова, рудника, шахти и подземних радова, а такође и као резултат интензивног вјештачког наводњавања.



Сл. 20.: Утицај филтрационог (хидродинамичког) притиска на стабилност косина (по Цитовичу Н.А. из Пањукова П.Н.)^[48]

Утицај филтрационог притиска на стабилност косине, као илустрација приказан је на сл. 19. На паралелограму сила векторима су приказане силе: Q - тежина и D - филтрациона сила и R - резултанта сила, која у тачки M са вектором филтрационе силе D - заклапа угао $90^\circ - \varphi$. На тај начин векторски је приказано филтрационо дејство воде на стабилност косина површинских копова.

На сл. 21. приказани су номограми одређивање стабилних косина површинских копова изграђених од пјескових седимената.^[48] На примјер уколико је угао унутрашњег трења пјеска $\varphi = 30^\circ$ у којем се налазе подземне воде, нагиб косине 1:2,5 ($21^\circ 50'$) је стабилан јер је фактор сигурности $\eta > 1$.

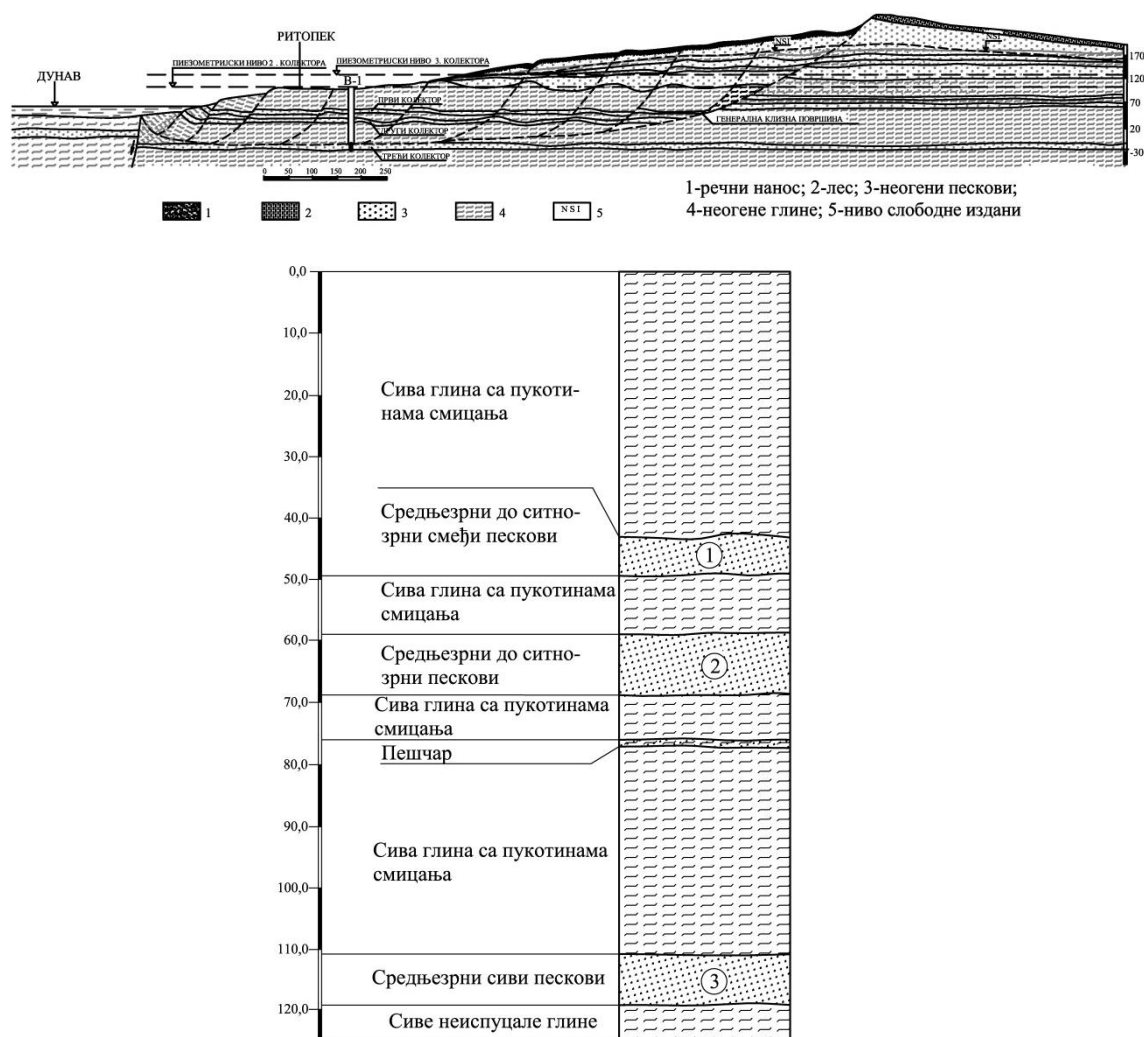


Сл. 21.: Утицај филтрационог (хидродинамичког) притиска на стабилност косина^[48]: η - фактор сигурности; φ - угао унутрашњег трења пјеска; криве нагиба косине су од 1:1 (45°) до 1:4 (14°)

б) *Хидростатичког притиска* ($\gamma_v x h_v$) који нарочито добија велико значење у случају анизотропије порозности стјенских маса. Ако водопропустљивост, у вертикалном правцу, по великим пукотинама, расједима или карстним каналима (сезонски оводњеним) битно превазилази пропустљивост у хоризонталном правцу и уз споро оцјеђивање и ток инфилтрираних вода, стварају се услови за настанак нестабилности. При изради дубоких ископа (темељне јаме, поткопи и сл.) услед великих градијената подземних вода може настати узгон и слом дна ископа, а такође и механичка суфозија пукотинских испуна или ситних фракција из пјесковито-шљунковитих седимената.

Хидростатички притисак, односно његова вертикална компонента (артески притисак), према хипотези Перића Ј. је, уз ерозију у ријечном кориту, главни узрочник настанка клизишта у селу Ритопек (десна обала Дунава низводно од Београда - сл. 20).

Ово *мега клизиште* је, према забиљеженим подацима активно од 1913. год. (но сигурно је још старије). Реактивирање клизишта, уз знатне штете, десило се 1942. (порушено 14-15 кућа^[29]). Интензивна помјерања су обновљена и 1970. год.,^[49] која су захватила највећи дио села са оштећењима више објеката. У центру села је избушена истражна бушотина дубине 121m, која је претворена у бунар. Њен литолошки састав је приказан у виду профила такође на сл. 22. Из бушотине је видљиво да су констатована три слоја пјесковитих наслага (хидрогеолошки колектори), који је први означен НСИ (нивоом слободних подземних вода). Друга два су са артеским нивоом - притиском: 1. На дубини од 58,4 - 68,4m (са самоизливом од 0,5 l/s и притиском на површини бушотине од 0,7bara, а2. на дубини од 111,3-118,4m. Из овог слоја је констатован самоизлив од 1,6 l/s. Мјерењем притиска на устима бунара констатован је артески притисак од 3,0 bara.



Сл. 22.: Пресјек нестабилне падине на којој лежи село Ритопек са положајем генералне клизне површине и литолошки састав бушотине В-1 у центру села^[49]

На основу кота набушених слојева, аутор је конструисао прогнозни пресјек терена којим би у нивоу дна ријечног корита артески притисци, у оба слоја, били већи од литостатичких, односно притисак подземних вода издиже стијенске масе у кориту Дунава. У прилог овој хипотези иде и чињеница да, у овом дијелу тока Дунава, није било исталоженог наноса, обзиром да га ријечни ток еродује и транспортује низводно (ово је била ситуација прије пуњења Ђердапске акумулације). На тај начин се формирала клизна површина. Нажалост, мада је ова хипотеза сасвим оправдана, детаљна истраживања нису вршена, тако да су изведени закључци остали на нивоу хипотезе.

Слична ситуација је у току Дунава у Мађарској.^[2] Наиме детаљним истраживањем клизишта на десној обали узводно од Будимпеште (Дунај Варош), констатовано је, у ножичним дјеловима корита, постојање збијене сапете издани (пјесковити колектори),

а притисак је био реда величине 2 бара, односно нешто нижи од литостатичког притиска. Успјешна санација клизишта изведена је изградом дубоких дренажа (дренажне галерије и ровови) и изградом сабирног шахта из кога је вода црпењем евакуисана у канализацију. Поред тога изведен је обалоутврдни насип од материјала из падине добијеног терасирањем (њеним растерећењем) у вршним дјеловима.

4. Агресивност подземних вода

Подземне воде циркулишући кроз агрегате пора у стјенским масама ступају у интеракцију (хемијске реакције) са минералним материјама из стјенских маса, бетонским објектима, металним и другим конструкцијама. Интензитет тих реакција зависи од хемијског и гасовитог састава, температуре и присуства бактерија у подземним водама. Због тога је агресивност подземних вода значајна и при пројектовању санације клизишта и других појава нестабилности.

5. Биланс подземних вода

У стјенским масама, у којима су активни клизни и суфозиони процеси, неопходно је извршити квалитативне процјене, али и квантитативне прогнозе њиховог интензитета у времену. За то је неопходно дефинисати режим подземних вода. Поред тога, то је неопходно и за потребе успостављања ефикасних дренажа и других заштитних мјера. За изучавање биланса подземних вода је неопходно успостављање специјалних климатско-хидролошких и хидрогеолошких осматрања у трајању од најмање једног хидролошког циклуса. Нажалост при изучавањима клизишта за потребе њихове санације, углавном толико времена нема, или се та изучавања изузетно ријетко изводе, па се прибјегава квалитативној или експертској оцјени биланса подземних вода.

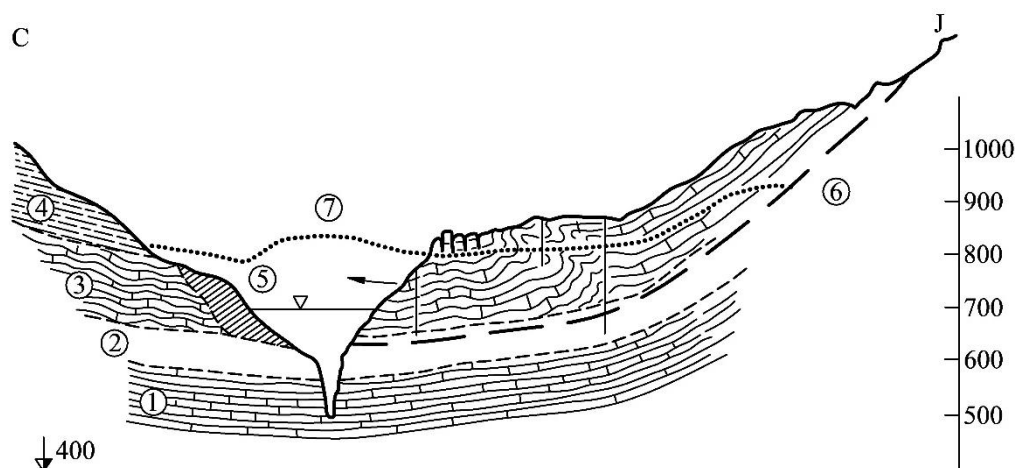
6. Динамика и режим подземних вода

Динамика и режим подземних вода, како у природним, тако и техногеним условима, претставља важно питање инжењерскогеолошких истраживања. Наиме ти подаци су неопходни за рјешавање оцјене стабилности падина и косина. Теорија динамике и режима подземних вода и методе њиховог изучавања је предмет су

хидрогеологије. Међутим при изради задатка, интерпретацији и коришћењу резултата хидрогеолошких истраживања, као подлоге за пројектовање и изградњу санационих објеката, и оцјену утицаја подземних вода на стјенске масе и геолошке процесе, главну улогу треба да има стручњак инжењерске геологије.

7. Размекшавање структурних веза

У условима замрзавања, суфозије и непосредне ерозије филтрационог тока по зонама и контактима ослабљених зона стијена унутар стијенских маса, долази до сложених, а понекад и катастрофалних посљедица услед појаве *мегаклизишта*. Такви случајеви су релативно ређи, али су зато посљедице катастрофалне (примјер преливања бране Вајонт у Италији (сл. 23).



Сл. 23.: Огромни блок јурских и кредних кречњака, склизао је у акумулацију Вајонт у Италијанским Алпима и изазвао је катастрофални поводањ у долини ријеке Пјаве: 1 - кречњаци (догер); 2 - танкослојевити кречњаци са прослојцима глина (малм); 3 - дебелослојевити кречњаци са силикатним глинцима (креда); 4 - лапоровити кречњаци (креда); 5 - остаци старог клизишта; 6 - клизна површина; 7- долина затрпана клизиштем (Selli R., Travisan L. из Заруба - Менцел, 1978)

Ово мега клизиште је формирано на лијевој долинској страни ријеке Пјаве, непосредно узводно од бране Вајонт у Италијанским Алпима, после њене изградње (једна од највећих лучних брана у свету) и непосредно после пуњења акумулације. Клизна површина је формирана на контакту кредних дебелослојевитих кречњака са силикатним глинцима и танкослојевитих кречњака са прослојцима глина. Непосредан повод за активирање овог клизишта је било водозасићење - размекшавање глиновите зоне. Тијело клизишта је изграђено од: кредних дебелослојевитих кречњака са

силикатним глинцима и лапоровитих кречњака. Запремина тјела клизишта је процјењена на $2,4 \times 10^8 \text{ m}^3$, а тијело клизишта је преградило ријечну долину, истиснуло воду из акумулације, преко бране и изазвало поплавни талас висине око 100m који је уништио све пред собом и између осталог и град Лонгарон.

Специфичност хидрогеолошких услова у клизиштима

На падинама, у оквиру *активних или умирених клизишта* владају *специфични хидрогеолошки односи*, који се генерално огледају у следећем:

а) *Агрегати пора*, услед транслаторних и ротационих помјерања, тијела клизишта, мијењају: облик, запремину и међусобну везу. То значи да су, у функцији времена, промјениве и запремине пора и њихова хидрауличка веза. Због тога су и нивои подземних вода у пијезометрима уграђеним у тијело клизишта, „хаотични“. Наиме на више активних или привремено умирених клизишта, у чијим тијелима су уграђени пијезометри по централном профилу, осматрањима су констатовани „нерегуларни“ нивои подземних вода. Нерегуларност се састојала у чињеници да су у хипсометријски вишим пијезометрима често забиљежени нивои са апсолутно нижим котама од пијезометара у хипсометријски нижим нивоима. Због тога, у тијелима активних клизишта не постоји *континуалан ниво подземних вода* како, се на профилима обично исцртава и у прорачунима стабилности уважава. У тијелу *активних клизишта*, по правилу, *нема издани*. Подземне воде се крећу споро низ падину у виду *лутајућих (амбулантних) вода* или се задржавају у *капиларним и субкапиларним агрегатима пора*, односно оне се крећу брзинама помјерања тијела клизишта.

б) *Зависно од количинеи режима падавина* тијело клизишта се налази у различитом степену водозасићења. Обзиром да су тијела клизишта, најчешће изграђена од глиновитих средина, она, по правилу, садрже претежно капиларне и субкапиларне поре и слабо су водопрпусна. Због тога стандардне дренаже не дају задовољавајуће ефекте у стабилизацији клизишта и не оправдавају уложена финансијска средства.

в) *Уградња стандардних отворених (Касаграндеових) пијезометара* у тјелу клизишта није оправдана, јер не доприноси бољем сагледавању хидрогеолошких услова. Разлог за то је раније објашњен.

г) *Као разумно решење*, за дефинисање утицаја подземних вода у тјелу активних клизишта, намећу се специјална геомеханичка испитивања на узорцима, са различитим

степеном водозасићења. Црпења копаних бунара или осматрања других хидрогеолошких појава (пиштевине, извори и др), који се евентуално налазе на падинама, доприносе бољем дефинисању хидрогеолошких својстава средина у клизишту и његовој подлози.

д) *За дефинисање хидрогеолошких услова* у стабилним или условно стабилним падинама, који могу бити значајни за дефинисање узрока настанка клизишта и мјера за њихову санацију примјењује се стандардна методика хидрогеолошких истраживања.

На фотографији (сл. 24), као и профилу истражног окна О-1 (сл. 26), у циљу потврде претходних тврдњи, приказани су само детаљи из истраживања клизишта у насељу Умка на десној долињској страни ријеке Саве код Београда. То клизиште је веома дуго активно (више од 200 година⁵) и представља типичну мега појаву - *мегаклизиште*. На динамику клижења утиче режим водозасићења тијела клизишта и еродовање ножице клизишта - подножично клижење сл. 24.



Сл. 24.: *Детаљ тијела мега клизишта Умка: ножични дио се налази у кориту ријеке Саве и под утицајем је ријечне ерозије*

На фотографији (сл. 25) је приказан детаљ тијела клизишта у којем се налази депресија испуњена водом и биљним остацима (сасушена трска и др). Ти симптоми омогућавају извођење поузданог закључка да је тијело овог клизишта *водонепропустљиво*.

⁵ Процјена старости овог клизишта је учињена на основу налаза фишеклија из времена турске окупације Србије, у истражном окну О - 4, на дубини од око 17 m, на клизишту Дубоко.



Сл. 25.: Детаљ тијела мега клизишта Умка: депресија (увала) са стајаћом водом у тијелу клизишта, која се веома споро и у малим количинама инфилтрира у клизиште, које је изграђено од претежно глиновитих депозита

На сл. 26. приказан је профил истражног окна О-1 на клизишту Умка у којем је, током ископа, констатовано мјестимично процуривање подземних вода из пукотина: оно је на профилу означено као пиштевине. Према изјави Д. Јевремовића, који је детаљно картирао окно, синхронно са ископом сваког интервала (пре разупирања) прилив воде је долазио из назначених пукотина и то незнатно. Накупљене подземне воде на дну окна су повремено одстрањиване кофама.

На основу картирања, а то је видљиво и на приложеном профилу окна, констатовано је следеће:

- Прва клизна површина се налази на око 3m и из ње, као и других пукотина у интервалу од 3-4m је процуривала вода.
- У интервалу између 4,8-6,0m је било релативно интензивније процуривање воде.
- Око активне клизне површине на око 10m, односно у интервалу од 8-10m поново се јавља процуривање воде из пукотина и саме клизне површине.
- Дубље на око 19,5m такође је констатована клизна површина испод које се налазе подински изолатори-миоплиоценске глине и лапори сиве боје (некретана подлога клизишта), са природном влажношћу.

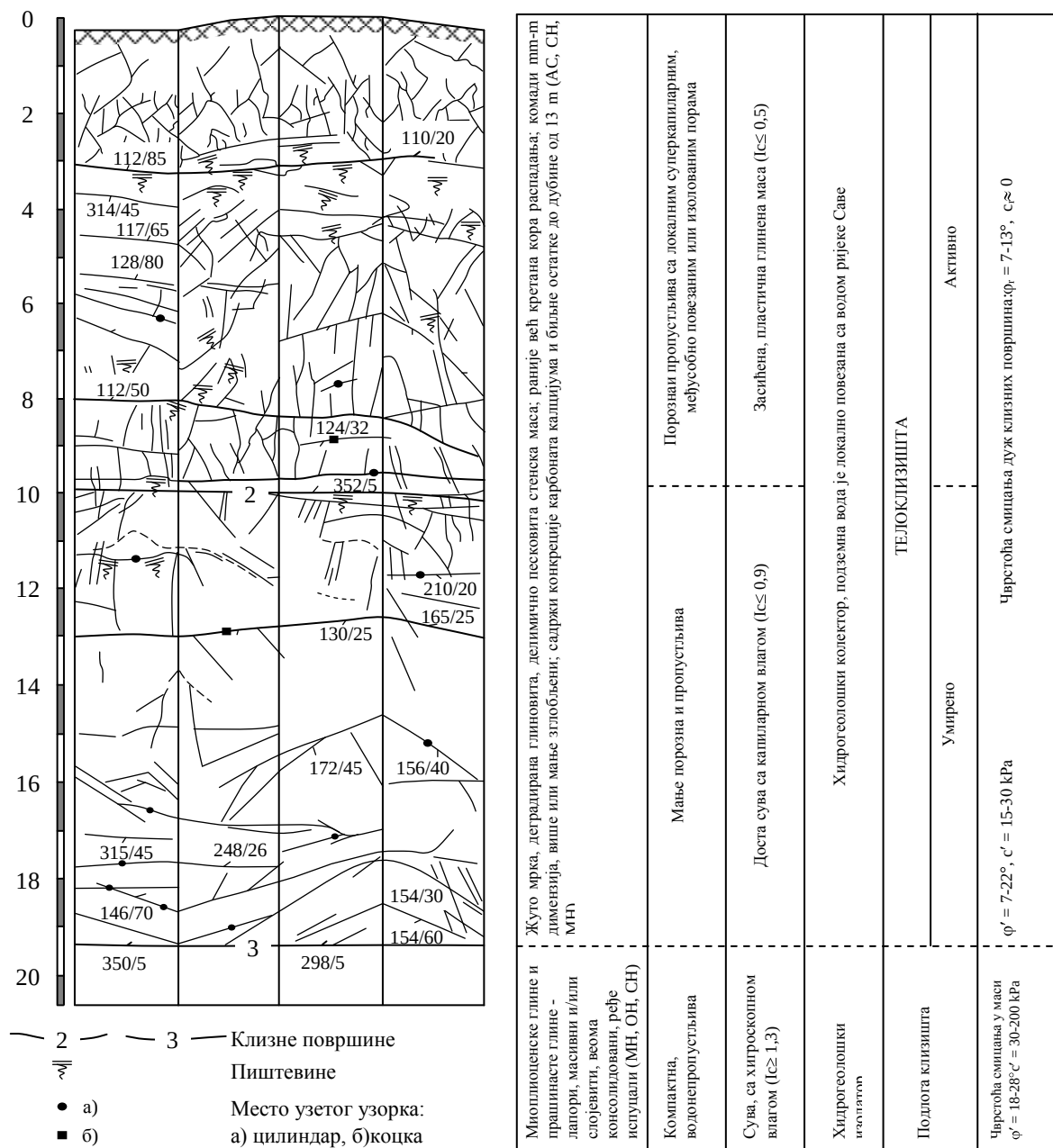
Због застоја током копања који је трајао 10 сати, на дну окна је формиран слој воде висине 10cm, односно запремине од око 1,2 m³. Прилив воде у окно је износио је

0,033l/s, што говори о релативно малој заступљености суперкапиларних пора у тијелу клизишта.

Прецизни подаци о количинама вода у окну нажалост нису евидентирани, али је доток из те зоне био сигурно мали обзиром да је вода из окна евакуисана, као што је већ наглашено, кофама.

На основу констатовања три клизне површине у тијелу клизишта, јасно је да су механизам и динамика овог клизишта, веома сложени. Активност ових клизишта се одвијала дисконтинуално, али у веома дугом временском периоду. Нажалост старост ове три фазе помјерања није одређена.

Наведени подаци и запажања оповргавају закључак одговорних истраживача о хидрогеолошким својствима терена и клизишта, као и тврдњу о хидрауличкој вези подземних вода из тијела клизишта и ријеке Саве. На бази погрешних закључака о хидрогеолошким условима у падини у којој се налази клизиште, пројектоване су санационе мјере које, у великој мјери, базирају на изradi дубоких дренажа. Из претходно изнијетих чињеница, са сигурношћу се може тврдити, да дренаже, као и друге предложене мјере неће испунити очекиване ефекте. Због тога закључак о могућности опстанка и развоја насеља Умка, на постојећој локацији, после реализације пројектованих санационих радова, није ваљан. И рационалност изградње аутопута Београд - Јужни Јадран овој (десној) долињској страни, је заиста упитна. Због тога је сасвим исправно и рационално коначно рјешење изградње аутопута на супротној стабилној (лијевој) обали Саве.



Сл. 26.: Развијени инжењерскогеолошки профил истражног окна О-1 на клизишту „Умка“, крај Обреновца^[26]

Санација мега клизишта је уопште проблематична и по правилу нерентабилна, и због тога их увијек треба, приликом провођења саобраћајница, избјегавати. За потребе урбанизације, односно при изради урбанистичких планова такве терене треба резервисати за подизање шумских комплекса.

3.3.3. Подземне воде у дурмиторском флишу

Седименти дурмиторског флиша, који уједно представљају и подлогу овог терена, изграђују релативно слабо водопрпусне до непрпусне стијенске масе. Оваква подлога је разлог добро развијене мреже сталних и повремених водених токова који гравитирају ка централним воденим токовима (Сутјеска, Тара, Морача итд.). Ниво подземних вода је веома близак површини терена. У флишним седиментима ниво подземних вода је у зони површинског распадања (делувијално-елувијални дио), док је у квартарним седиментима (алувиони и ријечне терасе) директно повезан са нивоом воде у ријеци. За овај терен карактеристичан је веома велики број изворишта која се у принципу не одликују великом издашношћу. Ови извори се углавном формирају на контактима кречњачке и лапоровито - пјесковите компоненте флиша или по ободима алувијалних заравни.

Према типу порозности, хидрогеолошкој функцији и положају у склопу терена, односно према хидрогеолошким условима формирања издани, у терену се могу издвојити четири категорије стијенских маса и то:

- Стијене са пукотинском порозношћу
- Стијене са интергрануларном порозношћу
- Стијене са комбинованом порозношћу
- Стијене које су практично водонепропусне.

Пукотински порозне стијенске масе дурмиторског флиша представљене су пакетима базалних кречњачких бреча и конгломерата (${}^1K_2^3$), слојевитих бреча и кречњака (${}^2K_2^3$) као и дјеломично пакетом бреча, кречњака и лапораца (${}^3K_2^3$ и ${}^5K_2^3$). Стијенска маса је у површинском дијелу издијељена пукотинама, односно испуцала је, па се дуж тих система пукотина одвија филтрација воде.

Прва три пакета и посљедњи пети, представљају релативно слаб хидрогеолошки колектор спроводник док четврти пакет представља хидрогеолошки изолатор. Дакле у седиментима прва три и петом пакету формирају се разбијене пукотинске издани мање издашности.

Интергрануларно порозни седименти представљени су различитим генетским типовима квартарних седимената: алувијални, алувијално-пролувијални, флувиоглацијални, пролувијални, терасни. Ови седименти састављени су од валутица пијеска

шљунка и дробине и глине. По хидрогеолошкој функцији ове стијене представљају колектор - резервоар, а ниво подземне воде у њима је у хидрауличкој вези са нивоом воде у водотоцима који их прате. У хидрогеолошком погледу ове средине се карактеришу као средње до врло водопрпусне. У овим седиментима се формирају збијене издани са слободним нивоом воде која је у вези са нивоом воде у оближњим ријекама и потоцима.

Стијенске масе које се одликују комбинованом (прслинско-интергрануларном) порозношћу представљене су делувијалним седиментима, односно дробиним, пијеском и глином. По хидрогеолошкој функцији ови седименти представљају хидрогеолошки колектор-спроводник. У њима се вода јавља у виду водозасићења и то у појединим периодима године након обилних падавина. Нагиб терена је релативно велики

Пјесковито лапоровито пакет (4K_2) представља практично водонепропусне стијенске масе у дијеловима терена гдје су ове стијене тектонски мање оштећене. По својој хидрогеолошкој функцији представљају хидрогеолошки изолатор.

У хидрогеолошком смислу, у клизиштима која су била предмет истраживања у флишним теренима на падинама планинског превоја Чемерно, дејство вода (површинских и подземних) представља по правилу један од основних агенаса, приликом настанка самих клизишта. Нижи дијелови издани у овим теренима формирани су у деградираним лапорцима и кречњацима. На основу структурног типа порозности и гранулометријског састава деградираних лапораца, који чине основу терена, може се закључити да је порозност мала па су акумулиране и мале количине слободних вода. Практично све пукотине су водозасићене.

Коефицијент филтрације је мали и креће се у границама 10^{-5} - 10^{-6} cm/s. Самим тим кретање подземне воде је успорено, како у вертикалном тако и у хоризонталном смјеру. Дебљина тих повремених издани је релативно мала и креће се свега до неколико метара. Горња граница егзистира само сезонски, у вријеме великих падавина и углавном је лоцирана у делувијалном покривачу. Због релативно стрмог нагиба терена на подручју Чемерна само мањи дио атмосферских вода понире у унутрашњост, док већи дио тих вода разним јаругама, потоцима отиче ка сталним воденим токовима (Мушница, Сутјеска, Јабушница, Клубучарица те са јужне стране Неретва).

Практично се због изразито малих филтрационих карактеристика деградираних лапораца који доминирају у овим теренима, воде у овим изданима могу третирати и као водозасићење, а деградирани лапорци као слабо водооцједна средина промјењивог конзистентног стања. Те количине подземне воде, изразито негативно дјелују на

отпорна својства стијенских маса. Релативно мала количина воде може вишеструко смањити отпорне карактеристике стијенских маса. Водозасићењем терена у тијелу клизишта долази до додатног оптерећења, које такође представља један од битних услова покрета унутар клизишта низ падину.

3.4. Физичко механичка својства стијенских маса

Обзиром да при реализацији ове дисертације нису вршена намјенска „ин ситу“ или лабораторијска испитивања вриједности параметара физичко-механичких својстава стијенских маса базирана су на резултатима лабораторијских и теренских испитивања, на узорцима који су узети у предјелу Чемерна^[35] и на дионици пута Веруша - Матешево.^[69] Пошто се ради о слојевитим стијенским масама, хетерогених свосјаства, мјерене су брзине простирања еластичних таласа дуж слојевитости и управно на њу. За одређивање Поасоновог коефицијента узимане су вриједности еластичних таласа које су добијене мјерењем дуж слојевитости и оне су знатно веће од оних које су добијене мјерењем управно на слојевитост. У следећој табели приказани су резултати који су добијени геофизичким мјерењима на локацији Трнова лука као и на узорцима узетим на том локалитету. Обухваћена су три литолошка члана у оквиру четвртог пакета флишне серије.

Избор карактеристичних вриједности параметара физичко-механичких својстава стијенских маса базиран је на резултатима лабораторијски и теренских испитивања која су вршена дуж пројектоване дионице магистралног пута М-20, Гацко - Фоча, на дијелу од Врбе до Трнове Луке, гдје су заправо и најразвијенији флишни седименти. Приликом испитивања водило се рачуна о битним разликама између понашања испитиваних узорака узетих из монолита или језгра бушотине, и много шире стијенске масе која укључује структурне феномене као што су слојевитост, дисконтинуалност, расједне зоне, површинска деградираност стијенских маса и сл. Због тога су резултати лабораторијских и теренских испитивања екстраполовани на стијенски масив. Обично се у оваквим случајевима препоручује и коришћење статистичких метода, с тим да оне узимају у обзир и предходна сазнања, односно искуства стечена у сличним стијенским масама. Резултати приказани у табели 9. добијени су на монолитним узорцима.

Табела 9. Вриједности физичко-механичких параметара стијенске масе на локацији
Трнова Лука^[35]

Узорак	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Ee (Мпа)	Ed (Мпа)	v	γ (kN/m ³)	σ _p (Мпа)	φ (°)	c (Мпа)
Пјешчар	3,29	1,7	16754	4078	0,31	26,06	34,77	51	6,57
Кречњак	4,99	2,17	29007	7342	0,34	26,84	60,2	48	12,31
Лапоровити пјешчар	5,08	2,42	34002	6234	0,32	26,57	36,21	48	7,4

Примјећује се да у складу са минералним саставом стијенских маса, незнатно се мјењају и вриједности запреминских тежина тако да је максимална вриједност $\gamma=26,84\text{kN/m}^3$ за крчњак а најмања за пјешчар $\gamma=26,06\text{kN/m}^3$.

За потребе градње ауто пута кроз Црну Гору, вршена су обимна инжењерскогеолошка истраживања терена на локалитету од мјеста Веруша, долином ријеке Веруше до Матешева, паралелно са постојећом саобраћајницом, у ширини истражног подручја око 200 метара и дужине око 14km. На лабораторијским узорцима узетим на овој дионици добијени су сљедећи резултати физичко-механичких параметара стијенске масе:

Табела 10. Вриједности физичко-механичких параметара стијенске масе на локацији
Веруша - Матешево

Узорак	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Ee (Мпа)	Ed (Мпа)	v	γ (kN/m ³)	φ (°)	c (Мпа)
Пјешчар	3,95-5,77	2,17-3,02	32300- 63900	44,69- 68,59	0,27-0,33	26,62- 27,02	53-53,6	2,023,08
Кречњак	5,36	3,21	67600	24,07	0,22	26,85	51,7	1,1
лапорац	4,84	2,78	52000	30,5	0,25	26,88	52,3	1,38

Поред основне стијенске масе геомеханичка испитивања су вршена и на квартарним творевинама. На локалитету Чемерна, за потребе санације клизишта Чемерско осоје, затим током истражних радова на дефинисању нове трасе пута кроз Чемерно,^[35] затим на дионици пута од Веруше до Матешева,^[69] вршена су многобројна геомеханичка испитивања на узорцима узетим из квартарних седимената који леже преко флишне формације. Резултати тих истраживања дати су у следећој табели:

Табела 11. Вриједности физичко-механичких параметара квартарних творевина

Узорак	γ kN/m ³	γ_d kN/m ³	W %	W _d %	W _p %	I _p %	I _c %	Клас. по Касаг.	n %	Mc kN/m ²	φ (°)	C kN/ m ²
Елувијум- делувијум	15,2- 20,1	11,2- 14,7	25,0- 43,0	35,0- 48,0	25,6- 29,8	9,4- 18,9	0,25- 1,16	ML,MI CL	37- 52	5200- 8500	23- 31	10 - 26
Пролувијум	17,3- 18,3	12,2- 14	30,9- 42	39,5- 52	30,2- 32,6	9,3- 19,4	0,52- 0,92	MH,MI	47- 54	4000- 6000	28	9-17
Алувија- лне творевине	16-18	14	16- 27,5	39	26,6	12,4	0,94		48	6000- 8000	28	19

На дионици пута магистралног пута Гацко - Фоча М-20, од Врбе до Трнове луке добије ни су следећи резултати лабораторијских испитивања, затим резултати физичко-механичких испитивања стијенских маса, те резултати техничких испитивања појединих стијенских маса.^[35]

С обзиром на издијељеност стијенске масе, могло се запазити да поједине врсте стијена испољавају врло различите видове деформација и лома. Анализом механичких карактеристика може се закључити да се ради о изразито сложенем напонско-деформацијском понашању. Што се тиче кохезије у зависности од врсте стијена креће се у распону од $c=6,57$ МПа за пјешчар, па до $c= 12,31$ МПа за кречњак. Међутим равни смицања у теренским условима, са равнима ослабљења у стијени (међуслојне површине, пукотине и сл.) или са контактима између стијене и бетона, па се може доћи до потпуног губитка кохезије. Оваква појава свакако захтијева додатни опрез.

Слично је и код избора угла унутрашњег трења за анализу граничног стања. Наиме, због присуства пукотина у стијенској маси, механичке карактеристике монолита имају подређену улогу, (φ монолита се кретао од 48° до 51°), а до пуног изражаја долази учесталост пукотина, њихова оријентација и отпорност на смицање дуж пукотина. Такође постоје велике разлике у величини отпорности на смицање, не само између монолита и пукотина (храпаве, глатке, међуслојене итд.). због тога се у зависности од оријентације пукотинских фамилија и система, у односу на правац дјеловања оптерећења, као мјеродавне за геостатичке прорачуне могу усвојити вриједности од

$$\varphi = 30^{\circ} - 38^{\circ}$$

Табела 12. Резултати лабораторијских испитивања тла

	G _s	ω	γ	γ _d	e	S _r	ω ₁	ω _p	I _p	I _c	гранулација				модул стишљивости M _s (МПа)					φ	c
	-	%	kN/m ³	kN/m ³	-	%	%	%	%	-	>2 mm	2-0,02 mm	0,02-0,002 mm	<0,002 mm	0-50 kPa	50-100 kPa	100-200 kPa	200-400 kPa	400-800 kPa	φ	c
B _{NV} - 1 (1,6-2,0)	2,73	26	21,0	16,7	0,635	100	/	/	/	/	23	69	8	/	/	/	/	/	/	34	0
B _{NV} - 2 (1,2-1,6)	27,2	26	21,6	17,1	0,591	100	/	/	/	/	35	59	6	/	/	/	/	/	/	/	/
B - 7 (2,6-2,8)	26,6	24	19,7	15,9	0,675	96	37	21	16	0,183	/	43	37	20	4082	6494	8734	11268	13805	19	17
B - 8 (2,2-2,5)	26,7	19	20,4	17,1	0,565	91	40	20	20	1,050	3	19	58	20	7463	6645	9029	13180	20539	/	/
B - 10 (2,5-2,5)	26,8	24	19,7	15,9	0,685	94	37	25	12	1,083	8	50	29	13	4578	6146	9602	13100	18089	15	20
B - 10 (4,6-4,9)	26,3	20	19,6	16,3	0,609	86	35	22	13	1,154	11	49	40	-	/	/	/	/	/	/	/
B - 11 (3,1-3,4)	26,5	26	19,3	15,3	0,725	94	39	24	15	0,867	4	33	35	28	3902	4315	7737	9963	14774	20	23
B - 12 (1,5-1,8)	26,5	23	20,4	16,6	0,597	100	48	26	22	1,318	2	31	39	28	6897	6098	9070	13549	16903	20	15
B - 12 (4,4-4,6)	26,1	19	18,9	15,9	0,635	77	25	17	8	1,25	3	43	54	/	3836	3443	7680	11455	17899	16	76
B - 13 (2,6-2,9)	17,1	21	21,1	17,4	0,557	100	/	/	/	/	9	77	14	/	/	/	/	/	/	39	0

Табела 13. Резултати физичкомеханичких испитивања стијенских маса

Узорак	Локалитет	V _p (km/s)	V _s (km/s)	V _{dis}	E _{din} (Мпа)	E _e (Мпа)	E _d (Мпа)	V _{st}	γ (kN/m ³)	γ _s (kN/m ³)	σ _c (Мпа)	σ _i (Мпа)	φ (°)	c (Мпа)
У - 1 Si-лапорац	Тр.Сутјеска	4,12	1,65	0,40	20121,4	17013	5867	0,35	23,37	27,00	63,83	7,68	50°24'	12,38
У - 2 Пешчар	М.Тр.Лука	3,29	1,70	0,32	19911,0	16754	4078	0,31	26,06	26,56	34,77	3,92	51°24'	6,57
У - 3 Кречњак	М.Тр.Лука	4,99	2,177	0,38	35090,8	29007	7342	0,34	26,84	27,05	60,20	8,20	4818'	12,31
У - 4 Лап.пешчар	М.Тр.Лука	5,08	2,42	0,35	42002,2	34002	6234	0,32	26,57	26,92	36,21	4,92	48°21'	7,40
У - 5 Лапорац	Тр.Сутјеска	4,14	1,93	0,36	27242,5	24987	7352	0,32	26,78	26,81	73,03	7,82	52°18'	13,50
У - 6 Лапорац	Тр.О.Брх	2,79	1,26	0,37	11464,6	10711	5436	0,33	26,25	26,88	68,30	6,56	54°00'	12,04
У - 7 Пешчар	Тр.Сурдул	5,13	2,14	0,39	34145,9	27483	5217	0,35	26,84	26,92	34,72	3,85	51°42'	6,51
У - 8 Туф.пешчар	Т.Чемерно	1,89	1,02	0,29	4136,4	3859	220	0,27	15,36	26,14	2,13	0,29	48°28'	0,43
У - 9 Пешчар	Т.Златица	4,81	2,40	0,33	42278,8	39450	5594	0,29	26,59	26,95	45,44	4,79	52°30'	8,31
У - 10 Пешчар	Т.Чемерно	3,88	2,01	0,31	29195,5	27642	4280	0,28	26,70	26,96	31,29	3,90	49°47'	6,16
У - 11 Кречњак	Т.Златица	4,67	2,22	0,35	36650,5	33527	8189	0,31	26,86	26,92	54,34	5,88	52°07'	10,08
У - 12 Si-левродит	М.Ж.Поток	2,58	1,18	0,36	10336,3	7346	2750	0,32	26,83	27,07	40,41	4,72	50°51'	7,74
У - 13 Кон.кречњак	М.Ж.Поток	4,90	2,33	0,35	40232,4	36705	6691	0,32	26,84	27,02	50,76	6,16	50°22'	9,88
У - 14 Si-Алевродит	Тр.Сурдул	3,25	1,56	0,35	17914,5	14927	5981	0,31	26,74	26,97	55,68	5,63	53°09'	10,04
У - 15 Кречњак	Т.Чемерно	3,35	1,76	0,31	21761,0	19501	7614	0,31	26,87	/	64,12	6,83	52°35'	11,81
У - 16 Si-пешчар	Т.Чемерно	2,93	1,58	0,29	17539,0	16394	4965	0,27	27,13	/	51,16	5,56	52°01'	5,20
У - 17 Лапор	М.Брба	2,97	1,43	0,35	14230,0	12854	6031	0,30	26,82	26,94	72,47	7,87	52°04'	13,46
У - 18 Лапор	Тр.Врба	3,19	1,59	0,33	18140,0	16942	1685	0,29	25,70	26,68	16,54	2,14	49°20'	3,31
У - 19 Кречњак	Тр.Мушница	3,96	1,88	0,36	25737,0	24125	5163	0,35	27,00	27,95	51,51	5,90	51°15'	9,79
У - 20 Лапорац	Тр.Мушница	3,16	1,58	0,33	17522,0	156877	1873	0,31	25,65	26,82	20,72	2,78	48°52'	4,21
У - 21 Лапорац	Тр.Мушница	3,45	1,79	0,32	22380,0	20121	2817	0,30	26,30	27,01	30,27	3,65	50°33'	5,88

У – 22 Лапорац	Тр.Мушница	2,60	1,35	0,31	12668,0	16942	2727	0,28	26,29	26,93	17,31	2,03	50°45'	3,34
-------------------	------------	------	------	------	---------	-------	------	------	-------	-------	-------	------	--------	------

Ознаке у табели Тр - траса, М - мост и Т - тунел

Табела 14. Резултати испитивања потенцијалних грађевинских материјала

Узорак	Опит „Los Angeles“			Прокторов опит								CBR опит			
	крупноћа (mm)	грануло- метниј. градац.	губитак третиране маса	гранулација (%)			γ_{dmah} (kN/m ³)		ω_{opt} (%)		5x25 удар.		5x55 удар.		
				>2 mm	2-0,02 mm	<0,02 mm	<5 mm	<19 mm	<5 mm	<19 mm	CBR 2,54 mm	CBR 5,08 mm	CBR 2,54 mm	CBR 5,08 mm	
кречњак	10-40	А	20,80	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
лапорац	10-20	Б	32,00	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
пешчар	2,5-5,0	Б	41,20	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
алевролит	2,5-5,0	Д	47,40	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
алевролит + пешчар	2,5-5,0	Д	39,00	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
алевролит + пешчар + лапорац	2,5-5,0	Д	36,80	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
алевролит + 10% глине	/	/	/	60	32	8	19,6	19,8	13,0	10,2	5,14	8,04	8,33	8,30	
пешчар +20% глине	/	/	/	71	21	8	/	20,1	/	11,2	2,47	3,38	4,10	5,41	
лапорац + 20% глине	/	/	/	72	18	10	/	20,2	/	10,9	6,32	8,26	8,46	8,33	
алевролит + пешчар + 20% глине	/	/	/	62	29	9	/	20,3	/	10,6	5,36	7,82	8,02	8,11	

3.5. Сеизмолошка својства истражног простора

3.5.1. Увод

Регион дурмиторског флиша је у прошлости било захваћен утицајем јаких земљотреса, односно спада у сеизмички активна подручја. Другим речима сеизмички hazard овог подручја је такав да га није дозвољено занемарити. Због тога је, приликом пројектовања и изградње нових објеката, неопходно примјењивати мјере заштите од дјеловања земљотреса очекиваних интензитета. У циљу разјашњења неопходности предузимања превентивних мјера, у даљем тексту ће бити разматрани неки општи ставови, а потом и препоруке за заштиту на конкретним локацијама изградње будућих објеката на овом подручју.

Резултат дјеловања земљотреса на површини Земље манифестује се на простор кога чине три чврсто повезане цјелине: *терен - створена средина - друштвена средина*. Због тога се, при оцјени интензитета разматраног земљотреса (одређивања његовог макросеизмичког степена) валоризују манифестације тог земљотреса на:

терену, објектима створене средине и његовом утицају на људе који су се нашли у том простору.

Манифестације датог потреса на терен зависе и од инжењерско-геолошких својства тог терена. Та својства, односно отпорност средина на дјеловање сеизмичких таласа директно утиче на предају сеизмичке енергије постојећим или пројектованим објектима створене средине. Конкретизација предаје сеизмичке енергије врши се преко *интеракције тло - објекат*. Ова интеракција практично дефинише геотехничке услове изградње датог објекта у земљотресним условима.

Због тога се најрационалнији ефекти у заштити од штетног дјеловања земљотреса постижу примјеном принципа *поступности у области планирања*. Наиме дефинисањем инжењерскогеолошких својстава терена и у том контексту дефинисање сеизмичке опасности (хазарда) за фазу израде Генералног урбаниситичког плана (ГУП-а) неког насеља, при опредјељењу намјене терена за изградњу, постиже се ефекат искључивања неповољних зона (мочварна, слабо носива и веома деформабилна тла, нестабилни терени - клизишта и др.). У каснијим фазама пројектовања, предмет инжењерско-геолошких и геотехничких изучавања се концентрише на квалитетније зоне. Потом, у складу са добијеним резултатима, дефинишу се геотехнички услови, који укључују и дефинисање сеизмичких параметара за пројектовање и изградњу датог објекта. Таквим приступом се омогућава уважавање и конкретне особености предметног објекта.

Сада важећа земљотресна регулатива се примјењује, у фази дефинисања геотехничких услова изградње објекта, на претходно „одабраној локацији”. Другачије речено, прописима је само дефинисан начин прибављања инжењерских параметара сеизмичности, односно процедура земљотресног прорачуна у односу на сеизмичку опасност за пројектовање и изградњу објекта, на конкретној локацији. Такав приступ међутим не уважава најрационалнији истраживачки принцип *од општег ка посебном*. Концепција овог поглавља, има намјеру да покаже да се уважавањем наведеног принципа у инжењерској пракси, постижу оптимални резултати у примјени сеизмичке превентиве. Тај општи принцип важи и за подручје дурмиторског флиша.

3.5.2. Сеизмичка опасност - сеизмички хазард

Под појмом сеизмичности обично подразумјевамо догођене земљотресе у неком простору у току неког временског интервала. У зависности од тога да ли се сеизмичка

активност десила унутар зоне која је предмет изучавања, или ван ње, а утичу на проучавану зону, разликујемо: *аутохтону и алохтону сеизмичност*. У даљем рашчлањивању сеизмичких својстава терена, разликујемо *површинску и огњишну сеизмичност*. Са аспекта овог рада значајна је површинска манифестација земљотреса и њихов утицај на геотехничка својства терена: чврстоћу, деформабилност, стабилност, испуцалост и водопропустљивост. Огњишна сеизмичност представљена је импулсним тектонским кретањима и као таква одражава реакцију геолошке грађе и тектонског склопа дубоких зона терена на напонско стање које је заступљено у датом терену. За подручје које је дефинисано овим радом сеизмичност је представљена *аутохтоном површинском* као и *аутохтоном и алохтоном огњишном сеизмичношћу*.

Поновљивост земљотреса везана је огњишну сеизмичност односно за активност сеизмогених расједа.

Ако су сеизмогени расједи у непосредној близини локације на којој се планира изградња датог објекта (простор огњишне зоне) говоримо да они узрокују *аутохтону сеизмичност*. Карактеристика утицајности ових потреса на површину терена је могућа појавом: *високих амплитуда убрзања и при малим магнитудам*. Но, како је, трајње ових амплитуда кратко, њихов инжењерски утицај на објекте је ограничен.

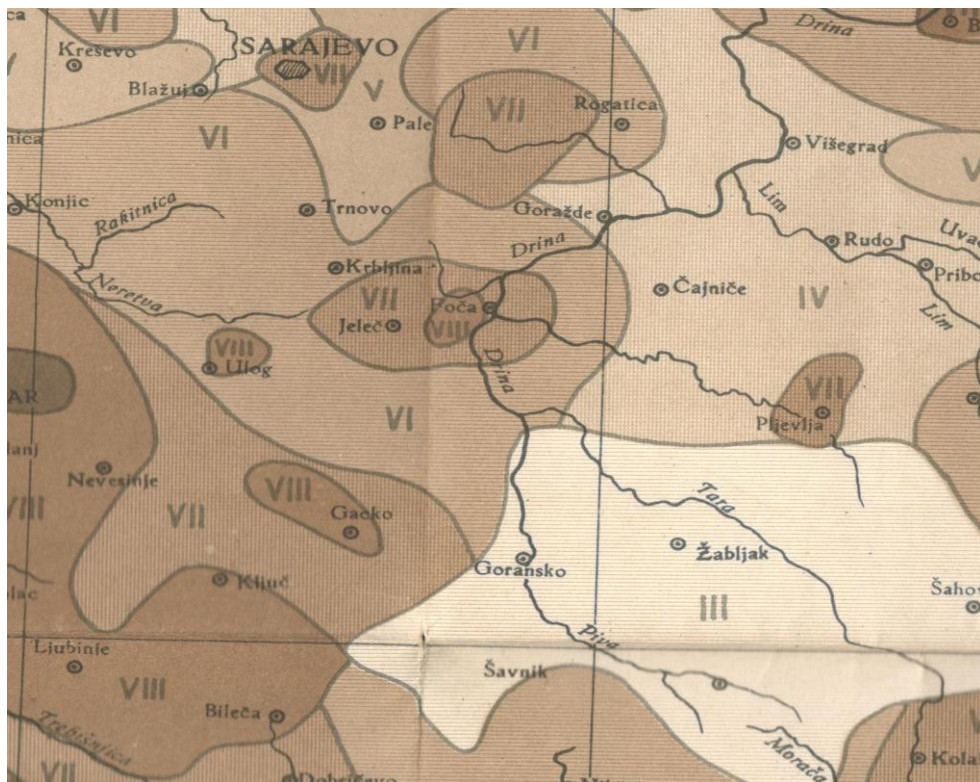
Ако се сеизмогени расједи налазе на већим растојањима од локације на којој се планира изградња објекта, која припадају ближеј и даљој епицентралној зони, говоримо о утицају алохтоне сеизмичности.

Примјењена сеизмологија уважава утицајност аутохтоне и алохтоне сеизмичности при изради сеизмолошких карата. У даљем тексту ће бити дат кратак приказ развоја официјалних сеизмолошких карата које су коришћене и које се користе за простор бивше Југославије и у том контексту и истражног простора. Тај преглед се даје, како би се имала цјеловита слика, како о развоју сеизмичке превентиве у прошлости, тако и због потребе критичког сагледавања тренутних тенденција у овој области. Прије свега жеље да се без довољно изучавања и аргумената, умањи сеизмички хазард на територији, како се сада одомаћио термин - Западног Балкана.

Савремена сеизмичка превентива на простору Југославије, отпочиње у периоду после разорног земљотреса који је потресао Скопље (1963), мада су и прије тога, посотојали неки елементи сеизмички заштите⁶. После тог земљотреса, најпре су 1964 године донети „Привремених прописа за грађење у сеизмички активним подручјима“.

⁶ Саставни дио првих прописа из области грађевинарстава (1948. године) имао је и Схематску сеизмолошку карту јако ситне размјере, на основу које је усвајана сеизмичка опасност.

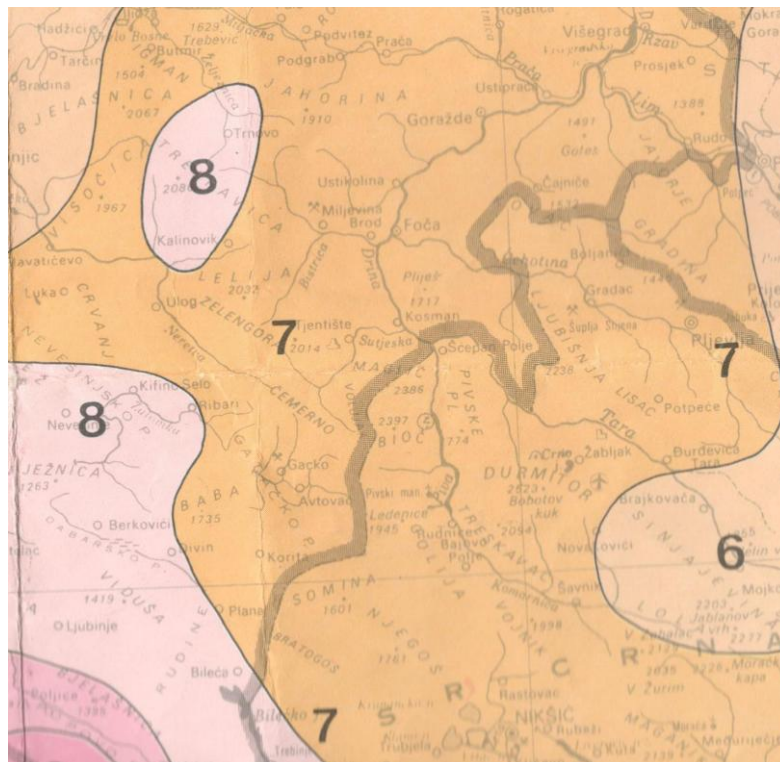
Саставни дио тих прописа је Сеизмолошка карта максимално догођених интензитета (сл. 26). Изучавани простор на овој сеизмолошкој карти, због ситне размјере, условно смо дефинисали као простор између урбаних места: Фоча, Улог, Невесиње и Гацко. Са ове карте и пратећег тумача, може усвојити, да се као епицентралне зоне јаких потреса јављају зоне: Фоче, Улога и Гацка. Ови потреси достигали су јачину VIII степени сеизмичке МКС скале. Но, простирање плеистосеиста догођених ових јаких потреса захватало је уски простор око наведених насељених места, што указује на малу дубину њихових огњишта и на екранизујући утицај геолошко тектонског склопа терена на простирање сеизмичке енергије. Поред тога она се карактеришу и релативно ниским магнитудним нивоом догођених потреса. Такође, са ове карте, чији је фрагмент приказан на слици 28. може се видјети да простор Невесиња, иако има своју аутохтону епицентралну зону, изложен је утицају алохтоне сеизмичности јаких приморских земљотреса. Поред тога, са ове карте може се видјети и значајни утицај јаких приморских земљотреса на дио изучаваног простора (простирање интензитета VII сеизмичког степена).



Сл. 27.: Фрагмент Сеизмолошке карте Југославије (на основу максимално догођених интензитета до 1950. год.) за изучавано подручје (сеизмички интензитет је изражен у скали МКС)

Треба истаћи, да су интезитети који су наведени на сеизмолошкој карти чији је фрагмент приказан на слици 27. фактографски резултат максималних интезитета земљотреса регистрованих до 1950. године. Уз ову карту израђен је и тумач у коме је наведено насељено мјесто најближе епицентру датог потреса као и интезитет тог потреса са датумом његовог дешавања. Као што је већ речено, после разорног земљотреса у Скопљу, донијети су прописи о процедури земљотесног прорачуна сеизмо отпорне конструкције. Но, како није било адекватне сеизмолошке карте то је усвојена, као привремено рјешење, приказана сеизмолошка карта.

За потребе иновације процедуре земљотресног прорачуна, која је извршена 1981. године, израђена је *Привремена сеизмолошка карта СФРЈ*, у суштини, претходна карта је технички коригована и допуњена са максималним интезитетима земљотреса. На овој карти приказани су максимално догођени интезитети шестог степена за период 1900 - 1978 године и сви догођени интезити већи од седмог степена до 1978. године. За разлику од карте из 1950. године интезитети на овој карти редуковани су на средње тло и та редукција је, у многим случајевима, износила за један сеизмички степен. Она је 1982. год. замјенила сеизмолошку карту из 1950. године. На слици 28. приказан је фрагмент ове карте за шире изучавано подручје.

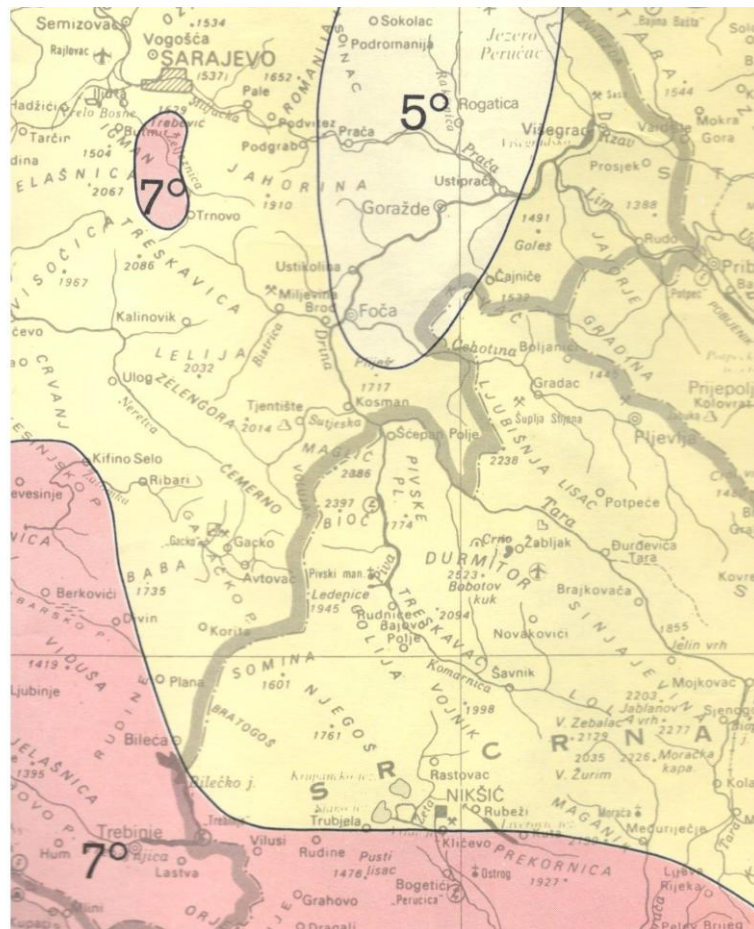


Сл. 28.: Фрагмент Привремене сеизмолошке карте СФРЈ - карта максимално догођених интезитета до 1978. године на простору Југославије (сеизмички интезитет изражен је у скали МКС)

Са ове слике види се да се простор који омеђују Фоча, Улог и Гацко налази у зони сеизмичког интензитета $I=7^0$ МКС, што значи да на средњем тлу, земљотреси које генеришу аутохтоне епицентралне зоне ових урбаних средина, узрокују интензитета до седмог степена. Исти сеизмички степен узрокују и јаки приморски земљотреси. Невесиње се налази у зони сеизмичког интензитета $I=8^0$ МКС скале и под утицајности је дјеловању јаких приморских земљотреса. Са ове слике види се да је присутна, на предметном простору и утицајност јаких земљотреса чији су епицентри на простору планине Трескавице.

За потребе увођења процедуре земљотресног прорачуна за инжењерске објекте рађена је од стране “Заједнице за сеизмологију Југославије” и сеизмолошка карта са олеатама за повратне периоде земљотреса од 50 година, 100 година, 200 година, 500 година, 1000 година и 10000 година. Вјероватноћа догађања интензитета на наведеним олеатма је 63% и интензитети се односе на просјечно тло обухваћено датим интензитетом. Ова сеизмолошка карта 1990. године, као официјална, замјенила је претходно описану Привремену сеизмолошку карту СФРЈ.

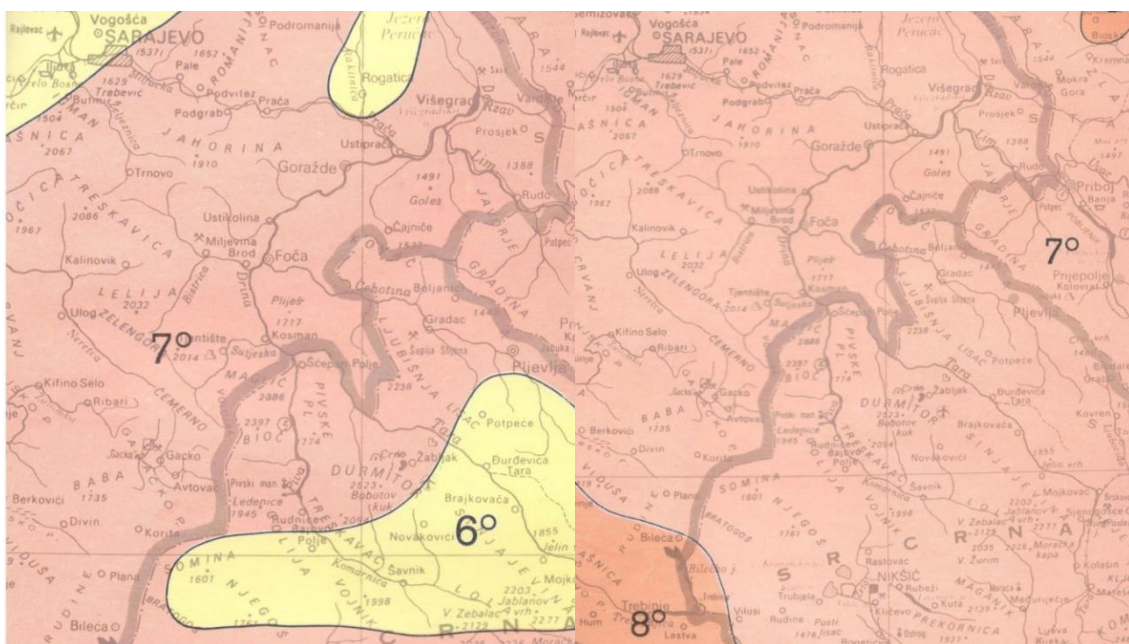
Предметни истражни простор на олеати са повратним периодом земљотреса од 50 година приказан је на слици 29. За сеизмичност истражног простора доминантно утичу јаки земљотреси са епицентрима из приморја и подређено са подручја Трескавице, односно из епицентралног подручја Трнова и Калиновика. На овој олеати сеизмички интензитет изучаваног подручја је углавном $I=6^0$ сеизмичке МСК-64 скале.



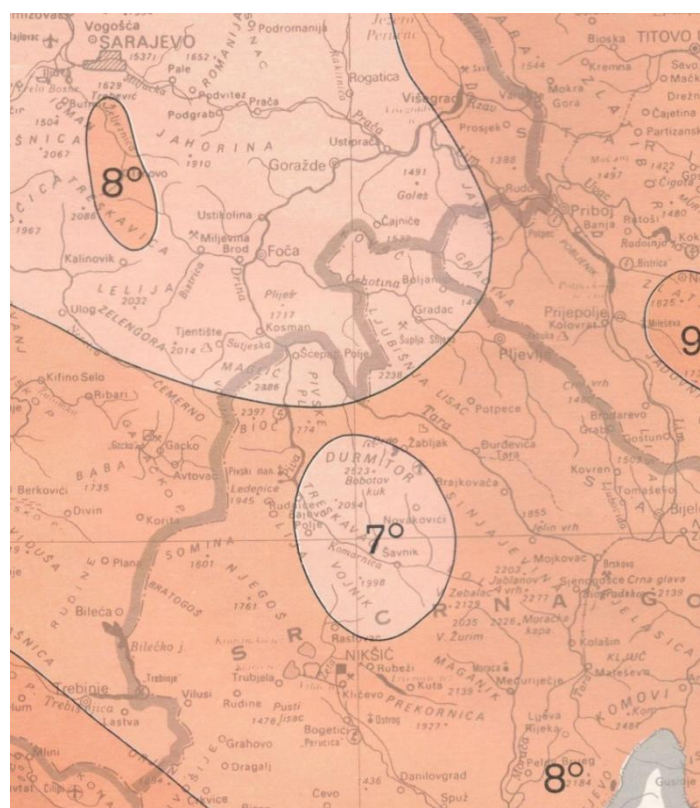
Сл. 29.: Фрагмент олетате Сеизмолошке карте СФРЈ, за повратни период земљотреса од 50 година (сизмички интезитет изражен је у скали МСК-64)

Предметни истражни простор на олеати са повратним периодом земљотреса од 100 година приказан је лијево на слици 30. Са ове слике види се да је сеизмичност истражног простора у зони $I=7^0$ сеизмичке МСК-64 скале. Тај степен је резултат утицаја како земљотреса аутохтоне сеизмичности тако и алохтоне које узрокују јаки приморски земљотреси.

Предметни истражни простор на олеати са повратним периодом земљотреса од 200 година приказан је на десно слици 25. Са ове слике види се да је сеизмичност истражног простора у зони $I=7^0$ сеизмичке МСК-64 скале, и да је тај степен као и на олеати за повратни период земљотреса од 100 година, резултат утицаја, како земљотреса аутохтоне сеизмичности тако и алохтоне које узрокују јаки приморски земљотреси.



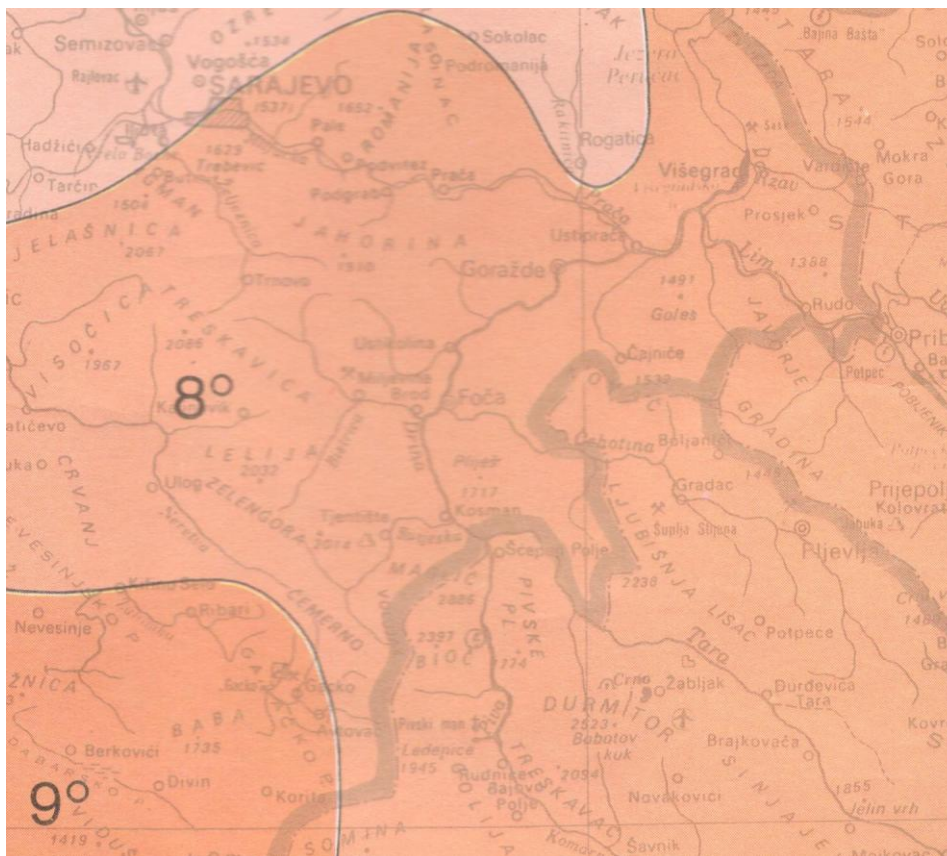
Сл. 30.: Фрагмент олетате Сеизмолошке карте за повратни период земљотреса од 100 год. лијево и 200 година десно (сизмички интензитет изражен је у скали МСК-64)



Сл. 31.: Фрагмент олетате сеизмолошке карте за повратни период земљотреса од 500 година из које се види да је истражни простор у зони седмог и осмог сеизмичког степена

Предметни истражни простор на олеати са повратним периодом земљотреса од 500 година приказан је на слици 30. Са ове слике види се да је сеизмичност истражног

простора у зони I=7 и 8⁰ сеизмичке МСК-64 скале. Интезитет осмог сеизмичког степена узрокују јаки земљотреси из приморских епицентралних подручја, док на интезитет седмог сеизмичког степена утичу и јаки земљотреси из епицентралне зоне планине Трескавица, Улога и Фоче.



Сл. 32.: Фрагмент олетате сеизмолошке карте за повратни период земљотреса од 1000 година из које се види да је истражни простор у зони осмог и деветог сеизмичког степена

Предметни истражни простор на олеати са повратним периодом земљотреса од 1000 година приказан је на слици 32. Са ове слике види се да је сеизмичност истражног простора у зони осмог и деветог сеизмичког степена. Интезитет осмог сеизмичког степена узрокују јаки земљотреси из приморских епицентралних подручја.

Треба истаћи, да је јачина земљотреса која је представљена на наведеним олеатама официјалне сеизмолошке карте која је ступила на снагу допуном и измјеном официјалног „Правилника за изградњу објектата високоградње у сеизмичким подручјима” („Сл. лист СФРЈ”, 52/90), израшена у степенима европске сеизмолошке скале МСК - 1964 године. Сеизмички степени у скали МСК-1964 разликују се у односу по начину њихове валоризације резултата дјеловања потреса на површини терена. Иначе скала МСК - 1964 године Медведев - Карник - Шпонхоери скала МКС (Меркали

- Канкани - Зиберг) бројно су једнаке. Упрошћено речено, при оцјени резултата дјеловања датог потреса по скали МКС степени се валоризују на основу максималне величине штета на објектима створене средине, док се по скали МСК-1964 године валоризују по просјечним штетама на објектима створене средине кроз уважавање статистичких критерија.

У даљем, треба рећи, да би се сеизмичка скала могла користити у инжењерске сврхе сеизмички степени су параметаризовани одговарајућим интервалним вриједностима убрзања, брзине осциловања и помјерања честица тла које одговарају сваком сеизмичком степену. Ове интервалне вриједности усвајане су коришћењем експертних оцјена јер се при датом степену била присутна велика одступања од усвојених средњих вриједности.

Тако су та одступања у скали МСК-1964 године, за седми сеизмички степен била за три сеизмичка степена, за осми сеизмички степен два сеизмичка степена и за девети сеизмички степен један сеизмички степен. Такође, интервалне вредности убрзања које су наведене у скали МСК-1964 године око четири пута већа од оних интервалних вредности које су наведене у скали МКС. У табели 15. дате су вриједности поменутих интервалних убрзања у наведеним скалама.

Табела 15. Вриједности интервалних убрзања

Степен јачине земљотреса	Убрзање према скали МКС (cm/s ²)	Убрзање према скали МСК-1964 (cm/s ²)
6	5,1-10	30-60
7	10,1-25	61-120
8	25,1-50	121-240
9	50,1-100	241-480

Треба истаћи, да према официјалном земљотресном Правилнику коефицијент сеизмичности за седми сеизмички степен износи $K_S = 0,025$, за осми 0,05 и за девети сеизмички степен 0,1 што значи да је остављена вриједност из скале МКС зато што је уважена дуктилност објеката.

У новој Европској макросеизмичкој скали (ЕМС-98) која је и предмет Еврокода ЕЦ8 сеизмички степени нису параметаризовани одговарајућим инжењерским интервалним вриједностима динамичких вриједности осцилација честица при

догађању ових степена. Отуда Европска сеизмичка скала није примјенљива у инжењерској пракси.

Поред сеизмичког степена, за оцјену јачине земљотреса, користи се и магнитудна скала, која се односи на огњиште земљотреса. Условно говорећи, магнитудна скала показује колико је пута предметни земљотрес већи од изабраног „нултог“ земљотреса. Магнитудом оцјењујемо јачину земљотреса у огњишту земљотреса. Горњи праг магнитудне скале је девет јединица. У магнитудној скали нема интервалних вриједности динамичких вриједности осцилација честица већ се оне добијају за конкретну локалност коришћењем корелационих једначина у којима је присутна зависност од величине магнитуде датог потреса, као и његове удаљености од локације и геотехничких услова локације.

Магнитуда датог потреса који је регистрован инструментално, на различитим сеизмолошким станицама није једнозначна и може одступати за јединицу. Практично, сеизмолози су утрошили више од пола вијека инструменталних истраживања, како би формирали методологију, односно изнашли корелациону зависност којом ће се добити њена једнозначна вриједност. Коначан резултат тих истраживања је био да те једнозначности нема, јер је природа проблема таква.

Такође се претпостављало да ће магнитудна скала успешно замјенити класичну макросеизмолошку скалу и да ће макросеизмички степен изгубити своју инжењерску употребну вриједност. Но пракса показује да то очекивање није реално. Тренутно је, у технолошки развијеном свету, присутно мноштво акцелеографа распоређених на терену који су регистровали огроман број записа убрзања насталих при различитим вриједностима магнитуде и на различитим удаљеностима од епицентара регистрованих потреса. Буран развој дигиталне обраде података омогућио је примјену нумеричких метода и оформљене су наменске корелационе једначине којим је могуће директно доћи до спектра одговора датог конструктивног система.

Према Еврокоду ЕЦ8, за потребе спровођења процедуре земљотресног прорачуна, неопходно је дефинисање сеизмичке опасности преко величине референтног сеизмичког убрзања на тлу типа „А“. Отуда, за потребе коришћења процедуре земљотресног прорачуна према Еврокоду ЕЦ8 потребно је да организације земаља чланица прилагоде земљотресно дејство *својим специфичним условима* и препорука је да *обава подјелу националне територије на сеизмичке зоне са референтним убрзањем тла* (максималним убрзањем тла на типу „А“). У општем случају препоручено је да се *референтно убрзање поклопи са стварним максималним*

убрзањем тла услед земљотреса са умјереним до високим магнитудама и средњим до дугим епицентралним растојањима. Оно се карактерише, у чврстом тлу, широким и приближно равномерним фреквентним спектром. Са друге стране пројектно убрзање треба да буде више или мање смањена вриједност стварног максимума код блиских земљотреса малих магнитуда. Овакав тип сеизмолошких карата треба урадити за повратне периоде земљотреса од 100 година и 500 година.

Из наведеног текста за оцјену величине референтног убрзања на сеизмолошкој карти не треба директно користити резултат добијен нумерички коришћењем формула корелационог типа, *него треба уважавати и додатне критерије.*

Због тога је неопходно, за наше подручје, уважити досадашње резултате у истраживањима сеизмичке опасности, обзиром да су земљотреси који су се десили на нашим просторима показали успјешност примјењене сеизмичке превентиве. Због тога је, при изради нових сеизмолошких карата, неопходно поћи од постојећих, раније цитираних сеизмолошких карата и одговарајућим истраживањима изнаћи повезницу са новим начином представљања сеизмичке опасности. Док се то не учини, као привремено, а најприближније решење предложеном у Еврокоду ЕЦ8, је ако сеизмички степен који је присутан на олеатама сеизмолошке карте СФРЈ (повратни период земљотреса 100 и 500 година) умањимо за 1 степен и тако пређемо на тло типа „А“. Потом тај степен треба параметризовати одговарајућим вриједностима динамичких вриједности осцилација честица чврстог тла типа „А“.

3.5.3. Сеизмички ризик

Општи сеизмички ризик садржи низ парцијалних сеизмичких ризика које треба посебно анализирати, а синтеза ових парцијалних ризика даје општи сеизмички ризик. Ризик у себи носи извјесну противурјечност. Наиме, са једног аспекта, када се говори о ризику онда се говори о његовој пожељности и то у случају када је разуман. Али у исто вријеме ризик може имати и призив неodobравања, и то у случају када се каже да смо предузели ризичан корак. На овај начин ризик има призив двосмислености, који се у многоме губи уколико се он сведе на минимум. Уједно, ризик карактерише и неодређеност. Први узрок неодређености је наше недовољно познавање суштине појаве, а други узрок је случајност тј. у сличним ситуацијама догађаји се одвијају неједнако, при чему није могуће предвидјети њихову тачну реализацију у будућности. Постоји и

трећи узрок поменуте неодређености, а то су конфликти, тј. различити интереси учесника у одлучивању: шта је најбоље за дату ситуацију?

Као мјера ризика може се узети број који карактерише степен могућности појаве случајног догађаја и такав број називамо вјероватноћом. Сам ризик треба да буде користан па се отуда уводи и појам опрезног ризика чијим се коришћењем избегавају велики губици. Функција корисности оваког опрезног ризика има облик: $P(a) = 1 - e^{-a}$. Ова формула у теорији вероватноће одговара појави ријетког догађаја бар једанпут. Помоћу функције корисности може се одлучити при којим условима се може ризиковати, а при којим не. На основу изнијетог, може се рећи да је ризик начин дјеловања у неодређеним условима, који у коначном резултату води преовлађивању успјеха над неуспјехом.

За потребе процјене сеизмичког ризика уводи се експлатациони период објекта као и повратни период земљотреса. На основу ова два параметра одређује се ниво прихватљивог ризика. $P = 1 - e^{-\frac{t}{T}}$, где је: P - вјероватноћа догађања степена потенцијалне сеизмичке опасности; t - експлатациони период објекта; T - повратни период земљотреса. Ако задамо вијек експлоатације објекта са вриједношћу $t=50$ година, а повратни период земљотреса са $T=500$ година, то коришћењем наведене формуле добијамо да је сеизмички ризик неповољне појаве по нас 10%. Ову вриједност прихватљивог сеизмичког ризика усвојио је Еврокод ЕЦ8 а наш официјални земљотресни Правилник.

На инжењерскогеолошка својства терена утиче активност инжењерско геолошких процеса у том терену. Ови процеси имају своје природно поријекло везано за процесе самоорганизације, али и техногени настанак под утицајем људске дјелатности. Посљедица ових процеса су инжењерскогеолошке појаве и оне су непожељни фактор у функционисању простора којим управља друштвена средина. Када је узрок настанка инжењерско геолошких појава дјеловање земљотреса такве појаве у терену зовемо сеизмо деформацијама. Отуда, када говоримо о сеизмичком ризику створене средине, морамо и требамо уважавати и сеизмички ризик настанка одређене инжењерско геолошке појаве, која може представљати ограничавајући фактор за геотехничке услове изградње конкретног објекта.

Као прилог наведеном залагању укратко навешћемо врло кратко потенцијалну фактографију која поткрепљује у прилог наведеном, на примјеру ЕПРС-а. Тако, у дијелу који је у функцији производње угља (површински коп) у сеизмичким условима

постоји утицајност сеизмичких сила на радне косине и косине одлагалишта у наступању, а самим тим и на радне машине на копу и одлагалишту. Поред тога, присутна је и могућност појаве нестабилности (клижења, претурања или одроњавања) косина у копу који је предмет непосредне експлоатације. Багер глодар, обзиром на његову масу, требало би као конструкција да буде сеизмо отпоран на утицај очекиваног пројектног земљотреса. Посебна земљотресна рањивост багера глодара је фаза његовог ремонта јер је осјетљив на утицај јако слабих потреса.

Код акумулација хидроелектрана долази до прераде обала и присутне су бројне нестабилности који нису угрожавајући док су мале запремине. Међутим могуће екстремне појаве као што је био мега клизиште - одрон у Италијанским Алпама. Када су се огромне нестабилне масе сјуриле у акумулацију на ријеци Пјави и узроковале поплавни талас преко бране Вајонт уз бројне жртве. Отуда, сама инвентаризација нестабилних појава није довољна, већ је треба допуњавати одговарајућим осматрања (мониторингом) и на основу тога предузимањима одговарајућих инжењерско геолошких истраживања и мјерама санације.

У дијелу који се односи на пренос електричне енергије, технологију преноса треба прилагодити, потенцијалном земљотресном ризику у брдским теренима (постојање сипара, терена склоних клижењу одроњавању и др.), који може да угрозе стубове преноса.

При дешавању краљевачког земљотреса град је остао без струје више сати и сва је срећа што није било хладно па је тако потенцијал масовних пожара био сведен на најмању меру. Може се замислити сценарио да је дошло до појаве масовног броја пожара и настанка даљег ланца догађаја. Иначе, електро дистрибуција Краљева имала је неприхватљиво висок ниво материјалне штете.

Данас је у нашем транзиционом друштву присутан често супростављен интерес приватног, државног и мјешовитог капитала. Због тога је неопходно ове интересе, када је реч о прихватљивом сеизмичком ризику, хармонизовати на државном нивоу. Наиме код нас је осигурање имовине у фази дугорочног развоја и оно још није у могућности да преузме обезбеђивање хармонизације тих интереса.

Према сеизмолошкој карти СФР Југославије (1982. год.) која приказује максималне догођене интензитета земљотреса, највећи дио територије лоциран је у зони VII^о МКС скале.

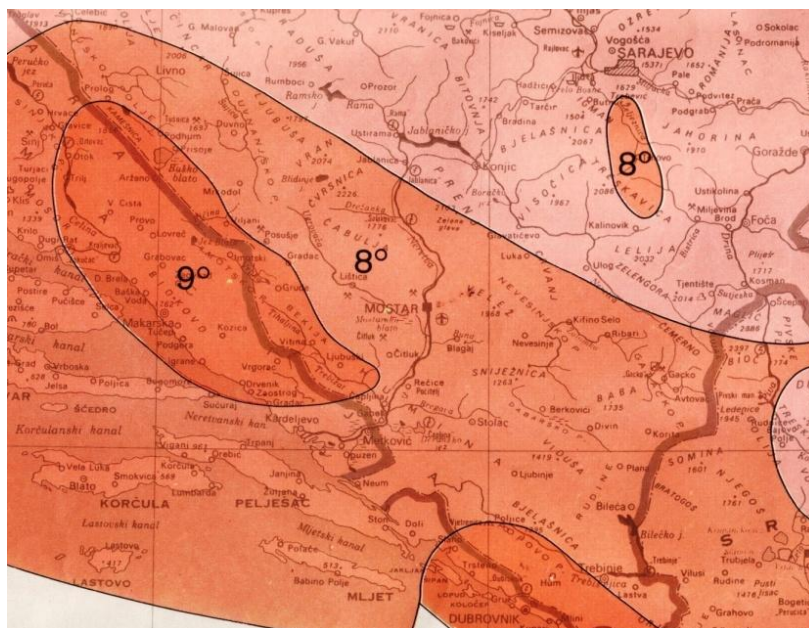
Према „Правилнику о техничким нормативима за изградњу објеката високоградње у сеизмичким подручјима“ („Службени лист СФРЈ”, бр. 31/81 са

измјенама бр. 49/82, 29/83, 21/88 и 52/90) и пратећој сеизмолошкој карти СФР Југославије (*Заједница за сеизмологију СФРЈ, 1987*) за повратни период од 500 година, највећи дио територије коју изграђују седименти дурмиторског флиша налази се у зони VIII^o МКС скале. Дио терена око Шавника и планине Дурмитор налази се у зони VII^o МКС скале.

3.5.4. Утицај сеизмичке активности на савремене геодинамичке процесе

Под сеизмичком активности или сеизмичности подразумевамо сеизмички карактер испитиваног подручја. Ову карактеристику треба разликовати од сеизмичке опасности, која се често поистовјећује са сеизмичношћу.

На сл. 33. илустровали смо сеизмичност испитиваног подручја у појасу планинског превоја Чемерно, односно на потезу између Фоче и Гацка, каква је представљена на олеати сеизмолошке карте која се односи на временски период од 500 година, при чему је вјероватноћа догађања интензитета на овој олеати у току заданог временског интервала 63%. Сеизмички интензитет је изражен у степенима МСК-64 сеизмолошке скале. МСК-64 која се по параметру броја степени не разликује од МКС скале (имају по 12 степени), но суштински се разликују начином валоризације датих сеизмичких степена. Манифестације које се јављају на терену при дјеловању потреса у многоме зависе од потенцијалне повредљивости датог терена, која је пак зависи од степена предиспонираности за активизацију инжењерско геолошких појава различитог типа. Чињеница је, да се инжењерско геолошке појаве различитог типа по масовности и запреминској обимности нарочито активирају када је терен засићен атмосферичким, и утицај земљотреса јавља се у оваквим условима као окидач потенцијалне могућности покретања.



Сл. 33.: Деталј Сеизмолошке карте СФРЈ из 1987. године, олеата за повратни период од 500 год.

Отуда, земљотреси активирају потенцијална клизишта и одроне. Тако искуствено је констатовано да на просторима захваћеним интезитетом 7° степени појава клизишта и других нестабилности врло је вјероватна ако су нагиби падина већи од 16° док при мањим нагибима активирање зависи од степена сазрелости процеса који претходи активирању. На просторима који се налазе у зони 8° појава клизишта и других нестабилности врло је вјероватна ако су нагиби падина већи од 10° до 11° а за просторе који се налазе у зони 9° појава клизишта и других нестабилности врло је вјероватна ако су нагиби падина већи од 5° . Наведени оквир односи се на нагибе падина али као што је истакнуто утичу и други чиниоци као што су структура стијенске масе унутар самог терена који је захватило клизиште, ниво подземне воде и његова осцилација итд.

У сеизмолошкој скали макросеизмичка испитивања, послје догођеног земљотреса у највећем дијелу односе на регистровање оштећења на објектима, док се деформације терена региструју без потребне детаљности. Додатно компликовање ситуације причињава и чињеница да за многа епицентрална подручја не постоје ни одговарајуће инжењерскогеолошке карте, које би бар касније, при кабинетској обради података, омогућиле поред осталог и идентификацију старих и нових клизишта и одрона (односно поуздано одређивање нових нестабилности након новог земљотреса). Да би разријешили то питање, пошли смо од два извора: нове европске макросеизмичке скале ЕМС 1992 и истраживања која су рађена на одсјеку за Геотехнику Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду.

Европска макросеизмичка скала ЕМС - 1992^[14] мада се и сама у највећој мјери базира на детаљној анализи оштећења објеката, ипак разматра и питање деформације падина и косина. На падинама и косинама се, при сљедећим интензитетима земљотреса, дешавају појаве нестабилности:

- Помјерање сипара на падинама при $I = 6 - 7^{\circ}$ ЕМС - 1992
- Мања клижења $I = 5 - 7^{\circ}$ ЕМС - 1992
- Мања одроњавања $I = 6 - 8^{\circ}$ ЕМС - 1992
- Клижење и одроњавање масива $I = 7 - 12^{\circ}$ ЕМС - 1992.

Истраживања регистрованих макросеизмичких података при јаким земљотресима на подручју земаља бивше Југославије и околним земљама а која је објављена у монографији „*Сеизмичност терена и егзогене геодинамичке појаве (клизишта и одрони) у западној Србији*“^[55] су показала да се макроскопски уочљиве деформације терена јављају при интензитетима земљотреса $I > 5^{\circ}$ ЕМС - 1992. При томе су карактеристичне следеће врсте деформација у зависности од сеизмичког интензитета:

- Интезивирање помјерања мањих активних клизишта и сипара се одвија при интензитетима: $I = 5 - 6^{\circ}$ ЕМС - 1992.

- Интезивирање помјерања активних клизишта, реактивирање помјерања мањих умирених клизишта и сипара и одроњавање мањих потенцијално нестабилних блокова се одвија при: $I = 6 - 7^{\circ}$ ЕМС 1992.

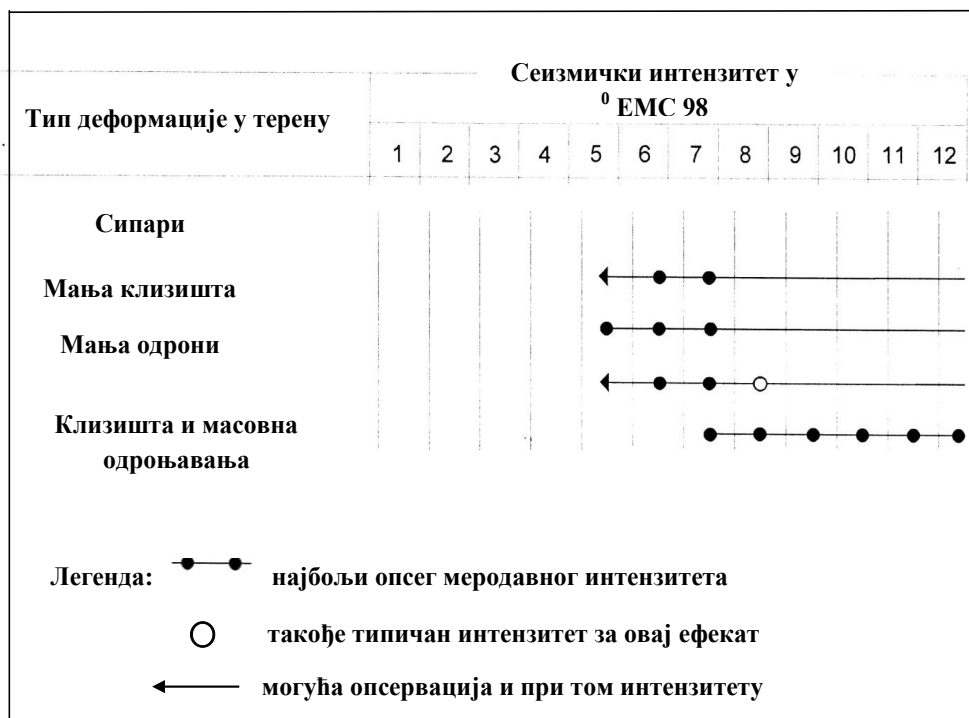
- Поред интезивирања помјерања активних клизишта, дешавају се реактивирања покрета већих умирених клизишта, формирају нова мања клизишта и одрони мањих до средњих запремина при интензитетима земљотреса од $I = 7 - 8^{\circ}$ ЕМС - 1992.

- Поред напријед наведених деформација, јављају се одрони, као и клизишта великих димензија при интензитетима земљотреса $I > 8^{\circ}$ ЕМС - 1992.

- Поред напријед наведених гравитационих појава на падинама и косинама, на површини терена се дешавају расједи и тектонски покрети при земљотресима $I > 9^{\circ}$ а нарочито при $I > 10^{\circ}$ ЕМС - 1992.

Доцније^[14] је то нешто измењено и то је приказано у табели 16.

Табела 16. Нестабилности терена у зависности од интензитета земљотреса у степенима сеизмичке скале ЕМС-9^[14]



3.5.5. Препоруке за дефинисање инжењерских параметара сеизмичности

Прикупљена досадашња инструментална и макросеизмичка фактографија показује да се терен изложен утицају земљотреса, уколико је изграђен од стјенске масе (категорија „А“), понаша еластично. Ова чињеница прктично је утицала да се у Еврокоду ЕЦ8 јачина земљотреса на сеизмолошкој карти примјерено њему дефинише раније поменути референтним сеизмичким убрзањем. Остале мекше категорије тла, под дјеловањем високих амплитуда и дужих трајања јаких земљотреса, могу да се понашају *нееластично* и зато када су у улози темељног тла за дати објекат о томе треба водити рачуна. То значи, да би објекат био у контролисаним условима, потребно је вршити одређена побољшања темељног тла. Када је темељна конструкција објекта интегрисана побољшања је могуће извести на доста једноставан начин, али када то није случај, као нпр. код мостова и вијадуката и других линијских објеката то је теже постићи. Отуда, оцјена стања темељног тла при утицају пројектног земљотреса веома је важан фактор у очувању конструктивног система датог објекта.

Треба напоменути, да су спроведена истраживања о појавама *сеизмотектонских деформација* (излазак огњишта на површину терена као на примјер расјед С. Андреас

Калифорнија, САД) на нашим теренима нису регистроване. Међутим констатоване су бројне сеизмогравитационе појаве, а међу њима и појаве *мега клизишта*.^[59] Тај закључак показује да сеизмичност наших простора има одговарајуће специфичности које треба уважавати приликом коришћења страних софтвера (из САД, Јапана Н. Зеланда и др.). Отуда при изградњи брана близина *сеизмогеног расједа није ограничавајући фактор*, али близина расједа указује на очекивани високи амплитудни ииво. Обично је дубина природних земљотреса на нашим просторима већа од 5km, но земљотреси индуковане сеизмичности јављају се и са дубинама реда 1km и о томе треба водити рачуна.^[61]

4. ГРАВИТАЦИОНИ ПАДИНСКИ ПРОЦЕСИ

4.1. Увод

Под гравитационим падинским процесима сматрају се процеси кретања стијенских маса низ падину проузроковани природним процесима или проузрокованим односно иницираним техногеним дејствима. При томе је основни услов за њихов настанак и развој је *сила гравитације*. Творевине ових процеса су: клизишта, одрони, пузишта и тецишта. Под активирањем процеса клизања подразумевамо услове када силе које изазивају кретање стијенских маса надвладају силе које им се одупиру.

$$F_S = R / D$$

гдје је : F_S - фактор сигурности косине

R - сила која се одупире кретању клизног тијела

D - силе које изазивају кретање клизног тијела

—

гдје је: F_S - фактор сигурности косине

τ_f - чврстоћа смицања тла

τ_m – смичићи напон потребан за одржавање равнотеже клизног тијела

Када је фактор сигурности:

$F_S > 1$ косина је стабилна

$F_S = 1$ косина је у стању граничне равнотеже

$F_S < 1$ косина је нестабилна

У зависности од поузданости са којом су дефинисани улазни подаци за анализу стабилности као и од значаја проблема који се рјешава, величина F_S се у практичним примјерима креће у границама од 1,2 – 2,0.

Класификацијом појава нестабилности на падинама бавили су се бројни научници. Овом приликом ћу навести само имена неких чије су класификације корићене у овом раду: Сваренски Ф.П. (1937), Варнес Д. (1958, 1978), Золотарјев Г.С. (1956, 1964), а код нас прије свих Јањић М.

Међу критеријумима за разврставање начешћи су:

- Кинематика помјерања нестабилних маса
- Карактеристике стијенских маса

- Брзина помјерања нестабилних маса
- Морфологија и врста пукотина у стијенским масама
- Услови (узроци) лома
- Старост деформација.

Међународни комитет за инжењерску геологију, основао је комисију 1972. године која је предложила класификацију гравитационих падинских процеса, која се базира на механизму кретања нестабилних маса. Слична класификација је и код нас била у употреби од 1960 (*Јањић М.*).

- Одрони
- Клизишта
- Пузишта и
- Тецишта.

4.2. Клизишта

Покренута стијенска маса, односно дио терена који се транслаторно или ротационо под дејством гравитације, назива се **клизиште**.

Клизишта као савремени геодинамички процеси присутна су у значајној мјери у подручју које захвата ова литолошка формација, и причињавају значајне проблеме приликом изградње и експлатације саобраћајница. Постојеће саобраћајнице су грађене почетком шездесетих година, тако да нису прилагођене савременим потребама, па поред природних фактора који иницирају геодинамичке процесе значајно утичу и техногени фактори, као што је учесталост саобраћаја, тежина појединих транспортних средстава итд.

Појас планинског превоја Чемерно годинама је представљао и представља проблем, управо због великог броја клизишта. Током 20-ог вијека постојало је више иницијатива да се преко овог подручја изгради савремена саобраћајница, било да је то жељезничка пруга (између два свјетска рата) или друмска саобраћајница (послије другог свјетског рата). Постојећа саобраћајница, је током 2004. године, због трајног колапса клизишта Чемерско осоје, измјештена на потезу Бољачића коса - Трнова Лука, а тренутно је у изградњи дионица саобраћајнице којом ће се избјећи сам превој Чемерно као и поједина клизишта. Свакако треба рачунати да ће се током изградње ове саобраћајнице доћи до покретања стијенских маса, односно до активирања појединих

клизишта. 2012. године пуштена је у промет потпуно нова дионица пута од Врбе до Трнове Луке у дужини од 7,5 км.

Најзначајнија клизишта на подручју Чемерна формирана су на његовој источној односно сјевероисточној страни, у терену који изграђује четврти суперпозициони пакет ове серије, са веома израженом лапоровитом компонентом (${}^4K_2^3$). У оквиру ове формације сваки члан или слој лапорца потенцијално може бити клизна површина дуж које ће се одвијати овај савремени геодинамички процес. У контакту са водом долази до расквашавања лапоровите компоненте и њеног преласка у глиновиту масу, која представља идеално подручје за формирање клизне површи и активирање процеса клизања. Сам процес покретања стијенске масе веома је ријетко везан за један узрок. Углавном је то процес који је везан за више међусобно повезаних фактора који се налазе у самој стијенској маси. У условима када дође до нарушавања примарног напонског стања унутар стијенске масе, покрећу се поједини дијелови лабилних падина изазваних природним или вјештачким узроцима.

4.2.1. Узроци настанка клизишта у појасу дурмиторског флиша

Узроци настанка клизишта на подручју на подручју ове литолошке формације су вишеструки, и углавном већина ових егзодинамичких појава лоцирана је на сјеверној односно осојној страни овог превоја у оном дијелу гдје доминирају флишни седименти из четвртог суперпозиционог пакета ${}^4K_2^3$, а у овом суперпозиционом пакету најизраженија је лапоровита компонента, и управо по плохама овог литолошког члана долази до формирања клизне равни и до одвијања процеса клизања. Да би смо у цијелости разумјели овај процес, као и генезу самих клизишта, морамо разумјети садејство свих егзогених фактора, са геолошким односно литолошким својствима терена (ендогени фактори).

Падавине (киша и снијег) у сваком случају представља доминантан егзогени фактор односно узрочник формирања самог клизишта. Под утицајем атмосферилија првенствено се мисли на воду и снијег (у фази његовог отапања) долази до продирања воде у дубље дијелове терена, односно она се креће кроз оне литолошке чланове који су способни да је пропуштају (водопрпусне творевине) и врши њихово расквашавање. Наиласком на хидрогеолошке баријере (водонепропусне творевине), у овом случају углавном лапоровите компоненте која је доминантна у четвртом суперпозиционом пакету, долази до формирања глиновите скраме (лапорац је настао исушивањем

односно, дехидратацијом глиновитих творевина у плиткојезерским срединама седиментације). Управо ове површине представљају идеална подручја за формирање клизних равни тј површине по којима може доћи до покретања веће количине стијенске масе, под условом да на локалитету постоје и други фактори (нагиб терена, одговарајући структурни положај стијенске масе итд). Допринос воде није само у расквашавању него и у повећавању запреминске тежине стијенске масе, што представља у сваком случају додатно оптерећење, и додатни „стимуланс“ за формирање клизишта.

У поглављу 2.3.2. Хидролошка својства на подручју који граде седименти дурмиторског флишног комплекса, јасно се види да је највећа количина падавина управо у прољећним (март, април, мај) и јесењим (октобар, новембар) мјесецима, и управо у тим мјесецима долази до најзначајнијих покрета стијенске масе и активирања процеса клижења.

Такође треба нагласити да је највећа количина падавина управо регистрована на кишомјерној станици на превоју Чемерно, и да је управо на овом подручју (сјеверна страна) најинтезивнији процес клижења.

Нагиб терена представља битан преуслов у процесу формирања клизишта, у ствари пресудан. У условима већег нагиба (ако су испуњени и други предуслови) неупоредиво брже ће доћи до покретања тла, него када је у питању терене блажег нагиба. Покретање масе долази под дејством гравитације, и кретање је интезивније што је нагиб терена већи и што је већа водозасићеност тла.

Структура стијенске масе је такође битан и незаобилазан фактор који утиче на покретање стијенских маса и активирање самог процеса клижења. Треба и овдје нагласити да седименти флишног комплекса у зависности о ком се пакету ове формације ради, представљени наизмјеничним смјењивањем кречњака, конгломерата, алевролита, бреча и лапораца. Дебљина ових литолошких чланова, у оквиру четвртог и петог пакета, је релативно мала дециметарских димензија, ријетко метарски, и они се у оквиру ових пакета флишне формације наизмјенично смјењују.

У поглављу о тектонским својствима ове формације наглашено је да је ова формације током неогена била изложена јаким тектонским активностима. Последица тих тектонских активности је јако видљива њена набораност, са врло учесталим микронаборима који се одликују врло честим промјенама ЕП. Управо положај тих структура у односу према рељефу имају велики значај у процесу покретања стијенске масе низ падину, односно формирању самог клизишта. Ако је положај међусложних

површина паралелан са падином онда управо по међуслојној површини долази до формирања клизне равни. Ако су елементи пада слојева окренути супротно од падине онда та подручја остају стабилна и нису подложна процесу клижења осим у случајевима дебелог квартарног покривача. У подручју планинског превоја Чемерно, на његовој сјеверној страни, коју је генерално захватио процес клижења, имамо подручја која су у потпуности остала стабилна између два врло блиска клизишта управо захваљујући томе што је оријентација и елементи пада литолошких чланова таква да они падају у брдо. Такође, може се констатовати да највеће клизиште на простору Чемерна названо Чемерско осје, представља једну цјелину у којој не постоји континуитет кретања стијенске масе, управо захваљујући структури и положају слојева стијенске масе у флишној формацији.

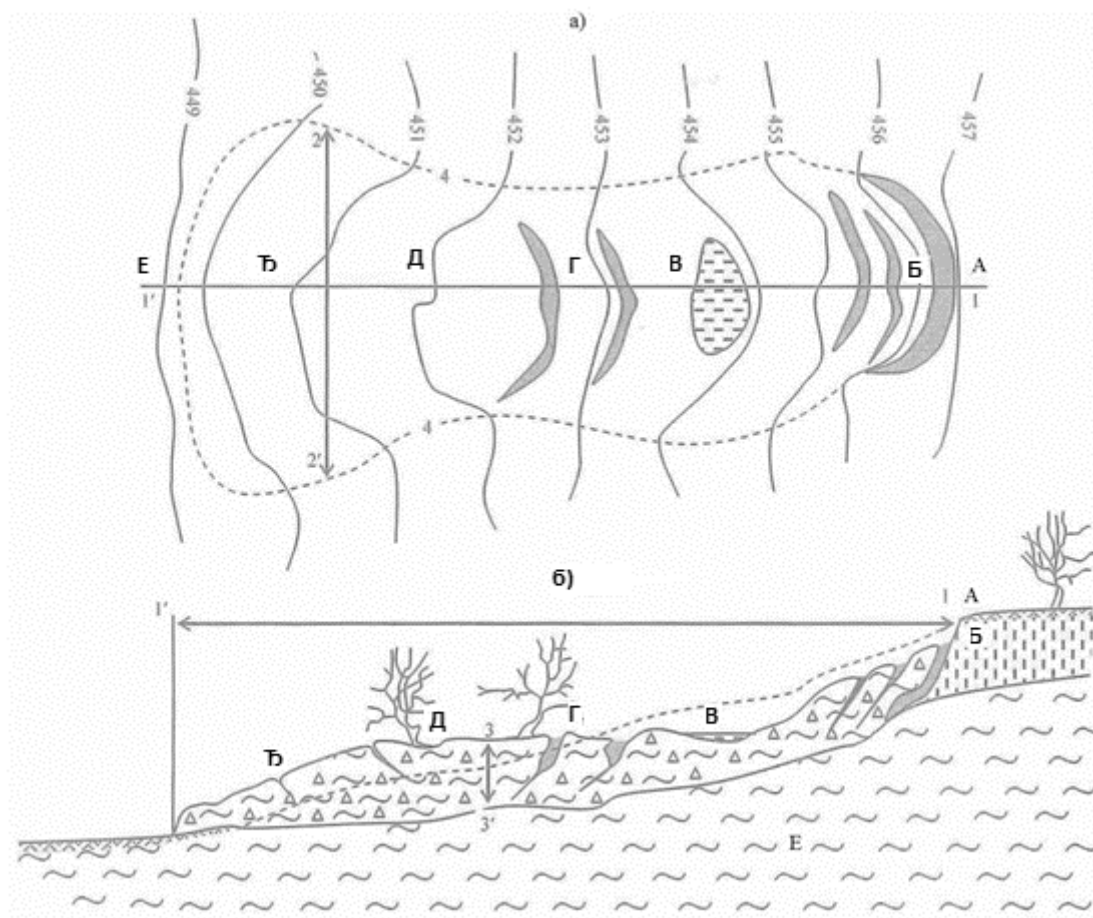
Сеизмичка активност такође може бити један од узрока покретања стијенске масе и формирања клизишта, али чешће је то реактивирање умирених клизишта. Углавном, у оваквим приликама земљотреси представљају „окидач“, а већ предходно су испуњени сви предуслови за покретање процеса клизања. О овом узрочнику детаљно је било речи у поглављу 3.5.

Техногени процеси у значајној мјери могу бити иницијатори, односно покретачи процеса клижења. Приликом изградње и експлоатације саобраћајница, формирањем хидроакумулација, и другим техногеним активностима човјека у подручјима које изграђују седименти дурмиторског флишног комплекса, долази до поремећаја примарних геостатичких напона у терену, односно до ремећења природне равнотеже. Те техногене активности се могу огледати у додатном оптерећењу самог терена (изградња различитих грађевинских објеката) као и нарушавању примарног напонског стања у терену приликом изградње саобраћајница (засјеци, усјеци, насипи).

4.2.2. Основни елементи клизишта

Активирањем процеса клизања, односно настанком клизишта на терену се формира посве нови геоморфолошки облик. За проучавање таквог морфолошког облика неопходно је и дефинисати његове основне елементе.

Тијело клизишта је цјелокупна стијенска маса откинута и покренута низ падину. Најчешће је издуженог облика, код мањих клизишта је цјеловито, док је код нешто већих и великих обично издјељено у више монолита који су понекад покренути сваки за себе.



Сл. 34.: Шематски приказ клизишта, а) ситуација, б) пресјек, са елементима: План и пресјек клизишта: А-Б чеони ожиљак, Б - увала (депресија клизишта), Г - секундарни ожиљци, Д - трбух клизишта; Ђ - ножица клизишта; Е - подлога клизишта, 1-1' - дужина клизишта, 2-2' ширина клизишта, 3-3' дубина клижења, 4 - граница клизишта (према Јањић М., 1979. - преузето из Сунарић Д.)^[54]

Клизна површина је доња, најнижа јасно дефинисана граница између тијела клизишта и некретане подлоге, по којој је дошло до смицања односно кретања стијенске масе. Углавном је равна, глатка са јасно видљивим бројним браздама и стријама, које представљају трагове механичког кретања.

Подлога клизишта или субстрат је стабилна некретана стијенска маса по којој се креће тијело клизишта.

Чело клизишта или чеони ожиљак је хипсометријски највиша пукотина која представља почетак откидања и покретања тијела клизишта, обично је лучно повијена, готово никад праволинијска. Кретање стијенске масе на челу клизишта се зове скок, и његове димензије се крећу од дециметарских до више метарских вриједности. Изнад

чеоног ожилъка налази се стабилна падина, односно подручје које није обухваћено процесом клизања. Могуће је временом проширење клизишта уназад и помјерање чеоног ожилъка, на хипсометријски већу тачку.

Крила клизишта су дијелови клизишта око бочних ожилъака.

Ножица клизишта је хипсометријски најнижи дио тијела клизишта.

Трбух клизишта је испупчени дио тијела клизишта.

Увала клизишта је улегнуће - депресија у тијелу клизишта.

Секундарни ожилъци су површине пукотина дуж којих је дошло до накнадних комадања клизног тијела. Зависно од величине и дубине клизишта може се јавити више таквих ожилъака, односно дисконтинуитета дуж тијела клизишта.

Граница клизишта, је линија која обиљежава контакт покренуте масе са некретаним, односно стабилним дијеловима површине терена.

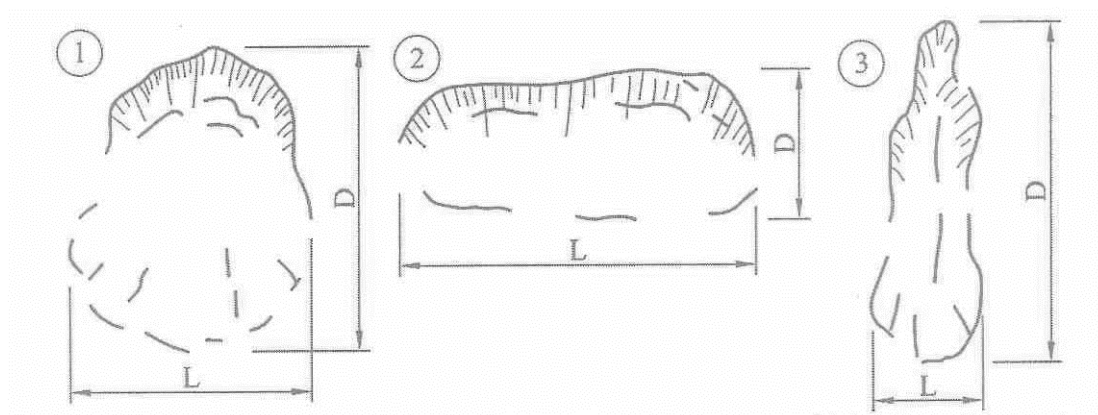
Дужина клизишта представља растојање између хипсометријских највиших тачака тијела клизишта (у предјелу чеоног ожилъка) и најниже тачке ножица клизишта.

Ширина клизишта представља хоризонтално растојање између двије тачке на крилима клизишта.

Оса клизишта, је замишљена линија која полови тијело клизишта у правцу његовог помјерања.

Дебљина, односно **моћност клизишта**, је вертикално растојање површине и подлоге тијела клизишта, односно вертикална раван у функцији нагиба падине.

Дубина клизишта представља димензију значајну са становишта санације, јер она дефинише дубину санационих радова.^[54]



Сл. 35.: Облици тијела клизишта: 1. Изометрично ($L=D$); 2. Фронтално ($L>D$); 3. језичасто ($L<D$); L - ширина и D - дужина клизишта (према Јањић М., 1979. - преузето из Сунарић Д.)^[54]

4.2.3. Опште подјеле клизишта

Клизишта се сматрају најзначајнијим геодинамичким процесима, и стога, наравно због сталних потреба, веома је велики број истраживача који се баве изучавањем ове геодинамичке појаве. Само истраживање и проучавање ове појаве захтјева разврставање клизишта по различитим параметрима и својствима, односно захтијева њихове класификације по одређеним критеријумима. Период настанка ових класификација је углавном прва половина двадесетог вијека.

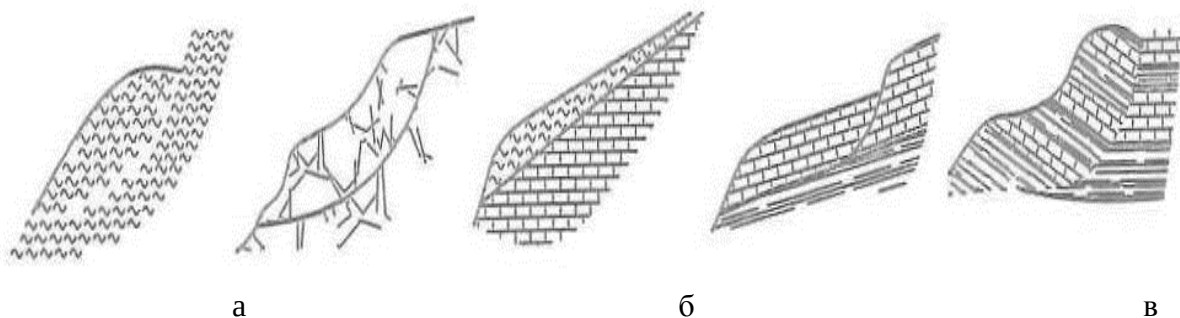
Прва позната и прихваћена класификација клизишта је Савренског Ф.П. (1937) која се заснива на геолошкој грађи падине и положају клизне равни. Овај аутор издваја **асеквентна, консеквентна и инсеквентна** клизишта.

Асеквентна клизишта (сл. 36а) настају у једнородним хомогеним неслојевитим срединама. Кретање се врши по цилиндричној површини, образујући тако клизиште ротационог типа. Закривљеност клизне равни зависи од вриједности параметара отпорности на смицање. Углавном се појављују у плићим дијеловима терена и на насипима.

Консеквентна клизишта (сл. 36б) најчешће настају на граници између слојева истог или различитог састава па се називају и клизишта контактнoг типа. Дуж границе настају дисконтинуитети који одвајају стијене различитог састава и различитих физичко механичких карактеристика, што ствара повољне услове за покретање процеса клизења. Такође ова клизишта се јављају на контакту површински распаднуте стијенске масе са основном стијеном.

Консеквентна клизишта су најзаступљенија, могу имати велике размјере, сложен механизам гравитационог кретања, блоковску издјељеност у мање самосталне диојелове. Ова клизишта могу бити плитка и дубока и често веома сложена у погледу санације.

Инсеквентна клизишта (сл. 36ц) настају у хетерогеним срединама, са неправилном површином клижења, гдје клижење поред површинског покривача захвата и супстрат као основну стијену. Слојеви су најчешће хоризонтални или супротног нагиба у односу на падину, а клизна површина сијече слојеве стијенских маса. Ова клизишта су углавном велика и дубока, а процес може да се одвија на више нивоа по дубини дуж клизних равни које су промјењивог облика и подужног нагиба.



Сл. 36.: Подјела клизишта према Ф. П. Саваренском: а) секвентна клизишта, б) консеквентна клизишта, в) инсеквентна клизишта

Према активности процеса клизишта се дијеле на активна и умирена (фосилизирана).

Активна или савремена клизишта се препознају по видљивим траговима кретања. Површина покренуте масе је изломљена, дрвеће накривљено у працу супротном од кретања покренуте масе, а видљива су и оштећења на објектима који се налазе на самом клизишту или његовој непосредној близини. Према брзини кретања стијенске масе ова клизишта могу бити спора, брза и нагла. Спора клизишта слабо се запажају за разлику од брзих која су лако уочљива, док су нагла карактеристична за процесе који се скоро тренутно одвијају.

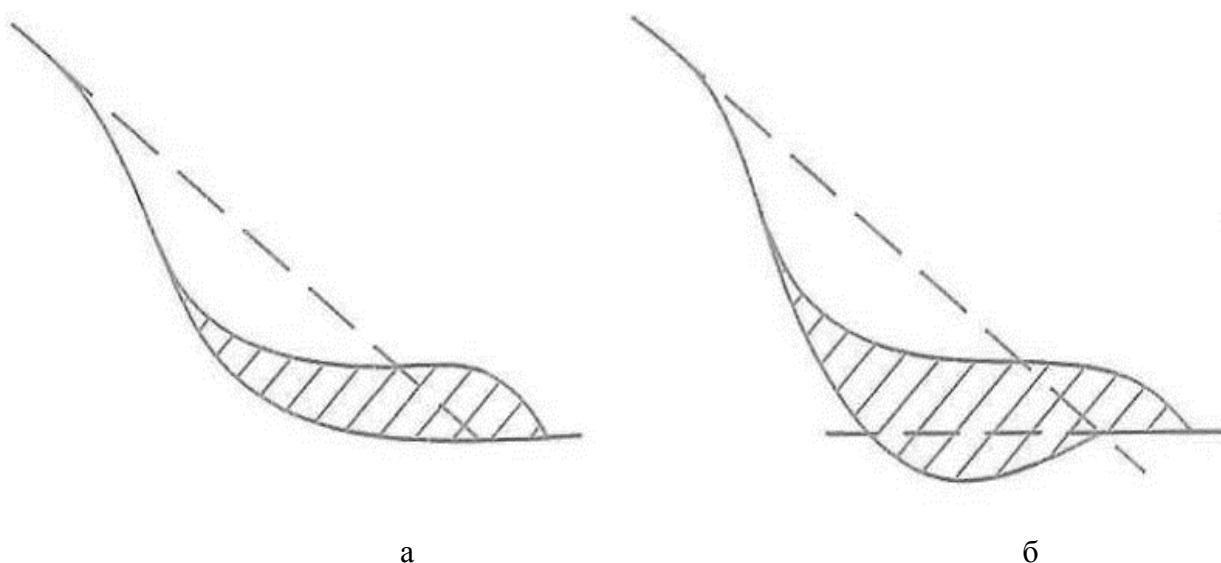
Умирена или фосилизирана клизишта су неактивна и обично су настала у ранијем периоду од плеистоцена и даље. Настала су у различитим морфолошким и климатским условима. Ова клизишта су обично прекривена вегетацијом, што спречава видљивост ранијих кретања.

Према генези клизишта, Золотарјев Г.С., полази од сагледавања грађе клизног тијела, структуре, текстуре, просторног положаја, карактера деформација, механизма премјештања стијенске масе, типа и облика површине и зоне клизног тијела. Уважавајући наведене критеријуме издваја се неколико генетских група:

- **Делапсивна клизишта** која настају у благо нагнутима падинама и вјештачким косинама. Развијају се од подножја падине према хипсометријским вишим стабилниим дијеловима падине.
- **Детрузивна клизишта** се јављају супротно од делапсивних, односно она се почињу формирати у горњем дијелу падине и даље се преноси у ниже дијелове.
- **Консеквентна клизишта** настају у чврстим стијенским масама и карактерише их кретање подинских дробинских наслага блоковског типа.

Према положају клизне површине у односу на подножје косине клизишта, издвајају се **ножична клизишта**, гдје се цјелокупна покренута стијенска маса налази у нивоу или изнад најниже тачке. Стијенске масе у подножју су бољих карактеристика у односу на оне у којима је покренута падина.

Подножична клизишта се чешће јављају у дубљим засјецима и при дну падине гдје се дио клизне површине налази испод хипсометријски најниже тачке на површини ножице.



Сл. 37.: Подјела клизишта према положају клизне равни: а) Ножична клизишта, б) подножична клизишта

Према нагибу падине у којој су настала клизишта се дијеле:

Табела 17. Подјела клизишта према нагибу падине

	Нагиб падине	Угао (°)
1.	Врло благе падине	< 5
2.	Блага падина	5 - 15
3.	Стрма падина	15 - 45
4.	Врло стрма падина	> 45

Према **величини клизишта**, узимајући у обзир површину и запремину, издвајамо пет група:

Табела 18. Подјела клизишта према величини

Врста клизишта	Површина клизишта (м ²)	Запремина клизишта (м ³)
Врло мала	< 100	< 100
Мала	100 - 1000	100 - 1000
Средња	1000 - 10 000	5000 - 100 000
Велика	10 000 - 100 000	100 000 - 1 000 000
Врло велика	>100 000	>1 000 000

Највише су заступљена мала клизишта, нешто више врло мала и средња клизишта, док су велика, а посебно врло велика веома ријетка.

Према **дубини клизишта** се дијеле на плитка и дубока. Плитка клизишта имају површину клижења од дебљине зоне сезонских колебања влажности и температуре. Код дубоких клизишта површина клижења је испод те зоне. С обзиром на максималну дебљину клижења, клизишта се дијеле у четири групе:

Табела 19. Подјела клизишта према дубини

	Назив клизишта	Дубина (м)
1.	Површинска клизишта	< 1
2.	Плитка клизишта	1 - 5
3.	Дубока клизишта	5 - 20
4.	Врло дубока клизишта	> 20

Све предходно наведене класификације клизишта, углавном су заступљене у европској литератури, док се у америчкој стручној пракси користи понајвише класификација Д. Вернс-а, позната као **Америчка класификација клизишта**. Ова класификација падинске геодинамичке процесе дијели на шест основних типова. Разлика од европских класификација је у томе што су сви геодинамички савремени процеси третирали заједно. Значи класификацијом су обухваћени и одрони, осулине и блоковском одкидање стијенских маса. У сваком случају у оквиру овог рада треба у цијелости представити и ову класификацију:

1. **Одрони и осулине** јављају се у чврстим, кластичним невезаним стијенама и тлу.

2. **Блоковско откидање** у суштини представља одроне, чији процес почиње откидањем крупног блоковског материјала од матичне стијене.
3. **Клизишта** - аутор третира са два типа процеса клижења:
 - **Ротациона клизишта** подразумевају кретање маса ротационим смицањем по кружно цилиндричној клизној површини, првенствено у глиновитим седиментима.
 - **Блоковска клизишта и лавине дробинског материјала** настају када се блокови чврстих стијена, кластичних неvezаних и пјесковито-глиновитих стијена, крећу се по предиспонираним површинама. А те предиспониране површине су површина слојевитости, пукотина, пукотинске зоне, затим контакт покривача и чврсте стијенске масе.
4. **Блоковска клизишта са истискивањем** настају када се испод дебелих слојева чврстих стијенских маса, налазе мање чврсте стијене, глинци, глине или водозасићени пјескови. Услјед тежине надслоја и расквашености подлоге стварају се услови за појаву лаганих пластичних деформација праћених истискивањем.
5. **Клизни токови** подијељени су на три подгрупе у зависности од врсте средине у којој се јављају (чврсте стијене, кластични и тла). За клизишта овог типа карактеристична је таква промјена чврстоће услед квашења при којима почиње лагано или брзо кретање елувијалних, делувијалних или других седимената на падинама малог или средњег нагиба. Стварање клизних токова који се манифестују у виду језичастих клизишта, у кластичним дробинским и глиновитим материјалима, везано је за пластичне деформације чврстих стијенских маса високих падина према токовима у подножју.
6. **Комбинација предходних видова клизишта** представља шести тип. Већина сложених клизишта има јединствени механизам кретања.^[54]

4.2.4. Инжењерскогеолошка истраживања клизишта

Инжењерскогеолошка истраживања везана су углавном за терене који су већ угрожени или за клизишта која већ угрожавају одређене објекте, најчешће саобраћајну инфраструктуру (што је најбитније за овај рад), али је такође битно извршити инжењерскогеолошка истраживања и када је у питању пројектовање нових

саобраћајница. Ова литолошка серија је веома „осјетљива“ по том питању и веома је битно посветити значајну пажњу и приликом пројектовања али и приликом градње саобраћајница, кроз терен који она изграђује.

Предходно, прије израде Пројекта истражних радова, неопходно је сагледати и проучити сав постојећи фондофски материјал који се односи на одређено клизиште или подручје које оно може захватити приликом градње саобраћајница.

Потом је најзначајније сагледати обим теренских истраживања и лабораторијских испитивања, за стицање квалитне слике о геодинамичким специфичностима терена, које доводе до покретања маса на терену.

Поред рекогносцирања терена као прве фазе истражних радова, проводи се детаљно инжењерскогеолошко картирање терена, затим истражно бушење, истражни раскопи, рјеђе истражни поткопи, затим геофизичка истраживања.

Основни циљ ових истраживања је дефинисање положаја и карактера клизне површине. Дубина бушотина и осталих истражних радова везана је за дубину стабилне некретане стијенске масе.

Редослијед инжењерскогеолошких истраживања

Приликом истраживања подручја које је захватило клизиште, неопходно је примјенити одређена инжењерскогеолошка истраживања с циљем јасног дефинисања количина покренуте масе, дефинисањем површине по којој се то кретање обавља (клизна површина), затим хидролошких и хидрогеолошких прилика које владају на истраживаном подручју.

Прије почетка било каквих истраживања неопходно је обезбиједити топографске подлоге. За мања клизишта и одроне користе се топографске основе у размјери 1 : 500 и 1 : 1000, док за већа клизишта користе се топографске основе у размјери 1 : 2500.

Детаљно инжењерскогеолошко картирање терена које је захватило клизиште је прва фаза истраживања с циљем да се на топографској основи јасно одреде границе покренуте масе, затим чеони и ножични дијелови клизишта, геолошка грађа покренутих маса итд. У току инжењерскогеолошког картирања одређују се позиције наредних истражних радова, првенствено истражних бушотина, раскопа и евентуално истражних поткопа. Ако су предвиђена геофизичка истраживања такође се одређује позиција профила дуж којих ће бити изведена. Сви ти подаци документују се на прегледној инжењерскогеолошкој карти у размјери која је предходно наведена.

Истражно бушење представља најсврсисходнију методу истражних радова, гдје се на најбољи начин могу дефинисати литолошки чланови који изграђују тијело клизишта али и његов субстрат, затим дубину и положај клизне површи, ниво подземних вода итд. Истражне бушотине се могу користити и као пијезометарске на којима се може пратити кретање и осцилација нивоа подземних вода током одређеног временског периода, као један од најважнијих узрочника покретања маса у клизишту. Такође истражне бушотине се користе за осматрање кретања стијенских маса по дубини уградњом инклинометара. Квалитетним истражним бушењем обезбјеђују се репрезентативни узорци за лабораторијска испитивања. Језгро истражних бушотина треба да одражава природну влажност, боју стијене и степен оштећености.

Истражни раскопи користе се најчешће приликом детаљног инжењерскогеолошког картирања терена, за утврђивање граница тијела клизишта у дијелу гдје није дошло до појаве ивичних ожиљака односно пукотина, као и узимања узорака за лабораторијска испитивања.

Истражни ровови погодни су за утврђивање литолошког састава терена, односно поступности прелаза, сочиваста исклињавања, појаве прослојака, као и других карактеристичних детаља који се могу запазити на отвореном профилу терена. Погодни су за „ин ситу“ опите. Дубина истражних ровова је максимално 6,0 метара. По завршетку инжењерскогеолошких истраживања могу послужити као дренажни канали. Низводни дијелови се прекрију геотекстилом, водонепропусном фолијом а унутрашњи дијелови се испуне филтерским материјалом. Филтерски материјал може бити шљунак до крупно дробљени камен.

Истражна окна се примјењују за дубља клизишта. Дају поуздане податке о литолошком саставу терена као и јасној дефиницији зоне клижења. У њима се могу узети непоремећени и орјентисани узорци за лабораторијска испитивања. Дубина окна може да буде и до 30м метара. Током њихове израде неопходно је обратити пажњу на појаву подземних вода.

Истражни поткопи се примјењују код јако дубоких клизишта за прецизнију провјеру дубине клизања поготово у ножичном дијелу, као и за узимање непоремећених узорака већих димензија. Дужине су до неколико десетина метара. Приликом градње ради стабилности ископа врши се његово подграђивање. Након завршетка истраживања могу на неки начин послужити и као санациони рад, односно могу послужити као дренажни објекти за одвођење подземних вода.

Хидролошка и хидрогеолошка истраживања

Хидролошка испитивања су веома значајна јер је вода један од најзначајнијих ако не и најзначајнији фактор који доводи до покретања процеса клижења. Врло битно је на бази статистичких података из најближе кишомјерне станице утврдити количине падавина на датом подручју, а с тим у вези може се прогнозировать евентуална динамика у активирању процеса клижења. Од хидролошких карактеристика такође је врло битно сагледати карактеристике сталних и повремених водених токова, њихове обале и падине, те на који начин својом активношћу површински токови утичу на промјене стабилности у околном терену које је обухватио процес клижења.

Хидрогеолошка истраживања везана су за изучавање концентрације воде унутар терена, затим дефинисање хидрогеолошке функције стијенске масе у склопу терена, одређивање граница изданске и надизданске зоне, осцилације нивоа подземних вода, затим начин прихрањивања и пражњења издани, правац кретања слободних и изданских вода, стање пијезометарског нивоа за сваки колекторски слој, филтрационе карактеристике унутар стијенске масе, агресивност подземних вода на бетон итд. Током хидрогеолошког картирања терена добијају се први подаци, а значајнији подаци се добијају у току извођења истражних радова. На њима се лако уочавају појаве подземних вода, прилив воде у истражни рад, осцилације нивоа подземних вода. Уколико су неопходна дужа истраживања у бушотине се уграђују пијезометри. Ако постоји више осматрачких позиција може се пратити правац кретања подземних вода и утврдити хидраулички градијент.

Геофизичка истраживања се углавном користе као помоћне методе које треба да потврде резултате предходно набројаних истраживања. Ова истраживања могу дати сасвим поуздане податке о карактеристикама клизишта.

4.3. Одрони

4.3.1. Опште

Под процесом одроњавања сматрамо савремени геодинамички процес, када је дошло до одвајања одређене количине стијенског материјала и његовог кретања низ падину. Падине су углавном изграђене од каменитог материјала у којем као последица

интезивних процеса физичко-механичке дезинтеграције стијенске масе, долази до одвајања одређених количина стијенског материјала и затим његовог обрушавања под утицајем гравитације ка нижим хоризонтима. Одвајање стијенске масе најчешће се врши дуж предиспонираних праваца, а то су најчешће доминантне пукотине или међуслојне површине у случајевима када оне имају неповољну позицију у односу на падину. Значи у тренутку када гравитациона сила надвлада отпор смицања стијенске масе, долази до њеног откидања, гдје се она транслаторно или ротационо креће по падини, а потом слободним падом снажно удара у површину терена. Усљед силине удара долази до распадања крупних блокова стијенске масе, те се као такви одлажу при дну падине или ријечне или морске обале. Такав откинути материјал који је претрпио одређене физичко-механичке измјене од почетка процеса одроњавања до времена одлагања, назива се одрон.

Генеза одрона, као савременог геодинамичког процеса, везан је за природне али и вјештачке, односно техногене факторе. Веома изражене овакве појаве имамо у току градње саобраћајница у дурмиторској флишној формацији.

Генеза природних процеса одроњавања везана је првенствено за терене са великим нагибом, затим структурна својства стијенских маса у многоме одређују процес покретања одрона. Ту се првенствено мисли на испуцалост стијенских маса а код услојених стијена у на положај слојевитости у односу на падину. У флишним седиментима, као формацији која има нагле промјене елемената пада, као формацији која се одликује интезивниом појавом набора, врло често међуслојне површине представљају равни дуж који се врши одкидање стијенских маса и покретање процеса одроњавања.

Значајну улогу у процесу одроњавања има и висока температурна осцилација, гдје долази до наглог загријавања стијенске масе те њеног наглог хлађења током ноћи. Такође битан фактор на дезинтеграцији стијенских маса је мржњење воде током зимских мјесеци и њено отопљавање (табела 4). Лед унутар пукотина својим ширењем изазива притисак на околну стијенску масу, а отапањем тај притисак попушта. У том процесу се шире постојеће и формирају нове пукотине, које доводе до даље дезинтеграције стијенских маса.

Вјештачки или техногени фактори су резултат одређених грађевинских радова, при чему долази до нарушавања примарних напонских стања у терену. Овакви процеси могу директно утицати на покретање стијенских маса и формирање одрона.

Кретање откинутих стијенских маса је сложен процес. Започиње краћим транслаторним или ротационим помјерањем ослабљених блокова, затим одвајањем покренуте масе и њиховим слободним падом низ падину. Приликом удара од чврсту подлогу долази до даљег дробљења покренуте стијенске масе и њиховог одлагања на заравњеним дијеловима терена.

Према врсти стијенских маса које изграђују одроне, они могу бити каменити и углавном су заступљени са 95%, затим земљани одрони који су везани за слабевезане седimente (невезана тла и лес), као и мјешовити одрони са блоковима стијена измјешаних са слабевезаним седиментима.

Одрони се најчешће разврставају према механизму транспорта нестабилних блокова. Према овом критеријуму разликују се следеће врсте одрона:

- 1) *одрони,*
- 2) *одроњавања појединачних блокова,*
- 3) *претурања-превртања и*
- 4) *сипари.*

У нашој стручној пракси, али и у литератури углавном се наводе само двије врсте ових појава: *одрони и сипари*, односно они су, у нашим пределима најчешће и присутни. Ове двије врсте одроњавања се, како по механизму помјерања, тако и према низу других својстава, али и услова за санацију, битно разликују. Због тога ће о њима и бити детаљније говора, док ће се појаве одроњавања појединачних блокова, разматрати заједно са одронима, а одрони-претурања биће приказани само информативно.

4.3.2. Зона одроњавања и елементи одрона

Подручје, односно дио терена на коме је дошло до одроњавања стијенске масе зове се *зона одроњавања*. Одроњени материјал се у почетку може кретати транслаторно а након коначног откидања од подлоге кретање материјала се убрзава и оно је ротационо, а може и да буде нагло стропоштавање. Подручје којим се креће одроњени материјал зове се *зона транспорта*. На крају одроњени материјал, када гравитациона сила ослаби, се зауставља и акумулира на заравнима и та подручја зовемо *зонама депоновања*.

Површина са које је откинута стијенска маса зове се *ожиљак одрона*.

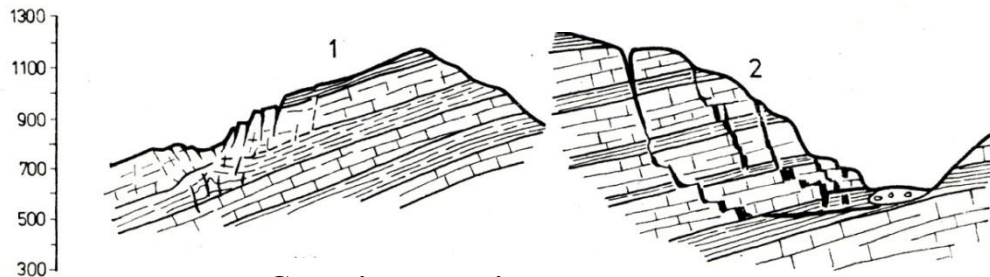
Елементи одрона, карактеришу морфометријске елементе и издвајају се: *тијело одрона* које сачињава одроњени материјал, *површина одрона* је видљива површина

одрођене масе, *граница одрона*, линија која оконтурје одрођену стијенску масу, *чело одрона*, хипсометријски највиши дио у одрођеној маси, те *ножице одрона* које представљају хипсометријски најнижи дио одрона. *Запремина одрона* је запремина укупне одрођене масе.

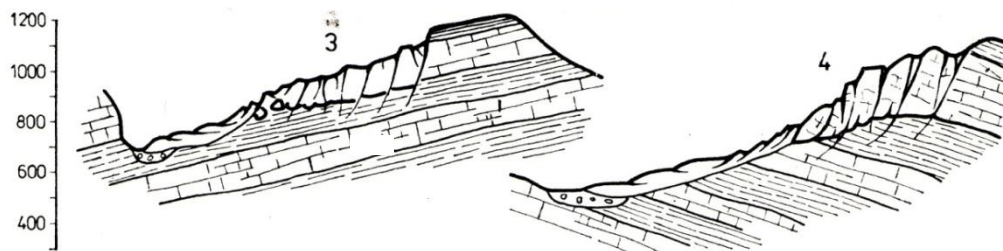
Одрођени материјал нема правила по којима је одложен нити су по било ком елементу сортиране одрођене масе. Најчешћем се уз саму падину одлаже најситнији материјал док се најкрупнији блокови налазе на највишој удаљености од саме падине.

Схематски приказ типова нестабилности и механизма развоја процеса клижења и течења на падинама изграђеним од флишних седимената, у подручју Карпата Словачке, дат је на сл. 37. према словачким ауторима Немчоку А. и Рибаржу Ј., који се могу аналогично примјенити и за подручје Дурмиторског флиша.

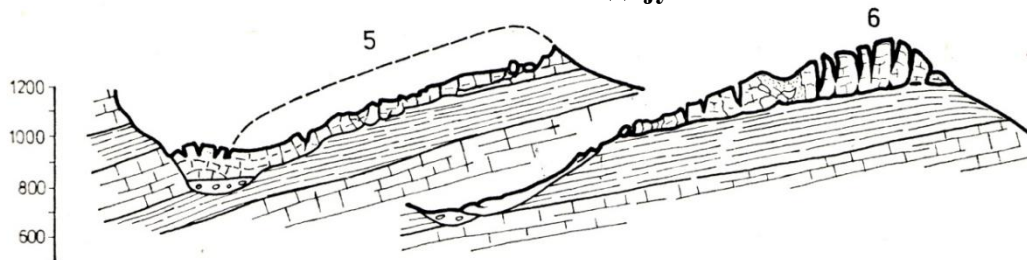
Иницијани стадијум



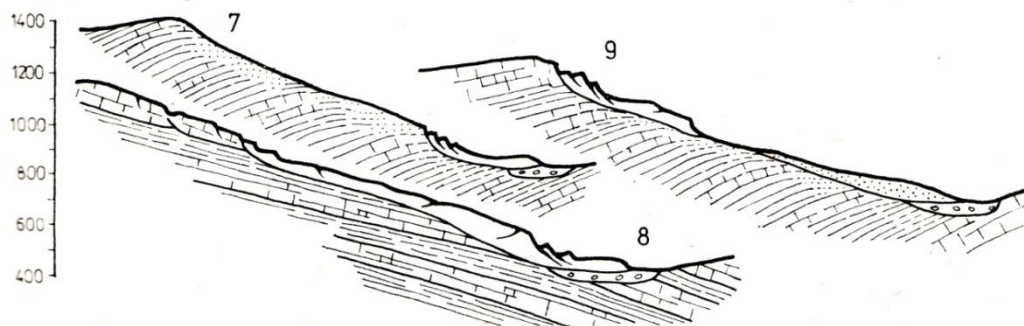
Стадијум развоја процеса



Финални стадијум

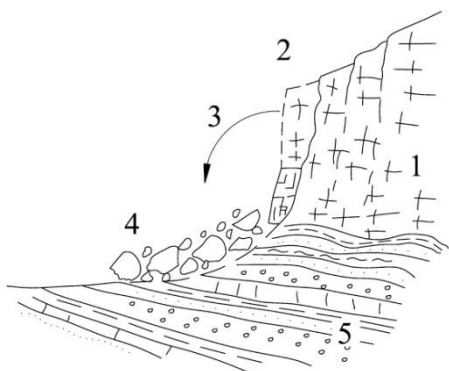


Површинске нестабилности



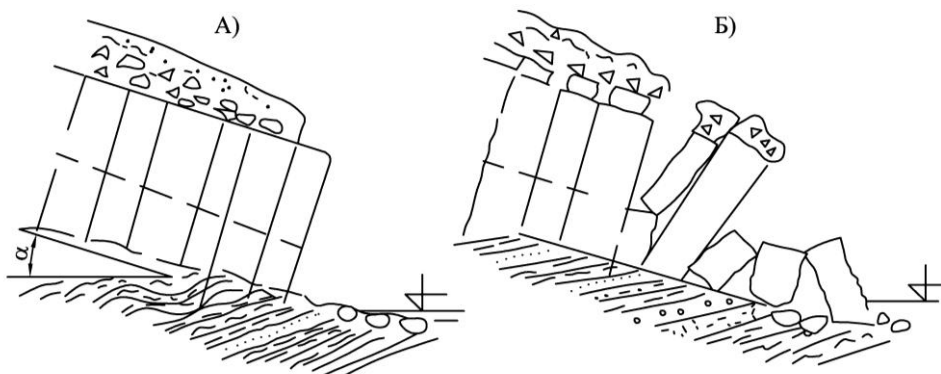
Сл. 38.: Примјер регионалних типова и стадијума појаве нестабилности у области карпатских планина (Немчок А. и Рибарж Ј., 1982): 1 - издјељени (испуцали) блокови у падини, усјецање долине до основне стијене у флишу, 2 - распадина и издјељени блокови у бедроку (основној стени) флиша склони одроњавању, 3 - блокови распадине и блокови у бедроку флиша са клижењем и тециштем дуж равни слојевитости, 4 - блокови распадине и блокови у слојевима флиша који се одроњавају низ падину, 5 - реликтни блокови пузања дуж слојевитости, од којих настају клизишта, 6 - гравитациона дезинтеграција цијелог флишног гребена у распадину и блокове у основној стијени на чијим рубовима настају клизања и течења (тецишта), 7 - глиновито-дробински површински депозити (делувијум) на падини, у ножичном дијелу се формира пужење, 8 - површинска клизишта и тецишта: падински флишни депозити се помјерају по површинама паралелним падини, 9 - површинска клизишта и тецишта изграђена од падинских депозита, помјерања се одвијају по слојевитошћу флиша која пада ка падини

1) Одрони и одроњавање појединачних блокова

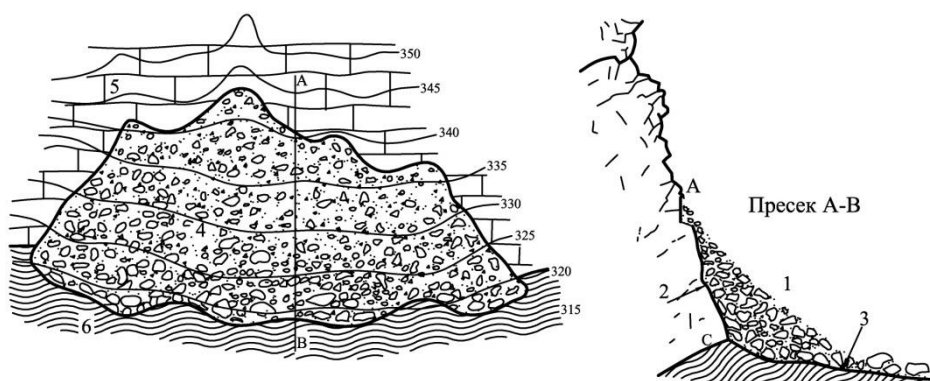


Сл. 39.: Одрони и одроњавање појединачних блокова

2) Одрони – претурања (превртања)



Сл. 40.: Схема образовања одрона - претурања: А) појединачни блок и Б) вишеструко претурање (по Варнесу Д. и Крудену Д. допуњено)



Сл. 41.: План и пресјек сипара (осулине)(Јањић М., Локин П., 1970): 1 - површина сипара; 2 - прислона површина сипара; 3 - базисна (основична) површина сипара; 4 - тијело сипара; 5 - матичне стијене сипара - банковити до масивни кречњаџи; 6 - филити

5. КЛИЗИШТА И ОДРОНИ У ПОЈАСУ ДУРМИТОРСКОГ ФЛИШНОГ КОМПЛЕКСА

5.1. Опште

Низ је фактора који озбиљно утичу и одређују савремене геодинамичке процесе. У дијеловима предходних поглавља покушао сам објаснити и указати на све специфичности дурмиторског флишног комплекса као формације која је на неки начин предиспонирана за интензивне савремене геодинамичке процесе.

Такође, веома је битно нагласити да овај комплекс који изграђује пет суперпозиционих пакета, насталих у периоду сенонског ката у горњој креди ($^{1-5} K_2^3$), а са становишта инжењерске геологије издвојених у пет конструкција терена (КТ-1 до КТ-5), не детерминишу иста литолошка, физичко-механичка, структурна, тектонска, хидрогеолошка и геотехничка својства. Управо литолошка хетерогеност у оквиру саме формације условила је и хетерогеност физичко-механичких својстава, односно понашање таквих средина под дејством статичких и динамичких оптерећења, односно при нарушавању примарног геостатичког стања у терену. Такође различита отпорност поједининих средина у конструкцијама терена у оквиру флишне формације на дјеловање егзогених агенаса (атмосферских и других), односно њихово различито понашање на појаве нестабилности терена како у природним условима, тако и у условима изазваних техногеним дејством.

Најинтезивнији геодинамички процеси манифестовани појавама клизишта и одрона десили су се у подручјима која изграђује четврти суперпозициони пакет ($^4 K_2^3$) и у ком доминира присуство лапоровите компоненте која се ритмички врло често смјењује са лапоровитим кречњацима и пјешчарима.

У литератури не постоји значајнији обим документације која се се са инжењерскогеолошког односно геотехничког аспекта бавила овом проблематиком, те с тога овај рад и добија на значају. Намјера је била свакако сакупити сву расположиву документацију која се бавила геодинамичким и геотехничким специфичностима ове литолошки врло специфичне формације која се протеже од сјеверне Албаније и области Врмоши преко Црне Горе, централне Босне па све до њеног западног дијела. Формација има генерални правац пружања југоисток-сјеверозапад (ЈИ-СЗ) који се поклапа са динарским правцем пружања.

Управо на подручју планинског превоја Чемерно који се налази на путу између Фоче и Гацка односно на самом граничном дијелу између Херцеговине и Босне, за потребе санирања клизишта која су угрожавала постојећу саобраћајницу као и за потребе реконструкције те саобраћајнице, вршени су значајни истражни инжењерско-геолошки радови. Циљ овог рада је да обједини резултате свих тих истраживања и да на квалитетан начин дефинише геодинамичке специфичности ове формације.

5.2. Типови конструкција терена у дурмиторском флишном комплексу

Познато је да се стијенске масе као реална тијела у механичком погледу, понашају веома сложено. То је последица не само њихове специфичне грађе, већ и различитог стања напона под којим су се налазиле у геолошкој историји. Због тога су све стијенске масе, чак и оне најмлађе, издјељене системом пукотина (примарних и секундарних), које су резултат дејства различитих напона, чије величине превазилазе чврстоће стјенских маса. То је веома важно својство, јер битно утиче на стабилност падина и косина.

Терен који изграђује дурмиторска флишна формација, као што је већ више пута наглашено, је изразито хетерогеног литолошког састава, обзиром да се наизмјенично и ритмички, смјењују литолошке компоненте битно различитих физичко-механичких својстава, односно средина чија се својства међусобно значајно разликују.

Но и поред све сложености ове проблематике и бројних специфичности, ипак је могуће, са практичног становишта издвојити одређени ограничени број модела, којима се може апроксимовати механичко понашање реалних стјенских маса. Што је значајно при изучавању стабилности падина и косина. Тим питањима су се бавили Перић Ј. и др. (1967), а пошто се тим схватањима, у последње вријеме, недовољно придаје значај, то ће бити, подсјећања ради, дат њихов кратак приказ, а потом ће бити надограђен за конкретне терене изграђене од флиша.

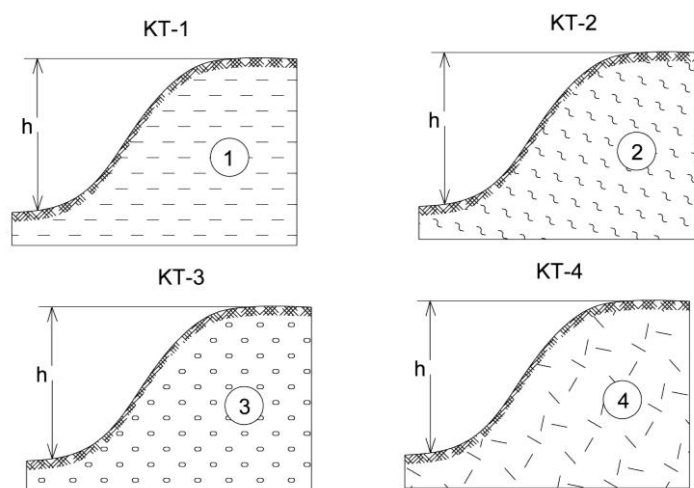
Према ауторима у природи постоје следеће средине:

- а) пластичне средине* (ако се понашају еласто-пластично, виско-пластично, виско-пластично до виско-течно),
- б) пластичне до квазипластичне средине* (ако се понашају еласто-пластично, еласто-виско-пластично, виско-пластично до виско-течно и крто-пластично),

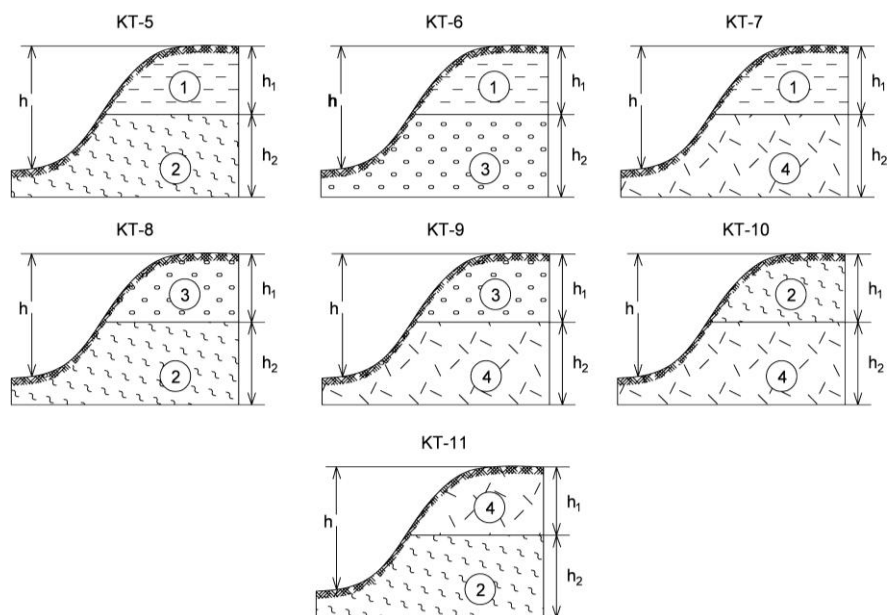
в) квазипластичне средине (ако се понашају крто-пластично, пластично односно еласто-пластично, еластично виско-пластично) и

г) крте средине (ако се понашају крто и крто-пластично).

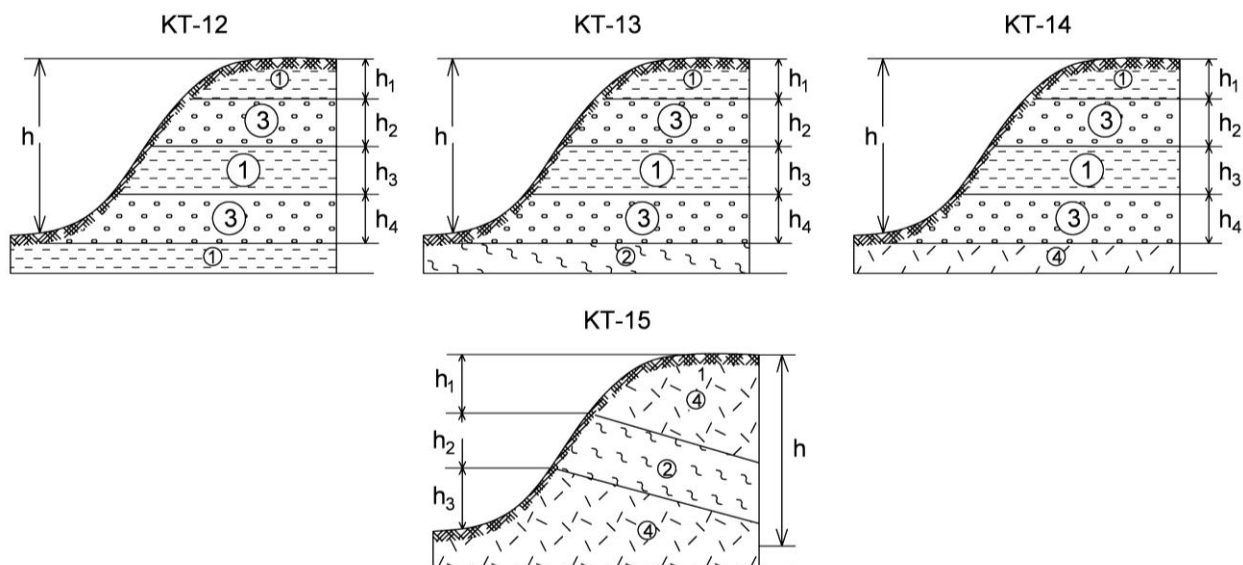
Према броју, природи, међусобном односу и просторном положају појединих средина у конструкцији терена, аутори су конструкције терена издвојили у шест главних група (модела), са укупно петнаест конструкција које су приказане на следећим сликама 42-44. Ознаке на сликама су следеће: (1) - пластична средина; (2) - квазипластична; (3) - пластична до квазипластична; (4) - крта средина; h - укупна висина конструкције терена и h_1 - h_5 - висине средина. Висина конструкције терена је значајан параметар од кога битно зависи и стање стабилности падине или косине. Но од морфометријских елемената значајан је и нагиб (величина, континуалност и др.) конструкције терена, који аутори експлицитно нису анализирали.



Сл. 42.: Схематски приказ конструкција терена (КТ) изграђених од само једне средине (објашњење је дато у Перић Ј. и др., 1967)



Сл. 43.: Схематски приказ конструкција терена (КТ) изграђених од двије средине (Перић Ј. и др., 1967). Ознаке средина објашњене су у тексту



Сл. 44.: Схематски приказ конструкција терена које се састоје од три и више средина (по Перићу Ј. и др., 1967). Ознаке средина објашњене су у тексту

Користећи приступ поменутих аутора, на изучаваном простору се могу издвојити следеће средине:

- 1) Пластичне средине - делувијално глиновита распадина.
- 2) Пластичне до квазипластичне средине - елувијална распадина и лапоровити седименти.

- 3) Квазипластичне средине - пјесковито лапоровита серија флиша, базални седименти.
- 4) Крте средине - кречњаци, пјешчари, грауваке.

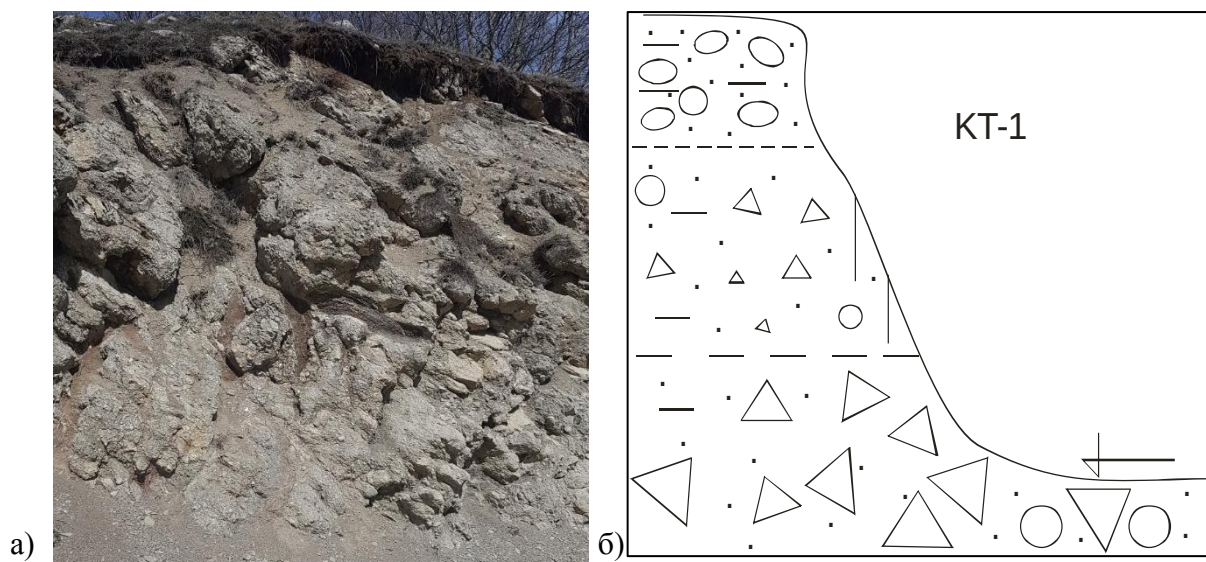
Анализирајући долирске стране и косине, на изучаваном терену, комбинације (просторни положај у рељефу) претходно наведених средин, издвојение су следеће конструкције терена, које су схематски приказане на сл. 44. Оне се, што је и разумљиво, поклапају са издвојеним пакетима литостратиграфским пакетима који су детаљно описани у поглављу 3. ове дисертације.

Познато је да се стијенске масе као реална тијела у механичком погледу, понашају веома сложено. То је посљедица не само њихове специфичне грађе, већ и различитог стања напона под којим су се налазиле у геолошкој историји. Због тога су све стијенске масе, чак и оне најмлађе, издјељене системом пукотина (примарних и секундарних), које су резултат дејства различитих напона, чије величине превазилазе чврстоће стјенских маса.

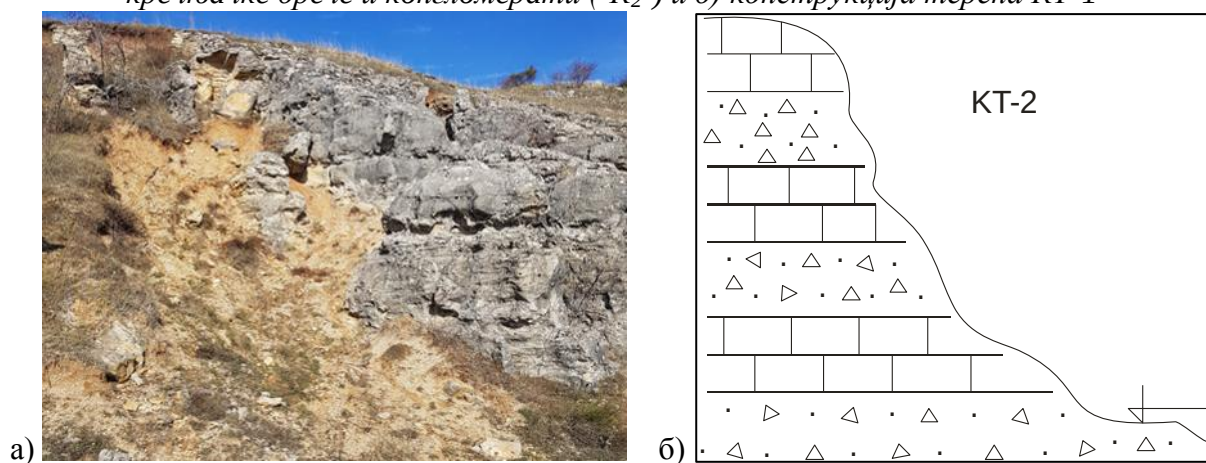
Терен који изграђује дурмиторска флишна формација је изразито хетерогеног литолошког састава, гдје се наизмјенично и ритмички, смјењују литолошке компоненте различитих физичко-механичких својстава, односно средина. Због тога су то изразито комплексне конструкције терена изграђене од следећих средина (*Перић Ј., Божиновић Д. и Шутић Ј., 1967. - преузето из Сунарић Д.*)^[54]:

- 1) Пластичне средине – делувијално глиновита распадина.
- 2) Пластичне до квазипластичне средине – елувијална распадина и лапоровити седименти.
- 3) Квазипластичне средине - пјесковито лапоровита серија флиша, базални седимент.
- 4) Крте средине - кречњаци, пешчари, грауваке.

Природне конструкције терена у изучаваном подручју, схематски су приказане на сл. 45).



Сл. 45. 1.: а) Засјек на путу Гацко- Фоча, локалитет Врба, изграђен од базалне кречњачке брече и конгломерати ($^1K_2^3$) и б) конструкција терена КТ-1

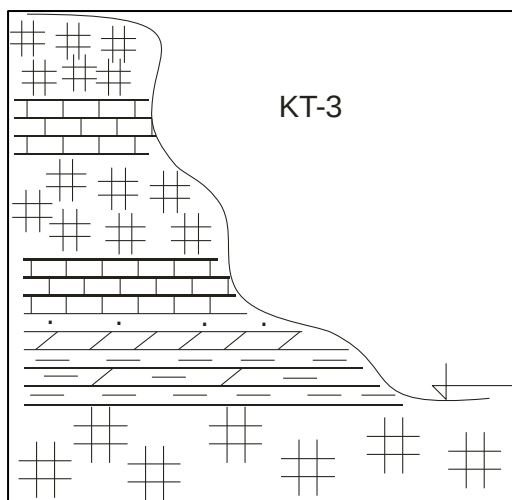


Сл. 45. 2.: а) Слојевите брече и кречњаци ($^2K_2^3$), засјек на путу у близини бране Клиње и б) конструкција терена КТ-2

а)

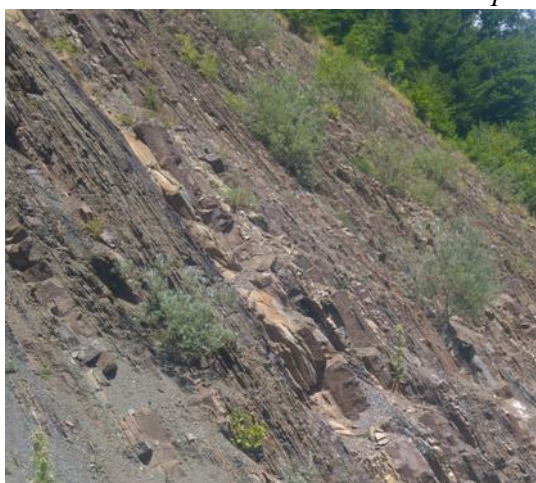


б)

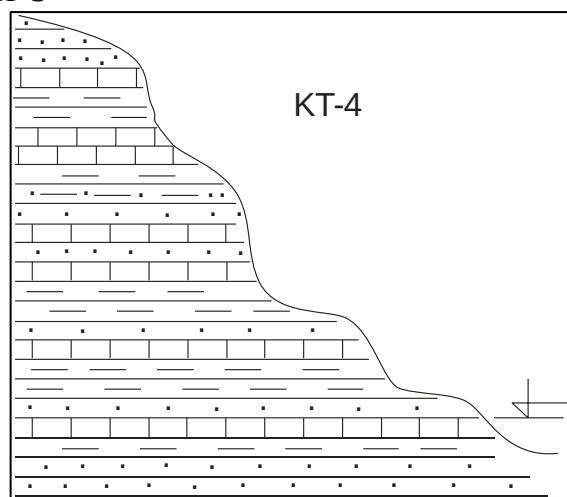


Сл. 45. 3.: а) Падина изграђена од бреча, кречњака и лапораца ($^3K_2^3$) и б) конструкција терена КТ-3

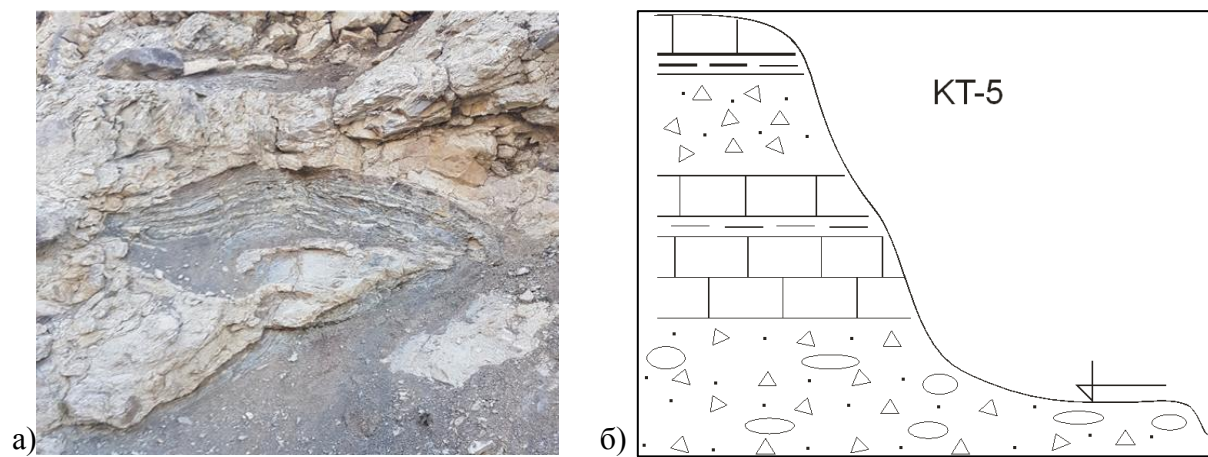
а)



б)

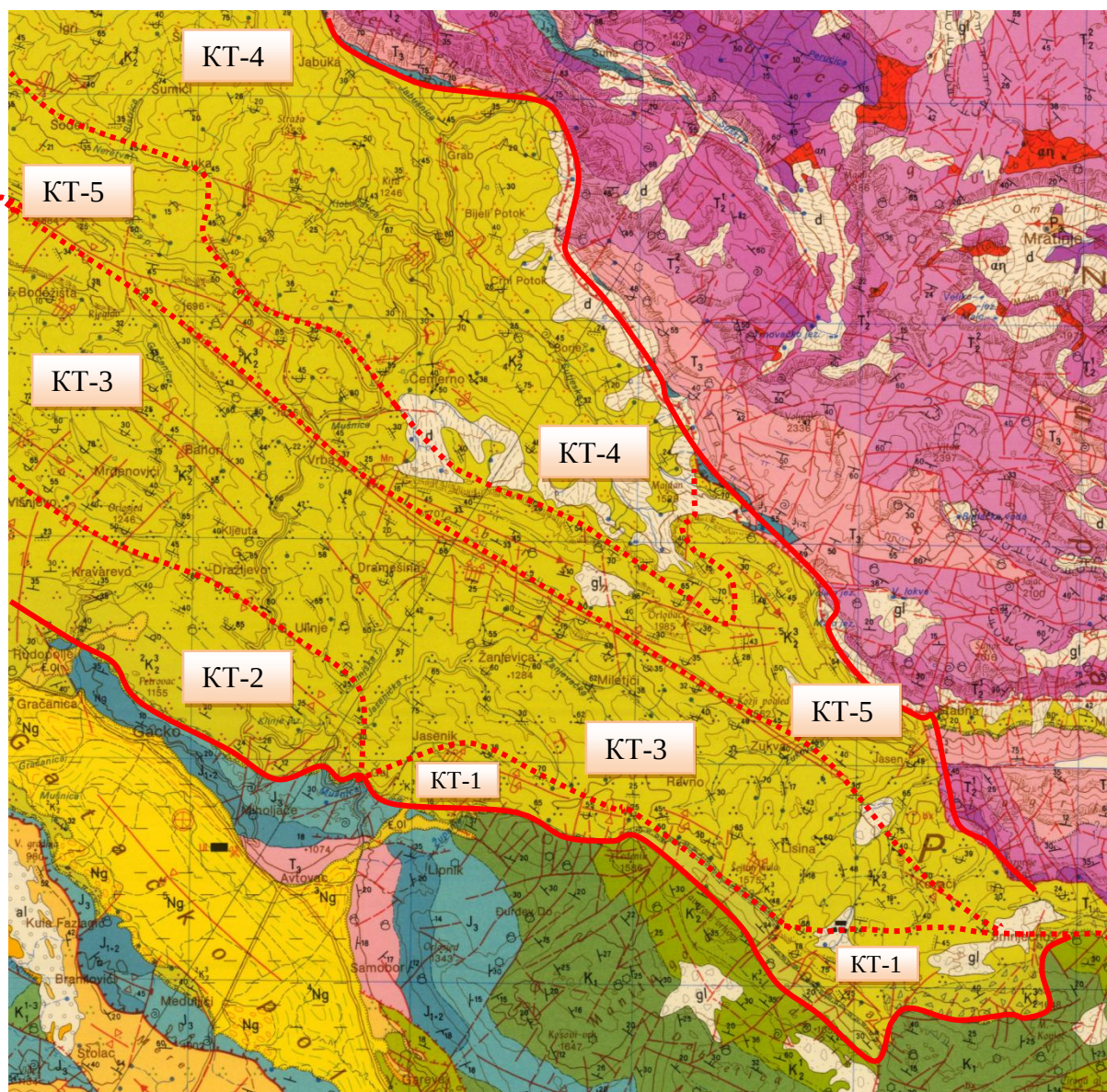


Сл. 45. 4.: а) Падина изграђена од стесних маса пјесковито-лапоровите серије ($^4K_2^3$) - падина је у целини стабилна, активан је процес стирања и б) конструкција терена КТ-4



Сл. 45. 5.: а) Брече, кречњаци и лапорци (K_2^3) и б) конструкција терена КТ-5

Сл. 45.: Типови конструкције терена у дурмиторском флишном комплексу: КТ1-КТ5 - ознака конструкције терена^[9]

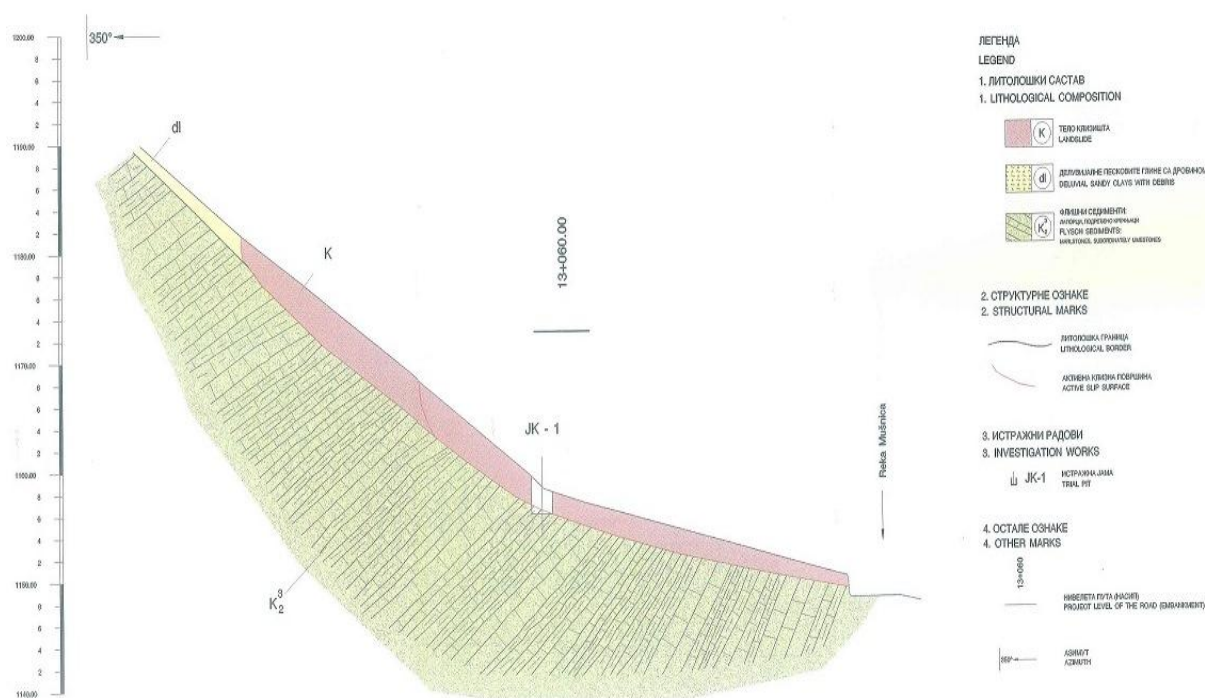


Сл. 46.: Схематски приказ распрострањења конструкција терена у подручју Гацког

На основу изложених типова конструкција терена у дурмиторској флишној формације, али и тектонских односа у падини, може се закључити да су и видови деформација су изразито сложени. Наиме зависно од простоног положаја геотехничких средина (литолошких чланова), које се наизмјенично смјењују у овим пакетима, а које имају значајно различита физичко-механичка својства, па се самим тим под дејством одређених напона у природи и различито понашају.

Клизиште “Мушница”

Ово клизиште налази се на југозападним падинама Чемерна, и име је добило по ријеци Мушници јер ножични дијелови клизишта улазе у корито ријеке Мушнице. Горња граница клизишта дефинисана је благим чеоним одсјеком дужине 35 – 30 метара, са правцем пружања запад-исток, док је његова доња граница, као што рекох, иде ријеком Мушницом. Површина клизишта је трапезастог облика. Дужина клизишта је максимално 70 метара а највећа ширина је у ножичном дијелу, коритом ријеке Мушнице и износи око 90 метара. Површина покренуте масе је око 0,3 ха, док укупна запремина износи око 7000 м³. У чеоним дијелу кота терена је од 1170 - 1180 м.н.в. док у ножичном дијелу кота терена се креће од 1148 - 1151 м.н.в., са просјечним нагибом терена од 24°.



Сл. 47.: Попречни пресјек терена на клизишту Мушница

Тијело клизишта у геолошком погледу грађено је од седимената квартарне и кредне старости. Површински дио је у потпуности грађен од жутомрких делувилалних глина са веома ријетком дробиниом. Глине су пјесковите и слабопрашинасте. Дебљина ових глина је око 1 метра, док подину ових глина, чине такође делувилалне глине, које у себи садрже више дробине. Састав и величина дробине је промјењива, како по

величини фрагмената тако и по литолошком саставу. Доминирају фрагменти лапораца и кречњака. Испод квартарних седимената заступљени су седименти кредне старости, које сачињавају танко плочасти до листаста лапорци и слојевити кречњаци.

Један од главних узрока појаве нестабилности у терену је дејство вода, како површинских тако и подземних. На локацији клизишта Мушница формирана је повремена издан. Нижи дио издани формиран је у деградираним лапорцима и кречњацима. На основу структурног типа порозности и гранулометријског састава деградираних лапораца који чине основу терена, може се закључити да је порозност мала па су акумулиране и мале количине слободних вода. Практично све пукотине су водозасићене.

Прихрањивање ове издани врши се путем атмосферских падавина, а дјелимично и из масивних и плочастих кречњака који представљају бочне границе клизишта.

И прије депоновања квартарних наслага на овом дијелу терена био је изражен процес физичко-хемијске дезинтеграције основне стијенске масе. Бивша монолитна маса лапораца физичко хемијском деградацијом измјењена је у лапоровиту глину. На контакту ових делувилних глина и танкоплочастих до листастих лапораца формиран је танак слој високопластичне, водозасићене прашинасто пјесковите глине која у суштини представља клизну површину овог клизишта. Због релативно стрмог нагиба површине терена атмосферске воде само мањим дијелом пониру у терен. Само повремено се оформи издан са слободном површином, јер делувилале наслага гради дробина сатављена од крупних фрагмената предходно дезинтегрисане стијенске масе. Такође треба рећи да је подлога слабо водопрпусна и прилично стрма, па све воде које дођу у тијело овог клизишта брзо дренажу у ријеку Мушницу.

На основу анализе стабилности клизишта методом Јанбуа (*Janbu N., 1956*), и физичко-механичких карактеристика делувилних наслага утврђених лабораторијским испитивањима:

- запреминска тежина $\gamma = 19,5-20,4 \text{ kN/m}^3$
- угао унутрашњег трења $\varphi = 15 - 22^\circ$
- кохезија $C = 10 - 15 \text{ kN/m}^3$

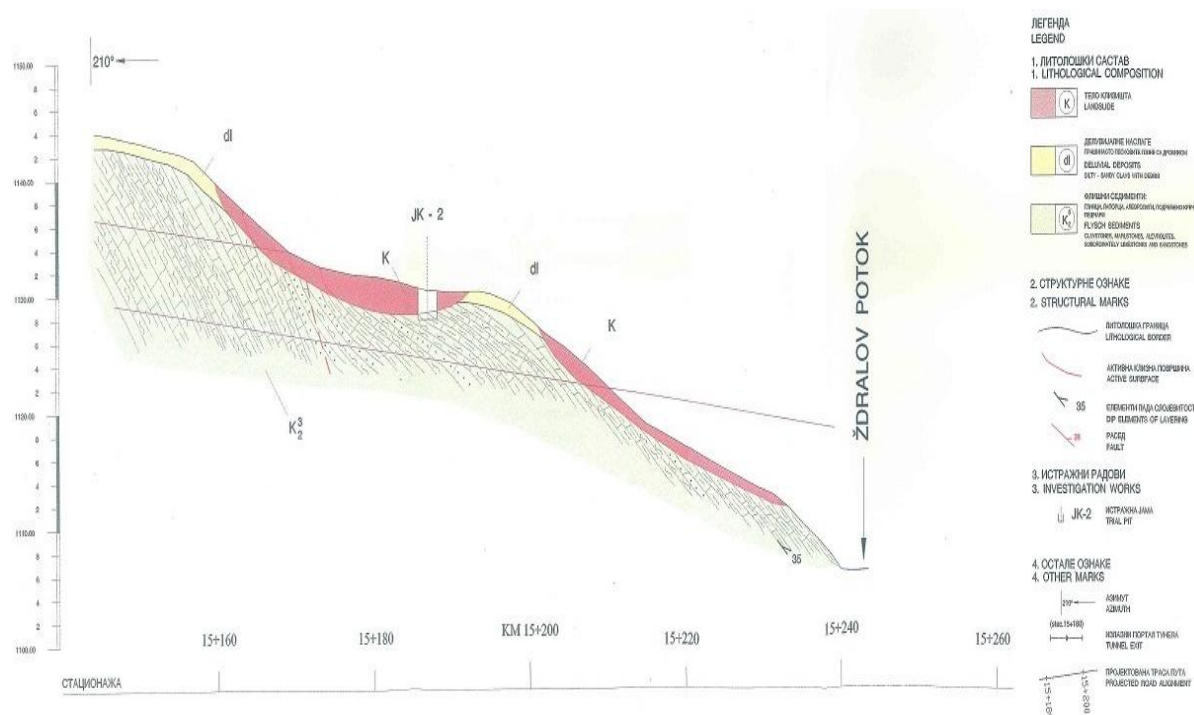
добити је фактор сигурности $F_s = 1,099$.^[35]

Са аспекта стабилности ово клизиште се у условима просјечне влажности терена може окарактерисати као стабилно, али у стању блиском граничној вриједности. У условима максималне водозасићености терена, затим дејства земљотреса, различитих

техногених процеса (саобраћајног оптерећења), реалне су претпоставке да би дошло до активирања процеса клизања.

Клизиште “Ждралов поток”

Клизишта Ждралов поток налази се на југозападним падинама планинског превоја Чемерно. На овом клизишту се јасно уочавају бочни и чеони ожилџи. Чеони ожилџи налазе се на коти 1140 м.н.в. док су ножице на коти 1115 метара. Дужина клизишта је око 70 метара, док је дубина различита и креће се од 2,5 до 4 метра. Површина клизишта је око 0,3ha, а запремина покренуте масе је око 9000m³.



Сл. 48.: Попречни пресјек терена на клизишту Ждралов поток

Процес смицања, се одвија на контакту седимената кредне старости (флиш) и квартарних творевина. Тијело клизишта изграђују делувијалне насlage које се састоје од прашинасто пјесковите глине, у којој су неправилно распоређени комади дробине различитих величина. Дробина је грађена од фрагмената кречњака и лапораца.

Некретани дио стјенске масе сачињавају флишни седименти из пакета K_2^3 , односно танки слојеви пјешчара, лапораца, кречњака и алевролита. Доминирају лапорци и алевролити. Дебљина слојева лапораца и алевролита креће се од 2 до 10cm. Алевролити су танколистасте текстуре и тамно мрке су боје. Површине слојевитости

су равне и глатке, а зидови су пресвучени танком скрамом глинаца и имају малу отпорност на смицање. Лапорци су сиве боје, танкоплочасте текстуре, прашинастог су до глиновитог састава. Лапорци су слабе водопропусности или водонепропусни. Кречњаци се јављају у виду изолованих слојева чија дебљина у овом пакету може да износи и до 2 метра. Веома важно је напоменути да су приповршински танкоплочасти алевролити и лапорци у толикој мјери деградирани, па са повећаним садржајем воде прелазе у тла изузетно мале отпорности на смицање. Управо ово својство терена је једно од најважнијих за генезу клизишта. Поред овог фактора битан утицај врши и Ждралов поток који константним радом врши одношење материјала из ножичног дијела клизишта, па самим тим их и поткопава. На тај начин се дуж падине формирају стрми одсјеци које стијенска маса својим укупним отпорним карактеристикама не може да одржи и долази до развоја клизишта. Са активирањем процеса клизања у ножичном дијелу падине, долази до слабљења средњих дијелова, односно њиховог покретања, па се процес клизања измјешта према врху падине.

Као једано од важних узрока настанка клизишта је и привремена издан, која егзистира у овом дијелу терена у периоду интезивних падавина и захвата подинске делувијалне наслага са дробином и приповршински дио кредних седимената. Седименти дурмиторског флишног комплекса који изграђују овај дио терена, као и елувијално-делувијалне наслага, за вријеме периода интезивних падавина представљају водозасићену средину. У веома кратком периоду, након обилног водозасићења, долази до кретања подземне воде која у условима великог хидрауличког градијента испира прашинасте фракције тла, односно долази до механичке суфозије. Депоновање тих честица у овом природном процесу, врши се на контакту са деградираним кредним седиментима. Тај заглињени дио није континуалан. У зони гдје доминирају глинци и алевролити они практично чине јединствену зону по којој се врши клизање стијенске масе у условима водозасићења. Практично на таквој подлози је најизраженији процес клизања.

У хидрогеолошком смислу у овом дијелу терена егзистира само привремена издан која се временски поклапа са дуготрајним и интезивним падавинама (период великих киша) и захвата подинске делувијалне наслага са дробином и површински дио кредних наслага. Због стрмог нагиба терена атмосферска вода само мањим дијелом понире у терен. Као и код клизишта “Мушница” анализа стабилности је урађена примјеном Јанбуове методе.

На основу анализе стабилности клизишта, и физичко-механичких карактеристика делувијалних наслага утврђених лабораторијским испитивањима:

- запреминска тежина $\gamma = 19,8-20,3 \text{ kN/m}^3$
- угао унутрашњег трења $\varphi = 10 - 18^\circ$
- кохезија $C = 8 - 15 \text{ kN/m}^3$

добијен је фактор сигурности $F_s = 1,078$.^[35]

Ова вриједност фактора сигурности показује да је терен у стању блиском граничној равнотежи. Као и код клизишта “Мушница”, у условима максимале водозасићености терена, затим сеизмичке активности, различитих техногених утицаја, фактор сигурности би се сигурно смањио и дошло би до активирања клизишта.

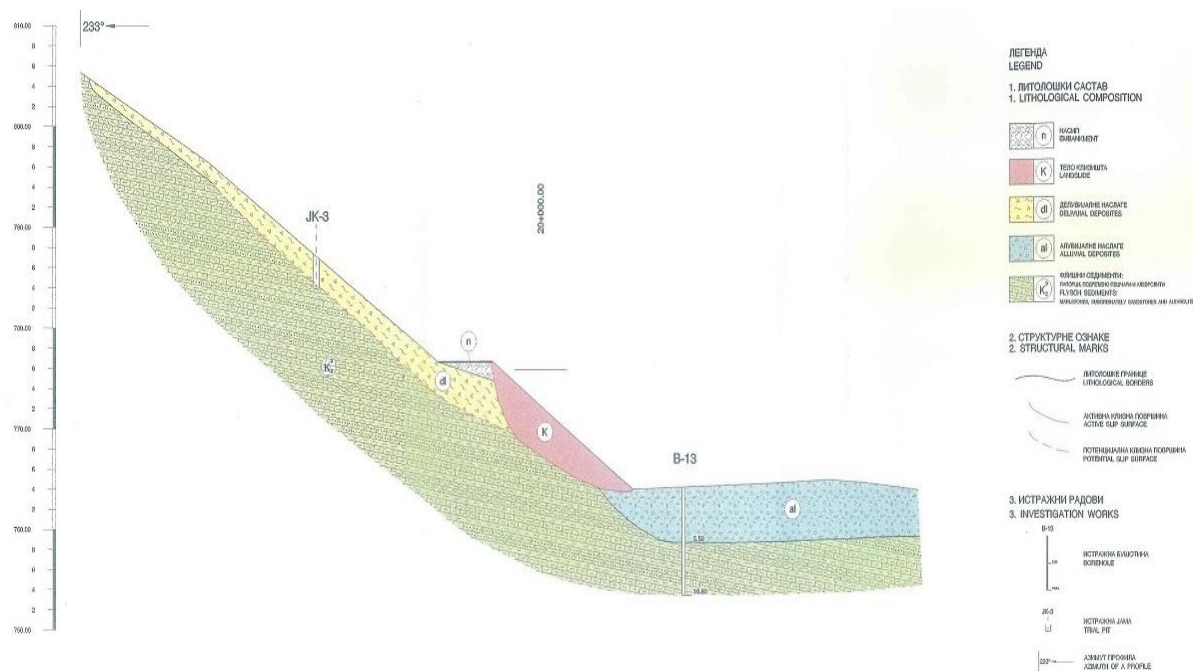
Клизиште “Сутјеска”

Ово клизиште се налази на сјевероисточним падинама планинског превоја Чемерно, на десној падинској страни ријеке Сутјеске. На површини терена уочене су многе деформације типичне за клизишта. На површини терена нема значајнијих одсјека који би јасно указивали на чеони ожиљак клизишта. Чело клизишта је приближно паралелно постојећој саобраћајници и налази се на коти терена од 895 до 900 м.н.в. и дугачко је око 360 метара. Доња граница овог клизишта је означена каменим потпорним зидом на магистралној саобраћајници Фоча - Гацко. Дужина клизишта је око 60 метара, а дебљина око 2 до 3,5 метара. Површина клизишта је око 1,5ha.

Како и сам наслов овог рада каже, основну стијенску масу на овом подручју граде седименти дурмиторског флишног комплекса, а преко ових седимената налазе се делувијалне квартарне творевине. Доминантни члан флишне формације на овом дијелу терена је лапорац, док су у подређеном положају алевролити, пјешчари и сасвим ријетки и танки прослојци кречњака. Влажност ових седимената се мијења до екстремних вриједности. У периодима падавина долази до бубрења и заглињавања лапорца, док у периодима без падавина ови седименти се исушују и у њима се услед тог процеса формирају пукотине, које у будућим кишним периодима представљају предиспониране правце кретања атмосферских вода.

У хидрогеолошком смислу ова стијенска маса са преовлађујућим лапорцима у потпуности представља баријеру, односно хидрогеолошки изолатор. Практично у

тијелу клизишта не постоји издан. Након обилних падавина, подземне воде се у тијелу клизишта појављују у виду водозасићења. Због стрмог нагиба терена атмосферске воде углавном површински отичу у ријеку Сутјеску. Бочне границе ове нестабилне падине представљају јаруге, од којих је сјеверна са сталним водотоком.



Сл. 49.: Попречни пресјек терена на клизишту Сутјеска

Контакт између делувијалних глина и деградираних лапораца, пјешчара представља дисконтинуитет дуж који се врши кретање, односно овај контакт представља клизну површину.

Настанак клизишта на овом подручју, као и на цјелокупном подручју које граде седименти дурмиторског флиша у најтјешњој је вези са обилним падавинама и потом снажним утицајем подземних вода. Након падавина вода понире кроз кречњаке који доминирају у флишној формацији на платоу планинског превоја Чемерно $^2K_2^3$, и понире до водонепропусних слојева лапораца. На контакту се битно мијењају конзистентна стања, која су директно у функцији влаге, а самим тим и отпорних и деформабилних својстава. Поред ових фактора битан предуслов за формирање овог клизишта, као и већине клизишта на овом подручју је и неповољан однос слојевитости. Наиме, слојеви флишног комплекса на мјестима гдје се формирају клизишта углавном имају неповољан пад, односно њихов пад је у правцу падине. У овом случају пад слојева је неповољан, али је благ и износи до 10° . Процес клизања није захватио читаву

падину, прије свега због мале дебљине елувијално - делувијалног покривача, него само њене стрмије дијелове. Поред ових узрока формирања клизишта, текоће веома битан фактор представља ерозиони рад ријеке Сутјеске која константно са повећаним или смањеним интензитетом, у зависности од периода падавина, поткопава и односи материјал из ножичног дијела клизишта.

На основу лабораторијских испитивања узорка који су узети из истражне јаме и плитког засјека, одређене су вриједности физичко-механичких карактеристика делувијалних глина:

- запреминска тежина $\gamma = 19,8 - 20,3 \text{ kN/m}^3$
- угао унутрашњег трења $\varphi = 15 - 23^\circ$
- кохезија $C = 10 - 15 \text{ kN/m}^3$

За анализу стабилности терена усвојене су минималне вриједности и то $\varphi = 15^\circ$ и $C=10 \text{ kPa}$ и добијен је фактор сигурности $F_s = 1,084$. Ова вриједност фактора сигурности показује да се терен налази у стању блиском граничној равнотежи, те би у условима повећане влажности, затим дејства земљотреса и евентуалног техногеног утицаја дошло би до смањења фактора сигурности и до активирања процеса клизања.^[35]

Клизиште “Чемерско осоје”

Ово клизиште представља једно од највећих, ако не и највеће, на цјелокупном терену који изграђују седименти дурмиторског флиша. Клизиште је захватило готово цијелу сјевероисточну падину превоја Чемерно. Већ 50-ак година ово клизиште изазива значајне проблеме на магистралном путу М-20, Гацко - Фоча, у и више наврата било је циљ проучавања и истраживања многих стручњака а с циљем његове трајне санације. Треба напоменути да су трошена и значајна материјална средства, да би на крају, у времену писања овог рада, овај дио саобраћајнице у потпуности затворен, док је траса дијела саобраћајнице измјештена и урађена је потпуно нова дионица у дужини 7,5 км.

Клизиште Чемерско осоје захватило је углавном цијели средњи дио сјевероисточне падине превоја Чемерно, у ствари онај дио терена који се зове Чемерско осоје, по чему је и само клизиште добило име. Због појединих стабилних дијелова на падини Чемерско осоје (изграђене су и куће у близини кретаних маса),

поједини истраживачи^[71] издвојио је три клизишта и означио их као Чемерско осоје I, II и III.

Мишљења сам да је ова подјела неопходна, јер како сам навео они дијелови терена гдје није у прошлости долазило до кретања маса, на којима су чак изграђене и куће на којима се не уочавају деформације, не могу се сматрати интегративним дијелом клизишта.

Са аспекта функционисања магистралног пута, самим тим и по истражености и проучености најзначајни је клизиште које је издвојено као Чемерско Осоје II. Са геолошког аспекта ради се о терену потпуно истог постанка и исте геолошке грађе, али из практичних разлога може се прихватити подјела на три засебна клизишта.

Клизиште “Чемерско Осоје I”

Клизиште Чемерско Осоје II представља значајан и рекао бих након колапса његовог санационог рада, и непремостив проблем са аспекта даљег кориштења овог дијела саобраћајнице на магистралном путу Фоча - Гацко. Због проблема које је оно проузроковало посвећена му је веома велика пажња и било је циљ значајних и детаљних инжењерскогеолошких истраживања и проучавања. Поред овог клизишта, малтене паралелно низ падину са њим простире се и друго клизиште које смо означили као Чемерско осоје I. Такође се ради о клизишту језичастог облика чији чеони ожиљак има ширину око 200 метара, док је дужина овог клизишта више од 1 км. Ножични дио клизишта такође улази у ерозиони базис ријеке Трторије. Ширина клизишта у ножичном дијелу је око 250 метара. Удаљено је свега 100-тињак метара од клизишта чемерско осоје II. Пошто се ради о веома блиским клизиштима (никако се не могу сматрати једном цјелином), а и о клизишту које није значајније истраживано нити проучавано, пажњу ћемо посветити управо клизишту које је и названо Чемерско осоје II. Управо због карактера и специфичности овог клизишта дошао сам на идеју да ова теза управо обради ову тематику, односно специфичност геодинамичких процеса везаних за литолошку формацију дурмиторског флишног комплекса.

Клизиште Чемерско осоје I управо због структуре стијенске масе, одвојено је од клизишта Чемерско осоје II. И онај појас који их дијели апсолутно је стабилан и на том подручју нема кретања стијенских маса.

Клизиште “Чемерско Осоје II”

Ово клизиште је како сам навео, старијег датума и настало је шездесетих година, након изградње магистралног пута Фоча-Гацко. Процес клизања није базиран само на подручју кроз које пролази саобраћајница већ и на добар дио падине од пута (горњи дио серпентине) па све до ерозионог базиса ријеке Трторије. Клизиште је тзв. глечероидног односно језичастог облика, развучено низ падину на дужини око 480 метара и ширине око 170 метара на најширем дијелу. Чеони ожиљак се налази на коти 987 м.н.в. а ножични дио као што сам навео улази у корито ријеке Трторије, на коти 852,0 метара, која константно поткопава и еродује га, па тиме и значајно утиче на његову активност. На основу механизма кретања као и по карактеру праћене активности клизишта, унутар самог клизишта издвојене су двије засебне зоне.^[71] Анализирајући изведене истражне радове на овом клизшту затим и пратећи његову интензивну активност од 2003. до 2007. године, дошао сам и сам до истовјетног закључка и сагласан сам са њим.

- Прва зона налази се у горњем дијелу падине и чеони ожиљак јој се налази на самој траси пута, на коти 987 м.н.в. док се ножични дио налази на коти 910 м.н.в., значи са висинском разликом 77 метара и просјечним падом око 25°. Дужина овог дијела клизишта је 220 а ширина 180 метара. Овај дио клизишта био је предмет санације.
- Друга зона обухвата дио клизишта од ножичног дијела на коти 910 м.н.в. па све до ерозионог басиса ријеке Трторије, на коти 852 м.н.в. са висинском разликом између чеоног дијела и ножица 58 метара, укупне дужине око 260 метара. Ширина клизишта у чеоном дијелу је 200 метара а у ножичном 270 м. Просјечан нагиб падине је од 15°-18°.

За разлику од других клизишта која егзистирају на падинама Чемерна, код клизишта Чемерско осоје II дошло је до покретања основне стијенске масе.

Елувијално-делувијални покривач изграђује површинске дијелове терена. Овај прекривач настао је физичко-механичком дезинтеграцијом основне стијенске масе и прекрива у највећем дијелу источне и сјевероисточне падине Чемерна, укључујући и дијелове терена који нису покренути. У погледу литолошког састава, грађен је од пјесковитих глина, ситнозрне до крупнозрне дробине пјешчара, кречњака и лапораца. Мјестимично се могу уочити и крупнији блокови кречњака. Глиновита компонента преовлађује у укупној маси. Елувијално-делувијални покривач у зависности од

процентуалне заступљености глиновите компоненте, влажности и присуства камените фракције има врло неуједначена и промјењива физичко-механичка својства. Дебљина елувијално-делувијалног покривача на клизишту се креће од 2,8 до 3,6 метара.

Кора распадања налази се непосредно испод елувијално-делувијалног покривача, у зони утицаја егзогених геолошких агенаса. У овој зони основна стијенска маса је интензивније распаднута, деградирана и истрошена што је свакако резултат различитог понашања појединих литолошких чланова у кори распадања под утицајем егзогених фактора. У лапорцима, глинцима и алевролитима запажа се танколистаста и шкриљава текстура. У кречњацима, кречњачким бречама и пјешчарима, карактер распадања је сасвим другачији јер међуслојне површине и пукотине представљају примарне правце дуж којих се врши цјепање, односно уситњавање основне стијенске масе. Врло битан утицај на формирање коре распадања имају површинске воде и веома велике температурне осцилације. На основу резултата истражног бушења може се закључити да се дебљина коре распадања на клизишту Чемерско осоје креће од 0,5 до 0,8 метара.



Сл. 50.: Клизиште Чемерско Осоје

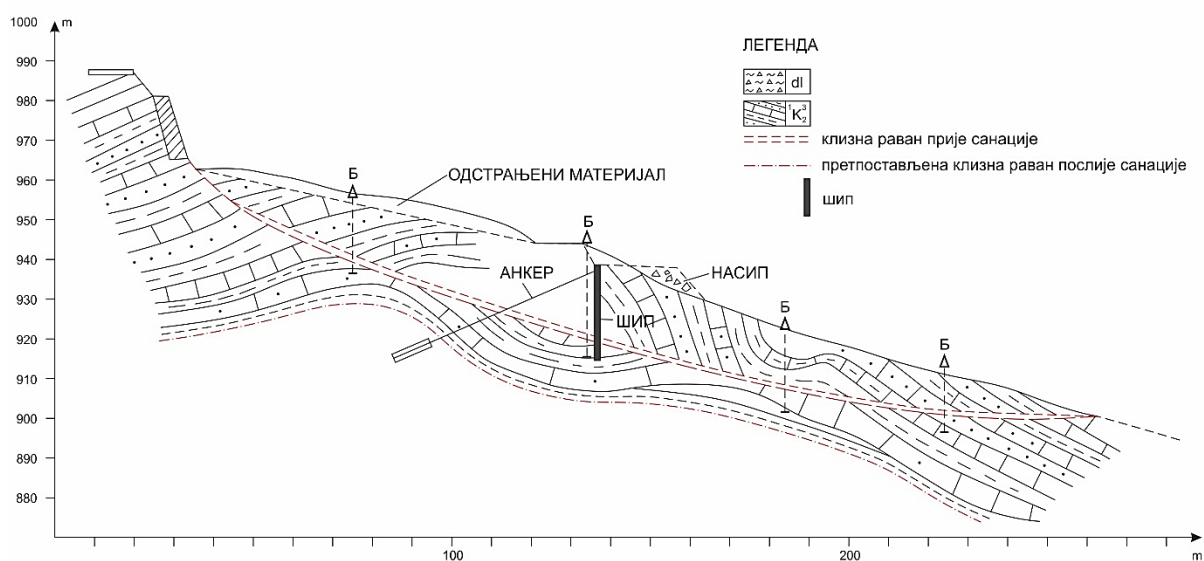
Колувијум (покренута маса) представља врло комплексну масу, која се састоји од насутог материјала, затим елувијално-делувијалне дробине, смеђе прашинасте глине

круте до врло круте конзистенције и основне стијенске масе коју чине флишни седименти. У литолошком смислу то је изразито хетерогена средина, са веома промјенивим хидрогеолошким и физичко-механичким својствима стијенских маса.

На основу истражног бушења које је обављено током 2000. године изведено је 5 бушотина. Клизна равна је дефинисана на различитим дубинама и креће се од 5,2 метра у боковима клизишта до 23,1 метар у централном дијелу.

Основну стијенску масу или геолошки субстрат чине седименти дурмиторског флишног комплекса са доминирајућим пакетом $^4K_2^3$, тј. основну стијенску масу чине алевролити, глинци, лапорци, лапоровити кречњаци и пјешчари, који се наизмјенично смјењују у виду флишних ритмова.. Такође, на основу резултата истражног бушења констатован је и први суперпозициони пакет $^1K_2^3$, у оквиру флишног комплекса, а чине га кречњачке брече и конгломерати. Дебљина слојева је неуједначена и креће се од 2 цм па до 2-3 метра.

Узроци настанка клизишта Чемерско Осоје су вишеструки, што је за клизиште ових димензија и сасвим нормално очекивати. Основни узрок настанка клизишта је морфогенетски развој падине, везан за деструктивно дјеловање егзогенних геолошких фактора, прије свега воде и њене врло честе трансформације из течног у чврсто стање и обрнуто, као и специфичних својстава стијенске масе која учествује у грађи терена. Плато самог превоја Чемерно представља вододјелницу између Црноморског и Јадранског слива. Сам плато грађен је углавном од кречњачких конгломерата и бреча, кречњака и лапораца, другог суперпозиционог пакета $^2K_2^3$. Подручје се одликује веома великим количинама падавина. Атмосферске воде једним дијелом пониру, а другим дијелом се крећу површином терена. Источна страна Чемерна одликује се веома великим бројем јаруга. Површинске и подземне воде расквашавају терен до веома високог степена водозасићености. У том периоду под утицајем гравитације долази до кретања колувијума преко основне стијенске масе. Такође, један од главних узрока нестабилности падине на Чемерском Осоју представља ријека Трторија која својим константним ерозионим дејством поткопава падину и ремети природну равнотежу. Поред ових фактора веома битан је и прилично велики нагиб самог терена, као и утицај техногеног фактора, одбосно додатних оптерећења усљед градње и експлоатације пута.



Сл. 51.: Клизиште Чемерско Осоје II - инжењерскогеолошки пресјек терена

Узроци настанка клизишта су вишеструки, а на подручју Чемерна су најразвијенији на теренима чија је конструкција издвојена као КТ-4, односно у четвртном или силицикластичном пакету флишних слојева. У оквиру ове конструкције терена доминира лапоровита компонента, која представља идеалну подлогу, у периодима када је расквашена и када се формира глиновити филм по површини слојевитости, за покретање односно клизање стијенских маса. Ако су испуњени морфолошки услови, односно ако је нагиб падине стрм, затим ако је „повољан“ положај структуре, односно ако слојеви падају низ падину, као и у периодима када су најинтезивније атмосферске падавине, можемо рећи да су то идеални услови за покретање стијенских маса низ падину, односно за покретање процеса клизања.

5.3. Одрони у дурмиторском флишу

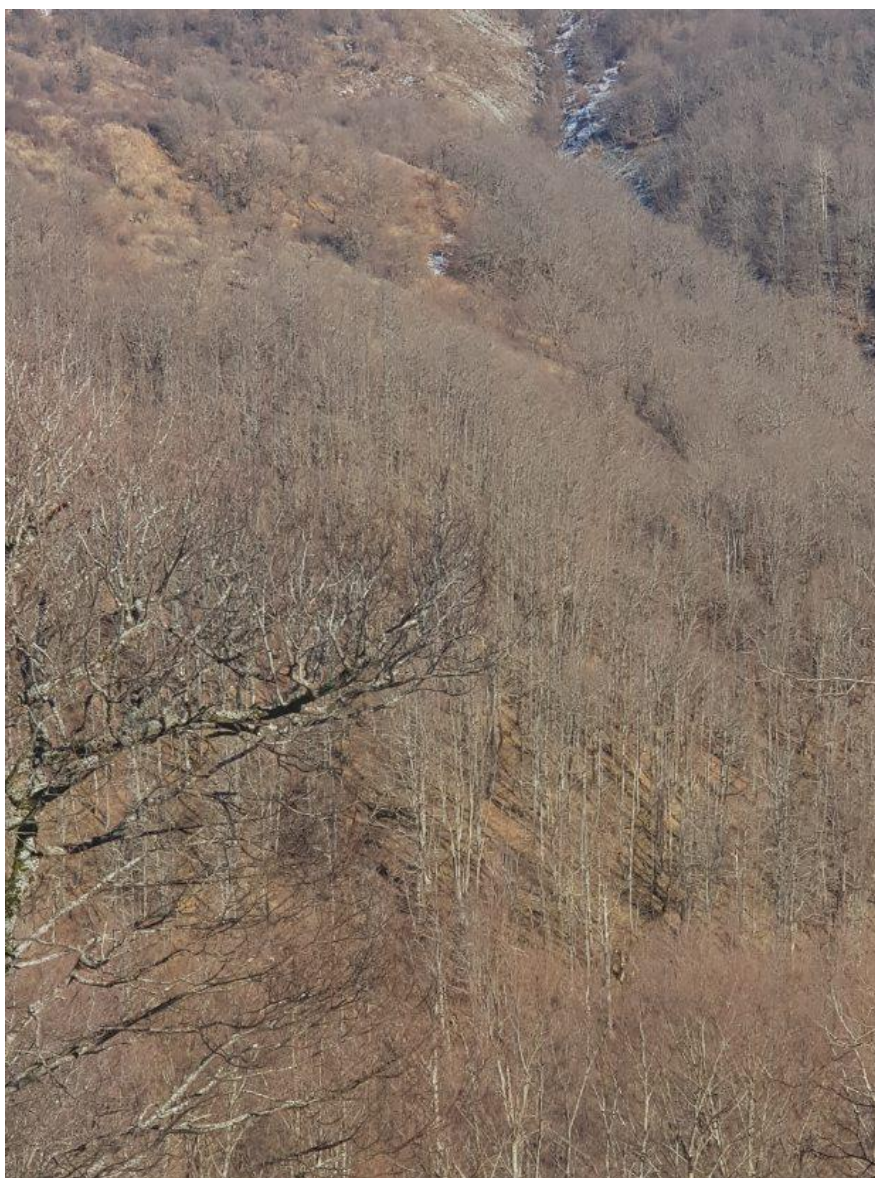
На стрмим падинама у теренима које изграђује дурмиторски флиш, повремено се дешавају изненадна откидања и стропоштавања, дробине, блокова али и већих количина стијенског материјала. Те појаве се најчешће дешавају изненадно, а понекад могу и да поприме катастрофалне посљедице. На подручјима које гради дурмиторска флишна формација у два наврата у прошлости десило се одроњавање великих количина стијенских маса у корито ријеке. Ови процеси су изазвани у садејству, ерозионог рада ријечног тока, затим као посљедица великог расквашавања стијенске

масе (огромне количине падавина у кратком временском интервалу), великог нагиба падине као и „повољне“ структуре стујенске масе, код које слојеви флишне формације падају низ падину.

Међутим знатно чешћи су одрони мањих димензија, код којих долази до одроњавања појединачних блокова, некад у природним условима, некада изазвано техногеним процесима.

Сам процес одроњавања је, за разлику од других падинских процеса, углавном краткотрајан, неколико минута, до неколико десетина минута, а одроњени материјал (блокови, дробина и веће количине стијенске масе), се додатно уситњава, због удара у падину и препреке. Када је у питању дурмиторска флишна формација, одрони мањег интезитета готово су свакодневни у усјецима и засјецима саобраћајница, на високим и стрмим обалама ријечних токова. Углавном долази до одвајања блокова по међуслојним површинама, њихова дезинтеграција услед физичко механичких процеса, и потом њихово даље кретање низ падину.

У прошлости су се у два наврата десио одроњавања огромних количина материјала са са падина у корито ријеке Сутјеске и Таре. Огромне количине материјала су преградиле ријечна корита и у узводном дијелу на кратко формирала су се језера. Услед великих падавина које су трајале данима, дошло је до расквашавања лапоровитих слојева у флишној структури, који су имали изразито „повољан“ однос према падини, а затим до наглог обрушавања огромних количина стијенског материјала у корита ријеке Сутјеске и Таре, и њиховог потпуног преграђивања. Први случај се деси 1914. године на локалитету Осјелине, на сјевероисточим падинама Чемерна. Данас се на терену могу пратити добро видљиви остаци тог одрона. Други случај се десио 24. новембра 2005. године у близини Мојковца у Црној Гори, када је такође услед огромних падавина које су трајале данима, дошло до обрушавања огромних количина материјала у корито ријеке Таре, формирајући узводно језеро које се пунило четири дана, и изазвало поплаве у околним селима узводно. Ни један ни други одрон није био предмет детаљних геолошких истраживања тако ће у овом раду бити само поменути. На слици 52. приказан је данашњи изглед терена на локалитету Осјелине, који у ствари представља фосилизирани одрон, док је на слици 53. приказан одрон на ријеци Тари који се десио на путу између Ђурђевића Таре и Мојковца на стационажи 23+500.



Сл. 52.: Фосилизирани одрон на локалитету Осјелине, Чемерно



*Сл. 53.: Одрон на ријеци Тари, магистрални пут Бурђевића Тара - Мојковац на
стационажи 23+500*

6. МЕТОДЕ И ПОСТУПЦИ СТАБИЛИЗАЦИЈЕ КОСИНА

6.1. Увод

У подручјима гдје су савремени геодинамички процеси манифестовани клизиштима и одронима угрожавају стамбене објекте, објекте инфраструктуре као и индустријске објекте, неопходно је на вријеме предузети одговарајуће мјере с циљем избегавања негативних ефеката ових процеса и њихових штетних посљедица по објекте и различита добра. Да би се избјегле штетне посљедице, велике материјалне штете на стамбеним, инфраструктурним и индустријским објектима, неопходно је на најквалитетнији начин истражити клизишта и на основу тог истраживања предузети одговарајуће санационе мјере. Те санационе мјере када су у питању клизишта можемо подијелити у пет група:

- Промјена геометрије пресјека
- Дренажне мјере
- Потпорне конструкције
- Армирање тла
- Пошумљавање.

Када је у питању санација косина на којима се могу покренути одрони могу се примјенити следеће санационе мјере:

- Чишћење косине од лабилних дјелова (кавање)
- Заштитни зидови и заштитне мреже
- Сидрење.

6.2. Методе и поступци санације клизишта

Приликом истраживања клизишта као и приликом истраживања терена за потребе градње појединих објеката, када добијемо ниске вриједности фактора сигурности ($F_s < 1$), јасно нам је да се налазимо у нестабилном терену. С тога неопходно је одговарајућим мјерама осигурати задовољавајућу стабилност, с циљем обезбјеђења постојећих објеката али и изградње планираних. Посебно је потребно

водити рачуна да техничко рјешење буде оправдано како са сигурносног тако и са економског аспекта.

6.2.1. Промјена геометрије пресека

Промјена геометрије пресека подразумјева ублажавање нагиба косина, додавање терета на стопу косине те прерасподјелу масе у пресеку косине, односно клизишта.

Ублажавање нагиба косине је врло ефикасна метода под условом је клизна површина релативно плитка. Ова појава је најчешће везана за насипе на саобраћајницама (сл. 54а)

Додавање насипа на стопи нестабилне косине, представља формирање контра тега који својом тежином спречава кретање. Ова метода стабилизације косина за разлику од предходне, је када је клизна површина релативно дубока (сл. 54б)

Прерасподјела маса или растерећење косине односно клизишта, врши се тако што се по принципу прављења етажа у самом клизишту врши одвожење, односно уклањање већих количина материјала који је покренут, па се на тај начин формира блажа косина, са знатно мањим оптерећењем. Уз ову методу врло често се комбинује површинско дренарање, односно сакупљање и одвођење површинских вода. Такође комбинује се и метода додавања терета у ножичном дијелу или постављање потпорног зида. Пожељно је такву косину прекрити заштитном вегетацијом (сл. 54ц).



Сл. 54.: Стабилизација косина промјеном геометрије пресека

6.2.2. Дренажање

Дренажне мјере се предузимају ради смањења и контролисања кретања површинских вода по самом клизишту и њихово извођење из тијела клизишта, као и смањења порних притисака. На сл. 55. су приказани неки типови дренажања. Осим површинског дренажања који уз вегетацију представљају првентивне мјере заштите стабилности косина, постоје дренажне мјере за смањење артешких притисака или пресјецање водоносних слојева који утичу на стабилност косине. Овдје се примјењују бушотине, бунари, дренажни канали и тунели, као и дренажни шахтови.

Посебан начин исушивања терена, односно елиминисање воде као фактора који доводи до нестабилности на косинама је електроосмоза.



Сл. 55.: Типови дренажања

6.2.3. Дренажне бушотине, бунари и галерије

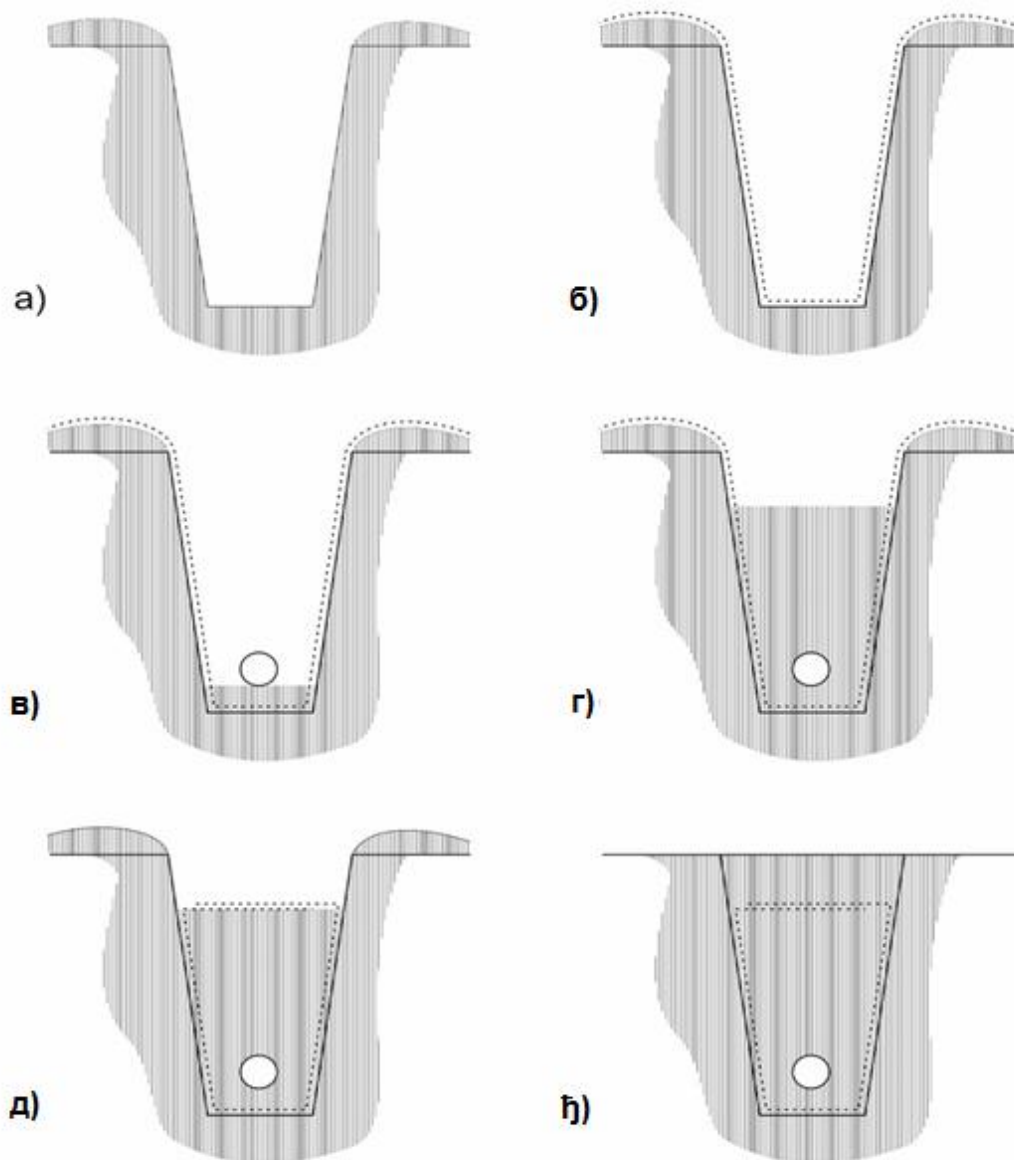
Дренажање тла, односно смањење нивоа воде му терену често се ради путем дренажних бушотина и дренажних галерија. Код дренажних бушотина вода се са виших нивоа преводи на ниже нивое, тако што се бушењем пролази кроз слој мале водопрпусности и вода се кроз бушотину преводи у слој велике водопрпусности. На тај начин се снижава ниво подземне воде а самим тим се исушује нестабилна косина.

Некада се помоћу дренажних бушотина или бунара као сакупљача подземне воде, уз помоћ пумпи вода црпи на површину и даље путем цијеви транспортује на одређену удаљеност у неки стални или повремени водоток.

Дренажне галерије су врло често оне галерије које су рађене у периоду истраживања клизишта, и као такве могу за одвођење подземних вода.

6.2.4. Ископ дренажних канала

Ископ дренажних канала с циљем стабилизације појединих косина неопходно је планирати у сушном периоду, иако управо у том периоду у појединим теренима можемо очекивати велико обрушавање материјала у сам ископ. Дренажни канали се копају тако да њихово дно мора пролазити испод клизне површине и планирају се на мјестима гдје се дубина клизне површине креће око 3 метра. Након ископавања дренажног канала се поставља геотекстилна фолија 200-300 г/м². На дну канала се постављају перфориране ПВЦ дренажне цијеви, преко који се поставља дренажни насип, односно мјешавина шљунка и пијеска са одређеним филтерским својствима. На крају се дренажни канал затвара глиновитим слојем чији је задатак да спријечи понирање површинских вода у канал. Такође важно је напоменути да се дренажни канали обавезно копају од нижих према вишим котама и да се копају из стабилног дијела косине у њене нестабилне дијелове, с циљем дренирања подземних вода.

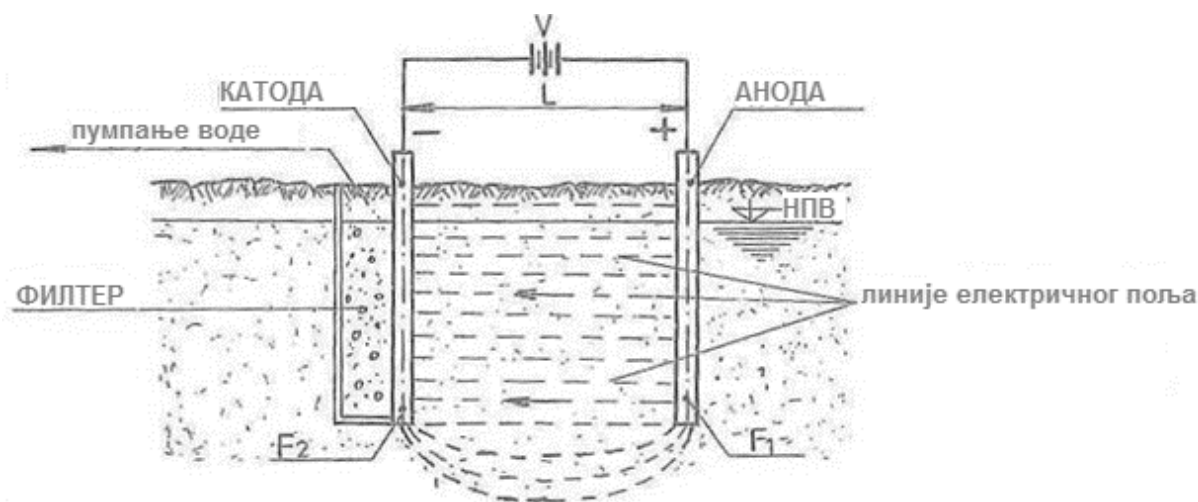


Сл. 56.: Грађење дренажног јарка омотаног геотекстилом: а) ископ б) постављање геотекстила в) постављање постељице за цијев г) насипање и постављање дренажног материјала д) омотавање геотекстилом е) засипање и збијање материјала

6.2.5. Електроосмоза

Основни принцип исушивања тла електроосмозом базира се на појави кретања воде у тлу, од алуминијске аноде до бакарне катоде, под дјеловањем једносмјерне струје, која се кроз аноду уводи у терен засићен водом.^[53] Услјед стварања електричног поља и аноде од алуминијума долази у глиновитом тлу до замјене базе, тј јони натријума и калијума који су слабо везани, замјењују јоне алуминијума, који се чврсто

вежу. Овај процес доводи до очвршћавања односно консолидације структуре зрна и смањења садржаја воде која се као слободна, одстрањује пумпањем ка катоди, а дјелимично претвара у везане соли које се не отапају у води. Утврђено је такође да порни притисак поспјешује електроосмозу. Лабораторијски је утврђено (Schaad и Haefli, 1974) да се узорак изложен електроосмози у току консолидације додатно слијеже.



Сл. 57.: Принцип исушивања тла електроосмозом^[53]

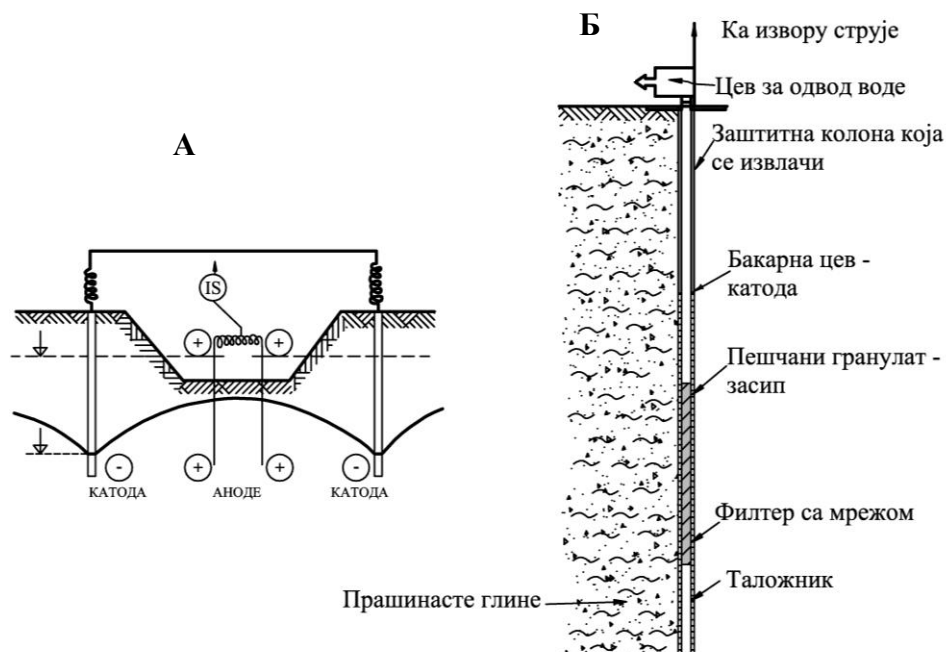
Примјеном електрохемијског очвршћавања или електросмозом, постижу се исти ефекти, а када се поред тога користе и вакум бунари поспешују се ефекти дренарања тијела клизишта.

Увођењем истосмјерне електричне струје у глиновито тло, према литературним подацима, постиже се значајно побољшање физичко-механичких својстава, прије свега носивости. Између осталих, у лабораторијским условима Л. Казагранде је обављао испитивања од 1930. године увођењем јаке истосмјерне струје преко алуминијских електрода, на кратком растојању. Ефекти су били слично процесу дијагенезе глина у геолошком времену.

Побољшање стабилности тијела клизишта (терена) постиже се услед дехидратације глина током хидролизе. Тада се опнена вода, услед поларизације, креће од аноде ка катоди. Та вода се погодним начином елиминише из тла (вакум пумпама или слично). Принцип је приказан на сл. 57.

Електрохемијско ојачавање тла, је у принципу слично електроосмози, с тим што се у тло преко специјалне аноде убацују хемијска средства која побољшавају својства средине. Ова метода се нарочито примјењује код шипова, који се увијају у алуминијски

лим, увођењем струје 200-250 V и 40 A, угао унутрашњег трења глина се повећава са 23^0 на 33^0 , дозвољено оптерећење са 1,1 на $6,8 \text{ kp/cm}^2$ (Јањић М., 1974).



Сл. 58.: Схематски приказ примјене електросмозе на примјеру дренажа глина: А - на усјеку пута (Јањић М., 1979) и Б - схема конструкције катодне цеви са водозасићеном глином $k < 1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$

6.2.6. Потпорне конструкције

Потпорне конструкције примају гурајуће силе од нестабилне масе тла и преносе их на стабилну подлогу. На тај начин се повећава стабилност терена. Потпорне конструкције могу да буду плитко и дубоко фундирани. Плитко фундирани су потпорни зидови, а дубоко фундирани су шипови и дијафрагме.

Код примјене потпорних зидова посебно треба обратити пажњу на период њиховог извођења. Наиме због уклањања масе тла у подручју ножице косине, ово постаје често критична фаза за косину.^[62]

Осим ове подјеле потпорне конструкције можемо подијелити у двије групе:

- Потпорне конструкције које подржавају засјеке у природном тлу
- Потпорне конструкције које подржавају насипе.

Потпорне конструкције се још могу подијелити на гравитационе и флексибилне.

Гравитационе потпорне конструкције могу бити монолитне и монтажне. Монолитне потпорне конструкције су масивни зидови од бетона и од камена, док су

монтажне потпорне конструкције габиони, зидови од армиранобетонских елемената итд.

Флексибилне потпорне конструкције су дијафрагме са анкерима или без њих, армиранобетонски роштиљи, армирано тло итд.

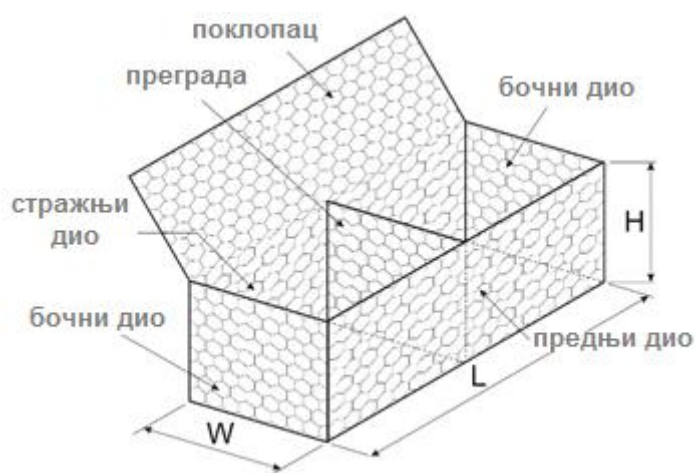
Потпорни зидови

Потпорни зидови се могу класификовати на основу материјала од ког су направљени:

- Потпорни зидови од насутог материјала и ломљеног камена и
- Потпорни зидови од бетона и армираног бетона.

Потпорни зидови од насутог материјала (габиони) направљени су од жичаних корпи испуњених ломљеним каменом. Жичане корпе се направљене од поцинчане жице која је појачанана рубовима оквиром од челичних дебљих жица. Овај поступак се понавља до жељене висине. Овакви зидови су врло прикладни за стабилизацију мањих клизишта, поготово уз путеве јер се могу изводити у кратким дионицама, а тиме се избјегава додатно нарушавање стабилности косине. Предности габиона је њихова водопропустљивост те омогућавају дренарање вода које се скупљају иза самог зида, као и њихова примјена у теренима неуједначене крутости, који могу изазвати проблеме код крутих потпорних конструкција.

Главни недостатак је велики обим ручног рада приликом пуњења габиона.

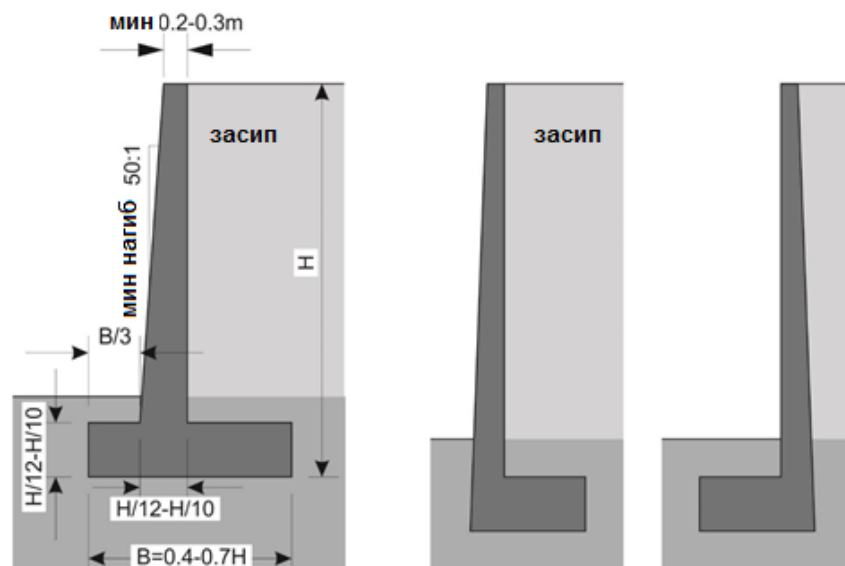


Сл. 59.: Габионска кошара

Потпорни зидови од бетона и армираног бетона данас су веома чести и најчешће се изводе уз путну инфраструктуру. Масивни зидови се граде од бетона, док

олакшане и монтажне потпорне зидове градимо од армираног бетона. Важно је да уграђени бетон одговара стандардима и прописима за бетонске конструкције, те да је водонепропусан и отпоран на дејство мраза.

Потпорни зидови могу имати различите облике.



Сл. 60.: Армирано бетонски зид T и L облика

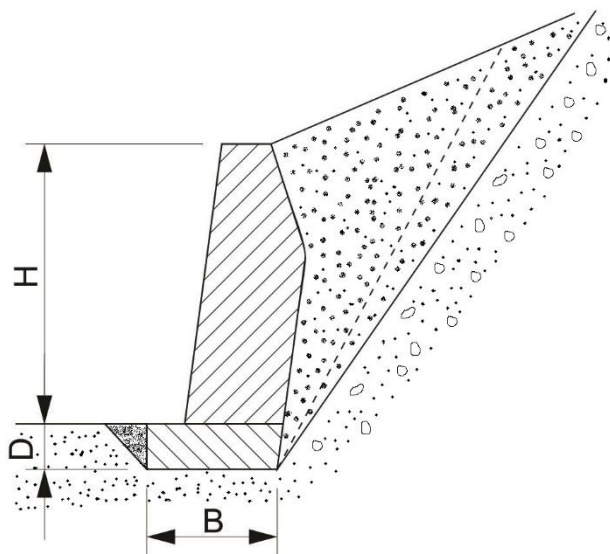
Потпорни зидови од бетона и армираног бетона могу бити различитих облика. Најчешће конструкције потпорних зидова од бетона су гравитациони потпорни зид, потпорни зид са конзолом и потпорни зид са анкером.

Гравитациони потпорни зид је таква конструкција потпорног зида, гдје зид својом сопственом тежином преузима притисак и преусмјерава га тако да резултанта притиска преноси на основицу и даље на само тло. Напони који дјелују уз рубове темеља не смију бити већи од допуштеног оптерећења. Такође тангенцијална компонента силе притиска мора бити мања од отпора терена на смицање. Основни облик темеља гравитационих потпорних зидова је правоугаон са дренажним цијевима на предњој страни с циљем да се на тај начин дренажа терен иза гравитационог зида и смањи притисак на сам зид.



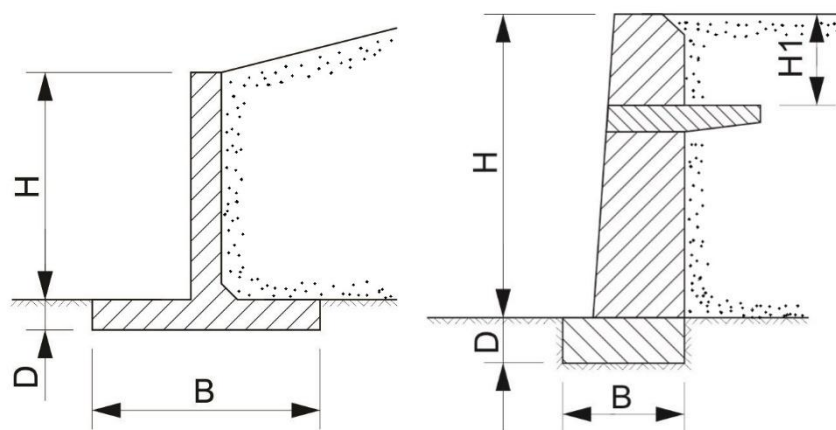
Сл. 61.: Гравитациони армирано-бетонски потпорни зид на локалитету Трнова лука, магистрални пут М-20 Гацко-Фоча

Нагиб предње стране зида помиче његово тежиште према стражњој ивици темеља, а нагнута и ломљена стражња површина зида смањује и повољније усмјерава резултанту притиска. (сл. 62).



Сл. 62.: Гравитациони потпорни зид^[62]

Потпорни зид са конзолом базиран је на принципу да се уштеди на маси бетона, тако што ће се дио притиска тежине тла повољније преусмјерити да дјелује на сам зид. То се постиже израдом армирано бетонске конзоле, на одређеној висини на стражњој страни зида (сл. 63). Укупна резултанта притиска која дјелује на зид је мања него на зиду без конзоле. Ови зидови су подесни за високе зидове јер се трошкови њихове градње могу знатно смањити.

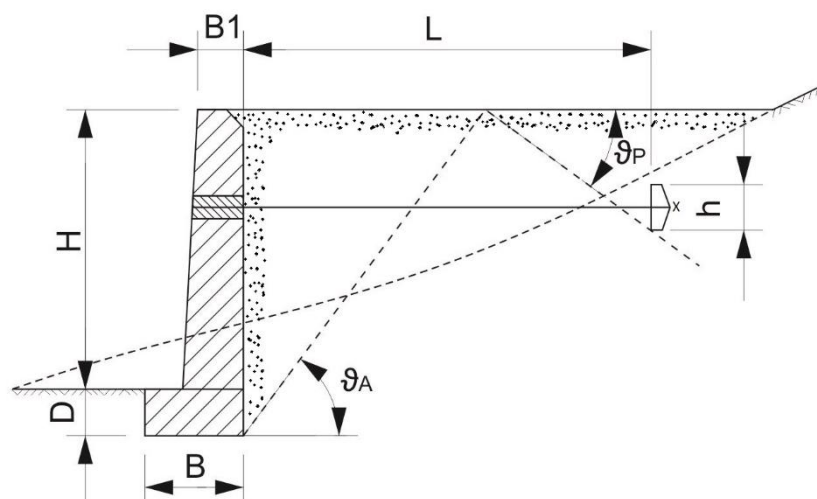


Сл. 63.: Потпорни зид са конзолом

Потпорни зид са анкером је потпорни зид од армираног бетона који само својом тежином не може да уравни систем сила које на њега дјелују те му се додају анкери или сидра. Ови зидови се користе код већих висина. Сидра су елементи које додајемо у систем да преузму дио хоризонталних оптерећења и пренесу их у залеђе зида.

Сидра уграђујемо у зидове које иза себе углавном имају хоризонталне или субхоризонталне површине.

Принцип сидрења је такав да се челичним шипкама, челичним ужадима у новије вријеме и карбонским влакнима потпорни зид учвршћује односно везује за некретану стабилну, чврсту стијенску масу (сл. 64).



Сл. 64.: Потпорни зид са анкером

Армирано бетонско тло

У нешто новије вријеме се употребљава тзв. армирано тло се изграђују арматура и насип. У том систему напоне које врши кретано тло преузима арматура.



Сл. 65.: Армирано бетонско тло на косини Магистрални пут М-20 Фоча - Гацко, локалитет Чемерно

7. ГЕОТЕХНИЧКИ УСЛОВИ ИЗГРАДЊЕ САОБРАЋАЈНИЦА У ТЕРЕНИМА ФЛИШНОГ КОМПЛЕКСА

7.1. Увод

Градња саобраћајница у теренима које изграђује дурмиторска флишна серија је врло специфична, поготово што у оквиру ње издвајамо пет различитих суперпозиционих пакета, који се међусобно значајно разликују када су у питању њихова геомеханичка својства.

На подручју Босне и Херцеговине флишни комплекс је издвојен у оквиру сенонског ката горње креде (K_2^3), док је на простору Црне Горе на Основној геолошкој карти ова литостратиграфска јединица издвојена на прелазу креде у палеоген (K,Pg). Мирковић М. у својој докторској дисертацији „Геолошки састав и тектоника планине Дурмитора, Пивске планине и Волујака“ каже „Тачно стратиграфско мјесто сваког од издвојених пакета нисмо могли одредити услед недостатка фосила. Старост дурмиторског флиша до сада је третирана као горњокредна или сенонска. Нашим испитивањем смо утврдили да седименти дурмиторског флиша припадају интервалу горњи мастрих - палеоцен“.^[40] Нема никакве сумње да се ради о истој литолошкој формацији, и да је у питању индивидуално тумачење различитих аутора истраживача. Ову литолошку формацију први је у стручној литератури назвао дурмиторском флишном серијом црногорски геолог Зарија Бешић 1948. године, по њеном врло карактеристичном развићу у предјелу планине Дурмитор.

Прва три пакета дурмиторске флишне серије (идеално се могу пратити на геолошком стубу планинског превоја Чемерно) углавном су изграђена од преталожених седимената горње јуре и доње креде у нешто дубљим језерски, условима ($^1K_2^3$, $^2K_2^3$, $^3K_2^3$). Одликују се прилично дебелим слојевима бреча и конгломерата и са геотехничког аспекта ради се о стијенама које представљају углавном повољну радну средину, када је у питању градња инфраструктурних објеката (саобраћајнице). Главни проблеми се дешавају када слојеви ових седимената падају ка траси саобраћајнице.

Четврти суперпозициони пакет је и најзначајнији када је у питању развиће дурмиторске флишне серије, и најљепши облици овог пакета могу је видјети на сјевероисточним падинама Чемерна, у засјецима на путу и у долинама ријечних токова. Ова серија је издвојена као пјесковито - лапоровита. Најизмјенично ритмички се међусобно смјењују слојеви кречњака, микроконгломерата, граувака, алевролита и лапораца. Под дејством снажних тектонских покрета гдје је дошло до навлачења доњотријаских седимената преко флишне серије, дошло је до интезивног убирања. Управо овај пакет, због своје велике пластичности, се одликује најфинијим облицима насталим у периоду снажне тектонске активности.

Са аспекта градње инфраструктурних објеката овај пакет је прилично неповољан и у много чему стабилност косина на усјецима и засјецима код саобраћајница, грађених кроз овај пакет, зависи од положаја слојева према траси пута. Најзначајнија клизишта су формирана у оквиру ове литолошке формације. Дебљина слојева свих чаланова који изграђују овај пакет је прилично мала и креће се од неколико цм до 0,5 м.

Последњи суперпозициони пакет грађен је од кречњачких конгломерата и бреча, лапоровитих кречњака и лапораца са муглама рожнаца (${}^5\text{K}_2^3$). Дебљина њихових слојева је од 2 до 5 метара.

У дијеловима флишне серије гдје доминирају кречњаци може се констатовати да је дебљина квартарног покривача прилично танка, док у дијеловима гдје доминира лапоровита компонента, квартарни седименти (делувијум, пролувијум и алувион) су значајно веће дебљине и ширег распрострањења. Управо у тим дијеловима терена дешавају се интезивни геодинамички процеси, односно формирана су велика клизишта (Чемерско осоје).

7.2. Стабилност ископа приликом градње саобраћајница

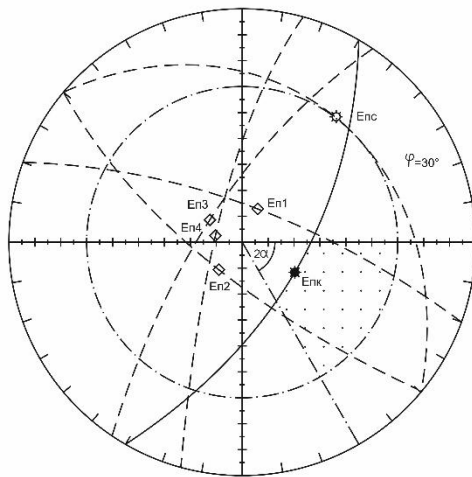
Приликом пројектовања и градње саобраћајница у теренима које изграђује флишна серија нераздвојно јединство чине следећи фактори: технолошки процес градње саобраћајнице, испитивање стабилности ископа у усјецима и засјецима и анализа стабилности у насипима. Геолошка грађа терена је често пресудан, односно одлучујући фактор приликом избора трасе саобраћајнице. Непознавање геолошких услова у многоне поскупљује изградњу, а посебно отежава економично одржавање саобраћајнице.

Низ је фактора који утичу на стабилност косина у усјецима, засјецима и насипима приликом градње саобраћајница: дисконтинуалност стијенске масе (испуцалост и слојевитост), методологија и начин градње саобраћајнице, утицај површинских и подземних вода, односно њихов прилив у ископ, квалитет материјала у насипима као и положај структуре стијенске масе која се налази у подлози. Када је у питању градња саобраћајница у теренима које изграђује флишна серија јако је битно да орјентација и положај структуре имају повољан однос према траси саобраћајнице, као и према самој падини када су у питању насипи.

7.2.1. Утицај слојевитости на стабилност косина у усјецима и засјецима

Слојевитост, односно међуслојне површине представљају примарне дисконтинуитете настале у периоду стварања саме стијенске масе. За флишни серију је карактеристично да су прва три суперпозициона пакета настала преталожавањем доњокредних и горњојурских седимената у дубљим језерским условима, да су слојеви дебљине од 2 до 5 метара. Међуслојне површине су испуњене масном црвеном глином и у случају неповољне орјентације слојевитости према траси саобраћајнице долази до кретања стијенске масе по међуслојној површини. На дијелу трасе пута М20 Гацко - Фоча коју изграђују седименти првог и другог пакета флишне серије (стационажа 11+400 до 12+390) по Панет-овом критеријуму не постоје кинематске могућности за клизање слојева. Поред примарних дисконтинуитета (површине слојевитости) на терену су констатоване и четири фамилије пукотина које својим пружањем и карактером могу значајно утицати на стабилност ископа у усјецима и засјецима приликом градње саобраћајнице на овом дијелу терена.

Зона I

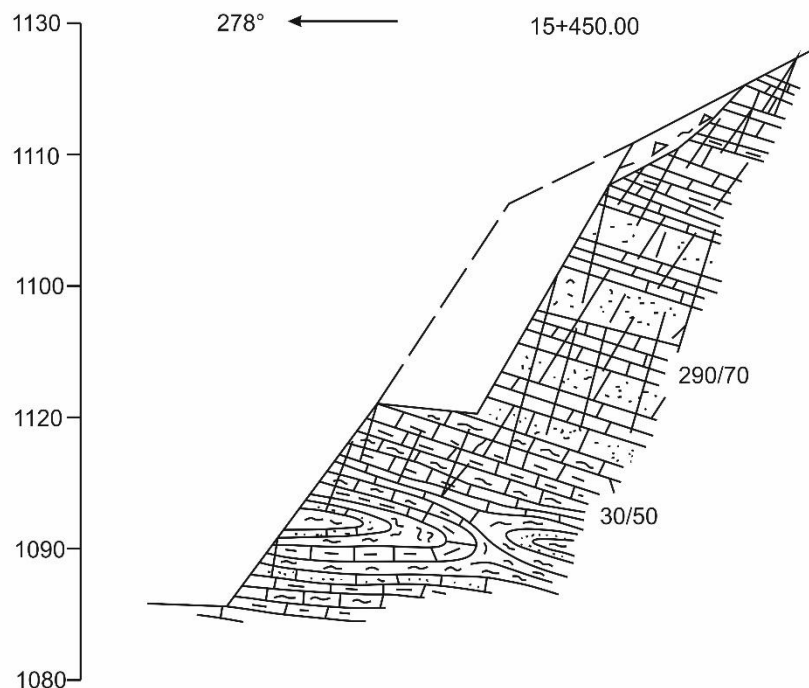


Епк 120/65	Траса са падном правом косине
Епс 42/30	Траса са падном правом слојевитости
Еп1 20/75	Траса са падном право прве фам пукотина
Еп2 221/76	Траса са падном правом друге фам пукотина
Еп3 305/76	Траса са падном правом треће фам пукотина
Еп4 285/80	Траса са падном правом четврте фам пукотина

Сл. 66.: Анализа просторног положаја пукотина и површине слојевитости, по Панетовом критеријуму на стационажи 11+500 магистралног пута М-20 Гацко-Фоча, на терену који изграђују седименти првог суперпозиционог пакета

На овом дијаграму се може закључити да је повољан распоред пукотина и њихов однос са површином слојевитости према предвиђеној површини косине. Испитивани случајеви на свим дионицама саобраћајнице на терену који изграђују прва три суперпозициона блока су сличног карактера.

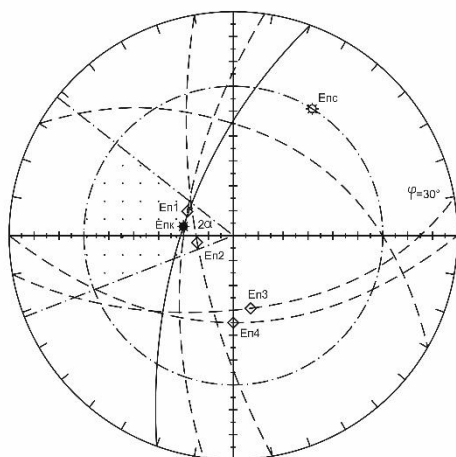
Четврти суперпозициони пакет који и представља најтипичније развиће флишне формације.



Сл. 67.: Положај слојева флишне серије на Траси пута М-20 Гацко-Фоча, на стационажи 15+450^[35]

Међуслојне површине између различитих литолошких чланова у оквиру флишне серије по свом карактеру су веома различите. У суперпозиционим пакетима један и два гдје кречњаке смјењују брече и конгломерати, међуслојне површине су често испуњене масном црвеном глином (цврваницом), као и дробинским материјалом чији су фрагменти често и центиметарских димензија. За ове чланове флишне серије је карактеристично да је дебљина слојева често метарских димензија и да се у њима одвија крашки процес (стијене су подложне хемијском дјеловању воде). У четвртном суперпозиционом пакету које граде наизмјенично поређани слојеви алевролита, кречњака и лапораца јако су наглашени микронаборни облици и овај пакет флишне серије се одликује изненадним промјенама пружања површина слојевитости. У поглављу о тектоници детаљно сам описао ове појаве. На терену у природним усјецима и коритима ријечних токова могуће је пратити веома лијепо развиће микро наборних облика.

Зона IV



Епк 278/70	Траса са падном правом косине
Епс 30/50	Траса са падном правом слојевитости
Еп1 290/70	Траса са падном правом прве фамилије пукотина
Еп2 260/75	Траса са падном правом друге фамилије пукотина
Еп3 170/60	Траса са падном правом треће фамилије пукотина
Еп4 180/55	Траса са падном правом четврте фамилије пукотина

Сл. 68.: Анализа кинематске могућности клизања лабилног блока по критеријуму Панета-е на траси пута М20 Фоча-Гацко на стационажи 15+450

На дионици пута која пролази кроз стијене које изграђују прва три суперпозициона пакета, на магистралном путу М-20, Гацко - Фоча, Пројекат за извођење, Геотехнички истражни радови и геотехнички услови, Макспро, Београд, 2000. Констатован је повољан просторни распоред пукотина, у односу на раван предвиђене косине. До извјесних појава нестабилности у овим зонама ипак може доћи, због велике

испуцалости стијенских маса или на мјестима појављивања случајних пукотина неповољне просторне оријентације.

Положај слојева, начин њиховог просторног залијегања у односу на трасу саобраћајнице, затим дебљина слојева и њихов литолошки састав као и карактер међуслојних површина у великој мјери утичу на стабилност косина у усјецима и засјецима приликом изградње саобраћајнице кроз терене изграђене од стијена флишног комплекса.

Слојевитост стијенских маса, односно положај слојева и њихових међуслојних површина према траси саобраћајнице, имају значајан утицај приликом избора трасе саобраћајнице.

Најнеповољнији је случај када слојеви, односно њихове међуслојне површине имају паралелно пружање са трасом саобраћајнице и падају према истој под оштрим углом.

Посебан акценат у овом раду усмјерен је на терен који изграђује четврти суперпозицион пакет флишног комплекса (${}^4K_2^3$). Овај пакет је грађен од алевролита, пјешара, кречњака и лапорца и одликује се честим ритмичким смјењивањем ових литолошких компоненти на геолошком стубу. Са аспекта стабилности косина најзначајнија је лапоровита компонента која у зависности од положаја структуре према саобраћајници представља потенцијалну клизну површину. У контакту са водом долази до преласка лапорца у глину, дуж које се без великог отпора крећу стијенске масе које се налазе на вишим нивоима. Ако је положај структуре да пада према траси саобраћајнице онда је реално очекивати појаву нестабилности, односно клижења стијенске масе. Овај суперпозициони пакет дурмиторског флишног комплекса обилује низом микронабора, тако да се у кратким дужинским интервалима често може мијењати положај структуре у односу на трасу саобраћајнице.

Сваки лапоровити члан овог пакета слојева може представљати потенцијалну клизну површину, односно сваки од лапоровитих слојева ове серије у контакту с водом, поготово ако је то расквашавање континуирано, прелази у глину и самим тим представља идеалну основу за настанак процеса клижења стијенске масе низ падину. Рачунском методом на сваком поједином локалитету приликом пројектовања саобраћајница могуће је доћи до релативне оцјене када је у питању стабилност сваког појединачог блока.

$$W = P \times \gamma \times l$$

$$W_n = W \times \cos \alpha$$

$$W_t = W \times \sin \alpha$$

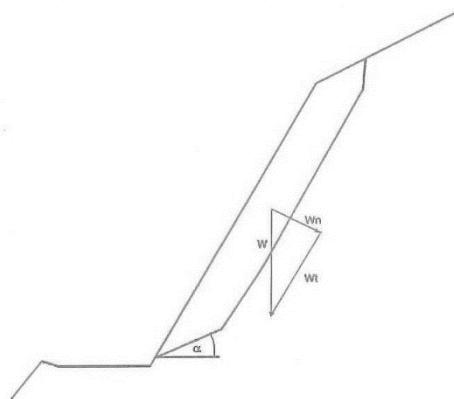
P - површина у m²

l - дужина у m

γ - запреминска тежина стијенске масе

φ - угао унутрашњег трења

C = кохезија

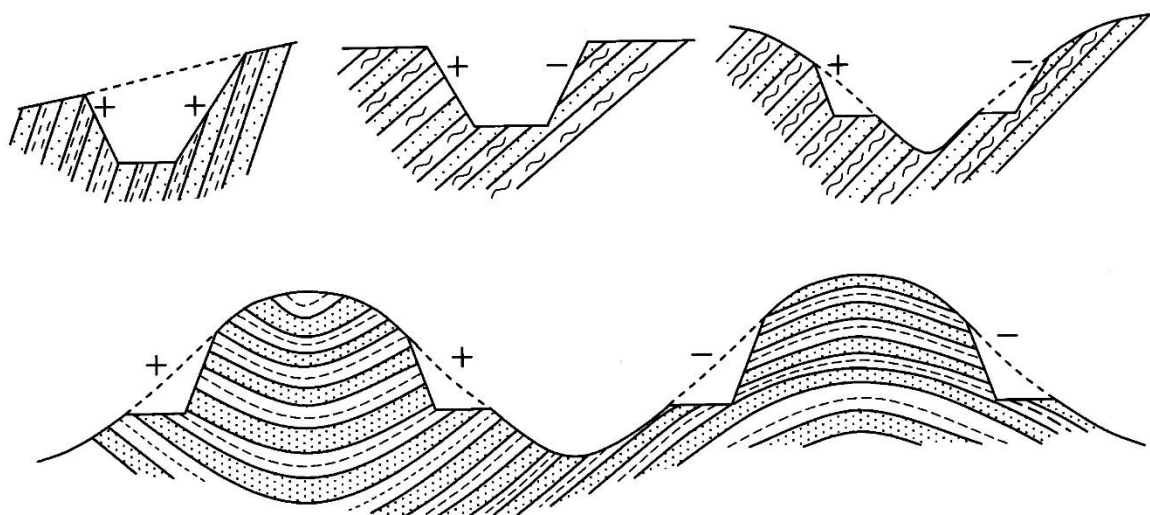


Сл. 69.: Рачунска метода

Масивне стијенске масе омогућавају стабилне и стрмије нагибе косина. Ископ у овим стијенама је нешто спорији, али је и безбједнији.

Код слојевитих стијенских маса, осим дебљине слојева, битни су правци пружања, правац пада и падни угао.

На избор трасе пута, али и на услове извођења и стабилност косина од превасходног су утицаја степен распаднутости стијенске масе и дебљина коре површинског распадања. У зависности од положаја слојева према траси пута на следећем шематском приказу издвојени су стабилни (+) и нестабилни (-) случајеви.



Сл. 70.: Шематски приказ утицаја начина појављивања и просторног положаја слојева на нагиб и стабилност косина на путу, (+) стабилна косина и (-) нестабилна косина^[26]

На избор трасе саобраћајнице, али и на услове градње и стабилност косина, значан утицај има степен рападнутости стијенске масе и дебљина коре површинског распадања, односно исталожени квартарни седименти (Q). Како су све стијенске масе у мањој или већој мјери распаднуте, то се у већини случајева земљани радови изводе у кори површинског распадања. Утврђивање њене дебљине значајно утиче на одређивање нагиба и висине саме косине. По правилу у зони флишне формације, поготово у зонама које изграђује четврти суперпозициони пакет, нагиби косина веома често прате површину слојевитости, док се квартарни седименти углавном отклањају. У условима ако није могуће очистити косину од квартарних наслага, примјењују се одговарајући санациони радови, који ће зауставити кретање ових творевина и њихово угрожавање функционисања саме саобраћајнице.

Као што сам нагласио у предходним поглављима веома често у седиментима флишне серије, приликом изградње саобраћајница долази до формирања савремених геодинамичких појава оличеним у клизиштима, тециштима и одронима.

7.2.2. Утицај слојевитости на стабилност насипа

Нагиб терена у значајној мјери утиче на квалитет израде насипа за потребе градње саобраћајнице. Када је у питању флишна серија карактеристика се разликују у зависности од тога који пакет ове серије изграђује терен. Када су у питању прва три пакета гдје доминира кречњачка компонента, било да се ради о конгломератима или бречама, или слојевима кречњака, онда рељеф има обиљежја крашког, док код терена које изграђује четврти и пети пакет, запажамо облике рељефа који су настали под јаким дејством савремених геодинамичких процеса (јаруге, клизишта) које се одликују врло стрмим падинама и косинама.



Сл. 71.: Повољан положај слојева (а) и неповољан (б) положај слојевама приликом градње насипа

Поред нагиба терена додатне проблеме приликом градње насипа представља положај и оријентација слојева. Најнеповољнији облик приликом градње насипа је када слојеви падају низ падину док је најповољнији однос када површине слојевитости имају супротну оријентацију.

Насипи код саобраћајница се граде у рељефним депресијама, односно на мјестима гдје је нивелета пута виша од коте терена и на падинама ради обезбјеђивања пројектованог попречног нагиба косине. Пут на падини се често изводи дијелом у насипу а дијелом у засјеку. Код модерних саобраћајница насипи се изводе до висине 30 - 40 метра и углавном овако високи насипи везани су за равничарске терене. Када су у питању насипи на стрмим теренима углавном треба водити рачуна да њихова висина буде што мања.

На дионици пута М-20 Гацко - Фоча^[35] изанализирани су услови стабилности насипа грађених на седиментима флишне серије у зависности од нагиба падине и нагиба косине. Према још увијек важећим југословенским прописима, пројектна вриједност минимално допуштеног фактора сигурности при статичком оптерећењу и високој поузданости параметара, треба да износи $F_s = 1,4$.

Анализа стабилности косина насипа вршена је примјеном Хуанг-ових дијаграма.

Фактор сигурности F_s се одређује из следеће једначине:

Гдје је:

γ - запреминска тежина

C - кохезија

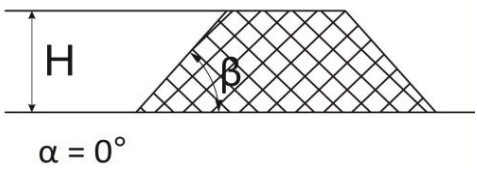
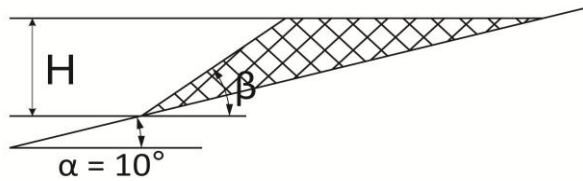
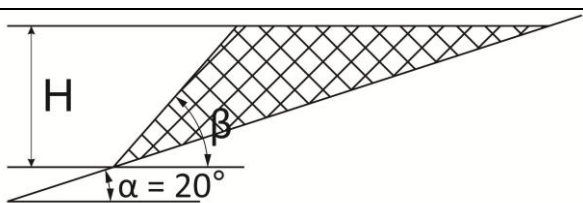
φ - угао унутрашњег трења

H - висина насипа

r_u - коефицијент порног притиска

N_s, N_f - коефицијенти који се одређују из дијаграма.

Табела 20. Резултати прорачуна стабилности насипа на магистралном путу М-20
Гацко - Фоча на дионици Врба - Трнова лука

Нагиб падине α	Нагиб косине β	F_s	Скица
0	20	1.95	 $\alpha = 0^\circ$
	25	1.51	
	30	1.21	
10	20	1.90	 $\alpha = 10^\circ$
	25	1.51	
	30	1.24	
20	25	1.64	 $\alpha = 20^\circ$
	30	1.20	

За нагибе терена преко 20° и висине насипа преко 5 метара, укупна висина и ширина насипа се вишеструко повећава. Тако на примјер за висину насипа од 10 м (испод ивице пута) и нагиба површине терена од 25° , његова укупна висина износи 20,

а ширина насипа 26 метара за нагиб косине од 35°. Овако стрми нагиби површине терена онемогућавају израду саобраћајнице само на насипу, тако да се у овим теренима насипи морају изводити у комбинацији са потпорним зидом, поготово тамо гдје је нагиб насипа стрмији од нагиба падине.

Такође веома битан сегмент приликом изградње насипа је одвођење површинских вода као и извођење дренажних објеката на теренима са врло плитким нивоом подземних вода.

У уџбенику „Методe инжењерскогеолошких истраживања“ професор Драгутин Јевремовић је дефинисао услове изградње насипа и оцјену њихове стабилности на основу слједећих параметара:^[26]

- Геолошка грађа подлоге насипа
- Разуђеност рељефа
- Стабилност падине
- Микросеизмички услови
- Хидролошка и хидрогеолошка својства терена.

Материјали који се уграђују у насипе

Приликом градње насипа на саобраћајницама увијек се води рачуна, да се због рентабилности посла уграђују материјали који су откопани током пробијања трасе у усјецима и засјецима, ако они својим квалитетом одговарају стандардима за уградњу материјала у насипе. Приликом градње насипа од материјала узетих из ископа у усјецима и засјецима, као и из локалних позајмишта, главна особина тих „мјешавина“ тла и стијена у томе да њихова својства деформабилности и збијања, значајно зависе од влажности дијела ситнозрних фракција и од гранулације, тј. односа ситних и крупних фракција. При избору материјала за изградњу насипа неопходно је размотрити следеће аспекте:

- Гранулометријски састав
- Отпорност материјала на дробљење и хабање
- Могућност збијања
- Пластичност
- Отпорност према деградацији
- Утицај ископавања, транспорта и уграђивања.

Табела 21. Расположиви локални грађевински материјал на траси магистралног пута М-20, локалитет Чемерно и критеријуми за израду насипа према ЈУС-у^[35]

Материјал		Врста опита							
		Лос Анђелес	σ_{dmax} (kN/m ³)	W _{opt} (%)	CBR (%)	Бубрење при CBR (%)	w ₁ (%)	Ip (%)	Степен неправ. U (%)
Кречњак (К)		20.8	/	/	/	/	/	/	/
Лапорац (LC)		32.0	/	/	/	/	/	/	/
Пјешчар (PŠ)		41.2	/	/	/	/	/	/	/
Алевролит (AL)		47.4	/	/	/	/	/	/	/
Мјешавина AL и PŠ		39.0	/	/	/	/	/	/	/
Мјешавина AL, PŠ и LC		36.8	/	/	/	/	/	/	/
AL + 10% дробине		/	19.8	10.2	4.35	0	/	/	46
LC + 20% дробине		/	20.2	10.9	6.50	0	/	/	280
PŠ + 20% дробине		/	20.1	11.2	2.25	0	/	/	107
AL + PŠ + 20% дробине		/	20.3	10.6	7.40	0	/	/	88
E1-dl сидименти		/	/	/	/	/	37 - 48	12 - 22	> 12
a1 сидименти		/	/	/	/	/	/	/	> 20
Зона површ. распадања		/	/	/	/	/	25 - 35	8 - 12	75
Захт јеви	за насип	< 45	H< 3 m 15	< 25	/	/	< 65	< 30	> 9

ЈУС- а			H > 3 m 15.5						
	за пост.	< 45	>16	< 25	> 3.0	< 3.0	< 50	< 20	> 9

Гдје је:

CBR - калифорнијски индекс носивости

γ_{dmax} - максимална сува запреминска тежина

W_{opt} - оптимална влажност

WL - природна влажност

I_p - индекс носивости.

Стандардима се препоручују следећи основни услови који материјали морају да задовоље:

- Крупноћа зрна која не смије бити већа од 40cm у читавом насипу, изузев завршног слоја насипа гдје најкрупније зрно не смије бити веће од 10cm.
- Степен неравномјерности U не смије бити мањи од 9.
- Стијенске масе морају бити постојане на атмосферске утицаје.

На основу индекса CBR-а ови материјали се сврставају у лоше до средње лоше. Међутим, ипак се дошло до закључка да се они могу примјенити приликом градње насипа, поготово када се зна да је Калифорнијски индекс носивости (CBR) када се одређује на терену, увијек знатно већи него када се добије лабораторијским поступком. Због тога се врло често препоручује да се у постељице уграђују материјали са запреминским масама и влажностима блиским оптималним, добијеним Прокторовим опитом.

Када су у питању алувијални седименти (шљункови и пјескови), настали уз ријечне токове који пролаза кроз терене изграђене од дурмиторске флишне серије, могу се искористити за уградњу у завршни слој насипа, односно постељице.

Иако на елувијално делувијалним седиментима нису вршени опити збијености (Прокторов опит и CBR опит) из табеле се може видјети да се на основу пластичних карактеристика и ови материјали могу користити за израду насипа уз одговарајуће мјешање са основном стијеном.

Утицај савремених геолошких процеса на експлоатацију саобраћајнице

Земљани труп саобраћајнице током експлоатације трпи бројне и разноврсне деформације које зависе од својстава стијенских маса у подлози, хидрогеолошких и климатских услова. У те деформације спадају:^[26]

1. Издизање површине земљаног насипа у глиненим стијенама услед надимања при мржњењу, као посљедица ширења честица минералног скелета кристалима леда на рачун воде у замрзнутом слоју.
2. Расквашавање земљаног насипа услед открављивања или дуготрајних киша доводи до рушења застора, истискивања и слијегања горњег слоја. Код насипа услед знатних динамичких оптерећења долази до утискивања размекшаног материјала носећег слоја у подлогу у виду „цепова-увала“, „корита“ и „врећа“.
3. Течење у косинама усјека и насипа, онда када су они презасићени подземним водама.
4. Осипање и одроњавање из косина усјека и засјека и са стрмих падина, поготово када су те падине изграђене од стијена склоних површинском распадању.

Савремени геолошки процеси у значајној мјери могу отежавати експлоатацију саобраћајнице и изискивати значајна средства за одржавање истих. Међу савременим геолошким процесима који у највећој мјери причињавају штете приликом експлоатације саобраћајница треба истаћи: клижење, течење, одроњавање, осипање замочварење, јаружање, спирање, карстификација и сеизмичност. Неки од њих се скоро лако и јефтино могу рјешити санационим мјерама, а неке је скоро немогуће рјешити тј санирати.



Сл. 72.: Слијегање услед пропадања застора кроз планум у насип пруге: а) „засторни цепови“, б) „засторно корито“ и в) „засторна врећа“^[26]

7.2.3. Утицај површинских и подземних вода на стабилност ископа и насипа

Појас дурмиторске флишне серије у географском смислу, смјештен је у подручју са четири климатске сезоне са свим својим карактеристикама, па самим тим значи, и четири различита режима падавина. У поглављу 2.3.2. Хидролошка својства терена, у табели бр. 3. дат је преглед просјечних мјесечних и годишњих падавина у милиметрима воденог талога за последњих 65 година. Јасно се види да су ово подручја која у прољећним и јесењим мјесецима обилују великом количином кишних падавина.

У таквим условима на стрмим падинама се формирају веома „моћни“ бујични токови који својим дјеловањем могу довести до значајних проблема и у току градње али и у току експлоатације саобраћајнице. Такође значајне проблеме могу изазвати нагла топљења снијежног покривача, који у овим подручјима имају значајну дебљину.

Утицај бујичних токова и токова насталих наглим отапањем снијега није исти на свим подручјима које гради флишна серија. У дијеловима терена које гради четврти пети суперозициони пакет (${}^4K_2^3$ и ${}^5K_2^3$) најизраженије је разарачко дејство бујичних токова.

Прва три пакета флишне серије у хидрогеолошком смислу имају углавном функцију колектора проводника док задња два пакета услед присуства лапоровите компоненте и слојева пјешчара има функцију хидрогеолошког изолатора. У условима када имамо врло висок ниво подземне воде и када се активирају снажни бујични токови, имамо врло неповољне услове када је у питању стабилност ископа у усјецима и засјецима као и када је у питању градња насипа. Исти је случај и приликом експлоатације саобраћајница.

Да би се у значајној мјери умањио или у потпуности одстранио овај неповољни утицај, потребно је извести низ додатних грађевинских објеката (каптаже извора и пиштавина, дренаже, дренажни канали, пропусти итд), што у значајној мјери може поскупити изградњу саобраћајнице. Када су у питању стабилизације косина у теренима флишне серије, онда су та поскупљења још већа.

Подземне воде на више начина неповољно утичу на услове изградње саобраћајница:

- Погоршавају физичко-механичка својства стијенских маса
- Мјењају, односно погоршавају стабилност терена, тј интензивирају процесе течења клижења и одроњавања низ падину
- Залеђење терена услед дјеловања мраза, што доводи до изазивања деформација у трупу саобраћајнице

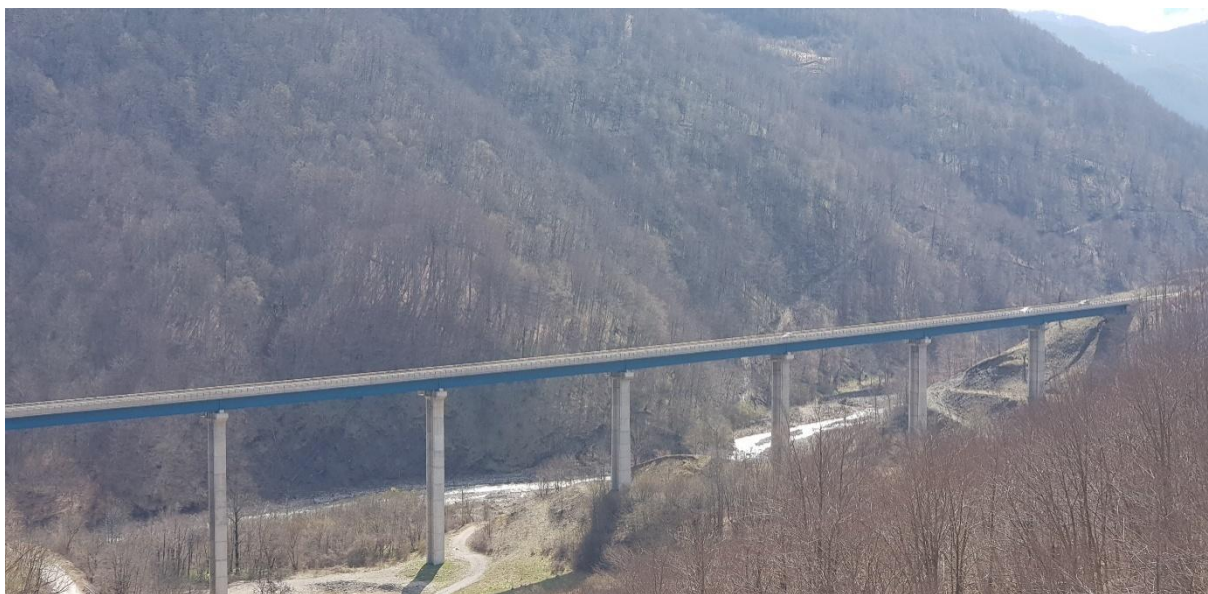
- Агресивно дјелују на поједине грађевинске материјале
- Великом количином подземних вода (плитке издани) отежавају израду усјека, насипа итд.

8. ГЕОТЕХНИЧКИ УСЛОВИ ИЗГРАДЊЕ МОСТОВА У ТЕРЕНИМА ФЛИШНОГ КОМПЛЕКСА

8.1. Увод

У зависности од морфолошких својстава терена, приликом градње саобраћајница, на одређеним локалитетима пројектима се предвиђају изградње мостова с циљем премоштења одређених сталних водених токова или водених подручја, затим премоштење одређених долина, увала и сл.

На теренима које изграђује флишна серија постоји низ сталних ријечних токова као и због велике разуђености терена и низ долина, увала и већих јаруга које је неопходно премостити приликом градње саобраћајнице. Да би се извршили одговарајући прорачуни и одабрало оптимално рјешење за фундирање мостова неопходно је посветити велику пажњу изучавању литолошког састава стијенске масе, односно њеној хомогености и хетерогености, постојању прослојака глиновите компоненте, дебљини и врсти флувијалних седимената, дубини основне стијенске масе као и начину њеног појављивања. Такође неопходно је обратити пажњу на тектонске карактеристике основне стијенске масе, на убраност, испуцалост и израсједаност, као и на просторни положај површина слојевитости, пукотина и расједа.



Сл. 73.: Мост Трнова лука, магистрални пут М-20, Гацко - Фоча

За фундаирање мостова, односно њихових стубова, најповољнији су терени изграђени од чврстих везаних каменитих стијенских маса. Најнеповољнији терени за градњу мостова су они који су изграђени од глинених, слабовезаних и невезаних стијенских маса.

Када су у питању терени које гради дурмиторска флишна серија, можемо поновити да се ради о веома хетерогеним условима када је у питању литолошка грађа. Прва три суперпозициона пакета ове серије имају у некој мјери слична физичко-механичка својства, док четврти и пети пакет обилује изразитом хетерогеношћу, значајно различитим физичко-механичким својствима компоненти које изграђују ове пакете. Ова два пакета се одликују великим бројем микронабора на релативно малом растојању.

У долинама ријечних токова дебљина квартарних седимената је варијабилна и креће се од једног метра до десетак метара.

Да би усвојило одговарајуће рјешење за градњу моста неопходно је на терену провести одговарајућа истраживања (инжењерскогеолошко картирање терена, истражно бушење, истражне јаме, и одређена геофизичка истраживања). На узорцима узетим током ових истраживања неопходно је урадити лабораторијска испитивања. Анализа ових истраживања и испитивања подразумјевала би следеће:

- Деформабилност и чврстоћу монолитних дијелова стијенске масе
- Слојевитост и дисконтинуалност стијенске масе као и њихове карактеристике (испуна, континуитет, ширина, растојање итд.)
- Стање распаднутости и испуцалости
- Евентуално присуство ослабљених слојева (зона) испод темеља стубова
- Поремећаји природног стања стијенске масе (појава клизишта, нагиби косина у непосредној зони стубова и сл.)
- Хидрогеолошка својства стијенских маса
- Сеизмолошке карактеристике терена ширег региона локације моста
- Физичко-механичка својства стијенских маса.^[26]

8.2. Одређивање граничног и дозвољеног оптерећења

Дозвољени притисци на стијенске масе испод темеља су велики и најчешће је мјеродавна отпорност материјала од којег се гради темељ а не стијенских маса. Из тих

разлога у литератури се много мање говори о дозвољеном оптерећењу чврстих стијенских маса у односу на тло.

Већина метода подразумева познавање једнооксијалне чврстоће на притисак (q_u) стијенске масе. Тако нпр Мајерхоф препоручује да се гранични притисак на стијенске масе одређује на основу познатих Терцагијевих правила за тло, с тим да се узима да је $\varphi = 0$ а $c = q_u/2$. Овим би уз усвајање степена сигурности од $F_s = 2,5$ дозвољено оптерећење било приближно једнако једнооксијалној чврстоћи на притисак.

Међутим треба имати у виду да носивост стијенске масе контролишу локално смицање и пукотине по обиму оптерећене површине. Ово је утврђено моделским испитивањима прије више од 60 година. Наиме, када је стијена испуцала, механизам потенцијалног лома је другачији и зависи од величине оптерећене површине, размака прслина, ширине отварања прслина и положаја оптерећења. На основу тога могу се анализирати три једноставна случаја:

- Размак прслина је мањи од ширине темеља и прслине су отворене. У овом случају темељ се ослања на стијенске стубове који нису бочно подупрти. Гранична носивост је једнака збиру једнооксијалних чврстоћа на притисак стијенских призми. Укупна носивост је мања од збира чврстоћа призми зато што немају све исту чврстоћу, па ће се неке сломити прије него што друге достигну своју граничну носивост.

- Ако је растојање прслина много веће од ширине темеља механизам је другачији. Зона у облику конуса која се формира испод темеља, цијепа блок стијене образован између прслина. Ово стање су анализирали Мајерхоф, Бишоп и Соверс.^[18, 27, 35]

- Ако су прслине затворене да се притисак може преносити преко њих без помјерања, механизам смицања је у суштини исти као што је описао Терцаги.

Ниједан од ова три случаја није довољно изучен, па се само указује на могуће методе анализе. Имајући то у виду Гудман препоручује да се гранично оптерећење темеља у испуцалим стијенским масама одређује као:

$$q_f = q_u [1 + \text{tg}^2(45 + \varphi/2)]$$

гдје је:

q_f - гранично оптерећење темеља у испуцалим стијенским масама

q_u - једнооксијална чврстоћа на притисак стијенске масе испод темеља

φ - угао унутрешњег трења стијенске масе испод темеља.

Дозвољено оптерећење q_a једнако је $q_a = q_f/F_s$, гдје је F_s фактор сигурности. Његове вриједности се крећу од 3-5, а приликом градње мостова у теренима које гради дурмиторска флишна серија пројектанти су усвајали $F_s = 5$.

За одређивање носивости q_f може се користити и Терцагијева једначина:

$$q_f = [1 + 0,3 B/L] \times C \times N_C + \gamma_h D_f + 0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma$$

гдје је :

γ - запреминска тежина стијенске масе

c - кохезија стијенске масе

D_f - дубина фундирања

B - ширина темеља

L - дужина темеља

N_C, N_q, N_γ - фактори носивости.

Стаг и Зиенкиевич препоручили су да се фактори носивости за стијену одреде на следећи начин:

$$N_q = \text{tr}^6 (45 + \phi/2)$$

$$N_C = 5 \times \text{TG}^4 (45 + \phi/2)$$

$$N_\gamma = N_q + 1$$

Преглед једначина за N_q, N_C и N_γ указује да се могу добити врло високе вриједности граничне носивости. Међутим, пошто гранична носивост зависи и од квалитета стијенске масе (RQD), према Bowles-у овако добијена вриједност умањује се на следећи начин:

$$q_f^* = q_f (RQD)^2 \quad [35, 62]$$

8.3. Прорачун слијегања темеља

Дисконтинуалност стијенске масе на којој леже темељи утиче и на њено слијегање. Када су у питању чврсте стијенске масе са затвореним дисконтинуитетима онда је слијегање занемарљиво. Ако су дисконтинуитети отворени и неправилни слијегање чврсте стијенске масе је зависно од размака дисконтинуитета испод оптерећене површине стијенске масе.

Ако се темељи стубова моста фундирају у чврстој стијенској маси, слијегање темеља није услов о коме се превасходно мора водити рачуна. Када се у питању

седименти дурмиторског флишног комплекса, може се казати да се свих пет суперпозиционих имају својства чврстих стијенских маса. У четвртом суперпозиционом пакету у коме значајно мјесто има лапоровита компонента, у условима ако се стубови моста фундирају на локалитетима гдје је висок ниво подземне воде, као и значајан доток површинских вода у темељне ископе, као и када је неповољан положај структуре стијенске масе, неопходно је обратити пажњу, јер су могућа нешто већа слијегања стијенске масе испод темељне стопе.

Уколико је неопходно да се одреди слијегање, онда се за то користе једначине које стијенску масу посматрају као еластичан, хомоген и изотропан простор.^[35]

s - слијегање темеља

q_n - допунско оптерећење

B - ширина темеља

E - модул еластичности стијенске масе (модул деформабилности)

ν - Поасонов коефицијент стијенске масе

I - утицајни фактор за вертикално помјерање.

У недостатку параметара деформабилности, слијегање терена се може одредити и на основу искуства као и одговарајућих класификација стијенских маса.

8.4. Анализа клизања стубова дуж пукотина и површина слојевитости

Ослабљене зоне у чврстим стијенским масама па тако и у стијенама флишне формације представљају примарни (површине слојевитости) и секундарни (пукотине и прслине) дисконтинуитети, као и у неким стијенама површине шкриљавости. Ако се темељи стубова моста фундирају на косини односно на терену под нагибом, неопходно је водити рачуна да не дође до клизања темеља. На основу неких искустава за случај хомогене стијене чији нагиб не прелази 30° (односно ако је нагиб мањи од угла унутрашњег трења стијене) опасност од клизања не постоји, уколико се контактна површина добро очисти и омогући се се добра веза између стијене и бетона.

У зависности од броја фамилија пукотина, њиховог међусобног односа, као и положаја пукотина у односу на површине слојевитости и површину косине на терену,

неопходно је извршити детаљну анализу, за евентуално смицање. Анализа се заснива (по методи Панета и Меркланда) на разматрању кинематских могућности клизања дуж пукотина и површина слојевитости. Ово подразумева одређивање критичног дисконтинуитета дуж кога може доћи до лома. Уколико постоји такав дисконтинуитет онда се неком од познатих метода (нпр. *Jon K.*) врши прорачун стабилности на смицање у циљу одређивања фактора сигурности.^[62]

9. ГЕОТЕХНИЧКИ УСЛОВИ ИЗГРАДЊЕ ПОДЗЕМНИХ ОБЈЕКАТА У ТЕРЕНИМА ФЛИШНОГ КОМПЛЕКСА

9.1. Увод

Изградња и кориштење подземних просторија датира још од најранијег периода људске цивилизације. Савремено коришћење подземног простора огледа се у изградњи: путних, жељезничких и хидротехничких тунела, подземних машинских хала за различите намјене, градских подземних објеката, индустријских објеката, складишта течних горива, складишта атомског отпада и сл. Дугачак је историјат градње подземних објеката, али током периода од када је почела њихова градња усавршавају се технологије и методологије њиховог грађења. Низ је аспеката који утичу на градњу подземних објеката а у највжнији је свакако литолошки састав стијенске масе у којој се граде подземни објекти, као и њена структурна својства. Предмет овог рада свакако је градња подземних објеката, првенствено тунела у седиментима дурмиторске флишне серије.

Према намјени **подземни објекти** се могу подјелити на: *саобраћајне тунеле, хидротехничке тунеле* (доводни и одводни тунели за потребе хидроенергетских постројења, водоводни тунели, тунели за одводњавање и наводњавање), *затим градски или тунели у урбаним подручјима* (тунели за градску инфраструктуру), *рударске подземне просторије*, те *подземни објекти специјалне намјене*.

Према **врсти препрека** које савлађују тунели се дијеле на *брдске* и *подводне* тунеле.

Према **тежини грађења**, односно према инжењерскогеолошким условима (GN-206) тунели се дијеле на: *лаке за грађење, средње тешке, тешке и врло тешке*.



Сл. 74.: Тунел Чемерно, излазни портал, магистрални пут М-20, Гацко - Фоча

9.2. Инжењерскогеолошки фактори значајни за изградњу подземних објеката

Уопштено гледано, инжењерскогеолошка својства терена у значајној мјери утичу на изградњу подземних објеката те је неопходно у фази истраживања на најбољи могући начин дефинисати та својства, односно факторе. Прије свега неопходно је одредити: литолошки састав, начин појављивања, просторни положај, тектонска оштећеност, физичко-хемијска распаднутост стијенске масе, физичко-механичка својства и одводњеност стијенских маса, затим савремени геолошки и инжењерско-геолошки процеси и њихове творевине и тд.

Литолошки састав стијенске масе битно утиче на избор трасе тунела, као и на облик и величину попречног пресека, динамику грађења, примјену одговарајуће технологије као и на цијену коштања самог тунела. Начин залијегања стијенске масе, затим њена тврдоћа, испуцалост и степен карстификације ако се ради о кречњачким стијенама, што је на нашим просторима чест случај, битно утичу на примјену одговарајуће технологије тунелског ископа а самим тим и на цијену коштања радова.

Када су у питању седименти дурмиторске флишне серије можемо рећи да свих пет суперпозиционих пакета имају своје специфичности када је у питању градња тунела. Прва три пакета су међусобно сличнија и представљени су кречњацима, бречамима и конгломератима и лапорцима. Због релативно повољне тврдоће стијенске масе, као и због повољног начина залијегања ових седимента могуће је примјенити и

машинске као и класичне методе градње тунела. Главни проблеми се могу јавити у виду испадања, повећаног прекопа и продору подземних вода.

Када су у питању друга два суперпозициона пакета можемо рећи да се одликују веома великим степеном микронабраности. У овим седиментима доминира лапоровита компонента и пјешчар што значи на врло кратким интервалима имамо нагле промјене вриједности тврдоће стијенске масе. И овдје је могуће употријебити и машинске и класичне методе градње тунела. Главне проблеме ако је у питању висок надслој могу правити нагли продори подземних вода, затим бубрење лапоровите компоненте, те велика испадања и прекопи ако је неповољан однос структуре према тунелском ископу.

Физичко-механичка својства стијенских маса су основни показатељи за прорачун и технологију изградње. То су: модул деформације (E), Поасонов коефицијент (ν), коефицијент бочног притиска (K_0), коефицијент чврстоће по Протођаконову (f_k), чврстоћа на смицање и затезање, жилавост и запреминска тежина. Код лапоровито-глиновитих стијенских маса треба познавати хидрофизичка својства као што су: љепљивост, бубрење, тиксотропност и др.

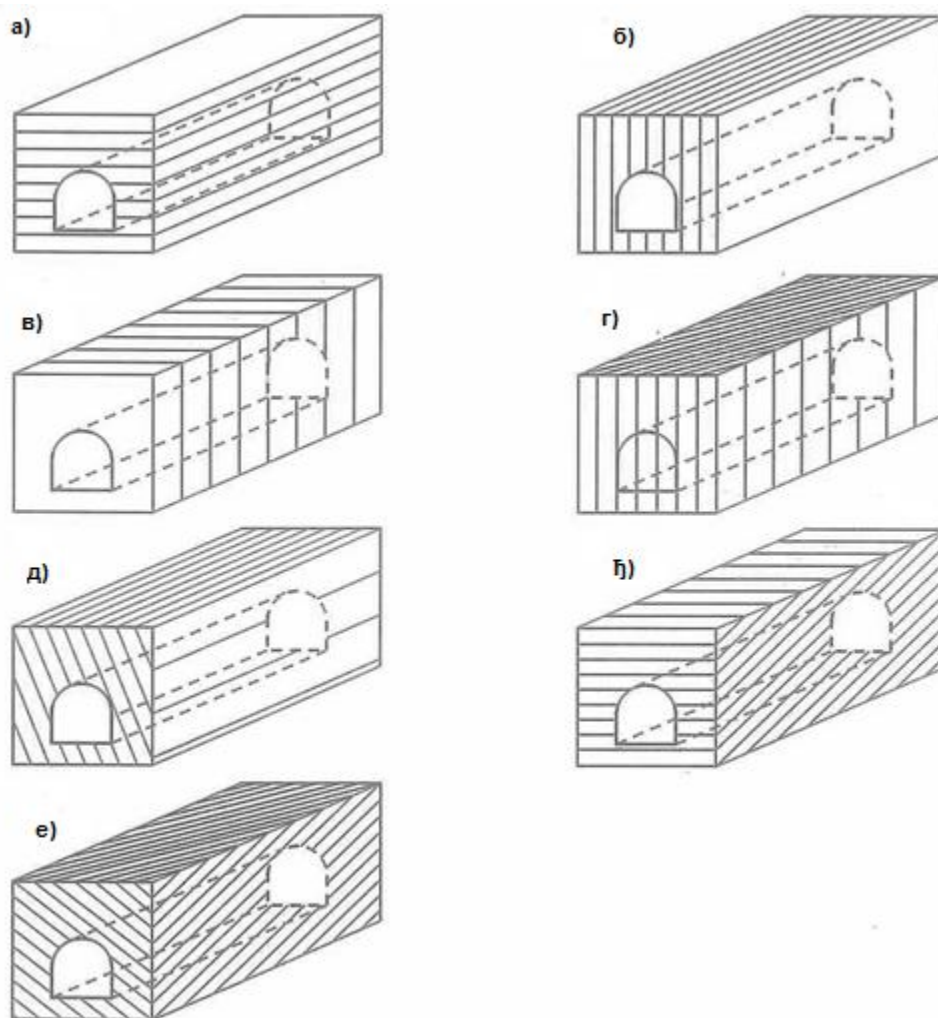
Начин појављивања стијенске масе у значајној мјери утиче на изградњу подземних објеката. Стијене се појављују у природи као масивне, услојене, шкриљаве (углавном метаморфне) и са лучењем карактеристичним за магматске стијене. За изградњу подземних просторија најбоље су масивне стијене.^[26]

Флишни серија је седиментног поријекла и углавном је изграђена од слојевитих стијена. Слојевитост се може оцијенити као позитивно или негативно својство за изградњу тунела, у зависности од дебљине и просторног положаја слојева, односно односа површина слојевитости према оси тунела. Најбоље услове за рад пружају дебели слојеви са малим бројем пукотина. У танкослојевитим и испуцалим стијенским масама услови за рад су знатно тежи.

Поред дебљине предходно сам казао да просторни положај слојева, односно положај површина слојевитости односу на осу тунела у значајној мјери утиче на градњу тунела.

Најбоље услове пружају стијенске масе које се одликују хоризонталном слојевитошћу. У таквим случајевима подземни притисци се јављају само у калоти широких тунел, а испадања се углавном одвијају по површинама слојевитости и нису значајнијег интензитета. Код флишне серије која се одликује наизмјеничним

смјењивањем слојева различитих физичко-механичких карактеристика на веома кратком интервалу, могу се малим вертикалним помјерањима избјећи литолошки чланови лошијих геомеханичких карактеристика, као и литолошки чланови лоших хидрогеолошких својстава.



Сл. 75.: Различит положај тунела у слојевитим стијенским масама: а) хоризонтална слојевитост, б) вертикална слојевитост паралелна са осом тунела, в) вертикална слојевитост управна на осу тунела, г) вертикална слојевитост дијагонална на осу тунела, д) коса слојевитост са пружањем паралелним оси тунела, ђ) коса слојевитост са пружањем управним на осу тунела, е) коса слојевитост дијагонална у односу на осу тунела^[26]

Код вертикалних и субвертикалних слојева најповољнији услови за градњу тунела су када је оса тунела управна на површине слојевитости. Ово се посебно односи на седimente који се одликују различитим литолошким саставом, односно када имамо наизмјенично смјењивање литолошких чланова различитих физичко-механичких својстава (флишна серија).

У условима када се на терену сусрећемо са косим слојевима, градња подземних објеката зависи од нагиба слојева и угла између пружања слојева и нивелете тунела. Неповољнији инжењерскогеолошки и хидрогеолошки услови су када се пружање слојева и оса тунела подударају, односно кад заклапају угао од 0° .

У тунелима који су управни на пружање косо нагнутих слојева, заклапају угао од 90° или дијагонални, заклапају угао од 0 до 90° , услови су веома различити, а зависе од нагиба и литолошке врсте стијенских маса које пресецају тунел.^[26] Повољнији случај је када су слојеви стрмији и када је њихово пружање скоро управно на на пружање осе тунела. У случају дијагоналних слојева, инжењерскогеолошки и хидрогеолошки услови се погоршавају како се угао између правца пружања слојева и осе тунела смањује (од 90° до 0°) и када слојеви постају блажи.^[26]

Структурна својства терена битно утичу на инжењерскогеолошка и хидрогеолошка својства стијенских маса, односно на геотехничке услове изградње подземних просторија. Под структурним својствима подразумевамо постојање наборних и руптурних облика (расједи и расједне зоне), затим постојање навлака и краљушти, те испуцалост стијенске масе настала као последица предходних тектонских активности.

Геотехнички услови изградње подземних објеката у тјеменима антиклинала и дну синклинала су различити. Код набраних стијенских маса максимални подземни притисци се јављају у дну синклинале, а не тамо гдје је највећа дубина тунела, што је последица утицаја „свода“ антиклинале на смањење притиска под тјемом антиклинале.

Тектонски ровови представљају неповољна подручја за изградњу подземних објеката. Спуштени блок одликује се веома високим подземним притисцима и могућност пробоја подземних вода је велика.

Расједи и расједне зоне су неповољне за изградњу подземних објекта јер је њих дошло до знатног оштећења као и смицања блокова стијенске масе. Расједи и расједне зоне представљају структурне облике у термину који својим постојањем негативно утичу на изградњу подземних објеката. Када подземна просторија (тунел и др.), односно њена траса пролази кроз расједну зону постоји низ потешкоћа с којим ће се сresti градитељ. Постоји могућност да у расједним зонама дође до испадања крупних блокова који могу угрозити људство и опрему. Такође ако се санација расједа током градње тунела не уради прописно, могуће је касније угрожавање тунела у току експлоатације. Блокови формирани у расједима утичу на јачину подземних притисака. У кречњачким стијенама дуж расједа формирају се каверне, често великих димензија и

представљају јако компликоване проблеме. Дуж расједних зона могу се очекивати пробоји подземних вода.

Расједи и расједне зоне својим просторним положајем и својим димензијама утичу у значајној мјери на геотехничке услове узградње подземних објеката односно тунела.

Краљушти и навлаке, због процеса у којима су настале и који су довели до дробљења и дезинтеграције стијенске масе представљају значајне препреке и отежавају изградњу подземних објеката.

Испуцалост као структурно својство стијенске масе један је од фактора који у значајној мјери утиче на стабилност тунелског ископа. Просторни положај пукотина, односно фамилија пукотина, њихова учесталост, дебљина зијева, испуњеност пукотина дробинским материјалом, затим изгледи и глаткоћа пукотинских површина могу утицати на испадање крупних блокова у тунелски ископ па самим тим угрозити извођаче и материјална средства која се користе приликом градње тунела.

Неотектонски процеси такође могу у значајној мјери утицати на градњу тунела али и на његову експлоатацију. Активни расједи задају велике проблеме током изградње подземних објеката. У таквим случајевима се примјењује градња специјалних еластичних облога чији је задата да смање неповољне утицаје приликом дејства „живих“ расједа.

Сеизмичност, односно појава земљотреса такође има своју утицај на градњу тунела и подземних објеката, углавном као и код надземних објеката.

9.3. Геолошке и инжењерскогеолошке појаве у подземним објектима

Приликом градње тунела и других подземних објеката долази до ремећења односно нарушавања примарног напонског стања у стијенским масама. Током градње превентивно, али и током експлоатације као последица поремећености тог природног стања могу наступити различите штетне појаве, различитог интензитета, обима и начина дјеловања. Међу тим појавама најзначајнији су: пробоји подземних вода у подземну просторију, појава штетних гасова (по правилу прате подземну експлоатацију угља), горски удари, бубрење стијенских маса (глине и лапорци у подини у рудницима

угља), обрушавање и одроњавање у подземну просторију, прекоп или сувишни профил итд.

Управо због сигурности извођача који граде подземне објекте (а ради се о врло опасним пословима по животе и здравље људи) неопходно је извршити квалитетно инжењерскогеолошко и геолошко истраживање стијенских маса с циљем евентуалног предвиђања свих негативних посљедица које могу задесити градитеље.

Појава подземних вода, односно њихово истицање у тунелски ископ може се подијелити у двије групе. Прву групу сачињавају процједне воде, и углавном појава ових вода везана је за кишне периоде. Тада дуж разних пукотина, прслина и каверни долази до процјеђивања површинских вода у тунелски ископ. Ако су падавине обилне онда и количина воде која дотиче је доста велика. Међутим ове воде осим што у ископани дио подземне просторије унесу одређене количине муљевито-глиновитог материјала са фрагментима дробине, не утичу значајније на стабилност тунелског ископа.

Другу групу сачињавају сталне подземне воде, које су везане за велике простор унутар стијенске масе (каверне и пећине и подземне канале). Њихово прихрањивање потиче од површинских вода. У случају пресецања таквих канала долази до надирања воде у тунелски ископ, које може бити врло опасно за људство и механизацију, али и за сам тунелски ископ. У карстним стијенама карстни канали могу бити изложени великом притиску воде, разорном дејству турбулентног течења и енормно великим доточима. Прва три пакета флишне серије имају доминантну кречњачку компоненту. Слична ситуација је и са друга два пакета флишне серије гдје унутар њих имамо формиране подземне издани са великим количинама вода. Ситуација је посебно неповољна ако се дио трасе тунела који обилује кавернама и пећинама налази у зони брзе водозамјене, односно у зони гдје се ниво подземне воде повремено пење изнад нивелете тунела тако да канали и каверне долазе под притисак и изложени су разорном дејству турбулентног течења великих количина вода. Терени које гради флишна формација налазе се у зони која у одређеним периодима године обилује интензивним падавинама. У тим условима ниво подземне воде пење се и преко 70 метара у току 24 сата. Самим тим хидролошки услови у зони подземног објекта се значајно мјењају како у фази градње тако и у фази експлоатације, па о томе треба посебно повести рачуна. Тунел или подземна просторија, као могућност новог дренажа погоршава ту ситуацију, јер према себи усмјерава велике количине подземне воде. Њихов учинак је највећи у периоду између ископа и облагања тунела. Посебно је опасно када се кроз

тунел оствари повезивање активних и неактивних (дјелимично или потпуно запуњених) дренажних канала. Резултат овог повезивања је реактивирање старих дренажних система и довођење нових количина вода у подручје тунела. Дренажни ефект тунела погоршава услове ископа, поготово ако тунелска цијев пресјече активне карстне канале.

На мјестима за која се предпоставља да су критична и да се очекује нагли доток или провала воде у ископ подземне просторије, препоручује се предбушење, израда хоризонталних пилот бушотина с чела подземне просторије. Ова методологија је примјењивана приликом изградње хидротехничког тунела Фатничко поље - акумулација Билећа.^[10]

У дубоким тунелима са карстним каналима максималне количине подземних вода могу се јавити неколике године након изградње самог тунела, у фази када је он у експлоатацији. Такав примјер је жељезничког тунела „Созина“ код кога је висина надслоја 887,5 метара (максимална) и чија је укупна дужина 6171 метара. Овај тунел почиње да функционише као дрен према коме подземне воде циркулишу и износе пукотинску испуну и дробински материјал.^[24]

Врло специфичан случај имамо код хидротехничког тунела Фатничко поље - акумулација Билећа. На стационажи 0+465 у току градње тунела, на површини терена констатовао сам расједну зону која са сигурношћу пресјеца тунелску цијев.



Сл. 76.: Санација хидротехничког тунела Фатничко поље - акумулација Билећа на стационажи 0+465

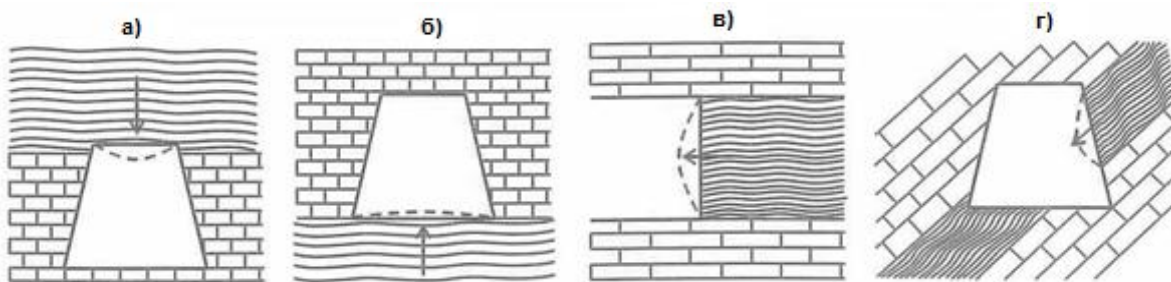
Градња тог дијела тунела вршена је током сушног периода и није било значајнијих проблема приликом бетонирања и зацјевљења тог дијела тунела. Висина надслоја на овој стационажи је 76 метара. Међутим у фази експлоатације, непосредно после пуштања тунела у рад, у периоду великих прољећних падавина (8.3.2007. год.), када Фатничко поље практично постаје језеро, дошло је до колапса стијенске масе са површине терена дуж расједне зоне и потпуног рушења тунелске цијеви. Огромна количина масне глине и крупних блокова стропоштала се у тунелску цијев, док је на површини терена остала огромна јама.

Неповољан утицај подземних вода огледа се и у томе што у неким стијенама у значајној мјери утичу на погоршавање њихових физичко-механичких својстава. Физички утицај подземних вода огледа се у расквашавању и омекшавању, каљању и лијепљењу, смањењу отпорности на смицање, појави тиксотропије и течљивости, бубрењу и повећавању подземних притисака услед бубрења итд. У флишним седиментима који обилују лапоровитом компонентом и повремено глинцима ($^4K_2^3$ и $^5K_2^3$), повећавањем влажности до одређене границе долази до лијепљења материјала за алат и успоравања приликом градње, а често ова појава и онемогућава рад, тако да је неопходно вршити исушивање стијенске масе. Најекстремнија појава у оваквим случајевима је бубрење.

Бубрење, подразумјева повећање запремине стијенске масе услед присуства воде у њој самој. Ова појава повећања запремине стијенске масе изазива притиске који могу бити свестрани, односно дјеловати на све стране, могу бити јако велики и не смију се занемарити.

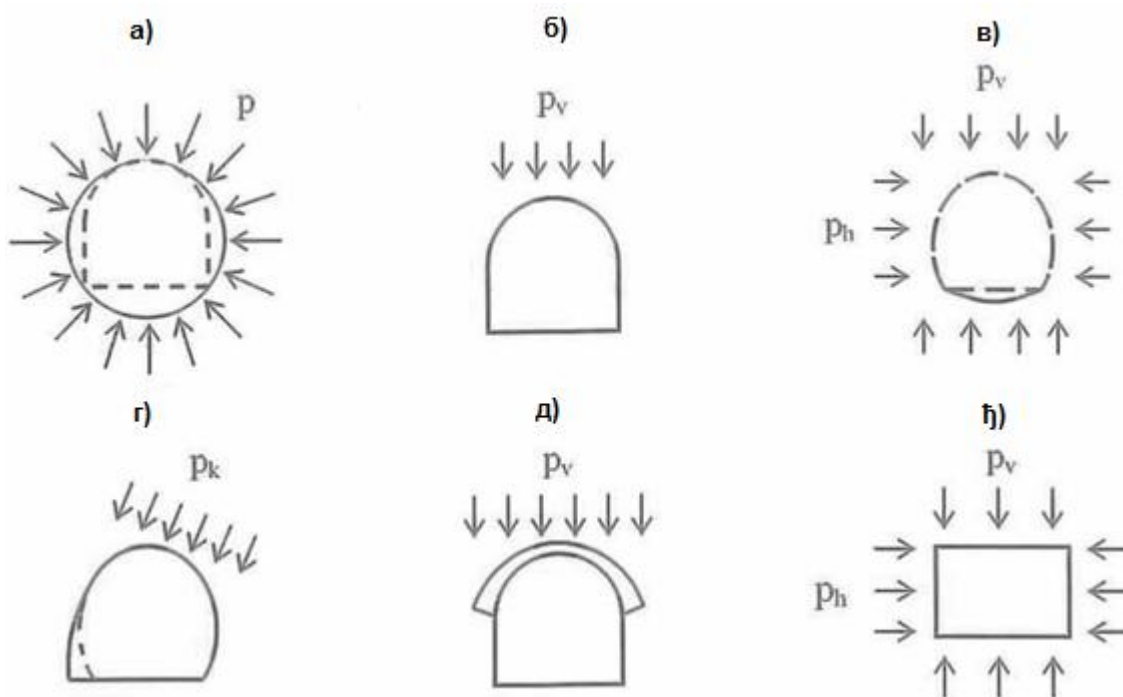
По смјеру дјеловања подземни притисци могу се подијелити:

- Повлатни - у правцу дјеловања гравитације.
- Подински - вертикално навише.
- Бочни - дјеловање на бокове тунела.
- Чеони - у правцу осе тунела асупротно од смјера ископа.
- Свестрани - хидродинамички притисци.



Сл. 77.: Врсте подземних притисака по смјеру дјеловања: а) повлатни, б) подински, в) боциони, г) бочни^[23]

Попречни профил подземне конструкције, односно облик његовог попречног пресека прије свега зависи од јачине и правца дјеловања подземних притисака. Према смјеру дјеловања и јачини сила подземних притисака јављају се сљедећи карактеристични случајеви:



Сл. 78.: Карактеристични случајеви тунелских конструкција у зависности од дјеловања сила подземних притисака: а) кружни пресјек, б) засведен пресјек са вертикалним опорцима, в) засведен пресјек са закривљеним опорцима, г) несиметричан пресјек, д) засведен пресјек са горњим сводом, ж) рамовски облик^[51]

Досадашња искуства су показала да су највећи притисци у неvezаним стјенским масама засићеним водом и испољавање притисака је тренутно. Вршење ископа у овим стијенским масама захтијева примјену специјалних метода (замрзавање, примјена кесона итд).

У слабо везаним стијенским масама услед посљедица бубрења (глиновите и лапоровито-глиновите), јављају се свестрани подземни притисци. Резултат тих притисака је повећање запремине стијенске масе а самим тим смањење попречног профила тунела, односно подземне просторије. Притисци се јављају када стијенска маса дође у додир са ваздухом или подземном водом, услед повећања запремине као резултат бубрења или услед растерећења њихове масе.

Најмањи подземни притисци су у чврстим стијенским масама. Јачи подземни притисци у овим стијенама се могу јавити ако је предходно стијенска маса била изложена значајним механичким оштећењима или утицају хемијске дезинтеграције стијенске масе.^[51]

Појава обрушавања стијенске масе у тунелски ископ, углавном се врши из бокова и калоте подземне просторије и зависи од литолошке врсте стијенских маса, испуцалости, начина појављивања, просторног положаја доминантних фамилија пукотина према тунелском ископу, као и димензија подземних просторија.

Обрушавање је најчешће посљедица када тунелски ископ не може да „носи сам себе“, односно не може да издржи подземне притиске изазване ископом подземне просторије. Додатни подстицај за обрушавање стијенске масе у тунелски ископ, даје и активност веће количине подземне воде. У чврстим стијенским масама обрушавање се најчешће дешава по предиспонираним правцима, односно по пукотинским површинама као и по међуслојним површинама када је њихов однос неповољан према оси тунела или подземне просторије.^[10]

Горски удари су појаве везане за подземне просторије, односно настају у процесу њихове израде. При изради подземне просторије, односно у процесу разарања стијенске масе долази до настајања нових пукотина у њој самој. Те пукотине утичу на првобитно напонско стање. Под „горским ударом“ подразумева се прогресивно разарање стијенске масе око подземног ископа услед прекорачења брзине измјена њиховог напонског стања у односу на брзину релаксације напона, а које са собом повлачи изненадно избацивање и обрушавање блокова стијенских маса.“^[21]

9.4. Геотехнички услови изградње подземних просторија у дурмиторском флишу

9.4.1. Увод

Приликом пројектовања и градње тунела и уопште подземних просторија, нераздвојно јединство чине сљедећи фактори: технолошки процес градње тунела, анализа подземних притисака и испитивање стабилности тунелског ископа и тунелске конструкције уопште. Низ је фактора који утичу на стабилност тунелског ископа: дисконтинуалност стијенске масе (слојевитост и испуцалост), примјењена технологија ископа у тунелу или подземној просторији, утицај подземних вода и њихов прилив у подземну просторију, горски удари као и различита физичко-механичка и литолошка својства.

Када је у питању дурмиторска флишна формација, с инжењерскогеолошког односно геотехничког аспекта, она је врло слабо проучена, и овај раду неку руку представља пионирски подухват, да би се дефинисало и указало на специфичности ове литолошке формације када је у питању градња појединих објеката на теренима које она изграђује, па тако и када је у питању градња подземних просторија, најчешће тунела. У постојећој документацији врло је мало података али и врло мало случајева градње инфраструктурних и хидротехничких објеката у стијенама ове формације. Стално и наизмјенично смјењивање литолошких чланова у оквиру ове формације, као и постојање пет суперпозиционих пакета који имају поприлично различита физичко механичка својства у значајној мјери отежавају дефинисање геотехничких услова изградње објеката у флишној формацији као јединственој цјелини.

На примјеру тунела Чемерно укупне дужине 2109 метара, на бази сљедећих критеријума дефинисани је приликом истраживања 6 квази хомогених зона у погледу својстава стијенских маса и услова грађења. Критеријуми за издвајање тих квазихомогених зона су:

- Литолошки састав терена
- Структурна својства стијенских маса
- Степен тектонске оштећености стијенске масе
- Степен површинске распаднутости
- Стање подземних вода
- Физичко-механичка својства стијенских маса
- Висина надслоја изнад тунелске цијеви.

Стијенске масе унутар сваке зоне оцјењене су са гледишта услова грађења тунела и разврстане су у по одговарајућим категоријама. У случају тунела Чемерно имамо 5 категорија (А - Е) и 6 квазихомогених зона. Параметри физичко-механичких својстава појединих категорија стијенске масе, мјеродавни за геостатичке прорачуне, процјењени су на основу резултата лабораторијских испитивања, геофизичких мјерења уз уважавање структурних својстава стијенских маса као и степена њихове површинске деградације.^[35]

Категорија А

Ову категорију чине банковити до танкослојевити кречњаци. Деформације као последице подземног ископа ће бити врло малог интензитета и веома брзо ће се смиривати.

Категорија В

У овој категорији преовлађују лапорци за подређено су заступљени пјешчари и кречњаци. С обзиром на доминантну улогу лапораца и кречњака према пјешчарима може се констатовати да овај пакет флишне серије има еластично понашање. Приликом ископа развијаће се деформације слабијег интензитета са тенденцијом брзог смиривања.

Категорија С

Овај пакет представља кластично-карбонатни флишни пакет у коме преовлађују пјешчари, а садржи још и крчњаке, брече и конгломерате. За овај пакет у току ископа се очекује претежно еластично понашање, са израженим мањим деформацијама које су склоне бржем смиривању.

Категорија D

Ову категорију представљају банковити кречњаци са мањим прослојцима кречњачких конгломерата и слојевито до танко плочасти лапорци. И у овом пакету приликом ископа очекују се претежно еластичне деформације, с тим да је у оквиру овог пакета проблеме приликом ископа могу чинити три међусобно изукрштане фамилије пукотина, тако да се након ископа може очекивати нешто спорије смиривање.

Категорија Е

Ова категорија стијенске масе је у литолошком и у структурном смислу изразито сложена. Од литолошких чланова преовлађују алевролити, лапорци и глинци. Нешто

мање су заступљени пјешчари и кречњаци (${}^4K_2^3$). Овај пакет је интезивно убран. Бројним расједима као и великом броју присутних пукотина, набори су додатно преобликовани. У цјелини узето приликом ископа стијенска маса ће имати еласто-пластично понашање. До значајних деформација може долазити при ископу, уз њихово умјерено до споро смиривање. У периодима великог прилива воде у ископ могућа су бубрења стијенских маса (глинци и лапорци) што додатно може отежати градњу тунела.

Категорија Е*

Ову категорију чине исте стијенске масе као и предходну. Као посебна категорија може се издвојити ради малог надслоја, односно због већег степена дезинтегрираности стијенске масе, а самим тим и због већег присуства подземних вода. У овој категорији ће релативно брзо долазити након ископа до већих деформација, које ће захватити ширу зону ископа, са трендом јако спорог смиривања.^[35]

Табела 22. Прогнозни параметру физичко-механичких својстава појединих категорија^[35]

	ПРОГНОЗА ПАРАМЕТАРА ФИЗИЧКО-МЕХАНИЧКИХ СВОЈСТАВА						
Геотехничка категорија	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	C (MPa)	D (MPa)	E (MPa)	ν	σ (MPa)
A (зона 1)	25,0	40-45°	0,4	18500	31500	0,22	50-80
B (зона 2)	24,0	35-40°	0,3	10500	23000	0,24	50-100
C (зона 3)	23,5	30-35°	0,3	6500	14000	0,25	40-70
D(зона 4)	24,5	30-35°	0,2	4000	9000	0,24	40-70
E (зона 5)	24,5	25-30°	0,2	2500	3500	0,24	20-60
E*(зона 6)	23,5	20-25°	0,1	700	1500	0,26	40-50

9.4.2. Утицај слојевитости на стабилност ископа у флишу

Слојевитост, односно међуслојне површине, представљају примарне дисконтинуитете стијенске масе, који су настали у току стварања саме стијене. Међуслојне површине су по свом карактеру веома реазличите, поготово што у оквиру флишне серије разликујемо пет суперпозиционих пакете који сваки понаособ граде различити литолошки чланови. Положај слојева, начин њиховог просторног залијегања и њихов однос према оси тунела, затим дебљина слојева и њихов литолошки састав као и

карактер међуслојних површина, могу веома битно да утичу на стабилност тунелског ископа, ка и на појаву већих испадања у њему. Положај слојева стијенских маса има значајног утицаја приликом избора трасе тунела, прије свега када су слојеви коси а нивелета тунела хоризонтални или субхоризонтална.

Најнеповољнији утицај на тунелски ископ имају слојеви чије се пружање поклапа са осом тунела, а најповољнији случај када је оса тунела управна на правац пружања слојева. Додатне проблеме представљају микронабори унутар флишне серије, тако да на појединим дијеловима трасе тунела можемо очекивати повећана испадања из калоте и бокова тунела. Наиме ради се о микро антиклиналама и синклиналама које пресеца траса тунела, и ово се углавном односи на четврти и пети суперпозициони пакет флишне серије (${}^4K_2^3$ и ${}^5K_2^3$).

Када је у питању слојевитост стијенске масе, дебљина слојева значајно утиче на стабилност тунелског ископа или ископа у некој другој подземној просторији. Наиме, већу стабилност и уопште повољније услове градње тунела пружају дебело слојевите и банковите стијене, него танкослојевите или листасте стијене.

Ако слојеви имају паралелан правац пружања оси тунела, а падни угао истих се креће од 45° до 90° , онда се овакав однос оцјењује као врло неповољан за изградњу тунела, као и кад слојеви падају у супротном правцу од правца напредовања тунела под углом од 20° до 45° .

Хоризонтални и субхоризонтални слојеви су такође веома неповољни са аспекта стабилности тунелског ископа, поготово ако се ради о танким или листастим слојевима.

Посебну неповољност у флишним седиментима представљају слојеви лапораца и глинаца. У контакту са подземним водама долази до расквашавања ових стијена и њихов постепен прелазак у глину с чим се омогућава интензивирање процеса клизања, ако то други услови дозвољавају.

Најповољнији однос пружања слојева у односу на осу тунела је када они падају у правцу напредовања тунела под углом од 45° до 90° .^[26]

9.4.3. Утицај испуцалости стијенске масе на стабилност ископа

Пракса у изградњи подземних просторија, било да се ради о тунелима или галеријама, да у чврстим стијенским масама стабилност ископа зависи првенствено одприсутства пукотина и других руптура и њихових својстава, Иако се ради о чврстим

стијенским масама, често долази до појаве нестабилности, локалног или ширег карактера, као посљедица постојања ослабљених површина у стијенској маси. Да би помјерање блокова уопште било могуће, односно да би дошло до појаве нестабилности стијенске масе у зони ископавања, неопходно је да се задовоље сљедећи услови:

- Да постоји кинематска могућност помјерања блока ка ископу.
- Да су отпорна својства по површинама пукотина која ограничавају нестабилне блокове, довољно ниска да може да се оствари лом.^[26]

Испуцалост у флишним стијенама је веома специфична. Прва три пакета се понашају у суштини као карстни седименти јер у њима у различитим видовима и доминира кречњак, док друга два суперпозициона пакета која се одликују великом пластичношћу, била су изложена значајним процесима набирања тако да је у синклиналним и антиклиналним дјеловима дошло до интезивне испуцалости стијенске масе. Због значајно мале дебљине слојева у овим пакетима, односно због њихових различитих физичко-механичких својстава те изражене велике ритмичности литолошких чланова, немамо пукотине које у правилу пресјецају цијели пакет него су углавном везане за поједине чланове флишне серије.

Тјемена антиклиналних, односно дна синклиналних форми су услед интезивних и снажних процеса набирања јако испуцала тако да стабилност тунелског ископа на мјестима гдје оса тунела пресијеца ове зоне, знатно угрожена.

Анализа стабилности блокова стијенске масе у тунелском ископу

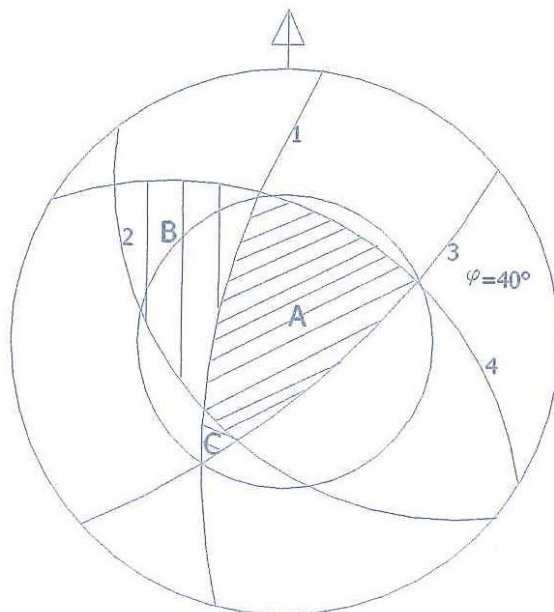
У поступку анализе стабилности потенцијално нестабилних блокова око тунелског ископа, могу се издвојити следеће фазе:

- Разрада геолошких улазних параметара и прелиминарна оцјена потенцијално нестабилних блокова
- Усвајање геотехничких модела са одредбом геометријских карактеристика нестабилних блокова, начина лома и правца помјерања
- Установљење активних сила које дјелују на нестабилни блок датих димензија и облика, утврђивање критеријума лома и граничне равнотеже блокова, са срачунавањем фактора сигурности.

Крајњи резултат анализе стабилности блокова око тунелског ископа би требао да буде геотехнички модел са издвојеним квазихомогеним зонама у погледу стабилности

и начина лома, односно са истим фактором сигурности и истим техничким рјешењима потребним за очување стабилности ископа.

Анализа стабилности појединих блокова може се лако и брзо провести коришћењем положајне лопте. Примјена овог поступка илустрована је на сл. 79.^[10]



Сл. 79.: Процјена стабилности потенцијално нестабилних блокова: А - могућност гравитационог испадања блока, В и С могућност помјерања клизањем^[10]

На дијаграму који представља хоризонталну пројекцију положајне лопте, трасама су приказане четири фамилије пукотина, које су заступљене на локацији у једном подземном објекту. Прогнозни угао унутрашњег трења $\varphi = 40^\circ$. Вертикална линија која пролази кроз врх клина на дијаграму је представљена средиштем круга. Уколико је центар унутар површи које ограничавају трасе датих пукотина, онда је могуће да се оствари гравитационо испадање блока без клизања по некој од пукотинских површина (зона А). Међутим ако је центар круга изван тих површи (зона В и С) тада је могуће помјерање блока у виду смицања по једној или двије пукотинске површине. Као додатни услов за остварење могућности помјерања у виду клизања блока, уводи се угао унутрашњег трења (мали круг унутар већег на слици) Да би дошло до клизања блока потребно је да површина или пресјечена линија по којој се одвија помјерање, буде стрмија од угла унутрашњег трења. Тај услов је задовољен уколико бар дио пресјечене површине пада унутар малог круга, који представља угао унутрашњег трења.

Сличан поступак се примјењује за анализу могућности испадања блокова из бочних страна ископа, с тим што у овом случају нема гравитационог испадања као из

калоте, већ се помјерање блокова одвија клизањем по једној одпукотинских површина или по линији пресека двије пукотине.^[10]

Напонско стање у стијенским масама настаје као резултат дејства сила различитог поријекла (гравитационих, тектонских, температурних итд.) на стијенски масив који је изразито хетероген у погледу састава и својстава стијенске масе.

Највећи утицај на дистрибуцију и интезитет напона у стијенским масама имају пукотине. У зависности од својстава пукотина у стијенским масама јављаће се концентрације, области са смањеним интезитетом напона и зоне затезања.

Основна својства појединачних фамилија пукотина која битно утичу на расподјелу напона су следећа:

- Просторни положај (угао који заклапа пукотина са правцем дјеловања спољних сила).
- Морфологија зидова пукотина.
- Степен континуалности пукотина.
- Ширина пукотина.
- Деформабилност пукотинске испуне.
- Учесталост пукотина.^[26]

Напонско стање такође зависи и од монолитног дијела стијенске масе. Изучавање утицаја испуцалости на напонска стања стијенских маса представља сложен експерименталан и теоријски проблем, јер као што је већ наведено, напонско стање зависи од бројних својстава пукотина и свих могућих њихових комбинација, које је све, тешко обухватити експериментом и рачунском анализом. Дода ли се томе наизмјенично и ритмичко смјењивање литолошких чланова флишне серије, као и њихова издјељеност са више фамилија пукотина различитих димензија и својстава, те је и њихов утицај на напонско стање различит, проблем постаје још много сложенији.

9.4.4. Утицај подземних вода на стабилност ископа

Подземне воде које се појављују, односно истичу у тунелски ископ могу се подијелити у двије групе. Прву групу сачињавају процједне воде и углавном њихова појава у ископу везана је за кишне периоде. Тада дуж разних пукотина, канала, прелина и каверни долази до процјеђивања површинских вода у тунелски ископ. Ако су падавине обилне онда количина воде која дотиче у тунелски ископ доста велике.

Међутим ове воде, поред тога што у тунелски ископ унесу мање количине муљевитог и дробинског материјала, утичу и на расквашавање лапоровите компоненте у оквиру флишне серије. Расквашавање лапоровитих слојева доводи до њиховог претварања у глину, а крајњи резултат овог процеса је значајно отежан рад приликом ископа јер се глиновита маса лијепи за машине и опрему којом се врши ископ. Такође могућа је и појава бубрења али због мале дебљине лапоровите компоненте, процес бубрење нема значајнији интензитет.

Такође треба нагласити да процес провирања и дјеловања процједних вода није исти у свим пакетима дурмиторске флишне серије. У прва три пакета овај процес због доминантног присуства кречњачке компоненте у различитим облицима (брече, конгломерати и слојеви), је приближно сличан оном који се дешава у карсту, док у посљедња два суперпозициона пакета он је значајно различит. Процједне воде у посљедња два суперпозициона пакета углавном завршавају у плитким изданима из којих се даље формирају потоци. Сјеверна и сјевероисточна страна Чемерна управо обилује овим појавама.

Другу групу сачињавају сталне подземне воде, које су везане за велике простране издани формиране дубоко у унутрашњости стијенских маса. Њидово прихрањивање потиче од површинских вода. У случају пресјецања таквих канала или ако траса тунела пресјеца саму издан, онда долази до надирања огромних количина подземних вода у тунелски ископ што може бити јако опасно по људство и опрему, али и за сам тунелски ископ. Ситуација је посебно неповољна, ако се траса тунела налази у зони гдје се ниво подземне воде пење изнад трасе тунела, тако да канали којима вода циркулише у унутрашњости долазе под притисак и изложени су разорном дејству турбулентног течења великих количина вода.

Тунел или подземна просторија представља могућност новог дренажа, односно слободан простор који према себи може усмјерити велике количине подземних вода. Посебно је опасно када се кроз тунел оствари повезивање активних и неактивних (дјелимично или потпуно запуњених) дренажних канала. Резултат овог повезивања је реактивирање старих дренажних система и довођење нових количина вода у подручје тунела. Дренажни ефекат тунела погоршава услове ископа, поготово ако тунелска цијев пресјече активне дренажне канале.

На мјестима за које се предпоставља да су критична и да се очекује велики доток или провала воде, препоручује се израда пилот бушотина, хоризонталних бушотина на челу ископа.^[10]

Ово свакако треба бити пракса у условима високог надслоја приликом градње тунела у теренима изграђеним од седимената дурмиторске флишне серије.

Додатну опасност може представљати танак зид стијена у боковима између тунелске цијеви и постојеће издани. Наиме могуће је да тогом градње тунела на веома блиској удаљености прокопа се тунел у односу на постојећу издан. У току експлоатације тунела, а под утицајем различитих процеса (нпр. земљотрес) може доћи до провале великих количина вода у тунел.

9.5. Класификације стијенске масе које се примјењују приликом пројектовања и градње тунела

Класификације стијенских маса нашле су значајну примјену приликом пројектовања и грађења тунела и подземних просторија уопште. Ове класификације се заснивају на искуствима стеченим приликом пројектовања и грађења тунела. Историјат класификовања и категоризације стијенске масе везан је за другу половину двадесетог вијека.

До сада је створено више класификација које стијенску масу и услове рада у стијени разврставају по разним параметрима. Већина постојећих класификација узима у обзир неколико основних својстава стијенске масе као што су: једноаксијална чврстоћа на притисак (коефицијент чврстоће), угао унутрашњег трења, испуцалост стијенских маса дефинисана параметром испуцалости RQD, доток подземне воде, вријеме стајања неподграђеног дијела тунела, тунелска подграда и друго (жилавост, ломљивост, дробљивост, отпор при бушењу, минирању, ископавању).

Приликом пројектовања и предрачуна трошкова градње тунела користи се категоризација ГН-206, међутим ова категоризација стијенске масе је превише уопштена и базирана на описним својствима стијенске масе, тако да ни она неће бити предмет овог рада. У оквиру овог рада биће приказана класификација Протођаконова М.М., RMR (Rock Mas Raiting) класификација или класификација Bieniawског Z.T., класификација Bartona N., Liena R. и Lundeа J. (Q систем).^[10] Посебну категоризацију еоценских флишних стијенских маса на основу градње тунела 62 двострука планинска тунела на аутопуту Егнатија у Сјеверној Грчкој урадио је Маринос В. и она ће бити предмет овог рада. Разлика између еоценског флиша у сјеверној Грчкој и дурмиторске флишне серије је значајно велика, међутим она је свакако најподеснија за коришћење

од свих познатих класификација стијенских маса када је у питању пројектовање и градња тунела у стијенама дурмиторског флишног комплекса.

9.5.1. Класификација М.М. Протођаконова

За разврставање стијенских маса као радне средине при пројектовању и грађењу тунела, користи се класификација Протођаконова М.М. У њој су све врсте стијена сврстане у 15 категорија према коефицијенту чврстоће f . Вриједност овог коефицијента варира од 20 до 0,3. По мишљењу Протођаконова, отпор стијенских маса према ма којем механичком дејству може да се упореди са отпором једноосном притиску. Он је за прелаз од показатеља чврстоће под притиском на коефицијент чврстоће (f) усвојио следећу линеарну зависност:

Табела 23. Класификација стијенске масе Протођаконова М.М.^[26]

Категорија	Степен чврстоће	Назив стијена које чине средину	Коефицијент f	Вриједност ϕ_0
I	Изузетно чврсте стијене	Најчвршће стијене, једри и жилави базалти, дијабази, анфиболи, кварцити, изузетно и друге стијене	20	87
II	Врло чврсте стијене	Врло чврсте зрнасте стијене, гранити, диорити, габро, порфирити, кварцни шкриљци, чврсти пјешчари	15	86
III	Чврсте стијене	Крупнозрни гранити, андезити и њима сличне еруптивне стијене, врло чврсти пјешчари и једри кречњаци, кварцне жице, чврсти конгломерати	10	84
IIIa	Чврсте стијене	Чврсти кречњаци, механички оштећени гранити, чврсти пјешчари, мермери, доломити, гнајсеви	8	83
IV	Доста чврсте стијене	Обичан пјешчар, руде гвожђа, микашисти, лапори	6	81
IVa	Доста чврсте стијене	Пјесковити глинци, меки шкриљци, филити, шкриљасти пјешчари	5	79
V	Умјерено чврсте стијене	Чисти глинене шкриљци, меки пјешчари, јако порозни кречњаци, филити, шкриљасти пјешчари	4	76
Va	Умјерено чврсте стијене	Серицитски и други меки шкриљци, мекани лапорци	3	72
VI	Меке стијене	Камена со, креда, врло меки шкриљци, врло меки кречњаци, шкриљци здробљени, пјешчари, смрзнута земља	2	63
VIa	Меке стијене	Шљунковита иловача, распаднути шкриљац, збијен шљунак, дробина, чврста глина	1,5	56
VII	Врло меке стијене	Глина, чврст нанос, камени угаљ	1	45
VIIa	Врло меке	Лес, пјесковита глина, мрки угаљ	0,8	38

	стијене			
VIII	Земљасте стијене	Ораница, тресет, глиновити пјесак, пјесковити лес	0,6	25-35
IX	Растресите стијене	Пијесак, осулина, ситан шљунак, насута земља, ископан угаљ	0,5	31
X	Кашасте стијене	Засићен водом пијесак, блато, лес	0,3	17

$$f = \sigma_p/100$$

гдје је:

f - коефицијент чврстоће

σ_p - једноосна чврстоћа.

9.5.2. Класификација Bartona N., Liena R. и Lunde J. (Q - систем)^[10]

На основу анализе око 200 подземних просторија, односно понашања стијенске масе у ископу, ову класификацију су установили Бартон, Лиен и Лунде 1974. године. Ова класификација стијенске масе у тунелском ископу представља данас једну од најчешће примјењиваних и најкомплетнијих. Заснована је на нумеричкој процјени квалитета стијенске масе Q, на основу односа шест важних параметара:

$$Q = RQD/I_n \times I_r/I_a \times I_w/SRF$$

Гдје је:

RQD - параметар квалитета стијенске масе

I_n - број фамилија пукотина

I_r - индекс храпавости пукотина

I_a - индекс измјене пукотина

I_w - фактор редукције због утицаја воде у пукотинама

SRF - фактор редукције напона.

Могућа вриједност Q креће се од 0,001 до 1000 те теоретски обухвата више од 300.000 различитих геолошких комбинација, од меке гњечиве до чврсте стијенске масе без пукотина.

Први члан једначине RQD/I_n даје укупну структуру стијенске масе и релативну величину блока.

Други члан I_r/I_a даје међублоковску смичућу чврстоћу при чему је $tr^{-1} I_r/I_a$ приближно смичућа чврстоћа пукотине.

Трећи члан даје такозвани активни притисак, а одговара хидростатичком притиску и параметра СРФ који представља оптерећење растресене зоне при пролазу кроз терен са могућим покретима или са глином.

Табела 24. Класификација Бартонa Н., Лиена Р. и Лундеа Ј.

1. ИНДЕКС КВАЛИТЕТА СТИЈЕНСКЕ МАСЕ		RQD %
a	врло слаба	0 - 25
b	слаба	25 - 50
c	задовољавајућа	50 - 75
d	добра	75 - 90
e	одлична	90 - 100

2. БРОЈ ФАМИЛИЈА ПУКОТИНА		In
a	масивна стијена без или са неколико пукотина	0.5 - 1.0
b	једна фамилија пукотина	2
c	једна фамилија пукотина плус случајне пукотине	3
d	двије фамилије пукотина	4
e	двије фамилије пукотина плус случајне пукотине	6
f	три фамилије пукотина	9
г	три фамилије пукотина плус случајне пукотине	12
h	три фамилије пукотина плус случајне пукотине, јако испуцале стијене	15
i	раздробљена стијена слична земљи	20

3. ИНДЕКС ХРАПАВОСТИ ПУКОТИНА		Ir
	Контакт зидова пукотина	
B	Контакт зидова пукотина прије помјерања од 10 cm	
a	дисконтинуалне пукотине	4
b	храпаве таласасте пукотине	3
c	глатке таласасте пукотине	2
d	клизаве таласасте пукотине	1.5
e	храпаве пукотине	1.5
f	глатке равне	1.0
г	клизаве равне	0.5
C	Без контакта зидова пукотина кодмицања	
h	глиновита минерална испуна довољне дебљине да спријечи контакт зидова пукотина	1.0
i	пјесковита, шљунковита, дробинска испуна довољне дебљине да спријечи контакт зидова пукотине	1.0

4. ИНДЕКС ИЗМЈЕНЕ ПУКОТИНА (Ia)			
A	Контакт зидова пукотина	Ia	фг - (приближан)
a	збијена, затворена, чврста пукотина неразмекшавајућа, непропусна испуна	0.75	-
b	непромијењен зидпукотине, зидсамо са мрљама	1.00	25-30
c	незнатно промијењен зидпукотине. Неразмекшавајућа минерална превлака, пјесковите честице, дезинтегрисана стијена без глине	2.0	25-30
d	прашинаста или пјесковито-глиновита превлака, мали дио глине	3.0	20-25
e	мека или са малим углом трења, превлака одглиновитих материјала, мала количина бубрених глина	4.0	8-16
B	Контакт зидова пукотина прије смицања од 10 цм		
f	пјесковите честице, дезинтегрисана стијена без глине	4.0	25-30
г	јачо преконсолидована неразмекшавајућа глиновита минерална испуна	6.0	16-24
h	средња или мала преконсолидација размекшана глиновита минерална испуна	8.0	12-16
i	бубрена глиновита испуна. Вриједност Ia зависи од процента бубрених глиновитих честица, присуства воде итд.	8.0-12.0	6-12
C	Код смицања нема контакта зидова пукотина (види г, h i)	6-12	6-24

5. ФАКТОР РЕДУКЦИЈЕ ПУКОТИНСКЕ ВОДЕ (Iw)		Iw	приближни хидростатички притисак Мпа
a	суви ископ или мањи прилив тј. 5 л/мин локално	1.0	<1
b	средњи прилив или притисак, понегдје испрана испуна из пукотине	0.66	0.10-0.25
c	велики прилив или високи притисак у здравој стијени са пукотинама без испуне	0.50	0.25-1.0
d	велики прилив или високи притисак, значајно испирање испуне пукотина	0.33	0.25-1.0
e	велики прилив или хидростатички притисак код минирања, опада са временом	0.2-0.10	>1.0
f	изузетно велики прилив или хидростатички притисак који се наставља без опадања	0.1-0.05	>1.0

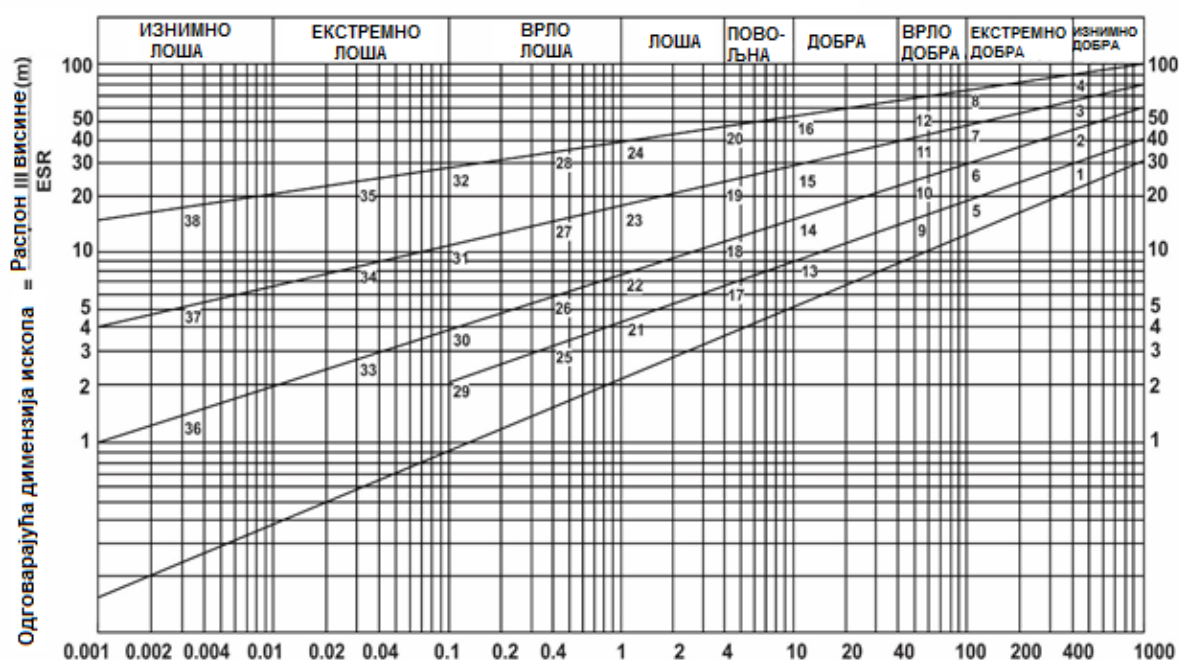
6. ФАКТОРИ РЕДУКЦИЈЕ НАПОНА (SRF)				
	Ослабљене зоне			
a	Учестале појаве ослабљених зона, које садрже глину или хемијски распаднуту стијену, врло растресена околна стијена			10
b	једна ослабљена зона која садржи глину или хемијски распаднуту стијену (дубина ископа < 50 м)			5.0
c	једна ослабљена зона која садржи глину или хемијски распаднуту стијену (дубина ископа > 50 м)			2.5
d	учестале расједне зоне у здравој стијени (без глине) растресена околина (све дубине)			7.5
e	једна расједна зона у здравој стијени (без глине- дубина ископа < 50m)			5.0
f	једна расједна зона у здравој стијени (без глине - дубина ископа > 50m)			2.5
G	растресене отворене пукотине, јака испуцалост (све дубине)			5.0
B	Здрава стијена, проблеми подземног притиска	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1	SRF
h	ниски притисак, близу површине	>2.00	>1.3	2.5
i	средњи притисак	10-200	0.66-1.3	1.0
j	висок притисак, врло збијена структура	5-10	0.33-0.66	0.5-2
k	горски удари слабог интензитета (масивна стијена)	2.5-5	0.16-0.33	5-10
l	горски удари јаког интензитета	<2.5	<0.16	10-20
C	Згњечена стијена; пластични ток стијене подутицајем високог подземног притиска			
m	слаби притисак згњечене стијене			5-10
n	јак притисак згњечене стијене			10-20
D	Бубрива стијена; хемијска бубрива активност зависна од присуства воде			
o	слаб притисак бубриве стијене			5-10
p	јак притисак бубриве стијене			10-15

Напомена:

I - Код (A) редуковати вриједности SRF за 25-25% ако расједна зона само утиче, а не пресијеца ископ

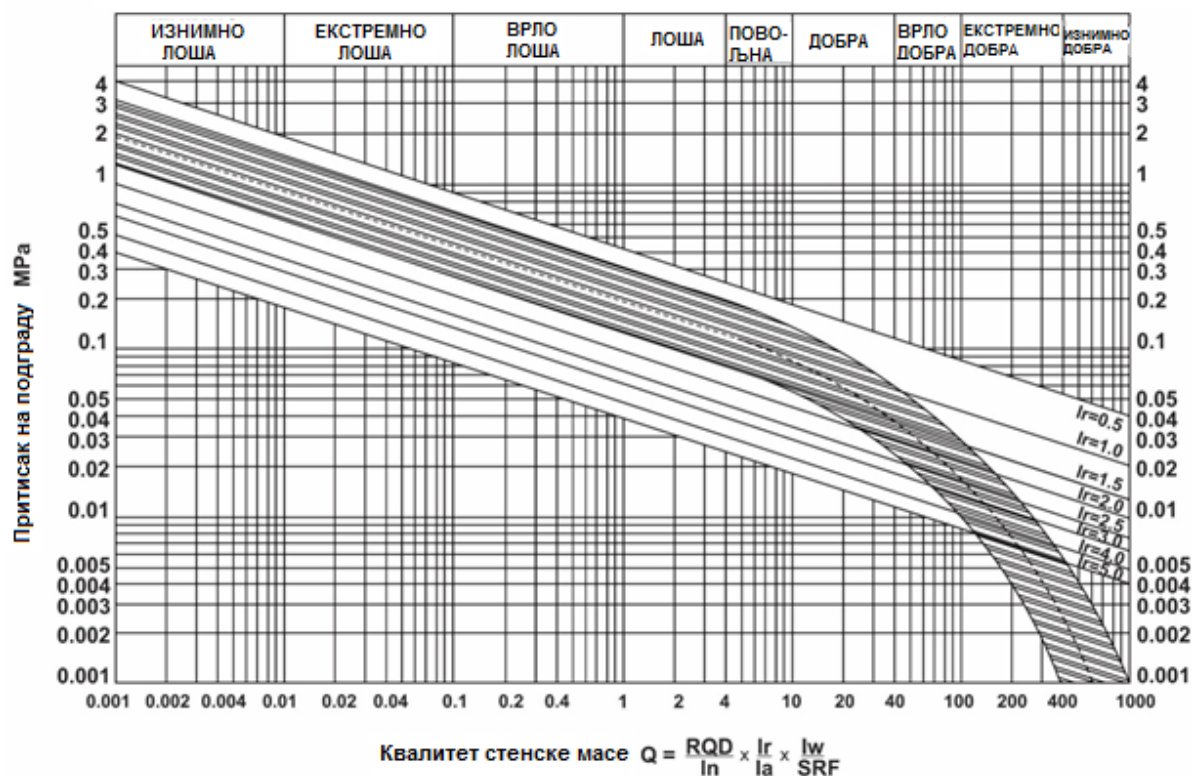
II - За јако анизотропно поље напона (ако се мјере): када је $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, редуковати σ_c и σ_t на $0.8\sigma_c$ и $0.8\sigma_t$; када је $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ редуковати σ_c и σ_t на $0.6\sigma_c$ и $0.6\sigma_t$ гдје је σ_c = чврстоћа на притисак, σ_t = чврстоћа на истезање (тачкасто оптерећење), σ_1 и σ_3 највећи и најмањи главни напони.

III - У случајевима гдје је дебљина надслоја мања од ширине распона тунела SRF повећати од 2.5 на 5 (види h).



$$\text{Квалитет стенске масе } Q = \frac{RQD}{L_n} \times \frac{I_r}{I_a} \times \frac{I_w}{SRF}$$

Сл. 80.: Категорија подграде



Сл. 81.: Однос притиска на подграду и квалитета стијенске масе Q

Квалитет стијенске масе Q повезан је са одговарајућом подградом, тзв. одговарајуће димензије ископа, а добија се подјелом распона висине зида ископа са количином званом индекс подграде (ESR).

У сљедећим табелама дате су подграде које се користе за одговарајућу класу стијенске масе:

Табела 25. Подграда за стијенску масу изузетно доброг, посебно доброг, врло доброг и доброг квалитета Q (1000-10)

Категорија подграде	Q	Условни фактори			P (Mpa)	Распон ESR (m)	Тип подграде	Напомена
		RQD/ I_n	I_r/I_a	ESR				
1 ^x	1000-400	-	-	-	0,001	20-40	PS (an)	
2 ^x	1000-400	-	-	-	0,001	30-60	PS (an)	
3 ^x	1000-400	-	-	-	0,001	46-80	PS (an)	
4 ^x	1000-400	-	-	-	0,001	65-100	PS (an)	
5 ^x	400-100	-	-	-	0,005	12-30	PS (an)	
6 ^x	400-100	-	-	-	0,005	19-45	PS (an)	
7 ^x	400-100	-	-	-	0,005	30-65	PS (an)	
8 ^x	400-100	-	-	-	0,005	48-88	PS (an)	

9	100-400	20 20	- -	- -	0,025	8,5-19	PS (an) SS (an) 2,5-3m	
10	100-40	30 30	- -	- -	0,025	14-30	SS (an) 3m,SS (an)1,5- 2m+3m	
11 ^x	100-40	30 30	- -	- -	0,025	40-72	SS(ep)2-3m SS(ep)1,5-2m+3m	
12 ^x	100-40	30 30	- -	- -	0,025	40-72	SS(ep)2-3m SS(ep)1,5-2m+3m	
13	40-10	10 10 10 10	1,5 1,5 1,5 1,5	- - - -	0,05	5-14	PS(an) SS(an)1,5-2m SS(an)1,5-2m SS(an)1,5-2m+T2- 3cm	I I I I
14	40-10	10	- - -	15 15 15	0,05	9-23	CC(ep)1,5- 2m+3m,SS(ep)1,5- 2m+T(am)5-10cm SS(an)1,5-2m+3m	I, II I, II I.II
15	40-10	10 10	- -	- -	0,05	15-40	SS(ep)1,5-2m+3m SS(ep)1,5- 2m+T(am)5-10cm	И, II, III I, II, III
16	40-10	15 15	- -	- -	0,05	30-65	SS(ep)1,5-2m+3m SS(ep)1,5- 2m+T(am)10-15cm	I I

Табела 26. Подграда за стијенску масу повољног и слабог квалитета (Q 10-1)

Категорија подграде	Q	Условни фактор			P (Мпа)	Распон ESR	Тип подграде	Напомена
		RQD/In	Ir/Ia	ESR				
17	10-4	30 10 10 10	- - - -	- - 6m 6m	0,1	3,5-9	PS(an),SS(an)1- 1,5m,SS(an)1- 1,5m+T2-3cm, T 2-3cm	I I I I
18	10-40	5 5 5 5	- - - -	10m 10m 10m 10m	0,1	7-15	SS(ep)1-1,5m+ Zm, SS(an)1- 1,5m+zm, SS(ep)11,5m+T2- 3cm, SS(an)1- 1,5m+T2-3cm	I, II I I, II I
19	10-40	-	-	20m	0,1	12-29	SS(ep)1- 2m+T(am)10-15cm, SS(ep)1- 1,5m+T(am)20-25cm	I, II, III I, II
20	10-4	-	-	35m	0,1	24-52	SS(ep)1- 2m+T(am)20-25cm	I
20 ^x		-	-	35m			SS(ep)1- 2m+T(am)10-20cm	I, II, III
21	4-1	12,5	0,75	-	0,15	2,1-6,5	SS(an) 1m+T2-3cm,	I

		12,5	0,75 0,75	- -			T2,5-5cm, SS(an) 1m	I I
22	4-1	10 30 10 30	1,0 1,0 1,0 -	- - - -	0,15	4,5-11	SS(an)1m+zm; T2,5- 7cm, SS(an)1m+T(am)2,5- 5cm, SS(an)1m	I I I I
23	4-1	- -	- -	15m 15m	0,15	8-24	SS(ep)1- 1,5m+T(am)10-15cm SS(an)1- 1,5m+T(am)5-10cm	I, II, III I
24	4-1	-	-	30m 30m	0,15	18-46	SS(eo)1- 1,5m+T(am)15-30cm SS(ep)1- 1,5m+T(am)10-15cm	I I, II, III

Табела 27. Подграда за стијенску масу врло лошег квалитета (Q 1,0-0,1)

Категори- ја подграде	Q	Условни фактори			P (Mpa)	Распон ESR(m)	Тип подграде	Напомена
		RQD/In	Ir/Ia	ESR				
25	1,0- 0,4	10 10	0,5 0,5 0,5	- -	0,225	1,5-4,2	SS(an)1m+zm SS(an)1m+T(am) 5cm, SS(ep)1m+T(am)5cm	I I I
26	1,0- 0,4				0,225	3,2-7,5	SS(ep)1m+T(am)5- 7cm; SS(an)1m+T 2,5-5cm	IV, V I
27	1,0- 0,4			12m 12m 12m 12m	0,225	6-18	SS(ep)1m+T(am)7,5- 10cm; SS(an)1m+T(am)5- 7,5cm; LBL20- 40cm+SS(ep)1m T(am)10-20cm+ss(ep)1m	I I IV, V IV, V
28	1,0- 0,4			30m 20m 30m 20m	0,225	6-18	SS(ep)1m+T(am)30-40cm SS(ep)1m+T(am)20-30cm SS(ep)1m+T(am)15-20cm LBL(a)30- 100cm+SS(ep)1m	I, III I, II I, II III, IV, V
29	0,4- 0,1	5 5	0,25 0,25		0,3	1,0-3,1	SS(an)1m+T2-3cm SS(an)1m+T(am)5cm	

			0,25				SS(ep)1m+T(am)5cm	
30	0,4-0,1	5 5			0,3	2,2-2,6	SS(ep)1m+2,5-5cm T(am)7,5-25cm SS(ep)1m+T(am)5-7,5cm	VIII, IV, V
31	0,4-0,1	4 4 1,5 1,5			0,3	4-14,5	SS(ep)1m+T5-12,5cm T(am)7,5-2,5cm LBL20-40cm+SS(ep)1m LBL(a)30-50cm+SS(ep)1m	V IV, V
32	0,4-0,1			20m 20m	0,3	11-34	SS(ep)1m+T(am)40-60cm SS(ep)1m+T(am)20-40cm LBL(a)40-120cm+ss(ep)1m,	II, III, V IV, II, III, V III, IV, V

Табела 28. Подграда за стијенску масу изузетно слабог и посебно слабог квалитета

Категорија подграде	Q	Условни фактори			P (Мпа)	Распон ESR(m)	Тип подграде	Напомена
		RQD/ln	Ir/Ia	ESR				
33x	0,1-0,01	2 2	-	-	0,6	1,0-3,9	SS(ep)1m+T(am)2,5-5cm; T(am)5-10cm; T(am)7,5-15cm	IV
34	0,1-0,01	2 2	0,25 0,25 0,25		0,6	2,0-11	SS(ep)1m+T(am)5-7,5cm; T(am)7,5-15cm; T(am)15-25cm; LBL(a)20-60cm+SS(ep)1m	IV, V
35	0,1-0,01			15m 15m 15m 15m	0,6	6,5-28	SS(ep)1m+T(am)30-100cm; LBL(a)60-200cm+SS(ep)1m; SS(ep)1m+T(am)20-75cm; LBL(a)40-150cm+SS(ep)1m	II, V IV II, V V, II IV, V, II
36	0,01-0,001	-	-	-	1,2	1,0-2,0	T(am)10-20cm T(am)10-20cm+SS(ep)0,5-1,0m	VIII, IV, IX, V
37	0,01-0,001				1,2	1,0-6,5	T(am)20-60cm T(am)20-60cm+SS(ep)0,5-1m	IV, V

38	0,01- 0,001			10m 10m 10m 10m	1,2	4,0-20	LBL(a)100-300cm LBL(a)100-300cm +SS(ep)1m T(am)70-200cm+ SS(ep)1m	IV, II, V IV II, V
----	----------------	--	--	--------------------------	-----	--------	---	--------------------------

Скраћенице у табелама:

PS - појединачно сидрење

SS - систематско сидрење

(an) - адхезиона непреднапрегнута сидра

(ep) - експанзиона преднапрегнута сидра

T - торкрет или прскани бетон

(am) - појачан арматурном мрежом

(zm) - заштитна мрежа

LBL - ливени бетонски блок

(a) - армиран.

Дужина сидара код наведених подграда одређује се на основу обрасца:

$$L = 2 + 0,15 B/ESR$$

Гдје је: B - ширина ископа.

Класификација стијенске масе по Бартону Н. и другим, доживјела је неколико корекција кодфактора редукције напона SRF.

9.5.3. RMR класификација стијенске масе или класификација Bieniawski^[10]

RMR класификацију стијенске масе Биениавски је примјенио на класификацију коју је предложио Лауфер, да би инжењерима који користе RMR класификацију олакшао избор подграда и саме конструкције.

Табела 29. RMR класификација

ПАРАМЕТАР	ВРИЈЕДНОСТ ПАРАМЕТРА
-----------	----------------------

	ЧВРСТОЋА НЕИСПУЦАЛЕ СТИЈЕНЕ	Индекс тачкастог Оптерећења I_s (Мра)	>8	4-8	2-4	1-2	За овако мале вриједности пожељан је тест једно- Аксиалне чврстоће на притисак		
		Једнооксијална чврстоћа $\beta_p M_{ра}$	>250	0- 250	50- 100	25- 50	0-25	3-10	<3
	Вриједност RMR-a ₁		15	12	7	4	2	1	0

2	Индекс квалитета језгра RQD%	90-100	75-90	50-75	25-50	<25
	Вриједност RMR-a ₂	20	17	13	8	3

3	Распрострањеност пукотина	>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	6-20cm	<6cm
	Вриједност RMR-a ₃	20	15	10	8	5

4	Стање пукотина	Врло храпаве пукотине, неконтину иране, неразмакн -уте, чврсти зидови пукотина	Умјерено храпаве Раздвојено ст <1mm Чврсти зидови пукотина	Умјерено храпаве пукотине Раздвојен ост <mm Меки зидови пукотина	Углачане пукотине или испуна дебљине <5mm или отворене пукотине 1- 5mm Контину- иране пукотине	Мека испуна дебљине >5mm или отворене пукотине >5mm Континуи ране пукотине
	Вриједност RMR-a ₄	30	25	20	10	0

5	Утицај подземне воде	Прилив воде на дужини тунела од 10m	Без прилива	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min
		$\rho_w/\sigma_i^{\max}$	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5
		Општи услови	Потпуно сува пукотин а	Само влажна пукотин а	Натопљена пукотина	Вода капље	Вода тече из пукотин а
	Вриједност RMR-a ₅		15	10	7	4	0

6	Правац пружања и залијегања пукотина		Врло повољан	Повољан	Задово- љавајући	Непово- љан	Врло повољан
	Вриједност	Тунели	0	-2	-5	-10	-12

	RMR-a ₆	Темељи	0	-2	-7	-15	-25
		Косине	0	-5	-25	-50	-60

Табела 30. Утицај оријентације пукотина у односу на осу тунела

Правац пружања пукотина управан на осу тунела				Правац пружања пукотина паралелан оси тунела		Залијегање 0° – 20°
Угао залијегања у односу на правац напредовања тунела						
У правцу		Супротан правац				
45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	45°-90°	20°-45°	Независно одправца пружања
Врло повољан	Повољан	Задовољавајући	Неповољан	Врло неповољан	Задовољавајући	Неповољан

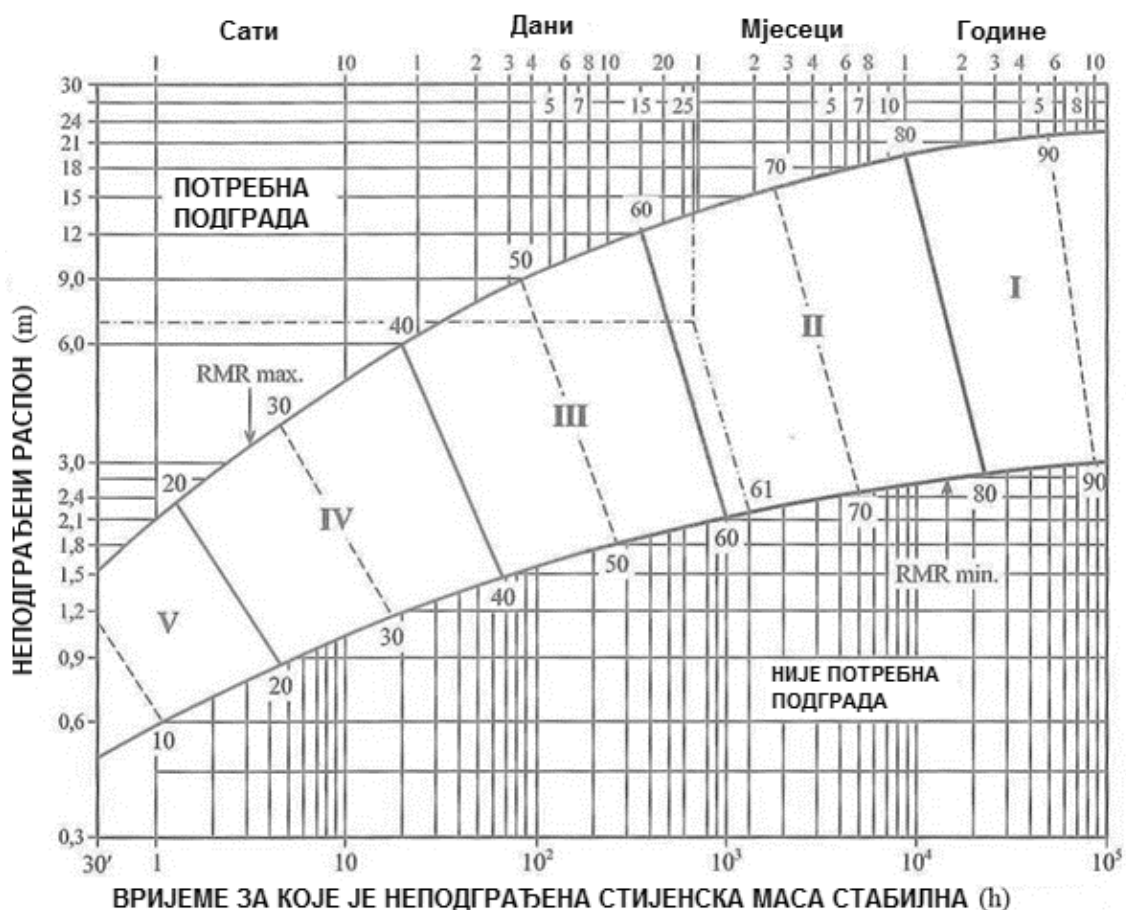
Табела 31. Класификација стијенских маса на основу збирне оцјене

Збирна вриједност RMR-a	100-81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Класа	I	II	III	IV	V
Опис	Врло добра стијена	Добра стијена	Задовољавајућа стијена	Слаба стијена	Јако слаба стијена

Табела 32. Значење категорије стијенске масе у односу на угао унутрашњег трења ϕ и кохезију c и вријеме стабилности неподграђеног отвора

Кохезија стијенске масе C (kPa)	> 300	200 - 300	150-200	100-150	< 100
Угао унутрашњег трења Стијенске масе ϕ°	>45°	40° - 45°	35° - 40°	30° – 35°	< 30°
Просјечно вријеме стабилности неподграђеног отвора	10 година за отвор распона 10m	6 мјесеци за отвор распона 4m	1 недеља за отвор распона 3m	5 сати за отвор распона 1,5m	10 мин. За отвор распона 0,5 m

За одређивање времена стабилности неподграђеног подземног ископа у функцији распона и категорије стијенске масе (RMR поена) служи дијаграм дат на следећој слици.



Сл. 82.: Дијаграм за одређивање времена стабилности неподграђеног подземног ископа у функцији распона и категорије стијенске масе^[7]

Табела 33. Преглед радова на ископу и подграђивању у зависности од категорије стијенске масе по геомеханичкој класификацији стијенских маса - RMR систем^[7]

Категорија стијенске масе RMR	Ископ	Врста подградне конструкције и параметри уградње		
		Сидра (ф20mm, адхезиона)	Торкрет	Челични лукови
I Врло добра стијена RMR 81-100	Ископ цијелог профила напредовање од 1,5-3 Неподграђено највише од 20m до чела ископа	У овим стијенским масама није потребна подграда, осим локалног појединачног сидрења		
II Добра стијена RMR 61-80	Ископ по фазама, напредовање од 1,5-3m у своду. Подграђивати након сваког напредовања ископа. Неподграђено највише 10 m	Локално сидрење у своду дужине 3m на растојању од 2,5 m уз мјестимичну примјену челичне мреже	50 mm на своду гдје је потребно	Нису потребни
III Повољна стијена RMR 41-60	Ископ по фазама, напредовање од 1,5-3m у своду. Подграђивати након сваког напредовања ископа. Неподграђено највише 10 m	Системско сидрење у своду у боковима дужине 4m, на растојању од 1-1,5m. Обавезна је примјена челичне мреже	50-100mm на своду и 30mm на боковима	Нису потребни
IV	Ископ по фазама.	Системско сидрење	100-150mm	Лаки до

Лоша стијена RMR 21-40	Напредовање од 1 -1,5m у своду. Постављање подграде истовремено са ископом	у своду и боковима дужине 5m на растојању од 1-1,5m. Обавезна је примјена челичне мреже	на своду и 100mm на боковима	средњи лукови, на мјестима гдје је потребно на растојању од 1,5m
V Врло лоша стијена RMR<21	Ископ са више чела. Напредовање од 0,5-1,5m. Постављање подграде истовремено са ископом, уз обавезно торкретирање након минирања	Систематско сидрење у своду и боковима дужине 5-6m, на растојању од 1-1,5 m. Сидрити и подножични свод. Обавезна је примјена челичне мреже.	150-200mm на своду и 150mm на боковима	Средњи до тешки лукови на растојању од 0,75m са челичним елементима изведеним напреду своду. Затворен подножни свод

9.5.4. Класификација по Мариносу В. (еоценски флишни седименти)^[38]

Флишна стијенска маса представља специфичну геолошку средину, која је настала у условима спрегнутог односно копненог режима и постојања седиментационог басена. Наиме површински токови и ерозија стијенских маса у копненом појасу, односно принос материјала у седиментациони басен, уз тектонске активности, допринио је формирању литолошки хетерогених стијенских маса, које се састоје од ритмичког смјењивања конгломерата, кречњака, пјешчара, лапораца а у еоценском флишу и силтита.

Ова студија, односно слободно можемо рећи класификација, заснива се на искуствима стеченим пројектовањем и изградњом 62 двострука (двоцијевна) планинска тунела на аутопуту Егнатија у Сјеверној Грчкој. Попречни пресјек ових тунела је 100 - 120m², а изграђени су класичним начином градње тунела. У том контексту направљена је база података подназивом „*Tunnelinformation and Analysis System*“ (Подаци о тунелима и систем за анализу) TIAS (Marinos, 2007. и Marinos и други, 2013).

Развој микрорачунара и програма који су лаки за употребу подстичу потражњу за подацима о својствима стијенске масе, који су неопходне улазне информације за нумеричке анализе или математичка рјешења за пројектовање тунела. Ова потреба је предходила низу различитих класификација стијенске масе, а геолошки индекс чврстоће (GSI) је једна од таквих класификација. Ноек-Броунов критеријум лома (Hoek и други, 2002), је уско повезан са геолошким индексом чврстоће и покрива широк

спектар геолошких услова који утичу на квалитет стијенских маса, укључујући и меке стијенске масе (Hoek и други, 1998). Hoek (1994) је први пут увео GSI као алат за овакве процјене, а потом су Хоек и Маринос (2000) развили овај систем. Маринос и други (2005) су додатно размотрили примјене и ограничења овог система класификације.

Маринос и Hoek (2001) су додатно проширили систем GSI на хетерогене стијенске масе као што је флиш, а потом су Маринос и други (2007, 2011) измјенили овај систем прилагођавањем вриједности и додавањем нових типова стијенске масе. Тиме је формација еоценског флиша класификована у 11 типова стијенске масе (I-XI) према омјеру силтита и пјешчара и њиховим тектонским поремећајима. Стога је представљен дијаграм GSI за хетерогене стијенске масе као што је флиш, са предложеним распоном вриједности геолошког индекса чврстоће за сваки тип стијенске масе.

Основни улазни подаци за Hoek-Brown-ов критеријум лома, осим вриједности геолошког индекса чврстоће, су једноаксијална чврстоћа на притисак [σ] и материјална константа [m_i] која је повезана са својствима трења непоремећене стијенске масе. Осим тога да би израчунао модул деформација стијенске масе E_{pm} , Hoek и Diederichs (2006) су предложили нову формулу, која укључује модул деформабилности непоремећене стијенске масе E_i , вриједност GSI и фактор оштећења D , у зависности од методе ископавања или карактеристичних дисконтинуитета у стијенској маси.

Вриједности карактеристичних геотехничких параметара који би могли превладати за сваки од типова флишне стијенске масе (I - XI) су представљени у следећој табели:

Табела 34. Вриједности карактеристичних геотехничких параметара

Тип флиша	GSI	σ (MPa)	m_i	E_i (GPa)	σ_m (MPa)	E_m (GPa)
I	65	40	17	10	12	7
II	60	15	7	3	3	1,5
III	55	40	17	9	10	3,5
IV	50	23	10	5,5	4	1,5
V	45	18	8	4	2,5	0,9
VI	40	15	7	3	1,7	0,5
VII	35	23	10	5,5	2,5	0,6
VIII	25	18	8	4	1,5	0,25
IX	30	22	9,5	5,2	2	0,4
X	20	15	7	3,3	1	0,15

XI	15	<10	6	2	0,5	0,08
----	----	-----	---	---	-----	------

Гдје је:

GSI - геолошки индекс чврстоће

σ - једнооксијална чврстоћа на притисак

m_i - материјална константа

E_i - модул деформабилности непоремећене стијенске масе

σ_m - једнооксијална чврстоћа на притисак поремећене стијенске масе

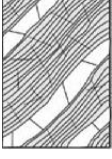
E_m - модул деформабилности поремећене стијенске масе.

Ове вриједности су добијене помоћу програмске апликације Roclab. Оне су само индикативне, јер не могу замјенити детаљна испитивања и инжењерску процјену, која је неопходна за сваки пројекат појединачно у зависности од специфичности одређене локације.

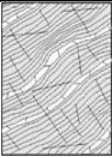
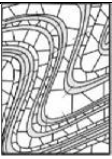
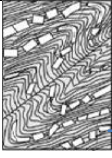
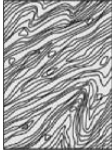
Геолошки индекс чврстине (GSI) за хетерогене стијенске масе као што је флиш^[38]

Хетерогене стијенске масе су масе са наизмјеничним слојевима видљиво различитих литолошких типова са значајним разликама њихових својстава чврстине. Код флиша, типичне формације са хетерогеним стијенским масама, ови наизмјенични слојеви се састоје од пјешчара и силтита. Могуће је и присуство глинаца и глиновитих шкриљаца.

Табела 35. Стање површине дисконтинуитета

		СТАЊЕ ПОВРШИНЕ ДИСКОНТИНУИТЕТА (ПОВРШИНЕ СЛОЈЕВИТОСТИ)				
		ВРЛО ДОБРО Врло храпаве, свјеже и недеформисане површине.	ДОБРО Храпаве, незнатно деформисане површине.	ПОВО-ЉНО Глатке, умјерено деформисане и измијењене површине.	ЛОШЕ Веома глатке, мјестимично углачане површине сазбијеним наслагама или испунама саугластим фрагментима.	ВРЛО ЛОШЕ Веома глатке, углачане или веома деформисане површине са наслагама или испунама од меке глине.
СТРУКТУРА И САСТАВ		СМАЊЕЊЕ КВАЛИТЕТА ДИСКОНТИНУИТЕТА →				
	Тип I: Непоремећена стијенска маса, дебљи или средњи слојеви пјешчара са спорадичним тањим слојевима силтита. У плитким тунелима или падинама, гдје је ограничење лоше, модел лома има кинематички карактер, условљен површинама слојевитости и GSI је безначајан.	80 70	I	II	N / P	N/P
	Тип II: Непоремећени масивни силтит (површине раслојавања су неprimјетне) са спорадичним танким међуслојевима пјешчара. → Тип V  → Тип VI 					
	Тип III: Умјерено поремећени пјешчар са танким међуслојевима силтита.	60	III	IV	V	VI
	Тип IV: Умјерено поремећена стијенска маса са једнаким омјером пјешчара и силтита. → Тип VII 					
	Тип V: Умјерено поремећени силтит са међуслојевима пјешчара. → Тип VIII 					
ДЕБЉИНА СЛОЈЕВА ПЕШЧАРА ~50 cm ↑						

→ **Тип IX** 

	Тип VI: Умјерено поремећени ситит са ријетким међуслојевима пјешчара.			50			
	Тип VII: Веома поремећена, наборана стијенска маса која је задржала своју структуру, са једнаким омјером пјешчара и ситита.	N / P			40	VII	VIII
	Тип VIII: Веома поремећена, наборана стијенска маса, са међуслојевима ситита и пјешчара. Маса је задржала своју структуру, а деформације (смицања) нису интензивне.				30		
	Тип IX: Дезинтегрисана стијенска маса, која се може наћи у ширим зонама расједа или/и израженог распадања (трошења). Овај тип масе се углавном састоји одкртог материјала, са малим удјелом ситита између комада стијена.	N / P			IX	20	X
	Тип X: Шејл ситита или глине, тектонски деформисан интензивним борањем или расједом, са поломљеним и деформисаним слојевима пјешчара, који формирају хаотичну структуру.						
	Тип XI: Глиновити алевролити или глине, тектонски деформисан интензивним смицањем, формира хаотичну структуру са джеповима глине. Танки слојеви пјешчара су трансформисани у мање комаде стијена. Крајњи резултат је да се стијенска маса понаша као тло.	N / P	N / P			XI	10

Одаберите поље на претходном графикону према опису литологије, структуре и стању површине дисконтинуитета (нарочито површине слојевитости). Одаберите структуру на основу тектонских поремећаја (непоремећена, благо поремећена, веома поремећена - наборана, дезинтегрисана, поломљена смицањем), омјера ситита и пјешчара и изражености раслојавања у слојевима ситита. Код типова IV и V, гдје дебљина слојева пјешчара прелази 50 см, препоручује се увећање вриједности GSI за 5. Од типа IV па надаље, површине раслојавања су видљиве у маси ситита. Одредите положај у графикону који одговара условима и процијените просјечну вриједност GSI из изохипси (контура). Одређивање структуре и стања дисконтинуитета може варирати између два сусједна поља на графикону. Имајте у виду да Ноек-Броу-нов критеријум лома није примјењив на структурално условљене ломове. Уколико постоје неповољно оријентисани непрекидни дисконтинуитети у слабир површинама, ти дисконтинуитети ће условљавати понашање стијенске масе. Чврстина појединих типова стијенске масе може бити смањена

присутвом подземних вода и то ће се узети у обзир незнатним помјерањем на десну страну у пољима на графикону за повољне до лоших и врло лоших услова. Притисак воде не мијења вриједност GSI и рјешава се примјеном ефективне анализе напрезања.

10. ГЕОТЕХНИЧКИ УСЛОВИ ГРАЂЕЊА БРАНА И МОГУЋНОСТИ ФОРМИРАЊА АКУМУЛАЦИЈА У ФЛИШУ

10.1. Историјат грађења брана у свијету и код нас

Грађење брана и формирање акумулација јако дубоко сеже у људску историју. Од старих Египћана, око 2900 године прије н.е. када је грађена брана „Сад ел-кафара“, преко старог Вавилона, када је на ријеци Тигрис изграђена брана Мардук (2000 година прије н.е.). Ово је била насута земљана брана и трајала је више од 3000 година. Стари Римљани су саградили велики број брана, које су углавном служиле за водоснабдијевање околних градова, али и за наводњавање пољопривредних површина. Најстарија брана коју су стари Римљани градили била је на територији данашње Шпаније, брана „Аликантарилла“. На подручју данашње Турске Римљани су саградили бране „Орикају“ у близини данашње Анкаре и брану „Кавдархисар“ недалеко од Истамбула. То су камене бране чија је висина била 16 метара код прве и 7 метара код друге.

У Индији су саграђене бројне земљане бране. Око 350 године н.е. саграђена је брана „Велики Аникум“ на ријеци Каувери, за потребе наводњавања пољопривредног земљишта. Та брана и данас постоји.

На подручју Византије изграђено је низ брана за водоснабдијевање великих градова. У околини Константинопоља (Цариград) изграђено је 8 брана.

На подручју Кине је око 833 године н.е. изграђена земљана брана Ташањан (Tashanuan), висине 27 метара, на ријеци Чанг Кси (Zhang Xi). Ова брана је још увијек у функцији и воде из њене акумулације и данас служе за наводњавање.

У Шпанији, најстарија сачувана брана изграђена је у периоду арапске владавине Иберијским полуострвом на ријеци Гвадалкивир, у близини Кордобе. Саграђена је око 900 године н.е.

У Персији (Иран), је око 960 године н.е. саграђена зидана камена брана Банд-и-Амир на ријеци Кур. Брана је висока 9 метара, дуга 157m, а у круни је широка 27 метара. Ова брана је и данас у функцији.

У Јапану за потребе наводњавања и водоснабијевања у првих 15 вијекова нове ере изграђено је много земљаних брана чија висина прелази 15 метара.

У Европи најстарија сачувана брана, која је продукт хришћанског градитељства је брана Куба. Ова брана је првобитно била висине 29 метара па је касније надограђена још један метар. Њена дужина је 85 метара.

Предходно наведене бране су углавном насуте (земљане и зидане каменом) гравитационог типа, односно оне које својом физичком масом заустављају водотокове и формирају вјештачке акумулације.

Прва лучна брана (најстарија од сачуваних) саграђена је око 1300 године у данашњем Ирану, недалеко од Техерана, на ријеци Кебер. Брана је висока 26 метара, са дужином у круни 55 метара.

Прва лучна брана на тлу Европе изграђена је у Шпанији 1384. године. Брана Алманса била је висока 14,5 метара. Такође у Шпанији на ријеци Монегре изграђена је 1594. године брана Аликанте, од ломљеног камена са малтером. Висина бране била је 41 метар, а дужина 80 метара. Темељна ширина 34 метра а ширина у круни бране 20,5 метара.

У Италији је 1613. године саграђена брана „Понте Алто“. Била је висока 5 а широка 2 метра, Након више пута надограђивања данас та брана има висину 38m.

Прва велика брана у Њемачкој, саграђена је између 1714 -1721 године. Брана „Одертајх“ је била висока 22m, дуга 151m, у темељу широка 44m а у круни 16 метара.

Почетком 20 вијека у Америци је саграђено више високих брана. Брана „Чисмен“ (*Cheesman*) у савезној држави Колорадо, саграђена је 1904. године, била је висока 74 м, брана „Бафало Бил“ (*Buffalo Bill*), саграђена је 1910. г. и била је висока 99 метара. Само неколико година касније саграђена је лучно-гравитациона брана „Ароурок“ висине 107 метара.

У Канади су саграђене двије врло високе бране: вишелучна брана „Данијел Џонсон“ са 13 лукова, висине 214 метара саграђена је 1968. године, и земљана насута брана „Мика“ (Миса), висине 242 метра, саграђена је 1973. године.

Најстарија сачувана брана на некадашњим нашим просторима је брана „Клиње“ на ријеци Мушници недалеко од Гацка. Висока је 26,4 м и дугачка у круни 104,5 м. саграђена је дијелом од тесаног камена у пуцоланском малтеру, са стопом од бетона

дебљине 60 цм. У вријеме грађења 1897. године била је седма по висини у свијету. Ова брана је лучног типа и првобитна њена намена је била наводњавање гатачког поља.^[26]

У току 20 вијека на подручју бивше Југославије изграђен је велики број брана како за потребе наводњавања одређених пољопривредних површина, затим за водоснабдијевање неких градова, тако и за потребе производње електричне енергије. Сасвим оправдано се може рећи да је ова област грађевинарства послје другог свјетског рата на просторима бивше Југославије доживјела експанзију, те да је изграђен веома велики број како насутих тако и бетонских брана. С пуном оправданошћу се може рећи да хидроградња у бившој Југославији пратила најсавременија техничка и технолошка достигнућа у тој области. Такође треба нагласити да се искључиво ослањала на домаће стручне снаге, које су својим градитељским умијећем, парирали најбољим стручњацима свијета у тој области.

10.2. Врсте брана

Класификација брана може да се изврши на више начина у зависности од тога која се карактеристика узима као основ за класификацију. Бране се најчешће дијеле према својој грађевинској висини, затим према врсти материјала од којих су саграђене, те према својим конструктивним карактеристикама.

Према **висини** бране се дијеле на **високе и ниске**. Према међународној дефиницији у високе бране спадају све оне код којих је грађевинска висина већа од 15 метара, као и оне бране више од 10 метара а чија је дужина у круни већа од 500 м.^[26]

Према врсти материјала бране се дијеле на: **насуте, камене (зидане) и бетонске**.

Насуте бране, према врсти материјала од кога су изграђене, као и од начина уградње тог материјала, могу бити **насуте камене бране** од ломљеног камена са глиненим језгром и водонепропустљивим екраном (површином на тијелу бране која је у директном контакту са водом-акумулацијом), **насуте бране - земљане** од пјесковито-глиновитог материјала. Комбинација материјала који се у уграђује у камене и земљане бране, такве бране зовемо **мјешовитим насутим бранама**.^[26]

Бетонске бране у зависности од њихових конструктивних карактеристика, односно према начину на који се оне супротстављају силама водене масе које оне заустављају, дијеле се на гравитационе, лучне и контрафорне.

Гравитационе бране су оне које се својом сопственом тежином супротстављају воденом притиску и његову тежину преносе на подлогу. Оне имају знатну тежину и велику отпорност на смицање у подлози. У ову групу брана спадају масивне и олакшане бетонске бране, камене (насуте и зидане) као и земљане насуте бране са глиненим језгром. Због оптерећења које ове бране преносе на подлогу, граде се на чврсто везаним каменитим или полукаменитим стијенским масама.

Лучне бране се граде од армираног бетона у виду лука, при чему се силе притиска воденог стуба преносе на бокове бране. Ти притисци могу бити јако великог интензитета. Овакве бране граде се на водотоцима са уским ријечним долинама углавном у кањонима и клисурама и њихова стабилност зависи од стабилности падина у ријечној долини.

Контрафорне бране су у суштини бране комбинованог типа. Оне преграђују ријечну долину армирано-бетонским конструкцијама праволинијског или лучног облика, који су са низводне стране подупрти вертикалним масивним контрафорима који управо одређују стабилност бране у цјелини.^[26]

10.3. Значајни фактори који утичу на градњу брана

Прву фазу приликом одређивања локације за градњу бране представља истраживање терена. Почетна истраживања подразумјевају прије свега сагледавање морфолошких, геолошких, инжењерскогеолошких, геодинамичких, хидрогеолошких и еколошких својстава терена. Важно је проучити и економске факторе. У прошлости смо имали више примјера гдје недовољна проученост терена, као и подцјењивање појединих чинилаца, обесмислило је градњу саме бране.

Према Луковићу М. Т. “пресудни фактори који утичу на избор врсте објекта, односно бране су носивост терена, могућност смицања бране, водопропусност стијенских маса, локална налазишта грађевинских материјала и сеизмичност терена. Бране су хидротехничку објекти који изазивају велико оптерећење на стијенске масе у којима се граде, првенствено у темељном дјелу, али свакако изазивају и додатно оптерећење у бочним предјелима. Евентуалним прекорачењем носивости долази до лома стијена или повећаног степена деформација, што изазива слијегање стијена испод темеља, са посљедицама које могу бити врло штетне са аспекта стабилности бране. Због тога је прије градње бране неопходно извршити детаљну анализу слијегања и

носивости терена, у условима додатног оптерећења, с циљем избора типа бране, као и одређивања њених димензија”.^[36]

Смицање услед оптерећења могуће је као помјерање бране у темељном дијелу, или чешће тијела бране са једним дијелом стијенске масе на који је утемељена у њеној подлози или у боковима. Смицање у боковима карактеристично је за лучне бетонске бране, с обзиром да се код овог типа бране напони од оптерећења воденог стуба преносе на њене бокове. Ово је један од најчешћих узрока рушења брана.

Код преливних брана, као последица еродовања темељног дијела радом преливних вода може доћи до смицања бране и њеног рушења.

Провирање воде испод тијела бране, осим економског губитка, може представљати и реалну опасност по стабилност саме бране. Овакве појаве су честе у карстним теренима.

Сеизмичност терена представља један од врло битних фактора када је у питању избор типа бране која ће се градити. Терени са степеном сеизмичност преко IX MKS нису препоручљиви за градњу брана и формирање акумулација. За терене са степеном сеизмичности између VI и IX MKS, за повратни период од 500 година, обавезно се у статичким прорачунима узима коефицијент сеизмичности K_s (0,025; 0,05 и 0,1).

Морфолошки фактори представљају битне чиниоце приликом одређивања мјеста на коме ће бити лоцирана брана (преградно мјесто). Најпожељнији су уски, стрми профили, изграђени од квалитетних чврстих стијенских маса, у којима се може градити одговарајући тип бране. Карактер профила на евентуалном преградном мјесту одређује тип бране.

Терени изграђени од седимената дурмиторског флишног комплекса, одликују се морфолошком разуђеношћу, изразито суженим ријечним долинама и веома стрмим падинама, на којима су развијене савремене форме рељефа настале ерозионо-денудационим и мјестимично глацијалним процесима. Овакав морфолошки склоп резултат је узајамног дјеловања неотектонског процеса издизања с једне стране и интезивног преиначавања примарних морфолошких облика, прије свега радом сталних и повремених водених токова са друге стране. Подручје које изграђују седименти дурмиторског флиша, одликује се великом количином падавина, и веома слабом водопропусношћу терена, тако да се формирала веома развијена мрежа бројних сталних и повремених токова. Линијска ерозија је знатно израженија од површинске денудације приликом усјецања и формирања водотока, тако да се у нивоу ерозионог базиса, због бржег усјецања корита, подлокавања подинског ослонца и подсјецања

падине, стварају повољни услови за појаву и развој гравитационих процеса, ради успостављања нарушене равнотеже.

Сужене ријечне долине, са стрмим странама су карактеристичне за дурмиторску флишнуну формацију. У таквим условима углавном се граде лучне бране (брана Клиње на ријеци Мушници код Гацка, камена зидана брана, 1897).

У ширим ријечним долинама (брана Врба, за потребе ТЕ Гацко), гдје имамо симетричне долирске стране, граде се гравитационе бране, било да су бетонске или насуте камене. Код насutih брана основна стијенска маса, односно подлога бране, може бити и лошијег квалитета, јер широка стопа код таквих брана преноси оптерећење назнатно већу површину подлоге. И код једне и код друге бране залеђе није било у могућности да формира значајније акумулације воде.

Геолошки фактори обухватају сагледавање литолошког састава као и структурних својстава терена, односно начин појављивања, испуцалости стијенских маса као и њихових структурних особина.

“У погледу литолошког састава, као најважнијег чиниоца, најповољнији су терени хомогене грађе, поготово када стијенске масе које их граде имају повољна структурна својства као и физичко-механичка својства. Зависно од услова на терену, попречног пресјека ријечног корита, тако и и литолошки састав и физичко-механичка својства стијенских маса пресудно утичу на избор типа бране која ће се градити. Наизмјенично смјењивање стијена различитог литолошког састава у подлози бране, може довести до појаве неравномјерног слијегања, а различита водопропустљивост литолошких чланова може довести до концентрисане филтрације, што у току дужег временског периода олакшава водозасићеност стијенске масе, њихово распадање и дезинтеграцију, стварајући претпоставке за веће губитке воде из акумулације”.^[26]

Начин залијегања стијенских маса како на преградном профилу, тако и на ободним дијеловима акумулације, значајно утичу на носивост подлоге као и на стабилност бокова бране и косина које окружују акумулацију.

Најповољнију средину за темељење бране представљају камените масивне стијенске масе које се одликују слабом водопрпусношћу. Присуство руптурних облика у тавим стијенама (расједи и пукотине) у значајној мјери отежава градњу бране. У зависности од степена испуцалости стијенске масе, неопходна су додатна истраживања и испитивања с циљем да се квалитетан начин дефинише радна средина, те да би евентуалне санационе мјере биле на вријеме предузете

Када су у питању слојевите стијенске масе, најповољнији положај, како за градњу бране, тако и за формирање акумулације, је када слојеви падају узводно, односно супротно од правца кретања водотока. Такође, у овом случају нема провирања воде како испод тијела саме бране тако ни њеним боковима. Значајно неповољнија ситуација је када слојеви падају у смјеру тока ријеке.

Када је у питању стабилност косина на ободу акумулације најповољнији случај када слојеви падају од акумулације према косине, а најнеповољнији положај представља стрми пад слојева према акумулацији. У такви случајевима готово је немогуће избјећи нарушавање стабилности падине, односно формирање клизишта и покретање стијенске масе ка акумулацији.^[26]

Изградња брана у растреситим и слабевезаним стијенама је доста сложенија, Углавном су у питању равничарски ријечни токови који се одликују веома широким ријечним долинама.

У седиментима дурмиторског флишног комплекса изграђене су двије бране у близини Гацка са релативно малим акумулацијама. Преградно мјесто бране Клиње је лоцирано у седиментима другог суперпозиционог пакета ($^2K_2^3$), док је акумулација формирана у терену који изграђују седименти трећег пакета ($^3K_2^3$). Брана Врба је изграђена за потребе водоснабдијевања термоелектране Гацко и лоцирана је у терену који изграђују седименти трећег суперпозиционог пакета дурмиторске флишне серије.

И други и трећи пакет флишног комплекса представљају преталожене кречњачке седimente представљене слојевитим кречњачким бречама и слојевима кречњака ($^2K_2^3$), те слојевитим бречама и кречњацима са слојевима лапорца ($^3K_2^3$). Процес картификацијеније у значајнијој мјери није захватио ове седimente, те не представља значајнији проблем када је била у питању градња самих брана, али и кад је у питању вододрживост акумулација.

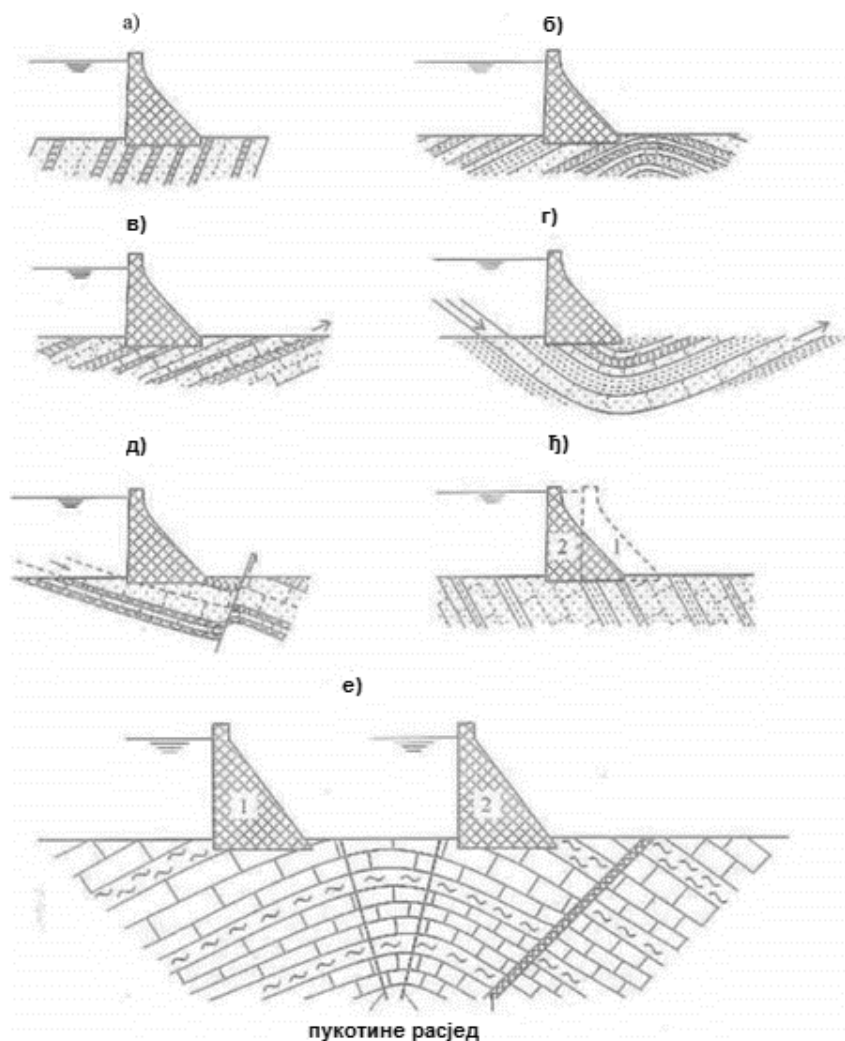
Литолошки чланови у оквиру дурмиторског флишног комплекса, се значајно разликују по чврстоћи, водопропустљивости, понашању према откопавању. Преталожени кречњачки сеименти (слојевите брече и конгломерати) и слојеви кречњака представљају статички сигурну подлогу за изградњу високих бетонских брана. Алевролити, лапорци и глинци представљени су танким слојевима у оквиру трећег, четвртог и петог суперпозиционог пакета и представљају водонепропусну средину.

Геодинамички процеси су значајни за градњу брана и формирање акумулација, поготово када су у питању ријечне долине са уским попречним профилима. Неопходно

је дефинисати врсту геодинамичког процеса, његову активност, просторни положај, као и могућност евентуалне санације, ако ти процеси угрожавају брану и акумулацију.^[26]

Свакако најприсутнији је флувијални процес, гдје је неопходно проучити карактер постојећег процеса, као и резултате ранијих дешавања (ерозионих и акумулационих). Изградњу бране у суженим дијеловима корита, веома је отежана због интензивног процеса еродовања ријечног корита, гдје се стварају дубоки жљебови (циновски лонци), у која се касније у периодима смањења водостаја депонује шљунак и пијесак. Ако је на тавим мјестима планирана градња брана, онда је неопходно њихово дубље темељење. Овакве појаве су карактеристичне за седименте дурмиторског флишног комплекса, мада треба напоменути да кроз ову формацију, осим ријеке Таре, не протичу већи ријечни токови.

Широке ријечне долине представљају идеалне услове за акумулирање наноса. Ове насlage ћесто могу бити значајних димензија. Приликом градње брана у оваквим условима неопходно је извршити одстрањивање наноса или у зависности од његове дебљине провести ињектирање, којим би се спријечило провирање воде испод тијела бране. Најповољнији случајеви за градњу брана су кад се брана гради у основној стијенској маси, без наноса или са малом количином депонованог материјала.^[26]

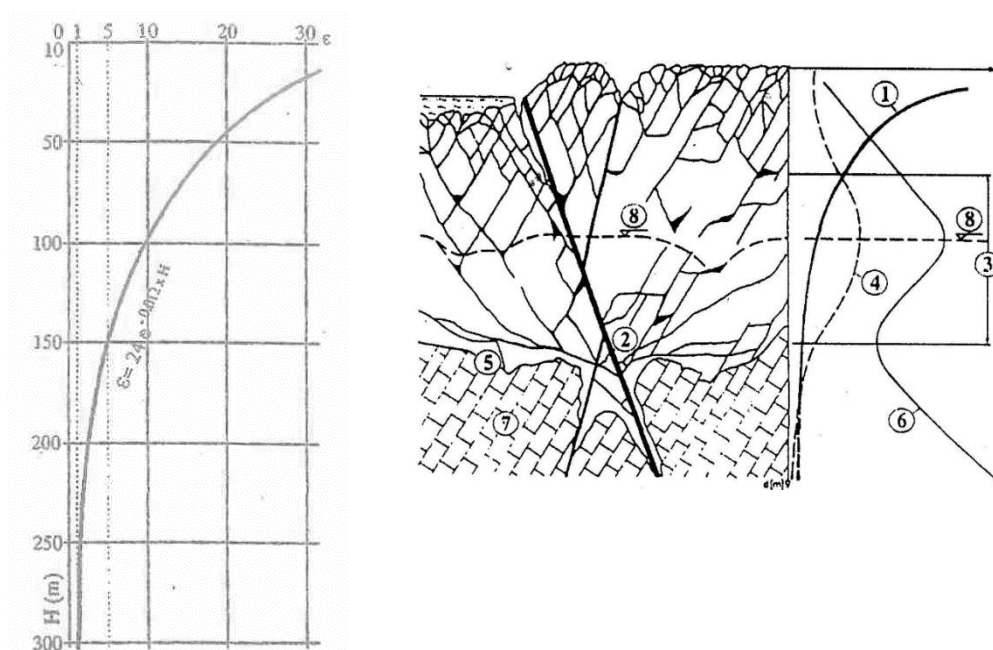


Сл. 83.: Утицај геолошких структура и састава на могућност губљења воде и стабилност бране^[26]: а) моноклина серија са стрмим узводним падом - повољан положај бране; б) повољан положај бране на крилу антиклинале са узводним падом; в) моноклина серија са благим падом уз ток ријеке - неповољан положај због могућности клизања бране по међуслојним површинама; г) синклинала – неповољан положај бране на крилу синклинале нагнутом у правсу тока ријеке; д) моноклина серија са благим падом низ ток ријеке, расједнута - неповољан положај због могућности губљења воде кроз пропусне стијене и дуж расједа; ђ) и е) утицај моноклине серије различито водопропустљивих стијена, са падом низ ток ријеке и антиклинале на микролоцирању бране: 1 - повољан положај и 2 - неповољан положај

Стабилност бочних падина, представља јако битан фактор приликом избора преградног мјеста. Када се ради о јако дубоким ријечним коритима, односно када је преградно мјесто лоцирано на мјестима гдје ријечне долине имају облик кањона, веома је тешко утврдити стабилност бокова. Приликом градње бране неопходно је водити максимално рачуна о непотребном нарушавању примарне стабилности терена у боковима.

Изградња брана у карсту, захтијева детаљнија истраживања када су у питању карстне активности на стварању површинских и подземних облика, као и дубина

карстификације. Карстна активност изражена је у зонама гдје се укршта више расједа и пукотина, при чему се на површини терена формирају површински карстни облици (вртаче и шкрапе) а у подземљу, подземни крашки облици (јаме, вигледи, каверне). Дубина карстификације је различита. На подручју источне Херцеговине анализу промјене карстификованости и водопропусности је у функцији дубине. Ова анализа^[39] базира се на резултатима бушења и испитивања водопропусности у преко 140 бушотина, на теренима са надморском висином од 200 до 1000 метара. Ови резултати шематски приказ су презентовани на следећем дијаграму^[39]:



Сл. 84.: Дијаграм промјене карстификације по дубини (лијево) и дубина карстификације, шематски приказ^[39]: 1 - промјена карстификованости са дубином, 2 - зона са базним токовима, 3 - зона осцилације нивоа подземне воде, 4 - дијаграм вертикалне дистрибуције активне карстне порозности, 5 - база карстификације, 6 - дијаграм електричног сондирања, 7 - некарстификована стијена, 8 - ниво подземне воде

Хидрогеолшке карактеристике

Водопропусност стијенских маса, од свих хидрогеолошких фактора, представља најзначајнију особину, када је у питању градња брана и формирање акумулација. Филтрација вода може да се одвија кроз седименте површинског покривача и кроз основну стијенску масу. За седименте дурмиторског флишног комплекса може се рећи да су углавном слабо пропусне до водонепропусне стијенске масе. У флишним седиментима на падинском појасу ниво подземних вода у зони површинског распадања (елувијално - делувијални покривач) док је у осталим квартарним седиментима

(алувијалне равни и ријечне терасе) директно повезан са нивоом воде у водотоку. Филтрација воде кроз алувијалне седименте, који су у смислу водопропустљивости анизотропни, може да се одвија и испод (ако алувијални седименти нису у потпуности скинути до основне стијенске масе у темељу бране) и око бране.^[26]

Филтрација воде кроз основну стијенску масу која се налази испод темеља бране и у њеним боковима, одвија се само кроз стијене склоне хемијском растварању под утицајем воде (кречњаци и доломити), као и сулфатне стијене које у својој кристалној решетци имају молекуле воде или су спремне да их приме (гипс и анхидрит). Карбонатне стијене, у зависности од положаја у структури стијенске масе некада могу бити и водонепропусне (доломити у акумулацији Билећа).

Флишни седименти, првог и другог суперпозиционог пакета, брече и конгломерати ($^1K_2^3$) и слојевите брече и кречњаци ($^2K_2^3$), представљају релативне хидрогеолошке колекторе који се одликују пукотинском порозношћу. У овим седиментним пакетима нема пукотина већих димензија са значајним континуитетом пружања.

Седименти трећег и петог суперпозиционог пакета дурмиторског флишног комплекса ($^3K_2^3$ и $^5K_2^3$) одликују се комбинованом прслинско-интергрануларном порозношћу, и представљају релативне хидрогеолошке колекторе, док само танки слојеви лапорца у оквиру ових пакета представљају класичне хидрогеолошке изолаторе, и спречавају свако кретање подземних вода у вертикалном правцу.

Седименти четвртог пакета ($^4K_2^3$), представљају класичан хидрогеолошки изолатор, односно стијене овог пакета су водонепропустљиве. У оквиру овог пакета доминира лапоровита компонента. Расквашавањем ове компоненте стварају се идеални услови (ако је положај структуре “повољан”) за формирање клизишта.

10.4. Мјеродавни фактори за градњу брана и формирање акумулација

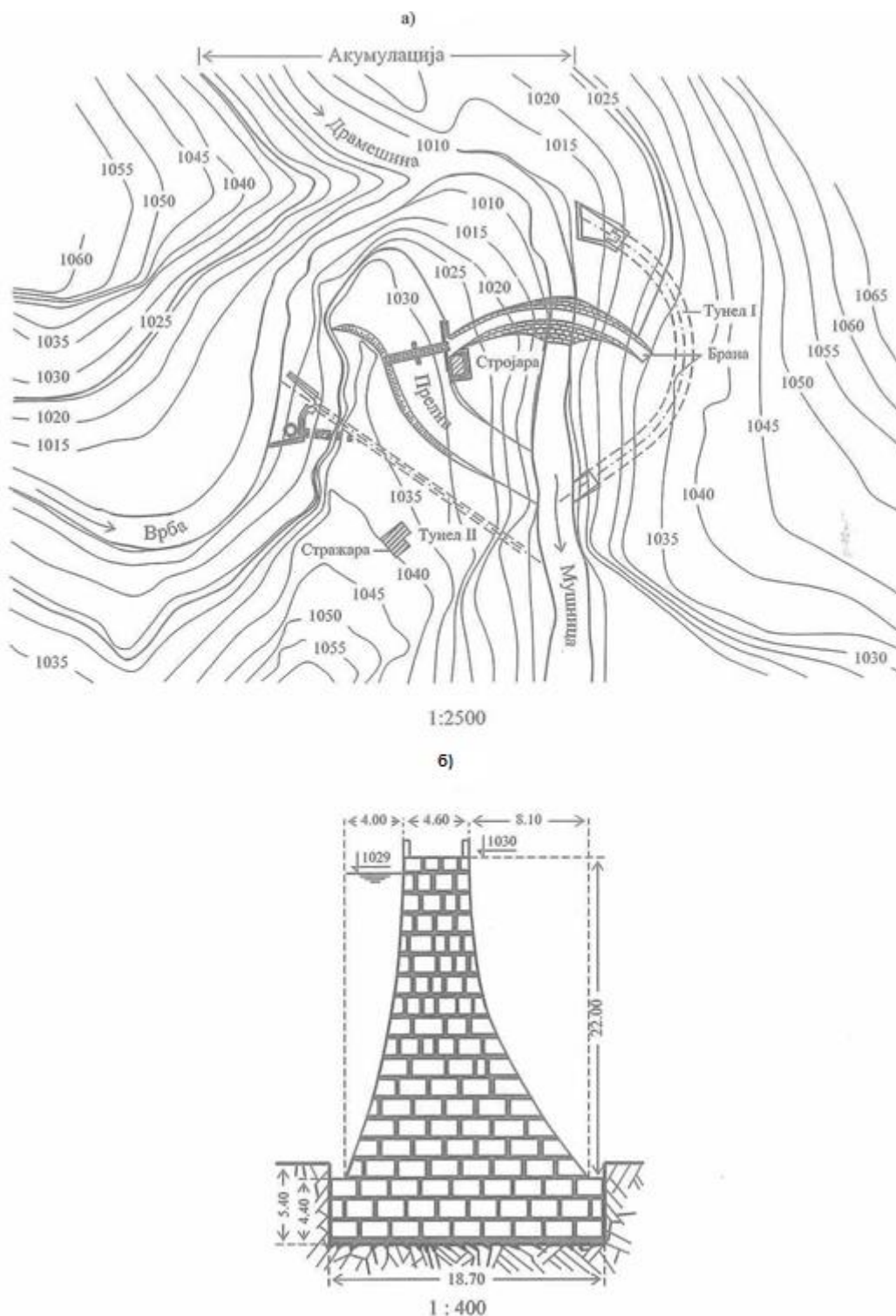
У предходним поглављима наведено је низ фактора који утичу на градњу бране и формирање акумулације. Неки од њих утичу на услове изградње, док неки пресудно утичу на могућност економичног грађења, као и на избор евентуалног типа бране која се намјерава градити (мјеродавни фактори).

Када су у питању терени које граде седименти дурмиторског флишног комплекса, треба рећи да ове терене мјестимично пресјецају већи водотокови на подручју Црне

Горе (Тара и Пива), док на простору Босне и херцеговине, најзначајнији водоток представља ријека Сутјеска са својим притокама. На ријеци Мушници, код Гацка формиране су двије акумулације и изграђене двије бране. Брана и акумулација Врба, за потребе термоелектране Гацко, те акумулација и брана Клиње (1897) за потребе водоснабдијевања Гацка и наводњавања гатачког поља. Из тог разлога терени изграђени од ове литолошке формације и нису били предмет неког значајнијег истраживања када је у питању формирање акумулација и градња брана у њима. Веома је мали број расположивих података када је у питању ова област.

Основне мјеродавне чиниоце када је у питању градња брана у општој форми дао је Луковић М.Т.^[36]:

- **Носивост (дозвољено оптерећење подлоге)** - Бране као објекти константно су изложене дејству сљедећих сила: оптерећење од сопствене тежине, оперећење од воде, хидростатички притисак (потисак или узгон), хидродинамички притисак, као и дејству других повремених сила (вјетар, лед, земљотреси). Сопствена тежина бране и додатна тежина од воденог стуба, представљају укупно оптерећење на подлогу. Уколико то оптерећење прелази границу носивости терена долази до слијегања подлоге које може изазвати штетне посљедице са аспекта стабилности бране.
- **Губљење воде испод и око тијела бране** - Под дејством притиска воденог стуба у акумулацији, долази до кретања водене масе испод и око тијела саме бране. Кретање се одвија по постојећим руптурним облицима (расједима, пукотинама и прслинама). У зависности од величине тих дисконтинуитета као и под утицајем хемијског дејства воде (карбонати) зависи и количина воде која се губи, као и величина притиска који дјелује на темеље и бокове бране (узгон).

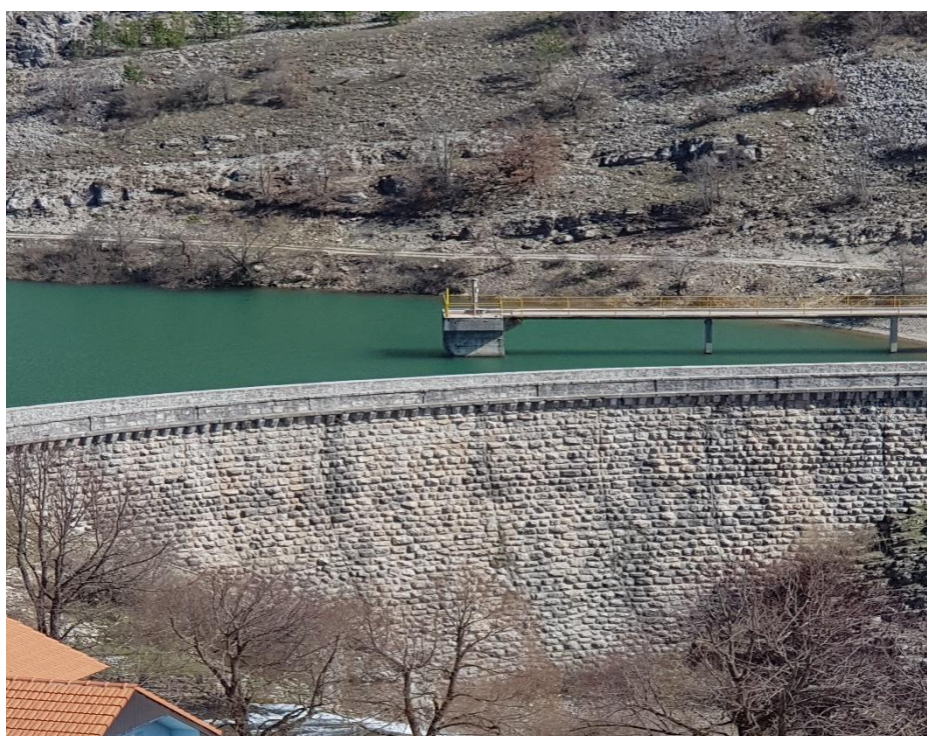


Сл. 85.: Зидана камена брана “Клиње” на рујеци Мушници код Гацка: а) ситуација и б) попречни пресјек (Philipp Ballif, 1896)

- **Могућност смицања тијела бране по подлози или тијела бране заједно са једним дијелом стијенских маса у подлози** - Подлога бране трпи сложена оптерећења, јер брана не само да преноси оптерећење од сопствене тежине, већ на подлогу преноси и хоризонталне смичуће силе од притисака успора воде.

Осим тога у подлози бране настају силе условљене хидростатичким притиском као и хидродинамичким притиском.^[26]

- **Сеизмичност терена** представља један од најважнијих фактора, који се обавезно мора узети у обзир, када је у питању градња брана. Бране представљају врло осјетљиве објекте на дејство земљотреса. У теренима код којих је степен сеизмичности мањи од X степени, по МСК-64 скали, могу се градити бране под



условом да су статички прорачуну узели у обзир дејство земљотреса.^[55]

Сл. 86.: Клиње данас



Сл. 87.: Насута брана “Врба” за потребе водоснабдијевања ТЕ Гацко

Основни мјеродавни чиниоци за формирање акумулација по Луковићу М.Т.^[36] су:

- Величина сливног подручја
- Вододрживост акумулационог басена
- Дјеловање акумулиране воде на активирање савремених геодинамичких процеса
- Засипање или замуљење акумулације
- Потапање насељених мјеста.

11. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

- Дурмиторски флишни комплекс као литолошка формација има генерални правац пружања сјеверозапад-југоисток (СЗ-ЈИ), који се поклапа са динарским правцем пружања.
- Морфолошки облици терена коју изграђују седименти дурмиторског флишног комплекса су врло комплексни, прије свега због сложених тектонских односа, неотектонске активности и различитог понашања стијенских маса у површинској зони распадања, под утицајем егзогених геолошких агенаса. Терен који изграђује ова литолошка формација одликује се морфолошком разуђеношћу, изразито суженим ријечним долинама и веома стрмим падинама. Као посљедица флувио-гласијалних процеса настале су морене, затим флувијално денудационих процеса плавинске лепезе, алувијалне равни и терасе. Од ерозионих облика најизраженије и најчешће су јаруге, док од колувијалних облика најчешће се појављују клизишта, рјеђе одрони и сипари најчешће на челима навлаке.
- На територији Црне Горе ова литолошка формација је издвојена на прелазу горње креде (мастрихт) у палеоген, док на подручју Босне и Херцеговине аутори ову формацију сврстали у сенонски кат горње креде са јасно издиференцираних пет поткатава, односно пет суперпозиционих пакета.
- У оквиру сенонског ката горње креде (K_2^3), издвојено је пет суперпозиционих пакета слојева: У основи леже кречњачке брече и конгломерати ($^1K_2^3$), преко њих слојевите брече и кречњаци ($^2K_2^3$), затим брече, кречњаци и лапорци ($^3K_2^3$), потом пјесковито лапоровита серија ($^4K_2^3$) и на крају брече, кречњаци и лапорци ($^5K_2^3$).
- Појас дурмиторског флишног комплекса издвојен је у оквиру Кучке тектонске јединице. Дурмиторска тектонска јединица, са сјевера и сјевероистока навучена је преко Кучке тектонске јединице, односно масивни кречњаци доњег и средњег тријаса, те услојени кречњаци горњег тријаса навучени су преко флишних седимената сенонског ката горње креде. Процес навлачења, као посљедица снажних бочних притисака довео је до интензивног набирања у оквиру флишног комплекса. Са јужне и југоисточне стране, флишни седименти у дискордантном односу леже преко јурских и доњокредних седимената.
- Седименти дурмиторског флишног комплекса су слабо водопрпусне до водонепрпусне стијене. Према типу порозности, хидрогролошкој функцији и

положају у склопу терена, односно према хидрогеолошким условима формирања издани у терену се могу издвојити четири категорије стијенских маса:

1. Стијене са пукотинском порозношћу
2. Стијене са интергрануларном порозношћу
3. Стијене са комбинованом (пукотинском-интергрануларном) порозношћу
4. Стијене које су водонепропусне.

Прва три пакета и посљедњи пети ($^1K_2^3$, $^2K_2^3$, $^3K_2^3$ и $^5K_2^3$), представљају релативно слабе хидрогеолошке колекторе спроводнике, док четврти пакет ($^4K_2^3$), представља хидрогеолошки изолатор.

– Сеизмичност подручја које гради флишна серија представљена је аутохтоном површинском и епицентралном сеизмичношћу, као и епицентралном алохтоном сеизмичношћу. Према сеизмолошкој карти СФРЈ (1982), која приказује максимално догођене земљотресе, највећи дио територије лоциран је у зони VII^o МКС скале. Према „Правилнику о техничким нормативима за изградњу објеката високоградње у сеизмичким подручјима“ (“Службени лист СФРЈ”, бр. 31/81 са измјенама бр. 49/82, 29/83, 21/88 и 52/90) и пратећој сеизмолошкој карти СФР Југославије (*Заједница за сеизмологију СФРЈ, 1987*) за повратни период од 500 година, највећи дио територије коју изграђују седименти дурмиторског флиша налази се у зони VIII^o МКС скале.

– Процеси кретања стијенских маса низ падину, проузроковани неким природним узроком или иницирани техногеним дејствима човјека, називају се гравитациони падински процеси. Ови процеси се у међународној литератури од 1972, на бази механизма кретања нестабилних маса класификују у четири групе: одрони, клизишта, пузишта и тецишта. Слична класификација код нас је у употреби од 1960 (*Јањић М.*).

– Клизишта представљају савремене геодинамичке процесе, код којих долази до кретања маса на падинама без одвајања од подлоге, по јасној површини смицања која се назива клизном површином.

– Процес клижења, односно генеза самих клизишта, зависи од садејства низа егзогених фактора са једне стране и геолошких својстава терена са друге стране. Најзначајнији фактори за настанак клизишта су: вода (киша и снијег), нагиб терена, литолошки састав терена, структура стијенске масе, сеизмичка активност и техногени процеси.

- Према првој познатој и прихваћеној класификацији клизишта, Савренског Ф.П. (1937) која се заснива на геолошкој грађи падине и положаја клизне равни, клизишта су сврстана у три групе: асеквентна, консеквентна и инсеквентна клизишта.
- Према активности процеса клизишта се дијеле на активна или савремена и умирена или фосилизирана клизишта.
- Према генези (*Золотарјев Г.С.*) клизишта се дијеле на делапсивна, детрузивна и консеквентна клизишта.
- По Америчкој класификацији клизишта (*Варнес Д.*) сви савремени геодинамички процеси су третирани заједно. По тој класификацији савремени геодинамички процеси се дијеле на:
 - Одрони и осулине
 - Блоковско откидање
 - Клизашта
 - Блоковска клизишта са истискивањем
 - Клизни токови
 - Комбинација предходних видова клизишта.
- Приликом истраживања подручја које је захватило клизиште, примјењују се следећа инжењерскогеолошка истраживања:
 - Детаљно инжењерскогеолошко картирање терена
 - Истражно бушење
 - Истражни раскопи
 - Истражни ровови
 - Истражна окна
 - Истражни поткопи.
- Хидролошка испитивања су углавном базирана на статистичким подацима најближе кишомјерне станице, на основу којих се може прогнозировать евентуална динамика у активирању процеса клизања.
- Хидрогеолошким истраживањима се утврђује хидрогеолошка функција стијенске масе, осцилације нивоа подземних вода, правац кретања слободних и изданских вода, филтрационе карактеристике стијенских маса итд.
- Одрони представљају савремене геодинамичке процесе, код којих је дошло до одвајања одређене количине стијенске масе и њиховог кретања низ падину. Ови

савремени геодинамички процеси су углавном посљедица физичко-механичке дезинтеграције стијенске масе и под утицајем гравитације долази до њеног кретања низ падину.

– Терен који изграђује дурмиторска флишна формација је изразито хетерогеног литолошког састава, гдје се наизмјенично и ритмички, смјењују литолошке компоненте различитих физичко-механичких својстава, односно средина. Због тога су то изразито комплексне конструкције терена изграђене од сљедећих средина^[54]:

- 1) Пластичне средине – делувилно глиновита распадина.
- 2) Пластичне до квазипластичне средине – елувијална распадина и лапоровити седименти.
- 3) Квазипластичне средине - пјесковито лапоровита серија флиша, базални седимент.
- 4) Крте средине - кречњаци, пешчари, грауваке).

– Клизиште “Мушница” налази се на југозападним падинама Чемерна и име је добило по ријеци Мушници, јер се ножични дијелови овог клизишта налазе у кориту ријеке Мушнице. Дужина клизишта је максимално 70 метара док је ширина највећа у ножичном дијелу и износи 90 метара. Нагиб терена је 24°, висинска разлика између чеоног ожиљка и ножичног дијела је око 30 метара. Укупна запремина покренуте масе је око 7000 м³.

– Клизиште “Ждралов поток” налази се на југозападним падинама Чемерна. На клизишту се уочавају и чеони и бочни ожиљци. Дужина клизишта је око 70 метара, док му је дубина максимално 4 метра. Запремина покренуте масе је око 9000 м³. Процес смицања се одвија на контакту квартарних творевина и флишне формације.

– Клизиште “Сутјеска” се налази на сјевероисточној падини Чемерна, на десној падинској страни ријеке Сутјеске. Дужина клизишта је око 60 метара, а максимална дебљина око 3,5 метара. Клизиште је формирано на контакту између основне стијене коју чине седименти четвртог суперпозиционог пакета флишног комплекса и квартарних творевина, односно контакт између делувилних глина и деградираних лапораца и пјешчара, представља дисконтинуитет дуж ког се врши кретање, односно овај контакт представља клизну површину. Доминантни члан флишне формације на овом подручју је лапорац.

– Клизиште “Чемерско Осоје” представљено је у суштини са два паралелна клизишта, која међусобно одваја средишњи дио, који је захваљујући структури

стијенске масе и њеном положају у односу на површину терена, у потпуности стабилан. Клизиште “Чемерско Осоје” је глечероидног односно језичастог облика, дужине око 480 метара и ширине 170 метара у најширем дијелу клизишта. Чеони ожиљак се налази на коти 987 м.н.в. а ножични дио се налази у кориту потока Трторија, на коти 852 м.н.в. На клизишту “Чемерско Осоје” клизна површина, односно клизне површине су се формирале у основној стијенској маси, односно по међуслојним површинама лапоровите компоненте.

– Санационе мјере које се примјењују приликом санације клизишта на косинама могу се подијелити у пет група: промјена геометрије пресека, дренажне мјере, потпорне конструкције, армирање тла и пошумљавање. Када су у питању санације косина на којима се могу покренути одрони примјењују се следеће санационе мјере: чишћење косина од лабилних дијелова, заштитни зидови и заштитне мреже и сидрење.

– Промјена геометрије пресека, као метод санације клизишта, подразумијева ублажавање нагиба косина, додавање терете на стопу (контра тег), те прерасподјела маса у пресеку косине, односно клизишта.

– Дренирање као метод санације клизишта, подразумијева смањење дотока већих количина вода у тијело клизишта, контролисање кретања површинских вода, као и смањење порних притисака. Поред површинског дренирања, односно извођења површинских вода ван тијела клизишта, примјењују се и дренажне мјере за смањење артешких притисака и пресецање водоносних слојева. Ту се примјењују дренажне бушотине, бунари, дренажни канали, тунели и галерије.

– Електроосмоза као метод санације клизишта, базирана је на принципу кретања воде у тлу, од алуминијумске аноде до бакарне катоде, под дјеловањем једносмјерне струје, која се кроз аноду уводи у водом засићено тло.

– Потпорне конструкције примају гурајуће силе од нестабилне масе тла и преносе их на стабилну подлогу. На тај начин се повећава стабилност терена. Потпорне конструкције могу да буду плитко и дубоко фундиране. Плитко фундирани су потпорни зидови, а дубоко фундирани су шипови и дијафрагме.

– Потпорни зидови могу бити од насутих материјала ломљеног камена и потпорни зидови од бетона. Потпорни зидови од армираног бетона могу бити гравитациони, потпорни зидови са конзолном и потпорни зидови са анкерима.

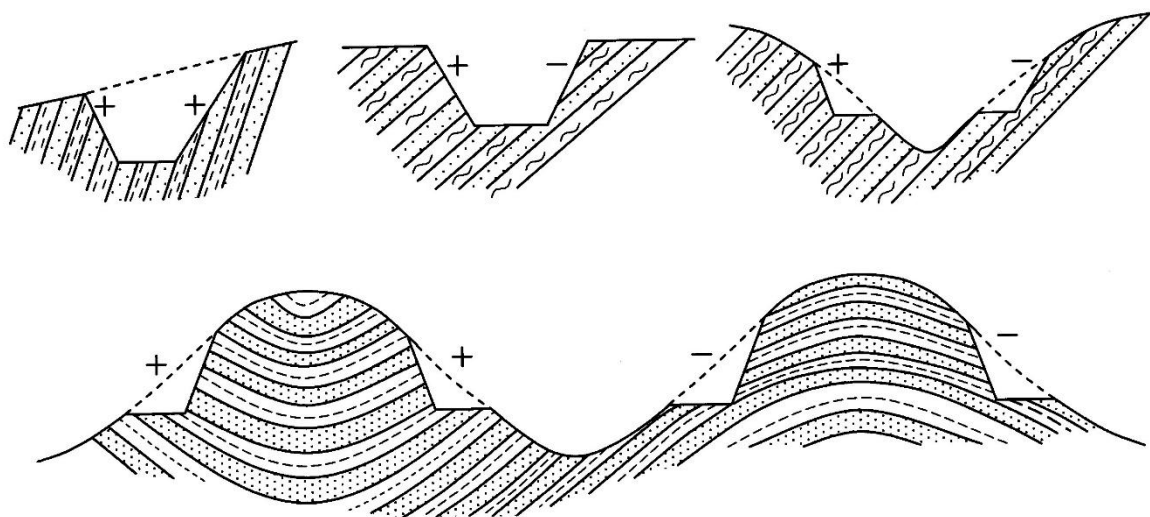
– Приликом пројектовања и градње саобраћајница у теренима које изграђује флишна серија нераздвојно јединство чине сљедећи фактори: технолошки процес градње

саобраћајнице, испитивање стабилности ископа у усјецима и засјецима и анализа стабилности у насипима.

– Низ је фактора који утичу на стабилност косина у усјецима, засјецима и насипима приликом градње саобраћајница: дисконтинуалност стијенске масе (испуцалост и слојевитост), методологија и начин градње саобраћајнице, утицај површинских и подземних вода, односно њихов прилив у ископ, квалитет материјала у насипима као и положај структуре стијенске масе која се налази у подлози.

– Слојевитост, односно међуслојне површине које представљају примарне дисконтинуитете, настале у период стварања саме стијенске масе. Положај слојева, односно њихов просторни однос према косинама у усјецима и засјецима, значајно утиче на стабилност тих косина. Најнеповољнији случај је када слојеви, односно њихове међуслојне површине имају паралелно пружање са трасом саобраћајнице и падају према истој под оштрим углом.

– На избор трасе пута, али и на услове извођења и стабилност косина од превасходног су утицаја степен распаднутости стијенске масе и дебљина коре површинског распадања. У зависности од положаја слојева према траси пута на следећем шематском приказу издвојени су стабилни (+) и нестабилни (-) случајеви.



Сл. 88.: Шематски приказ утицаја начина појављивања и просторног положаја слојева на нагиб и стабилност косина на путу, (+) стабилна косина и (-) нестабилна косина^[26]

– Приликом градње насипа, са аспекта његове стабилности, у флишним седиментима, веома значајну улогу има и просторна оријентација слојева.

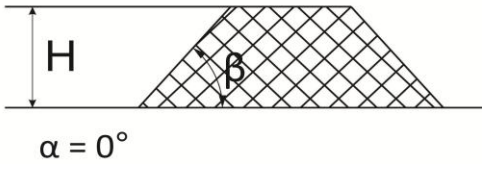
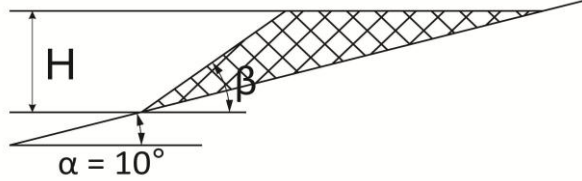
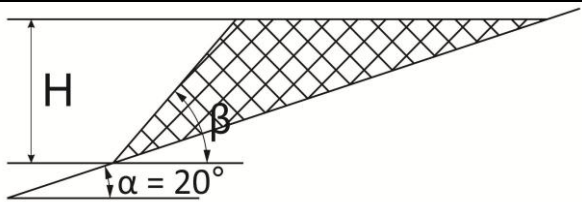
Најнеповољнији облик је када слојеви падају низ падину, док је најповољнији однос када слојеви падају према унутрашњости падине.



Сл. 89.: Повољан положај слојева (а) и неповољан положај (б) слојева приликом градње насипа

– Приликом градње насипа на саобраћајницама увијек се води рачуна, да се због рентабилности посла уграђују материјали који су откопани током пробијања трасе у усјецима и засјецима, ако они својим квалитетом одговарају стандардима за уградњу материјала у насипе. При избору материјала за изградњу насипа неопходно је размотрити следеће аспекте:

- Гранулометријски састав
- Отпорност материјала на дробљење и хабање
- Могућност збијања
- Пластичност
- Отпорност према деградацији.

Нагиб падине α	Нагиб косине β	Фс	Скица
0	20	1.95	 $\alpha = 0^\circ$
	25	1.51	
	30	1.21	
10	20	1.90	 $\alpha = 10^\circ$
	25	1.51	
	30	1.24	
20	25	1.64	 $\alpha = 20^\circ$
	30	1.20	

Сл. 90.: Резултати прорачуна стабилности насипа на магистралном путу М-20
Гацко-Фоча на дионици Врба - Трнова лука

Утицај ископавања, транспорта и уграђивања

- Утицај бујичних токова и токова насталих отапањем снијега, није исти на свим подручјима које гради флишна серија. У дијеловима терена које гради четврти и пети пакет флишне серије, најизраженије је разарачко дејство бујичних токова.
- Инжењерскогеолошка својства терена у значајној мјери утичу на изградњу подземних објеката, те је неопходно на најбољи могући начин дефинисати. Литолошки састав, начин појављивања, просторни положај, тектонску оштећеност, физичко-хемијска распаднутост стијенске масе, физичко-механичка својства, хидрогеолошка својства стијенских маса, те савремени геолошки и инжењерскогеолошки процеси и њихове творевине.
- Литолошки састав стијенске масе битно утиче на избор трасе тунела, као и на облик и величину попречног пресјека, динамику грађења, примјену одговарајуће технологије као и на цијену коштања самог тунела.

- Физичко-механичка својства стијенских маса у значајној мјери утичу на избор трасе али и на градњу самог тунела, Стијенске масе које имају боља физичко-механичка својства подесније су за градњу тунела.
- Слојевитост стијенске масе се може оцијенити као повољно или неповољно својство стијенске масе приликом градње тунела, и то зависи како од дебљине слојева тако и од њиховог просторног положаја у односу на осу тунела. Најбоље услове за изградњу тунела пружају дебели слојеви стијенске масе са ниским степеном испуцалости, док је рад у танкослојевитим и испуцалим стијенама знатно тежи. Код флишних седимената, поготово четвртог и петог пакета додатне проблем представља врло брзо смјењивање различитих литолошких чланова у пакету који се значајно разликују по својим физичко-механичким особинама. Додатни проблем представљају врло честе набране структуре ових седимената. Вертикални и субвертикални положај слојева најповољнији је за градњу тунела када је оса тунела управна на површину слојевитости.
- Структурна својства литолошких чланова који изграђују терен, битно утичу на инжењерскогеолошка и хидрогеолошка својства стијенских маса, односно на геотехничке услове изградње подземних просторија у флишу. Флишни седимент четвртог и петог суперпозиционог пакета обилују великом количином набора различитих димензија. Геотехнички услови изградње подземних објеката у тјеменима антиклинале и дну синклинале су различити. Највећи притисци се јављају у дну синклиналног дијела.
- Расједи и расједне зоне представљају значајне препреке приликом градње подземних објеката. Дуж расједних зона могу се очекивати испадања крупних блокова стијенске масе, нагли приливи великих количина вода у тунелски ископ. Такође битан фактор представља и просторни положај расједне зоне у односу на осу тунела.
- Испуцалост стијенске масе такође утиче на стабилност тунелског ископа. Неповољан међусобни положај фамилија пукотина, затим величина зијева сваке од присутних фамилија пукотина, њихова испуњеност дробинским материјалом и глиновитом компонентом, храпавост зидова, као и њихов однос према тунелском ископу, може у значајној мјери довести до испадања блокова различитих димензија, прилива већих количина подземних вода, али и до повећаног обима ископа, односно прекопа.

– Током градње тунела, али и током његове експлоатације, као посљедица поремећености природног стања, могу наступити различите штетне појаве: пробоји подземних вода у подземну просторију, појава штетних гасова (по правилу прате подземну експлоатацију угља), горски удари, бубрење стијенских маса (глине и лапорци у подини у рудницима угља), обрушавање и одроњавање у подземну просторију, прекоп или сувишни профил итд.

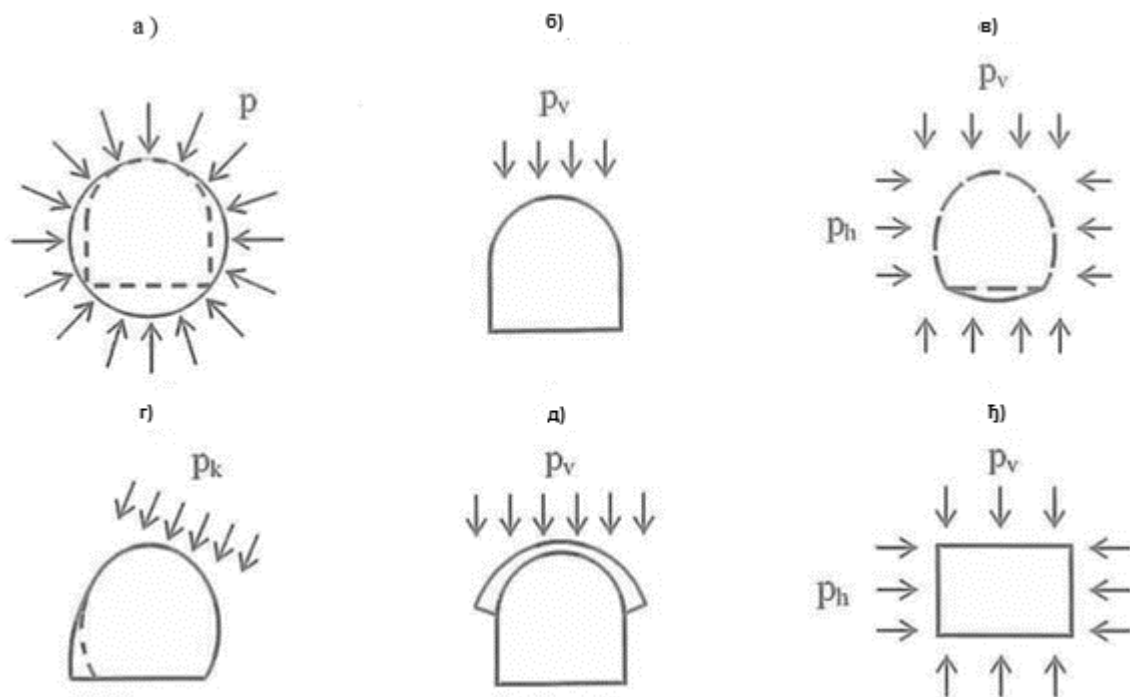
– Појава подземних вода у тунелском ископу може се сврстати у двије групе. Прву групу представљају процједне воде које су везане за атмосферске падавине. Процједне воде не могу значајније угрозити стабилност ископа у подземној просторији. Другу групу представљају сталне подземне или изданске воде, везане за велике просторе унутар стијенске масе. У случају пресецања таквих издани ископом подземне просторије, може доћи до катастрофалних посљедица, како по људство тако и по технику. У флишним седиментима концентрација оваквих подземних вода везана је за дна синклиналних форми.

– У флишним седиментима који обилују лапоровитом компонентом и повремено глинцима (${}^4\text{K}_2\text{O}$ и ${}^5\text{K}_2\text{O}$), повећавањем влажности до одређене границе долази до лијепљења материјала за алат и успоравања приликом градње, а често ова појава и онемогућава рад, тако да је неопходно вршити исушивање стијенске масе. Најекстремнија појава у оваквим случајевима је бубрење.

– Бубрење, подразумјева повећање запремине стијенске масе услед присуства воде у њој самој. Ова појава повећања запремине стијенске масе изазива притиске који могу бити свестрани, односно дјеловати на све стране, могу бити јако велики и не смију се занемарити

– По смјеру дјеловања подземни притисци могу се подијелити:

- Повлатни - у правцу дјеловања гравитације
- Подински - вертикално навише
- Бочни - дјеловање на бокове тунела
- Чеони - у правцу осе тунела а супротно од смјера ископа
- Свестрани - хидродинамички притисци.



Сл. 91.: Карактеристични случајеви тунелских конструкција у зависности од дјеловања сила подземних притисака: а) кружни пресјек, б) засведен пресјек са вертикалним опорцима, в) засведен пресјек са закривљеним опорцима, г) несиметричан пресјек, д) засведен пресјек са горњим сводом, ђ) рамовски облик^[51]

– Обрушавање стијенске масе у тунелски ископ се дешава када ископ не може да „носи сам себе”, односно не може да савлада подземне притиске изазване ископавањем, односно нарушавањем примарног геостатичког стања у терену. Обрушавање се углавном врши по предиспонираним правцима, односно по површинама примарних и секундарних дисконтинуитета (међуслојне површине, пукотине и расједи) као и по пукотинама насталим у фази ископавања.

12. СПИСАК ЛИТЕРАТУРЕ

- [1] Анђелковић М. (1988) - Геологија Југославије, Грађевинска књига, Београд.
- [2] Andai P. (1970) - Sicherung von Gelanderutschungen am Losshang an der Donau, Bauingenieur.
- [3] Бешић З. (1948) - Геотектонска структура северне Црне Горе, Гласник Природњачког музеја Српске земље, сер. А-1, Београд.
- [4] Бешић З. (1980) - Геологија Црне Горе - стратиграфија и фацијални састав, књига 1, свеска 2, Титоград.
- [5] Бешић З. (1983) - Геологија Црне Горе, Геотектоника и палеогеографуја Црне Горе, књига III, Титоград.
- [6] Barton N., Lien R., Lunde J. (1974) - Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, Rock Mechanics, vol. 6, No 4.
- [7] Bieniawski Z.T. (1989) - Engineering rock mass classifications, New York: Wiley.
- [8] Бондаренко Н.Ф. (1973) - Физика движения подземных вод, Гидрометеиздат, Ленинград.
- [9] Голијанин А. (2019) - Геотехнички модели терена и типови нестабилности у простору дурмиторског флишног комплекса.
- [10] Голијанин А. (2003) - Геотехнички услови изградње хидротехничких тунела у карсту источне Херцеговине, магистарски рад, РГФ Универзитета у Београду, Београд.
- [11] Голијанин А. (2019) - Настанак и тектонска својства дурмиторског флишног комплекса и њихов утицај на стабилност косина, Рударски гласник, Београд.
- [12] Голијанин А. (2016) - Специфичности градње и експлоатације хидротехничких тунела у карсту источне херцеговине, стручни рад, Техника, Београд.
- [13] Грубић А., Обрадовић Ј. (1983) - Седиментологија, Грађевинска књига, Београд.
- [14] Grunthal G. (1998) - European Macroseismic Scale 1998, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie Vol. 15. Luxembourg.
- [15] Димитријевић Д. М. (1978) - Геолошко картирање, ИЦС, Београд.
- [16] Димитријевић Д. М. (1995) - Геологија Југославије, Геоинститут Београд.
- [17] Драгишић В. (1997) - Општа хидрогеологија, РГФ, Београд.
- [18] Ђурић Н. (2011) - Хидрогеолошка и инжењерскогеолошка истраживања, Грађевински факултет у Суботици, универзитет у Новом Саду, Суботица.

- [19] Ђокић В., Живаљевић М., Перовић З. (1976) - ОГК СФРЈ лист Гусиње, тумач, Савезни геолошки завод, Београд.
- [20] Золотарев С.Г. (1983) - Инженернаја геодинамика, Издање Московског университета, Москва.
- [21] Золотарев С.Г. (1990) - Методика инженерно-геолошких истраживања, Издање Московског Универзитета, Москва.
- [22] Ивановић С. (1981) - О механизму клизања у развоју покровних структура у Динаридима, Билтен 3, 20 година ЈМГК - Рударско геолошки факултет Београд.
- [23] Јањић М. (1962) - Инжењерско-геолошке одлике терена НР Србије, Београд.
- [24] Јањић М., Ланговић М. (1962) - Како дренирати тунел Созину, студија, Београд.
- [25] Јевремовић Д., Марковић М., Сунарић Д., Рогоје М. (1999) - Утицај акумулације ХЕ Пива на стабилност падине у подручју Плужина, 12. Југ. симпозијум о хидрогеологији и инжењерској геологији, књига 2. (стр. 165-174), Нови Сад.
- [26] Јевремовић Д. (2015) - Методе инжењерскогеолошких истраживања, Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, Београд.
- [27] Јевремовић Д. (2003) - Инжењерска геологија, Грађевинско-архитектонски факултет, Универзитет у Нишу, Ниш.
- [28] Јевремовић Д., Голијанин А., Ђурић Т. (2018) - Инжењерскогеолошки проблеми изградње брана и формирања акумулација у карстним теренима, Рударство и геологија данас, II научни симпозијум, Београд.
- [29] Јовановић П. (1955) - Израда подземних просторија великог профила, Грађевинска књига, Београд.
- [30] Карамата С., Димитријевић М. (1998) - Океански простори у средишњем делу балканског полуострва током мезозоику, XIII конгрес геолога, књига 2, регионална геологија, стратиграфија и палеонтологија, Херцег Нови.
- [31] Калезић М., Мирковић М., Шкулетић Д., (1973) - ОГК СФРЈ лист Шавник, Савезни геолошки завод, Београд.
- [32] Kostić S., Vasović N., Sunarić D. (2016) - Slope Stability Analysis Based on Experimental Design. International Journal of Geomechanics, ISSN 1532-3641, Publisher: American Society of Civil Engineers, doi: 10.1061/(ASCE) GM.1943-5622.0000551 Published online.

- [33] Kostić S., Vasović N., Jevremović D., Sunarić D., Franović I., Todorović K. (2015) - Complex Dynaics of landslides with Time Delay Under External Seismic Triggering Effect, - Engineering Geology for Society and Territory-Vol 2, DOI: 10.1007-978-3-319-3_238, Springer Int. Publ. Switzerland.
- [34] Kostić S., Vasović N., Sunarić D. (2015) - A new approach to grid search method in slope stability analysis using Box-Behnken statistical design. Applied Mathematics and Computation, ISSN 0096-3003, Publisher: Elsevier Inc., vol. 256, (pp, 425-437).
- [35] Локин П., Лапчевић Р. (2000) - Пројекат за извођење, књига 1, Геотехнички истражни радови и геотехнички услови, Магистрални пут М-20 Гацко - Фоча, дионоца Врба - Трнова лука, Макспро д.о.о., Београд.
- [36] Луковић М.Т. (1933) - Инжењерска геологија, Издавачка књижарница Фрање Баха, Београд.
- [37] - на knjiga, Beograd.
- [38] Marinos P.V. (2016) - The engineering geological behaviour of flysch rock masses in tunnelling, Proceedings of the 15th symposium on engineering geology and geotechnics, Belgrade.
- [39] Милановић Т.П. (1979) - Хидрогеологија карста и методе истраживања, Хидроелектране на Требишњици, Институт за кориштење и заштиту вода на кршу, Требиње.
- [40] Мирковић М. (1983) - Геолошки састав и тектоника планине Дурмитор, Пивске планине и Волујака, Докторска дисертација, Титоград.
- [41] Мирковић М., Калезић М., Пајовић М., Вујисић П. (1980) - ОГК СФРЈ, лист Гацко, тумач, Савезни геолошки завод СФРЈ, Београд.
- [42] Мирковић М., Вујисић П., Живаљевић М. (1986) - ОГК СФРЈ лист Жабљак, тумач, Савезни геолошки завод, Београд.
- [43] Недељковић С., Сунарић Д. (1998) - Основна сеизмолошких карта као као подлога за дефинисање сеизмичког ризика, Књ. радова, 10. Конгреса Југ. друштва грађевинских конструктора, (стр. 199-204), Врњачка Бања.
- [44] Nemčok A. (1982) - Zosuvy v Slovenskych Karpatoch, Veda, Bratislava.
- [45] Norcsa F. (1970) - Gjeologija e Shiqperise, Tirana.
- [46] Обрадовић Р., Најдановић Н. (1999) - Механика тла у инжењерској пракси, Рударски институт, Београд.
- [47] Памић Ј. (1973) - Фактографија тектонских плоча и неки примјери њене примјене, Геолошки гласник 17., Сарајево.

- [48] Пањуков Н. П. (1965) - Инжењерска геологија, Грађевинска књига, Београд.
- [49] Перић Ј. (1971) - Хипотеза о узроцима постанка клизишта дуж десне обале Дунава од Винче до Гроцке, Зборник радова, РГФ, (стр. 213-2226), Београд.
- [50] Перић Ј., Шутић Ј., Божиновић Д. (1995) - Конструкције терена као основа за проучавање стабилности терена, из Моног. „Геолог и визионар” РГФ УБ, Београд.
- [51] Поповић Б. (1987) - Тунели, ИРП Грађевинска књига, Београд.
- [52] Рокић Љ., Талић Ј., И Минић М. (2000) - Елаборат о инжењерскогеолошким и геотехничким карактеристикама терена на локацији клизишта „Чемерско Осоје”, на магистралном путу М-20, Брод н/Д - Требиње, Геоистраге, Сарајево.
- [53] Селимовић М. (1985) - Механика тла, Грађевински факултет Универзитета Цемал Биједић, Мостар.
- [54] Сунарић Д. (2017) - Инжењерска Геодинамика, Теорија и пракса, Академија инжењерских наука Србије и Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, Београд.
- [55] Сунарић Д., Стојнић Н., Недељковић С. (2008) - Сеизмичност терена и егзогеодинамичке појаве (клизишта и одрони) у Западној Србији - мон. ИСБН 978-86-82565-19-2, ЦОБИСС.СР-ИД 153690124 (стр. 225.) пос. Изд. Инст. „Јарослав Черни“ Београд.
- [56] Сунарић Д. (2009) - Ледена доба и њихов утицај на стабилност долињских страна у горњем току реке Дрине - мон. „Сећање на Милутина Миланковића“ (стр.121-131) ИСБН 978-86-910313-1-2; ЦОБИСС.СР-ИД 171852556 - Београд.
- [57] Сунарић Д., Стојнић Н., Поповић М. (2008) - Сеизмодеформације терена у скали ЕМС-98, Зборник радова - Земљотресно инжењерство и инжењерска сеизмологија - ИСБН978-86-904089-5-5, ЦОБИСС.СР-ИД 148237068 (стр. 25-31) Соко Бања.
- [58] Сунарић Д. (2000) - Клизишта и одрони у горњем току Дрине, Рударско геолошки факултет, Београд.
- [59] Sunaric D., Nedeljkovic S. (1990) - Reinterpretation of historic data on destructive earthquakes and seismodeformations of land on the territory Yugoslavia, 8th EE JSSMFF (vol. 1 p.67-71), Tokyo.
- [60] Степановић Б. (1962) - Принципи опште хидрогеологије, И.П. Рад, Београд.
- [61] Тркуља Д., Сунарић Д. (2010) - Утицај вештачких акумулација на сеизмичност терена и животну средину, Нац. Симп. са међ. учешћем, Теоријска и

експериментална истраживања конструкција и њихова примена у грађевинарству, књ.3. (Е36- 45), ИСБН 978-86-80295-88-6; ЦОБИСС.СР-ИД 173913868, Ниш.

- [62] Ћорић С. (2001) - Геостатички прорачуни, Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, Уџбеник, Београд.
- [63] Хрвачевић С. (2004) - Ресурси површинских вода Црне Горе, Електропривреда Црне Горе А. Д. Никшић, Подгорица.
- [64] Радуловић В. (1988) - Хидрогеологија слива Скадарског језера, Завод за геолошка истраживања Црне Горе, Титоград.
- [65] Вассоевич, Н.Б. (1948) - Флиш и методика его изучнија, Гостоптехиздат, Москва.
- [66] Вассоевич, Н.Б. (1951) - Условиа образования флиша, Гостоптехиздат, Москва.
- [67] Вељковић Б. (1987) - Саобраћајнице, Грађевински факултет Сарајево.
- [68] Видовић М. (1973) - Атлас прегледних геолошких карата за територију Босне и Херцеговине, Сеизмолошки завод БиХ, Сарајево.
- [69] Идејни пројекат аутопута дионица Веруша - Матешево, Републички завод за геолошка истраживања, Подгорица, децембар 2005.
- [70] Елаборат о детаљним геотехничким истраживањима - Пут М9 Колашин - Матешево, Завод за грађевинске материјале и геотехнику А.Д. Никшић, Никшић, 2004.
- [71] Елаборат о инжењерскогеолошким и геотехничким карактеристикама терена на локацији клизишта Чемерско Осоје, на магистралном путу М-20, Брод н/Д - Требиње, Рокић Љ., Геоистраге, Сарајево, 2000.
- [72] Правилник о техничким нормативима за изградњу објеката високоградње у сеизмичким подручјима („Службени лист СФРЈ”, бр. 31/81 са измјенама бр. 49/82, 29/83, 21/88 и 52/90) и пратећој сеизмолошкој карти СФР Југославије (Заједница за сеизмологију СФРЈ, 1987).
- [73] Правилник за изградњу објеката високоградње у сеизмичким подручјима („Сл. лист СФРЈ”, 52/90).

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Александар Радоје Голијанин, рођен је 5.4.1967. године у Фочи. Основну школу је завршио у Миљевини, док је средњу геолошку школу завршио у СШЦ „Игмански марш“ Илића код Сарајева 1985. године.

На Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, одсјек за Геотехнику, дипломирао је на тему „Геотехнички услови изградње насуте бране Бијела Ријека за водоснабдијевање Сарајева”, 09.04.1992. године.

Постдипломске студије је започео 1992. године на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду, одсјек за Геотехнику, и магистрирао на тему „Геотехнички услови изградње хидротехничких тунела у карсту Источне Херцеговине“ 03.07.2003. године.

По завршетку студија, одмах након проглашења опште мобилизације, вратио се у родну Фочу и прикључио Миљевинском батаљону Војске Републике Српске. У октобру 1992. год. уписао је постипломске студије. Први стални посао у струци је добио 2002. год. у ХЕ на Требишњици, Требиње. У оквиру екипе пројектантског надзора учествовао је у изградњи хидротехничког тунела „Фатничко поље - акумулација Билећа“.

Од априла 2004. год. до октобра 2006. год. обављао је функцију генералног директора Рудника мрког угља у Миљевини.

У октобру 2006. год. изабран је за Народног посланика и од тада је запослен у Народној Скупштини Републике Српске, које је са прекидом од двије године трајало до маја мјесеца 2015. Те двије године је провео као директор „Извор“ а.д. Фоча. Након истека мандата народног посланика осам мјесеци је провео на пословима Савјетника министра иностраних послова Босне и Херцеговине. Од 01.01.2016. године обавља функцију директора Агенције за надзор над тржиштем Босне и Херцеговине.

У наведеном периоду био је стручни сарадник више стручних и научних установа и предузећа (Институт за грађевинарство Требиње, Геотехнос д.о.о. и Траса д.о.о. Сарајево, Reservoir capital corporation Vancouver - Rev Beograd и учествовао у реализацији више значајних пројеката у Босни и Херцеговини).

Као Народни посланик дао је допринос приликом израде и доношења закона у области грађевине као и новог закона о геолошким истраживањима.

Отац је двоје дјеце.

**Изјављујем
да је докторска дисертација**

Наслов рада **Утицај инжењерскогеолошких својстава дурмиторског флиша на геотехничке услове изградње објеката**

Наслов рада на енглеском језику **The impact of engineering geological properties of flysch on geotechnical conditions for construction**

- ☐ резултат сопственог истраживачког рада,
- ☐ да докторска дисертација, у цјелини или у дијеловима, није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- ☐ да су резултати коректно наведени и
- ☐ да нисам кршио / ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

У Бањој Луци / Приједору
19.03.2019.

Потпис докторанта



Изјава 2

Изјава којом се овлашћује Универзитет у Бањој Луци да докторску дисертацију учини јавно доступном

Овлашћујем Универзитет у Бањој Луци да моју докторску дисертацију под насловом
**УТИЦАЈ ИНЖЕЊЕРСКОГЕОЛОШКИХ СВОЈСТАВА ДУРМИТОРСКОГ
ФЛИША НА ГЕОТЕХНИЧКЕ УСЛОВЕ ИЗГРАДЊЕ ОБЈЕКТА**

која је моје ауторско дјело, учини јавно доступном.

Докторску дисертацију са свим прилозима предао / ла сам у електронском формату
погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у дигитални репозиторијум Универзитета у
Бањој Луци могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу
лиценце Креативне заједнице (*Creative Commons*) за коју сам се одлучио / ла.

1. Ауторство
2. Ауторство – некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално - без прераде
- ☒ 4. Ауторство – некомерцијално – дијелити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – дијелити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци
дат је на полеђини листа).

У Бањој Луци / Приједору
19.03.2019.

Потпис докторанта



Изјава 3

Изјава о идентичности штампане и електронске верзије докторске дисертације

Име и презиме аутора: Александар Голијанин

Наслов рада: Утицај инжењерскогеолошких својстава дурмиторског флиша на
геотехничке услове изградње објеката

Ментор: проф. др Драгутин Јевремовић

Изјављујем да је штампана верзија моје докторске дисертације идентична електронској
верзији коју сам предао за дигитални репозиторијум Универзитета у Бањој Луци.

У Бањој Луци/Приједору
19.03.2019.

Потпис докторанта

