

Анализа хидрогеолошких карактеристика зоне Церничког поља у периоду великих и малих вода

Петар Војновић



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Анализа хидрогеолошких карактеристика зоне Церничког поља у периоду великих и малих вода | Петар Војновић | | 2021 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006821>

Универзитет у Београду
Рударско – геолошки факултет
Департман за хидрогеологију



Завршни рад

Мастер студије

**АНАЛИЗА ХИДРОГЕОЛОШКИХ КАРАКТЕРИСТИКА
ЗОНЕ ЦЕРНИЧКОГ ПОЉА У ПЕРИОДУ ВЕЛИКИХ И
МАЛИХ ВОДА**

Кандидат

**Војновић Петар
Г633/20**

Ментор

др Саша Милановић, доцент

Београд, септембар, 2021.

Комисија:

1. др Саша Милановић, доцент, ментор

2. др Весна Ристић Вакањац, редовни професор, члан

3. др Љиљана Васић, научни сарадник, члан

Датум одбране: 10. септембар 2021.

САДРЖАЈ

РЕЗИМЕ	1
1. УВОД.....	1
2. ОПШТИ ПОДАЦИ О ПОДРУЧЈУ ИСТРАЖИВАЊА.....	2
2.1 Географски положај подручја истраживања	2
2.2 Климатске карактеристике.....	3
2.2.1 Падавине.....	3
2.2.2 Температура.....	5
2.2.3 Струјање ваздуха	6
2.2.4 Остале климатске карактеристике	7
2.3 Хидрографске и хидролошке карактеристике терена.....	7
2.4 Геоморфолошке карактеристике.....	9
3. ГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕРЕНА	10
3.1 Преглед ранијих истраживања	10
3.2 Приказ опште грађе терена.....	12
3.3 Опис картираних јединица	15
3.4 Тектоника	19
4. ХИДРОГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕРЕНА.....	20
4.1 Приказ хидрогеолошких типова издани	20
4.2 Услови храњења подземних вода.....	26
4.3 Услови појављивања и кретања подземних вода.....	27
4.4 Физичка и хемијска својста изданских вода	30
4.5 Режим издани.....	32
4.5.1 Осцилације нивоа подземних вода	32
4.5.2 Осцилације издашности издани	35
4.6 Резерве изданских вода	36
5. ПРИКАЗ ХИДРОГЕОЛОШКИХ ИСТРАЖИВАЊА И ЊИХОВИХ РЕЗУЛТАТА ...	36
5.1 Историјат ранијих хидрогеолошких истраживања	36
5.2 Методе истраживања	38
5.2.1 Хидрогеолошко рекогносцирање терена	38
5.2.2 Опит обиљежавања	39
5.2.3 Провјера функционалности постојећих пијезометара (видеоендоскопско снимање пијезометара)	41
5.2.4 Истражно бушење, картирање језгра, испитивање водопрпусности и уградња пијезометарских конструкција	41
5.2.5 Анализа изотопског састава.....	45

5.3	Резултати истраживања	48
5.3.1	Резултати хидрогеолошког рекогносцирања.....	48
5.3.2	Резултати опита обиљежавања	48
5.3.3	Резултати видеоендоскопског снимања пијезометара.....	51
5.3.4	Резултати истражног бушења	52
5.3.5	Резултати изотопске анализе	53
6.	КОНЦЕПЦИЈСКО РЈЕШЕЊЕ ОБЈЕКТА АКУМУЛАЦИЈЕ ЦЕРНИЦА.....	54
6.1	Планиране активности за изградњу акумулације.....	54
6.2	Критички осврт на изведена геолошка истраживања и испитивања.....	56
7.	ПРОСТОРНА АНАЛИЗА ХИДРОГЕОЛОШКИХ ПОДАТАКА ПРИМЈЕНОМ ГЕОИНФОРМАЦИОНИХ СИСТЕМА.....	58
7.1	Мониторинг нивоа подземних вода.....	58
7.2	Израда 3D DEM модела Церничког поља	60
7.3	Израда карте хидроизохипси	64
7.4	Одређивање запремине Церничког поља при различитим котама.....	65
7.5	Дискусија о утицају акумулације на подземне воде	68
8.	ЗАКЉУЧАК.....	70
	СПИСАК ЛИТЕРАТУРЕ	72
	СПИСАК ПРИЛОГА:	74

РЕЗИМЕ

Подручје истраживања налази се у југоисточном дијелу Републике Српске и припада сливу ријеке Требишњице. Подручје истраживаног простора представља специфичан карстни терен. Циљ истраживања, изведених средином прошлога вијека, те у јулу 2018. године, био је дефинисање услова храњења и дренарања издани, режима издани, квалитета вода те правца и брзине кретања подземних вода. Током истраживања коришћене су следеће методе: реконосцирање терена, опит обиљежавња, видеоендоскопско снимање бушотина, изотопске анализе, а примјењивани су и алати из оквира програмског пакета ArcGIS-а. Режим издани оцјењен је као неравномјеран и у највећој мјери је у зависности од инфилтрације оборинских вода. На основу опита обиљежавања, доказана је подземна веза са зонама дренарања низводно од понора на ободу Церничког поља. Резултати опита показују велике брзине кретања изданих вода што указује на добру развијеност карстног процеса. Изотопска анализа вода указује да је ријеч о јако младим водама. Захваљујући обради података у ArcGIS-у, дошло се до бољег разумјевања положаја нивоа подземних вода и његовог осцилирања, као и јаснијег приказа Церничког поља при различитим условима акумулирања воде.

КЉУЧНЕ РИЈЕЧИ: Церничко поље, подземне воде, карст, опит обиљежавања

1. УВОД

Проблематика рада односи се на опис хидрогеолошких карактеристика зоне Церничког поља. Резултати вишегодишњих истраживања шире зоне Церничког поља односе се на концепцију коришћења овог простора за акумулирање вода које се природним и дијелом вјештачким путем транспортују из зоне Гатачког поља које је хипсометријски више ка Фатничком пољу и врелима Требишњице на хипсометријски нижим котама од Церничког поља. Из тог разлога до сада су на овом подручју изведена одређена хидрогеолошка истраживања са циљем осматрања флукуације подземних вода зоне Церничког поља у различитим хидрогеолошким условима. Таква истраживања дала су опис основних хидрогеолошких својстава средине, као и добру подлогу за будућа детаљнија истраживања на овом подручју.

За потребе јаснијег тумачења текста овог рада, израђен је низ графичких прилога, чији се списак налази непосредно пред крај рада (страница 74.) , који ће визуелно односно графички јасно приказати све релевантне податке на истраживаном терену, а на основу постојеће документације, истражних радова, лабораторијских радова и рекогносцирања терена.

Аутор овога рада, прије свега, жели да се захвали професору Саши Милановићу, доценту, који је својим савјетима, сугестијама и стрпљењем помогао у његовој изради. Такође захвалност дугује запосленима у З.П. „Хидроелектране на Требишњици“ а.д. Требиње који су му уступили резултате истраживања, фондовски материјал и тако директно помогли у изради завршног рада.

2. ОПШТИ ПОДАЦИ О ПОДРУЧЈУ ИСТРАЖИВАЊА

2.1 Географски положај подручја истраживања

Шира зона подручја истраживања представља југоисточни дио Републике Српске. Церничко поље (Слика 1. и 2.) спада међу мања карстна поља и налази се у сливу ријеке Требишњице. Подручје је брдско-планинско са великим бројем увала, брда, вртача, понора, (повремених) извора и свих других подземних и површинских облика карактеристичних за карст.



Слика 1. Карта Босне и Херцеговине са положајем Церничког поља (www.wikiwand.com)



Слика 2. Положај Церничког поља (print screen: Google Earth)

Церничко поље простире се на површини од око 3 km². Налази се између хипсометријски вишег Гатачког и нижег Фатничког поља, на надморској висини од око 820 до 850 m.n.m. Церничко поље протеже се у правцу запад-исток. Поље је добило назив по насељу Церница, које се налази на јужном ободу поља. На западној страни поља се налази село Заградци, док се на истоку налази село Степен. Непосредно у близини налази се магистрални пут М20 који повезује Вишеград са Дубровником. Топографска карта подручја истаживања дата је у окивру прилога 1.

2.2 Климатске карактеристике

Орографске карактеристике, крашке одлике рељефа, вегетација и близина мора детерминирајући су фактори климатских карактеристика Источне Херцеговине. Динарски правац пружања планинских вијенаца једним дијелом спречава продор маритимних утицаја, а ниски дио Источне Херцеговине је под јаким утицајем Јадранске климе.

Климатске карактеристике предметног простора у великој мјери детерминисане су општом циркулацијом депресија и антициклона. Тако, простор Источне Херцеговине, захвата депресија која долази са западног Средоземља обично у марту, новембру и децембру те снажно утиче на плувиометријски режим овог поднебља.

2.2.1 Падавине

Количине падавина приказане су за последње три године (2020., 2019. и 2018.), а уз њих је дат и приказ вишегодишњих просјека по мјесецима (табела 1., слика 3.).

Табела 1. Висина мјесечних падавина на простору општине Гацко (подаци www.rhmzrs.com)

Мјесец	Јан	Феб	Март	Април	Мај	Јун	Јул	Авг	Сеп	Окт	Нов	Дец	ΣР (mm)
Р (mm) 2020	55	57,7	114	36,8	46,6	106	13,1	64,3	224	115	8	275	1115,5
Р (mm) 2019	121,0	104,0	32,3	178,0	219,0	69,5	66,4	50,2	74,5	33,0	577,0	195,0	1719,9
Р (mm) 2018	89,1	377,0	407,0	54,0	112,0	75,0	45,9	56,0	56,0	154,0	264,0	132,0	1822
Р (mm) вишегодишње	149,0	149,0	139,0	134,0	99,0	76,0	51,0	58,0	115,0	192,0	247,0	247,0	1656



Слика 3. Графички приказ висине мјесечних падавина (mm) на простору општине Гацко

Просјечне годишње падавине уједначене су и износе од 1 500 до 2 000 mm воденог талога. Међутим, у изузетно кишним годинама вриједност падавина на овом простору достиже и до 2 300 mm воденог талога, док у изузетно сушним годинама падне само 900 mm. Са аспекта унутаргодишње расподеле падавина, могуће је закључити да се главнина падавина излучи у току хладнијег дијела године, односно од новембра до маја када падне преко 80 % годишњих падавина. Велике падавине изражене у овом дијелу године (уз ограничен ретенциони капацитет земљишта, брзу вертикалну циркулацију воде у карсту и уз ниску евапотранспирацију) резултирају великим процентом отицаја, што није случај у току топлијег дијела године. Уопште гледано, због изражене вертикалне циркулације воде на овом простору којег карактерише карстификована површина, вода је добрим дијелом сачувана од евапотранспирације током цијеле године па се то и одражава на веома висок проценат отицаја са ових терена.

Анализом вишегодишњих вриједности воденог талога могу се извући следећи битни показатељи:

- Просјечна вишегодишња вриједност висина падавина на наведеном простору износи преко 1600 mm, што представља респектабилну количину и велики потенцијал.

- Значајне варијације појединачних просјечних вриједности висине годишњих падавина око наведеног вишегодишњег просјека, које се у око 60% случајева крећу у интервалу 1400-1950 mm.
- Просјечне мјесечне вриједности висине падавина на наведеном простору знају готово и по неколико узастопних мјесеци бити близу изузетно ниских вриједности, што изазива супротне појаве од поплава - појаве суша.

На овом подручју падавине су се смањиле, у периоду од 1925. до 2000. године, за око 5-6%. Дужи сушни периоди су регистровани у периодима 1950-1960. и 1980 - 2000. године.

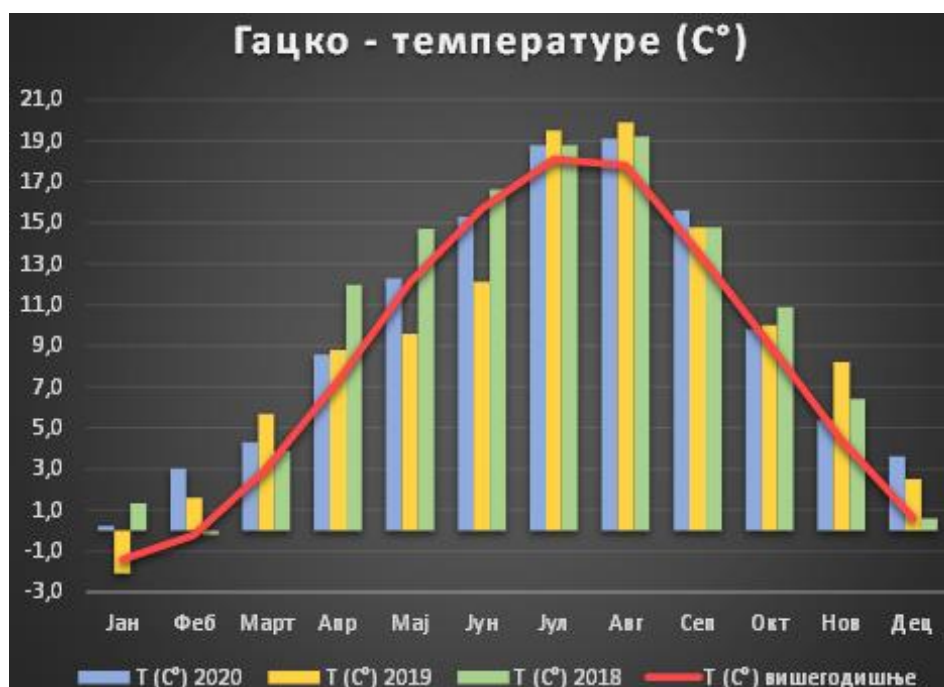
2.2.2 Температура

Милановић (1979) наводи да је анализирањем годишњих токова температура на неколико станица Источне Херцеговине, могуће уочити да овај простор припада режиму измјењене маритимне климе у којем разликујемо три термичка типа. Први термички тип односи се на ниску Херцеговину, висина до 400 m.n.m., гдје средња температура најтоплијег мјесеца прелази 22°C, а најхладнијег 3°C. Други тип термичког режима одговара простору између 400 и 600 m.n.m. гдје је средња температура најтоплијег мјесеца мања или једва достиже вриједност од 22°C, док је средња температура најхладнијег мјесеца по правилу изнад 0°C. Трећи тип термичког режима одговара просторима изнад 600 метара апсолутне висине, а карактеришу га средња температура најтоплијег мјесеца изнад 18°C и најхладнијег од 0 до -3°C. Истражни простор, који је тема рада припада трећем типу термичког режима.

Приказ вриједности измјерених температура за претходни период на метеоролошкој станици Гацко приказан је у табели 2. и на слици 4.

Табела 2. Вриједност средњих мјесечних температура на простору општине Гацко (подаци www.rhmzrs.com)

Мјесец	Јан	Феб	Март	Апр	Мај	Јун	Јул	Авг	Сеп	Окт	Нов	Дец	Тsr (°C)
Т (°C) 2020	0,2	3,0	4,3	8,6	12,3	15,3	18,8	19,1	15,6	9,8	5,4	3,6	9,7
Т (°C) 2019	-2,1	1,6	5,7	8,8	9,6	12,1	19,5	19,9	14,8	10,0	8,2	2,5	9,2
Т (°C) 2018	1,3	-0,2	3,9	12,0	14,7	16,6	18,8	19,2	14,8	10,9	6,4	0,6	9,9
Т (°C) вишегодишње	-1,4	-0,2	3,0	7,3	12,1	15,7	18,1	17,8	13,6	9,1	4,4	0,6	8,3



Слика 4. Графички приказ средњих мјесечних температура (°C) за општину Гацко

2.2.3 Струјање ваздуха

Најчешћи видови струјања представљају вјетрови југо и сјеверац.

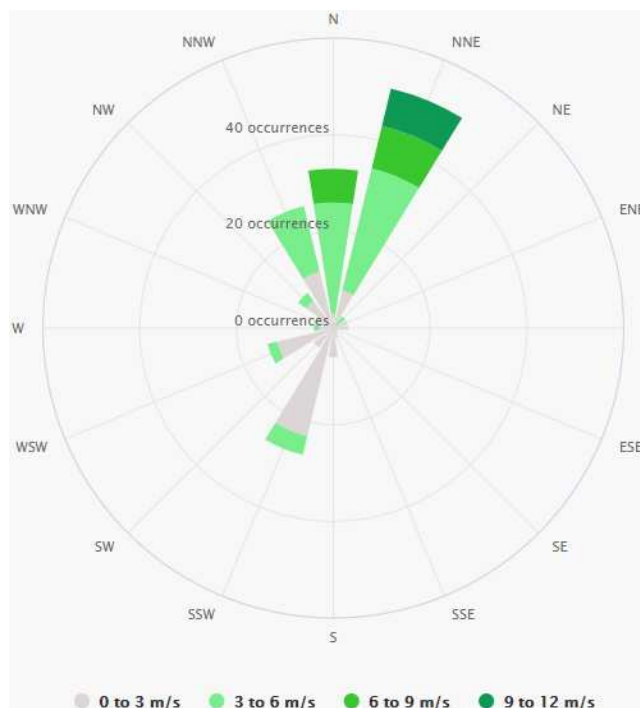
Југо је топао и сув вјетар који дува из сјеверне Африке (углавном из Либије) и који прелазећи преко Средоземног мора постаје влажан, нарочито у јесењим мјесецима. Јавља уз облачно и кишовито вријеме. Иако најчешће дува у хладним дијеловима године, може дувати и љети. Брзина вјетра се креће од 10 до 30 m/s и никада не крене да дува изненада, већ своју пуну снагу постиже тек након 24 до 36 сати, а олујну јачину углавном током трећег дана.¹

Сјеверац је хладан сјеверни вјетар који дува у унутрашњости Херцеговине. То је јак, сув и хладан вјетар који претежно дува у хладно доба године. Дува више дана, ријетко 2 до 3 седмице (с прекидима), и јачи је ноћу.²

На слици 5. графички је приказана ружа вјетрова карактеристична за простор Гацка, за период од 1985. године до данас.

¹Подаци преузети са: [https://sr.wikipedia.org/sr-el/Југо_\(ветар\)](https://sr.wikipedia.org/sr-el/Југо_(ветар))

²Подаци преузети са: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Sjeverac>



Слика 5. Ружа вјетрова за простор Гацка
(www.meteoblue.com)

2.2.4 Остале климатске карактеристике

Поред падавина, температура и ваздушног струјања као најважнијих елемената климатских карактеристика овог простора, важну улогу имају и следеће параметри :

- Релативна влажност ваздуха
- Инсолација (осунчаност)

Релативна влажност ваздуха има средњу вриједност од 65,8%³. Простор Источне Херцеговине карактерише добра инсолација, тј. велики број сунчаних дана у току године. Подаци указују да поља имају годишње и до 3166,6⁴ сунчаних сати. Највећа облачност је у децембру и новембру а најмања у августу.

2.3 Хидрографске и хидролошке карактеристике терена

Познавање хидролошких праметара и величина у карстним теренима захтјева комплексна хидрогеолошка истраживања. Падавине се дјелимично задржавају на површини слива, оборинска вода врло брзо понире, па се на рачун одумирања

³ Подаци преузети са: www.rhmzrs.com

⁴ Подаци преузети са: www.rhmzrs.com

површинске циркулације развија подземна циркулација. У затвореним карстним пољима, какво је и Церничко, долази до стварања повремених ретензија воде и њеног пражњења преко понорских зона.

Кроз Церничко поље протиче неколико сталних и повремених токова. Најзначајнији стални токови су: Кључка ријека, Јасовица и Степенски поток. Ток Кључке од извора Вилина пећина до момента понирања износи нешто више од 300 m (Слика 6. и 7.).



Слика 6. Ток Кључке ријеке од Вилине пећине



Слика 7. Понор Кључке ријеке

Све до шесдесетих година XX. вијека, ријека Требишњица била је највећа понорница у Европи. Сложен систем међусобно повезаних ријечних токова, укупне дужине 326 km, пружао се од извора Добра вода (ток Врбе) на Чемерну до ушћа Дубровачке ријеке у Јадранско море и ушћа Крупе у Неретву. На том путу, највећа европска понорница текла је наизмјенично понирући и извирући, тако да је локално становништво, не увиђајући везу, сваком њеном изданку давао посебно име. Дио тока од Дobre воде до језера Клиње носи назив Врба, а од овога мјеста до понора у Гатачком пољу, Мушница. Подземни ток Мушница пробија се кроз масив планине Бабе и извире из Вилине пећине у Церничком пољу под називом Кључка ријека.

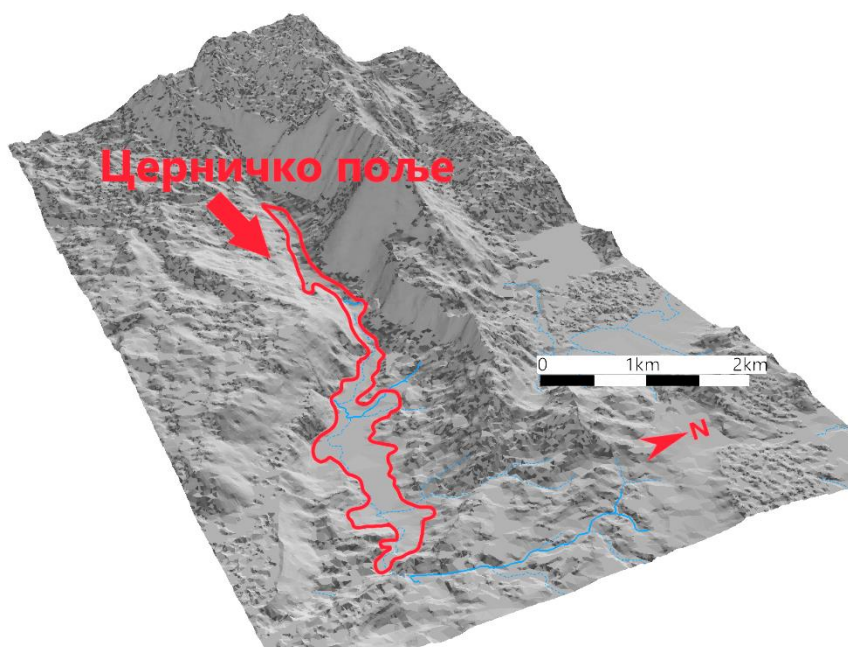
Сјевероисточно од извора Кључке ријеке (Вилина пећина), на удаљености од око 2 km налази се систем понорских зона на најнижим тачкама Малог Гатачког поља. Најзначајнији је Шабанов понор. У њега понире ријека Мушница. Такође, сјеверно од Вилине пећине на удаљености око 7 km налази се понорска зона у селу Срђевићи. Након појављивања у Вилиној пећини, Кључка ријека свој ток завршава у понору Кључке ријеке, на јужној страни Церничког поља.

Протицај Кључке ријеке варира у широком дијапазону. У периоду минимума кроз њено корита тече око 10 l/s , а у периоду максимума тече и до $60 \text{ m}^3/\text{s}$, што даје неравномјеран однос $Q_{\min} : Q_{\max} = 1 : 6\,000$.

2.4 Геоморфолошке карактеристике

Геоморфолошке карактеристике терена су типичне за карстне терене Источне Херцеговине односно Динарида. Доминира брдско-планински рељеф (слика 8.), који условљава основна геоморфолошка обиљежја.

Према Цвијићу (1924) карст (крш, крас) представља терен изграђен од стијена карбонатног састава (кречњака, доломита, доломитичних кречњака), који представља пацијенс, на коме доминантан утицај има хемијско дејство воде. У одређеном периоду времена, на том простору се развија крашки процес. Он се може препознати по типичним облицима који настају у крашком процесу, а који могу бити површински и подземни.



Слика 8. Сјенчени 3D модел Церничког поља

На површини терена уочавају се шкрапе, вртаче, увале и крашка поља. Од подземних облика, јављају се јаме и пећине, обиље сплетова подземних просторија различитих димензија, с бројним акумулационим облицима. Једна већа, релативно истражена пећина, налази се управо у изворишној зони Кључке ријеке – Вилина пећина (слика 9.) Водени токови, након проласка преко флиша Церничког поља, свој површински ток завршавају у понорима који се налазе на јужној страни поља.



Слика 9. Унутрашњост Вилине пећине

3. ГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕРЕНА

3.1 Преглед ранијих истраживања

Из прегледа литературе може се закључити да се ово подручје још прије Првог свјетског рата почели обилазити разни геолози.

У периоду од 1840. године до Другог свјетског рата у испитивању овог подручја учествовали су разни геолози.

Код Битнера (1880) налазимо мало података о Гатачком басену и дислокацији дуж које је флиш Лебршника и Чемерна, пада под мезозојске кречњаке Волујака и Зеленгоре. Он је ову дислокацију означио као велики уздужни расјед.

Брустина (1897) се бавио испитивањем старости угљоносне серије Гатачког басена те сматра да иста припада млађем терцијару или мицоену.

Цвијић (1924) је вршио геоморфолошка и геолошка проучавања у подручју највиших планина Источне Херцеговине.

Кацер (1921) сматра да наслаге Гатачког басена припадају олигоцену и не слаже се са испитивачима који овим наслагама одређују неогену старост. До ових података је дошао на основу интерпертрације података Брустине (1847).

Симић и сарадници (1939) урадили су VI лист геолошке карте БиХ 1:200 000 и извјештај за поменути лист. У извјештају дају податке о норичким доломитима код Автовца, јурским кречњацима око Бјелашнице (изнад Церничког поља) и Гацка, горњекредном флишу сјеверно од Гацка и еоценским седиментима јужно од Гацка (подручје Церничког поља).

Послије Другог свјетског рата испитивања у овом подручју вршили су углавном домаћи геолози.

Према Бешићу (1958), идући од мора према унутрашњости издваја се пет краљушти од којих су на терену који обухвата истажно подручје око Церничког поља присутне Староцрногорска, Кучка и краљушт Бјеласице (прилог 2.).

Петковић (1961) даје историјат различитих схватања о геолошкој грађи терена територије Херцеговине, критички се осврће на схватања појединих аутора и даје приказ геолошких и тектонских прилика ових области.

Муфтић (1964) извршила је доста детаљно литолошко издвајање у оквиру угљоносне серије Гатачког поља. На основу нађене фауне сматра да исти припада доњем плиоцену.

Милојевић (1966) вршио је испитивање угљоносне серије Гатачког басена. У оквиру исте издваја неколико суперпозиционих пакета. Што се тиче старости серије сматра да је горњомиоценска.

Треба поменути да се геолошки подаци о овом подручју налазе и у низу радова већег броја испитивача који су се бавили регионалним испитивањем Спољашњих и Унутрашњих Динарида.

3.2 Приказ опште грађе терена

Претходна истраживања показала су да: „Подручје истраживања налази се у граничном дијелу Спољашњих и Унутрашњих Динарида. Одликује се сложенем геолошком и тектонском грађом“⁵.

Снажни тектонски покрети који су се догодили у терцијару проузроковали су набирање и каскадно издизање терена паралело данашњој обали мора. Од надморске висине преко 1000 m.n.m према мору се степенасто спуштају удолине чије су површине радом воде и заплављивањем претворене у крашка поља која давају главно обиљежје карсту Источне Херцеговине.

Церничко поље спада међу мања карстна поља. Налази се између хипсометријски вишег Гатачког и нижег Фатничког поља, на надморској висини од 820 до 850 m. Церничко поље је формирано уз регионални реверсни расед дуж кога су јурски кречњаци налегли преко еоценског флиша. Моделирано је ерозионим процесом уске флишне зоне у дужини око 5 km са контрастно израженим високим кречњачким одсјеком дуж чела реверсног расједа. Геофизичким истраживањима констатована је дубина флиша од око 200 m. Ова флишна зона има улогу висеће хидрогеолошке баријере преко које се дио вода које пониру у Малом Гатачком пољу излива на површину и формира Кључку ријеку. У сушном периоду готово све воде теку испод ове баријере према изворима Требишњице, (Милановић, 2006).

Милановић (2006) описује дно поља као неравно са већим бројем вододерина које повезују повремене изворе дуж сјеверног обода поља са понорима дуж јужног обода. Најзначајнији је ток Кључке ријеке која извире из Вилине пећине и после течења преко флиша понире у "Понор Кључке ријеке" на коти 818 m.n.m. Понор је формиран у карстификованим кредним кречњацима.

Према тумачу за лист Гацко (Мирковић et al., 1980) и за лист Невесиње (Мојићевић et al., 1965) терен је изграђен од тријаских, јурских, кредних, палеогених, неогених и квартарних творевина.

⁵ Мирковић М. et al.: „Тумач за лист Гацко К34-26“, стр. 11

Јурска периода је представљена седиментним стијенама, које су релативно добро откривене и заузимају сјеверни дио подручја. Испод њих налазе се седименти тријаса, као што се може видјети на прилозима 4. и 5.

Седименти доње и средње јуре заузимају дјелове сјевероисточног и сјеверозападног дијела, тачније простор Вучије Баре и Градине. Они леже конкордантно преко кречњака горњег тријаса на које се везују без прекида у седиментацији. Од литолошких чланова заступљени су стратификовани сиви кречњаци, сиви лапоровити кречњаци и црвени глиновити и квргови кречњаци.

Седименти горње јуре имају много веће распрострањење у односу на старије јурске творевине. Веће су дебљине и развијени су у другој фацији. Заузимају сјеверни простор подручја, тачније простор Међуљића, Степена, Видежа, Округовина и Бољевица.

Кредни седименти изграђују југозападни и средишњи дио терена. Развијени су у фацији кречњака и фацији флиша. У кречњачкој фацији су доња креда, ценоман, турон и већи дио сенона, а у флишкој фацији су развијене творевине најгорњег конијака (сенона).

Доња креда изграђена је претежно од слојевитих кречњака. Заузимају централни дио терена, тачније простор Голог врха и Крчја.

Горња креда изграђена је од слојевитих и банковитих кречњака. Ови седименти заузимају јужи и југоисточни дио терена, тачније простор Јеловог Осоја, Брестича, Каменог брда и дијела Кључа.

Седименти конијака (сенона) представљени су флишним карактером (брече, кречњаци и лапоровити кречњаци са рожнацима). Заузимају мали дио терена између Међуљића и Гатачког поља, тачније простор Велике гомиле на сјевероистоку подручја.

Брече и конгломерати креде и палеогена заузимају југоисточни дио подручја, у оквиру села Пржине.

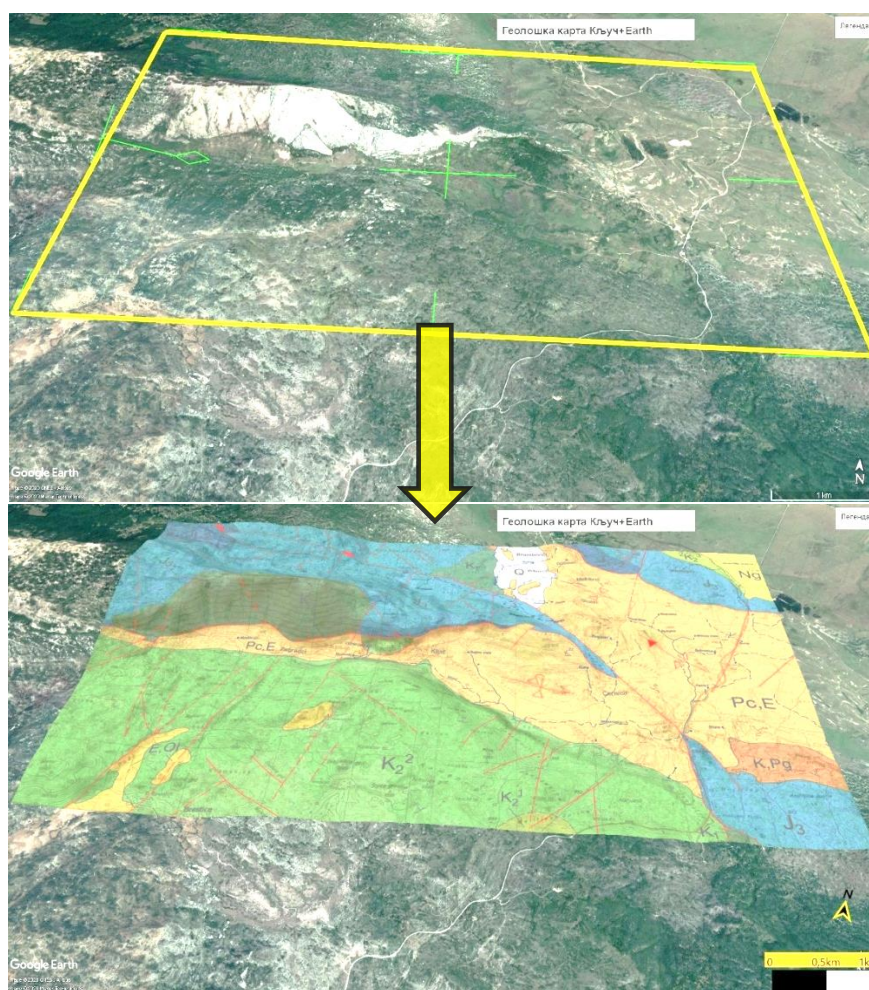
Флиш палеоцена и еоцена заузима значајан преддио и представља битан сегмент геолошке грађе терена. Од њега је управо и изграђено Церничко поље. Поред њега, изграђују преддио око Стоца и Мекаваца.

Еоцен и олигоцен леже транзгресивно преко горњокредних седимената у југозападном дијелу подручја, непосредно око Доњих Брестица. Представљени су црвенкастим конгломератима.

На самом сјевероисточном дијелу подручја налази се Гатачко поље. Оно је изграђено од неогених седимената, а у литолошком смислу издвајају се брче, кречњаци, и лапорци са угљем.

Квартарне насlage заузимају мањи дио терена, тачније предио Браниловића и Брковића. Представљен је алувијалним наслагама (шљунковима, пјесковима и алевролитима) ријеке Мушнице. Мале је дебљине.

Ради бољег разумјвања распореда поменутих јединица на слици 10. и 11. приказан је исјечак 3D сателитског снимка са Google Earth-а, као и истог са преклорљеном геолошком картом која је посебно дата у оквиру прилога 3.



Слика 10. и 11. Снимак терена (горе) и исти преклопљен геолошком картом (доле) (printscreen Google Earth)

3.3 Опис картираних јединица

У овом дијелу, геолошке јединице ће бити приказане детаљније кроз опис периода, епоха и катова, којим припадају, од старијих ка млађим према Мирковићу (1980) и Мојићевићу (1965).

ЈУРА

Седименти издвојени у оквиру ове картиране јединице развијене су у непосредној близини подручја истраживања, на палнини Баба и Бјелашници.

ДОЊА И СРЕДЊА ЈУРА (J_{1+2})

Творевине лијас-догера јављају се на планинама Бјелашници и Баби. Представљени су кречњацима, доломитима и рожнацима.

Боје су свијетлосиве, жуте до тамносиве. Микропалеонтолошки материјал сакупљен из ових творевина веома је оскудан и лоше очуван. Дебљина ових седимената јако варира (од 60 до 300 m). У подручју Гацка и Автовца из ових седимената сакупљена је и одређена амонитска фауна.

ГОРЊА ЈУРА (J_3)

Творевине горње јуре најзначајније распрострањење имају такође на планинама Бјелашници и Баби. Јављају се и сјеверно од Гатачког поља, као и источно од Степена. Због велике литофацијалне сличности, углавном нису рашчлањавани, већ су приказани као горња јура уопште.

У литолошком погледу ради се искључиво о кречњацима. У горњој јури наведених планина утврђени су различити литофацијални развоји. Максимална дебљина кречњака је до 500 m.

КРЕДА

Кредни седименти су углавном представљени кречњачким наслагама које покривају највећи дио терена представљеног на геолошкој карти у прилогу 3.

Кречњаци су углавном горњокредне старости и распрострањени су јужно од Церничког поља.

ДОЊА КРЕДА (K₁)

Кречњаци доњокредне старости откривени су на јужним падинама Бабе (сјеверно до села Заградци) и западно од села Браниловићи. Доња креда регистрована је у подручју Кључа и представљена кречњацима са тинтинианама. Цијела серија је тамносиве до смеђе боје, мјестимично се јављају партије битуминозних кречњака.

ВАЛЕНДИН-БАРЕМ (K₁₋₃)

Кречњаци ове старости такође захватају мањи простор уз југозападни обод Малог Гатачког поља. Пакет седимената доње креде који одговара интервалу валенд-барем изграђује Крчи, западно од тока Мушнице, у атару села Браниловићи. Од литолошких чланова у оквиру овог пакета јављају се слојевити и банковити блиједожућкасти, свијетлосиви и мрки оолитични и микрокристаласти кречњаци. Мјестимично се у серији кречњака јављају свијетлосиви доломити у виду сочива. Дебљина слојева кречњака се креће од 0,8 до 2 m.

ГОРЊА КРЕДА (K₂)ЦЕНОМАН (K₂¹)

Седименти ценомана обично се јављају у виду зона различите дужине. Леже конкордантно преко кречњака доње креде. Од литолошких чланова заступљени су слојевити, рјеђе плочасти жућкасти и сиви кречњаци. Дебљина седимената ценомана креће се до 200 m.

ТУРОН (K₂²)

Туронски седименти леже конкордантно преко ценоманских. Налазе се у истим локалитетима гдје су развијени и ценомански седименти. Седименти турона представљени су слојевитим жућкастим детритичним псеудоолитичним кречњацима, слојевитим и плочастим сивим и жућкастим лапоровитим кречњацима се прослојцима доломитичних кречњака и доломита сиве боје и банковитим блиједожућкастим и бјеличастим кристаластим кречњацима.

Слојевити детритични и псеудоолитични кречњаци и танкослојевити и лапоровити кречњаци се јављају у доњем дијелу турона. Садрже остатке хондродонти.

Банковити и рјеђе масивни блиједожућкасти и бјеличасти кристаласти кречњаци јављају се у горњем дијелу турона. Садрже остатке капринула. Дебљина седимената турона креће се до око 350 m.

КОНИЈАК (СЕНОН) ($^2K_2^3$)

Творевине конијака имају флишни карактер. Преко базалних кречњачких бреча лежи серија седимената издвојена као други пакет. Седименти овог пакета издвојени су на југозападном ободу Гатачког поља између Међуљића и Срђевића. Представљени су слојевитим кречњачким бречама.

Кречњачке брече се јављају у виду банака и редовно су први члан секвенце. У њима је развијена градиација. Изграђене су од одломака фауне и различитих кречњака.

Калкаренити се јављају у виду слојева дебљине до 1 m. Представљају други члан секвенце. У њима је развијена градиација и хоризонтална, коса и укрштена ламинација. Калкаренити су изграђени од одломака кречњака и фрагмената микрофауне.

Лапоровити кречњаци јављају се као завршни члан секвенце. Сиве су боје. Као и остали чланови секвенце садрже мугле и рожнаце.

У калкаренитима и лапоровитим кречњацима налазе се остаци пелашких фораминифера. Седименти овог пакета даље од Мушнице према истоку нису развијени. Код Мушнице они исклињавају и даље према истоку седименти трећег пакета леже преко базалних бреча.

ПАЛЕОГЕН

ГОРЊА КРЕДА-ПАЛЕОГЕН (K,Pg)

Горњокредно-палеогене творевине леже дискордантно преко седимената горње јуре, доње креде и турона. Откривене су на југозападном ободу палеогеног појаса Степена и Куле Фазлагиха.

Представљени су крупнозрним кречњачким бречама и конгломератима чија се дебљина креће од 5 до 20 m.

ПАЛЕОЦЕН — ЕОЦЕН (Pc,E)

Палеоценско-еоценски флиш је присутан на значајном дијелу геолошке карте (прилог 3.), а изграђује и само Церничко поље. Представљен је бречама,

конгломератима, граувакама, кречњачким пјешчарима, литокластичним пјешчарима, пјесковитим калкаренима, кречњацима, лапорцима и глинцима. Брече су изграђене од комада кречњака различите величине од неколико милиметара до 5 cm. Јављају се у виду банака дебљине до 2 m. Преко крупнозрних бреча најчешће леже слојевите ситнозрне брече у којима се макроскопски запажају бројни нумулити. Преко ових бреча леже пјесковити калкарени. Јављају се у виду слојева дебљине 0,20 до 0,30 m. Изграђени су од карбонатног и пјесковитог детритуса.

Читава серија палеоценско-еоценског флиша одликује се правилном ритмиком. Грубозрни седименти имају развијену градацију. Хоризонтална и коса ламинација је развијена код пјесковитих калкареница и пјешчара. Органске и неорганске текстуре нису запажене.

Испитивањима узорака кречњака, калкареница и бреча, у препаратима је констатована асоцијација фораминифера и алги која указује на палеоценку и еоценску припадност.

У тој богатој асоцијацији заступљени су бројни крупни фораминифери.

На основу резултата геоелектричних мјерења (Енергоинвест, 1967) ови седименти залијежу до максималних 250 m испод површине поља.

ЕОЦЕН-ОЛИГОЦЕН (Е, ОI)

Мале партије ових седимената издвојене су сјеверно од Меке Груде, у подручју Хоцићке луке (Брестике). Седименти су представљени различитим конгломератима. У нижим дијеловима преовлађују валутице рудистних кречњака, које су слабо заобљене. Величина валутице јако варира и креће се у размјерама од неколико милиметара до 1 метра и више. Цемент је карбонатни. Изнад ових хоризоната долази дебела серија конгломерата чије валутице воде порекло од седимената различите старости.

НЕОГЕН

Јавља се на простору Великог Гатачког поља. Неогени седименти Гатачког поља су језерског поријекла. Леже преко седимената мезозоица и палеогеног флиша. Захватају простор од око 40 km². Представљени су конгломератима, пјесковима, глинама, угљеним слојевима и лапорцима.

Неогени пакет рашчлањен је на 13 дијелова, од који је један главни угљени слој и по два подинска и повлатна угљена слоја. У остаку пакета смјењују се лапори и глинци, док је најдоњи дио серије представљен зеленим глинама.

КВАРТАР

Алувијални нанос има веће распрострањење у Малом Гатачком пољу (атар села Кула Фазлагиха) и селима Браниловићи и Брковићи. Представљен је углавном алувијалним наслагама ријеке Мушнице и околних притока. Наслаге су манифестоване кроз пјескове и шљункове који су највећим дијелом изграђени од кречњачког и пјешчарског материјала. Мале су дебљине.

3.4 Тектоника

Данашња тектонска слика истражног подручја резултат је покрета алпске орогенезе. Као што је већ речено, тектонски покрети који су се догодили у терцијару проузроковали су набирање и каскадно издизање терена паралело данашњој обали мора. Сусрећу се готово сви феномени тектонике као што су: мање и веће, просте и сложене наборне структуре, које су расједима различитог типа и правца више или мање поремећене и покретане, и мање или више навлачене једна на другу.

Поред уздужних расједа који одвајају поједине тектонске јединице и дуж којих је долазило до хоризонталног кретања са најактивнијем ка југозападу, постоји низ уздужних и попречних расједа. Систем расједа правца сјеверозапад-југоисток је најстарији. Представљен је низом расједа дуж којих је долазило до вертикалних или хоризонталних помјерања, мјестимично и ротирања појединих блокова. Као веће пликативне структуре јављају се синклинале у подручју Церничког поља. У Церничком пољу седименти еоценског флиша убрани су доста интензивно и чине једну асиметричну синклиналну структуру чије је С-СИ крило раскинуто расједом тако да су на ове творевине мјестимично и значјаније накраљустани кречњаци јурске старости. Значајно је овдје поменути и антиклиналну структуру планине Баба чији се масив, изграђен од јурских кречњака, издиже изнад сјеверног руба Церничког поља. Углавном су заступљена два система расједа. Један систем одговара Динарском правцу пружања, док је други углавном управан на овај први. И један и други имају значај са аспекта хидрогеологије, односно кретања подземних вода на овом простору, (Сорајић & Милановић 2018).

На посматрам подручју издвајају се три тектонске јединице:

- Тектонска јединица Мека Груда – Сњијежница (дио Староцрногорске тектонске јединице)
- Тектонска јединица Бјеласице
- Кучка тектонска јединица

Тектонска карта за подручје истраживања дата је у оквиру прилога 2.

4. ХИДРОГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕРЕНА

4.1 Приказ хидрогеолошких типова издани

Према Сорајићу и Милановићу (2018) подручје истраживаног простора представља специфично карстно подручје са значајном улогом доломита у хидрогеолошким карактеристикама.

Са хидрогеолошког аспекта, а на основу досадашњих сазнања о истраживаном терену могу се издвојити сви већ познати типови издани. То су следећи типови издани, наведени од најзаступљених према мање заступљеним (прилог 6.):

- Карстни тип издани
- Сложени тип издани
- Пукотински тип издани
- Интергрануларни (збијени) тип издани
- Терени сиромашни изданима

Са хидрогеолошког аспекта најзначајнији је међусобни однос и положај управо литолошких јединица у којима су формиране карстне издани са јединицама у оквиру којих су формирано сложени типови издани и пукотинске издани.

Хидрогеолошке карактеристике терена у директној су функцији са литолошким и тектонским карактеристикама стијенских маса које изграђују Церничко поље и његову околину. Неогени седименти Гатачког поља су водонепропусни.

Карстни тип издани

Милановић (1999) наводи : „Карстна издан је нехомогена подземна акумулација у којој се вода скупља у мрежи међусобно спојених пукотина, каверни и канала. Слободни ниво издани није строго континурана површина. Он има генерални и локални нагиб. Генерално, читав издан има нагиб према ерозионом базису који дренира колектор који је под његовим утицајем, а локално према најближем подземног току већег капацитета. Овај ток представља ерозиони базис за онај дио вода које се дренирају према њему.“⁶

Карстни тип издани добре водопропусности представља доминантни тип издани на разматраном подручју као што се може видјети у прилогу 6. Развијен је у оквиру јурских и кредних кречњачка (слика 12.). Нешто слабију водопропусност показују доњојурски лапоровити и доломитични кречњаци. Прихрањивање издани формиране у јурским и кредним кречњацима је дифузног и концентрисаног карактера. У првом случају одвија се путем падавина (које иначе имају веома високе вредности у сливу, приказ дат у ранијем поглављу везаном за климатске карактеристике- 2.2.1), а у другом од стране понирућих токова. Нивои подземних вода током малих вода дубоко су испод површине терена, а карактеристично је њихово нагло издизање у периодима јачих падавина. На основу резултата осматрања пијезометара на јужном обуду поља амплитуда нивоа подземних вода у склопу карстне издани у горњокредним кречњацима је до 124 m⁷. Може се претпоставити да су амплитуде и веће обзиром на високе вриједности падавина, њихов интензитет, карактер и величину порозности. У овим седиментима акумулирају се значајне количине подземних вода чије се истицање јавља у зони локалног ерозионог базиса. Најзначајније концентрисно истицање подземних вода у подручју Церничког поља је на Вилиној пећини, у западном дијелу поља. Врело је углавном активно током читаве године, осим у периодима екстремних минимума. Врело дијелом, поред падавина, прихрањују и понируће воде Гатачког поља (утврђена директна веза са Шабановим понором и са понором у Срђевићима). Протицај врела је од неколико литара до преко 60 m³/s. Најзначајнији понори којим се врши дренирање Церничког поља и уједно

⁶ Милановић П. :Геолошко инжењерство у карсту“, стр. 30

⁷ Податак преузет из извјештаја од Криптос Милићи

прихрањивање карстне издани јужно од њега су стални понори Кључке ријеке и Јасовице те повремени понор у засеоку Шуковићи.

На истажном подручју карстни тип издани расчлањен је на:

- Карстни тип издани већег потенцијала (K_2^2 , J_3)
- Карстни тип издањи средњег потенцијала (K_2^1 , K_{1-3} , K_1 , J_{1+2})



Слика 12. Кречњаци малма (J_3) навучени на туронске кречњаке (K_2^2) у зони истицања Кључке ријеке

Критеријуми који су коришћени приликом одређивања потенцијалности, према Јемцову (2019) су следећи:

- Издашност извора
- Резултати опита обиљежавања
- Геоморфолошке карактеристике трена

Као доња граница за одређивање потенцијалности преко издашности извора узима се вриједност минималног протицаја (од 10 l/s па навише- велики потенцијал). Као што је већ наведено, издашност извора Кључке ријеке (Вилина пећина) креће се у дијапазону од 10 l/s до 60 m³/s. Највећи дио године протицај је неколико кубних метара у секунди. Издашност се смањује у сушним љетним мјесецима, када ријетко када опада испод 10 l/s. На основу овога критеријума, поменуте издани се са правом могу окарактерисати као високо потенцијалне.

Резултати опита обиљежавања (трасирања) представљају један од најважних података приликом проучавања карстних терена и његове карактеризације. Издани већег потенцијала имају фиктивну брзину већу од 1 cm/s (36 m/h). Велике брзине кретања вода кроз подземље значи присуство добро развијених система канала и каверни. Овај критеријум је такође испуњен, а опит обиљежавања и његови резултати биће посебно приказани у оквиру поглавља 5.2.2 и 5.3.2.

Геоморфолошки критеријуми представљају додатни критеријум приликом анализе карстних терена и одређивања његовог потенцијала. Геоморфолошки показатељи односе се на присуство морфолошких облика карактеристичних за карст као што су вртаче или подземне карстне појаве. Вртаче настају као последица хемијског воде на кречњаке. То је најзначајнији али не и једини чинилац који утиче на формирање вртача. Мјесто на коме се пресецају два или више расједа представљају најпогоднију тачку за почетак развоја карстног процеса. Један од начина настанка вртача је и проламање таваница у кавернама и карстним каналима који се налазе непосредно испод површине терена. Да расједи предиспонирају настанак вртача види се и по томе што вртаче имају дужу осу најчешће у правцу највећег расједа, а низови вртача означавају правац расједа или расједне зоне. За терене који имају присуство више од 1 вртаче/km² и/или присуство већег броја пећина, јама или других подземних геоморфолошких облика кажемо да су добро карстификовани и имају велики потенцијал. Анализа терена вршена је на основу прикупљених топографских карата, сателитских снимака и дигиталног елевационог модела.

Сложени тип издани

Сложени тип издани или хидрогеолошки комплекс развијен је у оквиру палеоценско-еоценских флишних седимената који прекривају само Церничко поље и у оквиру кредног флиша у близини Гатачког поља. Обзиром на измјену седимената различитих хидрогеолошких карактеристика у овом пакету, ове стијене окарактерисане су као хидрогеолошки комплекс и представљају сложени тип издани. У дјеловима гдје доминира кречњак јављају мање акумулације подземне воде, које се обично изливају на мјестима контакта са лапоровито-пјешчарским седиментима. Тако се јавља већи број сталних и повремених врела. Треба поменути Суљино врело у изворишном дијелу тока Јасовице, минималног капацитета већег од 0.1 l/s. Такође, непосредно

изнад Кључког понора јавља се врело Студенац (слика 13.). Оно представља мању изворишну зону, са провирањем воде на три мјеста од којих је најјачи извор од три примитивно каптиран. Издашност извора мјерена у априлу 2020. методом суда познате запремине била је 1 l/s. Сва остала врела су у минимуму са мањим издашностима од 0.1 l/s, док већина њих потпуно пресушује. Према подацима осматрања нивоа подземних вода у пијезометарима који филтерски дио имају у оквиру овог литостратиграфског члана амплитуде колебања нивоа подземних вода су до 25 m.



Слика 13. Каптирани извор Студенац

Пукотински тип издани

Пукотински тип издани развијен је у оквиру еоценско-олигоценских наслага и у бречима и конгломератима креде и палеогена. Еоценско-олигоценски црвени конгломерати изграђују простор сјеверно од села Брестице. Брече и конгломерати креде и палеогена распростиру се сјеверозападно од села Степен, у оквиру села Пржине. Поменуте стијене мале су дебљине и слабе пропусности и без практичног хидрогеолошког значаја.

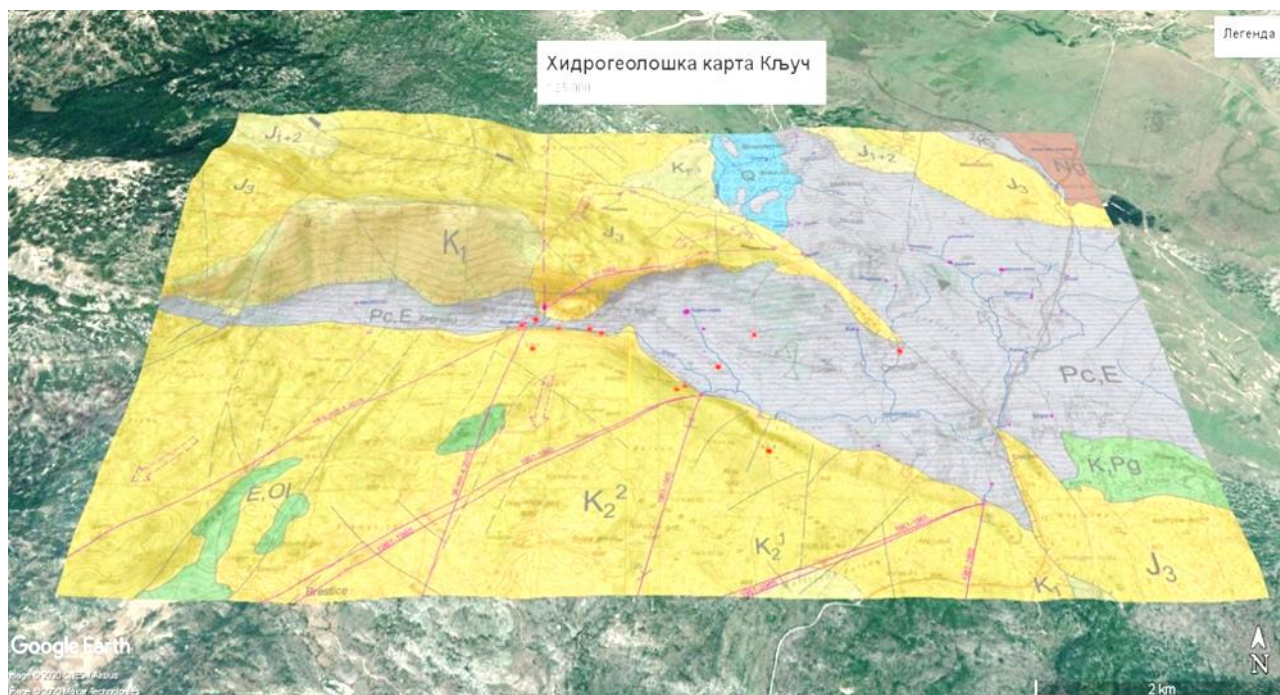
Интергрануларни (збијени) тип издани

Интергрануларни тип издани развијен је у оквиру неvezаних седимената Малог Гатачког поља. Представљени су алувијалним наносима ријеке Мушнице и осталих притока. Мале је дебљине, а самим тим имају и мањи значај.

Терени сиромашни изданима

Простор Гатачког поља изграђују неогени седименти који представљају безводне дијелове терена. Преко ових седимената тече ријека Мушница, која даље наставља свој ток кроз алувијалне наслаге Малог Гатачког поља и палеоценско-еоценски флиш до преласка у карстну средину и њеног понирања.

Распрострањење описаних типова издани приказано је на слици 14. преклапањем хидрогеолошке карте (прилог 6.) преко 3D Google Earth снимка (слика 10).



- | | | | | | |
|---|---|---|----------------------------|---|---------------------------|
|  | Карстни тип издани, већег потенцијала |  | Пукотински тип издани |  | Сложени тип издани |
|  | Карстни тип издани, средњег потенцијала |  | Интергрануларни тип издани |  | Терени сиромашни изданима |

Слика 14. Хидрогеолошка карта подручја преклопљена преко 3D Google Earth снимка (printscreen: Google Earth)

4.2 Услови храњења подземних вода

Услови за храњење карстне издани су далеко повољнији него што је то случај са изданима у другим геолошким срединама. У овом случају оно се врши директно, преко понора на ободу Гатчког поља и преко инфилтрације оборинских вода кроз зону епикарста, преко пукотина и прслина до зоне издани.

Ефекат храњења у сушном и у влажном периоду битно се разликује. У сушном периоду храњење издани је знатно отежано јер се ниво подземних вода налази на великој дубини. Надизданска зона у овоме периоду губи велики дио влаге, па се може рећи да у дужем сушном периоду долази до неке врсте „сушења“ надизданске зоне.

Када се говори о прихрањивању подземних вода, немогуће је не споменути и вегетацију. Она прекрива површину по којој се распоређују падавине, а тиме се повећава и ефекат испаравања.

У љетњем периоду веома мало воденог талога доспијева у издан. Томе треба додати да у периоду љета падају знатно мање количине падавина у сливном подручју (за јун, јул и август падне свега 11% годишњег воденог талога -табела 1.), што у комбинацији са наведеним чиниоцима за последицу има смањено прихрањивање издани. Са друге стране, у влажном периоду (новембар-мај у коме падне око 80% падавина, табела 1.) утицај свих ових чинилаца је сведен на минимум. У овоме периоду 70-90% оборинских вода доспијева до изданске зоне.

Храњење издани више зависи од режима падавина него од количине укупних годишњих падавина. Период интензивних падавина најпољовније утиче на храњење издани, док честе али слабе падавине немају велики значај, (Милановић, 1979).

Падавине у некарстним теренима као што је Гатчко поље и Мало Гатчко поље, захваљујући ретардацијоној способности средине, претварају се у перманентну појаву- отицање преко развијене ријечне мреже коју представља ријека Мушница са својим притокама (слика 15.). Велики значај у прихрањивању имају и воде формирање отапањем зимског снијега у прољећном периоду.



Слика 15. Шабанов понор на ободу Гатачког поља
(www.researchgate.net)

Ретардациона способност стијена дисолуционе порозности је врло лоша, тако да је веза између падавина и отицања далеко непосреднија. Значајну улогу у ретардационим способностима имају затворена карстна поља. У Церничком пољу се повремено акумулирају велике количине воде што временски знатно успорава њихов утицај. Значај ових природних акумулација за регулацију отицања у карсту може да буде веома велики. У току високог поплавног таласа (до 850 m.n.m) у пољу се задржи око $29 \times 106 \text{ m}^3$ воде, која се дренира преко понора Кључке ријеке, понора Јасовице и Шуковића понора са укупним капацитетом гутања од $42,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Дакле, услове храњења издани могу се оцијенити као повољни. Велико распрострањење карста, његова разуђеност на површини и подземљу, уз сталне изворе прихрањивања, прије свега на рачун падавина, омогућавају не само добре услове, већ и значајн могућности за њихово акумулирање у подземљу захваљујући дебљини карбонатних наслага.

Неповољни услови због ограничене зоне инфилтрације јављају се у дијеловима неогених седимената Гатачког поља.

4.3 Услови појављивања и кретања подземних вода

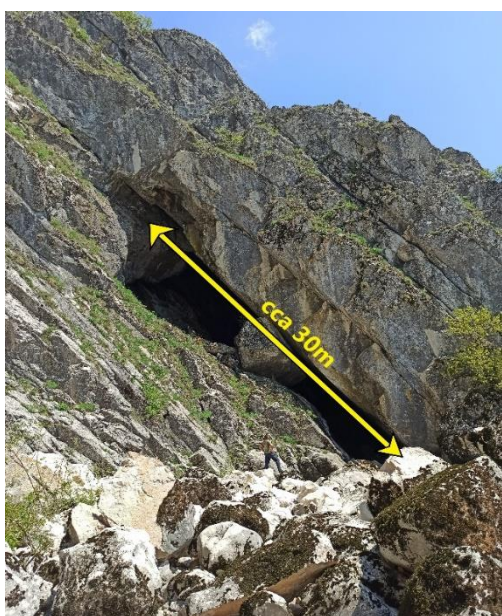
Положај ерозионих база је онсовни фактор у одређивању регионалног доминантног правца циркулације подземних вода у карсту. Литологија, расједи и структуре су такође врло значајни усмјеривачи подземне воде, али њихова функција је увијек нижег

ранга од функције ерозионог базиса. Уколико се на путу води према ерозионом базису нађе структура са хидрогеолошком функцијом баријере, она ће проузроковати локално скретање, али неће онемогућити везу са ерозионом базом.

Према Милановићу (1979), у оквиру карстних области ерозиони базиси могу се подијелити у три групе:

- Апсолутни ерозиони базис
- Главни ерозиони базис
- Локални ерозиони базис

Апсолутни ерозиону базис представљају морски базени (надморска висина 0 mnm), тј. Јандранско море. Главни ерозиони базиси су ријечне долине и велики токови, као што је то у случају токова Церничког поља, ријека Требишњица. Локални ерозиони базиси су карстна поља, увале, суве долине и слични локални облици какво је и Церничко поље. Оно служи за транспорт или повремено акумулирање воде.



Слика 16. Извор Кљичке ријеке- Вилина пећина

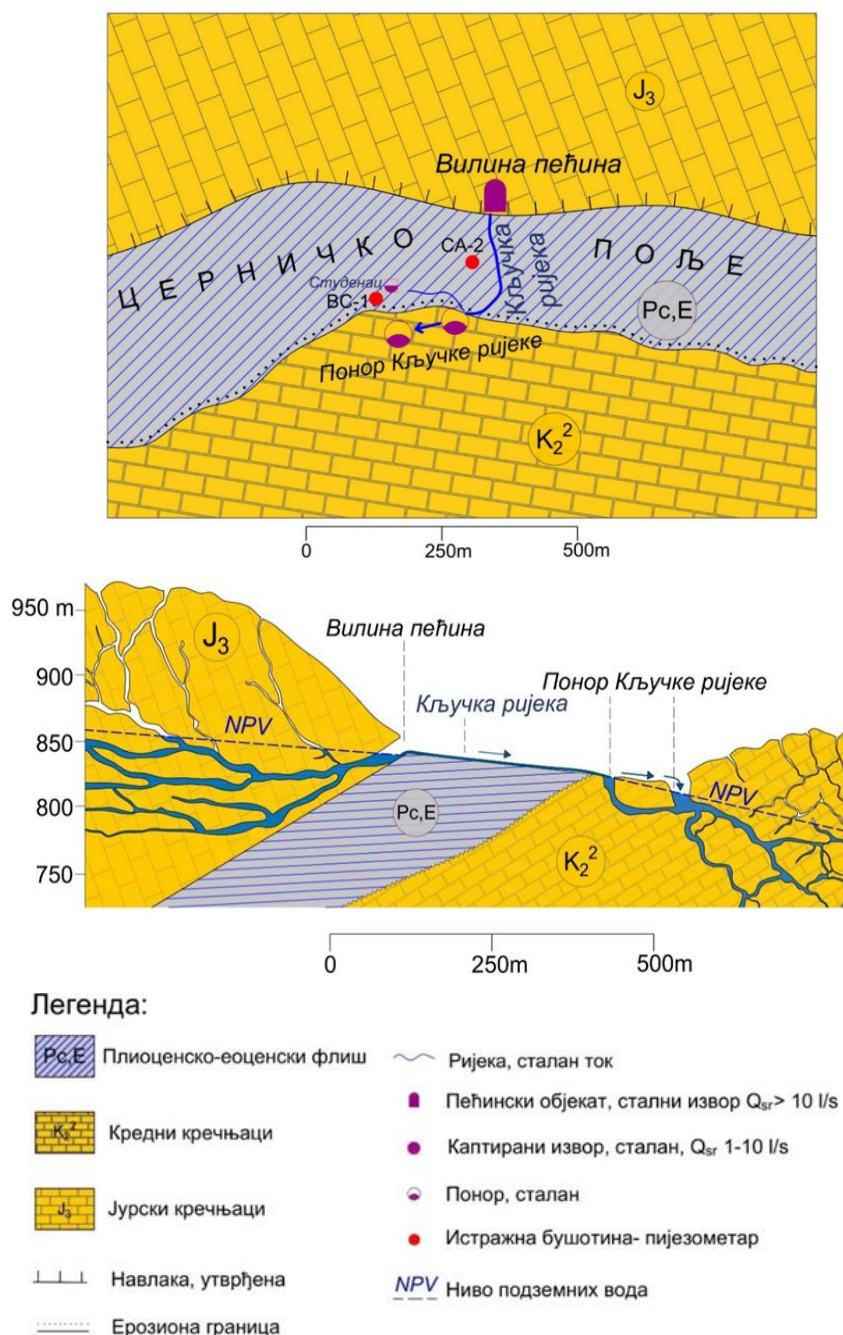


Слика 17. Понор Кључке ријеке

Извори у карсту обично се налазе по ободима ерозионих базиса, тј. по ободима карстних поља. Општа карактеристика ових извора је непосредна зависност између падавина и њихове издашности.

Најначајнији површински ток Церничког поља, представља Кључка ријека. Она се формира на тектонском контакту плиоценског-еоценског флиша и кречњака

(слика 16. и 18.). Ток се завршава после 300 m у понору Кључке ријеке са капацитетом гутања око $20 \text{ m}^3/\text{s}$ (слика 17. и 18.). У минимуму коритом протиче око 10 l/s , а после великих падавина $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Протицаји за вријеме екстрема могу бити преко $50 \text{ m}^3/\text{s}$, (Милановић, 2006). Када се издашност врела повећа преко $20 \text{ m}^3/\text{s}$, тј. када понор више није у могућности да прогута воду која долази са врела, долази до плавлња Церничког поља.



Слика 18. Шематизовани приказ формирања Кључке ријеке и њеног тока преко Церничког поља , у плану (слика горе) и профилу (слика доле) (модификовано према цртежима Милановића (1979))

4.4 Физичка и хемијска својста изданских вода

У принципу, ријеч је водама добрих физичких и хемијских својстава. Међутим, у одређеним дијеловима и условима развића услед велике рањивости издани, може да дође до промјене својства у негативном смислу.

По физичким карактеристикама спадају у воде без боје и мириса, освјежавајућег укуса, када су границама средњегодишњих температура ваздуха (око 9°C). До великих одступања у режиму појединих физичких својстава долази, углавном, у периоду интензивног прихрањивања на рачун вода од падавина (после наглог отапања снијега, или након дужних кишних периода), када често долази до замућења воде и до појаве боје, промјена у температури, укусу те до бактериолошког загађења и слично.

Хемијски састав и укупна минерализација су углавном уједначени током године. Ријеч је о хидрокарбонатним водама са малим количинама сулфат јона. Присуство ових јона последица је присуства анхидрита у карбонатним седиментима те близине лежишта минералних сировина у зони РиТЕ Гацко. Подземне воде показују благу алкалну реакцију. Вриједност рН се креће од 7,6 до 8,5. Присуство слободне угљене киселине се креће од 1-10 mg/l.

У табели 3. и на слици 19. приказане су основне компоненте физичког и хемијског састава подземних вода за главну понорску зону изнад Церничког поља (понор у Срђевићима- формула (4.4-1) и за главну зону дренарања испод понора Церничког поља (врело Требишњице- формула (4.4-2)). Аутор рада није могао да дође до комплетне хемијске анализе воде из Церничког поља, па ће својства изданских вода бити представљена кроз анализу састава на претходно поменути локацијама. Пошто је доказана веза са понорском зоном на ободу Гатачког поља (зона Срђевићи према Шабановом понору) и са врелом Требишњице, уз то додајући и велику брзину циркулације вода, сматра се да се хемизам знатно не разликује.

$$M 0,24 \frac{HCO^3_{83} SO^4_{17}}{Ca_{91} Mg_9} \quad (4.4-1)$$

$$M 0,17 \frac{HCO^3_{87} SO^4_{13}}{Ca_{89} Mg_{11}} \quad (4.4-2)$$

Табела 3. Просјечни резултати хемијских анализа (период 1996-2002) Службе за лабораторијска истраживања ХЕТ-а (З. Мркоња, 2004)

Локација	Срђевићи	Извор Требишњице
Tmin (C°)	7	7
Tmax (C°)	21,4	25
pHmin	7,8	7,6
pHmax	8,5	8,08
Ca ²⁺ (mg/l)	85,9	65,4
Mg ²⁺ (mg/l)	8,2	7,9
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	205	171
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	41,8	26,62
PO ₄ ⁻³ (mg/l)	0,03	0,03
CO ₂ (mg/l)	6,1	1,2
O ₂ (mg/l)	9,1	9,49
Fe (mg/l)	0,07	0,06
Mn (mg/l)	0,05	0,05
NH ₃ (mg/l)	0,1	0,05
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,01	0,005
Утрошак KMnO ₄ (mgO ₂ /l)	2,9	1,6
Алкалитет (°dH)	8,2	7,9
Укупна тврдоћа (°dH)	9,6	8,2
Стална тврдоћа (°dH)	1,42	0,4
Испариви остатак (mg/l)	241,5	174,3

Према њемачкој класификацији вода је на граници између меких и умјерено меких (од 8 до 10 °dH).⁸

На слици 19. приказана је промјена хемијског састава изданских вода од понорске зоне у Срђевићима према врелу Требишњице (фиктивној раздаљини сса 33 km).



Слика 19. Дијаграм промјене хемијског састава понор Срђевићи-Врело Требишњице

⁸ Граница између меких и умјерено меких вода је 10 °dH

Преовладавање HCO_3^- и Ca^{2+} резултат је растварања кречњака и доломита, а у мањој мјери и дисосовања угљене киселине. Сулфатни јони су знатно мање заступљени од јона хидрокарбоната. Њихов садржај креће се до 25 до 45 mg/l. Јони SO_4^- потичу од једињења CaSO_4 и MgSO_4 , те од антропогеног утицаја Рудника и Термоелектране Гацко. Хлориди су слабо заступљени.

Дегазација угљен-диоксида представља један од најважнијих хидрогеохемијских процеса између почетне воде Мушнице у Срђевићима, и крајње воде извора Требишњице. Разблажујући утицај других подземних вода не даје ралну слику процеса који се одвија у карстним каналима.

4.5 Режим издани

Стевановић & Милановић (2017) наводе да: „Режим подземних вода представља квалитативно и квантитативно стање подземних вода у времену, под утицајем природних и вјештачких фактора, који узајмано и прегнуто дјелују“⁹. Режим карстног типа издани је веома динамичан, што се нарочито односи на режим нивоа и издашности. Однос минималних и максималних нивоа, као и однос минималних и максималних протицаја варира у широком дијапазону у току хидролошког циклуса.

4.5.1 Осцилације нивоа подземних вода

Велике димензије крстних канала, њихова међусобна повезаност, велики градијент и велика водопропусност површинских зона омогућава врло брзо пуњење али и пржњење колектора, односно брзо формирање издани и скоро исто тако њено брзо пражњење. Релативно мала укупна порозност, а изванредне могућности циркулације, резултирају врло брзим осцилацијама издани, са великим амплитудама. На значајне падавине (преко 30 mm) издан у зимском периоду реагује врло брзо- у току 10-15 сати, (Милановић, 1999). Јасно се разликују два периода са различитим карактером осцилација. Једно је кишни период од октобра до априла, када се ниво издани налази у сталном покрету, а промјене су велке и честе. Период од маја до септембра се одликује врло благим промјенама нивоа издани. У том периоду ниво се благо али

⁹ Стевановић З. & Милановић С.: Методе хидрогеолошких истраживања, стр. 468

константно снижава. То је период пражњења издани. Назива се још и периодом рецесије или исцрпљења издани.

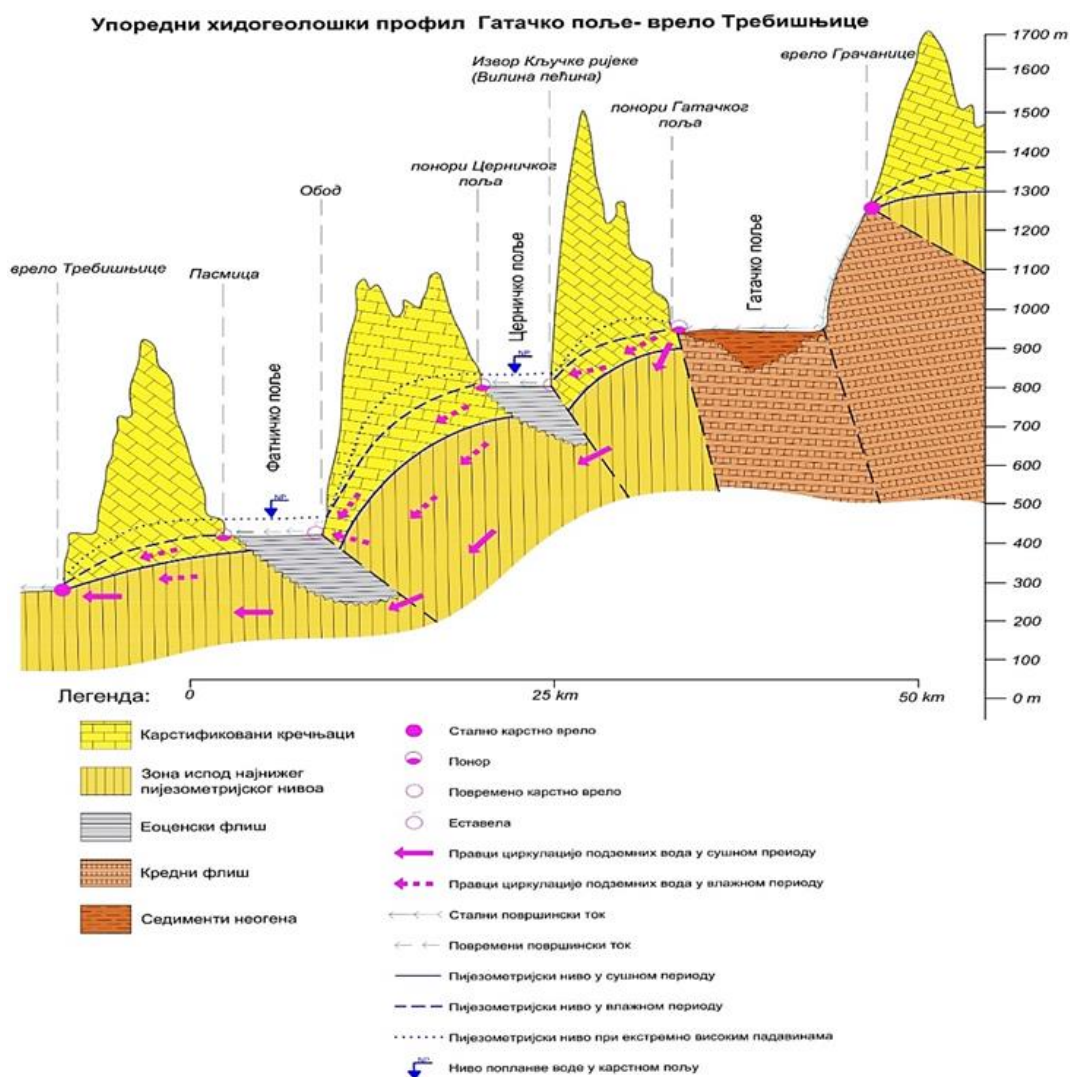
На подручју Источне Херцеговине успостављена је обимна пијезометријска мрежа прије свега за потребе пројектовања и изградње Хидросистема Требишњице. У подручју Церничког поља налази се 16 бушотина за праћење промјене нивоа подземних вода. Приказ доступних резултата њиховиг мониторинга биће приказан у поглављу 7.1

Код оваких издани, у сушном периоду одвија се течење које има карактеристике токова са слободном површином, а у периоду засићености издан се одликује карактеристикама хидрауличког система под притиском. У том периоду основне кинематске елементе карстног подземног тока треба тражити, углавном, у законитостима турбулентног течења кроз храпаве проводнике.

У периоду падавина и прилива великих количина воде засићују издан кроз понор Кључке ријеке или неког другог понора на ободу поља (понор Јасовица и Шуковића понор), због немогућности гутања понора Кључке ријеке. У том случају базни ток долази под притисак. У оваквим условима течење се одвија сагласно квадратном закону отпора.

На слици 20. приказан је утицај локалних и апсолутних ерозионих базисана генерални нагиб издансих вода. То је упрошћени хидрогеолошки профил од извора Требишњице код Билеће до највећег ерозионог базиса- Гатачког поља. У овом правцу кретања подземних вода доказана је подземна веза путем опита бојења, а резултати су приказани у поглављу 5.3.2

Према Милановићу (1979) између Гатачког поља и врела Требишњице постоји могућност за формирање јединствене карстне издани. У сушном периоду њен ниво се спушта врло дубоко, тако да висеће баријере у оквиру флиша у Церничком и Фатничком пољу тада немају никакав хидрогеолошки значај. Циркулација вода се одвија испод ових баријера. Тек у периоду великих вода ове баријере дјелују као успоривачи и утичу на формирање нагиба издани, а преко њих се прелијевају снажна карстна врела.



Слика 20. Упроишћени хидрогеолошки профил Гатачко поље- врело Требишњице (модификовано према цртежима Милановића (1979))

Како наводи Милановић (1979), генерална пијезометријска линија, посматрана у правцу течења се мијења у зависности од хидролошке ситуације, а њен облик зависи од карактера средине. У карстном масиву који дијели два поља, градијенти су већи што има за последицу веће брзине, при осталим истим условима. Пошто је тиме повећана и пропусна моћ колектора ниво издани у овом масиву има увијек генерални нагиб према нижем ерозионом базису. Управо такав случај имамо између Церничког и Фатничког поља. Са друге стране, у подручју између Гатачког и Церничког поља и између Фатничког поља и врела Требишњице ситуација је другачија. Висинска разлика је далеко мања, а самим тим мања је и пропусна моћ колектора. При високим водостајима у издани долази до знатног успора тако да се у екстремним случајевима

ниво издани издигне изнад нивоа вишег ерозионог базиса. У току високог поплавног таласа (до 850 mm) у Церничком пољу се задржавају велике количине воде, која се дренаира преко понора Кључке ријеке, понора Јасовице и Шуковића понора са укупним капацитетом гутања од 42,5 m³/s. У таквим случајевима између два нивоа формира се привремена хидрогеолошка водојелинца па се један дио издани празни преко више ерозионих базиса. У том периоду евакуациони објекти базиса (поља) почињу да раде као врела.

4.5.2 Осцилације издашности издани

Један од главних показатеља стабилности режима представља издашност врела. Издашност може да варира у широким границама. Узимајући у вид све оно што је већ речено о овом типу издани, онда је јасно зашто се промјене у режиму падавина веома брзо преносе, ондосно утичу на издашност врела.

Стални извори на вишим квотама имају веће варијације у издашности од извора у приморском појасу. Врело „Вилина Пећина“ на коти 840 m.n.m има у минимуму издашност око 10 l/s, а у максимуму достиже и до 60 m³/s, што даје однос $Q_{min} : Q_{max} = 1 : 6000$. На основу овога односа режим издашности се оцјењује као јако неравномјеран. На сликама 21. и 22. приказан је прелив на понору Кључке ријеке у различитим хидролошким периодима.



Слика 21. Понор Кључке ријеке за вријеме средњих вода



Слика 22. Понор Кључке ријеке за вријеме малих вода

(фото: www.devonkarst.org.uk)

4.6 Резерве изданских вода

На основу већ реченог, није тешко претпоставити да се у границама распрострањења овог типа издани налазе значајне резерве подземних вода, које по својој потенцијалности надмашују резерве у осталим типовима издани.

По свом карактеру резерву могу бити од локалног значаја у рјешавању задатака у водоснабдјевању одређених потрошача. На такво стање, свакако има утицај већи број фактора:

- Удаљеност потрошача
- Велика дубина до нивоа издани
- Скупа истраживања и др.

Међутим, њихова реална валоризација још увијек је недовољно позната.

5. ПРИКАЗ ХИДРОГЕОЛОШКИХ ИСТРАЖИВАЊА И ЊИХОВИХ РЕЗУЛТАТА

5.1 Историјат ранијих хидрогеолошких истраживања

Цвијић (1900) приказује битне геолошке, морфолошке и хидролошке карактеристике следећих поља: Фатничког, Дабарског, Церничког, Гатачког, Столачког као и неких мањих као што су Плана, Мека Груда и Корита. Он организује прва систематска геоморфолошка, хидрогеолошка и спелеолошка истраживања.

Током истражних радова велика пажња је поклоњана анализи хидрогеолошке функције шире зоне Церничког поља, будући да се дио концепције Горњих Хоризоната¹⁰ заснива и на искоришћавању потенцијала вода које се кроз ово поље и транспортују. Ова претпоставка је потврђена кроз резултате бројних истражних радова: геолошко картирање, истражно бушење, осматрање осцилација нивоа вода у пијезометрима, бојењем бушотина итд.

¹⁰ Енергоинвест: “ХЕ Церница, Инвестиционо-техничка документација”

До данас о самој зони истраживања као и о хидрогеологији Горњих и Доњих Хоризоната највише података који су коришћени као подлога овим истраживањима, те током израде овог рада дао је Милановић (1979, 1999, 2006) кроз низ радова и књига објављених о овом подручју.

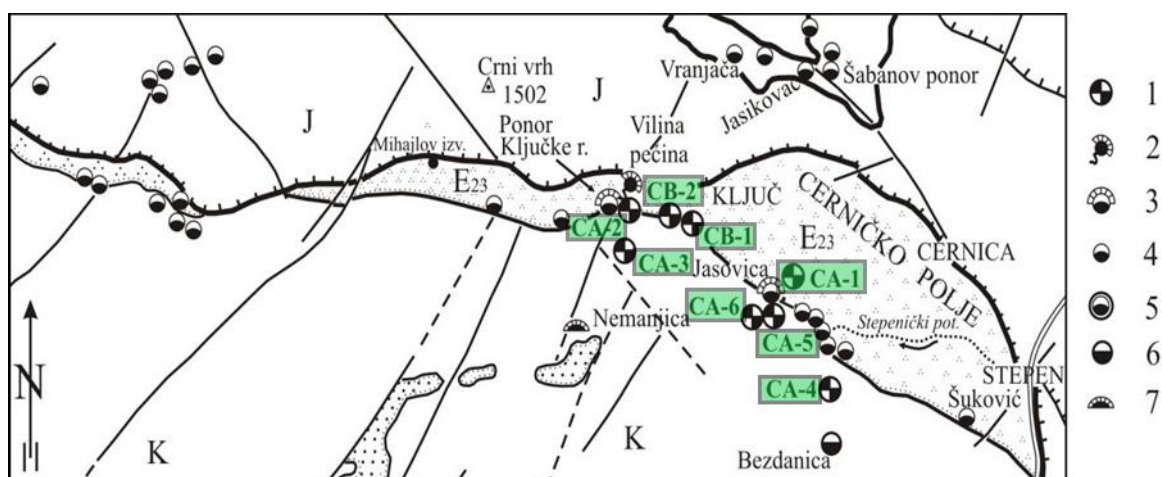
Од посебног значаја су резултати геолошких истраживања изведена за потребе израде идејног рјешења за ХЕ Церница (1967).

За потребе израде неведеног идејног пројекта на подручју самог поља и јужне кречњачке греде, у периоду 1963.-1965.год., избушено је 8 бушотина у које су уграђене пијезометарске конструкције. Њихов положај видљив је и на хидрогеолошкој карти (прилог 6.). У наставку се даје табеларни преглед ових бушотина (табела 4.) са наведеном годином израде. Све бушотине претворене у пијезометре а потом су на њима успостављена мјерења нивоа подземних вода. О тренутном стању пијезометара биће више ријечи у оквиру поглавља 5.3.3 , у дијелу који се односи на хидрогеолошко рекогностизирање Церничког поља.

Табела 4. Табеларни преглед бушотина избушених у периоду 1963.-1965.године на подручју Церничког поља

Редни број	Назив бушотине	Мјесец и година завршетка
1.	СА-1	септ. 1963.
2.	СА-2	мај 1965.
3.	СА-3	април 1965.
4.	СА-4	нов. 1964.
5.	СА-5	дец. 1965.
6.	СА-6	мај 1964.
7.	СВ-1	мај 1965.
8.	СВ-2	јун 1965.

На слици 23. приказан је полжај истажних бушотина из табеле 4.



Слика 23. Положај истражних бушотина и осталих појава у подручју Церничког поља.
 Легенда: 1- Истражна бушотина, 2- Врело, 3- Велики понор, 4- Понор, 5- Група блиских понора, 6- Јама, 7- Пећина (Милановић (2006))

5.2 Методе истраживања

Кроз ово поглавље биће приказана новија доступна истраживања везана за описивано подручје. Како би се утврдила хидрогеолошка функција Церничког поља неопходно је било извести низ додатних хидрогеолошких истраживања.

5.2.1 Хидрогеолошко рекогносцирање терена

У склопу истраживања изведено је геолошко и хидрогеолошког картирања терена на локацијама која су после обухваћена мониторингом подземних вода као и опитима обиљежавања.

Хидрогеолошким картирањем је обухваћен следећи обим истражних теренских радова:

- дефинисање тачног координатног положаја свих тачака картирања (GPS)
- идентификација и регистровање свих хидрогеолошких објеката и појава на истраживаном терену као што су:
 - извори (стални и повремени)
 - дефинисање функционисања сталних и повремених токова
 - истражне бушотине и пијезометри
 - степен карстификације и испуцалости стјенске масе
 - пећине, јаме и понори
 - мјерење нивоа подземних вода
 - дефинисање праваца кретања подземних вода

5.2.2 Опит обиљежавања

Једна од важних метода у испитивању подземних вода у карсту, њихових праваца кретања, брзина, а самим тим и развића карстне издани је обиљежавање или трасирање подземних токова. Према Милановићу (1999) количина боје за успјешно обиљежавање неког подземног тока зависи од више фактора. Укупна количина обиљеване воде, брзина којом се талас обиљевача креће, разгранатост и положај подземних токова, дужина пређеног пута и постојаност у додиру са околином главни су фактори који утичу на успјех експеримента са одређеном количином боје. Већина ових елемената је непозната па је немогуће постављање формуле која би задовољила већу тачност. За приближно одређивање количине боје у условима дефинисања циркулације подземне воде фигуришу параметри који се могу измјерити: капацитет „примања“ тј. гутања воде у зонама ињектирања обиљевача, издашност на дренажним бушотинама или изворима и растојање између њих. Најчешће коришћена формула (5.5.3-1) за опит обиљежавања, предложена од Мартела (1940) је:

$$K = L \times Q \quad (5.5.3-1)$$

гдје је:

K –количина боје (kg);

L –растојање између мјеста ињектирања боје (понора, пијезометара или бушотина) и најудаљенијег осматрачког мјеста тј. извора (km);

Q –укупна издашност свих осматраних извора (m³/s).

Управо ова формула је коришћена у току истраживања на дефинисању веза подземних вода у главној понорској зони Церничког поља, тј. у понору Кључке ријеке, са низводним врелима. За опит обележавања коришћен је трасер Na-флуоресцеин (слика 24. и слика 25.).



Слика 24. Процес убацивања обележивача
(Сорајић & Милановић (2018))



Слика 25. Понирање обојене Кључке ријеке
(Сорајић & Милановић (2018))

Прије убацивања потребан је био обилазак терена на унапријед предвиђеним локацијама односно потенцијалним мјестима будућег појављивања боје и узимање нултих узорка те мјерење издашност на осматрачким пунктовима. На основу прикупљених података утврђено је да је за квалитетан опит обиљежавања неопходно убацивати 12 kg Na-флуоресцеина.

Након дефинисања локација узорковања приступило се извођењу опита обиљежавања. Убацивање је извршено 16. априла 2018. године у 09:00 часова. Праћење појаве обиљеживача изведено је на свим дефинисаним локацијама могућег појављивања односно на еставели Обод, јами Баба и Врелу Требишњице а концентрација је мјерена на узорцима помоћу опреме Turner designs UV 10 флуорметра (слика 26.).



Слика 26. Одређивање концентрације обиљеживача у узорцима
на UV флуорметру (Сорајић & Милановић (2018))

5.2.3 Провјера функционалности постојећих пијезометара (видеоендоскопско снимање пијезометара)

У циљу утврђивања стања и проходности пијезометара у оквиру Церничког поља, крајем јула 2018. године је изведена видеоендоскопија постојећих бушотина.

За потребе снимања дренажних бушотина коришћена је широкоугаона камера (слика 27.) пречника 40 mm за дубине до 300 m. Овај тип камера је коришћен због природе бушотине, односно због уграђене пијезометарске конструкције пречника од 50 mm са уводним до максимално 60 mm. Камера је такође одабрана и због јаког потенциометарски подесивог свијетла и високе резолуције слике, (Сорајић & Милановић, 2018).



Слика 27. Опрема за видеоендоскопско снимање бушотина (Сорајић & Милановић (2018))

5.2.4 Истражно бушење, картирање језгра, испитивање водопрпусности и уградња пијезометарских конструкција

На љето 2018. године вршена су теренска истраживања на изради 4 истражне бушотине у зони Шуковића понора (слика 28. и 29.), на ободу Церничког поља, (Сорајић & Милановић, 2018). Бушотине су дубине од по 40 m. Бушење се вршило са континуалним језгровањем и картирањем језгра. Испитивање водопрпусности (ВДП) изведено је на свим истражним бушотинама. На свим истражним бушотинама изведена је и уградња пијезометарских конструкција, пречника $\varnothing 2''$).



Слика 28. Бушење истражних бушотина на пројектованим локацијама Церничког поља (Сорајић & Милановић (2018))

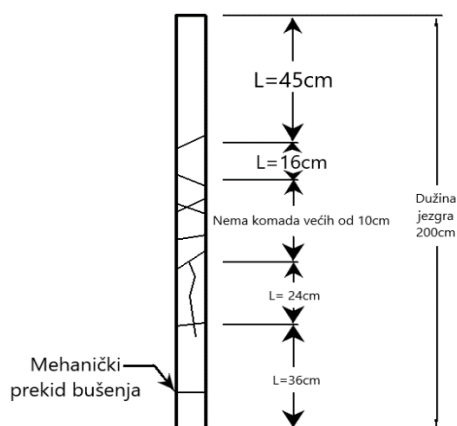


Слика 29. Извођење опита ВДП на новоизбушеним бушотинама (Сорајић & Милановић (2018))

Због релативно сличних литолошких карактеристика бушотина, ради детаљнијег дефинисања стјенске масе урађена је детаљна анализа језгра по RQD параметру. RQD је једноставан поступак који укључује издвајање комада бушотине који су дужи од 10 cm и потпуно нетакнути. Процент цјелокупне дужине језгра бушења представља RQD параметар. Према Deere-у (1989) овај параметар се рачуна по следњем изразу 5.2.4-1:

$$RQD = \frac{\text{Укупна дужина дијелова језгра већих од 10cm}}{\text{Дужина језгра}} * 100\% \quad (5.2.4-1)$$

Примјер одређивања параметра приказан је на слици 30., а у табели 5. су приказане интервалне вриједности квалитета стијена, према Deere-у.



$$RQD = \frac{45 + 16 + 24 + 36}{200} * 100\% = 61\%$$

Слика 30. Одређивање RQD параметра према Deere (1989)

Табела 5. Интервали за RQD параметар (Deere (1989))

Вриједност параметра RQD	Опис квалитета стијене
0-25 %	Веома лош
25-50 %	Лош
50-75 %	Средњи
75-90 %	Добар
90-100 %	Одличан

Испитивање водопрпусности (VDP) изведено је на свим истражним бушотинама помоћу Лижоновог теста и то у етажама појединачних дужина 5 m силазним поступком и притисцима на манометру од 2-4-6-8-10-8-6-4-2 бара.

Према Милановићу (1979) посматрано у вертикалном профилу, најизраженија водопрпусност је у зони највеће карстификације и испуцалости која је уједно и зона најизраженијих осцилација нивоа. Ту се налазе канали, каверне и пукотине под сталним динамичким утицајем вода које се крећу кроз издан. Колматација (заглињење) мањих пукотина и канала је често, док је то рјеђе код великих канала, а процеси који се у овој зони одвијају резултирају проширивањем канала и повећањем водопрпусности.

Суштина савремене варијанте ове методе састоји се у томе, да се у бушотини, ограниченој специјалним пакерима, постепено утискује вода под притиском, а притисак током опита мијења (слика 31.). Утиснута количина воде се мјери и при том се одређује специфично упијање воде q (количина воде инфилтрирана на један дужни метар испитиваног интервала при притиску од једног бара). Поред ове јединице, користи се и Лижонова јединица Lu (*Lugeon*), тј. количина воде коју стијена прими на једном дужном метру бушотине, при притиску од 10 бара, у временском интервалу од 1 минута ($1 Lu = 11 / \text{min} / \text{m} / 10 \text{ Ba}$) по формули 5.2.4-2, (Милановић, 1979), (Стевановић & Милановић, 2017).

$$q = \frac{Q}{P \times h} \quad (l / \text{min} / \text{m} / 10 \text{ bar}) \quad (5.2.4-2)$$

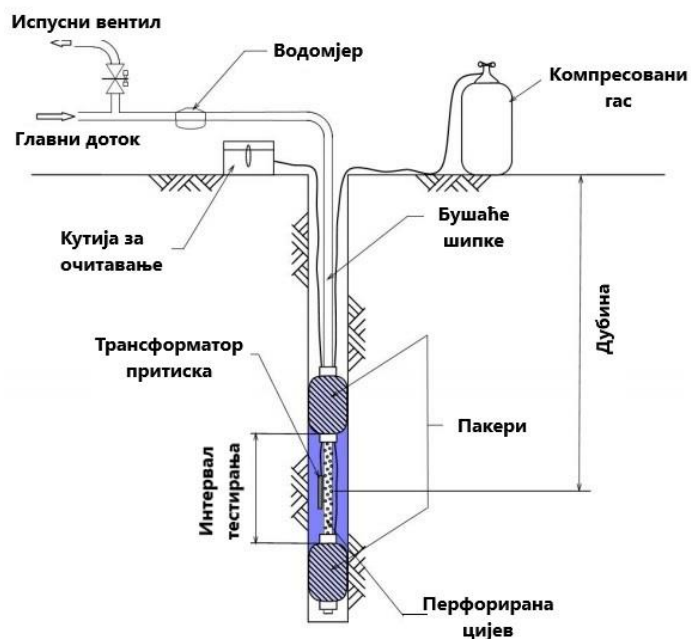
Гдје су:

q - специфична водопрпусност

Q - количина вода која се из испитиваног интервала бушотине губи кроз порозну средину (l/min)

h - дужина испитиваног интервала (m)

p - притисак под којим се вода утискује + притисак воденог стуба, прерачунато у m



Слика 31. Систем тестирања водопрпусности сијена помоћу Лижоновог теста (Quiñones-Rozo (2010))

У табели 6. према Quiñones-Rozo (2010) описани су повезани услови са различитим вриједностима Лужона, тј. водопрпусности.

Табела 6. Стање дисконтинуитета стјенске масе повезаног са различитим вриједностима Лужона (Quiñones-Rozo (2010))

Lu (Лижон)	Класификација водопрпусности	Коефицијент филтрације (cm/s)	Стање испуцалости стијене	Прецизност извјештавања (Lu)
<1	Веома ниска	$< 1 \times 10^{-5}$	Врло чврста стијена	<1
1-5	Ниска	$1 \times 10^{-5} - 6 \times 10^{-5}$	Чврста стијена	± 0
5-15	Умјерена	$6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$	Дјелимично испуцале	± 1
15-50	Средња	$2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$	Отворене пукотине	± 5
50-100	Висока	$6 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$	Велики број отворених пукотина	± 10
>100	Веома висока	$> 1 \times 10^{-3}$	Отворене и уско размакнуте пукотине	>100

5.2.5 Анализа изотопског састава

Према Стевановићу & Милановићу (2017) изотопски метод истраживања у хидрогеологији представља посебну дисциплину која изучава хидролошке системе користећи технике одређивања распрострањења изотопа и њихових промјена у води и животној средини. Помоћу изотопских анализа могу се утврдити поријекло подземних вода, услови циркулације и мјешања подземних вода, као и одређивање путање њиховог кретања, а такође се може одредити и вријеме задржавања воде у систему, односно вријеме које је потребно молекулу воде да пређе пут од тачке А до тачке Б (*mean residence time*). Познавањем наведених процеса, може се лакше и поузданије утицати на одрживо коришћење подземних водних ресурса.

Примјена изотопских метода истраживања у циљу дефинисања функционисања једног система, нашла је велику примјену средином XX. вијека. Због могућности примјене различитих врста изотопа, ова метода се све чешће користи за изучавање услова циркулације подземних вода, а уједно и карстних система, (Васић, 2017).

Изотопске анализе могу бити коришћене као посебни метод истраживања, којим се приступа рјешењу одређеног хидрогеолошког проблема, али свакако се мора нагласити да се детаљнији и безбједнији закључци доносе комбинованим методама истраживања, које поред изотопских анализа подразумевају и коришћење хидрогеолошких, хидролошких, хидрохемијских и других метода.

У клопу истраживања 2018. године извршено је узорковање воде за утврђивање радиоактивног изотопа за израду анализе $t+^3\text{He}$. Изотоп трицијума (^3H) представља тешки, кратко живећи радиоактивни изотоп водоника, који се распада на стабилни изотоп ^3He уз вријеме полураспада од 12.3 године, а због свог времена полураспада најчешће користи у циљу одређивања времена задржавања воде у подземљу. Користи за одређивање вода старих до 50 година.

Clark & Fritz (1999) дају вриједност трицијумових јединица, на основу чега се може извести закључак колико година може бити „стара“ вода (табела 7.).

Табела 6. Процена старости подземних вода на основу садржаја трицијума

За континенталне предјеле:
T < 0.8 TJ – “субмодерне“ воде старије од 1952. године;
0.8 - 4 TJ – мјешавина између субмодерних и скорије инфилтрираних вода;
5 - 15 TJ – модерне воде старе од 5-10 година;
15 - 30 TJ – због нечега је претерано повећан трицијум (може да указује на загађење);
30 – 50TJ – воде између 1960-70. године;
> 50 TJ – доминантно прихрањивање у току 1960-их година.
За обалски регион и мање надморске ширине:
< 0.8 TJ– субмодерне воде старије од 1952. године;
0.8 - 2 TJ– мјешавина између субмодерних и скорије инфилтрираних вода;
2 - 8 TJ– модерне воде старе од 5-10 година;
10 – 20 – преостали садржај од ^3H „тестирања бомби“;
> 20 – воде између 1960-70. године

Недостатци методе датирања трицијумом, превазиђени су новијом методом која пратити метод датирања трицијумом, мјерењем ^3He , продукта распадања трицијума, као замјена за његову почетну вриједност. Хелијум (He), који настаје распадањем трицијума, заступљен је у води као и садржај распаднутог трицијума, тако да њихов однос $^3\text{H}:^3\text{He}$ у води опада са годинама. Како би се олакшало прорачунавање, оба изотопа се изражавају кроз јединицу односа трицијума, односно $^3\text{H}:\text{H}$ и $^3\text{He}:\text{H}$ према 10^{-18} , (Mazor, 2004).

Распадање почетних вриједности трицијума $^3\text{H}_0$ након времена t се добија преко једначине:

$$^3\text{H}_t = ^3\text{H}_0 e^{-\lambda t} \quad (5.2.5-1)$$

Како би се одредило вријеме распадања t , неоподно је познавање вриједности $^3\text{H}_0$. Распадање трицијума води до пораста вриједности хелијума $^3\text{He}_t$, који износи:

$$^3\text{He}_t = ^3\text{H}_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad (5.2.5-2)$$

Када се добију ове двије једначине, улазне концентрације трицијума се могу заобићи:

$${}^3\text{He}_t = {}^3\text{H}_t (e^{-\lambda t} - 1) \quad (5.2.5-3)$$

Концентрације хелијума у води морају се исправити у односу на атмосферски хелијум, који је растворен у тренутку инфилтрирања у поздемље.

Даље, на основу измјерене вриједности хелијума исправљене са атмосферским хелијумом, добија се пораст трицијума настао распадањем ${}^3\text{H}$, што се затим користи за прорачун датирања:

$$t = \frac{12.43}{\ln 2} \times \ln \left(1 + \frac{[{}^3\text{He}_t]}{[{}^3\text{H}_T]} \right) \quad (5.2.5-4)$$

Однос $\frac{[{}^3\text{He}_t]}{[{}^3\text{H}_T]}$ представља однос концентрација ових изотопа приказаних у ТЈ (Clark & Fritz, 1999).

Иако је кориштење ове методе датирања подземних вода нашло значајну примјену у хидрогеологији, неопходно је навести њене предности и мане, на основу чега се може приступити примјени методе или замјени са неком другом, приступачнијом методом испитивања старости вода.

Предности:

- метода је врло прецизна (мјесеци)
- поузданост, нема бојазни од загађења

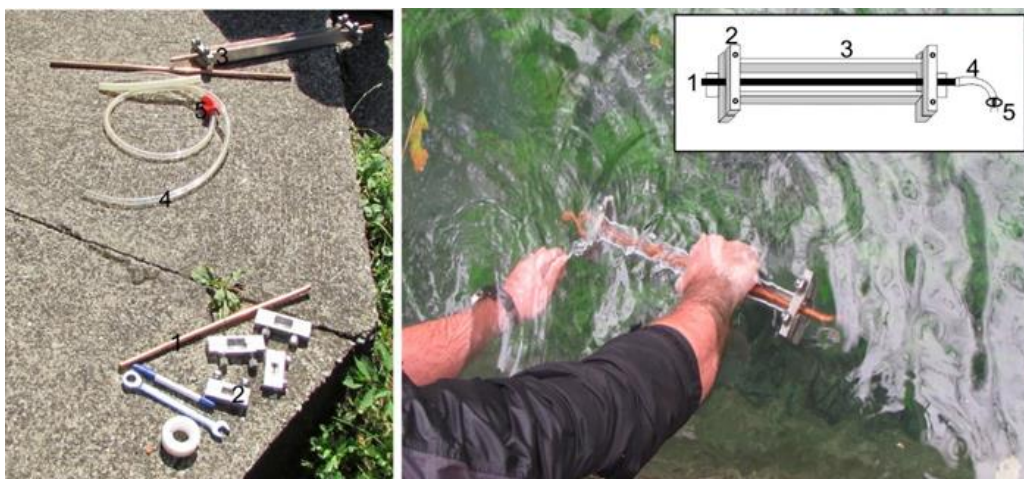
Недостаци:

- захтјева софитицирани масени спектрометар
- захтјева два мјерења (${}^3\text{H}$ и ${}^4\text{He}$)
- доста високе цијене анализа, које може да ради само мањи број лабораторија

Узорковање воде за потребе израде анализе $t+{}^3\text{He}$, извршено је на понору Кључке ријеке, на естабли Обод и на врелу Требишњице у Билећи.¹¹

Узорковање воде за анализу $t+{}^3\text{He}$ вршено је уз помоћ узоркивача за племените гасове са бакарним цијевима (слика 32.), којим се захвата вода и херметички изолује, како не би дошло до ослобађања племенитог гаса хелијума из узорка воде, (Сорајић & Милановић, 2018).

¹¹ Исте локације као код опита обиљежавања



Слика 32. Узоркивач за племените гасове, 1 – бакарна цијев за једнократну употребу запремине 40 ml, 2 – стега – затварач бакарне цијеве са вијцима за затезање, 3 – конструкција узоркивача, 4 – вакум цијево и 5 – вакум вентил, (служе да би се вијци могли затезати изнад воде, а да не дође до цурења воде из бакарне цијеве) (Сорајић & Милановић (2018))

5.3 Резултати истраживања

5.3.1 Резултати хидрогеолошког рекогносцирања

Детаљно хидрогеолошко рекогносцирање терена обухватило је површину од 15.2 km², док је картирање ради добијања цјелокупне хидрогеолошке слике изведено још и на локацијама на којима је вршено узорковање подземних вода у току извођења опита обиљежавања и за потребе израде изотропске анализе. У оквиру ове активности утврђен је тачан положај тачака (GPS) приказаних у оквиру графичких прилога, као и сви регистровани хидрогеолошки објекти и појаве на истажном простору.

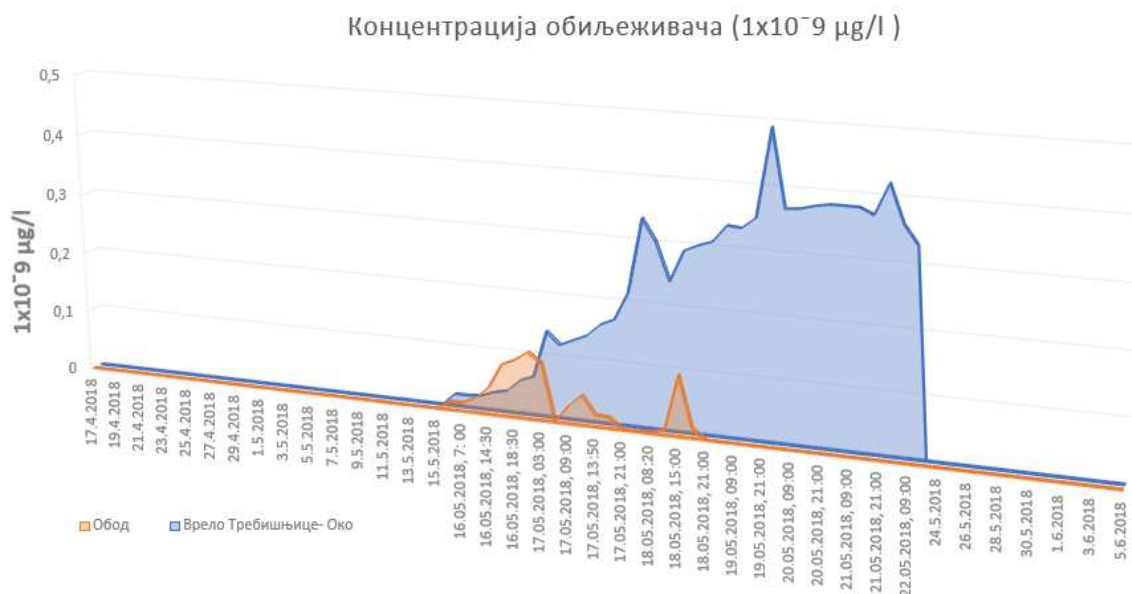
5.3.2 Резултати опита обиљежавања

У табели 7. приказано је осматрање појаве трасера на утврђеним локацијама (еставела Обод, јама Баба и Врелу Требишњице).

Табела 7. Осматрање појаве обиљеживача (трасера)

Датум и вријеме	Концентрација обиљеживача (1×10^{-6} $\mu\text{g/l}$)		
	Обод	Врело Требишњице-Око	Баба Јама
17.04.2018	0	0	0
18.04.2018	0	0	0
19.04.2018	0	0	0
20.04.2018	0	0	0
21.04.2018	0	0	0
22.04.2018	0	0	0
23.04.2018	0	0	0
24.04.2018	0	0	0
25.04.2018	0	0	0
26.04.2018	0	0	0
27.04.2018	0	0	0
28.04.2018	0	0	0
29.04.2018	0	0	0
30.04.2018	0	0	0
01.05.2018	0	0	0
02.05.2018	0	0	0
03.05.2018	0	0	0
04.05.2018	0	0	0
05.05.2018	0	0	0
06.05.2018	0	0	0
07.05.2018	0	0	0
08.05.2018	0	0	0
09.05.2018	0	0	0
10.05.2018	0	0	0
11.05.2018	0	0	0
12.05.2018	0	0	0
13.05.2018	0	0	0
14.05.2018	0	0	0
15.05.2018	0	0	0
16.05.2018, 3:00	0,014	0,02	0
16.05.2018, 7:00	0,015	0,02	0
16.05.2018, 9:00	0,025	0,022	0
16.05.2018, 14:30	0,045	0,03	0
16.05.2018, 15:00	0,085	0,035	0
16.05.2018, 18:30	0,095	0,055	0
16.05.2018, 21:00	0,11	0,063	0
17.05.2018, 03:00	0,095	0,14	0
17.05.2018, 06:30	0,002	0,12	0
17.05.2018, 09:00	0,03	0,13	0
17.05.2018, 10:20	0,05	0,14	0
17.05.2018, 13:50	0,02	0,16	0
17.05.2018, 15:00	0,019	0,17	0
17.05.2018, 21:00	0,001	0,215	0
18.05.2018, 03:00	0,0015	0,335	0
18.05.2018, 08:20	0,002	0,3	0
18.05.2018, 09:00	0,008	0,24	0
18.05.2018, 15:00	0,1	0,29	0
18.05.2018, 19:10	0,017	0,3	0
18.05.2018, 21:00	0	0,308	0
19.05.2018, 03:00	0	0,335	0
19.05.2018, 09:00	0	0,333	0
19.05.2018, 15:00	0	0,35	0
19.05.2018, 21:00	0	0,49	0
20.05.2018, 03:00	0	0,368	0
20.05.2018, 09:00	0	0,37	0
20.05.2018, 15:00	0	0,376	0
20.05.2018, 21:00	0	0,38	0
21.05.2018, 03:00	0	0,38	0
21.05.2018, 09:00	0	0,38	0
21.05.2018, 15:00	0	0,37	0
21.05.2018, 21:00	0	0,42	0
22.05.2018, 03:00	0	0,36	0
22.05.2018, 09:00	0	0,33	0
23.05.2018	0	0	0
24.05.2018	0	0	0
25.05.2018	0	0	0
26.05.2018	0	0	0
27.05.2018	0	0	0
28.05.2018	0	0	0
29.05.2018	0	0	0
30.05.2018	0	0	0
31.05.2018	0	0	0
01.06.2018	0	0	0
02.06.2018	0	0	0
03.06.2018	0	0	0
04.06.2018	0	0	0
05.06.2018	0	0	0

Резултати из табеле 7. приказани су и графички на слици 33.



Слика 33. Графички приказ времена појављивања и концентрације трасера

Поређења ради, у табелии 8. приказани су резултати трасирања извођеног 29.11.1961. године, на истој локацији тј. на понору Кључке ријеке од стране Узуновића и Рамљка (1961).¹²

Табела 8. Резултати претходног трасирања (Узуновић & Рамљак 29.11.1961. год.)

Локација	Врело Требишњице-Око	Јама Баба
Вријеме до појављивања (h)	68h 30'	30h 30'
Трајање истицања (h)	219	81
Фиктивна брзина (cm/s)	10,46	12,75

На основу приказаног, долази се да закључка да су добијене брзине током предходног опита из 1961. године много веће од брзина добијених најновијим опитом из априла 2018. године. Дакле, претходне брзине су преко десет пута веће, што упућује на јако добру карстификованост терена. Претпоставља се да су разлози за то повољнији климатски и хидролошки услови у вријеме извођења опита. Опит 1961. године изведен је крајем новембра, једног од најкишнијих мјесеца у години за овај простор. Наиме, према доступним подацима у новембру 1961. године на простору Гацка пало је 290 mm воденог талога.¹³ Са друге стране опит 2018. године изведен у мјесецу априлу у

¹² Фондовски материјал Хидроелектрана на Требишњици

¹³ Подаци преузети из Метеролошког годишњака за 1961. годину

коме је пало свега 54 mm воденог талога¹⁴. Такође, можда и најважнији разлог ранијег појављивања обиљеживача на дефинисаним локацијама представља количина кориштеног обиљеживача. За потребе опита 1961. године кориштено је 110 kg, док је 2018. године кориштено 12 kg, ондосно скоро десет пута мање. На крају треба споменути и честу појаву земљотреса на овоме простору, чија активност је могла директно да утиче на промјену функционисања подземних вода у карстној средини.

5.3.3 Резултати видеоендоскопског снимања пијезометара

Видеоендоскопска метода обухватала је снимање 9 пијезометера у подручју Церничког поља (слика 34 и 35.). На основу добијених снимака унутрашње пијезометријске конструкције свих пијезометара може се закључити да се оне налазе у релативно добром стању. Дobar дио њих може се користити за несметан наставак мониторинга нивоа подземних вода, док је некимa потребно пречишћавање. Једна бушотина (СА-3) је у потпуности непроходна, обзиром да је запуњена у цјелости пијеском и материјалом ситније гранулације те се искључује из постојеће мреже мониторинга. Пијезометри који су били дијелом непроходни прочишћени су и оспособљени за осматрање.



*Слика 34. Процес снимања пијезометра
(Сорајић & Милановић (2018))*



*Слика 35. Добијени снимак унутрашњости
пијезометра (Сорајић & Милановић (2018))*

¹⁴ Подаци преузети са www.rhmzrs.com

5.3.4 Резултати истражног бушења

Када је ријеч о литолошком профилу, њега у највећој мјери изграђују туронски кречњаци. Они су најчешће покривени глином и лапорцима, док се на неким мјестима сусрећу и прослојци лапорца.



Слика 35. Језгро глине која прекрива крчњаке

Слика 36. Језгро из бушотине (туронски кречњаци)
(Сорајић & Милановић (2018))

Најмању вриједност параметра RQD има бушотина IBP-4/18, гдје се вриједност параметра у привх 14,7 m не прелази 50 %, те средња вриједност параметра на цјелокупој дужини језгра износи 35 %. Са друге стране у бушотинама IBP-1/18, IBP-2/18 и IBP-3/18 језгро је доста квалитетније, гдје је вриједност RQD-а, у просјеку изнад 50 %. Статички приказ анализе RQD-а параметар приказан је у табели 9.

Табела 9. Анализа RQD-а језгра из бушотина у зони Шуковића понора

Бушотина	Минимална вриједност RQD (%)	Максимална вриједност RQD (%)	Средња вриједност RQD (%)	Најлошији интервал (m)	Најквалитетнији интервал (m)
IBP-1/18	32,5	89	54,7	32-34,4	37,5-38,5
IBP-2/18	12,6	82,8	53,2	8,8-11,5	16,5-19
IBP-3/18	38,7	92,2	66	26,9-29,2	7,8-9,6
IBP-4/18	0	96,5	35	Привх 15 m у просјеку испод 15%	19,1-21,7

У највећем дијелу бушотина није се могло постићи засићење, што указује на велики степен карстификације стијена. У табели 10. приказане су интервали са највећом вриједношћу VDP параметра.

Табела 10. Приказ интервала са највећим вриједностима VDP параметра

Бушотина	Максимална вриједност VDP (Lu)	Интервал (m)
IBP-1/18	10,24	25,8 - 30,8
IBP-2/18	3,35	21,5 - 26,5
IBP-3/18	12,1	24,7 - 29,2
IBP-4/18	2,46	16,3 - 21,7

Проблеми који се испољавају приликом извођења опита водопрпусности утискивањем воде у бушотину (*Lugeon* тест) на начин да није могуће дефинисати квантитативне (бројчане) вриједности, могу се поделити на:

- Релативно објективне проблеме у случајевима да је испитивана етажа екстремно водопрпусна (постојање каверни, канала, пуктина већег зијева и сл.). У таквим случајевима примања воде су толико велика да није могуће остварити било какав притисак;
- У случајевима да водопрпусност етаже није висока до екстремна а да постојећа опрема (нпр. капацитет пумпе) није у могућности да обезбједи тражени притисак у етажи, (Енергопројект, 2021).

5.3.5 Резултати изотопске анализе

Резултати анализе $t+^3\text{He}$ приказани су у табели 11., а на основу њих се може закључити да се ради о веома младим водама, чија старост не прелази годину дана, односно да су ове воде константно у контакту са новим падавинама. Старост ових вода износи од неколико дана до неколико мјесеци, а како би се прецизније утврдили периоди када су се воде инфилтрирале у подземље, неопходно је спровести анализу садржаја племенитих гасова у води, на основу којих се могу утврдити температурни услови који су владали у зони прихрањивања (зима, прољеће, љето и јесен).

Табела 11. Садржај трицијума у води

Редни број узорка	Назив локације	Трицијум (ТЈ)	$\pm 1\sigma$ (ТЈ)	Не (ccSTP/g)	Старост у годинама
1	Понор Кључке реке	8.2	0.15	4.764E-08	0.00
2	Еставела Обод	8.8	0.31	4.624E-08	0.00
3	Врело Требишњице	8.1	0.2	4.884E-08	0.00

6. КОНЦЕПЦИЈСКО РЈЕШЕЊЕ ОБЈЕКТА АКУМУЛАЦИЈЕ ЦЕРНИЦА

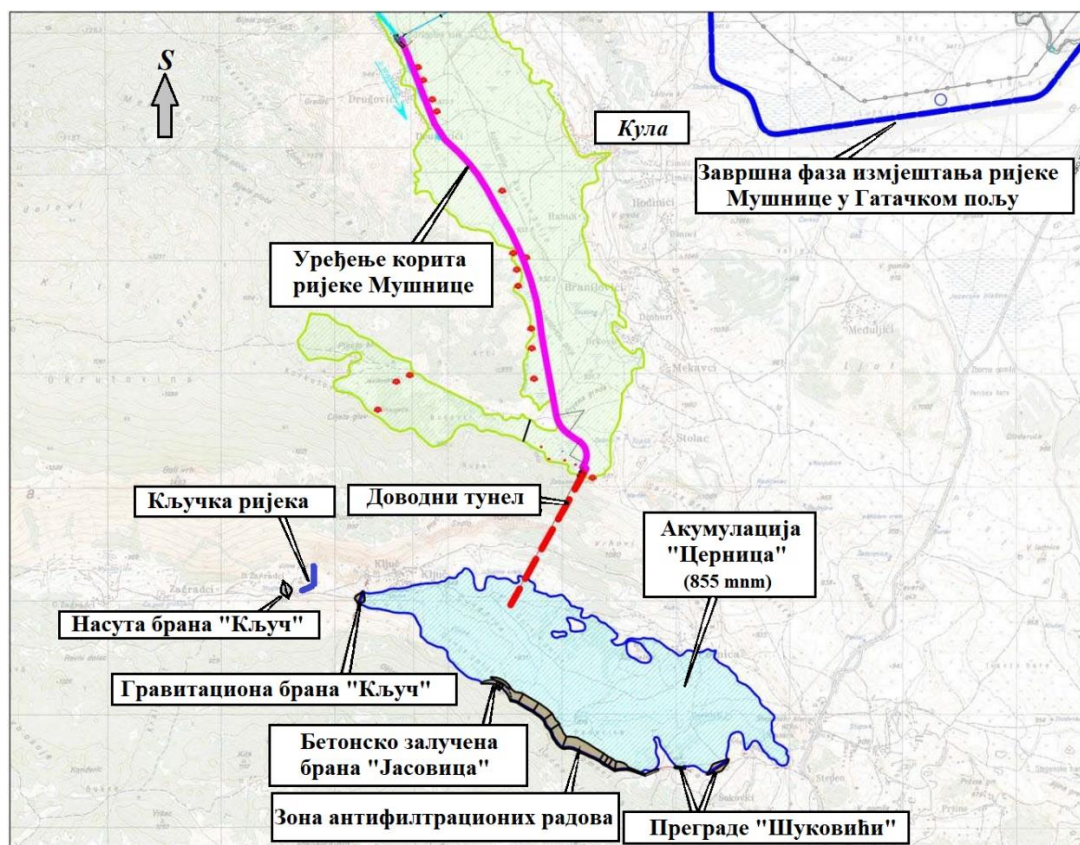
6.1 Планиране активности за изградњу акумулације

На основу концепцијског рјешења (Енергоинвест, 1967) формирања акумулације Церница за потребе хидроенергетског искоришћења вода Горњих Хоризоната ријеке Требишњице, предвиђа се реализација следећих објеката (слика 37.) :

- Уређење тока Мушнице на дужини од 4230 m у Малом Гатачком пољу од улива измјештеног тока ријеке Мушнице до Шабановог понора. Ток Мушнице је скренут како би се заобишле планиране зоне проширења капацитета ТЕ Гацко
- У зони Шабановог понора предвиђа се изградња улазне грађевине тунела дужине 760 m помоћу ког се воде Гатачког поља преводе у Церничко поље. Улазна грађевина се састоји од широког прага на коти 926.50 m.n.m са водозахватом у дну који је опремљен решетком. Помоћу поменутог водозавата сва количина воде мања од 1 m³/s трансферише се ка Шабановом понору за који је утврђено да је у хидрогеолошком смислу повезан за Вилином пећином у Церничком пољу. Оваквим техничким решењем се обезбеђује да корито Кључке реке дужине око 300 m у Церничком пољу никада не остане суво. Предвиђено је да се трансфер Гатачких вода помоћу тунела остварује слободним течењем али се у периодима поводња може очекивати и течење под

притиском. Излазна грађевина тунела пројектована је у виду умирујућег базена са преливом истепенастим брзотоком низ који се преведена вода обрушава све до акумулационог простора у Церничком пољу.

- Залучена гравитациона бетонска брана „Јасовица“ грађевинске висине око 55 m са преливом и темељним испустом за евакуацију воде из акумулације. Слободни прелив ће бити у влажном периоду године новембар-март док ће темељни испуст бити у функцији у сушном периоду године јун-септембар.
- Гравитациона бетонска брана „Кључ“ грађевинске висине око 35 m којом се спречава да Кључка ријека буде потопљена будућом акумулациом. Овај објекат се састоји од преливног и непреливног дијела бране. Преливни дио је пројектован тако да се преливање омогућава обострано и ка Кључкој ријеци и ка акумулационом простору.
- Насута брана „Кључ“ грађевинске висине око 30 m којом се спријечава да се у доба поводња плаве површине ка насељу Заградци.
- Насуте бране којима се изолује понорска зона Шуковића понори. Висине насипа се крећу у распону од 10-30 m. Планирано је да се вододрживост обезбеђује централним глиненим језгром. Ширина насипа у круни износи 8 m а нагиби узводног и низводног лица насипа у односу 1:2.
- Облагање јужног обода Церничког поља на потезу од залучене гравитационе бетонске бране „Јасовица“ до насипа код Шуковића понора насипом од глиновитог материјала у дужини од око 1500 m. Облагање се врши у циљу обезбеђивања вододрживости будућег акумулационог простора јер је поменута зона окарактерисана као неповољна због изразите испуцалости кречњачких масива који изграђују овај бок (описано у 5.3.4).



Слика 37. Приказ концепцијског решења објекта за потребе акумулације Церница

6.2 Критички осврт на изведена геолошка истраживања и испитивања

На основу концепцијског рјешења може се констатовати да су објекти новог сиситема само дјелимично покривени до сада изведеним основним геолошким истраживањима и испитивањима.

Зона уређења тока Мушнице и доводног тунела није покривена одговарајућим геолошким истраживањима и испитивањима, већ су генералне информације о терену прикљепене на основу података са Основне геолошке карте, лист Гацко.

Када се анализирају добијени резултати изведених испитивања у постојећим истражним бушотинама, може се закључити да су сва истраживања и испитивања ипак била усмјерена само на дефинисање хидрогеолошких карактеристика стијенских маса.

Анализом постојеће документације лако се може закључити да истражним активностима, нису изведена наменска лабораторијска испитивања, као ни

испитивања *in situ*, у зони пројектованих објеката за дефинисање инжењерскогеолошких и геотехничких карактеристика стијенских маса.

За потребе идејног пројекта неопходна су нова намјенска геолошка истраживања која ће бити поткрепљена и одговарајућим теренским и лабораторијским и геофизичким испитивањима, а све у циљу дефинисања инжењерскогеолошких услова извођења, тј. израде Геотехничког елабората потребног за ниво израде идејног пројекта, (Енергопројект, 2021).

У том правцу предходи, прво израда програма истраживања којим ће се дефинисати намјенски истражни поступак, који ће бити усмјерен за потребе идејног пројекта, односно концепцијског рјешења објеката бране и акумулације Церница. На основу усвојеног програма истражних радова, слиједи израда пројекта истражних радова, сагласно законској и подзаконској регулативи из области геолошких истраживања, а све у циљу дефинисања:

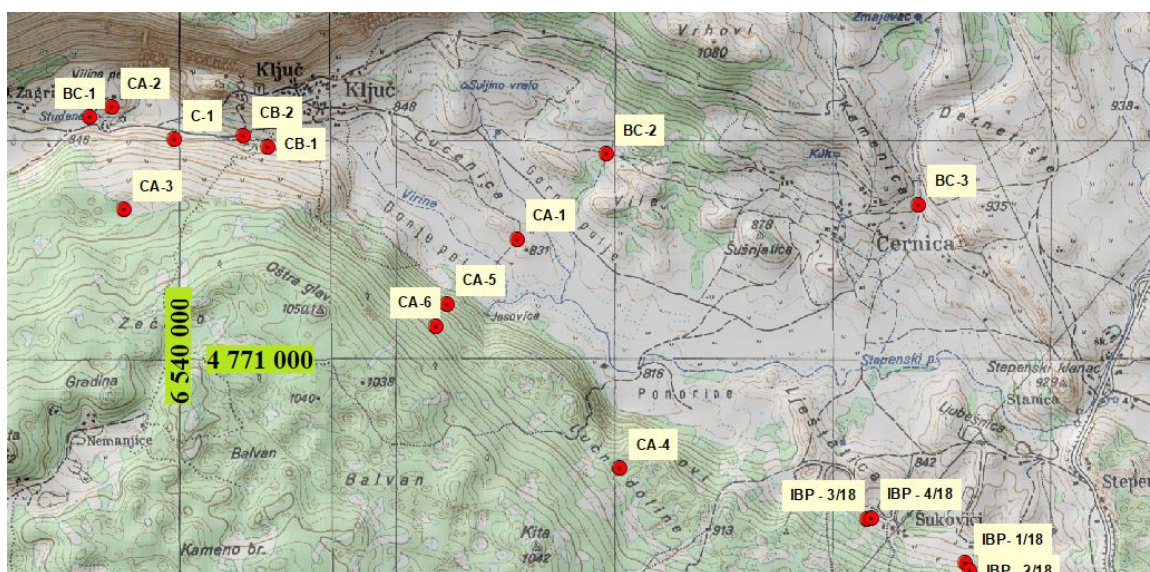
- геолошке грађе у зони пројектованих објеката;
- избор микролокације објекта;
- услове фундарања;
- стабилност бране и њене подлоге;
- могућност губљења воде испод и око бране;
- водопропусност стенске масе у подлози бране и потреба за израдом инјекционе завјесе;
- услове ископа темељних јама;
- трајна стабилност подземних објеката;
- појаве подземних вода и њихов утицај на услове градње и експлоатације објеката

- заштита од подземних вода;
- услови изградње порталних дијелова тунела;
- могућност коришћења материјала из ископа и услови депоновања;
- обезбјеђење агрегата за бетон;
- утицај изградње објекта на околни терен и друге објекте.

7. ПРОСТОРНА АНАЛИЗА ХИДРОГЕОЛОШКИХ ПОДАТАКА ПРИМЈЕНОМ ГЕОИНФОРМАЦИОНИХ СИСТЕМА

7.1 Мониторинг нивоа подземних вода

Један од веома битнијих сегмената у истраживању функционисања карстне издани представља мониторинг подземних вода од улаза до излаза из система. За потребе дефинисања функционисања издани која се налази у зони Церничког поља формирана је осматрачка мрежа чији је распоред приказан на слици 38., док су у оквиру табеле 12 приказани њени основни подаци као и доступни резултати мониторинга.



Слика 38. Положај нијезометара у зони Церничког поља

Табела 12. Основни подаци и резултати мониторинга у оквиру пијезометара у зони Церничког поља (ХЕТ-Хидроелектране на Требишњици)

Пијезометар	NPV Max (m.n.m)	NPV Min (m.n.m)	VDP (Lugeon)	Интервал за VDP (m)	Кота- Z (m.n.m)	X	Y	Дубина (m)	Година израде
СА-1	828	811,5	0,637	144-149	826	6541562	4771550,52	154	1963.
СА-2	847	829	0,1	10-15	847,11	6539701	4772154,74	81,5	1965.
СА-3	760	728	16	25-30, 85-90	937	6539758	4771684,89	210	1965.
СА-4	846	772	2,9	45-50	909	6542034	4770498,22	152	1964.
СА-5	812	688	28	165-170	875,7	6541239	4771252,53	195	1963.
СА-6	835	764	0,89	70-75	938,11	6541192	4771149,09	229	1964.
СВ-1	800	781	6,15	20-25	841,7	6540418	4771970,63	65	1965.
СВ-2	840	824	0,034	10-15	841,04	6540307	4772021,33	40	1965.
С-1	765,46	678,83	*	*	857	6539991	4772007	190	*
ВС-1	817,89	802,78	*	*	849	6539602	4772108	56	*
ВС-2	*	*	*	*	*	6541972	4771940	20	*
ВС-3	*	*	*	*	*	6543403	4771708,78	*	*
ИВР- 1/18	*	*	>10	16-30,8	839	6543617	4770064	41	2018.
ИВР - 2/18	*	*	>10	2,5-16,5 , 31,5-36,5	838	6543639	4770031	40,5	2018.
ИВР - 3/18	*	*	>10	4-29,2	835	6543169	4770265,00	40	2018.
ИВР - 4/18	*	*	>10	11,3-16,3 , 21,7-40,8	836	6543186	4770271	40,8	2018.

*-Нема података

Приказани минимални и максимални нивои подземних вода представљају резултат дугогодишњег осматрања и могу се узети за анализу режима издани. Са друге стране, за дио пијезометара не располаже се оваквим подацима. Код њих проблем представља и кратко вријеме постојања, те мала дубина (као што је случај са бушотинама из 2018. године), те као такве нису релевантне за анализирање режима. Дио ових података ће бити накнадно анализиран и визуелно приказан у оквиру наредних поглавља.

Код тумачења нивоа издани мора се имати у виду чињеница да се издвајају три хидрогеолошке цјелине:

- дио регионалне карстне издани сјеверно од Церничког поља (углавном формиране у оквиру кречњака јурске старости);
- простор самог Церничког поља (флишне наслаге);
- дио регионалне карстне издани јужно од Церничког поља (у оквиру карбонатних наслага кредне старости).

Ако се флишне наслаге Церничког поља (дебљине и до 200 m) третирају као бочна баријера карстним водама са сјевера, на сјеверном ободу поља су високи нивои, логично виши од зона преливања без обзира на механизме истицања врела-извора (десцедентно или асцедентно прањњење).

Ниво подземних вода у оквиру Церничког поља може се оцјенити као динамичан елемент режима. Амплитуде у бушотинама изведених у оквиру карстне издани крећу се и до 124 метра (СА-5). Када су су питању нивои у флишним наслагама Церничког поља (сложени тип издани), нивои подземних вода у пијезометарима у оквиру наслага флиша који филтерски дио имају у оквиру овог литостратиграфског члана, амплитуде колебања нивоа подземних вода су до 25 m (Сорајић & Милановић, 2018). У јужном ободу Церничког поља посебно у рецесионим периодима су присутни дубоки нивои, и до преко 200 m дубине (СА-3), (Енергоинвест, 1967).

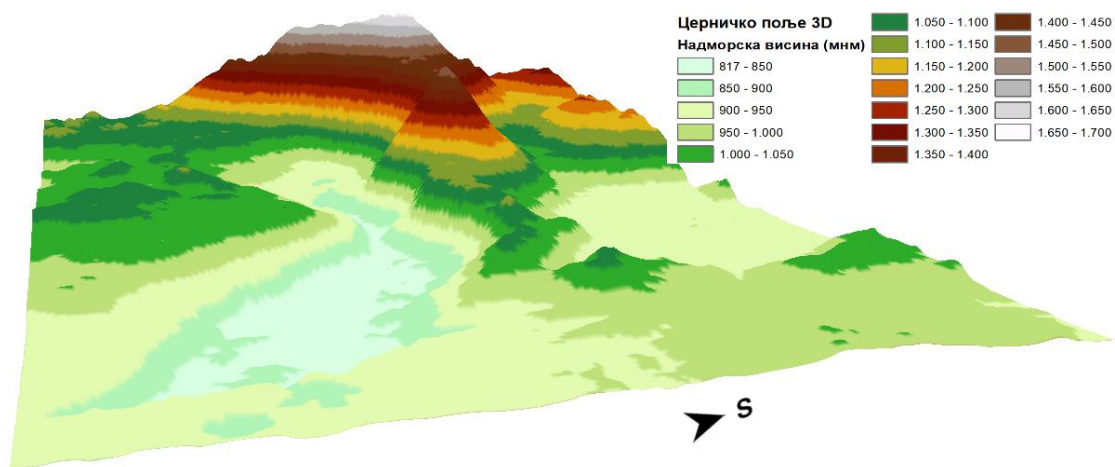
Резултати испитивања водопропусности (ВДП-а) указују на постојање разноликих зона у испитиваним бушотима. Тако нпр. ниске вриједности (већином у оквиру флиша) могу ове дијелове оцјенити као средину погодну за формирање акумулације са хидрогеолошког аспекта. Са друге стране, високе вриједности (у оквиру отворених карстних зона) детерминишу ове дијелове као неповољније за формирање акумулације, те захтјевају интервенције са циљем регулације ових дијелова издани.

За наредни период не искључује се могућност да се јужно изван зоне објеката гравитационе бетонске бране „Кључ“ грађевинске висине око 35 m на вишим kotaма у кредним седиментима изведе дубока пијезометарска бушотина, а све у циљу добијања репрезентативних података о минималним и максималним нивоима карстне издани. Ово је од посебног интереса у условима пуњења и пражњења, односно експлоатације предвиђене акумулације. Такође, предлажу се бушотине у зони излазног портала деривационог тунела и бар једна дубока истражно-пијезометарска бушотина у сјевероисточном залеђу врела Вилине пећине минималне дубине око 200 метара. Ова дубока бушотина би требало да пружи податке о измењеним условима у овом дијелу карстне издани након деривационих радова при увођењу вода у акумулацију Церница, (Енергопројект – Хидроинжењеринг, 2021).

7.2 Израда 3D DEM модела Церничког поља

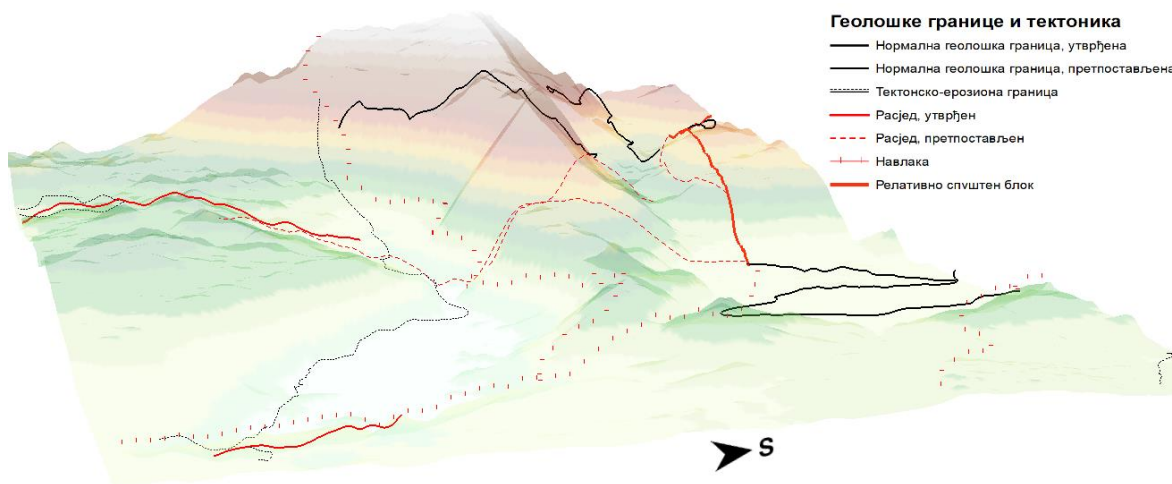
3D модел површине терена (слика 39.) добијен је коришћењем ArcGIS програмског пакета са екстензијама *3D Analyst Tools*-а, *Spatial Analyst Tools*-а као и *Network Analyst Tools*-а. За добијање модела кориштене су дигитализоване изохипсе терена са еквидистанцом од 10 m. Такође и сви просторни подаци као што су геолошке и

хидрогеолошке карте, пијезометари, понори и извори су преведени у дигитални облик и то дефинисањем сваког просторног ентитета у координатном систему (x, y и z).¹⁵



Слика 39. 3D модел површине терена Церничког поља

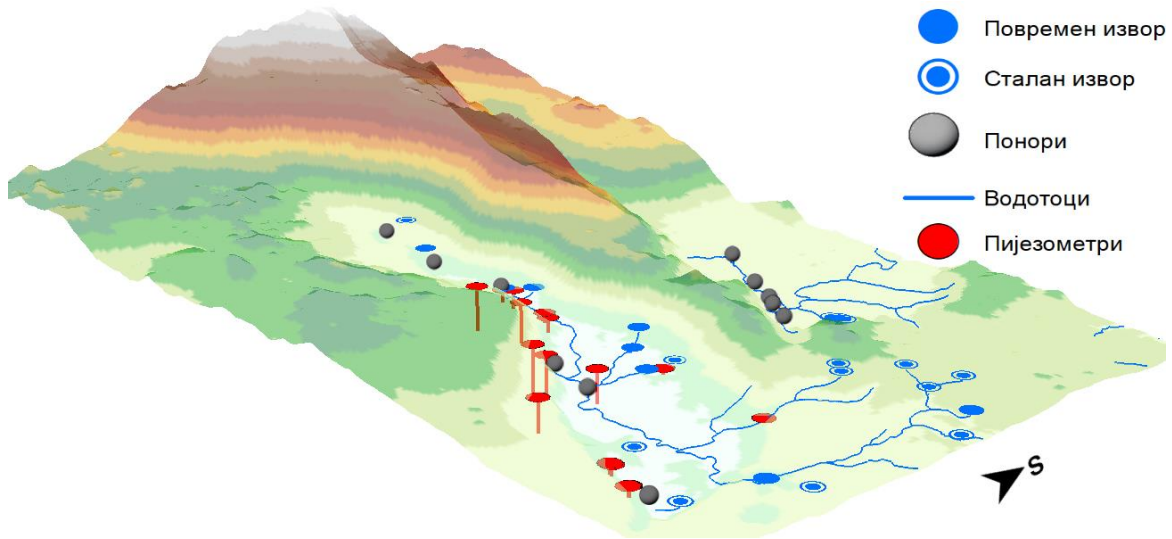
Појединачним дигитализовањем руптурних форми и геологије (слика 40.) поред основног пружања регистрованог у 2D приказу тј. у плану добијају се и атрибути вертикалног распрострањења и то кроз дубину и падни угао.



Слика 40. Приказ дигитализованих руптурних форми и геологије

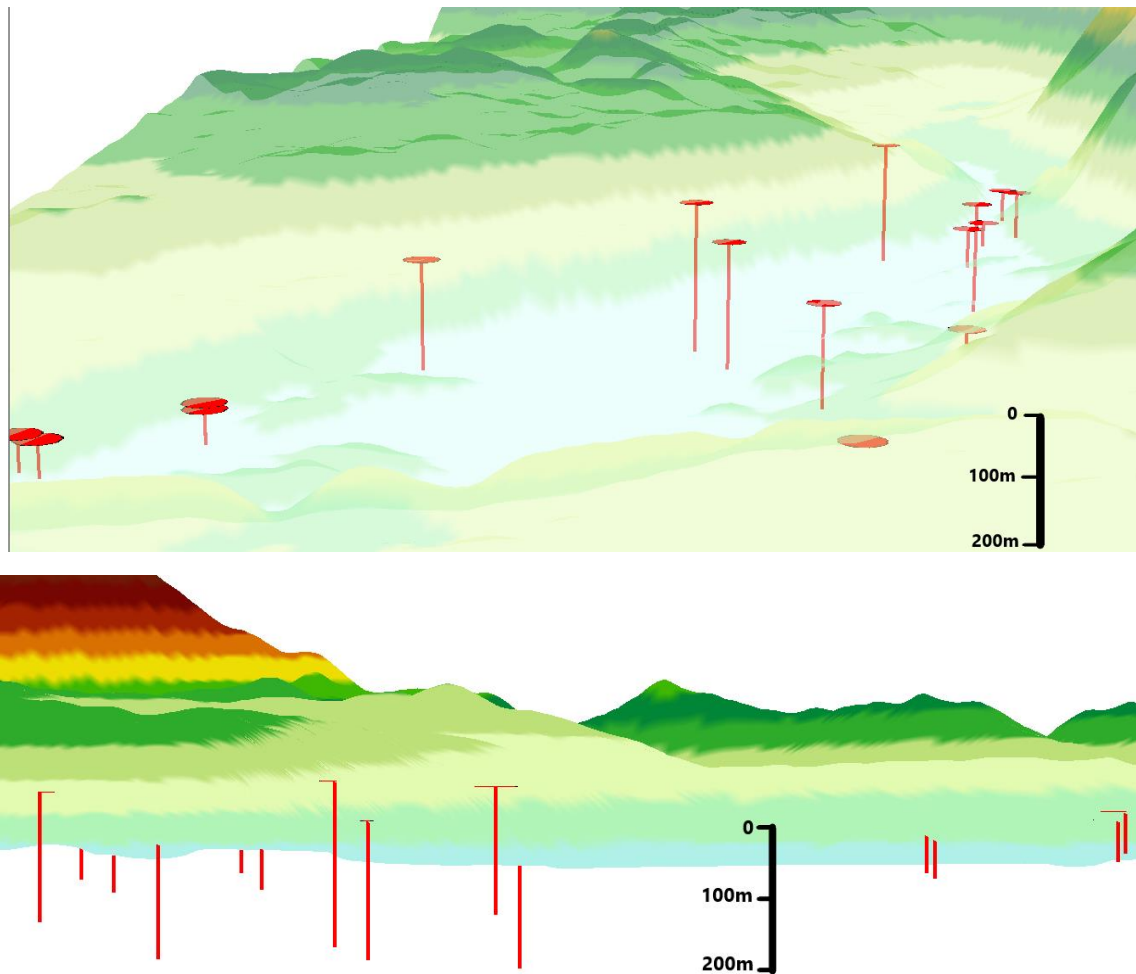
Формирана мрежа свих појава и објеката у ужој и широј зони Церничког поља те њена визуелизација дата је на слици 41.

¹⁵ За израду 3D модела Церничког поља коришћен је програмски пакет *ArcScene*



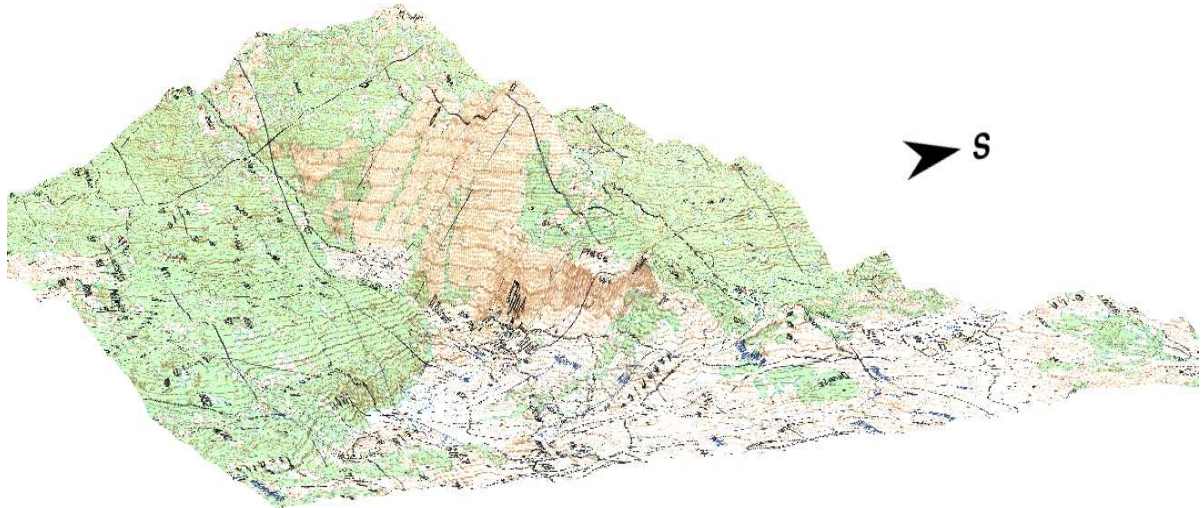
Слика 41. Положај појава и објеката у 3D форми

Јаснији приказ распрострања пијезометара у вертикалном профилу у оквиру 3D модела Церничког поља дат је на слици 42.

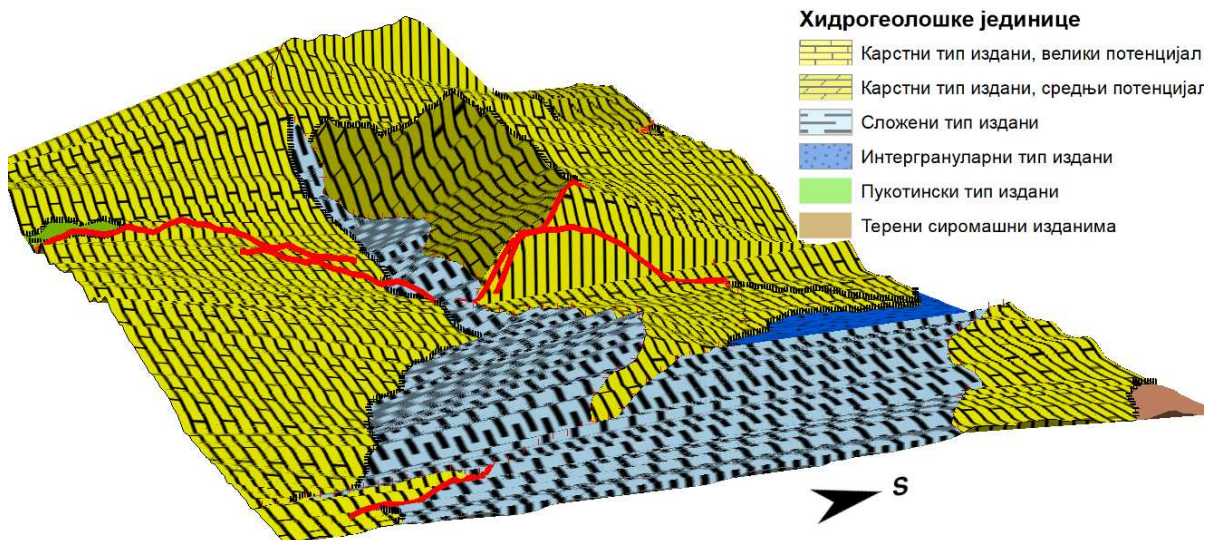


Слика 42. Распрострањање пијезометара у оквиру 3D модела Церничког поља

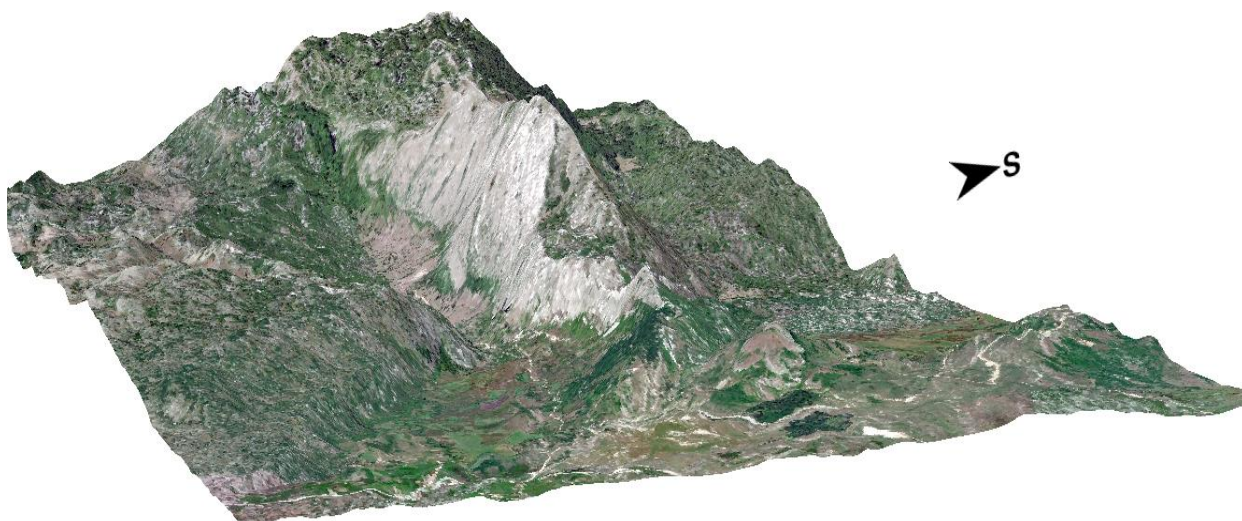
Добијени 3D модел терена коришћен је и за преклапање других расположивих растерских докумената. На тај начин добија се јаснија слика цијелог терена (слике 43-45).



Слика 43. Топографска карта преведена у 3D формат



Слика 44. Распрострањење хидрогеолошких јединица у 3D формату



Слика 45. Сателитски снимак Церничког поља у 3D формату

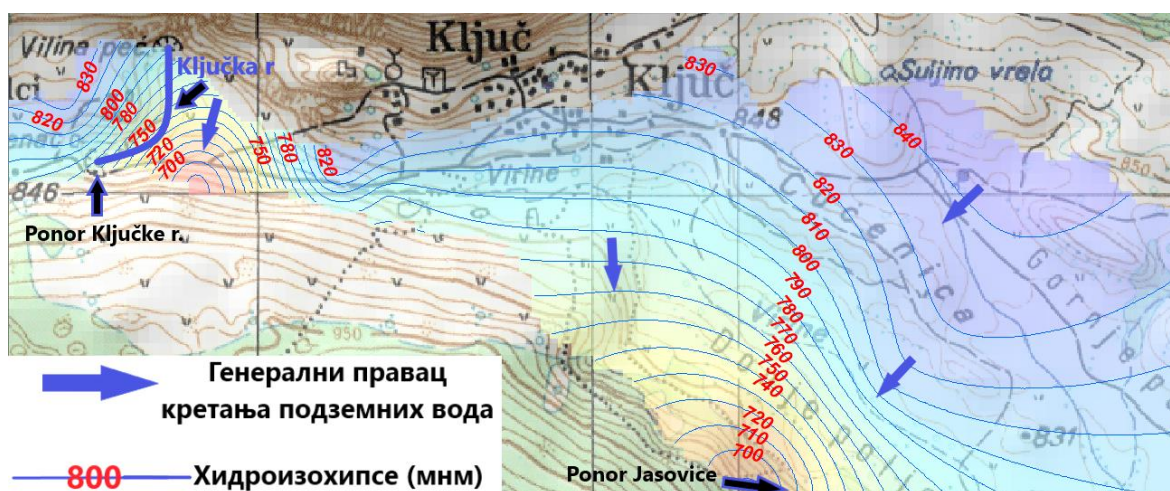
7.3 Израда карте хидроизохипси

На основу расположивих података о осцилацијама нивоа подземних вода, приказаних у табели 12., извршена је њихова анализа и визуелизација. Приказ хидроизохипси дат је за екстремне вриједности, тј. за период великих (слика 46.) и малих (слика 47.) вода.¹⁶



Слика 46. Карта хидроизохипси за период великих вода

¹⁶ За израду карте хидроизохипси Церничког поља коришћен је програмски пакет *ArcGIS*, алатка *spline*



Слика 47. Карта хидроизохипси за период малих вода

Анализом карата долази се до логичког закључка да воде гравитирају пољем у правцу понорских зона, гдје су уједно хидроизохипске најгушће и најстрмије. У вријеме малих вода (слика 47.) уочава се раздвајање тока подземних вода у правцу два доминантна понора (Понор Кључке ријеке и Јасовице), док у вријеме високих нивоа (слика 46.) подземне воде благо мијењају свој правац и гравитирају у правцу Понора Кључке ријеке.

Карта хидроизохипси за простор цијелог Церничког поља дата је посебно у оквиру прилога 9. На приказаним сликама (слике 46. и 47.) издвојен је предιο са гушћом пијезометарском мрежом и дужим временом осматрања, па је као такав и репрезентативнији. За дио пијезометара из табеле 12. недостају вриједности екстрема, а новизрађени пијезометри из 2018. године (поглавље 5.2.4) имају реално мали период осматрања, а такође су и плитки за регистровање минималних вриједности нивоа подземних вода, па тако нису узимани у разматрање приликом анализе.

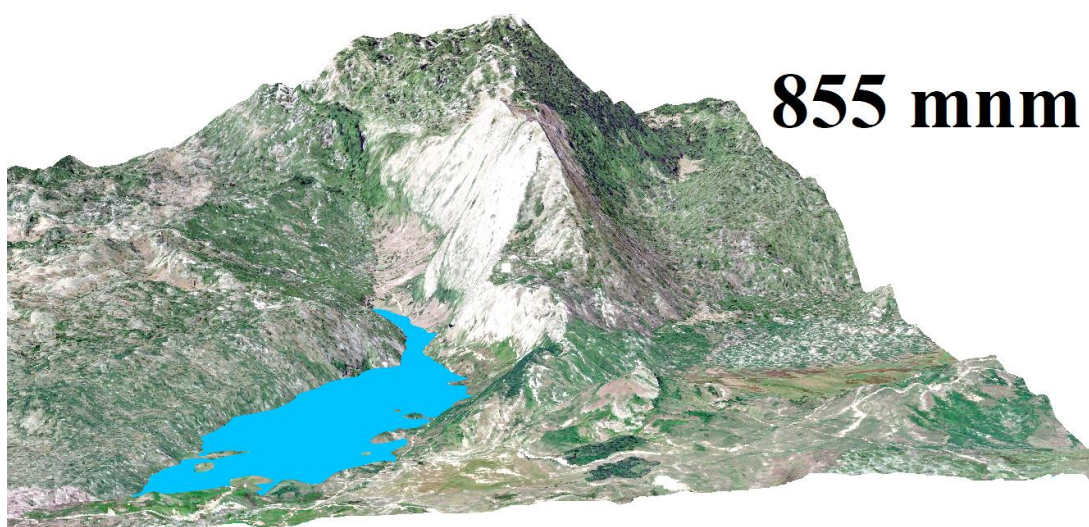
7.4 Одређивање запремине Церничког поља при различитим котама

С циљем дефинисања количина вода које је могуће акумулирати у Церничком пољу при различитим нивоима поплавних вода као неопходне подлоге прикупљене су следеће:

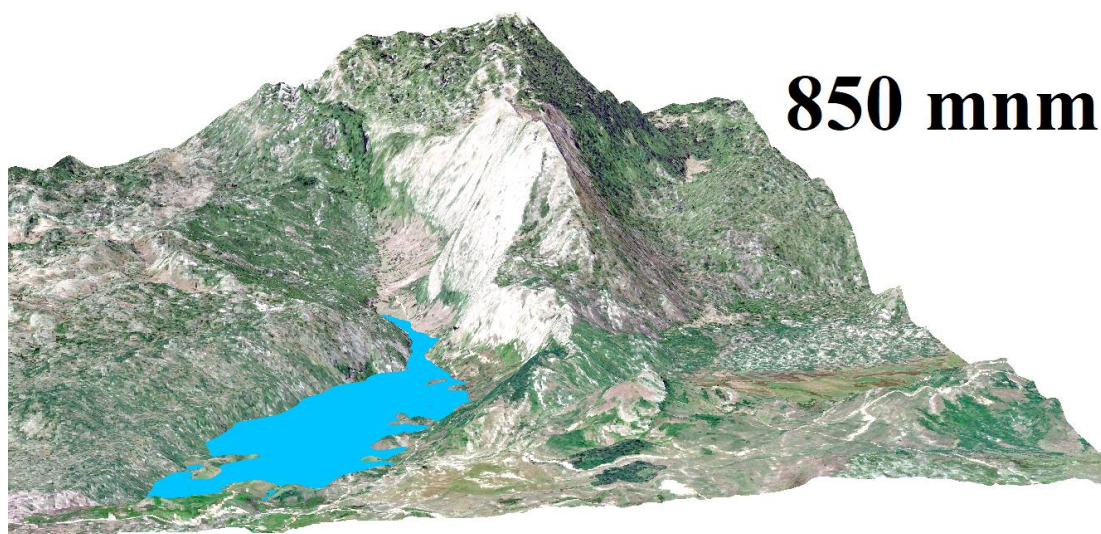
- DEM модел терена израђен на основу топографских подлога размјере 1:25 000
- 3D хипсометријски модел поплавних вода за различите висинске елементе

За потребе дефинисања запремине акумулиране воде при различитим котама поплава (855, 850, 840, 830 и 820 m.n.m), те њене промјене током времена интегрисани су просторни 2D елементи – полигони површине водног огледала који су касније заједно са 3D моделом терена послужили за рачунање реалних запремина акумулационог простора Церничког поља.

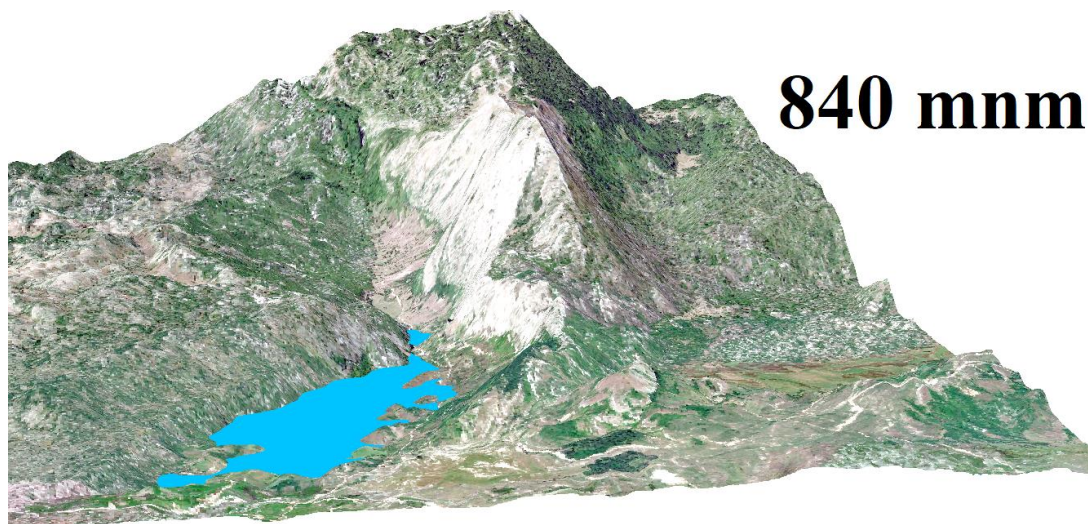
3D модели као и калкулација тражених елемената, а за коте 855, 850, 840, 830 и 820 m.n.m су приказане на сликама 48.-52. Као подлога за приказ коришћен је сателитски снимак Церничког поља у 3D формату (слика 45.)



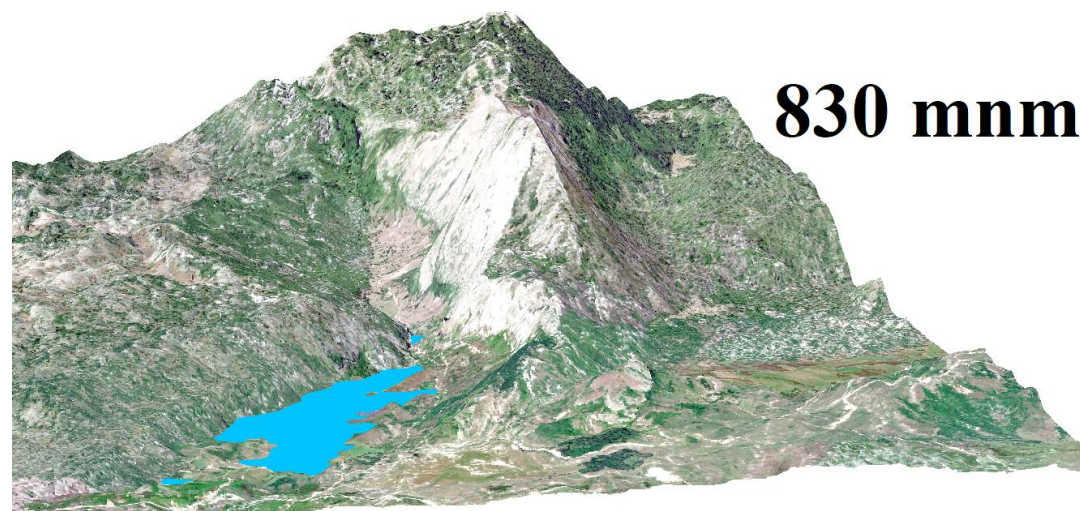
Слика 48. 3D модел прорачуна количина вода акумулираних у Церничком пољу при коти 855 mnm



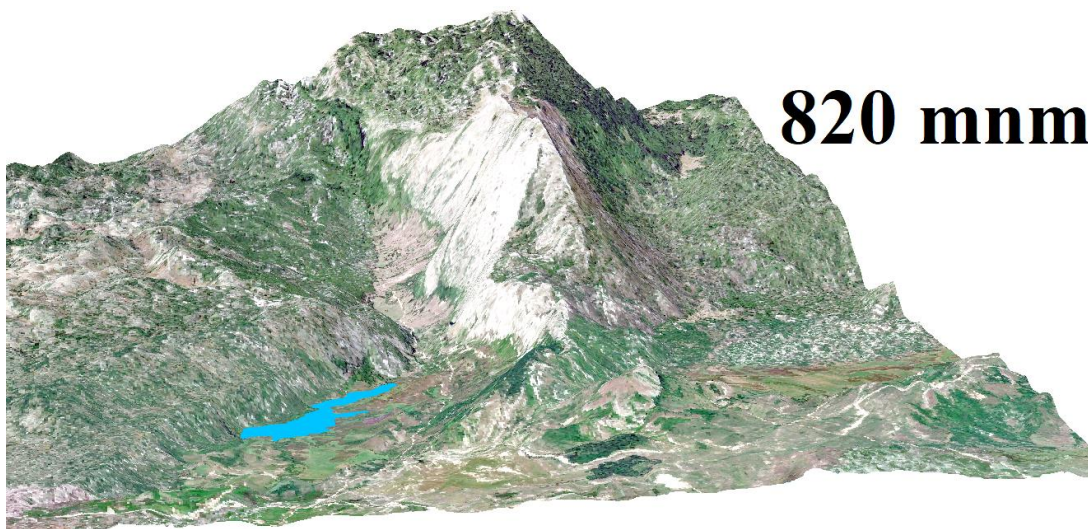
Слика 49. 3D модел прорачуна количина вода акумулираних у Церничком пољу при коти 850 mnm



Слика 50. 3D модел прорачуна количина вода акумулираних у Церничком пољу при коти 840 mm



Слика 51. 3D модел прорачуна количина вода акумулираних у Церничком пољу при коти 830 mm



Слика 52. 3D модел прорачуна количина вода акумулираних у Церничком пољу при коти 820 mm

Приказаном 3D волуметријском анализом¹⁷ добијени су тачни подаци о запреминама Церничког поља у условима различитих водних-поплавних кота. Поред наведених кота 850, 840, 830 и 820 m.n.m изведен је и прорачун запремине акумулиране воде Церничког поља за коту 855 m.n.m при чему би се од коте 850 m.n.m до коте 855 m.n.m запремина увећала за око 18 милиона m³ воде. Остали прорачуни добијени 3D волуметријском анализом приказани су у табели 13.

Табела 13. Резултати 3D просторне и волуметријске анализе запремина Церничког поља у условима различитих нивоа поплава

Кота нивоа поплавне воде (m.n.m)	Површина водног огледала (km ²)	3D површина (km ²)	Запремина акумулиране воде (милиони m ³)
855	3,75	3,82	76,6
850	3,37	3,4	58,49
840	2,48	2,51	29,6
830	1,6	1,6	9,42
820	0,36	0,36	< 1

7.5 Дискусија о утицају акумулације на подземне воде

Несумњиво је да ће доћи до значајних промјена услова циркулације и нивоа подземних вода у терену Церничког поља као и сјеверном и јужном ободу овог поља.

Прво, увођењем вода преко деривационог канала и тунела у Церничко поље мијењају се услови прихрањивања дијела карстне издани сјеверно од Церничког поља, смањења издашности или пресушивања контактних извора и сл. Такође, режим нивоа подземних вода мијења се у смислу веће рецесије у сјеверном дијелу карстног аквифера, вјероватно у дугогодишњим будућим хидрометеоролошким условима. Јасно су сигурне и извјесне промене нивоа подземних вода у хидрогеолошком комплексу флишних наслага, након успостављања акумулације.

¹⁷ За прорачун запремине акумулационог простора Церничког поља коришћена је програмски пакет ArcGIS и алатка *surface volume*.

Друго, потребно је рачунати процједне воде из будуће акумулације кроз флишне наслаге. Подразумјева се да је јужни обод–контакт флишних наслага и карбонатних стијена антифилтрационо заштићен.

Количина процједне воде кроз флишне наслаге (филтрациони флукс за дату површину воденог огледала) зависи од нивоа у акумулацији, просјечног коефицијента флишног пакета седимената, дебљине тих седимената и положаја карстне издани. То је задатак адекватних прорачуна, при чему је осредњена водопрпусност флишних наслага најделикатнији параметар за детерминацију процјеђивања. У сваком случају треба рачунати губитке воде из акумулације због процјеђивања кроз дно, нормално са већим процјеђивањем у сушним периодима. Такође, због предходних услова могући су у пијезометрима јужног карсног обода тзв. „лажни“ нивои подземних вода од процједних вода кроз аерациони дио терена и њиховог уласка у недовољно дубоке осматрачке бушотине. То доста зависи и од саме пијезоментарске конструкције али и локалне испуцалости карбонатних стијена у зони бушотине.

Имајући у виду хидрауличку шематизацију хидрогеолошких услова у зони Церничког поља, јасно је да ће превођење вода из Малог Гатачког поља имати значајан утицај на извор Вилина пећина и хидрологију Кључке ријеке. Сасвим је извесно да би у тим условима просјечне воде Кључке ријеке биле знатно смањене, (Енергопројект, 2021). При томе, у посебним хидрауличким условима када је кота воде у пољу изнад коте извора, Вилина пећина би могла да представља и понор.

8. ЗАКЉУЧАК

Још од средине двадесетог вијека, па до данас, на подручју Церничког поља примјењиване су различите методе хидрогеолошких истраживања, тако да се јавила потреба за њиховом анализом, синтезом и допуном. Добијени резултати показују постојање изражене хетерогености испитиваног терена које је богато подземним водама, а чији режим се оцјењује као нестабилан. Он се огледа кроз велике разлике између минималних и максималних протицаја, као и кроз плављење Церничког поља што представља последицу немогућности понорских зона да приме већу количину вода, услед велике количине падавина. Са хидрогеолошког аспекта могу се издвојити сви већ познати типови издани, од којих доминантну улогу има карстни тип. У оваквим теренима важну улогу за формирање површинских токова имају седименти флиша који представљају баријеру за кретање подземних вода. Подземне воде су у доброј комунакцији са низводним зонама дренажа и према њима се крећу великим брзинама, што говори о доброј развијености и функционалности карстних канала. Међутим, резултати претходних истраживања показали су и до десет пута већу брзину кретања подземних вода, у односу на брзине добијене истраживањима описаним у раду. Сагледавањем цјелокупне слике и узимајући у обзир циљ прикупљања података, а то је могућност формирања површинске акумулације, уочава се потреба за спровођењем нових инжењерскогеолошких и геотехничких истраживања са усмјереним детаљним лабораторијским и геофизичким испитивањима.

Према томе, приједлог нових истраживања односи се на:

- Извођење нових истражних бушотина;
- Спровођење спелеолошких истраживања;
- Формирање осматрачке мреже у зони Церничког поља за континуалније праћење хидролошких параметара;
- Израда анализе физичких и хемијских својстава вода;
- Оцјена рањивости подземних вода.

Разуђеност терена и прилази су специфични и за извођење доистраживања захтевају озбиљнију припрему. Услови формирања акумулације са хидрогеолошког аспекта су повољни, имајући у виду знатну дебљину и врло слабу водопропусност флишних

наслага. Од будућих истраживања очекује се да ће дати квалитетне одговоре на сва питања која су од значајна за израду потребних хидрогеолошких и хидротехничких идејних рјешења.

Несумњиво ће доћи до измена хидролошко-хидрогеолошких услова у подземљу, како у сјеверном и јужном ободу Церничког поља (карст), тако и у флишним наслагама. Извјесна вертикална процеђивања (губици) из акумулације су неминовност, посебно у рецесионим условима.

СПИСАК ЛИТЕРАТУРЕ

1. Цвијић Ј. (1900). *Карсна поља Западне Босне и Херцеговине*. Београд: Српска краљевска академија
2. Цвијић, Ј., (1926). *Геоморфологија, Књига 2*. Београд: Државна штампарија Краљевине Југославије
3. Геолошки завод Сарајево (1958-1964.), *Основна Геолошка карта 1:100000, лист Невесиње*, Београд: Геолошки завод Сарајево
4. *Метеоролошки годишњак за 1961. годину* (1963)., Београд: Савезно хидрометеоролошки завод
5. Мојићевић М., Лаушевић М., (1965). *Тумач за лист Невесиње К 34-32*, Сарајево: Институт за геолошка истраживања
6. *Утврђивање подземних водних веза из понора Јасовица*, (1965) Сарајево: Енергоинвест
7. *ХЕ Церница, Инвестиционо-техничка документација, Идејни пројекат* (1967)., Сарајево: Енергоинвест
8. *Хидросистем Требишњица*, (1967)., Требиње: Хидроелектране на Требишњици
9. Војногеографски институт. (1971). *Топографска карта 1:25 000, лист Невесиње (Брестиче, Кукавица, Баба) (575-4-4)*), Београд: Војногеографски институт
10. Војногеографски институт. (1974). *Топографска карта 1:25 000, лист Гацко (Добрељи, Самобор, Сомина) (576-3-3)*), Београд: Војногеографски институт
11. Мирковић М., Калезић М., Пајовић М (1974). *Основна Геолошка карта 1:100000, лист Гацко*, Београд: Савезни геолошки завод СФРЈ
12. Милановић П., (1979). *Хидрогеологија карста и методе истраживања*, Требиње: ХЕ на Требишњици
13. Мирковић М., Калвезић М., Пајовић М., Рашковић С., Чепић М., Вујисић П., (1980)., *Тумач за лист Гацко К 34-26*, Сарајево: Институт за геолошка истраживања
14. Deere, D U (1989). "Rock quality designation (RQD) after twenty years", *U.S. Army Corps of Engineers Contract Report GL-89-1*, Vicksburg: Waterways Experiment Station

15. Clarck I., Fritz P., (1999). *Environmental isotopes in hydrogeology*, 2nd edit., Taylor & Francis Group
16. Mazar E. (2004): *Chemical and isotopic groundwater hydrology*, 3rd edit., New York
17. Милановић П., (2006). *Карст Источне Херцеговине и Дубровачког приобаља*, Београд: АСОС
18. The Devon Karst Research Societi, (2009)., *Dinaric karst in Bosnia and Herzegovina*, Plymouth (UK): The Devon Karst Research Societi
19. Quiñones-Rozo C. (2010). *Lugeon test interpretation*, Collaborative management of integrated watersheds, 405-414
20. Милановић С., (2012). *Спелеологија и спелеороњење у хидрогеологији карста*, Београд: Рударско геолошки факултет
21. Бањак Д., (2016). *Хидрогеохемијске карактеристике и квалитет вода слива Требишњице, Република Српска, Босна и Херцеговина*, докторска дисертација у рукопису, Београд: Рударско – геолошки факултет
22. Васић Љ. (2017). *Генеза и услови циркулације вода комплексних карстних система Кучајско-Бељаничког масива*, Београд: Рударско-геолошки факултет
23. Стевановић З., Милановић С., (2017). *Методе хидрогеолошких истраживања*, Београд: Рударско – геолошки факултет
24. Сорајић С., Милановић С., (2018)., *Елеборат о хидрогеолошким карактеристикама функционисања Церничког поља у периоду великих и малих вода*, Билећа: Гео Есо Group
25. Јемцов И., (2019). *Хидрогеолошко картирање*, Београд: Рударско – геолошки факултет
26. Енергопројект – Хидроинжењеринг (2021) *Извештај о геолошким и хидрогеолошким условима за потребе акумулације Центрица*. Требиње: МХ ЕРС, ЗП „Хидроелектране на Требишњици“ а.д.
27. Републички Хидрометеоролошки завод Републике Српске, посјеђено: 5.3.2021 URL: www.rhmzrs.com
28. Meteoblue , Visited on: 6.4.2021 URL: www.meteoblue.com
29. Фондовски материјал Хидроелектрана на Требишњици

СПИСАК ПРИЛОГА:

Прилог 1- ТОПОГРАФСКА КАРТА ЗОНЕ ЦЕРНИЧКОГ ПОЉА

Прилог 2- ТЕКТОНСКА КАРТА ЗОНЕ ЦЕРНИЧКОГ ПОЉА

Прилог 3- ГЕОЛОШКА КАРТА ЗОНЕ ЦЕРНИЧКОГ ПОЉА

Прилог 4- ПРОГНОЗНИ ГЕОЛОШКИ ПРОФИЛИ В-Г И А-Бⁱ

Прилог 5- ПРОГНОЗНИ ГЕОЛОШКИ ПРОФИЛ Д-Ђ

Прилог 6- ХИДРОГЕОЛОШКА КАРТА ЗОНЕ ЦЕРНИЧКОГ ПОЉА

Прилог 7- ПРОГНОЗНИ ХИДРОГЕОЛОШКИ ПРОФИЛИ Б-Г И А-Бⁱⁱ

Прилог 8- ПРОГНОЗНИ ХИДРОГЕОЛОШКИ ПРОФИЛ Д-Ђ

Прилог 9- КАРТЕ ХИДРОИЗОХИПСИ ЦЕРНИЧКОГ ПОЉА У

ПЕРИОДУ ВЕЛИКИХ И МАЛИХ ВОДА

ⁱ Пошто је легенда јединствена за прилоге 3. и 4. , она је дата заједно са прилогом 4.

ⁱⁱ Пошто је легенда јединствена за прилоге 7. и 8. , она је дата заједно са прилогом 8