

Хидрогеолошке карактеристике Кључке ријеке (Источна Херцеговина)

Петар Војновић



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Хидрогеолошке карактеристике Кључке ријеке (Источна Херцеговина) | Петар Војновић | | 2020 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006811>

Универзитет у Београду
Рударско – геолошки факултет
Департман за хидрогеологију



Завршни рад
Основне студије
ХИДРОГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ
КЉУЧКЕ РИЈЕКЕ (ИСТОЧНА ХЕРЦЕГОВИНА)

Кандидат
Војновић Петар
Г11/16

Ментор
др Саша Милановић, доцент

Београд, септембар, 2020.

Комисија:

1. др Саша Милановић, доцент, ментор

2. др Зоран Стевановић, редовни професор, члан

3. др Весна Ристић Вакањац, редовни професор, члан

Датум одбране: 11. септембар 2020.

Садржај:

1. УВОД.....	1
2. ОПШТИ ПОДАЦИ О ПОДРУЧЈУ ИСТРАЖИВАЊА.....	3
2.1 Географски положај подручја истраживања.....	3
2.2 Климатске карактеристике.....	4
2.2.1 Падавине.....	5
2.2.2 Температура.....	6
2.2.3 Струјање ваздуха.....	8
2.2.4 Остале климатске карактеристике.....	9
2.3 Хидрографске и хидролошке карактеристике терена.....	9
2.3.1 Слив Кључке ријеке.....	12
2.4 Геоморфолошке карактеристике.....	13
3. ГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕРЕНА.....	15
3.1 Преглед ранијих истраживања.....	15
3.2 Приказ опште грађе терена.....	17
3.3 Опис картираних јединица.....	21
3.4 Тектоника.....	26
4. ХИДРОГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕРЕНА.....	27
4.1 Приказ хидрогеолошких типова издани.....	27
4.2 Хидрогеолошке карактеристике Кључке ријеке.....	33
4.2.1 Услови храњења.....	33
4.2.2 Услови појављивања и кретања подземних овда.....	35
4.2.3 Физичка и хемијска својста изданских вода.....	38
4.2.4 Режим издани.....	41
4.2.5 Резерве изданских вода.....	45
5. ПРИКАЗ ХИДРОГЕОЛОШКИХ ИСТРАЖИВАЊА И ЊИХОВИХ РЕЗУЛТАТА.....	46
5.1 Историјат ранијих хидрогеолошких истраживања.....	46
5.2 Методе истраживања.....	49
5.3 Опис истражних радова.....	50
5.3.1 Геодетски радови.....	50
5.3.2 Хидрогеолошко рекогносцирање терена.....	50
5.3.3 Теренски истражни радови и испитивања.....	51

5.3.4 Кабинетски радови.....	51
5.4 Резултати теренских истражних радова	51
5.4.1 Хидрогеолошко реконцирање истражног подручја.....	51
5.4.2 Провјера функционалности постојећих пијезометара (видеоендоскопско снимање пијезометара)	52
5.4.3 Опит обиљежавања	53
5.4.4 Мониторинг нивоа подземних вода	59
6. ЗАШТИТА ПОДЗЕМНИХ ВОДА	62
6.1 Потенцијални загађивачи.....	62
7. ЗАКЉУЧАК	67
8. ЛИТЕРАТУРА	71
СПИСАК ПРИЛОГА.....	73

1. УВОД

Једну трећину површине бивше Југославије захвата подручје карста Динарида. У југозападном дијелу овог карстног региона у источној Херцеговини налазе се сливови ријека Требишњице, Заломке и Брегаве. И поред обиља падавина дужи дио године ово је једно од најбезводнијих подручја Европе.

Воде Требишњице карактерише неповољан природни режим који се огледа кроз велике разлике између минималних и максималних протицаја, пресушивање корита, као и дуготрајна плављења.

Истраживања и студије за овај типични карстни регион почела су 50-их и 60-их година XX вијека. Она су указала су да постоје могућности вишенамјенског коришћења вода, као најзначајнијег природног ресурса на овоме простору.

Ово подручје карактеришу значајни водни ресурси, чија су основна карактеристика велике количине падавина у периоду поводња (октобар – мај), што за последицу има плављење карстних поља и значајан дефицит површинских вода у лјетњем периоду када поједини водотоци потпуно пресушују. Због израженог процеса карстификације, нивои подземних вода су у лјетњем периоду врло ниски и неподобни за експлоатацију.

Циљ овога дипломског рада је приказивање хидрогеолошких карактеристика Кључке ријеке, која протиче кроз село Кључ, преко Церничког поља (општина Гацко). Кроз овај рад биће приказани сви важнији елементи хидрогеолошке средине, полазећи од теоретских основа, преко приказа истражних радова па све до приказа резултата и анализе истраживања. Одеђени елементи биће јасније приказани и графички кроз слике које представљају дијелом модификацију из доступних литературних извора, док одређени дио представља схватање хидрогеолошке проблематике аутора завршног рада.

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 kotaма

од Церничког поља. Управо из поменутог разлога до сада су на овом подручју изведена одређена истраживања као што је детаљно геолошко картирање, низ геофизичких истраживања као и израда осам истражних бушотина односно пијезометара за потребе осматрања флукуације подземних вода зоне Церничког поља у различитим хидрогеолошким условима. Дио бушотина управо је изведен непосредно код понора Кључке ријеке.

За потребе јаснијег тумачења текста овог дипломског рада, израђен је низ графичких прилога, чији се списак налази непосредно пред крај рада (страна 89.) , 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.

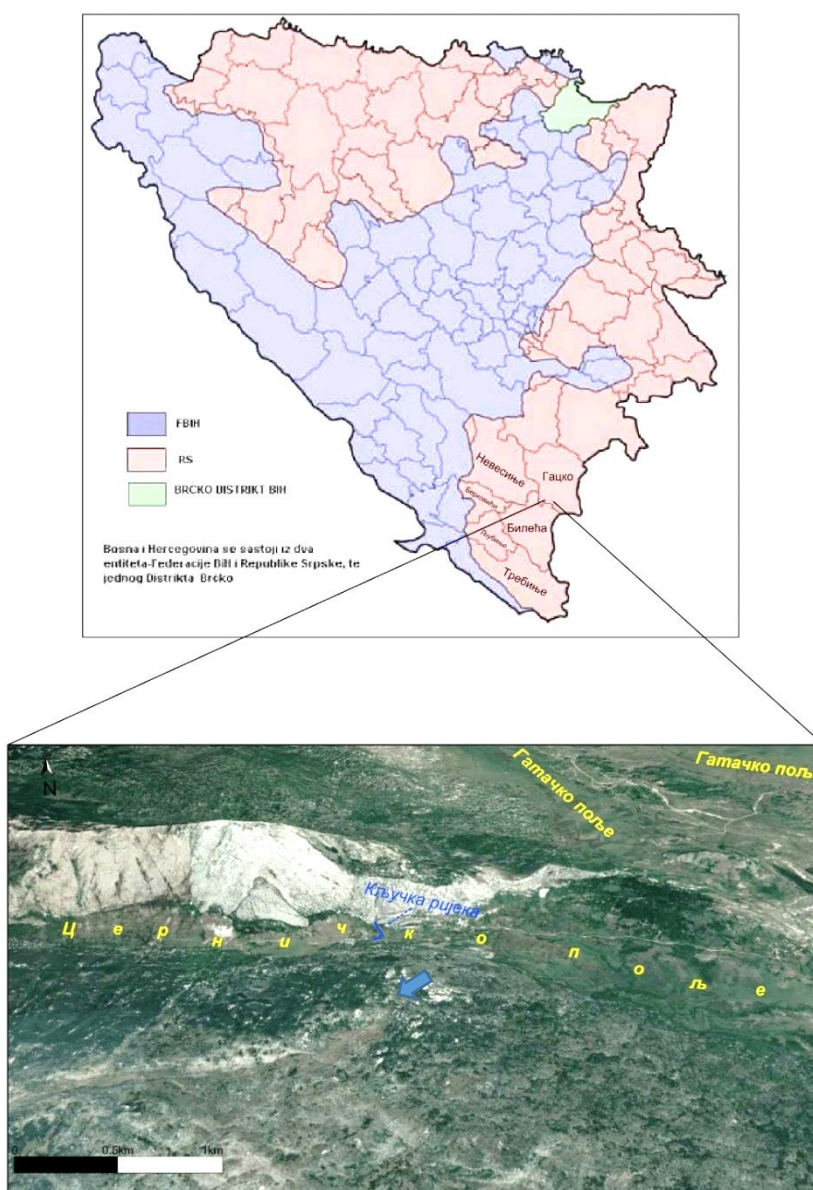
Аутор овога дипломског рада, прије свега, жели да се захвали проф. доц. др. Саши Милановићу, који је својим савјетима, сугестијама и стрпљењем помогао у његовој изради. Такође захвалност дугује запосленима у З.П. „Хидроелектране на Требишњици“ а.д. Требиње који су му уступили резултате истраживања, фондовски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

Посебну захвалност, аутор рада дугује колегама хидрогеолозима- Јани Штрбачки, Марији Цуци и Станку Сорајићу, који су помогли у набављању потребне литературе, као и на несебичним сугестијама у току израде дипломског рада.

2. ОПШТИ ПОДАЦИ О ПОДРУЧЈУ ИСТРАЖИВАЊА

2.1 Географски положај подручја истраживања

Шира зона подручја истраживања представља југоисточни дио Републике Српске, односно сами слив 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. Надморске висине се крећу од 1500 m.n.m до самог нивоа мора.



Слика 1. Географски положај Кључке ријеке и Церничког поља

Церничко поље (Слика 1.) спада међу мања карстна поља са површином око 3 km². Налази се између хипсометријски вишег Гатачког и нижег Фатничког поља, на надморској висини 850 m.n.m. . Церничко поље се протеже у правцу запад-исток. Поље је добило назив по насељу Церница, које се налази на јужном ободу поља. На западној страни поља се налазе Заградци, док се на истоку налази село Степен. Кључка ријека тече Церничким пољем дужином од 300 m. . Истражни простор налази се на граничном подручју између Гацка (на сјеверу) и Билеће (на југу). Непосредно у близини налази се магистрални пут М20 који повезује Вишеград са Дубровником. Топографска карта подручја истаживања дата је у оквиру 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 и снажно утиче на плувиометријски режим овог поднебља.

Дефинисање плувиометријског режима на овом простору, као и битни закључци о његовом природном стању и олакшано разумијевање потребе и начина ублажавања негативних и побољшања позитивних ефеката његовог дјеловања, значајно олакшава постојање великог броја хидрометеоролошких станица.

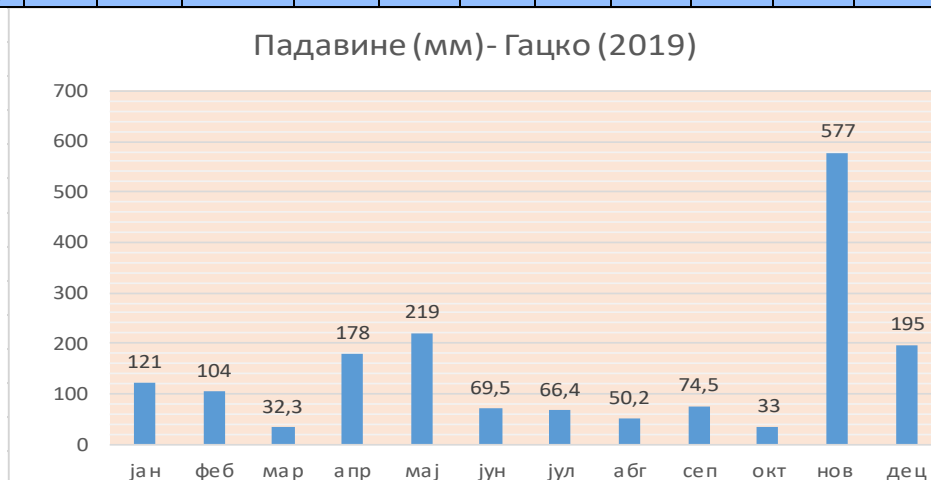
Резултати који ће бити приказани преузети су од Републичког Хидрометеоролошког завода Републике Српске (www.rhmzrs.com) и сајта Meteoblue (www.meteoblue.com).

2.2.1 Падавине

Као показатељ падавинског режима у наведеном простору, кориштен је приказ вриједности годишњих висина падавина за 2019. годину (табела 1., слика 2.) као и просјечне вриједности падавина за дужи временски период, са својим екстремима и годинама у којима су забиљежени (табела 2.)¹

Табела 1. Количине падавина за 2019. годину- Гацко (www.rhmzrs.com)

Мјесец	Јан	Феб	Март	Апр	Мај	Јун	Јул	Авг	Сеп	Окт	Нов	Дец	ΣР (mm)
Р (mm)	121	104	32,3	178	219	69,5	66,4	50,2	74,5	33	577	195	1719,9



Слика 2. Графички приказ количине падавина за 2019. годину- Гацко

Табела 2. Вишегодишње падавине- Гацко

ΣPs _r (mm)	1636	1923-2019
ΣP _{max} (mm)	2302	1979
ΣP _{min} (mm)	964	2007
		година

Просјечне годишње падавине у предметном простору су уједначене и износе од 1500 до 2000 mm воденог талога. Међутим, у изузетно кишним годинама вриједност падавина на овом простору достиже и до 2300 mm воденог талога, док у изузетно сушним годинама падне само 900 mm. У Гатачком пољу, на станици Гацко измјерене су максималне падавине од 2302 mm и минималне од 964 mm падавина (табела 2). Са аспекта унутаргодишње расподјеле падавина, могуће је закључити да се главнина падавина излучи у току хладнијег дијела године, односно од новембра до маја када

¹ Наведене вриједности висина падавина добијене су на основу података са климатолошких/кишомјерних станица у Гацку.

падне и до 83 % годишњих падавина. Велике падавине изражене у овом дијелу године уз ограничен ретенциони капацитет земљишта, брзу вертикалну циркулацију воде у карсту, осим карстних поља, и уз ниску евапотранспирацију, резултитрају 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.

Аналзом вишегодишњих вриједности воденог талога могу се извући битни показатељи. Основне карактеристике тих показатеља су:

- Просјечна вишегодишња вриједност висина падавина на наведеном простору која износи 1636 mm, што представља респектабилну величину 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. Индикативно је да максимална вриједност просјечних висина годишњих падавина износе 2302 mm, а минимална 964 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.
- Одсуство индикација које би упућивале на постојање израженијег тренда континуираног повећања или смањења просјечних вишегодишњих вриједности висине падавина, односно протицаја, на наведеном простору.

На овом подручју падавине су се смањиле (1925 - 2000) за 5-6%. Дужи сушни периоди су регистровани у периодима 1950-1960. и 1980 - 2000. године.

2.2.2 Температура

Анализирајући годишње токове температура на неколико станица Источне Херцеговине, могуће је 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 не прелази 22°C, а најхладнијег 3°C. Други тип термичког режима одговара простору

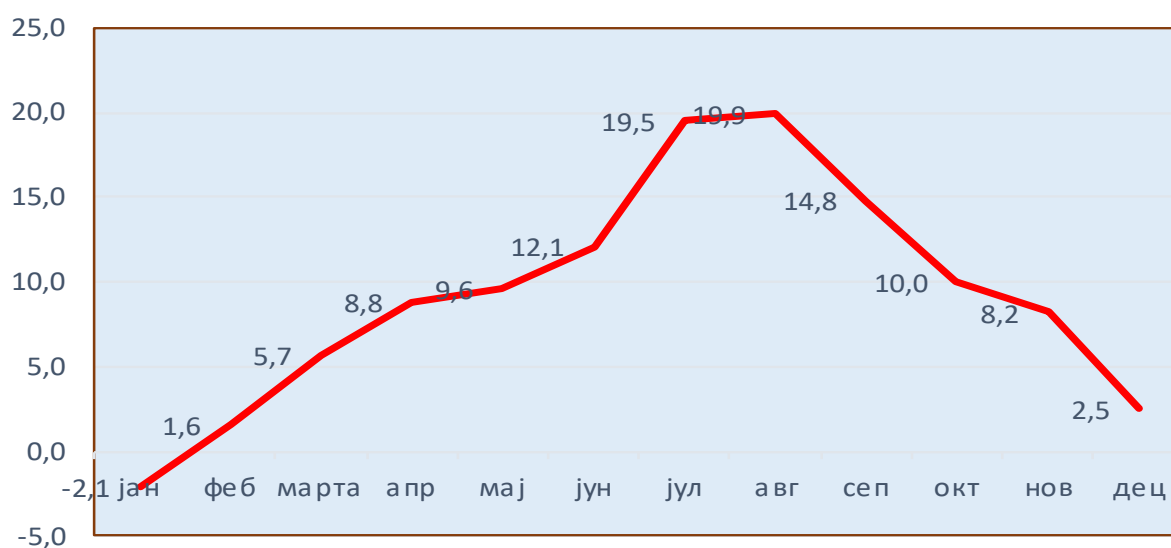
између 400 и 600 m.n.m. гдје је средња температура најтоплијег мјесеца мања или једва достиже вриједност од 22°C, док је средња температура најхладнијег мјесеца по правилу изнад 0°C. Трећи тип термичког режима одговара просторима изнад 600 метара апсолутне висине, а карактеришу га средња температура најтоплијег мјесеца изнад 18°C и најхладнијег од 0 до -3°C. Истражни простор, који је тема завршног рада припада трећем типу термичког режима.

Приказ вриједности измјерених температура за 2019. годину приказан је табели 3. и на слици 3. .

Табела 3. Вриједности температура за 2019. годину- Гацко (www.rhmzrs.com)

Мјесец	Јан	Феб	Март	Апр	Мај	Јун	Јул	Авг	Сеп	Окт	Нов	Дец	T _{sr} (°C)
T (C°)	-2.1	1.6	5.7	8.8	9.6	12.1	19.5	19.9	14.8	10	8.2	2.5	9.2

Годишње температуре (°C)- Гацко (2019)



Слика 3. Графички приказ температура за 2019. годину- Гацко

Мјерења температуре на ширем подручју указују на тренд њеног раста у периоду 1925 - 2000 за 0,6°C. Ово повећање је најизразитије у периоду 1970 - 2000. Измјерене температуре показују да је лјето 2003. године било најтоплије у последњих 100 година. На основу тога и наведеног у поглављу 2.2.1 закључује се да падавине и температура у предходном дугогодишњем периоду године имају обрнут тренд, тј температуре расту а падавине опадају.

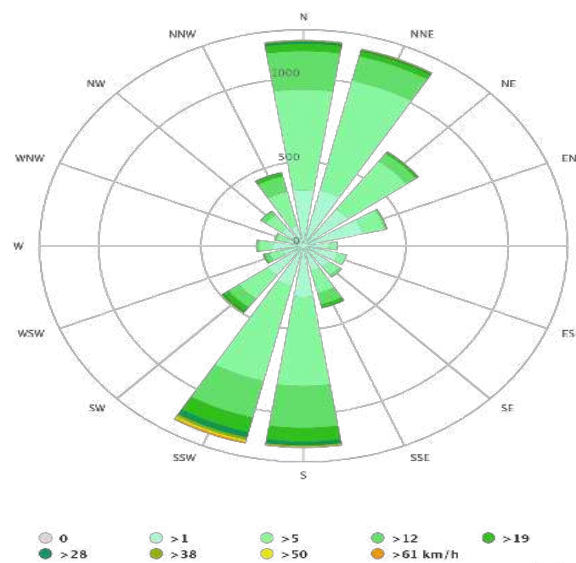
2.2.3 Струјање ваздуха

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. Због њега на мору настају високи таласи. Иако најчешће дува у хладним дијеловима године, може дувати и љети. На јужном Јадрану најчешће се јавља од почетка јесени па до краја зиме, а на сјеверном од краја зиме до почетка љета. Зими југо траје до девет дана, а понекада и до три недјеље са прекидима. Љети у већини случајева не траје дуже од три дана. 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. Чешће и снажније се појављује на јужном дијелу Јадрана него на сјеверном.

Сјеверац је хладан сјеверни вјетар који дува у унутрашњости Херцеговине. У приобаљу тада настају бура или трамонтана. Бура је јак, сув и хладан, маховит (нагло мијења смјер и брзину) и турбулентан вјетар с копна, који претежно у хладно доба године дува дуж источне обале Јадранског мора. У унутрашњости дувају умјерени сјеверни и сјевероисточни вјетрови с копна који се убрзавају прелазећи преко планинских ланаца, посебно на мјестима гдје постоје снижени горски пријевоји, па се притом бура појављује као падајући, слаповит вјетар, тј. има изразиту, према доље усмјерену компонентугибања. Бура дува више дана, ријетко 2 до 3 седмице (с прекидима), и јача је ноћу.

На слици 4. графички је приказана ружа вјетрова карактеристична за простор Гацка.



Слика 4. 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%. Простор Источне Херцеговине карактерише добра инсолација, тј. велики број сунчаних дана у току године. Подаци указују да поља имају годишње и до 3166,6 сунчаних сати. Највећа облачност је у децембру и новембру а најмања у августу.

2.3 Хидрографске и хидролошке карактеристике терена

Специфичност хидрогеолошких карактеристика карстних терена манифестује се и преко специфичних хидролошких карактеристика. Због тога познавање хидролошких праметара и величина треба да представљају саставни дио комплексних хидрогеолошких истраживања.

Основне хидролошке карактеристике карстних терена су:

- Падавине се дјелимично задржавају на површини слива, тако да се карстни терени одликују сиромаштвом површинских токова
- Оборонска вода врло брзо понире, па се на рачун одумирања површинске циркулације развија подземна циркулација
- Велики број површинских токова има повремен карактер
- Површински токови и врела се карактеришу великим варијацијама протицаја и издашности
- У затвореним карстним пољима долази до стварања повремених ретензија воде и њеног пражњења преко понорских зона
- Поједине дијелове ријечних токова карактерише врло брзо смањење различитих хидролошких ситуација: суво корито, формиран ријечни ток и потопљен ријечни ток

У хидролошком погледу, шире подручје истраживања има све карактеристике типичне за хидрологију карстних подручја. Површинска хидрографска мрежа сталног карактера је крајње редукована. Површинско отицање има изразито периодичан карактер. Кроз само поље протиче неколико сталних и повремених токова. Свакако су најзначајнији стални токови Кључке ријеке и Јасовице. Ток Кључке од извора Вилина пећина до момента понирања износи нешто више од 300 m (Слика 5 и 6.).



Слика 5. Ток Кључке ријеке од Вилине пећине



Слика 6. Понор Кључке ријеке

Све до шездесетих 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.

Мушницу формирају потоци Врба, Улињски поток и Јасенички поток, а ток се завршава у понорској зони Малог Гатачког поља. Мушница са своје двије притоке - Грачаница, и Жаровића поток чини главни дренажни систем Гатачког поља. Извор ријеке Грачанице- Вратило, налази се сјеверно од Гацка, испод планине Живањ. Протицаји ових токова варирају у току хидролошког циклуса. Максимални протицаји, регистровани на водомјерним станицама износе до 600 m³/s (13. окт. 1975), док минимални протицаји износе до 0,13 m³/s (12. нов 1962). Сјевероисточно од извора Кључке ријеке (Вилина пећина), на удаљености од око 2 km налази се систем

понорских зозна 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.

Протицај Кључке ријеке такође варира у широком дијапазону. Док у периоду минимума кроз њихова корита тече око 10 l/s , а у периоду максимума кроз корито Кључке ријеке тече и до 60 m³/s, што даје неравномјеран однос $Q_{\min}:Q_{\max} = 1:6000$.

На току Кључке ријеке, непосредно прије понирања посотји уређен профил са водомјерним летавама (слика 6.)

Сталне природне површинске акумулације не постоје али зато поља и поједине мање карстне депресије повремено плаве. У природним условима поплаве су регистроване у свим пољима.

Кроз поље протиче и Степенски поток. Он у виду мањег водопада улази у поље, тече правцем исток-запад и понире у понор Јасовицу. У периоду минималних вода пресушује. Од повремених токова треба поменути и ток који увире у понор Шуковића, у истоименом засеоку на крајњем југоистоку поља.

Кључку ријеку карактерише и појава ендемске врсте рибе- Гатачке гаовице (слика 7.). Гаовице се карактеришу специфичним начином живота. Један дио животног циклуса проводе у подземним језерима крашких пећина, а код изливања воде у плавне зоне гаовице излазе у површинске воде. У вријеме боравка у поплављеним пољима гаовице се интензивно хране и мријесте. Исхрана ларви и млађи гаовица могућа је само у површинским водама.

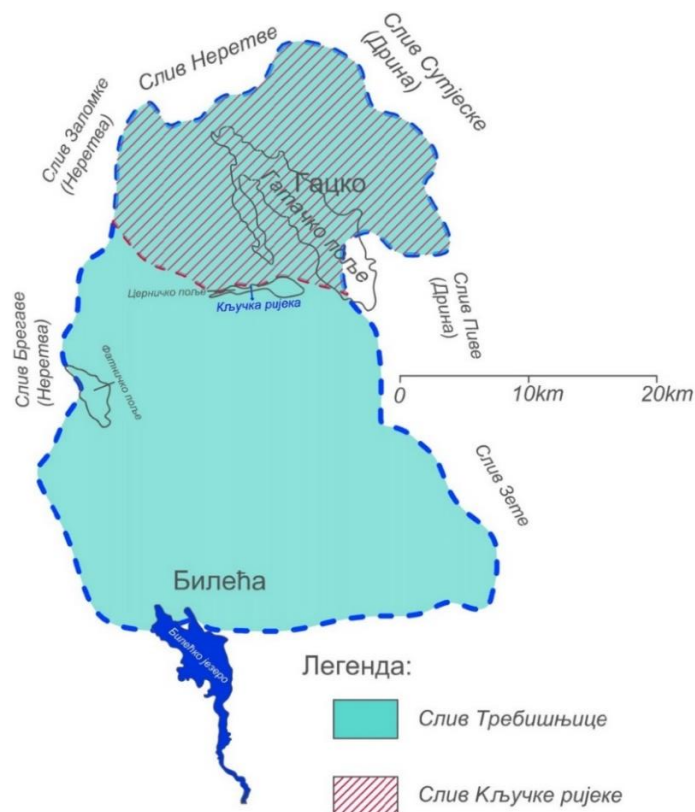


Слика 7. Гатачка гаовица (www.telestesmetohiensis.rs.ba)

2.3.1 Слив Кључке ријеке

Слив Кључке ријеке представља сјеверни подслив слива ријеке Требишњице. Слив захвата подручје од вододјелнице са црноморским сливом (Чемерно, 1329 m.n.m) до Вилине пећине (извора Кључе ријеке, 860 m.n.m). Слив укључује и ерозиони базис-Гатачко поље. На крају поља налази се велика инфилтарциона зона- Срђевићи-Шабанов понор.

Сјеверно и сјеверозападно подручје слива одређено је са доста тачности, док је источни дио слабо истражен. Сливу Пиве припада врло мали источни дио Гатачког поља. Вододјелница према сливу Неретве је већим дијелом добро истражена, али због изузетне хидрогеолошке сложености поједини њени дијелови могу бити подложни корекцијама. Мањи дио ове вододјелнице је према најузводнијем дијелу тока Неретве и њеним извориштем, а већи дио према сливовима Брегаве и Заломке која чини дио слива Буне и Бунице. Ту је вододјелница дефинисана бојењем низа понора. На основу свих до сада изведених истражних радова утврђено је да при најповољнијим хидролошким и хидрогеолошким условима површна слива Требишњице износи 1150 km², од чега на слив Кључке ријеке отпада око 350 km².



Слика 8. Подслив Кључке ријеке у склопу слива Требишњице

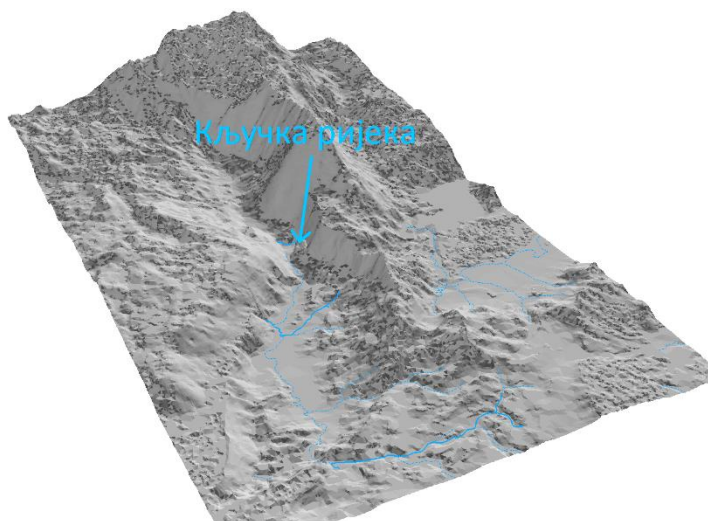
2.4 Геоморфолошке карактеристике

На истражном подручју доминира брдско-планински рељеф (слика 9.), који и условљава основна геоморфолошка обиљежја. Геоморфолошке карактеристике терена су типичне за карстне терене Источне Херцеговине односно Динарида.

Карст (крш, крас), је област типичног развоја крашког процеса. То је терен, изграђен од стијена карбонатног састава (кречњака, доломита, доломитичних кречњака), који представља пацијенс, на коме доминантно дејство 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: вртаче, увале, крашка поља, шкрапе, јаме, пећине, понори, итд.

Развој крашког процеса зависи од већег броја чинилаца: количине и температуре воде, садржаја угљен-диоксида (CO_2) у води, распрострањења, дебљине и чистоће карбоната, степена њихове тектонске поремећености, појава нерастворљивих стијена које се смјењују са карбонатима, иницијалног рељефа, дужине времена и изложености карбоната дејству воде.

Имајући у виду разноликост развића крашког процеса и његових облика, Цвијић је начинио регионалну типизацију краса. Типизација је заснована на интензитету развоја процеса, односно облика и има првенствено дескриптивни карактер. Цвијић издваја као основне типове холокрас и мерокрас.



Слика 9. Сјенчени модел Церничког поља

Холокрас (у преводу - потпуни крас) одликује се свим површинским и подземним крашким облицима. Холокрас се развија на просторима гдје су заступљене дебеле масе чистих кречњака, с веома малим процентом нерастворљиве компоненте. Ти кречњаци су, по правилу, интензивно тектонски поремећени - убрани и израсједани.

На простору холокраса на површини терена јављају се шкрапе, вртаче, увале и крашка поља. Ријетки водотоци су углавном алогени, тј. настају ван крашких терена и на подручју краста трпе значајне морфолошке модификације. Тако настају кањонске долине, појаве понирања, бројне слијепе и напуштене долине, а ријетке притоке су висеће. Од подземних облика, у холокрасу се јављају 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 10.) Понори, понорнице, крашка врела, потајнице и еставеле су такође веома честе хидрогеолошке појаве у холокрасу.



Слика 10. Унутрашњост Вилине пећине

Терен је углавном са мало вегетације, тешко је проходан. Као што је већ речено, по скоро читавом простору се налазе шкрапе, вртаче и увале. Дна вртача су прекривена и запуњена. Вртаче се најчешће формирају на мјестима пресјецања два или више расједа па представљају добар индикатор могућег пружања карстних канала или подземних токова.

У Церничком пољу су 1961. године истражени карстни канали Вилине пећине, понора Кључке ријеке и понора Јасовице. Ова спелеолошка истраживања су обављена, у склопу са другим истражним методама, са циљем да се утврди реалност идеје о формирању површинске акумулације у овом пољу. Међутим, неопходно је детаљно истраживање ових објеката.

3. ГЕОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕРЕНА

Дио дипломског рада који се односи на геологију датог подручја, приказан у поглављу геолошке карактеристике терена урађен је највећим дијелом према тумачу за лист Гацко 34-26 који су написали М. Мирковић, М. Калвезић, М. Пајовић, С. Рашковић, М. Чепић и П. Вујисић (1980) и према тумачу за лист Невесиње К34-32 који су написали М. Мојићевић и М. Лаушевић (1965).

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: А. Битнер (1880), М. Неумајр (1880), Е. Тица (1884), С. Брусина (1847), Ј. Гриммер (1890), Л. Балдаци (1886, 1889), Ф. Вахнер (1890, 1892), Х. В. Фулон (1882), К. Хасерт (1895), Р. Краус (1916), В. Хавелка (1929), Ф. Кацер (1921), Ф. Кох (1933), Ј. Цвијић (1899, 1924) и В. Симић, В. Чубриловић, В. Микинчић и Р. Јовановић (1939).

А. Битнер (1880) вршио је испитивања на простору Херцеговине. Код њега 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.

С. Брустина (1847), М. Неумајр (1880) и Ј. Гример (1890) бавили су се испитивањем старости угљоносне серије Гатачког басена сматрају да иста припада млађем терцијару или мицоену.

Ф. Вахнер (1890, 1892) је испитивао лијаске амонитске кречњаке код Автовца и утврдио да припадају средњем и горњем лијасу.

Ј. Цвијић (1889, 1924) је вршио геоморфолошка и геолошка проучавања у подручју највиших планина Источне Херцеговине. Из подручја ових планина даје детаљне описе глацијалних облика и износи мишљење о постанку ријечних долина.

Ф. 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 С. Брустине (1847) и М. Неумајр (1880).

В. 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 Бјелашице (изнад Кључке ријеке) 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. Међу првим испитивачима послје рата, јављају се: З. Бешић (1948, 1949, 1953, 1956, 1958, 1959), затим Р. Јовановић (1951), С. Пантић (1956), Р. Радоичић (1956, 1965, 1968), М. Јеремић (1959), Д. Рубежанин (1955 и 1956), К. Петковић (1961), К. Влаховић-Ђекић (1961), М. Муфтић (1964), П. Ђурић (1966), Р. Милојевић (1966), М. Милидановић (1968), З. Перовић (1964, 1967) и др.

З. Бешић је у више наврата (1948, 1949, 1953, 1956, 1958, 1959) изучавао тектонску структуру Црне Горе и сматра да су на овој територији као највеће тектонске јединице заступљене краљушти. Године (1958) идући од мора према унутрашњости издвојио је

пет краљушти од којих су на терену који обухвата истажно подручје око Кључје ријеке присутне Староцрногорска, Кучка и краљушт Бјеласице (прилог 2.).

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

К. Влаховић-Ђекић (1961) вршила је испитивања амонитске фауне лијаских седимената између Автовца и Гацка.

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

Р. 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.

Овдје треба још 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

Испитивано подручје налази се у граничном дијелу Спољашњих и Унутрашњих Динарида. Одликује се сложенем геолошком и тектонском грађом.

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 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 контрасно израженим високим кречњачким одсјеком дуж чела реверсног расједа. Геофизичким истраживањима констатована је дубина флиша 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.

Дно поља је 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.

Терен је изграђен од тријаских, јурских, кредних, палеогених, неогених и квартарних творевина.

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 квргави 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, Брестица, Каменог брда и дијела Кључа- тачније Вилине пећине, из које свој ток започиње Кључка ријека.

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.

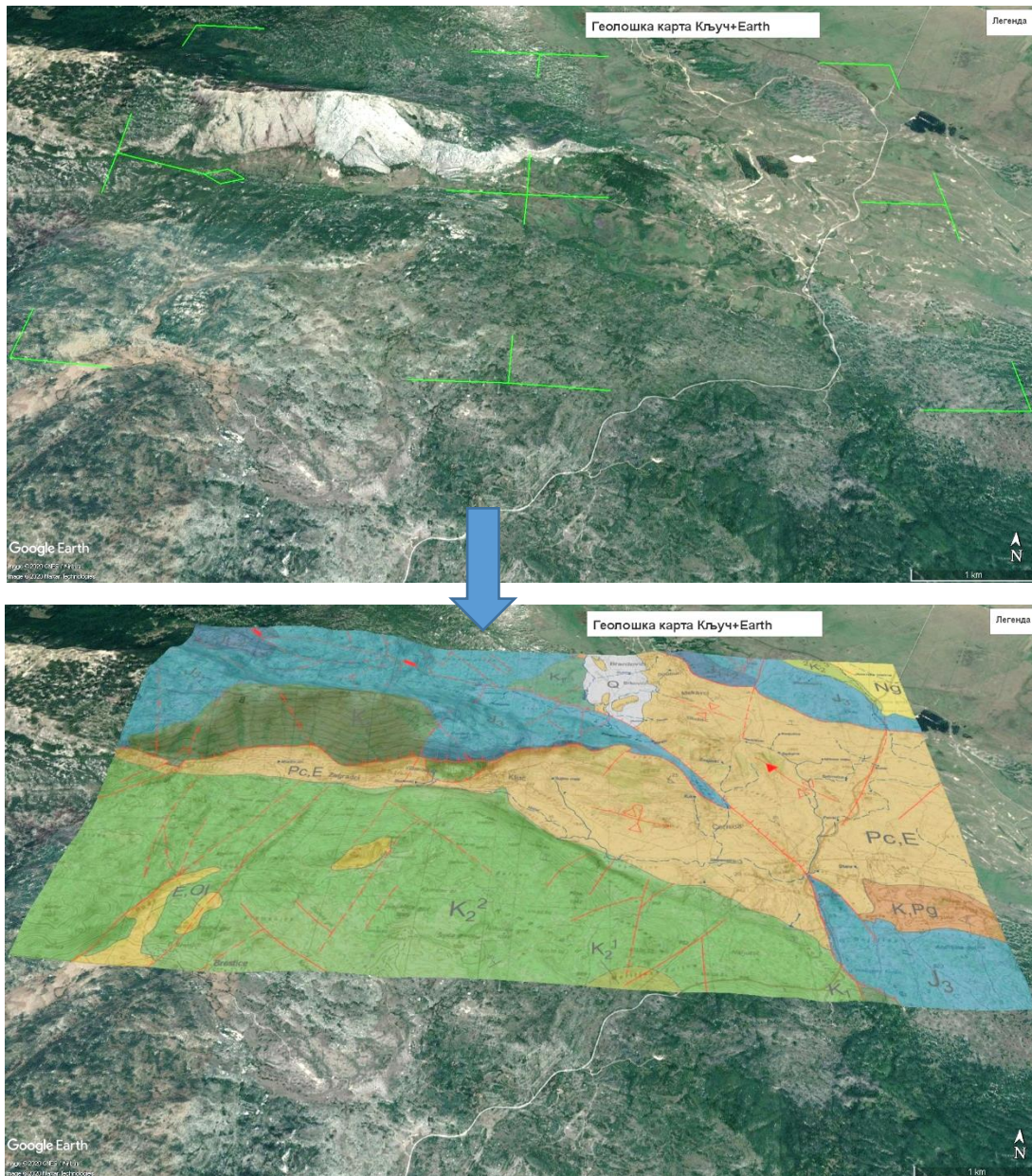
Флиш палеоцена и еоцена заузима значајан преддио и представља битан сегмент геолошке грађе терена. Од њега је управо и изграђено Церничко поље. Поред њега, изграђују преддио око Стоца и Мекаваца.

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

Ради бољег разумјвања распореда поменутих јединица на слици 11. и 12. 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 11. и 12. Google Earth снимак терена (горе) и исти преклопљен геолошком картом (доле)

3.3 Опис картираних јединица

У потпоглављу 3.2 даг је општи опис геолошких јединица, док ће кроз ово потпоглавље оне бити приказане детаљније кроз опис периода, епоха и катова од старијих ка млађим.

ЈУРА

Седименти издвојени у оквиру ове картиране јединице развијени су 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 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 тинтининама. Цијела серија је тамносиве до смеђе боје, мјестимично се јављају партије битуминозних кречњака.

ВАЛЕНДИН-БАРЕМ (K₁₁₋₃)

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 микросталастни 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 (K_2^2)

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 градација. 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 градација и хоризонтална, коса и укрштена ламинација. Калкаренити су изграђени од одломака кречњака и фрагмената микрофауне.

Лапоровити кречњаци јављају се као завршни члан секвенце. Боје су сиве и сивобједичасте. 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 калкарених и пјешчара. Органске и неорганске текстуре нису запажене.

Испитивањима узорака кречњака, калкарених 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 (Брестице). 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 мезозоика 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 Фазлагића) 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 је резултат покрета алпске орогенезе. Као што је већ речено у поглављу 3.2 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. Ту се сусрећу 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 најактивнијим кретањем 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 ССИ крило раскинуто расједом тако да су на ове творевине мјестимично и значајније 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.

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

Подручје истраживаног простора представља специфично карстно подручје са значајном улогом доломита у хидрогеолошким карактеристикама. Терен карактерише већина карстних појава које су развијене у и околним теренима, које се својим специфичностима издвајају у погледу и начину будућег истраживања.

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

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, читава 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.

Карстни тип издани добре водопропусности представља доминантни тип издани на разматраном подручју као што се може видјети у прилогу б. . Развијен је у оквиру јурских и кредних кречњачка. 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), а у другом од стране понорућих 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 m^2 . Може се предпоставити 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 диелу поља. Врело је углавном активно током читаве године, осим у периодима екстремних минимум. Врело дијелом, поред падавина, прихрањују и поноруће воде Гатачког поља (утврђена директна веза са Шабановим понором и са понором у Срђевићима). Протицај врела је од неколико литара до преко $60 \text{ m}^3/\text{s}$. Најзначајнији понори којим се врши дренирање Церничког поља и уједно прихрањивање карстне издани јужно од њега су стални понори Кључке ријеке и Јасовице те повремени понор у селу 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_{11-3} , K_1 , J_{1+2})

² Преузето из извештаја Криптос – Милићи



Слика 13. Кречњаџи малма (J_3) навучени на туронске кречњаке (K_2^2) у зони истицања Кључке ријеке

Критеријуми који су коришћени приликом одређивања потенцијалности 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 60m³/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.

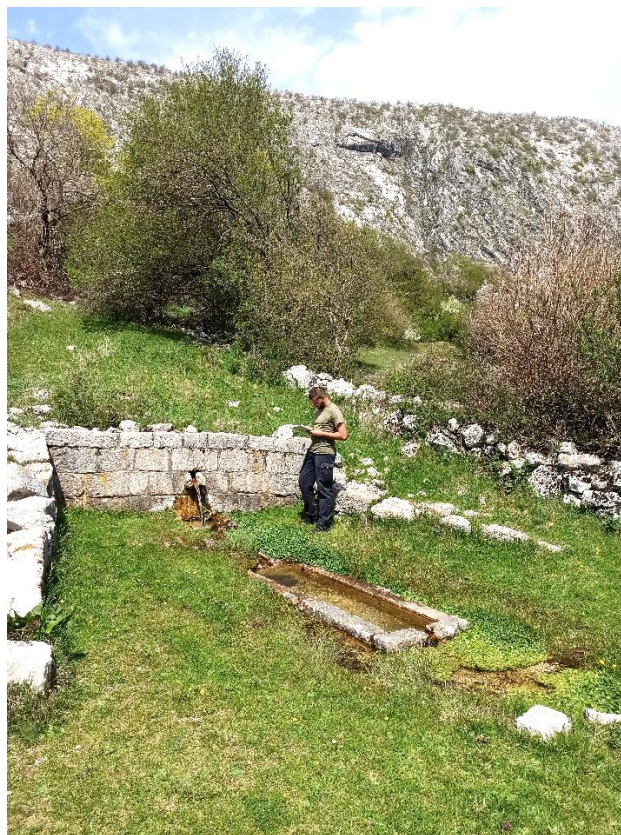
Резултати опита обиљежавања (трасирања) представљају један од најважних података приликом проучавања карстних терена и његове карактеризације. Издани већег потенцијала имају фиктивну брзину већу од 1 cm/s (36 m/h). Велике брзине кретања вода кроз подземље значи присуство добро развијених система канала и каверни. Овај критеријум је такође испуњен, а сáм опит обиљежавања и његови резултати биће посебно приказани у оквиру поглавља 5.4.3 .

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 пресјецају 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 са аспекта хидрогеологије. 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 сáмо 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 14.). Оно представља мању изворишну зону, са провирањем воде на три мјеста од који 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 минимум 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 14. Каптивани извор Студенац

Пукотински тип издани

Пукотински тип издани развијен је у оквиру еоценско-олигоценских наслага и у бречама и конгломератима креде и палеогена. Еоценско-олигоценски црвени конгломерати изграђују простор сјеверно од села Брестице. Брече и конгломерати креде и палеогена распростраиру 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 невезаних 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 15. преклапањем хидрогеолошке карте (прилог 6.) преко 3D Google Earth снимка (слика 11).



Хидрогеолошке карактеристике терена

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

Слика 15. Хидрогеолошка карта подручја преклопљена преко 3D Google Earth снимка

4.2 Хидрогеолошке карактеристике Кључке ријеке

4.2.1 Услови храњења

Услови за храњење карстне издани су далеко повољнији него што је то случај са изданима у другим геолошким срединама. 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. Њен ниво се налази на великој дубини. Надизданска зона у овоме периоду губи велики дио влаге. Може се рећи да у дужем сушном периоду долази до неке врсте „сушења“ надизданске зоне. У „сушењу“ надизданске зоне значајну улогу има струјање ваздуха кроз сплет карстних канала и проширених пукотина. Као доказ томе струјање ваздуха осјећа се у току љетњих мјесеци унутар Вилине пећине, тј. на мјесту извора Кључке ријеке. Релативна влажност ваздуха у карстним каналима увијек је већа од 80% из чега можемо закључити да ово струјање ствара знатан дефицит влаге у надизданској зони.

Када говоримо 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. Биљни покривач је уз то конзумент великих количина вода. Пукотине које су запуњене црвеницом садрже велики број жила које доспјевају до дубина и преко 15 m. Преко њих биљке узимају велике количине влагле. Повећана температура ваздуха и терена у сушном временском периоду такође знатно утичу на повећање интензитета испаравања.

Бавећи се овом проблематиком долази се до закључка да у љетном 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.

У валжном периоду (новембар-мај у коме падне 83% падавина, табела 1.) утицај свих ових чинилаца је сведен на минимум. У овоме периоду 70-90% оборинских вода доспјева до изданске зоне.

Храћење издани више зависи од режима падавина него од колочине укупних годишњих падавина. Период интензивних падавина најпољовније утиче на храћење издани, док честе али слабе падавине немају велики значај.

Храћење издани падавинама у директној је зависности са ретардационим својствима стијена. Под појмом ретардације (закашњења) подразумева се природни или вјештачки утицај којим се пала вода из атмосфере задржава на површини и у подземљу, тако да је отицај временски развучен (В. Јевђевић 1956).

Падавине се у некарстним теренима као што је Гатачко поље и Мало Гатачко поље, захваљујући ретардацијоној способности средине претварају у перманентну појаву-отицање преко развијене ријечне мреже коју представља ријека Мушница са својим притокама (слика 16.) . Велики значај у прихрањивању имају и воде формирање отапањем зимског снијега у прољећном периоду.

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. Управо је то случај са Церничким пољем, преко кога тече Кључка ријека. Оно је формирано уз регионални реверсни расјед (навлаку) дуж кога су јурски кречњаци налегли преко еоценског флиша и туронских кречњака. У њему 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 $29 \times 10^6 \text{ m}^3$ воде, која се дренира преко понора Кључке ријеке, понора Јасовице и Шуковића понора са укупним капацитетом гутања од $42,5 \text{ m}^3/\text{s}$.



Слика 16. Ријека Мушница (www.musicar.rs)

Дакле, услове храњења издани могу се оцијенити као повољни. Велико распрострањење карста, његова разруђеност 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.

4.2.2 Услови појављивања и кретања подземних овда

Положај ерозионих база је онсовни фактор у одређивању регионалног доминантног правца циркулације подземних вода у карсту. Литологија, расједи и структуре су такође врло значаји 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 значају за формирање хидрогеолошких карактеристика карстне области ерозиони базиси се могу подијелити у три групе:

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

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

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.



Слика 17. Извор Кључке ријеке- Вилина пећина (лијево) и понор Кључке ријеке (десно)

Значајну улогу у формирању сталних извора на простору Херцеговине имали су седименти флиша. Флиш представља баријеру колектору из кога се акумулирана вода преко баријере излива на површину.

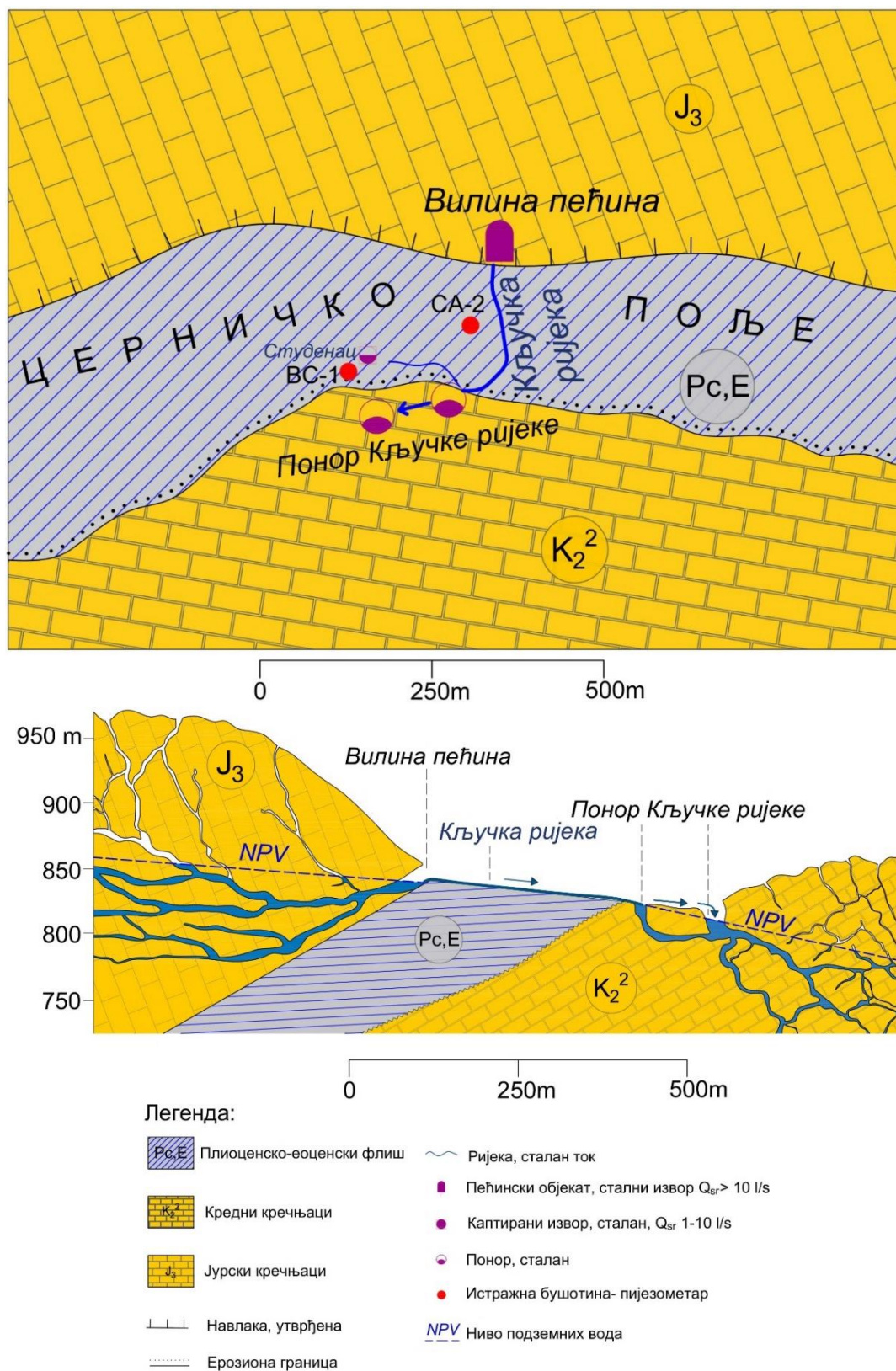
Једна од карактеристика карста је врло слабо развијена површинска хидрографска мрежа. Ријетки су токови који су стални читавом својом дужином. Кључка ријека највећи дио године задржава континуитет у површинском течењу.

Кључка ријека, као ток виших хоризоната разликује се по низу специфичности од ријечних токова некарста. Њено врело представља Вилина пећина (слика 17), које има велике варијације у издашности.

Ток Кључке ријеке формира се на тектонском контакту плиоценског-еоценског флиша и кречњака. Њен ток се завршава послје 300 m у понору Кључке ријеке са капацитетом гутања око $20 \text{ m}^3/\text{s}$. У минимуму коритом протиче око 10 l/s , а послје великих падавина $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Протицаји за вријеме екстрема могу бити до $60 \text{ m}^3/\text{s}$. 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 плављња Церничког поља.

На основу класификације понора по капацитету гутања, Понор Кључке ријеке спада у прву групу понора чији је капацитет гутања већи од $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

На слици 18. у плану и профилу приказан је претходно описани начин појављивања, правац течења и правац понирања Кључке ријеке.



Слика 18. Шематизовани приказ хидрогеолошке проблематике Кључке ријеке у плану (слика горе) и профилу (слика доле) (П. Милановић, 1979- модификовано)

4.2.3 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). Пошто се ради о брдско-планинским условима њихова температура може да буде и нижа у појединим дијеловима године (до 7°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, до бактериолошког загађења и слично.

Хемијски састав и укупна минераизација су углавном уједначени током године. Ријеч је о хидрокарбонатним водама са малим количинама сулфат јона. Присуство ових јона се објашњава присуством анхидрита у карбонатним седиментима и 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. Карактеристично је да узорци воде из површинског тока немају слободну CO₂.

У табели 4. и на слици 21. приказане су основне компоненте физичког и хемијског састава подземних вода за главну понорску зону изнад извора Кључке ријеке (понор у Срђевићима- формула (4.2.3-1) и за главну зону дренарања испод понора Кључке ријеке (врело Требишњице- формула (4.2.3-2). Аутор овога рада није могао да дође до комплетне хемијске анализе воде директно из Кључке ријеке, 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.

Табела 4. 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

Садржај HCO₃ варира од 170 до 200mg/l. Са повећањем издашности смањује се садржај CO₂ и HCO₃ (као и укупн минерализација) тако да је зими садржај нешто нижи зими него у љетном периоду. Садржај Ca²⁺ се креће од 60 до 90 mg/l, док Mg²⁺ поприлично уједначен и има вриједности око 8 mg/l.

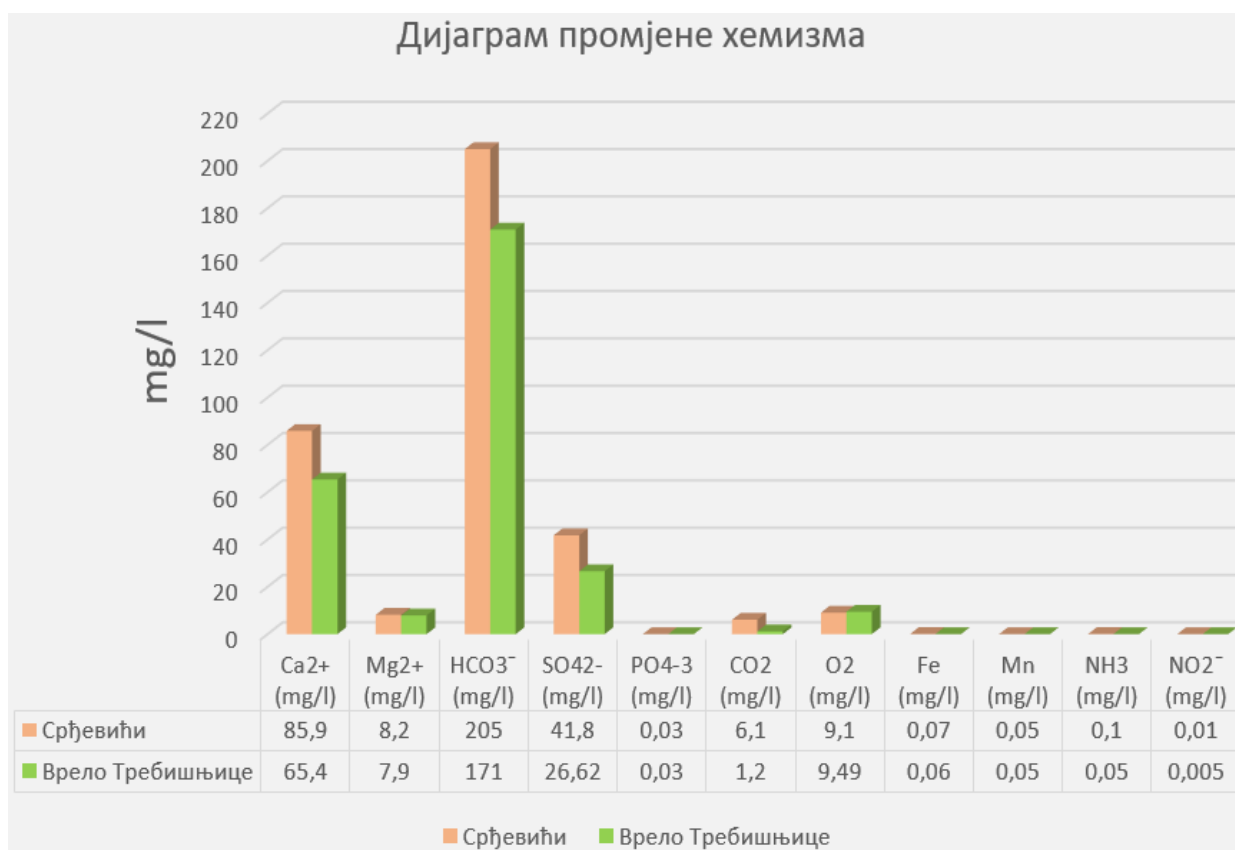
$$M 0,24 \frac{HCO^3_{83} SO^4_{17}}{Ca_{91} Mg_9} \quad (4.2.3-1)$$

$$M 0,17 \frac{HCO^3_{87} SO^4_{13}}{Ca_{89} Mg_{11}} \quad (4.2.3-2)$$

Према њемачкој класификацији вода је на граници између меких и умјерено меких (од 8 до 10 °dH)³.

На слици 19. приказана је промјена хемијског састава изданских вода фиктивној раздаљини од 33 km (Срђевићи- Врело Требишњице).

³ Граница између меких и умјерено меких вода је 10 °dH



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

Садржај HCO_3^- у изворској зони Кључке ријеке (Вилина пећина) на основу анализе из августа 2002. године износила је 103,1 mg/l, што се гранични са минималним садржајем у оквиру цјелокупног слива Требишњице. Преовладавање HCO_3^- јона над 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.

4.2.4 Режим издани

Режим подземних вода представља квалитативно и квантитативно стање подземних вода у времену, под утицајем природних и вјештачких фактора. Режим карстног типа издани је веома динамичан, што се нарочито односи на режим нивоа и издашности, што свакако представља једну од карактеристика овог типа издани. Однос минималних и максималних нивоа, као и однос минималних и максималних протицаја варира у широком дијапазону у току хидролошког циклуса.

4.2.4.1 Осцилације нивоа издани

Као што је већ речено осцилације нивоа подземних вода карактеристичне су код издани у карсту. Велике димензије крстних канала, њихова међусобна повезаност, велики градијент и велика водопрпусност површинских зона омогућава врло брзо пуњење али и пражњење колектора, односно брзо формирање издани и скоро исто тако њено брзо исцрпљење. 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. 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 велике и честе. Период од маја до септембра се одликује врло благим промјенама нивоа издани. У том периоду ниво се благо али 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. Око Кључке ријеке мониторинг је успостављен преко 6 пијезометара. Осим њих, у подручју Церничког поља налази се још 10 бушотина за праћење промјене нивоа подземних вода. Приказ доступних резултата њиховиг мониторинга биће дат у поглављу 5.4.4 .

У карстним изданима Источне Херцеговине, 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

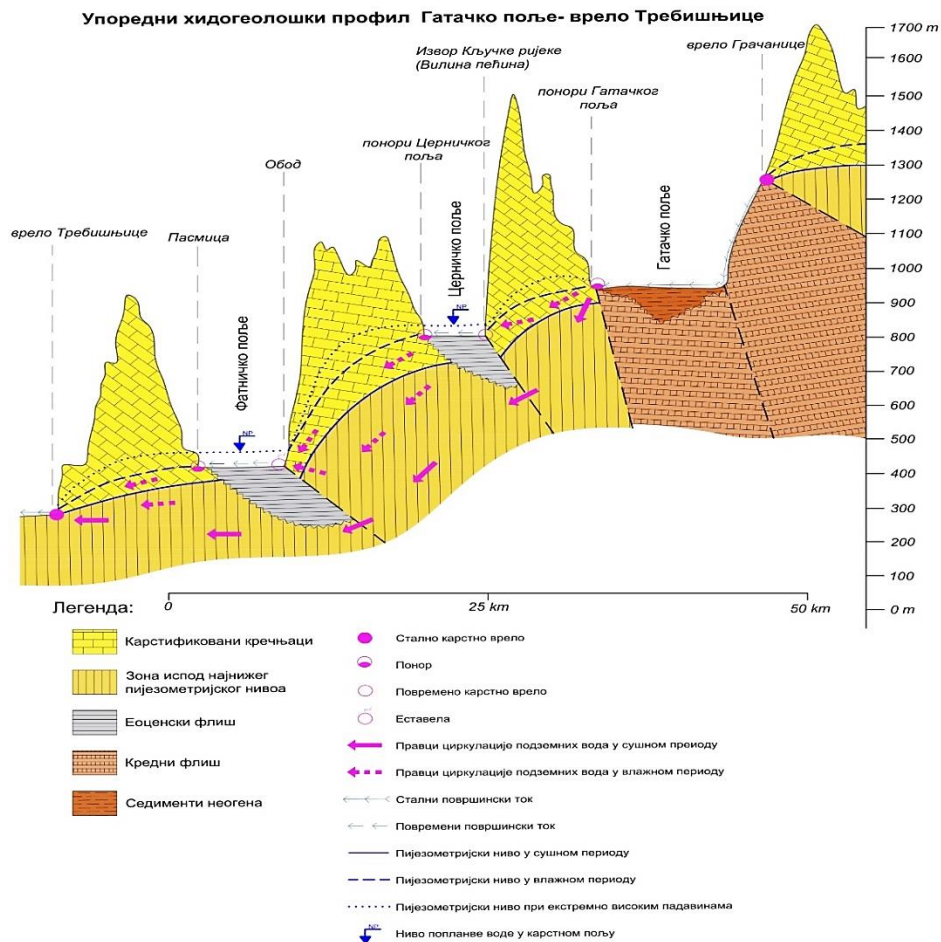
основне кинематске елементе карстног подземног тока треба тражити, углавном, у законитостима турбулентног течења кроз храпаве проводнике.

У сушном периоду, када су нивои близу минимума, течење се одија претрежно у зони базних токова. Све воде гравитирају према базним токовима. У том периоду токови ријетко долазе под притисак. То је природ када се не остварују градијенти који би то формално били на основу топографског понора и врела јер понирајуће воде у облику одземних водопада и токова веома брзо достигну тренутни ниво подземних вода. Након завршетка тока Кључке ријеке, тј. понирања у понор Кључке ријеке подземне воде могу да се налазе преко 50 m испод мјеста понирања. Тек тада њих прихвата канал базног тока. Тада су то токови са слободним водрним лицем, а градијенти су врло мали па је течење споро. Завршни дио тока, у непосредном залеђу мјеста истицања, може да дође под притисак.

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 изданских 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 погављу 5.4.3 .

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, какво је и Вилина пећина у поменутом периоду.



*Слика 20. Упрошћени хидрогеолошки профил Гатачко поље- врело Требишњице
(П. Милановић, 1979- модификовано)*

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 случајевиманиво 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 дренира 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 вододјелинца па се један дио издани празни преко више ерозионих базиса. У том периоду евакуациони објекти базиса (поља) почињу да раде као врела.

4.2.4.2 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 слици 21. приказан је прелив на понору Кључке ријеке у различитим хидролошким периодима.



Слика 21. Понор Кључке ријеке за вријеме средњих вода (лијево) и малих вода (десно)

4.2.5 Резерве изданских вода

Имајући у виду распрострањење и све оно што је већ речено о карстном типу издани, није тешко предпоставити 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. Међутим, њихова реална валоризација још увијек је недовољно позната. На такво стање, свакако има утицај већи број фактора:

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

На основу члана 170. из Правилника о класификацији и категоризацији резерви минералних ресурса и вођењу евиденцију о њима, Републике Српске, истраженост зоне Кључке ријеке и Церничког поља уопште, по степену истражености резерви можемо сврстати у категорију C_2 :

(1) У C_2 категорију уврштавају се резерве подземних вода у налазиштима или већој водоносној средини код којих су оријентационо истражени и утврђени: геолошка грађа водоносне средине, распрострањеност, услови прихрањивања и пражњења, филтрациона својства, веза са другим водоносним срединама и површинским водама као и услови заштите.

(2) Резерве категорије C_2 утврђују се на основу података основних хидрогеолошких, односно геотермских истраживања ширег подручја налазишта и на основу експлоатације постојећим водозахватима - аналогијом са истраженим и проученим водоносним срединама.

(3) За разврставање резерви подземних вода у категорију C_2 мора се извршити оријентационо црпљење на карактеристичним појавама (природним и вјештачким) подземних вода, ради утврђивања хидрогеолошких параметара. У подручјима

могућих налазишта минералних, термалних и термоминералних вода региструју се на постојећим природним и вјештачким појавама геотермски и минеролошки параметри.

(4) За резерве категорије C_2 прогноза режима подземних вода врши се на основу расположивих података.

(5) Квалитет питких вода испитује се дјелимичним, а појава минералних, термалних и термоминералних комплетним анализама, које се врше једанпут у току године у оквиру истраживања за утврђивање резерви категорије C_1 .

(6) Резерве подземних вода категорије C_2 служе за перспективно планирање коришћења подземних вода, усмјеравање истражних радова и избор најпогоднијих подручја за детаљна истраживања.

5. ПРИКАЗ ХИДРОГЕОЛОШКИХ ИСТРАЖИВАЊА И ЊИХОВИХ РЕЗУЛТАТА

5.1 Историјат ранијих хидрогеолошких истраживања

Детаљне карактеристике карстних поља Источне Херцеговине даје Јован Цвијић у чланку „Карсна поља западне Босне и Херцеговине“ (1900). Ту 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. Истраживања Цвијића наставља А. Лазих (1926 - 1933) испитивањем пећина и јама и подземних веза на подручју Источне Херцеговине.

У току истражних радова велика пажња је поклоњена анализи хидрогеолошке функције шире зоне Церничко поља, будући да се дио концепције Горњих Хоризоната (пројекат искориштења вода Требишњице у енергетске сврхе) 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. .

Генерално до сада је о самој зони истраживања као и о хидрогеологији Горњих и Доњих Хоризоната највише података који су коришћени као подлога овим истраживањима, а у току израде овог рада дао је П. Милановић кроз низ радова и књига објављених о овом подручју међу којима свакако можемо издвојити и монографију „Карст Источне Херцеговине и Дубровачког приобаља“ из 2006. године.

На предметном подручју изведена су значајна геолошка истраживања најразличитијег карактера, како према детаљности (општа и детаљна), тако и према врсти (од базичних геолошких, преко геофизичких, па до хидрогеолошких и у мањој мјери инжењерскогеолошких).

Од посебног значаја су резултати геолошких истраживања изведена за потребе израде Идејног рјешења за ХЕ Церница из 1967. године, приказани у склопу Идејног пројекта ХЕ Церница, а посебно Књига 1 Пројекта – Геолошке подлоге (Енергоинвест Сарајево, 1967).

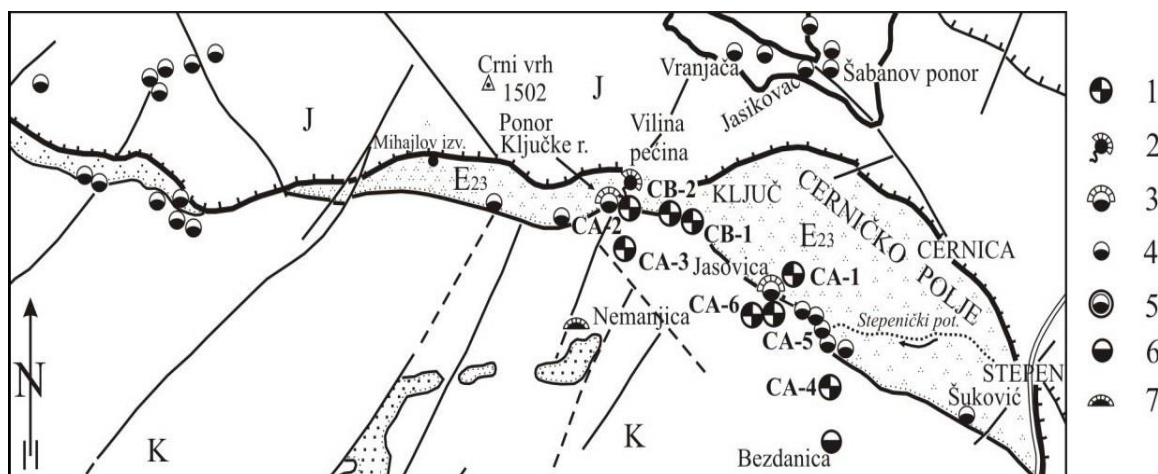
За потребе израде неведеног Идејног пројекта на подручју самог поља и јужне кречњачке греде, у периоду 1963.-1965.год., избушено је 8 бушотина у које су уграђене пијезометарске конструкције. Њихов положај видљив је и на хидрогеолошкој карти (прилог 6.). У наставку се даје табеларни преглед ових бушотина (табела 5.) 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 5.4.1, у дијелу који се односи на хидрогеолошко рекогностизирање Церничког поља.

Табела 5. Табеларни преглед бушотина избушених у периоду 1963.-1965.године на подручју Церничког поља (Милановић, 2006)

Рб.	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.

Бушотине СА-2 и С-1 налазе се у непосредној зони понора Кључке ријеке, док се бушотине СВ-2, СВ-1 и СА-3 налазе у околини Кључке ријеке. Остале бушотине изведене су у централним дијеловим Церничког поља.

На слици 22. приказан је полжај истажних бушотина из табеле 5.



Слика 22. Положај истажних 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 (П. Милановић, 2006)

5.2 Методе истраживања

Кроз ово поглавље биће приказана новија доступна истраживања везана за описивано подручје. Како би се утврдила хидрогеолошка функција непосредне околине Кључке ријеке као и шире зоне Церничког поља неопходно је било извести низ додатних хидрогеолошких истраживања.

Поменута истраживања одвијала су се кроз три правца (са приказом предвиђених радова) и то кроз:

1. Теоријски приступ:

- Синтеза, класификација и анализа расположиве фондовске документације шире зоне Церничког поља.
- Синтеза, класификација и анализа резултата осматрања нивоа подземних вода у широј зони као и свеобухватна хидрогеолошка анализа ширег истражног подручја.

2. Детаљна теренска истраживања. Под чиме су вршени следећи радови:

- Видеоендоскопско снимање свих пијезометара у зони понора Кључке ријеке и Церничког поља
- Након извођења видеоендоскопских истраживања предвиђено је обезбјеђивање проходности до орта бушотина у свим осматраним објектима
- Геодетско снимање истражних бушотина
- Мониторинг подземних вода
- Извођење опита трасирања примјеном Na-флуоресцеина ради дефинисања правца кретања подземних вода

5.3 Опис истражних радова

У наставку рада наводе се врсте и обим изведених истражних радова. Они се односе на геодетска, хидрогеолошка истраживања и испитивања која обухватају кабинетске и теренске радове. Такође, биће приказана и обрада података и њихова анализа.

5.3.1 Геодетски радови

Геодетски истражни радови односе се на геодетско снимање терена као и детаљно снимање постојећих истражних бушотина и положаја главних хидрогеолошких појава и објеката. Елементи координатног система у коме су урађени сви прилози (топографска, тектонска, геолошка и хидрогеолошка карта) су:

Табела 6. Основне карактеристике Гаус-Кригровог координатног система

Projected Coordinate System:	Bosna-Srbija 6
Projection:	Gauss Kruger
False Easting:	6500000,00000000
False Northing:	0,00000000
Central Meridian:	18,00000000
Scale Factor:	0,99990000
Latitude Of Origin:	0,00000000
Linear Unit:	Meter
Datum:	D Hermannskogel
Prime Meridian:	Greenwich
Angular Unit:	Degree

5.3.2 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

5.3.3 Теренски истражни радови и испитивања

Теренски истражни радови и испитивања су обухватили:

- провјера функционалности свих пијезометара на истраживаном простору као и њихово видеоендоскопско снимање и мјерење њихових основних карактеристика
- пречишћавање пијезометара на видеоендоскопски дефинисаним мјестима
- извођење опита обиљежавања на понору Кључке ријеке и осматрање на извору Обод и Баба у Фатничком пољу и извору Требишњице у Билећи

5.3.4 Кабинетски радови

Анализа прикупљених подата картирања терена, видеоендоскопског снимања, мониторинга подземних вода, опита обиљежавања урађена је кроз:

- обраду података добијених мониторингом подземних вода
- анализу података осцилација НПВ-а у пијезометрима
- анализу опита обиљежавања

5.4 Резултати теренских истражних радова

5.4.1 Хидрогеолошко реконстрирање истражног подручја

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.

Хидрогеолошким рекогносцирањем је обухваћен је обим истражних теренских радова описан у поглављу 5.3.2.

5.4.2 Провјера функционалности постојећих пијезометара (видеоендоскопско снимање пијезометара)

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

За потребе снимања дренажних бушотина коришћена је широкоугаона камера (слика 23.) 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. Снимање је вршено на више локација, а у наставку ће бити приказано снимање бушотине ВС-1, која се налази непосредно код понора Кључке ријеке.



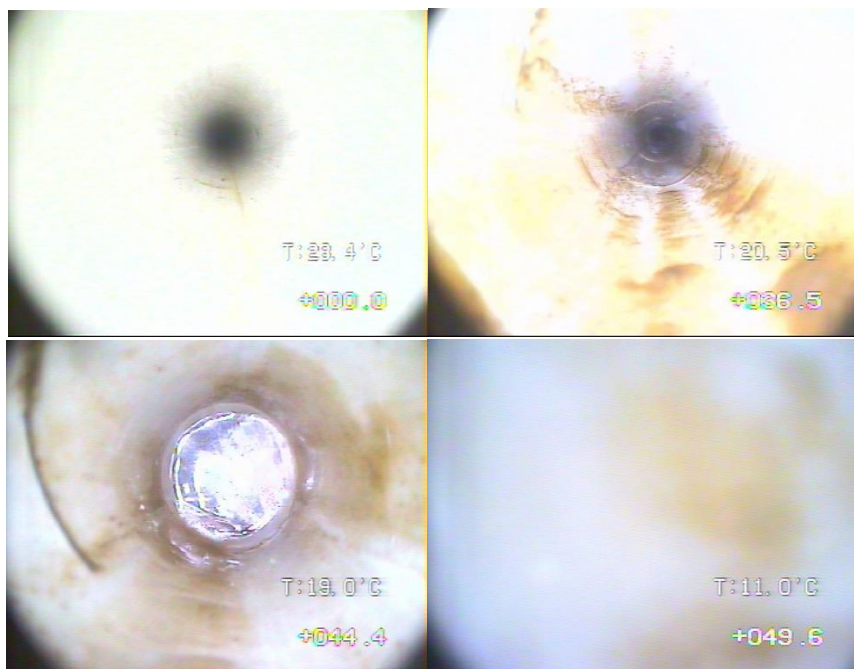
Слика 23. Видеоендоскопски систем за снимање бушотина (С. Милановић, 2018)

- **Снимање и анализа бушотине ВС-1**

Бушотина ВС-1, налази се у близини понора Кључке ријеке (слика 24.). Бушотина је избушена до дубине 65 m, али је проходна до дубине од 49.6 m, гдје је камера ушла у дебели талог. На слици 25. приказано је стање пијезометарске конструкције ВС-1.



Слика 24. Положај и снимање бушотине ВС-1 (С. Милановић, 2018)



Слика 25. Стање конструкције бушотине ВС-1 (С. Милановић, 2018)

Током прегледа видеоендоскопског снимка бушотине ВС-1, може се констатовати да се ради о конструкцији која се налази у добром стању. Ниво воде констатован је на дубини од 44.5 m, а вода је јако замућена. Снимање је завршено на дубини од 49.6 m, гдје је камера налегла на талог наталожен на дну бушотине.

5.4.3 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. Количина боје за успјешно обиљежавање неког подземног тока зависи од више фактора. Укупна количина обиљевачке воде, брзина којом се талас обиљевачача 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“ гутања воде

у зонама ињектирања обиљеживача, издашност на дренажним бушотинама или изворима и растојање између њих. Најчешће коришћена формула за опит обиљежавања је:

$$K = L \times Q \quad (5.4.3-1)$$

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 зони понора Кључке ријеке са низводним врелима. Опит обележавања подземних вода на истраживаном терену изведен је убацивањем трасера (Na-флуоресцеина) у понор Кључке ријеке (Слика 26. и 27.).



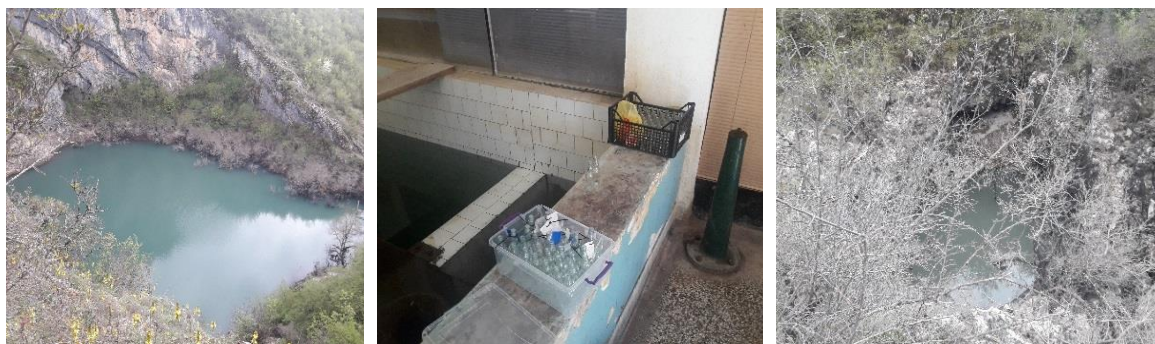
Слика 26. и 27. Процес убацивања обележивача у понор Кључке реке (С. Милановић, 2018)

Опит обиљежавања изведен је у априлу 2018. године. Прије почетка извођења опита бојења било је неопходно извршити низ припремних радњи како би се квалитетно извео опит. Радње које су извршене прије самог почетка извођења опита обиљежавања су:

- допремање боје и опреме за припрему обиљеживача на локацију бојења,
- узимање нултих узорка са локација на којима ће се вршити осматрање обиљеживача
- распоред људства и дефинисање поступка извођења опита

Прије убацивања боје било је потребан обилазак терена на унапријед предвиђеним локацијама односно потенцијалним мјестима будућег појављивања боје и узети нулти узорке и измјерити издашност на осматрачким пунктovima. На основу прикупљених података утврђено је да је за квалитетан опит обиљежавања неопходно убацити 12 kg Na-флуоресцеина.

Након дефинисања локација узорковања приступило се извођењу опита обиљежавања. Убацивање је извршено у 09:00 часова (Слика 26.). Праћење појаве обиљеживача изведено је на свим дефинисаним локацијама могућег појављивања односно на врелу Обод, јами Баба и Врелу Требишњице (Слика 28.) а концентрација је мјерена на узорцима на опреми Turner designs UV 10 флуорметру (Слика 38.).



Слика 28. Локације узорковања. С лијева на десно – еставела Обод, црна станица Билећа–врело Требишњице, Баба Јама (С. Милановић, 2018)



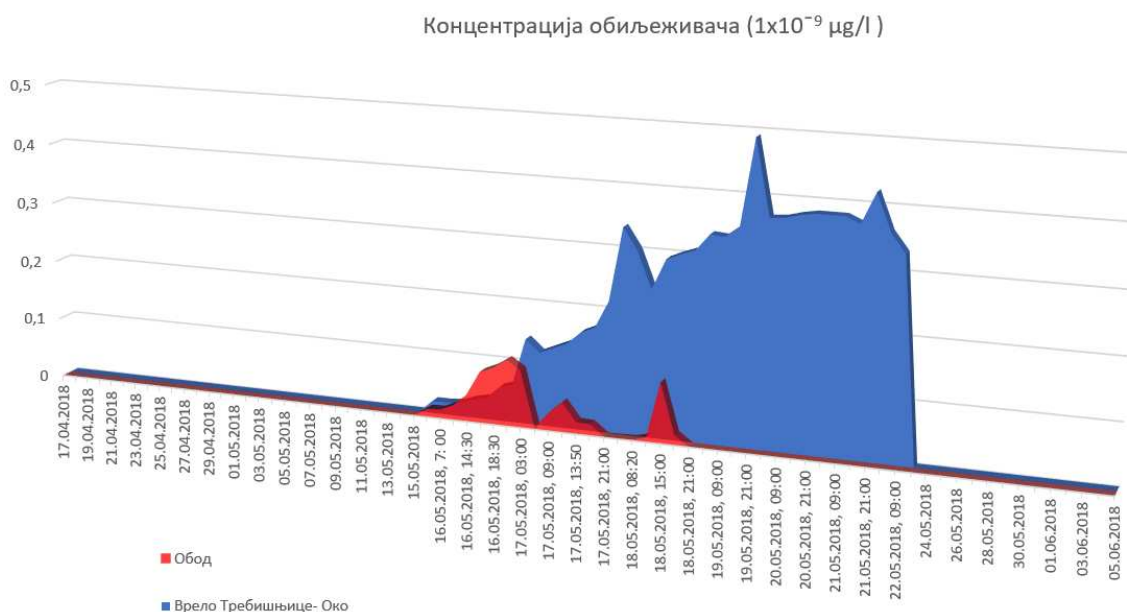
Слика 29. Одређивање концентрације обиљеживача у узорцима на UV флуорметру (С. Милановић, 2018)

У табели 7. приказано је осматрање појаве трасера на утврђеним локацијима.

Табела 7. Осматрање појаве обиљеживача (трасера)

Датум и вријеме	Концентрација обиљеживача (1×10^{-3} $\mu\text{g/l}$)		
	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 30.



Слика 30. 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 (Узуновић Омер, Рамљак Паво).

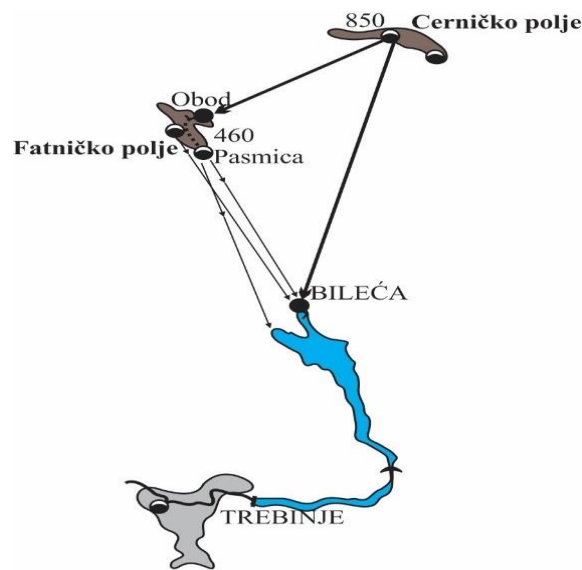
Табела 8. Резултати претходног трасирања (Узуновић Омер, Рамљак Паво, 29.11.1961. год.)

Локација	Обод	Врело Требишњице-Око	Јама Баба
Вријеме до појављивања (h)	34h 30'	68h 30'	30h 30'
Трајање истицања (h)	113	219	81
Фиктивна брзина (cm/s)	11,27	10,46	12,75

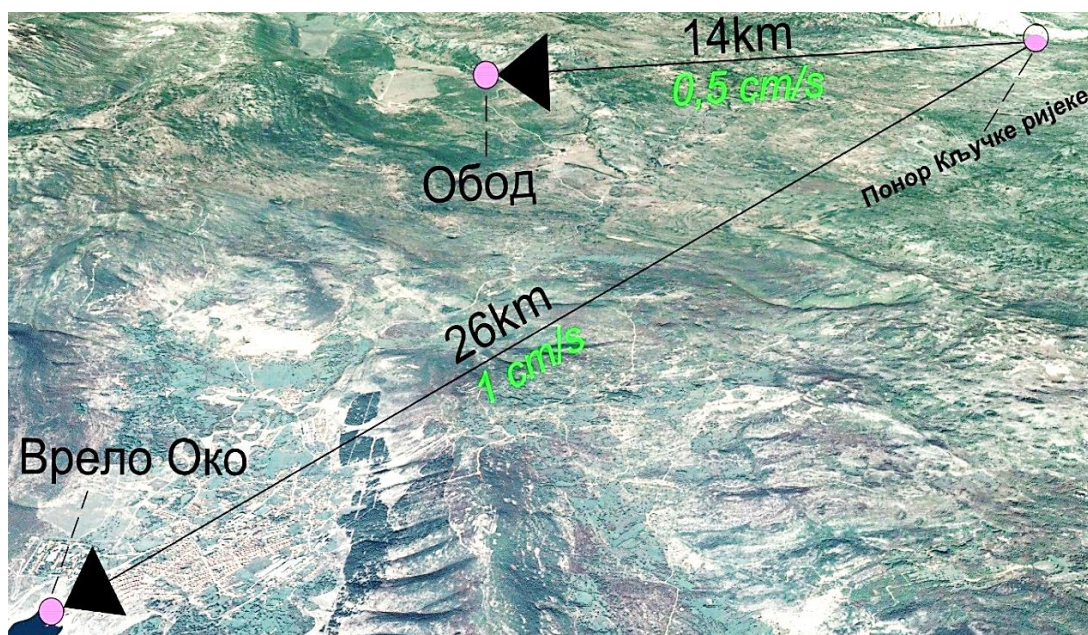
На основу приказаног, долази се да закључка да су добијене брзине током предходног опита (1961.г) много веће од брзина добијених најновијим опитом (слика 41. - 2018.г). Дакле, претходне брзине су преко десет пута веће, што упућује на јако добру карстификованост терена. Претпоставља се да су разлози за то повољнији климатски и хидролошки услови у вријеме извођења опита. Опит 1961. године изведен је крајем новембра, најкишнијег мјесеца у години за овај простор, док је опит 2018. године изведен у периоду април-мај, када пада неколико пута мање кише у односу на мјесец новембар. 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 локацији јаме Баба није регистровано појављивање

обилеживача током опита 2018. године, што би на први дало закључак да нема доказане подземне везе. Међутим, резултати истраживања из 1961. године показали су везу између понора Кључке ријеке и јаме Баба. Тако да би требало детаљније истражити ову потенцијалну везу и наћи разлоге за разлику у резултатима.

На слици 41. приказани су резултати опита обилежавања понора Кључке ријеке са најновијим подацима изведеним током 2018 године. Фиктивне брзине кретања подземних вода износиле су од 0.5 до 1 cm/s.



Слика 31. Доказани правци кретања подземних вода (С. Милановић, 2018)

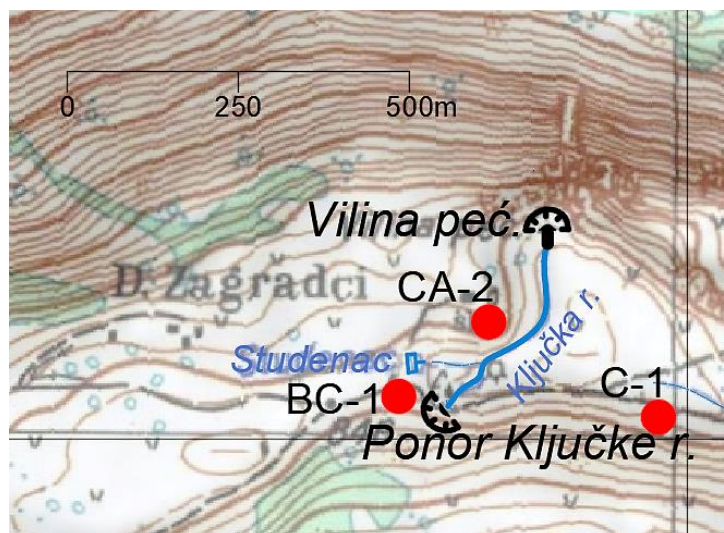


Слика 32. Доказани правци кретања подземних вода, са приказаним раздаљинама и фиктивним брзинама, представљени на Google Earth снимку

5.4.4 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 карстне издани која се налази у зони Кључке ријеке формирана је осматрачка мрежа чији је распоред приказан на слици 33. . Осматрање се врши у пијезометрима:

BC-1 (Слика 34.)	CA-2	C-1
X: 4 772 094	X: 4 772 222	X: 4 772 007
Y: 6 539 599	Y: 6 539 675	Y: 6 539 991
Z: 849 m.n.m	Z: 860 m.n.m	Z: 857 m.n.m



Слика 33 . Положај пијезометара у зони Кључке ријеке

Аутор рада до резултата осматрања поменутих пијезометара дошао је захваљујући запосленима у З.П. „Хидроелектране на Требишњици“ а.д. Требиње који су му уступили резултате истраживања. У табели 9. приказани су резултати осматрања за 2018. и 2019. годину.

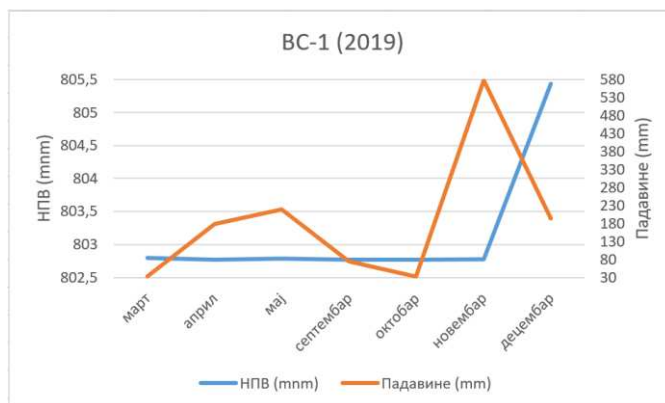
Табела 9. Резултати осматрања нивоа подземних вода (НПВ)
(ХЕТ, 2020)

BC-1		CA-2		C-1	
Датум	НПВ (mnm)	Датум	НПВ (mnm)	Датум	НПВ (mnm)
09.02.2018	805,62	21.08.2018	850,67	09.02.2018	702,07
19.03.2018	817,89	11.09.2018	850,25	18.05.2018	683,35
18.05.2018	802,8	19.10.2018	849	17.07.2018	682,97
17.07.2018	802,79	09.11.2018	849,04	21.08.2018	682,22
21.08.2018	802,82	25.12.2018	857,53	11.09.2018	681,72
11.09.2018	802,82	27.03.2019	857,42	19.10.2018	681,53
19.10.2018	802,83	23.05.2019	857,44	09.11.2018	681,07
09.11.2018	802,83	11.07.2019	852,37	25.12.2018	681,33
25.12.2018	803,69	27.09.2019	849,85	27.03.2019	688,22
27.03.2019	802,8	16.10.2019	849,74	24.04.2019	687,41
24.04.2019	802,77	22.11.2019	857,56	23.05.2019	691,3
23.05.2019	802,79	20.12.2019	857,43	11.07.2019	688,43
27.09.2019	802,77			27.09.2019	681,15
16.10.2019	802,77			16.10.2019	680,99
22.11.2019	802,78			22.11.2019	691,93
20.12.2019	805,44			20.12.2019	690,6

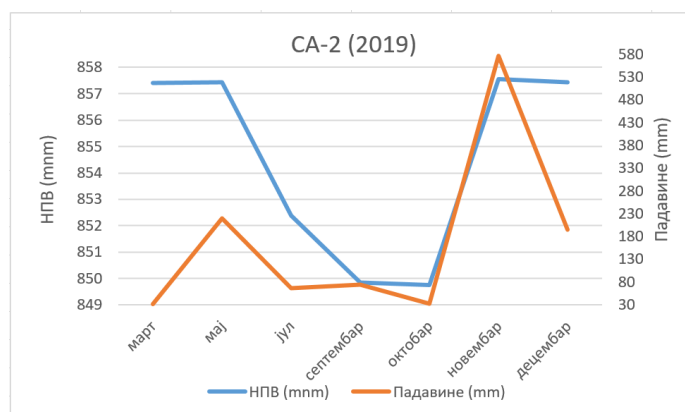


Слика 34. Осматрање нивоа у пијезометру BC-1

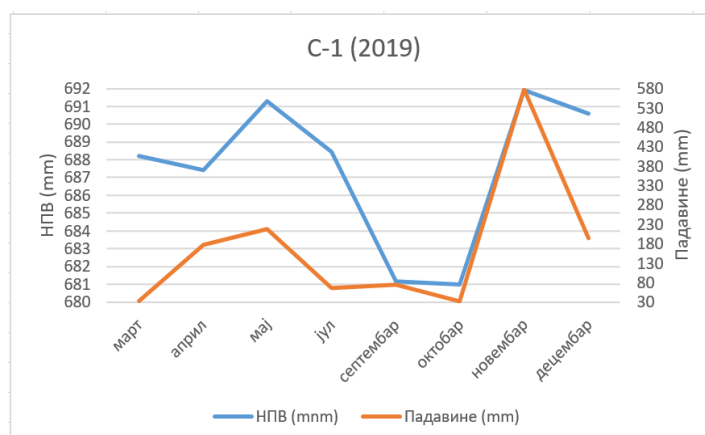
Као што је већ помињано, нивои подземних вода у карсту директно су зависни од падавина. Из тога разлога, на сликама 35,36 и 37. биће приказана њихова веза, посебно за сваки пијезометар.



Слика 35. Дијаграм зависности нивоа подземних вода (НПВ) и падавина у пијезометру BC-1 за 2019. годину



Слика 36. Дијаграм зависности нивоа подземних вода (НПВ) и падавина у пијезометру CA-2 за 2019. годину



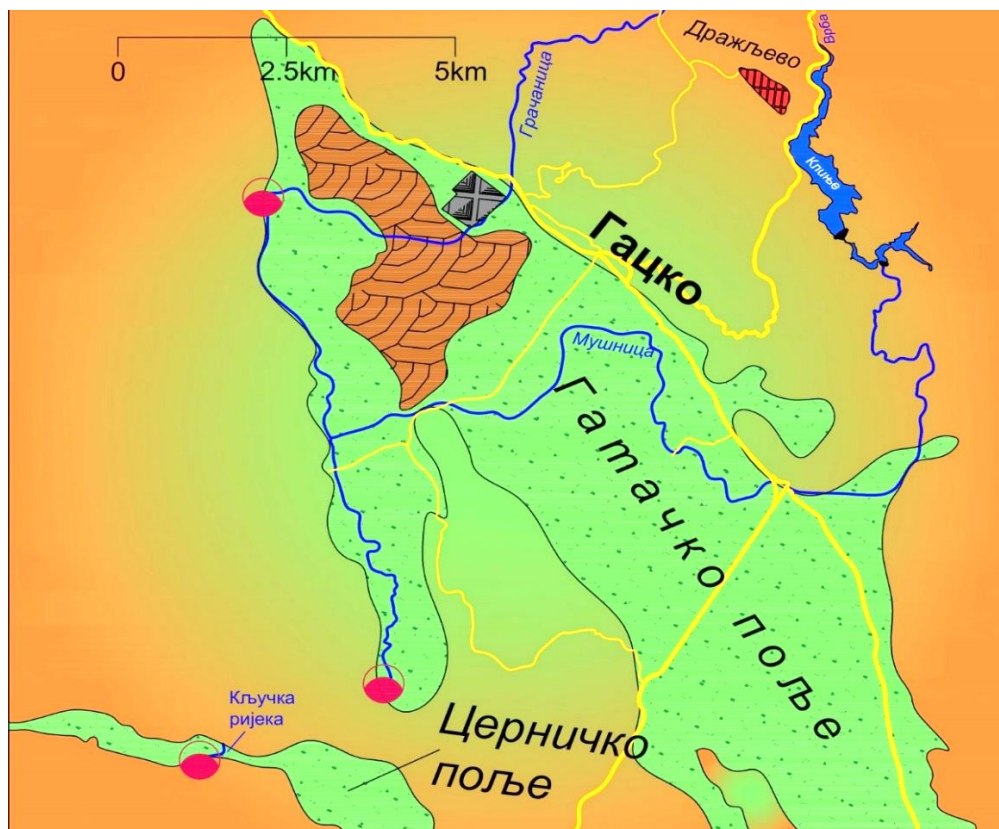
Слика 37. Дијаграм зависности нивоа подземних вода (НПВ) и падавина у пијезометру C-1 за 2019. годину

На основу приказаних дијаграма потврђује се предходно помињана веза између падавина и нивоа подземних вода. Њихове криве имају сличан облик, тј. повећане падавине одражавају се повећањем нивоа у издани. У сушним љетним мјесецима када су падавине ријетке, нивои стагнирају и имају минималну вриједност. У јесењем периоду са почетком обилнијих киша нивои почињу да расту и биљеже свој максимум. Међутим, приказани дијаграми не представљају и реалан приказ одраза падавина на нивое подземних вода. Разлог за то представља велика фреквенција мјерења (обично једном мјесечно). Најреалнији приказ дат је на слици 35. , гдје се види касније одражавање падавина на нивое у јесењем периоду, што је и случај у стварности. Са друге стране на слици 36. и 37. могло би се закључити да је реакција издани на падавине моментална за вријеме падавина, што и није случај. Према томе, за озбиљнију анализу нивоа подземних вода, потребно би било њихово чешће мјерење.

6. ЗАШТИТА ПОДЗЕМНИХ ВОДА

6.1 Потенцијални загађивачи

Најопаснији потенцијални загађивачи подземних вода у сливу Кључке ријеке су депонија пепела и шљаке као и материје које РИТЕ Гацко испушта у атмосферу (слика 38.). На основу контакта са стручном службом дошло се до утиска да се овој проблему поклања велика пажња. На овом простору обављена су опсежна истраживања за избор прве локације депоније- Дражљево, као и комплексни санациони радови да се обезбједи њена вододржљивост (ињектирање водопрпусних зона и прекривање дна депоније PVC фолијом). Ови радови су обављени у периоду 1982/83 године. Депонија Дражљево налази се сјеверно од Гацка, на удаљености од 12,5 km од Кључке ријеке.



Легенда:

- Поље
- Површински коп
- Рудник и термоелектрана Гацко (РиТЕ Гацко)
- Одлагалиште Дражљево
- Понорска зона
- Магистрални пут
- Регионални пут

Слика 38. Положај одлагалишта „Дражљево“ као потенцијалног контаминатора узводно од Гатачког поља (Ријека Мушница и Грачаница) и Церничког Поља (Кључка ријека)

Депонија Дражљево била је активна од 1983. до 1992. године и на њој је у том периоду депоново 2 560 000 t електрофилтерског пепела. Кота до које је депонија запуњена је 1154 m.n.m. У међувремену је утврђено да су дно и косине депоније постале водопрпусне, због оштећења хидроизолационе фолије која их је облагала (Завод за водопривреду Сарајево, 1991). Иако су у међувремену предузете мјере за санацију депоније (Урбанистички завод Републике Српске, 2001), нема података о њиховој ефикасности.

Дакле, иако ова депонија више не служи за одлагање шљаке и пепела она и даље треба да буде под сталним надзором. У случају било какве хаварије на овој депонији загађена вода би текла према акумулацији Врба (гдје долази до првог разрјеђења) затим у акумулацију Клиње, па тек онда одлази кроз тунел Лазарићи у систем за хлађење термоелектране, али и у Мушницу. Да пређе пут кроз подземне канале до извора Кључке ријеке (Вилине пећине) овој води треба свега пар дана у периоду засићеног подземља, односно великог разрјеђења, или до 15-20 дана у сушном периоду када је подземље празније, а разрјеђење минимално. Због тога вода у акумулацији Врба треба да буде систематски контролисана.

Табела 10. Хемијска анализа пепела од угља из експлоатације (Електропривреда Републике Српске, 1999)

Компонента	Садржај (%)	Компонента	Садржај (%)
SiO ₂	8,48	SO ₃	8,63
Fe ₂ O ₃	3,40	P ₂ O ₅	0,19
Al ₂ O ₃	4,11	TiO ₂	0,25
CaO	72,85	Na ₂ O	0,05
MgO	1,85	K ₂ O	0,18

Пепео настао сагоријевањем угља из Гатачког басена представља хазардни материјал са доминантним садржајем CaO (табела 10.). Понирањем атмосферских вода у тијело депоније „Дражљево“ ствара се филтрат загађен супстанцама из пепела.

Хемијском анализом пепела од 06.10.2002. године утврђено је да његова рН вриједност достиже 12,29, а садржај растворених материја 1,44 g/l (слика 39.).



Слика 39. Резултат мјерења рН вриједности филтрата депоније у Дражљевоу талог извучен из филтратра (Бањак, 2016)

Од 1997. године пепео се одлаже на депонији која је формирана унутар површинског копа „Грачаница“ (слика 40.). Према урађеном пројекту депонија би требала да задовољи потребе рада термоелектране у периоду од 26 година, дакле још само пар година. Депонија се састоји из више касета чији се насипи формирају од јаловине (лапорца) из копа. Касете се облажу водонепропусном фолијом (слика 41.). Урађена је заштита депоније од подземних и површинских вода.

Пуњење касета депоније пепелом врши се на импровизован начин јер није изграђен технолошки погон за хидраулички транспорт пепела како је пројектом предвиђено. Пепео се пнеуматски из електрофилтерске подстанице челичним цјевоводом доводи до импровизованог колектора у којем се мијеша са водом. Из колектора непотпуно измјешани пепео и вода одлазе у депонију.



Слика 40. Површински коп Руте Гацко
(www.gerila.info)



Слика 41. Уређење депоније са фолијом (<https://belmont.si>)

Количина пепела је сса 75 t/h, а воде 150-200 m³/h. У току мијешања пепела и воде, које је непотпуно, пепео „узима“ 70-80 m³/h воде, а вишак воде од 80-120 m³/h чији је рН 12,29 прелива се водосабирних рудника одакле се препумпава у ријеку Грачаницу која се улијева у Мушницу. У понорској зони Срђевића и Шабановог понора, на ободу Гатачког поља, Мушница понире и јавља се у Вилиној пећини (као Кључка ријека) и даље према врелу Требишњице у Билећи.

Да би се елиминасао овај вишак воде треба обезбједити хидраулички транспорт пепела при чему би се пепео и вода у потпуности мијешали.

Поред проблема са одлагалиштима шљаке и пепела у Гацку није ријешен ни проблем градске депоније. Привремена градска депонија смјештена је у сливу изворишта Срњ. У случају загађења у овом дијелу слива опасност пријети свим низводним подручјима преко Кључа до водовода општине Билеће.

Битно је споменути да канализациони систем није успостављен на читавом урбаном простору Гацка. Употријебљене воде махом се диспонирају у индивидуалне септичке јаме, или седиректно упуштају у корита повремених водотока и јаруга. Нема података о количини и физичко-хемијским карактеристикама ефлуената насеља и пољопривредних површина.

Проблем евакуације ефлуената привредних привредних предузећа се третира на сличан начин. Према Плану заштите животне средине у околини ТЕ Гацко (Енергопројект-Ентел ДД, 1997), санитарне отпадне воде и ефлуенти термоелектране директно се препумпавју у ријеку Грачаницу.

Након понирања загађене воде у понорску зону, од Срђевића до Шабановог понора, губи се свака могућност даље контроле загађивача.

Треба имати у виду да загађујуће суспенције у подземним водама показују тренд смањења (разблажења) концентрације током времена и пређеног пута, под дјством различитих процеса. Тај процес назива се аутопурификација, односно самопречишћење. Процеси органске аутопурификације у подземним карстним токовима одвијају се релативно брзо и поред тога што је процес фотосинтезе искључен. Међутим, и поред великог разрјеђења услед аутопурификације присуство бактерија је неминовно, макар у минималном обиму.

На разматраном простору нису вршене активности на заштити подземних вода. Било би пожељно извршити оцјену рањивости подземних вода. За то би била најприкладнија ЕРИК метода која је развијена специјално за оцјењу рањивости карстних терена. У оквиру ње треба проучити детаљно параметре попут развијености епикарста, анализу заштитног покривача, проучавање услова инфилтрације као и дефинисање параметра развијености карстних канала.

7. ЗАКЉУЧАК

Завршни рад који се односи на хидрогеолошке карактеристике Кључке ријеке и њене околине, представља синтезу свих расположивих података овог подручја.

У оквиру њега приказана су истраживања за овај регион која су почела средином XX вијека па све до дањашних дана. Резултати вишегодишњих истраживања шире зоне Кључке ријеке 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. Та истраживања односе се на хидрогеолошко реконгосцирање, геолошко картирање, низ геофизичких истраживања, израду истражних бушотина (пијезометара), видеоендоскопско снимање бушотина и њихово прочишћење, геодетски радови, опит обиљежавања и изотопску анализу.

На истражном подручју доминира брдско-планински рељеф. Геоморфолошке карактеристике терена су типичне за карстне терене Источне Херцеговине односно Динарида.

Подручје карактеришу значајни водни ресурси, чија су основна карактеристика велике количине падавина у периоду поводња (октобар – мај), што за последицу има плавлеење карстних поља и значајан дефицит површинских вода у љетњем периоду када поједини водотоци потпуно пресушују. Због израженог процеса карстификације, нивои подземних вода су у љетњем периоду врло ниски и неподобни за експлоатацију.

Кључка ријека представља дио тока ријеке Требишњице. На свом путу, некада 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 Добре 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.

Слив Кључке ријеке представља дио слива ријеке Требишњице и износи око 350 km².

Терен је изграђен од тријаских, јурских, кредних, палеогених, неогених и квартарних творевина. Данашња тектонска слика истражног подручја резултат је покрета алпске орогенезе.

Са хидрогеолошког аспекта, а на основу досадашњих сазнања о истраживаном терену, могу се издвојити сви већ познати типови издани (карстни, сложени, пукотински и збијени тип издани као и терени сиромашни изданима)

Услови храњења су повољни. Оно што се врши директно, преко понора на ободу Гатчког поља и преко инфилтрације оборинских вода. Дакле, режим издани је плувијални тј. прихрањивање се врши на рачун инфилтрације падавина, које имају просјечну годишњу вриједност од 1500 до 2000 mm. Значајан дотицај у подземље одвија се у прољеће када узводно долази до отапања снијежног покривача који се акумулирао у зимском периоду.

Значајну улогу у формирању сталних извора на простору Херцеговине имали су седименти флиша. Флиш представља баријеру колектору из кога се акумулирана вода преко флиша излива на површину. Ток Кључке ријеке формира се на тектонском контакту плиоценског-еоценског флиша и кречњака. Њен ток се завршава последице 300 m у понору Кључке ријеке са капацитетом гутања око $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Протицај Кључке ријеке варира у широком дијапазону. У периоду минимума кроз корито Кључке ријеке тече око 10 l/s , а у периоду максимума тече и до $60 \text{ m}^3/\text{s}$, што даје неравнојеран однос $Q_{\min}:Q_{\max} = 1:6000$.

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 плављења Церничког поља.

Што се тиче састава ријеч је водама добрих физичких и хемијских својстава. Од катјона доминира калцијум (Ca^{2+}), док су од анјона доминатни хидрокарбонати (HCO_3^-).

Релативно мала укупна порозност и велике могућности циркулације, резултирају врло брзим осцилацијама нивоа издани, са великим амплитудама. Генерална пијезометријска линија, посматрана у правцу течења се мијења у зависности од хидролошке ситуације.

Валоризација резерви још увијек је недовољно позната.

Снимањем бушотина у зони Кључке ријеке констатовано је да су у релативно солидном стању.

Опитом обиљежавања (трасирања), коришћењем Na-флуоресцеина, доказане су везе између понора Кључке ријеке са еставелом Обод у Фатничком пољу и врелом Требишњице у Билећи. Резултати опита показали су велике брзине циркулације подземних вода (0,5-1 cm/s), док резултати страјих опита говоре о још већим брзинама (преко 10 cm/s) .

Најопаснији потенцијални загађивачи подземних вода у сливу Кључке ријеке су депонија пепела и шљаке као и материје које РиТЕ Гацко испушта у атмосферу.

На основу свега изложеног аутор рада предлаже да се у наредном периоду изведе низ додатних истраживања, које би за циљ имале боље сагледавање хидрогеолошке слике. Приједлози су описани кроз наредне тезе:

- На основу резултата опита обиљежавања примјећено је рачвање подземних вода од понора Кључке ријеке према еставели Обод и врелу Требишњице. На том потезу пожељно би било извести низ истражних бушотина у којима би се успоставио мониторинг подземних вода са циљем сагледавања јасније хидрогеолошке слике.
- У унутрашњост Вилине пећине потребно је спровести детаљна спелеолошка истраживања која ће за циљ имати прикупљање корисних информација у вези са распоредом карстних канала.
- На Кључкој ријечи потребно је успоставити континуалније праћење хидролошких параметара, посебно протикања. Пожељно би било и чешће регистровање нивоа подземних вода у пијезметрима у зони ријеке.
- Као проблем на који се наишло приликом израде рада свакако је недостатак хемијске анализе вода у зони Кључке ријеке. Због тога је хемизам описан највећим дијелом аналогно. Пожељно би било урадити макар двије анализе физичких и хемијских својстава воде у току једне хидролошке године (једна анализу у вријеме великих, а друга у вријеме малих вода).
- Због дефинисања старости подземних вода пожељно би било извршити изотопску анализу вода.

- На основу Правилника о класификацији и категоризацији резерви минералних ресурса и вођењу евиденцију о њима, Републике Српске, потребно је извршити валоризацију резерви подземних вода за испитивани терен.
- На испитиваном терену није вршена оцјена рањивости подземних вода. Аутор рада предлаже да се рањивост оцјени кориштењем ЕРИК методе. На тај начин би се дефинисале најугроженије зоне и лакше успоставиле мјере санитарне заштите.
- На основу будућих истраживања, а као наставак дугогодишњих, горе поменутих, истраживања потребно би било прикупити резултате који ће омогућити већи број података за потребе дефинисања Церничког поља као будућег потенцијалног акумулационог простора. У склопу тог потребно је формирати:
 - Хидрогеолошки модела шире зоне истраживања
 - 3D модел и детаљни 3D DEM модел ужих зона истраживања Церничког поља
 - Релациону базу података са свим прикупљеним подацима током истраживања

8. ЛИТЕРАТУРА

1. Бањак Д., 2016. *Хидрогеохемијске карактеристике и квалитет вода слива Требишњице, Република Српска, Босна и Херцеговина, докторска дисертација*, Рударско – геолошки факултет, Београд.
2. Енергоинвест, 1965., *Утврђивање подземних водних веза из понора Јасовица*, Сарајево.
3. Енергоинвест, 1967., *ХЕ Церница, Инвестиционо-техничка документација, Идејни пројекат*, Сарајево.
4. Јемцов И., Живановић В., 2017., *Заштита подземних вода*, непубликована скрипта
5. Јемцов И., 2019. *Хидрогеолошко картирање*, Рударско – геолошки факултет, Београд.
6. Милановић П., 1979. *Хидрогеологија карста и методе истраживања*, издавач ХЕ на Требишњици, Требиње.
7. Милановић П., 2006. *Карст Источне Херцеговине и Дубровачког приобаља*, АСОС, Београд.
8. Милановић С., 2012. *Спелеологија и спелеороњење у хидрогеологији карста*, Рударско геолошки факултет, Универзитет у Београду, ИСБН 978-86-7352-2062-3, Београд.
9. Миленић Д., 2010. *Пројектовање у хидрогеологији*, Рударско – геолошки факултет, Београд.
10. Министарство привреде, енергетике и развоја Републике Српске, 2008. *Правилник о класификацији и категоризацији резерви минералних ресурса и вођењу евиденције о њима („Сл. гласник РС“ бр. 99/08)*, Бања Лука.
11. Мирковић М., Калвезић М., Пајовић М., Рашковић С., Чепић М., Вујисић П., 1980., *Тумач за лист Гацко К 34-26*, Институт за геолошка истраживања, Сарајево.
12. Мојићевић М., Лаушевић М., 1965. *Тумач за лист Невесиње К 34-32*, Институт за геолошка истраживања, Сарајево.
13. Савезни геолошки завод СФРЈ, 1964., *Основна Геолошка карта 1:100000, лист Невесиње*, Београд.

14. Савезни геолошки завод СФРЈ, 1974., *Основна Геолошка карта 1:100000*, лист Гацко, Београд.
15. Стевановић З., Милановић С., 2017. *Методе хидрогеолошких истраживања*, Рударско – геолошки факултет, Београд.
16. Републички Хидрометеоролошки завод Републике Српске, URL: www.rhmzrs.com
17. ХЕ на Требишњици, 1967., *Хидросистем Требишњица*, Хидроелектране на Требишњици, Требиње.
18. Цвијић, Ј., 1926. *Геоморфологија, Књига 2*. Државна штампарија Краљевине Југославије. Београд.
19. The Devon Karst Research Societi, UK , 2009., *Dinaric karst in Bosnia and Herzegovina*, Plymouth.
20. *Telestes metohuensis*, URL: <https://www.rufford.org/files/187691%20Brochure.pdf>
21. Meteoblue , URL: www.meteoblue.com
22. Geo Eco Group, Сорајић С., Милановић С., 2018., *Елеборат о хидрогеолошким карактеристикама функционисања Церничког поља у периоду великих и малих вода*, Хидроелектране на Требишњици, Билећа.

СПИСАК ПРИЛОГА:

Прилог 1- ТОПОГРАФСКА КАРТА- КЉУЧ

Прилог 2- ТЕКТОНСКА КАРТА- КЉУЧ

Прилог 3- ГЕОЛОШКА КАРТА- КЉУЧ

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

Прилог 5- ПРОГНОЗНИ ГЕОЛОШКИ ПРОФИЛ Д-Ђ

Прилог 6- ХИДРОГЕОЛОШКА КАРТА- КЉУЧ

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

Прилог 8- ПРОГНОЗНИ ХИДРОГЕОЛОШКИ ПРОФИЛ Д-Ђ

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.