

G

Sveučilište
u Rijeci

F

**Građevinski
fakultet**

GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI



**DEFINIRANJE EKOLOŠKI PRIHVATLJIVIH PROTOKA
GACKE I LIKE: HIDROLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE PODLOGE
ZAVRŠNI IZVJEŠTAJ**

Broj: /21

**Predstojnik Zavoda za
hidrogeologiju i inženjersku
geologiju**

**Ravnatelj Hrvatskog geološkog
instituta**

**Dr. sc. Josip Terzić, dipl.
ing. geol.**

**Dr. sc. Slobodan Miko, dipl.
ing. geol.**

**Dekanica Građevinskog
fakulteta u Rijeci**

**Prof.dr.sc. Ivana Štimac
Grandić**

Zagreb, siječanj 2021.

PROJEKTNI ZADATAK: **DEFINIRANJE EKOLOŠKI
PRIHVATLJIVIH PROTOKA GACKE I
LIKE: HIDROLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE
PODLOGE**

NARUČITELJ: **HRVATSKE VODE**
Ulica grada Vukovara 220, Zagreb

**ZAJEDNICA
IZVRŠITELJA:** **HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT**
Zavod za hidrogeologiju i
inženjersku geologiju,
Sachsova 2, Zagreb

SVEUČILIŠTE U RIJECI,
GRAĐEVINSKI FAKULTET,
Radmile Matejčić 3, Rijeka

UGOVOR: Evid. br. 23-105/18, kl. 325-01/17-
10/0000160, URBROJ 374-23-2-18-11 od
26.04.2018 (Hrvatske vode);
1200/18 od 29.4.2018. (Hrvatski geološki
institut);
325-01/18-01/05 od 7.5.2018. (Sveučilište u
Rijeci, Građevinski fakultet)

**VODITELJI
ISTRAŽIVANJA:** Dr.sc. Andrej Stroj, dipl.inž.geol.
(hidrogeologija)
Dr.sc. Josip Rubinić, dipl.inž.građ.
(hidrologija)

SURADNICI: Dr.sc. Maja Briški, dipl.inž.geol.
Dr.sc. Jasmina Lukač Reberski,
dipl.inž.geol.
Dr.sc. Tihomir Frangen, dipl.inž.geol.
Maja Radišić, mag.ing.aedif.

AUTORI IZVJEŠĆA:

Dr.sc. Andrej Stroj, dipl.inž.geol.

Dr.sc. Josip Rubinić, dipl.inž.grad.

Dr.sc. Maja Briški, dipl.inž.geol.

Dr.sc. Jasmina Lukač Reberski,
dipl.inž.geol.

Maja Radišić, mag.ing.aedif.

PODACI:

Hrvatske vode

Državni hidrometeorološki zavod

Hrvatska elektroprivreda

Gacka d.o.o.

SADRŽAJ

1	UVOD	1
2	PREGLED STANJA U SLIVU	4
2.1	GEOGRAFSKA I KLIMATOLOŠKA OBILJEŽJA	4
2.1.1	Geografska obilježja	4
2.1.2	Klimatološka obilježja	5
2.1.3	Vegetacijski pokrivač	10
2.2	GEOMORFOLOŠKA OBILJEŽJA	11
2.3	GEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE	13
2.3.1	Pregled rezultata prethodnih hidrogeoloških istraživanja slivova Like i Gacke	13
2.3.1.1	Pregled prethodnih trasiranja podzemnih tokova u slivu Gacke	15
2.3.2	Detaljni geološki opis naslaga (sliv Gacke)	20
2.3.3	Strukturne značajke terena	24
2.3.4	Hidrogeološke značajke pojedinih vrsta stijena	29
2.3.5	Hidrogeološke značajke slivova Like i Gacke	35
2.3.5.1	Sliv rijeke Like	35
2.3.5.2	Sliv rijeke Gacke	36
2.4	OSNOVNE HIDROGRAFSKE I HIDROLOŠKE ZNAČAJKE	38
2.4.1	Hidrografske značajke Like i Gacke i promjene uslijed izgradnje hidroenergetskog sustava	38
2.4.2	Pregled rezultata prethodnih kompleksnijih hidroloških obrada	41
2.4.3	Korištenje voda	45
3	HIDROLOŠKA ANALIZA	49
3.1	POSTOJEĆI HIDROLOŠKI MONITORING I OSNOVNE ZNAČAJKE OSMOTRENIH PODATAKA S KLJUČNIH HIDROLOŠKIH POSTAJA NA GACKI I LICI	49
3.1.1	Osnovni hidrološki monitoring	49
3.1.2	Sliv Gacke	57
3.1.2.1	Vodostaji	57
3.1.2.2	Protoci	61
3.1.2.3	Temperatura vode	72
3.1.3	Sliv Like	75
3.1.3.1	Vodostaji	75

3.1.3.2	Protoci	78
3.1.3.3	Temperatura vode	86
3.1.4	Analize hidroloških obrada s odabranih postaja Like i Gacke	88
3.1.5	Analize hidroloških obrada dnevnih podataka o protocima	95
3.1.6	Odnos dotoka Like i Gacke na čvoru Šumečica	102
3.1.7	Analiza hidroloških međuodnosa protoka u slivu Like i u izvorišnom dijelu Gacke	104
3.2	ANALIZE VODNE BILANCE	107
3.2.1	Vodna bilanca izvorišnog dijela Gacke	107
3.2.1.1	Metodologija	107
3.2.1.2	Rezultati obrada.....	110
3.2.2	Analize gubitaka voda na rijeci Gacki između Podgore i Vivoza ...	115
3.2.3	Analiza vodne bilance gubitaka voda na dionici toka Like nizvodno od brane Sklope.....	123
3.2.4	Analiza protjecanja Sjevernim krakom Gacke.....	126
3.2.4.1	Analiza protjecanja voda u Sjevernom kraku Gacke na temelju rezultata monitoringa DHMZ-a.....	130
3.2.4.2	Rezultati provedenih serija vodomjerenja u 2020.	134
3.2.5	Analiza protjecanja Južnim krakom Gacke nizvodno od Šumečice	137
3.3	HIDROLOŠKI ELEMENTI OCJENE EKOLOŠKI PRIHVATLJIVA PROTOKA (EPP)	142
3.3.1	Općenito o ekološki prihvatljivim protocima i stanju njihove ocjene u slivovima Like i Gacke	142
3.3.2	Metodologija procjene ekološki prihvatljivog protoka	144
3.3.3	Procjena hidroloških elemenata EPP za ključne točke hidrografske mreže s raspoloživim nizovima hidroloških podataka	149
3.3.4	Procjena hidroloških elemenata EPP na ostalim ključnim točkama	152
4	PLAN I REZULTATI DOPUNSKOG MONITORINGA I TRASIRANJA.	154
4.1	OPIS USPOSTAVLJENOG DOPUNSKOG MONITORINGA VODA	154
4.1.1	Metode uspostave dopunskog monitoringa	154
4.1.2	Opis lokacija dopunskog monitoringa	157
4.2	REZULTATI PROVEDENOG DOPUNSKOG MONITORINGA	165
4.2.1	Rezultati monitoringa razine vode i protoka	165
4.2.2	Rezultati hidrokemijskog monitoringa	171
4.2.2.1	Monitoring elektrovodljivosti i temperature.....	176
4.2.2.2	Sadržaj osnovnih aniona i kationa, pH i otopljenog kisika .	183

4.2.2.3	Sadržaj nitrata i organskog ugljika (TOC)	193
4.2.2.4	Izotopni sastav	195
4.3	REZULTATI PROVEDENOG TRASIRANJA PODZEMNIH TOKOVA	209
4.3.1	Opis izvedbe simultanog trasiranja i rezultata.....	209
4.3.2	Usporedba rezultata simultanog trasiranja s rezultatima prethodnih trasiranja	216
5	REDEFINIRANJE SLIVA IZVORIŠTA RIJEKE GACKE	220
6	ZAKLJUČCI I PRIJEDLOZI	229
7	LITERATURA	233

1 UVOD

Rijeke Gacka i Lika su po svojoj vodnoj bilanci među najvećim rijekama ponornicama u svijetu. Njihovo vodno bogatstvo, obzirom na krški karakter, prirodne vrijednosti te visinski položaj njihova sliva i toka, iznimne je vrijednosti. Te se vrijednosti, pogotovo u pogledu vodnih resursa Gacke, ogledaju kako u iznimnim hidrološkim, ekološkim i ambijentalnim obilježjima njihova površinskog toka, tako i njihova krškog vodonosnika, kao i njihovom velikom bioraznolikošću. Vode Gacke i Like imaju i veliku vrijednost u pogledu korištenja njihovih voda za energetske i vodoopskrbne potrebe. Zbog toga je predmetni projekt izrade hidroloških i hidrogeoloških podloga za definiranje ekološki prihvatljivih protoka vrlo važan dokument s kojim bi se moglo poboljšati i usmjeriti zaštita ovih vodnih resursa.

Tijelo podzemne vode (TPV) Lika-Gacka obuhvaća veliko područje zapadnog dijela Like i jugozapadnog dijela Gorskog kotara ukupne površine 3.756 km², što predstavlja 14% od ukupne površine Jadranskog vodnog područja. Ova cjelina se sastoji od rijeka ponornica Like i Gacke s pritokama, priljevnog područja njihovih izvorišta, te područja nizvodno od ponornih zona sve do priobalnih izvora područja Velebitskog i Vinodolskog kanala, od Karlobaga na jugu do Novog Vinodolskog na sjeveru. Prema hidrološkim i hidrogeološkim značajkama pretežito krški sustavi rijeka Like i Gacke međusobno se značajno razlikuju. Izvorište rijeke Gacke sastoji se od niza značajnih izvora smještenih uz jugoistočni rub polja, koji se prihranjuju podzemnom vodom kompleksnog krškog sustava sjevernog dijela Ličkog sredogorja (od Perušićkog polja na jugozapadu, preko Čanka i Trnavca sjeverno od Krbave do Homoljačkog i Vrhovinskog polja na istoku).

Izvorište rijeke Like obuhvaća površinske bujične tokove koji se formiraju na slabopropusnim nekrškim stijenama sjeveroistočnih padina Velebita, ali i (uglavnom povremene) krške izvore smještene duž istočnog ruba Ličkog polja podno zapadnih obronaka Ličkog sredogorja (izvori krške rječice Jadove duž istočnog ruba Ličkog polja). Uslijed prihranjivanja dijelom površinskim bujičnim tokovima, a dijelom krškim izvorima s izrazito velikim oscilacijama izdašnosti, rijeka Lika ima naglašeno bujični karakter. Rijeka Lika uzvodno od akumulacijskog jezera Kruščica tijekom dužih sušnijih razdoblja povremeno presušuje, dok su tijekom razdoblja ekstremnih oborina i otapanja snijega zabilježeni maksimalni protoci iznad 700 m³/s. S druge strane rijeka Gacka ima mnogo uravnoteženiji hidrološki režim, uz minimalni zabilježeni protok od oko 2 m³/s i maksimalni od 71 m³/s (prema podacima DHMZ-a, www.hidro.dhz.hr), a prema podatku o provedenom vodomjerenju na Vivotama prilikom pojave velikih voda iz 2015.g. čak i oko 107 m³s⁻¹. Glavni razlog znatno bolje regulacijske sposobnosti vodonosnog sustava rijeke Gacke je prihranjivanje isključivo podzemnom vodom uz značajniju retencijsku sposobnost krških stijena koje izgrađuju njegov hidrogeološki sliv, te formiranje hidrogeološke barijere u jugozapadnom dijelu Gackog polja, neposredno nizvodno od mosta u Čovićima, vjerojatno uvjetovane jakim rasjednim zonama koje usporavaju otjecanje podzemne vode poprečno svom pružanju.

Prirodno stanje TPV Lika-Gacka znatno je izmijenjeno izgradnjom sustava hidroelektrane (HE) Senj. Vode Like i Gacke prirodno su u potpunosti ponirale na više ponornih područja podno istočnih padina Sjevernog Velebita (Lipovo polje, Švica, Kompolje, Gusić polje). Na taj način su svojom vodom prihranjivale brojne priobalne izvore i vrulje Velebitskog i Vinodolskog kanala. Nakon izgradnje hidroenergetskog sustava, vode ovih rijeka su kanalizirane, te se umjetnim podzemnim kanalom

transportiraju prema strojarnici HE Senj kod mjesta Jurjevo. Voda u prirodne ponore danas ponire samo u uvjetima ekstremno visokih voda, tijekom kojih kapacitet sustava HE Senj postaje nedovoljan, te tijekom servisnih radova na građevinama hidroenergetskog sustava. Na taj način su priobalni izvori izgubili značajan dio prihranjivanja, te je njihovo prihranjivanje danas uglavnom vezano uz disperznu infiltraciju oborina na području nizvodno od ponornih zona, koje obuhvaća duboko okršene masive Sjevernog Velebita i Senjskog Bila.

U kontekstu definiranog projektnog zadatka, pogotovo u pogledu definiranja hidrogeoloških značajki, naglasak je stavljen na vodne resurse izvorišta rijeke Gacke čija važnost i vodni potencijal uvelike prelazi lokalno značenje. Priljevno područje glavnih izvora rijeke Gacke smješteno je na vrlo rijetko naseljenim brdskim terenima Ličkog sredogorja, što se odražava i u visokoj kakvoći izvorske vode. Izvorište Gacke označeno je u Strategiji upravljanja vodama (Narodne novine br. 91/08) kao područje sa strateški važnim rezervama pitke vode za Republiku Hrvatsku. Ovako značajan prirodni resurs nužno je zaštititi kroz očuvanje prirodne kakvoće izvorske vode, odnosno podzemne vode unutar hidrogeološkog sliva.

Temeljem prethodnih istraživanja priljevno područje izvorišta rijeke Gacke podijeljeno je na tri potpodručja prema pripadnosti pojedinim glavnim izvorima Gacke (Tonković vrelo i Klanac, Majerovo vrelo, Pećina) (Lukač Reberski 2011). Potpodručja međusobno nisu oštro razdvojena, već se znatnim dijelom preklapaju. Unatoč dosadašnjim razmjerno obimnim istraživanjima priljevnog područja Gacke, i dalje je prisutan velik broj nepoznanica o značajkama tečenja iz pojedinih područja krškog sliva, te dinamici, međusobnom odnosu i značaju pojedinih komponenti podzemnih tokova (brzi kanalski – spori pukotinski). Također, treba naglasiti da su neka od trasiranja na temelju kojih je određen obuhvat hidrogeološkog sliva izvedena prije pedesetak i više godina, u vrijeme kada su analitičke metode određivanja prisutnosti trasera u podzemnoj vodi bile znatno manje pouzdane nego danas. Dobro poznavanje obuhvata sliva, te hidrogeoloških parametara i procesa preduvjet je za uspostavu učinkovitih mjera zaštite izvorskih voda. Stoga su u okviru ovog projekta predviđeni razmjerno obimni dodatni hidrogeološki istražni radovi s ciljem povećanja znanja i pouzdanosti interpretacije značajki krškog sliva iz kojeg se prihranjuju glavni izvori Gacke. Ovi radovi uključuju simultano trasiranje dva ponora unutar priljevnog područja (Čanak i Vrhovine), te dodatni monitoring fizikalnih i kemijskih parametara vode u mjesečnim, a tijekom izvedbe trasiranja dnevnim intervalima. Također je uspostavljen dodatni hidrološki monitoring zasebno za svaki od glavnih izvora Gacke, sa satnim intervalom mjerenja. Rezultati uspostavljenog dopunskog hidrološkog i hidrokemijskog monitoringa, zajedno s rezultatima redovitog monitoringa (mreža hidroloških postaja DHMZ), predstavljaju podlogu za redefiniranje prostornog obuhvata i mjera zaštite sliva i toka Gacke, posebno njene izvorišne zone.

Uz detaljna hidrogeološka istraživanja izvora Gacke, osnovni cilj ovih istraživanja je i utvrđivanje značajki tečenja podzemnih i površinskih voda unutar priljevnog područja rijeke Like i njenih pritoka, te rijeke Gacke nizvodno od izvora. Obzirom na značajno korištenje voda Like i Gacke za hidroenergetske potrebe, a dijelom i vodoopskrbu te u perspektivi moguće i za neke druge vidove korištenja voda, nužno je bilo sagledati vodni potencijal Gacke na glavnom Izvoru Gacke kao i duž njenog toka, gubitke koji se javljaju na dijelu njezina toka između profila Podgora i Vivoze, hidrološke elemente ekološki prihvatljivih protoka na ključnim točkama hidrografske mreže, ocjenu postojećeg režima osiguranja ekološki prihvatljivog protoka te moguće

prijedloge za promjenu tih količina u cilju osiguranja primjerenog upravljanja vodnim resursima u slivu Like i Gacke.

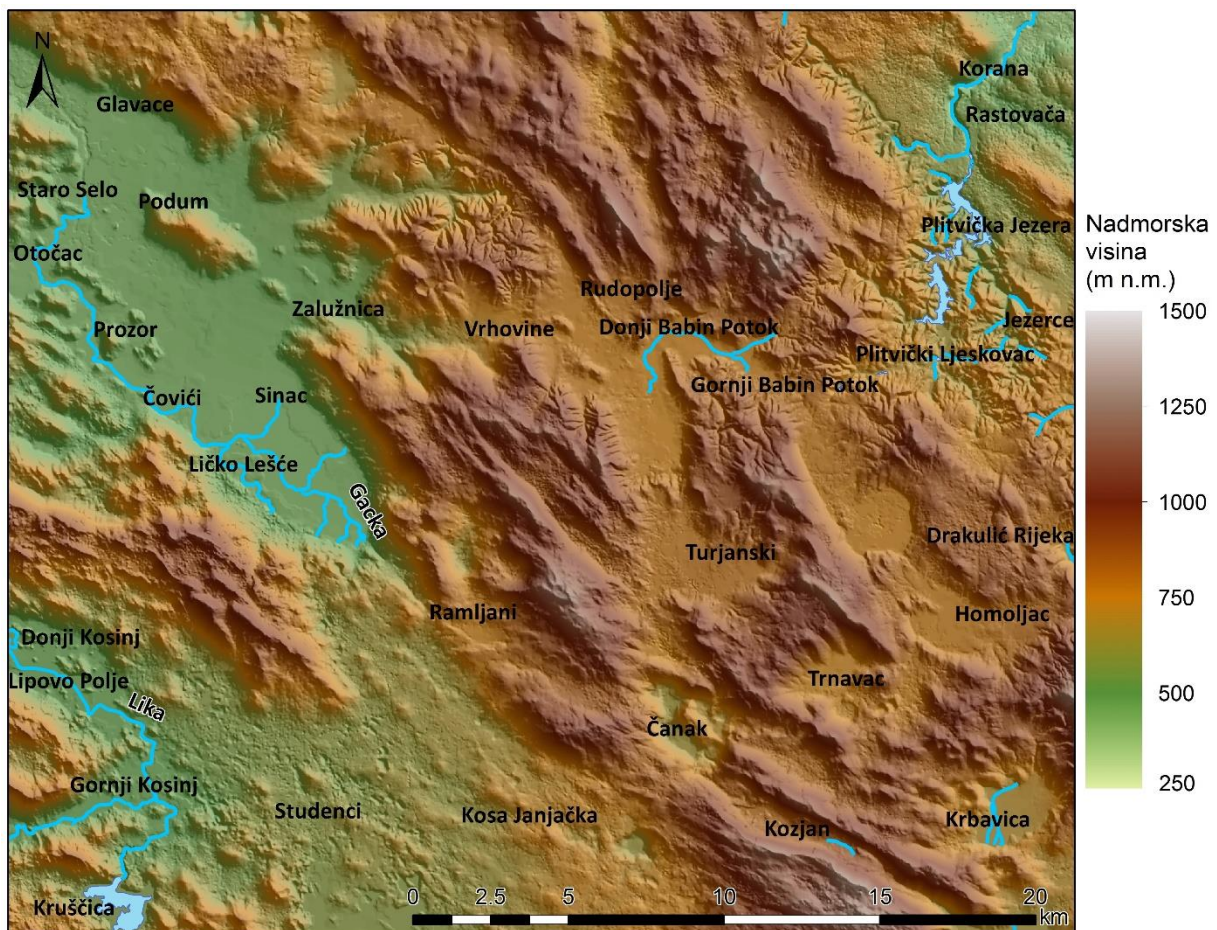
Isto je nužno kao neophodna osnova za sve daljnje zaštitne aktivnosti na području spomenutog TPV-e i preciznijeg definiranja priljevnog područja izvorišta Gacke. Isto tako, bilo je nužno analizirati i gubitke vode koji se javljaju u dijelu toka rijeke Gacke nizvodno od brane Sklope, kao i utjecaja hidroenergetskog sustava HE Senj na promjene vodnog režima otjecanja na analiziranom TPV-e Lika i Gacka. Lika i Gacka međusobno su povezane i bitno im je promijenjen vodni režim izgradnjom hidroenergetskog sustava HE Senj i Sklope. Radi se zapravo o višenamjenskom sustavu, koji uz hidroenergetsku namjenu služi i za osiguranje voda za potrebe vodoopskrbe grada Senja, otoka Raba i Paga te podvelebitskog primorja do Karlobaga, kao i za zaštitu voda od poplava. Planirana je, i od nadležnih tijela odobrena dogradnja toga sustava s nekoliko novih ključnih objekta – akumulacijom Kosinj, kompenzacijskim bazenom Gusić polje 2 te novom HE Senj 2 (uz prelociranje sadašnje HE Sklope na profil brane Kosinj), kao i niza pratećih elemenata. Vezano uz tehničkog rješenja toga sustava, planirano je prelociranje lokacije zahvata vode za potrebe vodoopskrbe.

2 PREGLED STANJA U SLIVU

2.1 GEOGRAFSKA I KLIMATOLOŠKA OBILJEŽJA

2.1.1 Geografska obilježja

Prema geografskoj raščlambi (Bognar i sur., 1975) područje istraživanja spada u makroregiju Gorska Hrvatska, regiju Lika, koja je gorsko krško pobrđe s velikim poljima, omeđeno oštro istaknutim planinskim grebenima Velebita, Kapele i Plješivice. Najviši dijelovi terena pripadaju središnjem dijelu krškog zaleđa s nadmorskim visinama iznad 1200 m n.m., dok se izvorište rijeke Gacke formiralo na najnižoj nadmorskoj visini promatranog područja, na oko 450 m n.m. (slika 2.1.1). Prema teritorijalno-administrativnoj podjeli Republike Hrvatske, područje istraživanja pripada Ličko-senjskoj županiji, koja ima središnji geografski položaj i važno spojno značenje unutar prostora Hrvatske, između južnog jadranskog i sjevernog podunavskog područja.



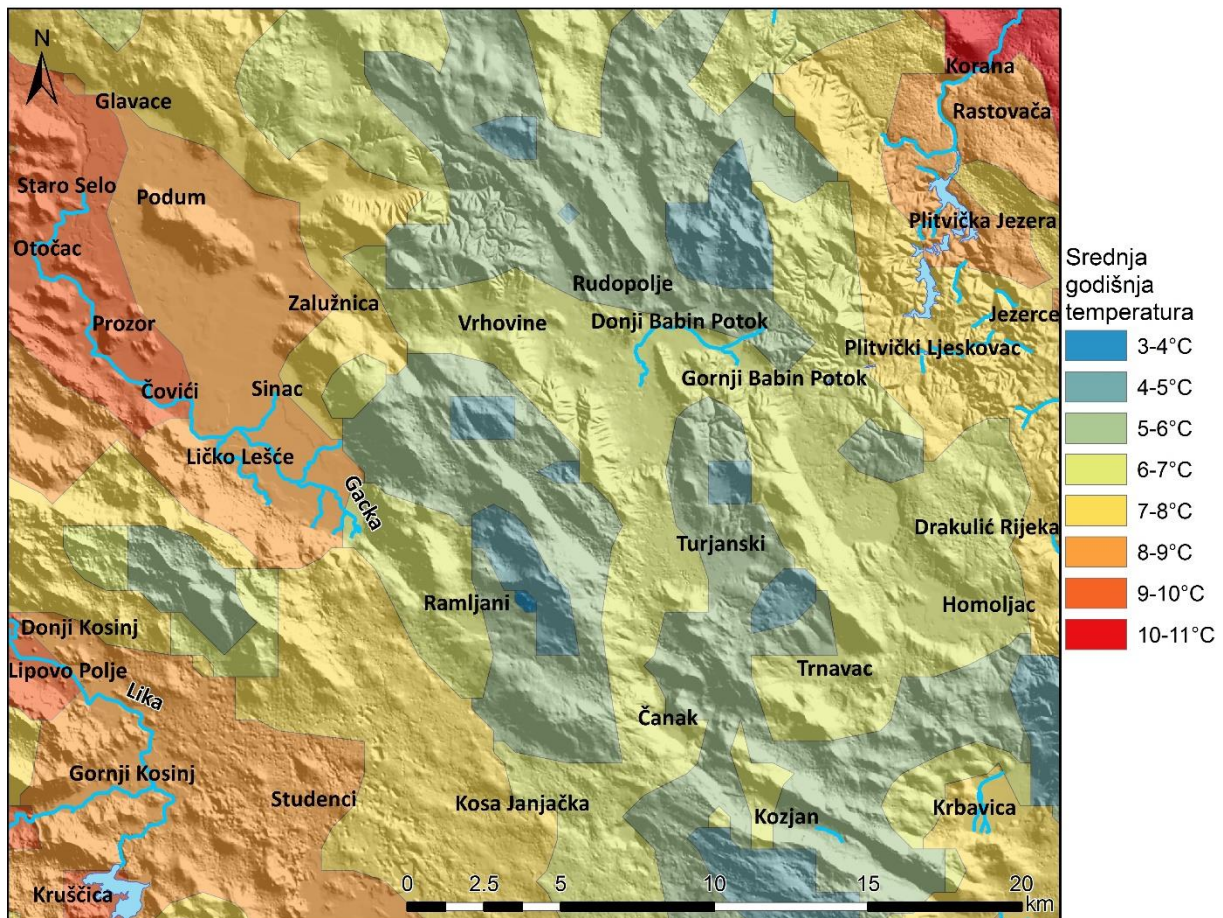
Slika 2.1.1. Reljefni prikaz šireg područja istraživanja izvorišta Gacke

Krška polja predstavljaju zaravnjene dijelove terena, razdvojene krškim visoravnima i grebenima dominantnog pružanja SZ-JI. Najvećim sustavom krških polja teče rijeka Gacka, a pojedina polja međusobno su odvojena morfološkim pragovima i

suženjima dolina (Gacko polje, Švičko polje, Hrvatsko polje, Kompolje i Gusić polje). U području sliva izvorišta Gacke nalazi se više izoliranih polja unutar brdovitog reljefa i visoravni ličkog sredogorja: najveće je Vrhovinsko polje i Turjanski na istoku, istočni rub čini Homoljačko polje, a dalje prema jugu se nalaze, Trnavac, Čanak, te Perušičko polje na jugozapadnom rubu sliva. U Lipovom polju nalazi se ponorna zona rijeke Like, a prema jugu (uzvodno duž toka Like) nastavlja se Kosinjsko, te polje potopljeno akumulacijom Kruščica. Uzvodno Lika teče kanjonom usječenim u prostranu zaravan Ličkog polja, sve do svog izvorišnog dijela jugoistočno od Gospića (Medak-Gornja Ploča).

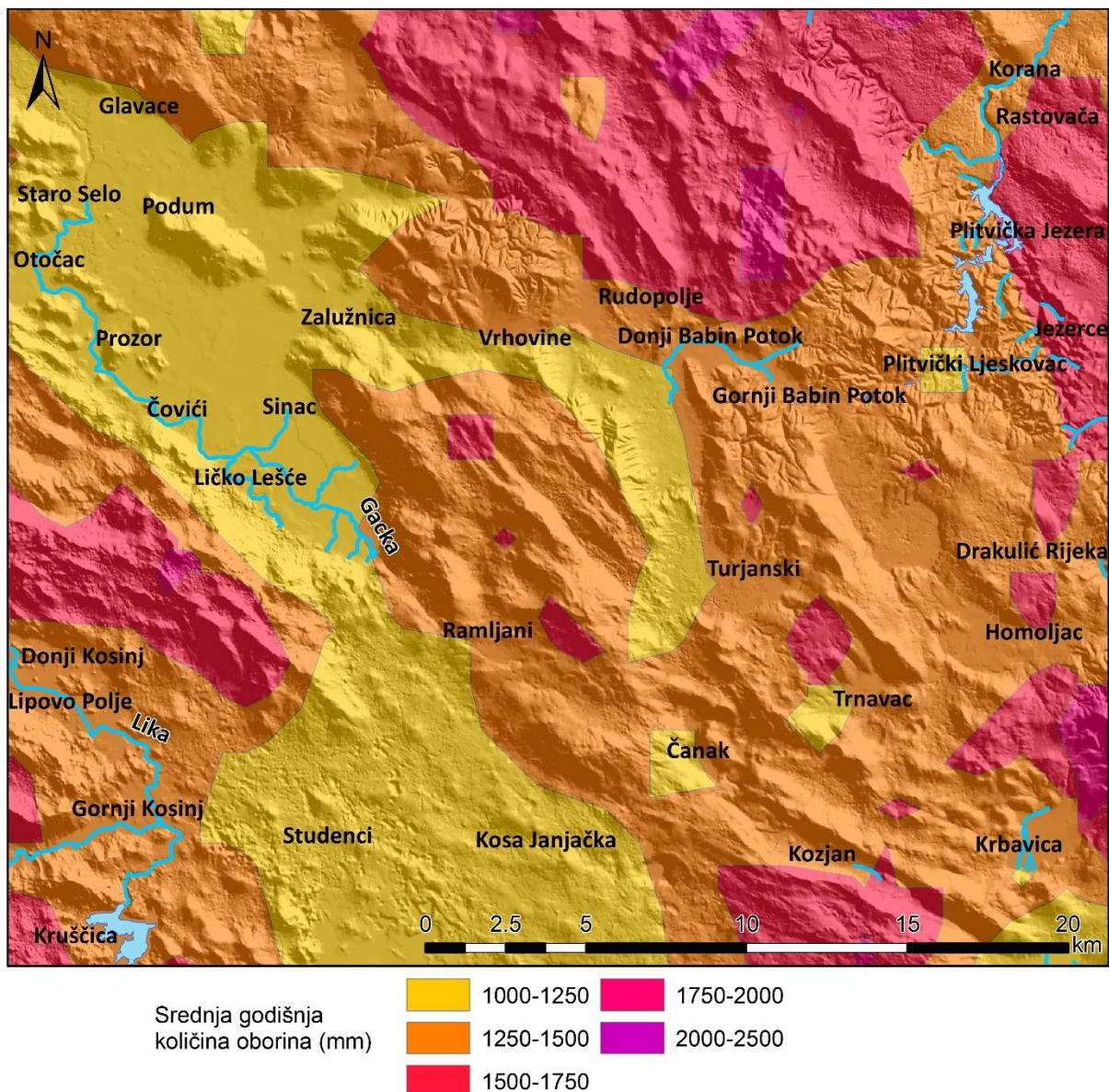
2.1.2 Klimatološka obilježja

Za istraživano područje karakteristična je raznolikost klimatskih prilika, uvjetovanih brdsko-planinskim reljefom i morfološkim depresijama krških polja. Klima se mijenja od planinske do oštre kontinentalne. Za planinski dio promatranog područja, izvorišnog dijela Gacke, za koja je vezana glavna istraživanja provedenih u danom dokumentu, srednja godišnja temperatura obično ne prelazi 6°C, a u nižim poljima i zaravnima iznosi oko 10°C (slika 2.1.2). Zračna strujanja pod utjecajem su mediteranskih i atlantskih klimatskih ciklusa. Na brzinu i smjer vjetera u velikoj mjeri utječe lokalna razvedenost reljefa, a orografija utječe i na temperaturni i oborinski režim.



Slika 2.1.2. Karta srednjih godišnjih temperatura zraka za razdoblje od 1961. do 1990. godine (prema Zaninović i sur. 2004).

Prema podacima mjerenja na raspoloživim meteorološkim stanicama DHMZ-a količina oborina na slivovima Like i Gacke opada od jugozapada prema sjeveroistoku do centralnog dijela, gdje su najniže, a ponovno rastu prema sjeveroistoku (slika 2.1.3). Na području većih nadmorskih visina na jugozapadnom dijelu sliva Gacke padne godišnje prosječno više od 2000 mm oborina. U središnjem, najsušnijem dijelu visina srednje godišnje oborine iznosi oko 1250 mm, u sjeveroistočnom dijelu sliva na nižim nadmorskim visinama 1400 mm, a na višim oko 1600 mm. Najmanje količine padalina bilježe se tijekom ljeta, a maksimumi se redovito mjere u jesenskim mjesecima te u proljetnim na koje znatan utjecaj ima otapanje snijega.



Slika 2.1.3. Karta srednje godišnje oborine za razdoblje od 1961. do 1990. godine (prema Gajić-Čapka i sur. 2003)

Obzirom na značenje oborinskog režima na otjecanje, u nastavku su dani rezultati osnovne statističke obrade podataka i prikaz hoda godišnjih količina oborina za dvije postaje – postaju Gospić (564 m n.m.) kao reprezenta stanja oborinskih prilika na slivu Like, te Ličko Lešće (463 m n.m.) kao reprezenta za sliv Gacke (tablica 2.1.1

i slika 2.1.4). Uz statističke pokazatelje vezane uz cjelokupno raspoloživo razdoblje njihovog monitoringa, dani su i raspoloživi podaci za 2019. (kod obje postaje) i 2020. (za Gospić) tijekom kojega je proveden dopunski monitoring izvorišnog dijela Gacke.

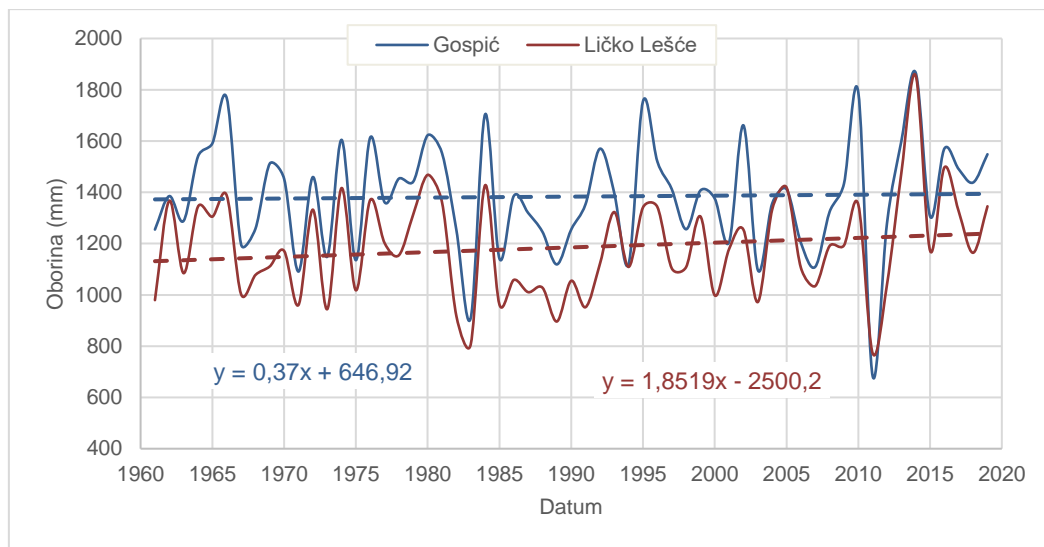
Analizirana je homogenost nizova njihovih godišnjih količina primjenom Wilcoxonovog neparametarskog testa (testa rangiranja) koji je zbog svoje objektivnosti i jednostavnosti pogodan za takve ocjene (Žugaj 2015). Ispitivanje je provedeno na dvaju serija podataka – za razdoblje 1961./62.-1989./90., te za razdoblje 1990./91.-2018./19. Dobiveni rezultati (tablica 2.1.2) pokazuju da su nizovi homogeni.

Tablica 2.1.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti oborina (mm) na postajama Gospić i Ličko Lešće

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Gospić (1961. - 2019.)													
Sr	108,7	106,3	98,9	104,9	105,8	86,7	62,5	85,5	139,5	149,2	190,1	145,1	1383,2
Stdev	62,9	67,7	54,7	37,6	47,3	46,1	43,4	56,4	88,8	112,2	97,6	88,0	221,4
Cv	0,58	0,64	0,55	0,36	0,45	0,53	0,69	0,66	0,64	0,75	0,51	0,61	0,16
Max	307,6	283,3	239,5	208,0	239,6	290,0	264,1	220,5	434,2	506,0	419,5	390,7	1866,3
Min	1,4	11,0	0,9	4,9	14,4	16,3	4,6	0,0	12,7	0,0	13,9	0,1	683,3
2019	105,6	75,2	57,8	137,4	193,9	51,3	88,9	79,8	121,3	55,5	419,5	162,2	1548
2020	24	57,8	64,6	20,9	52,2	88,5	62,8	71,4	194,8	259,8	48,1	270,2	1215
Ličko Lešće (1961. - 2019.)													
Sr	96,5	97,7	88,8	91,3	88,3	77,6	59,8	77,6	115,0	116,1	154,6	121,8	1185,1
Stdev	54,3	63,3	49,9	32,4	44,2	35,2	35,7	50,6	70,6	89,8	80,5	73,2	200,6
Cv	0,56	0,65	0,56	0,35	0,50	0,45	0,60	0,65	0,61	0,77	0,52	0,60	0,17
Max	245,9	301,0	213,5	163,9	230,8	171,6	212,0	236,1	317,1	396,6	401,4	324,7	1855,2
Min	0,0	5,4	3,2	11,4	3,9	12,5	2,4	0,0	8,8	0,0	13,4	1,2	772,2
2019	83,5	60,4	31,7	138,6	189,3	25,1	106,2	44,3	106,9	31,8	332,2	195,4	1345

Tablica 2.1.2. Ispitivanje homogenosti podataka godišnjih količina oborina po hidrološkim godinama na postajama Gospić i Ličko Lešće za razdoblje od 1961.-2019.

1961.-1990. / 1991.-2019.	Gospić	Ličko Lešće
Standardna jedinična devijacija U0	-0,36	-1,03
Ocjena homogenosti	HOMOGEN	HOMOGEN



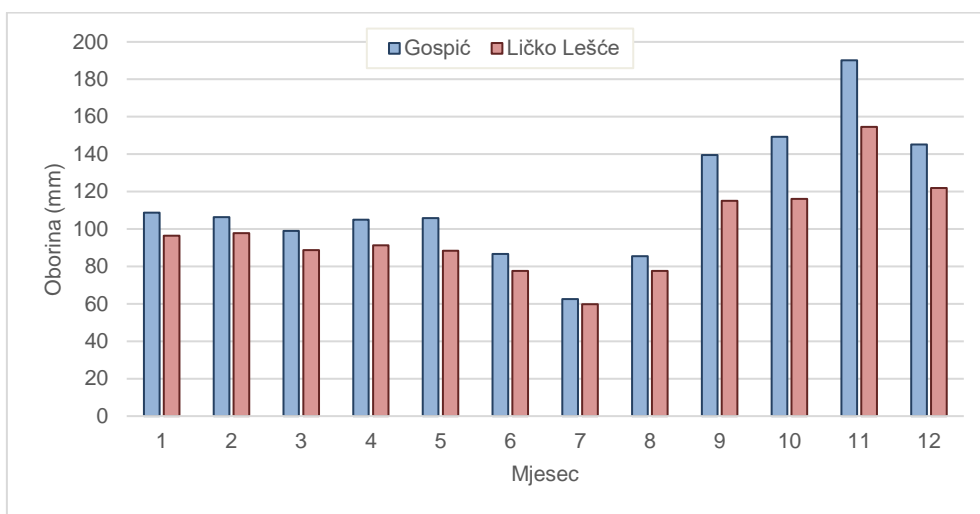
Slika 2.1.4. Hod godišnjih količina oborina za postaje Gospić i Ličko Lešće (1961.-2019.)

Srednja godišnja količina oborina, za razdoblje 1961. - 2019., na postaji Gospić iznosi 1383 mm, a na postaji Ličko Lešće nešto manje - 1185 mm. Prisutna je vrlo velika varijabilnost, kako po pojedinim mjesecima, tako i na razini godišnjih količina oborina. Godišnje varijacije se kreću u rasponu između 683,3 i 1866,3 mm na postaji Gospić, te između 772,2 i 1855,2 mm na postaji Ličko Lešće.

Iz danog je prikaza na slici 2.1.4 vidljivo da obje postaje imaju vrlo sličan trend, koji praktički stagnira na postaji Gospić (37 mm/100 god) ili pak iznimno blago raste na postaji Ličko Lešće (oko 190 mm/100 god). To je u skladu s klimatološkim procjenama utjecaja klimatskih promjena prema kojima će na sjevernojadranskom području i ubuduće trend oborina stagnirati, a srednjih godišnjih temperatura rasti. Naime, prema recentnom dokumentu Strategija prilagodbe RH klimatskim promjenama (NN 46/2000), buduće promjene oborina za scenarij RCP4.5. govore da je na godišnjoj razini do 2040. godine projicirano vrlo malo smanjenje srednje godišnje količine oborina, koje neće imati značajniji utjecaj na ukupnu godišnju količinu. U sjeverozapadnoj Hrvatskoj signal promjene ide u smjeru manjeg porasta godišnje količine oborina. Do 2070. godine očekuje se daljnje smanjenje srednje godišnje količine oborina (do oko 5 %), koje će se proširiti na gotovo cijelu zemlju, osim na najsjevernije i najzapadnije krajeve. Najveće smanjenje očekuje se u predjelima od južne Like do zaleđa Dalmacije uz granicu s Bosnom i Hercegovinom (oko 40 mm) i u najjužnijim kopnenim predjelima (oko 70 mm). Kod scenarija RCP8.5. se do 2040. godine očekuje povećanje ukupne količine oborine u odnosu na referentnu klimu zimi i u proljeće u većem dijelu zemlje. To povećanje bilo bi najveće, 8 – 10 %, u sjevernoj i središnjoj Hrvatskoj zimi. Ljeti je projicirano prevladavajuće smanjenje ukupne količine oborine, najviše u Lici do 10 %. U jesen je očekivano neznatno povećanje ukupne količine oborine.

Dan je prikaz i unutar godišnje raspodjele oborina na odabranim postajama Gospić i Ličko Lešće (slika 2.1.5). Iz njega je vidljivo da su tijekom svih mjeseci značajnije oborine na postaji Gospić koja je i na višoj nadmorskoj visini. Kod obje postaje dominiraju oborine zabilježene tijekom razdoblja od rujna do prosinca (s maksimumom u mjesecu studenom), a u prosjeku su najmanje u srpnju. Mjeseci s minornim količinama oborina (do cca 15ak mm) ili potpuno bez njih mogu se javiti

tijekom cijele godine na obje postaje. Na obje postaje najvodnija godina bila je 2014., dok je daleko najsušnija bila 2011.



Slika 2.1.5. Unutar godišnja raspodjela srednjih mjesečnih količina oborina na postajama Gospić i Ličko Lešće (1961.-2019.)

Provedene su i analize vjerojatnosti pojave godišnjih količina oborina koristeći GEV funkciju raspodjele (tablica 2.1.3). Iz njih je vidljivo da je raspon varijacija proračunatih vrijednosti maksimalnih godišnjih oborina 2 i 100-godišnjeg povratnog perioda kod Gospića 461 mm, a kod Ličkog Lešća nešto veći – 545 mm. Kod analize minimalnih godišnjih količina oborina, taj je raspon nešto veći kod Gospića - 517 mm, a kod Ličkog Lešća je 413 mm. Interesantno je da zabilježena godišnja količina oborina kod ekstremno sušne 2011.g. u Gospiću od 683,3 mm, daleko premašuje 100-godišnju vrijednost vjerojatnosti pojave najmanjih godišnjih količina oborina, a kod postaje Ličko Lešće gdje je te godine zabilježeno 772,2 mm, zabilježeni ekstrem imao je karakter približno 100-godišnjeg povratnog perioda. Zabilježene maksimalne godišnje količine oborina kod obje su postaje premašile procijenjene vrijednosti 100-godišnjeg povratnog perioda.

Tablica 2.1.3. Rezultati analize vjerojatnosti pojave godišnjih količina oborina zabilježenih na postajama Gospić i Ličko Lešće (1961.-2019.)

Povratni period (god)	Vjerojatnost pojave (%)	God. kol oborina – Gospić (mm)		God. kol oborina – Ličko Lešće (mm)	
		U smjeru max.	U smjeru min.	U smjeru max.	U smjeru min.
2	50	1387	1387	1176	1176
5	20	1576	1195	1371	1013
10	10	1668	1096	1477	934
20	5	1738	1016	1565	872
50	2	1807	928	1661	806
100	1	1848	870	1721	763

2.1.3 Vegetacijski pokrivač

Biljni pokrivač u uzajamnoj je vezi s pedološkim značajkama zemljišta te klimatskim značajkama područja. Također, vegetacijski pokrivač u velikoj mjeri utječe na procese infiltracije oborina u epikršku zonu, te posljedično i na hidrogeološke značajke krških izvora. Na hidrogeološki istraživanom području sliva izvora Gacke najveća površina pokrivena je šumama, što se posebno odnosi na planinske i brdske dijelove - Velebit i Ličko sredogorje. Područjem pod šumama dominiraju šume bukve, hrasta kitnjaka, hrasta medunca i graba te miješane šume bukve i bora te bukve i jele.

Travnjacima pripada teren vezan uz krška polja i morfološki niže dijelove i zaravni u sredogorju (npr. Ramljani). Obradiva zemljišta – oranice znatnije površine nalaze se u središnjim dijelovima Gackog, Lipovog i Brinjskog polja (nizvodno od izvorišta Gacke). Travnjacima su pokrivena šira područja Vrhovinskog polja, Turjanskog polja, Homoljačkog polja, Trnavca, Čanka, kao i znatan dio Perušićkog polja. U manjim krškim poljima Trnavac i Čanak uz bokove polja dolaze travnjaci, a u središnjim dijelovima oranice, koje zauzimaju relativno male površine.

2.2 GEOMORFOLOŠKA OBILJEŽJA

Šire istraživano područje pripada zoni visokog krša Dinarida u kojoj su prisutne brojne površinske i podzemne krške forme. Već od samog formiranja struktura stvoreni su preduvjeti za izdiferencirani reljef, kada su izdignuta područja današnjeg Velebita s jedne i Male Kapele s druge strane, a teren između njih je, kao prostor transpresije, pogodan za nastanak depresija.

Okršavanje na području Dinarida odvijalo se u tri do četiri odvojene faze: 1) krajem krede i početkom tercijara, 2) između srednjeg eocena i vremena u kojem je počelo taloženje vapnenačkih breča (vjerojatno vrijeme od gornjeg eocena do kraja oligocena, 3) nakon taloženja vapnenačkih breča do neogena i 4) nakon neogena tijekom čitava kvartara. Svaka kopnena faza ostavila je tragove na karbonatnim stijenama podložnim okršavanju te je cirkulacija vode uzduž rasjeda i navlaka već u početnim fazama doprla do velike dubine ovisno o stanju tadašnje erozijske baze. Faze okršavanja prekidane su novim transgresijama tijekom kojih su površinski reljefni oblici prekriveni novim sedimentima, a podzemni su se uglavnom sačuvali i akumulirali. Postojeće podzemne veze i provodni krški kanali tektonikom su djelomično dezintegrirani i prekidani uz mogućnost ponovnih aktivacija sačuvanih dijelova u sljedećim kopnenim fazama.

Prva izdizanja u srednjem eocenu praćena su stvaranjem navlačnih struktura koje se najprije formiraju u unutrašnjosti u području Male Kapele, a potom u području Velebita. Najveći utjecaj na stvaranje današnjih reljefnih formi ima zadnje aktivno razdoblje tektonskih pokreta zvano neotektonska faza, koje je aktivno sve do danas. Neogen je razdoblje najvećih amplituda neotektonskih pokreta, a zadnja aktivna faza obuhvaća pliocen i kvartar (Prelogović 1989).

Neotektonska aktivnost dovela je do dezintegracije jedinstvenog velebitskog masiva. Tako je izrazitim Bakovačkim rasjedom uzduž kojeg su zabilježene velike amplitude neotektonskih pokreta (dubina ureza premašuje 500 m), izdvojen morfostrukturni greben srednjeg Velebita od sjevernog Velebita. Sjeverni Velebit sastavljen je od gorskih blokova Lipovo polje – Apatišan i Begovača te vršnog dijela Sjevernog Velebita. Dalje prema sjeveru, nakon udoline nastale erozijom uzduž rasjedne zone Oltari – Krasno – Lipovo polje, slijedi složena morfostruktura Senjsko bilo (veći dio strukture je antiklinala, a manji JI dio je sinklinala). Posebno je izdvojeno Melničko-Kuterevsko pobrđe sastavljeno od brojnih manjih blokova različitog predznaka kretanja. Današnje Melničko-Kuterevsko pobrđe dio je jedne veće paleozavale koja, prema JI, uključuje i područje Gackog polja. Zadnjim neotektonskim pokretima prethodio je izdiferencirani reljef u kojem su se u području Like (Krbavsko polje) taložile neogensko-kvartarne jezerske naslage, a njihove ostatke nalazimo i u području Kruščica i Kosinj.

Najveći krški površinski oblici su polja u kršu i zaravni. Premda ne postoji jedinstveno mišljenje o nastanku krških polja kao najmarkantnijeg morfološkog fenomena u području visokog krša, svakako je njihov nastanak vezan uz tektonske aktivnosti, a kasnije su moguća modeliranja kao posljedica selektivne erozije (Roglić 1957). Vjerojatno su ti procesi tekli paralelno. Može se reći da su polja u kršu nastala uz rasjede te bočnim korozivnim djelovanjem vode koja otječe s nepropusnih u propusne dijelove terena te nestaje u ponorima.

Najvažnije krško polje na istraživanom području je Gacko polje, koje prelazi u više manjih polja u ponornom dijelu (Švičko polje, Hrvatsko polje i Gusić polje).

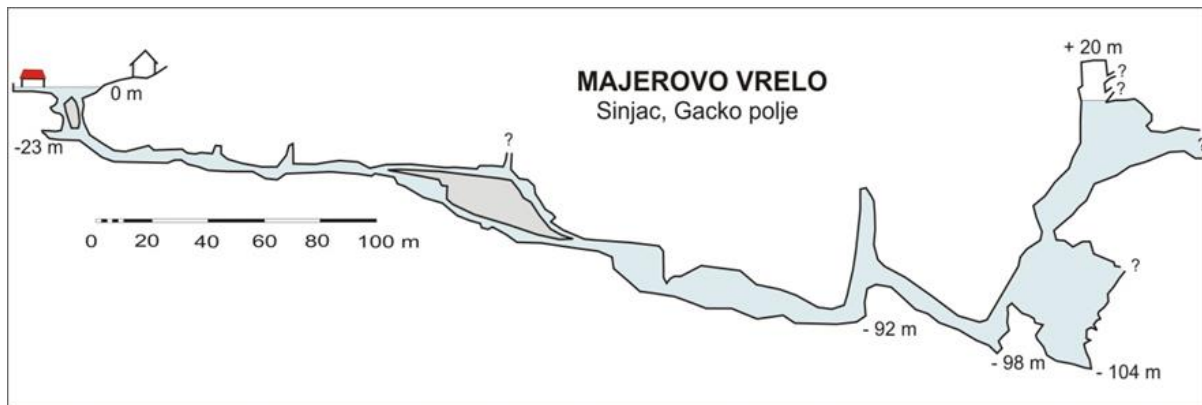
Gackom polju morfološki pripada i zaravnjeni teren u području Škara i Zalužnice te kod Glavaca. Lipovo polje, kao završni dio toka rijeke Like, nastavak je Kosinjskog polja u koji je uključen i završni dio doline Bakovac. Vode rijeka Like i Gacke gube se putem ponora i kanala u masivu Velebita, te dalje otječu podzemno prema moru. Zbog ograničenog kapaciteta ponora pojedini dijelovi krških polja povremeno plave (Lipovo polje, Kosinjsko polje te niži dio Gackog i Švičkog polja).

Osnovni krški reljefni oblici – ponikve (vrtače), susreću se i u planinskom dijelu i u nešto nižim predjelima prema krškim poljima, a najbrojnije su u terenu između Like i Gacke naročito u području Studenaca i Krša. Širina i dubina mogu im biti od nekoliko do preko stotinu metara.

Od podzemnih krških formi prisutne su brojne jame i spilje. Prostorni položaj, oblik i dimenzije ovih objekata u bliskoj su vezi s hidrogeološkom funkcijom terena u kojem su razvijene. Tako se na području sjevernog Velebita, zapadno od istraživanog područja, unutar propusne zone s razvijenom cirkulacijom podzemne vode, duboko ispod površine terena nalaze najdublje dosad istražene jame u Hrvatskoj (prema www.speleologija.hr, siječanj 2021.): Lukina jama (-1431 m), Slovačka jama (-1324 m), Nedam (-1226 m), Velebita (-1026 m). Uz ova četiri najdublja poznata objekta istraženo je i više objekata dubljih od 500 metara (Meduza (-706 m), Patkov gušt (-553 m) i dr. Glavna značajka ovih objekata njihova je relativno jednostavna morfologija nastala vertikalnom cirkulacijom podzemne vode kroz duboku vadoznu zonu krškog masiva.

Na području kompleksne hidrogeološke velebitske barijere važniji objekti nastali su uz kontakte nekrških klastičnih i okršenih karbonatnih stijena. Oblik i dubina ovih objekata uvjetovani su pružanjem kontakta ovih stijena u podzemlju. Kako je u zonama kontakata krških i nekrških stijena na površini terena generalno dubina vadozne zone manja, tako su i istraženi dijelovi speleoloških objekata manje dubine te obično istraženi dijelovi završavaju prelaskom iz područja vadoznog u sifonalno tečenje vode u podzemlju.

U izvorišnom području Gacke speleoronilački je istražen dovodni krški kanal Majerovog vrela. Dubina istraženih dijelova kanala iznosi preko 100 metara (slika 2.2.1), što upućuje na znatnu dubinu aktivne cirkulacije vode ispod razine izvora. Kanali imaju kompleksnu morfologiju, uz brojna račvanja, izmjene dubokih i plićih dijelova povezanih kosim i vertikalnim kanalima, te dijelovi kanalskog sustava iznad razine podzemne vode. Unutar sustava kanala otkrivena je velika podzemna dvorana potopljena vodom, dimenzija 50 x 30 metara, a maksimalne dubine veće od 100 m ispod razine vode (Kovačević 2008). Treba naglasiti da istraženi dio sustava krških kanala Majerovog vrela predstavlja tek mali fragment nizvodnog dijela kanalskog sustava u podzemlju krškog sliva, ali ukazuje na generalne značajke podzemnih kanala i šupljina (dubina, volumen, razgranatost) kroz koje protječu podzemne vode prije izviranja.



Slika 2.2.1. Profil dovodnih krških kanala u zaleđu izvora Majerovo vrelo (prema Vasseur, 2000 i Kovačević, 2008).

U nizvodnim područjima rijeka Like i Gacke prisutno je više ponora i ponornih zona. U većini ponora velike količine materijala nanesenog vodenom bujicom u razdobljima aktivnosti ponora onemogućavaju speleološko istraživanje odvodnih kanala. Ipak u najvažnijem ponoru rijeke Like, Markovom ponoru u Lipovom polju, istraženo je oko 1700 metara spiljskih kanala, dok je od ponora Gacke speleolozima moguć ulazak jedino u ponor Perinku na području Švice, u kojem se nalazi sifon na dubini od oko 35 metara ispod ulaza.

2.3 GEOLOŠKE I HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

2.3.1 Pregled rezultata prethodnih hidrogeoloških istraživanja slivova Like i Gacke

Postojeća literatura o geološkoj problematici detaljno je obrađena u tumačima listova Osnovne geološke karte SFRJ koji su navedeni u poglavlju 2.3.2.

Istraživanja vezana uz hidrogeološku problematiku počela su već početkom ovog stoljeća. Schenkel (1912) piše o mogućnosti iskorištavanja rijeka ponornica ličke regije u hidroenergetske svrhe. Terzaghi (1913) piše o hidrografiji i morfologiji hrvatskog krša. Koch (1925, 1932 i 1933) razmatra površinske i ponorne vode u slivu rijeke Gacke. Pretpostavlja da ponorne vode rijeke Gacke otječu uzduž rasjeda na istočnoj strani Senjskog bila prema jugu, a zatim zajedno s ponornim vodama rijeke Like prema moru, gdje istječu na vruljama u području Žrnovnice južno od Svetog Jurja. Cvijić (1926) obrađuje ovo područje u okviru geomorfologije krša te, između ostalog, također pretpostavlja vezu podzemnih voda između ponora Like i izvora i vrulja Žrnovnice.

Prva opsežnija i sistematska hidrogeološka istraživanja počinju se provoditi nakon 1950. godine. Cilj im je bio upoznati mogućnosti iskorištenja voda rijeka Like i Gacke u hidroenergetske svrhe, a rezultati tih istraživanja opisani su u mnogim izvještajima. Najprije su počela istraživanja vezana uz hidroenergetski sustav Senj. Poljak (1953) opisuje hidrogeološke prilike i morfologiju područja donjeg toka rijeke Like i Gacke uz opis izvora i ponora. Poljak i sur. (1953) detaljno opisuju kanjon rijeke Like i njezine pritoke do Lipovog polja. Određuju užu lokaciju pregradnog mjesta akumulacije Kruščica na ulazu u kanjon prema Kosinju. Smatraju da treba očekivati određene gubitke iz akumulacije kroz kvartarne naslage i okršenu podlogu polja.

Nakon 1956. godine intenzivirani su hidrogeološki istražni radovi vezani uz ostvarenje akumulacije u donjem toku rijeke Like. Poljak i Magdalenić (1956) geološki obrađuju područje potoka Bakovac i Mlakvenog potoka za ocjenu mogućnosti akumulacije vode u tim područjima. Poljak (1957) opisuje geomorfološke i hidrogeološke prilike Kosinjskog polja i doline Bakovca, nakon čega se istraživanja proširuju i na područje u donjem toku rijeke Like, Mlakveni potok i Bakovac (Cronolatac i Milan, 1957). Bojanić i sur. (1959) obrađuju geologiju i hidrogeologiju područja rijeke Like od Kaluđerovca do Selišta, na kartama M 1:25.000 i M 1:10.000. Isključuju mogućnost gubljenja vode iz akumulacije Kruščica u smjeru jugozapada. Bojanić (1960) istražuje šire područje donjeg toka rijeke Like radi utvrđivanja gubitaka vode iz akumulacije Kruščica. Bahun (1961) registrira izvore i ponore uz tok Like od Kruščice do Selišta i navodi da su gubitci vode iz rijeke Like registrirani tek u Lipovom polju. Godine 1963. piše o *prominskim naslagama* kojima daje naziv Jelar-naslage po brdu Jelar kod Kruščice i ističe njihove specifične hidrogeološke osobine.

Za projekt akumulacije Kruščica izvedeno je više detaljnih geoloških istražnih radova (detaljne geološke karte, determinacije bušotina, speleološka istraživanja i dr.). Prigodom temeljenja brane otkriveni su speleološki objekti koje istražuje Božičević (1964), a svoja zapažanja opisuje u radovima 1965. i 1969. Istodobno spomenutim geološkim istražnim radovima Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) obavio je trasiranje podzemnih tokova na tom području. Trasiranje je izvedeno na potoku Mezinovac kod Studenaca (Turner, 1957), Vlatkovića jami na Pazarišnici (Turner, 1958) i Markovom ponoru u Lipovom polju (Turner, 1960). Nakon izgradnje akumulacije Kruščica nastavljaju se hidrogeološki radovi u području donjeg toka rijeke Like. Godine 1967. Božičević obrađuje hidrogeološke objekte uz rijeku Liku, a 1970. i 1971. istražuje ponor Perinku. Na temelju prethodnih spoznaja o ovom području Pavlin (1970) raščlanjuje teren u širem području donjeg toka rijeka Like i Gacke na izvorišnu zonu, zonu estavela i ponornu zonu. Godine 1972. započinju regionalna hidrogeološka istraživanja područja Like i Hrvatskog primorja koja rezultiraju izradom studije Like i Hrvatskog primorja (Biondić i Goatti, 1976b). U njoj su prikupljeni brojni podaci, provedena mjerenja kapaciteta izvora te trasiranja radi utvrđivanja smjerova otjecanja podzemnih voda.

Elektroprojekt (1971) izrađuje hidrološku studiju vodoprivredne osnove sljevova rijeka Like i Gacke. Nakon ove studije započeti su istražni radovi za ostvarenje akumulacije Kosinj na rijeci Lici nizvodno od akumulacije Kruščica. Fritz i Pavičić (1972) za potrebe akumulacije Kosinj rade geološku kartu M 1:10.000 područja Kosinj – Krš – Studenci. Daju ocjenu o mogućnosti akumuliranja vode u tom području, a 1975. prikazuju hidrogeološke odnose u području akumulacije Kosinj kao podlogu za hidroenergetsko rješenje. Bahun i Fritz (1972) obrađuju hidrogeološke odnose u području Ličkog polja. Istražni radovi za akumulaciju Kosinj nastavljaju se od 1985. do 1988. godine. Nakon svih izvedenih istraživanja izrađen je idejni projekt (Elektroprojekt, 1989) koji je prošao postupak recenzije. U okviru spomenutog projekta obavljena su dodatna hidrogeološka istraživanja (Pavičić i sur. 1988) te izvedena trasiranja podzemnih tokova vode u širem području akumulacije (Pavičić i Renić, 1988). Pavičić (1995) u prikazu hidrogeoloških uvjeta za ostvarenje akumulacija u kršu zaleđa Velebita, prilaže posebnu kartu s novim prikazom strukturno-tektonske građe. Istaknuta je hidrogeološka funkcija pojedinih rasjeda i njihovo značenje za podzemno tečenje voda, pojavljivanje izvora i hidrogeološke karakteristike riječnih dolina. Na širem području planirane akumulacije Kosinj izbušeno je više istražnih bušotina od

kojih je većina osposobljena za mjerenje razine vode, te su na njima vršena višegodišnja mjerenja (1972. – 2000.).

Na području rijeke Gacke izvedeni su istražni radovi znatno manjeg opsega. Detaljnije podatke o hidrološkim karakteristikama rijeke Gacke iznose Reštarević (1969) i Stepinac (1969). Za potrebe HE Senj Bojanić i sur. (1959) izrađuju geološku kartu trase tunela od Selišta do Šumečice te od Šumečice do Gusić polja. Božičević (1973) razmatra i opisuje hidrogeološke i inženjersko geološke odnose uz rijeku Gacku od izvorišta do ponora s detaljnim lokacijama izvora i ponora. Isti autor u više navrata istražuje speleološke objekte na području Gusić polja i Švice (1968, 1970 i 1971). Na osnovi ovih podataka Božičević (1984) određuje hidrogeološke značajke rijeke Gacke prije i nakon zahvata vode za potrebe HE Senj. O prirodnoj retenciji u podzemlju sliva rijeke Gacke pišu Žugaj (1981) i Stepinac (1983). U studiji optimalnog korištenja vodama rijeka Like i Gacke obrađena je hidrologija (Žugaj, 1983) i hidrogeologija (Pavičić i sur. 1984) šireg sliva rijeka Like i Gacke. Na temelju hidrogeoloških, strukturno-tektonskih, hidroloških i hidrokemijskih podataka u studiji ugroženosti izvorišta rijeke Gacke daje se ocjena ugroženosti izvorišta i prikaz prijedloga zona sanitarne zaštite rijeke Gacke (Pavičić i sur., 1997). U okviru te studije također su detaljno obrađeni tektonski odnosi i veza pojave izvorišta i neotektonskih pokreta. Izvedena su i hidrokemijska istraživanja u sklopu kojih su analizirani uzorci vode glavnih izvora. U svrhu određivanja granica sliva izvora u izvorišnom dijelu Gacke provedeno je trasiranje na ponoru Kotao u području Perušića (Pavičić i Dolić, 2003), a u svrhu definiranja zona sanitarne zaštite izvora Novljanska Žrnovnica trasirani su podzemni tokovi u sjevernom kraku Gacke (Dukarić i Stroj, 2004) i Lipovom polju – Markov ponor (Dukarić i sur., 2005). Primijenjene tehnike istraživanja u okviru disertacije Lukač Reberski (2011) omogućile su podjelu sliva rijeke Gacke na podslivove, upoznavanje hidrogeoloških značajki pojedinih dijelova ovog kompleksnog krškog vodonosnog sustava, određivanje njihovih međusobnih utjecaja i dinamičkih značajki.

2.3.1.1 Pregled prethodnih trasiranja podzemnih tokova u slivu Gacke

Trasiranje podzemnih tokova predstavlja jedinu metodu izravnog utvrđivanja pripadnosti pojedinih dijelova krških terena priljevnom području nekog izvora. Zbog toga je ovo najvažnija metoda hidrogeološkog istraživanja za određivanje priljevnog područja krških izvora. U slijedećim tablicama prikazani su rezultati svih prethodno provedenih trasiranja podzemne vode u priljevnom području Gacke, koje je predmet dodatnih detaljnih hidrogeoloških istraživanja izvedenih u okviru ovog projekta. Opis simultanog trasiranja izvedenog u okviru ovog projekta, te usporedba rezultata sa rezultatima prethodnih nalazi se u poglavlju 4.3.

1. Trasiranje ponora Mizimovac kod Perušića (Žmirića ponor) – DHMZ (Turner, S. 1957)

OZNAKA	UDALJENOST (km)	VISINSKA RAZLIKA (m)	POJAVA TRASERA (sat/dan)	PRIVIDNA BRZINA (cm/s)
Izvor Pećina	10,9	110	110 (4,5 dan)	2,78

VRIJEME UBACIVANJA TRASERA: 14. travnja 1957. godine u 18 sati

KOLIČINA TRASERA: 30 kg Na-fluoresceina

NADMORSKA VISINA: 570 m nm

2. Trasiranje ponora u Vrhovinskom polju – HGI (Biondić, B. i Goatti, V. 1976b)

OZNAKA	UDALJENOST (km)	VISINSKA RAZLIKA (m)	POJAVA TRASERA (sat/dan)	PRIVIDNA BRZINA (cm/s)
Izvor Zalužnica	9,7	240	306 (12,75 dana)	0,88
Izvor Sinac	11,9	290	66 (2,75 dana)	5,01
Majerovo vrelo	9,9	290	30 (1,25 dana)	9,17
Klanac vrelo	10,1	290	42 (1,75 dan)	6,81
Tonkovića vrelo	10,3	290	42 (1,75 dan)	6,81

VRIJEME UBACIVANJA TRASERA: 13. siječnja 1975. godine u 12 sati

KOLIČINA TRASERA: 50 kg Na-fluoresceina

NADMORSKA VISINA: 750 m nm

3. Trasiranje ponora u Kozjanu – HGI (Biondić, B. i Goatti, V. 1976b)

OZNAKA	UDALJENOST (km)	VISINSKA RAZLIKA (m)	POJAVA TRASERA (sat/dan)	PRIVIDNA BRZINA (cm/s)
Burića vrelo	20,3	355	281 (11,7 dana)	2,01
Malnište vrelo	20,0	355	263 (11 dana)	2,11
Pećina	18,6	350	281 (11,7 dana)	1,84
Klanac	15,6	350	197 (8,2 dana)	2,10
Tonkovića vrelo	15,6	350	197 (8,2 dana)	2,10

VRIJEME UBACIVANJA TRASERA: 21. ožujak 1975. godine u 13 sati

KOLIČINA TRASERA: 60 kg Na-fluoresceina

NADMORSKA VISINA: 810 m nm

4. Trasiranje bušotine K-1-1 kod Perušića (Uzelci) – HGI (Pavičić, A. i Renić, A. 1988)

OZNAKA	UDALJENOST (km)	VISINSKA RAZLIKA (m)	POJAVA TRASERA (sat/dan)	PRIVIDNA BRZINA (cm/s)
Pećina	6,4	56	255 (10,5 dana)	0,77

VRIJEME UBACIVANJA TRASERA: 9. prosinca 1986. godine u 17 sati

KOLIČINA TRASERA: 30 kg Na-fluoresceina

NADMORSKA VISINA: 513 m nm

5. Trasiranje jame „Industrogradnja“ Ličko Lešće – HGI (Pavičić, A. i sur. 1997)

OZNAKA	UDALJENOST (km)	VISINSKA RAZLIKA (m)	POJAVA TRASERA (sat/dan)	PRIVIDNA BRZINA (cm/s)
Pucirep	1,25	210	27 (1,125 dan)	1,29
Knjapovac	1,60	210	44 (1,8 dana)	1,01
Begovac	1,98	215	116 (4,8 dana)	0,47
Pećina	3,58	210	210 (8,75 dana)	0,47
Tonkovića vrelo	1,45	210		
Klanac	1,68	210		
Jaz (Marusino)	5,40	210		

VRIJEME UBACIVANJA TRASERA: 8. travnja 1997. godine u 11 sati

KOLIČINA TRASERA: 6 kg Na-fluoresceina + 3 kg NaOH

UBAČENA VODA: 135 m³ vode (prije trasiranja) + 141 m³ vode (posije trasiranja)

NADMORSKA VISINA: 670 m nm

6. Trasiranje ponora Kotao – Relić draga kod Perušića – HGI (Pavičić, A. 2003)

OZNAKA	UDALJENOST (km)	VISINSKA RAZLIKA (m)	POJAVA TRASERA (sat/dan)	PRIVIDNA BRZINA (cm/s)
Pećina	12,5	110	136 (5,6 dana)	2,58
Tonkovića vrelo	11,2	135		
Klanac	11,4	135		
Pucirep	11,2	135		
Knjapovac	11,4	135		
Begovac	11,4	135		
Jaz (Marusino)	14,5	137		

VRIJEME UBACIVANJA TRASERA: 12. prosinca 2002. godine u 14:30 sati

KOLIČINA TRASERA: 34 kg Na-fluoresceina + 15 kg NaOH

UBAČENA VODA: 0,05 m³ vode uvire u ponor

NADMORSKA VISINA: 570 m nm

7. Trasiranje ponora Stankovići – Trnavac – HGI (Kuhta, M. i sur. 2010)

OZNAKA	UDALJENOST (km)	VISINSKA RAZLIKA (m)	POJAVA TRASERA (sat/dan)	PRIVIDNA BRZINA (cm/s)
Tonkovića vrelo	16,0	264	154,5 (6,4 dana)	2,89
Klanac	16,0	264	164 (6,8 dana)	2,71
Majerovo vrelo	17,7	264	164 (6,8 dana)	3,00
Krbavica	6,2	34		

VRIJEME UBACIVANJA TRASERA: 30. ožujka 2010. godine u 16:00 sati

KOLIČINA TRASERA: 5 kg Na-fluoresceina

UBAČENA VODA: voda uvire u ponor

NADMORSKA VISINA: 724 m nm

8. Trasiranje ponora Stankovići – Trnavac – HGI (Kuhta, M. i sur. 2010)

OZNAKA	UDALJENOST (km)	VISINSKA RAZLIKA (m)	POJAVA TRASERA (sat/dan)	PRIVIDNA BRZINA (cm/s)
Tonkovića vrelo	16,0	264		
Klanac	16,0	264	164 (6,8 dana)	2,09
Majerovo vrelo	17,7	264	164 (6,8 dana)	1,86
Krbavica	6,2	34		

VRIJEME UBACIVANJA TRASERA: 23. travnja 2010. godine u 12:00 sati

KOLIČINA TRASERA: 15 kg Na-fluoresceina

UBAČENA VODA: voda uvire u ponor

NADMORSKA VISINA: 724 m nm

9. Trasiranje ponora Šuputove drage – Homoljac – HGI (Kuhta, M. i Frangen, T. 2013)

OZNAKA	UDALJENOST (km)	VISINSKA RAZLIKA (m)	POJAVA TRASERA (sat/dan)	PRIVIDNA BRZINA (cm/s)
Tonkovića vrelo	17,9	302	114	4,37
Klanac	17,9	301	114	4,37
Majerovo vrelo	19,3	297	138	3,89
Bijela Rijeka	8,5	39		
Plitv. Ljeskovac	9,0	119		
Crna Rijeka	7,8	89		
Izvor Kor. rijeke	5,73	64		
Koreničko vrelo	6,5	61		
Trnavac	3,2	23		
Krbavica	5,6	74		

VRIJEME UBACIVANJA TRASERA: 12. ožujka 2013. godine u 14:30 sati

KOLIČINA TRASERA: 75 kg Na-naphthionat

UBAČENA VODA: voda uvire u ponor

NADMORSKA VISINA: 759 m nm

10. Trasiranje jame u području odlagališta komunalnog otpada Razbojište (Munda i sur. 2014)

OZNAKA	UDALJENOST (km)	VISINSKA RAZLIKA (m)	POJAVA TRASERA (sat/dan)	PRIVIDNA BRZINA (cm/s)
Pećina	12,0	132	48 (2 dana)	6,94
Knjapovac	10,6	134	162 (6,7 dana)	1,82
Tonković vrelo	10,3	132		
Graba	11,1	133		
Pucirep	10,3	127		

VRIJEME UBACIVANJA TRASERA: 15. rujna 2014. godine u 12:00 sati

KOLIČINA TRASERA: 25 kg Na-fluoresceina + 12,5 kg NaOH

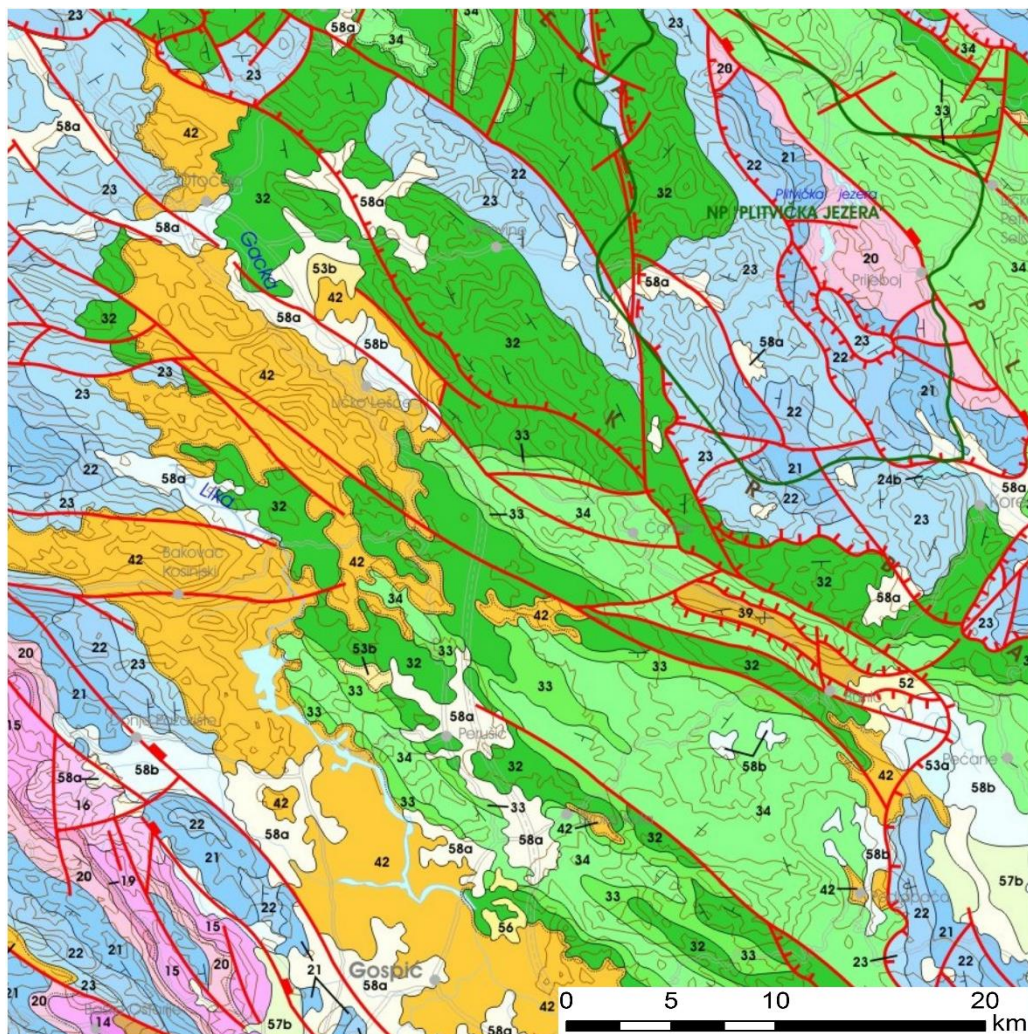
UBAČENA VODA: 21 m³ ubačeno u jamu nakon iniciranja trasera

NADMORSKA VISINA: 588 m nm

Uslijed ovisnosti značajki podzemnih tokova o hidrološkim uvjetima, uobičajene su znatne razlike u rezultatima pri ponavljanju trasiranja iz istih ponora. Ovo je vidljivo iz ponovljenog trasiranja ponora u Trnavcu kada je unatoč znatno većoj količini ubačenog trasera pojava trasera utvrđena na manjem broju izvora. Zbog toga je u svrhu pouzdanog određivanja značajki krških sustava poželjno ponavljati trasiranja u različitim hidrološkim uvjetima. Problem predstavlja razmjerno visoka cijena izvedbe trasiranja, uslijed čega su raspoloživi podaci trasiranja za krška područja Hrvatske u pravilu nedovoljni za pouzdano određivanje priljevnih područja. U priljevnom području Gacke do danas je obavljen razmjerno velik broj trasiranja, ali kako se radi o vrlo kompleksnom krškom sustavu velike površine, on ipak nije dovoljan za sigurno određivanje granica priljevnog područja i značajki podzemnih tokova u različitim hidrološkim uvjetima. Također, treba napomenuti da je većina trasiranja izvedena prije više desetaka godina, te su njihovi rezultati manje pouzdani s obzirom na tada raspoloživu tehniku određivanja prisustva trasera u vodi.

2.3.2 Detaljni geološki opis naslaga (sliv Gacke)

Opis litostratigrafskih članova načinjen je najvećim dijelom prema podacima s Osnovne geološke karte i pripadajućim tumačima: list Otočac (Velić i sur., 1974, Velić i sur., 1976), list Bihać (Polšak i sur., 1976, Polšak i sur., 1978), list Gospić (Sokač i sur., 1974, Sokač i sur., 1976) i list Udbina (Šušnjar i sur., 1973, Šušnjar i sur., 1976). Na slici 2.3.1 prikazan je isječak Geološke karte Republike Hrvatske 1:300 000 (Hrvatski geološki institut, 2009).



	aQ ₁ Fluvijalne i fluvio-glacijalne naslage (pleistocen)		J ₃ Foraminiferno-algalni vapnenci i dolomiti (okford)
	dprQ ₂ Deluvijalno-proluvijalne i aluvijalne naslage (holocen)		J ₂ Debeloslojeviti vapnenci i dolomiti (srednja jura)
	jQ ₂ Jezerske i barske naslage (holocen)		J ₁ Vapnenci i dolomiti (donja jura)
	Pg, Ng Jelarske breče (paleogen, neogen)		T ₃ Glavni dolomiti (gornji norik, ret)
	Pc, E _{1,2} Liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci prijelazne naslage (gornji paleocen, eocen)		T ₂ -T ₃ Klastične naslage (?gornji ladinik-donji norik)
	K ₂ ¹⁻⁶ Rudistni vapnenci (cenoman-mastriht)		T ₂ Klastične i piroklastične naslage (srednji trijas)
	K ₁ ⁵ , K ₂ ¹ Dolomiti i dijagenetske breče (gornji alb, donji cenoman)		T ₂ Rekristalizirane karbonatne naslage (srednji trijas)
	K ₁ Vapnenci i dolomiti (donja kreda)		T ₁ Sajske i kampijske naslage (donji trijas)
	rasjed bez oznake karaktera		navlačni kontakt
	relativno spuštjeni blok		relativno spuštjeni navlačni kontakt normalnim rasjedom
	reversni rasjed		Normalna geološka granica
			Erozijska i/ili tektonsko-erozijska geološka granica

Slika 2.3.1. Isječak Geološke karte Republike Hrvatske 1:300 000

Na širem području sliva izvorišta rijeke Gacke pojavljuju se isključivo karbonatne stijene u rasponu starosti od donje jure do krede, s različitim omjerima vapnenačke i dolomitne komponente, te tercijarne karbonatne breče.

Donjojurske naslage zastupljene su na razmatranom terenu vapnencima. Najstarije naslage kronostratigrafski pripadaju srednjem dijelu donje jure. Izgrađuju područje zapadno i jugozapadno od Homoljačkog polja odnosno sjeveroistočno od Trnavca. Zastupljene su dobro uslojenim vapnencima najčešće decimetarske debljine, ali mjestimično su i tanje uslojeni do pločasti. Rijetko su prisutni tanji ulošci i leće dolomita. Pojedini slojevi znaju biti bogati s makrofosilima i njihovim kršjem. Najčešći su ostaci školjkaša *Lithiotis* (po kojima se u literaturi često nazivaju *lithiotis vapnencima*), a znaju se pojaviti i drugi školjkaši, puževi i brahiopodi. Boja ovih vapnenaca je siva i tamnosiva, ponegdje svijetlosiva i sivkasto-smeđa. Kontinuirano se na vapnencima s *lithiotisima* talože sedimenti gornjeg dijela donje jure koji su zastupljeni mrljastim vapnencima (*Fleckenkalk*). Javljaju se u prostoru između Homoljačkog polja i Trnavca. Ovi vapnenci pretežito su tanko uslojeni, uz rijetke pojave tankih proslojaka dolomita. Karakterističan mrljasti izgled (crvenkaste i žučkaste mrlje na svijetlosivom vapnencu) posljedica je manjeg udjela glinovite komponente.

Srednjojurske naslage također su zastupljene vapnencima s rijetkim i tanjim ulošcima dolomita. Vapnenci su dobro uslojeni, a debljina slojeva je najčešće unutar raspona od jednog decimetra do 1-2 metra. Boja ovih vapnenaca je od svijetlosive do sivosmeđe. Procijenjena debljina ovih (dogerskih) naslaga na razmatranom terenu iznosi 300-400 m. Naslage srednje jure razvijene su na području između Homoljačkog polja i Trnavca. Tereni izgrađeni od ovih stijena odlikuju se razvijenom krškom morfologijom, odnosno čestim pojavama ponikava.

Gornjojurske naslage nalaze se u sjeveroistočnom dijelu sliva oko Vrhovinskog polja te istočno od Turjanskog. Predstavljene su dolomitima, dolomitima s lećama vapnenaca i vapnenačkim dolomitima u kojima sadržaj dolomitne komponente varira od 60 do 85 posto. Sjeverno od Turjanskog izražen je grebenski facijes, izgrađen od debelih leća fosiliferanog vapnenca. Debljina donjojurskih naslaga iznosi između 200 i 400 m.

Naslage donje krede su pretežno jednolikog litološkog sastava, te se sastoje od dolomita i vapnenaca koji se lateralno i vertikalno izmjenjuju. U različitim razinama donje krede mogu se naći dolomitno-vapnenačke breče u obliku manjih leća. Dolomiti se javljaju u širem području od Doljana do Vrhovinskog polja. Predstavljene su dolomitima, vapnenačkim dolomitima i dolomitnim vapnencima u kojima sadržaj dolomitne komponente varira u širokom rasponu od 25 do 95 posto. Vapnenci su rasprostranjeni između Dabra i Rudopolja, te između Gackog polja, Ramljana i Vrhovinskog polja. Spomenuti vapnenci i vapnenačke breče tvore jugozapadno krilo sinklinale s jezgrom na potezu Čanak-Ramljani (senonske naslage u jezgri). Debljina naslaga donje krede procijenjena je od 700 do 1000 m.

Kredne naslage cenomanske starosti izgrađuju vapnenački dolomiti, dolomitne i vapnenačke breče s dolomitnom komponentom do 74 posto. Cenoman-turonske naslage predstavljene su uslojenim vapnencima s povremenim ulošcima vapnenačkih dolomita. U ovim naslagama je zastupljena cijela asocijacija sedimenata grebenskog facijesa. Gromadasti i slabo uslojeni vapnenci su konkordantni na dolomitne breče cenomana, a udio CaCO_3 raste s udaljavanjem od podinskih dolomita i dolomitnih breča. Njihova debljina iznosi približno od 500 do 700 m. Senonske naslage izgrađene su od rudistnih vapnenaca. To su čisti vapnenci bez dolomitne komponente. Debljina

senonskih naslaga iznosi od 600 do 800 m. Njima završava na terenu dominantan slijed mezozojskih karbonatnih naslaga.

Nedostatak najmlađih dijelova krede i starijeg paleogena (paleocena) upućuje na emerziju koja ove prostore zahvaća krajem krede i kopnenu fazu koja traje do mlađeg paleogena. U paleogenu (pretežno eocenu) najprije je prisutna sedimentacija plitkovodnog karbonatnog razvoja naslaga, a zatim su destrukcijom karbonatne platforme, uslijed tektonskih pokreta i diferencijacijom facijesa, stvoreni paleoreljefi i općenito uvjeti za nastanak i taloženje klastičnih flišnih naslaga. U neogenu je na ovom prostoru uglavnom bilo kopno s ograničenom sedimentacijom većinom slatkovodnih naslaga u lokalnim depresijama, koje se formiraju uz razna tektonska uzdignuća (Kranjec i Prelogović, 1974). Eocenski foraminiferski vapnenci na razmatranom terenu pojavljuju se isključivo na razmjerno ograničenom području u jezgri sinklinale između Čanka i Bunića. Odnos ovih naslaga prema starijim naslagama poremećen je reversnim rasjedima, a debljina im se procjenjuje na 80 do 100 m.

Naslage tercijskih (mlađi paleogen do stariji neogen) karbonatnih breča, u literaturi poznatih pod nazivima *Velebitske breče* i/ili *Jelar breče*, su široko rasprostranjene na razmatranom terenu, a nalaze se na zapadnom i jugozapadnom dijelu šireg sliva rijeke Gacke, u transgresivnom odnosu s naslagama gornje jure i krede. Mjestimice se javljaju i kao erozijski ostaci na površini terena od tek nekoliko desetaka kvadratnih metara. Breče su opisivane od strane mnogih autora i kroz povijest se njihovo porijeklo različito tumačilo, uz korištenje različitih naziva. Prvo su ih izjednačavali s oligocenskim Promina naslagama, a Bahun (1962) ih je izdvojio kao zasebne naslage i nazvao ih Jelar naslage. U novijim radovima (npr. Velić i Velić, 2009) nazivaju se Velebitskim brečama, po njihovoj dominantnoj rasprostranjenosti u širem okruženju geoloških struktura planine Velebita (priobalje, ličko zaleđe i najjužniji dijelovi masiva). To su masivne karbonatne breče izgrađene od različitih, pretežno oštrobriđnih do poluzaobljenih, slabosortiranih fragmenata karbonatnih stijena u kalcitnom, sivom ili crvenkastom matriksu. Pretežni sastojak ovih naslaga su vapnenačke breče s nesortiranim fragmentima jurskih, krednih i paleogenskih sedimenata. Klasti pripadaju različitim stratigrafskim jedinicama: najčešći su fragmenti krednih vapnenaca i dolomita te jurskih i paleogenskih vapnenaca (Vlahović i sur., 2009). Nepravilno, vertikalno i lateralno s brečama se izmjenjuju konglomerati, kalkareniti i rjeđe leće glinovitog i laporovitog materijala, koji najčešće čini vezivo breča (Bahun i Fritz, 1975).

Nekonsolidirani pokrivač kvartarne starosti značajnije je debljine samo na područjima krških polja i morfoloških depresija. Na površinama terena koji dominantno izgrađuju dolomitne stijene također često u potpunosti prekriva starije stijene u vidu tankog, ali kontinuiranog pokrivača. Tanki pokrivač sastoji se od produkata trošenja stijene u podlozi i humusa (organska tvar), a debljina mu rijetko prelazi nekoliko dm. U kvartarnim nekonsolidiranim naslagama izraženi su procesi površinske erozije izazvane egzodinamskim silama - djelovanjem vode, vjetra, sunca i leda. Na području padina i posebice podnožja padina mjestimice su prisutni deluvijalni nanosi, nastali trošenjem stijena, te razmjerno kratkim transportom niz padinu. Deluvijalne naslage sastoje se od poluzaobljenih blokova i kršja stijena povezanog glinovitim materijalom. U dnu jaruga, uz rubove krških polja i depresija, često su prisutne proluvijalne (bujične) naslage, sličnih značajki, ali uz bolje zaobljene fragmente stijena. Unutar zaravnjenih dijelova polja prisutne su i aluvijalne (riječne) i barske naslage, u kojima se pojavljuju izmjene pijesaka, šljunaka i gline. Debljina kvartarnih naslaga u centralnim dijelovima

krških polja nije do kraja istražena, ali pretpostavlja se da ne prelazi nekoliko desetaka metara.

2.3.3 Strukturne značajke terena

Istraživano područje nalazi se unutar šireg prostora Krških (odnosno Vanjskih) Dinarida. Tijekom mezozoika širi prostor područja Krških Dinarida pripadao je Jadranskoj karbonatnoj platformi. Od gornjeg trijasa sve do gornje krede na području Jadranske karbonatne platforme vladali su uvjeti pretežito plitkomorske karbonatne sedimentacije uz lokalna produbljivanja taložnih sredina tijekom gornje jure i povremena okopnjavanja tijekom krede. Tijekom dugotrajnog razdoblja egzistiranja karbonatne platforme naslage nisu bile izložene značajnijem tektonskom deformiranju. Krajem krede na području Dinarida započinje razdoblje intenzivnih tektonskih pokreta, izazvano pojačanim pritiskom Afričke na Euroazijsku ploču. Tijekom tercijsara (eocen, oligocen) Jadranska mikroploča ili Adrija odvaja se od Afrike, te počinju procesi njezine rotacije, podvlačenja i dezintegracije u području današnjih Alpa, Apenina i Dinarida, koji su aktivni kroz više faza sve do danas (Aljinović i sur., 1990).

Prvi značajniji tektonskih pokreti započinju krajem krede, a njihova je posljedica raspadanje karbonatne platforme i postupno okopnjavanje. Tijekom gornjeg eocena započinje najintenzivnije strukturno formiranje područja Vanjskih (krških) Dinarida, koje traje otprilike do početka ili sredine miocena. Uslijed kompresije prostora uz orijentaciju stresa SI-JZ nastaju sustavi bora, reversnih rasjeda i navlaka, uz formiranje fliških korita ispred glavnih fronti navlačenja. Na širem području Velebita i Like tijekom ovog razdoblja uz zone izrazitih izdizanja terena talože se velike količine sintektonskih breča (prisutne južno i zapadno od razmatranog terena, na područjima Krbavskog, Ličkog i Gackog polja). Dominantno pružanje novonastalih struktura je sjeverozapad-jugoistok, poprečno orijentirano na tadašnji smjer stresa (Blašković, 1998). Uz ovu fazu tektonskih pokreta na razmatranom terenu vezane su rasjedne zone orijentacije SZ-JI uz reversna kretanja usmjerena prema JZ.

U miocenu intenzitet tektonskih pokreta slabi, vjerojatno uz djelomični prelazak iz kompresijskog u ekstenzijski režim tektonike, vezan uz otvaranje Panonskog bazena na sjeveroistoku. Započinju diferencijalna vertikalna kretanja pojedinih blokova te stvaranje tektonskih graba i *pull-a-part* struktura unutar kojih se ponegdje talože jezerski i barski sedimenti (ustanovljeni na području Krbavskog polja južno od razmatranog terena). Diferencijalnim spuštanjem pojedinih blokova vjerojatno je predisponirano formiranje značajnijih krških polja Dinarskog krša (tijekom srednjeg miocena velikim dijelom ispunjenih jezerima), a i na okolnim područjima se uslijed tektonski mirnijeg razdoblja formiraju prostrane krške zaravni.

Krajem miocena ili početkom pliocena, u uvjetima inverzije Panonskog bazena na sjeveroistoku započinje recentno aktivna faza tektonike (*neotektonika*). U ovoj fazi novi smjer regionalnog potiskivanja (stresa) dominantno je orijentiran sjever-jug uslijed rotiranja i promjena u smjeru kretanja Jadranske mikroploče (Mantovani i sur., 1993). Pod režimom transpresije prostora deformiraju se starije strukture, nastaju najmlađi rasjedi, uz istovremenu reaktivaciju i promjene u značajkama pomaka na starijim rasjedima. Pod utjecajem kompresije prostora usmjerene dijagonalno na rasjede nastale u prethodnim tektonskim fazama (dominantnog pružanja SZ-JI) oni se uglavnom reaktiviraju kao transkurentni s desnim pomakom. Transpresija prostora uzrokuje nova diferencijalna vertikalna kretanja uz značajno izdizanje pojedinih

blokova, ali i relativno spuštanje nastankom novih *pull-a-part* struktura (npr. JI dio Gackog polja).

Neotektonski pokreti postupno dezintegriraju velike krške zaravni i polja, te dolazi do njihove parcelizacije na veći broj manjih polja. Ovi procesi odražavaju se i u morfologiji šire okolice razmatranog terena. Među reljefnim oblicima koji ukazuju na recentno i subrecentno vertikalno kretanje treba izdvojiti terasasta uzdignuća uz rubove Ličkog, Gackog i Krbavskog polja, usijecanje krških rijeka u kanjone u Ličkom i nizvodnim dijelovima Gackog polja te izdignute krške zaravni s razvojem krških depresija u različitim stadijima (Homoljac i Brezovac uz cestu Otočac-Korenica, te šire područje između Perušićkog i Gackog polja). Izdizanje dijelova terena prati nova faza vertikalnog okršavanja izdignutih karbonatnih naslaga.

Strukturne značajke terena važne za današnje hidrogeološke odnose posljedica su višefaznih tektonskih poremećaja koji su se zbivali nakon završetka taloženja eocenskog fliša. U prvoj, najintenzivnijoj fazi tektonike nastale su reversne i tangencijalne strukture čije su granice u području istraživanja, kao i širem području Like, često obilježene karbonatnim brečama (Jelar naslage, Bahun, 1962, Bahun 1974, Herak i Bahun, 1980 i Bahun, 1984). Ove strukture završno se formiraju u gornjem oligocenu i početkom miocena (Bahun, 1973 i Prelogović, 1989). Zadnja faza tektonike (*neotektonska faza*) obuhvaća ponovno intenziviranje tektonskih pokrete u pliocenu i kvartaru (Prelogović i Kranjec, 1983 i Prelogović, 1989), kada se aktiviraju uzdužni rasjedi uz izraženu horizontalnu komponentu kretanja (desni pomaci duž pružanja), osobito vidljivi u području Velebita.

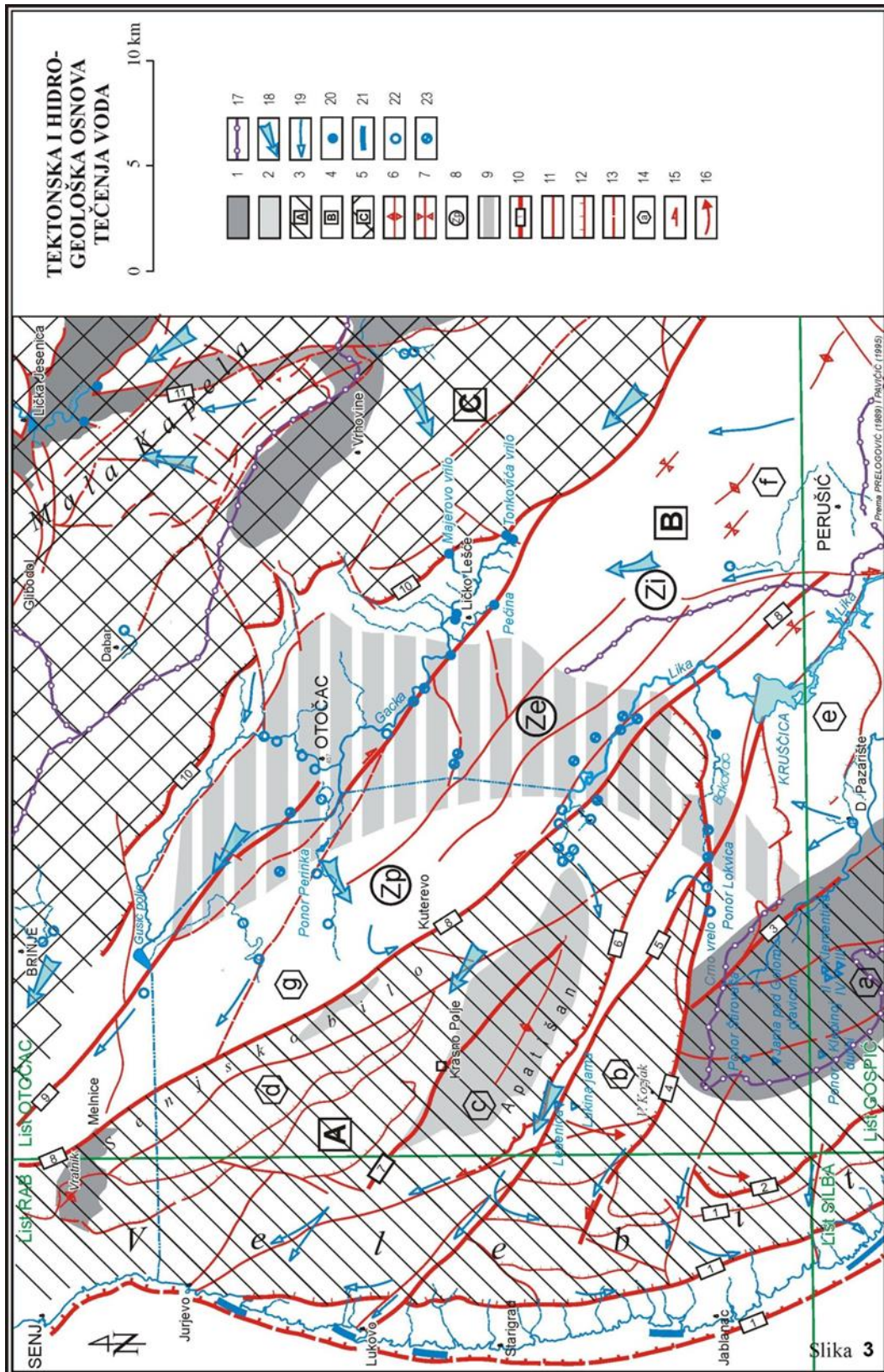
Primarno reversni rasjedi orijentirani SI-JZ, reaktivirani u neotektonskoj fazi uz desno transkurentno kretanje su dominantno kompresijski. Uz desne transkurentne rasjede tijekom transpresije prostora stvaraju se i njima poprečno orijentirani sustavi rasjeda (SSI-JJZ, S-J). Ovi rasjedi su generalno manje perzistencije u prostoru, te imaju ekstenzijski karakter. Ekstenzijski ili kompresijski karakter rasjeda i rasjednih zona u velikoj mjeri uvjetuje njihovu hidrogeološku funkciju. Transkurentni rasjedi u režimu kompresije stvaraju uspore tečenju podzemne vode, te dijelom usmjeravaju tok vode duž svog pružanja, uz istovremeno disperzirano propuštanje poprečno pružanju. Ovo za posljedicu može imati pojavu grananja (bifurkacija) podzemnih tokova, što se očituje i u rezultatima trasiranja podzemnih tokova u široj okolici. Poprečni rasjedi u režimu ekstenzije predstavljaju provodne elemente koji olakšavaju okršavanje i stvaranje provodnih kanala u podzemlju, te tako utječu na pojavu podzemnih tokova poprečno na orijentaciju dominantnih struktura na terenu.

Regionalnim rasjedima teren je podijeljen u više tektonskih jedinica unutar kojih su izdvojene manje strukturne jedinice karakterističnog litostratigrafskog sastava i specifičnih tektonskih obilježja. Prostorni položaj i hidrogeološke karakteristike stijena unutar ovih strukturnih jedinica utječu na regionalne i lokalne hidrogeološke funkcije terena i značajke okršivosti terena. Na regionalne značajke tokova podzemne vode i recentnog okršavanja najvažniji utjecaj predstavljaju regionalni neotektonski rasjedi koji formiraju granice struktura i lokalnih tektonskih blokova.

Premda u geološkoj građi terena prevladava duboka tangencijalna i reversna tektonika, hidrogeološki odnosi mogu se tumačiti na osnovi površinskog pružanja struktura. Naime, dinamika krških podzemnih voda vezana je uz razmjerno plitki dio terena (u usporedbi s dubinom navlačnih struktura), te duboka tangencijalna tektonika nema u većoj mjeri utjecaj na hidrogeološke značajke.

Obradom postojeće dokumentacije (podaci OGK, geofizika, fotogeologija) i terenskim istraživanjem prikupljeni su podaci na osnovi kojih su načinjene strukturno

tektonske karte (Prelogović, 1989, Pavičić, 1995, Pavičić i sur., 1997) iz kojih je izrađena skica tektonskih i hidrogeoloških odnosa (slika 2.3.2).



Slika 2.3.2. Skica tektonskih i hidrogeoloških odnosa (Pavičić i sur., 1997)

Legenda uz sliku 2.3.2: 1 Potpuna hidrogeološka barijera; 2 Nepotpuna ili relativna hidrogeološka barijera; 3A Borane strukture s dubokim navlakama (Velebit); 4B Relativno mirne borane strukture (Ličko sredogorje i područje Melnice – Kuterevo); 5C Navlačne i reversne strukture (Mala Kapela); 6 Uspravna antiklinala; 7 Uspravna sinklinala; 8. Hidrogeološke zone: Zi zona izvora; Ze zona estavela Zp zona ponora; 9 Zona estavela; 10 Najvažniji rasjedi: 1 rasjedi iz zone velebitskog rasjeda; 2 Brušansko-oštarijski ; 3 Lički; 4 Bakovački; 5 Lukovo – Lomska Duliba – Bakovac; 6 Resnik – Veliki Duman; 7 Krasno – Lipovo polje; 8 Vratnik – Senjsko bilo – Perušić; 9 Brlog – Gacka (Žuta Lokva – Otočac – Udbina); 10 Mala Kapela – Ljubovo; 11 Jesenica – Jurjeva draga; 11 Normalni rasjed; 12 Reversni rasjed; 13 Pretpostavljeni rasjed; 14 Tektonski blokovi: a) Mlinište – Štirovača – Trnovac; b) Kozjak; c) Apatišani; d) Senjsko bilo – Vratnik; e) Pazarište – Lika); f) Kosinj – Perušić; g) Melnice – Kuterevo; 15 Smjer horizontalnog pomaka; 16 Smjer rotacije struktura; 17 Razvodnica; 18 Generalni smjer tečenja voda; 19 Tečenje vode uz rasjede; 20 Veći izvor slatke vode; 21 Glavne zone istjecanja u more – bočati izvori i vrulje; 22 Ponor; 23 Estavela.

Na slici 2.3.2 izdvojene su najvažnije neotektonske strukture, rasjedi i rasjedne zone, te su istaknute osnovne hidrogeološke funkcije terena:

- A – razlomljene borane strukture s dubokim navlakama (Velebit),
- B – relativno mirne borane strukture (Ličko sredogorje - južni i jugozapadni dio)
- C – navlačne i reversne strukture (Mala Kapela i Ličko sredogorje – sjeverni i sjeveroistočni dio).

Borane strukture s dubokim navlakama: dominira planinski masiv Velebita, navlačna struktura koja se nalazi u reversnom, navučenom odnosu prema strukturama Adrijatika. Zapadna njegova granica vezana je uz regionalni Velebitski rasjed (Prelogović, 1989) koji prolazi Velebitskim kanalom, a istočno su rasjedi Vratnik – Senjsko bilo – Perušić i Lički rasjed. Unutar planinskog masiva Velebita izdvojene su dvije strukturne jedinice: Velebit i Senjsko bilo – Krasno, unutar kojih je izrazitim dijagonalnim rasjedima izdvojeno više tektonskih blokova. U Senjskom bilu su dijagonalnim rasjedima odvojeni tektonski blokovi Senjsko bilo – Vratnik, Apatišan i Kozjak. U hidrogeološkom smislu osobito je važan prodor eruptiva i gornjotrijaskih dolomita u području Vratnika te antiklinalna struktura Apatišan koja, s gornjotrijaskim i donjojurskim dolomitnim naslagama u jezgri, ima uspornu funkciju, odnosno funkciju djelomične barijere. Uloga Apatišanske antiklinalne odražava se na tokove podzemnih voda u širem dijelu Lipovog polja (pojava povremenih izvora, estavela i povremenog plavljenja polja). Strukturna jedinica Velebit dio je velebitskog masiva južno od Bakovca, koji je jugozapadno krilo velike bore navučene u prvoj fazi, a nakon toga dezintegrirane neotektonikom radijalnog karaktera u više tektonskih blokova. Velebitska struktura po cijelom svom pružanju ima funkciju kompleksne hidrogeološke barijere koja sprečava podzemno otjecanje iz velebitskog zaleđa prema moru. Barijerna funkcija Velebita uzrokovana je naslagama nepropusnih paleozojskih i trijaskih naslaga u jezgri (Pazarište, Brušani, Trnovac) i kontinuiranog protezanja gornjotrijaskih dolomita u krovini. Sjeverno od regionalnog poprečnog rasjeda u Bakovačkoj dolini spuštene su nepropusne trijasko naslage, pa prestaje hidrogeološka funkcija barijere, što se očituje u prestanku zone izvora i pojavi estavela i ponora u smjeru Lipovog polja.

Relativno mirne borane strukture obilježavaju dio između Senjskog bila i Velebita na zapadu i Male Kapele na sjeveroistoku. To je teren nešto jednostavnije strukturne

građe. Izražen je niz normalnih bora dinarskog pružanja, a na širem istraživanom području se mogu izdvojiti tri tektonska bloka:

a) Sjeverozapadno od linije Kosinjski – izvorište Gacke je područje/tektonski blok omeđen izrazitim uzdužnim rasjedima uz Senjsko bilo i Gacko polje. Nalazi se u zaleđu reversnih-navlačnih struktura Velebita, uz dominantni smjer pružanja SZ-JI. Ovaj blok izgrađen je od vodopropusnih karbonatnih stijena jure i vapnenačkih breča tercijarne starosti. Unutar ovog područja može se izdvojiti zona s estavelama, koja se proteže između zone s izvorima (Kosinjsko polje, izvorište Gacke) i zone s ponorima u području Bakovca, Like (Lipovo polje nizvodno od Selišta) i Gacke nizvodno od Otočca. U području estavela i ponora su rijeke Lika (u Lipovom polju nizvodno od Kosinjskog mosta) i Gacka (nizvodno od utoka Kostelke kod Čovića) veći dio godine *višeći* vodotoci.

Recentni stres uz dominantno desni transkurentni tektonski transport duž najvažnijih rasjeda uz sjeverozapadni rub Gackog polja (rasjed Žuta Lokva – Otočac – Udbina) i paralelni rasjedi s povoljnom orijentacijom prema stresu ($20^\circ - 40^\circ$) dovode do otvaranja prostora i nastanka struktura tipa *pull-a-part* s odlikama graba i polugraba. One morfološki odgovaraju krškim poljima i velikim ponikvama. Na taj način je protumačen nastanak međugorskog dijela Gackog polja i pojava jakih krških izvora u izvorišnom dijelu polja.

b) Područje između Kosinjski i Perušića (istočno od rijeke Like) izgrađuju kredne naslage, a samo manjim dijelom i vapnenačke breče. Na Osnovnoj geološkoj karti ovdje su rekonstruirane uglavnom blage bore dinarskog pravca pružanja, a od rasjedne tektonike prevladavaju normalni uzdužni i dijagonalni rasjedi. Teren pripada propusnom području uglavnom bez površinskih tokova uz iznimku povremenih tokova u Perušićkom polju.

c) Područje između Pazarišta i Like izgrađeno je najvećim dijelom iz naslaga jure i krede, te vapnenačkih breča.

Navlačne i reversne strukture: ovdje pripada planinsko područje - navlačna struktura Mala Kapela. Ovo područje obilježavaju relativno blage bore i pretežno vertikalni rasjedi manjih skokova kojima je teren podijeljen na više blokova. Istaknuta tektonska linija Bunić – izvor Gacke vezana je uz neotektonske pokrete kojima je prethodilo reversno kretanje nakon taloženja eocenskih naslaga. Teren istočno od spomenutog rasjeda izgrađuje razlomljena antiklinala s lijaskim i dogerskim naslagama u jezgri, te malmskim dolomitima u krilima.

Zapadna granica strukturne jedinice Mala Kapela reversnog je karaktera koja se u području strukture Ličko sredogorje poklapa s uzvišenjem u terenu od Gackog polja do Ljubova. U sjeverozapadnom dijelu granica je vjerojatno također reversnog karaktera i može se slijediti od Zalužnice preko Doljana i Drenovog klanca do Prokika zapadno od Brinja (slika 2.3.2).

2.3.4 Hidrogeološke značajke pojedinih vrsta stijena

Na razmatranom terenu su s hidrogeološkog pogleda prema vodopropusnosti izdvojene četiri grupe stijena i naslaga (neobjavljeni List i Tumač OHGK Otočac, slika 2.3.3, 2.3.4 i 2.3.5).

1. Karbonatne stijene u kojima prevladavaju vapnenci – dobro propusne;
2. Karbonatne stijene s pretežno dolomitnim sastavom – osrednje propusne;
3. Karbonatne stijene dolomiti i dolomitne breče, vapnenci s rožnacima – slabije propusne;
4. Nevezane i slabo vezane aluvijalne i proluvijalne naslage – naizmjenične propusnosti.

U *dobro propusne* stijene uvršteni su vapnenci, vapnenačke breče te vapnenci i dolomiti naizmjenice. Ovdje spada debeli kompleks karbonatnih naslaga taložen od srednjeg trijasa do paleogena. Litološki sastav ovih naslaga, uz utjecaj tektonike, omogućio je površinsko i podzemno okršavanje te razvoj mreže podzemnih vodenih putova (u obliku proširenih pukotina ili otvorenih i povezanih sustava krških kanala).

Kao *osrednje propusne* stijene izdvojeni su:

a) pločasti i glinoviti vapnenci, dolomiti i vapnenci, vapnenci s rožnacima, konglomerati, koji su taloženi od trijasa do donje krede.

b) vapnenačke breče u kojima se vertikalno i lateralno s vapnenačkim brečama izmjenjuju konglomerati, kalkareniti i, često, manje leće glinovito-laporovitog materijala.

Propusnost u naslagama izdvojenim pod (a) se smanjuje s udjelom glinovite komponente ili prevladavanjem dolomita u sastavu. Ove naslage izgrađuju teren u području jugozapadnog Velebita istočno od Gackog polja u području Vrhovine – Rudoplje te dio Male Kapele.

Hidrogeološke značajke vapnenačkih breča (b) – na temelju ranijih istraživanja (Bahun i Fritz, 1975) došlo se do zaključka da vapnenačke breče treba tretirati različito od ostalih, propusnih karbonatnih naslaga. Bahun im 1962. godine daje naziv Jelar naslage, a u novijoj literaturi se nazivaju Velebitskim brečama (Velić i Velić, 2009). To su vapnenačke polimiktne klastotoporne breče, a klasti su uglati i gotovo isključivo izgrađeni od vapnenca (Grgasović, 2010). Ove naslage nemaju svugdje iste hidrogeološke značajke zbog prisutnosti breča s laporovitim vezivom i leća lapora (Bahun i Fritz, 1975). Tereni izgrađeni od ovih breča specifični su po vrlo dobro razvijenim površinskim i podzemnim krškim formama, ali u cjelini često predstavljaju relativno slabije propusnu sredinu. Ove naslage izgrađuju najveći dio terena uz tokove rijeka Like i Gacke te Lipovog polja i dalje uzduž doline Bakovca sve do mora.

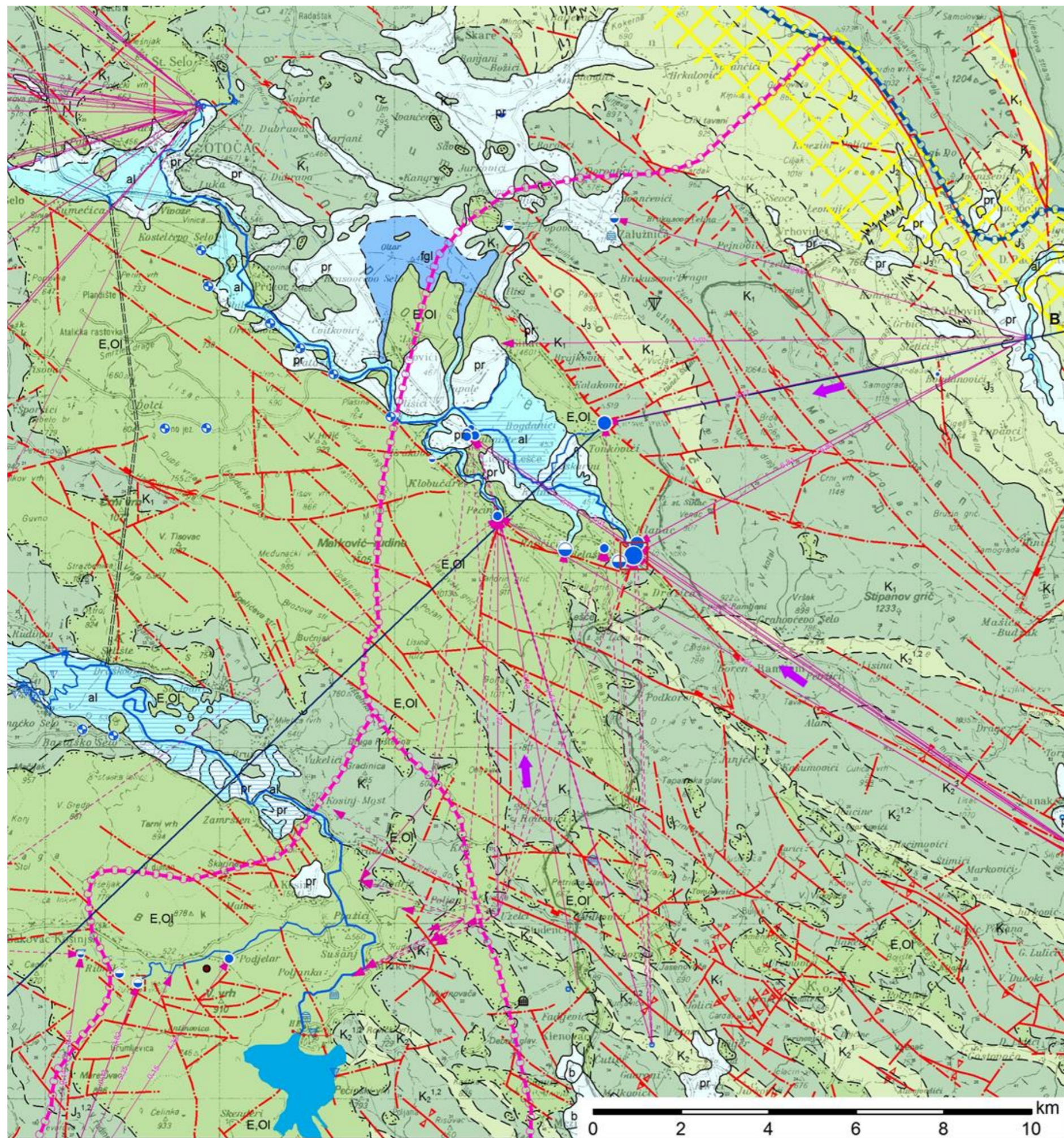
U *slabije propusne* stijene uvršteni su dolomiti, dolomiti i dolomitne breče i pločasti vapnenci s rožnacima. Na mjestima gdje im je debljina veća, ove naslage mogu stvarati podzemne uspore i lokalne hidrogeološke barijere, te se uz njih često veže položaj hidrogeoloških razvodnica. Slabije propusne naslage pojavljuju se u području antiklinalnih struktura i navlaka u području masiva Velebita i Male Kapele.

S obzirom na rasprostranjenost dolomita u slivu Gacke, te tradicionalno tumačenje njihove funkcije isključivo kao barijerne, hidrogeološkim svojstvima dolomita treba posvetiti dodatnu pažnju. Gornjojurski dolomiti u slivu Gacke pretežno su kasnodijagenetskog tipa, što uvjetuje intenzivnu razlomljenost njihove stijenske mase. Na površini terena ove stijene razmjerno brzo se mehanički troše, što se očituje izostankom izdanaka te zaobljenim reljefnim formama. Produkti mehaničkog trošenja (dolomitni pijesak) zapunjavaju korozijski proširene pukotine u podzemlju, što je

najjače izraženo unutar epikrške zone, odnosno površinske zone intenzivnog trošenja. S druge strane, smanjena propusnost epikrške zone, uz istovremeno intenzivnu razlomljenost stijene povećava kapacitet uskladištenja vode u dolomitima u odnosu na vapnence. Zbog toga vodonosne sustave koji se prihranjuju dominantno iz dolomitnih stijena karakterizira ujednačeni režim istjecanja, uz razmjerno manju izdašnost u maksimumima, ali i veću izdašnost u minimumima. Uz bolju mogućnost regulacije protoka tijekom godine, također je i ranjivost sustava od zagađenja u dolomitima smanjena uslijed smanjene komponente vode kratkog zadržavanja unutar sustava. Zbog ovih razloga vodonosni sustavi razvijeni u dolomitnim stijenama generalno imaju povoljnije značajke za potrebe vodoopskrbe (npr. Koreničko vrelo čiji sliv graniči sa slivom Gacke).

U slučaju izmjena vapnenaca i dolomita, zbog veće brzine okršavanja krški kanali dominantno se stvaraju unutar vapnenačkih dijelova stijenske mase. Ipak, u slučaju povoljnih uvjeta u dolomitnim stijenama je također moguć razvoj sustava provodnih krških kanala. Treba naglasiti da odsustvo tipične krške morfologije na površini terena ne mora značiti i odsustvo krških kanala u podzemlju. Uslijed razmjerno brzog mehaničkog trošenja na površini terena u dolomitima se najčešće formira nekrški (fluvijalni) reljef. Ipak, odsustvo tipično krškog reljefa na površini ne isključuje procese okršavanja u podzemlju. Zbog toga pojave dolomita nije opravdano tumačiti kao barijere podzemnom tečenju, već kao moguće uspore. Ovu činjenicu potvrđuju i rezultati trasiranja sa obližnjeg Vrhovinskog i Trnavačkog polja, s kojih su utvrđene vodne veze prema izvorima Gacke poprečno pojavama dolomitnih stijena na terenu, uz razmjerno visoke brzine podzemnog toka.

Kao *naslage s naizmjeničnim osobinama* izdvojene su kvartarne naslage kojih vodopropusnost varira o sastavu. Te naslage su istaložene uz korita rijeka u depresijama krških polja (Ličko, Gacko, Vrhovinsko). Uslijed male debljine, one uglavnom ne utječu na regionalne smjerove kretanja podzemnih voda. U pojedinim dijelovima polja vodeni tokovi su *višeći* (iznad razine podzemne vode - rijeka Lika u Lipovom polju, Gacka nizvodno od Čovića) uslijed funkcije kvartarnih naslaga/pokrivača.



Slika 2.3.3. Isječak iz neobjavljenog lista OTOČAC, Osnovne hidrogeološke karte RH (autori Lukač Reberski, J., Pavičić, A., Stroj, A., Marković, T.)

VRSTA STIJENA	LITOLOŠKI SASTAV I STRATIGRAFSKA PRIPADNOST		HIDROGEOLOŠKA SVOJSTVA		DUBINA DO KRŠKOG VODONOSNIKA (m)	OZNAKA		
	NAZIV I OPIS	STRATIGRAFSKA PRIPADNOST	OPIS	VODO- PROPUSNOST		NA KARTI		NA STUPU I PROFILU
						VODONOSNIK NA POVRŠINI TERENA	U PODLOZI	
NEVEZANE	KLASTIČNE (KVARTARNE)	šljunak, pijesak s proslojcima gline	al	međuzrnska nema vodonosnika ili vodonosnici ograničenog prostranstva	osrednja			
		glina, prah	b		slaba do vrlo slaba			
		glina prašnjasta i pjeskovita s kršjem	d					
		šljunci, ilovača, pijesci	pr					
		valutice, pijesak	fgl		osrednja do dobra			
PROPUSNE	Č K A R B O N A T N E	dolomiti i dolomitizirane breče	K ₂ ¹	pukotinska mjestimično krški vodonosnici	slaba			
		dolomit s rijetkim ulošcima vapnenca	K ₁					
		dolomiti s lećama vapnenca	J ₃					
		dolomiti i vapnenački dolomit	J ₂					
		dolomiti	T ₃ ^{2,3}					
		vapnenci i dolomiti dobro uslojeni	J ₁ ^{1,2}	kavernozno pukotinska	osrednja			
		vapnenci, dolomitični vapnenci i dolomiti pločasti	J ₁ ⁴					
		vapnenačke breča, konglomerat, lokalno laporovito vezivo	E, OI					
		vapnenci debelo uslojeni	K ₂ ³	kavernozno pukotinska i krški vodnosnici	dobra			
		vapnenci gromadasti	K ₂ ^{1,2}					
		vapnenci i vapnenačke breče	K ₁					
		vapnenci	J ₃ ^{2,3}					
		vapnenci s proslojcima dolomita	J ₃ ^{1,2}					
		vapnenci i dolomiti	J ₂					
		vapnenci i dolomiti	J ₁ ³					
		vapnenci sa rijetkim lećama dolomita	T ₂ ²					
		NEPROPUSNE	KLASTIČNE I KARBONATNE	breče, konglomerati, tufitični klastiti pješnjaci	T ₃ ^{1,2}	međuzrnska i pukotinska mjestimični vodonosnik	vrlo slaba	
tufovi i tufitični klastiti	0 T ₂ ²							

Slika 2.3.4. Tumač oznaka uz sliku 2.3.3

VODNE POJAVE

a)	b)	
•	•	< 0.1
•	•	0.1-1
•	•	1-10
•	•	10-100
•	•	100-1000
•	•	≥ 1000
•	•	Nepoznata

stalni izvor slatke vode, najmanja izdašnost (l/s)

(a) - oznaka za pojedinačni objekt
(b) - oznaka za grupu objekata

•	<1
•	1-10
•	10-100
•	100-1000
•	Nepoznata

povremeni izvor (slatke vode ili neodređene slanosti) najmanje izdašnosti (l/s)

Estavela, izdašnost nepoznata

VODNE GRAĐEVINE

□	0.1-1
□	1-10 i nepoznata izdašnost
□	10-100
□	0.1-1
■	1-10 i nepoznata izdašnost
■	10-100
□	≥ 1000
○	Pitka istražna bušotina
◇	Opažajući objekt (pjezometar)
—•—•—•—	Injekcijska zavjesa

GEOLOŠKE OZNAKE

—	Normalna litostratigrafska granica
- - -	Pretpostavljena litostratigrafska granica
.....	Erozijsko diskordantna granica
—•—•—•—	Pretpostavljena erozijsko diskordantna granica
△	Os uspravne ili kose antiklinale sa smjerom tonjenja
▽	Os uspravne ili kose sinklinale sa smjerom tonjenja
—	Normalan ili neodređeni rasjed
- - -	Pretpostavljeni rasjed
~ ~ ~	Rasjedna zona
—+—+—+—	Čelo navlake
—•—•—•—	Fotogeološki utvrđen rasjed
—■—	Relativno spušten blok

PODATCI O PODZEMNIM VODAMA

—•—	Neutvrđena podzemna veza
—•—	Dokazana podzemna veza s prividnom brzinom (cm/s)
—•—	Smjer kretanja podzemne vode pri visokim vodama
—•—	Jaruga, povremen tok
—•—	Kanal, stalna voda
—•—	Potok
—•—	Rijeka 5-50 m
=====	Tunel HE, odvodni tunel

GEOMORFOLOŠKE OZNAKE

○	Stalan ponor
○	Povremeni ponor
▭	Manja špija, ponor povremen ili neodređeno trajanje
▭	Veća špija, ponor povremen ili neodređeno trajanje
▭	Manja špija, stalna voda
▭	Veća špija, stalna voda
▭	Manja špija, voda povremeno ili neodređeno trajanje
▭	Veća špija, voda povremeno ili neodređeno trajanje
▭	Manja jama, ponor povremen ili neodređeno trajanje
▭	Veća jama, ponor povremen ili neodređeno trajanje
▭	Manja jama, stalna voda
▭	Veća jama, stalna voda
▭	Manja jama, voda povremeno ili neodređeno trajanje
▭	Manja špija
▭	Veća špija
▭	Manja jama
▭	Veća jama

▭▭▭▭▭▭▭▭▭▭	Plavne površine
▭▭▭▭▭▭▭▭▭▭	Jezera
—•—•—•—	Zonarna podzemna razvodnica
—•—•—•—	Linijaska podzemna razvodnica

BARIJERE

▭▭▭▭▭▭▭▭▭▭	Djelomična podzemna barijera
▭▭▭▭▭▭▭▭▭▭	Potpuna podzemna barijera

Slika 2.3.5. Tumač oznaka uz sliku 2.3.3

Hidrogeološki stup naslaga napravljen na temelju geološkog stupa (Velić i sur., 1974) i hidrogeoloških značajki naslaga, nalazi se na slici 2.3.6.

List: OTOČAC
HIDROGEOLOŠKI STUP

A. Velebit - Janče - Ramljane

STAROST	STRATIGRAFSKI ČLANOVI	DEBLJINA (m)	LITOLošKI SASTAV	HIDROGEOLOŠKA SVOJSTVA STIJENA	
TERCIJAR	E, O1	0-300	Vapnenačke breče, leče konglomerata.	Stijene pukotinsko-kavernozne poroznosti, dobre do osrednje vodopropusnosti.	
K R E D A	Gornja	K ₂ ³	300	Vapnenci	Dobro okršene stijene visoke vodopropusnosti. Pukotinsko-kavernozna poroznost.
		K ₂ ^{1,2}	600	Vapnenci	Dobro okršene stijene visoke vodopropusnosti - osnovni vodonosnici krških podzemnih voda. Pukotinsko-kavernozna poroznost.
	Donja	K ₂ ¹	150	Dolomiti i dolomitne breče	Stijene pukotinsko-kavernozne poroznosti, slabe okršenosti
		K ₁	800	Vapnenci i vapnenačke breče - slabo uslojene stijene	Stijene pukotinsko-kavernozne poroznosti, visoke vodopropusnosti. Osnovni vodonosnici krških podzemnih voda.
R A	M a i m	J ₃ ^{2,3}	1000	Dolomiti s lećama dolomita Vapnenci	Stijene pukotinske poroznosti, no zbog prevladavajuće dolomitne komponente slabije vodopropusne. Dobro okršene stijene visoke vodopropusnosti. Pukotinsko-kavernozna poroznost.
		J ₃ ^{1,2}	500	Vapnenci i dolomiti	Stijene pukotinsko-kavernozne poroznosti zbog prevladavajuće vapnenačke komponente dobre vodopropusnosti.
	D o g e r	J ₂	700	Vapnenci s ulošcima dolomita i vapnenačkih breča.	Dobro okršene stijene visoke vodopropusnosti. Pukotinsko-kavernozna poroznost.
		L i j a s	J ₁ ¹	140	Mrljasti vapnenci i dolomiti.
J ₁ ³	260		Vapnenci	Dobro okršene stijene visoke vodopropusnosti.	
J ₁ ¹⁺²	250		Vapnenci i dolomiti	Stijene pukotinsko-kav. poroznosti zbog prevladavajuće vapnenačke komponente.	
T R I J A S	Gornji	T ₃ ^{2,3}	250	Dolomiti	Slabo propusne stijene, pukotinsko-kav. poroznost.
		T ₃ ^{1,2}	0-200	Brečokonglomerati i tufitični klastiti	Nepropusne - propusne do stanovite dubine, pukotinska i međuzmska poroznost.
Srednji	D o g e r	T ₂ ^{1,2}	cca 700	Leče klastita s tufovima, tufitima i vapnenačkim tufitičnim sedimentima Vapnenci	Nepropusne - propusne do stanovite dubine, pukotinska i međuzmska poroznost. Dobro okršene stijene visoke vodopropusnosti. Osnovni vodonosnici krških podzemnih voda.

B. Vrhovine - Dabar

K R E D A	Gornja	K ₂ ^{1,2}	300	Vapnenci	Dobro okršene stijene visoke vodopropusnosti. Osnovni vodonosnici krških podzemnih voda.
		K ₂ ¹	150	Dolomiti i dolomitne breče	Stijene pukotinsko-kav. poroznosti zbog prevladav. dolomitne komponente smanjene vodopropusnosti.
	Donja	K ₁	800	Vapnenci i vapnenačke breče	Dobro okršene stijene visoke vodopropusnosti. Osnovni vodonosnici krških podzemnih voda.
		K ₁	200	Dolomiti	Slabo propusne stijene - pukotinsko-kav. poroznost.
J U R A	M a i m	J ₃	1200	Dolomiti s lećama vapnenaca	Stijene pukotinsko-kav. poroznosti no zbog prevladavajuće dolomitne komponente niske okršenosti i vodopropusnosti.
		J ₂	400	Dolomiti	Stijene pukotinsko-kav. poroznosti niske okršenosti i vodopropusnosti.

Slika 2.3.6. Hidrogeološki stup (preuzeto iz neobjavljenog lista OTOČAC, Osnovne hidrogeološke karte RH, autori Pavičić, A., Stroj A.)

2.3.5 Hidrogeološke značajke slivova Like i Gacke

Detaljna hidrogeološka istraživanja provedena u okviru ovog projekta bila su usmjerena prvenstveno na sliv Gacke, dok je sliv Like obuhvaćen hidrološkim analizama. Ipak, ovdje su u glavnim crtama opisane značajke oba sliva, s ciljem boljeg razumijevanja posljedičnih hidroloških značajki. Sliv rijeke Like razdvojen je od sliva Gacke uzvodno od Lipovog polja i Kosinja. Zbog miješanja podzemnih voda nizvodno od ponornih zona Like i Gacke, slivove pojedinih priobalnih izvora Velebitskog kanala nije moguće zasebno izdvajati, te se slivovi Like i Gacke na ovom području spajaju u zajednički krški sustav. Stoga je kompletno područje u zaleđu priobalnih izvora (planinski teren Velebita i Senjskog bila, ponorna područja Like i Gacke) uvršteno u neposredni sliv priobalnih izvora i vrulja. Sva voda koje padne u obliku oborina na ovo područje infiltrira se u duboko okršeni vodonosnik te zajedno s ponornim vodama Like i Gacke otječe podzemljem kroz Velebitski masiv prema moru (slika 2.3.3).

2.3.5.1 Sliv rijeke Like

Rijeka Lika izvire kod Medka na južnom rubu Ličkog polja i tvori stalan tok sve do Lipovog polja gdje ponire u više morfološki istaknutih ponora. Zapadni pritoci Like vezani su uz pretežno površinsko i potpovršinsko otjecanje unutar lokalnih razvodnica formiranih na nekrškim terenima istočnih obronaka Velebita (područje Velebitske hidrogeološke barijere, Pavičić 1974 i 1984), koje uglavnom znatnije ne odstupaju od topografije terena. Istočna pritoka Jadova prihranjuje se krškim izvorima u istočnom rubu Ličkog polja, čiji sliv obuhvaća područje Ličkog sredogorja između Krbave i Like. Ukupna površina sliva Like uzvodno od akumulacijskog jezera Kruščica iznosi 975 km².

Prema podacima za razdoblje 1970. – 1995. godine, srednji godišnji dotok Like u Kruščicu iznosio je 24,2 m³/s, dok je na nizvodnom profilu Selište uzvodno od ponora u Lipovom polju iznosio 27,3 m³/s. Neravnomjerna raspodjela oborina tijekom godine uz pretežno površinsko otjecanje zapadnih pritoka, kao i velike oscilacije krških izvora Jadove daju ovom vodotoku izrazito bujični karakter. Tome svjedoče vrijednosti minimalnog, srednjeg i maksimalnog protoka izmjerene na vodomjernoj postaji Sklope u razdoblju od 1951. do 2005.: 0 (suho) m³/s, 24,7 m³/s i 729 m³/s (Bonacci i Andrić, 2009).

Granica sliva rijeke Like prema izvorišnom dijelu Gacke prolazi područjem Studenci – Krš gdje je razvodnica definirana na osnovi opažanja razine podzemne vode u piezometrima, te provedenim trasiranjima iz piezometara (Pavičić i Renić, 1988). Iz piezometara LG-5 dokazana je veza s izvorom Pećina i Vreline u desnom boku Like. Trasiranjem otjecanja iz piezometra LG-15 potvrđena je veza s izvorima u slivu Mlakvenog potoka, desnog pritoka Like. Trasiranjem iz piezometra K 1-1 dokazana je veza s izvorom Pećina u dolini Gacke.

U području Perušića, zbog izostanka stalnih izvora u desnom boku korita uzvodno od Kaluđerovca, ne isključuje se povremeno otjecanje podzemnih voda prema slivu rijeke Gacke. Na području Perušićkog polja trasiranjem su dokazane veze ponora Mezinovac (Ponorci, Žmirića ponor) kod Studenaca i ponora Kotao kod Kvarti s izvorom Pećina (Kostelka) uz lijevi bok izvorišta Gacke (Turner, 1957, Pavičić i Dolić, 2003).

Sliv Like je, kao posljedica završetka funkcije velebitske barijere na bakovačkom rasjedu, *otvoren* prema Lipovom polju. Unutar ovog područja izgrađen od propusnih

paleogenskih, jurskih i krednih naslaga, može se izdvojiti zona s estavelama koja se proteže između zone s izvorima (Kosinjsko polje, izvorište Gacke) i zone s ponorima (neposredni sliv priobalnih izvora i vrulja od područja Bakovca preko Lipovog polja nizvodno od Selišta do Gackog polja zapadno od Švice i Gusić polja, slika 2.3.2). U području estavela i ponora i Lika i Gacka su veći dio godine *višeći* vodotoci. Korita rijeka su ovdje usječena u kvartarne naslage ili su pukotine u stijenama neposredne podine kolmirane. Na pojedinim mjestima u toj zoni otvaraju se ponori s ograničenim uviranjem, a razina podzemne vode je više desetaka metara niža od vode u koritu površinskog toka (piezometar O-5 u Lipovom polju).

U dolini Bakovca postoji lokalna razvodnica kojom se može odvojiti područje uzvodnog dijela doline, odakle se vode gube podzemljem prema moru, od donjeg dijela toka gdje se vode dreniraju prema rijeci Lici. U vrijeme visokih voda formira se lokalna razvodnica između Kosinjskog i Lipovog polja. U to vrijeme aktivni su povremeni izvori uz sjeverni rub Kosinjskog i južni rub Lipovog polja.

2.3.5.2 Sliv rijeke Gacke

Gacka je kratak vodotok ukupne duljine samo 22 km i do profila Čovići površina sliva je 516 km². Izvorište Gacke nalazi se na oko 460 m n.m. Glavnina vode dolazi iz izvorišnog dijela kojega čine izvor Tonković, Klanac i Majerovo vrelo te još neki manje izdašni izvori. Lijevi, najvažniji pritok je Kostelka s izvorom Pećina, a ulijeva se nizvodno od mosta u Čovićima. Ostali važniji pritoci su vodotoci koji se formiraju nizvodno od izvora Pucirep, Knjapovac i Begovac. Uzvodno od Čovića s lijeve strane korita rijeke nalazi se skupina stalnih izvora: Jaz, Marusino vrelo i Graba. U mjestu Vivoze rijeka Gacka se račva na južni krak koji vodi do čvorišta Šumečica, i na sjeverni krak koji prolazi kroz grad Otočac. U prirodnom je stanju rijeka Gacka ponirala u Gackom polju u nizu ponora na visini od oko 430 m n.m. Zahvat rijeke Gacke, u svrhu hidroenergetskog iskorištenja, rezultirao je reguliranjem korita te skretanjem njezina prirodnog toka branom Šumečica.

Sliv izvorišta Gacke je tipičan krški sliv. Najveći dio sliva izvorišnog dijela Gacke izgrađen je od dobro propusnih ili osrednje propusnih karbonatnih stijena – vapnenaca, vapnenaca i dolomita naizmjenice, te vapnenačkih breča različitih litostratigafskih članova od lijasa do paleogena. Oborine koje padnu na površinu okršenog terena velikim se dijelom infiltriraju u krško podzemlje. Površinski tokovi nalaze se samo u depresijama, ispunjenim kvartarnim naslagama, te u terenu izgrađenom od dolomita. Stalnih površinskih tokova, osim rijeke Gacke i Babinog potoka, u ostalom dijelu sliva nema. Manji tokovi, Čanak i Kozjan u gorskom dijelu sliva, lokalnog su karaktera i s krškom podzemnom vodom povezani su preko ponora. Povremeni površinski vodotoci su potoci Mizimovac i Jaruga u Perušićkom polju. I oni poniru, a u sušnoj sezoni predstavljaju tzv. *višeće tokove*.

Unutar sliva rijeke Gacke po hidrogeološkim značajkama bitno se razlikuju izvorišno područje bogato vodom tijekom cijele godine i nizvodni tok rijeke koji pripada estavelskom i ponornom području, gdje je Gacka tijekom većeg dijela godine *višeći* tok, a razina podzemne vode je nekoliko desetaka metara ispod površine. Pojava jakih krških izvora na izvorištu Gacke dosad je povezivana ponajprije s hidrogeološkom funkcijom barijere relativno spuštenog tektonskog bloka izgrađenog od Jelar naslaga (Fritz i Pavičić 1975, Biondić 1981, Pavičić i sur. 1984). Regionalni transkurentni rasjed i rasjedna zona uz zapadni rub Gackog polja uvjetuje generalni smjer tečenja podzemne vode unutar sliva. Tečenje okomito na taj rasjed otežano je te su njime

razdvojeni izvori uz zapadni rub polja (Pećina, Pucirep, Begovac) od izvora u jugoistočnom (Tonković, Klanac i Majerovo vrelo).

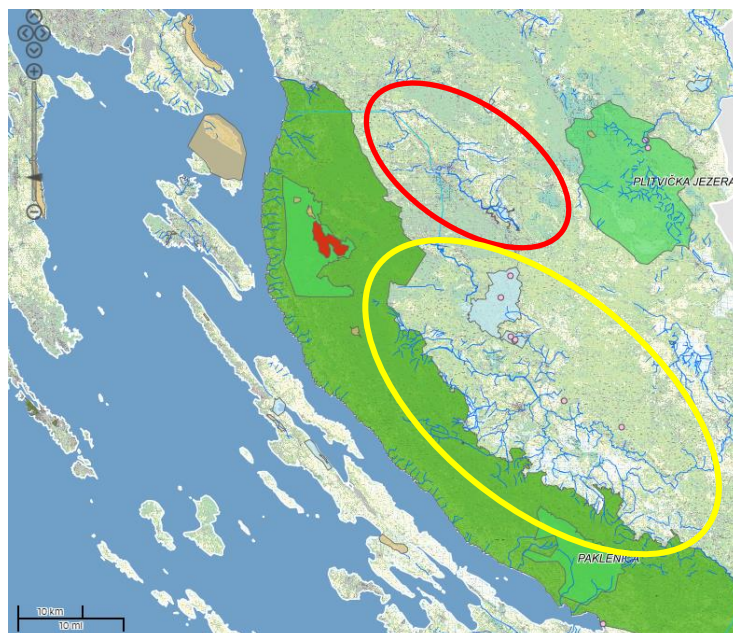
Jaki krški izvori kod motela u Ličkom Lešću uzvodno od mosta u Čovićima (Jaz, Marusino vrelo i Graba), po genezi, dotoku vode i slivu, vezani su uz grupu glavnih izvora uz istočni rub polja. Do danas nije u potpunosti riješen *mehanizam* dotjecanja vode na ove izvore, ali je sigurno da vodu dobivaju iz udaljenih dijelova sliva uzduž *izoliranih* podzemnih tokova. S obzirom na hidrološke značajke (stalnost i izdašnost), ovi izvori upućuju na postojanje barijere u podzemlju koja ih odvaja od nizvodnog estavelskog dijela sliva. Nizvodno od utoka Kostelke vodotok Gacke znatan je dio godine *viseći* tok koji se nalazi u estavelskom i ponornom području i pripada slivu priobalnih izvora i vrulja.

2.4 OSNOVNE HIDROGRAFSKE I HIDROLOŠKE ZNAČAJKE

2.4.1 Hidrografske značajke Like i Gacke i promjene uslijed izgradnje hidroenergetskog sustava

Hidrologija Gacke i Like izučavana je u brojnim studijama i drugim dokumentima različiti namjena, no prije svega vezano uz mogućnost korištenja njihovih voda za hidroenergetiku, navodnjavanje, osiguranja vodoopskrbnih zaliha vode i pak za potrebe zaštite od velikih voda. U puno manjoj mjeri dosadašnja su hidrološka istraživanja bila usmjerena na zaštitu voda i integralno gospodarenje njezinom kakvoćom i količinama, i to kako u domeni postojećih prirodnih i antropogenih pritisaka, tako i u uvjetima očekivanih porasta takvih pritisaka u uvjetima intenziviranja klimatskih promjena/varijacija, kao i namjeravane izgradnje hidroenergetskog sustava HE Senj 2 i pratećih objekata, prije svega nove akumulacije Kosinj.

Naime, Ličko Senjska županija na čijem se području nalaze slivovi Like i Gacke je krški prostor iznimne ekološke vrijednosti, pa se tako oko polovine površina svih nacionalnih parkova i parkova prirode u Hrvatskoj nalazi upravo na prostoru te županije. Slivovi Like i Gacke (Slika 2.4.1) smješteni su na prostorima između NP Plitvička jezera, NP Sjeverni Velebit i NP Paklenica, te PP i svjetskog rezervata biosfere Velebit, a rubni dijelovi njihovih slivova obuhvaćaju i ta štice područja. U cijelosti se na području tih slivova nalaze značajni krajobrazi Gacko polje (zauzima 521,62 ha) i Risovac – Grabovača (5.620,72 ha), a sam izvorišni do rijeke Gacke – Vrela Gacke zaštićen je kao spomenik prirode (3,88 ha).



Slika 2.4.1. Položaj vodnog sustava rijeke Like (žuta markacija) i Gacke (crvena markacija) na karti zaštićenih područja u RH (www.bioportal.hr/gis)

Slivovi i tokovi Like i Gacke su susjedni slivovi, sa sličnim klimatološkim značajkama, ali i vrlo naglašenim razlikama u režimu otjecanja. U slivu Like razvijena je površinska hidrografska mreža te prevladava površinsko otjecanja bujičnog karaktera. Nasuprot tome, u slivu Gacke prevladava podzemna hidrografija, a sama

rijeka ima vrlo ujednačen vodni režim zbog niza izvora s kojima se ona prihranjuje iz rasprostranjenog i izdašnog krškog vodonosnika. Prema Stepincu (1983), specifična gustoća riječne mreže za dio sliva uzvodno od Luka kod Otočca iznosi svega 0,068 km/km². Nasuprot tome, specifična gustoća riječne mreže u slivu Like mnogostruko je veća. Za dio sliva do profila brane Sklope, specifična gustoća lijevoobalnih pritoka Like koji dotječu s masiva Velebita iznosi 0,765 km/km², a desnoobalnih je nešto niža – 0,325 km/km².

Lika i Gacka povezani su hidroenergetskim sustavom HE Senj koja je započela s radom 1965.g. Taj je hidroenergetski sustav unio velike promjene u prirodan režim otjecanja, iako ni prijašnje stanje otjecanja voda u slivu Gacke nije bilo u potpunosti prirodno. Naime, u cilju zaštite Otočca od velikih voda Gacke, još su tijekom 19. stoljeća započeti regulacijski radovi u koritu rijeke Gacke koji su rezultirali i prokopom tzv. Karlovog kanala, kojim su u većoj mjeri vode Gacke iz Sjevernog kraka preusmjerene njenim Južnim krakom ka ponorskoj zoni u Švici (Pernar, 2009). Na tom je kraku Gacke 1935.g. izgrađena jedna manja protočna hidroelektrana, HE Švica, koja je rekonstruirana 1954.g. te radila do prosinca 1961.g.

Tada je započela izgradnja sustava postojeće HE Senj (Slika 2.4.2 i 2.4.3). U sklopu tog sustava u sliv rijeke Gacke dovedene su vode rijeke Like 10,5 km dugačkim tunelom Selište – Šumečica, maksimalnog kapaciteta 49 m³s⁻¹ (Elektroprojekt, 2000a). Od čvorišta Šumečica vode Like i Gacke nastavljaju svoj tok kanalom i tunelom Šumečica-Marasi kapaciteta 60 m³s⁻¹ do kompenzacijskog bazena Gusić polje te nadalje tunelom kroz Velebit ka strojarnici HE Senj. Ta je elektrana izgrađena 1965.g., s instaliranim protokom 60 m³s⁻¹, projektirane snage 216 MW i prosjekom višegodišnje proizvodnje od 982 GWh. Pribranska elektrana HE Sklope, izgrađena je 1970.g. na rijeci Lici neposredno uz branu Sklope kojom je formirana akumulacija Kruščica volumena 142 mil. m³. Ima instalirani protok od 45 m³s⁻¹, snagu 22 MW, a prosjek višegodišnje proizvodnje 84 GWh (Elektroprojekt, 2000a).

Ti su hidroenergetski objekti i s njima vezana hidrotehnička rješenja, bitno promijenili vodni režim rijeka Like i Gacke. Smanjena su prirodna otjecanja voda prema ponorskim zonama u Lipovom polju, kao i na području ponorskih zona Gacke, pa su tako smanjeni intenziteti i trajanja poplava na Lipovom polju. Sjeverni krak Gacke postao je povremeni vodotok na velikoj dionici svoga toka nizvodno od Otočca, odnosno nizvodno od ponora Bikine jame, s minornim količinama voda i u samom dijelu toka kroz Otočac koji prihvaća oborinske i pročišćene otpadne vode s gradskog uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda. Praktički je presušio dio Južnog kraka Gacke nizvodno od Šumečice koji prihranjuje Gornje Švičko jezero, te nastavlja tok prema ponorskoj zoni Švica. Zbog uspornog djelovanja akumulacije Kruščica, te se promjene manifestiraju čak i na pritokama Like – Jadovi, Novčici te i njenoj pritoci Bogdanici, kao i Otešici.

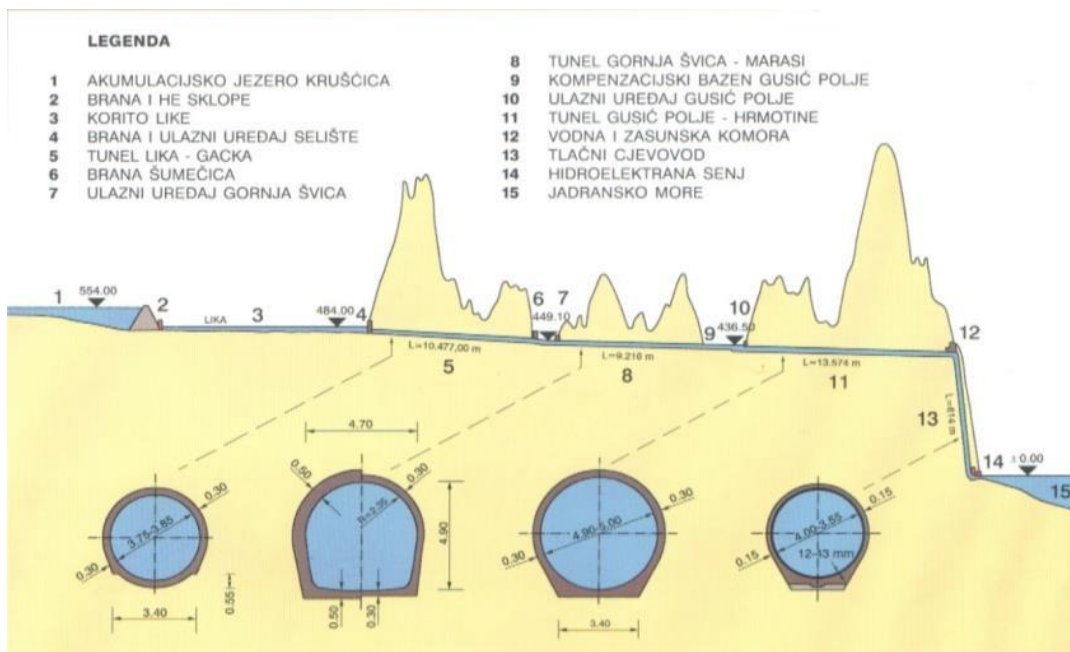
Pitanje osiguranja ekološki prihvatljivog protoka, odnosno biološkog minimuma kako se ranije nazivala procijenjena količina voda koju je potrebna za udovoljavanje ekološkim funkcijama vodotoka nizvodno od zahvata i njegova utjecaja, bilo je uglavnom samo periferno razmatrano, s propisanim količinama ispuštanja voda iz rijeke Gacke na čvorištu Vivoze u njen Sjeverni krak, kao i s čvorišta Šumečica u njen Južni krak. Ekološki prihvatljivi protoci čak nisu uopće bili razmatrani za zahvate voda za potrebe vodoopskrbe na cjelokupnom slivnom području Like i Gacke, pa tako ni za sam glavni zahvat vode na Izvoru Gacke.

Promjene su se manifestirale i u režimu podzemnog otjecanja – vode Like koje su nekada završavale u Lipovom polju, te Južnog kraka Gacke koje su završavale u

ponorskoj zoni kod Švice, kao i nizu dispergiranih ponora vezanih uz Sjeverni krak Gacke, u velikoj mjeri više ne otječu podzemnim putem kroz Velebit ka nizu podvelebitskih izvora i Vrulja sve do Novljanske Žrnovnice, već istječu iz sustava HE Senj sjeverno od Sv. Jurja.



Slika 2.4.2. Pregledna situacija hidroenergetskog sustava Senj (Elektroprojekt, 2000a)



Slika 2.4.3. Uzdužni profil hidroenergetskog sustava Senj (Elektroprojekt, 2000a)

2.4.2 Pregled rezultata prethodnih kompleksnijih hidroloških obrada

Hidrološke obrade vezane uz vode na području slivova Like i Gacke su u stručnoj dokumentaciji u čitavom povijesnom razdoblju bile gotovo isključivo vezane uz određena tehnička rješenja različitih vodnogospodarskih aktivnosti (vodoopskrbe, odvodnje, hidroenergetike, navodnjavanja...). Krajem 19. stoljeća započelo je i njihovo rješavanje, ispočetka uglavnom vezano uz probleme nedovoljnog kapaciteta ponora krških polja i vodoopskrbe, na kojima je ponajviše sudjelovao ing. Chvála (Vujasinović, 2007). Dobar kratak opis hidrografske mreže, pa i nekih karakterističnih stanja hidroloških prilika, prije svega zabilježenih poplava iz 19. stoljeća, dan je putopisu Lika i Plitvičke jezera (Hirtz, 1900, reprint 1996). Među poplavama najugroženijim mjestima bio je Otočac, za koga je slavni „otac geomehanike“ Karl Terzagi 1908.g. preuzeo zadatak izrade geoloških i hidrografskih podloga, kao i uspostave monitoringa u cilju planiranja hidroenergetskog korištenja voda Like i Gacke. Na tom je prostoru boravio dvije godine – tijekom 1909. i 1910.g., te izradio idejni projekt rješenja odvodnje i korištenja vodnih snaga tih rijeka (E.N., 1964; Pernar, 2009). Iako taj idejni projekt nije dostupan nositeljima izrade predmetnog dokumenta, prema raspoloživim informacijama može se smatrati prvim kompleksnijim dokumentom o višenamjenskom rješavanju vodnogospodarskih problema na području slivova Like i Gacke.

Jedna od prvih kompleksnijih studija stanja i uređenja voda na analiziranom području Like i Gacke, koja je ne samo sačuvana, već i dalje služi kao vrijedan izvor informacija o vodama analiziranog područja, je Vodoprivredna osnova slivova Like i Gacke (Elektroprojekt, 1971). Od deset knjiga toga dokumenta, dvije su neposredno tematski vezane uz hidrološku dokumentaciju za rijeku Liku (knjiga 3) i Gacku (knjiga 4), ali i u okviru još nekih drugih knjiga ima vrlo vrijednih hidroloških elemenata i saznanja (knjige 1, 2 i 8). U dokumentu je dan cjeloviti prikaz osnovnih podataka o hidrološkim postajama i na njima osmotrenim hidrološkim podacima po kako se u tom dokumentu navodi „prijašnjem i sadašnjem stanju“, odnosno prije (stanje 1963.) i nakon izgradnje hidroenergetskog sustava HE Senj (stanje 1971.). Radi se o podacima koji su većim dijelom sadržani u recentnoj bazi podataka HIS 2000 DHMZ-a, ali čije je dokumentiranje u spomenutoj vodoprivrednoj osnovi imalo velik značaj za sve kasnije obrade.

Studija optimalnog korištenja voda slivova Like i Gacke (Rijekaprojekt i Elektroprojekt, 1983) sadrži rezultate hidroloških obrada na nekoliko ključnih hidroloških postaja (postaje Bilaj, Krušćica i Kosinj na Lici, Barlete na Jadovi, Šporčić klanac na Bakovcu te Čovići i Luke na Gackoj) s time da su raspoloživi osmotreni nizovi produljeni (godišnji, mjesečni i tjedni podaci) na zajedničko 55-godišnje razdoblje (1926.-1980.) koje je bilo temelj za JUGEL-ovo vrednovanje hidroenergetskog potencijala planiranih objekata na području bivše države Jugoslavije. Formirani su i analizirani nizovi istovrsnih podataka (za razdoblje 1961.-1980.) za profile tada predviđenih novih pregrada (Suvaje i Glamočice na istoimenim profilima te Počiteljice u profilu Lički Čitluk te Jadove u profilu Basarići). Analizirane su i velike vode te oblici hidrograma velikih vodnih valova za spomenute profile. Za razdoblje (1969.-1970.) dane su i procjene srednjim mjesečnih i godišnjih protoka. U sklopu tog zadatka napravljena je parcijalna analiza prof. Stepinca (1983) „Vodni režim Like i Gacke pod uplivom krša“, a na temelju hidrogeoloških sagledavanja definirani su i glavni slivovi i podslivovi vodotoka na analiziranom prostoru. Svrha cjelokupne studije bila je da se optimizira korištenje voda na tom prostoru u kontekstu njezinog većeg energetskog korištenja te je ona rezultirala prijedlozima izgradnje nove akumulacije Kosinj s

pribranskom elektranom Kosinjski, novoga tunela između sliva Like i Gacke s HE Otočac i izgradnje nove HE Senj 2 s novim derivacijskim sustavom.

Dokument „Produljenje nizova dnevnih protoka i hidrološko bilanciranje HE Senj i Sklope“ (Institut za elektroprivredu i energetiku, 1997) je imao za cilj identifikaciju, ocjenu i verifikaciju postojećeg mjernog sustava te opsega i sadržaja postojećih mjerenja na području HE Senj i Sklope za potrebe produljenja nizova hidroloških podataka i bilanciranja voda. Analizama i produljenjima nizova (na razdoblje 1951.-1993.) obuhvaćeni su podaci s postaja Bilaj i Krušćica na Lici, Šporčić Klanac na Bakovcu te Šumečica na kanalu Like+Gacke. U bilančnom pogledu analizirani su i pogonski podaci vezani uz proizvodnju električne energije HE Senj i HE Sklope.

U okviru dokumenta „Studija ugroženosti izvorišta rijeke Gacke (Institut za geološka istraživanja, 1997) analizirani su podaci o hidrološkim motrenjima izdašnosti izvorišta na području izvorišne zone rijeke Gacke do zaključno 1994.g. Za najnižvodniji profil koji obuhvaća vode svih izvorišta – profil hidrološke postaje Podgora uzvodno utvrđeno je da je minimalni protok zabilježen 1985.g. s vrijednošću od $2,28 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Prosječan minimalni dotok u razdoblju 1972.-1994. bio je $4,79 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a kao minimalni protok 10-godišnjeg povratnog perioda usvojen je protok od $2,73 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Iako rijeka Gacka ima dobro uravnotežen odnos između velikih i malih voda, pri pojavama obaju ekstrema mogući su iznimni problemi – male vode generiraju probleme s osiguranjem dostatnih količina vode za održavanje bogatog ekosustava rijeke Gacke, kako u njenom glavnom toku Gacke uzvodno od Vivoza i uzvodnijim pritokama (Kostelka, Sinačka puč), tako i u njenim odvojcima. U Sjevernom kraku male vode koje protječu kroz Otočac nemaju mogućnost prihvata i samopročišćavanja tereta onečišćenja – prije svega dotoka pročišćenih otpadnih voda s uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda. Isto tako problemi su prisutni i na Južnom kraku Gacke gdje se javljaju iznimno niske razine na Gornjem Švičkom jezeru. Pri pojavama velikih voda javljaju se problemi nemogućnosti njihove primjerene evakuacije, pogotovo u uvjetima istovremenih dotoka voda Like na čvorište Šumečica, ili pak ispadanja iz pogona He Senj. Naime, čak i sami nominalni kapaciteti korita Južnog kraka Gacke nizvodno do Šumečice od $32,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ i Sjevernog kraka Gacke od $15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, nedostatni su da prime velike vode, pogotovo što su u stvarnosti ti kapaciteti i značajnije manji zbog nelegalnih graditeljskih aktivnosti u samim koritima i inudacijama (Hrvatske vode, 2014). U Idejnom projektu odteretnog kanala Tunel Švica – G. Švičko jezero na rijeci Gackoj (Sopex, 2000) razmatrana je varijanta izgradnje predmetnog rasteretnog kanala s kojim bi se suvišne vode preusmjerile prema Gornjem te dalje Donjem Švičkom jezeru.

Vodoopskrbni plan Ličko-senjske županije (Hidro consult, 2001), osim za nekoliko značajnijih profila, nije detaljnije obrađivao hidrološke značajke voda samih vodotoka Like i Gacke. No, u tom su dokumentu sadržane vrijedne informacije o izvorima vode koji se koriste u vodoopskrbi – nekim prosječnim minimalnim kapacitetima, kao i korištenju voda. Dane su i smjernice za provedbu novih zahvata, pri čemu je bio daleko precijenjen značaj i izdašnost potencijalnog vodozahvata iz Rokine Bezdani, speleološkog objekta na rubu Stajničkog polja i Kapele, tako da od predložene realizacije tog vodozahvata nije došlo.

U Studiji zaštite voda i mora Ličko-senjske županije (Hidro consult, 2004), analizirani su podaci o značajkama vodnih resursa, te su dani i podaci o karakterističnim protocima na hidrološkim postajama s značajnijim nizovima podataka na površinskim vodama u županiji, pa tako i na Lici i Gackoj.

Vodnogospodarska osnova Hrvatske – hidrološka studija za vodno područje primorsko-istarskih slivova (Hrvatske vode i Institut za Elektroprivredu i energetiku, 2002) kompletira i uspoređuje nizove odabranih klimatoloških i hidroloških podataka na referentno 30-godišnje klimatološko razdoblje 1961.-1990. te provodi generalna bilanciranja vodnog potencijala šireg područja slivova rijeka Like i Gacke koristeći metode Turca i Langbeina u GIS okruženju. Za ukupno iskazanu površinu tih slivova zajedno s priobaljem i manjim slivovima izvan samih slivova sustava Like i Gacke od 3712 km² te prosječnu godišnju količinu oborina od 1789 mm, procijenjen je prosječan ukupni bilančni doprinos od 133,6 km², te prosječan godišnji koeficijent otjecanja od 0,63.

Plan navodnjavanja Ličko-Senjske županije (Elektroprojekt, 2007) pri analizi potencijalnih vodnih resursa za navodnjavanje sadržava i neke osnovne hidrološke obrade podataka s aktivnih hidroloških postaja (zaključno s 2004.g.), kao i s nekih važnijih profila, uglavnom pritoka Like, na kojima su prestala hidrološka opažanja još prije početka ratnih prilika ili neposredno vezano uz njih, ali čiji su podaci interesantni zbog planiranih akumulacija za osiguranje vode za navodnjavanje. Uz osnovne statističke pokazatelje (mjesečne i godišnje) srednjih, maksimalnih i minimalnih protoka, obrađene su i vjerojatnosti pojave srednjih i maksimalnih protoka odabranih postaja. Studija sadrži i prijedlog nekoliko područja pogodnih za navodnjavanje s opisom njihovih lokacija, potreba i način osiguranja vode za navodnjavanje, uglavnom na području sliva Like i objekata hidroenergetskog sustava HE Senj i Sklope (Ornice, Bobići, Lipovo polje, Kompolje, Balatin).

U dokumentu „Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj“ (Geotehnički fakultet i Građevinski fakultet u Rijeci, 2009), provedena je također hidrološka obrada s po nekoliko reprezentativnih postaja za cjelinu podzemnih voda Lika-Gacka ukupne površine 3.755 km² te su provedene procjene količinskog stanja analiziranog razdoblja 2000.-2007. u odnosu na referentno 30-godišnje razdoblje 1961.-1990. Dan je i prikaz korištenja voda na zahvatima za vodoopskrbu i tehnološke potrebe spomenute cjeline.

U dokumentu „Novelacija Vodoopskrbnog plana Ličko-senjske županije“ (Hidroexpert i Hidroprojekt-ing, 2015) novelirana su samo rješenja, ali ne i raspoloživi podaci o značajkama vodnih resursa s aktivnih hidroloških postaja, pa su tako u njemu ponovno sadržane informacije o značajkama pojedinih izvora temeljene na podacima do zaključno 1994., preuzeti iz Studije ugroženosti izvorišta rijeke Gacke (Institut za geološka istraživanja, 1997). No, na temelju ekspertnih procjena, bitno su smanjene informacije o raspoloživim količinama voda s dvaju najizdašnijih izvora Gacke u odnosu na količine u ranijem vodoopskrbnom planu (Hidro consult, 2001) – kod glavnog izvora Gacke – Tonkovića vrila te Majerovog vrila s 1,0 m³s⁻¹, na 0,6 m³s⁻¹.

Pripreme za izgradnju/dogradnju hidroenergetskog sustava HE Senj 2 trajale su niz godina, i rezultirale su, između ostalih dokumenata, i Idejnim projektom HE Senj 2 (Elektroprojekt, 1999), kao i dokumentom HE Senj 2 – Idejni projekt za lokacijsku dozvolu (Elektroprojekt, 2019) iz koga su u nastavku preuzeti najvažniji hidrološki pokazatelji. Prema njima, za razdoblje 1971.-2014., srednji godišnji protok Like na profilu akumulacije Kruščica iznosi 23,42 m³s⁻¹, Gacke u profilu Šumečica 14,13 m³s⁻¹, a srednji godišnji dotok Bakovca i Like na međuslivu između brane Sklope i Selišta iznosi 3,04 m³s⁻¹, odnosno sumarno 40,59 m³s⁻¹. Utvrđeno je da HE Sklope s instaliranom snagom od 22,5 MW ima srednju godišnju proizvodnju el. energije od 77.700 MWh, a HE Senj oko 983.000 MWh. Na temelju podataka o upravljanju, utvrđeno je i da je ukupna energetska iskoristivost postojećeg sustava 81%. Pri tome

je, zbog nepostojanja akumuliranja voda rijeke Gacke, prioritet dan korištenju njenih voda, tako da prosječni godišnji preljev njenih voda na brani Šumečica iznosi svega $0,71 \text{ hm}^3$ ($22,5 \text{ Ls}^{-1}$), odnosno oko 0,15 ukupnog godišnjeg volumena dotoka. S druge strane, zbog nedovoljnog kapaciteta akumulacije Krušćice, Lika ima puno učestalije prelive voda koji se ne mogu usmjeriti na Selištu prema spoju s vodama Gacke na Šumečici i dalje prema HE Senj, pa je bilančna iskoristivost voda Like oko 70% (Elektroprojekt, 2019).

U dvama studijama o utjecaju na okoliš – za HES Kosinj (Elektroprojekt, 2016) i HE Senj 2 (Elektroprojekt, 2018) sadržane su hidrološke podloge vezane uz te zahvate. Rješenjima Ministarstva okoliša i energetike iz 2018. za HES Kosinj (<https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/ARHIVA%20---%20PUO/2017/17052018 - rjesenje ministarstva od 14 svibnja 2018 godine.pdf>) te HE Senj 2 ([https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Puo/14_12_2018_Rjesenje HE Senj 2.pdf](https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Puo/14_12_2018_Rjesenje_HE_Senj_2.pdf)), ti su zahvati odobreni uz potrebu primjene određenih Mjera zaštite okoliša i mjera ublažavanja negativnih utjecaja na ciljeve očuvanja i cjelovitosti područja ekološke mjere te provedbu Programa praćenja stanja okoliša.

Nakon toga dokumenta, za potrebe pronalaženja rješenja zahvata vode Vodovoda Hrvatsko primorje – Južni ogranak (ali ujedno i za potrebe Vodovoda Senja koji ima separatan spoj i uređaj za kondicioniranje voda na Hrmotinama) u novim uvjetima, nakon izgradnje akumulacije Kosinj i HE Senj 2, izrađeno je idejno rješenje Varijantna rješenja za dobavu vode iz Like na uređaj Hrmotine (Hidrokon, 2019), s razmatranjem osam varijanti separatnog zahvata voda izvora Gacke na čvoru Šumečica, ali kao i prethodni vodoopskrbni planovi, bez ulaženja u hidrološke značajke izvorišta/rijeke Gacke i potrebe osiguranja ekološki prihvatljivog protoka.

Hidrološke analize provedene su i u sklopu pojedinih hidrogeoloških istražnih radova, što je prodiskutirano u okviru dijela predmetnog dokumenta koji se odnosio na tu tematiku. Hrvatska elektroprivreda provodila je, odnosno bila naručitelj i niza serija simultanih mjerenja radi utvrđivanja gubitaka vode u rijeci Gackoj, kasnije i Lici, a čiji su rezultati mjerenja provedenih tijekom posljednjih desetak godina, obrađeni u predmetnom dokumentu (Poglavlja 3.2.2 i 3.2.3). Isto tako, hidrološke analize provedene su i dokumentirane u više publiciranih radova. Jedan od prvih radova vezanih uz analizirani prostor je rad Terzagija (1913, reprint izdanje 1960) Landforms and subsurface drainage in the Gacka region in Yugoslavia u kome je objavio rezultate svojih opažanja početkom 20. stoljeća.

U knjizi "Posebne analize u hidrotehnici" (Žugaj M., 1981) provedena je procjena volumena vodnih zaliha izvorišnog dijela rijeke Gacke, a slične je analize proveo i Šepinac (1976, 1979). U knjizi "Regionalna hidrološka analiza u kršu Hrvatske" (Žugaj, 1995) provedene su vrlo detaljne analize odabranih pokazatelja srednjih, malih i velikih voda s postaja lociranih na krškom području Hrvatske, između ostalih i s odabranih postaja na području slivova Like i Gacke. Izvedene su regionalne zakonitosti vezane uz odabrane pokazatelja protoka, presušivanja vodotoka u kršu kao i koeficijente godišnjeg otjecanja. U radu Ožanić i Rubinić (1999) "Vodni resursi izvorišta Gacke", analiziran je vodni potencijal pojedinih izvorišta, kao i zajedničke izvorišne zone te prodiskutirano korištenje voda za vodoopskrbu s toga izvorišta kao i iz vodozahvata Hrmotine iz objekata hidroenergetskog sustava HE Senj. Bonacci i Andrić (2008, 2009) analiziraju zajednička hidrološka analiza Like i Gacke te daju tumačenja uočene anomalije da je razdoblju do 2005.g. zapažen trend opadanja protoka i povećanja učestalosti presušivanja rijeke Like, a da istovremeno na rijeci Gacki nije prisutan trend

smanjivanja protoka. To se u danom radu povezuje s mogućnošću da se izvorišni dio rijeke Gacke prihranjuje vodama koje poniru u slivu rijeke Like.

2.4.3 Korištenje voda

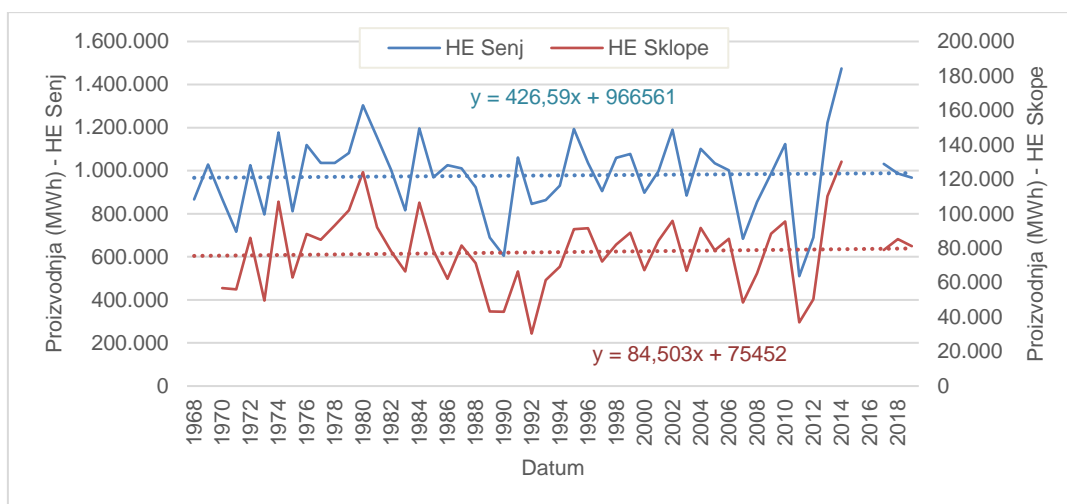
Kao što je u prethodnom poglavlju navedeno, oko 81% vodne bilance Like i Gacke koristi se za energetske potrebe nakon što je 60-tih godina prošlog stoljeća izgrađen složen višenamjenski hidrotehnički sustav s dominantnom energetsom funkcijom, ali i s važnom vodoopskrbnom funkcijom kao i zaštitom od poplava na dijelu dolinskog područja spomenutih slivova. U funkciji su dvije elektrane HE Sklope (22,5 MW) i HE Senj (216 MW). Prema navodima sa službene web stranice HEP-a (<https://www.hep.hr/projekti/hidroenergetski-sustav-senj-2/247>), proizvedena energije u HES Senj u prosječnoj hidrološkoj godini predstavlja oko 20 posto proizvodnje električne energije iz HEP-ovih hidroelektrana, oko 10 posto proizvodnje iz ukupnog proizvodnog portfelja HEP-a, te podmiruje oko 5 posto ukupne potrošnje električne energije u Hrvatskoj. Izbjegnuta emisija CO₂ zahvaljujući proizvedenoj količini hidroenergije iznosi oko 900.000 tona godišnje.

Planiranom izgradnjom hidroenergetskog sustava HE Senj 2 i pratećih objekata, uključivši novu akumulaciju Kosinj, planira se značajno povećanje ovih količina. Danas, hidroenergetski sustav Lika-Gacka ima kapacitet od 238,5 MW s prosječnom godišnjom proizvodnjom od 1,15 TWh. Izgradnja objekata 2. faze predviđa dodatni kapacitet od 412 MW i dodatnu proizvodnju od 320 GWh godišnje, pri čemu je najveći dio vršna energija. Realizacijom projekta druge faze izgradnje HES Senj ostvarit će se ukupni instalirani kapacitet na slivu od 656 MW i prosječna godišnja proizvodnja 1,5 TWh. Radi se o respektabilnim količinama obnovljive energije.

U tablica 2.4.1 dan je prikaz karakterističnih mjesečnih i godišnjih vrijednosti proizvodnje (MWh) HE Senj (1968.-2019.) i HE Sklope (1970.-2019.), dok je na slici 2.4.4 dan hod njihove ukupne godišnje proizvodnje u razdoblju od 1968.-2019.

Tablica 2.4.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti proizvodnje (MWh) HE Senj (1968.-2019.) i HE Sklope (1970.-2019.)

Proizvodnja (MWh)													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
HE Senj													
Sr	121083	110743	117897	115656	94700	54013	37440	30284	38093	64455	84882	117293	977490
Stdev	36010	33657	40266	33347	35663	27017	16078	20011	27975	39544	41239	35882	180774
Cv	0,30	0,30	0,34	0,29	0,38	0,50	0,43	0,66	0,73	0,61	0,49	0,31	0,18
Max	156916	145389	156488	149476	150118	145230	79330	101082	148180	153099	148143	157875	1474636
Min	28074	26666	14604	34674	18437	17705	13996	540	4206	7490	6480	16245	510114
HE Sklope													
Sr	10396	9620	9665	9545	7669	3466	2185	1881	2795	4602	6403	10074	77702
Stdev	5000	4296	5168	4541	4327	2863	1815	2098	2770	3873	4562	5160	21461
Cv	0,48	0,45	0,53	0,48	0,56	0,83	0,83	1,12	0,99	0,84	0,71	0,51	0,28
Max	16482	14958	17207	15506	15461	12168	7541	10385	13753	16501	15555	17194	130249
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30447



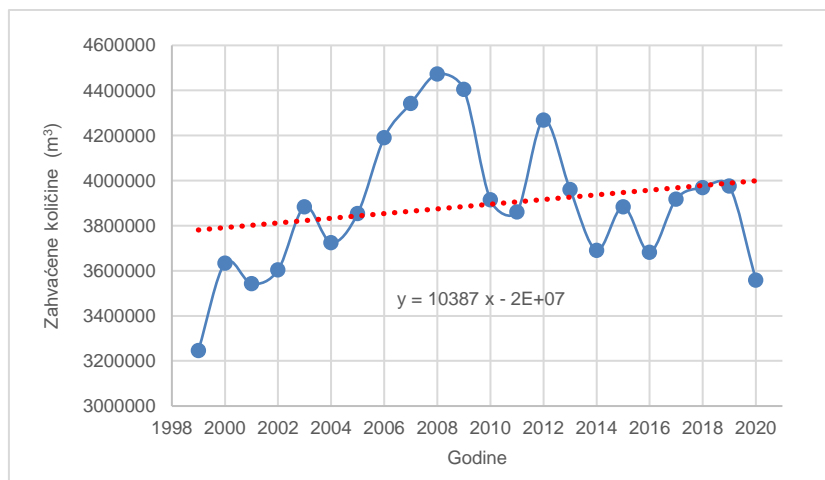
Slika 2.4.4. Ukupna godišnja proizvodnja HE Senj i HE Sklope u razdoblju od 1968.-2019.

Uz to, u manjoj su mjeri prisutna i neka druga korištenja voda, kao primjerice za potrebe vodoopskrbe. U okviru sustava HE Senj, zahvatom vode na izlaznoj, priobalnoj strani tog tunela, na Hrmotinama, na nadmorskoj visini od oko 400 m n.m., zahvaćaju se vode za potrebe vodoopskrbe grada Senja (u maksimalnoj količini od 70 L/s), kao i Vodovoda Hrvatsko primorje – Južni ogranak (s maksimalno dozvoljenim kapacitetom zahvaćene vode od 530 L/s), za zadovoljavanje potreba opkrbnog područja podvelebitskog priobalja do Karlobaga, kao i otoka Raba i Paga. S glavnog izvora Gacke, Velikog Tonkovića vrila, zahvaćaju se vode maksimalnog kapaciteta do 150 L/s za potrebe vodoopskrbe Otočca i okolnih naselja. Na Hrmotinama su izgrađeni i uređaji za kondicioniranje voda Vodovoda Hrvatskog primorja i Grada Senja.

U Tablici 2.4.2 i na Slici 2.4.5 dan je unutar godišnje raspodjele, kao i hoda zahvaćenih količina voda za potrebe Vodovoda Hrvatskog primorja koje je i najveći potrošač u odnosu na ostale spomenute vodovode – godišnje do oko 4,5 mil. m³, no što je još uvijek više od dvostruko manje u odnosu na godišnje dozvoljene količine zahvata od 10 mil. m³. Vidljivo je da godišnje količine zahvaćenih voda unutar promatranog 12-godišnjeg razdoblja imaju vrlo blagi trend porasta. No taj trend nije vezan uz neki globalni porast potreba za vodom, nego prije svega ovisan o klimatološkim prilikama o kojima ovise i sama potrošnja, s najvećim količinama zahvaćenih voda tijekom vrlo sušne 2008.g. Unutar godišnja potrošnja ima naglašen sezonski karakter, gdje su tijekom kolovoza najveće potrebe za vodom (prosječno oko 0,256 m³s⁻¹, a tijekom zimskih mjeseci čak više od trostruko manje – oko 0,080 m³s⁻¹. Prosječno godišnje korištenje voda za potrebe ovog vodovoda predstavlja svega oko 0,3% od ukupne prosječne vodne bilance slivova Like i Gacke.

Tablica 2.4.2. Unutar godišnja raspodjela prosječnih zahvaćenih količina voda iz HE sustava HE Senja za potrebe Vodovoda Hrvatsko primorje – Južni ogranak

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Sr	0,077	0,079	0,080	0,089	0,108	0,159	0,240	0,256	0,134	0,094	0,082	0,077	0,123
Stdev	0,007	0,012	0,009	0,010	0,011	0,019	0,035	0,033	0,010	0,009	0,009	0,009	0,010
Cv	0,10	0,15	0,11	0,11	0,11	0,12	0,15	0,13	0,08	0,10	0,11	0,11	0,08
Max	0,092	0,111	0,095	0,116	0,136	0,193	0,290	0,311	0,153	0,112	0,102	0,096	0,142
Min	0,062	0,061	0,065	0,072	0,086	0,118	0,178	0,194	0,120	0,077	0,069	0,065	0,103



Slika 2.4.5. Hod godišnjih količina zahvaćenih voda za potrebe Vodovoda Hrvatskog primorja – Južni ogranak

Planirana izgradnja sustava HE Senj 2, čije su pripremne aktivnosti već započete, nosi moguće promjene i u pogledu lokacije zahvaćanja vode, obzirom da će se u vodi koja se koristi za energetske potrebe HE Senj i HE Senj 2 u većoj mjeri nalaziti i vode iz sliva Like. Osim očekivanih temperaturnih promjena, kao i pojedinih parametara kakvoće, obzirom na karakter površinskog otjecanja u slivu Like i dominantnog prihranjivanja Gacke podzemnim vodama iz njenih brojnih izvora, kritičan problem bi moglo biti razdoblje od nekoliko početnih godina rada buduće akumulacije Kosinj. Naime, tijekom tih početnih godina nakon formiranja akumulacije dolazi do pogoršanja kakvoće vode uslijed procesa raspadanja organske tvari koja se nalazi u zaplavnom prostoru akumulacije, s mogućim pogoršanjima kakvoće vode do te mjere da ih ne mogu pročistiti uređaji za kondicioniranje pitkih voda na Hrmatinama. To je u dosadašnjim pripremnim aktivnostima vezanim uz izgradnju sustava HE Senj 2 bila potpuno zanemarena okolnost koja traži osiguranje primjerenog rješenja.

Takvo prelociranje vodozahvata bi moglo smanjiti probleme korištenja voda za potrebe vodoopskrbe iz sustava HE Senja. Ti se problemi u normalnom radu očituju u naglim promjenama režima rada HE sustava te naglim promjenama kakvoće vode ovisno o tome dotječu li na sustav ili ne i vode Like, ili pak prelijevaju li se u Gusić polje i vode iz Sjevernog kraka Gacke opterećene onečišćenjima. No, posebno su naglašeni tijekom situacija u kojima se provodi kontrola ili sanacijski radovi na objektima HE sustava, kada se smanje unutar HE sustava raspoložive zalihe vode za potrebe vodoopskrbe.

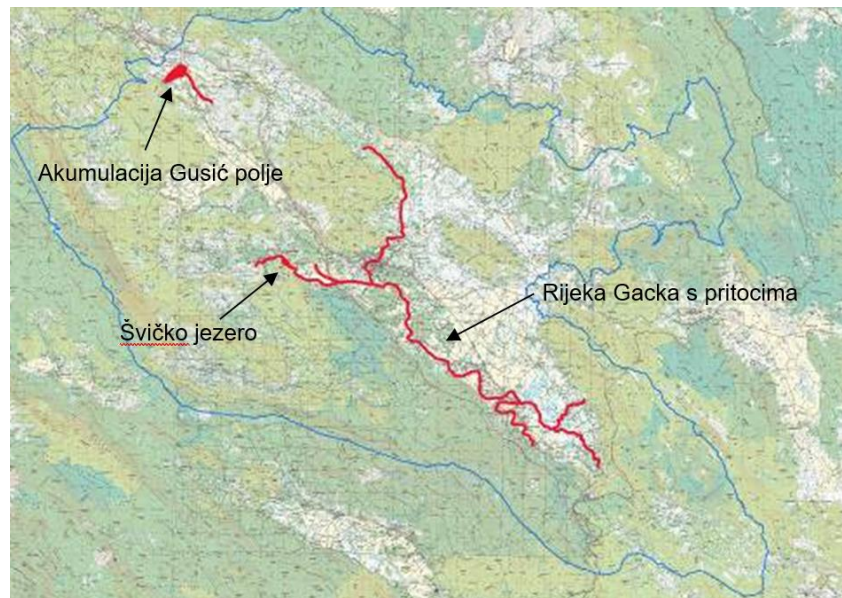
Moguće prelociranje zahvata vode na izvor Tonkovića vrlo nagoviješteno je kao rezervna varijanta (uz varijantu zahvat vode na Hrmatinama u uvjetima izgradnje novoga tunela prema HE Senj 2, kao i varijantu polaganja vodoopskrbnog cjevovoda u novi tlačni tunel) u recentnom Noveliranom vodoopskrbnom planu (Hidro-expert i Hidroprojekt – ing, 2015). Detaljnije je pak razrađivano u spomenutom Idejnom projektu prelociranja zahvata (Hidrokon, 2019), ali u oba dokumenta bez razmatranja potrebnog ekološki prihvatljivog protoka u rijeci Gackoj.

Vode Gacke koriste se i za potrebe ribničarstva. Tako se vode pritoke Gacke - Sinačke pučine (prihranjuje ju Majerovo vrelo) koriste za potrebe ribnjaka „Leko“, vode izvora Pećina za potrebe Hrvatskog centra za autohtone ribe i rakove kojim upravlja

„Gacka d.o.o.“. No, radi se o korištenju voda koje ne podrazumijeva oduzimanje vodne bilance, nego se promjene očituju u promjeni kakvoće voda nizvodno od zahvata/mjesta ispuštanja korištenih voda.

Također vode Gacke koriste se i za slatkovodno ribarstvo kojom je obuhvaćen glavni tok rijeke Gacke, njen sjeverni i južni krak, Gornje Švičko jezero te akumulacija Gusić polje (Slika 2.4.6). Prema Reviziji plana upravljanja (PMF, 2020), u ribolovnoj zoni kojom gospodari tvrtka „Gacka d.o.o.“ zabilježeno je 16 vrsta riba razvrstanih u osam porodica. Najzastupljenija je porodica Cyprinidae, s osam vrsta; slijedi je porodica Salmonidae s dvije vrste, dok su ostale porodice (Thymallidae, Esocidae, Siluridae, Cobitidae, Centrarchidae i Percidae) zastupljene samo sa po jednim predstavnikom. Zastupljenost većeg broja vrsta porodice Cyprinidae ne znači i kvantitativnu dominaciju te porodice, jer su praktično svi primjerci te porodice ulovljeni na području Švičkog jezera i akumulacije Gusić polje, a u toku rijeke Gacke ih skoro i nema.

Osim navedenih korištenja voda, vode Gacke koriste se i za turističko rekreativne svrhe kao što je vožnja kajacima, kanuima ili pak se prostor uz rijeku Gacku, radi iznimnih prirodnih ambijentalnih značajki, koristi za šetnje, vožnje biciklom i slično.



Slika 2.4.6. Ribolovna zona kojom gospodari Gacka d.o.o.

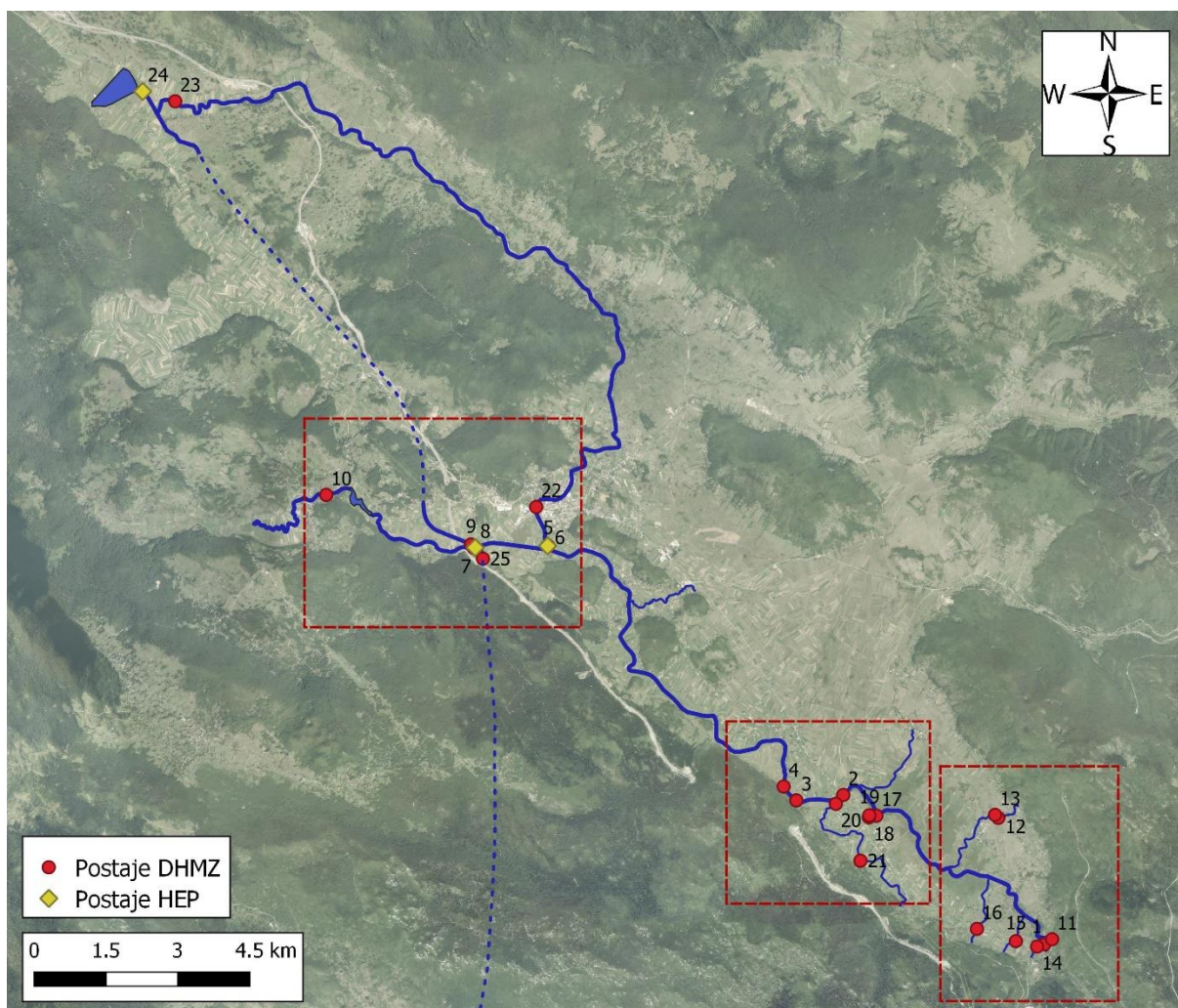
3 HIDROLOŠKA ANALIZA

3.1 POSTOJEĆI HIDROLOŠKI MONITORING I OSNOVNE ZNAČAJKE OSMOTRENIH PODATAKA S KLJUČNIH HIDROLOŠKIH POSTAJA NA GACKI I LICI

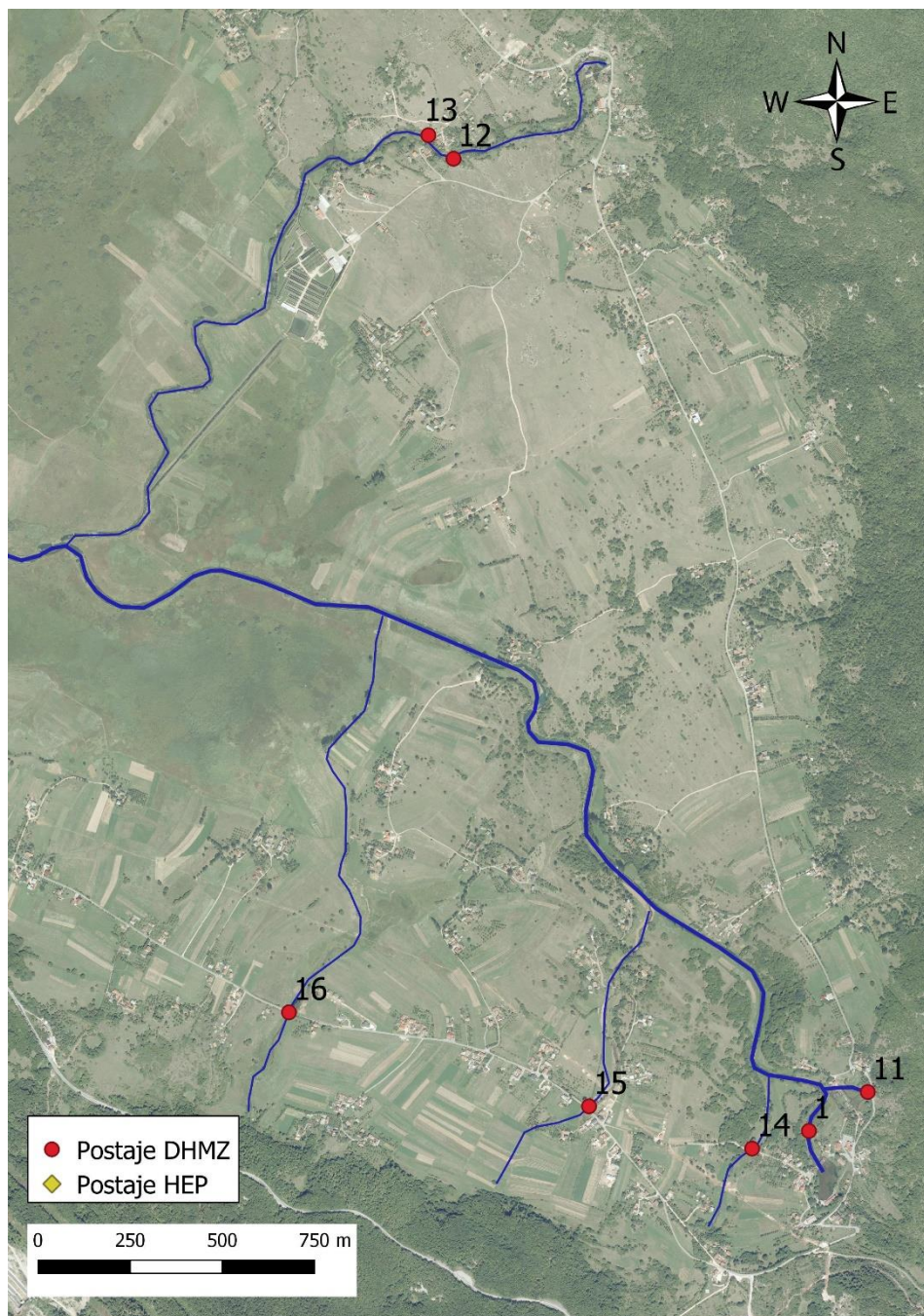
3.1.1 Osnovni hidrološki monitoring

Na Slikama 3.1.1 i 3.1.5 dan je prikaz rijeka Gacke i Like i lokacija hidroloških postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda iz Zagreba i dopunskih internih postaja HEP-a za kontinuirano praćenje razine vode, protoka i temperature vode, a čiji su podaci korišteni u danom dokumentu. Također dan je i detaljniji prikaz rijeke Gacke na Slikama 3.1.2 – 3.1.3.

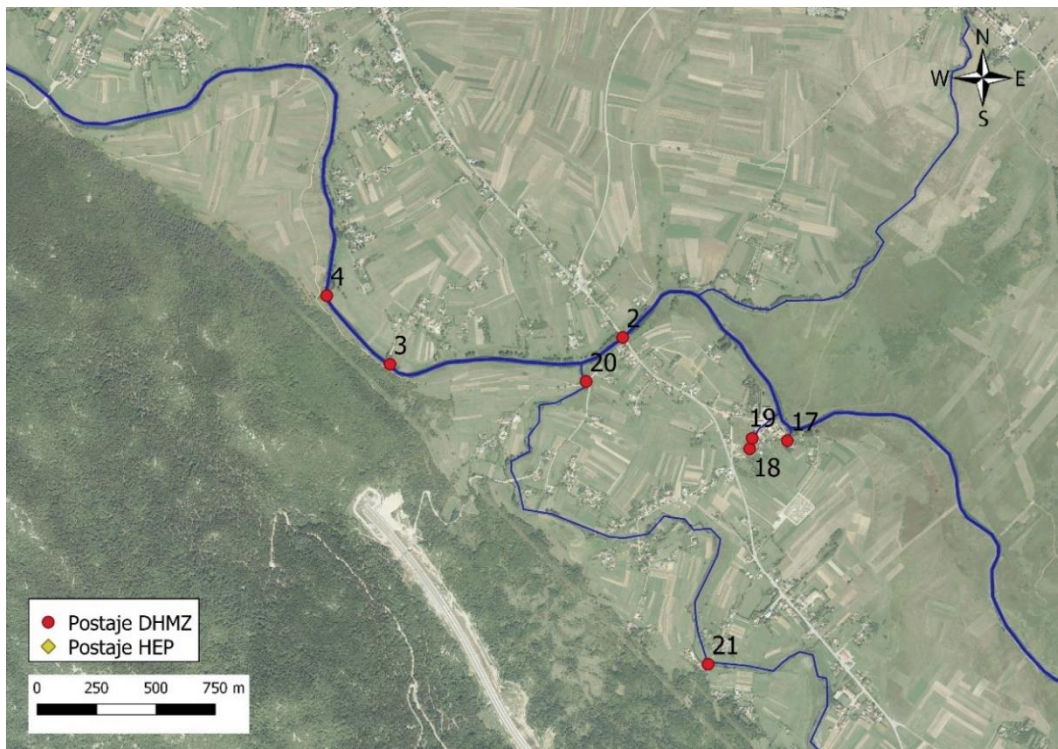
Pregled raspoloživih hidroloških podataka (vodostaja, protoka i temperatura vode) sa aktivnih i ukinutih postaja sliva rijeke Gacke i Like, dan je u Tablicama 3.1.1 i 3.1.2.



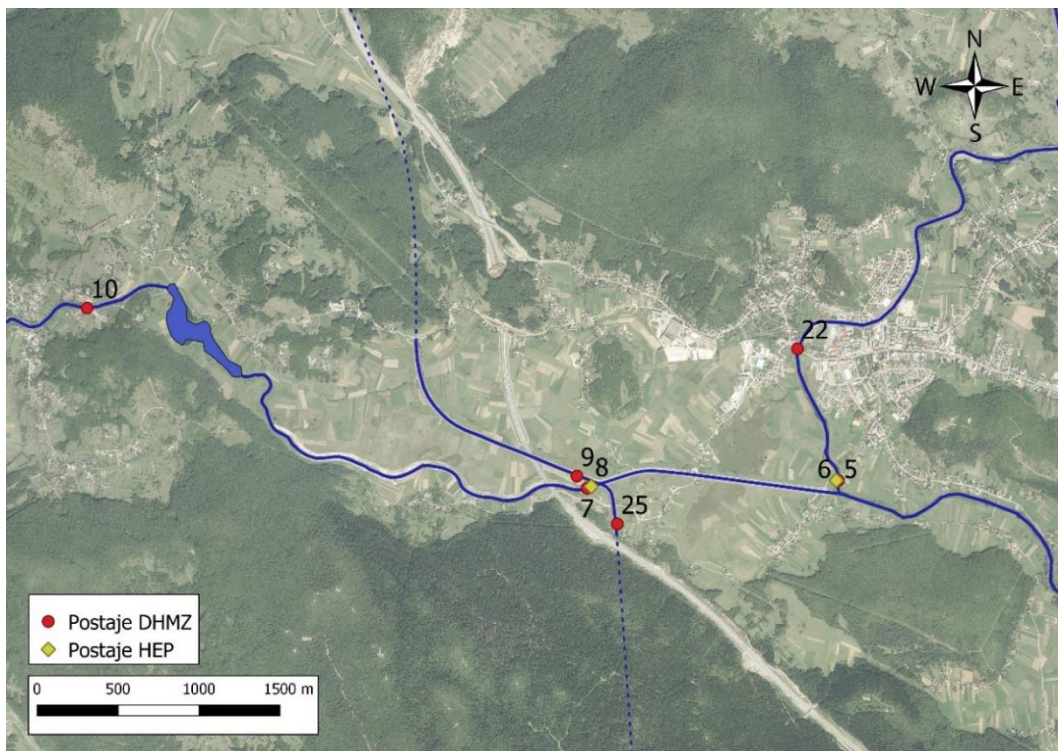
Slika 3.1.1. Prikaz lokacija hidroloških postaja rijeke Gacke koje su korištene u danom dokumentu (nazivi postaja dana su na detaljnijim Slikama 3.1.2 – 3.1.4; 23 - Brlog – Gacka, 24 - Gusić polje – Gacka(HEP))



Slika 3.1.2. Prikaz lokacija hidroloških postaja rijeke Gacke koje su korištene u danom dokumentu:
1 - Izvor Gacke (Tonkovća vrilo) - Gacka, 11 – Sinac - Izvor Klanac, 12 – Sinac - Majerovo vrelo, 13 -
Sinac nizv. - Majerovo vrelo, 14 - Ličko Lešće - Pucirep vrelo, 15 - Ličko Lešće – Knjapovac, 16 - Ličko
Lešće - Begovac vrelo



Slika 3.1.3. Prikaz lokacija hidroloških postaja rijeke Gacke koje su korištene u danom dokumentu: 2 – Čovići – Gacka, 3 – Podgora – Gacka, 4 – Čović Podgora uzv. – Gacka, 17 - Ličko Lešće - Graba vrelo, 18 - Ličko Lešće - Marusino vrelo, 19 - Ličko Lešće - Jamić vrelo, 20 - Ličko Lešće – Kostelka, 21 - Ličko Lešće nizv. - Pećina



Slika 3.1.4. Prikaz lokacija hidroloških postaja rijeke Gacke koje su korištene u danom dokumentu: 5 – Vivoze - Gacka, 6 – Vivoze – Gacka (HEP), 7 – Šumečica - Lika + Gacka, 8 – Šumečica - Lika + Gacka (HEP), 9 – Šumečica sr.dn. - Lika + Gacka, 10 - Švica most - Gacka, 22 – Otočac – Gacka, 25 – Šumečica - Kanal Like

Tablica 3.1.1. Pregled postojećih podataka na odabranim mjernim postajama sliva Gacke (H-vodostaj, Q-protok, Qpr-preljev, T-temperatura vode; crne kućice-svi podaci, sive-djelomični, bijelo-nema pod.)

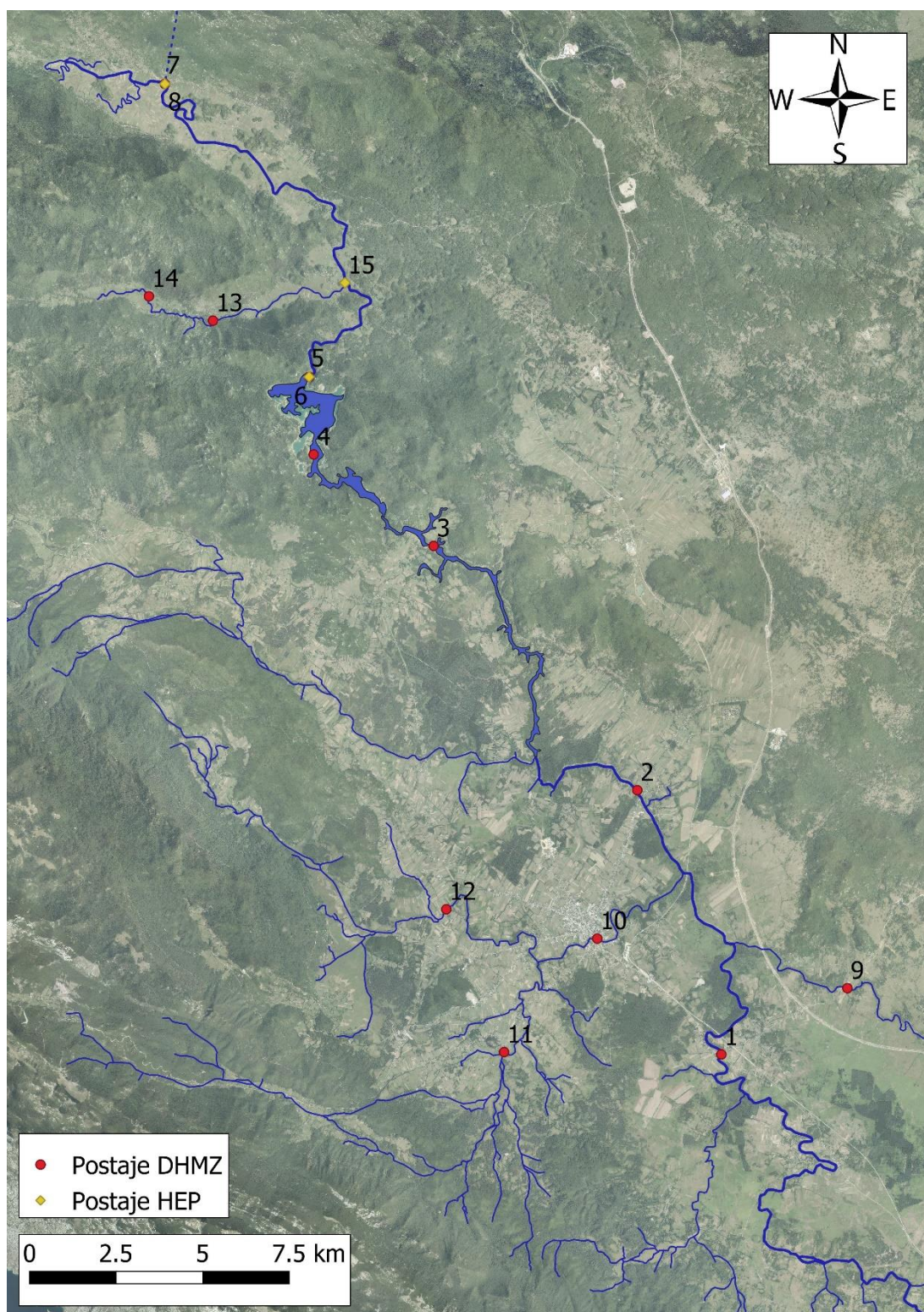
Postaja	1 Izvor Gacke (Tonkova vrilo)	2 Čovići	3 Podgora	4 Čović podgora uzv.	5 Vivoze	6 Vivoze	7 Šumečica	8 Šumečica	9 Šumečica	10 Švica most	11 Sinac	12 Sinac
Vodotok	Gacka	Gacka	Gacka	Gacka	Gacka	Gacka	Lika + Gacka	Lika + Gacka	Lika + Gacka	Gacka	Izvor Klanac	Majerovo vrelo
Šifra postaje	8027	8016	8144	8019	8079	HEP	8504	HEP	8502	8093	8132	8131
1946												
1947												
1948		H										
1949		H			H, Q							
1950	H	H			H, Q							
1951	H	H			H, Q			H, Q				
1952	H	H			H, Q			H, Q				
1953	H	H			H, Q			H, Q				
1954	H	H			H, Q			H, Q				
1955	H	H			H, Q			H, Q				
1956	H	H			H, Q			H, Q				
1957	H	H			H, Q			H, Q				
1958	H	H			H, Q			H, Q				
1959	H	H			H, Q			H, Q				
1960	H	H			H, Q			H, Q				
1961	H	H			H, Q			H, Q				
1962	H	H			H, Q			H, Q				
1963	H	H			H, Q			H, Q				
1964	H	H, T						H, Q				
1965	H	H, T						H, Q				
1966	H	H, T						H, Q				
1967	H	H, T						H, Q				
1968	H	H, T						H, Q, Qpr				
1969	H	H, T						H, Q, Qpr				
1970	H	H, T		H				H, Q, Qpr				
1971	H	H, T		H, Q				H, Q, Qpr				
1972	H	H, T		H, Q				H, Q, Qpr				
1973	H	H, T		H, Q				H, Q, Qpr				
1974	H	H, T		H, Q				H, Q, Qpr				
1975	H	H, T		H, Q				H, Q, Qpr				
1976	H	H, T		H, Q	H		H	H, Q, Qpr				
1977	H	H, T		H, Q	H		H	H, Q, Qpr				
1978	H	H, T		H, Q	H, Q		H	H, Q, Qpr				
1979	H	H, T		H, Q	H, Q		H, Q	H, Q, Qpr				
1980	H	H, T		H, Q	H, Q		H, Q	H, Q, Qpr				
1981	H, Q	H, T		H, Q	H, Q		H, Q	H, Q, Qpr		H		
1982	H, Q	H, T		H, Q	H, Q		H, Q	H, Q, Qpr				
1983	H, Q	H, T		H, Q	H, Q		H, Q	H, Q, Qpr		H, Q		
1984	H, Q	H, T		H, Q	H, Q		H, Q	H, Q, Qpr		H, Q		
1985	H, Q	H, T		H, Q	H, Q		H, Q	H, Q, Qpr		H, Q		
1986	H, Q	H, T		H, Q	H, Q			H, Q, Qpr	H, Q	H, Q		
1987	H, Q	H, T		H, Q	H, Q			H, Q, Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
1988	H, Q	H, T		H, Q	H, Q			H, Q, Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
1989	H, Q	H, T		H, Q	H, Q			H, Q, Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
1990	H, Q	H, T		H, Q	H, Q			H, Q, Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
1991	H, Q	H, T		H, Q	H, Q			H, Q, Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
1992	H, Q	H, T		H, Q	H, Q		H	H, Q, Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
1993	H, Q	H, T		H, Q	H, Q		H	H, Q, Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
1994	H, Q	H, T		H, Q	H, Q	H, Q	H	H, Q, Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
1995	H, Q	H, Q		H, Q	H, Q	H, Q	H	H, Q, Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
1996	H, Q	H, Q		H, Q	H, Q	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
1997	H, Q	H, Q, T		H, Q	H, Q	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
1998	H, Q	H, Q, T	H	H, Q	H, Q	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
1999	H, Q	H, Q, T	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
2000	H, Q	H, Q, T	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	
2001	H, Q	H, Q, T	H	H, Q	H, Q	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
2002	H, Q	H, Q, T	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
2003	H, Q	H, Q, T	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	
2004	H, Q	H, Q, T	H, Q		H	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
2005	H, Q	H, Q, T	H, Q		H	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
2006	H, Q	H, Q, T	H, Q		H	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
2007	H, Q	H, Q, T	H, Q		H	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
2008	H, Q	H, Q, T	H		H	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
2009	H, Q	H, Q, T	H, Q		H	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
2010	H, Q	H, Q, T	H, Q		H	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
2011	H, Q	H, Q, T	H, Q		H	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
2012	H, Q	H, Q, T	H, Q		H	H, Q	H	Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	H
2013	H, Q	H, Q, T	H, Q		H	H, Q	H		H, Q	H, Q	H, Q	H
2014	H, Q	H, Q, T	H, Q		H	H, Q	H		H, Q	H, Q	H, Q	
2015	H, Q	H, Q, T	H, Q		H	H, Q	H		H, Q	H, Q	H, Q	
2016	H, Q	H, Q, T	H, Q		H	H, Q	H		H, Q	H, Q	H, Q	
2017	H	H, T	H		H	H, Q	H	H, Q	H, Q			
2018	H, Q	H, Q, T	H, Q		H	H, Q	H	H, Qpr	H, Q	H, Q	H, Q	
2019	H	H, T	H		H	H, Q	H	H, Qpr	H, Q	H	H	

* Plavo – ukinute postaje

Tablica 3.1.1. Pregled postojećih podataka na odabranim mjernim postajama sliva Gacke (H-vodostaj, Q-protok, Qpr-preljev, T-temperatura vode; crne kućice-svi podaci, sive-djelomični, bijelo-nema pod.)
(nastavak)

	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Postaja	Sinac nizv.	Ličko Lešće	Ličko Lešće	Ličko Lešće	Ličko Lešće	Ličko Lešće	Ličko Lešće	Ličko Lešće	Ličko Lešće nizv.	Otočac	Brlog	Gusić polje	Šumečica
Vodotok	Majerovo vrilo	Pucirep vrelo	Knjapovac	Begovac vrelo	Graba vrelo	Marusino vrelo	Jamić vrelo	Kostelka	Pečina	Gacka	Gacka	Gacka	Kanal Like
Šifra postaje	8141	8113	8114	8130	8115	8116	8117	8118	8143	8045	8010	HEP	8065
1946										H			
1947										H			
1948										H			
1949										H			
1950										H			
1951										H			
1952										H			
1953										H			
1954										H			
1955										H			
1956										H			
1957										H			
1958								H		H			
1959								H		H			
1960								H		H			
1961								H		H			
1962								H		H			
1963								H		H	H		
1964								H		H	H, Q		
1965								H		H	H, Q		
1966								H, Q		H	H, Q		
1967								H, Q		H	H, Q		H
1968								H, Q		H	H, Q		H, Q
1969								H, Q		H	H, Q		H, Q
1970								H, Q		H	H, Q		H, Q
1971								H		H	H, Q		H, Q
1972								H		H	H, Q		H, Q
1973								H, Q		H	H, Q		H, Q
1974								H		H	H, Q		H, Q
1975								H, Q		H	H, Q		H, Q
1976								H, Q		H	H, Q		H, Q
1977								H, Q		H	H, Q		H, Q
1978								H, Q		H	H, Q		H, Q
1979								H, Q		H	H, Q		H, Q
1980										H	H, Q		H, Q
1981										H	H, Q		H, Q
1982										H	H, Q		H, Q
1983										H	H, Q		H, Q
1984										H	H, Q		H, Q
1985										H	H, Q		H, Q
1986		H	H		H, Q	H	H			H	H, Q		H, Q
1987		H	H	H	H, Q	H	H	H, Q		H, Q	H, Q		H, Q
1988		H	H	H	H, Q	H	H	H, Q		H, Q	H, Q		H, Q
1989		H	H	H	H, Q	H	H	H, Q		H, Q	H, Q		H, Q
1990		H, Q	H	H	H, Q	H	H	H, Q		H, Q	H, Q		H, Q
1991		H, Q	H	H	H, Q	H	H	H, Q		H, Q	H, Q		H, Q
1992		H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H	H, Q		H, Q			H, Q
1993		H, Q	H	H, Q	H	H, Q	H	H, Q		H, Q			H, Q
1994		H, Q	H	H, Q	H	H, Q	H	H, Q		H, Q			H, Q
1995		H, Q	H	H, Q	H	H, Q	H	H, Q		H, Q			H, Q
1996						H, Q		H, Q		H, Q			H, Q
1997	H					H, Q		H	H, Q	H, Q			H, Q
1998	H					H, Q		H	H, Q	H, Q			H, Q
1999	H					H, Q		H	H, Q	H, Q			H, Q
2000	H					H, Q			H, Q	H, Q			H, Q
2001	H								H, Q	H, Q			
2002	H								H, Q	H, Q			
2003	H								H, Q	H, Q			
2004	H								H, Q	H, Q			
2005	H								H, Q	H, Q			H, Q
2006	H								H, Q	H, Q			H, Q
2007	H								H, Q	H, Q			H, Q
2008	H								H, Q	H, Q			H, Q
2009	H								H, Q	H, Q			H, Q
2010	H								H, Q	H, Q		Q	H, Q
2011	H								H, Q	H, Q		Q	H, Q
2012	H								H, Q	H, Q		Q	H, Q
2013	H								H, Q	H, Q		Q	H, Q
2014	H								H, Q	H, Q		Q	H, Q
2015	H								H, Q	H, Q		Q	H, Q
2016	H, Q								H, Q	H, Q		Q	H, Q
2017	H								H	H		H, Q	H, Q
2018	H								H, Q	H, Q		H, Q	H, Q
2019	H								H	H		H, Q	H, Q

* Plavo – ukinute postaje



Slika 3.1.5. Prikaz lokacija hidroloških postaja rijeke Like koje su korištene u danom dokumentu:
1 – Bilaj - Lika, 2 – Budak - Lika, 3 – Klanac - Lika, 4 – Kruščica – Lika, 5 - Akumulacija Sklope – Lika,
6 – Sklope – Lika (HEP), 7 – Selište - Lika, 8 – Selište – Lika (HEP), 9 – Barlete - Jadova, 10 – Gospić
- Novčica, 11 - Lički Novi - Novčica, 12 – Kolakovica - Bogdanica, 13 - Šporčić Klanac - Bakovac, 14 –
Kosinjski Bakovac - Bakovac, 15 – Bakovac – Bakovac (HEP)

Tablica 3.1.2. Pregled postojećih podataka na odabranim mjernim postajama sliva (H-vodostaj, Q-protok, Qpr-preljev, T-temperatura vode; crne kućice-svi podaci, sive-djelomični, bijelo-nema pod.)

Postaja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Bilaj	Budak	Klanac	Krušćica	Akumulacija Sklope	Sklope	Selište	Selište	Barlete	Gospić	Lički Novi	Kolakovica	Šporčić Klanac	Kosinjski Bakovac	Bakovac
Vodotok	Lika	Lika	Lika	Lika	Lika	Lika	Lika	Lika	Jadova	Novčica	Novčica	Bogdanica	Bakovac	Bakovac	Bakovac
Šifra postaje	8005	8012	8887	8889	8500	HEP	8501	HEP	8003	8022	8039	8030	8056	8031	HEP
1936		H													
1937		H													
1938	H	H													
1939	H	H													
1940	H	H													
1941	H	H													
1942	H	H													
1943	H	H													
1944															
1945		H													
1946		H													
1947		H		H, Q											
1948	H	H	H, Q	H, Q					H, Q	H					
1949	H	H	H, Q	H, Q						H					
1950	H	H	H, Q	H, Q					H, Q	H					
1951	H, Q	H	H, Q	H, Q					H, Q	H					
1952	H, Q	H	H, Q	H, Q					H, Q	H					
1953	H, Q	H	H, Q	H, Q					H, Q	H					
1954	H, Q	H	H, Q	H, Q					H, Q	H					
1955	H, Q	H	H, Q	H, Q					H, Q	H					
1956	H, Q	H	H, Q	H, Q					H, Q	H					
1957	H, Q	H	H, Q	H, Q					H, Q	H				H	
1958	H, Q	H	H, Q	H, Q					H, Q	H				H	
1959	H, Q	H	H, Q	H, Q					H, Q	H				H	
1960	H, Q	H	H, Q	H, Q					H, Q	H				H	
1961	H, Q	H	H, Q	H, Q					H, Q	H				H	
1962	H, Q	H	H, Q	H, Q					H, Q	H				H	
1963	H, Q	H	H, Q	H, Q					H, Q	H	H	H		H	
1964	H, Q, T	H	H, Q						H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1965	H, Q, T	H	H, Q						H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1966	H, Q, T	H	H, Q						H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1967	H, Q, T	H	H, Q						H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1968	H, Q, T	H						H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1969	H, Q, T	H						H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1970	H, Q, T	H						H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1971	H, Q, T	H				H, Q, Qpr		H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1972	H, Q, T	H				H, Q, Qpr		H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1973	H, Q, T	H				H, Q, Qpr		H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1974	H, Q, T	H				H, Q, Qpr		H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1975	H, Q, T	H				H, Q, Qpr		H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1976	H, Q, T	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1977	H, Q, T	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1978	H, Q, T	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1979	H, Q, T	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H	H	
1980	H, Q, T	H				H, Q, Qpr		H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H	
1981	H, Q, T	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	
1982	H, Q, T	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	
1983	H, Q, T	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	
1984	H, Q, T	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	
1985	H, Q, T	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	
1986	H, Q, T	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	
1987	H, Q, T	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	
1988	H, Q, T	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	
1989	H, Q, T	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	
1990	H, Q, T	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	
1991	H, Q, T	H				H, Q, Qpr		H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	
1992	H	H				H, Q, Qpr		H, Qpr		H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	
1993	H	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr		H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	
1994	H	H				H, Q, Qpr	H	H, Qpr		H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
1995	H	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr		H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
1996	H	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr		H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
1997	H	H, Q			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr		H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
1998	H	H, Q			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
1999	H	H, Q			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2000	H	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2001	H	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2002	H, Q	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2003	H, Q	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2004	H, Q	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2005	H, Q	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2006	H, Q	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2007	H	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2008	H	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2009	H, Q	H			H	H, Q, Qpr	H	H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2010	H, Q	H				H, Q, Qpr		H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2011	H, Q	H				H, Q, Qpr		H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2012	H, Q	H				H, Q, Qpr		H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2013	H, Q	H				H, Q			H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2014	H, Q	H				H, Q			H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2015	H, Q	H				H, Q			H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2016	H, Q	H				H, Q			H	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2017	H, Q	H				H, Q, Qpr		H, Qpr		H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q
2018	H, Q	H				H, Q, Qpr		H, Qpr		H	H, Q	H, Q	H	H, Q	H, Q
2019	H, Q	H				H, Q, Qpr		H, Qpr	H, Q	H	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q	H, Q

* Plavo – ukinute postaje

Na temelju raspoloživih podataka u okviru planiranih obrada provedene su, metodama matematičke statistike, procjene osnovnih statističkih pokazatelja vremenskih nizova podataka - srednja vrijednost, standardna devijacija, koeficijent varijacije, ekstremne minimalne i maksimalne vrijednosti, kao i njihovih trendova.

Provedene su i analize vjerojatnosti karakterističnih godišnjih hidroloških pokazatelja koristeći standardne teorijske funkcije raspodjele: Gauss, Galton, Gumbel, Pearson III, GEV i Log-Pearson III koje se i inače redovito koriste u praktičnoj hidrologiji. Testiranje dobrote njihova prilagođavanja iskustvenoj raspodjeli provedeno je također standardnim statističkim testovima - χ^2 testom te testom Smirnov-Kolmogorova.

Homogenost nizova odabranih hidroloških pokazatelja provedena je primjenom Wilcoxonovog (1945) neparametarskog testa (testa rangiranja) koji je zbog svoje objektivnosti i jednostavnosti pogodan za takve ocjene (Žugaj, 2015). Međusobna zavisnost uzastopnih članova istoga vremenskog niza tijekom određenoga vremenskog razdoblja analizirane su korištenjem autokorelacijske analize.

Regionalne ovisnosti između pojedinih hidroloških parametara, provedene su uz pomoć uobičajenih hidroloških modela - jednostavnih linearnih ili nelinearnih regresija i višestruko regresijskih linearnih modela.

Za nizove dnevnih podataka u protocima provedene su analize učestalosti i trajnosti protoka kako bi se odredili karakteristični pokazatelji njihove trajnosti – vrijednosti protoka 80%-tnog i 95%-tnog trajanja.

Za odabrane DHMZ-ove postaje s duljim nizovima podataka sa slivova Like i Gacke, provedeno je i nadopunjavanje nedostajućih podataka s podacima s postaja HEP-a, kao i na osnovu regresijskih analiza i podacima s obližnjih hidroloških postaja. Za takve referentne hidrološke postaje provedene su i detaljnije hidrološke obrade njihovih podataka, a čiji su rezultati sadržani u poglavlju 3.1.4.

3.1.2 Sliv Gacke

3.1.2.1 Vodostaji

Analiza vodostaja provedena je za odabrane postaje s duljim nizovima raspoloživih podataka na glavnom koritu Gacke kako bi se mogle uočiti eventualne promjene u njihovom hodu, dok je za ostale postaje težište dano analizi protoka. U Tablicama 3.1.3 – 3.1.5 prikazani su rezultati osnovne statističke obrade analiziranih nizova srednjih mjesečnih te ekstremnih godišnjih vrijednosti vodostaja (Sr – srednja vrijednost niza, Stdev – standardna devijacija, Cv – koeficijent varijacije, Max i Min – ekstremne registrirane vrijednosti) na postajama Izvor Gacke (Tonkovića vrilo)-Gacka, Čovići-Gacka i Podgora-Gacka. Na Slikama 3.1.6 – 3.1.11 dani su prikazi trendova hoda karakterističnih srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih godišnjih vrijednosti vodostaja, kao i njihova unutar godišnja raspodjela.

Iz danih prikaza vidljivo je da, neovisno o duljini analiziranog niza, na svim analiziranim lokalitetima postoji trend porasta srednjih godišnjih vodostaja koji kod postaje Čovići – Gacka iznosi 8,8 cm/100 god, na Izvoru Gacke (Tonkovića vrilo) 30,8 cm/100 god, dok kod najkraćeg niza, s postaje Podgora – Gacka (razdoblje 2002.-2019.) on je najizraženiji (86,2 cm/100 god). Još naglašenije trendove porasta imaju i maksimalni godišnji vodostaji - kod postaje Čovići (15,8 cm/100 god), postaje Izvor Gacke (72,0 cm/100 god), a kod postaje Podgora čak 420 cm/100 god, no što je prije svega uvjetovano kraćim nizom. Minimalni godišnjih vodostaja na postaji Čovići imaju zabilježen vrlo mali trend porasta (6,4 cm/100 god), kod postaje Izvor Gacke on je puno značajniji (34,7 cm/100 god), dok je kod postaje Podgora on čak i negativan (11,9 cm/100 god).

Unutar godišnja raspodjela vodostaja pokazuje da se u rujnu ili kolovozu javljaju prosječno najniži vodostaji, a da se ekstremni minimumi pojedinih godina javljaju i u produljenom recesijskom razdoblju koje znade potrajati do studenog, pa i prosinca.

Tablica 3.1.3. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti vodostaja (cm) na postaji Izvor Gacka (Tonkovića vrilo) - Gacka u razdoblju od 1950. do 2019. godine

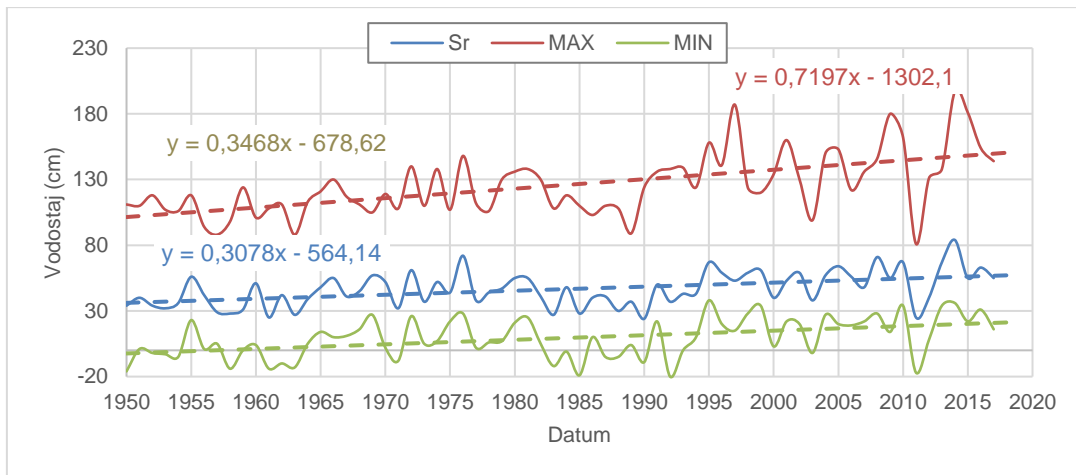
IZVOR GACKE (Tonkovića Vrilo) - GACKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji vodostaj (cm)													
Sr	57	53	56	60	51	41	33	28	26	35	53	66	47
Stdev	24	21	20	20	17	12	11	15	22	31	33	32	13
Cv	0,41	0,40	0,36	0,33	0,34	0,29	0,32	0,54	0,86	0,90	0,61	0,48	0,28
Max	117	119	98	120	97	68	56	84	120	119	117	128	84
Min	2	11	0	17	21	18	10	0	-6	-15	-12	-6	24
Maksimalni vodostaj (cm)													
Sr	87	79	84	82	67	51	40	34	42	57	85	97	126
Stdev	36	31	30	25	25	19	18	21	36	46	46	37	24
Cv	0,41	0,40	0,35	0,30	0,37	0,37	0,46	0,62	0,88	0,79	0,54	0,39	0,19
Max	178	180	150	144	140	102	151	145	197	197	187	162	197
Min	8	17	9	30	28	20	14	6	0	-11	-5	6	81
Minimalni vodostaj (cm)													
Sr	38	36	37	43	39	34	29	22	17	21	31	44	9
Stdev	15	16	14	15	11	9	11	14	16	25	27	25	15
Cv	0,40	0,44	0,39	0,36	0,29	0,27	0,37	0,61	0,95	1,20	0,88	0,57	1,61
Max	74	81	74	84	69	56	54	61	62	84	102	98	38
Min	-5	3	-4	8	16	14	7	-3	-15	-20	-19	-17	-20

Tablica 3.1.4. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti vodostaja (cm) na postaji Čović - Gacka u razdoblju od 1948. do 2019. godine

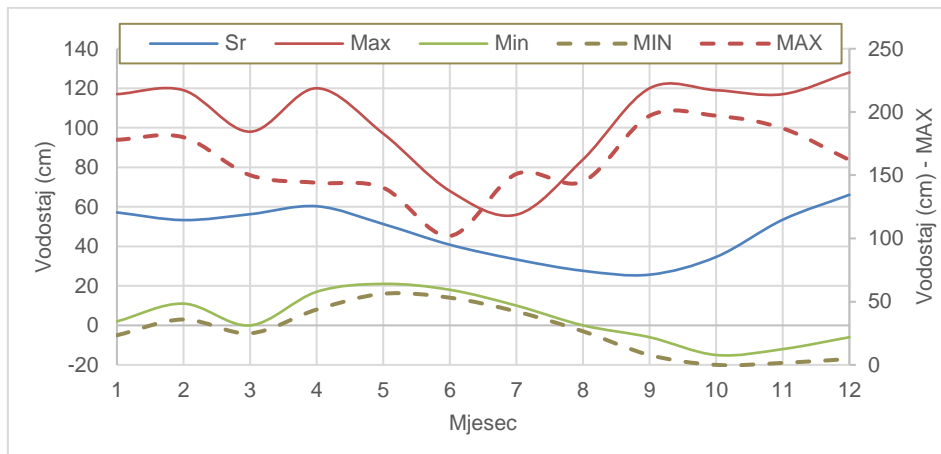
ČOVIĆI - GACKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji vodostaj (cm)													
Sr	94	92	96	98	86	72	65	61	60	68	89	103	82
Stdev	28	28	28	25	22	15	12	16	24	36	36	37	13
Cv	0,30	0,30	0,29	0,25	0,26	0,20	0,19	0,26	0,41	0,52	0,40	0,36	0,16
Max	155	169	156	162	144	108	93	120	169	192	160	183	125
Min	37	27	34	47	49	47	41	33	25	17	6	30	45
Maksimalni vodostaj (cm)													
Sr	136	131	135	132	110	86	73	69	82	103	139	152	195
Stdev	43	44	41	34	36	25	22	27	45	58	55	51	29
Cv	0,32	0,34	0,31	0,26	0,33	0,29	0,30	0,39	0,55	0,56	0,40	0,33	0,15
Max	232	243	217	210	236	163	204	205	246	276	232	240	276
Min	47	36	52	66	51	49	46	39	30	25	14	34	113
Minimalni vodostaj (cm)													
Sr	69	69	71	76	70	65	60	55	48	50	59	74	38
Stdev	19	20	19	19	12	11	11	14	15	27	27	26	13
Cv	0,28	0,29	0,27	0,25	0,18	0,16	0,19	0,25	0,32	0,54	0,46	0,35	0,35
Max	126	134	110	127	103	86	82	90	94	170	135	131	68
Min	28	19	29	39	47	45	37	28	20	11	0	-1	-1

Tablica 3.1.5. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti vodostaja (cm) na postaji Podgora - Gacka u razdoblju od 2002. do 2019. godine

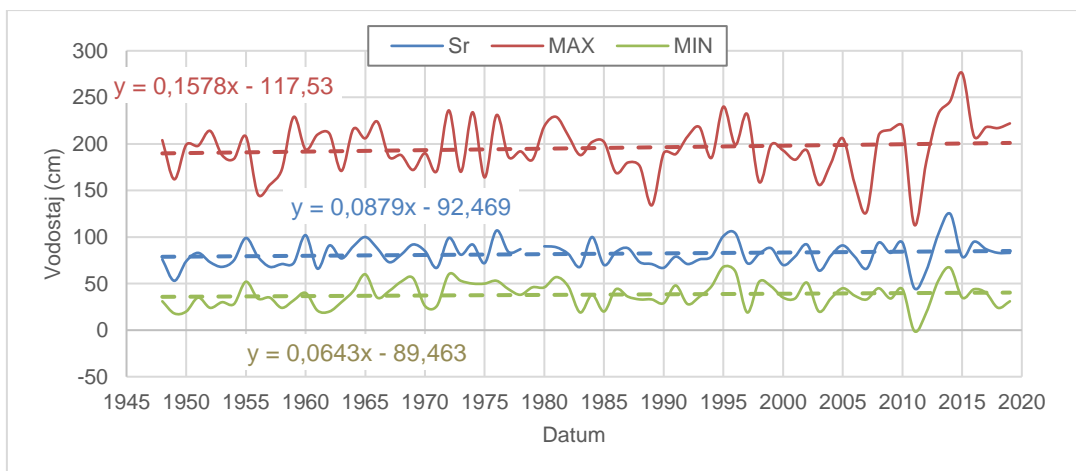
PODGORA - GACKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji vodostaj (cm)													
Sr	84	93	97	91	81	66	56	52	54	58	84	101	76
Stdev	30	34	31	28	25	15	12	18	32	33	37	41	17
Cv	0,36	0,37	0,32	0,30	0,31	0,22	0,21	0,34	0,60	0,57	0,44	0,41	0,22
Max	149	164	152	136	137	94	77	109	159	140	150	162	118
Min	37	30	45	45	47	43	35	29	19	13	4	30	43
Maksimalni vodostaj (cm)													
Sr	128	135	134	127	103	80	67	64	78	98	141	144	191
Stdev	47	55	42	42	41	28	34	38	56	67	59	52	42
Cv	0,37	0,41	0,31	0,33	0,40	0,34	0,51	0,59	0,71	0,69	0,42	0,36	0,22
Max	227	239	210	204	192	155	196	197	239	275	214	213	275
Min	47	38	52	64	54	48	38	32	29	23	10	44	108
Minimalni vodostaj (cm)													
Sr	60	67	69	69	65	58	51	46	39	39	49	72	30
Stdev	20	24	19	20	13	11	12	12	14	24	27	32	14
Cv	0,33	0,35	0,28	0,29	0,20	0,18	0,23	0,26	0,38	0,61	0,56	0,45	0,46
Max	105	129	100	106	96	77	74	77	80	99	127	124	61
Min	33	26	38	36	43	37	28	26	16	10	0	1	0



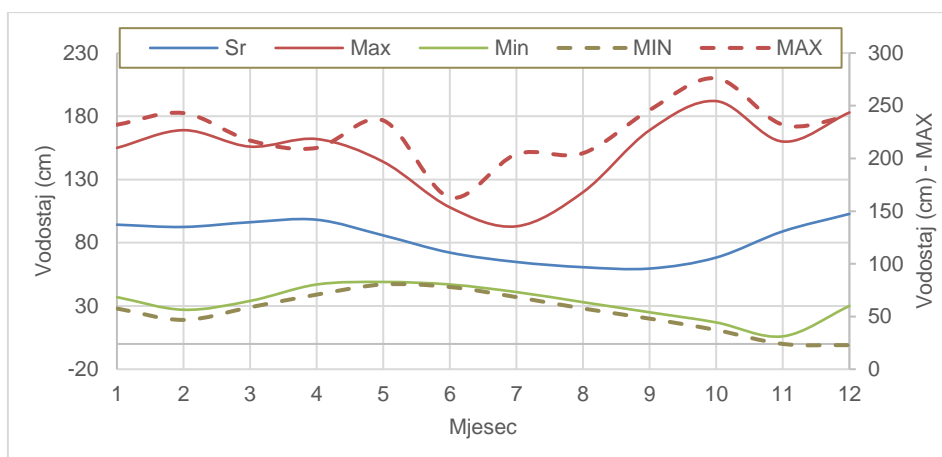
Slika 3.1.6. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih vodostaja zabilježenih na postaji Izvor Gacke (Tonkovića vrilo) - Gacka (1950.-2019.) i njihov trend



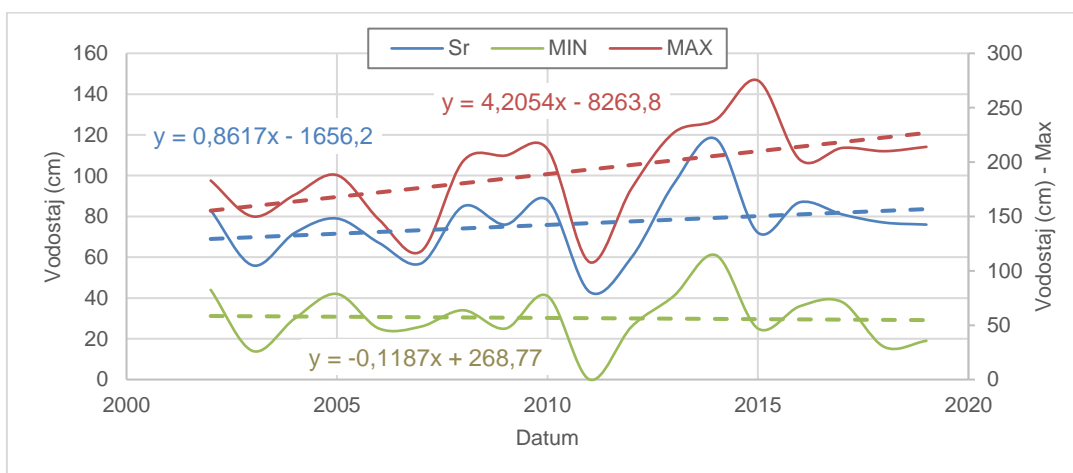
Slika 3.1.7. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih vodostaja na postaji Izvor Gacke-Gacka (1950.-2019.)



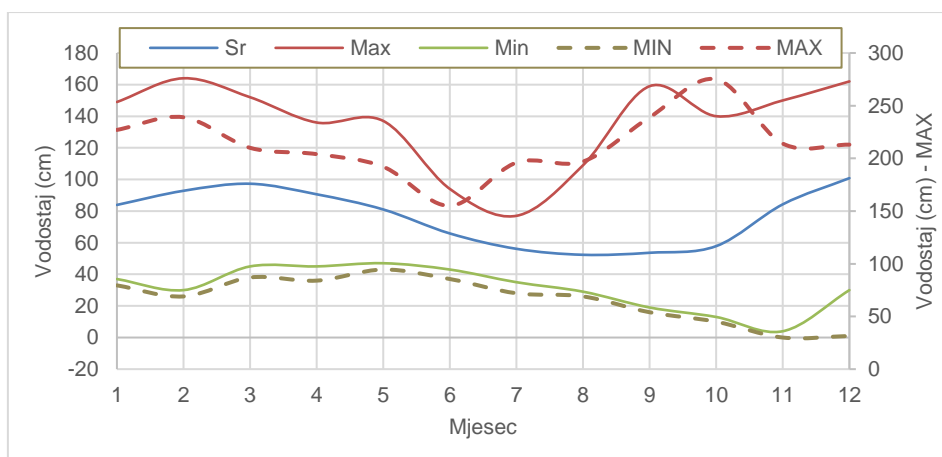
Slika 3.1.8. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih vodostaja zabilježenih na postaji Čović-Gacka (1948.-2019.) i njihov trend



Slika 3.1.9. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih vodostaja na postaji Čović-Gacka (1948.-2019.)



Slika 3.1.10. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih vodostaja zabilježenih na postaji Podgora-Gacka (2002.-2019.) i njihov trend



Slika 3.1.11. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih vodostaja na postaji Podgora-Gacka (2002.-2019.)

3.1.2.2 Protoci

U Tablicama 3.1.6 – 3.1.12 prikazani su rezultati osnovne statističke obrade analiziranih nizova srednjih mjesečnih te ekstremnih godišnjih vrijednosti protoka (Sr – srednja vrijednost niza, Stdev – standardna devijacija, Cv – koeficijent varijacije, Max i Min – ekstremne registrirane vrijednosti) na odabranim postajama duž rijeke Gacke i njenih pritoka. Na Slikama 3.1.12 – 3.1.21 dani su prikazi trendova hoda karakterističnih srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih godišnjih vrijednosti protoka, kao i njihova unutar godišnja raspodjela. Nažalost, kod većine postaja podaci o protocima tijekom do sada najvećeg zabilježenog vodnog vala kad je dne 16.10.2015 na Vivozama izmjeren protok od $106,73 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, nemaju u tolikoj mjeri iskazane maksimalne protoke, što ostavlja sumnju u definiranost konsumpcijskih krivulja pri najvećim vodama.

Potrebno je napomenuti da na svim postajama na kojima obrade podataka provodi DHMZ, osim na postaji Šumečica sr.dn. - Lika+Gacka, za koju organizaciju monitoringa i obrada provodi HEP, nedostaju podaci i za 2017. i 2019. godinu. Kod nekih su postaja nedostajale i još neke godine s podacima ili je pak utvrđeno da raspoloživi podaci nemaju primjerenu točnost, pa su isti izostavljeni iz obrada. Problem u definiranju konsumpcijskih krivulja, koje su vrlo promjenjive, je zbog obraslost korita Gacke, kao i utjecaj uspora dotoka Like u na čvorištu Šumečica, pa se utjecaj uspora osjeća pri takvim većim dotocima i na Vivozama. Zato je DHMZ i prestao obračunavati protoke na tom profilu, no HEP je nastavio zbog operativnih potreba rada HE Senj. U poglavlju 3.1.4, sadržani su podaci s postave Vivoze koji su za razdoblje 1978.- 2003. preuzeti iz baze DHMZ-a, te nadopunjeni raspoloživim podacima HEP-a za razdoblje do 2019. Kao reprezentativna postaja cjelokupnog sliva odabrana je postaja Podgora - Gacka zbog najpovoljnijih konsumpcijskih odnosa, pa je za nju, također u okviru poglavlja 3.1.4 dan prikaz nadopunjenih nizova srednjih mjesečnih protoka za razdoblje 1961.- 2019.

Tablica 3.1.6. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) na postaji Izvor Gacka - Gacka u razdoblju od 1982. do 2016. godine

IZVOR GACKE - GACKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji protok (m^3s^{-1})													
Sr	4,24	3,87	4,05	4,24	3,80	3,17	2,72	2,57	2,61	3,25	4,11	4,58	3,60
Stdev	1,32	1,15	1,00	0,76	0,99	0,59	0,53	0,64	1,21	1,58	1,68	1,45	0,64
Cv	0,31	0,30	0,25	0,18	0,26	0,19	0,20	0,25	0,46	0,48	0,41	0,32	0,18
Max	8,59	7,14	5,89	5,70	6,80	4,67	4,17	4,55	8,41	7,75	8,08	6,69	5,82
Min	2,14	1,93	2,16	2,59	2,13	2,09	1,71	1,63	1,37	1,07	0,85	1,26	2,14
Maksimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	5,93	5,16	5,55	5,45	4,52	3,59	3,11	2,90	3,49	4,65	5,80	6,13	8,22
Stdev	2,00	1,96	1,57	1,11	1,45	0,89	1,13	1,11	2,33	2,93	2,60	2,12	2,00
Cv	0,34	0,38	0,28	0,20	0,32	0,25	0,36	0,38	0,67	0,63	0,45	0,35	0,24
Max	11,4	9,55	9,27	7,46	8,78	6,11	8,63	8,21	13,9	13,9	12,0	11,4	13,9
Min	2,36	2,14	2,45	2,97	2,41	2,21	1,78	1,75	1,59	1,34	0,98	2,00	5,07
Minimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	3,26	3,13	3,16	3,30	3,20	2,87	2,54	2,33	2,17	2,50	3,07	3,50	1,87
Stdev	0,75	0,79	0,73	0,51	0,62	0,45	0,54	0,57	0,73	1,16	1,36	1,05	0,52
Cv	0,23	0,25	0,23	0,16	0,19	0,16	0,21	0,24	0,34	0,46	0,44	0,30	0,28
Max	5,42	5,85	4,65	4,61	5,17	3,77	4,06	3,71	4,58	5,57	7,11	5,28	3,03
Min	1,63	1,82	1,95	2,32	1,82	1,99	1,54	1,29	1,02	0,91	0,73	0,73	0,73

Tablica 3.1.7. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka ($m^3 s^{-1}$) na postaji Čović - Gacka u razdoblju od 1995. do 2018. godine (bez 2017.)

ČOVIĆI - GACKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji protok (m^3s^{-1})													
Sr	17,3	16,5	17,4	16,4	12,7	9,51	7,56	6,64	6,86	8,48	12,6	16,6	12,4
Stdev	6,13	6,29	6,16	5,28	3,90	2,21	1,59	2,57	5,13	5,63	5,71	7,14	2,84
Cv	0,35	0,38	0,35	0,32	0,31	0,23	0,21	0,39	0,75	0,66	0,45	0,43	0,23
Max	29,8	32,4	30,7	26,6	23,9	15,0	11,0	16,3	27,3	22,8	24,5	27,9	19,5
Min	6,76	5,97	7,69	8,17	6,64	5,99	4,42	3,25	3,01	2,65	2,33	4,85	6,43
Maksimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	27,6	25,0	25,4	23,8	16,7	11,6	9,45	8,39	10,9	15,6	23,3	26,9	38,6
Stdev	10,2	12,2	9,66	8,97	6,25	3,74	6,03	6,37	9,9	14,8	11,3	11,5	11,8
Cv	0,37	0,49	0,38	0,38	0,37	0,32	0,64	0,76	0,91	0,95	0,48	0,43	0,31
Max	51,1	54,2	48,5	46,2	33,5	19,8	35,3	35,5	46,7	66,5	47,7	47,2	66,5
Min	7,78	6,7	8,34	9,83	8,02	7,09	5,09	3,94	4,29	2,95	2,59	6,21	16,6
Minimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	11,7	11,6	11,7	11,7	9,79	8,31	6,73	5,77	4,89	5,74	6,84	10,7	4,33
Stdev	4,25	4,06	3,40	3,32	2,32	1,92	1,54	1,65	1,91	3,60	3,98	4,55	1,79
Cv	0,36	0,35	0,29	0,28	0,24	0,23	0,23	0,29	0,39	0,63	0,58	0,43	0,41
Max	21,4	23,5	17,7	18,1	15,6	13,1	9,29	10,2	10,4	14,0	19,0	18,0	8,17
Min	5,4	5,4	5,34	6,98	5,72	5,09	3,81	2,71	2,40	1,64	2,13	2,10	1,64

Tablica 3.1.8. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka ($m^3 s^{-1}$) na postaji Podgora - Gacka u razdoblju od 2000. do 2016. godine (bez 2001. i 2008.)

PODGORA - GACKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji protok (m^3s^{-1})													
Sr	17,6	19,8	20,2	18,2	14,4	10,4	7,9	7,0	7,3	9,9	15,8	18,5	13,9
Stdev	7,11	9,59	7,27	6,81	5,81	2,89	2,09	3,79	6,70	6,84	8,02	8,81	4,04
Cv	0,40	0,48	0,36	0,38	0,40	0,28	0,26	0,54	0,92	0,69	0,51	0,48	0,29
Max	35,8	39,6	37,7	31,3	28,8	15,7	12,2	19	30,4	26	30,5	36,6	23,1
Min	7,30	5,96	8,75	8,80	6,86	5,79	4,14	3,00	2,89	2,43	2,21	5,71	7,24
Maksimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	32,1	32,3	29,7	27,6	19,6	13,6	10,6	9,8	11,9	19,9	28,4	31,5	46,0
Stdev	15,8	17,8	10,3	11,2	9,85	5,31	8,09	8,74	12,2	15,9	14,2	13,8	15,0
Cv	0,49	0,55	0,35	0,41	0,50	0,39	0,77	0,89	1,02	0,80	0,50	0,44	0,33
Max	73,7	68,9	50,3	50,8	43,8	25,5	39,0	39,2	49,3	60,4	52,7	52,0	73,7
Min	9,07	7,39	10,0	12,5	8,83	7,14	5,14	3,39	4,05	2,80	2,33	6,31	22,4
Minimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	10,6	12,4	13,3	12,6	10,2	8,51	6,76	5,72	4,75	5,94	8,40	11,7	4,24
Stdev	4,20	5,61	4,09	4,49	2,86	1,97	2,05	2,24	2,43	4,29	5,90	6,03	1,84
Cv	0,40	0,45	0,31	0,36	0,28	0,23	0,30	0,39	0,51	0,72	0,70	0,51	0,43
Max	20,6	27,1	19,0	22,2	15,9	11,4	9,73	12,0	12,6	16,6	25,1	23,3	9,73
Min	4,72	4,74	7,14	7,03	5,83	4,93	3,01	2,62	2,59	2,33	2,14	2,15	2,14

Tablica 3.1.9. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka (m^3s^{-1}) na postaji Sinac – Izvor Klanac u razdoblju od 1988. do 2018. godine (bez 2017.)

SINAC - IZVOR KLANAC													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji protok (m^3s^{-1})													
Sr	4,11	3,69	4,39	4,94	3,81	2,85	1,96	1,14	1,01	1,81	3,37	4,63	3,14
Stdev	2,70	2,14	2,29	2,28	1,84	1,51	1,15	1,08	1,55	2,08	2,88	2,95	1,16
Cv	0,66	0,58	0,52	0,46	0,48	0,53	0,58	0,95	1,53	1,15	0,86	0,64	0,37
Max	11,4	9,52	8,74	9,11	9,57	8,39	5,52	6,31	8,62	9,36	11,2	11,8	6,68
Min	1,12	0,95	0,59	0,90	1,10	1,18	0,40	0,31	0,02	0	0	0,73	1,34
Maksimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	6,63	5,94	6,96	7,36	5,25	3,82	2,76	1,85	1,93	4,53	7,02	7,78	11,7
Stdev	3,84	3,82	3,70	3,02	2,48	2,37	2,20	2,55	2,96	4,76	4,99	4,38	3,31
Cv	0,58	0,64	0,53	0,41	0,47	0,62	0,80	1,38	1,54	1,05	0,71	0,56	0,28
Max	15,5	15,0	14,3	12,8	12,1	13,2	11,4	15,0	15,0	15,5	16,0	16,0	16,0
Min	1,39	1,15	0,87	1,54	1,82	1,52	0,59	0,45	0,12	0	0	1,25	3,09
Minimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	2,20	2,36	2,59	3,06	2,65	2,20	1,39	0,72	0,50	0,75	1,71	2,38	0,35
Stdev	1,21	1,46	1,48	1,65	1,24	1,06	0,76	0,61	0,62	0,98	1,96	1,58	0,45
Cv	0,55	0,62	0,57	0,54	0,47	0,48	0,54	0,85	1,25	1,30	1,15	0,66	1,31
Max	6,22	7,03	6,27	6,27	6,58	4,92	3,78	3,05	3,05	4,21	7,23	6,64	2,30
Min	0,78	0,76	0,45	0,57	0,74	0,34	0,24	0,13	0	0	0	0	0

Tablica 3.1.10. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka (m^3s^{-1}) na postaji Ličko Lešće nizv. – Pećina vrelo u razdoblju od 1997. do 2018. godine (bez 2017.)

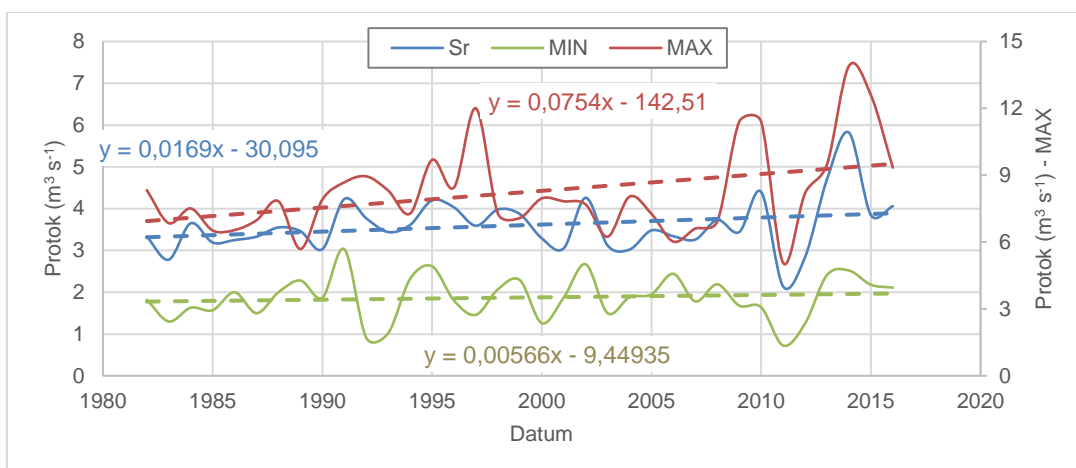
LIČKO LEŠĆE NIZV. - PEĆINA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji protok (m^3s^{-1})													
Sr	2,32	2,21	2,55	2,16	1,49	1,05	0,70	0,44	0,44	0,97	2,07	2,28	1,56
Stdev	1,36	1,48	1,36	1,15	0,85	0,72	0,54	0,44	0,64	1,14	1,52	1,61	0,60
Cv	0,58	0,67	0,53	0,53	0,57	0,69	0,77	1,00	1,46	1,17	0,74	0,71	0,39
Max	5,40	5,98	5,27	3,94	4,27	3,02	2,22	1,97	2,81	4,38	6,09	5,78	2,97
Min	0,22	0,15	0,24	0,53	0,52	0,27	0,16	0,06	0,03	0,02	0,02	0,31	0,54
Maksimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	4,62	4,02	4,53	3,95	2,50	1,39	0,98	0,85	1,39	2,90	5,03	4,37	7,04
Stdev	1,99	2,58	2,04	2,22	1,66	1,17	0,92	1,01	1,71	2,84	2,65	2,40	1,96
Cv	0,43	0,64	0,45	0,56	0,66	0,84	0,93	1,19	1,24	0,98	0,53	0,55	0,28
Max	8,39	10,2	8,83	9,04	7,98	4,52	4,05	3,62	5,32	10,6	9,30	8,26	10,6
Min	0,43	0,27	0,50	1,18	0,68	0,39	0,21	0,14	0,05	0,06	0,05	0,41	4,06
Minimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	1,14	1,08	1,14	1,25	0,96	0,88	0,52	0,26	0,17	0,26	0,67	1,08	0,10
Stdev	1,11	0,85	0,72	0,83	0,46	0,61	0,41	0,28	0,30	0,40	1,01	1,07	0,13
Cv	0,97	0,79	0,63	0,67	0,48	0,69	0,80	1,08	1,79	1,55	1,51	0,98	1,37
Max	4,44	3,34	2,52	3,10	2,33	2,67	1,72	1,28	1,41	1,54	4,19	4,21	0,61
Min	0,16	0,10	0,18	0,18	0,43	0,21	0,08	0,03	0,01	0	0	0	0

Tablica 3.1.11. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka (m^3s^{-1}) na postaji Vivoze - Gacka u razdoblju od 1978. do 2003. godine

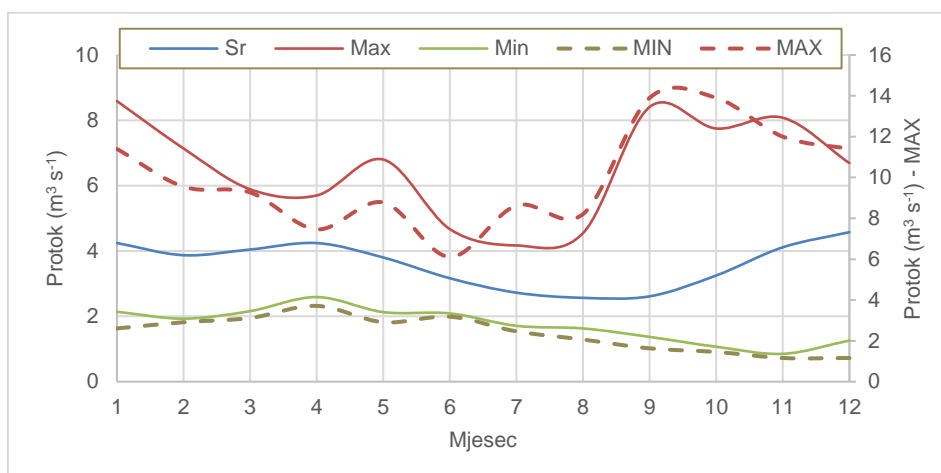
VIVOZE - GACKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji protok (m^3s^{-1})													
Sr	19,4	18,3	20,0	20,9	16,6	11,4	8,35	6,21	6,46	10,05	15,5	19,6	14,4
Stdev	8,17	5,95	7,92	5,20	4,99	3,43	2,24	1,41	3,14	6,89	9,28	9,51	2,73
Cv	0,42	0,33	0,40	0,25	0,30	0,30	0,27	0,23	0,49	0,69	0,60	0,49	0,19
Max	36,1	28,7	37,8	31,9	27,5	19,0	14,2	9,38	15,8	28,2	39,7	39,6	20,3
Min	7,77	6,95	6,18	11,3	9,53	6,90	5,49	4,07	2,79	3,05	3,07	3,74	9,82
Maksimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	32,2	29,3	32,8	31,7	24,0	16,0	11,8	8,77	12,6	20,4	29,9	34,8	51,3
Stdev	15,1	10,0	13,9	8,41	8,95	6,21	4,43	3,39	10,45	15,6	19,6	17,2	10,8
Cv	0,47	0,34	0,42	0,27	0,37	0,39	0,38	0,39	0,83	0,76	0,66	0,50	0,21
Max	59,1	48,8	53,7	52,8	45,9	28,2	21,4	18,7	38,2	61,7	69,8	65,8	69,8
Min	8,83	7,76	8,45	17,2	10,6	8,03	6,35	5,03	3,14	3,98	4,25	5,81	30,4
Minimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	12,8	13,3	13,5	14,1	12,3	8,96	6,49	4,96	4,37	6,12	8,94	11,9	3,85
Stdev	5,05	4,67	5,06	3,63	3,40	2,29	1,61	1,29	1,31	4,51	6,19	5,20	1,50
Cv	0,40	0,35	0,38	0,26	0,28	0,26	0,25	0,26	0,30	0,74	0,69	0,44	0,39
Max	22,8	23,5	24,9	21,6	19,6	14,3	10,4	8,26	7,93	17,9	27,1	22,4	7,93
Min	4,54	5,3	5,15	6,68	6,53	5,81	3,98	2,60	2,34	1,58	2,21	2,39	1,58

Tablica 3.1.12. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka (m^3s^{-1}) na postaji Šumečica sr.dn. – Lika+Gacka u razdoblju od 1986. do 2019. godine

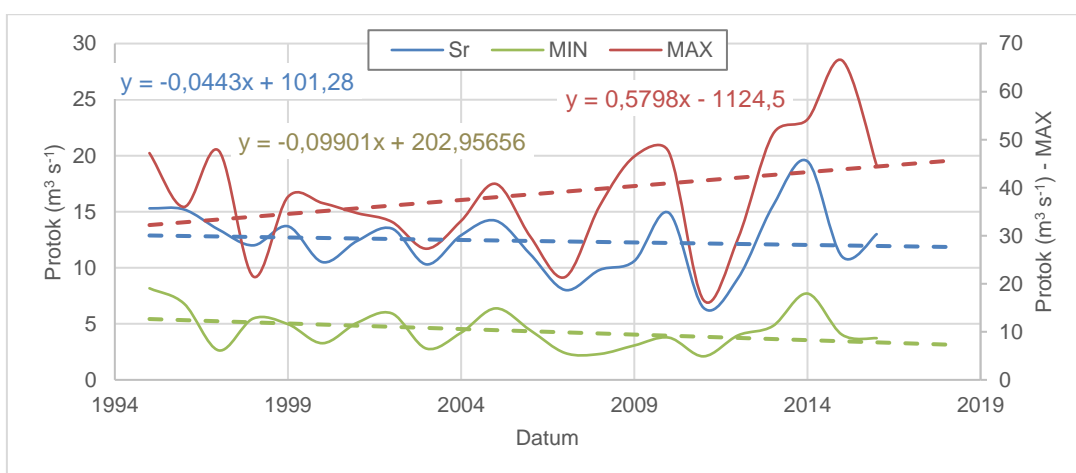
ŠUMEČICA SR.DN. - LIKA + GACKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji protok (m^3s^{-1})													
Sr	46,6	47,1	44,0	45,2	35,2	19,3	14,2	12,5	13,6	22,8	36,7	47,7	32,1
Stdev	15,7	16,0	17,1	14,4	14,5	8,90	6,37	8,14	13,1	15,5	16,7	12,1	6,37
Cv	0,34	0,34	0,39	0,32	0,41	0,46	0,45	0,65	0,96	0,68	0,45	0,25	0,20
Max	60,9	60,9	61,1	61,1	58,8	49,4	31,7	39,9	59,8	59,9	59,5	60,7	48,9
Min	10,6	12,1	6,72	14,2	8,87	8,46	6,11	0,45	1,36	2,93	6,38	22,4	17,7
Maksimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	59,0	60,5	59,3	60,7	57,8	51,4	46,3	39,2	39,7	50,3	57,4	60,2	61,7
Stdev	7,03	1,78	6,95	2,31	8,70	9,37	10,5	13,8	17,4	15,1	6,56	2,38	1,08
Cv	0,12	0,03	0,12	0,04	0,15	0,18	0,23	0,35	0,44	0,30	0,11	0,04	0,02
Max	62,3	62,6	62,5	62,4	62,7	62,2	61,3	60,8	61,6	64,8	62,9	62,5	64,8
Min	23,1	54,0	22,9	48,9	23,0	28,3	23,5	4,72	4,49	3,85	40,7	51,2	59,2
Minimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	21,5	22,2	21,8	19,4	12,3	6,38	5,48	4,45	3,23	5,66	9,47	19,8	1,70
Stdev	16,3	15,8	15,4	14,5	5,71	3,69	2,89	2,55	3,58	7,47	7,80	14,8	2,61
Cv	0,76	0,71	0,70	0,75	0,46	0,58	0,53	0,57	1,11	1,32	0,82	0,74	1,54
Max	56,1	54,9	56,4	59,2	35,1	11,6	10,1	11,8	16,9	42,3	34,2	58,4	9,91
Min	5,15	5,23	4,08	0	6,43	0	0	0	0	0	2,4	2,49	0



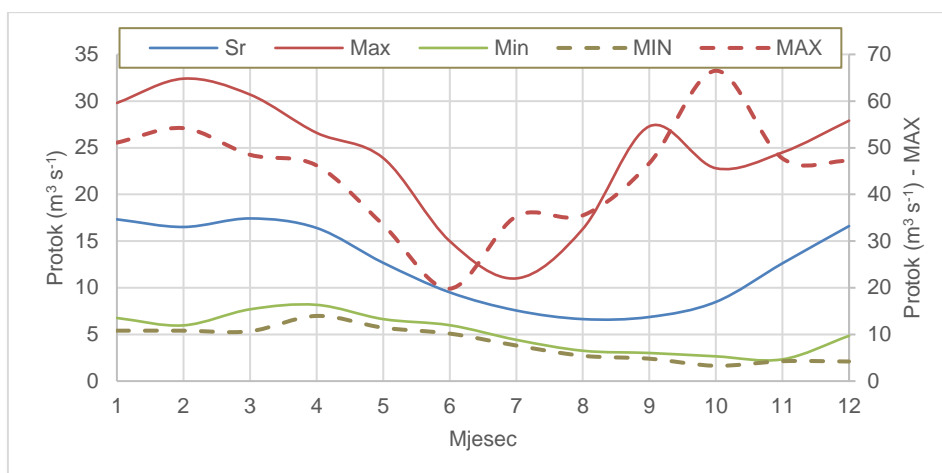
Slika 3.1.12. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih protoka zabilježenih na postaji Izvor Gacke - Gacka (1982.-2016.) i njihov trend



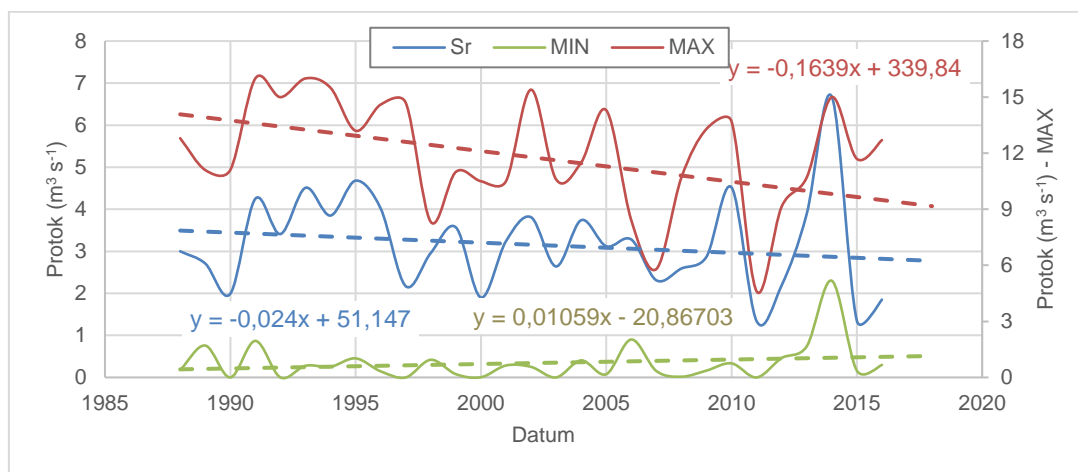
Slika 3.1.13. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih protoka na postaji Izvor Gacke - Gacka (1982.-2016.)



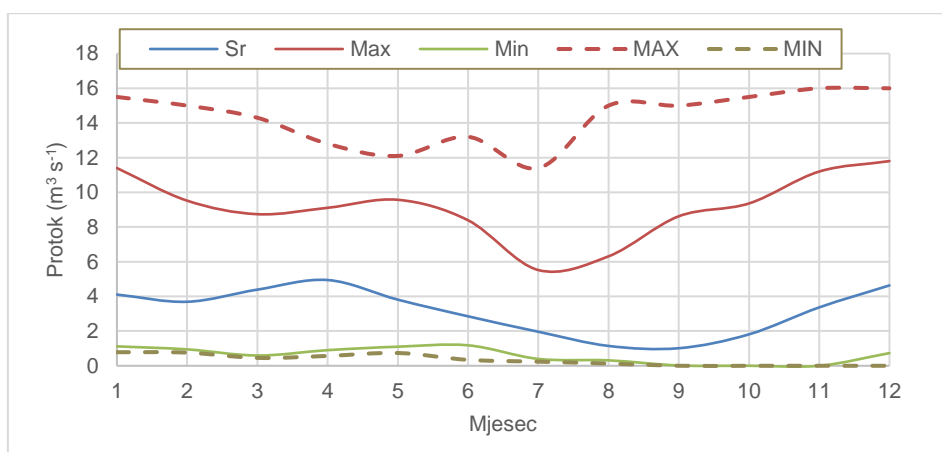
Slika 3.1.14. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih protoka zabilježenih na postaji Čovići - Gacka (1995.-2018., bez 2017.) i njihov trend



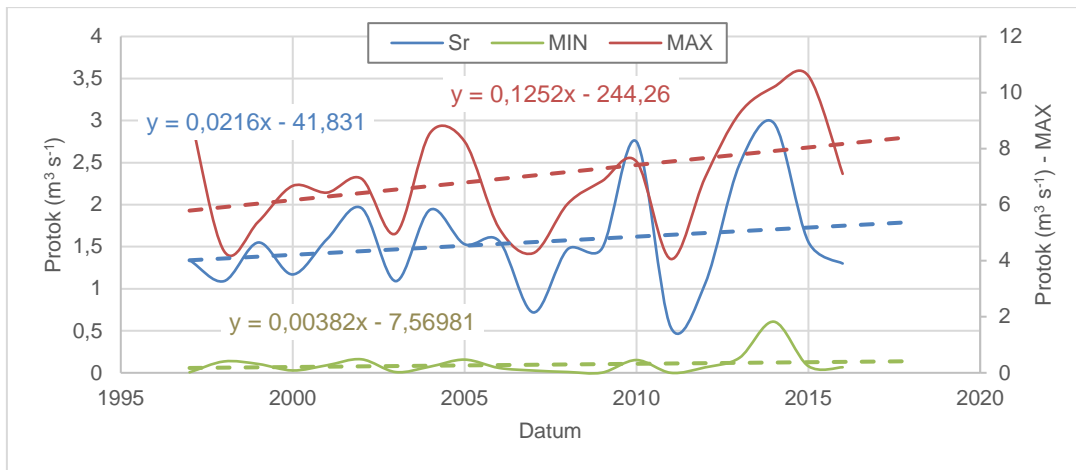
Slika 3.1.15. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih protoka na postaji Čovići - Gacka (1995.-2018., bez 2017.)



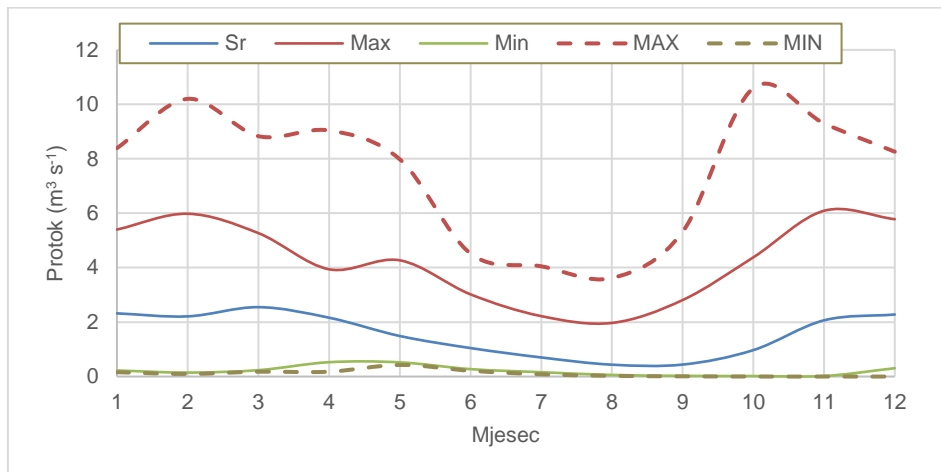
Slika 3.1.16. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih protoka zabilježenih na postaji Sinac – Izvor Klanac (1988.-2018., bez 2017.) i njihov trend



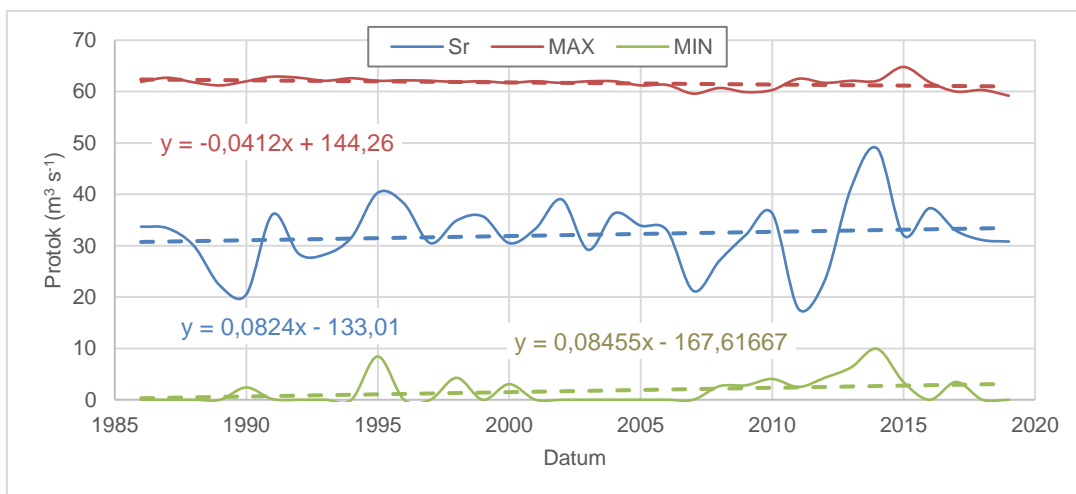
Slika 3.1.17. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih protoka na postaji Sinac – Izvor Klanac (1987.-2018., bez 2017.)



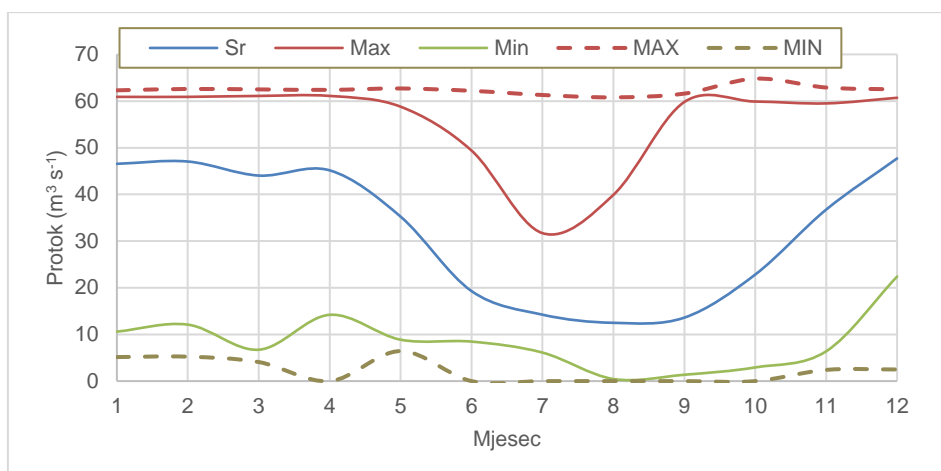
Slika 3.1.18. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih protoka zabilježenih na postaji Ličko Lešće nizv. – Pećina (1997.-2018., bez 2017.) i njihov trend



Slika 3.1.19. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih protoka na postaji Ličko Lešće nizv. – Pećina (1997.-2018., bez 2017.)



Slika 3.1.20. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih protoka zabilježenih na postaji Šumećica sr.dn. – Lika+Gacka (1986.-2019.) i njihov trend



Slika 3.1.21. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih protoka na postaji Šumečica sr.dn. – Lika+Gacka (1986.-2019.)

Iz danih je prikaza vidljivo da su se protoci rijeke Gacke pratili na dosta hidroloških postaja s nažalost nedovoljno dugim kontinuitetom praćenja na istom mjestu za ocjenu dugoročnih trendova i mogućih promjena. Problem su i gubici u koritu Gacke nizvodno od profila hidrološke postaje Podgora, što je detaljnije analizirano u poglavlju 3.2.2 ovog dokumenta. Zbog toga su u poglavlju 3.1.4 analizirani podaci s postaja Podgora i Vivoze, koji su dobiveni kombinacijom podataka sa susjednih postaja, odnosno postaja HEP-a, nad kojima su provedene kompleksnije hidrološke obrade.

Poseban problem su podaci s brojnih izvorišta koje ima Gacka. Podaci mjerenja na Izvoru Gacke (Tonković vrilo) (Tablica 3.1.6, Slike 3.1.12 i 3.1.13), koja su raspoloživa za razdoblje 1982.-2016. g., ne uključuju crpljene količine, već se hidrološki prate preljevne količine voda s tog izvora. Te su crpljene količine u većem dijelu godine minorne u odnosu na izdašnost Gacke, ali pri malim vodama, pogotovo pri pojavama iznimno dugih i intenzivnih sušnih razdoblja, taj udio ipak može biti znatan. Naime, kad se izdašnost izvora Gacke spusti ispod $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, udio crpljenih količina, obzirom na maksimalni kapacitet crpki od oko 150 L/s, može iznositi i 10-20%. Minimalni zabilježen preljevni protok Izvora Gacke je $0,73 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ i zabilježen je u studenom i prosincu iznimno sušne 2011.g., kada u kolovozu zabilježen minimum od $1,54 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Slijedeće, 2012. g. zabilježene su još niže vrijednosti protoka u kolovozu od $1,34 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a do sada najniža zabilježena vrijednost minimalnog preljevno protoka u kolovozu je $1,29 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (1993.g.). No, tijekom pojedinih mjeseci, javljaju se i manji, čak i srednji mjesečni preljevni protoci, te je tako u studenom 2011.g. on iznosio svega $0,853 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Vrijednosti minimalnog protoka Izvora Gacke u kolovozu su interesantne u kontekstu planiranja jedne od varijanti prelociranja zahvata voda za vodoopskrbu sa HE sustava Senj na sliv Gacke (Hidro-expert i Hidroprojekt-ing, 2015), pri čemu se u spomenutom dokumentu koji se odnosi na novelaciju Vodoopskrbnog plana Ličko-senjske županije spominje nedokumentirani navod o minimalnoj izdašnosti toga izvora od svega $0,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. U kontekstu potrebe osiguranja ekološki prihvatljivog protoka u uvjetima pojačanih pritisaka za vodoopskrbu svakako su interesantne minimalne kolovoške izdašnosti Izvora Gacke, ali i tijekom ostalih mjeseci. Trendovi hoda karakterističnih godišnjih vrijednosti protoka (srednjih godišnjih i ekstrema), pokazuju tijekom analiziranog razdoblja porast, na koga su u velikoj mjeri utjecale dugotrajne sušne prilike zabilježene na početku razdoblja monitoringa - od sredine osamdesetih

pa do početka devedesetih godina prošlog stoljeća, kao i pojave velikih voda pri njegovom kraju. Unutar godišnja raspodjela prosječnih mjesečnih protoka na Izvoru Gacke pokazuje prisustvo zimskog (prosinac) kao i proljetnog maksimuma (travanj), dok su malovodna razdoblja vezana uz drugu polovinu godine, s prosječno najnižim srednjim mjesečnim protocima u kolovozu i rujnu, ali s mogućnošću da se, ukoliko se ne pojave jesenske oborine, malovodna razdoblja produlje do studenog, pa i prosinca.

Izvor Klanac (hidrološka postaja Sinac) (Tablica 3.1.9, Slike 3.1.16 i 3.1.17) pokazuje puno veći unutar godišnji varijabilitet protoka u odnosu na Izvor Gacke. U promatranom razdoblju nakon 1988. pokazuje i blagi trend opadanja srednjih godišnjih i maksimalnih godišnjih protoka, te slabo izražen trend povećanja minimalnih godišnjih protoka, uvjetovan vrlo vodnom 2014.g. Najmanji srednji mjesečni protoci se u prosjeku javljaju u rujnu i kolovozu, a potpuna presušivanja u razdoblju od rujna do prosinca, s time da je minimalni protok koji je zabilježen u kolovozu $0,13 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (2003. g.).

Izvor Pećina na pritoci Kostelka (Tablica 3.1.10, Slike 3.1.18 i 3.1.19) pokazuju, tijekom još kraćeg analiziranog razdoblja (1997.-2018.), na postaji Ličko Lešće nizv. još naglašeniji trend porasta svih karakterističnih godišnjih protoka. Također pokazuje nepovoljnu unutar godišnju raspodjelu protoka, sa najnižim srednjim mjesečnim protokom u kolovozu ($0,06 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), koga karakteriziraju i vrlo male minimalne izdašnosti (prosječno $0,26$, a minimalno $0,03 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), sa zabilježenim presušivanjima u razdoblju od listopada do prosinca (2011.), kao i 1970., kada su se protoci pratili na uzvodnijoj lokaciji, u blizini nekadašnjeg ribnjaka lociranog neposredno uz izvor Pećina.

Postojali su i podaci na većem broju manjih izvorišta (Pucirep, Marusino vrelo, Knjapovac, ali nažalost s kratkim nizom osmatranja protoka, pa isti nisu mogli biti uzeti u detaljnije hidrološke obrade. Posebno je šteta da ne postoje dulji nizovi podataka o protocima na Majerovom vrilu, izuzev za 2016.g., u kojoj su se oni kretali u rasponu između $1,19 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, i $14,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, sa srednjakom od $3,65 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Radi se o vrelu koje ima veliku izdašnost, no tijekom malovodnih razdoblja protoci se spuštaju i značajno ispod $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Prema Vodoprivednoj osnovi Like i Gacke (Elektroprojekt, 1971), navodi se s jedne strane da unatoč smanjivanju izdašnosti vrelo nikada ne presuši, a s druge strane u istom je dokumentu navedeno je i da je među anketiranim mještanima ipak jedan od njih naveo da je vrelo presušilo 1947.g. No, vrijedi napomenuti da je po svjedočenju g.K.Oreškovića, dugogodišnjeg zaposlenika Komunalca d.o.o. iz Otočca, Majerovo vrelo presušilo i 1985., kojom prilikom je došlo do pomora ribe na nizvodnom ribogojilištu kojime je tada upravljalo Sljeme iz Zagreba.

Spomenute 2016.g. srednji godišnji protok glavnog Izvora Gacke iznosio je $4,06 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a minimalni preljevni $2,11 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, dakle značajnije više od tijekom 2011.g. zabilježenog ekstrema od $0,725 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, tako da je za očekivati da su te 2011. i na Majerovom vrilu zabilježene daleko niže vrijednosti protoka.

Podaci zabilježenih protoka s ostalih stanica, lociranih na samom toku rijeke Gacke do zaključno Vivoza, pokazuju da se neovisno o tome što obuhvaćaju cjelokupnu izvorišnu zonu (izuzev kod postaje Čovići – Gacka koja je uzvodno od najznačajnije lijevoobalne pritoke Kostelke i njenog vrlo izdašnog izvora Pećina), na njima mogu javiti iznimno niske vrijednosti protoka i to čak čim nizvodnije to niže iz razloga što se male vode dijelom gube u ponorskoj zoni između profila hidroloških postaja Podgore i Vivoze, o čemu su detaljnije analize provedene u poglavlju 3.2.2.

Rezultati provedenih obrada pokazuju da se prosječna najniža vrijednost srednjeg mjesečnog protoka na postaju Čovići – Gacka (za razdoblje 1995.-2018.) javlja u kolovozu, i iznosi $6,64 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, ali se pojedinih godina mogu javiti i značajnije niže

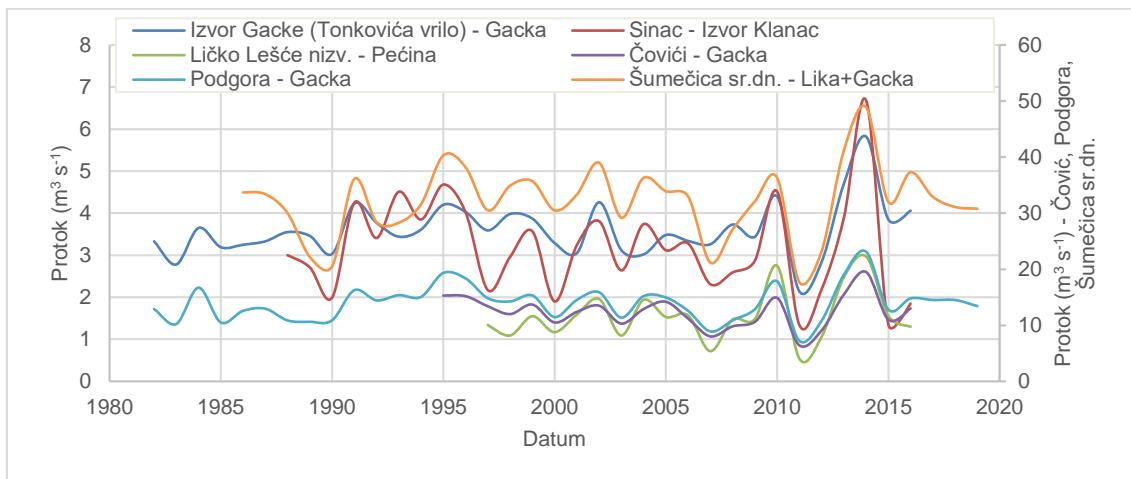
vrijednosti. Tako su u kolovoz vezane najmanje srednje vrijednosti protoka od $3,25 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a još niže u nekoliko narednih mjeseci, pa je tako u studenom zabilježen najmanji srednji mjesečni protok od $2,33 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Ekstremne vrijednosti minimalnih mjesečnih protoka zabilježene u kolovozu iznosile su $2,71 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a apsolutni ekstrem na tom profilu u vrijednosti od $1,64 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ zabilježen je u listopadu 2018.g. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti protoka Gacke kod Čovića tijekom analiziranog razdoblja ima izražen trend opadanja i srednjih godišnjih i minimalnih godišnjih protoka, te trend porasta maksimalnih godišnjih protoka, što je posljedica kratkog niza podataka i sve naglašenijih varijacija u protocima.

Rezultati provedenih obrada na nizvodnije lociranom hidrološkom profilu postaje Podgora – Gacka (2000.-2016.) pokazuju da se prosječna najniža vrijednost srednjeg mjesečnog protoka na toj postaji, koja uključuje i protoke pritoke Kostelke, javlja također u kolovozu, i iznosi $7,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, ali se pojedinih godina mogu javiti i njihove značajnije niže vrijednosti. Tako su u kolovoz vezane najmanje srednje vrijednosti protoka od $3,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a još niže u nekoliko narednih mjeseci, pa je tako u studenom zabilježen najmanji srednji mjesečni protok od $2,21 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Ekstremne vrijednosti minimalnih mjesečnih protoka zabilježene u kolovozu iznosile su $2,62 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a apsolutni ekstrem na tom profilu u vrijednosti od $2,14 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ zabilježen je u studenom 2011.g. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti protoka Gacke na profilu Podgora tijekom analiziranog razdoblja ima izražen trend porasta srednjih godišnjih i maksimalnih godišnjih protoka, te blagi trend porasta minimalnih godišnjih protoka, što je također, kao i u slučaju podataka s uzvodnije postaje Čovići – Gacka posljedica kratkog niza podataka i sve naglašenijih varijacija u protocima.

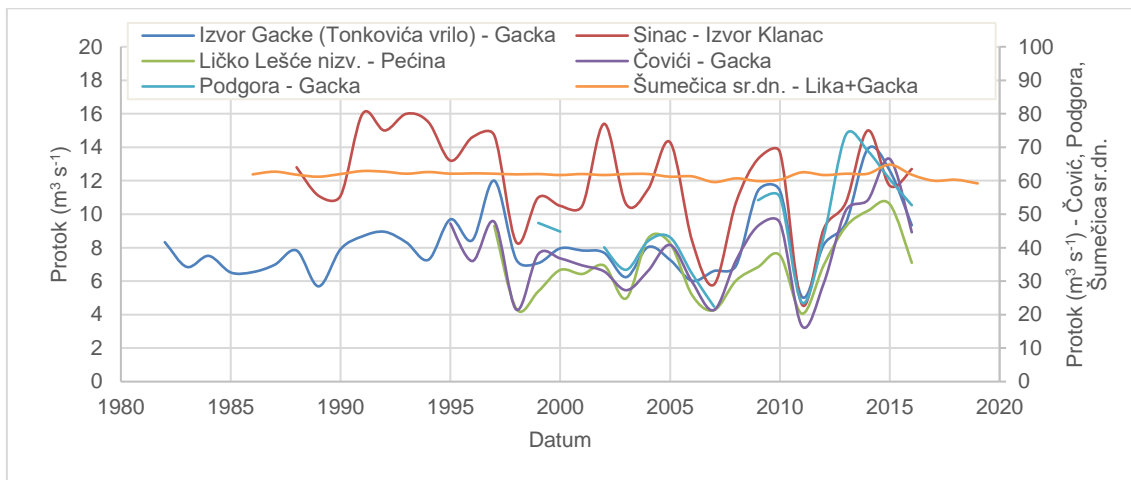
Ukoliko se promatraju raspoloživi DHMZ-ovi podaci zabilježeni na postaji Vivoze – Gacka (1978.-2003.), mada se radi o različitom nizu koji ne uključuje i podatke izrazito sušnih godina kakve su bile 2011. s nastavkom u 2012., dobiva se da srednji godišnji protoci imaju iskazan porast što se ide nizvodnije, ali da se unatoč većega sliva isto mogu javiti relativno male vode. Najmanje prosječne vrijednosti srednjih mjesečnih protoka na tom profilu vezane su za kolovoz ($6,21 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), s time da su najmanje vrijednosti u mjesecima koji slijede i značajnije niže. Ekstremne minimalne zabilježene vrijednosti su daleko manje. Tijekom kolovoza je najniža vrijednosti minimalnih mjesečnih protoka zabilježena u 1990. s vrijednošću $2,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a još niži minimum zabilježen je listopadu 1986. s vrijednošću $1,58 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Za spomenuti je da su prema podacima DHMZ-a u početnom razdoblju od uspostave mjerenja na Vivozama, na dijelu Južnog kraka Gacke prije izgradnje sustava HE Senj, zabilježene još manje vrijednosti protoka – u kolovozu 1950. s vrijednošću $0,638 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a u listopadu te godine svega $0,095 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. No, to je bilo doba kad su se vode Gacke u velikoj mjeri usmjeravale i njenim Sjevernim krakom, pa razdoblje 1949.-1963. nije uzeto u analizu zbog očite nehomogenosti razdoblja prije i nakon uspostave rada HE Senj.

Najnižvodnija postaja na Južnom kraku Gacke koja ima kontinuitet toka je Šumečica sr.dn. (Lika + Gacka), locirana nakon dotoka Like u Gacku na kanalu koji odvodi vodu ka Gusić polju i dalje na postrojenje HE Senj. Radi se o umjetno reguliranom režimu jer se vode Like dovode i doziraju, ovisno o energetske potrebama i hidrološkim prilikama, iz sustava akumulacije Kruščica. Hodovi karakterističnih godišnjih pokazatelja tijekom analiziranog razdoblja 1986.-2019. pokazuju trend povećanja karakterističnih godišnjih protoka, a što je rezultat kako stanja hidroloških prilika, tako i sve energetski učinkovitijeg režima upravljanja sustavom HE Senj.

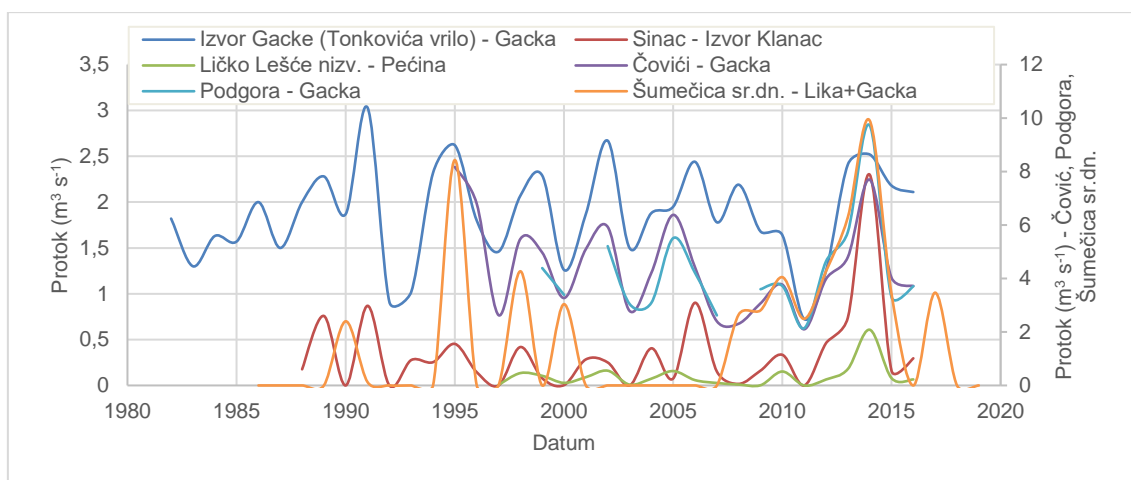
Na Slikama 3.1.22 – 3.1.24 dan je prikaz usporednog hoda srednjih godišnjih te ekstremnih maksimalnih i minimalnih protoka zabilježenih na postajama duž rijeke Gacke. Kod svih analiziranih nizova vidljivo je dobro podudaranje hoda njihovih vrijednosti, što je i razumljivo obzirom na dominantan utjecaj izvorišne zone Gacke na režim otjecanja. Izuzetak su podaci s postaje Šumečica sr.dn. – Lika+Gacka zbog utjecaja dotoka voda Like koja ima regulirano otjecanje akumulacijom Kruščica.



Slika 3.1.22. Hod srednjih godišnjih protoka na postajama duž rijeke Gacke (1982.-2019.)



Slika 3.1.23. Hod maksimalnih godišnjih protoka na postajama duž rijeke Gacke (1982.-2019.)



Slika 3.1.24. Hod minimalnih godišnjih protoka na postajama duž rijeke Gacke (1982.-2019.)

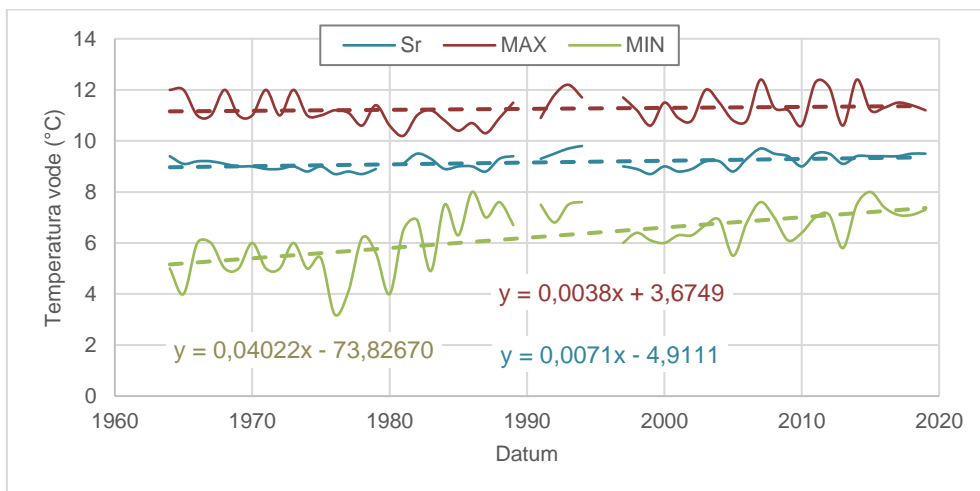
3.1.2.3 Temperatura vode

Temperature vode bilježene su u slivu Gacke jedino na postaji Čović-Gacka u razdoblju od 1964. do 2019. godine (bez 1990., 1995. i 1996.). Za napomenuti je da su prilikom provedenih obrada karakterističnih mjesečnih vrijednosti izostavljani izvorno upisani podaci s početka siječnja zbog očite greške u njihovom upis – zabilježena temperatura na dne 31.12.2009. iznosila je 7,8 °C, a dan kasnije, dne 1.1.2010. zabilježeno je svega 0,6 °C, što je daleko niže od bilo koje ranije zabilježene vrijednosti. Stoga su pri određivanju karakterističnih mjesečnih vrijednosti za siječanj 2010. godine u obradu uzeti samo podaci iz razdoblja 12.1.-31.1.2010. kad su se vrijednosti temperatura vode normalizirale.

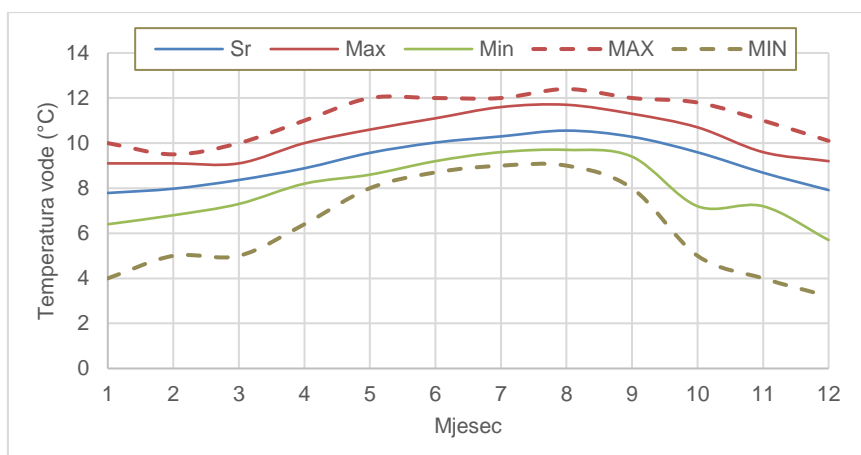
U Tablici 3.1.13 prikazani su rezultati osnovne statističke obrade analiziranih nizova srednjih mjesečnih te ekstremnih godišnjih vrijednosti temperatura vode (Sr – srednja vrijednost niza, Stdev – standardna devijacija, Cv – koeficijent varijacije, Max i Min – ekstremne registrirane vrijednosti). Na Slikama 3.1.25 i 3.1.26 dan je prikaz trendova hoda karakterističnih srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih godišnjih vrijednosti temperatura vode, kao i njihova unutar godišnja raspodjela.

Tablica 3.1.13. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti temperature vode (°C) na postaji Čović - Gacka u razdoblju od 1964. do 2019. godine (bez 1990., 1995. i 1996.)

ČOVIĆI - GACKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednje (°C)													
Sr	7,8	8,0	8,4	8,9	9,6	10,0	10,3	10,6	10,3	9,6	8,7	7,9	9,2
Stdev	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,6	0,3
Cv	0,08	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,06	0,08	0,03
Max	9,1	9,1	9,1	10	10,6	11,1	11,6	11,7	11,3	10,7	9,6	9,2	9,8
Min	6,4	6,8	7,3	8,2	8,6	9,2	9,6	9,7	9,4	7,2	7,2	5,7	8,7
Maksimalne (°C)													
Sr	8,6	8,7	9,0	9,5	10,1	10,5	10,8	11,1	10,9	10,5	9,7	8,9	11,3
Stdev	0,6	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,7	0,6
Cv	0,07	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05
Max	10	9,5	10	11	12	12	12	12,4	12	11,8	11	10,1	12,4
Min	6,8	7,7	7,9	8,7	8,7	9,7	9,9	10,2	9,7	9,0	8,4	7,1	10,2
Minimalne (°C)													
Sr	6,9	7,1	7,4	8,1	9,0	9,6	9,9	10,1	9,6	8,5	7,5	6,9	6,3
Stdev	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,8	1,2	1,1	1,1
Cv	0,15	0,13	0,11	0,08	0,06	0,05	0,04	0,05	0,06	0,09	0,17	0,16	0,18
Max	8,5	8,5	8,7	9,3	10,2	11	11,1	11,3	10,4	9,7	9,1	8,6	8,0
Min	4,0	5,0	5,0	6,4	8,0	8,7	9,0	9,0	8,0	5,0	4,0	3,2	3,2



Slika 3.1.25. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih temperatura vode (°C) na postaji Čović - Gacka (1964. - 2019. bez 1990., 1995. i 1996.) i njihov trend



Slika 3.1.26. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih temperatura vode (°C) na postaji Čović - Gacka (1964. - 2019. bez 1990., 1995. i 1996.)

Vidljivo je da srednje mjesečne temperature vode vrlo malo variraju – godišnji prosjek iznosi $9,2^{\circ}\text{C}$, a prosječno su najmanje u siječnju ($7,8^{\circ}\text{C}$), dok je kolovoz mjesec s prosječno najvećom temperaturom vode od $10,6^{\circ}\text{C}$. Maksimalna zabilježena temperatura vode iznosi $12,4^{\circ}\text{C}$ (kolovoz 2014.), a minimalna $3,2^{\circ}\text{C}$ (prosinac 1976.). Iz slike je vidljivo da je prisutan trend povećanja srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura vode, koji je relativno blag i iznosi $0,7^{\circ}\text{C}/100$ god za srednje godišnje temperature vode, $0,4^{\circ}\text{C}/100$ god za maksimalne, ali i vrlo značajnih $4,0^{\circ}\text{C}/100$ god za minimalne.

3.1.3 Sliv Like

3.1.3.1 Vodostaji

U Tablicama 3.1.14 i 3.1.15 prikazani su rezultati osnovne statističke obrade analiziranih nizova srednjih mjesečnih te ekstremnih godišnjih vrijednosti vodostaja (Sr – srednja vrijednost niza, Stdev – standardna devijacija, Cv – koeficijent varijacije, Max i Min – ekstremne registrirane vrijednosti) na odabranim postajama Bilaj – Lika i Lički Novi - Novčica. Na Slikama 3.1.27 – 3.1.30 dani su prikazi trendova hoda karakterističnih srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih godišnjih vrijednosti vodostaja, kao i njihova unutar godišnja raspodjela.

Iz danih je prikaza vidljivo da su u razdoblju 9.-11. mjeseca na profilu postaje Bilaj - Lika, a kod Novčice 7.-10, prisutna i presušivanja vodostaja, radi čega se nisu mogli izračunati karakteristične prosječne mjesečne vrijednosti u tim mjesecima s presušivanjima. Raspoloživi podaci pokazuju trendove opadanja karakterističnih godišnjih vodostaja na Lici kod Bilaja, i njihovo stagnaciju na Novčici kod Ličkog Novog. Unutar godišnja raspodjela podataka pokazuje na okolnost da se najmanje prosječne mjesečne, kao i ekstremne minimalne vrijednosti, javljaju tijekom ljetnog ili rano jesenskog sušnog razdoblja.

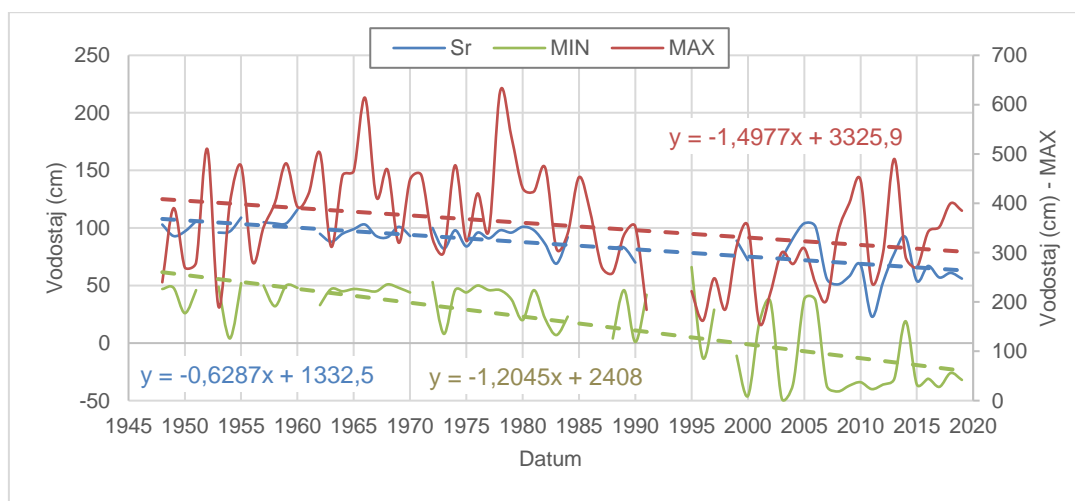
Za napomenuti je da su vodostaji u akumulaciji Kruščici obrađeni u poglavlju 3.1.4, u kome se analizira eventualna povezanost protoka Like i Gacke u smislu pretpostavki o mogućoj vezi gubitaka vode iz sliva Like i protoka u slivu rijeke Gacke.

Tablica 3.1.14. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti vodostaja (cm) na postaji Bilaj – Lika u razdoblju od 1948. do 2019. godine

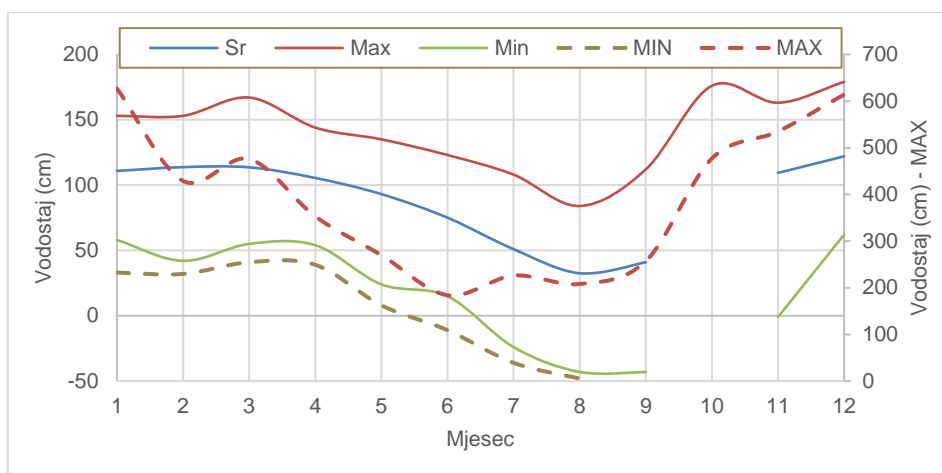
BILAJ - LIKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji (cm)													
Sr	111	114	114	105	93	75	51	33				122	
Stdev	24	24	22	20	21	23	31	35				27	
Cv	0,21	0,21	0,20	0,19	0,23	0,31	0,61	1,09				0,22	
Max	153	153	167	144	135	123	108	84	112	176	163	179	116
Min	58	42	55	54	24	15	-24	-43	SUHO	SUHO	SUHO	62	SUHO
Maksimalni (cm)													
Sr	208	212	198	166	130	98	72	52				257	
Stdev	106	88	91	58	35	29	36	46				129	
Cv	0,51	0,41	0,46	0,35	0,27	0,30	0,50	0,89				0,50	
Max	627	429	476	353	270	184	226	208	257	477	535	614	627
Min	70	63	73	76	46	36	-10	-37	SUHO	SUHO	SUHO	78	190
Minimalni (cm)													
Sr	84	85	87	83	74	59	36	22				87	
Stdev	21	20	20	20	21	25	32	34				23	
Cv	0,25	0,23	0,23	0,24	0,28	0,43	0,89	1,57				0,26	
Max	120	119	120	122	112	104	100	66	83	122	119	130	53
Min	33	32	41	39	8	-11	-36	-48	SUHO	SUHO	SUHO	-13	SUHO

Tablica 3.1.15. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti vodostaja (cm) na postaji Lički Novi - Novčica u razdoblju od 1963. do 2019. godine

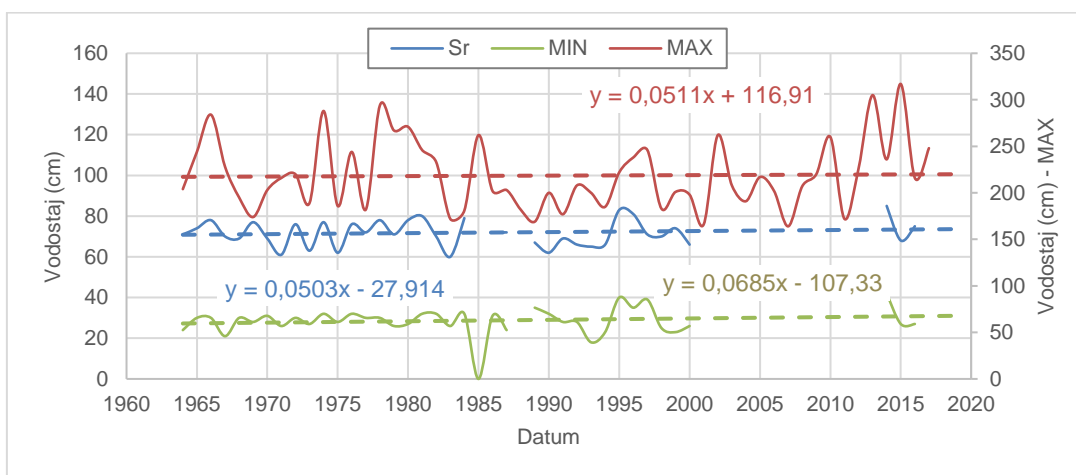
LIČKI NOVI - NOVČICA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji (cm)													
Sr	87	87	87	85	72	55					91	94	
Stdev	19	19	17	13	17	15					19	18	
Cv	0,21	0,22	0,19	0,15	0,23	0,27					0,21	0,19	
Max	113	123	123	108	111	111	65	71	109	134	124	131	85
Min	42	44	49	45	41	35	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	37	59	SUHO
Maksimalni (cm)													
Sr	157	151	141	138	127	99				131	168	174	
Stdev	51	38	34	25	30	41				52	46	43	
Cv	0,33	0,25	0,24	0,18	0,24	0,42				0,40	0,27	0,25	
Max	305	236	262	228	195	216	191	140	262	317	271	284	317
Min	45	52	61	62	53	39	SUHO	SUHO	SUHO	35	40	90	164
Minimalni (cm)													
Sr	56	58	58	56	49	40					51	59	
Stdev	10	13	12	9	9	6					12	13	
Cv	0,18	0,23	0,20	0,16	0,18	0,15					0,24	0,22	
Max	80	100	81	82	74	63	43	52	60	109	91	84	42
Min	34	39	40	35	32	31	SUHO	SUHO	SUHO	SUHO	32	37	SUHO



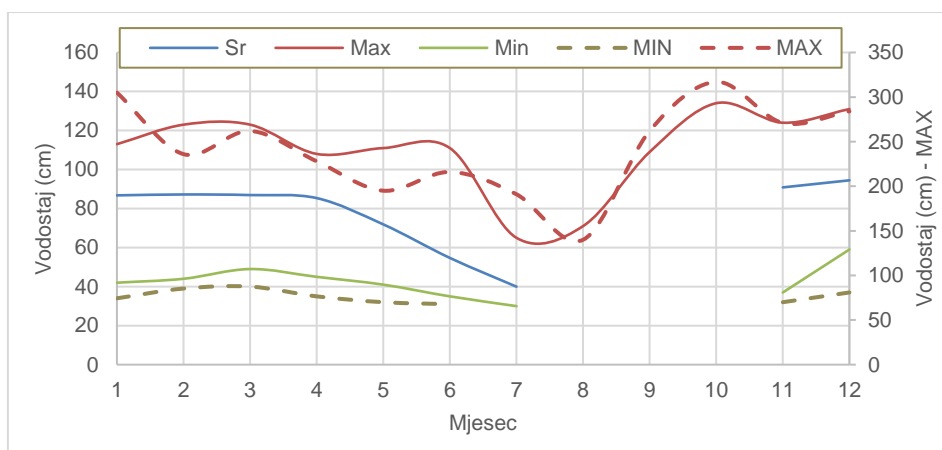
Slika 3.1.27. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih vodostaja zabilježenih na postaji Bilaj - Lika (1948.-2019.) i njihov trend



Slika 3.1.28. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih vodostaja na postaji Bilaj - Lika (1948.-2019.)



Slika 3.1.29. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih vodostaja zabilježenih na postaji Lički Novi - Novčica (1964.-2019.) i njihov trend



Slika 3.1.30. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih vodostaja na postaji Lički Novi - Novčica (1963.-2019.)

3.1.3.2 Protoci

Pri obradama protoka korišteni su raspoloživi podaci DHMZ-a s postaja na glavnom toku Like i njenim pritokama, od kojih su neke započele svoj rad prije početka izgradnje hidroenergetskog sustava Senj. Analizom je obuhvaćena i postaja Kruščica – Lika koja je izgradnjom akumulacije Kruščica prestala s radom jer je potopljena samom akumulacijom. Ostale postaje su Bilaj na glavnom toku Like uzvodno od početka akumulacije Kruščica, postaja Barlete na glavnoj lijevoobalnoj pritoci Jadovi, te postaje Lički Novi – Novčica i Kolakovica – Bogdanica.

U Tablicama 3.1.16 - 3.1.20 prikazani su rezultati osnovne statističke obrade analiziranih nizova srednjih mjesečnih te ekstremnih godišnjih vrijednosti protoka (Sr – srednja vrijednost niza, Stdev – standardna devijacija, Cv – koeficijent varijacije, Max i Min – ekstremne registrirane vrijednosti) na spomenutim postajama duž rijeke Like i njenim pritokama. Na Slikama 3.1.31 – 3.1.40 dani su prikazi trendova hoda karakterističnih srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih godišnjih vrijednosti protoka, kao i njihova unutar godišnja raspodjela.

Tablica 3.1.16. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka ($m^3 s^{-1}$) na postaji Bilaj - Lika u razdoblju od 1951. do 2019. (bez 8.1991.-3.2002., 2007.-08.)

BILAJ - LIKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji protok (m^3s^{-1})													
Sr	11,6	13,1	12,2	9,6	6,2	3,1	1,1	0,6	1,9	5,6	11,7	15,0	7,65
Stdev	7,30	7,53	7,61	4,70	4,21	2,44	1,08	1,13	2,93	7,18	7,84	9,47	2,42
Cv	0,63	0,57	0,62	0,49	0,68	0,80	0,99	1,89	1,52	1,28	0,67	0,63	0,32
Max	29,2	28,7	35,8	20,2	20,7	14,9	5,94	7,93	14,9	38,1	30,4	41,4	13,9
Min	0,757	1,22	0,797	1,87	0,801	0,286	0,004	0	0	0	0,203	2,45	2,04
Maksimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	55,0	58,7	49,6	35,1	17,9	7,7	3,3	2,8	11,2	28,6	59,7	78,5	129,1
Stdev	50,7	40,1	44,1	26,8	15,7	8,34	7,96	7,48	17,5	37,0	47,2	61,8	47,3
Cv	0,92	0,68	0,89	0,76	0,88	1,08	2,40	2,63	1,56	1,29	0,79	0,79	0,37
Max	245	154	185	116	85,4	41,5	60,8	52,5	75,3	176	203	239	245
Min	1,39	2,57	3,23	3,23	1,73	0,947	0,018	0,001	0,001	0	0,844	3,56	41,4
Minimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	3,85	3,88	4,14	3,57	2,48	1,32	0,407	0,161	0,269	1,16	2,41	3,87	0,107
Stdev	2,67	2,76	2,83	2,14	1,42	0,958	0,434	0,272	0,444	2,55	2,42	2,43	0,130
Cv	0,70	0,71	0,68	0,60	0,57	0,72	1,07	1,69	1,65	2,19	1,01	0,63	1,22
Max	12,9	12,4	12,9	11,1	6,04	5,12	1,90	1,98	1,98	13,2	10,1	10,5	0,759
Min	0,456	0,325	0,399	0,812	0,456	0,021	0,001	0	0	0	0	0,144	0

Tablica 3.1.17. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka ($m^3 s^{-1}$) na postaji Kruščica - Lika u razdoblju od 1948. do 1963. godine

KRUŠČICA - LIKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji protok (m^3s^{-1})													
Sr	49,3	43,3	41,4	34,0	18,9	7,88	3,01	1,07	2,81	15,2	44,3	54,3	26,3
Stdev	37,6	26,9	29,2	19,6	14,0	7,48	2,12	1,00	4,46	21,4	26,3	39,0	7,42
Cv	0,76	0,62	0,71	0,58	0,74	0,95	0,70	0,94	1,59	1,40	0,59	0,72	0,28
Max	172	80,9	109	72,9	57,2	31,8	8,02	3,87	16,7	85	98,3	122	42,1
Min	10,1	3,32	7,48	4,87	3,42	1,15	0,297	0,042	0,028	0,349	9,94	5,67	14,3
Maksimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	182,5	174,4	156,7	108,3	52,4	19,7	8,80	4,01	18,9	89,5	195,5	239,2	359,6
Stdev	90,4	132,0	154,8	95,2	39,5	21,7	6,78	6,52	37,0	98,1	138,8	192,1	128,5
Cv	0,50	0,76	0,99	0,88	0,75	1,10	0,77	1,62	1,95	1,10	0,71	0,80	0,36
Max	319,0	416,0	433,0	386,0	138,0	92,9	23,5	26,5	148,0	377,0	590,0	579,0	590,0
Min	17,0	4,87	10,5	12,4	6,77	2,31	0,607	0,061	0,028	0,779	24,60	15,10	140,0
Minimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	13,7	11,5	14,7	11,2	6,49	2,77	0,870	0,304	0,281	2,32	8,61	13,9	0,191
Stdev	7,59	6,23	9,78	6,91	3,14	2,17	0,54	0,19	0,28	5,45	8,57	13,1	0,172
Cv	0,55	0,54	0,66	0,62	0,48	0,78	0,62	0,64	1,00	2,35	1,00	0,94	0,90
Max	25,3	23,5	34,9	26,9	12,7	8,03	1,87	0,607	0,850	22,2	29,3	51,5	0,470
Min	2,81	2,31	1,74	1,36	1,25	0,536	0,061	0,009	0,028	0,006	0,240	0,942	0,006

Tablica 3.1.18. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka ($m^3 s^{-1}$) na postaji Lički Novi - Novčica u razdoblju od 1964. do 2019. godine

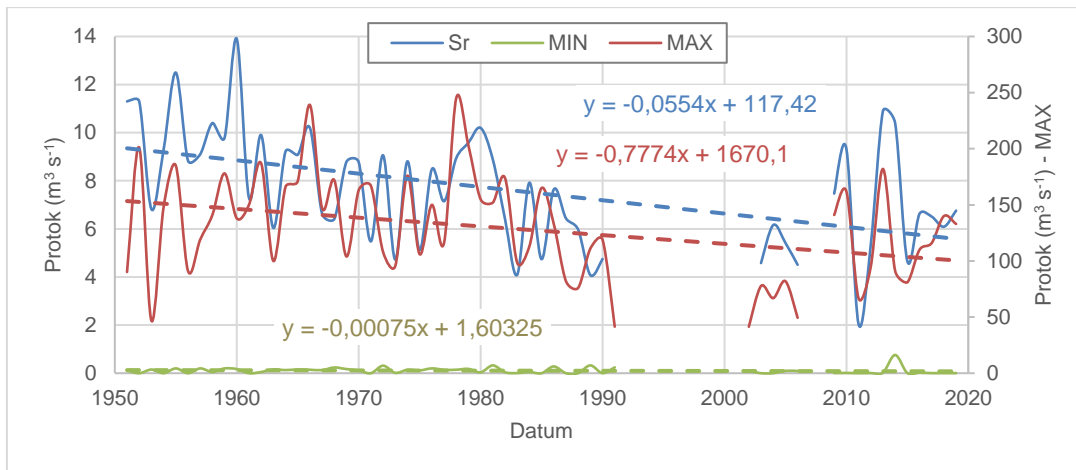
LIČKI NOVI - NOVČICA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji protok (m^3s^{-1})													
Sr	3,73	3,62	3,09	2,65	2,02	1,01	0,274	0,249	1,31	2,78	4,78	4,92	2,54
Stdev	2,33	2,16	1,92	1,09	1,65	1,31	0,339	0,369	1,78	3,27	2,93	3,01	0,677
Cv	0,62	0,60	0,62	0,41	0,82	1,29	1,24	1,48	1,35	1,17	0,61	0,61	0,27
Max	10,0	9,53	9,93	5,08	7,42	6,66	2,01	1,52	7,49	17,8	12,5	15,2	3,86
Min	0,28	0,42	0,55	0,44	0,31	0,08	0,01	0	0	0,02	0,21	0,55	0,77
Maksimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	26,0	24,8	19,1	16,8	13,6	7,93	2,16	2,73	12,3	17,6	30,7	32,2	49,9
Stdev	19,4	14,6	14,5	11,1	11,0	12,0	5,89	5,48	15,6	18,0	16,5	17,7	13,5
Cv	0,75	0,59	0,76	0,66	0,80	1,52	2,73	2,01	1,27	1,02	0,54	0,55	0,27
Max	84,5	55,2	65,7	51,1	41,8	46,7	36,1	24,0	48,2	89,6	68,2	72	89,6
Min	0,40	0,74	0,95	0,80	0,573	0,21	0,06	0	0	0,18	0,34	2,12	24,6
Minimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	0,61	0,72	0,70	0,62	0,43	0,21	0,09	0,07	0,12	0,32	0,50	0,75	0,06
Stdev	0,30	0,45	0,37	0,26	0,24	0,15	0,08	0,09	0,15	0,49	0,34	0,41	0,07
Cv	0,49	0,62	0,53	0,42	0,56	0,71	0,90	1,22	1,22	1,53	0,68	0,54	1,14
Max	1,31	2,35	1,52	1,39	1,26	1,02	0,27	0,40	0,75	3,45	1,77	1,55	0,23
Min	0,14	0,18	0,23	0,16	0,07	0,02	0	0	0	0	0,06	0,14	0

Tablica 3.1.19. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka ($m^3 s^{-1}$) na postaji Barlete - Jadova u razdoblju od 1948. do 2015. (bez 1949., 6.1991.-2.1998.)

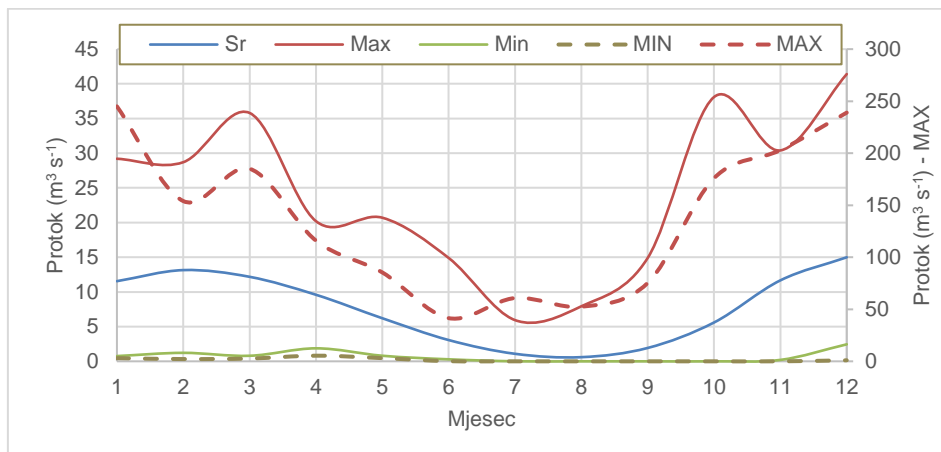
BARLETE - JADOVA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji protok (m^3s^{-1})													
Sr	7,42	8,68	8,43	7,59	4,76	1,57	0,327	0,188	0,548	2,19	5,80	9,41	4,77
Stdev	5,83	6,46	5,98	4,21	3,97	1,90	0,63	0,77	1,95	5,63	6,62	8,34	2,05
Cv	0,79	0,74	0,71	0,55	0,83	1,21	1,94	4,08	3,56	2,56	1,14	0,89	0,43
Max	25,0	27,2	27,3	19,3	16,5	9,56	4,61	5,69	11,9	32,5	24,9	31,3	10,2
Min	0	0,003	0,001	0,525	0	0	0	0	0	0	0	0	0,492
Maksimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	28,5	31,8	25,3	22,1	13,2	5,13	1,81	1,34	3,91	9,85	27,4	38,4	66,4
Stdev	26,7	24,8	21,0	15,3	12,4	9,76	9,39	7,56	12,4	19,2	26,9	31,9	22,3
Cv	0,94	0,78	0,83	0,69	0,94	1,90	5,18	5,63	3,16	1,95	0,98	0,83	0,34
Max	117,0	87,4	108	65,8	52,1	52,4	73,1	56,3	56,8	81,1	87,8	100,0	117,0
Min	0	0,006	0,006	0,92	0	0	0	0	0	0	0	0	6,66
Minimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	2,01	2,54	2,99	2,95	1,79	0,484	0,086	0,052	0,036	0,508	1,11	2,08	0,02
Stdev	1,86	2,56	2,51	2,22	1,54	0,62	0,12	0,16	0,13	2,19	2,99	2,30	0,07
Cv	0,93	1,01	0,84	0,75	0,86	1,28	1,43	3,02	3,70	4,31	2,69	1,11	3,06
Max	8,79	11,4	10,5	8,79	7,93	2,85	0,575	0,920	0,920	13,9	19,6	8,79	0,321
Min	0	0	0	0,003	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tablica 3.1.20. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka ($m^3 s^{-1}$) na postaji Kolakovica - Bogdanica u razdoblju od 1964. do 2019. (bez 12.1991., 9.2001.-7.2002.)

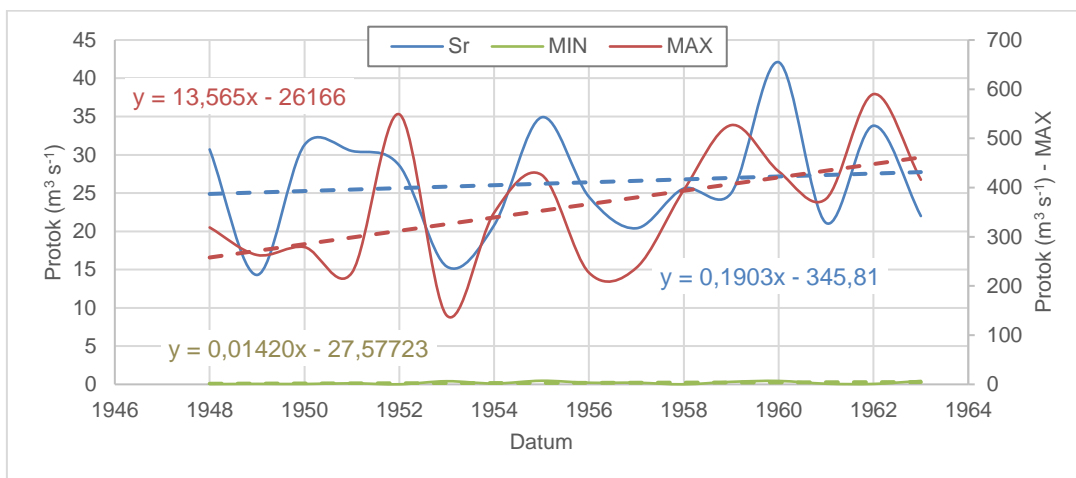
KOLAKOVICA - BOGDANICA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji protok (m^3s^{-1})													
Sr	3,99	4,03	3,56	3,10	2,12	1,18	0,230	0,313	1,57	3,16	5,43	5,54	2,83
Stdev	2,47	2,47	2,21	1,37	2,12	1,58	0,341	0,583	2,01	3,65	3,34	3,59	0,786
Cv	0,62	0,61	0,62	0,44	1,00	1,33	1,48	1,86	1,28	1,16	0,62	0,65	0,28
Max	9,26	10,3	9,26	7,10	12,4	8,61	1,73	2,74	7,77	21,1	14,4	17	5,01
Min	0,164	0,113	0,091	0,361	0,041	0,038	0	0	0	0,013	0,042	0,583	0,948
Maksimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	23,3	19,9	17,5	14,4	9,46	6,60	1,69	2,53	10,9	17,6	28,7	30,4	54,9
Stdev	19,3	15,0	15,6	12,1	8,85	10,1	4,18	5,55	14,7	22,6	20,9	22,1	18,7
Cv	0,83	0,75	0,89	0,84	0,93	1,53	2,48	2,20	1,34	1,29	0,73	0,73	0,34
Max	79,3	68,5	72,3	67,9	44,9	42,7	25,8	21,0	55,3	118	86,1	83,1	118,0
Min	0,292	0,341	0,806	0,679	0,114	0,068	0	0	0	0,035	0,053	3,02	20,8
Minimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	0,660	0,767	0,679	0,578	0,397	0,168	0,073	0,064	0,124	0,390	0,654	0,891	0,059
Stdev	0,574	0,639	0,636	0,491	0,596	0,221	0,084	0,074	0,197	0,714	0,674	0,735	0,072
Cv	0,87	0,83	0,94	0,85	1,50	1,31	1,15	1,16	1,59	1,83	1,03	0,83	1,23
Max	2,90	3,46	3,25	2,62	4,21	1,52	0,297	0,247	1,10	4,24	4,09	3,30	0,247
Min	0,018	0,019	0,018	0,023	0,010	0	0	0	0	0	0,034	0,034	0



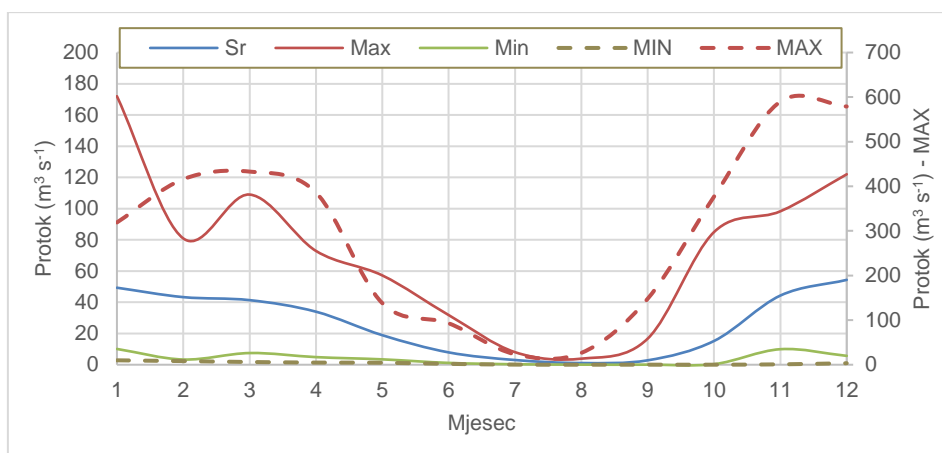
Slika 3.1.31. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih protoka zabilježenih na postaji Bilaj - Lika (1951.-2019., bez 8.1991.-3.2002., 2007.-08.) i njihov trend



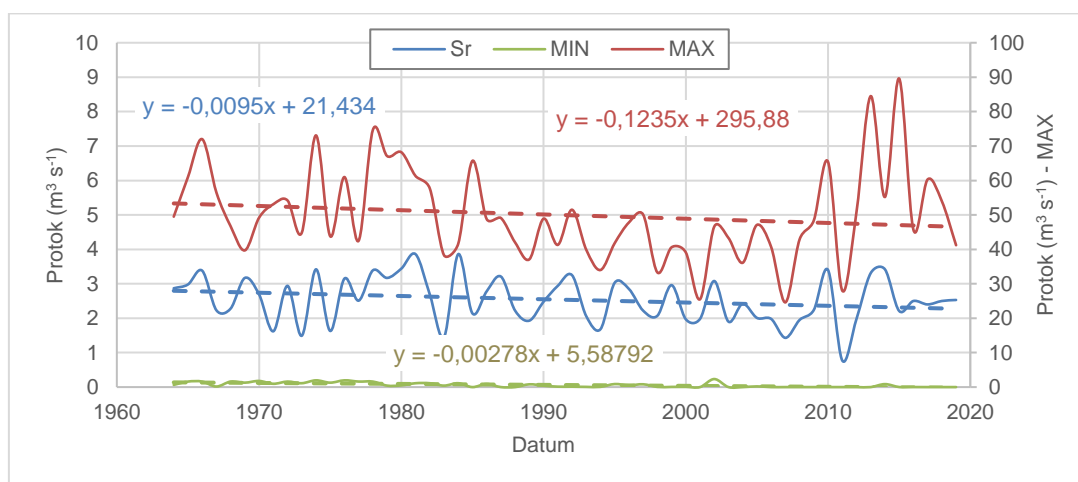
Slika 3.1.32. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih protoka na postaji Bilaj - Lika (1951.-2019., bez 8.1991.-3.2002., 2007.-08.)



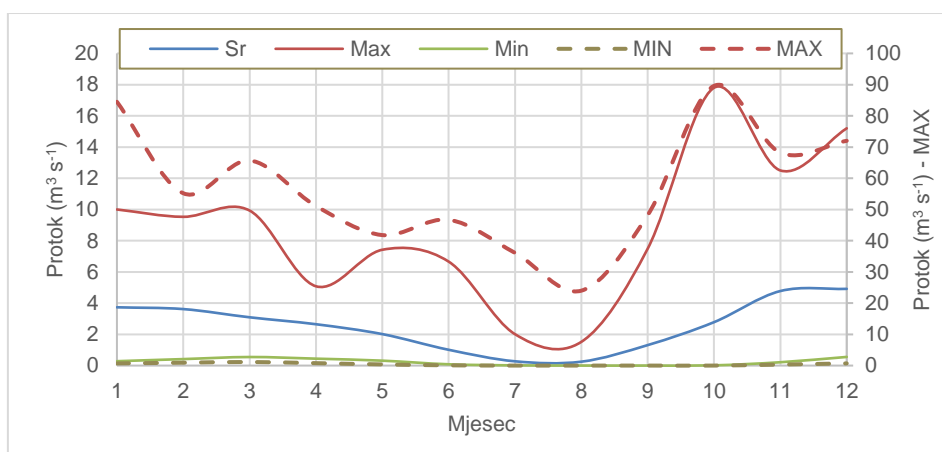
Slika 3.1.33. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih protoka zabilježenih na postaji Kruščica - Lika (1948. - 1963.) i njihov trend



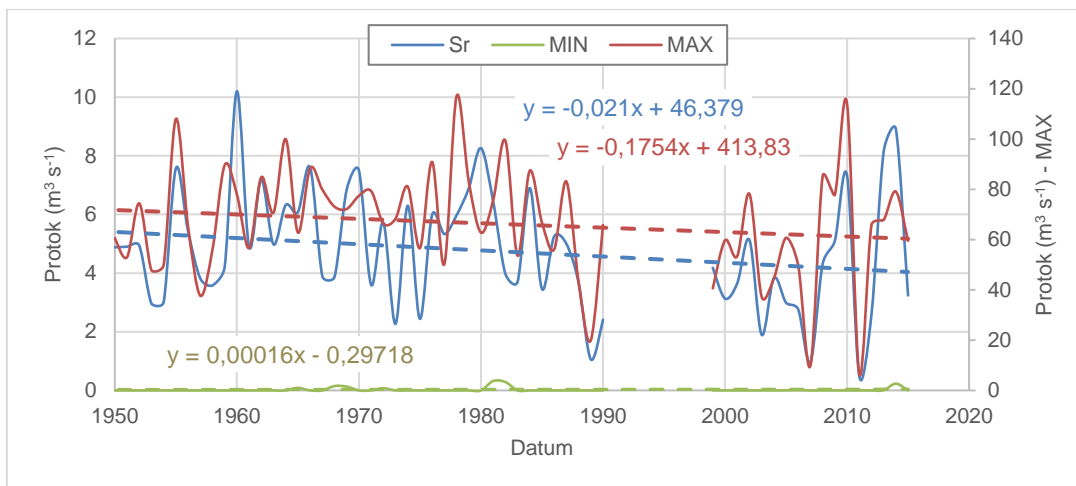
Slika 3.1.34. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih protoka na postaji Kruščica - Lika (1948. - 1963.)



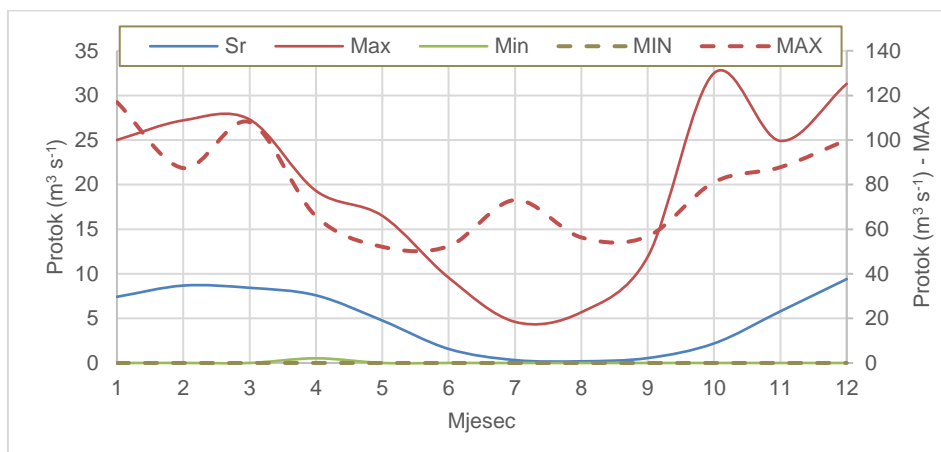
Slika 3.1.35. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih protoka zabilježenih na postaji Lički Novi - Novčica (1964. -2019.) i njihov trend



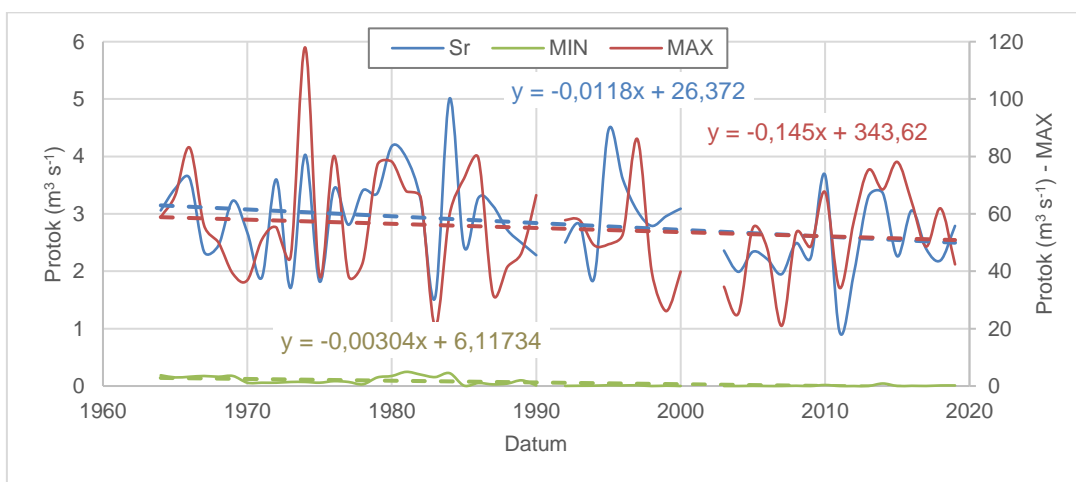
Slika 3.1.36. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih protoka na postaji Lički Novi - Novčica (1964. -2019.)



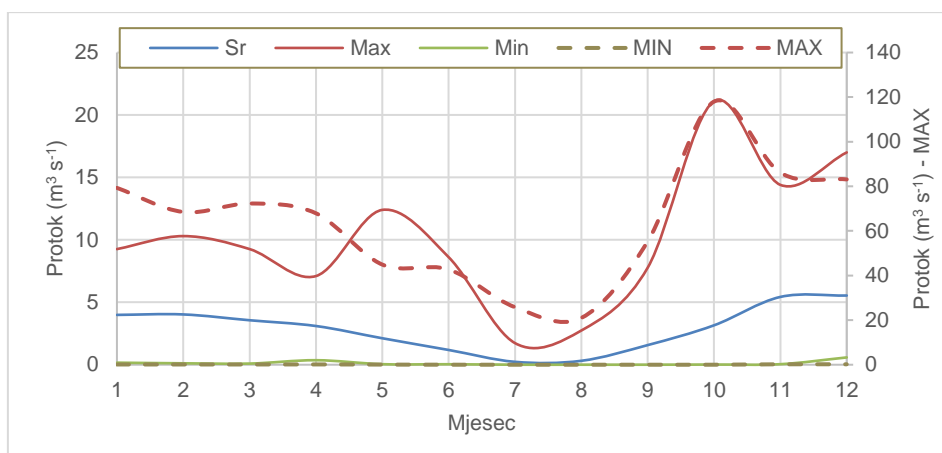
Slika 3.1.37. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih protoka zabilježenih na postaji Barlete - Jadova (1948. - 2015., bez 1949., 6.1991.-2.1998.) i njihov trend



Slika 3.1.38. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih protoka na postaji Barlete - Jadova (1948. - 2015., bez 1949., 6.1991.-2.1998.)



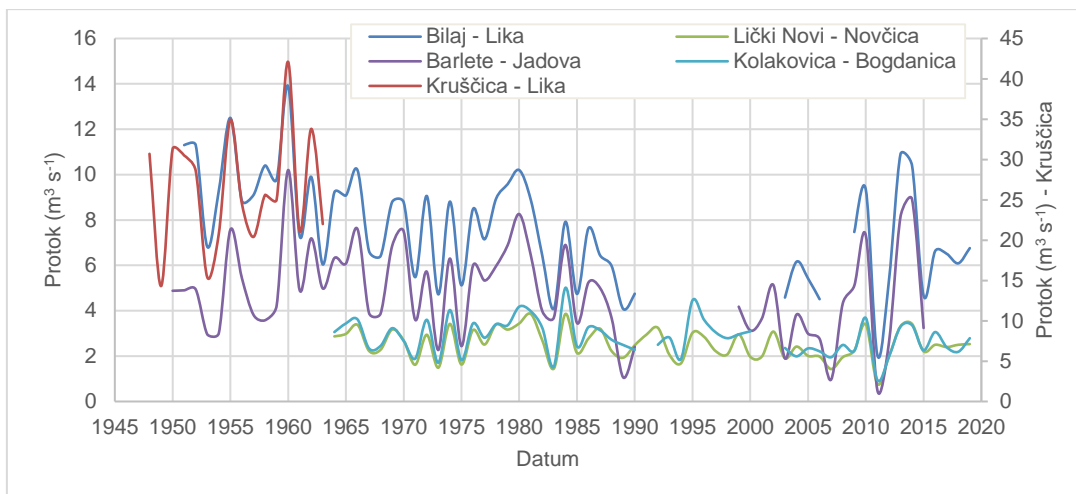
Slika 3.1.39. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih protoka zabilježenih na postaji Kolakovica - Bogdanica (1964. - 2019., bez 12.1991., 9.2001.-7.2002.) i njihov trend



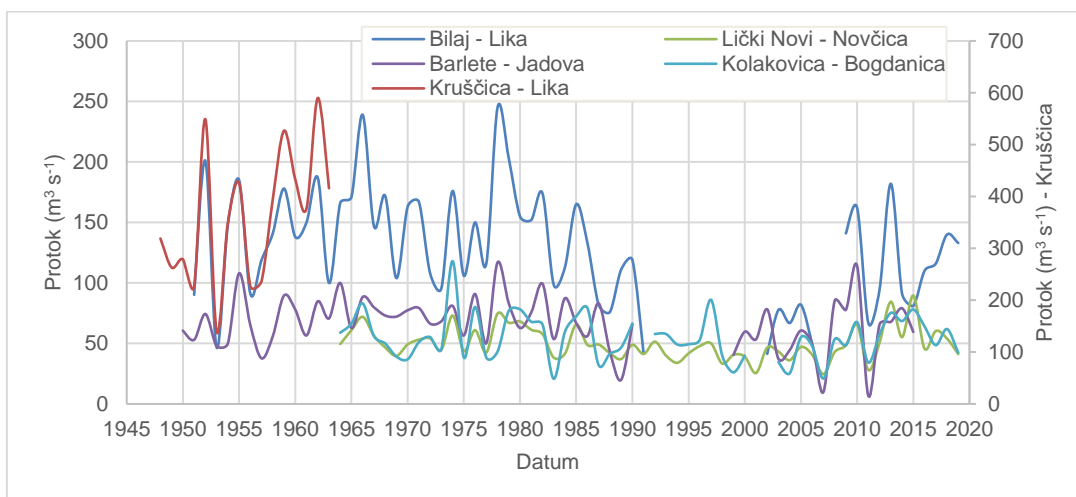
Slika 3.1.40. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih protoka na postaji Kolakovica - Bogdanica (1964. - 2019., bez 12.1991., 9.2001.-7.2002.)

Iz provedenih obrada vidljiv je naglašeno bujični karakter voda Like i njenih pritoka, s najmanjim prosječnim srednjim mjesečnim protocima na glavnom toku Like tijekom kolovoza za profile s većim slivovima, a kod njenih pritoka koji imaju manje površine slivova se najmanji srednji mjesečni protoci javljaju i ranije, u srpnju. Jadova ima učestalija presušivanja koja započinju pojedinih godina čak u svibnju, dok se kod većine ostalih postaja presušivanja toka javlja u razdoblju ljetnih mjeseci – srpanj – rujan. Trendovi hoda karakterističnih mjesečnih protoka pokazuju uglavnom opadanje njihovih vrijednosti, neovisno o obrađivanom razdoblju.

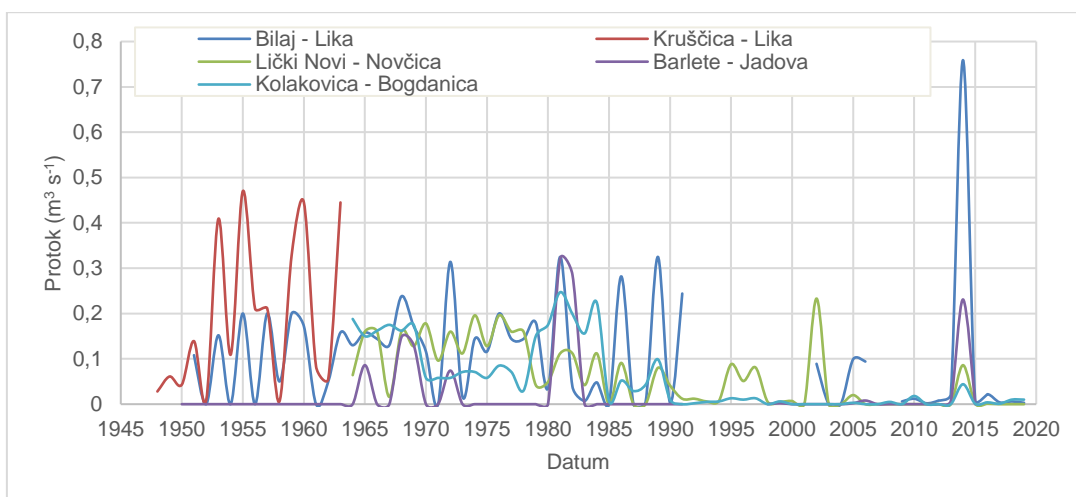
Na Slikama 3.1.41 – 3.1.43 dan je hod srednjih godišnjih te ekstremnih maksimalnih i minimalnih protoka zabilježenih na postajama duž rijeke Like. Vidljivo je dobro podudaranje njihovih hodova. U odnosu na slične međuodnose vode u slivu Gacke (poglavlje 3.1.2.2), u slivu Like naglašenije su varijacije karakterističnih godišnjih protoka. Devedesetih godina prošlog stoljeća su zbog ratnih prilika mjerenja privremeno prekinuta na nizu postaja, a to je i razdoblje tijekom kojeg su se generalno mijenjale hidrološke prilike – do početka devedesetih trendovi srednjih godišnjih i maksimalnih protoka su opadali, a nakon toga rastu. Minimalni protoci pak imaju u razdoblju nakon devedesetih tendenciju sve učestalijih presušivanja.



Slika 3.1.41. Hod srednjih godišnjih protoka na postajama duž rijeke Like (1948.-2019.)



Slika 3.1.42. Hod maksimalnih godišnjih protoka na postajama duž rijeke Like (1948.-2019.)



Slika 3.1.43. Hod minimalnih godišnjih protoka na postajama duž rijeke Like (1948.-2019.)

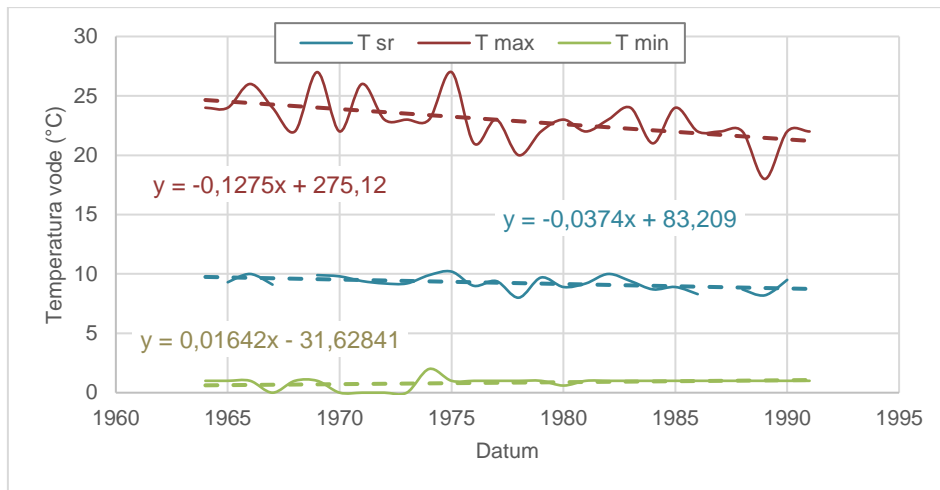
3.1.3.3 Temperatura vode

Temperature vode na rijeci Lici praćene su jedino na postaji Bilaj - Lika u razdoblju od 1964. do 1999. godine, s uglavnom vrlo velikom diskretizacijom preciznosti očitavanja od 1°C. U Tablici 3.1.21 prikazani su rezultati osnovne statističke obrade analiziranih nizova srednjih mjesečnih te ekstremnih godišnjih vrijednosti temperatura vode (Sr – srednja vrijednost niza, Stdev – standardna devijacija, Cv – koeficijent varijacije, Max i Min – ekstremne registrirane vrijednosti). Na Slikama 3.1.44 i 3.1.45 dan je prikaz trendova hoda karakterističnih srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih godišnjih vrijednosti temperatura vode, kao i njihova unutar godišnja raspodjela.

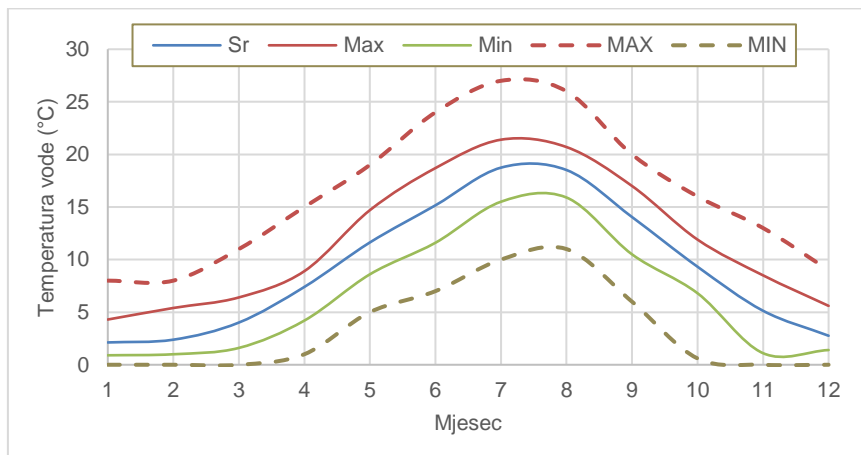
Iz danih prikaza vidljivo je da srednje mjesečne temperature vode značajno variraju tijekom godine. Prosječno su najmanje u siječnju (2,1°C), a srpanj je mjesec s prosječno najvećom srednjom mjesečnom temperaturom vode od 18,7 °C. Prosječna godišnja temperatura vode Like kod Bilaja iznosi 9,2°C. Maksimalna zabilježena temperatura vode iznosi 27,0°C (srpanj 1969.), a minimalna 0°C (više puta, u razdoblju od studenog do ožujka). Iz slike je vidljivo da je prisutan naglašen trend smanjenja srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih temperatura vode, koji iznosi 3,7°C/100 god za srednje temperature vode, čak 12,8°C/100 god za maksimalne, te 1,6°C/100 god za minimalne. No, radi se o razdoblju monitoringa do 1999.g. u kome se još nisu naglašeno počele osjećati posljedice utjecaja klimatskih promjena.

Tablica 3.1.21. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti temperature vode (°C) na postaji Bilaj - Lika u razdoblju od 1964. do 1999. godine

BILAJ - LIKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednje (°C)													
Sr	2,1	2,4	4,0	7,4	11,6	15,2	18,7	18,5	14,0	9,3	5,1	2,8	9,2
Stdev	1,0	1,1	1,4	1,1	1,6	2,0	1,4	1,2	1,7	1,3	1,6	1,1	0,6
Cv	0,47	0,48	0,34	0,14	0,14	0,13	0,08	0,06	0,12	0,14	0,31	0,40	0,06
Max	4,3	5,4	6,4	8,9	14,7	18,7	21,4	20,7	17	11,9	8,5	5,6	10,2
Min	0,9	1,0	1,6	4,2	8,6	11,6	15,5	15,9	10,5	6,8	1,1	1,4	8,0
Maksimalne (°C)													
Sr	3,9	4,5	7,2	10,6	14,7	18,8	22,4	21,9	17,4	13,0	8,6	5,6	22,9
Stdev	1,7	1,8	2,0	1,7	2,4	2,4	2,2	1,9	1,4	1,7	2,1	1,7	2,0
Cv	0,44	0,41	0,28	0,16	0,17	0,13	0,10	0,09	0,08	0,13	0,25	0,30	0,09
Max	8	8	11	15	19	24	27	26	20	16	13	9	27
Min	2	1	3	7	10	15	18	18	15	9,0	2	3	18
Minimalne (°C)													
Sr	1,1	1,2	1,6	4,3	8,0	11,2	14,6	14,7	10,8	5,6	2,1	1,1	0,8
Stdev	0,5	0,6	0,8	1,5	1,7	2,3	2,1	1,9	2,2	1,8	1,3	0,6	0,5
Cv	0,46	0,55	0,51	0,35	0,21	0,20	0,14	0,13	0,20	0,33	0,63	0,57	0,53
Max	3	3	3	7	11	16	20	18	15	9	5	3	2,0
Min	0	0	0	1,0	5,0	7,0	10,0	11,0	6,0	0,6	0	0	0



Slika 3.1.44. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih temperatura vode (°C) na postaji Bilaj - Lika (1964. - 1999.) i njihov trend



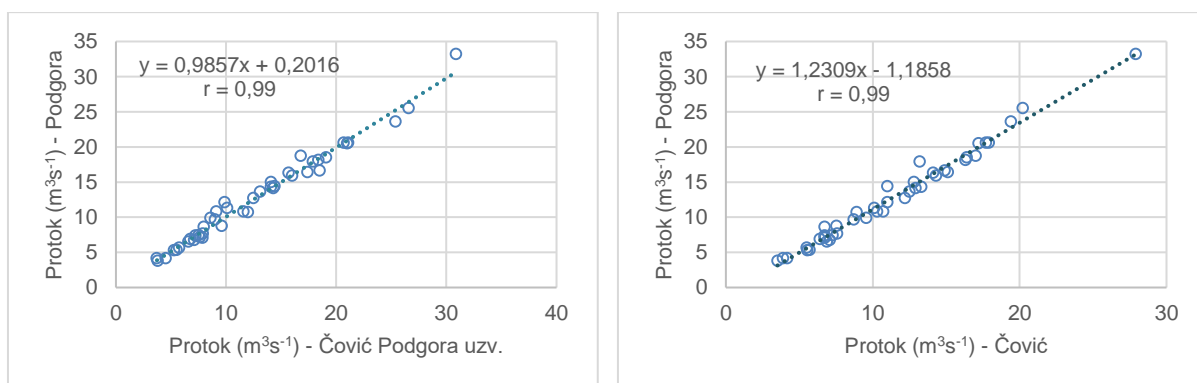
Slika 3.1.45. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) te ekstremnih mjesečnih temperatura vode (°C) na postaji Bilaj - Lika (1964. - 1999.)

3.1.4 Analize hidroloških obrada s odabranih postaja Like i Gacke

Iz provedenih analiza protoka u slivovima Like i Gacke vidljivo je da unatoč postojanja višegodišnjih hidroloških praćenja DHMZ-a na relativno velikom broju hidroloških postaja, ni na jednoj od njih nije na raspolaganju cjelovit niz 1961.-2019. s kojim bi se mogle pratiti promjene u njihovom vodnom režimu na dugogodišnjoj vremenskoj skali, te provoditi kompleksnije hidrološke obrade. Posebno se to odnosi na sliv Gacke. Stoga su odabrani referentni profili hidroloških postaja koji su locirani na najnižvodnijim dijelovima njihova toka, kako bi se nadopunjavanjem raspoloživih nizova podataka s podacima iz njima bliskih postaja, osigurale takve podloge. Kao reprezent hidroloških prilika na slivu Gacke odabrana je postaja Podgora – Gacka, a uz nju obrađeni su i nadopunjeni podaci za postaju Vivoze - Gacka koja je posebno interesantna zbog postojanja gubitaka na dionici toka nizvodno od Podgore. Za sliv Like odabrani su kao reprezent podaci o dotocima Like u akumulaciju Kruščica i vodostaji Kruščice, preuzeti od HEP-a i ranijih obrada vezanih uz to područje.

U podpoglavlju 3.1.2 dan je prikaz karakterističnih srednjih mjesečnih i godišnjih protoka, te osnovnih statističkih pokazatelja za hidrološke postaje Podgora i Vivoze iz baze DHMZ-a. Da bi se dobio cijelo reprezentativno razdoblje 1961.-2019., nadopunjeni su nedostajući srednji mjesečni i godišnjih protoci. U Tablicama 3.1.22 i 3.1.23 dan je prikaz srednjih mjesečnih i srednjih godišnjih protoka, kao i rezultati njihove statističke obrade za to razdoblje za obje postaje.

Na postaji Podgora – Gacka, podaci u razdoblju 1961.-5.1999. i 2001. (žuto označene vrijednosti) nadopunjene su regresijskim analizama preko ukinute hidrološke postaje Čović Podgora uzv. - Gacka, a nedostajući podaci za 2008. godinu (zeleno označene vrijednosti) preko postaje Čović – Gacka (Slika 3.1.46). Sa slike je vidljivo da je veza između obje postaje jako čvrsta (koeficijent korelacije 0,99). Nedostajući podaci o protocima za 2017. i 2019. godinu (plavo označene vrijednosti) nadopunjeni su na osnovu raspoloživih srednjih dnevnih vodostaja te na osnovu njih obračunom protoka djelomično sa krivuljom iz 2018. (do H=84 cm) te sa novom krivuljom za 2019. godinu, konstruiranom za potrebe predmetnog dokumenta, na temelju raspoloživih vodomjerenja DHMZ-a.



Slika 3.1.46. Usporedni prikaz protoka na postaji Čović Podgora uzv. i Podgora (lijevo) i Čović i Podgora (desno) za razdoblje od lipnja 1999. do 2000. i od 2002. do 2003.

Podaci za profil hidrološke postaje Vivoze – Gacka, za razdoblje 1978.- 2003., preuzeti su iz baze DHMZ-a, te nadopunjeni raspoloživim podacima HEP-a za razdoblje do 2019. Tijekom razdoblje 2015.-2017. nedostajući mjesečni podaci

nadopunjeni su regresijskom analizom preko postaje Podgora (ljubičasto označene vrijednosti). Nedostajući podaci u razdoblju od srpnja 1963. do 1977. (sivo označene vrijednosti) preuzeti su iz elaborata Instituta za elektroprivredu i energetiku (1997), gdje je napomenuto da su nedostajući podaci dobiveni na temelju korelacijskih odnosa s mjesečnim protocima na postaji Čović Podgora uzv.

Tablica 3.1.22. Srednji mjesečni i godišnji podaci o protocima (m^3s^{-1}) s hidrološke postaje Podgora – Gacka (1961.-2019.)

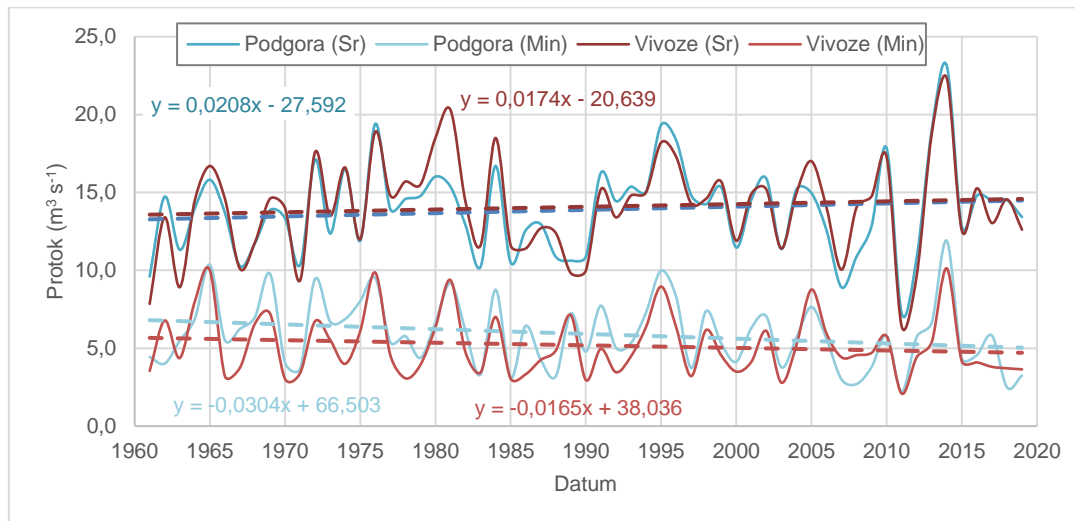
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
1961	20,2	9,4	6,5	5,9	8,9	6,7	5,8	5,1	4,4	6,2	19,6	16,4	9,6
1962	19,5	13,4	22,9	31,6	14,9	10,4	9,4	7,4	5,7	4,0	16,4	21,1	14,7
1963	19,4	12,6	19,8	17,1	11,1	8,6	9,7	9,6	8,0	6,2	5,5	8,1	11,3
1964	6,9	8,4	13,6	16,3	11,2	8,9	10,9	11,9	10,2	25,3	20,4	23,8	14,0
1965	23,6	15,9	19,2	13,1	10,4	10,6	11,3	13,0	13,0	12,0	22,5	25,2	15,8
1966	13,4	17,3	13,2	13,1	20,1	9,0	7,5	6,3	5,5	9,0	21,5	28,5	13,7
1967	13,6	10,5	10,7	11,7	10,5	10,3	8,0	7,0	6,4	6,2	11,7	16,8	10,3
1968	15,9	18,6	11,5	8,1	7,0	11,6	8,8	9,1	11,3	9,6	14,1	15,2	11,7
1969	13,9	19,9	22,4	17,9	12,9	11,7	11,2	10,7	12,3	10,3	9,8	13,3	13,9
1970	24,4	19,6	21,3	27,8	13,6	10,6	10,0	9,9	8,4	5,7	4,1	4,6	13,3
1971	17,9	16,8	12,0	17,3	11,0	10,4	8,1	7,1	5,2	3,7	3,8	10,8	10,3
1972	12,7	24,3	20,1	17,3	29,1	15,3	10,1	9,5	16,9	10,8	20,2	19,1	17,1
1973	10,9	15,8	13,1	21,2	15,5	13,0	11,1	9,0	6,7	7,6	10,0	14,4	12,4
1974	16,1	15,3	13,4	13,3	18,3	13,0	9,3	7,8	6,9	43,0	26,5	15,5	16,5
1975	9,9	9,1	11,9	14,6	10,4	9,1	13,6	8,0	9,4	10,9	16,7	19,1	11,9
1976	10,1	9,5	12,9	21,4	16,7	18,0	12,7	19,6	21,2	18,7	32,5	39,5	19,4
1977	30,8	27,4	16,7	21,6	11,4	9,0	7,6	6,8	5,5	5,4	9,1	15,9	13,9
1978	17,1	23,4	25,5	22,1	20,4	14,0	11,2	9,2	7,7	8,6	5,8	9,9	14,6
1979	20,5	27,8	21,6	21,2	14,3	9,5	8,3	6,9	5,1	4,4	19,3	18,3	14,8
1980	16,2	20,5	11,7	16,1	20,5	15,1	9,9	8,2	6,7	12,0	31,8	23,5	16,0
1981	12,9	11,4	28,9	16,2	12,1	13,5	11,7	9,2	9,6	13,0	10,8	35,0	15,4
1982	26,5	10,4	11,2	18,3	14,4	10,4	8,9	7,5	6,1	12,7	9,3	19,0	12,9
1983	14,4	13,2	22,4	23,2	10,3	8,5	7,4	6,6	5,7	4,4	3,3	3,4	10,2
1984	8,8	15,0	20,9	27,9	20,8	15,6	11,0	10,2	17,2	24,8	16,1	12,3	16,7
1985	12,1	13,0	19,1	18,5	20,2	9,0	7,2	5,9	4,6	3,1	3,6	9,7	10,5
1986	12,8	13,8	19,2	23,0	14,9	12,6	10,5	9,4	7,8	6,4	9,5	10,9	12,6
1987	7,3	23,6	18,5	27,5	24,9	10,9	9,1	8,3	6,8	4,3	5,9	8,4	13,0
1988	9,9	15,8	27,3	19,8	9,6	9,6	7,9	7,4	6,1	3,9	3,2	9,9	10,9
1989	7,2	7,6	11,3	11,3	15,5	10,2	12,2	11,3	11,7	10,3	10,4	8,4	10,6
1990	7,3	6,1	4,8	13,1	10,7	8,9	7,9	7,1	7,0	8,9	21,1	27,6	10,9
1991	23,3	13,4	12,5	12,0	29,9	17,2	10,7	9,4	7,7	12,0	28,5	18,5	16,3
1992	12,3	11,5	15,4	20,6	10,2	9,1	7,6	6,3	5,0	13,7	36,5	25,1	14,4
1993	11,1	9,2	8,8	19,5	10,9	8,9	6,9	5,3	8,3	32,8	29,1	33,6	15,4
1994	31,4	19,5	18,8	19,4	12,5	11,2	9,0	7,3	9,3	11,6	20,7	9,9	15,1
1995	23,3	25,8	27,1	19,2	16,9	20,8	15,6	10,0	19,8	17,3	12,0	24,3	19,3
1996	30,7	19,1	13,3	24,0	16,4	10,8	9,5	8,3	13,0	20,3	24,3	30,7	18,4
1997	32,1	17,1	15,8	15,0	17,4	10,6	8,1	6,5	5,1	3,7	20,7	26,0	14,8
1998	19,9	14,7	10,8	15,8	15,6	11,7	9,0	7,4	9,5	24,2	20,7	11,7	14,3
1999	20,5	17,6	25,6	24,1	16,8	10,8	8,75	7,16	5,31	7,4	6,75	33,2	15,3
2000	18,1	12,7	14,3	16,4	10,8	7,66	6,52	5,3	4,13	8,59	14,4	18,7	11,5
2001	28,4	20,5	25,5	21,7	13,4	10,3	8,6	7,0	6,3	6,4	12,7	13,4	14,5
2002	12,1	20,5	15	20,6	17,9	11,3	9,89	7,04	10,7	16,6	25,5	23,6	15,9
2003	20,6	18,5	16,3	13,6	9,64	7,37	5,65	4,13	3,78	6,86	15,9	14,1	11,4
2004	17,2	14,9	22,8	25,9	18,2	10,9	8,2	6,76	5,67	6,76	18,8	26,3	15,2
2005	15,6	9,07	19,1	27,9	18,1	10,5	7,85	10,4	7,65	16,5	12,5	24,4	15,0
2006	18,3	14,7	22	22,5	15,7	15,1	10,2	7,83	7,49	5,78	5,6	5,71	12,6
2007	11,1	15,4	16,6	10,7	6,86	5,79	4,14	3	3,39	5,98	10,7	13,2	8,9
2008	14,7	8,6	13,2	20,0	11,1	7,4	6,4	4,9	3,4	2,7	8,2	30,1	10,9
2009	20,1	32,7	17,8	20,9	10,9	7,65	6,64	5,04	4,22	3,79	6,08	18,4	12,9
2010	35,8	24,6	23,4	20,8	14	13	8,83	7,36	6,6	5,81	17,3	36,6	17,8
2011	14,1	8,74	11,2	10,4	8,27	8,87	6,86	5,14	2,89	2,43	2,21	5,77	7,2
2012	7,3	5,96	8,75	8,8	12,5	10,4	7	5,87	5,73	7,43	21	29,2	10,8
2013	29,5	26,4	37,7	31,3	13,2	15,7	9,45	8,07	6,66	10,2	24,8	15,2	19,0
2014	13,8	39,6	25	16	28,8	11,9	12,2	19	30,4	26	30,5	24,3	23,1
2015	15,2	23,7	24	14,6	9,66	8,01	6,18	4,33	5,73	20,5	11,2	10,6	12,8
2016	15,8	29,6	28,4	12	21,7	12,2	9,42	6,18	4,56	4,87	21	11,9	14,8
2017	8,37	16,6	20,6	9,59	11,7	8,88	7,04	5,81	19,4	13,4	20,1	32,8	14,5
2018	29	20,1	36	27,8	13,4	10,3	9,34	7,29	5,17	2,49	5,46	7,71	14,5
2019	6,54	16,6	7,39	12,2	24,4	17,6	10,21	8,31	5,99	3,25	22,5	26,1	13,4
Sr	17,1	16,8	17,9	18,3	14,9	11,1	9,1	8,0	8,3	10,7	15,6	18,7	13,9
Stdev	7,34	6,88	6,90	5,91	5,32	3,00	2,10	2,90	5,06	8,05	8,59	8,97	2,90
cv	0,43	0,41	0,39	0,32	0,36	0,27	0,23	0,36	0,61	0,75	0,55	0,48	0,21
Max	35,8	39,6	37,7	31,6	29,9	20,8	15,6	19,6	30,4	43,0	36,5	39,5	23,1
Min	6,54	5,96	4,79	5,95	6,86	5,79	4,14	3,00	2,89	2,43	2,21	3,38	7,24

Tablica 3.1.23. Srednji mjesečni i godišnji podaci o protocima (m^3s^{-1}) s hidrološke postaje
Vivoze - Gacka (1961.-2019.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
1961	11,7	6,34	4,12	3,54	8,49	6,8	6,91	7,08	7,87	5,14	14,5	11,7	7,85
1962	14,6	10,2	16,3	22,8	14,7	10,8	11,1	11	10,6	6,78	14,2	17,3	13,4
1963	14,9	8,93	15	14,3	8,74	4,73	8,39	6,82	6,46	5,28	4,37	9,06	8,92
1964	9,16	8,77	15,5	22,8	12,1	8,92	12	11,1	8	22,2	18,4	25,2	14,5
1965	25,6	20,9	22,2	13	11,4	10,6	12,4	11,9	10	10,4	25	26,8	16,7
1966	15,6	22	15	13	23,6	9	6,4	5,29	3,21	7,72	23,9	30,1	14,6
1967	15,8	10,8	12,1	11,5	11,5	10,3	6,86	5,6	3,74	5,31	10,2	18	10,1
1968	18	23	13	7,52	8,44	11,7	7,6	6,58	8,84	8,25	12,5	16,4	11,8
1969	16,1	24	26	18,5	18,3	11,8	12,3	7,23	9,55	8,86	8,41	14,4	14,6
1970	30,9	19,8	24,7	31,6	14,2	10,6	8,69	6,94	6,72	4,82	3,03	5,43	14
1971	16,7	13,4	10,6	14,2	10,5	9,75	7,2	5,96	5,38	4,25	3,4	10,8	9,35
1972	14,9	27	23,3	17,7	29,1	15,5	11,1	6,74	12,8	9,38	22,6	20,5	17,6
1973	13,2	20,8	14,9	26,8	15,8	13,1	12,2	8,83	5,54	6,54	8,63	15,6	13,5
1974	18,2	20,4	15,3	13,2	22,4	13,1	8,01	5,98	4	37,8	24,1	16,7	16,6
1975	12,2	9,45	13,5	14,7	11,4	9,15	14,6	6,1	7,49	9,47	14,9	20,5	12
1976	12,3	9,86	14,7	26,9	16,9	18,2	13,8	10,4	15,9	16,4	29,8	41,6	18,9
1977	35	29,1	19,1	27,1	12,3	9	6,55	5,53	4,68	4,55	7,75	17,1	14,8
1978	17,7	28,7	32,4	28,7	24,3	13,5	8,69	6,85	6,36	7,11	3,07	10,5	15,7
1979	21,4	28,3	23	22,8	16,5	8,24	6,34	5,31	4,3	3,93	21,6	24	15,5
1980	22	25,7	18,7	21	23,3	18,4	11,9	8,97	6,34	10,3	31,1	23,9	18,5
1981	26,1	22,9	37,8	25,5	16,9	14,9	13,2	9,38	9,67	15,5	12,1	39,6	20,3
1982	28,5	13	12,7	24,5	20,3	11,1	6,94	5,93	4,73	12,6	11,9	21,1	14,4
1983	18,4	17,2	27	27,5	12,2	8,89	6,15	5,67	4,63	4,48	3,45	3,74	11,6
1984	10,8	21,5	30,3	31,9	22,3	18,1	11,1	7,01	12,1	23,3	18,2	15,3	18,5
1985	13,8	16,3	20,1	20	21,9	11	7,9	5,98	4,5	3,05	3,72	11,2	11,6
1986	14,3	14,2	20,1	21,8	13,5	10,9	8,31	6,15	5,36	3,33	7,74	10,6	11,4
1987	8,84	22,1	18,5	24,5	24,5	12,3	7,72	6,03	6,3	4,25	6,5	10,8	12,7
1988	12	18,6	27,5	20,2	12,2	9,44	7,65	6,49	11,1	5,28	4,85	13,4	12,4
1989	7,77	8,16	15,2	12,1	16	9,97	10,5	7,73	7,67	7,13	8,05	7,61	9,82
1990	7,85	6,95	6,18	12,3	11,7	8,52	6,12	4,57	2,96	5,22	17,6	29,9	9,99
1991	23,5	16,5	12,8	11,3	27,5	16,3	9,71	7,46	4,96	10,3	24,8	17,5	15,2
1992	9,24	9,67	15	21	9,55	7,7	6,18	4,95	3,46	9,81	39,7	24,8	13,4
1993	11,7	8,07	7,41	21,2	10,5	7,3	6,32	4,48	6,52	28,2	26,6	38,9	14,8
1994	36,1	21,1	20	19,3	13,3	11,3	8,77	6,36	7,22	9,74	17,9	9,13	15
1995	23,4	26,3	29	20,3	16,6	19	14,2	8,96	15,8	12,6	9,06	23,5	18,2
1996	30,6	17,8	13,7	25,3	14,9	10,4	8,39	6,36	9,24	18,2	22,3	29,8	17,3
1997	33,8	17,9	15,6	14,8	17,6	9,6	7,6	5,47	3,92	3,21	18,4	23,7	14,3
1998	21,8	18,2	13,3	17	16	11,4	8,28	6,17	6,64	22,1	20,6	13,2	14,6
1999	21,3	19,7	27	24,3	17,4	11,7	8,05	5,69	4,54	6,33	8,14	34,1	15,7
2000	20	14,4	16,8	18,1	10,6	7,65	6,27	4,48	3,5	6,96	13,9	20,1	11,9
2001	29	22,4	29,4	23,5	16,9	10,5	7,2	4,7	4,12	4,82	10,9	15,3	14,9
2002	12,6	19,9	15,1	19,5	16,3	10,9	8,1	6,11	9,35	17,4	24,9	22,2	15,2
2003	21,5	19,8	16,1	13,7	9,53	6,9	5,49	4,07	2,79	6,16	16,1	14,7	11,4
2004	18,0	15,7	24,5	27,5	19,4	11,1	8,6	6,2	5,2	5,5	13,0	24,8	15,0
2005	17,5	10,7	21,3	31,4	20,1	11,5	8,8	9,4	9,5	18,0	14,2	31,6	17,0
2006	22,0	17,7	25,3	26,7	17,7	14,9	9,7	8,0	7,6	6,0	5,9	6,9	14,0
2007	10,7	15,0	16,5	12,6	9,0	7,9	6,1	4,7	4,4	6,4	11,6	15,7	10,0
2008	17,0	12,3	16,8	24,3	15,2	12,1	9,3	7,4	5,7	4,6	9,9	33,9	14,0
2009	22,0	35,6	20,1	22,4	13,7	9,8	8,2	6,6	5,2	4,7	8,2	20,5	14,8
2010	37,6	25,5	24,3	21,0	13,6	12,0	9,3	7,5	6,9	5,8	11,6	32,1	17,3
2011	13,6	9,1	10,1	8,8	7,0	6,1	4,9	3,8	3,2	2,5	2,1	5,6	6,4
2012	6,3	5,3	7,4	7,1	9,9	8,7	6,7	4,8	4,4	5,7	19,9	29,7	9,7
2013	32,6	29,2	40,0	34,5	13,0	13,5	7,7	6,2	5,4	8,5	20,0	14,7	18,8
2014	11,6	42,8	26,0	15,1	26,1	11,4	10,1	17,3	28,2	25,3	29,7	24,5	22,3
2015	13,9	23,8	25,0	14,8	9,8	8,4	6,3	4,3	4,2	20,8	11,0	8,6	12,6
2016	16,2	33,1	32,0	12,3	23,0	12,4	7,1	5,5	4,10	4,42	21,3	11,8	15,3
2017	8,09	14,7	21,5	8,8	9,8	7,0	4,8	3,8	12,7	9,1	16,6	39,5	13,0
2018	29,8	21,5	38,3	31,1	13,2	8,5	6,9	5,0	4,1	3,7	5,0	7,6	14,6
2019	7,3	16,8	8,3	11,6	21,8	14,6	6,9	4,9	4,1	3,6	24,0	27,3	12,6
Sr	18,4	18,5	19,6	19,5	15,7	11,0	8,55	6,71	7,01	9,64	14,8	19,7	14,1
Stdev	8,02	7,76	8,00	7,15	5,38	3,12	2,38	2,30	4,16	7,26	8,43	9,56	3,12
cv	0,44	0,42	0,41	0,37	0,34	0,28	0,28	0,34	0,59	0,75	0,57	0,49	0,22
Max	37,6	42,8	40,0	34,5	29,1	19,0	14,6	17,29	28,2	37,8	39,7	41,6	22,3
Min	6,33	5,30	4,12	3,54	7,05	4,73	4,84	3,81	2,79	2,49	2,08	3,74	6,40

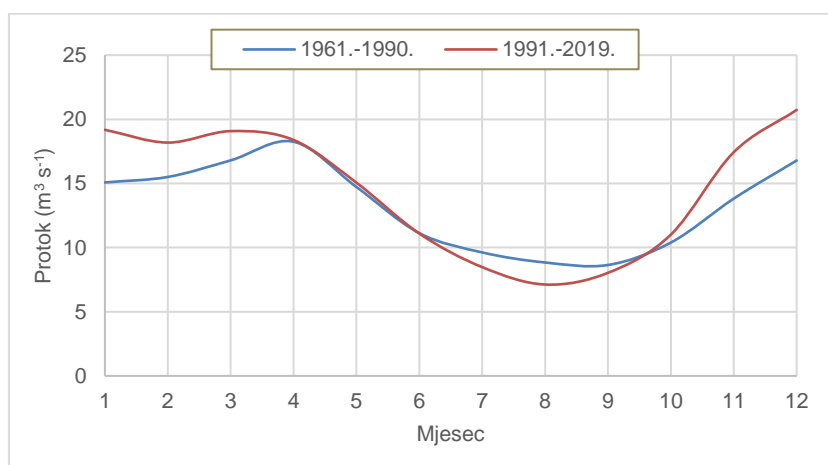
Na Slici 3.1.47 dan je prikaz hoda srednjih godišnjih i minimalnih srednjih mjesečnih vrijednosti protoka Gacke na postajama Podgora i Vivoze u razdoblju od 1961. do 2019. Vidljivo je da je prisutan blagi trend povećanja srednjih godišnjih protoka od $2,1 m^3s^{-1}/100$ god na postaji Podgora te $1,7 m^3s^{-1}/100$ god na postaji

Vivoze, dok je kod minimalnih srednjih mjesečnih protoka prisutan trend opadanja protoka od $3,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}/100 \text{ god}$ na postaji Podgora te $1,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}/100 \text{ god}$ na postaji Vivoze.



Slika 3.1.47. Hod karakterističnih vrijednosti srednjih godišnjih i minimalnih srednjih mjesečnih protoka zabilježenih na postajama Podgora i Vivoze (1961.-2019.) i njihov trend

Dana je i unutar godišnja raspodjela srednjih mjesečnih protoka na postaji Podgora - Gacka za referentno razdoblje 1961.-1990. i razdoblje 1991.-2019. (Slika 3.1.48). U razdoblju 1991.-2019., srednje mjesečne protoke povećale su se tijekom razdoblja listopad – svibanj, dok su se tijekom sušnih ljetnih mjeseci (srpanj – ruj) smanjile. Najveće smanjenje bilježi mjesec kolovoz i to čak za $1,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Osim zbog promjene hidroloških prilika, to može biti i posljedica nadopunjavanja nizova podataka regresijskim analizama hidroloških međudnosa sa susjednim stanicama, pri čemu se dijelom gube informacije o mogućim ekstremima. No, vidljivo je da je u novije doba, nakon devedesetih, prisutan pomak najmanjih srednjih mjesečnih vrijednosti s rujna na kolovoz.



Slika 3.1.48. Unutar godišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih protoka na postaji Podgora - Gacka za razdoblje 1961.-1990. i 1991.-2019.

U nastavku je dan i prikaz srednjih mjesečnih protoka/dotoka u akumulaciju Krušćicu (Tablica 3.1.24), preuzetih za razdoblje 1961.-1970. iz elaborata Instituta za elektroprivredu i energetiku (1997), za razdoblje 1971.-2012. iz elaborata Elektroprojekt (2018), te nadopunjeni do kraja 2019. (sa rupama) na temelju HEP-ovih dnevnih podataka.

Tablica 3.1.24. Srednji mjesečni i godišnji podaci o dotocima (m^3s^{-1}) u akumulaciju Krušćica (1961.-2019.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
1961	45,7	19	7,48	9,64	16,6	7,91	1,43	0,62	0,186	30,8	71,8	41,6	21,1
1962	35,3	23	79,3	72,9	13,8	6,26	5,15	0,779	0,27	0,35	98,3	69,9	33,8
1963	65,8	51,3	47,7	21,7	10,9	9,65	2,45	0,887	4,03	7,84	21,8	19,7	22,0
1964	12,2	27,2	65,5	37,6	10,1	2,14	2,18	2,35	0,565	88,3	34,5	93,9	31,4
1965	54,7	24,4	48,4	31,5	12,8	20,7	2,84	1,91	11,2	7,1	83,8	64,7	30,3
1966	19,7	53,7	24	25,4	36,6	5,3	2,2	4,89	4,62	45,9	85,5	101	34,1
1967	25,3	22,3	17,4	24,2	13,7	10,4	2,71	1,16	7,4	6,4	38,1	66,1	19,6
1968	35,5	61,3	16,6	5,9	3,43	20,3	2,96	6,8	21,7	6,07	41,8	42,3	22,1
1969	39,7	87,4	53,3	48,9	15,1	18,3	4,13	6,97	26,3	4,07	35,8	36,1	31,3
1970	94,7	69,8	80,3	58,1	18,9	7,72	5,27	1,87	1,01	1,21	8,33	35,2	31,9
1971	70,19	28,76	21,04	35,58	12,57	4,5	0,89	0,54	0,65	0,48	10,8	16,6	16,9
1972	23,4	98,71	41,99	29,02	63,25	8,79	1,31	2,02	23,94	5,5	38,67	21,85	29,9
1973	8,42	40,7	11,16	33,57	9,58	5,09	1,49	0,58	1,06	14	12,05	41,61	14,9
1974	28,42	39,71	24,55	13,92	29,9	8,01	2,34	1,92	12,54	137,8	38,75	23,79	30,1
1975	8,21	5,44	26,14	31,1	10,69	5,36	2,89	1,1	3,08	19,03	39,14	31,06	15,3
1976	6,16	17,25	35,65	47,78	18,57	5,62	1,42	2,37	10,78	17,46	57,95	129,4	29,2
1977	82,2	67,19	20,58	44,63	10,24	1,41	2,76	5,25	4,63	11,37	21,7	32,99	25,4
1978	65,16	63,62	56,16	54,76	33,05	19,8	6,31	1,28	4,11	9,33	1,31	43,37	29,9
1979	57,23	63,64	40,07	42,88	15,77	2,36	0,93	0,38	1,68	5,52	70,43	57,98	29,9
1980	50,47	58,22	33,43	38,44	39,88	22,37	3,22	0,33	0,17	21,37	99,65	41,42	34,1
1981	20,01	22,77	83,4	16,93	16,09	16,65	4,69	0,69	5,57	25,23	8,92	141,5	30,2
1982	36,15	5,46	23,08	39,98	16,5	4,03	0,92	1	2,43	30,7	17,05	80,17	21,5
1983	20,34	37,53	53,2	37,1	7,79	2,73	1,24	0,76	1	1,57	1,06	14,52	14,9
1984	37,18	53,37	36,15	38,12	45,18	16,33	2,59	1,12	39,65	45,37	33,8	13,06	30,2
1985	31,16	25,52	69,92	21,66	32,69	4,39	0,92	0,38	0,2	0,25	8,73	28,16	18,7
1986	49,21	38,1	65,54	52,74	16,08	16,83	3,66	1,31	2,36	6,38	14,11	18,13	23,7
1987	16,78	75,45	43,88	38,29	32,77	7,52	1,21	0,33	0,35	0,49	28,31	17,2	21,9
1988	28,55	39,31	59,08	29,28	16,46	15,04	1,3	0,79	1,45	1,08	5,5	25,51	18,6
1989	2,62	17,55	24,64	18,47	16,79	9,27	6,55	7,13	13,53	9,28	16,62	14,22	13,1
1990	5,33	6,08	3,83	30,53	5,25	4,3	0,74	0,07	1,12	16,03	56,61	64,68	16,2
1991	33,71	15,79	19,15	20,34	58,2	16,81	2,02	0,39	0,65	15,89	83,36	17,05	23,6
1992	5,67	12,72	54,35	34,39	3,58	3,08	2,19	0,59	0,33	63,51	97,74	46,78	27,1
1993	8,44	4,43	11,3	36,32	7,39	1,33	2,62	0,77	5,78	53,78	52,71	121,8	25,6
1994	55,87	28,4	17,03	36,66	9,07	3,88	0,74	0,31	5,21	12,88	18,89	13,95	16,9
1995	57,09	56,76	49,72	22,28	20,77	40,06	8,86	2,47	18,42	3,72	22,37	89,22	32,6
1996	53,45	26,32	10,55	36,47	18,41	4,12	3,14	1,83	29,43	29,75	62,91	57,91	27,9
1997	70,19	11,91	14,57	19,44	19,51	4,27	1,54	0,11	0,01	0,42	60,2	46,26	20,7
1998	33,17	11,92	7,62	33,69	25,4	6,26	2,13	0,26	13,09	30,11	32,92	11,88	17,4
1999	50,13	36,86	41,36	34,75	14,47	5,42	1,68	0,13	0,18	10,1	19,82	106	26,7
2000	12,94	18,89	29,62	28,88	5,77	1,39	0,6	0	12,77	54,89	58,86	18,7	
2001	55,51	32,31	65,51	31,36	9,07	3,18	0,81	1,38	1,66	2,82	25,52	13,34	20,2
2002	15,46	62,11	15,11	39,58	17,42	5,23	2,07	3,65	29,27	33,41	63,02	37,74	27,0
2003	33,37	34,21	18,68	15,95	3,06	0,49	0,09	0,01	0,01	21,06	39,39	29,44	16,3
2004	33,45	34,01	64,44	58,79	23,58	4,37	0,25	0,07	0,1	5,24	20,53	64,88	25,8
2005	12,63	4,49	44,11	47,13	20,11	3,72	0,46	1,16	2,82	14,64	36,24	69,03	21,4
2006	52,16	37,37	47,78	29,16	14,18	5,41	0,41	1,03	11,61	2,87	12,77	11,39	18,8
2007	25,52	30,32	32,46	10,07	3,75	2,12	0,12	0,65	2,36	6,64	11,9	17,58	12,0
2008	25,12	11,92	42,62	32,08	15,54	6,7	0,61	0,02	0,05	0,63	19,51	103,4	21,5
2009	59,23	75,63	29,33	35,07	8,85	1,9	0,31	0	0,04	6,86	18,33	79,57	26,3
2010	106,5	75,64	39,08	28,17	21,18	7,13	0,41	0,06	1,93	1,47	64,53	92,17	36,5
2011	17,62	7,69	15,93	7,91	2,34	0,56	0,05	0,07	0,01	0,45	0,47	26,49	6,6
2012	5,65	3,82	10,45	24,27	12,73	3,76	0,07	0,04	1,29	11,66	56,86	97,28	19,0
2013	109,5	56,6	115,4	69,7	12,0	26,5	0,3	0,0	3,0	18,0	54,2	15,2	40,0
2014	29,6	141,9	27,2	19,6	27,0	2,7	12,8	18,3	69,0	20,4	61,8	39,2	39,1
2015	23,9	69,2	46,9	11,4	11,6	2,7	0,0	0,0	0,6			9,8	
2016	40,0	100,0	52,5	8,6	49,8	11,7	0,7	0,0					
2017		25,2	42,0	9,4	10,9	0,0	0,2	0,0	41,3	6,3	38,3	118,4	
2018	71,3	42,4	119,9	48,5	8,6	3,2	0,1	0,0	1,1	2,7	21,1	20,0	28,2
2019	11,1	54,5	6,6	20,1	42,8	8,0	0,2	0,0	1,0	0,4	102,6	103,5	29,2
Sr	37,7	40,1	39,1	31,9	18,6	8,05	2,10	1,54	7,72	16,92	39,5	50,8	24,4
Stdev	25,5	28,2	25,2	15,0	13,4	7,56	2,30	2,81	12,9	23,8	27,9	35,5	7,20
Cv	0,68	0,70	0,65	0,47	0,72	0,94	1,09	1,83	1,68	1,40	0,71	0,70	0,30
Max	109,5	141,9	119,9	72,9	63,3	40,1	12,8	18,3	69,0	137,8	102,6	141,5	40,0
Min	2,62	3,82	3,83	5,90	2,34	0	0	0	0	0,250	0,470	9,80	6,63

Također dan je i prikaz srednjih mjesečnih i godišnjih vodostaja (m n.m.) u akumulaciji Kruščica (Tablica 3.1.25), preuzeti su iz baze DHMZ-a za razdoblje 1976.-2009., te nadopunjeni do kraja 2019. (žuto označene vrijednosti) na temelju HEP-ovih dnevnih podataka. Kota nule letve iznosi 490 m n.m. (iz DHMZ-ove baze).

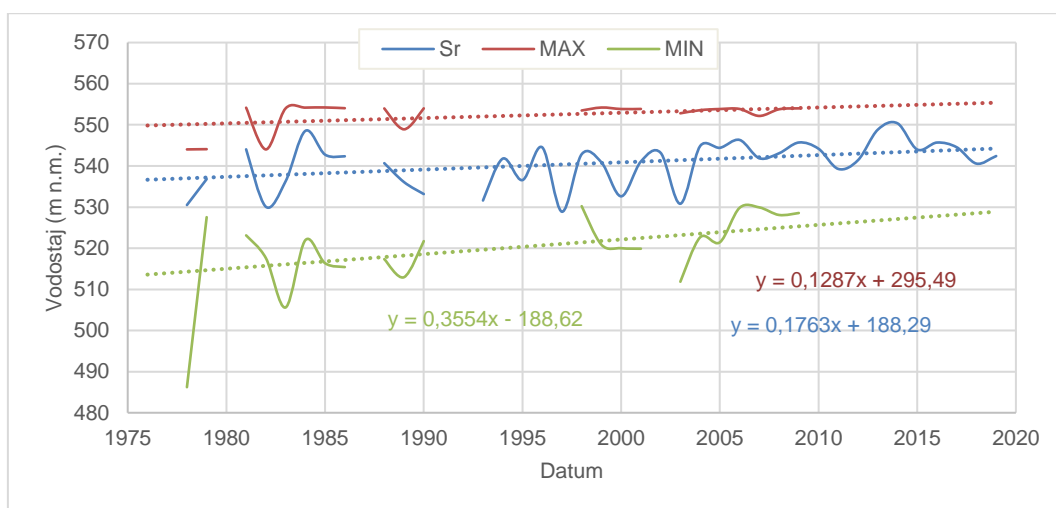
Tablica 3.1.25. Srednji mjesečni i godišnji podaci o vodostajima (m n.m.) u akumulaciju Kruščica (1976.-2019. sa prekidima zbog nedostajućih podataka tijekom pojedinih mjeseci i godina)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
1976	546,62	536,77	543,08	552,03	549,96	542,40	538,05	537,94	540,73	542,40	549,82	551,96	544,31
1977	552,64	552,96	551,50	551,49	547,63		526,10	523,12	516,07	510,03	521,92	537,23	
1978	536,14	542,33	543,71	543,21	543,69	542,09	540,67	530,07	517,49	515,34	500,36	510,94	530,50
1979	542,90	543,71	542,91	543,51	540,76	531,04	531,41	530,63	528,78	529,01	536,59	540,39	536,80
1980													
1981	548,29	532,78	545,14	550,27	543,23	545,68	550,78	550,60	545,11	538,86	530,90	546,73	544,03
1982	542,86	531,03	526,86	534,62	534,18	531,13	528,60	524,16	523,93	530,65	521,74	531,11	530,07
1983	549,13	544,03	542,23	552,75	548,54	545,30	541,83	540,29	536,42	511,30	508,34	515,13	536,28
1984	529,89	541,24	551,79	553,60	553,00	552,11	550,86	546,50	548,19	553,05	550,41	551,72	548,53
1985	541,45	549,51	547,26	551,64	552,57	551,65	550,02	548,33	546,02	529,06	521,31	524,18	542,75
1986	537,48	547,90	546,42	553,82	551,17	551,56	551,24	548,68	541,35	528,34	521,24	528,95	542,35
1987	524,33	537,09	551,61	553,02	552,18	549,84	546,77	532,60			514,13	536,69	
1988	528,50	544,00	548,12	552,47	547,29	549,28	548,60	544,88	538,93	536,26	521,65	528,10	540,67
1989	517,72	518,42	535,08	537,38	541,65	545,48	545,93	545,94	544,70	534,50	535,63	530,43	536,07
1990	526,39	526,24	525,04	537,10	542,22	536,29	530,88	526,48	523,17	525,93	545,11	553,16	533,17
1991													
1992													
1993	542,20	527,36	520,38	536,69	535,65	527,29	517,28	511,79	516,23	538,09	553,48	552,78	531,60
1994	553,10	552,33	548,90	549,52	548,64	546,35	539,53	538,32	537,34	527,04	533,41	526,85	541,78
1995	534,68	541,60	543,10	540,01	537,66	540,16	540,93	537,73	533,83	530,18	525,70	533,14	536,56
1996	553,54	549,05	538,12	547,68	551,15	546,07	540,06	528,93	529,16	549,37	548,07	553,13	544,53
1997	553,06	544,62	543,77	542,99	543,88	532,08	516,20	499,07	490,75	494,78	532,54	552,77	528,87
1998	552,51	545,13	537,65	541,29	549,34	549,37	544,29	535,32	534,92	544,57	545,28	534,58	542,85
1999	547,13	548,37	552,87	551,65	546,76	543,56	536,13	533,07	531,98	528,42	525,27	545,39	540,88
2000	549,51	529,50	525,51	537,00	527,42	526,80	525,81	524,71	524,00	530,94	542,62	547,68	532,62
2001	553,13	552,57	552,81	552,95	546,24	543,17	542,21	539,78	532,32	523,21	525,33	529,35	541,09
2002	524,92	538,45	549,85	542,07	548,71	543,16	542,77	542,19	539,48	544,06	549,27	553,37	543,19
2003	551,31	550,70	538,38	528,91	527,16	524,71	520,18	514,80	512,05	516,52	538,85	546,15	530,81
2004	546,96	544,37	550,07	552,87	552,14	549,23	549,07	548,28	542,44	525,96	530,49	546,00	544,82
2005	547,08	525,90	530,18	553,29	550,93	549,26	548,59	548,65	548,22	544,19	534,41	552,23	544,41
2006	552,41	547,11	553,11	553,30	550,15	549,53	548,34	546,16	546,42	540,31	535,16	533,91	546,33
2007	535,55	542,81	549,24	547,99	545,80	545,62	542,70	538,54	537,15	537,47	539,21	540,43	541,88
2008	535,36	534,29	537,65	553,54	550,48	548,15	547,79	544,52	539,05	535,04	538,27	552,88	543,08
2009	550,68	553,46	551,65	551,84	546,96	547,91	547,81	545,98	542,71	537,91	532,63	538,86	545,70
2010	553,02	552,49	552,27	552,60	549,63	547,16	546,09	544,25	542,22	514,51	522,44	553,51	544,18
2011	549,61	535,56	534,63	541,11	544,29	544,86	543,83	542,27	538,56	534,68	527,03	534,82	539,27
2012	531,98	527,62	533,61	537,47	546,67	548,91	548,81	546,35	541,69	535,84	545,18	552,73	541,40
2013	551,25	552,30	552,43	552,99	550,97	553,64	553,10	549,73	545,19	537,77	538,42	547,97	548,81
2014	538,99	552,06	552,67	550,55	552,84	552,30	550,36	552,05	550,31	549,53	551,74	550,97	550,36
2015	539,58	547,45	552,14	548,99	548,27	548,78	543,93	536,92	531,05	541,66	549,08	539,97	543,99
2016	542,27	547,70	553,44	550,56	553,00	551,43	548,15	542,23	536,65	530,92	544,65	547,25	545,69
2017	537,18	539,93	551,24	545,72	549,65	550,38	548,03	538,05	538,80	540,81	542,15	552,62	544,55
2018	553,14	550,49	551,28	553,02	548,14	549,49	544,62	529,38	527,61	526,76	525,91	527,03	540,57
2019	527,31	547,65	546,43	545,90	549,05	553,35	550,04	540,87	529,38	523,28	542,36	553,22	542,40
Sr	542,24	542,17	544,00	547,06	546,33	544,66	541,67	537,32	534,26	531,71	534,10	541,13	540,71
Stdev	9,93	9,06	9,06	6,71	6,32	7,73	9,68	11,46	11,95	11,92	12,37	11,49	5,56
cv	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Max	553,54	553,46	553,44	553,82	553,00	553,64	553,10	552,05	550,31	553,05	553,48	553,51	550,36
Min	517,72	518,42	520,38	528,91	527,16	524,71	516,20	499,07	490,75	494,78	500,36	510,94	528,87

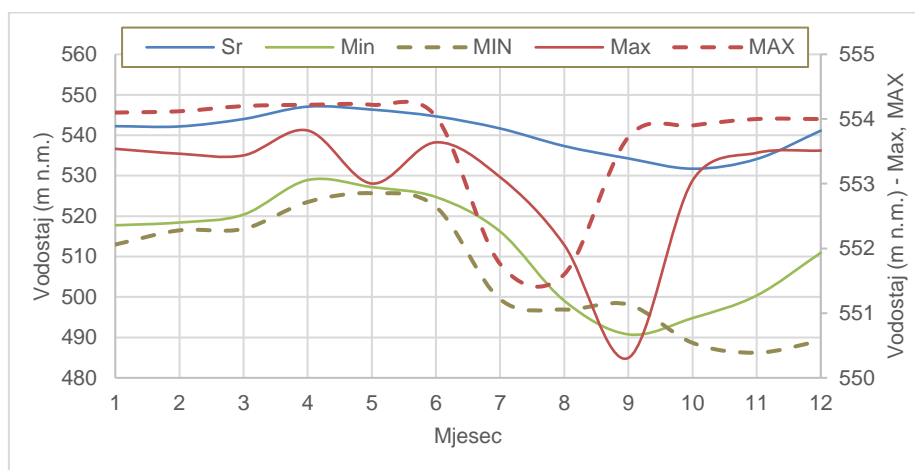
Na Slici 3.1.49 dan je prikaz hoda srednjih godišnjih (1976.-2019. s prekidima) te ekstremnih maksimalnih i minimalnih (1976.-2009. s prekidima) mjesečnih vrijednosti vodostaja u akumulaciji Kruščica. Vidljivo je da je prisutan trend povećanja srednjih godišnjih vodostaja od 1,8 m/10 god, maksimalnih od 1,3 m/10 god te minimalnih od 3,6 m/10 god. Takav izražen trend vjerojatno je posljedica povoljnijih hidroloških prilika

pri kraju analiziranog razdoblja, kao i relativno kratkog niza s dosta prekida u monitoringu.

Dana je i unutar godišnja raspodjela (Slika 3.1.50) srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) (1976.-2019. sa prekidima) te ekstremnih mjesečnih (1976.-2009. s prekidima) vodostaja u akumulaciji Kruščica. Vidljivo je da su srednji mjesečni vodostaji najniži nakon ljeta, u mjesecu listopadu, dok se ekstremni minimumi obično pojavljuju se još mjesec kasnije, u mjesecu studenom. Režim upravljanja akumulacijom je takav da je se nastoji držati što punijom prije početka ljetnog sušnog razdoblja.



Slika 3.1.49. Hod godišnjih vrijednosti srednjih (1976.-2019.), te ekstremnih maksimalnih i minimalnih (1976.-2009.) razina vode u akumulaciji Kruščica



Slika 3.1.50. Unutar godišnja raspodjela srednjih mjesečnih (maksimalnih, srednjih i minimalnih) (1976.-2019.) te ekstremnih mjesečnih (1976.-2009.) razina vode u akumulaciji Kruščica

Provedeno je i **ispitivanje homogenosti** dvaju serija podataka - za razdoblje 1961./1990. i 1991./2019. na postajama Podgora – Gacka i Vivoze - Gacka, te 1961./1990. i 1991./2014. za dotoke u akumulaciju Kruščica (Lika). Testiranje homogenost godišnjih protoka (po hidrološkim godinama) provedeno je Wilcoxonovim

neparametarskim testom (testa rangiranja). Dobiveni rezultati (Tablica 3.1.26) pokazuju da su svi analizirani nizovi homogeni.

Tablica 3.1.26. Ispitivanje homogenosti podataka godišnjih protoka po hidrološkim godinama na postaji Podgora-Gacka i Vivoze - Gacka te dotocima u akumulaciju Kruščica za razdoblje od 1961.-2019.

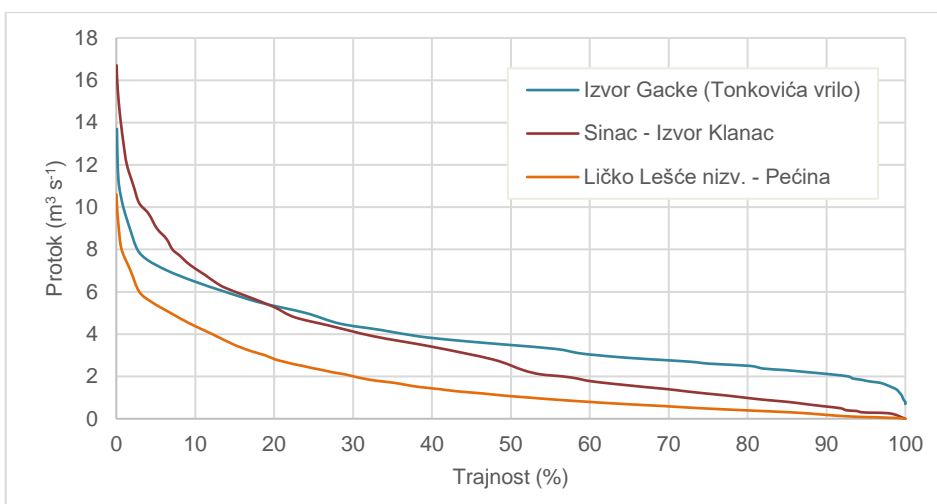
Postaja	Podgora - Gacka	Vivoze - Gacka	Dotoci u akumulaciju Kruščica (Lika)
Razdoblje	1961.-1990. / 1991.-2019.	1961.-1990. / 1991.-2019.	1961.-1990. / 1991.-2014.
Standardna jedinična devijacija U0	-1,39	-0,71	1,00
Ocjena homogenosti	HOMOGEN	HOMOGEN	HOMOGEN

3.1.5 Analize hidroloških obrada dnevnih podataka o protocima

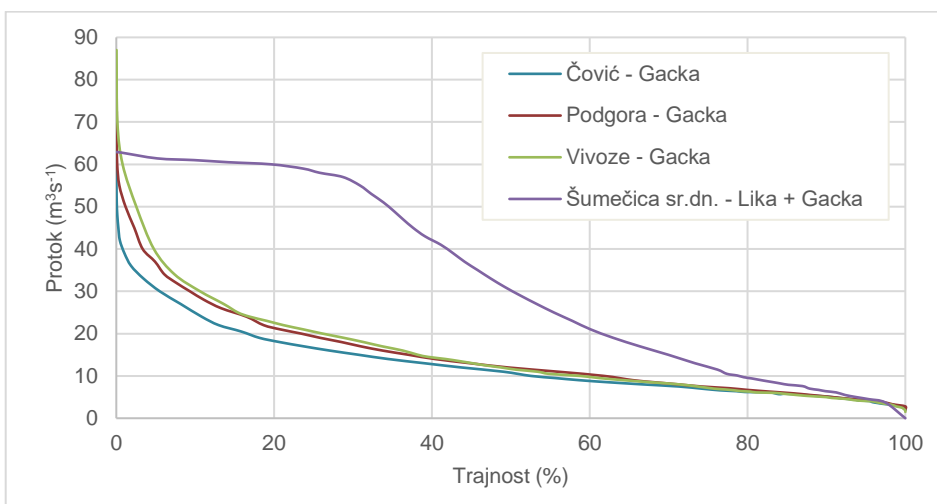
Provedene su i **analize učestalosti i trajnosti** srednjih dnevnih protoka na postajama duž rijeke Gacke i Like, kako bi se na osnovu njih sagledale značajke njihova otjecanja, kao i dobili elementi za procjenu ekološki prihvatljivog protoka. S obzirom da se takve analize provode nad dnevnim podacima, a za koje je na analiziranom području Like i Gacke bilo dosta prekida u radu i prelociranja mjernih postaja, obrađeni su svi raspoloživi nizovi za koje je procijenjeno da imaju dovoljnu minimalnu duljinu motrenja, neovisno o razdoblju njihova monitoringa. Kod nekih nizova zbog toga nedostaju podaci o protocima tijekom najsušnijih do sada zabilježenih hidroloških prilika, tijekom 2011. i 2012. godine.

Na Slici 3.1.51 dan je prikaz krivulja trajnosti za pojedinačna izvorišta izvorišnog dijela Gacke - Izvor Gacke (Tonkovića vrilo) - Gacka, Sinac - Izvor Klanac, Ličko Lešće nizv. - Pećina za razdoblje od 1997. do 2016. godine. Na Slici 3.1.52 dan je prikaz analiziranih krivulja trajanja za postaje locirane na samom glavnom toku Gacke nizvodno od postaje Čovići - za postaje Čovići - Gacka (1997.-2016.), Podgora - Gacka (2000.-2016. bez 2001. i 2008.), Vivoze - Gacka (1978.-2019.) i Šumečica sr.dn. – Lika + Gacka (1986.-2017.).

Odgovarajuće karakteristične vrijednosti trajanja protoka (80% i 95% trajnosti) tijekom malovodnih razdoblja za sve postaje dane su u Tablici 3.1.27.



Slika 3.1.51. Prikaz krivulje trajanja protoka na postajama Izvor Gacke (Tonkovića vrilo) - Gacka, Sinac – Izvor Klanac i Ličko Lešće nizv. - Pećina za razdoblje od 1997. do 2016. godine



Slika 3.1.52. Prikaz krivulje trajanja protoka na postajama Čovići - Gacka (1997.-2016.), Podgora - Gacka (2000.-2016., bez 2001. i 2008.), Vivoze - Gacka (1978.-2019.) i Šumečica sr.dn. – Lika + Gacka (1986.-2017.)

Tablica 3.1.27. Karakteristične vrijednosti trajanja protoka (80% i 95%) tijekom malovodnog razdoblja na postajama duž rijeke Gacke

Postaja / Trajnost (%)	Izvor Gacke (Tonkovića vrilo) - Gacka	Sinac - Izvor Klanac	Ličko Lešće nizv. - Pećina	Čović - Gacka	Podgora - Gacka	Vivoze - Gacka	Šumečica sr.dn. - Lika+Gacka
	Protok (m^3s^{-1})						
80%	2,5	1,0	0,40	6,2	6,7	6,3	9,7
95%	1,8	0,30	0,08	4,1	4,3	4,05	4,5

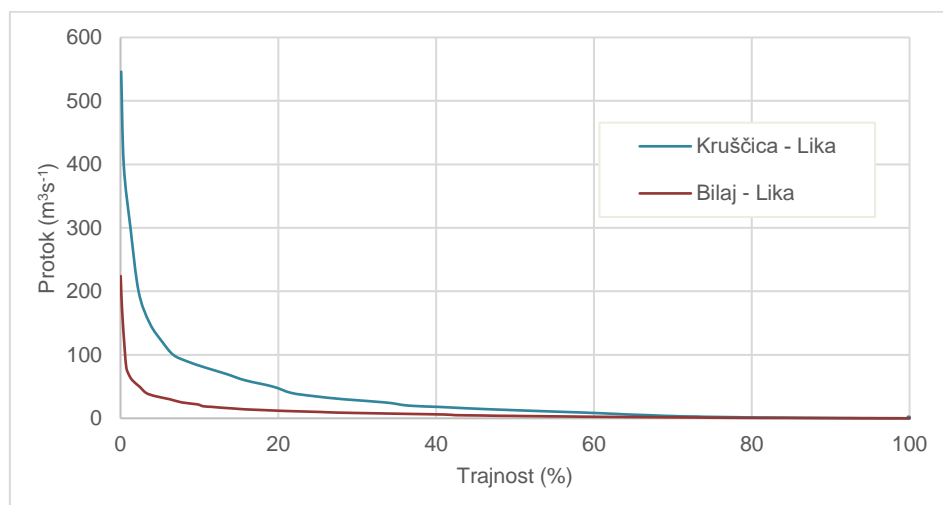
Vidljivo je (Slika 3.1.51 i Tablica 3.1.27) da izvor Gacke/Tonkovića vrilo ima najstabilnije protoke, odnosno puno manju varijabilnost u odnosu na izvor Klanac lociran neposredno uz izvor Gacke. Klanac pokazuje veću zastupljenost velikih voda, ali i daleko manju izdašnost kod svih protoka trajanja ispod 20%, a što posebno dolazi do izražaja kod malovodnih razdoblja trajanja ispod 80%. Izvor Pećina ima po

cjelokupnom rasponu svojih zapaženih protoka krivulju trajnosti koja je puno niža od krivulja ova dva druga izvorišna ogranka Gacke.

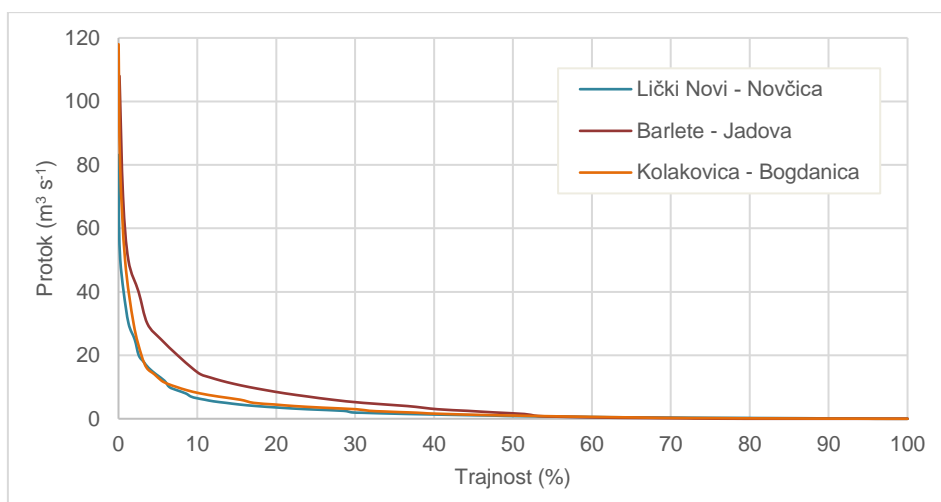
Kod analize trajnosti protoka za hidrološke postaje na samom glavnom toku Gacke nizvodno od profila hidrološke postaje Čovići (Slika 3.1.52 i Tablica 3.1.27), vidljivo je da su protoci na najuzvodnijoj hidrološkoj postaji Čovići u cjelokupnom rasponu trajnosti niži od protoka na postajama Podgora i Vivoze. Protoci s Vivoza su veći svega tijekom trajanja oko 15% najvećeg protoka, nakon čega dolaze do izražaja gubici na dionici toka između njih, te im se krivulje trajanja približavaju i isprepliću. Kod najmanjih voda, protoci na Vivozama su zbog tih gubitaka manji nego li na Podgori – kod trajnosti od 80 % razlika je $0,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a kod trajnosti od 95%, razlika je oko $0,25 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Krivulja trajanja za profil hidrološke postaje Šumečica sr.dn. (Lika + Gacka) pod utjecajem je kontroliranih dotoka Like u korito Gacke, te je i krivulja trajanja vezana uz režim prihranjivanja, kao i kapacitet dovodnog tunela od oko $60 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Na Slici 3.1.53 dan je prikaz krivulja trajnosti za postaje Bilaj – Lika (1951.-2019., bez 8.1991.-3.2002., 2007.-08.) i Kruščica – Lika (1948.-1963.), te je na Slici 3.1.54 dan prikaz za postaje Lički Novi – Novčica (1964.-2019.), Barlete –Jadova (1948.-2015., bez 1949., 6.1991.-2.1998.) i Kolakovica – Bogdanica (1964.-2019., bez 9.2001.-7.2002.).

Odgovarajuće karakteristične vrijednosti trajanja protoka (80% i 95% trajnosti) tijekom malovodnih razdoblja za sve postaje dane su u Tablici 3.1.28.



Slika 3.1.53. Prikaz krivulje trajanja protoka na postajama Bilaj – Lika (1951.-2019., bez 8.1991.-3.2002., 2007.-08.) i Kruščica – Lika (1948.-1963.)



Slika 3.1.54. Prikaz krivulje trajanja protoka na postajama Lički Novi – Novčica (1964.-2019.), Barlete – Jadova (1948.-2015., bez 1949., 6.1991.-2.1998.) i Kolakovica – Bogdanica (1964.-2019., bez 9.2001.-7.2002.)

Tablica 3.1.28. Karakteristične vrijednosti trajanja protoka (80% i 95%) tijekom malovodnog razdoblja na postajama duž rijeke Like

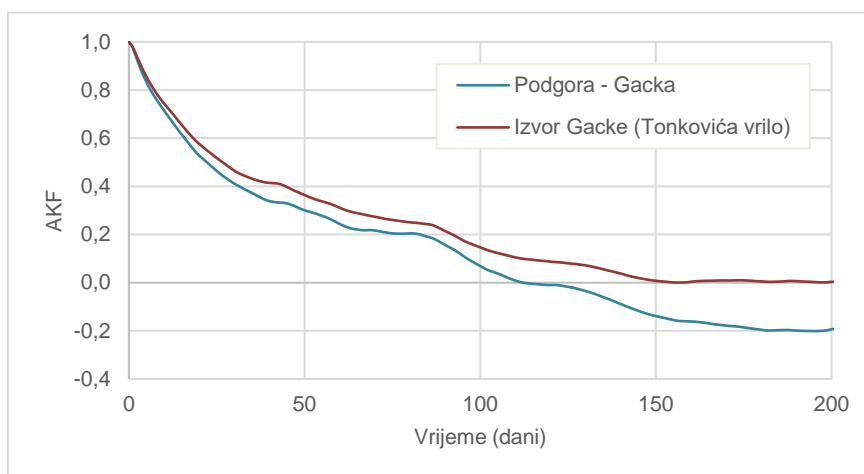
Postaja / Trajnost (%)	Bilaj - Lika	Kruščica - Lika	Lički Novi - Novčica	Barlete - Jadova	Kolakovica - Bogdanica
	Protok (m ³ s ⁻¹)				
80%	0,60	1,4	0,26	0,005	0,13
95%	0,07	0,27	0,05	0	0,02

Iz provedenih obrada je vidljiv bujični karakter vodotoka u slivu Like, te naglašene varijacije u protocima tijekom cjelokupne amplitude njihova trajanja. Protoci Like na nekadašnjoj postaji Kruščica (prije izgradnje HE Senj) pokazuju nešto ujednačeniji vodni režim pri pojavama srednjih voda, iz razloga što se na toj postaji bilježio dotok Like koja se prihranjuje iz svih obrađenih pritoka. No, rezultati obrada trajnosti malih voda 95% trajanja pokazuju da se radi o vodotocima koji imaju iznimno niske vrijednosti protoka tijekom malovodnih razdoblja, a koja rezultiraju i učestalim presušivanjima toka.

Provedene su **analize autokorelacijskih funkcija (AKF)** raspoloživih nizova srednjih dnevnih protoka na hidrološkim postajama Podgora – Gacka i Izvor Gacke (Tonkovića vrilo) - Gacka za zajedničko razdoblje od 2000. do 2016. (bez 2001. i 2008.) (Slika 3.1.55).

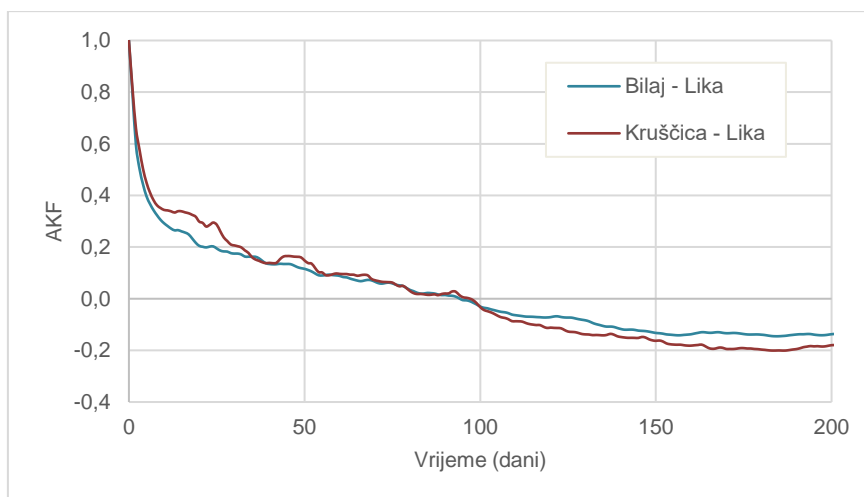
Ukoliko se kao razinu značajnosti postojanja autokorelacijske zavisnosti uzme vrijednost 0,2 (Mangin, 1984), vidljivo je da razdoblje u kojem je vrijednost AKF veća od 0,2 traje 83 dan na postaji Podgora, te 93 dana na postaji Izvor Gacke (Tonkovića vrilo). Vidljivo je da obje postaje imaju dosta dugu međuovisnost o prethodnom stanju hidroloških prilika, a što je razlog jer se Gacka prihranjuje podzemnim vodama koje potječu iz udaljenijih dijelova sliva i njegova krškog vodonosnika. Razlog kraćeg trajanja međuovisnosti kod postaje Podgora – Gacka je veći udio u ukupnoj bilanci

voda niza povremenih izvora kao i izvora varijabilnijih izdašnosti, kao i neposredan utjecaj dotoka s površinskog međusliva.



Slika 3.1.55. Autokorelacijska funkcija protoka na hidrološkoj postaji Podgora – Gacka i Izvor Gacke (Tonkovića vrilo) - Gacka (2000.-2016. bez 2001. i 2008.)

Također provedene su autokorelacijske funkcije raspoloživih nizova srednjih dnevnih protoka na hidrološkim postajama Bilaj – Lika (1951.-2019., bez 8.1991.-3.2002., 2007.-08.) i Kruščica – Lika (1948.-1963.) (Slika 3.1.56). Na postajama duž rijeke Like, vidljivo je da je vrijednost AKF veće od 0,2 puno kraćeg trajanja (21 dan na postaji Bilaj, te 31 dan na postaji Kruščica, koja je nizvodnije locirana pa prikuplja vode više drugih pritoka) nego na postajama duž rijeke Gacke, a čega je razlog naglašeniji bujični karakter sliva Like.



Slika 3.1.56. Autokorelacijska funkcija protoka na hidrološkoj postaji Bilaj - Lika (1951.-2019., bez 8.1991.-3.2002., 2007.-08.) i Kruščica - Lika (1948.-1963.)

Analize vjerojatnosti pojava srednjih godišnjih protoka, najmanjih srednjih mjesečnih protoka te apsolutnih minimalnih godišnjih protoka provedene su u smjeru ocjene njihovih najmanjih vrijednosti na postajama Izvor Gacke (Tonkovića Vrilo) – Gacka, Podgora – Gacka i Vivoze – Gacka (Tablice 3.1.29 – 3.1.31). Pri tome je

korištena opća razdioba ekstrema (eng. *Generalized Extreme Value distribution, GEV*) (Coles, 2001).

Tablica 3.1.29. Vjerojatnost pojava/povratni period javljanja srednjih godišnjih protoka

Srednji godišnji protoci (m^3s^{-1}) - Vjerojatnosti pojava u smjeru najmanjih vrijednosti					
Povratni period (God)	Vjerojatnost pojave (%)	Izvor Gacke (Tonkovića vrilo) - Gacka	Podgora - Gacka	Vivoze - Gacka	Dotoci u akumulaciju Kruščica
Razdoblje		1982. - 2016.	1961. - 2019.	1961. - 2019.	1961. - 2019. (bez 2015.-2017.)
2	50	3,52	13,7	14,1	24,4
5	20	3,08	11,4	11,4	18,1
10	10	2,89	10,3	10,0	15,0
20	5	2,74	9,44	8,94	12,5
50	2	2,59	8,53	7,72	9,69
100	1	2,50	7,94	6,93	7,89

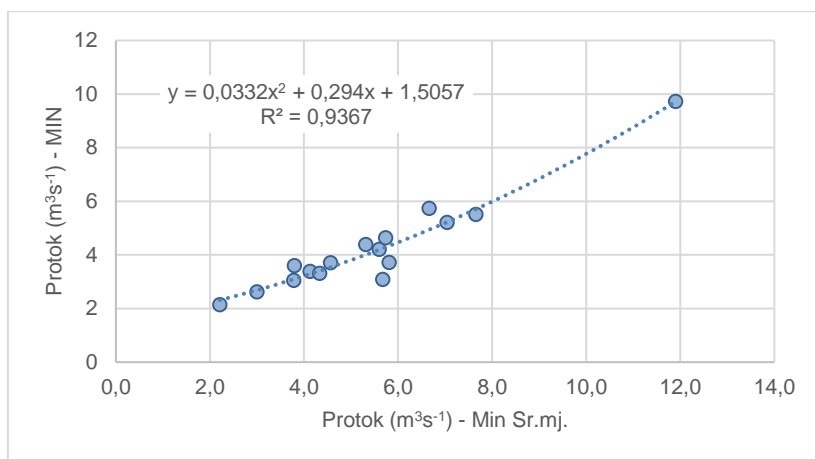
Tablica 3.1.30. Vjerojatnost pojava/povratni period javljanja najmanjih srednjih mjesečnih protoka

Najmanji srednji mjesečni protoci (m^3s^{-1}) - Vjerojatnosti pojava u smjeru najmanjih vrijednosti					
Povratni period (God)	Vjerojatnost pojave (%)	Izvor Gacke (Tonkovića vrilo) - Gacka	Podgora - Gacka	Vivoze - Gacka	Dotoci u akumulaciju Kruščica
Razdoblje		1982. - 2016.	1961. - 2019.	1961. - 2019.	1961. - 2019.
2	50	2,15	5,67	4,76	0,533
5	20	1,70	4,01	3,55	0,113
10	10	1,48	3,27	3,06	0
20	5	1,32	2,70	2,72	0
50	2	1,14	2,11	2,37	0
100	1	1,02	1,74	2,17	0

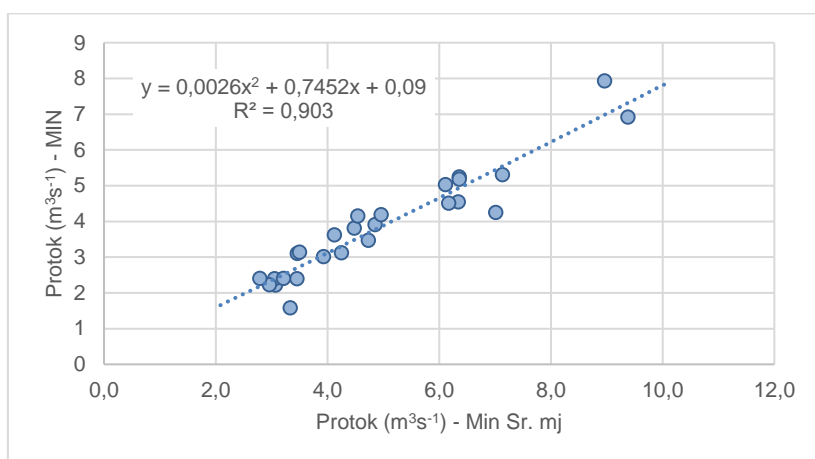
Tablica 3.1.31. Vjerojatnost pojava/povratni period javljanja apsolutnih minimalnih godišnje protoka

Apsolutni minimalni godišnji protoci (m^3s^{-1}) - Vjerojatnosti pojava u smjeru najmanjih vrijednosti					
Povratni period (God)	Vjerojatnost pojave (%)	Izvor Gacke (Tonkovića vrilo) - Gacka	Podgora - Gacka	Vivoze - Gacka	Dotoci u akumulaciju Kruščica
Razdoblje		1982. - 2016.	1999. - 2016. (bez 2001. i 2008.)	1978. - 2003.	1971. - 2012.
2	50	1,89	3,76	3,59	0,058
5	20	1,42	2,94	2,58	0
10	10	1,18	2,63	2,15	0
20	5	0,984	2,42	1,84	0
50	2	0,766	2,22	1,52	0
100	1	0,623	2,11	1,33	0

S obzirom da na, za Gacku, iznimno važnim profilima hidroloških postaja Podgora i Vivoze nisu na raspolaganju stajali dovoljno dugi nizovi dnevnih podataka (produljeni su mjesečni nizovi), provedena je i analiza međuodnosa vrijednosti najmanjih srednjih mjesečnih protoka i godišnjih minimalnih protoka (Slike 3.1.57 i 3.1.58).



Slika 3.1.57. Usporedni prikaz godišnjih vrijednosti najmanjih srednjih mjesečnih protoka i godišnjih minimalnih protoka na postaji Podgora (1999.-2016. bez 2001. i 2008.)

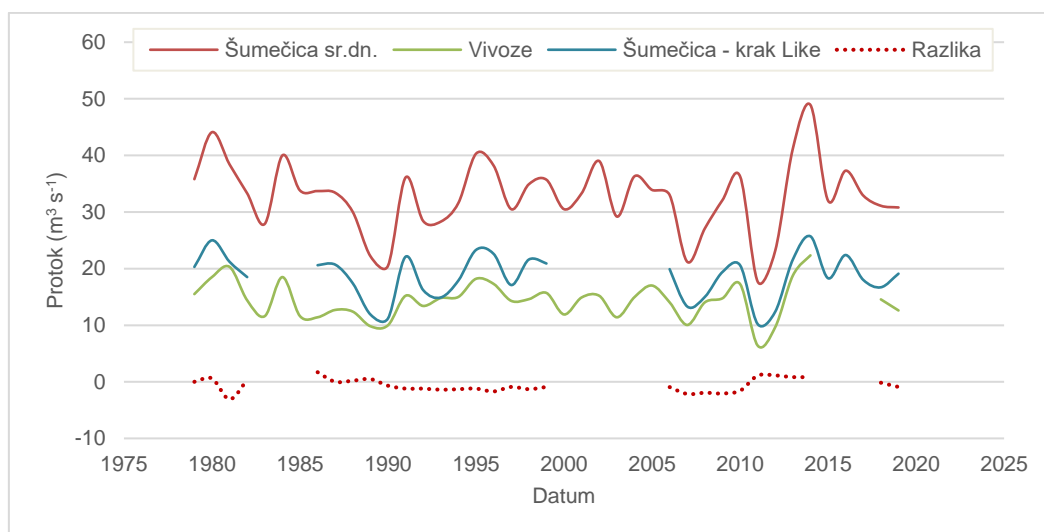


Slika 3.1.58. Usporedni prikaz godišnjih vrijednosti najmanjih srednjih mjesečnih protoka i godišnjih minimalnih protoka na postaji Vivoze (1978.-2003.)

3.1.6 Odnos dotoka Like i Gacke na čvoru Šumečica

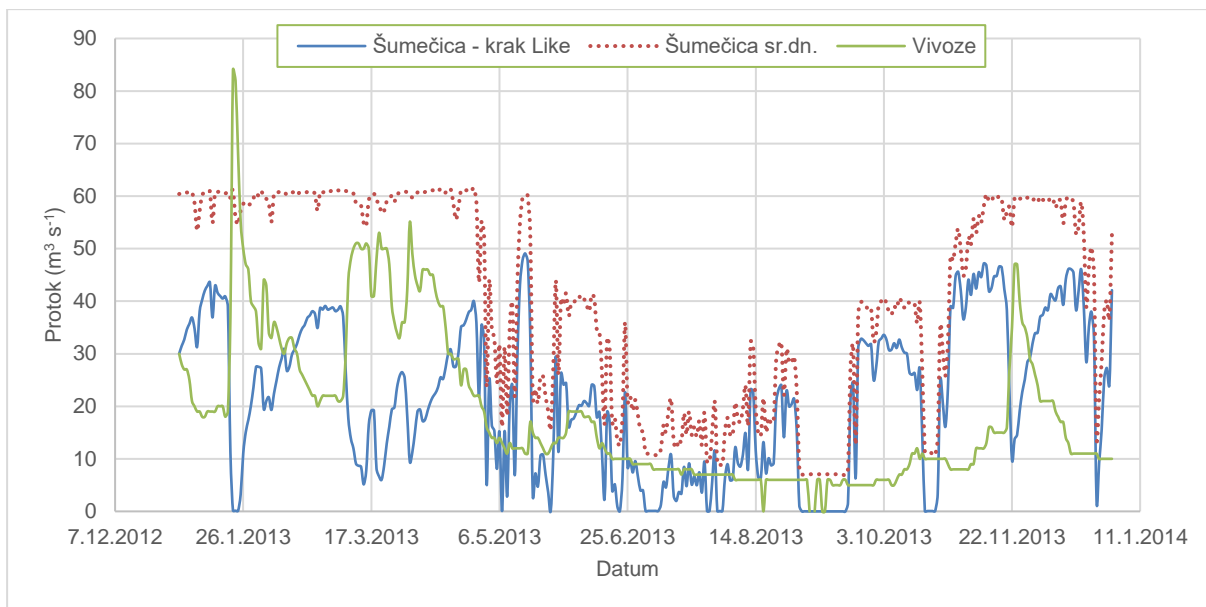
Na hidrološkoj postaji Šumečica sr.dn – Lika+Gacka hidrološki se prate vode Like i Gacke koje otječu kanalom te tunelom Gornja Švica – Marasi prema Gusić polju i postrojenju HE Senj. Prema vodoprivrednoj dozvoli obavezno je na tom čvoru putem zapornice koja regulira otjecanje Južnim krakom Gacke prema Gornjem Švičkom jezeru ispuštati dva puta dnevno po 150 l/s u trajanju od 10 minuta. Tijekom iznimno rijetkih situacija (remont postrojenja i hidrotehničkih objekata sustava HE Senj), u Južni krak Gacke propuštaju se i veći protoci, pa Gornje Švičko jezero prelijeva i vode Gacke otječu prema Donjem Švičkom jezeru, što je detaljnije analizirano u poglavlju 3.2.5.

Na Slici 3.1.59 dan je prikaz hoda srednjih godišnjih protoka Gacke (na postaji Vivoze), Like (na postaji Šumečica – krak Like) te protoka na postaji Šumečica sr.dn. – Lika+Gacka. Također dana je i razlika protoka Šumečice sr.dn. i zbrojenih protoka Like i Gacke. Prosječno odstupanje iznosi oko $-0,6 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a što se može pripisati preciznosti mjerenja kao i spomenutim ispuštanjima na brani Šumečica prema Južnom kraku koja se ne registriraju. U ukupnoj vodnoj bilanci na postaji Šumečica sr.dn. tijekom analiziranog razdoblja ima oko 44% voda Gacke te 56% voda Like.



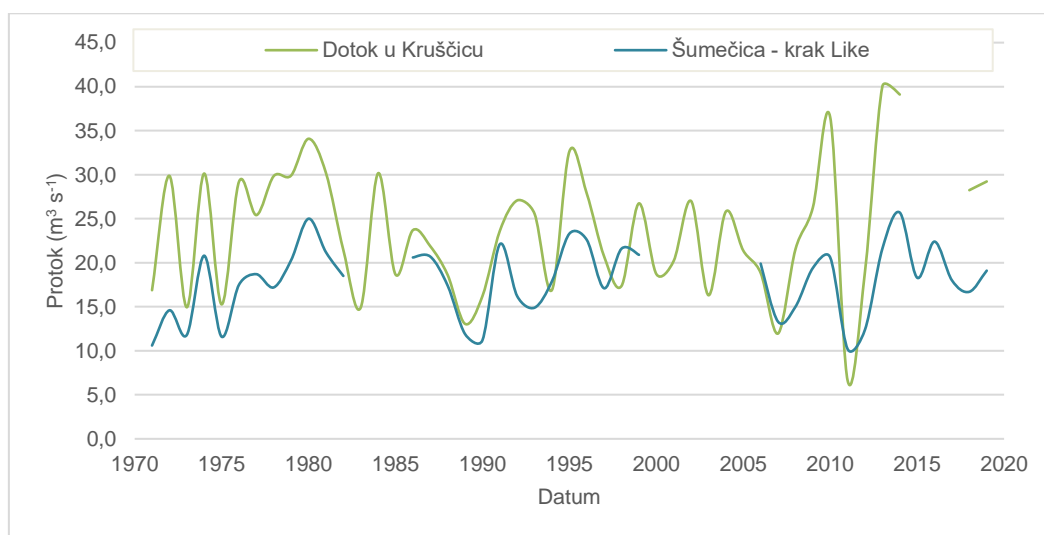
Slika 3.1.59. Hod srednjih godišnjih protoka Gacke (Vivoze), Like (Šumečica – krak Like), protoka na postaji Šumečica sr.dn. – Lika+Gacka te razlike protoka Šumečice sr.dn. i zbrojenih protoka Like i Gacke

Primjer unutar godišnjeg hoda srednjih dnevnih protoka Like i Gacke na čvoru Šumečica dan je na Slici 3.1.60. Pri tome je uzeta 2013.g. kada je krajem siječnja na Vivosama zabilježen vrlo velik vodni val Gacke s vršnim protokom od $84 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. U toj situaciji kanal Švica – Gusić polje, koji ima kapacitet od oko $60 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, unatoč prekidu dovoda vode Like, nije mogao prihvatiti sve vode Gacke, te su se one propuštale prema Sjevernom i Južnom kraku Gacke. Vidljivo je da se vodama Like, tijekom vodnih razdoblja, ovisno o protocima Gacke, doziraju ukupni dotoci ka HE Senj do spomenutih $60 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Tijekom sušnijih razdoblja, HE Senj radi kao vršna elektrana, koristeći dotoke Gacke koji se radi izravnjanja rada HE prikupljaju u kompenzacionom bazenu Gusić polja, a akumulirana voda Like u akumulaciji Kruščica propušta se u taj sustav ovisno o energetskim potrebama.



Slika 3.1.60. Hod srednjih dnevnih protoka Gacke (Vivoze), Like (Šumečica – krak Like), te protoka na postaji Šumečica sr.dn. – (Lika+Gacka) za 2013. godinu

Na Slici 3.1.61 dan je usporedni prikaz srednjih godišnji dotoka u Kruščicu i protoka na postaji Šumečica – krak Like. Iako u bilanci dotoka Like koji dotječe ka čvoru Šumečica postoji i doprinos Bakovca kao i međusliva do Selišta, vidljivo je kako akumulacija Kruščica dijelom izravnava dotoke Like, no i da dio tih dotoka završava mimo hidroenergetskog postrojenja u ponorskoj zoni Lipovog polja.



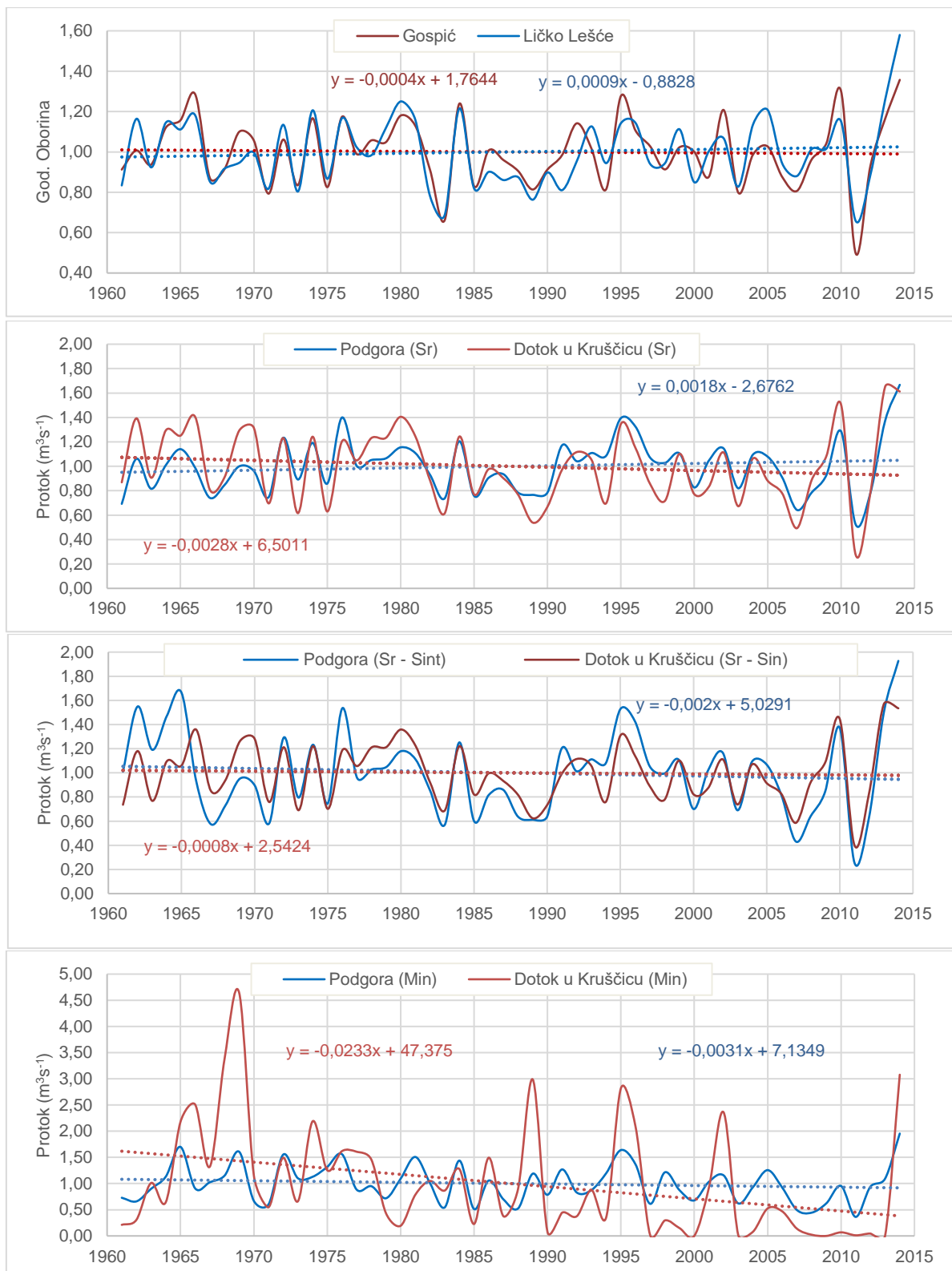
Slika 3.1.61. Hod srednjih godišnjih dotoka u Kruščicu i protoka na postaji Šumečica – krak Like (1971. – 2019.)

3.1.7 Analiza hidroloških međuodnosa protoka u slivu Like i u izvorišnom dijelu Gacke

Lika i Gacka su dva paralelna prirodna vodna sustava neposredno hidrografski povezana kanalom i tunelom Selište – Šumečica. U radu „Zajednička hidrološka analiza Like i Gacke“ (Bonacci i Andrić, 2009) analiziran je trend srednjih godišnjih protoka rijeke Gacke za koga je utvrđeno da je stagnirajući, odnosno da nije izražen trend njihovih opadanja. To je suprotno trendu hoda protoka na rijeci Lici, kao i na većini drugih hidroloških postaja na širem regionalnom prostoru, gdje je zapažen trend njihovog smanjenja zbog prisutnih klimatskih promjena/varijacija. Analizirano je razdoblje 1951.-2005., pri čemu je kao reprezent voda u slivu rijeke Gacke odabrana hidrološka postava Vivoze, a rijeke Like profil brane Sklope, odnosno dotoci u akumulaciju Kruščicu, a analizirane su i klimatološke postaje. Analizirano razdoblje uključivalo je i razdoblje od petnaest godina prije izgradnje sustava HE Senj koji je pušten u pogon 1965.g. Zaključeno je da se Gacka dodatno prihranjuje i vodama iz sliva Like u količini od prosječno godišnje $4,81 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, pri čemu se srednji godišnji protoci takvih bilančnih doprinosa sliva Like na sliv Gacke kreću u rasponu između $2,82$ i $6,79 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Radi se o iznimno značajnim količinama srednjeg godišnjeg protoka, koji bi, ukoliko je točna navedena pretpostavka, imao udjel od 32% u ukupnim protocima Gacke na analiziranom profilu hidrološke postaje Vivoze - Gacka.

Radi se o prilično intrigantnoj tvrdnji koja nije nikad ranije bila analizirana i potvrđivana pri hidrogeološkim razmatranjima vezanim uz definiranje granica slivnog područja rijeke Gacke, pa je u sklopu ovoga dokumenta provedeno preispitivanje spomenute postavke o bilančnom doprinosu rijeke Like na sliv Gacke. Pri tome za sliv Gacke nije kao referentna postaja odabrana hidrološka postaja Vivoze nego postaja Podgora. Naime, ocijenjeno je da nije primjereno koristiti postaju na čiju vodnu bilancu utječu količine vode koje se uzvodno od nje izgube u ponderskim zonama u koritu Gacke, kao i količine voda koje su se za velik niz godina hidrološki nekontrolirano ispuštale u tok Sjevernog kraka Gacke. Umjesto Vivoza odabrana je hidrološka postaja Podgora koja se nalazi neposredno nizvodno od izvorišne zone koja obuhvaća sve značajnije izvore u slivu Gacke. Isto tako, pomaknuto je razdoblje obrade deset godina unaprijed, kako bi se obuhvatili i noviji podaci monitoringa (razdoblje 1961.-2014.), ali i zbog pretpostavke da ukoliko postoje gubici iz sliva Like, onda bi oni morali biti prisutni i pri deset godina pomaknutom nizu približno jednake duljine kao i nizu analiziranom u radu Bonaccija i Andrića (2009). Pri predmetnim novijim obradama oborinskih prilika, uz klimatološku postaju Gospić koja je meritorna za sliv Like, za sliv Gacke su korišteni podaci s klimatološke postaje Ličko Lešće, locirane u njenom slivu.

Usporedbe klimatoloških prilika i vodnog režima Like i Gacke provedene su koristeći modularne vrijednosti podataka o oborinama i protoka, dakle u relativnim odnosima, kako bi bili međusobno lakše usporedivi. Na 3.1.62 dan je prikaz hodova modularnih vrijednosti oborina i protoka (srednjih godišnjih i najmanjih godišnjih srednje mjesečnih vrijednosti tijekom analiziranog razdoblja, kao i njihovih pripadajućih trendova). Osim osmotrenih nizova protoka na postaji Podgora – Gacka te dotoka u akumulaciju Kruščica (dijelom nadopunjenih podacima sa susjednih postaja), analiziran je i sintetički niz srednjih godišnjih protoka formiran na način da su nakon 1965.g. protocima na Podgori oduzet spomenuti hipotetski bilančni doprinos voda iz sliva Like od $4,81 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.



Slika 3.1.62. Usporedni prikaz hoda modularnih vrijednosti godišnjih količina oborina na klimatološkim postajama Gospić i Ličko Lešće, te srednjih godišnjih protoka, sintetičkih vrijednosti srednjih godišnjih protoka te najmanjih vrijednosti srednjih mjesečnih protoka na hidrološkoj postaji Podgora Gacka i Dotok u akumulaciju Krušćicu na rijeci Lici (1961.-2014.)

Iz danih je prikaza vidljivo da se hod modularnih vrijednosti godišnjih količina oborina na postajama Gospić i Ličko Lešće relativno dobro podudara, ali ipak i razlikuje u pogledu nagiba trenda njihova hoda. Godišnje oborine na postaji Gospić, dakle u slivu Like imaju za analizirano razdoblje blagi trend opadanja, a s postaje Ličko Lešće u slivu Gacke blagi trend porasta. Zabilježeni srednji godišnji dotoci u akumulaciju Krušćicu, odnosno njihove modularne vrijednosti pokazuju trend naglašenijeg opadanja u odnosu na trend porasta palih oborina (posljedica povećane evapotranspiracije zbog istovremenog porasta temperature zraka), a srednji godišnji protoci/njihove modularne vrijednosti na postaji Podgora – Gacka pokazuju blagi trend povećanja, no ipak naglašeniji od trenda porasta oborina. Sintetički nizovi srednjih godišnjih protoka formirani su na način da je postaji Podgora oduzet pretpostavljeni bilančni doprinos voda Like, a dotocima u akumulaciju Krušćicu on je pridodan zbog pretpostavke da se dodatno prihranjivanje izvorišnog dijela Gacke provodi iz akumulacije nakon njene izgradnje. Tako formirani nizovi njihovih modularnih vrijednosti pokazuju, s danim pretpostavkama, trend opadanja srednjih godišnjih protoka, s time da je on na Gackoj donekle naglašeniji u odnosu na Liku, što pak odudara od stvarno zabilježenih vrijednosti. Najveća je razlika iskazana u hodu, pa i trendu modularnih vrijednosti najmanjih srednjih mjesečnih protoka, koje u slivu Gacke imaju blagi trend opadanja, a u slivu Like on je puno naglašeniji. Sa Slike 3.1.49 sadržane u okviru poglavlja 3.1.4, vidljivo je da postoji i blagi trend porasta razina vode u akumulaciji Krušćica.

Prema provedenim analizama trendova stvarno zabilježenih protoka, očito je da protoci u slivu Gacke imaju manje naglašen trend smanjivanja u odnosu na protoke u slivu rijeke Like. Zapravo, hod srednjih godišnjih protoka na postaji Podgora – Gacka pokazuje blagi trend njihovog porasta, koji je čak naglašeniji od trenda porasta oborina što upućuju na mogućnost da se ipak radi i o blagim promjenama režima istjecanja/prihranjivanja voda u slivu Gacke, koji se potencijalno mogu povezati s promjena uvjetovanim izgradnjom akumulacije Krušćica i mogućim gubicima, ali vjerojatno u značajnije manjoj mjeri nego li su iskazane procjene u radu Bonaccija i Andrića (2009).

Bilančna razmatranja dotoka u slivu Gacke, provedena u poglavlju 3.2 ovog dokumenta, pokazala su dobru podudarnost u rezultirajućim srednjim godišnjim protocima izvorišnog dijela Gacke dobivenim preko zabilježenih podataka na hidrološkoj postaji Podgora tijekom referentnog 30-godišnjeg razdoblja ($13,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) i vrijednosti srednjeg godišnjeg protoka dobivene bilančnim sagledavanjima po osrednjenom metodi Langbeina i Turca ($13,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). Razlika je svega $0,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, koliko je i prosječna godišnja količina crpljene vode na Izvoru Gacke. To znači da su granice dobro pogođene u smislu definiranja slivne površine s koje se mogu generirati protoci koji odgovaraju mjerenim protocima. No, s obzirom da se pri definiranju slivnih površina izvora, u cilju utvrđivanja zona sanitarne zaštite, obično primjenjuje kriterij maksimalnog obuhvata na područjima za koje nije pouzdano da li pripadaju ili ne slivu analiziranog izvorišta, moguće je da je i kod utvrđivanja granica prihranjivanja sliva svih glavnih izvorišta Gacke, primijenjen takav princip. To znači da je moguće da je stvarni sliv ipak unekoliko manji, što otvara mogućnost postojanja izvjesnih dotoka iz sliva Like. Naravno te hipoteze potrebno je potvrditi ili demantirati detaljnijih hidrogeološkim istraživanjima orijentiranim na taj problem. Potrebno je provesti i detaljnija bilanciranja dotoka i otjecanja iz akumulacije Krušćica, jer bi se iskazani gubici/otjecanja voda prema slivu Gacke morali detektirati i u njenoj vodnoj bilanci.

3.2 ANALIZE VODNE BILANCE

3.2.1 Vodna bilanca izvorišnog dijela Gacke

Gacka je krška rijeka s vrlo velikim uravnoteženjem svoga vodnog režima, odnosno relativno malim razlikama između maksimalnih i minimalnih voda. Za profil hidrološke postaje Podgora koja obuhvaća sve izvorišne vode koje prihranjuju Gacku uključujući i najnižvodniju Pećinu, za razdoblje 1961.-2019. (Tablica 3.1.22 – poglavlje 3.1.4), omjer između najvećih ($43,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) i najmanjih ($2,21 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) srednjih mjesečnih protoka iznosi svega 19,5. Ukoliko se pak promatraju ekstremne vrijednosti (MAX 73,7 i MIN 2,14) za razdoblje 2000.-2016. (bez 2001. i 2008.), taj je omjer 34,4. Takve relativno male varijacije u protocima ukazuju na dominantan utjecaj krškog vodonosnika na istjecanja i protjecanja voda u slivu Gacke, kao i na njegove velike akumulacijske sposobnosti podzemnih voda. Stoga je interesantno usporediti mjerene podatke o vodnoj bilanci s podacima koji se dobiju na temelju hidrogeološki određene veličine sliva i efektivnih oborina palih na to područje.

Cilj tih analiza je unaprjeđenje zaštite izvorišnih voda Gacke u smislu ocjene da li su na temelju postojećih saznanja definirane granice dostatne da pokriju njenu vodnu bilancu registriranih istjecanja ili ih je potrebno proširivati. S druge strane, ukoliko bi postojao debalans u mjerenim količinama istjecanja u odnosu na bilančnim analizama utvrđenim protocima, to bi značilo da je obuhvaćena prevelika slivna površina, i da je moguće da se s nekih područja pretpostavljenog sliva Gacke prihranjuju neka druga izvorišta. Zbog toga je provedena spomenuta usporedba mjerenih i prema bilančnom pristupu određenih količina istjecanja izvorišnog dijela Gacke. Pri tom je za hidrološku postaju Čović Podgora uzv. – Gacka koja je kasnije premještena uzvodnije (Podgora – Gacka) (Slika 3.1.3) ali na istoj dionici toka, bez značajnijih bilančnih doprinosa ili gubitaka, srednji godišnji protok za referentno 30-godišnje razdoblje 1961.-90. iznosio je $13,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Bilančni doprinos temeljem analize efektivnih oborina na slivnom području izvorišne zone procijenjen je u poglavlju 3.2.1.2, na temelju metodologije sadržane u točki 3.2.1.1.

3.2.1.1 Metodologija

Raspoloživost adekvatnih podataka i podloga uvjetuje primjenu pojedinih metoda procjene otjecanja. Klimatološki podaci (količine oborina i temperature zraka) koji su korišteni u analizi sliva izvorišnog dijela rijeke Gacke dostupni su u obliku prostorne raspodjele srednjih godišnjih vrijednosti za 30-godišnje vremensko razdoblje (1961.-1990.), a u formi rastera prostorne rezolucije 1.000 m, koje su izradili stručnjaci Državnog hidrometeorološkog zavoda. Radi se o prostornoj rezoluciji istovjetnoj prostornoj rezoluciji korištenog digitalnog elevacijskog modela (DEM-a). Kako je analizirano područje locirano na planinskom području, karakteriziraju ga relativno niže srednje godišnje temperature zraka, kao i relativno značajne prosječne godišnje oborine.

Obzirom na složenost hidroloških prilika, procjena globalne vodne bilance analiziranog područja provedena je na temelju analize rezultata hidroloških procjena temeljenih na hidrogeološkim ocjenama granica sliva, klimatološkim podacima, te usporedbom tako dobivenih podataka s raspoloživim rezultatima hidroloških opažanja.

Takav pristup temelji se na usporedbi mjerenih podataka o bilanci protoka koja istječe na izvorima i podataka o bilanci efektivnih oborina koja se infiltrira u sliv, pri čemu se koriste podaci o oborinama i temperaturama u slivu. Pri ocjeni bilance tih efektivnih oborina na području hrvatskog krša najčešće se koriste empirijski modeli Turca (1954) i Langbeina (1962), a koji su modificirani i razvijeni za primjenu u GIS okruženju (Horvat i Rubinić, 2006).

Radi se o modelima pomoću kojih je, na temelju prostorne procjene količine palih godišnjih oborina i prosječnih godišnjih temperatura zraka na analiziranom slivu, uz hidrogeološkim metodama određenu površinu sliva, moguće odrediti prostornu raspodjelu efektivne godišnje oborine, odnosno dio palih oborina koje su infiltrirane u sliv krškog vodonosnika. Odabir mjerodavnog modela provodi se na temelju usporedbe mjerenih i procijenjenih vrijednosti srednjih godišnjih dotoka, a u nedostatku mjerenih podataka o protocima izvora i na temelju ekspertne procjena, kao i regionalnih formula koji daju procjene srednjih godišnjih otjecajnih koeficijenata. Osim na razini godišnjih vrijednosti, moguće promjene hidroloških prilika uslijed očekivanih klimatskih promjena iskazane i na kraćoj vremenskoj skali, pri čemu je, kao najmjerodavniji za ocjenu kritičnih hidroloških prilika za potrebe vodoopskrbe, kao reprezent unutar godišnje raspodjele sušnih hidroloških prilika odabran je parametar najmanje srednje mjesečne protoke.

Procjena vodne bilance na godišnjoj razini je osnova korištenog bilančnog modela. Elementi vodne bilance su definirani korištenjem dvaju modelskih pristupa: prvog zasnovanog na metodologiji predloženoj od strane Turca (1954), te drugog po Langbein-ovoj metodologiji (1962). Turc-ova formula (1954) sadrži deficit otjecanja (D) kao funkciju palih oborina (P) i temperaturnog faktora (L):

$$D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (1)$$

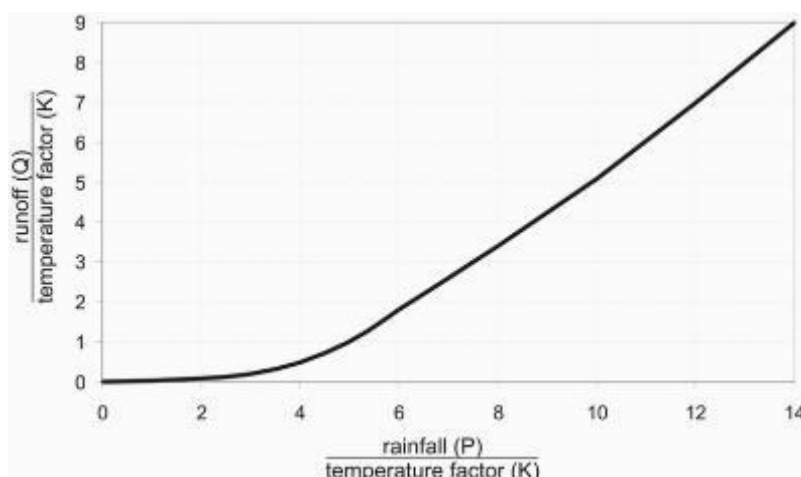
Temperaturni faktor (L) je proračunat pomoću formule:

$$L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3 \quad (2)$$

gdje T predstavlja povećanje temperature zraka.

Kao što pokazuje Slika 3.2.1, Langbein-ova metoda (1962) je zasnovana na međuodnosu između faktora međuodnosa oborina i temperatura (P/K) i faktora odnosa otjecanja i temperatura (Q/K), odnosno ona koristi oborine i temperature zraka kao ključne parametre za procjenu otjecanja. Temperatura zraka (T) je ugrađena u formulu za temperaturni faktor (K) koji se povećava eksponencijalno s porastom temperature:

$$K = 10^{0.0278T + 0.886} \quad (3)$$

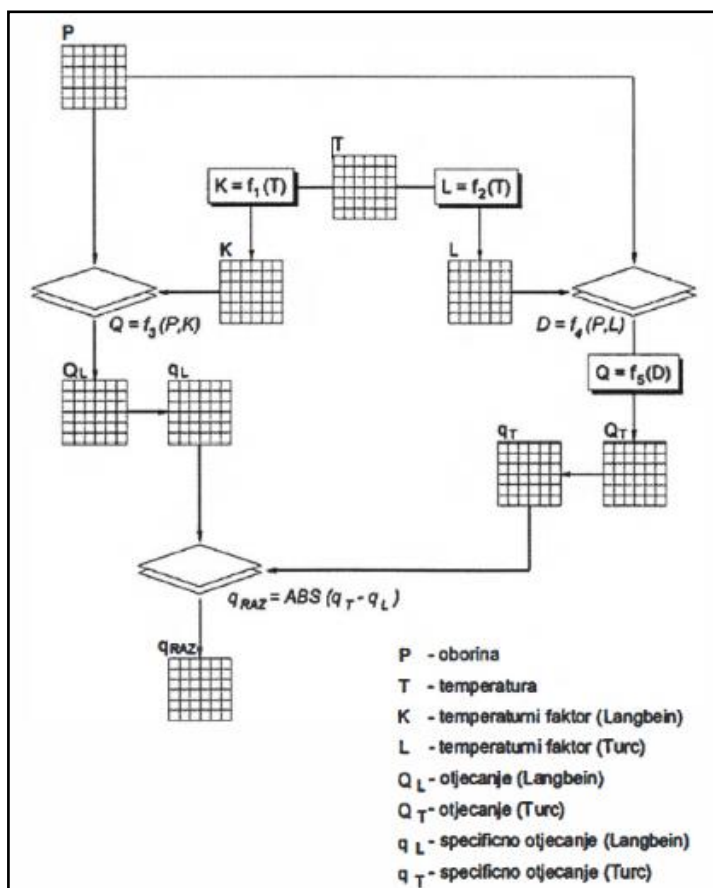


Slika 3.2.1. Langbeinova metoda: međuodnos P/K i Q/K

Oba pristupa koristite prosječnu godišnju količina oborina i temperature zraka (često su to i jedini dostupni klimatološki podaci u hidrološkoj analizi otjecanja) kao prostorno promjenjive ulazne parametre. Geografski informacijski sustavi uvelike olakšava procjenu prostorne raspodjele i prostorne analize ulaznih parametara i rezultata.

Prva iteracija (Slika 3.2.2) u procjeni godišnjeg otjecanja počinje s razgraničenjem slivova, na temelju hidrogeoloških procjena, nakon čega slijedi procjena prostorne raspodjele meteoroloških parametara (oborina i temperature). Zatim se provodi procjena prostorne raspodjele prosječnog godišnjeg otjecanja, a što može biti napravljeno pomoću Turc-ove i Langbein-ove metode. Na temelju tih rezultata provode se usporedbe s mjerenim podacima. Ako su razlike unutar dozvoljenog odstupanja, odabrana metoda, odnosno njeni rezultati se mogu prihvatiti i ići u 3. korak, odnosno konačne procjene godišnjeg otjecanja. Inače, ponavlja se druga iteracija, koja onda uključuje izmjenu jedne od ulaznih parametara (npr. granica sliva) ili pak neka promjena u samoj metodologiji (kao što su modifikacije analitičkim izrazima koji se koriste za procjenu hidroloških parametara).

Kalibracija i validacija modela, odnosno odabir mjerodavnog modela procjene srednjeg godišnjeg otjecanja/efektivnih oborina (po Turc-ovom ili Langbein-ovom modelu) provodi se preko količina voda koje istječu na izlazu iz sliva.

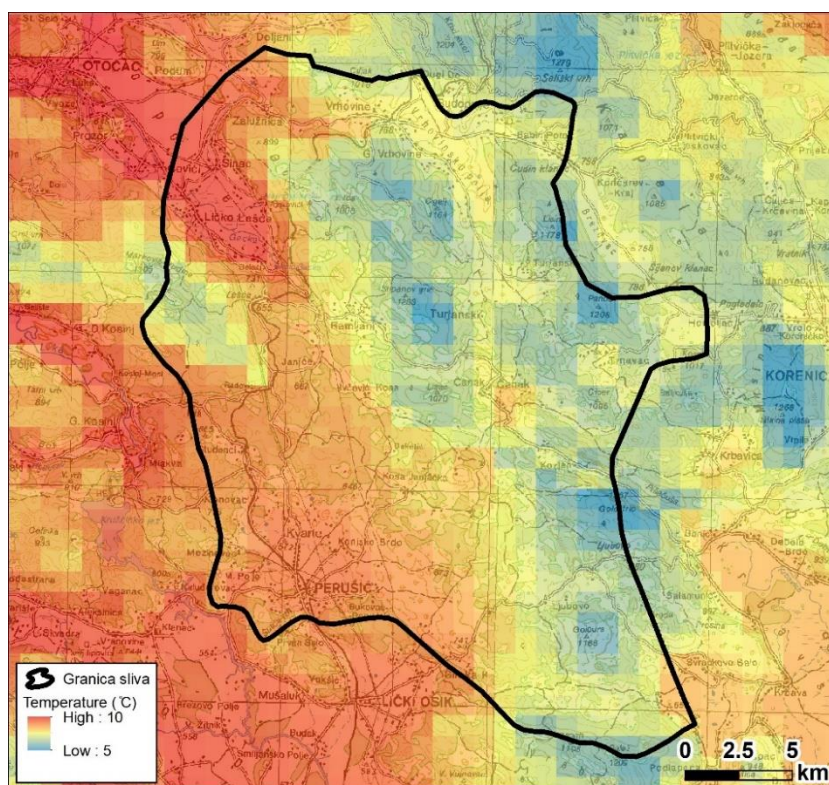


Slika 3.2.2. Shematski prikaz prve iteracije pri postupku bilančnih procjena

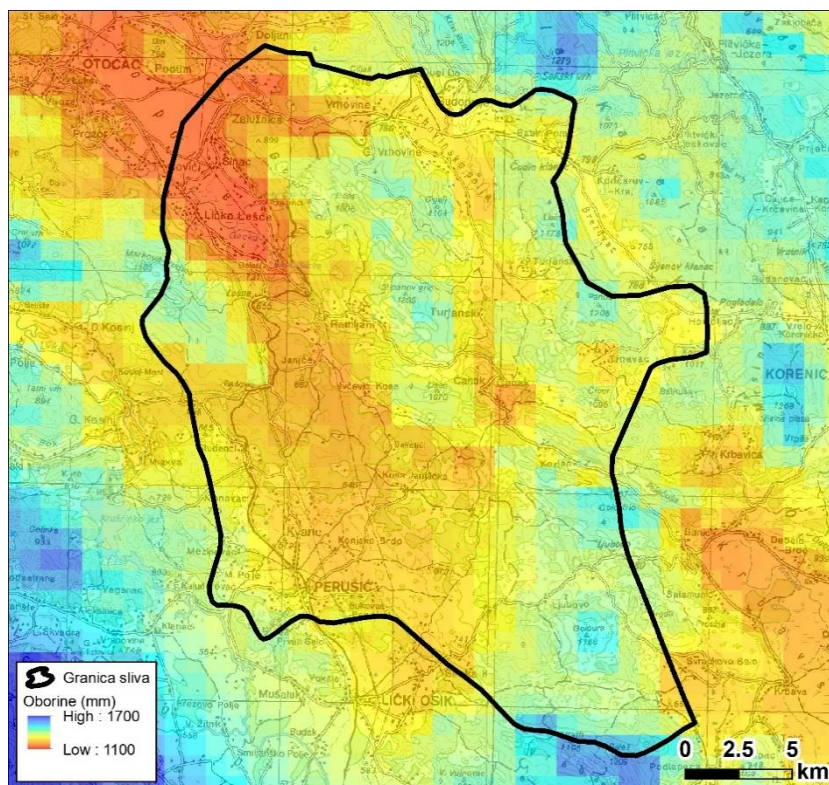
3.2.1.2 Rezultati obrada

Na Slici 3.2.3 dan je prikaz prostorne raspodjele srednjih godišnjih temperatura zraka za referentno 30-godišnje razdoblje 1961.-90., a na Slici 3.2.4 prikaz raspodjele prosječnih godišnjih količina oborina. Na temelju njih, korištenjem spomenutih modelskih pristupa, definirane su karte specifičnih otjecanja po Turcu (Slika 3.2.5) i Langbeinu (Slika 3.2.6), kao i karte njihove osrednjene raspodjele (Slika 3.2.7) te njihovih razlika specifičnih protoka (Slika 3.2.8).

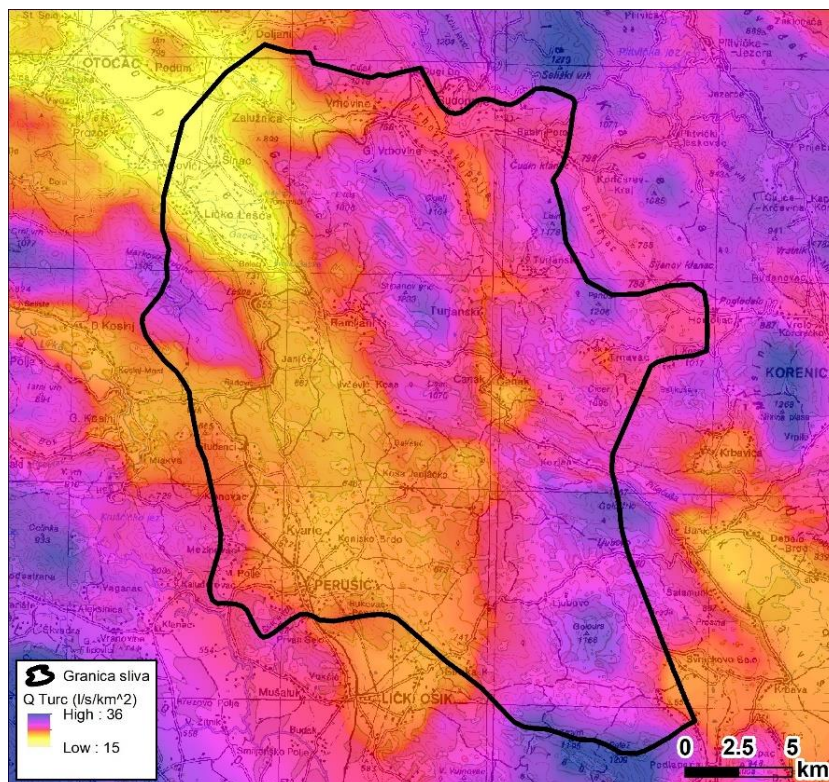
Utvrđeno je da ukupna slivna površina analiziranog izvorišnog dijela toka Gacke iznosi 562,2 km². Srednja godišnja količina oborina na razmatranom području se za razdoblje 1961.-90. kreće u rasponu između 1125 i 1576 mm s prosjekom 1300,0 mm, a srednje godišnje temperature zraka u rasponu 4,9 i 9,9 °C, s prosjekom od 7,6 °C.



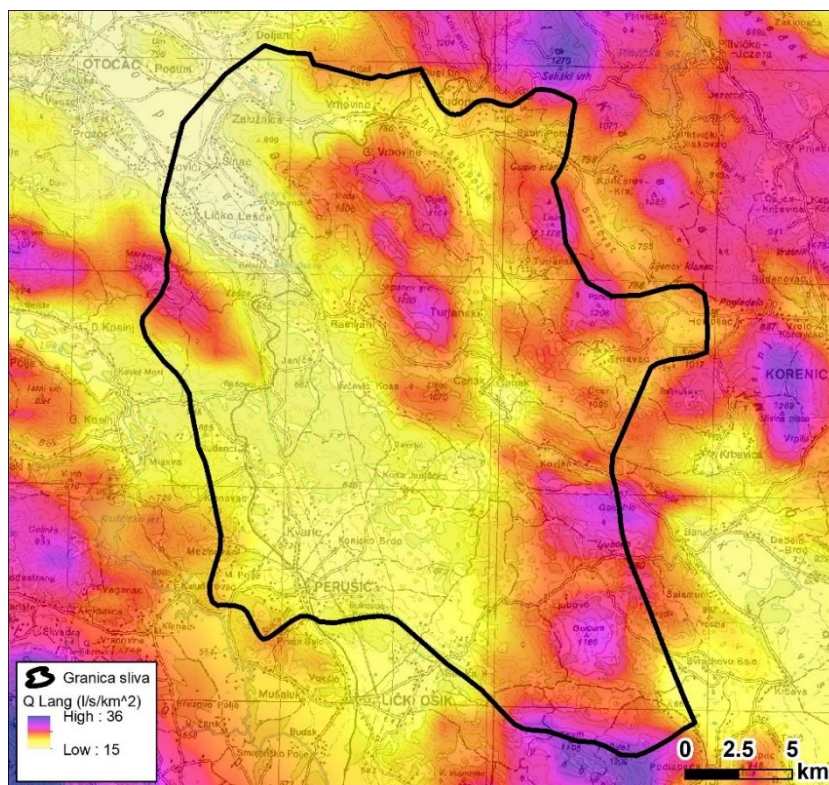
Slika 3.2.3. Prostorna raspodjela srednjih godišnjih temperatura zraka za referentno 30-godišnje razdoblje (1961.-90.) – prema DHMZ-u (2002)



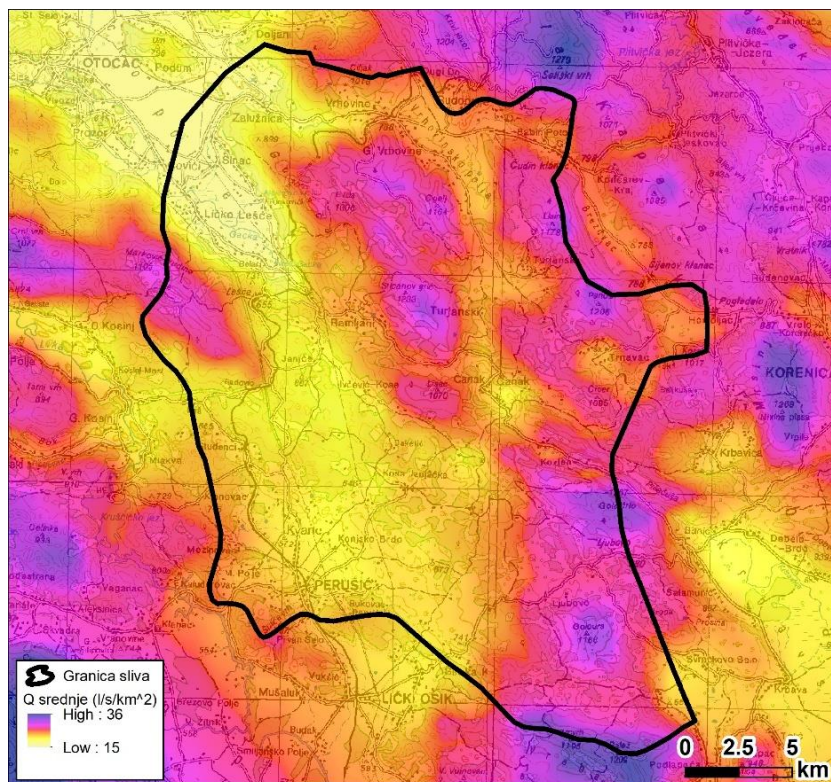
Slika 3.2.4. Prostorna raspodjela prosječnih godišnjih količina oborina za referentno 30-godišnje razdoblje (1961.-90.) – prema DHMZ-u (2002)



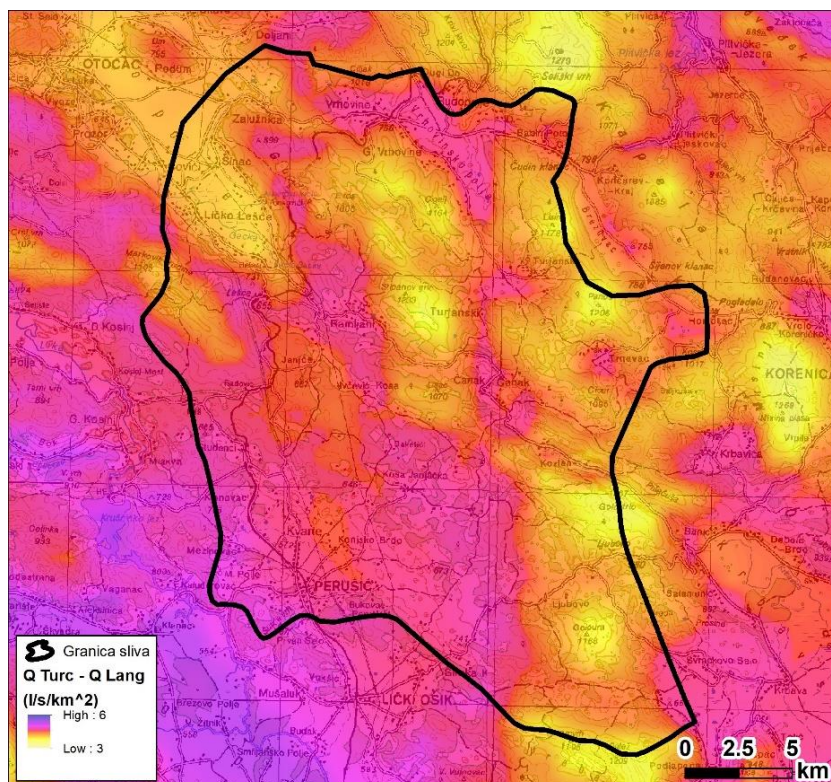
Slika 3.2.5. Prostorna raspodjela specifičnih protoka za 30-godišnje razdoblje (1961.-90) po metodi Turc-a



Slika 3.2.6. Prostorna raspodjela specifičnih protoka za 30-godišnje razdoblje (1961.-90.) po metodi Langbeina



Slika 3.2.7. Prostorna raspodjela osrednjenih specifičnih protoka po Turcu i Langbeinu za 30-godišnje razdoblje (1961.-90.)



Slika 3.2.8. Prostorna raspodjela razlika specifičnih protoka po Turcu i Langbeinu za 30-godišnje razdoblje (1961.-90.)

Osnovni rezultati provedenih obrada dani su u Tablici 3.2.1.

Tablica 3.2.1. Srednje godišnje vrijednosti protoka izvorišnog dijela Gacke

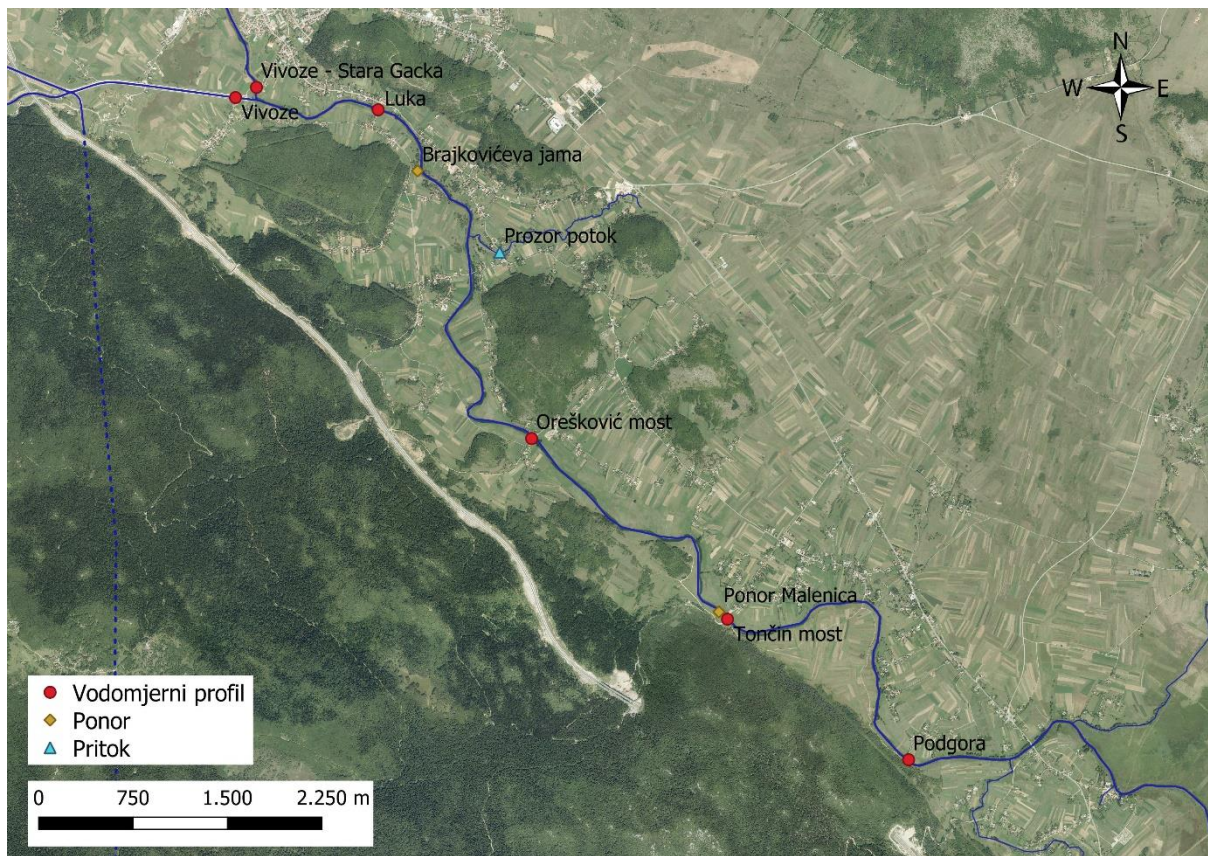
Specifične protoke (l/s/km ²)			Ukupne protoke (m ³ s ⁻¹)		
Po Turcu	Po Langbeinu	Sredina Turc-Langbein	Po Turcu	Po Langbeinu	Sredina Turc-Langbein
26,02	21,64	23,83	14,6	12,2	13,4

Iz danih je rezultata vidljivo da razlike rezultata prema analiziranim dvama metodama i nisu prenaplašeno velike, oko 18% u odnosu na rezultate osrednjenih procjena specifičnih protoka. No, ukoliko se rezultati dobivenih bilančnih procjena usporede s podatkom o srednjem 30-godišnjem protoku za razdoblje 1961.-90. na postaji Podgora - Gacka ($13,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), dobiveno je da razlike između te vrijednosti i srednjeg godišnjeg protoka prema osrednjenoj metodi Turca i Langbeina, praktički i nema – iznosi svega $0,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, odnosno svega 0,8%. Razlika u rezultatu bilanciranja dobivenom po metodi Turca iznosi $1,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, odnosno 9,8%, a po metodi Langbeina iznosi $1,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, odnosno 8,3 %. Obzirom da su dosadašnje regionalne analize pokazale da metoda Turca, koja se nekada gotovo isključivo koristila na ovim regionalnim prostorima daje nešto prenaplašene rezultate, a metoda Langbeina uglavnom nešto niže vrijednosti, i u danom slučaju pokazalo se da je osrednjena metoda raspodjele specifičnih protoka dala vrlo prihvatljive rezultate koji se podudaraju s mjerenim podacima o protocima na izlaznom profilu.

3.2.2 Analize gubitaka voda na rijeci Gacki između Podgore i Vivoza

Rijeka Gacka, nakon svog izvorišnog dijela toka koji završava ušćem pritoke Kostelke koju prihranjuju vode izvora Pećina, ima dionicu glavnog toka na kojoj se javljaju gubici. Radi utvrđivanja lokacija i količine tih gubitaka, HEP putem angažirane tvrtke Hidroinga počev od 2007. godine, jednom godišnje provodi mjerenja protoka na potezu između Podgore i Vivoza (Slika 3.2.9). Prva mjerenja započela su 2007. godine na ugovorena tri profila: Podgora, Tončin most i Vivoze (Šumečica). Također mjereno je i upuštanje biološkog minimuma u staro korito rijeke Gacke (Vivoze – Stara Gacka). Tijekom 2009. godine vodomjerenja nisu bila ugovorena, a počev od 2010. godine mjerenja su provođena na šest vodomjernih profila (četiri kao i prijašnjih mjerenja te dva nova): Podgora, Tončin most, Oreškovića most, Luka i Vivoze (Šumečica), kao i na profilu Vivoze – Stara Gacka.

Cilj ovih mjerenja je definirati lokacije gubitaka i doći do zaključka da li su gubici linijski i linearni po dužini korita, odnosno da li su oni jasno locirani na određenim kraćim dionicama toka ili su koncentrirani na pojedinačnim točkama (ponorima). Mjerenja su provođena u svrhu dosadašnjih odluka o eventualnom otješnjenju toka, kakva su već provođena tijekom ranijih godina, na osnovu rezultata vodomjerenja DHMZ-a koja nisu bila dostupna obrađivačima predmetnog dokumenta.



Slika 3.2.9. Profili mjerenja protoka na rijeci Gackoj između Podgore i Vivoza

Mjerenja su provođena u dobro kontroliranim uvjetima (priprema profila u smislu košenje trave, odstranjivanje naplavina, itd.) kako bi se dobili što precizniji rezultati. Mjerenja su vršena hidrometrijskim krilom tipa SEBA i OTT. Mjerenja su vršena tijekom

dva dana i to tako da je na svakom profilu izvršeno po 5 mjerenja protoka i to tijekom istog stanja protoka, uglavnom tijekom razdoblja trajanja malih voda kad je i očekivani udio gubitaka u ukupnoj protoci Gacke najveći. Tijekom svake serije vodomjerenja izvršeno je i rekognosciranje korita rijeke Gacke na potezu od Podgore do Vivoza, te su se prilikom rekognosciranja mjerili svi vidljivi dotoci i gubici koji su uočeni.

U Tablici 3.2.2 dani su rezultati vodomjerenja na spomenutih 6 profila i razlika bilance protoka između svakog profila vodomjerenja, kao i ukupna razlika bilance na cijeloj dionici u razdoblju od 2007. do 2020. godine. Potrebno je napomenuti da su mjerenja vršena i na dva ponora – Ponor Malenica i Bajkovićeve jama, te na jednom pritoku – Prozor potok. Utvrđeni pojedinačni gubici na lokaliziranim ponorima kretali su se, ovisno o hidrološkim prilikama u vrijeme provedenih serija vodomjerenja, između 0 i 0,053 m³s⁻¹ kod ponora Malenice, te 0 i 0,009 m³s⁻¹ na Brajkovićevoj jami, a dotoci na pritoku Jarak, odnosno kako je imenovan u dokumentaciji vezanoj uz provedena vodomjerenja Prozor potok između 0 i 0,015 m³s⁻¹. Utvrđeno je da su tijekom svih godina protoci izuzetno mali i ne mogu značajnije utjecati na rezultate raspodjele protoka duž korita Gacke.

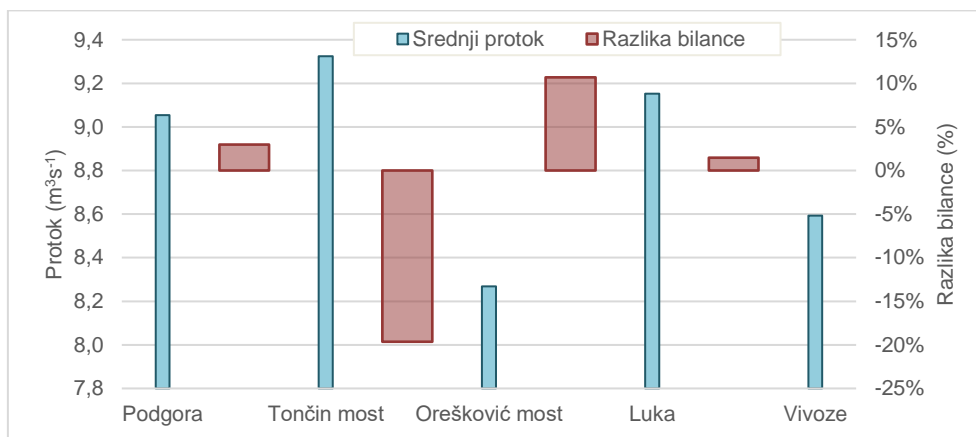
Tablica 3.2.2. Rezultati vodomjerenja protoka (m³s⁻¹) na rijeci Gackoj između Podgore i Vivoza i razlika bilanca između svakog profila vodomjerenja kao i ukupna razlika bilance na cijeloj dionici u razdoblju od 2007. do 2020. godine (prema podacima vodomjerenja Hidroinga, 2007.–2020.)

Datum	Podgora	Razlika bilance	Tončin most	Razlika bilance	Orešković most	Razlika bilance	Luka	Razlika bilance	Vivoze + Sjeverni krak Gacke	Razlika bilance na cijeloj dionici
9.8.2007.	3,78	0,48	4,26		-		-		3,50	-0,281
27.8.2008.	5,66	0,19	5,85		-		-		6,06	0,395
1.-2.9.2010.	5,98	0,11	6,09	-0,86	5,23	0,8	6,03	-0,48	5,55	-0,43
14.-15.6.2011.	6,95	0,56	7,51	-1,22	6,29	0,64	6,93	0,01	6,94	-0,013
10.-11.9.2012.	4,32	-0,08	4,24	-0,78	3,46	0,08	3,54	0,36	3,90	-0,424
21.-22.8.2013.	7,17	-0,2	6,97	-0,99	5,98	0,09	6,07	0,41	6,48	-0,69
5.-6.11.2014.	20,5	1,5	22	-1,5	20,5	3,8	24,3	-2,49	21,8	1,31
23.-24.4.2015.	12	0,8	12,8	-2,2	10,6	0,5	11,1	0,57	11,67	-0,327
6.-7.7.2016.	10,2	1,2	11,4	-4,8	6,6	1,2	7,8	0,63	8,43	-1,77
11.-12.4.2017.	10,5	-1,31	9,19	-1,61	7,58	0,7	8,28	-0,15	8,13	-2,37
12.-13.6.2018.	10,4	-0,1	10,3	-2,26	8,04	0,57	8,61	0,99	9,6	-0,8
1.-2.7.2019.	10,8	0,1	10,9	-2,07	8,83	1,06	9,89	0,24	10,1	-0,671
27.-28.4.2020.	9,44	0,27	9,71	-1,87	7,84	0,28	8,12	1,39	9,51	0,074
Sr	9,05	0,27	9,32	-1,83	8,27	0,88	9,15	0,13	8,59	-0,46
Stdev	4,35	0,70	4,69	1,12	4,48	1,03	5,42	1,01	4,65	0,91
Cv	0,48	2,57	0,50	-0,61	0,54	1,17	0,59	7,54	0,54	-1,98
Max	20,5	1,50	22,0	-0,78	20,5	3,80	24,3	1,394	21,81	1,31
Min	3,78	-1,31	4,24	-4,80	3,46	0,08	3,54	-2,49	3,50	-2,37

Na Slici 3.2.10 dan je prikaz osrednjenih izmjerenih protoka na profilima vodomjerenja u usporedbi sa gubicima između svakog profila u razdoblju od 2007. do 2020. godine. Iz tablice i grafa vidimo da se gubici na dionici između Tončinog i Oreškovićevo mosta javljaju tijekom svih vodomjerenja, te da je prosječan smanjenje protoka, u uvjetima provedenih vodomjerenja, na toj dionici iznosi oko 1,83 m³s⁻¹, odnosno da gubitak voda iz korita Gacke iznosi oko 20% u odnosu na prosječni izmjereni protok na Tončinom mostu (9,32 m³s⁻¹). Na drugim dionicama nije utvrđen

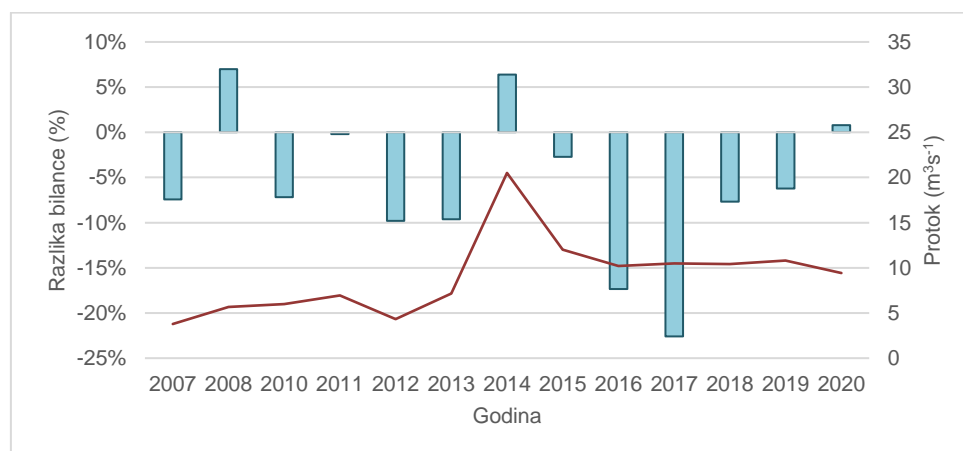
gubitak koji bi bio veći od doprinosa protoka, iako su tijekom nekoliko vodomjerenja gubici utvrđeni i na dionici između Podgore i Tončinog mosta, kao i na dionici između Luka i Vivoza. Kada bi se gledala cijela dionica između Podgore i Vivoza, prosječno smanjenje protoka iznosi oko $0,46 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (prosječan udio gubitaka od 5%).

Ipak, iako iskazani % gubitaka nije velik, obzirom na vodnu bilancu Gacke radi se o značajnim količinama voda koje se gube u podzemlju, čime su smanjene količine voda nizvodnijeg dijela toka koji otječe u sustav HE Senj, ali i u Sjeverni krak Gacke, te povremeno Južnim krakom Gacke i prema Gornjem Švićkom jezeru.



Slika 3.2.10. Prikaz osrednjenih izmjerenih protoka na profilima vodomjerenja u usporedbi sa gubicima između svakog profila u razdoblju od 2007. do 2020. godine

Prikaz razlike bilance na cijeloj dionici između Podgore i Vivoza (protocima glavnog, Južnog kraka Gacke na Vivozama dodana su i ispuštanja u njen Sjeverni krak upravo na čvorištu Vivozama) u razdoblju od 2007. do 2020. godine dan je na Slici 3.2.11. Također uz razliku bilance dan je i prikaz izmjerenih protoka na postaji Podgora. Iz njega je vidljivo da tijekom analiziranog razdoblja 2007.-2020. nije došlo do nekih promjena udjela gubitaka voda u koritu Gacke u odnosu na njenu bilancu protoka, već su promjenjivi udjeli tih gubitaka prije svega rezultat različitih hidroloških prilika u situacijama u kojima su provođena vodomjerenja, pri čemu su počev od 2014.g. vodomjerenja provođena pri većim protocima u Gackoj.



Slika 3.2.11. Prikaz razlike bilanca na cijeloj dionici između Podgore i Vivoza u razdoblju od 2007. do 2020. godine, te izmjerena protoka na postaji Podgora

Radi se o rezultatima motrenja gubitaka u specifičnoj situaciji – tijekom trajanja malovodnih razdoblja pri kojima su i provođenje serije simultanih mjerenja protoka kada je Gacka „viseća rijeka“ i njene se površinske vode nalaze iznad razina podzemnih voda te postoji gradijent njihova otjecanja u podzemlje na pojedinim slabije vododrživim dionicama toka. Oni se mogu uočiti ne samo prilikom takvih ciljanih serija vodomjerenja, kojima je za cilj detektirati njihovu prisutnost i locirati je za pojedine međudionice toka, već i iz globalnih rezultata hidroloških praćenja na postajama Podgora, Vivoze i Otočac na Gackoj. Važno je napomenuti da su u svim obradama postaji Vivoze dodani i protoci na postaji Otočac - Sjeverni krak Gacke koji se prije mjerenja protoka na postaji Vivoze propuštaju zapornicom u Sjeverni krak. U Tablici 3.2.3 dan je pregled srednjih mjesečnih i godišnjih vrijednosti protoka, te njihovih razlika za duže zajedničko analizirano razdoblje (1987.-2016. bez 2012.) koje je dijelom i nadopunjavano nedostajućim vrijednostima protoka, za razdoblje 2000.-2003. (bez 2001.) tijekom kojeg su na svim postajama postojala cjelovita hidrološka praćenja u organizaciji DHMZ-a, kao i za odabranu vrlo sušnu 2003. godinu.

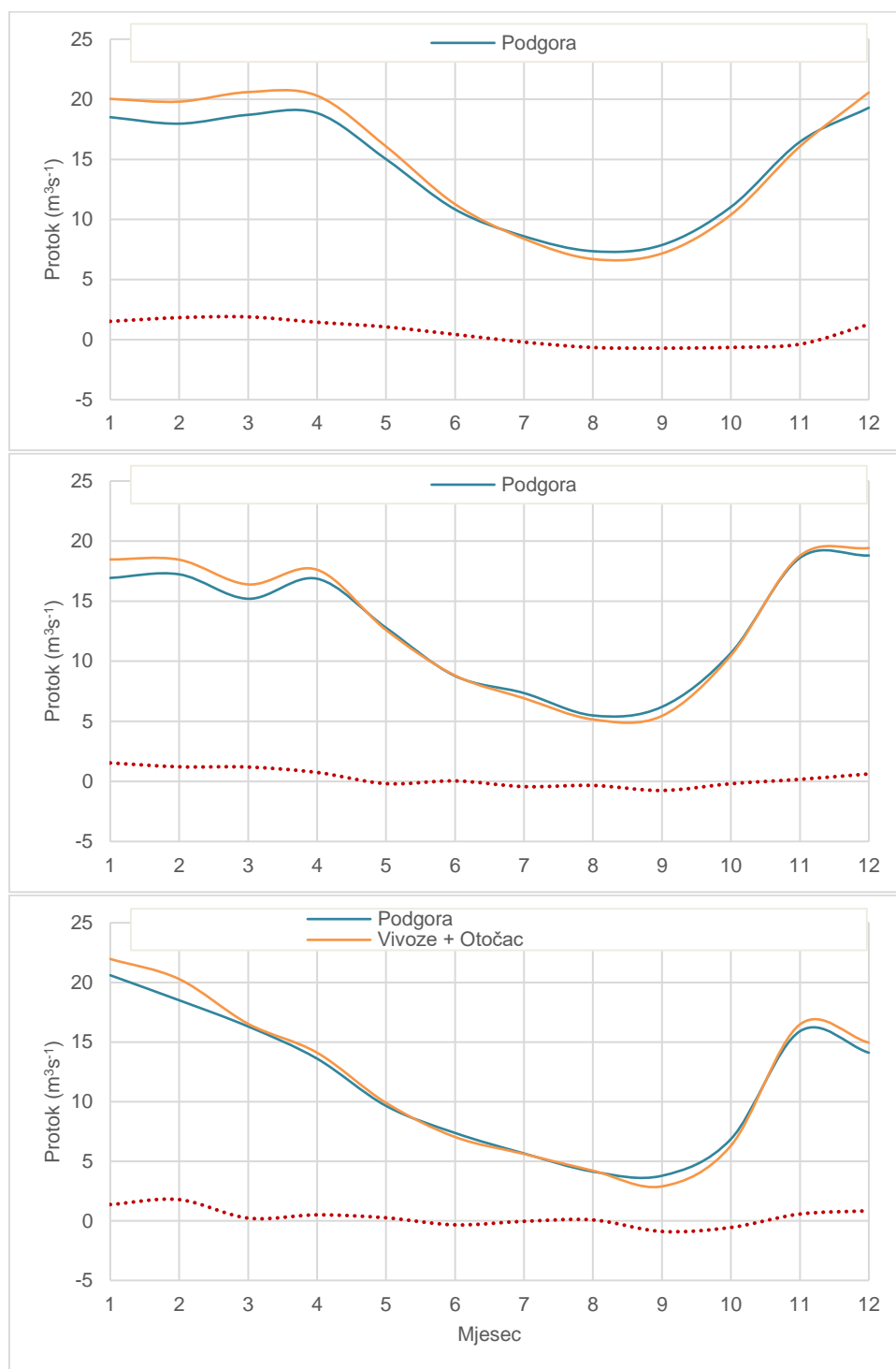
Tablica 3.2.3. Srednje mjesečne i godišnje vrijednosti protoka na postajama Podgora, Vivoze i Otočac, te razlika Vivoze+Otočac - Podgora za duže zajedničko analizirano razdoblje (1987.-2016. bez 2012.), za zajedničko razdoblje (2000.-2003. bez 2001.) i za 2003. godinu

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
1987.-2016. (bez 2012.)													
Podgora	18,5	18,0	18,7	18,8	15,0	10,8	8,60	7,36	7,87	11,0	16,5	19,3	14,2
Vivoze	19,4	19,2	20,0	19,6	15,5	10,8	8,02	6,44	6,88	10,0	15,5	20,0	14,3
Otočac	0,596	0,560	0,582	0,654	0,600	0,511	0,368	0,258	0,284	0,390	0,599	0,595	0,500
Razlika (Vivoze + Otočac - Podgora)	1,52	1,83	1,89	1,45	1,06	0,433	-0,206	-0,655	-0,707	-0,646	-0,380	1,27	0,575
2000.-2003. (bez 2001.)													
Podgora	16,9	17,2	15,2	16,9	12,8	8,8	7,4	5,5	6,2	10,7	18,6	18,8	12,9
Vivoze	18,0	18,0	16,0	17,1	12,1	8,5	6,6	4,9	5,2	10,2	18,3	19,0	12,8
Otočac	0,436	0,416	0,394	0,513	0,454	0,336	0,301	0,269	0,238	0,318	0,474	0,424	0,381
Razlika (Vivoze + Otočac - Podgora)	1,54	1,22	1,19	0,747	-0,183	0,043	-0,432	-0,334	-0,752	-0,192	0,174	0,624	0,281
2003.													
Podgora	20,6	18,5	16,3	13,6	9,64	7,37	5,65	4,13	3,78	6,86	15,9	14,1	11,4
Vivoze	21,5	19,8	16,1	13,7	9,53	6,9	5,49	4,07	2,79	6,16	16,1	14,7	11,4
Otočac	0,464	0,478	0,424	0,401	0,362	0,132	0,117	0,135	0,098	0,144	0,368	0,242	0,28
Razlika (Vivoze + Otočac - Podgora)	1,36	1,78	0,224	0,501	0,252	-0,338	-0,043	0,075	-0,892	-0,556	0,568	0,842	0,280

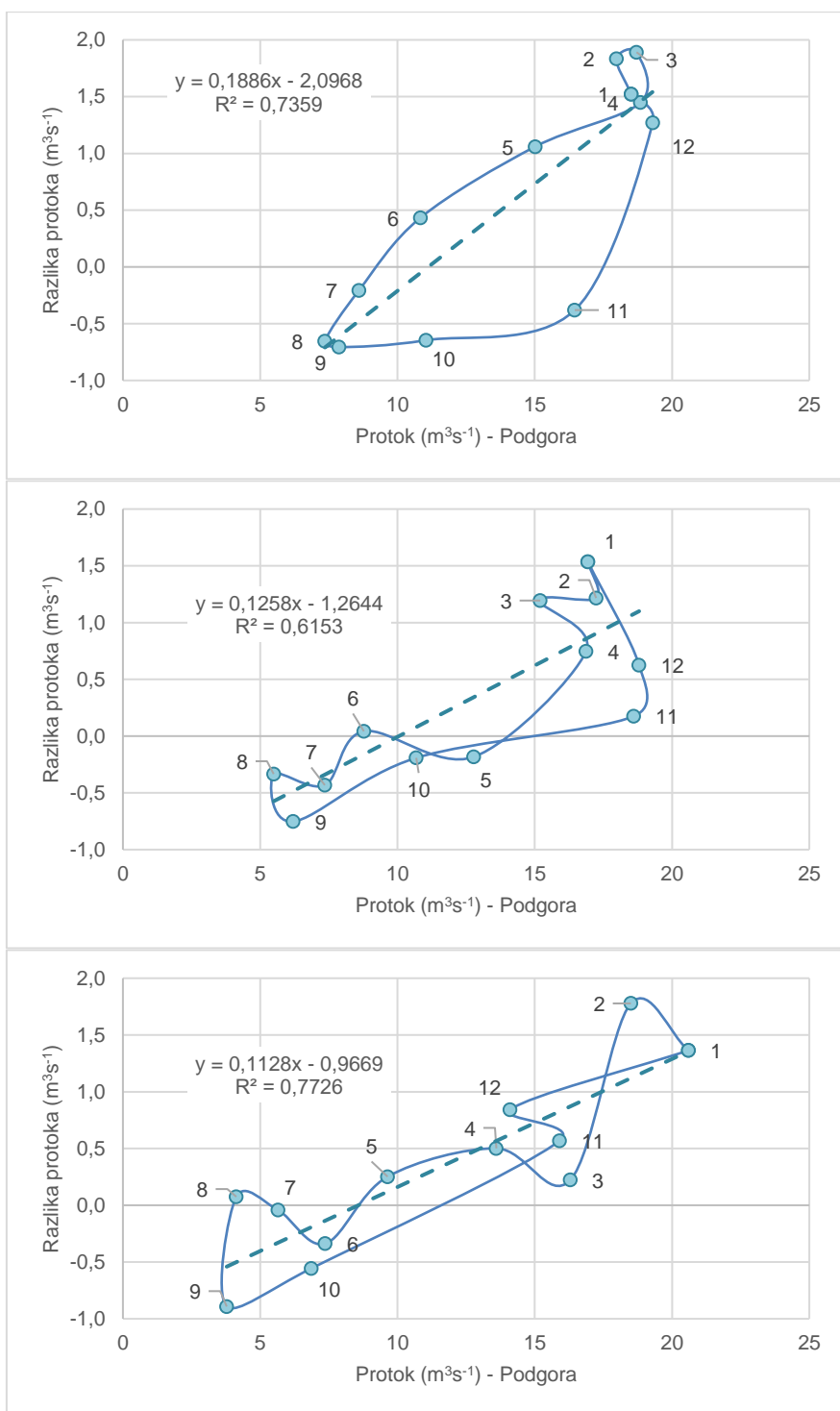
Iz Tablice 3.2.3 vidljivo je da se na razini godišnjih i višegodišnjih prosjeka, protoci Gacke na profilima hidroloških postaja Podgora i Vivoze razlikuju u granicama između 0,28 i 0,58 m³s⁻¹, odnosno da se ovisno o tome koji je bio analizirani niz. Podaci o srednjim mjesečnim protocima razlikuju se u nešto većoj mjeri, te se kreću u rasponu između prirasta protoka od oko 1,9 m³s⁻¹ i gubitaka od 0,9 m³s⁻¹, također ovisno o izboru duljine analiziranog niza podataka. Kod višegodišnjih nizova analiziranih podataka, gubici su iskazani tijekom razdoblja srpanj - listopad, ponekad i studeni, a pojedinih sušnijih godina mogu se pojaviti i ranije, u lipnju npr. kao kod analizirane 2003. godine.

Na Slici 3.2.12 dan je prikaz utvrđenih razlika (prirasta ili gubitaka srednjih mjesečnih protoka) prema kalendarskim mjesecima, a na Slici 3.2.13 dan je prikaz

međudnos srednjih mjesečnih protoka na Podgori i utvrđenih razlika iz korita Gacke na dionici toka do Vivoza.



Slika 3.2.12. Usporedba srednjih mjesečnih protoka na dionici toka Gacke između hidroloških postaja Podgora i Vivoze+Otočac za odabrana karakteristična razdoblja: 1987.-2016. (bez 2012.) – gore, 2000.-2003. (bez 2001.) – sredina, i 2003. godina – dolje

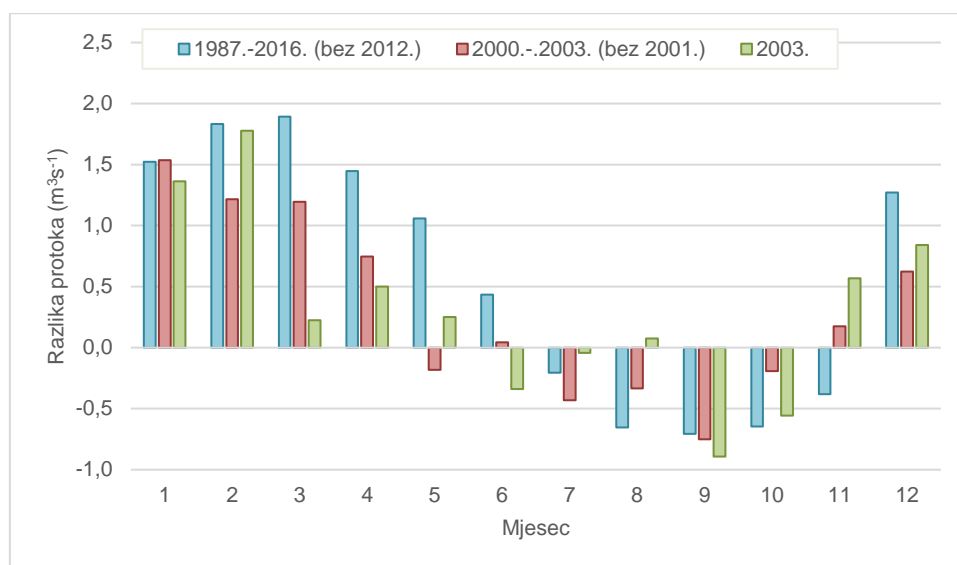


Slika 3.2.13. Međuodnos srednjih mjesečnih protoka na postaji Podgora – Gacka i razlike protoka na dionici toka do Vivoza (Vivoze+Otočac) za odabrana karakteristična razdoblja: 1987.-2016. (bez 2012.) – gore, 2000.-2003. (bez 2001.) – sredina, i 2003. godina – dolje

Iz hoda srednjih mjesečnih protoka na dvama analiziranim profilima i gubitaka iz korita Gacke na dionici između Podgore i Vivoza (Slika 3.2.12) vidljivo je da se najveći gubici javljaju pri malim vodama, a najveći prirasti kod većih. Kod prikaza međuodnosa protoka na Podgori i gubitaka (Slika 3.2.13) to je još zornije vidljivo. A vidljivo je i da se pojedine točke prikazanih gubitaka grupiraju prema uzastopnosti njihove pojave, pri

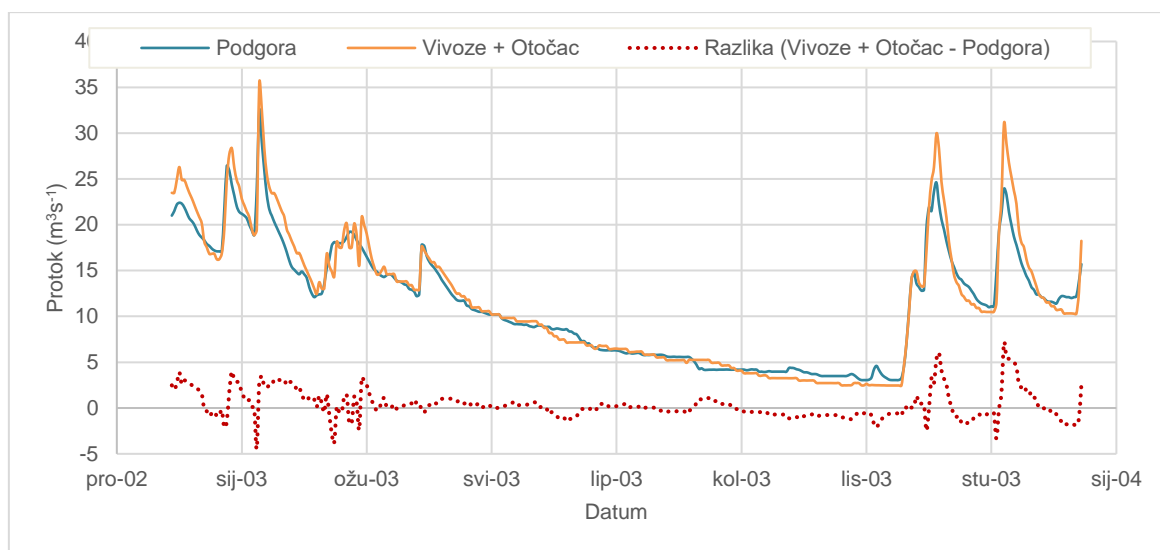
čemu su iskazani prirasti/gubici uglavnom vezani uz prvi dio kalendarske godine, a vezani uz drugi dio – uglavnom ispod pravca regresije. To je vjerojatna posljedica stanja razina vode, pa pri istim protocima u proljetnom dijelu godine gubici nisu prisutni, ali su zato u drugom dijelu godine, nakon ljetnog sušnog razdoblja tijekom kojeg se ne samo smanje protoci u Gackoj nego i razine podzemnih voda, javljaju gubici i pri stanjima protoka u koritu Gacke kakvi se na proljeće nisu iskazivali.

Na Slici 3.2.14 vidljivo je kako su se kretale razlike u protocima Gacke na profilu Vivoze i Podgora za sve tri analizirane situacije/odabrana razdoblja. Vidljivo je prilično slična situacija u raspodjeli gubitaka tijekom pojedinih kalendarskih mjeseci.



Slika 3.2.14. Razlika protoka između postaja Podgora i Vivoze+Otočac za odabrana karakteristična razdoblja: 1987.-2016. (bez 2012.), 2000.-2003. (bez 2001.), i 2003. godina

Za odabranu sušnu 2003. godinu provedene su i usporedbe vremenskog hoda protoka na dionici toka Gacke između Podgore i Vivoza na razini dnevnih podataka (Slika 3.2.15). Iz nje je vidljivo da su dnevne razlike, kako pozitivne (prirasti) tako i negativne (gubici) najveći prilikom promjene protoka i pojava velikih voda, a razlog čega mogu biti i vremenska neusklađenost vezana uz propagaciju velikih voda na analiziranoj dionici, tako da je ipak prikladnije da se gubici analiziraju s nešto duljom vremenskom diskretizacijom.



Slika 3.2.15. Usporedba srednjih dnevnih protoka na dionici toka Gacke između hidroloških postaja Podgora i Vivoze+Otočac za 2003. godinu

Očito je da na analiziranoj dionici toka Gacke između Podgore i Vivoza tijekom sušnijeg dijela godine postoje gubici, koji se na razini višegodišnjih mjesečnih prosjeka kreću i do oko blizu $1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a u pojedinačnim slučajevima i puno više. Tako je prilikom serija vodomjerenja iz 2017. utvrđen gubitak od čak $2,37 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Radi se o vodomjerenju koje je provedeno pri protoku Gacke na profilu Podgora od $10,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. No, za razliku od vodomjerenja provedenih pri sličnim protocima, hidrološki su uvjeti tijekom razdoblja koje je prethodilo simultanim serijama vodomjerenja u 2017. bili sušniji u pogledu stanja podzemnih voda, pa su i gradijenti gubitaka bili veći. Naime, mada su vodomjerenja provedena dosta rano, tijekom travnja 2017., ipak se radilo o dugotrajnom sušnom razdoblju jer su srednji godišnji protoci i u prosincu 2016. kao i u siječnju te travnju 2017. bili daleko ispod prosječnih vrijednosti za te mjeseci. Što je sigurno rezultiralo i smanjenim razinama podzemnih voda, te većim gubicima iz korita rijeke Gacke.

3.2.3 Analiza vodne bilance gubitaka voda na dionici toka Like nizvodno od brane Sklope

Na identičan način kao kod Gacke, provode se jednom godišnje i mjerenja gubitaka vode iz korita rijeke Like na dionici između brane Sklope i brane Selište (Slika 3.2.16). Prva mjerenja započela su nešto kasnije nego na rijeci Gackoj, tek 2013. godine. Mjerenja su vršena na šest vodomjernih profila i to: Sklope (cca 200 m nizvodno od brane), Sušanj brana (u profilu brane), Viseći most (cca 10 m uzvodno od mosta), Kosinjski most (cca 70 m uzvodno od mosta u vodokaznom profilu), Vukelići (u profilu brane) i Selište (cca 10 m uzvodno od ustave). U 2014. godini nisu izvršena mjerenja zbog izuzetno kišne godine i velikih dotoka u akumulaciju Kruščica, pa iz tog razloga nije bilo moguće obustaviti rad HE Sklope i ispuštanja iz akumulacije, a što je uvjet za mjerenje gubitaka u koritu rijeke Like.



Slika 3.2.16. Profili mjerenja protoka na dionici toka Like između brane Sklope i brane Selište

Uz same serije vodomjerenja, svake je godine provedeno i rekognosciranje rijeke Like čamcem na navedenom potezu. Cilj ovog rekognosciranja je da se pronadu

eventualni vidljivi gubici ili dotoci u rijeku Liku. No, na temelju dosadašnjih rezultata, na cijeloj toj dionici pronađeni su samo koncentrirani dotoci, pa su oni značajniji i mjereni, a oni najmanji su procijenjeni.

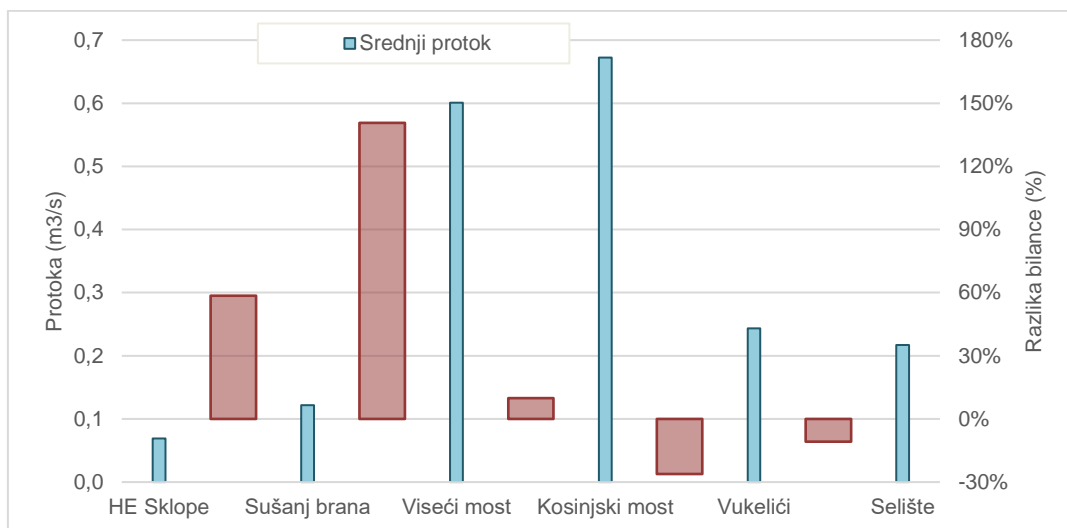
U Tablica 3.2.4 dani su rezultati vodomjerenja rijeke Like između brane Sklope i brane Selište i razlika bilanca između svakog profila vodomjerenja u razdoblju od 2013. do 2020. godine.

Tablica 3.2.4. Rezultati vodomjerenja protoka (m^3s^{-1}) rijeke Like između brane Sklope i brane Selište i razlika bilanca između svakog profila vodomjerenja u razdoblju od 2013. do 2020. godine (prema podacima vodomjerenja Hidroinga, 2013.-2020.)

Dionice		4.-6. 9.2013.	14.-15. 9.2015.	13.-14. 9.2016.	24.-25. 11.2017.	10.-11. 9.2018.	10.-11. 9.2019.	15.-16. 9.2020.
1	HE Sklope	0,117	0,019	0,044	0,194	0,035	0,034	0,04
	Izvor HE Sklope nizv.	0,028	0	0,015	0,041			0,001
	ZBROJENO	0,145	0,019	0,059	0,235	0,035	0,034	0,041
	Sušanj brana	0,147	0,054	0,13	0,328	0,067	0,061	0,064
	Razlika bilance	0,002	0,035	0,071	0,093	0,032	0,027	0,023
2	Sušanj brana	0,147	0,054	0,13	0,328	0,067	0,061	0,064
	Izvor nizv. od Sušanj brane	0,059	0,052	0,069	0,251	0,049	0,059	0,05
	Bakovac	0,189	0,095	0,088	1,1	0,008	0,048	0,036
	Dotoci		0,002	0,001		0,0009		
	ZBROJENO	0,395	0,203	0,288	1,68	0,125	0,168	0,15
3	Viseći most	0,567	0,42	0,343	2,07	0,279	0,278	0,248
	Razlika bilance	0,172	0,217	0,055	0,391	0,154	0,11	0,098
	Viseći most	0,567	0,42	0,343	2,07	0,279	0,278	0,248
	Izvor nizv. od Visećeg mosta	0,011	0,015	0,005	0,006	0,01	0,014	0,012
	Dotoci		0,002	0,002	0,009			
4	Dotoci				0,001			
	ZBROJENO	0,578	0,437	0,35	2,086	0,289	0,292	0,26
	Kosinjski most	0,626	0,534	0,479	2,19	0,218	0,361	0,298
	Razlika bilance	0,048	0,097	0,129	0,104	-0,071	0,069	0,038
	Kosinjski most	0,626	0,534	0,479	2,19	0,218	0,361	0,298
5	Vukelići	0,488	0,237	0,302		0,102	0,214	0,118
	Razlika bilance	-0,138	-0,297	-0,177		-0,116	-0,147	-0,18
	Vukelići	0,488	0,237	0,302		0,102	0,214	0,118
5	Selište	0,366	0,252	0,286		0,010	0,275	0,115
	Razlika bilance	-0,122	0,015	-0,016		-0,092	0,061	-0,003

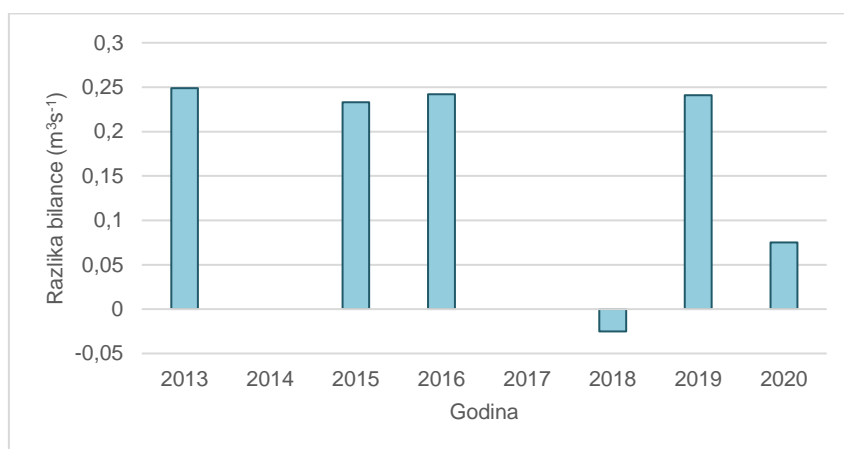
Na Slici 3.2.17 dan je prikaz osrednjenih izmjerenih protoka na profilima vodomjerenja u usporedbi sa gubicima između svakog profila u razdoblju od 2013. do 2020. godine. Iz tablice i grafa je vidljivo da se gubici na dionici između Kosinjskog mosta i Vukelića javljaju tijekom svih provedenih serija vodomjerenja, te da prosječno

smanjenje protoka na toj dionici iznosi $0,18 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (udio gubitaka 26% u odnosu na prosječni izmjereni protok na Kosinjskom mostu). Nešto manji gubici se javljaju i na dionici između Vukelića i Selišta, a prosječno smanjenje protoka na toj dionici iznosi svega $0,003 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (udio gubitaka 11%). Potrebno je napomenuti da su mjerenja uvjetovana količinom vode koja istječe/procuruje iz akumulacije Kruščica, a ne svojim prirodnim režimom otjecanja voda koritom rijeke Like.



Slika 3.2.17. Prikaz osrednjenih izmjerenih protoka na profilima vodomjerenja u usporedbi sa gubicima između svakog profila u razdoblju od 2013. do 2020. godine

Prikaz razlike bilanca na cijeloj dionici između brane Sklope i Selišta u razdoblju od 2013. do 2020. godine dan je na Slici 3.2.18. Iz njega je vidljivo da su bilančni doprinosi međusliva između ta dva profila u mjerenim situacijama bili uglavnom ujednačeni (oko $0,250 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), no da pojedinih godina kao što je bilo 2018., u sušnijim uvjetima, oni izostaju, te je prisutan iskazan gubitak voda na poniranje veći od bilančnih doprinosa međudotoka. Među tim doprinosima najveći ima glavni lijevoobalni prtok Bakovac.



Slika 3.2.18. Prikaz razlike bilanca na cijeloj dionici između brane Sklope i Selišta u razdoblju od 2013. do 2020. godine

3.2.4 Analiza protjecanja Sjevernim krakom Gacke

Nakon izgradnje sustava HE Senj, puštenog u rad 1965.g., bitno je promijenjen vodni režim Gacke u dijelu toka nizvodno od Vivoza – glavna protoka usmjerena je Južnim krakom prema čvorištu Šumečica gdje dotječu i vode Like, te se dalje zajedno usmjeravaju prema Gusić polju i dalje ka HE Senj. Najuzvodnijim dijelom Sjevernog kraka Gacke protječu samo vode koje se na zapornici na Vivozama (Slika 3.2.19) ispuštaju kao biološki minimum, a pri velikim vodama javljaju se i vlastiti dotoci, kao i rasteretne vode Gacke s Vivoza. U rijetkim situacijama voda u Sjevernom kraku dotječe i do njegova križanja s kanalom koji vode Like i Gacke odvodi ka Gusić polju (Slika 3.2.20). Na tom mjestu dio voda protječe kanalom prema ponorskim zonama na kojima se je i u prirodnom stanju ona gubila, a u situacijama većih voda one prelijevaju u spomenuti kanal i otječu prema Gusić polju, te dalje ka HE Senj i vodozahvatu na Hrmotinama.



Slika 3.2.19. Zapornica na Vivozama



Slika 3.2.20. Sjeverni krak Gacke neposredno prije križanja s kanalom sustava HE Senj

Upravo zbog nedostatka voda u koritu tog vodotoka, kao i zbog prisutnih antropogenih pritisaka u vidu ispuštanja pročišćenih otpadnih voda grada Otočca, kišnih preljeva te dijela oborinskih voda dijela Otočca, stanje kakvoće vode u njegovom početnom dijelu toka kroz Otočac nije primjereno. Stanje kakvoće na Sjevernom kraku Gacke prati se mjernoj postaji istraživačkog monitoringa državne mreže Hrvatskih voda Otočac – most (šifra 30031) (most Dubrava). Za tu je postaju u Tablici 3.2.5 dan izvod iz ocjene ekološkog stanja na mjernim postajama istraživačkog monitoringa rijeka u 2019.g., preuzet iz Izvješća o stanju površinskih voda u 2019. godini (Hrvatske vode, 2020). Ta je postaja meritorna za vodno tijelo JKRNO0060_001. Prema tom dokumentu/analiziranim podacima monitoringa, fizikalno-kemijski elementi kakvoće vode pokazuju da je stanje umjereno, a takvim je ocijenjeno i ekološko stanje.

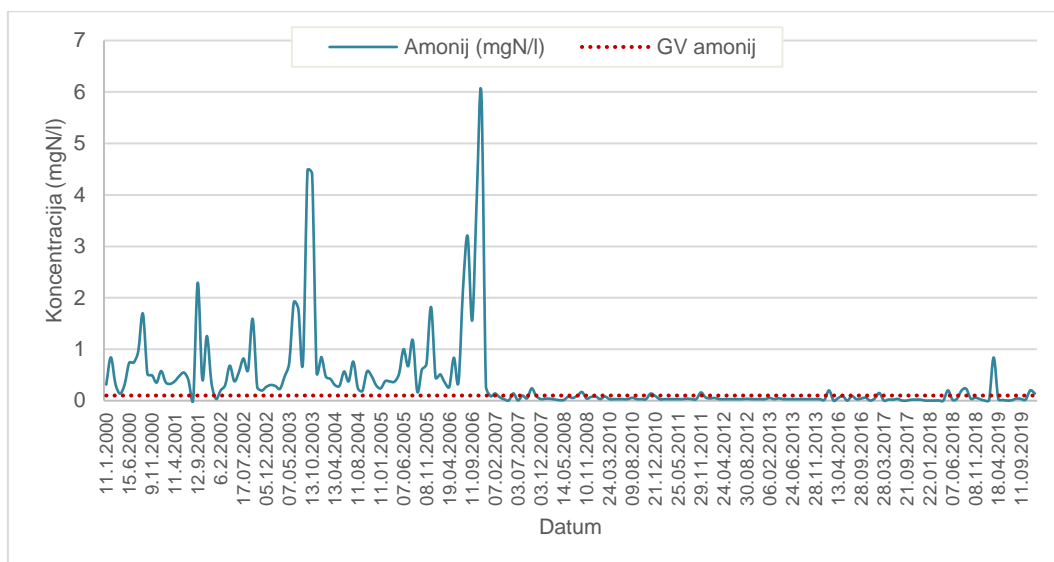
Tablica 3.2.5. Ocjena stanja fizikalno-kemijskih elemenata kakvoće i ekološkog stanja voda u Sjevernom kraku Gacke na postaji Otočac – most (postaja 30031)

Pokazatelj	Vrijednost	Stanje
pH	7,85	Vrlo dobro
BPK ₅ (mgO ₂ /L)	2,95	Umjereno
KPK-Mn (mgO ₂ /L)	2,195	Dobro
Amonij (mgN/L)	0,0275	Dobro
Nitrati (mgN/L)	1,5895	Umjereno
Ukupni dušik (mgN/L)	2,0375	Umjereno
Ortofosfati (mgP/L)	0,035	Umjereno
Ukupni fosfor (mgP/L)	0,0615	Umjereno
FIZIKALNO-KEMIJSKI ELEMENTI KAKVOĆE - STANJE	UMJERENO	
EKOLOŠKO STANJE	UMJERENO	

Interesantno je neke od odabranih pokazatelja kakvoće voda promatrati na duljoj vremenskoj skali, kako bi se uočile promjene. U tu su svrhu odabrani amonij, te nitrati i ukupni dušik, i to za razdoblje proteklih 10 godina, od 2010. do 2019. Uz hod zabilježenih koncentracija, dan je i prikaz odgovarajućih graničnih vrijednosti (GV) za dobro stanje voda prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 96/2019) koja za amonij iznosi 0,1 mgN/L, nitrata 1,2 mgN/L, a za ukupni dušik 1,5 mgN/L. Na Slici 3.2.22 dan je prikaz spomenutih parametara, a prije toga je, na Slici 3.2.21, za amonij kao najprikladniji indikator svježeg fekalnog opterećenja, dodatno je prikazano stanje za još ranijih 10 godina, kako bi se uočile promjene vezane uz rad uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda Otočca. Naime, prije rekonstrukcije uređaja upravo su amonij i mikrobiološki pokazatelji bili najkritičniji pokazatelji stanja kakvoće vode u Sjevernom kraku. Kako nova Uredba o standardu kakvoće voda (NN 96/2019) mikrobiološke pokazatelje više ne uzima u obzir, tj. ne smatra ih onečišćujućim tvarima, oni se od 2010. više ne prate.

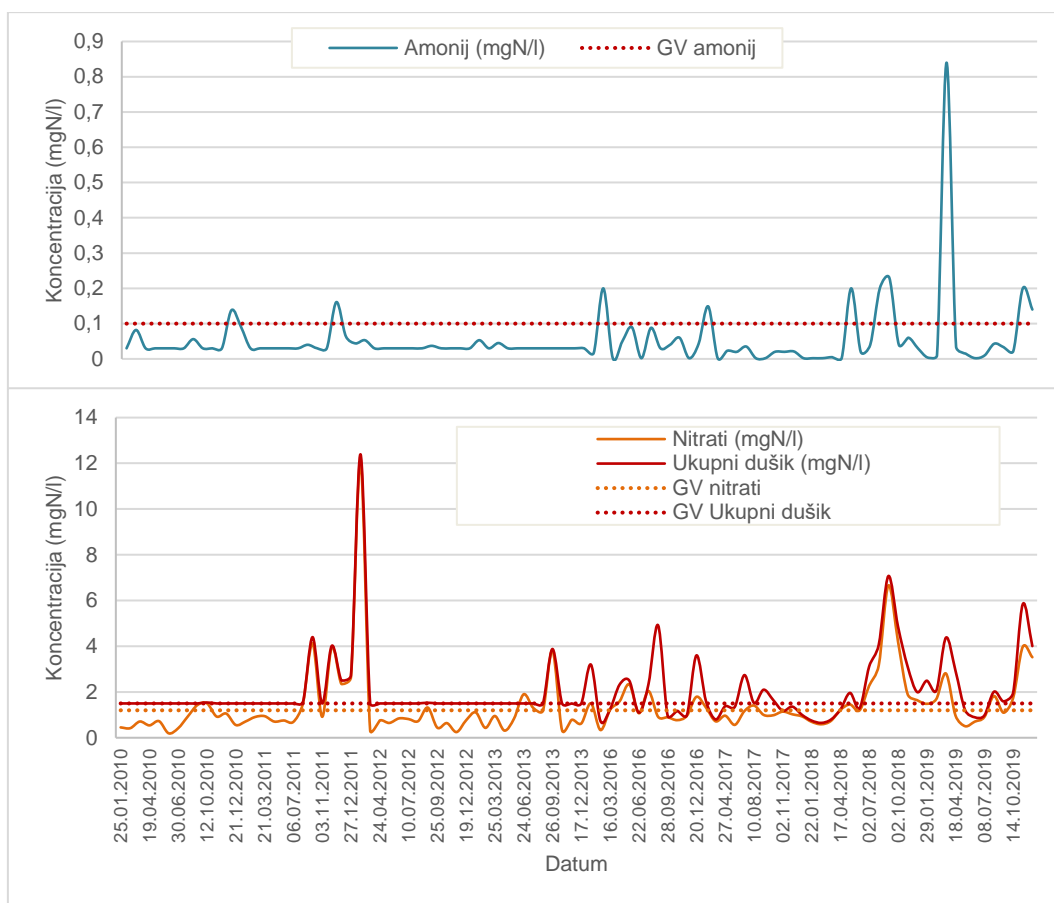
Radi se o uređaju koji je izgrađen krajem 80-tih godina prošlog stoljeća s kapacitetom 12.500 ES, koji je 1997.g. saniran, pušten u rad ali i konzerviran. Godine 2004. uređaj je rekonstruiran (smanjen kapacitet na 5.000 ES), te je pušten u rad I stupanj pročišćavanja, a 2006.g. pušten je u rad i II stupanj. Radi se o uređaju s aktivnim muljem i dvostrukom aeracijom, koji godišnje ispušta između 800.000 i 1.200.000 pročišćene otpadne vode, od čega oko 75% čine pročišćene otpadne vode

iz domaćinstava (IGH, 2016). U tijeku su aktivnosti na rješavanju sustava otpadnih voda prostora aglomeracije Otočac koja uključuje i Prozor, a kojom je planirana i dogradnja sustava odvodnje otpadnih voda kao i postojećeg uređaja u Otočcu za obradu mulja, kao i naselja uzduž glavnog toka rijeke Gacke.



Slika 3.2.21. Prikaz hoda kretanja koncentracija amonija u vodama Sjevernog kraka Gacke na postaji Otočac – most (2000.-2019.)

Iz danog je prikaza na Slici 3.2.21 vidljivo da je rekonstrukcijom uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda Otočca počev od 2007.g. bitno popravljeno stanje kakvoće vode u Sjevernom kraku Gacke u pogledu sadržaja amonija, pa je tako njegov sadržaj višestruko smanjen u odnosu na prethodno stanje. No, i dalje njegove koncentracije povremeno značajno prelaze dozvoljene granične vrijednosti, kao što je to bilo tijekom 2018. i 2019.g. Zbog toga i nekih drugih pokazatelja, kao i općeg ekološkog stanja, vode Sjevernog kraka Gacke nemaju „dobro stanje voda“, već je ono okarakterizirano kao umjereno, odnosno kao treći stupanj u klasifikaciji (Vrlo dobro, Dobro, Umjereno, Loše i Vrlo loše). Većina voda opterećenih povećanim koncentracijama onečišćujućih tvari završava u ponoru Bikina jama koji prihranjuje izvorište vodoopskrbe Novljanska Žrnovnica.



Slika 3.2.22. Prikaz hoda kretanja koncentracija amonija (gore) te nitrata i ukupnog dušika (dolje) u vodama Sjevernog kraka Gacke na postaji Otočac – most (2010.-2019.)

Iz danih je prikaza na Slici 3.2.22 vidljivo da uz amonijak gdje je, zadnjih desetak godina puno rjeđe prekoračivanje GV, nitrati te ukupan dušik u velikom broju analiziranih slučajeva, posebno tijekom 2018. i 2019. godine prelaze granične vrijednosti za dobro stanje voda. Povremeno graničnu vrijednost prelaze i ortofosfati i ukupni fosfor. Stanje se može popraviti s jedne strane smanjenjem emisije onečišćujućih tvari iz pročišćenih otpadnih voda, kišnih preljeva i gravitirajućih oborinskih voda grada Otočca, a s druge povećanjem količina voda koje se upuštaju u Sjeverni krak Gacke kako bi se povećala mogućnost njihova samopročišćavanja protječući kroz njeno korito. U razmatranju mogućnosti ostvarenja toga, nužno je razmotriti i mogućnost produljenja protjecanja voda Sjevernog kraka Gacke i nizvodno od ponora Bikina jama. To bi se moglo omogućiti na način da se pri malim vodama jednom zapornicom prema ponoru regulira/spriječi uviranje tih voda, a drugom u samom koritu uzvodno od Bikine jame poveća dubina vode u koritu tog kraka Gacke, a time i njen površinski volumen. Time će se one dulje zadržavati na površini i bolje iskoristiti prirodna autopurifikacijska svojstva vode u koritu, kao i smanjiti koncentrirani dotok voda u podzemni krški vodonosnik koji prihranjuje Novljansku Žrnovnicu. Naravno, nužno je uspostaviti sustav operativnog upravljanja zapornicama kako se ne bi smanjio kapacitet korita pri velikim vodama za koje postoji potreba povremene evakuacije, a koja je bitno otežana uzurpacijom prostora u inudaciji korita s nelegalnom izgradnjom na području Otočca.

3.2.4.1 Analiza protjecanja voda u Sjevernom kraku Gacke na temelju rezultata monitoringa DHMZ-a

Kao što je uvodno rečeno, protjecanje voda Sjevernim krakom Gacke je nakon puštanja u pogon hidroenergetskog sustava Senj uvjetovano režimom upravljanja zapornicom na čvoru Vivoze (Slika 3.2.19). Najčešće se ispuštaju količine voda koje osiguravaju protok u koritu tog vodotoka samo na području grada Otočca, kako bi se pročišćene otpadne vode s uređaja u Otočcu ispustile u površinski vodotok. No, te vode se nakon veoma kratkog površinskog toka gube u ponorima te prihranjuju podzemlje, ponajviše u najizrazitijem ponoru Bikina jama, nakon kojeg vrlo rijetko otječe dalje svojim nekadašnjim tokom prema ponderskoj zoni nizvodno od Brloga. Ispuštanje voda iz glavnog korita Gacke uvjetovano je i stanjem u hidroenergetskom sustavu, pa se prilikom velikih voda dio protoka Gacke rasterećuje ispuštanjem u spomenuti Sjeverni krak, a tijekom izvođenja radova na održavanju i uređenju korita, ispuštanja se znadu i potpuno minimalizirati.

Za provedbu analize protjecanja u prirodnim uvjetima i nakon izgradnje sustava HE Senj korišteni su podaci s dvije hidrološke postaje – aktivne postaje Otočac – Gacka te još 1991.g. napuštene postaje Brlog (Slika 3.1.1). U oba slučaja radi se o običnim vodokaznim postajama s dnevnim očitanjima vodostaja.

Hidrološka postaja Otočac (Kameni most) – Gacka (Slika 3.2.23) osnovana je još 1935.g., ali su raspoloživi podaci o protocima samo za novije razdoblje – od 1987. do 2018. s prekidom obračuna protoka u 2017. te od 4.-12.2012. Tijekom razdoblja monitoringa prije izgradnje sustava HE Senj vodomjerenjima su utvrđene protoke do $16,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (22.11.1960.), a za 14-godišnje razdoblje 1948./49. – 1961./62. utvrđen je srednji protok od $4,30 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Elektroprojekt, 1971).

Istovremeno s postajom Otočac, još 1935.g. osnovana je na najnižvodnijoj dionici toka Sjevernog kraka Gacke i postaja Brlog (Babić most), gdje je vodomjerenjem najveći izmjereni protok iznosio $14,35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a prosječni protok u ranije spomenutom 14-godišnjem razdoblju $3,17 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Elektroprojekt, 1971). Ta je postaja prestala s radom 1962.g., ali je ponovno aktivirana te godine i bila je aktivna do sredine 1991. Nažalost, od tada se više ne prate rijetke situacije protjecanja voda tim vodotokom. Iz dostupnih podataka spomenutih hidroloških postaja, čak se i ne mogu usporediti količine voda na početnom i završnom dijelu tog vodotoka jer u vrijeme njihova zajedničkog rada (1987.-1991.) nisu zabilježena protjecanja voda na profilu hidrološke postaje Brlog.



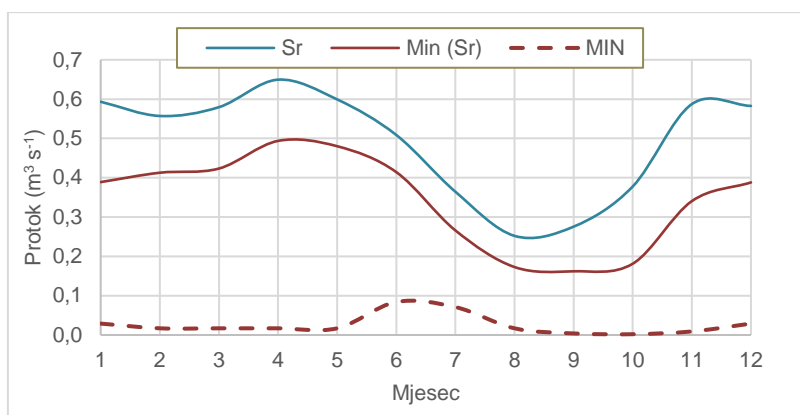
Slika 3.2.23. Hidrološka postaja Otočac – Gacka

Radi uvida u režim otjecanja voda u Sjevernom kraku Gacke, koji je neposredno uvjetovan stanjem hidroloških prilika glavnog toka Gacke na čvorištu Vivoze i regulacijom otvora zapornice prema Sjevernom kraku, u Tablici 3.2.6 dan je prikaz karakterističnih mjesečnih i godišnjih protoka na postaji Otočac - Gacka, a na Slici 3.2.24 unutar godišnja raspodjela srednjih mjesečnih i srednjih minimalnih protoka, kao i apsolutnih minimuma.

Iz njih je vidljivo da je srednji godišnji protok na toj postaji $0,497 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, s prisutnim vrlo značajnim varijacijama u veličini srednjeg godišnjeg protoka između $0,150$ i $0,864 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Najveći protok iznosio je $3,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a zabilježen je u listopadu i prosincu 1993., te u studenom 1992. godine. Minimalni godišnji protoci pokazuju najveće varijacije - prosječan najmanji minimalni godišnji protok iznosi $0,10 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, najveći minimalni godišnji protok od $0,365$ zabilježen je 2005.g., a ekstremni minimum od svega $0,002 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ zabilježen je u listopadu posljednje analizirane, 2018.g. U 2018. g. je zabilježeno i vrlo blizak mu minimum od $0,004 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (u rujnu), a vrlo male vrijednosti minimuma zabilježene su i tijekom izrazito sušne 2011.g. ($0,009 - 0,017 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ tijekom razdoblja kolovoz - studeni te godine), a moguće i tijekom još sušnije 2012., no za koju ne postoje raspoloživi podaci o protocima. Hod srednjih mjesečnih protoka, kao i prosječnih mjesečnih minimalnih protoka pokazuju sezonski karakter s minimalnim vrijednostima u kolovozu kod srednjih mjesečnih, a u rujnu kod prosječnih minimalnih protoka. Vidljivo je da režim protjecanja voda ima izražen sezonski karakter – tijekom najsušnijeg kolovoza prosječno se kroz zapornicu ispušta oko $0,25 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a tijekom vodnog travnja oko 2,5 puta više. No, prosječna minimalna mjesečna ispuštanja su značajnije manja – u najsušnijem rujnu $0,162 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a najvodnijem travnju $0,494 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

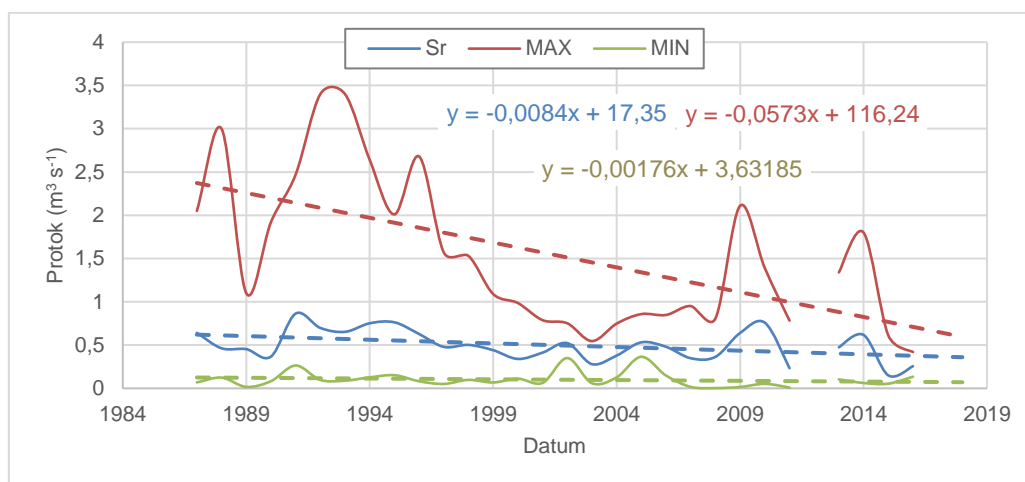
Tablica 3.2.6. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka (m^3s^{-1}) na postaji Otočac – Sjeverni krak Gacke u razdoblju od 1987. do 2018. godine (prekid 2017. i 4.-12.2012.)

OTOČAC - GACKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji (m^3s^{-1})													
Sr	0,593	0,557	0,580	0,650	0,599	0,509	0,364	0,252	0,276	0,378	0,588	0,582	0,497
Stdev	0,430	0,399	0,380	0,340	0,265	0,238	0,194	0,154	0,246	0,331	0,561	0,450	0,175
Cv	0,72	0,72	0,65	0,52	0,44	0,47	0,53	0,61	0,89	0,88	0,95	0,77	0,35
Max	1,93	1,86	1,62	1,77	1,29	0,945	0,863	0,608	1,19	1,35	2,26	1,98	0,864
Min	0,095	0,071	0,114	0,209	0,236	0,132	0,117	0,080	0,020	0,014	0,010	0,064	0,150
Maksimalni (m^3s^{-1})													
Sr	0,871	0,760	0,800	0,830	0,746	0,653	0,502	0,358	0,487	0,758	0,925	0,919	1,51
Stdev	0,640	0,572	0,502	0,430	0,327	0,387	0,309	0,202	0,575	0,765	0,799	0,690	0,852
Cv	0,73	0,75	0,63	0,52	0,44	0,59	0,62	0,57	1,18	1,01	0,86	0,75	0,56
Max	2,68	2,11	1,92	2,05	1,44	2,01	1,77	0,858	3,00	3,40	3,40	3,40	3,40
Min	0,134	0,098	0,154	0,219	0,300	0,168	0,153	0,104	0,036	0,060	0,013	0,078	0,420
Minimalni (m^3s^{-1})													
Sr	0,389	0,413	0,423	0,494	0,480	0,414	0,266	0,173	0,162	0,181	0,340	0,388	0,097
Stdev	0,283	0,315	0,304	0,284	0,243	0,197	0,156	0,123	0,130	0,151	0,395	0,352	0,089
Cv	0,73	0,76	0,72	0,57	0,51	0,48	0,59	0,71	0,80	0,83	1,16	0,91	0,92
Max	1,26	1,59	1,39	1,47	1,16	0,865	0,807	0,463	0,436	0,546	1,51	1,23	0,365
Min	0,029	0,017	0,017	0,017	0,017	0,084	0,071	0,017	0,004	0,002	0,009	0,029	0,002



Slika 3.2.24. Raspodjela srednjih mjesečnih, srednjih minimalnih i apsolutnih minimuma protoka na postaji Otočac – Gacka u razdoblju od 1987. do 2018. godine (prekid 2017. i 4.-12-2012.)

Dan je i prikaz hoda srednjih godišnjih, kao i ekstremnih maksimalnih i minimalnih godišnjih protoka (Slika 3.2.25). Iz nje je vidljivo da postoji trend smanjivanja svih analiziranih karakterističnih godišnjih vrijednosti protoka, a što znači i manji prihvatni kapacitet tog vodotoka u smislu mogućnosti samopročišćavanja njegovih voda.



Slika 3.2.25. Hod godišnjih vrijednosti srednjih, te ekstremnih maksimalnih i minimalnih protoka zabilježenih na postaji Otočac - Gacka (1987. - 2018. bez 2017. i 4.-12-2012.) i njihov trend

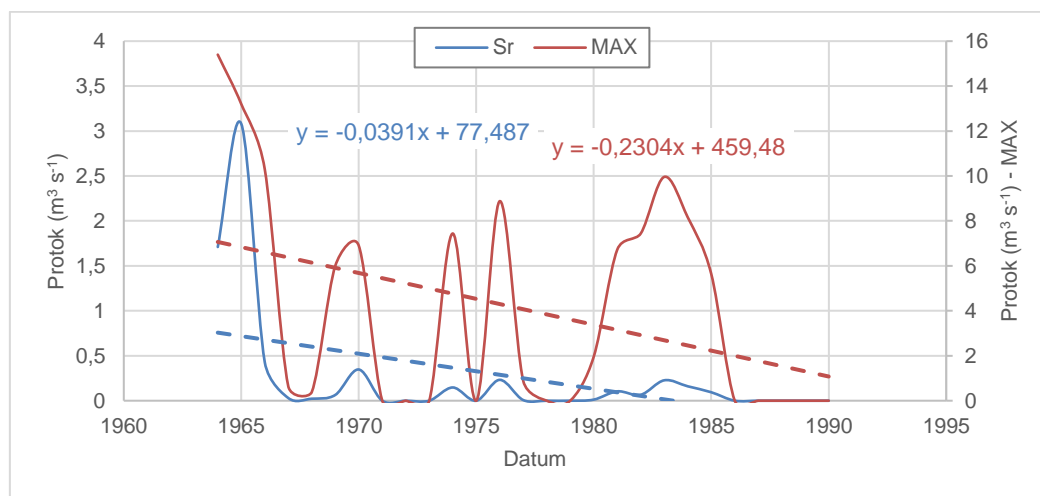
Kao što je uvodno rečeno, obnovljena hidrološka postaja Brlog na Sjevernom kraku Gacke bila je aktivna u razdoblju 1962. – 1991.g. (raspoloživi podaci počev od 1964.g.), pa je tako tijekom početne dvije godine registrirala stanje protoka prije izgradnje sustava HE Senj, a nakon toga novonastale hidrološke prilike s iznimno rijetkim protjecanjima voda. U Tablici 3.2.7 dan je prikaz karakterističnih mjesečnih i godišnjih protoka na postaji Brlog – Gacka.

Srednje godišnje protoke, prije puštanja HE u rad, iznosile su 1964. godine $1,71 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (maksimalna $15,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), a 1965. $3,08 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (maksimalna $13,2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), odnosno prosjek je bio $2,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. U razdoblju 1966.-1990. srednja godišnja protoka se drastično smanjila i iznosi svega $0,081 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a tijekom čak 10 godina od tog razdoblja tijekom cijele godine nije zabilježeno tečenje voda na toj postaji, što ipak ostavlja sumnju na pouzdanost prikupljenih podataka.

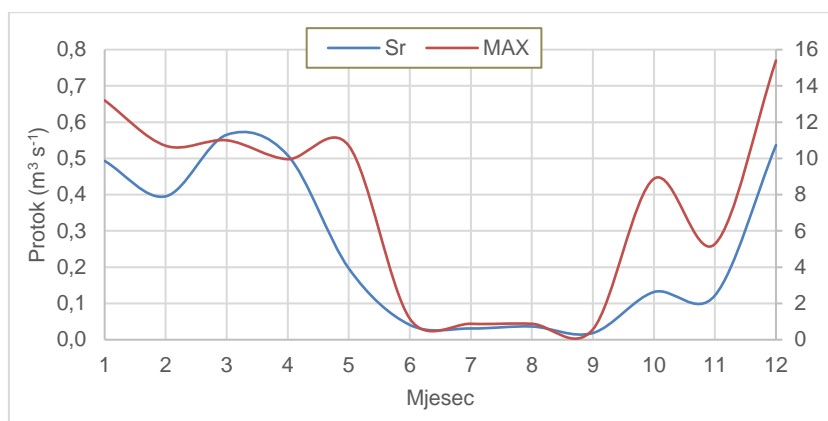
Tablica 3.2.7. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka (m^3s^{-1}) na postaji Brlog – Sjeverni krak Gacke u razdoblju od 1964. do 7.1991. godine

BRLOG - GACKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Razdoblje prije rada HE Senj (1964.-1965.)													
Sr	5,40	4,72	5,37	3,92	1,50	0,552	0,419	0,492	0,250	0,945	1,10	4,05	2,40
MAX	13,2	10,7	11,0	7,08	3,47	1,16	0,880	0,880	0,571	8,88	3,13	15,4	15,4
MIN	0,968	1,06	1,71	1,59	0,504	0,047	0,155	0,33	0	0	0	0,571	0
Razdoblje 1966.-7.1991.													
Srednji protok (m^3s^{-1})													
Sr	0,097	0,048	0,159	0,227	0,089	0	0	0	0	0,067	0,044	0,255	0,081
Stdev	0,23	0,12	0,33	0,63	0,36					0,33	0,16	0,79	0,12
Cv	2,42	2,60	2,05	2,79	4,02					4,99	3,72	3,08	1,48
Max	0,80	0,46	1,11	2,14	1,79	0	0	0	0	1,66	0,81	2,92	0,43
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maksimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	0,512	0,344	1,03	0,983	0,562	0	0	0	0	0,301	0,374	1,07	3,39
Stdev	1,54	1,19	2,50	2,75	2,18					1,49	1,13	2,90	3,91
Cv	3,00	3,47	2,42	2,79	3,87					4,94	3,03	2,72	1,15
Max	7,44	6,00	9,60	9,96	10,7	0	0	0	0	7,44	5,28	10,3	10,3
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Minimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	0,009	0,006	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0	0,026	0
Stdev	0,05	0,03	0,01									0,13	
Cv	5,10	5,10	5,00									5,00	
Max	0,23	0,16	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0,642	0
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Na Slici 3.2.26 gdje je dan hod srednjih i ekstremnih maksimalnih godišnjih protoka. Minimalne godišnje protoke tijekom cijelog promatranog razdoblja iznosile su 0 (osim tijekom 1964. godine kada su iznosile $0,047 m^3s^{-1}$). Prikazana je i unutar godišnja raspodjela srednjih i ekstremnih maksimalnih godišnjih protoka (minimalni su tijekom svih mjeseci jednaki nuli) (Slika 3.2.27), iz koje je vidljiv sezonski karakter protjecanja voda na tom profilu s naglašenim sušnim razdobljem od lipnja do rujna.



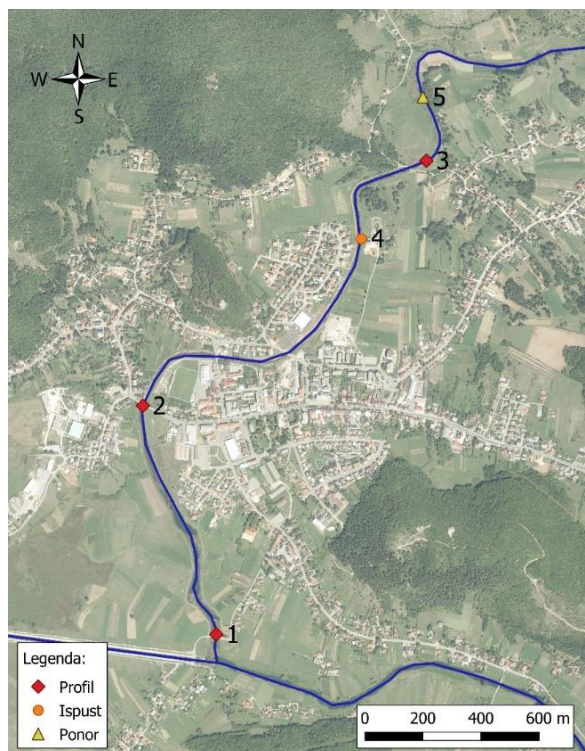
Slika 3.2.26. Hod karakterističnih godišnjih vrijednosti srednjih i ekstremnih maksimalnih protoka zabilježenih na postaji Brlog - Gacka (1964. – 1990.) i njihov trend



Slika 3.2.27. Unutar godišnja raspodjela protjecanja voda Sjevernim krakom Gacke na hidrološkoj postaji Brlog – Gacka (1964. – 1990.)

3.2.4.2 Rezultati provedenih serija vodomjerenja u 2020.

Kako bi se utvrdilo da li na području Otočca postoje gubici voda iz korita Sjevernog kraka Gacke na njenoj dionici toka do vrlo izraženog ponora Bikine jame, te koliki je protok potreban da voda proteče i nizvodno od Bikine jame, od strane Građevinskog fakulteta u Rijeci, dne 25. i 27.11.2020., provedene su dvije serije vodomjerenja. Mjerenja su provedena na tri vodomjerna profila: Vivoze-Stara Gacka, Kameni most te na mostu Donja Dubrava (Slika 3.2.28). Na slici je također označena pozicija ispuštanja pročišćenih voda iz uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda grada Otočca, kao i Bikina jama.



Slika 3.2.28. Profili vodomjerenja: 1 - Vivoze-Stara Gacka, 2 – Kameni most, 3 - most Donja Dubrava, 4 – dotok pročišćene vode (nije mjereno), 5 – Bikina jama

Tijekom prvog vodomjerenja otvor zapornice na Vivozama, s kojom se u Sjeverni krak Gacke ispušta voda iz glavnog korita, bio je 30 cm, a tijekom drugog 50 cm.

Protoke su se mjerile (Slika 3.2.29) pomoću standardnog elektromagnetskog hidrometrijskog krila OTT NAUTILUS 184155 (sa brojačem OTT SENA Z300), a obrada podataka vodomjerenja metodom brzina/površina za otvorene kanale (prema normi HRN ISO 748) programom VODOMJERENJA, razvijenomu u okviru hidrološke službe Državnog hidrometeorološkog zavoda.

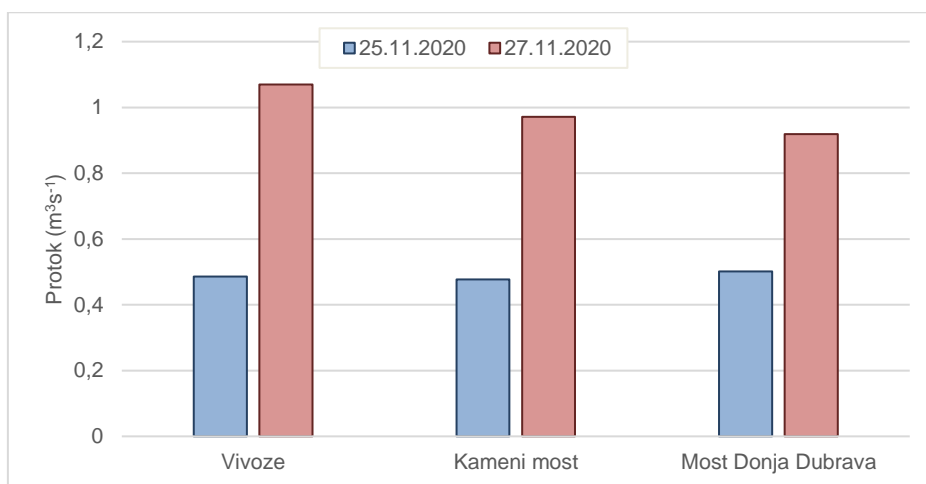


Slika 3.2.29. Mjerenje protoka na Sjevernom kraku Gacke dne 25.11.2020.: a) Vivoze-Stara Gacka, b) Kameni most, c) Most Donja Dubrava

U Tablici 3.2.8 i na Slici 3.2.30 dani su rezultati dvije serije vodomjerenja na tri profila. U tablici su također dani protoci ispuštene vode iz uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda grada Otočca, otvor zapornice i vodostaj na Vivozama i na Kamenom mostu.

Tablica 3.2.8. Rezultati dvije serije vodomjerenja na sjevernom kraku Gacke dne 25. i 27.11.2020.

	25.11.2020	27.11.2020
Protok (m^3s^{-1})		
Vivoze	0,486	1,07
Kameni most	0,477	0,971
Most Donja Dubrava	0,501	0,919
Ispuštanje iz pročišćivača	0,020	0,020
Razlika bilance	-0,005	-0,171
Otvor zapornice (cm)		
Vivoze	30	50
Vodostaj (cm)		
Vivoze	119	113
Kameni most	-53	-36



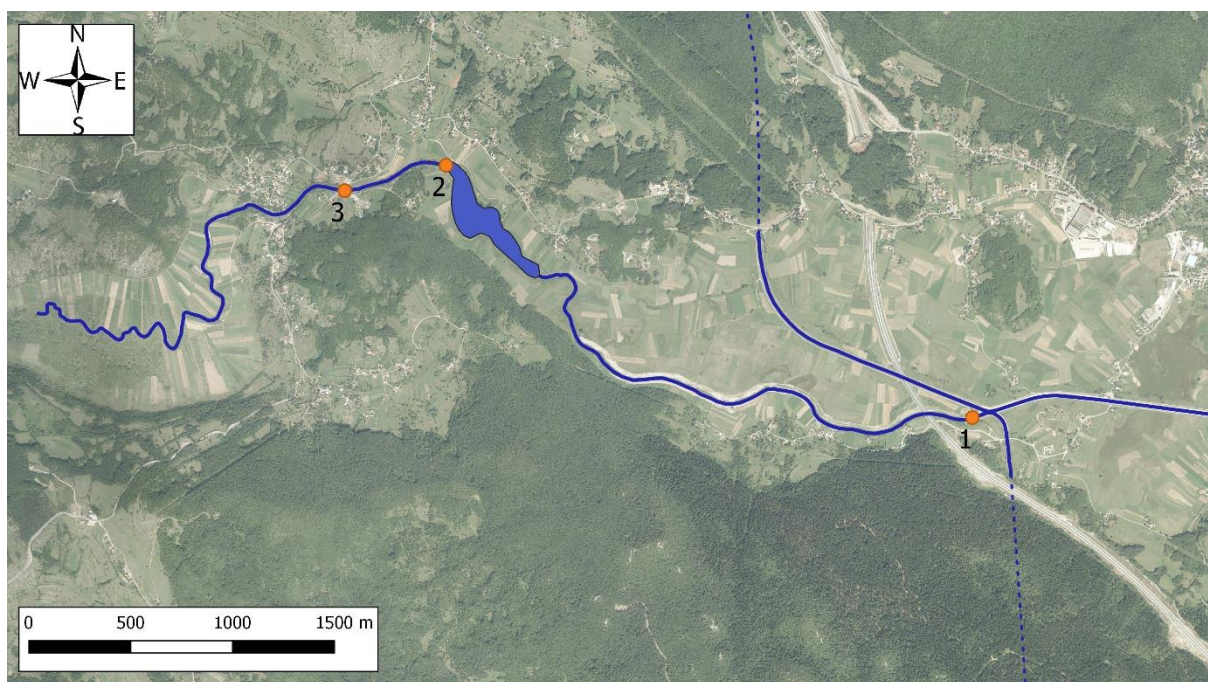
Slika 3.2.30. Rezultati dvije serije vodomjerenja na tri profila Sjevernog kraka Gacke dne 25. i 27.11.2020.

Vidljivo je da je u prvoj seriji na cjelokupnoj analiziranoj dionici iskazan praktički beznačajan gubitak od $0,005 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ koji može biti i posljedica točnosti mjerenja koja se kreće oko 5%. Nešto veći gubici (16% za ukupnu dionicu toka) iskazani su u drugoj seriji vodomjerenja kod dvostruko veće vrijednosti ulaznog protoka kroz zapornicu na Vivozama (ukupno $0,171 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), podjednako raspoređen na dionicu toka između Vivoza i Kamenog mosta ($0,099 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) od koje dio voda otječe prema ponorskoj zoni ispod brda Pakalj, kao i Kamenog mosta i mosta Donja Dubrava ($0,072 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). Kako bi se preciznije utvrdili gubici na analiziranoj dionici toka, potrebno je provesti više serija vodomjerenja, i to na način da se prilikom svake serije vodomjerenja provede nekoliko mjerenja protoka na istom profilu i u istim uvjetima, kako bi se minimalizirala greška vodomjerenja koja se prema preporukama WMO kreće do 5%.

3.2.5 Analiza protjecanja Južnim krakom Gacke nizvodno od Šumečice

Južni krak Gacke nizvodno od čvorišta Šumečica karakteriziraju, nakon izgradnje sustava HE Senj, vrlo rijetke situacije protjecanja voda iz Donjeg Švičkog jezera prema ponorima u Donjoj Švici, odnosno Donjem Švičkom jezeru, gdje je i glavni ponor Perinka. Između Šumečice i Švice je i stalna vodna pojava Gornjeg Švičkog jezera. Nekad je to bilo zamočvareno područja (odatle i toponim Bare za područje sjeverno od Šumečice), ali je prokopom kanala izgrađenim u razdoblju 1843.-1848. voda s područja Gornjeg Švičkog jezera prevedena prema Švici (Kranjčević, 2003), te dalje prema Donjem Švičkom jezeru koje se formira kada su dotoci veći od kapaciteta poniranja. Prokop kanala s Donjeg Švičkog jezera prema Švici je, obzirom na visinske odnose, otvorilo mogućnost i energetskog korištenja voda, te je 1935.g. puštena u pogon HE Švica. Ona je obnovljena 1954.g. kada joj je višestruko povećan kapacitet, a s radom je prestala 1961. zbog promjena tokova vode u sklopu izgradnje HE Senj (Pernar, 2009).

Na karti (Slika 3.2.31) dan je prikaz položaja čvorišta Šumečica s hidrološkom postajom Šumečica i zapornicom prema nastavku Južnog kraka Gacke (Slika 3.2.32), hidrološke postaje Švica most – Gacka te Gornjeg Švičkog jezera (Slika 3.2.33). Prikazan je i položaj izgrađenog praga (Slika 3.2.34) na izlazu iz Gornjeg Švičkog jezera namijenjenog regulaciji razine vode u Gornjem Švičkom jezeru, s kotom preljeva na 445,0 m n.m., a temeljnog ispusta 443,0 m n.m. (Samin d.o.o., 2008).



Slika 3.2.31. Pregledna situacija dionice toka Južnog kraka Gacke nizvodno od čvorišta Šumečica (1 – zapornica i hidrološka postaja Šumečica, 2 – prag na izlazu iz Gornjeg Švičkog jezera, 3 – hidrološka postaja Švica most – Gacka)



Slika 3.2.32. Čvorište Šumečica sa zapornicom prema nastavku Južnog kraka Gacke te hidrološkom postajom Šumečica



Slika 3.2.33. Pogled na Gornje Švičko jezero



Slika 3.2.34. Prag na izlazu iz Gornje Švičkog jezera

Radi se o prostoru iznimnih ambijentalnih vrijednosti, kako samog Gornjeg Švičkog jezera, tako i samog toka Gacke. Zbog preusmjeravanja praktički cjelokupne vodne bilance Gacke prema Gusić polju i sustavu HE Senj, sad se iznimno rijetko aktivira tok i slapovi Gacke prema Donjem Švičkom jezeru (Slika 3.2.35).



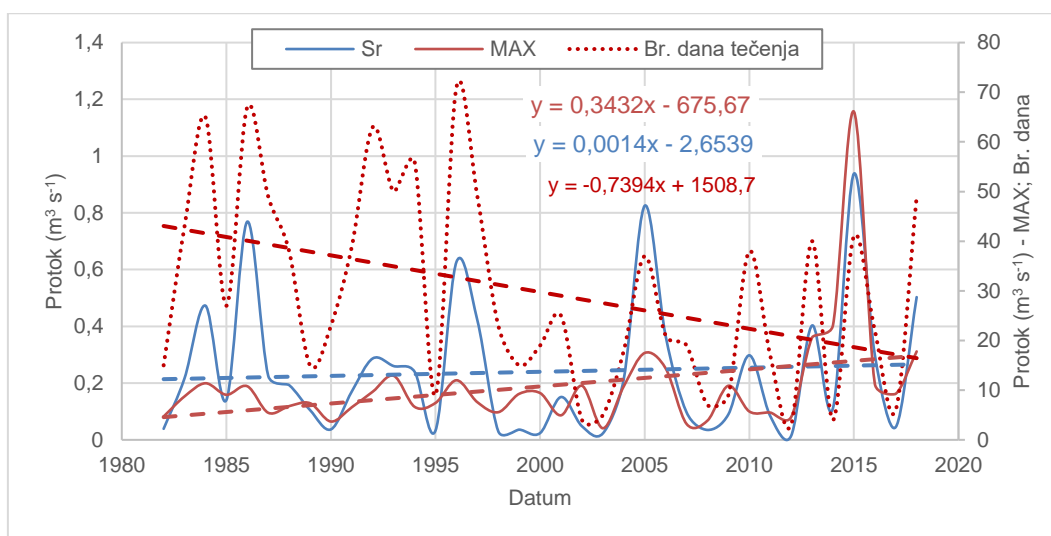
Slika 3.2.35. Slapovi Švice (<http://www.zupa-kompolje.hr/index.php?menu=110&action=476>)

Hidrološka postaja Švica most – Gacka započela s radom 1981.g., i na njoj se registriraju vode Južnog kraka Gacke koje otječu u ponorsku zonu Donjeg Švičkog jezera. U Tablici 3.2.9 dan je prikaz zabilježenih karakterističnih mjesečnih vrijednosti u razdoblju 1982.-2018., a na Slikama 3.2.36 i 3.2.37 dan je prikaz hoda karakterističnih godišnjih vrijednosti, broja dana s pojavom tečenja na toj postaji, kao i

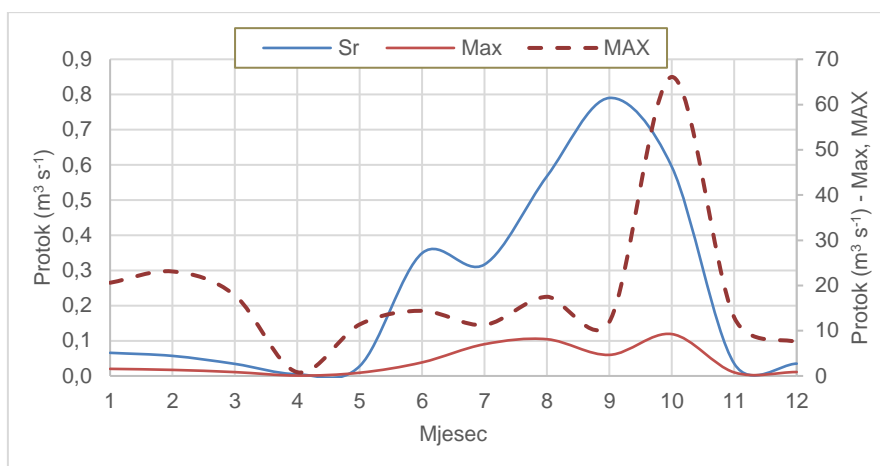
unutar godišnja raspodjela. U tablici i na grafovima nisu dane vrijednosti minimalnih protoka jer one tijekom cijelog promatranog razdoblja iznose nula – nikad nije zabilježen niti jedan mjesec koji bi imao kontinuirano protjecanje prema Švici.

Tablica 3.2.9. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti protoka (m^3s^{-1}) na postaji Švica most - Gacka u razdoblju od 1982. do 2018. godine

ŠVICA MOST - GACKA													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednji protok (m^3s^{-1})													
Sr	0,066	0,057	0,034	0,005	0,028	0,349	0,317	0,568	0,790	0,594	0,035	0,035	0,240
Stdev	0,266	0,246	0,142	0,015	0,125	0,573	1,18	1,58	1,16	1,58	0,133	0,149	0,240
Cv	4,04	4,31	4,15	3,12	4,45	1,64	3,71	2,79	1,46	2,65	3,82	4,26	1,00
Max	1,57	1,34	0,845	0,082	0,710	3,0	7,03	8,12	4,66	9,25	0,777	0,872	0,938
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,014
Maksimalni protok (m^3s^{-1})													
Sr	0,975	0,993	0,688	0,060	0,467	4,07	2,13	1,91	2,55	3,91	1,10	0,489	10,8
Stdev	3,49	4,14	3,03	0,16	2,06	4,78	3,47	3,66	2,87	11,06	3,00	1,51	10,5
Cv	3,58	4,17	4,40	2,65	4,40	1,17	1,63	1,92	1,13	2,83	2,71	3,09	0,98
Max	20,6	23,1	17,8	0,827	11,4	14,4	11,3	17,5	12	66,1	12,9	7,44	66,1
Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,34



Slika 3.2.36. Hod karakterističnih srednjih godišnjih i ekstremnih maksimalnih protoka, te broja dana s pojavom tečenja (1982.-2018.)



Slika 3.2.37. Raspodjela srednjih mjesečnih, srednjih maksimalnih i apsolutnih maksimalnih protoka na postaji Švica most – Gacka u razdoblju od 1982. do 2018. godine

Srednji godišnji protok na postaji Švica most iznosi $0,240 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, s prisutnim vrlo značajnim varijacijama u veličini srednjeg godišnjeg protoka između $0,014$ (sušne 2012. godine) i $0,938 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (2015. g.). Najveći zabilježeni protok iznosio je $66,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a zabilježen je u listopadu 2015, kada je na Vivozama izmjeren protok od oko $107 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Sa Slike 3.2.36 vidljivo je prisutan trend povećanja srednjih i apsolutnih maksimalnih protoka, razlog čega je veliki vodni val iz 2015.g., dok je kod broja dana s pojavom tečenja prisutan izražen trend smanjenja od čak 73 dana/100 god. Maksimalan broj dana u godini (71 dan) s pojavom tečenja je bilo 1996. godine, dok je minimalan od svega 3 dana bilo iznimno sušne 2012. godine. No, osim 2012., tijekom još 7 godina, je bila pojava tečenja manja od 10 dana u godini. Kada bi se gledalo cijelo promatrano razdoblje, svega oko 8% dana prisutno je tečenje na hidrološkoj postaji.

Hod srednjih mjesečnih protoka pokazuje da su maksimalne srednje mjesečne protoke u rujnu, a minimalne u travnju. Razlog toj neuobičajenoj raspodjeli protoka je okolnost da se ne radi o prirodnom režimu otjecanja, već o vodotoku koji je vezan isključivo na rad energetskog sustava HE Senj, a koji u pravilu kontrolu svojih hidrotehničkih objekata i opreme provodi tijekom razdoblja malih voda. Vrijeme provođenja kontrole hidrotehničkih gubitaka tj. remont i sanacija objekata se uobičajeno provode u ovisnosti o energetskim potrebama (ili energetskim gubicima), u ovisnosti o visini vodostaja (kako bi se smanjio rizik pojave plavljenja) te u ovisnosti o potrebama vodoopskrbe na Hrmatinama (nakon što prođe ljetna vršna potrošnja).

3.3 HIDROLOŠKI ELEMENTI OCJENE EKOLOŠKI PRIHVATLJIVA PROTOKA (EPP)

3.3.1 Općenito o ekološki prihvatljivim protocima i stanju njihove ocjene u slivovima Like i Gacke

U suvremenim koncepcijama integralnog gospodarenja, primjereno gospodarenje vodnim resursima podrazumijeva takav vid gospodarenja koji respektira i njihove prirodne ekološke značajke i funkciju, odnosno ekološko okruženje vezano uz neki resurs. Ekosustav je biološki i funkcionalni sustav ili cjelina koja omogućuje održavanje života i uključuje sve biološke i ne-biološke varijable u toj cjelini (Jørgensen i Bendoricchio, 2001). Pri tome je jedna od presudnih varijabli hidrološka komponenta. Pri vodnogospodarskim sagledavanjima mogućnosti korištenja nekog vodnog resursa (primjerice za vodoopskrbu, hidroenergetiku, navodnjavanje,...), nužno je sagledavati i ekološku komponentu. Ta je komponenta dominantna pri donošenju konačnih odluka. Očekivane promjene vodnog režima nekog vodnog resursa inicijalno se sagledavaju preko definiranja, odnosno potrebe osiguravanja tzv. ekološki prihvatljiva protoka (EPP). Pri tome upravo hidrološki pokazatelji uglavnom predstavljaju polaznu osnovu. Dosadašnja praksa je bila drugačija, prioritetno se je gledalo da se zadovolje zahtjevi korisnika koji su zahvaćali vodu iz nekog resursa, zbog čega prilikom recentnih ocjenjivanja stanja voda u vodotocima vrlo često vodotoci na kojima postoje takvi zahvati nemaju dobro stanje voda.

Prema Bonacciju (2003), vodu iz otvorenih vodotoka čovjek koristi najduže vremena i u najvećem iznosu vodeći prvenstveno brigu o zadovoljenju svojih potreba. No, u objektivnoj situaciji nemogućnosti njihova cjelokupnog vraćanja u prirodno stanje, nužno je osigurati kompromisna rješenja koja neće voditi k daljnjoj degradaciji prirodnih vodnih sustava. Takvim bi se rješenjima i pripadajućim vodnogospodarskim upravljačkim aktivnostima trebalo osigurati zadovoljavanje određenih iskazanih potreba za vodom na način i uz ograničenja kojima bi se istovremeno omogućio i opstanak, ili pak u situacijama prisutnih degradirajućih rješenja i povratak prirodnih funkcija nizvodnijeg vodnog sustava. Takva situacija dovela je do stvaranja posebnih metoda i modela koji na razne načine, koristeći različite kriterije i mjerila, pokušavaju za potrebe ekologije i zaštite okoliša tretirati problematiku upravljanja vodama otvorenih vodotoka. Različiti razlozi i različite vrste, ali i primjena različitih metoda, zahtijevaju i različite protoke potrebne okolišu. Najčešće se radi o protocima vezanim uz stanja malih voda, odnosno o potrebi nametanja nekih karakterističnih pokazatelja malih voda kao ograničavajućeg faktora pretjeranoj eksploataciji vodnih resursa.

Nova Uredba o standardu kakvoće voda (NN 96/19) u svom članku 22. navodi da Ekološki prihvatljiv protok (EPP) osigurava hidrološki režim koji je usklađen s postizanjem okolišnih ciljeva iz članka 46. Zakona o vodama u tijelima površinskih voda osim umjetnih i znatno promijenjenih vodnih tijela, te da će se metodologija za određivanje ekološki prihvatljivog protoka temeljiti na kriterijima za postizanje dobrog stanja voda propisanim spomenutom Uredbom. No, unatoč najavi da će se Hrvatske vode objaviti tekst te metodologije na mrežnim stranicama Ministarstva i Hrvatskih voda u roku od 12 mjeseci od dana stupanja na snagu spomenute uredbe, to još nije provedeno. Stoga se u ovom poglavlju ne mogu respektirati neki obvezujući recentni elementi hidrološke komponente pri određivanju ekološki prihvatljivog protoka kad isti još nisu niti predloženi. Prilog 2 spomenute Odluke spominje elemente ocjene

ekološkog stanja jezera, među kojima je i hidrološki režim (količina i dinamika vodnoga toka, vrijeme zadržavanja, veza s podzemnim vodama), ali detaljnijeg tumačenja načina provedbe takvih ocjena i kriterija njihova vrednovanja.

U europskom zakonodavstvu Europska je komisija razmatrala problematiku ekološki (prihvatljivih) protoka, te je u tom smislu donesen vodič br. 31 Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive (EU Comission, 2015). U njemu navodi da postoje brojne metode za njegovo određivanje, ali se ne daju neke konkretne sugestije za neke određene i potpuno definirane postupke primjene hidroloških procjena. Težište je na preporukama za identifikaciju pritisaka i monitoring stanja kako hidroloških prilika, tako i drugih značajki voda, na područjima gdje se očekuje porast pritisaka uslijed zahvaćanja vode za njihovo korištenje.

No, EPP je važećim Planom upravljanja vodnim područjima 2016.-2021. (NN 55/2016) eksplicitno naveden kao jedna od važnih mjera smanjenja hidromorfoloških utjecaja za nove zahvate/opterećenja. U danom slučaju za spomenutu mjeru „Osigurati povoljni režim protoka (ekološki prihvatljiv protok) u vodotocima“, navodi se da je područje njezine primjene vodna tijela površinskih voda na područjima namijenjenim zaštiti staništa ili vrsta gdje je održavanje ili poboljšanje stanja voda bitan element njihove zaštite. Navodi se i da je za njezinu provedbu nadležan korisnik. Stoga neovisno o tome što na području Hrvatske ne postoje neki propisani metodološki pristup za procjenu EPP-a, očito je da se o potrebi osiguranja EPP mora voditi računa, i stoga su u nastavku dani neki elementi mogućih orijentacijskih hidroloških procjena, temeljenih na dosadašnjoj praksi u Hrvatskoj, temeljem kojih je i potreba osiguranja EPP navedena u spomenutom recentnom Planu upravljanja.

Na području slivova Like i Gacke, koliko je nositeljima predmetnog zadatka poznato, unatoč više zahvata voda za različite korisnike (vodoopskrba, energetika, ribnjačarstvo, punionice vode) postoje samo obveza HEP-a za osiguranjem tzv. biološkog minimuma kako se nekad definirao EPP. Prema vodoprivrednoj dozvoli iz 1988., propisana je obaveza ispuštanja voda iz glavnog toka Gacke u njen Sjeverni krak na čvorištu Vivoze s količinom od 150 L/s u dva dnevna vodna vala od po 10 minuta, za održavanje kakvoće njenih voda. No, 1989. godine, zbog pojednostavljene manipulacije, sporazumno elektroprivrede s Općinskom skupštinom Otočac, zapornica je stalno podignuta i njome se ovisno o nivou u Gackoj, prevodi u sjeverni krak cca 200-300 l/s (Vovoprivreda RO Rijeka, 1989). Uz to, propisano je i ispuštanje dva puta dnevno po 150 L/s u Južni krak Gacke iz čvorišta Šumečica.

Iz rezultata praćenja protoka na hidrološkoj postaji Otočac – Gacka (analiziranim u točki 3.2.4 ovog elaborata), vidljivo je da HEP u prosjeku, kao i većim dijelom godine ispušta i značajnije veće količine voda od propisanih (višegodišnji prosjek oko 500 L/s), ali da se tijekom sušnih hidroloških prilika na toj postaji bilježe i manje količine od spomenutih 150 L/s. S obzirom da nema hidrološke kontrole ispuštenih količina voda iz čvorišta Šumečica, odnosno nema hidrološke postaje koja bi kontrolirala spomenuta ispuštanja, ne može se ocijeniti u kojoj se mjeri provode davno iskazane obaveze. Postaja Švica most – Gacka je previše udaljena od čvorišta Šumečica da bi mogla bilježiti tako male količine voda koje i ne doteku do nje, već se na njoj zapažaju samo protoci koji se javljaju kao posljedica propuštanja značajnijih količina voda prema Južnom kraku.

No, s obzirom na stanje kakvoće voda u Sjevernom kraku Gacke, koja je u pogledu nekih fizikalno-kemijskih elemenata kao i ekoloških značajki klasificirana s umjerenim stanjem, kao i okolnost da se tijekom sušnih razdoblja razine vode u Gornjem Švičkom jezeru spuštaju ispod kritičnih granica za opstojnost ekosustava koji

je ovisan o tim rezervama voda, sigurno je da će se morati preispitati nekad dane obveze osiguranja biološkog minimuma, odnosno EPP. Takva preispitivanja su i predviđena spomenutim smjernicama Europske komisije (EU Commission, 2015) prema kojima su predviđene dvije vrste monitoringa, kratkoročni i dugoročni, pa ako nema promjene kratkoročno, preporučuje se preispitivanje i adaptacija ekološkog protoka dok se ne nađe dugoročno rješenje.

3.3.2 Metodologija procjene ekološki prihvatljivog protoka

Određivanje ekološki prihvatljivog protoka (EPP) je obično vrlo zahtjevan zadatak iz razloga što postoji niz pristupa za njegovo određivanje, ali nažalost u Hrvatskoj još uvijek bez postojanja i nekog obvezujućeg propisa koji bi regulirao tu problematiku.

U Hrvatskoj se do pred desetak godina uglavnom isključivo koristio termin biološki minimum dok se u svijetu koristi nekoliko termina od kojih danas prevladava ekološki prihvatljiv protok (u daljnjem tekstu EPP), koji se u terminološkom smislu udomaćio i u Hrvatskoj. U tom smislu dobro terminološko obrazloženje dali su Mišetić i drugi (2003). Oni ističu da je osnovno načelo pri ocjeni EPP nužnost da zadržani dotok nizvodno od vodozahvata, nakon što se zadovolje sve potrebe za vodom, treba biti dostatan za održavanje autohtonih cenoza matičnog vodotoka. Budući da se takav zadržani dotok temelji na uvažavanju hidrauličkih, hidroloških i biološko-ekoloških značajki vodotoka, zatim gospodarstva i prostorno-planske dokumentacije, njegovom definiranju treba pristupiti tako da se uvažavaju prisutni gradijenti fizikalno-kemijskih i bioloških varijabli od izvorišta do ušća, te prirodne i društvene značajke slivnog područja. Zbog toga autori smatraju da je prikladniji naziv za zadržani dotok „ekološki prihvatljiv protok“ nego li „biološki minimum“.

Pri određivanju EPP uz parametar protoke i uz nju vezanih također hidroloških svojstava vode u koritu (razina vode, brzina, svojstva nanosa), pri definiranju EPP ravnopravno figuriraju i fizikalno – kemijska svojstva, kao i odabrana biološka svojstva vodnih sustava. Uz to, nastoji se respektirati i prisutnost sezonskih različitosti analiziranih parametara tijekom godine. Takav pristup, odnosno stav da EPP za određenu dionicu otvorenog vodotoka ne treba nužno biti definiran kao jedna vrijednost minimalnog protoka koja važi tijekom cijele godine iskazan je i u nekim ranije datiranim domaćim radovima (Bonacci i Roje-Bonacci, 1997 a i b). Često se radi o nizu različitih protoka koje treba ispuštati tijekom različitih sezona godine. Oni mogu biti vezani sa svojstvima lokalne klime ili društvenim zahtjevima, a najčešće su povezani sa životnim stadijima izabranih bioindikatorskih vrsta.

U nastavku razmatranja, u okviru predmetnog poglavlja, dan je pregled i osvrt na hidrološke aspekte nekih od metoda određivanja EPP-a koje se, za vodotoke kakvi su između ostalog i na slivova Like i Gacke, koriste u svijetu i u Hrvatskoj. U tom kontekstu treba gledati i koncentrirane dotoke koje takvi vodotoci primaju od izvora u svom slivu. Prikazani su karakteristični hidrološki pokazatelji koji figuriraju u tim metodama, a čija je moguća primjena od strane pojedinih autora razmatrana i preporučivana i za područje Hrvatske (Mišetić, 1995; Bonacci, 2003; Mišetić i drugi, 2003; Mišetić i Pavlin, 2004).

Takozvani brzi i približni postupci kako ih definira Bonacci (2003), odnosno jednostavne metode kako ih definira Mišetić u studiji Elektroprojekta (2000b), a koje uključuju i po Bonacciju posebno specificiranu grupu metoda s metodama detaljnije

analize jednog parametra, postupci su koji su zasnovani na iskustvenim načelima. Radi se o postupcima nastalim u pionirskom razdoblju određivanja EPP-a. Prema formulaciji iz spomenute studije Elektroprojekta (2000b), radi ograničenog broja podataka na kojima se baziraju vrijednosti protoka, protoke definirane ovim metodama više odgovaraju načelima ranije korištenog termina „biološki minimum“ nego terminu „ekološki prihvatljiv protok (EPP)“, odnosno protok koji osigurava održavanje biološke ravnoteže u matičnom vodotoku nizvodno od vodozahvata do ušća prve veće pritoke ili prijamnika njihovih voda.

Ishodište tih metoda nalazi se u mjerenim hidrološkim podlogama. Prihvatljivi su i često korišteni zbog toga što ne traže previše podataka i dugotrajan rad. Neophodno je raspolagati s hidrološkim podlogama o malim i srednjim protocima. U grubo je potrebno poznavati geometriju i morfologiju dijela vodotoka za koji se određuje EPP, kao i opće ekološko i ostalo stanje na razmatranom potezu. Ovi postupci često predstavljaju samo preliminarni dio analize na koji se nastavljaju daljnja istraživanja potrebna za donošenje konačnih odluka. U tom su smislu išli i prijedlozi načina određivanja EPP u Hrvatskoj, dani u radu Mišetića i Pavlina (2004). U tom su radu dane metodološke preporuke vezane uz tip vodotoka (vodotoci strmih ili razvedenih obala) kao i raspoloživost primjerenih hidroloških podataka (ili njihov nedostatak).

Prema Mišetiću i Pavlinu (2004) predložen je interesantan i za dane prilike u Hrvatskoj vrlo pogodan pristup za određivanje EPP. Dok se ne steknu uvjeti za primjenu složenih metoda i/ili metoda biološkog odgovora, predložen je i razrađen jedan kompromisan metodološki pristup. Prema tom pristupu, najprije se, koristeći jednostavne metode temeljene na hidrološkoj komponenti pri određivanju veličine EPP, definira vrijednost potrebnog „zadržanog dotoka“ (biološkog minimuma). Nakon toga se tako dobiven podatak podvrgava daljnjoj analizi uvođenjem ekoloških parametara, odnosno provjeri da li postoji potrebna prostorna i vremenska dinamika ekoloških uvjeta potrebnih za očuvanje autohtonih zajednica, osiguranja životnih uvjeta karakterističnih vrsta riba kao njihovih bioindikatora. U spomenutom je radu preporučeno, i u ovom dokumentu primijenjeno, pristup pri korištenju jednostavnijih metoda za definiranje granične vrijednosti „biološkog minimuma“, odnosno zadržanog dotoka (QE) kao osnove za definiranje EPP.

Osim prethodno spomenutog pristupa, kontekstu šireg prikaza najčešće korištenih jednostavnih metoda i postupaka mogu se izdvojiti još i neki drugi pristupi kao npr. metoda ograničenog korištenja voda vodotoka, koja se uz ograničenje da najmanja dubina vode na dijelu vodotoka nakon vodozahvata mora biti 20 cm, temelji na prestanku korištenja voda kad se protok vode smanji na 50 L/s u manjim vodotocima, odnosno na 100 L/s u većim vodotocima.

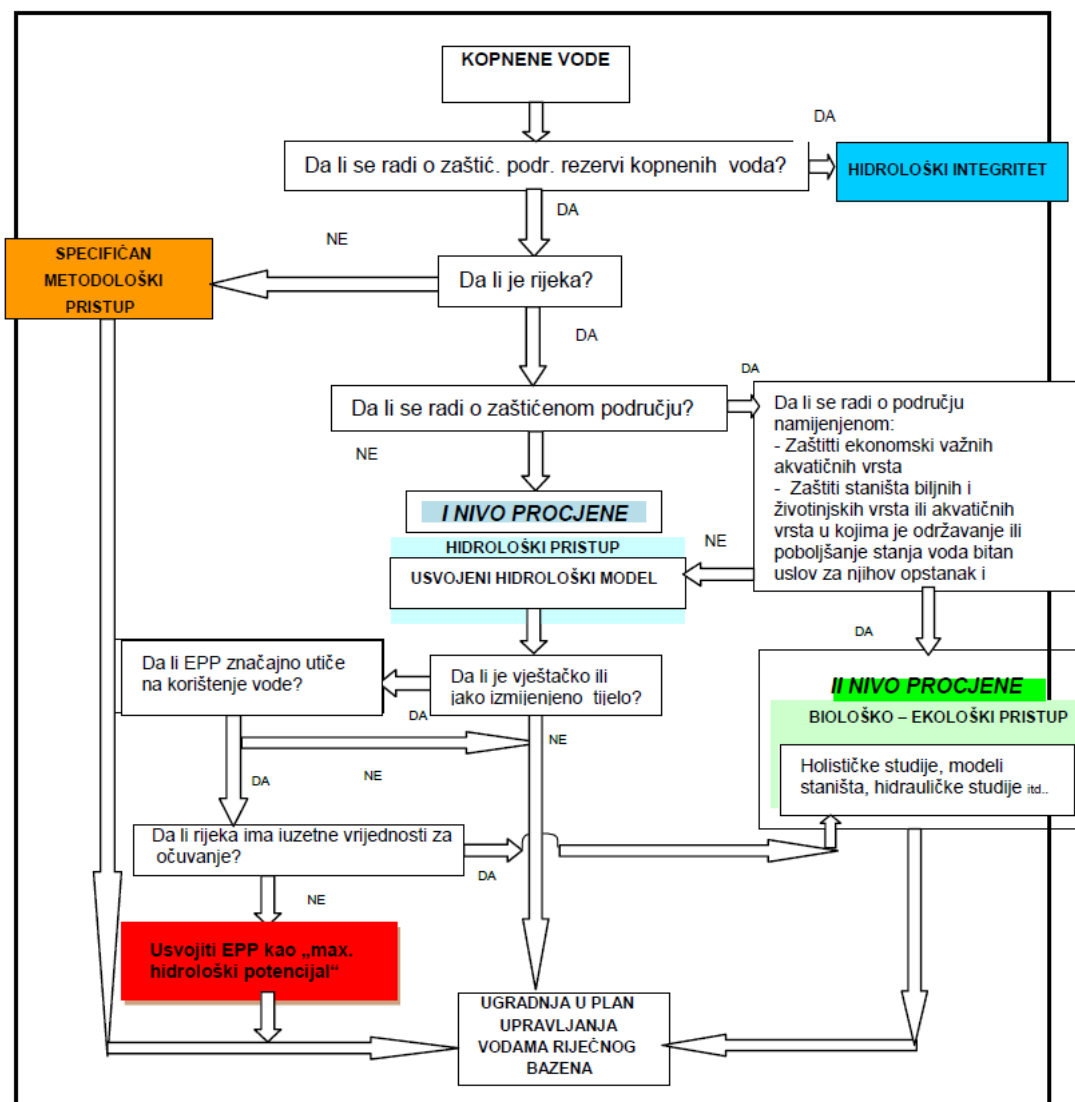
Problematikom određivanja ekološki prihvatljiva protoka bavi se i Žugaj (2015) koji pri tome koristi termin „biološkog minimuma“ odnosno „dotoka koji se mora zadržati u vodotoku“, te koji daje pregled kriterija koji se koriste u 15 europskih država kod ocjena takve kritične vrijednosti dotoka pri projektiranju malih hidroelektrana. U tim slučajevima se u praksi primjenjuju stroži kriteriji u odnosu na zahvaćanje voda za potrebe vodoopskrbe. Autor stoga nalazi opravdanje da se i u Hrvatskoj pri ocjenama EPP koristi hidrološki pristup, barem kao orijentaciju u donošenju odluke o njegovoj veličini. Među takvim hidrološkim pristupima zbog svoje pogodnosti posebno izdvaja Mattheyevu formulu koja se koristi kad su raspoloživi višegodišnji nizovi podataka hidroloških mjerenja i opažanja.

Spomenuti pristup, prema kojemu se preporučuje Mattheyeva formula (uz napomenu da se koristi za vodotoke ili dijelove vodotoka izrazito strmih obala), dan je

i u radu Mišetića i Pavlina (2004). Polazište mu čine karakteristične hidrološke značajke vodotoka, a navodi se i da je za definiranje EPP u matičnom vodotoku nizvodno od vodozahvata do restitucije, osim hidroloških podataka i obrada, potrebno poznavati i niz drugih morfoloških, bioloških, kao i značajki kakvoće voda. Ističe se i da, budući da je zadržani dotok vode u vodotoku nizvodno od vodozahvata definiran hidrološkim metodama u većini slučajeva nedostatan za održavanje prirodne biološke raznolikosti matičnih vodotoka jer ne uzima u obzir bio-ekološke značajke vodotoka i njegova zaobalja, ovako dobivene vrijednosti treba podvrgnuti daljnjoj analizi uvođenjem ekoloških parametara. Autori predlažu da se hidrološkim metodama definirana početna vrijednost biološkog minimuma provjeri hidrauličkim proračunom. Takvim hidrauličkim proračunom provjerava se dostatnost hidroloških uvjeta za odvijanje potrebne prostorne i vremenske dinamike osnovnih ekoloških parametara nizvodno od vodozahvata nužnih za osiguranje životnih uvjeta karakterističnih vrsta riba. Spomenutim hidrauličkim računom provjerava se dubina i brzina vode, te prekrivenost korita vodom na karakterističnim poprečnim presjecima dijelova vodotoka koje osigurava zadržani dotok definiran hidrološkim metodama.

Vezano uz hidrološke elemente ocjene EPP, za istaknuti je i ograničenja u pogledu ukupnog godišnjeg korištenja vodnih resursa. Bonacci i Roje-Bonacci (1997a, 1997b) ističu da se iz vodotoka tijekom godine ne bi trebalo oduzimati više od 30% njegove vodne mase.

Interesantan i pragmatičan je pristup procjeni EPP koji se primjenjuje u susjednoj Bosni i Hercegovini, dijelom zasnovan na realizaciji projekta „Živjeti Neretvu“, koji je financiran od strane norveške vlade i provođen u suradnji WWF-om iz Norveške i stručnjacima iz EU (Slika 3.3.1), a koji je ugrađen i u Pravilnik o načinu određivanja ekološki prihvatljivog protoka (SN FBiH 4/2013). Po tom pravilniku procedura određivanja EPP sastoji se iz dvije razine procjene: I – opća procjena EPP za sva vodna tijela primjenom hidrološke metode dane predmetnim pravilnikom, te II – posebna procjena EPP za vodna tijela u zaštićenim područjima, kao i za područja koja nisu proglašena zaštićenim, a koja imaju izuzetne vrijednosti za očuvanje (prisustvo ugroženih staništa ili vrsta, povijesno-kulturološke ili ambijentalne vrijednosti i sl.), u kojim slučajevima se EPP utvrđuje korištenjem bioloških i ekoloških kriterija, kao dodatak hidrološkoj metodi.



Slika 3.3.1. Okvirna metodološka shema procjene EPP u Federaciji BiH (SN FBiH 4/2013)

Pragmatičnost ovog pravilnika, osim u prilično jednostavnom i dobro razrađenom metodološkom pristupu određivanja EPP, posebno u kontekstu hidrološkog pristupa, ogleda se i u tome da se u jednom posebnom članku navodi i izuzetak, odnosno da se odredbe ovog pravilnika ne primjenjuju u slučaju kada se radi o zahvaćanju vode za vodoopskrbu stanovništva i kada se ne mogu ispuniti zahtjevi za EPP propisani ovim pravilnikom. U tom se slučaju primjenjuje odredba Zakona o vodama Federacije BiH prema kojoj se ekološki prihvatljiv protok definira kao „minimalni srednji mjesečni protok 95% vjerojatnosti pojave“.

Spomenuti Pravilnikom je regulirano da se u situacijama kada je prirodni protok na mjestu zahvata manji od proračunatog EPP, za EPP uzima vrijednost prirodnog protoka na mjestu vodozahvata, te u toj situaciji nosilac prava iz vodnog akta ne smije zahvaćati vodu. To je važna odredba jer se vrlo često definirana vrijednost EPP poistovjećuje s konstantnom vrijednošću koju bi korisnik zahvata trebao konstantno ispuštati u vodotok, čak i u slučajevima kada su prirodni dotoci manji od definirane vrijednosti EPP.

U točki 3.3.2 ovog dokumenta procjena hidroloških elemenata EPP za ključne točke rijeke Gacke provedena je na temelju metodoloških postupaka koji se temelje na raspoloživim dostatnim hidrološkim podacima. Uspoređene su metode za procjenu EPP literaturno preporučene za primjenu u Hrvatskoj (Mišetić, 1995; Bonacci i Roje-Bonacci 1997a i 1997b; Bonacci, 2003; Mišetić i Pavlin, 2004; Žugaj, 2015):

a) za vodotoke izrazito strmih obala - primjena Matthey-evih formula (Mišetić i Pavlin, 2004), no kako analizirani tog Gacke nemaju takve značajke obala, ista nije detaljnije obrazlagana.

b) za vodotoke umjereno strmih obala i vodotoke razvedenih obala od hidroloških metoda preporučeno je da se koristi (Mišetić i Pavlin, 2004):

- metoda po kojoj se biološki minimum (EPP) definira kao prosječni minimalni godišnji protok određen kao aritmetička sredina godišnjih apsolutnih minimalnih zabilježenih protoka u promatranom razdoblju

$$Q_E = Q_{MIN(SR)}$$

c) alarmantna granična vrijednost EPP-a Q_E

Radi se o, po Bonacciju (2003), najnižoj trenutačnoj vrijednosti protoka ispod koje se ne smije ići:

$$Q_E = 0.2Q_{80\%}$$

pri čemu je $Q_{80\%}$ protok 80% trajanja na srednjoj krivulji trajanja.

d) Kriterij ograničenja u pogledu ukupnog godišnjeg korištenja vodnih resursa - prema Bonacciju i Roje-Bonacci (1997a, 1997b)

Vezano uz hidrološke elemente ocjene EPP, za istaknuti je i ograničenja u pogledu ukupnog godišnjeg korištenja vodnih resursa. Bonacci i Roje-Bonacci (1997a, 1997b) ističu da se iz vodotoka tijekom godine ne bi trebalo oduzimati više od 30% njegove vodne mase. To bi se vjerojatno trebalo odnositi i na vodotoke kao što je rijeka Gacka obzirom da se radi o vrlo vrijednom i osjetljivom prirodnom eko-sustavu. No s obzirom da se radi o ponornici, kao i okolnost da su vode Gacke uključene u hidroenergetski sustav HE Senj još od sredine šezdesetih prošlog stoljeća, te da se već praktički koristi njena cjelokupna vodna bilanca, a od nadležnih tijela tijekom nekoliko proteklih godina zaduženih za okoliš odobrena je i dogradnja višenamjenskog hidroenergetskog sustava i izgradnja nove HE Senj, spomenuti se kriterij neće razmatrati.

Prema iznesenom, u okviru predmetnog dokumenta moguće je za vodne pojave unutar analiziranog područja analizirati dva hidrološka pokazatelja/kriterija za procjenu hidroloških elemenata EPP. Radi se o elementarnim kriterijima koji se značajno razlikuju što je i razumljivo - dok se kriterij EPP za vodotoke razvedenih obala koristi u uobičajenim hidrološkim prilikama, kriterij alarmantne granične vrijednosti EPP puno je stroži i koristi se samo u vrlo rijetkim situacijama, s malom vjerojatnošću pojave. Takve situacije su kritične ne samo kad su kritično sušne hidrološke prilike u koritu toka nizvodno od zahvata, nego je moguće da kritične situacije budu i one kada je zbog dugotrajnih suša, iznenadnih onečišćenja ili slično, kritična i situacija s osiguranjem vode za potrebe vodoopskrbe. Prema Smjernicama za izradu Procjene

rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj (Državna uprava za zaštitu i spašavanje, 2014), prirodne katastrofe u koje spadaju i suše, s malom vjerojatnošću pojave su one čija je vjerojatnost pojave 1-5%, a iznimno malom vjerojatnošću pojave ukoliko je njihova vjerojatnost manja od 1%. Kako u sklopu ocjene kriterija alarmantne granične vrijednosti protoka nije pridružena i pripadajuća vjerojatnost pojave kod koje se umjesto uobičajene vrijednosti definiranog EPP može koristiti kriterij alarmantne granične vrijednosti EPP-a, za pretpostaviti je da bi se pod situacije s pojavom naglašenih sušnih prilika tijekom kojih je moguća primjena kriterija alarmantne granične vrijednosti EPP mogle smatrati one čija je vjerojatnost pojave manja od 5%, odnosno čiji je povratni period manji od jednom u 20 godina.

Očekuje se da će Hrvatske vode, u cilju osiguranja okolišnih ciljeva iz članka 46. Zakona o vodama u tijelima površinskih voda, osim umjetnih i jako izmijenjenih, analogno donesenoj Metodologiji monitoringa i ocjenjivanja hidromorfoloških pokazatelja (Hrvatske vode, 2016) donijeti i Metodologiju za definiranje ekološki prihvatljivog protoka. No, do tog vremena i osiguranja podloga za definiranje istog, nužno je pri ocjenama stanja i mogućnosti zahvaćanja voda koristiti stručna saznanja i metodologije koje imaju dulju primjenu na našim regionalnim prostorima.

3.3.3 Procjena hidroloških elemenata EPP za ključne točke hidrografske mreže s raspoloživim nizovima hidroloških podataka

Procjena hidroloških elemenata EPP za odabrane profile na hidrografskoj mreži Like i Gacke provedena je korištenjem polaznog kriterija za vodotoke razvedenih obala kakve imaju dolinski dijelovi njihovih tokova koji su i analizirani u danom dokumentu, kao i kriterija za ocjenu alarmantne granične vrijednosti EPP-a „ Q_E “.

Koristeći rezultate proračuna iz provedenih analiza trajnosti dnevnih protoka, kao i karakterističnih pokazatelja mjesečnih pojava minimalnih protoka (Točka 3.1.5), rezultati provedenih proračuna dani su u Tablici 3.3.1.

Tablica 3.3.1. Rezultati procjene EPP-a za odabrane profile hidroloških postaja na slivovima Like i Gacke

Profil/hidrološka postaja	Polazna vrijednost EPP $Q_E = Q_{MIN(SR)}$ (m^3s^{-1})	Alarmantna granična vrijednost EPP $Q_E = 0.2Q_{80\%}$	
		$Q_{80\%}$ (m^3s^{-1})	Q_E (m^3s^{-1})
Sliv Gacke			
Izvor Gacke – Tonkovića vrilo	1,87	2,5	0,500
Podgora - Gacka	4,24	6,7	1,34
Vivoze - Gacka	3,85	6,3	1,26
Sliv Like			
Bilaj - Lika	0,107	0,6	0,120
Krušćica – Lika	0,191	1,4	0,280
Lički Novi - Novčica	0,060	0,26	0,052
Barlete - Jadova	0,020*	0,005*	0,001*
Kolakovica - Bogdanica	0,059*	0,13*	0,026*

* Prema danim preporukama Bonaccija (2003), najmanja vrijednost EPP kod vodotoka je $0,050 m^3s^{-1}$.

Ukoliko se kao kritične vrijednosti odaberu niže od proračunatih vrijednosti EPP po primijenjena dva kriterija, te usporede s karakterističnim zabilježenim malim vodama (najmanjim srednjim mjesečnim protokom te apsolutnim zabilježenim minimumom), kao i u poglavlju 3.1.5 proračunatim vjerojatnostima pojave spomenutih pokazatelja malih voda za odabrane vjerojatnosti 2, 20 i 100-godišnjeg povratnog perioda, dobije se zanimljiva usporedba, prikazana u Tablici 3.3.2.

Tablica 3.3.2. Usporedni prikaz proračunatih kritičnih vrijednosti EPP, te zabilježenih i proračunatih vrijednosti odabranih pokazatelja malih voda

Profil/hidrološka postaja	Kritična vrijednost EPP (m^3s^{-1})	Zabilježeni ekstremi (m^3s^{-1})		Proračunate vjerojatnosti pojave najmanjeg sr. mj. protoka (m^3s^{-1})			Proračunate vjerojatnosti pojave min. god. protoka (m^3s^{-1})		
		Najmanji sr. mjes. protok	Apsolutni minimum	2-god	20 - god	100-god	2-god	20 - god	100-god
Sliv Gacke									
Izvor Gacke – Tonkovića vrilo	0,500	0,85	0,73	2,15	1,32	1,02	1,89	0,984	0,623
Podgora - Gacka	1,34	2,21	2,14	5,67	2,70	1,74	3,76	2,42	2,11
Vivoze - Gacka	1,26	2,08	1,58	4,76	2,72	2,17	3,59	1,84	1,33
Sliv Like									
Krušćica – Lika	0,191	0	0	0,533	0	0	0,058	0	0

Za napomenuti je da je u danim proračunatim vrijednostima na profilima rijeke Gacke sadržano i već postojeće korištenje voda na tom izvoru s maksimalno instaliranim kapacitetom od 145 L/s, iz razloga što se monitoringom na tom izvoru bilježe samo preljevne količine voda, a ne i crpljenja. Vidljivo je da su dane procjene vrijednosti EPP uglavnom veće od ne samo zabilježenim apsolutnih minimuma, nego i od najmanjih srednjih mjesečnih protoka. Uvjetno rečeno slobodni dodatni kapaciteti za zahvaćanje voda (ukoliko biolozi procijene da su dani hidrološki kriteriji dostatni za zadovoljenje potreba ekosustava) su razlike između izdašnosti izvora određene vjerojatnosti pojave/povratnog perioda javljanja i vrijednosti EPP-a.

Na izvoru Gacke bi to kod relativno učestale pojave malih voda 2-godišnjeg povratnog perioda bilo oko $1,39 m^3s^{-1}$, kod 20-godišnjeg $0,484 m^3s^{-1}$, a kod 100-godišnjeg svega $0,123 m^3s^{-1}$. No, takvo oduzimanje voda na samom izvorištu (gdje je postojeći zahvat), bitno bi osiromašilo vode Gacke duž njenog toka, i ugrozilo osiguranje EPP na njenom srednjem dijelu toka gdje se istina prihvaćaju vode svih nizvodnijih izvora, ali tijekom sušnih razdoblja javljaju i izraziti gubici. Tijekom sušnih razdoblja, ti gubici značajno premašuju priraste protoka koji se generiraju na analiziranoj dionici. Kako je na profilu Vivoze proračunati minimalni protok 20-godišnjeg povratnog perioda $1,84 m^3s^{-1}$, spomenuto potencijalno korištenje slobodnih kapaciteta toga izvora od $0,484 m^3s^{-1}$, smanjilo bi protok Gacke na $1,36 m^3s^{-1}$, koliko je praktički i procijenjena kritična vrijednost EPP-a na tom profilu od $1,26 m^3s^{-1}$. No za sve druge rjeđe pojave malih voda, takva korištenja voda Izvora Gacke prelazila bi granice osiguranja EPP-a na njenom dijelu toka između Podgore i Vivoza.

Ukoliko se novi zahvat voda za potrebe vodopskrbe grada Senja i Vodovoda Hrvatskog primorja – Južni ogranak planira na Vivozama, kapaciteta 660 L/s (Hidrokon, 2019), kod pojave malih voda 2-godišnjeg povratnog perioda uspjelo bi se

zadovoljiti potrebe procijenjene kritične vrijednosti EPP od $1,26 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, iz razloga što je proračunati minimalni protok 2-godišnjeg povratnog perioda $3,59 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. No kod pojava malih voda 20-godišnjeg povratnog perioda mogli bi se javiti problemi iz razloga što je proračunata vrijednost 20-godišnjeg protoka $1,84 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, te je rezultirajuća razlika do EPP $0,58 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, dakle oko 80 L/s manja od traženog maksimalnog kapaciteta zahvata. Kod još rjeđih pojava malih voda situacija je još kritičnija. Tako je npr. kod 100-godišnjeg povratnog perioda proračunati minimalni protok na Vivozama $1,33 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a razlika do vrijednosti EPP-a, odnosno teoretski kapacitet mogućeg crpljenja svega oko 70 L/s.

Naravno, treba voditi računa da su ekstremni minimumi obično zabilježeni mjesec-dva kasnije u odnosu na vršne potrebe za vodom, koje su u kolovozu, ali s tendencijom da se zbog pomak sezone javlja prema njegovom kraju, pa i početku rujna. U Tablici 3.1.23 navedena je, na lokalitetu hidrološke postaje Vivoze, kao najmanja vrijednost srednjeg mjesečnog protok u kolovozu od $3,81 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (2017. god.). No vrijedi istaći da to nije i zabilježena vrijednost, nego dobivena regresijskom analizom koja prigušuje varijabilnost te umanjuje vrijednosti ekstremnih pojava, pa je za pretpostaviti da je tom priliko u stvarnosti bila i niža vrijednost protoka. Tome ide u prilog okolnost da je na uzvodnijoj postaji Podgora u kolovozu 2007.g. mjerenjem zabilježen značajnije manji protok od $3,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a što znači da je zbog prisutnih gubitaka na dionici toka između Podgore i Vivoza, na Vivozama ipak morala biti zabilježena značajnije manja vrijednost protoka. Ukoliko se uzme prosječna vrijednost tih gubitaka od $0,46 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, dobiva se moguća vrijednost srednjeg mjesečnog protoka na Vivozama od $2,54 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Kada bi se ta vrijednost srednjeg mjesečnog protoka reducirala na vrijednost minimalnog mjesečnog protoka (koristeći funkcionalni izraz sa Slike 3.1.58) dobiva se vrijednost minimalnog protoka od $2,0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. U tom slučaju je razlika do proračunate vrijednosti EPP-a $0,740 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, što pokriva iskazane potrebe za osiguranjem vodoopskrbnih količina. No, samo ukoliko se uzmu podaci za rujna prema kome se pomiče vrhunac sezone, ali i smanjuju minimalni protoci, iskazuje se manjak od 20 L/s.

Obzirom na očekivane utjecaje klimatskih promjena na smanjenje protoka i povećanje temperatura vode Gacke, čije se manifestacije na analiziranom području nisu detaljnije proučavale, za pretpostaviti je da će doći do smanjenja karakterističnih izdašnosti raspoloživih resursa, ali i povećati će se potrebe za vodom. U tom smislu kvantificirane procjene, dane su od strane nositelja ovog projekta u nekoliko istraživačkih projekata (CCWaterS, DrinkAdria, NP Krka), ovisno o klimatskim scenarijima i modelima, govore o mogućnostima da se srednji godišnji protoci smanje za 20-30%, a najmanji srednji mjesečni čak i dvostruko više. S obzirom na velike rezerve vodonosnika Gacke, nije za očekivati da bi se do kraja ovog stoljeća mogli u tolikoj mjeri smanjiti njeni najmanji srednje mjesečni protoci, ali bi se oni ipak mogli smanjiti reda veličine kao i srednji godišnji protoci – 20-30%, što može uvjetovati nedovoljnu raspoloživost voda Gacke za zahvaćanje za potrebe vodoopskrbe.

Zbog toga će morati postojati neki sigurnosni mehanizam. Moguće je to u vidu dodatnog dovoda vode iz sustava HE Senj, odnosno akumuliranih voda Like u akumulacijama Kruščica i Kosinjski, a za što je u odnosu na Vivoze povoljnija lokacija zahvata u neposrednoj blizini Šumečice. U slučaju prelociranja zahvata na kraj dionice toka Južnog ogranka Gacke prije njenog zahvaćanja u okviru HE sustava, otpada i potreba za osiguranjem EPP na nizvodnijoj dionici toka između Vivoza i Šumečice, te se u cijelosti vodoopskrbni sustav grada Senja i Vodovoda Južni ogranak Hrvatskog primorja može snabdijevati vodama Gacke. U nekoj daljnjoj perspektivi, ukoliko se

utvrdi da u uvjetima mogućih budućih naglašenijih utjecaja klimatskih promjena i sam vodozahvat na izvoru Gacke predstavlja prevelik pritisak na njen tok između izvorišnog dijela i nizvodnijeg područja, moguće je minimalizirati crpljenja na samom izvoru i dio vodoopskrbnih potreba za vodom osiguravati iz tog novog potencijalnog zahvata voda na Gackoj, odnosno njenom Južnom ogranku neposredno prije spajanja s vodama Like kod Šumečice. Naravno, za to je potrebno osigurati i novu zahvatnu građevinu koja bi trebala sprečavati povratne vode Like nakon njenoga spoja s vodama Gacke.

3.3.4 Procjena hidroloških elemenata EPP na ostalim ključnim točkama

Procjene hidroloških elemenata EPP moguće je provoditi samo na osnovu raspoloživih duljih nizova podataka na osnovu kojih se mogu sagledati elementi vodnog režima nekog vodotoka. No, na području sustava Like i Gacke postoji potreba za osiguranjem EPP i na lokacijama gdje takvi podaci ne postoje. To se prije svega odnosi na lokalitete gdje je on već bio propisan u vidu tzv. biološkog minimuma (ispuštanja u Sjeverni krak Gacke kod Vivoza, te Južni krak kod Šumečice), u vrijeme kad se nije na primjeren način sagledavao i taj aspekt vrijednosti usluga akvatičkih ekosustava.

Postoji i potreba osiguranja **EPP na području ponorske zone Lipovog polja**, u cilju zaštite vrste *Congerina jalzici* (slatkovodne školjke – špiljska trokutnjača). Radi se o vrsti koja je kritično ugrožena (CR) te strogo zaštićena sukladno Pravilniku o strogo zaštićenim vrstama (NN 144/13, 73/16), a nalazi se i Dodatcima II i IV EU Direktive o staništima (92/42/ECC).

Spomenuta vrsta obitava ponore Like (Markov i Dankov ponor te Ponor Dražice) koji u sadašnjem stanju bivaju periodično aktivni prilikom prelijevanja velikih voda Like preko brane Selište. Izgradnjom planirane akumulacije Kosinj ta će se plavljenja bitno reducirati, te je Ministarstvo zaštite okoliša i energetike temeljem Rješenja o prihvatljivosti zahvata – hidroenergetski sustav (HES) Kosinj (Klasa: UP/I-351-03/16-02/133; URBROJ: 517-06-2-1-1-18-21) od 14. svibnja 2018. godine propisalo obvezu praćenja stanja vrste *Congerina jalzici*. Propisano je radi definiranja i ujednačavanja ekološkog modela protoka, odnosno ekološki prihvatljivog protoka za vrstu *Congerina jalzici* na brani Selište (i preljeva u ponornu zonu rijeke Like) te uspostave kontinuiranog sustava praćenja stanja predmetne vrste. Radi se o parcijalnom zadatku temeljem koga će trebati definirati vodni režim ispuštanja voda nizvodno od brane Selište, odnosno osiguravati periodična poplavlivanja donjih dijelova Lipovog polja i njegovih ponorskih zona u kojima obitava spomenuta vrsta. Taj zadatak je izvan zadatka predmetne studije, i njegov provođenje samostalno priprema Hrvatska elektroprivreda.

Propisana **ispuštanja voda u Sjeverni krak Gacke** (150 L/s na Vivozama), nedostatna su za osiguranje prihвата tereta onečišćenja pročišćenih komunalnih otpadnih voda grada Otočca, kao i dijela njegovih oborinskih voda. Zbog toga se dogovorom HEP-a i gradskih struktura te Hrvatskih voda provode i drugačija manipuliranja zapornicom, i tijekom većine dijela godine ispuštanja i većih količina, ali bez kvantifikacije istih. U sklopu predmetnog zadatka provedene su dvije serije vodomjerenja (na tri profila) na Sjevernim kraku Gacke kroz Otočac. U okviru točke 3.2.4 dan je prikaz provedenih analiza protjecanja i gubitaka voda iz korita Sjevernog kraka Gacke. Tijekom dviju serija vodomjerenja, protocima su iznosili 0,486 i 1,07 m³s⁻¹, odnosno oko 0,5 i 1,0 m³s⁻¹. Utvrđeno je da pri protoku od oko 1,0 m³s⁻¹, dio voda

Sjevernog kraka Gacke protječe i nizvodno od ponora Bikine jame, čime se ostvaruje dispergiranje tereta onečišćenja na dulju dionicu toka, kao i veći efekti samopročišćavanja, pa se ta vrijednost i preporučuje kao polazna hidrološka vrijednost EPP. Pri dvostruko manjem protoku od oko $0,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, uz neka usputna poniranja, sve preostale vode završavaju u Bikinoj jami. Kako bi se povećale te ujedno optimalizirale ispuštene količine voda, preporučuje se da se uz samo ekološkog preispitivanja veličine EPP od strane biologa razmotri i uređenje Sjevernog kraka. Uspostavom zapornice moglo bi se regulirati/reducirati istjecanje voda Sjevernog kraka u ponorsku zonu Bikine jame tijekom trajanja malovodnih razdoblja, a pri većim vodama dijelom ih propuštati kako bi se manjio rizik poplavlivanja. Isto tako, potrebno je i razmotriti mogućnost regulacije/podizanja uspora vode u koritu na mostu Donja Dubrava, nizvodno od utoka pročišćenih otpadnih voda, kako bi se s većim volumenom vodnog tijela, ostvarili i veći efekti samopročišćavanja.

Što se pak tiče ispuštanja voda u Južni krak Gacke nizvodno od Šumečice, ona moraju biti u funkciji ne samo osiguranja minimalne protočnosti Gacke do Gornjeg Švičkog jezera, već i u funkciji osiguranja stalne razine vode koja će osiguravat povoljne hidrološke i temperaturne uvjete za ihtiofaunu i druge organizme koji ga obitavaju. Naime tijekom ljetnog sušnog razdoblja, zbog povećane infiltracije voda u podzemlje i gubitaka vode na isparavanje, razina vode u jezeru se spušta ispod kritičnih vrijednosti po opstojnost jezerskog ekosustava. Kota praga preljeva na izlazu iz Gornjeg Švičkog jezera je 445,00 m n.m., te se predlaže usvajanje kote od 444,00 m n.m., dakle kote 1 m ispod praga preljeva, kao minimalne dozvoljene kote u jezeru. Dopunjavanje jezerskog sustava ispuštanjem vode iz čvorišta Šumečica trebalo bi se provoditi s protokom od 150 L/s, u trajanju koje nije ograničeno na dva puta dnevno po 10 minuta, već ovisno o potrebi da se zadovolji dana minimalna kota.

Protjecanje voda još nizvodnijim tokom Južnog ogranka Gacke prema slapovima Švici, te dalje prema Donjem Švičkom jezeru nije determinirano hidrološkim stanjima, nego je predmet tekućih dogovora HEP-a i lokalne zajednice, a vezano uz planirani projekt obnove HE Švica u vidu muzejskog prostora s namjeravanim periodičkim ispuštanjem voda u cilju povećanja ambijentalnih vrijednosti toga prostora.

4 PLAN I REZULTATI DOPUNSKOG MONITORINGA I TRASIRANJA

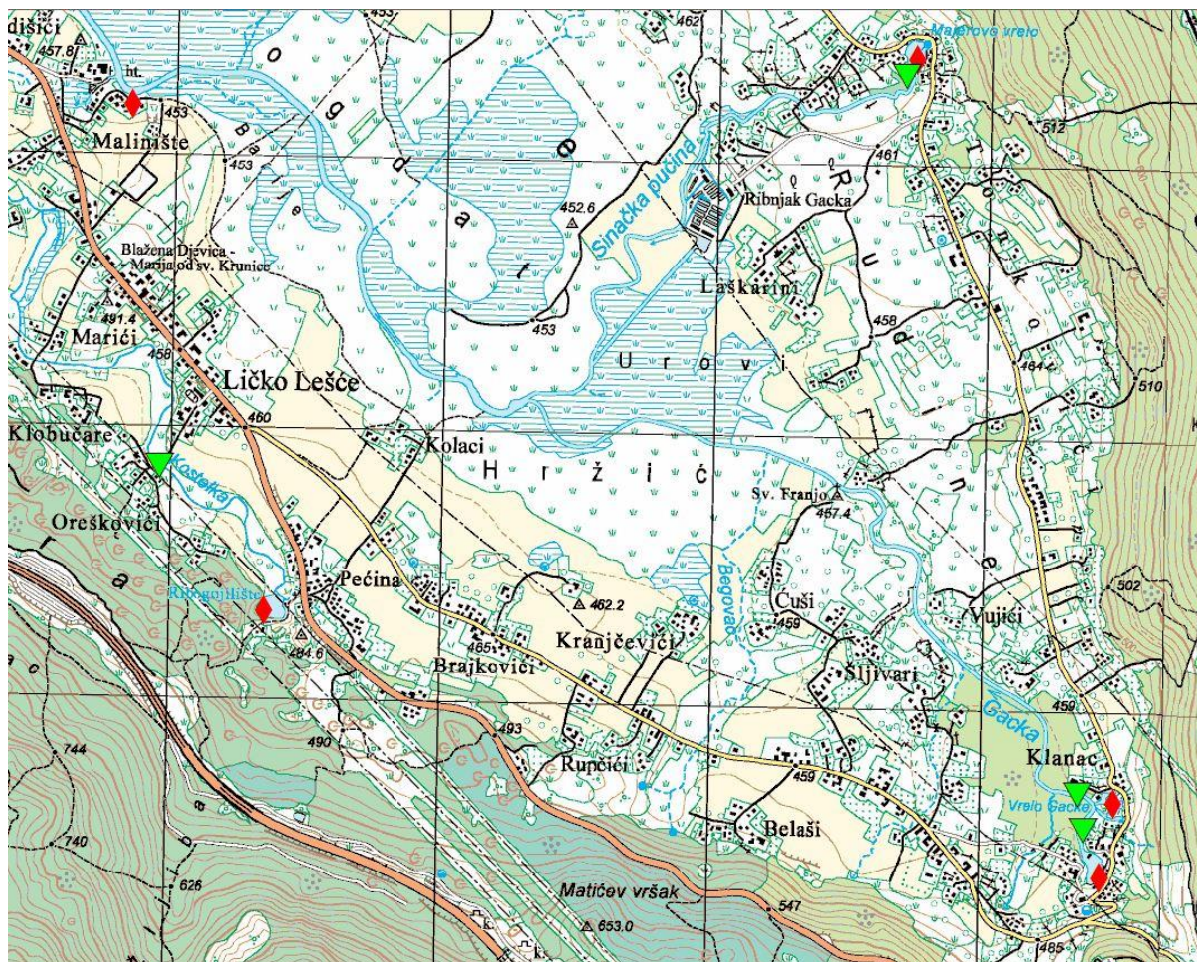
4.1 OPIS USPOSTAVLJENOG DOPUNSKOG MONITORINGA VODA

U cilju pridobivanja detaljnih podataka o djelovanju i dinamici podzemnog vodonosnog sustava u zaleđu izvorišta rijeke Gacke, u skladu s postavljenim Projektnim zadatkom na četiri najizdašnija, odnosno glavna izvora (Pećina, Tonković, Klanac i Majerovo vrelo) uspostavljen je dopunski monitoring izvorske vode (slika 4.1.1). Uz monitoring izvorske vode uspostavljen je i monitoring oborina. Uspostavljeni monitoring djelomično je proširen u odnosu na Projektni zadatak u cilju prikupljanja što detaljnijih podataka za kasniju analizu dinamike krškog sustava. Dopunski monitoring uspostavljen je krajem svibnja 2018. godine, a trajao je do kraja svibnja 2020. godine.

4.1.1 Metode uspostave dopunskog monitoringa

Opažanje dinamike glavnih izvora uspostavljeno je upotrebom automatskih mjerača (logera) za mjerenje razine vode, kao i temperature i elektrovodljivosti (EC) vode proizvođača Onset. Automatski mjerači imaju određeni kapacitet memorije gdje automatski pohranjuju podatke mjerenja u zadanim vremenskim intervalima. Za potrebe istraživanja u okviru ovog projekta na svim postavljenim logerima određen je istovjetni vremenski interval mjerenja od jednog sata.

Logeri za monitoring razine vode rade na principu mjerenja tlaka stupca vode iznad njih, te se postavljaju ispod razine vode (treba voditi brigu da u vrijeme niskih vodostaja ne ostanu na suhom). Pored logera koji se postavljaju u vodi, potrebno je postaviti i dodatni loger za monitoring promjena atmosferskog tlaka kako bi se naknadno mogao kompenzirati utjecaj kolebanja atmosferskog tlaka na mjerene promjene razine vode. Kako su opažani izvori smješteni unutar razmjerno malog područja, postavljen je jedan zajednički loger za mjerenje atmosferskog tlaka koji je dovoljan za kompenzaciju podataka svih postavljenih logera za razinu.



Slika 4.1.1. Lokacije uspostavljenog dopunskog monitoringa voda izvorišta Gacke (zelenе oznake – lokacije opažanja razine i mjerenja protoka, crvene oznake – lokacije opažanja fizikalnih parametara (EC, T) i uzorkovanja izvorske vode

Tijekom razdoblja monitoringa jedanput mjesečno (u razdoblju izvedbe trasiranja i češće) su se obavljala dodatna mjerenja protoka na profilima uz lokacije monitoringa razine. Na temelju redovitih mjesečnih mjerenja protoka zasebno na svim opažanim izvorima bilo je moguće konstruirati konsumpcijske krivulje (funkcija ovisnost protoka o razinama), te na temelju njih pretvoriti podatke o razinama u podatke o protocima. Protoci su se na mjernim profilima mjerili pomoću hidrometrijskog krila (proizvođač GlobalWater i OTT HydroMet) ili pomoću ADCP uređaja tipa Streampro (proizvođač Teledyne Marine), ovisno o uvjetima u koritu.

Logeri za temperaturu i EC također su programirani da pohranjuju podatke u internu memoriju uz satni interval mjerenja. Prilikom njihovog postavljanja potrebno je voditi brigu da su smješteni što bliže mjestima izviranja da se izbjegnu promjene vrijednosti mjerenih parametara na površini nakon izviranja (osobito važno za mjerenja temperature izvorske vode). Zbog toga su ovi logeri postavljeni unutar izvorišnih jezera uz mjesta koncentriranog izviranja (odnosno unutar vodozahvata na Izvoru Gacke/Tonković vrelu). Isto vrijedi i za lokacije uzimanja uzoraka izvorske vode, kao i za *in situ* mjerenja fizikalnih i kemijskih parametara vode na terenu.

Uzorci za određivanje odabranih fizikalnih i kemijskih parametara izvorske vode također su se prikupljali jedanput mjesečno, istovremeno s mjerenjima protoka. Prikupljeni uzorci analizirali su se u hidrokemijskom laboratoriju Hrvatskog geološkog

instituta. Tijekom razdoblja izvedbe planiranog trasiranja uzorkovanje se obavljalo jedanput dnevno odnosno svakih nekoliko dana, ovisno o dinamici promjena razina vode. Razdoblje intenzivnog monitoringa provedeno je od 18.3. do 18.6.2020.

Na terenu se prilikom uzorkovanja provodilo *in situ* mjerenje osnovnih fizikalno kemijskih parametara. Pri tome je korištena multiparameterska sonda marke WTW (WTW Multi 3320) kojom se mjerila temperatura, pH, elektrovodljivost i otopljeni kisik u vodi. Sadržaj hidrogenkarbonatnih iona (alkalinitet) mjerio se također na terenu prilikom prikupljanja uzoraka titrimetrijskom metodom sa sulfatnom kiselinom (1.6 N H₂SO₄) i kiselinsko–baznim indikatorima fenol–ftaleinom i bromkrezol–zelenom digitalnim titratorom tvrtke HACH. Uzorci su se prikupljali u dvije polietilenske bočice od 100 i 200 ml, koje su se prilikom uzorkovanja ispirale tri puta s uzorkovanom vodom, te su se čuvale na temperaturi od 4°C do provođenja analiza.

Na uzorcima izvorske vode napravljene su analize glavnih aniona (HCO₃⁻; Cl⁻; SO₄²⁻) i kationa (Ca²⁺; Mg²⁺; Na⁺; K⁺) te sastava stabilnih izotopa kisika i vodika. Također, s ciljem dobivanja što detaljnijeg i pouzdanijeg uvida u značajke infiltracije vode u sustav u monitoring kvalitete vode dodatno se uključilo i određivanje sadržaja ukupnog organskog ugljika (TOC) i nitrata (NO₃⁻) iz prikupljenih uzoraka izvorske vode. Navedeni parametri predstavljaju prirodne trasere, te njihov monitoring pruža uvid u brzinu infiltracije oborinske vode u sustav, procese ispiranja organske materije iz tla, te brzinu nailaska svježije infiltrirane vode na izvore. Poznavanje odnosa *brze* i *spore* infiltracije, te *brzog* i *sporog* tečenja vode u sustavu izuzetno je značajno u s aspekta učinkovite zaštite sustava od mogućih zagađenja.

Analize glavnih aniona (uključujući i NO₃⁻) i kationa provodile su se unutar 48 sati od uzimanja uzoraka. Voda iz bočica zapremnine 200 ml koristila se za određivanje sadržaja glavnih aniona i kationa te TOC-a. Analiza glavnih aniona i kationa provodila se na ionskom kromatografu tvrtke Thermo Scientific (Thermo Scientific Dionex ICS-6000 HPIC System). Sadržaj ukupnog organskog ugljika (TOC) mjereno je na analizatoru QBD1200 Laboratory TOC Analyzer marke HACH. Analiza sadržaja stabilnih izotopa kisika i vodika provodila se na uzorcima iz bočica zapremnine 100 ml, unutar mjesec dana od uzimanja uzoraka. Za analizu se koristio analizator tvrtke Picarro (Picarro L2130-i Isotope and Gas Concentration Analyzer). Prilikom mjerenja uzoraka također su mjereni i međunarodni standardi koje proizvodi USGS (izotopni referentni materijal USGS 46, USGS47 i USGS48) kako bi se kasnije za svako mjerenje mogla napraviti kalibracija rezultata. Rezultati su prikazani kao delta notacija (‰) koja je normalizirana prema međunarodnom standardu VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water).

Uz monitoring izvora, na terenu je uspostavljen i monitoring oborina. Uspostavljeni monitoring oborina sastojao se od jednog mjerača oborine s mogućnošću bilježenja podataka o količini oborine u satnom intervalu (Proizvođač Onset), te dva sakupljača kumulativne oborine (proizvođač Palmex d.o.o.). Sakupljači kumulativne oborine omogućuju određivanje prosječnog mjesečnog sastava stabilnih izotopa u oborini na dvije lokacije unutar priljevnog područja: kod vodozahvata Tonković vrelo (Izvor Gacke, 450 m n.m.) i na vrhu Stipanov grič (1232 m n.m., najviša točka unutar priljevnog područja). Na kumulativnim mjesečnim uzorcima oborina se analizirao sadržaj stabilnih izotopa kisika i vodika. Oborine predstavljaju glavni (i jedini) ulaz vode u vodonosni sustav, te usporedba izotopnog sastava oborinske i izvorske vode omogućuje uvid u vrijeme zadržavanja i značajke transporta vode kroz sustav. Izotopni sastav vode značajno se mijenja u slučaju da je prisutno isparavanje, te je prikupljenu oborinsku vodu neophodno zaštititi od isparavanja. Stoga se za sakupljanje

kumulativnih mjesečnih uzoraka oborine koristio RAIN SAMPLER RS1B, proizvođača Palmex, posebno dizajniran za prikupljanje i čuvanje uzoraka bez mogućnosti isparavanja.

Monitoring dinamike fizikalnih i kemijskih parametara izvorske vode, zajedno s istovremenim monitoringom protoka na izvorima, te izotopnog sastava i količine oborina omogućio je izravnu usporedbu odnosa dinamike vode na izvorima s oborinama kojima se sustav prihranjuje. Naknadnom analizom prikupljenih podataka dopunskog monitoringa odredila su se najznačajnija svojstva krškog vodonosnog sustava: odnos i dinamika brze i usporene infiltracije vode u sustav, odnos brzih kanalskih tokova i usporenog toka kroz raspucanu stijensku masu tijekom različitih vodnih stanja unutar sustava, okvirno vrijeme zadržavanja pojedinih komponenti toka unutar sustava te značajke drugih procesa vezanih uz tok podzemne vode.

4.1.2 Opis lokacija dopunskog monitoringa

Izvor Pećina nalazi se u jugozapadnom dijelu izvorišta rijeke Gacke. To je stalni izvor koji se sastoji od nekoliko mjesta koncentriranog izviranja potopljenih izvorišnim jezercem (slika 4.1.2). Izvorišno jezero nastalo je (kao i na ostalim glavnim izvorima Gacke) pregrađivanjem toka zbog izgradnje vodenica na umjetnim slapištima nizvodno od izvora. Danas je na Pećini neposredno nizvodno od rekonstruirane pregradne brane smješteno ribogojilište Hrvatskog centra za autohtone vrste riba i rakova krških voda. Voda iz jezercica se preko preljeva u brani ulijeva u potok Kostelka, koji se nakon 4 km toka ulijeva u glavni tok rijeke Gacke (oko 9 km nizvodno od Izvora Gacke/Tonković vrela). Uzorci za hidrokemijske analize prikupljali su se na mjestu izviranja. Automatski mjerac (loger) za EC je postavljen također u neposrednoj blizini mjesta izviranja, dok je loger za razinu postavljen otprilike kilometar nizvodno na mostu preko vodotoka Kostelka (slika 4.1.3), gdje su se obavljala i mjerenja protoka.



Slika 4.1.2. Izvor Pećina



Slika 4.1.3. Lokacija opažanja razine na vodotoku Kostelka

Izvor Gacke (vodozahvat Tonković vrelo), nalazi se oko 3 km jugoistočno od izvora Pećine, uz krajnje jugoistočni rub polja (slika 4.1.1). Izvor formira jezerce površine oko 5500 m² (slika 4.1.4), koje se preljeva preko umjetnog slapišta (vodenice) i tvori glavni tok rijeke Gacke. Mjesto izviranja je ograđeno i predstavlja prvu zonu sanitarne zaštite, jer je izvor zahvaćen za vodopskrbu grada Otočca i okolnih područja. Treba napomenuti da se u hidrološkoj mreži DHMZ-a odgovarajuća hidrološka postaja naziva samo Izvor Gacke, dok se obližnji izvor Klanac naziva (pogrešno) Tonković vrelo. S druge strane vodozahvat na Izvoru Gacke naziva se Tonković vrelo, a taj naziv koristi i lokalno stanovništvo, dok se susjedni izvor na terenu naziva Klanac.

Uzimanje uzoraka za hidrokemijske analize, kao i mjerenje *in situ* fizikalno-kemijskih parametara obavljalo se u krugu vodozahvata na mjestima koncentriranog izviranja. Logeri za temperaturu i EC također su postavljeni unutar vodozahvata (galerije), dok je loger za razinu postavljen ispod slapišta u blizini DHMZ-ove hidrološke postaje „Izvor Gacke“. Na ovoj lokaciji su se također vršila i mjerenja protoka (slika 4.1.5).



Slika 4.1.4. Izvor Gacke (Tonković vrelo) iz zraka



Slika 4.1.5. Mjerenje protoka Izvora Gacke u toku nizvodno od izvorišnog jezera

Približno stotinu metara sjevernije od Tonković vrela/Izvora Gacke nalazi se izvor Klanac (postaja DHMZ-a naziva se pogrešno Tonković vrelo), koji također otječe u glavni tok rijeke preko umjetnog slapišta (slika 4.1.6). Unutar izvorišnog jezera postavljen je loger za temperaturu i EC, te se tu vršilo uzorkovanje vode. Kako se voda iz izvora preko razbijenog slapišta izravno ulijeva u tok Gacke, zasebna mjerenja

protoka izvora Klanac nisu bila ostvariva. Iz tog su razloga loger za razinu, kao i profil za mjerenje protoka smješteni nizvodno od utoka Klanca u glavni tok Gacke (slika 4.1.7), te se protok izvora Klanac računao posredno oduzimanjem protoka Izvora Gacke od zajedničkog protoka Izvora Gacke i Klanaca.



Slika 4.1.6. Izvor Klanac (pogrešno nazvana postaja DHMZ-a Tonković vrelo) iz zraka



Slika 4.1.7. Mjerni profil nizvodno od spoja Izvora Klanac i Izvora Gacke (lijevo gore)

Oko 3 km sjeverozapadno od Klanca i Izvora Gacke/Tonković vrela nalazi se četvrti jaki krški izvor izvorišta Gacke - Majerovo vrelo (slika 4.1.8). Izvor je smješten na ulazu u sustav potopljenih krških kanala, speleoronilački istraženih više stotina metara u dužinu i stotinjak metara u dubinu (slika 2.2.1). Na Majerovom vrelu uzimanje uzoraka se provodilo u izvorišnom jezeru u blizini mjesta izviranja, dok je loger za temperaturu i EC postavljen na drvenom mostiću preko izvorišnog jezera uzvodno od umjetnog slapišta (slika 4.1.8). Preko slapišta (vodenice) se izvorska voda preljeva u tok, koji se oko 2 km nizvodno ulijeva u glavni tok rijeke Gacke. Loger za razinu postavljen je neposredno nizvodno od slapišta (slika 4.1.9), dok su se mjerenja protoka obavljala uz most preko slijedećeg nizvodno smještenog slapišta, gdje se nalazi i limnigraf DHMZ-a. Treba napomenuti da se ovaj limnigraf nalazi pod izravnim utjecajem promjena na pokretnim ustavama slapišta, uslijed čega su podaci koji se na njemu opažaju na žalost ograničene upotrebljivosti.



Slika 4.1.8. Majerovo vrelo.



Slika 4.1.9. Lokacija opažanja razine nizvodno od slapišta Majerovog vrela

Uz četiri glavna izvora obuhvaćena Projektnim zadatkom, dodatno je postavljen monitoring razine i temperature vode na izvoru Grab (slika 4.1.10). Izvor Grab jedan je od tri izvora koji se nalaze unutar izvorišta Grab-Marusino-Jaz. Ovo izvorište nalazi se u zaseoku Malinište u Ličkom Lešću, u blizini mosta u Čovićima, te je najnižvodnije smješteno stalno izvorište. Prema svojim istovjetnim hidrokemijskim i dinamičkim karakteristikama, sva tri izvora unutar izvorišta prihranjuju se iz istog podzemnog toka, te je opažanje izvora Grab reprezentativno za cijelo izvorište. Ovo izvorište pokazuje najujednačeniji režim istjecanja od svih izvora Gacke, a prema rezultatima trasiranja povezano je s Izvorom Gacke (Tonković vrelo).



Slika 4.1.10. Izvor Grab, lokacija opažanja razine i temperature

Monitoring oborina uspostavljen je na dvije lokacije: unutar ograde vodozahvata na Izvoru Gacke (Tonković vrelo) postavljeni su automatski mjerač oborine i sakupljač kumulativne oborine (slika 4.1.11), a na vrhu Stipanov grič, gdje se nalazi odašiljač OIV, postavljen je dodatni sakupljač kumulativne oborine (slika 4.1.12). Lokacije za skupljanje kumulativne oborine su odabrane na način da obuhvate najniži dio priljevnog područja (visina izvora, oko 450 m n.m.), kao i najvišu točku unutar istog područja (Stipanov grič, 1232 m n.m.). Na taj način bilo je moguće pouzdano rekonstruirati promjene u sastavu stabilnih izotopa kiše s obzirom na visinu terena.



Slika 4.1.11. Sakupljač kumulativne oborine kod vodozahvata Izvora Gacke (Tonković vrelo)



Slika 4.1.12. Sakupljač kumulativne oborine na vrhu Stipanov Grič

4.2 REZULTATI PROVEDENOG DOPUNSKOG MONITORINGA

4.2.1 Rezultati monitoringa razine vode i protoka

Lokacije mjerenja protoka opisane su u poglavlju 4.1.2. U razdoblju dopunskog monitoringa koji je trajao dvije godine, protok je izmjeren ukupno 30 puta na svim navedenim lokacijama. Protok je u većini slučajeva mjeren hidrometrijskim krilom OTT MF Pro marke OTT HydroMet (magnetno-induktivni mjerac protoka). U uvjetima visokih vodostaja vodomjerenja su obavljena iz čamca jer nije bilo moguće drugačije zbog prevelike dubine vode, dok su u ostalim uvjetima obavljena direktno stojeći u koritu. Treba napomenuti da je vrlo bujna vegetacija unutar mjernih profila, ponajviše na profilima Tonković i Tonković+Klanac, uzrok nešto smanjene preciznosti izvedenih vodomjerenja, unatoč korištenju elektromagnetskog krila pogodnog za mjerenje brzine vode unutar vegetacije. Bujna i nejednoliko raspoređena vegetacija značajno smanjuje pravilnost raspodjele brzina u koritu, te je preciznost mjerenja na profilima Tonković i Tonković+Klanac procijenjena na $\pm 15\%$, dok je na profilima Majerovo i Pećina nešto veća, unutar $\pm 10\%$. Ipak, velik broj izvedenih mjerenja omogućio je pouzdanu rekonstrukciju hidrograma unatoč povremenom odstupanju pojedinačnih mjerenja. Pomoću gusto mjerenih protoka također su kompenzirane promjene razine izazvane godišnjim ciklusima gustoće vegetacije u koritu, koji su u slučaju Gacke vrlo izraženi. Nakon kompenzacije utjecaja promjena vegetacije na razinu, konstruirane su konsumpcijske krivulje za četiri mjerna profila (glavni izvori rijeke Gacke), na temelju kojih su podaci o razinama izvorske vode preračunati u protoke. Na taj način dobiveni su kontinuirani hidrogrami, bez izraženih naglih skokova izazvanih naglim prelaskom s konsumpcijske krivulje konstruirane za zimsko razdoblje na krivulju konstruiranu za ljetno (vegetacijsko razdoblje). Treba naglasiti da su ovakvi umjetno izazvani skokovi u protoku učestalo prisutni na službenim hidrogramima mjernih profila rijeke Gacke DHMZ-a, što predstavlja problem pri analizi recesijskih razdoblja, a često i minimalnih zabilježenih protoka.

U tablici 4.2.1 prikazane su mjerene vrijednosti protoka na lokacijama dopunskog monitoringa. Na slici 4.2.7. prikazani su hidrogrami opažanih izvora, mjereni protoci i ukupna količina oborina u razdoblju monitoringa. U tablici 4.2.2 prikazane su minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti protoka, dobivene na temelju hidrograma. Minimalne vrijednosti protoka izmjerene su 17.10.2019. na Majerovom vrelu, Tonkoviću te na profilu Tonković+Klanac, dok je na Pećini najniži protok izmjeren 18.10.2018. Najveći protoci izmjereni su 16.5.2019. na Majerovom vrelu, Tonkoviću te na profilu Tonković+Klanac, dok je na Pećini najveći protok izmjeren 22.11.2019. (slike 4.2.1. do 4.2.5.).

Usporedbom s istovremenim podacima hidrološke postaje DHMZ-a, Gacka, profil Čovići most, uspostavljeni monitoring obuhvatio je najniži zabilježeni protok na ovoj stanici (27.10.2018.; $1.645 \text{ m}^3/\text{s}$), kao i više razdoblja vrlo visokih vodostaja. Stoga zabilježene dinamičke značajke izvora, unatoč ograničenom razdoblju monitoringa od dvije godine, gotovo u potpunosti pokrivaju prirodni raspon hidroloških stanja izvora.



Slika 4.2.1. Majerovo vrelo visoke vode (5.2019.)



Slika 4.2.2. Mjerni profil na Majerovom vrelu (5.2019.)



Slika 4.2.3. Mjerni profil Kostelka (Pećina) visoke vode (11.2019.)



Slika 4.2.4. Mjerenje visokih voda iz čamca na profilu Tonković-Klanac (11.2019.)



Slika 4.2.5. Mjerenje visokih voda iz čamca na profilu Tonković (11.2019.)

U vrijeme najviših zabilježenih vodostaja u svibnju 2019. obavljeno je i snimanje područja izvora Gacke iz zraka (slike 4.1.4, 4.1.6, 4.1.7 i 4.2.6).



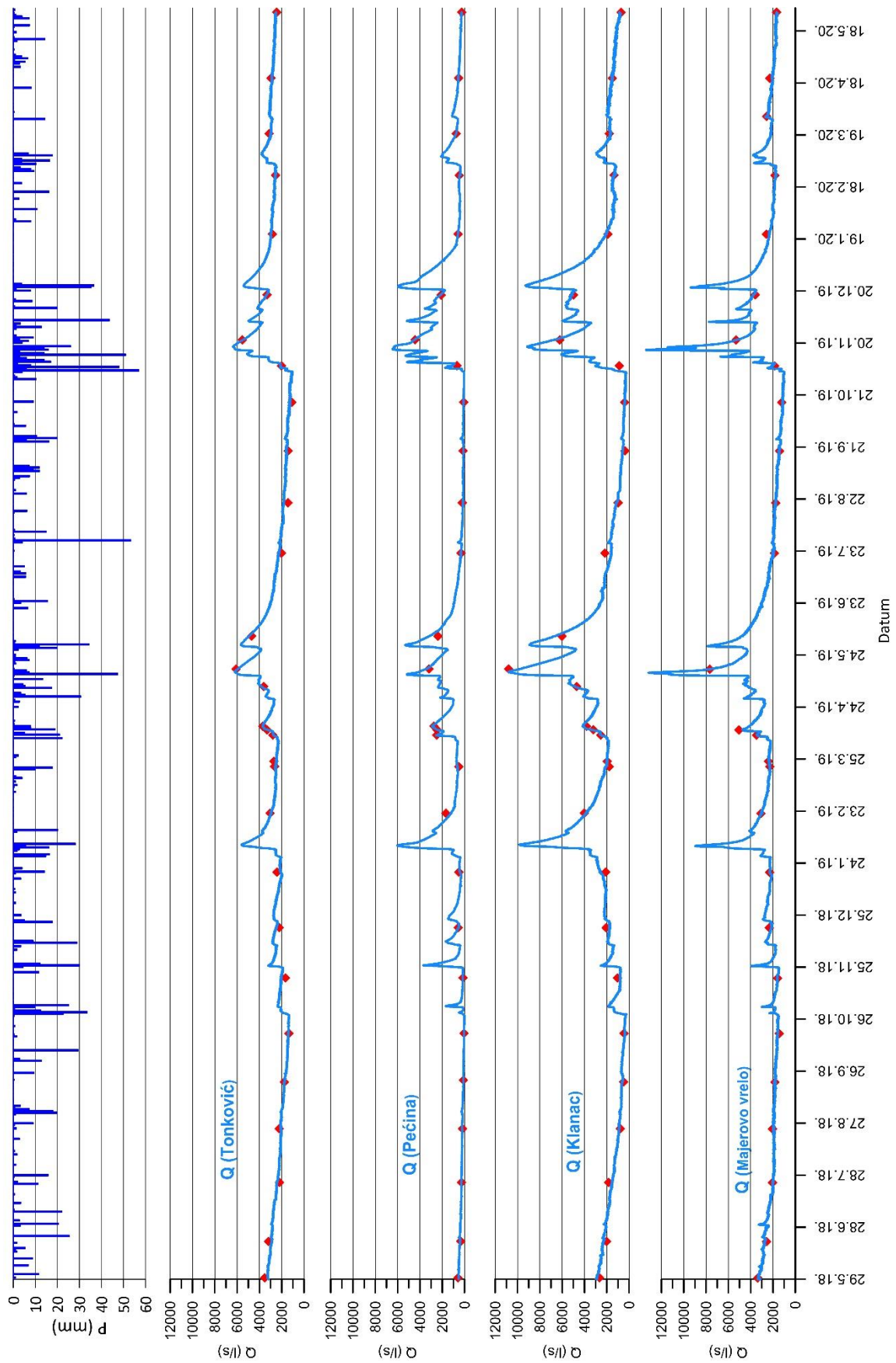
4.2.6. „Sinačka pučina“ – pogled prema izvorima Gacke

Tablica 4.2.1. Mjerene vrijednosti protoka na lokacijama dopunskog monitoringa (l/s)

datum	MAJEROVO	TONKOVIĆ +KLANAC	TONKOVIĆ	KLANAC	PEĆINA
30.5.2018	3360	6170	3520	2650	590
20.6.2018	2580	5200	3180	2020	350
24.7.2018	2050	4040	2200	1840	280
24.8.2018	2040	3030	2240	790	180
20.9.2018	1820	2260	1770	490	100
18.10.2018	1450	1810	1360	450	52
19.11.2018	1580	2710	1670	1040	140
18.12.2018	2340	4290	2240	2050	570
19.1.2019	2290	4530	2430	2100	510
22.2.2019	3080	7080	3050	4030	1670
21.3.2019	2280	4430	2650	1780	520
24.3.2019	2410	4670	2700	1970	
8.4.2019	3470	5350	2800	2550	2500
11.4.2019	5060	6520	3310	3200	2470
13.4.2019		7520	3700	3820	2750
6.5.2019		8310	3610	4700	
16.5.2019	7660	16890	6100	10790	3180
4.6.2019		10710	4700	6010	2380
22.7.2019	1880	4210	2040	2170	320
20.8.2019	1750	2430	1440	990	200
19.9.2019	1410	1800	1430	370	130
17.10.2019	1210	1500	1100	400	85
7.11.2019	1840	2910	2020	890	690
22.11.2019	5310	11750	5530	6220	4440
18.12.2019	3590	8290	3320	4970	2100
22.1.2020	2600	4750	2850	1900	590
25.2.2020	1830	3900	2550	1350	480
20.3.2020	2580	4910	3130	1780	750
21.4.2020	2290	4470	2960	1510	540
29.5.2020	1680	3170	2450	720	260
MIN	1210	1500	1100	370	52
MAX	7660	16890	6100	10790	4440
AVG	2646	5320	2802	2518	1030

Tablica 4.2.2. Izračunati minimalni, maksimalni i prosječni protoci (konsumpcijska krivulja)

Izračunati protok (l/s)	MAJEROVO	TONKOVIĆ	KLANAC	PEĆINA
MIN	1100	1050	300	20
MAX	13370	6360	10810	6460
AVG	2604	2715	2355	973

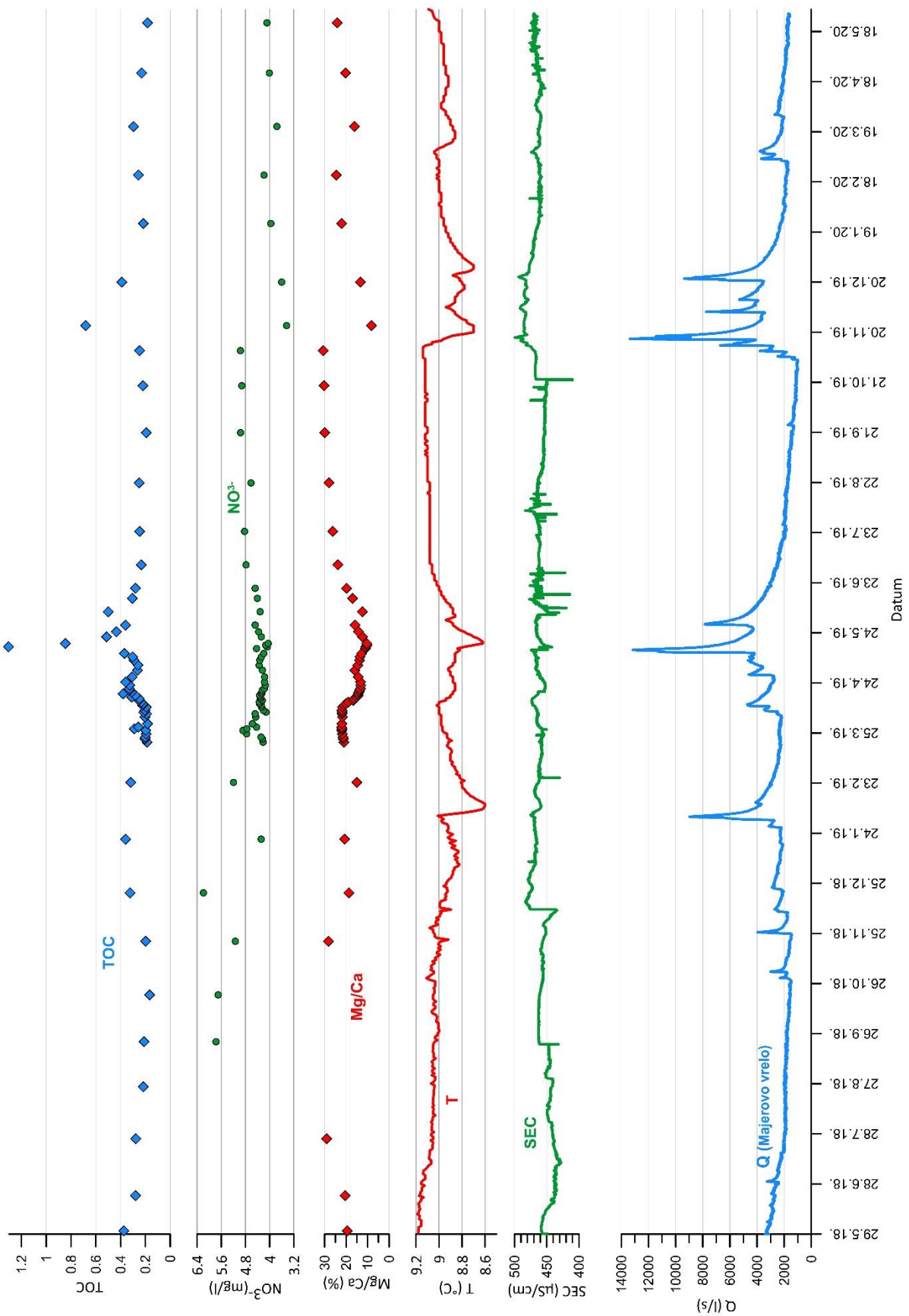


Slika 4.2.7. Hirogrami i mjereni protoci na glavnim izvorima rijeke Gacke

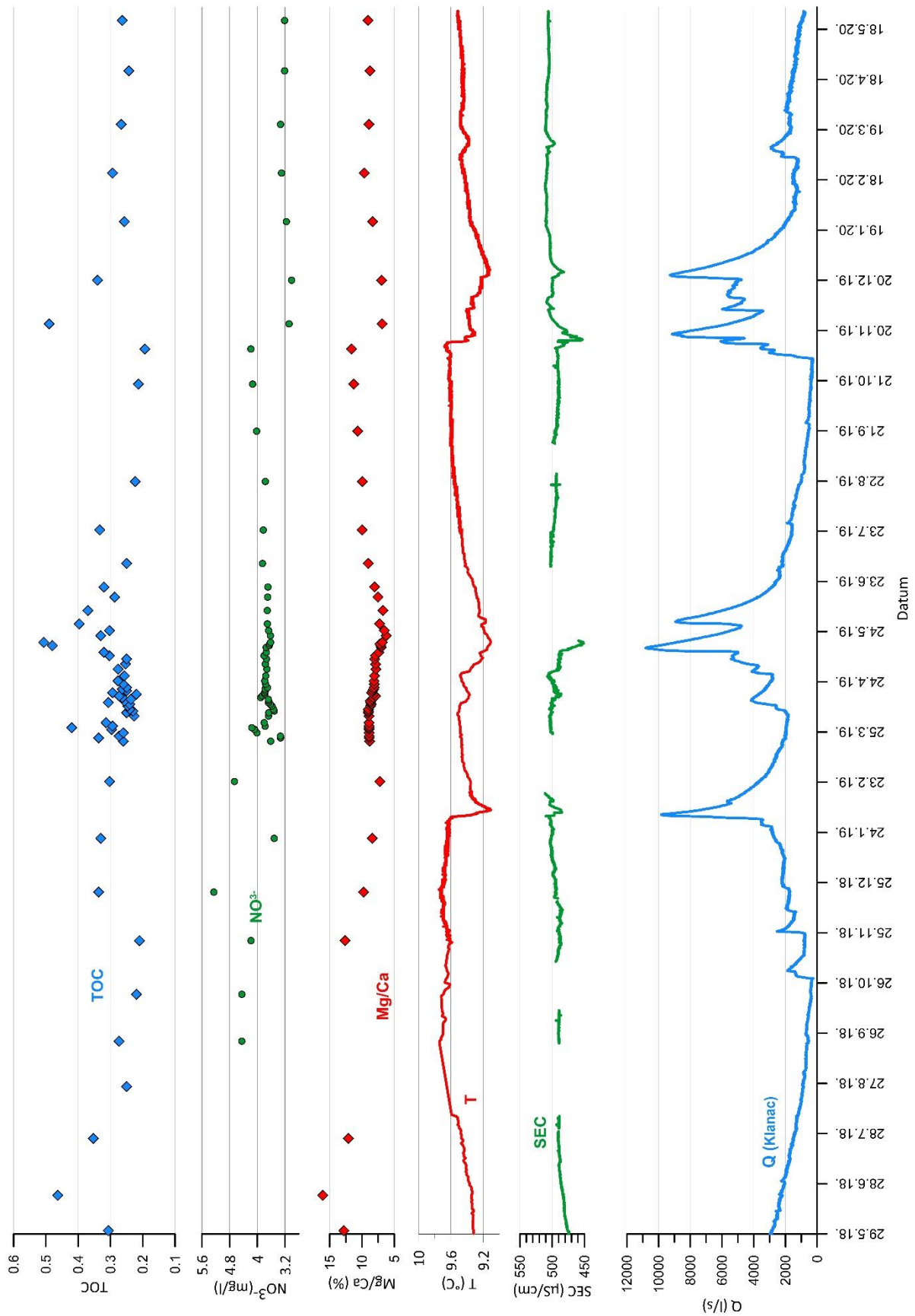
4.2.2 Rezultati hidrokemijskog monitoringa

Hidrokemijski monitoring na glavnim izvorima rijeke Gacke provodio se dvije godine, kao što je to opisano u poglavlju 4.1. Ukupno je prikupljeno 260 uzoraka vode na svim opažanim izvorima, na svakom izvoru 65 uzoraka. Za sve prikupljene uzorke određen je sadržaj glavnih aniona i kationa, nitrata, ukupnog organskog ugljika (TOC), te stabilnih izotopa kisika i vodika. U dijagramima na slikama 4.2.8 do 4.2.11 prikazane su (za svaki izvor zasebno) vrijednosti protoka, elektrovodljivosti (SEC) i temperature koje su mjerene kontinuirano automatskim mjerачima, te molarnog odnosa magnezija i kalcija, te prirodnih trasera transporta vode iz tla: TOC-a i nitrata. Elektrovodljivost i temperatura mjerene su pomoću autonomnih mjernih uređaja (logeri) s satnim intervalom mjerenja, a mjerene vrijednosti naknadno su kompenzirane s obzirom na dugoročni drift logera na temelju povremenih mjerenja ručnim uređajima na terenu. Specifična elektrovodljivost (SEC) je dobivena nelinearnom temperaturnom kompenzacijom (nLF) prema normi EN 27 888, s referentnom temperaturom od 20°C.

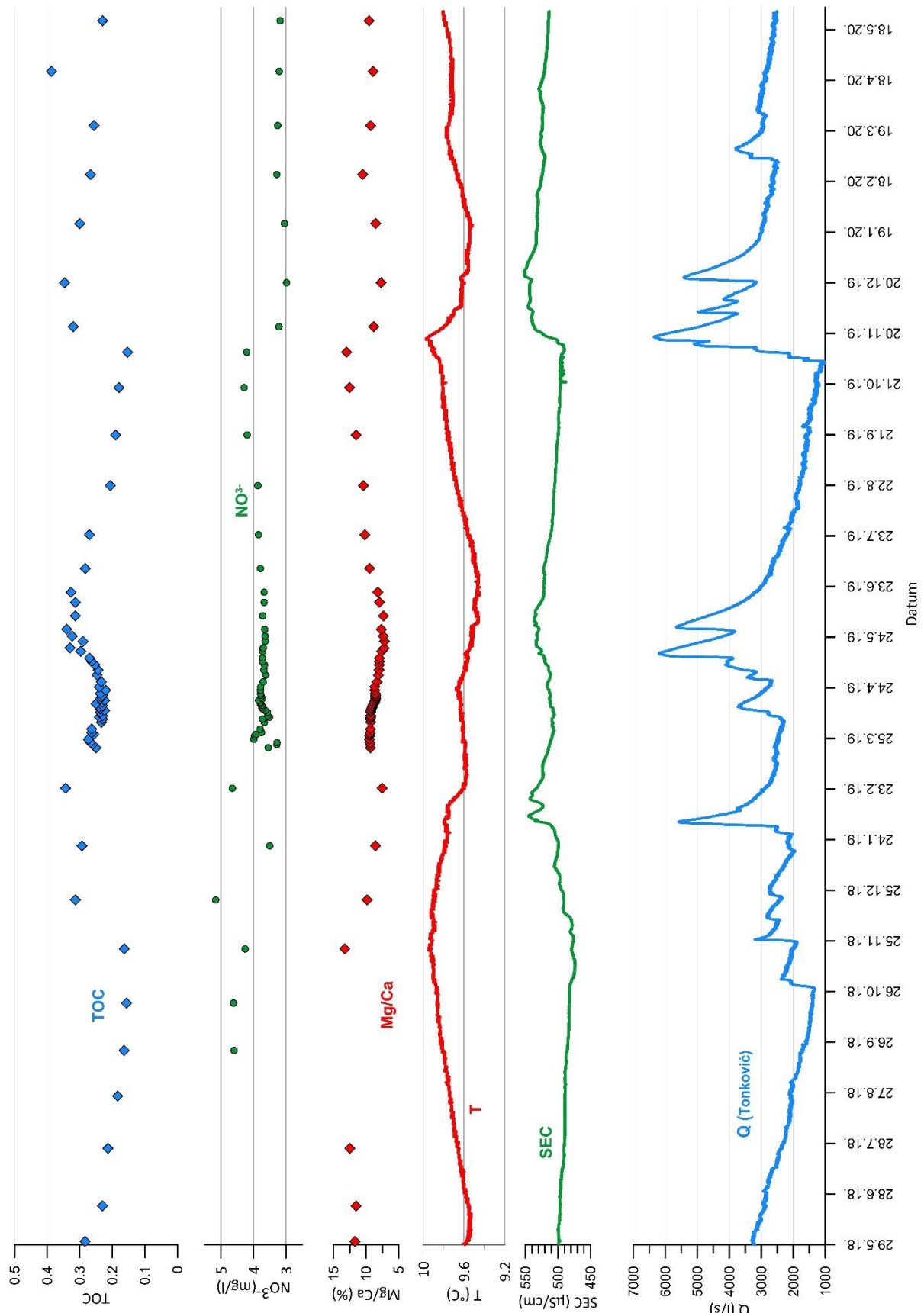
U razdoblju izvedbe trasiranja (18. ožujka do 18. lipnja 2019.) obavljalo se dodatno gusto uzorkovanje vode na prethodno navedenim izvorima, uz određivanje svih prethodno navedenih parametara. Uzorci su uzimani jednom dnevno prvih dvadeset dana od ubacivanja trasera, te u razdobljima nailaska vodnih valova u naredna dva mjeseca. U razdobljima vodnih valova uzorci su uzimani svakih nekoliko dana. Na ovaj način je dinamika uzorkovanja prilagođena hidrološkim uvjetima te je vrijeme gustog uzorkovanja produženo za mjesec dana od onog predviđenog projektom (50 dana). Rezultati gustog uzorkovanja prikazani su u dijagramima na slikama 4.2.13 do 4.2.16 (za svaki izvor zasebno).



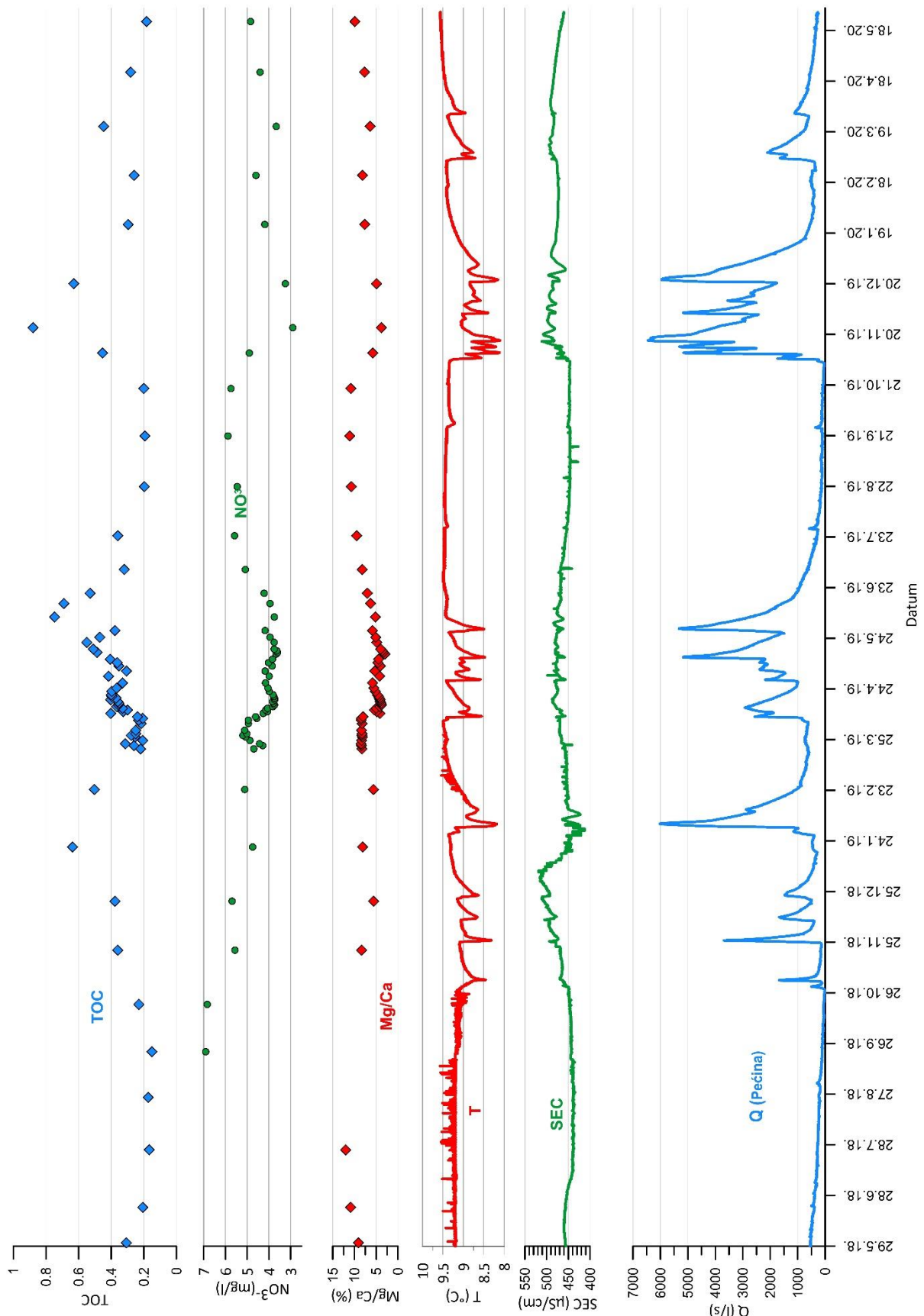
Slika 4.2.8. Protok, elektrovodljivost, temperatura, odnos Mg/Ca, ukupni organski ugljik (TOC) i nitrati (NO₃⁻) - Majerovo vrelo



Slika 4.2.9. Protok, elektrovodljivost, temperatura, odnos Mg/Ca, ukupni organski ugljik (TOC) i nitrati (NO_3^-) - Klanac



Slika 4.2.10. Protok, elektrovodljivost, temperatura, odnos Mg/Ca, ukupni organski ugljik (TOC) i nitriti (NO₃⁻) - Tonković



Slika 4.2.11. Protok, elektrovodljivost, temperatura, odnos Mg/Ca, ukupni organski ugljik (TOC) i nitrati (NO_3^-) – Pećina

4.2.2.1 Monitoring elektrovodljivosti i temperature

U tablici 4.2.3 prikazane su minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti elektrovodljivosti i temperature u opažanim izvorima, dobivene kontinuiranim mjerenjem logerima. Srednje vrijednosti temperature izvorskih voda kreću se od 9.0 do 9.7 °C. Temperatura vode na krškim izvorima izravan je pokazatelj srednje godišnje temperature zraka područja napajanja izvora. Tako će podzemna voda koja se prihranjuje s hipsometrijski viših područja (koja imaju niže srednje godišnje temperature zraka) imati prosječno nižu temperaturu. Najnižu srednju temperaturu izvorske vode ima Majerovo vrelo (9.0°C), a zatim Pećina (9.2°C), Klanac (9.5°C), i na kraju Tonković vrelo (9.7°C). Na temelju prosječnog visinskog gradijenta srednje godišnje temperature zraka koji za kontinentalna područja Hrvatske iznosi 0.5 °C/100 m (Zaninović i sur. 2008, www.meteo.hr), može se procijeniti da je srednja visina podsliva Majerovog vrela oko 50 m viša od podsliva Pećine, 100 m viša od podsliva Klanca, te 150 m viša od podsliva Tonković vrela. Ove vrijednosti u velikoj se mjeri razlikuju od procjenjenih razlika u visini podslivova u prethodnim istraživanjima, koje su bile temeljene samo na rezultatima izotopnih istraživanja (Mandić i sur. 2008, Lukač i sur. 2013, Ozyurt i sur. 2014). Uzrok tome opisan je detaljno u narednom potpoglavlju 4.2.2.4 Izotopni sastav.

Tablica 4.2.3. Minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti kontinuirano mjerenih parametara SEC i T u izvorima

	SEC (μS/cm)			T (°C)		
	MIN	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG
MAJEROVO	428.9	499.4	460.9	8.6	9.2	9.0
KLANAC	451.2	511.1	496.5	9.1	9.7	9.5
TONKOVIĆ	473.1	552.6	509.4	9.4	10.0	9.7
PEĆINA	412.8	518.3	464.5	8.1	9.6	9.2

Na slici 4.2.12 zajednički su prikazane temperature na opažanim izvorima, mjerene automatskim logerima, te istovremeni hidrogram Majerovog vrela. Hidrogram Majerovog vrela uzet je kao reprezentativan za hidrološke prilike u slivu s obzirom na visoku međusobnu korelaciju dinamike istjecanja glavnih izvora.

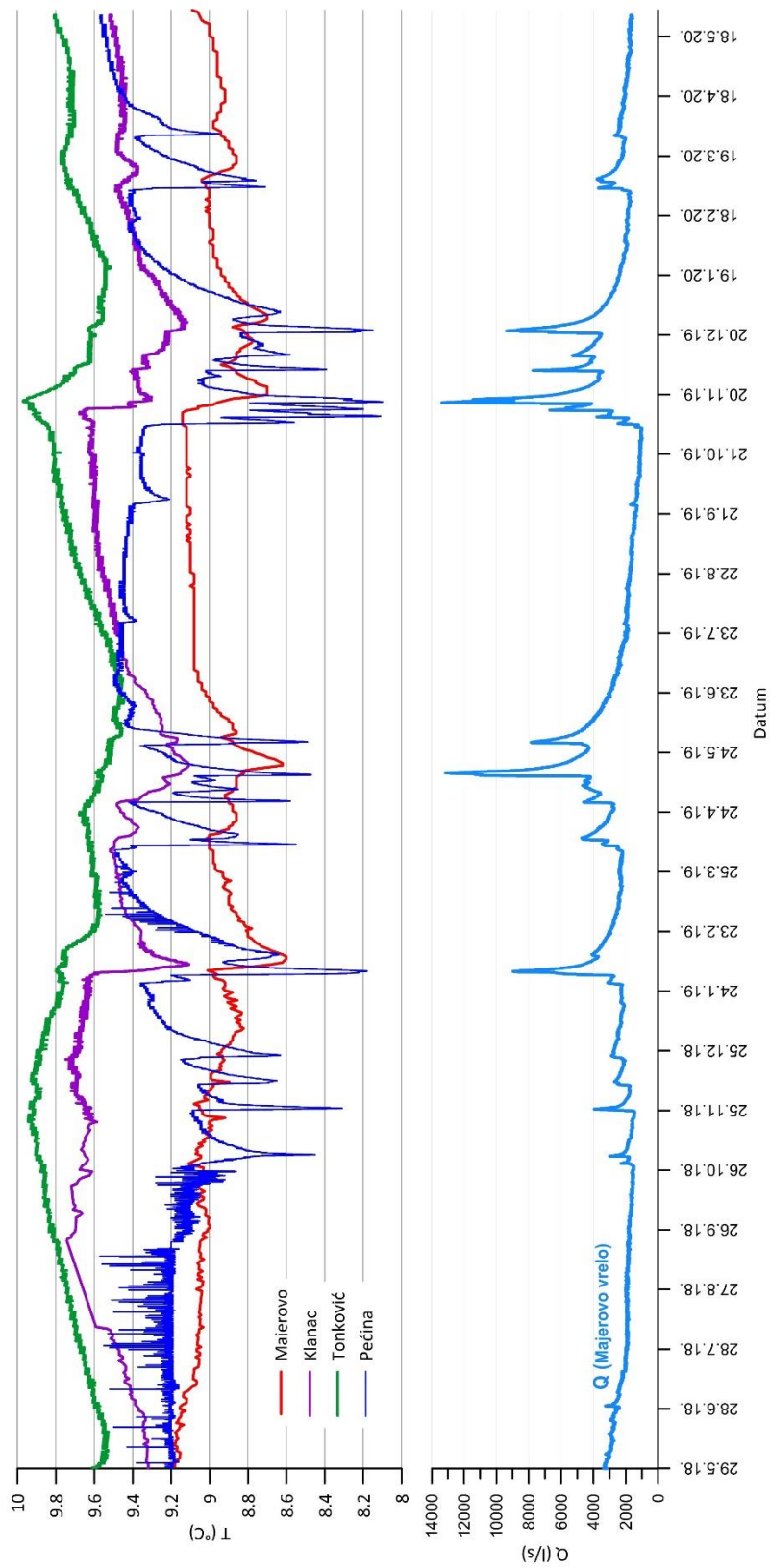
Razlika minimalne i maksimalne izmjerene temperature iznosi 0.6 °C na svim izvorima osim Pećine, gdje iznosi 1.5 °C. Ipak, dinamika temperature u velikoj se mjeri razlikuje na pojedinim izvorima (slika 4.2.12). Na izvoru Tonković vrelo temperatura je varirala samo unutar godišnjeg ciklusa, uz potpuni izostanak brze reakcije nakon nailaska vodnih valova. Ovo ukazuje na usporenu dinamiku vode koja se i u razdobljima intenzivnih oborina u potpunosti ekvilibrira s okolnom stijenskom masom prije izviranja. S druge strane dobro izražena godišnja kolebanja ukazuju na sezonska *grijanja* i *hlađenja* kompletnog krškog vodonosnika. Ovo ukazuje na razmjerno kratko srednje vrijeme zadržavanja vode unutar sustava (maksimalno 1-2 godine), unatoč izostanku brzog transporta infiltrirane vode na izvor nakon intenzivnih oborina. U slučaju dužeg srednjeg zadržavanja vode u sustavu, temperatura bi pokazivala dugogodišnji prosjek infiltriranih oborina, uz odsustvo godišnjih oscilacija. Izvor Klanac ima usklađenu godišnju dinamiku kolebanja temperature s Tonković vrelom, ali također brzu kratkotrajnu reakciju temperature nakon intenzivnih oborina. Unatoč usklađenoj dinamici na godišnjoj razini, temperatura izvora Klanac uvijek je nešto niža u odnosu

na Tonković vrelo. Ovakva dinamika ukazuje da je izvor Klanac velikim dijelom pod utjecajem temperaturne dinamike Tonković vrela, ali i da uvijek prima i dodatnu vodu s viših dijelova sliva, te da se na njemu povremeno nakon intenzivnih oborina javlja značajniji udio vode vrlo kratkog vremena zadržavanja u podzemlju.

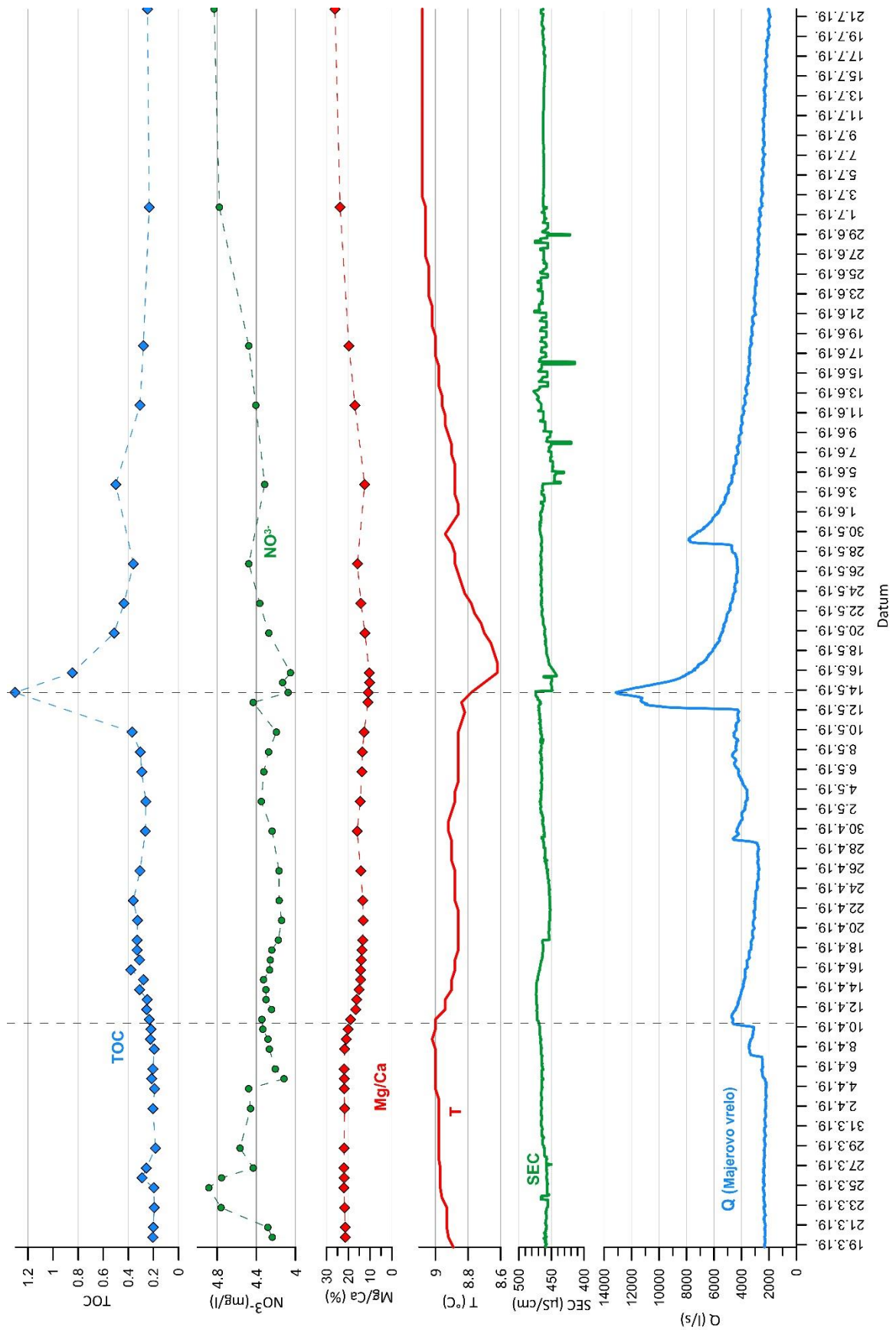
Najintenzivniju brzu reakciju temperature na intenzivne oborine pokazuje izvor Pećina, a nešto slabiju i Majerovo vrelo. Ovo ukazuje na izrazito brz transport vode kroz sustav (unutar nekoliko dana), uslijed čega se voda ne ekvilibrira sa okolnom stijenskom masom. S druge strane temperatura vode Pećine, a i Majerovog vrela ujednačena je u razdobljima baznog toka na izvoru, te se nakon prolaska vodnih valova razmjerno brzo vraća prema srednjoj vrijednosti, te nema primjetnih godišnjih oscilacija. Ovo ukazuje na dobru ekvilibriranost sustava na višegodišnjoj razini, odnosno na višegodišnju srednju starost podzemne vode koja prihranjuje bazni tok ovih izvora.

Srednje izmjerene vrijednosti elektrovodljivosti (SEC) na svim izvorima kreću se od 460 do 509 $\mu\text{S}/\text{cm}$, što su uobičajene vrijednosti za izvorske vode krških vodonosnika srednjeg klimatskog pojasa. U skladu s opisanom dinamikom temperature, najveće promjene u SEC-u pokazuje Pećina, gdje je razlika minimalne i maksimalne izmjerene vrijednosti viša od 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Na ostalim izvorima je ta razlika oko 60-70 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

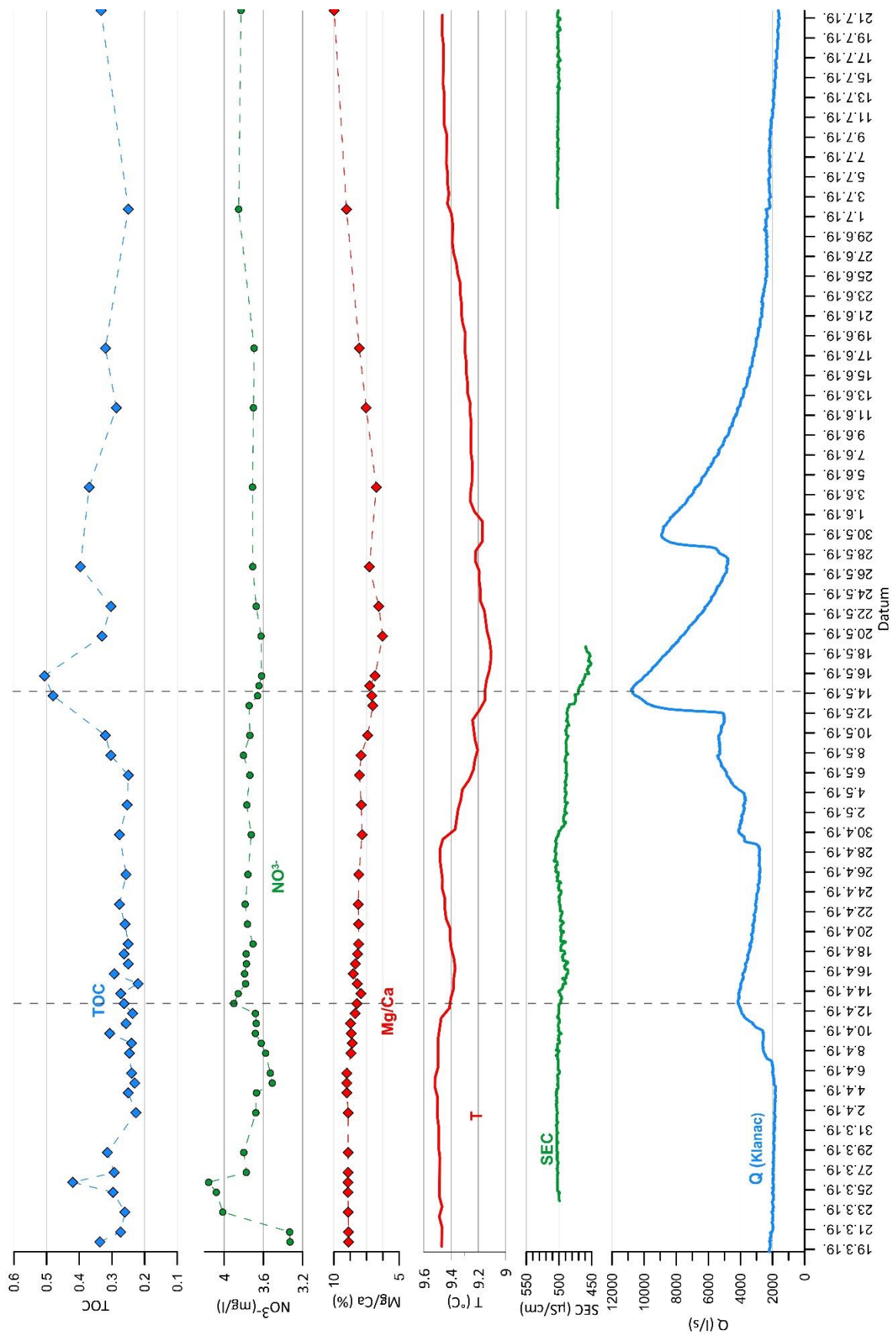
Smetnju pri mjerenju elektrovodljivosti predstavljale su biološki (vegetacijski) uvjetovane promjene u izvorskim jezerima, najviše u Majerovom Vrelu, te u dijelu razdoblja opažanja na Klancu (loger je kasnije premješten na povoljniju lokaciju). Majerovo vrelo ima oblik razmjerno velikog jezera, u čijem dnu se nalazi špiljski kanal iz kojeg izvire voda. Cijelo jezero intenzivno je obraslo vegetacijom, a kanal se nalazi više od 10 m ispod površine, uslijed čega nije moguće postaviti loger na način da je van utjecaja bioloških procesa u jezeru. Zbog navedenog mjereni podaci za SEC Majerovog vrela nisu potpuno pouzdani za interpretaciju dinamike krškog sustava. Ipak, na temelju mjerenih podataka vidljivo je da SEC Majerovog vrela povremeno pokazuje brzu reakciju na oborine. Najizraženiju reakciju SEC-a pokazuje izvor Pećina, uz izmjene kratkotrajnih porasta, te naknadnih padova vrijednosti. Izvor Klanac također pokazuje naglu reakciju na oborine karakteriziranu padom vrijednosti. Na Tonković vrelu brza reakcija nije prisutna. Zanimljivo je da svi izvori pokazuju i sezonske promjene SEC-a, koji je generalno povišen (isključujući kratkotrajne padove tijekom vodnih valova) u hidrološki vodnijim razdobljima, a snižen tijekom nižih protoka. Ova dinamika najbolje je izražena na Tonković vrelu. Slična sezonska dinamika SEC-a utvrđena je i na obližnjem izvoru Krbavice, a uzrok ovakvoj dinamici nije u potpunosti razjašnjen (Stroj i sur., 2020, Stroj i Briški 2017).



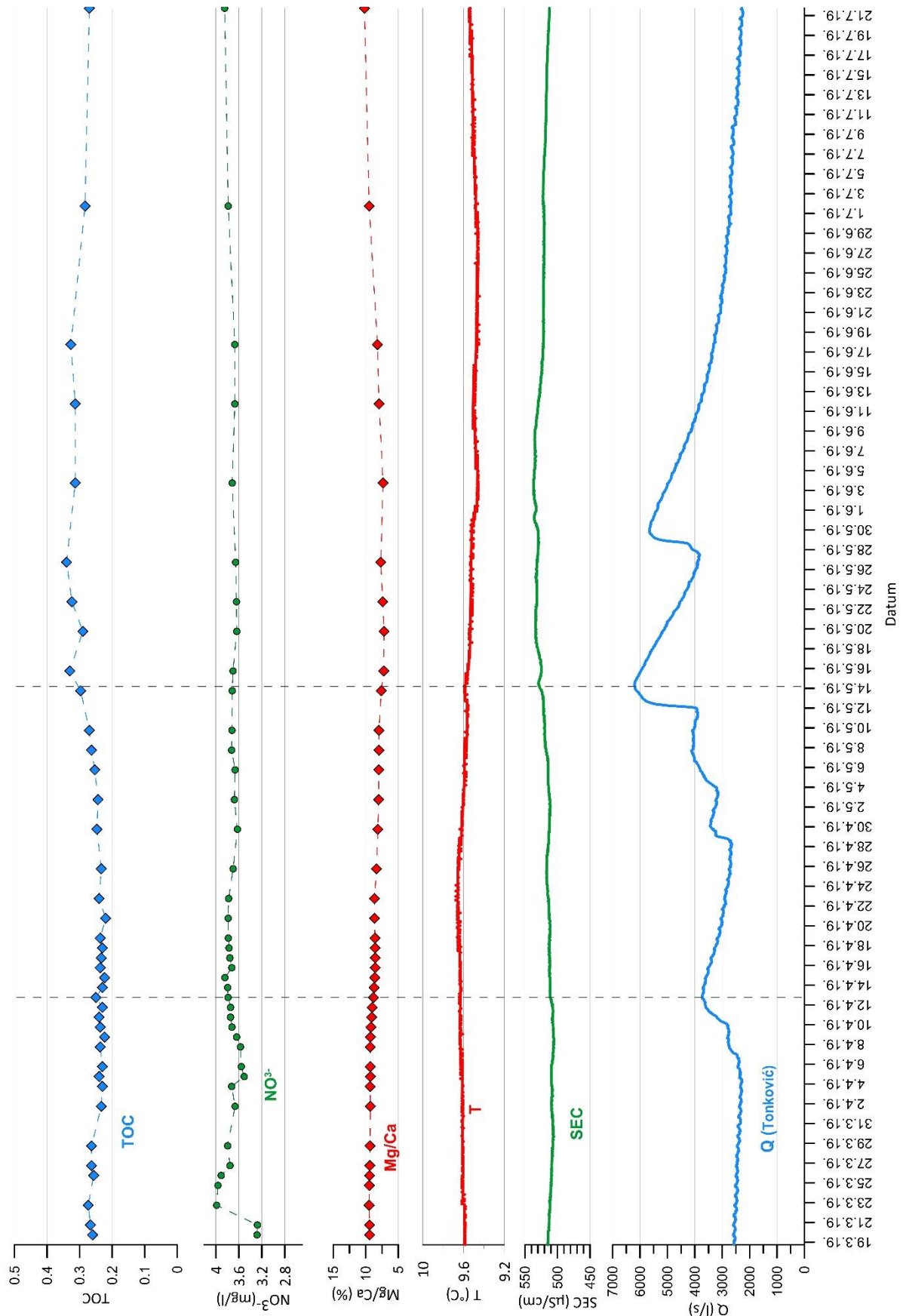
Slika 4.2.12. Temperature izvorske vode mjerene logerima i hidrogram Majerovog vrela



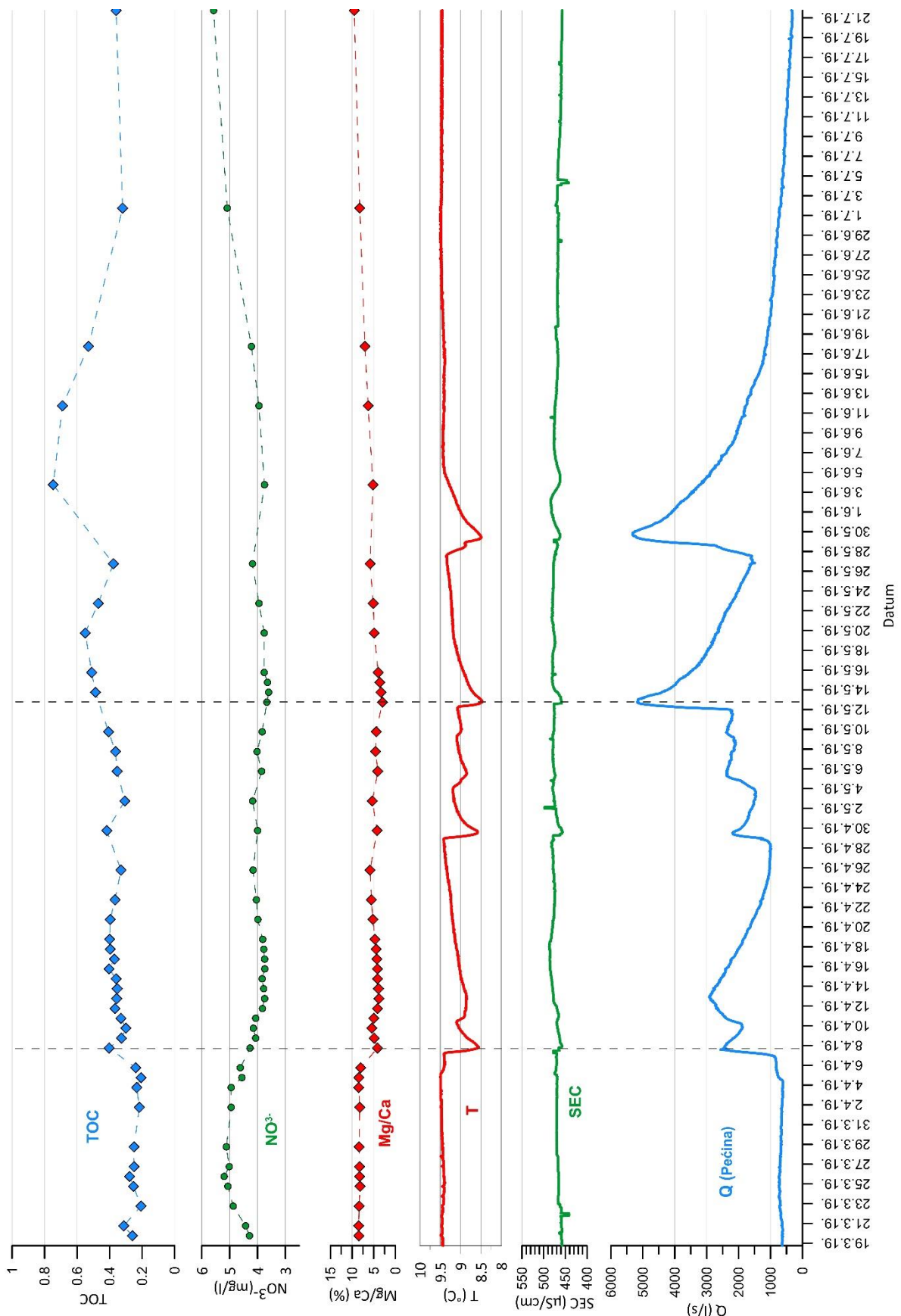
Slika 4.2.13. Protok, elektrovodljivost, temperatura, odnos Mg/Ca, ukupni organski ugljik (TOC) i nitrati u razdoblju gustog monitoringa – Majerovo vrelo



Slika 4.2.14. Protok, elektrovodljivost, temperatura, odnos Mg/Ca, ukupni organski ugljik (TOC) i nitrati u razdoblju gustog monitoringa – Klanac



Slika 4.2.15. Protok, elektrovodljivost, temperatura, odnos Mg/Ca, ukupni organski ugljik (TOC) i nitrati u razdoblju gustog monitoringa – Tonković



Slika 4.2.16. Protok, elektrovodljivost, temperatura, odnos Mg/Ca, ukupni organski ugljik (TOC) i nitrati u razdoblju gustog monitoringa – Pećina

4.2.2.2 Sadržaj osnovnih aniona i kationa, pH i otopljenog kisika

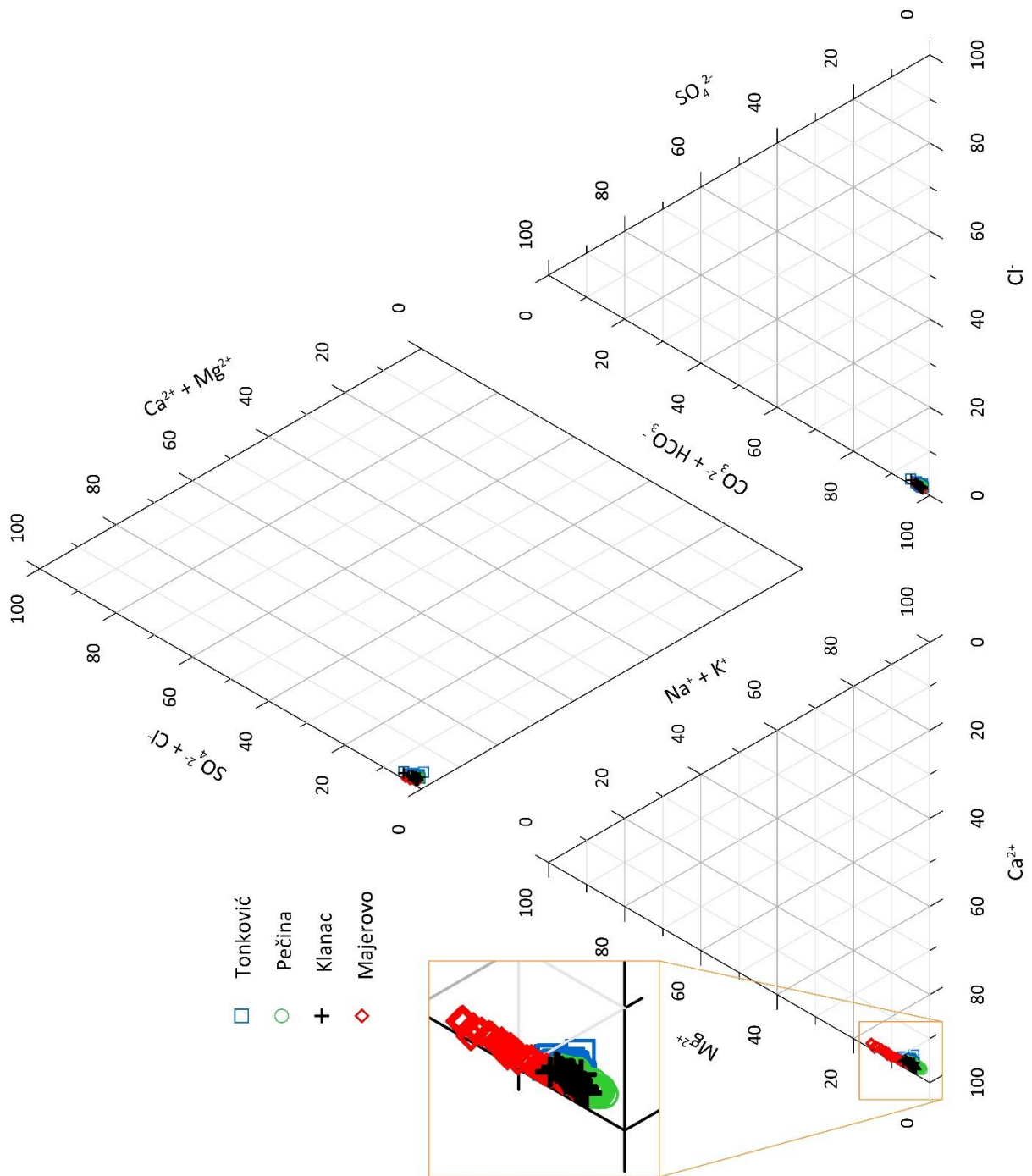
U tablici 4.2.4 prikazane su minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti pH i kisika izmjerene *in situ* terenskom sondom prilikom uzimanja uzoraka. Najveće promjene pH-vrijednosti zapažaju se u vodama izvora Pećine. Vrijednosti pH nalaze se su rasponu od 7.15 do 7.91. Vrijednosti pH u vodama izvora Klanca, Majerovog vrela i Tonkovića se kreću od 7.06 do 7.56 pri čemu su vode definirane kao blago alkalne. U vodama ovih izvora ne zamjećuju se velike varijacije u izmjerenim vrijednostima tijekom hidrološke godine. Srednja vrijednost pH kreće se oko 7.3 na svim izvorima osim Pećine, gdje iznosi oko 7.6. Sadržaj otopljenog kisika kreće se od 8.9 do 13.5 mg/l, najveće prosječne vrijednosti zabilježene su na Majerovom vrelu (11.5 mg/l), a najniže na Tonkoviću (9.6 mg/l). Mjerenja potvrđuju visok sadržaj kisika u izvorskim vodama u svim hidrološkim uvjetima tijekom cijelog razdoblja opažanja. Visok sadržaj kisika na Majerovom vrelu može dijelom biti posljedica bujne vegetacije u izvorskom jezeru, te nemogućnosti mjerenja van utjecaja vegetacije (špiljski kanal u dnu jezera iz kojeg izvire podzemna voda nalazi se na dubini većoj od 10 m).

Tablica 4.2.4. Minimalne, maksimalne i prosječne vrijednosti pH i kisika izmjerene *in situ* terenskom sondom

	pH			O ₂ (mg/l)		
	MIN	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG
MAJEROVO	7.16	7.56	7.38	9.91	13.47	11.54
KLANAC	7.10	7.45	7.33	8.88	10.19	9.61
TONKOVIĆ	7.06	7.49	7.34	9.15	10.36	9.72
PEĆINA	7.15	7.91	7.66	9.07	10.88	10.60

Rezultati sadržaja osnovnih aniona i kationa u mjesečnim uzorcima omogućili su konstrukciju Piperovih dijagrama kojima se definira hidrokemijski facijes izvorskih voda. Na slici 4.2.17 prikazan je Piperov dijagram koji uključuje sve opažane izvore. Prema svom osnovnom kemijskom sastavu izvorske vode Majerovog vrela pripadaju Ca-HCO₃ do CaMg-HCO₃ hidrokemijskom facijesu. Izvorske vode Tonkovića, Klanca i Pećine pripadaju Ca-HCO₃ facijesu (slika 4.2.17). Ovi tipovi voda su posljedica otapanja karbonatnih minerala (kalcita i dolomita), koji izgrađuju stijene slivnih područja izvora.

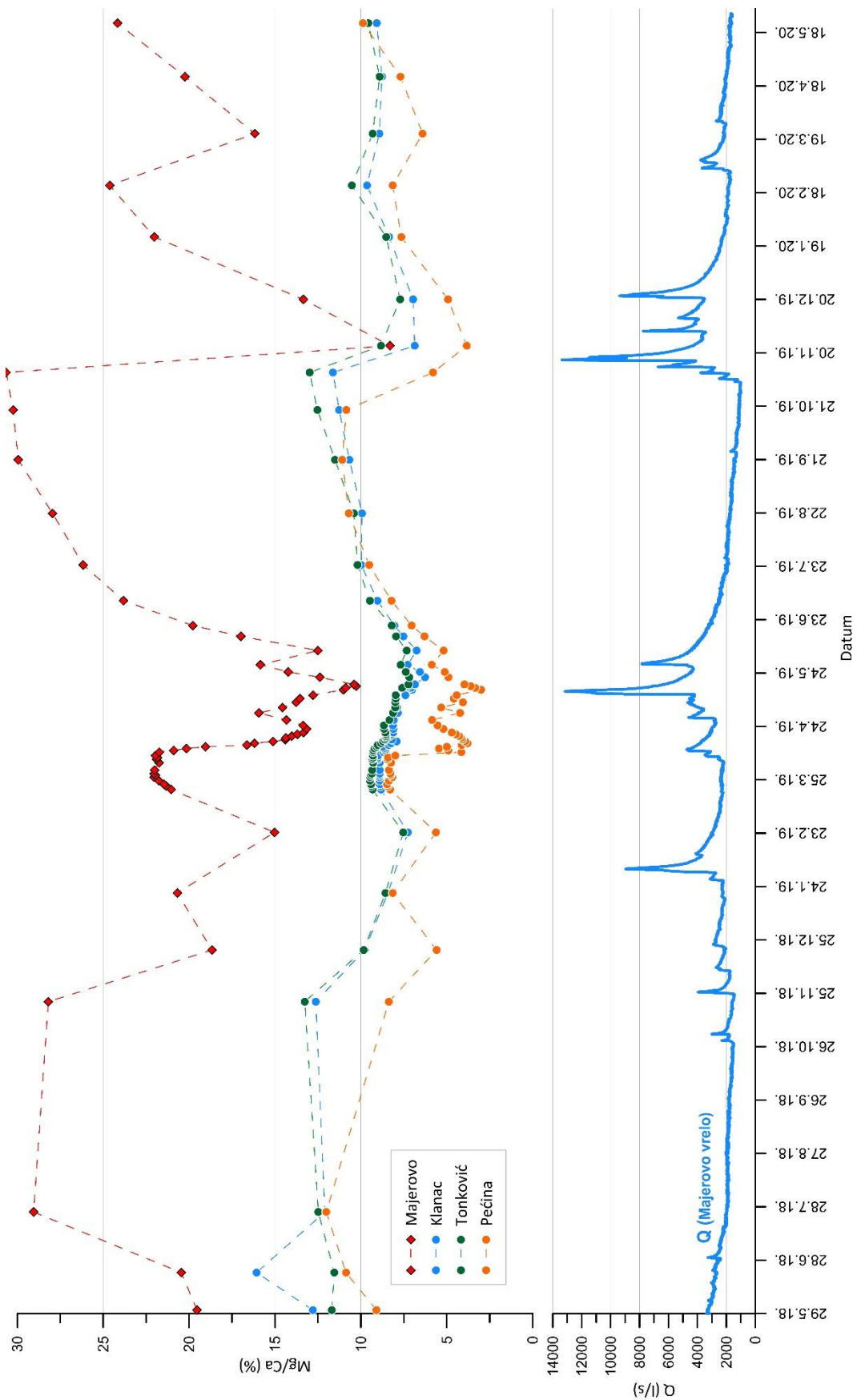
U tablicama 4.2.5 do 4.2.8 prikazane su izmjerene vrijednosti aniona, kationa te TOC-a na svim prikupljenim uzorcima, za svaki izvor zasebno. Također su dane i minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti izmjerenih vrijednosti. U tablicama su oznakom * označeni nepouzdana podaci (nastali zbog pogreške prilikom uzorkovanja ili mjerenja).



Slika 4.2.17. Piperov dijagram svih opažanih izvora

Osim hidrokemijskog facijesa, sadržaj osnovnih aniona i kationa može također ukazati na relativno vrijeme zadržavanja vode u podzemlju. Voda u kontaktu s karbonatnim stijenama dolazi u zasićenje s obzirom na sadržaj kalcita puno brže nego s obzirom na sadržaj dolomita, jer je otapanje dolomita otprilike dva reda veličine sporije nego otapanje kalcita. Stoga Mg/Ca molarni odnos može služiti kao indikator vremena zadržavanja vode u podzemlju. Ipak, potrebno je uzeti u obzir ujednačenosti udjela vapnenaca i dolomita unutar sliva, jer varijacije u Mg/Ca odnosu mogu biti i posljedica različitog porijekla vode i smjera tečenja.

Na slici 4.2.18 prikazani su molarni odnosi Mg/Ca na svim opažanim izvorima, te hidrogram Majerovog vrela. Hidrogram Majerovog vrela uzet je kao reprezentativan za hidrološke prilike u slivu s obzirom na visoku međusobnu korelaciju dinamike istjecanja glavnih izvora. Na svim izvorima može se uočiti snižen molarni odnos Mg/Ca tijekom vodnih razdoblja, a najviši je u razdobljima recesije. Najviši odnos i najizraženiju dinamiku pokazuje Majerovo vrelo, maksimalne vrijednosti idu i preko 30% Mg, s padovima nakon vrhova vodnih valova, često ispod 10%. Navedeno se može objasniti s najvećim udjelom dolomita u podslivu Majerovog vrela. S obzirom da Majerovo vrelo pokazuje brzu dinamiku, može se zaključiti da značajan udio dolomita u slivu ne predstavlja faktor duljeg zadržavanja vode i usporenog otjecanja u podzemlju. Ovo je u skladu i s rezultatima trasiranja, gdje su najveće prividne brzine trasera utvrđene od ponora u Vrhovinskom polju prema Majerovom vrelu, poprečno pružanju dolomitnih stijena unutar sliva. Izvori Tonković i Klanac pokazuju gotovo istovjetnu dinamiku s obzirom na Mg/Ca odnos. Vrijednosti se kreću od 17% na kraju recesije, do 6% nakon vodnih valova. Na izvoru Pećina vrijednosti se kreću od 3% do 12%, s malo jače izraženom dinamikom nego u slučaju Tonkovića i Klanca. Prema ovim vrijednostima može se zaključiti da Tonković, Klanac i Pećina imaju podjednak, generalno malen udio dolomitnih stijena u svojim podslivovima.



Slika 4.2.18. Molarni odnos Mg/Ca na svim opažanim izvorima i hidrogram Majerovog vrelo

Tablica 4.2.5. Sastav glavnih aniona i kationa i TOC-a u Majerovom vrelu (mg/l)

Datum	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	TOC
30.5.2018	*	7.50	*	63.30	*	*	*	267.18	0.37
20.6.2018	*	8.10	*	65.30	*	*	*	284.26	0.28
24.7.2018	*	13.30	*	75.50	*	*	*	290.36	0.28
24.8.2018	*	14.20	*	*	*	*	*	278.16	0.22
20.9.2018	0.32	14.33	*	*	2.00	5.77	8.05	286.70	0.21
18.10.2018	0.23	14.40	*	*	1.96	5.70	8.04	286.70	0.17
19.11.2018	0.32	13.15	*	76.94	2.02	5.13	9.69	272.06	0.20
18.12.2018	0.36	9.64	*	85.14	2.07	6.19	8.12	296.46	0.32
19.1.2019	0.28	10.35	*	82.49	1.51	4.28	7.30	302.56	0.36
22.2.2019	0.80	7.89	0.32	86.65	1.48	5.19	6.20	294.02	0.32
18.3.2019	0.73	10.47	0.35	82.09	1.39	4.21	6.36	291.58	0.19
20.3.2019	0.76	10.62	0.36	82.12	1.33	4.24	6.22	285.48	0.20
21.3.2019	0.75	10.70	0.35	82.26	1.35	4.28	6.30	291.58	0.20
23.3.2019	0.75	10.80	0.37	81.86	1.33	4.76	6.39	275.72	0.19
25.3.2019	0.75	10.95	0.36	81.92	1.35	4.89	6.47	279.38	0.20
26.3.2019	0.77	10.98	0.37	82.50	1.40	4.76	6.49	292.80	0.29
27.3.2019	0.80	11.01	0.36	82.41	1.50	4.43	6.71	283.04	0.26
29.3.2019	0.77	11.00	0.36	82.44	1.52	4.57	6.79	296.46	0.18
2.4.2019	0.81	10.91	0.38	82.71	1.50	4.46	6.78	280.60	0.20
4.4.2019	0.80	10.95	0.39	82.49	1.53	4.48	6.80	273.28	0.19
5.4.2019	0.80	10.89	0.39	82.25	1.37	4.12	6.39	280.60	0.21
6.4.2019	0.80	11.00	0.37	82.56	1.40	4.21	6.51	286.70	0.20
8.4.2019	0.81	10.95	0.37	83.10	1.44	4.27	6.62	286.70	0.19
9.4.2019	0.81	10.64	0.36	83.99	1.46	4.28	6.62	283.04	0.22
10.4.2019	0.82	10.35	0.36	84.71	1.55	4.33	6.73	289.14	0.22
11.4.2019	0.88	9.95	0.35	86.18	1.61	4.34	6.75	290.36	0.23
12.4.2019	0.82	8.92	0.35	88.39	1.55	4.24	6.73	287.92	0.25
13.4.2019	0.79	8.70	0.33	88.64	1.50	4.30	6.65	291.58	0.25
14.4.2019	0.76	8.22	0.33	89.72	1.50	4.30	6.57	294.02	0.31
15.4.2019	0.79	7.86	0.33	90.13	1.52	4.33	6.53	286.70	0.28
16.4.2019	0.78	7.75	0.35	88.98	1.50	4.26	6.56	290.36	0.38
17.4.2019	0.78	7.56	0.34	88.96	1.52	4.26	6.60	286.70	0.31
18.4.2019	0.80	7.36	0.34	88.63	1.55	4.24	6.58	285.48	0.33
19.4.2019	0.81	7.16	0.36	88.49	1.56	4.18	6.43	292.80	0.33
21.4.2019	0.80	7.11	0.36	89.18	1.53	4.14	6.46	*	0.33
23.4.2019	0.81	7.19	0.34	88.67	1.55	4.17	6.42	291.58	0.36
26.4.2019	0.78	7.47	0.33	85.93	1.51	4.17	6.43	287.92	0.31
30.4.2019	0.81	8.37	0.35	86.62	1.54	4.24	6.55	289.14	0.26
3.5.2019	0.82	7.88	0.35	89.25	1.57	4.35	6.44	285.48	0.26
6.5.2019	0.72	7.25	0.31	86.91	1.53	4.32	6.44	289.14	0.29
8.5.2019	0.75	7.23	0.31	88.06	1.54	4.27	6.46	285.48	0.30
10.5.2019	0.86	6.87	0.33	88.59	1.60	4.20	6.23	284.26	0.37
13.5.2019	0.83	6.06	0.35	90.78	1.63	4.43	6.27		
14.5.2019	0.83	5.82	0.37	88.16	1.58	4.08	5.97	279.38	1.30
15.5.2019	0.81	5.34	0.38	85.66	1.62	4.13	6.07		
16.5.2019	0.78	5.45	0.35	86.48	1.54	4.05	6.05	264.74	0.85
20.5.2019	0.81	6.62	0.38	88.18	1.57	4.27	6.16	272.06	0.51
23.5.2019	0.80	7.50	0.35	87.00	1.62	4.36	6.27	291.58	0.43

27.5.2019	0.81	8.32	0.37	86.62	1.60	4.48	6.47	291.58	0.36
4.6.2019	0.77	6.55	0.38	86.41	1.57	4.31	6.26	280.60	0.50
12.6.2019	0.81	8.77	0.31	85.19	1.66	4.41	6.69	290.36	0.31
18.6.2019	0.78	9.87	0.37	82.31	1.59	4.48	7.00	290.36	0.28
2.7.2019	0.80	11.50	0.39	79.59	1.62	4.78	7.12	289.14	0.23
22.7.2019	0.76	12.36	0.43	77.90	1.59	4.83	7.21	281.82	0.25
20.8.2019	0.77	13.30	0.42	78.46	1.47	4.62	7.04	284.26	0.25
19.9.2019	0.80	13.92	0.37	76.66	1.65	4.96	7.65	290.36	0.19
17.10.2019	0.82	14.14	0.44	77.11	1.63	4.92	7.79	292.80	0.22
7.11.2019	0.73	14.14	0.36	76.09	1.57	4.96	7.74	291.58	0.25
22.11.2019	0.96	4.84	0.31	96.05	1.45	3.44	5.68	295.24	0.68
18.12.2019	1.09	7.53	0.36	93.11	1.45	3.60	5.69	300.12	0.39
22.1.2020	1.01	11.29	0.39	84.56	1.47	3.96	6.32	295.24	0.22
20.2.2020	0.89	11.75	0.36	78.73	1.48	4.18	6.65	273.28	0.26
20.3.2020	1.00	8.62	0.35	87.93	1.53	3.76	6.53	305.00	0.30
21.4.2020	1.01	10.52	0.36	85.72	1.50	4.01	6.50	298.90	0.23
21.5.2020	1.00	12.33	0.37	84.12	1.44	4.09	6.68	292.80	0.18
MIN	0.23	4.84	0.31	63.30	1.33	3.44	5.68	264.74	0.17
MAX	1.09	14.40	0.44	96.05	2.07	6.19	9.69	305.00	1.30
AVG	0.78	9.61	0.36	84.18	1.55	4.43	6.69	287.17	0.31

Tablica 4.2.6. Sastav glavnih aniona i kationa i TOC-a u Klancu (mg/l)

Datum	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	TOC
30.5.2018	1.10	5.50	*	70.90	1.80	*	*	298.90	0.31
20.6.2018	1.10	6.90	*	70.80	2.20	*	*	309.88	0.46
24.7.2018	1.60	6.30	*	85.90	2.10	*	*	302.56	0.35
24.8.2018	1.50	6.60	*	*	2.20	*	*	292.80	0.25
20.9.2018	0.92	6.61	*	*	3.14	4.45	12.18	292.80	0.27
18.10.2018	0.80	6.45	*	*	3.08	4.45	11.62	296.46	0.22
19.11.2018	0.90	6.85	*	89.51	3.07	4.18	13.71	284.26	0.21
18.12.2018	1.16	5.66	*	95.57	3.39	5.26	10.82	312.32	0.34
19.1.2019	1.22	4.97	*	97.24	3.25	3.51	8.57	320.86	0.33
22.2.2019	2.34	4.39	0.34	99.68	3.22	4.66	6.54	326.96	0.30
18.3.2019	1.36	5.33	0.36	99.61	2.16	3.61	7.22	312.32	0.26
20.3.2019	1.40	5.33	0.36	99.12	2.06	3.33	7.06	305.00	0.34
21.3.2019	1.37	5.34	0.36	99.15	2.04	3.33	7.15	314.76	0.27
23.3.2019	1.38	5.34	0.37	98.91	2.09	4.01	7.26	292.80	0.26
25.3.2019	1.39	5.35	0.37	99.04	2.15	4.08	7.43	301.34	0.30
26.3.2019	1.41	5.36	0.38	99.18	2.21	4.16	7.53	308.66	0.42
27.3.2019	1.41	5.36	0.35	99.19	2.39	3.77	7.83	295.24	0.29
29.3.2019	1.48	5.35	0.37	99.07	2.50	3.80	7.86	307.44	0.31
2.4.2019	1.57	5.34	0.41	98.99	2.53	3.68	7.82	307.44	0.23
4.4.2019	1.83	5.39	0.44	98.70	2.87	3.67	7.93	294.02	0.25
5.4.2019	1.88	5.38	0.40	98.56	2.51	3.51	7.36	302.56	0.23
6.4.2019	1.87	5.39	0.39	98.73	2.58	3.53	7.55	305.00	0.24
8.4.2019	1.89	5.23	0.38	99.26	2.70	3.58	7.64	305.00	0.25
9.4.2019	1.80	5.18	0.36	99.36	2.67	3.62	7.87	309.88	0.24
10.4.2019	1.70	5.20	0.37	99.06	2.68	3.68	8.11	303.78	0.31
11.4.2019	1.67	5.25	0.38	99.35	2.65	3.67	7.82	301.34	0.26
12.4.2019	1.60	5.05	0.36	99.45	2.63	3.68	8.07	297.68	0.24

13.4.2019	1.38	4.95	0.43	99.05	2.25	3.90	7.37	300.12	0.26
14.4.2019	1.47	4.78	0.42	99.47	2.39	3.86	7.15	308.66	0.27
15.4.2019	1.34	4.88	0.38	98.13	2.25	3.78	7.47	300.12	0.22
16.4.2019	1.32	5.01	0.37	97.00	2.20	3.79	7.50	291.58	0.29
17.4.2019	1.35	4.95	0.36	97.76	2.27	3.77	7.48	301.34	0.25
18.4.2019	1.40	4.90	0.36	98.51	2.37	3.78	7.59	294.02	0.26
19.4.2019	1.49	4.85	0.38	98.58	2.40	3.71	7.54	302.56	0.25
21.4.2019	1.57	4.86	0.38	98.99	2.54	3.76	7.53	273.28	0.26
23.4.2019	1.57	4.89	0.38	99.18	2.55	3.79	7.47	307.44	0.28
26.4.2019	1.60	4.84	0.36	98.77	2.64	3.76	7.25	305.00	0.26
30.4.2019	1.54	4.76	0.38	100.07	2.61	3.72	7.36	308.66	0.28
3.5.2019	1.27	4.69	0.39	97.92	2.24	3.77	7.16	302.56	0.25
6.5.2019	1.05	4.66	0.38	95.56	1.99	3.74	7.17	303.78	0.25
8.5.2019	1.00	4.62	0.38	96.31	1.89	3.80	6.83	298.90	0.30
10.5.2019	1.07	4.40	0.39	97.93	1.94	3.74	6.82	296.46	0.32
13.5.2019	0.97	4.16	0.41	97.72	1.81	3.75	6.61		
14.5.2019	0.87	4.10	0.40	95.35	1.67	3.66	6.28	286.70	0.48
15.5.2019	0.84	4.11	0.43	93.42	1.59	3.64	6.18		
16.5.2019	0.83	3.86	0.44	93.05	1.58	3.62	6.08	275.72	0.51
20.5.2019	0.88	3.71	0.41	97.58	1.67	3.62	6.25	294.02	0.33
23.5.2019	0.89	3.90	0.37	98.02	1.72	3.67	6.43	292.80	0.30
27.5.2019	1.04	4.36	0.40	98.79	1.93	3.71	6.71	308.66	0.40
4.6.2019	1.02	3.97	0.44	96.99	1.88	3.71	6.50	296.46	0.37
12.6.2019	1.05	4.51	0.33	98.71	2.03	3.70	6.81	311.10	0.29
18.6.2019	1.20	4.77	0.38	97.76	2.15	3.69	7.21	311.10	0.32
2.7.2019	1.32	5.43	0.37	99.05	2.41	3.85	8.10	309.88	0.25
22.7.2019	1.21	5.88	0.39	97.30	2.26	3.83	8.72	301.34	0.33
20.8.2019	1.56	5.85	0.38	97.16	2.47	3.77	8.69	298.90	0.22
19.9.2019	1.51	6.17	0.40	95.37	2.69	4.02	10.05	298.90	*
17.10.2019	1.56	6.44	0.42	94.31	2.62	4.14	10.46	301.34	0.21
7.11.2019	1.61	6.58	0.38	93.40	2.74	4.19	10.85	298.90	0.19
22.11.2019	1.16	4.11	0.38	98.82	1.65	3.08	6.14	298.90	0.49
18.12.2019	1.33	4.35	0.39	103.08	1.73	3.01	5.88	309.88	0.34
22.1.2020	1.62	5.23	0.41	103.22	2.36	3.16	6.85	318.42	0.26
20.2.2020	1.38	5.76	0.34	98.52	2.23	3.30	8.72	307.44	0.29
20.3.2020	1.87	5.47	0.39	101.17	2.74	3.33	7.92	319.64	0.27
21.4.2020	1.70	5.44	0.38	102.25	2.49	3.21	7.50	341.60	0.24
21.5.2020	1.70	5.63	0.35	102.21	2.48	3.21	8.14	300.12	0.26
MIN	0.80	3.71	0.33	70.80	1.58	3.01	5.88	273.28	0.19
MAX	2.34	6.90	0.44	103.22	3.39	5.26	13.71	341.60	0.51
AVG	1.37	5.17	0.38	97.11	2.34	3.75	7.80	302.83	0.29

Tablica 4.2.7. Sastav glavnih aniona i kationa i TOC-a u Tonkoviću (mg/l)

Datum	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	TOC
30.5.2018	1.80	5.50	*	77.60	2.70	*	*	296.46	0.28
20.6.2018	1.70	6.00	*	85.70	2.80	*	*	309.88	0.23
24.7.2018	2.20	6.40	*	84.60	3.10	*	*	302.56	0.21
24.8.2018	2.10	6.90	*	*	3.30	*	*	285.48	0.18
20.9.2018	1.48	7.01	*	*	4.17	4.59	13.32	296.46	0.16
18.10.2018	1.18	7.01	*	*	3.88	4.61	13.29	289.14	0.16
19.11.2018	1.32	7.26	*	90.31	3.79	4.26	14.30	285.48	0.16
18.12.2018	1.70	5.73	*	96.11	4.45	5.16	9.89	303.78	0.31
19.1.2019	1.72	5.10	*	98.27	4.31	3.50	8.21	320.86	0.29
22.2.2019	4.40	4.74	0.30	103.80	5.72	4.65	6.43	329.40	0.34
18.3.2019	1.83	5.75	0.33	101.72	2.75	3.55	7.29	309.88	0.25
20.3.2019	1.90	5.75	0.35	100.93	2.63	3.28	7.19	312.32	0.26
21.3.2019	1.88	5.76	0.35	100.93	2.71	3.28	7.22	319.64	0.27
23.3.2019	1.87	5.75	0.36	100.14	2.73	3.99	7.29	300.12	0.27
25.3.2019	1.94	5.74	0.43	100.13	2.86	3.96	7.37	306.22	*
26.3.2019	1.94	5.73	0.36	100.41	2.91	3.91	7.51	317.20	0.26
27.3.2019	2.04	5.70	0.34	100.40	3.24	3.75	7.72	300.12	0.26
29.3.2019	2.01	5.67	0.34	100.14	3.29	3.80	7.89	311.10	0.26
2.4.2019	2.62	5.63	0.39	100.00	3.78	3.67	7.78	311.10	0.23
4.4.2019	2.59	5.65	0.38	99.82	3.82	3.72	7.91	302.56	0.23
5.4.2019	2.81	5.62	0.41	99.83	3.56	3.51	7.30	303.78	0.24
6.4.2019	2.76	5.63	0.36	99.80	3.65	3.56	7.42	305.00	0.23
8.4.2019	2.61	5.61	0.38	99.52	3.61	3.57	7.61	302.56	0.24
9.4.2019	2.53	5.60	0.39	99.53	3.63	3.64	7.63	311.10	0.22
10.4.2019	2.54	5.56	0.36	99.65	3.89	3.72	7.83	303.78	0.24
11.4.2019	2.55	5.51	0.37	100.03	3.94	3.74	7.85	303.78	0.24
12.4.2019	2.49	5.47	0.36	100.02	3.94	3.74	7.83	305.00	0.23
13.4.2019	2.76	5.36	0.34	100.27	4.11	3.79	7.72	302.56	0.25
14.4.2019	2.61	5.32	0.33	100.80	3.95	3.80	7.75	309.88	0.23
15.4.2019	2.59	5.26	0.33	100.92	3.99	3.84	7.74	305.00	0.22
16.4.2019	2.62	5.23	0.32	101.08	4.01	3.72	7.69	303.78	0.24
17.4.2019	2.62	5.24	0.32	101.11	4.07	3.76	7.72	301.34	0.23
18.4.2019	2.72	5.24	0.32	100.96	4.20	3.77	7.80	301.34	0.23
19.4.2019	2.76	5.24	0.34	100.77	4.16	3.78	7.72	302.56	0.24
21.4.2019	2.61	5.30	0.35	101.02	3.98	3.79	7.61	320.86	0.22
23.4.2019	2.53	5.32	0.35	101.38	3.98	3.78	7.51	315.98	0.24
26.4.2019	2.49	5.12	0.30	101.26	3.87	3.70	7.15	307.44	0.23
30.4.2019	2.27	5.02	0.34	101.90	3.68	3.63	7.14	312.32	0.25
3.5.2019	2.17	4.95	0.33	102.06	3.65	3.68	7.28	314.76	0.24
6.5.2019	2.01	4.91	0.30	101.32	3.48	3.66	7.18	323.30	0.25
8.5.2019	2.07	4.95	0.30	102.23	3.59	3.72	7.41	311.10	0.26
10.5.2019	2.22	4.99	0.32	103.19	3.65	3.72	7.32	307.44	0.27
13.5.2019									
14.5.2019	2.15	4.78	0.33	103.72	3.62	3.72	6.96	308.66	0.30
15.5.2019									
16.5.2019	2.01	4.57	0.30	104.19	3.42	3.70	7.06	308.66	0.33
20.5.2019	2.21	4.61	0.32	105.85	3.68	3.64	6.91	322.08	0.29
23.5.2019	2.00	4.71	0.32	105.28	3.42	3.64	6.82	326.96	0.32

27.5.2019	2.13	4.92	0.35	105.68	3.63	3.65	6.74	331.84	0.34
4.6.2019	2.40	4.71	0.36	105.85	4.07	3.72	6.76	325.74	0.31
12.6.2019	1.93	5.03	0.30	104.46	3.52	3.67	6.64	322.08	0.31
18.6.2019	2.10	5.10	0.37	102.50	3.54	3.67	6.95	322.08	0.33
2.7.2019	1.77	5.88	0.35	102.36	3.16	3.78	8.37	315.98	0.28
22.7.2019	1.62	6.15	0.38	99.52	2.89	3.85	8.93	314.76	0.27
20.8.2019	2.14	6.15	0.39	97.50	3.28	3.87	9.07	296.46	0.21
19.9.2019	1.98	6.65	0.35	95.37	3.39	4.19	10.47	306.22	0.19
17.10.2019	2.06	7.12	0.44	93.74	3.39	4.28	11.29	298.90	0.18
7.11.2019	1.89	7.24	0.39	91.97	3.16	4.21	11.38	295.24	0.15
22.11.2019	2.20	5.64	0.28	105.35	2.94	3.22	7.43	324.52	0.32
18.12.2019	2.42	5.16	0.33	110.33	3.10	2.98	6.10	331.84	0.35
22.1.2020	2.11	5.52	0.34	106.84	3.08	3.05	6.74	331.84	0.30
20.2.2020	1.82	6.44	0.40	100.88	2.89	3.28	9.15	315.98	0.27
20.3.2020	2.45	5.81	0.36	102.84	3.52	3.26	8.10	328.18	0.26
21.4.2020	2.24	5.66	0.37	104.78	3.28	3.21	7.67	323.30	0.39
21.5.2020	2.22	5.96	0.35	102.76	3.22	3.18	8.35	307.44	0.23
MIN	1.18	4.57	0.28	77.60	2.63	2.98	6.10	285.48	0.15
MAX	4.40	7.26	0.44	110.33	5.72	5.16	14.30	331.84	0.39
AVG	2.21	5.60	0.35	100.19	3.55	3.75	8.05	310.21	0.26

Tablica 4.2.8. Sastav glavnih aniona i kationa i TOC-a u Pećini (mg/l)

Datum	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	TOC (mg/L)
30.5.2018	1.70	4.60	*	83.40	2.60	*	*	287.92	0.31
20.6.2018	1.70	5.10	*	77.40	3.00	*	*	287.92	0.21
24.7.2018	1.70	5.90	*	81.00	2.60	*	*	265.96	0.17
24.8.2018	1.60	5.90	*	*	2.70	*	*	265.96	0.17
20.9.2018	0.92	5.86	*	*	3.46	6.91	6.65	278.16	0.15
18.10.2018	0.83	5.56	*	*	3.44	6.84	6.36	270.84	0.23
19.11.2018	0.90	4.60	*	90.51	3.21	5.56	6.88	286.70	0.36
18.12.2018	1.05	3.42	*	100.81	3.80	5.70	6.78	322.08	0.38
19.1.2019	1.18	4.65	*	94.14	3.63	4.75	6.97	305.00	0.64
22.2.2019	1.61	3.30	0.37	96.57	2.61	5.11	6.00	296.46	0.50
18.3.2019	1.62	4.73	0.43	93.92	2.57	4.70	6.14	295.24	0.22
20.3.2019	1.76	4.77	0.45	93.22	2.52	4.28	5.99	283.04	0.26
21.3.2019	1.91	4.81	0.44	93.53	2.74	4.43	6.15	290.36	0.31
23.3.2019	1.81	4.71	0.44	92.92	2.68	4.87	6.13	287.92	0.21
25.3.2019	1.75	4.63	0.44	93.55	2.74	5.06	6.18	280.60	0.25
26.3.2019	1.74	4.71	0.45	93.83	2.74	5.20	6.29	289.14	0.28
27.3.2019	1.72	4.72	0.43	94.03	2.94	5.01	6.41	279.38	0.25
29.3.2019	1.76	4.77	0.48	94.13	3.06	5.12	6.46	296.46	0.25
2.4.2019	1.70	4.72	0.45	94.44	2.83	4.94	6.36	287.92	0.22
4.4.2019	1.70	4.84	0.48	94.46	2.89	4.94	6.44	290.36	0.23
5.4.2019	1.74	4.82	0.45	94.42	2.59	4.56	6.14	290.36	0.21
6.4.2019	2.19	4.60	0.47	94.87	3.22	4.62	6.14	290.36	0.24
8.4.2019	1.54	2.46	0.33	97.73	2.45	4.27	6.15	287.92	0.40
9.4.2019	1.53	2.88	0.36	96.69	2.55	4.07	6.12	292.80	0.33
10.4.2019	1.51	3.22	0.36	97.41	2.62	4.15	6.14	290.36	0.30
11.4.2019	1.52	2.95	0.35	97.54	2.66	4.06	6.16	287.92	0.33
12.4.2019	1.51	2.48	0.32	99.02	2.67	3.82	6.10	291.58	0.37

13.4.2019	2.09	2.30	0.29	100.34	3.44	3.74	5.98	295.24	0.36
14.4.2019	2.12	2.40	0.30	100.81	3.51	3.78	6.03	298.90	0.35
15.4.2019	1.96	2.52	0.31	101.39	3.32	3.83	6.05	298.90	0.36
16.4.2019	1.93	2.58	0.32	102.22	3.20	3.74	5.99	302.56	0.40
17.4.2019	1.92	2.66	0.33	102.38	3.22	3.74	6.05	300.12	0.37
18.4.2019	1.84	2.77	0.34	102.18	3.12	3.77	6.08	298.90	0.40
19.4.2019	1.82	2.89	0.36	101.35	2.96	3.81	6.04	290.36	0.40
21.4.2019	1.71	3.15	0.37	99.86	2.81	3.99	6.05	305.00	0.40
23.4.2019	1.61	3.32	0.39	98.82	2.72	4.04	6.15	297.68	0.37
26.4.2019	1.49	3.45	0.26	97.20	2.68	4.16	6.24	291.58	0.33
30.4.2019	1.39	2.46	0.33	96.20	2.43	3.99	6.14	309.88	0.42
3.5.2019	1.60	3.19	0.36	98.74	2.85	4.17	6.33	297.68	0.31
6.5.2019	1.67	2.43	0.31	98.64	3.00	3.85	6.17	297.68	0.35
8.5.2019	1.83	2.76	0.33	99.12	3.23	4.02	6.27	294.02	0.36
10.5.2019	1.86	2.67	0.34	99.55	3.17	3.83	6.19	286.70	0.41
13.5.2019	1.30	1.77	0.27	97.35	2.36	3.66	6.12		
14.5.2019	1.76	2.02	0.30	99.43	3.07	3.60	6.12	283.04	0.49
15.5.2019	2.14	2.19	0.34	100.10	3.75	3.64	6.21		
16.5.2019	2.05	2.41	0.30	100.12	3.58	3.76	6.26	286.70	0.51
20.5.2019	1.85	2.93	0.37	98.71	3.17	3.76	6.10	287.92	0.55
23.5.2019	1.79	3.06	0.38	98.48	3.14	3.95	6.21	305.00	0.47
27.5.2019	1.67	3.47	0.41	97.51	2.96	4.18	6.30	298.90	0.38
4.6.2019	2.01	2.99	0.43	95.12	3.30	3.75	6.04	289.14	0.75
12.6.2019	1.86	3.68	0.45	96.22	3.25	3.95	6.44	297.68	0.69
18.6.2019	1.73	4.01	0.48	93.90	3.06	4.22	6.34	292.80	0.53
2.7.2019	1.71	4.68	0.47	93.84	3.04	5.09	6.63	283.04	0.32
22.7.2019	1.69	5.27	0.54	91.33	3.10	5.58	6.76	283.04	0.36
20.8.2019	1.49	5.76	0.51	88.70	2.59	5.46	6.49	281.82	0.20
19.9.2019	1.41	5.91	0.43	87.90	2.74	5.89	6.65	289.14	0.19
17.10.2019	1.46	5.82	0.51	88.53	2.68	5.74	6.68	297.68	0.20
7.11.2019	1.77	3.35	0.35	95.10	2.98	4.90	6.43	291.58	0.45
22.11.2019	2.03	2.42	0.32	104.25	2.70	2.90	5.38	302.56	0.88
18.12.2019	1.88	3.09	0.46	103.47	2.43	3.24	5.51	307.44	0.63
22.1.2020	1.82	4.55	0.45	98.30	2.65	4.19	6.01	302.56	0.30
20.2.2020	1.85	4.66	0.50	94.22	2.99	4.59	6.11	297.68	0.26
20.3.2020	1.77	3.90	0.43	100.35	2.74	3.66	5.98	314.76	0.45
21.4.2020	1.91	4.66	0.43	99.81	2.96	4.40	6.50	311.10	0.28
21.5.2020	1.75	5.68	0.47	94.73	2.74	4.84	6.37	287.92	0.18
MIN	0.83	1.77	0.26	77.40	2.36	2.90	5.38	265.96	0.15
MAX	2.19	5.91	0.54	104.25	3.80	6.91	6.97	322.08	0.88
AVG	1.69	3.84	0.39	96.06	2.94	4.43	6.24	292.63	0.36

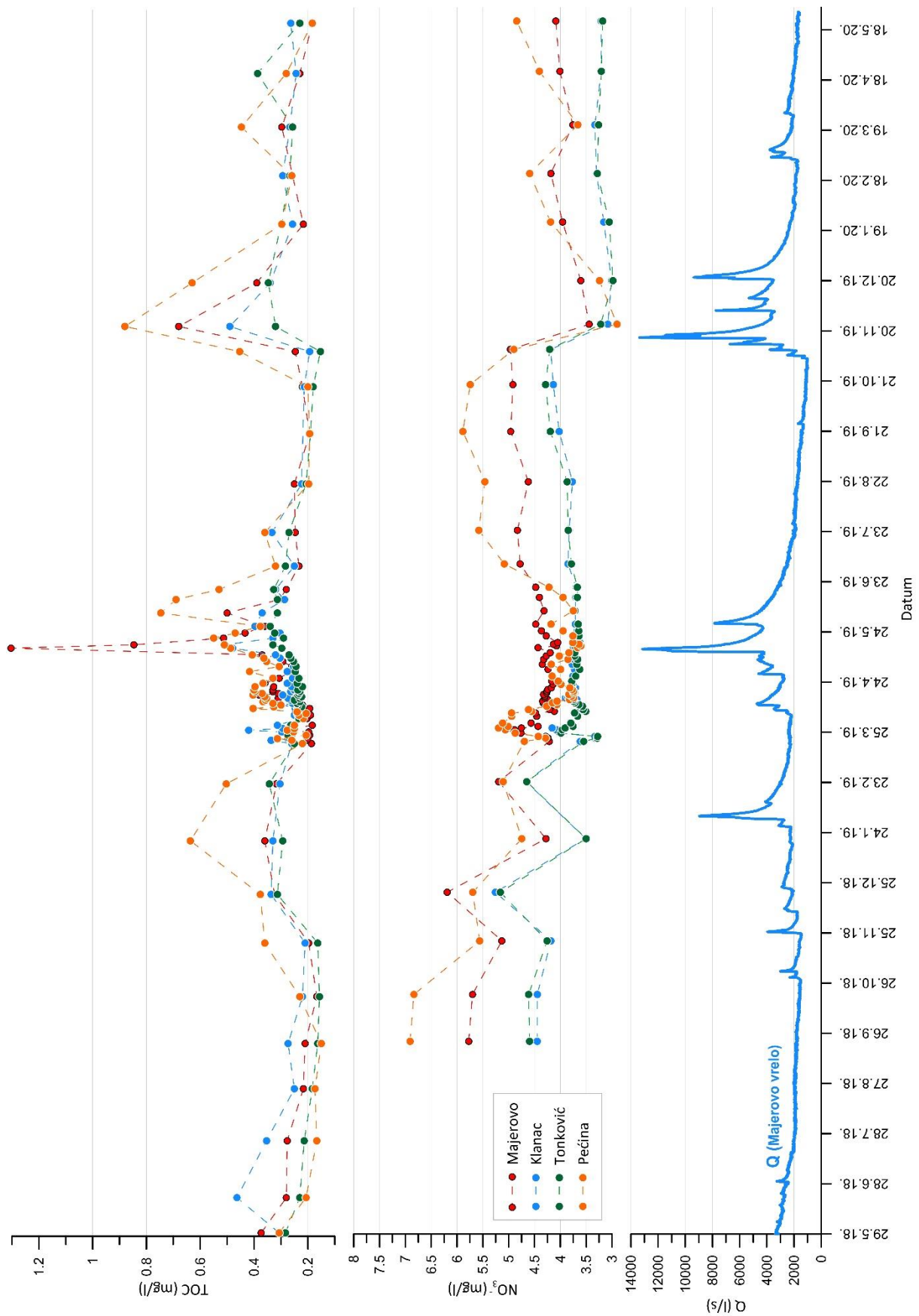
4.2.2.3 Sadržaj nitrata i organskog ugljika (TOC)

S ciljem dobivanja što detaljnijeg i pouzdanijeg uvida u značajke infiltracije vode u sustav u monitoring kvalitete vode dodatno je uključeno određivanje sadržaja ukupnog organskog ugljika (TOC) i nitrata (NO_3^-) iz prikupljenih uzoraka izvorske vode. Navedeni parametri predstavljaju prirodne trasere organskih procesa koji se odvijaju u zoni tla (i epikrša koji je također pod utjecajem korijenja biljaka). Stoga njihov monitoring pruža uvid u brzinu transporta vode iz tla i epikrša kroz sustav, procese ispiranja organske materije, te brzinu nailaska svježije infiltrirane vode na izvore. Poznavanje odnosa *brze* i *spore* infiltracije, te *brzog* i *sporog* tečenja vode u sustavu izuzetno je značajno u s aspekta učinkovite zaštite sustava od mogućih zagađenja.

Izmjerene vrijednosti sadržaja organskog ugljika (TOC) u prosjeku su bile niske, oko 0.3 mg/l. Minimalne vrijednosti kretale su se oko 0.15 mg/l, dok su maksimalne dosežale do 0.39 mg/l na Tonkoviću, a na Majerovom vrelu 1.3 mg/l. Sadržaj TOC-a je bio relativno konstantan u periodima recesije na svim izvorima, a povišen sadržaj se na svim izvorima pojavljivao istovremeno s vršnim protocima hidrograma (slika 4.2.19).

TOC je prirodni traser sa vrlo brzim vremenom raspada u podzemlju (nekoliko dana do tjedana). Stoga njegove povišene vrijednosti ukazuju na prisustvo vode vrlo kratkog zadržavanja u sustavu, odnosno na vrlo brz transport vode s površine. Najveći porast bilježi se na Majerovom vrelu, do 1.3 mg/l, što uz izraženu dinamiku istjecanja na izvoru i brzu reakciju na oborine potvrđuje povezanost sustava krških kanala izravno s površinom terena, odnosno zonom tla. Sadržaj TOC-a u ponornom toku u Vrhovinskom polju, izmjeren 15.4.2019. iznosio je 2.7 mg/l, što označava ulaznu koncentraciju TOC-a u vodi prije poniranja u podzemlje. Izvor Pećina također povremeno bilježi razmjerno visoke vrijednosti, do 0.9 mg/l, dok Klanac bilježi maksimalno 0.5 mg/l, a Tonković 0.39 mg/l.

Za razliku od TOC-a, nitrati su stabilan traser u podzemnim vodama bogatim kisikom. Na taj način oni se akumuliraju u vegetacijskom razdoblju, a ispiru tijekom ne vegetacijskog i hidrološki vodnijeg dijela godine. Prosječni sadržaj nitrata (NO_3^-) u svim prikupljenim uzorcima kretao se oko 3.8 mg/l na Tonkoviću i Klancu, a 4.4 mg/l na Majerovom vrelu i Pećini. Minimalna vrijednost iznosila je 2.9 mg/l na Pećini, 3 mg/l na Tonkoviću i Klancu, te 3.4 mg/l na Majerovom vrelu. Najviše vrijednosti zabilježene su na Pećini, 6.9 mg/l i Majerovom vrelu, 6.2 mg/l, dok su na Tonkoviću i Klancu iznosile oko 5.2 mg/l. Na slici 4.2.19 prikazan je sadržaj nitrata u svim opažanim izvorima, može se primijetiti da izvori Tonković i Klanac imaju vrlo sličan sadržaj nitrata tokom cijelog razdoblja opažanja. Izvor Pećina pokazuje najveće promjene u sadržaju nitrata. Generalno se može primijetiti da na svim izvorima u razdobljima viših voda dolazi do razrjeđenja koncentracije nitrata (slika 4.2.19), npr. razdoblje 11. i 12. mjesec 2019., da bi se u razdoblju recesije koncentracija postupno povećavala (6. do 10. mjesec 2019., 1. do 5. mjesec 2020.). Povećanje je najizraženije na izvorima Pećina i Majerovo vrelo, dok je na Tonkoviću i Klancu vrlo blago. Na početku razdoblja gustog monitoringa (oko 25.3.2019.) došlo je do otapanja snijega na poljima, što je doprinijelo porastu koncentracije nitrata na svim izvorima, iako je porast na hidrogramu bio jedva vidljiv. Nakon toga su uslijedile obilnije oborine, koje su doprinijele smanjenju koncentracije nitrata na svim izvorima.



Slika 4.2.19. Sadržaj TOC-a i nitrata u opažanim izvorima i hidrogram Majerovog vrelo

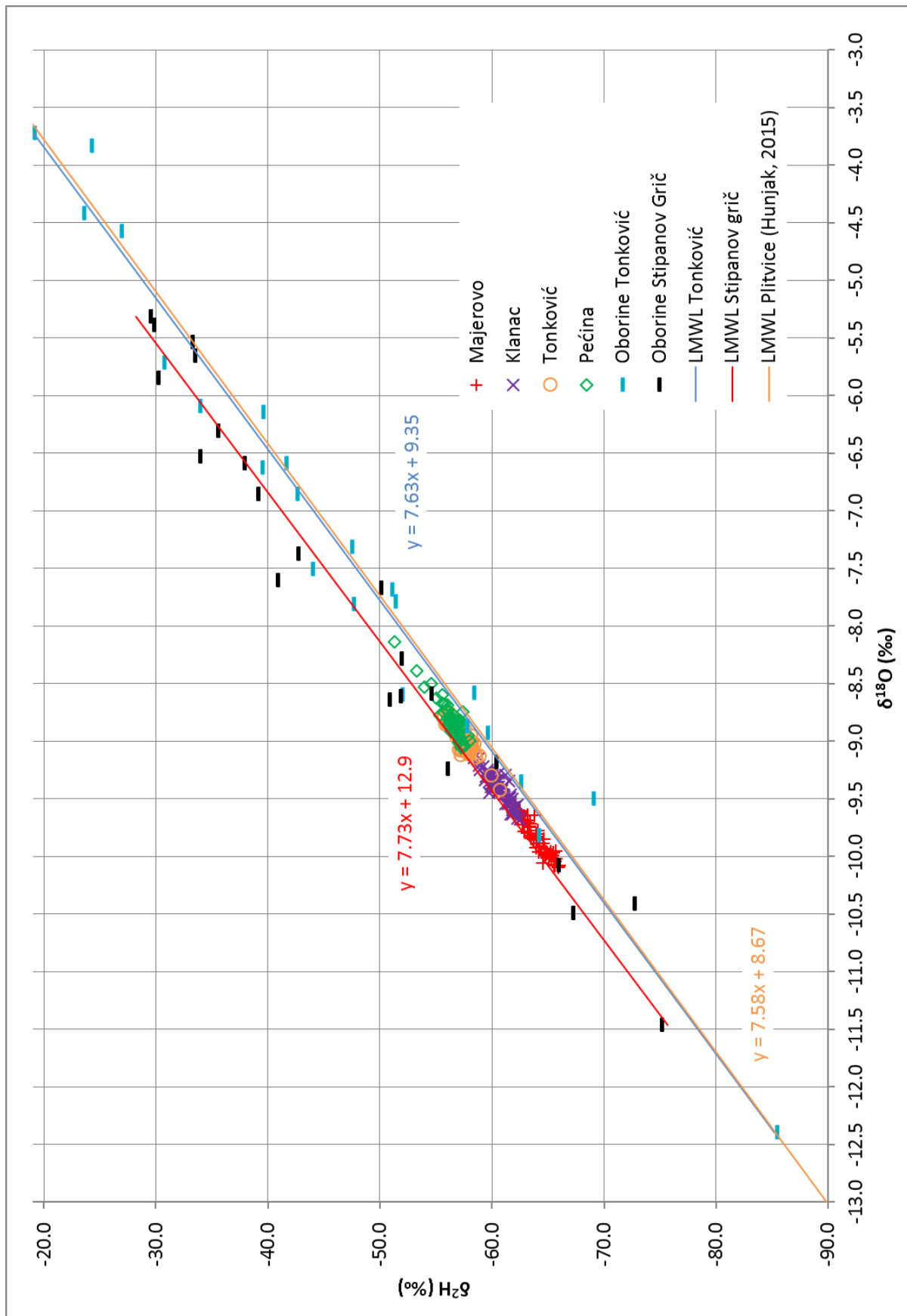
4.2.2.4 Izotopni sastav

Uspostavljeni monitoring stabilnih izotopa u oborinama i izvorskim vodama obuhvatio je dvije godine, od svibnja 2018. do svibnja 2020. godine. Dijagram na slici 4.2.20 prikazuje izotopni sastav svih prikupljenih uzoraka i oborina. Za oborine su također prikazane lokalne linije oborinske vode (LMWL) te njihove pripadajuće jednadžbe. Za usporedbu, prikazana je i lokalna linija oborinske vode za područje Plitvičkih jezera (susjedni sliv podslivu Majerovog vrela i Klanca), preuzeta iz Hunjak (2015) za razdoblje od 2009. do 2013. godine. Dijagram na slici 4.2.21 prikazuje izotopni sastav svih prikupljenih uzoraka u većem mjerilu i lokalne linije oborinske vode (LMWL). Kao što je i očekivano, uzorci izvorskih voda raspoređeni su između linija oborinskih voda, što potvrđuje meteorsko porijeklo vode koja se drenira na izvorima, te pokazuje da je evaporacija oborina prije infiltracije u podzemlje zanemariva. S obzirom na visoku linearnu korelaciju vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$, u daljnjim prikazima korištene su samo vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$.

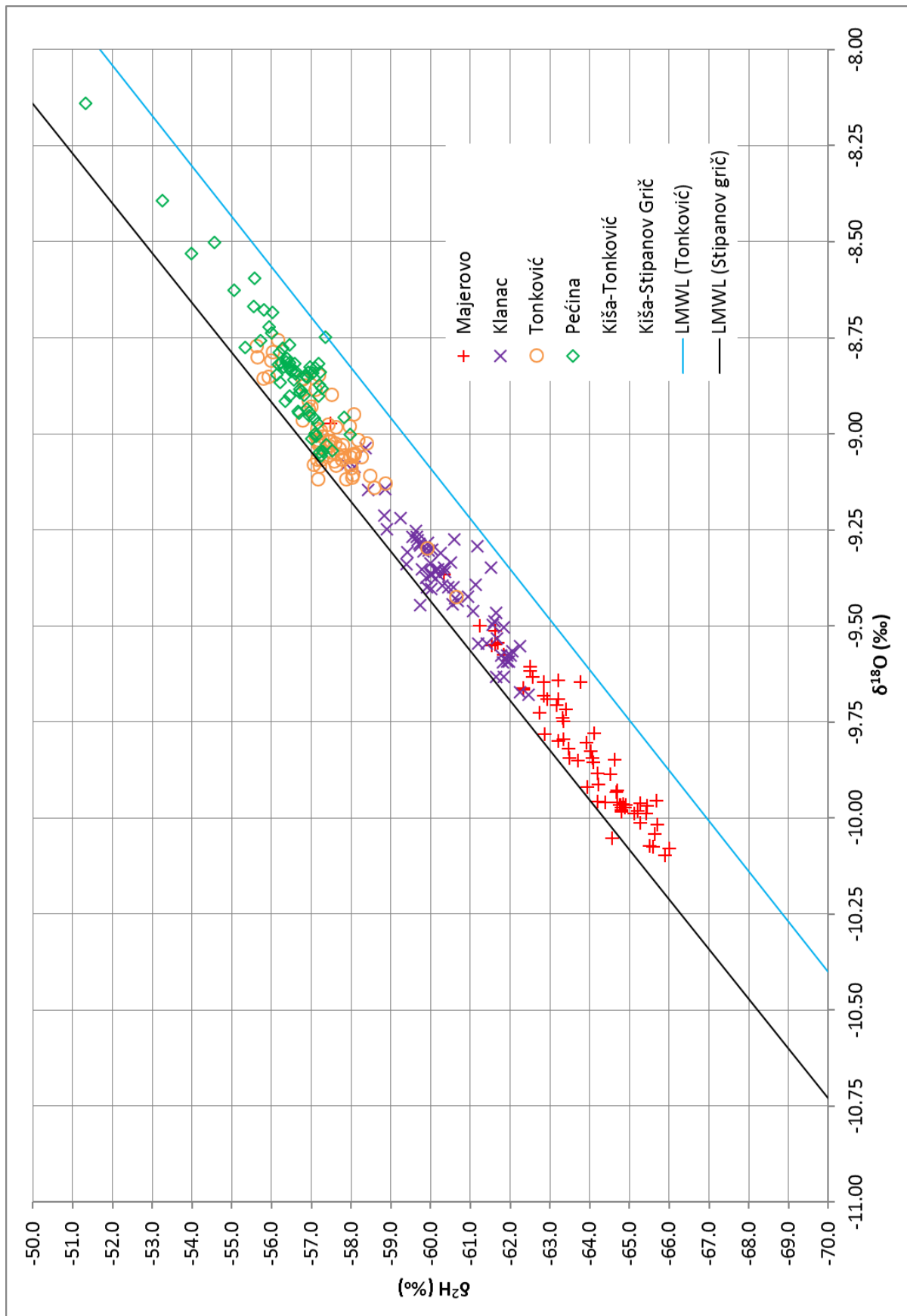
Na slici 4.2.22 prikazan je sadržaj stabilnog izotopa kisika u izvorima i oborinama kroz cijelo razdoblje monitoringa te količine oborina. Također je prikazan hidrogram Majerovog vrela koji je uzet kao reprezentativan za hidrološke prilike u slivu s obzirom na visoku međusobnu korelaciju dinamike istjecanja glavnih izvora. Na slikama 4.2.23 do 4.2.26 prikazani su za svaki izvor zasebno protoci i sadržaj $\delta^{18}\text{O}$ u razdoblju monitoringa.

Slika 4.2.27 prikazuje sadržaj $\delta^{18}\text{O}$ na svim izvorima u razdoblju intenzivnog monitoringa (20.3.-20.7.2020.), i protok na Majerovom vrelu.

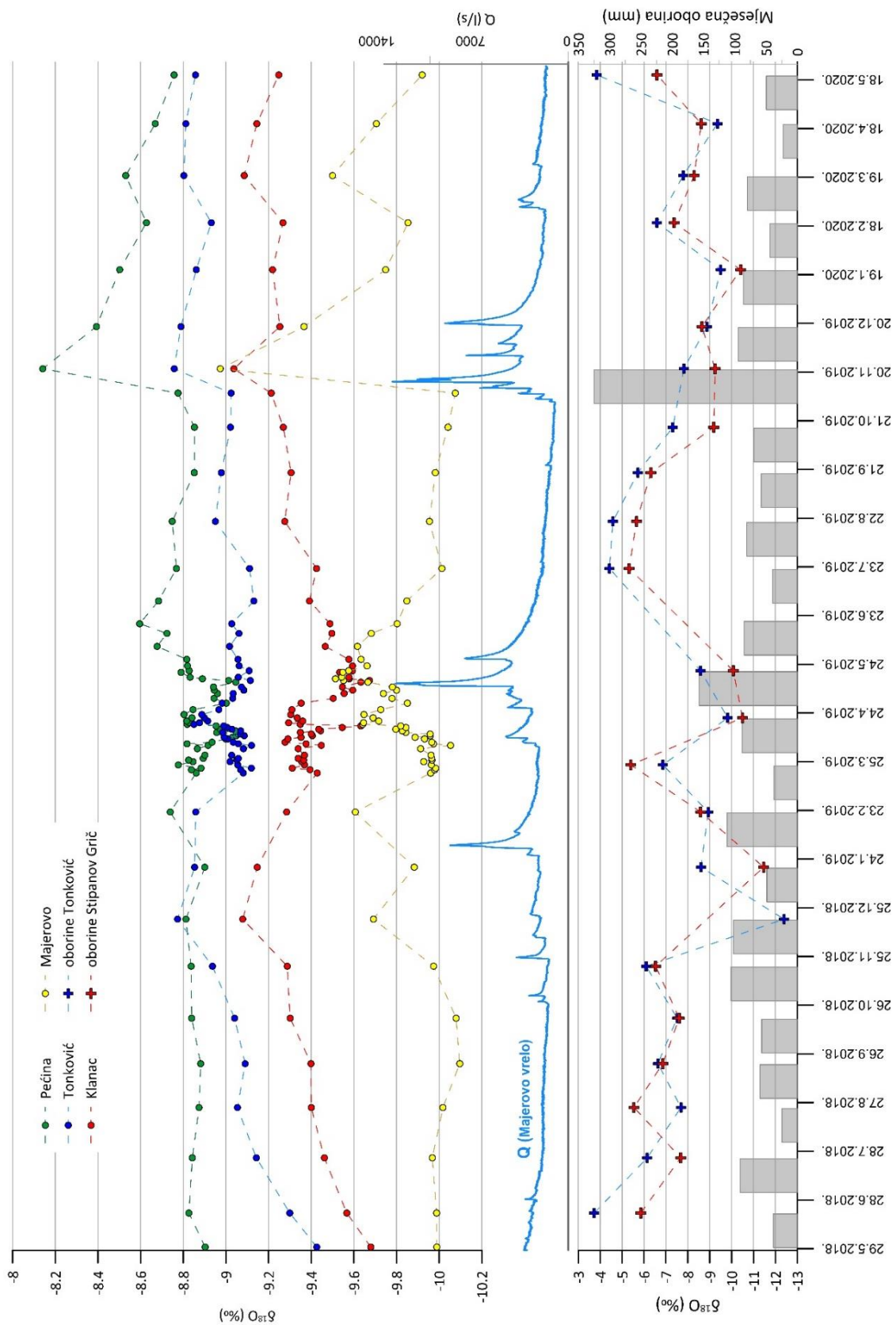
U tablici 4.2.9 prikazan je sadržaj $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ u svim prikupljenim uzorcima, a u tablici 4.2.10 u oborinama. Također su prikazane i minimalne, maksimalne i srednje izmjerene vrijednosti stabilnih izotopa kisika i vodika, a za oborine je srednja vrijednost prikazana kao vagana aritmetička sredina – *weighted mean* (s količinom oborine kao ponderom).



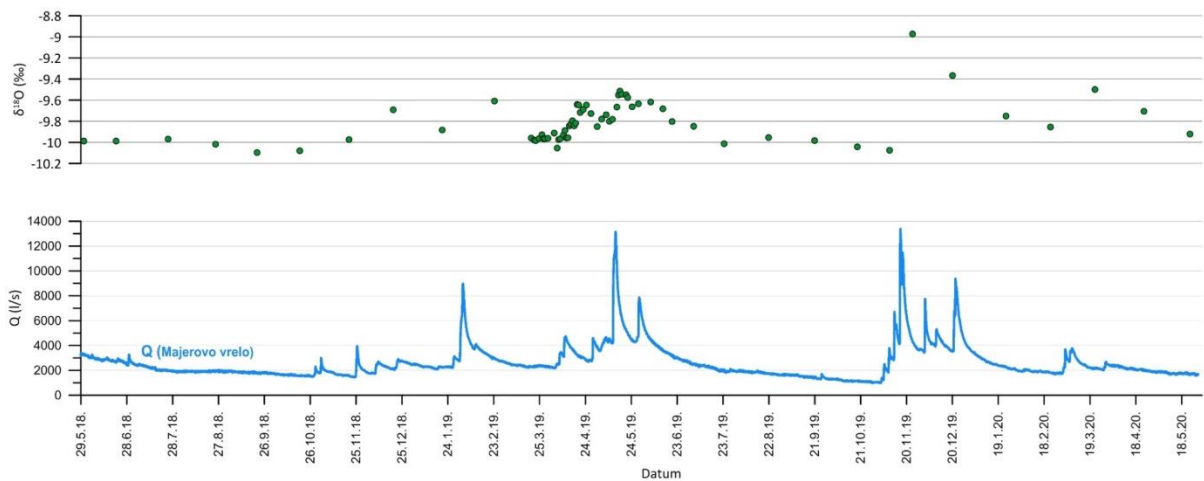
Slika 4.2.20. Odnos sastava stabilnih izotopa kisika i vodika u oborinama i izvorima te lokalne linije oborinske vode (LMWL) s pripadajućim jednadžbama



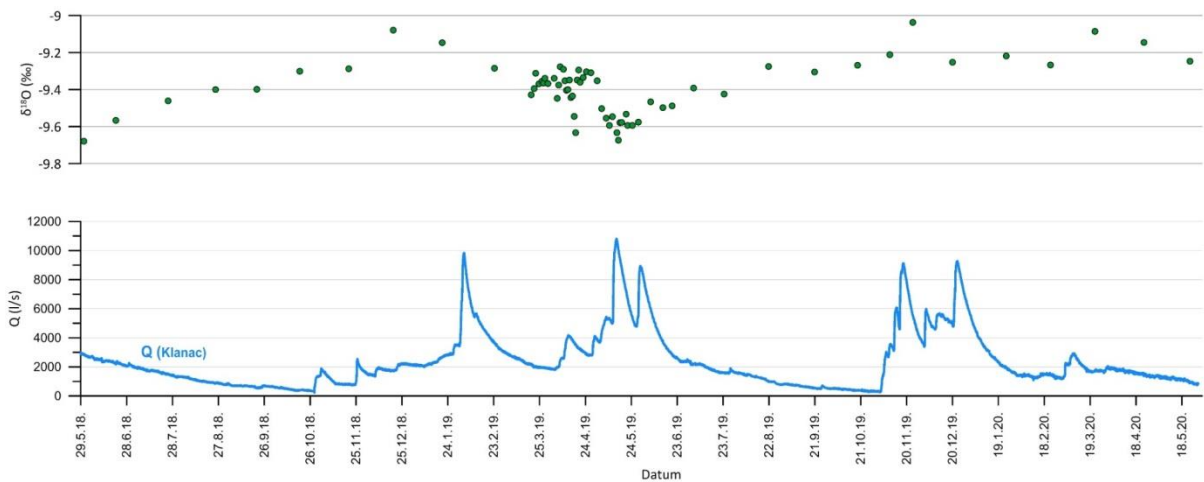
Slika 4.2.21. Odnos sastava stabilnih izotopa kisika i vodika u svim izvorima te lokalne linije oborinske vode (LMWL)



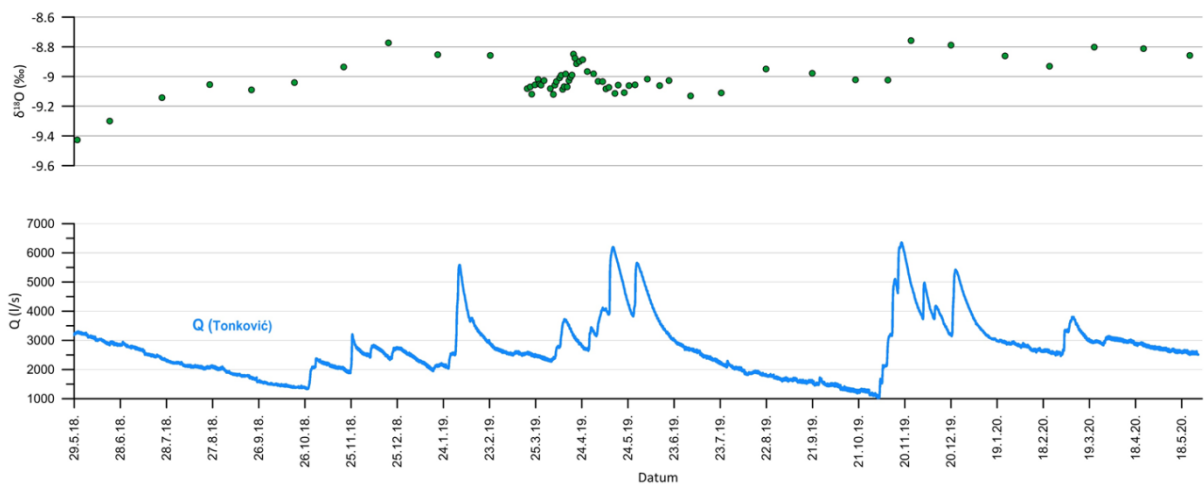
Slika 4.2.22. Usporedni prikaz sadržaja stabilnog izotopa kisika ($\delta^{18}O$) u oborinskoj i izvorskoj vodi. Hidrogram Majerovog vrela uzet je kao reprezentativan za hidrološke prilike u slivu s obzirom na visoku međusobnu korelaciju dinamike istjecanja glavnih izvora



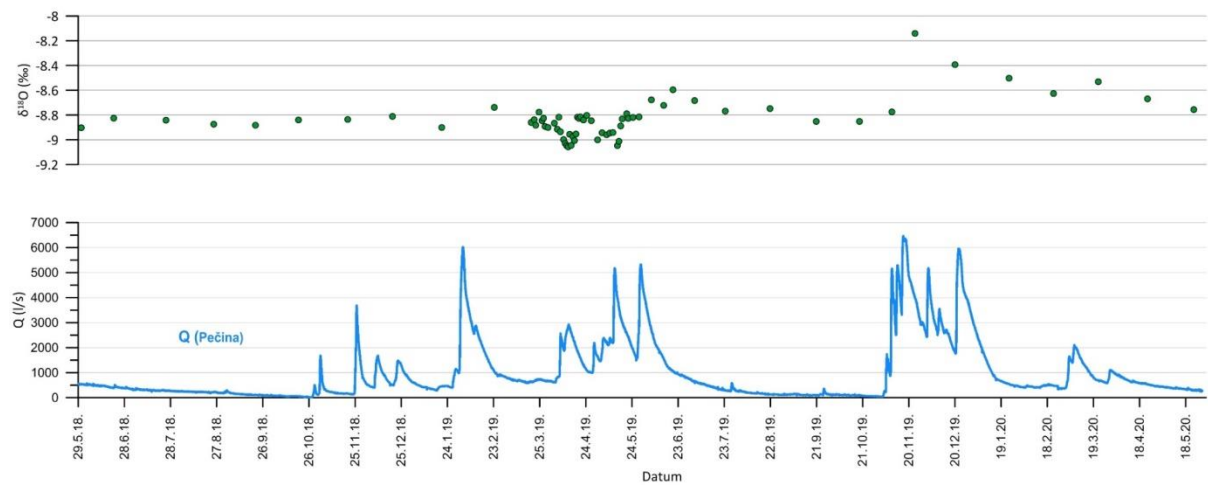
Slika 4.2.23. Protok i sadržaj stabilnog izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) u Majerovom vrelo



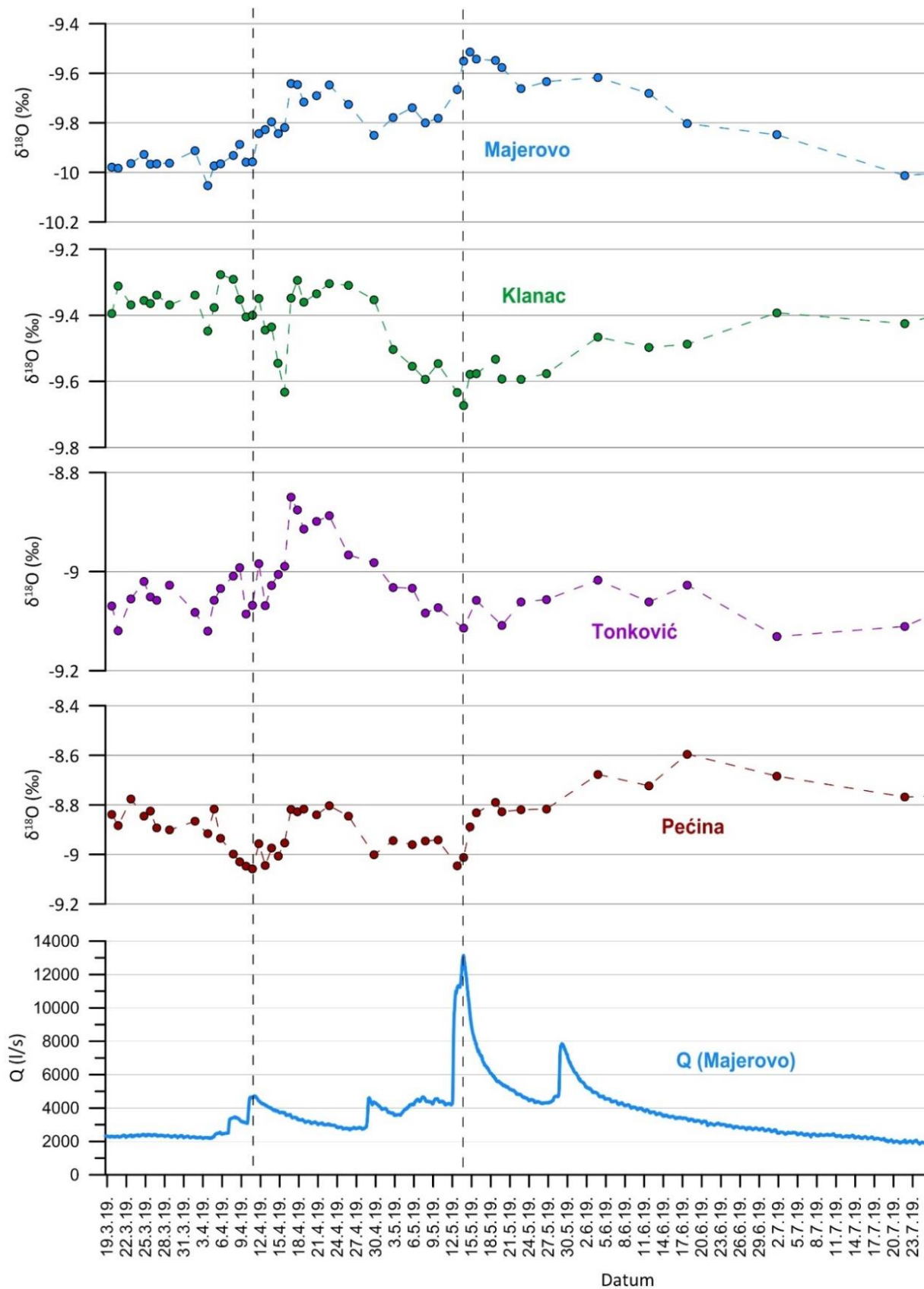
Slika 4.2.24. Protok i sadržaj stabilnog izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) u Klanacu



Slika 4.2.25. Protok i sadržaj stabilnog izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$) u Tonkoviću



Slika 4.2.26. Protok i sadržaj stabilnog izotopa kisika ($\delta^{18}O$) u Pećini



Slika 4.2.27. Sadržaj stabilnog izotopa kisika u svim opažanim izvorima u razdoblju intenzivnog monitoringa. Hidrogram Majerovog vrela uzet je kao reprezentativan za hidrološke prilike u slivu s obzirom na visoku međusobnu korelaciju dinamike istjecanja glavnih izvora

Tablica 4.2.9. Sastav stabilnih izotopa kisika i vodika u izvorima

Datum	Majerovo		Klanac		Tonković		Pećina	
	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
30.5.2018	-9.99	-65.12	-9.68	-62.47	-9.43	-60.64	-8.90	-57.17
20.6.2018	-9.99	-65.43	-9.57	-62.05	-9.30	-59.90	-8.83	-56.97
24.7.2018	-9.97	-65.44	-9.46	-61.06	-9.14	-58.57	-8.84	-57.02
24.8.2018	-10.02	-65.70	-9.40	-60.57	-9.05	-58.09	-8.87	-57.21
20.9.2018	-10.10	-65.89	-9.40	-60.43	-9.09	-57.99	-8.88	-57.27
18.10.2018	-10.08	-66.00	-9.30	-60.04	-9.04	-57.69	-8.84	-56.93
19.11.2018	-9.97	-64.89	-9.29	-59.72	-8.94	-56.91	-8.84	-56.61
18.12.2018	-9.69	-62.92	-9.08	-57.89	-8.77	-55.62	-8.81	-56.36
19.1.2019	-9.88	-64.20	-9.15	-58.42	-8.85	-55.91	-8.90	-56.81
22.2.2019	-9.61	-62.51	-9.28	-59.92	-8.86	-56.77	-8.74	-56.00
18.3.2019	-9.96	-64.68	-9.43	-60.61	-9.08	-57.97	-8.86	-56.56
20.3.2019	-9.98	-64.79	-9.39	-60.30	-9.07	-57.77	-8.84	-56.49
21.3.2019	-9.98	-64.80	-9.31	-60.26	-9.12	-57.87	-8.88	-56.71
23.3.2019	-9.96	-64.84	-9.37	-60.02	-9.06	-57.65	-8.78	-56.27
25.3.2019	-9.93	-64.69	-9.36	-60.12	-9.02	-57.48	-8.85	-56.59
26.3.2019	-9.97	-64.77	-9.36	-60.01	-9.05	-57.53	-8.83	-56.44
27.3.2019	-9.97	-64.90	-9.34	-59.99	-9.06	-57.83	-8.89	-56.71
29.3.2019	-9.96	-65.27	-9.37	-60.20	-9.03	-57.59	-8.90	-56.45
2.4.2019	-9.91	-64.21	-9.34	-59.38	-9.08	-57.04	-8.87	-56.21
4.4.2019	-10.05	-64.56	-9.45	-59.73	-9.12	-57.15	-8.92	-56.35
5.4.2019	-9.97	-64.80	-9.38	-59.89	-9.06	-57.44	-8.82	-56.58
6.4.2019	-9.97	-64.75	-9.28	-59.67	-9.03	-57.38	-8.94	-56.87
8.4.2019	-9.93	-64.68	-9.29	-59.73	-9.01	-57.26	-9.00	-57.09
9.4.2019	-9.89	-64.51	-9.35	-59.77	-8.99	-57.22	-9.03	-57.37
10.4.2019	-9.96	-64.39	-9.40	-60.02	-9.09	-57.21	-9.05	-57.20
11.4.2019	-9.96	-64.19	-9.40	-59.90	-9.07	-57.13	-9.06	-57.25
12.4.2019	-9.84	-64.06	-9.35	-60.33	-8.98	-57.62	-8.96	-57.83
13.4.2019	-9.83	-64.02	-9.44	-60.54	-9.07	-57.24	-9.05	-57.53
14.4.2019	-9.80	-63.33	-9.44	-60.68	-9.03	-57.17	-8.97	-57.15
15.4.2019	-9.84	-63.49	-9.55	-61.20	-9.01	-57.10	-9.01	-57.11
16.4.2019	-9.82	-63.46	-9.63	-61.64	-8.99	-57.14	-8.95	-56.94
17.4.2019	-9.64	-63.20	-9.35	-61.51	-8.85	-57.18	-8.82	-57.18
18.4.2019	-9.65	-63.77	-9.29	-61.16	-8.88	-56.81	-8.83	-57.10
19.4.2019	-9.72	-63.40	-9.36	-60.37	-8.91	-56.93	-8.82	-56.45
21.4.2019	-9.69	-63.20	-9.33	-60.51	-8.90	-57.50	-8.84	-57.23
23.4.2019	-9.65	-62.84	-9.30	-59.95	-8.89	-57.10	-8.80	-56.39
26.4.2019	-9.73	-62.74	-9.31	-59.42	-8.97	-56.76	-8.85	-56.14
30.4.2019	-9.85	-63.70	-9.35	-60.17	-8.98	-57.95	-9.00	-57.97
3.5.2019	-9.78	-64.11	-9.50	-61.83	-9.03	-57.78	-8.94	-56.94
6.5.2019	-9.74	-63.31	-9.55	-62.25	-9.03	-57.44	-8.96	-57.07
8.5.2019	-9.80	-63.22	-9.59	-61.83	-9.08	-57.61	-8.95	-56.69
10.5.2019	-9.78	-62.87	-9.55	-61.42	-9.07	-57.57	-8.94	-56.66
13.5.2019	-9.67	-62.33	-9.63	-61.83			-9.05	-57.28
14.5.2019	-9.55	-61.54	-9.67	-62.25	-9.11	-58.01	-9.01	-57.01
15.5.2019	-9.51	-61.61	-9.58	-61.93			-8.89	-56.75
16.5.2019	-9.54	-61.68	-9.58	-62.00	-9.06	-58.06	-8.83	-56.44
19.5.2019	-9.55	-61.63	-9.53	-61.66			-8.79	-56.19

20.5.2019	-9.58	-61.84	-9.59	-61.92	-9.11	-58.03	-8.83	-56.31
23.5.2019	-9.66	-62.33	-9.59	-61.97	-9.06	-57.97	-8.82	-56.18
27.5.2019	-9.63	-62.58	-9.58	-61.77	-9.06	-58.03	-8.82	-56.23
4.6.2019	-9.62	-62.50	-9.47	-61.65	-9.02	-58.17	-8.68	-55.81
12.6.2019	-9.68	-62.85	-9.50	-61.56	-9.06	-58.26	-8.72	-55.93
18.6.2019	-9.80	-63.92	-9.49	-61.60	-9.03	-58.38	-8.60	-55.58
2.7.2019	-9.85	-64.63	-9.39	-61.13	-9.13	-58.86	-8.68	-56.01
22.7.2019	-10.01	-65.28	-9.43	-60.93	-9.11	-58.46	-8.77	-56.46
20.8.2019	-9.95	-65.68	-9.28	-60.59	-8.95	-58.06	-8.75	-57.36
19.9.2019	-9.98	-65.21	-9.31	-59.83	-8.98	-57.42	-8.85	-56.87
17.10.2019	-10.04	-65.63	-9.27	-59.66	-9.02	-57.43	-8.85	-56.90
7.11.2019	-10.08	-65.60	-9.21	-58.83	-9.02	-57.17	-8.78	-55.34
22.11.2019	-8.97	-57.48	-9.04	-58.36	-8.76	-56.14	-8.14	-51.32
18.12.2019	-9.37	-60.34	-9.25	-59.63	-8.79	-56.03	-8.39	-53.26
22.1.2020	-9.75	-63.35	-9.22	-59.24	-8.86	-56.77	-8.50	-54.56
20.2.2020	-9.85	-64.09	-9.27	-59.54	-8.93	-56.98	-8.63	-55.06
20.3.2020	-9.50	-61.24	-9.09	-58.07	-8.80	-55.63	-8.53	-53.99
21.4.2020	-9.71	-63.17	-9.14	-58.85	-8.81	-55.99	-8.67	-55.55
21.5.2020	-9.92	-63.94	-9.25	-58.89	-8.86	-55.79	-8.76	-55.71
MIN	-10.10	-66.00	-9.68	-62.47	-9.43	-60.64	-9.06	-57.97
MAX	-8.97	-57.48	-9.04	-57.89	-8.76	-55.62	-8.14	-51.32
AVG	-9.81	-63.76	-9.39	-60.46	-9.01	-57.46	-8.83	-56.45

Tablica 4.2.10. Sastav stabilnih izotopa kisika i vodika u oborinama

Datum	Kiša-Tonković		Kiša-Stipanov Grič	
	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
20.6.2018	-3.72	-19.16	-5.85	-30.21
24.7.2018	-6.14	-39.58	-7.68	-50.10
24.8.2018	-7.69	-51.07	-5.54	-33.24
20.9.2018	-6.63	-39.51	-6.86	-39.12
18.10.2018	-7.51	-44.01	-7.60	-40.85
19.11.2018	-6.10	-33.96	-6.53	-33.96
18.12.2018	-12.40	-85.42		
19.1.2019	-8.60	-51.99	-11.47	-75.11
22.2.2019	-8.93	-59.58	-8.59	-54.58
23.3.2019	-6.86	-42.63	-5.39	-29.81
21.4.2019	-9.82	-64.15	-10.49	-67.21
20.5.2019	-8.59	-58.36	-10.08	-65.92
22.7.2019	-4.42	-23.59	-5.32	-29.50
20.8.2019	-4.58	-26.89	-5.66	-33.49
19.9.2019	-5.72	-30.69	-6.31	-35.51
17.10.2019	-7.32	-47.52	-9.19	-60.34
22.11.2019	-7.82	-47.66	-9.25	-56.00
18.12.2019	-8.87	-57.80	-8.64	-50.83
22.1.2020	-9.50	-69.05	-10.41	-72.74
20.2.2020	-6.59	-41.62	-7.37	-42.68
20.3.2020	-7.79	-51.38	-8.29	-51.91
21.4.2020	-9.35	-62.56	-8.61	-51.79
21.5.2020	-3.84	-24.25	-6.59	-37.92
MIN	-12.40	-85.42	-11.47	-75.11
MAX	-3.72	-19.16	-5.32	-29.50
weighted mean	-7.74	-49.63	-8.35	-51.52

Na Majerovom vrelu izmjerene su najnegativnije vrijednosti stabilnih izotopa, zatim slijede izvori Klanac i Tonković vrelo, te na kraju Pećina gdje su izmjerene najpozitivnije vrijednosti. U prethodnim istraživanjima utvrđene su slične izotopne značajke izvorskih voda, što je interpretirano razlikama u prosječnim visinama podslivova s kojih se izvori prihranjuju (Mandić i sur. 2008, Lukač i sur. 2013, Ozyurt i sur. 2014). Prema ovoj interpretaciji prosječna visina sliva Majerovog vrela bila bi oko 400 m viša od sliva Pećine, dok bi sliv Tonković vrela bio oko 100 m viši od sliva Pećine, uz gradijent $\delta^{18}\text{O}$ od $-0.25\text{‰}/100\text{ m}$, utvrđen kao prosjek u drugim područjima Hrvatske (Hunjak i sur. 2013).

Utvrđene srednje vrijednosti (vagane aritmetičke sredine – s količinom oborine kao ponderom) sadržaja stabilnih izotopa kisika $\delta^{18}\text{O}$ i vodika $\delta^2\text{H}$ u oborinama iznenađujuće su visoke s obzirom na izotopne značajke izvorske vode. Čak i u slučaju znatno manje infiltracije ljetnih u odnosu na zimske oborine, što sugeriraju prethodna izotopna istraživanja izvora Gacke (Ozyurt i sur. 2014), kao i susjednih područja

(Mance i sur. 2014, Paar i sur. 2019, Stroj i sur. 2020), vrlo negativne vrijednosti utvrđene na Majerovom vrelu teško mogu biti posljedica istovjetnih značajki oborina u njegovom zaleđu i oborina mjerenih u Ličkom Lešću i Stipanovom Griču.

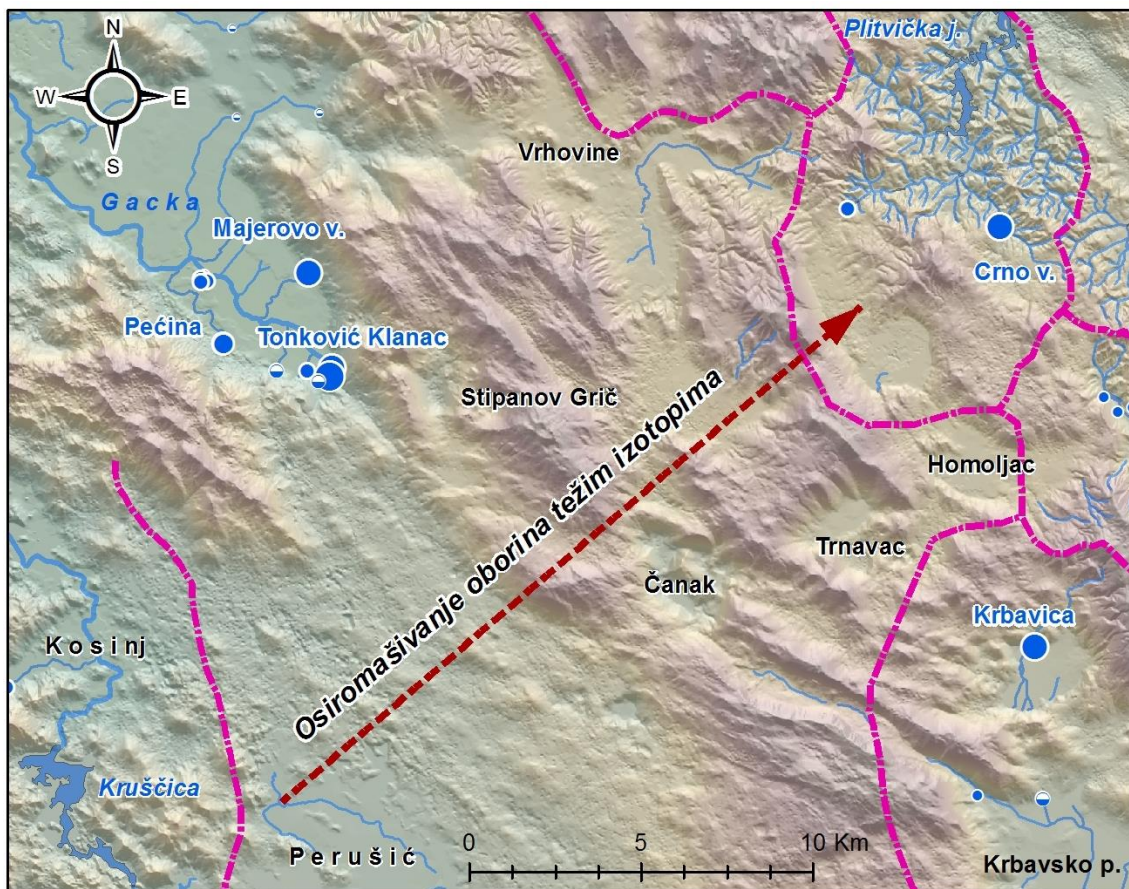
Iznenadujući je i vrlo nizak visinski gradijent pada teških izotopa u oborinama, utvrđen na području od Tonković vrela (Ličko Lešće, 460 m n.m.) do vrha Stipanov Grič (najviša točka u cjelokupnom slivu Gacke, 1230 m n.m.), koji je iznosio -0.08 ‰/100 m za $\delta^{18}\text{O}$. Ovo može dijelom biti posljedica efekta miješanja oborina na višim područjima planinskih masiva, uslijed čega dolazi do izravnjanja gradijenta iznad kritičnih visina. Za masiv Učke utvrđene su gotovo konstantne vrijednosti od oko 900 m n.m. sve do vrha na oko 1400 m n.m. (Hunjak i sur. 2013). Također, i za područje masiva Sjevernog Velebita od oko 900 do 1300 m n.m. utvrđen je gradijent od 0.06 ‰/100 m (Paar i sur. 2019). Stoga i unutar sliva Gacke se može pretpostaviti da vrijednosti slične onima mjerenima na vrhu Stipanov Grič karakteriziraju i nešto niža područja planinskih grebena i masiva koji razdvajaju Vrhovinsko i Turjansko i Homoljačko polje od Gackog polja i krške zaravni sjeverno od Perušića.

Zanimljiva je činjenica da ako se uzme u obzir utvrđeni visinski gradijent osiromašenja izotopa od -0.08 ‰/100 m za $\delta^{18}\text{O}$, prosječna visina sliva Majerovog vrela trebala bi biti čak 1250 m viša od sliva Pećine. Ovakva interpretacija razlika u izotopnom sastavu izvorske vode naravno nije moguća.

Pouzdan pokazatelj međusobnih visinskih odnosa podslivova je temperatura izvorske vode. Poznato je da u slučaju krških područja, gdje brzi podzemni tokovi vode efikasno ekvilibriraju temperaturu podzemlja sa prosječnom temperaturom infiltriranih oborina (Stroj i Paar, 2019), temperatura izvorske vode označava srednju temperaturu područja sliva krškog izvora. Vertikalni gradijenti temperature na području kontinentalne Hrvatske (uključujući Liku) iznose $0.5^\circ\text{C}/100$ m (Zaninović i sur. 2008). Razlika u srednjoj temperaturi izvorske vode, od najhladnijeg Majerovog vrela (9.0°C), zatim Pećine (9.2°C), Klanca (9.5°C), pa do Tonković vrela (9.7°C) iznosi samo 0.7°C , što bi odgovaralo razlici u srednjoj visini sliva od oko 150 m. Također, izvor Pećina kojeg označava najpozitivniji sastav izotopa kisika i vodika, istovremeno ima hladniju izvorsku vodu od Tonković vrela i Klanca. Ovo ukazuje da je srednja visina podsliva Pećine zapravo viša u odnosu na Klanac i Tonković vrelo, suprotno prethodnim interpretacijama temeljenim samo na izotopnom sastavu izvorske vode. Interpretacija visina podslivova na temelju temperaturnih značajki također mnogo bolje odgovara stvarnim morfološkim značajkama terena u zaleđu pojedinih izvora. Ovaj primjer ukazuje na važnost zajedničke analize više raznovrsnih pokazatelja u svrhu pouzdane interpretacije značajki krških sustava (Stroj i sur. 2020, Stroj i Briški 2017). Prema temperaturnim značajkama izvorske vode, kao i morfološkim značajkama terena u zaleđu izvora, moguće je okvirno procijeniti srednje visina podslivova glavnih izvora Gacke: podsliv Majerovog vrela $h_{sr} = 900$ m n.m.; podsliv Klanca $h_{sr} = 800$ m n.m.; podsliv Tonković vrela $h_{sr} = 750$ m n.m.; te podsliv Pećine $h_{sr} = 850$ m n.m.

S obzirom na opisano, značajne razlike u izotopnim značajkama vode glavnih izvora ne mogu biti dominantno posljedica različite visine njihovih podslivova. Čini se da glavni faktor osiromašenja izotopa kisika i vodika na području sliva Gacke predstavlja udaljšavanje od mora prema unutrašnjosti, odnosno od istočnih obronaka Velebitskog masiva u smjeru sjevoeroistoka preko grebena Ličkog sredogorja (Stipanov Grič) i dalje prema Vrhovinama (slika 4.2.28). U prilog ovome govore i izotopne karakteristike oborina mjerenih na području Plitvičkih jezera (Krajcar-Bronić i sur. 2020), gdje su utvrđene prosječno osiromašenije oborine u odnosu na najvišu točku sliva Gacke (Stipanov Grič, 1230 m n.m.) unatoč nadmorskoj visini ove postaje

od samo 550 m n.m. (prosječna vrijednost za Plitvice -10.1 ‰, a Stipanov Grič – 8.35 ‰ $\delta^{18}\text{O}$). Mjerna postaja na Plitvičkim jezerima udaljena 12-tak km od Vrhovinskog polja (podsliv Majerovog vrela) u smjeru istok-sjeveroistok. Ovakva interpretacija dobro se podudara karakteristikama izvorske vode pojedinih izvora: najpozitivniji izotopni sastav vode izvora Pećina posljedica je prihranjivanja s područja sjeverno i sjeverozapadno od Perušića, zatim slijedi Tonković vrelo koji se prihranjuje s područja zaravni sjeveroistočno od Perušića, zatim Klanac koji dio sliva dijeli s Tonković vrelom, a dio s Majerovim vrelom (područje Ramljani-Čanak-Trnavac-Homoljac), te na kraju Majerovo vrelo koje se dominantno prihranjuje s područja Vrhovinskog i Turjanskog polja, te planskog masiva koji razdvajaju ova polja od izvorišta Gacke.



Slika 4.2.28. Smjer pada vrijednosti sadržaja $\delta^{18}\text{O}$ i deuterija u prosječnim godišnjim oborinama na širem području sliva Gacke

Na temelju usporedbe amplituda godišnjih promjena u izotopnom sastavu oborina i izvorske vode često se procjenjuje prosječno vrijeme zadržavanja vode u podzemlju (MRT) prema formuli (McGuire i McDonnell 2006, Małoszewski i sur. 1983):

$$T = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left(\frac{A}{B}\right)^2 - 1}$$

Gdje je T prosječno vrijeme zadržavanja, A i B amplitude sezonskih varijacija izotopnog sastava oborina i izvorske vode, a ω kutna frekvencija. Ova metoda bazira

se na pretpostavci potpunog miješanja i konstantnog odnosa pojedinih komponenti vode različitog vremena zadržavanja u podzemlju tijekom uzorkovanja. Uobičajene su procjene prosječnog vremena zadržavanja krške vode u podzemlju od nekoliko mjeseci do nekoliko godina (Stroj i sur. 2020).

Međutim, detaljnim uvidom u dinamiku izotopnih značajki izvorske vode, dobivenu intenzivnim uzorkovanjem (slika 4.2.27), očito je da je dinamika izotopa dominantno vezana uz dinamiku istjecanja, a ne sezonske promjene sastava oborina. Ovo ukazuje da su promjene izotopnog sastava izvorske vode dominantno posljedica promjena u odnosu pojedinih komponenti vode različite starosti tijekom izmjena vodnih valova, odnosno promjena u režimu izviranja. Tijekom nailaska intenzivnijih vodnih valova, na izvorima se povećava (u većoj ili manjoj mjeri, ovisno o značajkama krškog sustava) udio vode kratkog vremena zadržavanja u podzemlju, koja se nakon infiltracije unutar nekoliko dana (ili tjedana) pojavljuje na izvorima. Ovu vodu obilježavaju značajke neposredno prethodnih oborina. Brzo transportirana voda se prije izviranja u većoj ili manjoj mjeri miješa sa vodom dužeg zadržavanja u podzemlju, koja odražava prosječne značajke oborina mnogo dužeg prethodnog razdoblja (godinu i više). Varijacije izotopnog sastava izazvane promjenama u odnosu različitih komponenti vode *prekrivaju* u pravilu vrlo prigušene promjene značajki vode dužeg zadržavanja u vodonosniku, izazvane sezonskom amplitudom izotopnog sastava oborina. Stoga smatramo da je metoda određivanja prosječnog zadržavanja vode u podzemlju na temelju usporedbe prosječnih amplituda oborina i izvorske vode temeljena na krivim pretpostavkama (potpuno miješanje uz konstantan odnos pojedinih komponenti), te da u slučaju krških izvora s izraženom dinamikom fizikalno-kemijskih parametara daje nepouzdana i pogrešne rezultate.

Stabilni izotopi našli su svoju uporabu i u tzv. razdvajanju hidrograma u kojem se razdvajaju različite komponente vode prisutne u ukupnom protoku (Klaus i McDonell, 2013). Tako se korištenjem dvokomponentnog modela miješanja vode (EMMA, engl. end member mixing analysis) mogu odrediti udjeli *stare* (f) i *nove* ($1-f$) vode u ukupnom protoku:

$$\delta^{18}\text{O}_T = f \cdot \delta^{18}\text{O}_S + (1-f) \cdot \delta^{18}\text{O}_N$$

gdje je $\delta^{18}\text{O}_T$ vrijednost izotopa kisika na izvoru nakon oborinskog događaja, $\delta^{18}\text{O}_S$ vrijednost vode koja je istjecala na izvoru prije promatranog oborinskog događaja, te $\delta^{18}\text{O}_N$ vrijednost nove vode tj. vode mjerene u oborinama tijekom oborinskog događaja. Za staru vodu obično se uzima voda baznoga toka, a oborinski događaji (koji predstavljaju novu vodu) najpogodniji za ovu vrstu modeliranja se javljaju u vrijeme kada nakon sušnog razdoblja padnu velike količine kiše (Trček, 2003). Na taj način se osigurava da nakon oborinskog događaja na izvoru izlazi voda koja je mješavina baznoga toka i novo infiltrirane oborine iz samog događaja (Mance 2014).

Upotrebom opisane metodologije izračunati su udjeli nove i stare vode tijekom vrlo intenzivnog vodnog vala koji se dogodio u studenom 2019. godine. Uzorci izvorske vode prikupljeni su prije nailaska vala (7. studenog), te nekoliko dana nakon prolaska vala (22. studenog). Kumulativni mjesečni uzorci oborine koja je prethodila ovom vodnom valu (glavnina oborine pala je neposredno prije vala) sa Stipanovog Griča i Ličkog Lešća prikupljeni su 22. studenog. Za izvor Pećinu i Tonković vrelo kao reprezentativna je uzeta oborina prikupljena u Ličkom Lešću, a za Klanac i Majerovo mješavina oborine Stipanovog Griča i Ličkog Lešća. Na temelju opisane metode

dobiveni su slijedeći udjeli nove vode na pojedinim izvorima: 71% Majerovo vrelo, 26% Klanac, 22% Tonković vrelo i 66% Pećina.

Ipak, treba naglasiti da promjene u sastavu oborina uvelike utječu na dobiveni rezultat, a sastav oborina vrlo je promjenjiv prostorno unutar dijelova sliva, kao i vremenski tijekom prikupljanja kumulativnog uzorka. Stoga dobivene vrijednosti treba uzeti orijentacijski, kao pokazatelj reda veličine udjela komponente vode vrlo kratkog zadržavanja u podzemlju na pojedinim izvorima tijekom izraženijih vodnih valova.

Suvišak deuterija ($d\text{-excess} = \delta^2\text{H} - 8 \delta^{18}\text{O}$, Dansgaard 1964) u oborinama dobar je pokazatelj porijekla zračnih masa koje donose oborine. Zračne mase s Mediterana imaju viši suvišak deuterija (22 ‰ za istočni dio, 14 ‰ za zapadni dio) u odnosu na zračne mase koje potječu s Atlantika (10 ‰). Povišena prosječna vrijednost suviška deuterija u oborinama (12.33 ‰ u Ličkom Lešću, te 15.28 ‰ Stipanov Grič) pokazuje da je sliv Gacke pod utjecajem oborina donesenih zračnim strujanjima s Mediterana. Snižene vrijednosti suviška deuterija u izvorskoj vodi ukazuju na značajno isparavanje oborina prije infiltracije u podzemlje. Međutim, vrijednosti suviška deuterija u izvorskoj vodi svih izvora nalaze se unutar raspona prosječnih vrijednosti oborina Stipanovog Griča i Ličkog Lešća, te se može zaključiti da se oborine vrlo brzo infiltriraju u podzemlje kroz epikršku zonu bez značajnijeg zadržavanja na površini.

4.3 REZULTATI PROVEDENOG TRASIRANJA PODZEMNIH TOKOVA

4.3.1 Opis izvedbe simultanog trasiranja i rezultata

Projektom predviđeno trasiranje podzemnih tokova je izvedeno 20. ožujka 2019. godine na dvije lokacije unutar sliva, simultanom upotrebom dva različita traseri (Uranin i Na-Naphtionat). Lokacije upuštanja traseri odabrane su u dogovoru s predstavnikom Investitora (prirodni ponori koji do sad nisu bili trasirani unutar pretpostavljenih površina preklapanja podslivova Majerovo vrelo – Tonković vrelo i Klanac – Pećina). Traser Uranin je ubačen u ponor u Vrhovinama (30 kg), slika 4.3.1 i 4.3.2, a traser Na- Naphtionat u ponor u Čanku (100 kg), slika 4.3.3. Koordinate trasiranih ponora, kao i svih opažanih izvora prikazane su u tablici 4.3.1.

Ubacivanje traseri obavljeno je tijekom recesije protoka na izvorima Gacke, u srednje vodnim uvjetima. Zbirni protok četiri glavna izvora Gacke u vrijeme upuštanja traseri iznosio je 7.2 m³/s (na razini medijan vrijednosti zbirnog protoka). Oba trasirana ponora bila su aktivna tijekom upuštanja traseri, uz podjednake količine uviranja od 10-tak l/s. Recesijsko razdoblje nastavilo se je još 15-tak dana od dana upuštanja traseri, nakon čega je uslijedilo nekoliko uzastopnih vodnih valova. Cilj istraživanja bilo je utvrđivanje značajki podzemnih tokova tijekom prosječnih, odnosno najučestalijih hidroloških prilika u slivu, što se razlikuje od uobičajenog ciljanja izvedbe trasiranja tijekom ekstremno vodnih prilika, što je potrebno u svrhu određivanja obuhvata zona sanitarne zaštite.



Slika 4.3.1. Ubacivanje Uranina u ponor u Vrhovinama



Slika 4.3.2. Ubacivanje Uranina u ponor u Vrhovinama



Slika 4.3.3. Ubacivanje Na-Naphtionata u ponor u Čanku

Trasiranje sa 100 kg Na-naphthionata otopljenog u 5 bačvi s ukupno 900 l vode izvedeno je 20.3.2019. godine u 12:00 sati (slika 4.3.3). Uranin je prethodno pripremljen u 6 kanistara od 15 l, ukupno 30 kg, te je na lokaciji otopljen u vodi te ubačen u ponor u isto vrijeme kao i Na-naphtionat (20.3.2019. u 12:00 sati), slika 4.3.2.

Praćenje pojave trasera provodilo se na prethodno nabrojanim glavnim izvorima Gacke uz pomoć uređaja za kontinuirano *in situ* praćenje koncentracije trasera

(terenski fluorometri GGUN-FL, Albillia, Švicarska), s 15 minutnim intervalom, te uzimanjem kontrolnih uzoraka vode. Kontrolni uzorci za boju su uzimani dva puta dnevno do 23. travnja 2019. (prvih mjesec dana), a zatim jednom dnevno do 23. svibnja 2019. (narednih mjesec dana), ukupno ih je prikupljeno 577. Kontrolni uzorci analizirani su na laboratorijskom digitalnom fluorescence spectrometru Perkin-Elmer LS 55. Osim na glavnim izvorima, kontrolni uzorci dodatno su uzimani i na manjim izvorima Gacke: Zalužnica, Sinac pokraj crkve, Pećina u Sincu, Pucirep, Knjapovac, Begovac, Grab, Jaz-Marusino s ciljem utvrđivanja moguće pojave trasera na ovim izvorima. Praćenje na loggerima je trajalo do 4. lipnja 2019.

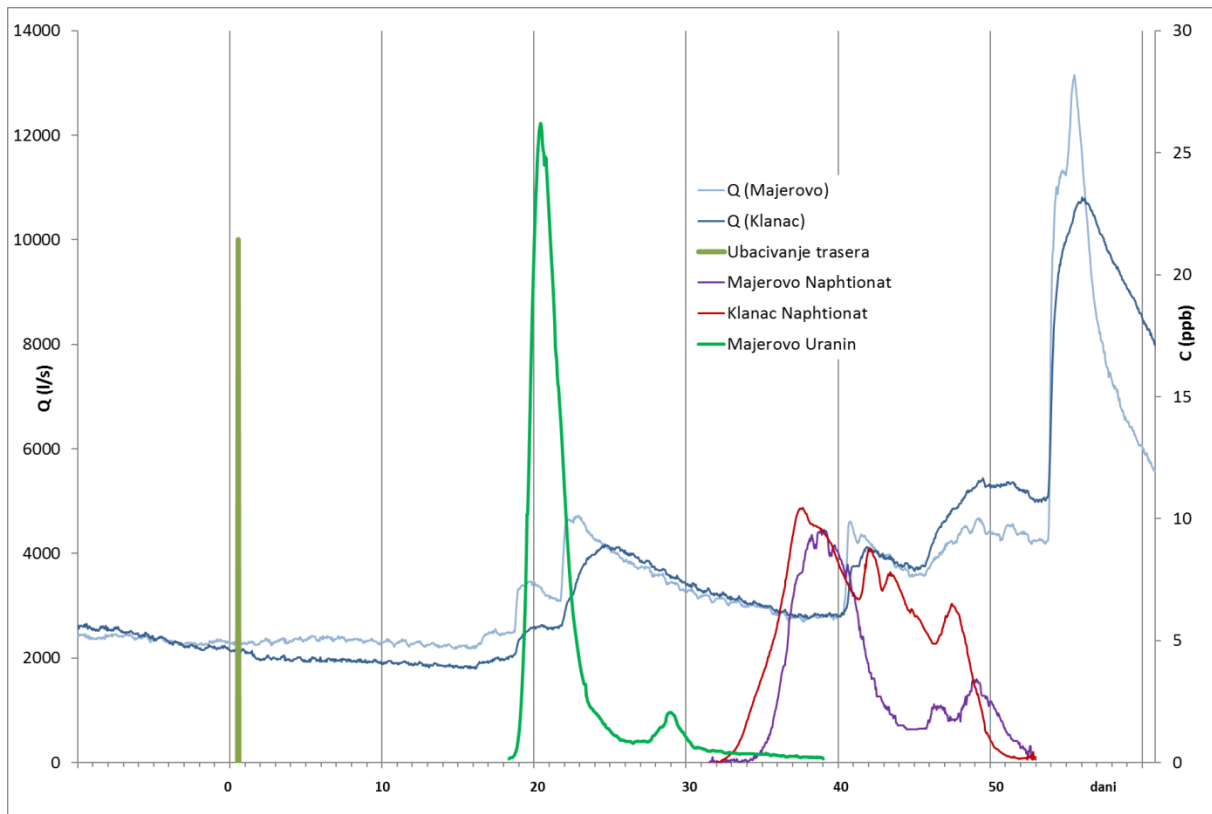
Tablica 4.3.1. Koordinate trasiranih ponora i opažanih izvora (HTRS96/TM)

Ime ponora/izvora	E	N	Z
Ponor potoka Jazmak, Vrhovinsko p.	419495	4965860	740
Ponor u polju Lug, Čanak	420145	4956010	620
Izvor-pećina pored crkve u Zalužnici	409980	4968790	507
Izvor u Sincu (blizu crkve)	407470	4966395	460
Izvor-pećina u Sincu - Nikšići	408805	4965695	470
Majerovo vrelo	409725	4964500	460
Klanac	410460	4961720	455
Tonković vrelo (Vrelo Gacke)	410350	4961425	455
Pucirep	410040	4961340	456
Knjapovac stalni	409700	4961650	454
Knjapovac povremeni	409470	4961440	460
Begovac	408800	4961630	457
Pećina	407320	4962410	458
Grab - Malinište	406800	4964275	453
Marusino - Malinište	406640	4964300	453
Jaz - Malinište	406635	4964360	453

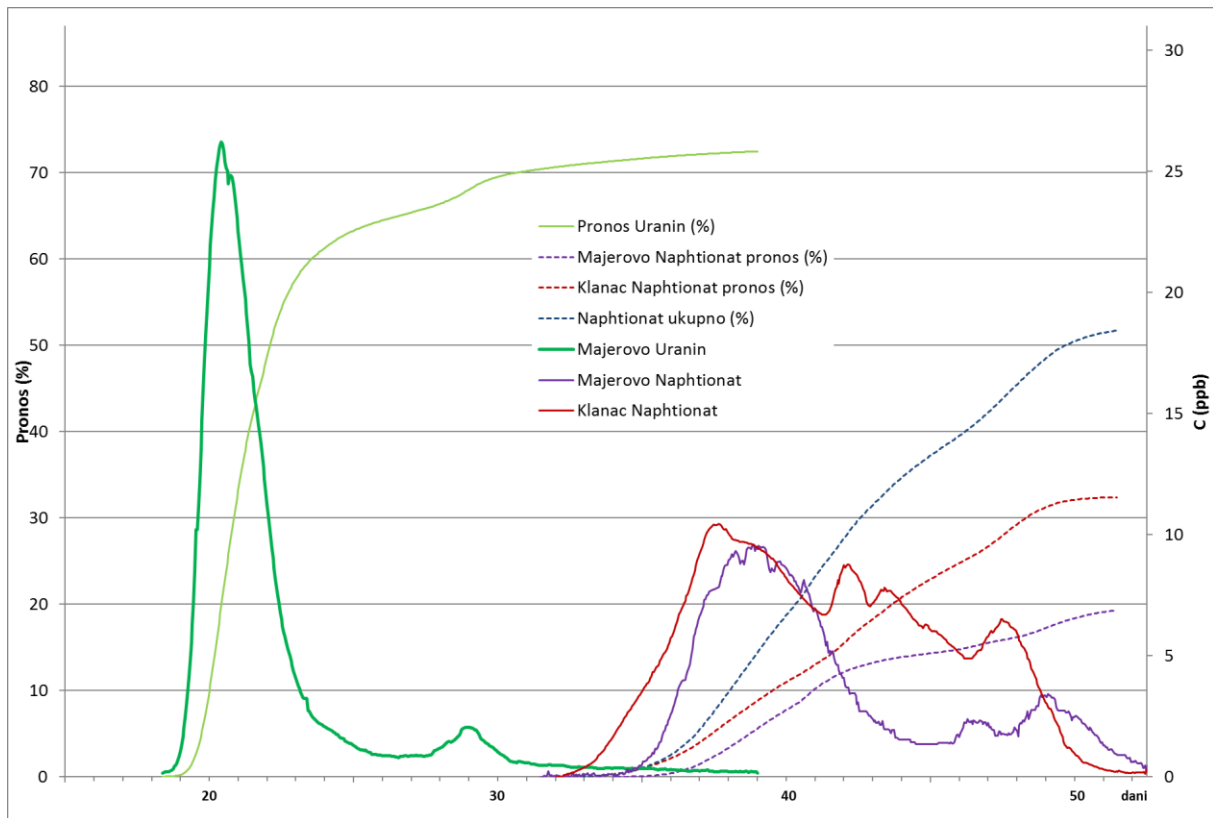
Uranin je utvrđen samo na Majerovom vrelu, 7. travnja ujutro (slika 4.3.6). Istjecanje trasera je trajalo do 25. travnja. Na-naphtionat utvrđen je na Klancu 22. travnja ujutro, te na Majerovom vrelu idući dan, 23. travnja ujutro. Istjecanje Na-naphtionata je trajalo 20-tak dana, do 10. svibnja. Rezultati trasiranja prikazani su u tablici 4.3.2. Treba naglasiti da bi u slučaju upuštanja trasera u ponore tijekom vodnijih uvjeta vrijeme do prve pojave trasera na izvorima vjerojatno bilo (značajno) kraće, odnosno prividne brzine podzemnih tokova veće. Stoga se utvrđene, razmjerno niske brzine ne mogu koristiti u svrhu određivanja obuhvata zona sanitarne zaštite izvora. Na dijagramu na slici 4.3.4 prikazane su krivulje pojave trasera na izvorima, te istovremeni protoci na izvorima. Krivulje su dobivene iz terenskih logera, uz korekcije apsolutnih vrijednosti koncentracije trasera na temelju rezultata laboratorijskih mjerenja na kontrolnim uzorcima.

Tablica 4.3.2. Pregled rezultata trasiranja

	MAJERVO NAPHTIONAT	KLANAC NAPHTIONAT	MAJEROVO URANIN
Vrijeme do pojave trasera (dani)	34	33	18
Prividna brzina prvog nailaska (cm/s)	0.45	0.39	0.65
Duljina istjecanja (dani)	17	18	18
Pronos (kg)	19	32	22
Pronos (%)	51		72



Slika 4.3.4. Dijagram istjecanja trasera i protoka na izvorima



Slika 4.3.5. Dijagram istjecanja trasera (ppb) i pronosa (%)



Slika 4.3.6. Pojava trasera uranina na Majerovom vrelu

U razdoblju monitoringa istjecanja trasera, koje je ukupno trajalo 60 dana od simultanog upuštanja trasera u ponore u Vrhovinskom polju i Čanku, na izvorima je isteklo 72% upuštene količine uranina (ponor Vrhovine) i 51% upuštene količine naftionata (ponor Čanak). Unatoč razmjerno dugom vremenu potrebnom za prvu pojavu trasera na izvorima (osobito u odnosu na rezultate prethodno provedenih trasiranja, poglavlje 2.3.1.1) i posljedično niske prividne brzine prvog nailaska trasera, disperzije trasera, osobito uranina, bile su razmjerno male. Također, utvrđeni pronosi trasera (>50%) razmjerno su veliki u odnosu na uobičajene vrijednosti pri trasiranjima krških tokova uz slične udaljenosti izvora od ponora. Ovo ukazuje na nisku disperziju i apsorpciju, te posljedično slabu atenuaciju koncentracije potencijalnog onečišćenja sustava krških kanala, unatoč razmjerno dugom vremenu boravka trasera u podzemlju (>30 dana u slučaju naftionata).

Rezultati provedenog trasiranja potvrđuju prioritetnu važnost zaštite ponora i njihovih neposrednih slivova unutar ukupnog hidrogeološkog sliva za učinkovitu zaštitu izvorskih voda Gacke. Vrijeme boravka trasera u podzemlju u manjoj mjeri utječe na atenuaciju koncentracije trasera, kao i mogućih onečišćivala stabilnih u podzemnom okolišu. Glavni faktor atenuacije potencijalnog onečišćenja krških izvora predstavlja ukupna izdašnost zahvaćenih podzemnih tokova, te razgranatost i širina područja istjecanja (razrjeđenje onečišćivala).

Uranin upušten u ponoru u Vrhovinskom polju utvrđen je jedino na Majerovom vrelu. Krivulja pojave uranina pokazuje razmjerno jednostavan oblik, uz izrazito dominantan prvi vrhunac krivulje male disperzije trasera, te još jedan značajno manji naknadni vrhunac 8 dana nakon pojave prvoga. Na krivulji koncentracije uranina izražen je tzv. *tailing* efekt, odnosno asimetrija krivulje uslijed usporavanja pada koncentracije trasera pri niskim vrijednostima. Koncentracija uranina 20-tak dana nakon prve pojave približava se graničnim vrijednostima detekcije terenskih logera. Oblik krivulje ukazuje na grananje kanalskog sustava kojim se odvijao transport trasera na dva različita puta, koji se u zaleđu izvora ponovno spajaju. Brži put transporta ujedno je i dominantan po količini transportiranog trasera. Unutar oba utvrđena puta disperzija trasera bila je razmjerno mala.

Naftionat upušten kod Čanka pojavio se prvo na Klancu 33 dana nakon upuštanja, te na Majerovom vrelu nešto više od jednog dana nakon pojave na Klancu. Krivulje pojave naftionata kompleksnijeg su oblika u odnosu na uranin – na oba izvora prisutno je više vrhunaca. Krivulje koncentracije trasera značajno se razlikuju unatoč vremenski bliskom trenutku pojave. Krivulja koncentracije trasera na Klancu pokazuje čak četiri vrhunca, od kojih je prvi najveći, ali naknadni nisu značajno niži od prvog (svi u rasponu od 5 do 10 ppb). Nakon zadnjeg vrhunca koncentracija razmjerno brzo opada na vrijednosti blizu granice detekcije. U slučaju Majerovog vrela prvi vrhunac je izraženiji u odnosu na dodatna dva u drugom dijelu razdoblja istjecanja trasera, nakon kojih koncentracija trasera opada prema granici detekcije. Ovakve kompleksne krivulje pojave trasera na oba izvora ukazuju na razgranat sustav kanala koji izvore povezuje s ponorima u Čanku, u kojem se transport trasera odvijao kroz više odvojenih puteva.

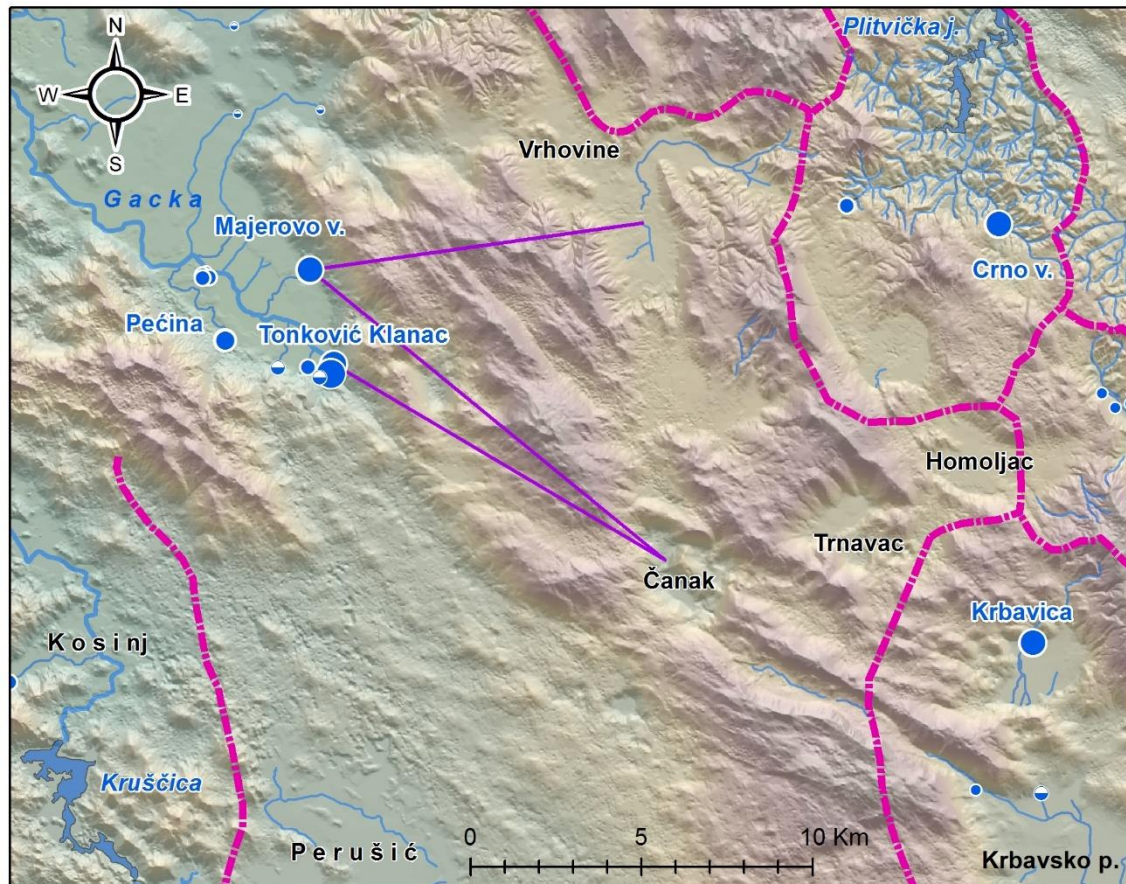
Pojava oba trasera isključivo na glavnim, odnosno najizdašnijim izvorima Gacke unatoč opažanju manjih izvora unutar izvorišnog područja (izvori u Zalužnici i Sincu, Pucirep, Knjapovac, Begovac, Grab, Jaz, Marusino vrelo) ukazuje na važnu značajku velikog i kompleksnog krškog slijeva. Otjecanje sa udaljenijih područja unutar sliva koncentrira u smjeru glavnih izvora, dok se ostali manji izvori prihranjuju iz svog bližeg zaleđa. Izuzetak predstavljaju izvori vrlo usporene dinamike istjecanja (za krška

područja), Knjapovac, Grab, Jaz i Marusino vrelo, koji su podzemno povezani i dominantno se prihranjuju iz Tonković vrela. Ipak, treba uzeti u obzir da ovo trasiranje nije izvedeno u ekstremno vodnim uvjetima, kada je moguće značajnije raspršivanje trase prema većem broju izvora. Međutim, treba naglasiti da su tijekom pojave boje bili aktivni povremeni izvori na području Zalužnice i Sinca. Slične značajke pojave boje na malom broju glavnih izvora utvrđene su i tijekom dijela prethodnih trasiranja, odnosno svim trasiranjima izuzevši trasiranja u Vrhovinama i Kozjanu 70-tih godina prošlog stoljeća.

U razdoblju izvedbe trasiranja (18. ožujka do 18. lipnja 2019.) obavljalo se dodatno gusto uzorkovanje vode glavnih izvora, uz određivanje sastava glavnih aniona i kationa, TOC-a, te stabilnih izotopa kisika i vodika iz prikupljenih uzoraka. Rezultati dodatnog gustog uzorkovanja u vrijeme trasiranja prikazani su u poglavlju 4.2. Također, tijekom trasiranja izvedeno je više dodatnih mjerenja protoka u različitim hidrološkim uvjetima (dopunski hidrološki monitoring). Dopunski hidrološki monitoring omogućio je povećanu preciznost hidrograma u razdoblju trasiranja, i posljedično visoku pouzdanost određivanja pronosa trase tijekom monitoringa njegovog istjecanja.

4.3.2 Usporedba rezultata simultanog trasiranja s rezultatima prethodnih trasiranja

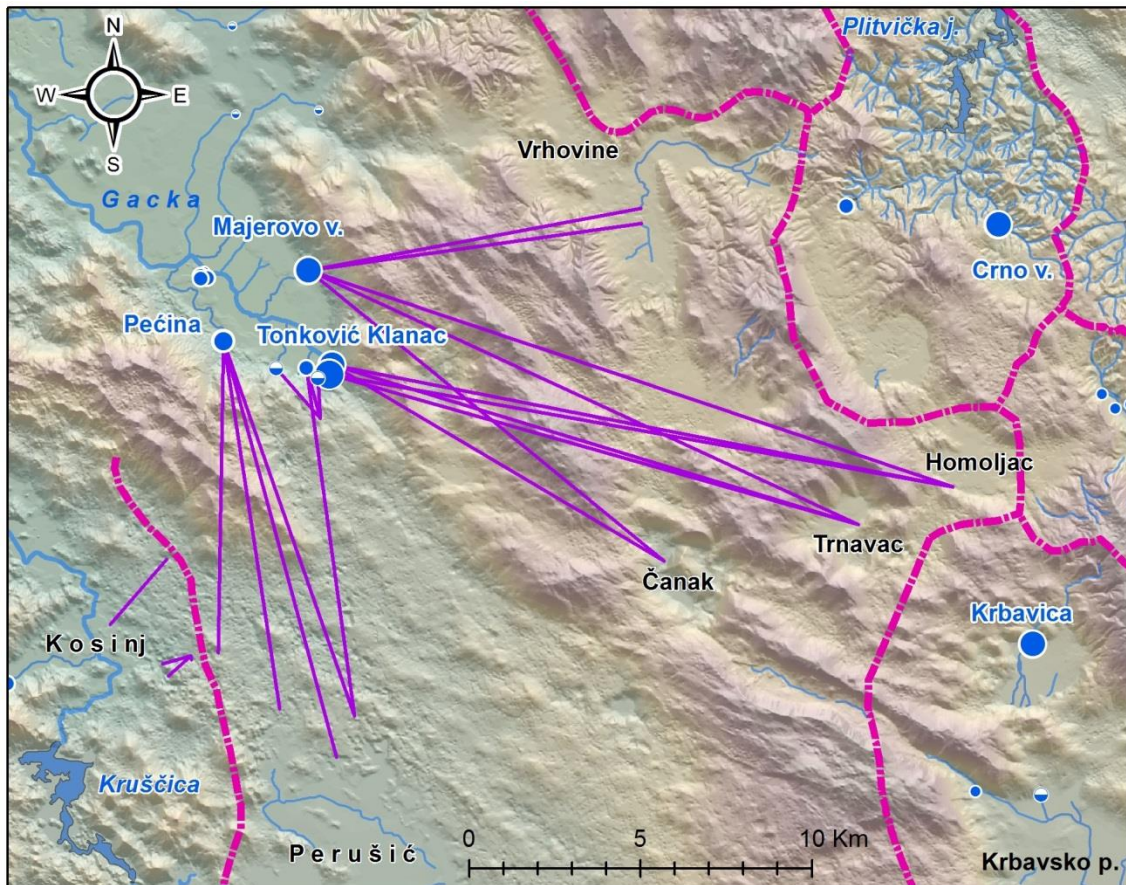
S ciljem interpretacije značajki podzemnih tokova u slivu Gacke, te redefiniranja područja podslivova pojedinih izvora, rezultati simultanog trasiranja provedenog u okviru ovog projekta (slika 4.3.7) uspoređeni su s rezultatima svih prethodnih trasiranja. Originalna dokumentacija svih prethodnih trasiranja detaljno je pregledana s ciljem procjene pouzdanosti njihovih rezultata.



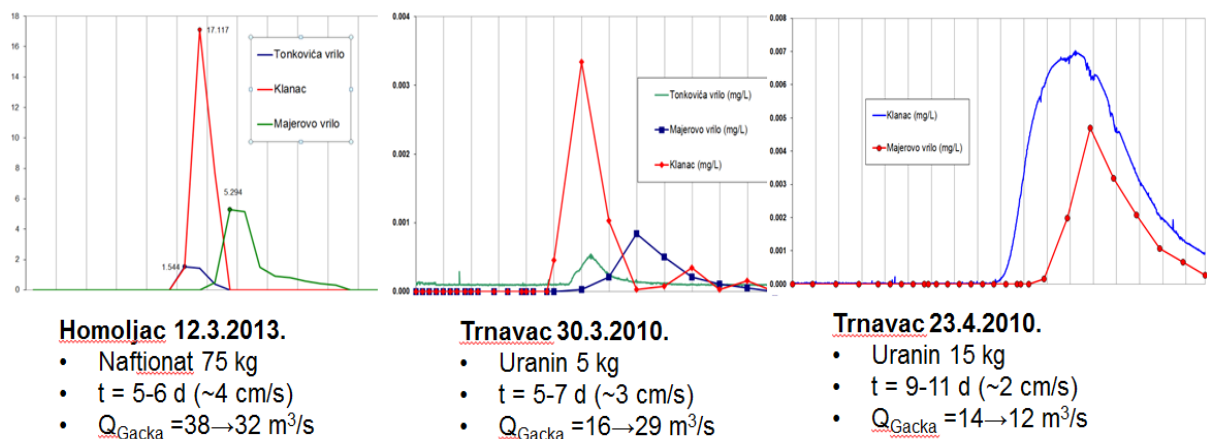
Slika 4.3.7. Rezultati simultanog trasiranja izvedenog u ožujku 2019. godine.

Usporedbom rezultata vidljiva je dobra podudarnost značajki vodnih veza utvrđenih simultanim trasiranjem s trasiranjima iz Trnavca i Homoljca, izvedenim 2010. i 2013. godine (slika 4.3.8). Ovim trasiranjima utvrđena je pojava trasera samo na izvorima Klanac, Majerovo vrelo i Tonković vrelo (izvor Gacke), uz najveći pronos trasera na Klanacu, zatim na Majerovom vrelu, te znatno manji na Tonković vrelu (Slika 4.3.9). Na Tonković vrelu utvrđena je pojava trasera samo pri vrlo visokim vodostajima, dok je pri umjereno visokim traser utvrđen isključivo na Klanacu i Majerovom vrelu, slično kao i tijekom posljednjeg simultanog trasiranja 2019. godine. Ovi rezultati ukazuju na značajno preklapanje podslivova Majerovog vrela i Klanca na jugoistočnom dijelu ukupnog hidrogeološkog sliva Gacke (područje Čanak-Trnavac-Homoljac-Turjanski). S druge strane, znatno manje pojave trasera na Tonković vrelu, vremenski potpuno usklađene s pojavama na Klanacu, prisutne samo pri vrlo visokim vodostajima, vjerojatno su posljedica lokalnog prodora podzemne vode iz smjera Klanca prema vrlo

blisko smještenom Tonković vrelu. Ovi prodori prisutni su samo tijekom vrlo visokih razina podzemne vode u zaleđu Klanca, odnosno tijekom vršnih protoka na izvorima. Pri niskim do srednje visokim vodostajima podzemna voda koja izvire na Tonković vrelu prihranjuje i izvor Klanac, na što ukazuju izotopne i hidrokemijske značajke vode ovih izvora (detaljnije opisano u prethodnim poglavljima). Prema ovoj interpretaciji, izrazita rasjedna zona pružanja SZ-JI (Slika 2.3.2), na kojoj su smješteni izvori Tonković i Klanac, hidrogeološki razdvaja sliv na SI dio koji pripada Klanacu i Majerovom vrelu, te JZ dio koji pripada Tonković vrelu i Klanacu.



Slika 4.3.8. Usporedba rezultata trasiranja čiji su rezultati procijenjeni pouzdanima (u istočnom području sliva trasiranja izvedena tijekom zadnjih desetak godina, te veza Majerovog vrela s Vrhovinskim poljem)

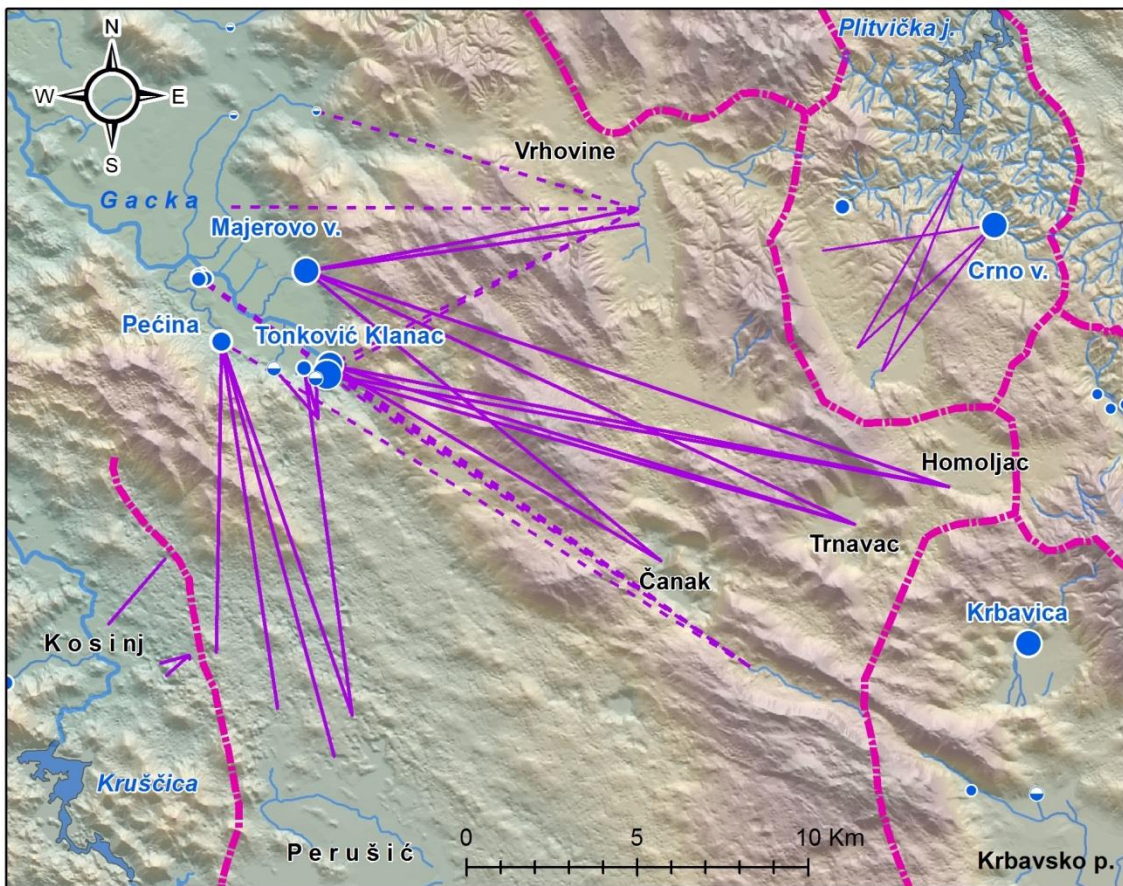


Slika 4.3.9. Krivulje istjecanja trasera trasiranja izvedenih u Trnavcu i Homoljcu

Usporedbom rezultata opisanih novijih trasiranja s rezultatima starijih trasiranja izvedenih 70-tih godina prošlog stoljeća primjećuju se značajne razlike u pogledu registrirane pojave trasera na znatno većem broju izvora (slika 4.3.10). Utvrđeni smjerovi podzemnog toka znatno su rašireniji, uz mnoga križanja vodnih veza. Također, utvrđene su značajno više prividne brzine toka (2-9 cm/s), unatoč srednjim do srednje visokim vodostajima tijekom provedbe trasiranja (ukupan protok Gacke tijekom trasiranja u Vrhovinama iznosio je oko 10 m³/s, te 18-12 m³/s tijekom trasiranja u Kozjanu, podaci DHMZ-a, <https://hidro.dhz.hr>).

Prilikom spomenutih starijih trasiranja, traser u izvorskoj vodi određivan je metodom subjektivne detekcije fluorescencije vode pomoću tzv. *kvarc lampe*. Pregledom originalne dokumentacije utvrđeni su neuobičajeni oblici krivulje pojave trasera (npr. velik broj malih pikova), te maksimalne koncentracije pojave trasera često blizu granice detekcije ovom metodom. Na temelju oblika krivulja i maksimalnih koncentracija, procijenjeno je da se kao sigurna pojava trasera može uzeti samo ona iz ponora u Vrhovinama na izvor Majerovo vrelo, uz nešto nižu prividnu brzinu, odnosno duže vrijeme do prvog nailaska. Sve ostale utvrđene podzemne vodne veze (uključujući sve utvrđene iz ponora u Kozjanu) procijenjene su kao nesigurne.

Na nepouzdanost podzemnih vodnih veza utvrđenih iz ponora u Kozjanu dodatno ukazuju rezultati najnovijeg simultanog trasiranja izvedenog u okviru ovog projekta. Naime, ponor u Kozjanu nalazi u JI zaleđu Čanka (oko 4 km u suprotnom smjeru od izvora), a određeno vrijeme do prve pojave trasera bilo je čak tri puta kraće u odnosu na novo trasiranje, tijekom sličnih hidroloških prilika. Treba naglasiti da je temeljem rezultata trasiranja ponora u Kozjanu određeno da se podsliv Pećine velikim dijelom preklapa s podslivovima Tonković vrela i Klanca, dok niti jednim drugim trasiranjem ovo preklapanje nije utvrđeno (slika 4.3.10). Jedino preklapanje podsliva Pećine ustanovljeno je trasiranjem 2014. godine (Munda i sur. 2014), pri čemu je trasirana jama u području odlagališta komunalnog otpada Razbojište (sjeverno od Perušićkog polja). Ovim trasiranjem utvrđena je veza s izvorima Pećina i Knjapovac, uz znatno nižu koncentraciju i prividnu brzinu na Knjapovcu.



Slika 4.3.10. Usporedba s rezultatima svih prethodnih trasiranja (uključujući trasiranja u Vrhovinama i Kozjanu izvedena 70-tih godina prošlog stoljeća čiji su rezultati procijenjeni nepouzdanima – označena crtkanim linijama)

Odbacivanjem rezultata prethodnih trasiranja koji su procijenjeni nepouzdanima (slika 4.3.8) interpretacija odnosa podslivova glavnih izvora Gacke u velikoj mjeri se mijenja: podsliv Pećine vezan je uz jugozapadni dio ukupnog sliva (Perušić-Studenci) i vjerojatno se preklapa u mnogo manjoj mjeri, ili je čak potpuno odvojen od sliva Tonković vrela. Sliv Tonković vrela, iz kojeg se dijelom prihranjuje i Klanac, obuhvaća južni i jugoistočni dio ukupnog sliva, JZ od izražene rasjedne zone u njegovom zaleđu (slika 2.3.2). Položaj južne i jugoistočne granice ovog podsliva vrlo je nesiguran uslijed nedostatka trasiranja na tom području. Izvori Klanac i Majerovo vrelo dijele značajan podsliv (područje Čanak-Trnavac-Homoljac, a možda i Turjanski), iz kojeg je pojava vode na izvoru Tonković vezana samo uz povremene prodore u neposrednom zaleđu tijekom vrlo visokih vodostaja. Kompletno područje Vrhovinskog polja pripada isključivo podslivu Majerovog vrela. U narednom poglavlju izneseno je objedinjeno redefiniranje sliva Gacke i pojedinih podslivova temeljem svih prethodno opisanih rezultata hidrogeoloških istraživanja.

5 REDEFINIRANJE SLIVA IZVORIŠTA RIJEKE GACKE

Temeljem interpretacije rezultata svih prethodno opisanih hidrogeoloških istraživanja, kao i detaljne analize i procjene pouzdanosti rezultata prethodnih istraživanja (poglavito prethodnih trasiranja), ukupan sliv Gacke razdvojen je na podslivove pojedinih izvora (slika 5.1). Ukupan sliv podijeljen je na:

- područje podsliva Pećine tijekom niskih i srednjih hidroloških uvjeta (42 km²), koji se proširuje u uvjetima visokih vodostaja u podzemlju (86 km²);
- podsliv Tonković vrela i Klanca, zajedno s izvorima Jaz, Marusino vrelo, Grab i Knjapovac za koje su utvrđene gotovo istovjetne hidrokemijske značajke vode s Tonković vrelom (231 km²);
- podsliv Klanca i Majerovog vrela (97 km²);
- podsliv isključivo Majerovog vrela (91 km²).

Ukupna površina zajedničkog sliva izvorišnog područja Gacke (glavni izvori, te manji izvori na području od Sinca do područja utoka Kostelke (izvor Pećina) u Gacku u Čovićima (slika 2.1.1) na temelju iznesene interpretacije iznosi 461 km² (uz sliv Pećine u uvjetima malih i srednjih voda).

Iz podsliva Tonkovića i Klanca dominantno se prihranjuje Tonković vrelo (Izvor Gacke), te manji, ali stalni izvori: Jaz, Marusino, Grab i Knjapovac, koji pokazuju gotovo istovjetne hidrokemijske značajke kao Tonković. Manji dio vode izvire i na Klanacu. Dotok na Klanac prisutan je tijekom svih hidroloških uvjeta, osim možda tijekom vrhunaca ekstremno visokih vodnih valova, kada voda iz smjera podsliva Klanca i Majerovog vrela potiskuje vodu iz smjera Tonković vrela.

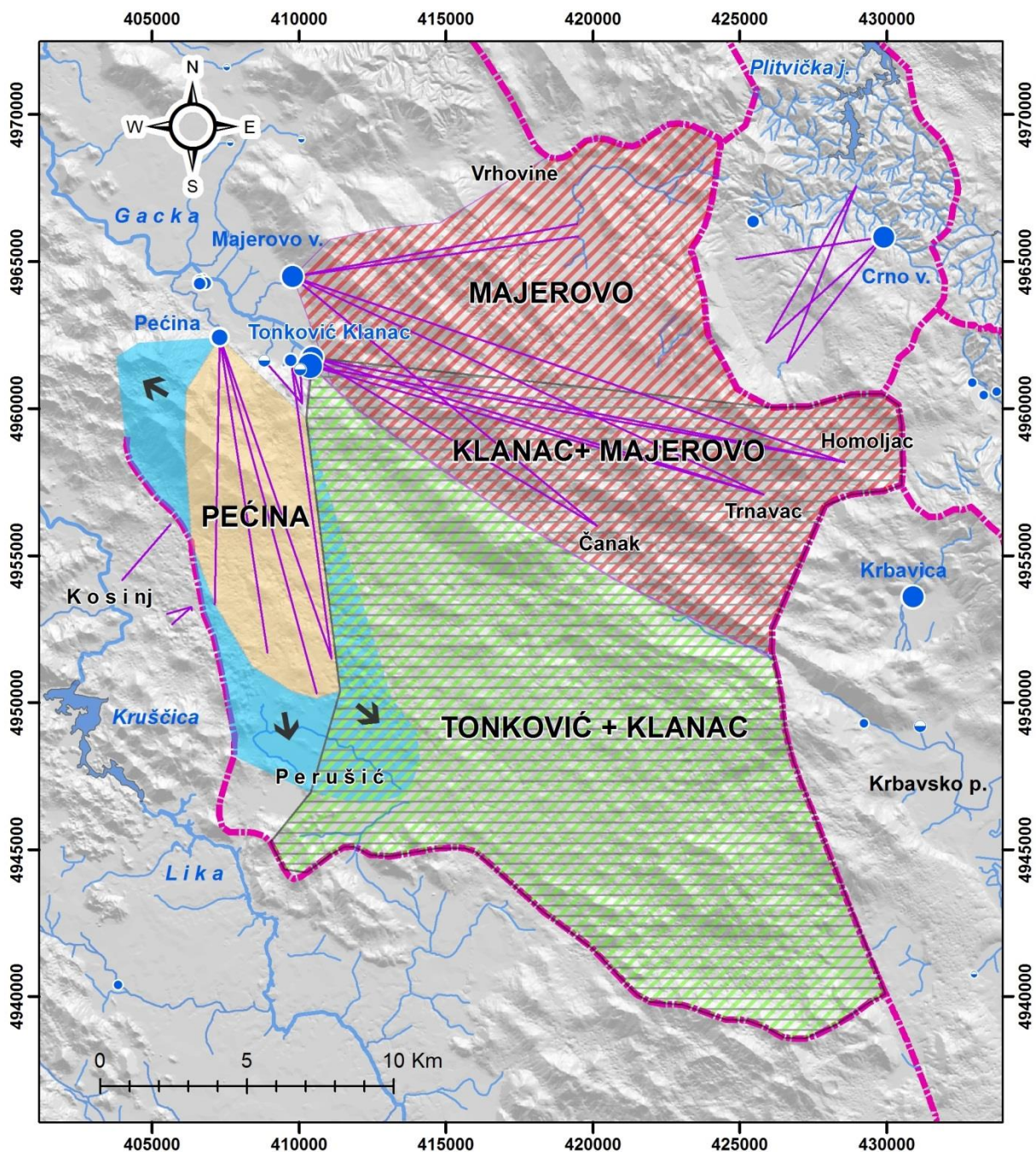
S područja podsliva Klanca i Majerovog vrela voda dijelom otječe prema Klanacu (bez značajnijeg utjecaja na Tonković vrelo), a dijelom prema Majerovom vrelu. Točan omjer otjecanja prema svakom od ovih izvora vjerojatno je promijenjiv ovisno o položaju unutar podsliva i hidrološkoj situaciji. Vode ovog podsliva mogu utjecati na Tonković vrelo samo tijekom vrlo visokih vodostaja, a i tada u razmjerno malom ukupnom udjelu. U ukupnom prihranjivanju izvora Klanac udio podsliva Klanca i Majerovog vrela raste u odnosu na dotok iz sliva Tonkovića u uvjetima visokih voda, ali je prisutan (u manjoj mjeri) i tijekom sušnih razdoblja.

Podzemna voda s područja podsliva Majerovog vrela isključivo otječe prema ovom izvoru, a moguće iz bližeg zaleđa dijelom i prema povremenim izvorima na širem području sela Sinac. Treba naglasiti da je na temelju rezultata trasiranja utvrđeno da raširene pojave dolomita unutar ovog podsliva (potvrđene i hidrokemijskim značajkama izvorske vode Majerovog vrela) ne predstavljaju faktor usporavanja podzemnih tokova i retencije vode u podzemlju prije izviranja. Granica podsliva Majerovog vrela s podslivom Klanca i Majerovog vrela približno je locirana temeljem rezultata trasiranja i bilance otjecanja, te su moguća odstupanja njenog položaja (npr. nije sigurna pripadnost područja Turjanskog polja, između Vrhovinskog polja i Čanka).

Podsliv Pećine u *normalnim* hidrološkim prilikama prihranjuje samo ovaj izvor (uz manje povremene izvore Pucirep i Begovac), bez značajnijeg preklapanja sa podslivom Tonković vrela, ali tijekom vodnih i pogotovo ekstremno vodnih prilika on se značajno povećava uslijed ograničenog kapaciteta otjecanja izravno prema priobalnim izvorima kroz masiv Velebita. U ovakvim prilikama pretpostavljeno je i nešto značajnije preklapanje s podslivom Tonković vrela i Klanca (slika 5.1).

Treba naglasiti da položaj granica slivova i podslivova u kršu treba shvatiti zonarno i promjenjivo ovisno o hidrološkim prilikama u podzemlju, te da uslijed

nedostatka rezultata trasiranja podzemnih tokova s velikog dijela razmatranog područja stvarni položaj razvodnica na dijelovima terena može značajno odstupati. Za sliv izvorišta Gacke ovo se ponajviše odnosi na južna i jugoistočna granična područja prema slivovima Krbavskog polja (hidrogeološki sliv Une) i rijeke Like. Također, u graničnim područjima slivova moguća je i pojava istovremenog otjecanja podzemne vode u različitim smjerovima, kao posljedica toka kroz kompleksnu mrežu krških kanala, što rezultira preklapanjem slivnih područja u manjem ili većem obimu.



Slika 5.1. Prikaz ukupnog sliva izvorišta Gacke, te područja i odnosa podslivova glavnih izvora (detaljni opis u tekstu)

Glavne pokazatelje na temelju kojih je načinjena interpretacija podslivova unutar ukupnog sliva Gacke predstavljaju rezultati trasiranja, koji jedini izravno pokazuju na

pripadnost pojedinih područja priljevnom području pojedinog izvora (detaljno opisano u poglavlju 4.3.2); zatim značajke (sličnost i razlike) u dinamici hidrokemijskih parametara izvorske vode pojedinih izvora (detaljno opisano u poglavlju 4.2.2), poglavito temperaturne značajke u pogledu visinskih odnosa podslivova i izotopne značajke u pogledu njihovog prostornog položaja; te na kraju i značajke dinamike istjecanja pojedinih izvora (poglavlje 4.2.1).

Sa svrhom usporedbe i korekcije interpretiranih površina ukupnog sliva i podslivova, površine slivova pojedinih izvora izračunate su metodom hidrološkog bilanciranja. Bilanca slivova napravljena je na temelju prosječne izdašnosti pojedinih glavnih izvora, mjerene količine oborina u slivu, te koeficijenta otjecanja. Pojedinačna prosječna izdašnost glavnih izvora Gacke određena je temeljem uspostavljenog monitoringa protoka u sklopu ovog projekta, uz dodatnu usporedbu rezultata s ostalim dostupnim izvorima podataka (Pavičić i sur. 1997, Lukač-Reberski 2011; <https://hidro.dhz.hr>). Prosječne izdašnosti pojedinih izvora tijekom razdoblja monitoringa iznosile su:

- Majerovo vrelo 2.6 m³/s;
- Klanac 2.4 m³/s;
- Tonković vrelo 2.7 m³/s, čemu su pridodate prosječne količine crpljenja ovog izvora (0.1 m³/s) i procijenjene izdašnosti izvora Jaz, Marusino vrelo, Grab i Knjapovac (1.2 m³/s), na temelju više mjerenja izdašnosti obavljenih tijekom ovog projekta, kao i rezultata prethodnih istraživanja (Pavičić i sur. 1997), te je na taj način dobivena ukupna izdašnost Tonković vrela i izvora koji dijele isto područje prihranjivanja od 4.0 m³/s;
- Pećina 1.0 m³/s

Količine oborina tijekom razdoblja monitoringa izravno su mjerene u sklopu ovog projekta na lokaciji Tonković vrela. Mjerene vrijednosti korigirane su s obzirom na nadmorsku visinu podslivova na temelju Klimatskog atlasa Hrvatske (Zaninović i sur. 2008), te su dodatno uspoređene s vrijednostima mjerenim na klimatološkoj stanici DHMZ-a u Gospiću (www.meteo.hr). Količine oborina tijekom cjelokupnog razdoblja monitoringa (2018.-2020.) bile su na razini prosječnih za višegodišnji vremenski niz (1981.-2010., www.meteo.hr). Srednja godišnja oborina za priljevno područje Majerovog vrela određena je na 1350 mm; Klanca na 1300 mm; Tonkovića na 1250 mm; te Pećine 1300 mm.

Otjecajni koeficijent određen je primjenom empirijske formule Turca (Turc, 1954), koja se bazira na srednjoj godišnjoj temperaturi sliva i količini oborina, te formule izvedene regionalnom hidrološkom analizom krških slivova Hrvatske (Žugaj 1995), temeljene na veličini sliva i godišnjoj oborini. Izračunati otjecajni koeficijent uspoređen je s koeficijentom dobivenim vodnom bilancom ukupnog sliva Gacke do profila Čovići-Podgora za 30-godišnji niz podataka 1961.-90. (Poglavlje 3.2.1). Za srednju temperaturu sliva tijekom razdoblja monitoringa korišteni su rezultati monitoringa temperature izvorske vode, koja u slučaju krških izvora odražava srednju temperaturu njihovog područja prihranjivanja. Formulom Turca izračunat je otjecajni koeficijent $c=0.61$, a formulom izvedenom regionalnim analizama $c=0.63$. Otjecajni koeficijent za 30-godišnji niz podataka 1961.-90., određen kao srednja vrijednost koeficijenata dobivenih metodom Turca i Langbeina, iznosio je $c=0.58$.

Vidljiva je dobra podudarnost vrijednosti otjecajnih koeficijenata dobivenih temeljem Turcove formule i formule izvedene regionalnom hidrološkom analizom za razdoblje monitoringa, kao i vodnom bilancom za niz podataka 1961.-90. Temeljem

navedenih vrijednosti u hidrološkoj bilanci pojedinih izvora uzet je jedinstveni otjecajni koeficijent za cjelokupni sliv Gacke $c=0.6$ (uslijed malih temperaturnih razlika pojedinih podslivova, od 9 do 10 °C).

Korištenjem izraza: $A=Q/cP$

gdje je A površina sliva (m^2), Q prosječna izdašnost izvora ($m^3/god.$), c otjecajni koeficijent (-), te P visina oborine ($m/god.$), dobivene su slijedeće vrijednosti površina potrebnih za prihranjivanje pojedinih izvora:

- Majerovo vrelo 101 km^2 ;
- Klanac 97 km^2 ;
- Tonković (sa Jazom, Grabom, Marusinim i Knjapovcem) 170 km^2 ;
- Pećina 41 km^2

Ukupna površina hidrološki bilanciranog sliva navedenih izvora iznosi 409 km^2 . Ukupna srednja izdašnost razmatranih izvora iznosila je tijekom razdoblja monitoringa 10 m^3/s , dok je tijekom razdoblja bilance izvorišnog dijela Gacke (1961.-90.) ukupna srednja izdašnost Gacke na profilu Čovići-Podgora iznosila viših 13.3 m^3/s , unatoč gotovo istovjetnoj srednjoj godišnjoj količini oborina (1300 mm/god). Veća srednja izdašnost Gacke na spomenutom profilu u odnosu na ukupnu izdašnost razmatranih izvora posljedica je prinosa protoku Gacke putem manjih izvora koji u hidrološki vodnijim razdobljima godine mogu davati značajan doprinos ukupnom protoku (izvori šireg područja naselja Sinac i Zalužnica, te povremeni izvori Pucirep i Begovac), kao i otjecanje sa uzvodnih površina Gackog polja. Ukupna površina sliva Čovići-Podgora, određena na temelju hidrogeoloških i hidroloških obrada tako je oko 150 km^2 (35%) veća od površine sliva glavnih izvora Gacke, što je u skladu i s navedenom razlikom srednjih izdašnosti.

Usporedbom ukupne površine sliva razmatranih izvora dobivene hidrološkim bilanciranjem (409 km^2) i temeljem hidrogeoloških istraživanja (461 km^2) vidljivo je razmjerno malo odstupanje - površina je 13% manja na temelju bilanciranja. Razlika u površini sliva izvorišta Gacke dijelom može biti posljedica precijenjenog prostiranja hidrogeološki određenog sliva, posebno u južnom i jugoistočnom dijelu (rubna područja prema slivu Krbavskog polja, koje je unutar hidrogeološkog sliva rijeke Une, te prema slivu Like). Problem predstavlja nedostatak regionalnih trasiranja vode na ovom području, čiji bi rezultati izravno potvrdili pripadnost određenom slivu.

Zonarni karakter razvodnica, te pojava otjecanja podzemne vode s pojedinih područja prema više različitih slivova, što je česta pojava u krškim terenima, ostavlja mogućnost preklapanja slivova Gacke, Like i Krbavskog polja u njihovim rubnim dijelovima, uz promjenjiv udio otjecanja prema pojedinom slivu ovisno o hidrološkim prilikama. Preklapanje slivova, te djelomično dreniranje podzemne vode prema pojedinom slivu izravno povećava površinu hidrogeološkog sliva u odnosu na sliv izračunat hidrološkim bilanciranjem (uz pretpostavku dreniranja cjelokupne infiltrirane vode prema jednom izvoru/izvorištu).

Povremen karakter krških izvora uz sjeveroistočni rub Krbavskog polja (šire područje naselja Bunić, slika 5.4) može hidrogeološki objašnjavati dvojako: 1.) kao posljedica podzemnog otjecanja (ograničenog kapaciteta) ispod razine polja prema području Ličke Plješivice i dalje prema dolini rijeke Une; te 2.) preklapanjem slivova Krbavskog polja i izvora Gacke na način da podzemno otjecanje ograničenog kapaciteta stalno prihranjuje izvore Gacke, a povremeni višak vode izvire na povremenim izvorima Krbavskog polja. Ova posljednja interpretacija dijelom bi objasnila i ujednačen hidrološki režim istjecanja Tonković vrela i s njim povezanih izvora. U svakom slučaju, iznesene mogućnosti trebalo bi dokazati izvedbom dodatnih

regionalnih trasiranja podzemnih tokova s graničnog područja sliva Gacke i Krbave. Također, slična situacija dreniranja podzemnih voda tijekom nižih vodostaja isključivo prema Tonković vreli, a viškova vode prema povremenim izvorima moguće je i u slučaju povremenih izvora Perušićkog polja (gdje povremeno aktivni ponori prihranjuju izvor Pećinu) i Ličkog Osika (od kuda se povremeni površinski tokovi ulijevaju u rijeku Liku, slika 5.4).

Površinu hidrogeološkog sliva može dodatno povećati i pojava otjecanja dijela vode sa sliva podzemno (bez izviranja), koja se na taj način ne računa u ukupnu mjerenu količinu istjecanja sa sliva. Ovakva pojava vjerojatno je prisutna u podslivu Pećine, koji se nalazi vrlo blizu područja estavela, smještenog duž zapadnog ruba Gackog polja od Čovića do Otočca (Pavičić i sur. 1997). Niski minimalni protoci Pećine, uz povremeno presušivanje tijekom dugih sušnih razdoblja, ukazuju da dio vode iz njegovog sliva otječe podzemno prema području estavela, a zatim i ponora (Švica). Ograničen kapacitet podzemnog otjecanja omogućuje visoku izdašnost Pećine u uvjetima srednjih i posebno visokih vodostaja.

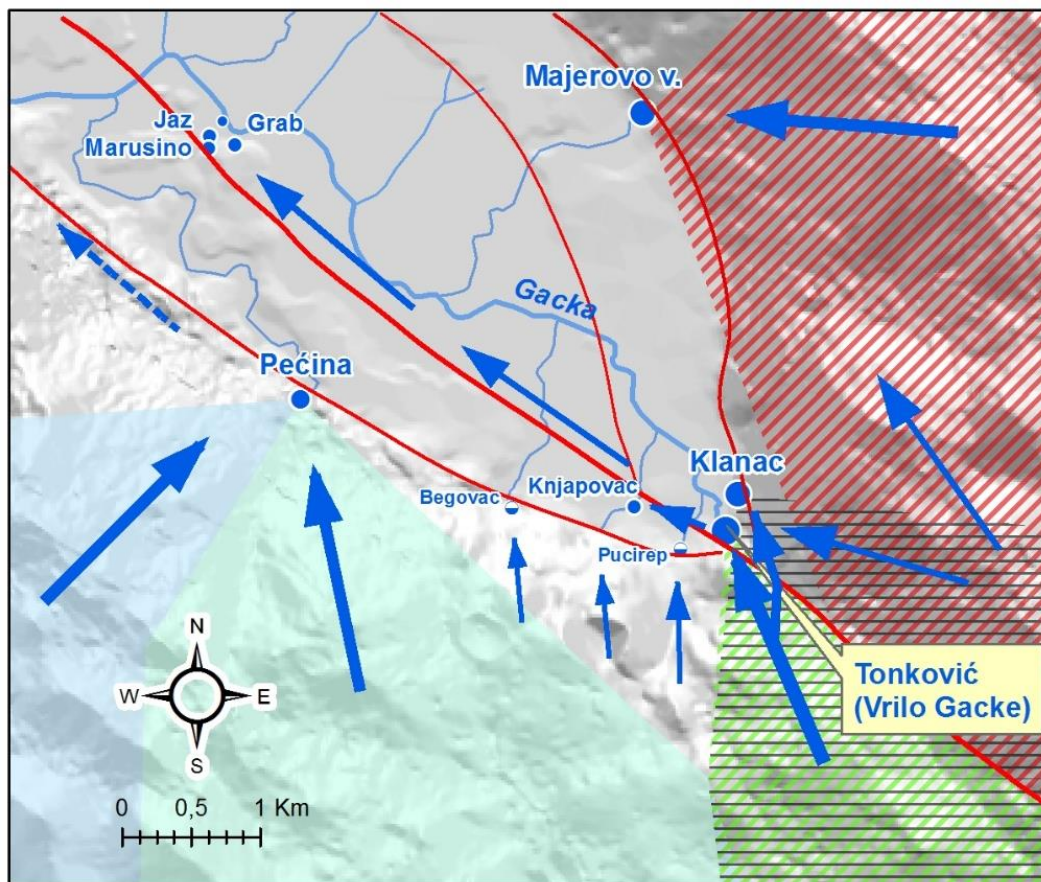
Dinamika temperature i izotopnog sastava izvorske vode ukazuju na promjenjiv obuhvat sliva Pećine ovisno o hidrološkim prilikama. Značajni padovi temperature izvorske vode tijekom vodnih valova (slika 4.2.12), neovisno o dijelu godine kada se događaju, ukazuju na dotok vode sa hipsometrijski viših (planinskih) područja. Planinsko područje nalazi se u jugozapadnom zaleđu izvora (između Kosinja i Gackog polja, slika 5.4), za koje je prethodno pretpostavljeno podzemno dreniranje kroz masiv Sjevernog Velebita izravno prema priobalnim izvorima Velebitskog kanala. Tijekom visokih vodostaja na ovom području kapacitet drenažnih kanala vjerojatno postaje premalen, te se višak vode privremeno drenira prema izvoru Pećina. Slična situacija vjerojatno je prisutna i na području zapadnih i južnih dijelova podsliva Pećine, te je i tamo pretpostavljeno širenje priljevnog područja u uvjetima visokog vodostaja (slike 5.1 i 5.4). Uslijed otjecanja dijela vode iz podsliva podzemno, te promjenjivog obuhvata sliva ovisno o hidrološkim prilikama, ukupna površina interpretiranog podsliva Pećine značajno je veća od one određene bilanciranjem: 41 km² bilanciranjem, 42 km² interpretirani podsliv Pećine u uvjetima srednjih i nižih vodostaja, te 86 km² podsliv Pećine u uvjetima visokih vodostaja.

Otjecanje (manjeg) dijela vode podzemno ispod razine Gackog polja prema zoni estavela i ponora moguće je i u slučaju Majerovog vrela, nakon kojeg u smjeru sjeverozapada svi izvori imaju povremen karakter, a razina vode spušta se i do desetak metara ispod razine terena (šire područje Sinca i Zalužnice, slika 5.2). Međutim, udio vode koji se gubi podzemno bez izviranja vjerojatno je značajno manji u odnosu na Pećinu, što se očituje višim minimalnim protocima Majerovog vrela uz izostanak povremenog presušivanja.



Slika 5.2. Izvor Zalužnica za vrijeme niskih (lijevo) i visokih voda (desno)

Na slici 5.3 shematski je prikazan odnos istjecanja podzemne vode iz različitih podslivova na pojedinim izvorima, kao i najznačajniji rasjedi i rasjedne zone koji utječu na lokalne hidrogeološke prilike. Najznačajniju hidrogeološku funkciju na izvorišnom području Gacke ima regionalni rasjed koji se pruža smjerom SZ-JI, od Ramljana duž jugozapadnog područja Gackog polja. Unutar zone ovog rasjeda smješteni su izvori Tonković i Klanac, a zatim u smjeru SZ prvo Knjapovac, a dalje i grupa izvora Jaz, Marusino vrelo i Grab (koji predstavljaju izvorišne ogranke istog izvorišta). Zona ovog rasjeda vjerojatno ima važnu ulogu u razdvajanju podsliva Klanca i Majerovog vrela od podsliva Tonković vrela (i Klanca) jugoistočno od Gackog polja. U izvorišnom dijelu polja rasjed se morfološki odražava rubom terasastog uzdignuća koje odvaja tok Gacke i tok Pećine (Kostelka). Uz razdvajanje podslivova jugozapadno i sjeveroistočno od svog pružanja, ovaj rasjed vjerojatno ima dodatnu funkciju kolektora vode s područja jugozapadno od svog pružanja, koju usmjerava prema izvoru Tonković vrelo (i manjim dijelom Klanac), te dalje do Knjapovca i grupe Jaz, Grab i Marusino vrelo. Na području polja on zadržava barijernu funkciju poprečno pružanju, te istovremeno provodnu funkciju ograničenog kapaciteta duž pružanja. Ovo grupi izvora Jaz, Grab i Marusino osigurava stalan karakter uz vrlo ujednačenu dinamiku istjecanja. Vrlo blizu spomenute grupe izvora, nizvodno od pružanja rasjeda (uz zapadni rub polja) nalaze se prve estavele kao indikator podzemnog otjecanja te „viseći“ karakter površinskog toka Gacke tijekom nižih vodostaja. Nagli pad razine krške podzemne vode ispod razine terena nizvodno od zone rasjeda potvrđuje njegovu barijernu funkciju.



Slika 5.3. Shematski prikaz glavnih pravaca podzemnih tokova u izvorišnom području Gacke (plave strelice), te glavnih rasjeda koji utječu na lokalne pravce toka podzemne vode (crvene linije)

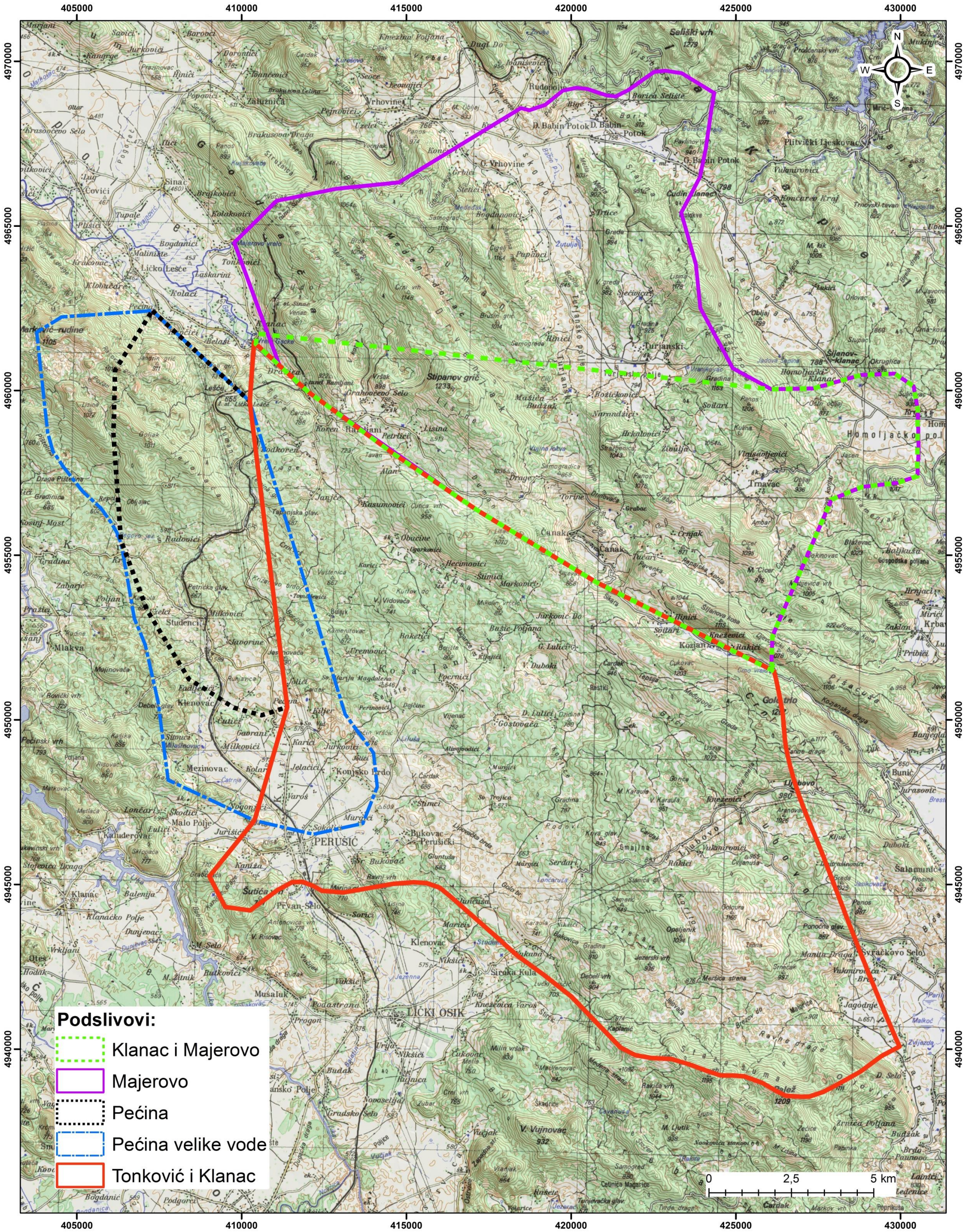
Dodatna hidrogeološka funkcija opisanog rasjeda prigušenje je dinamike istjecanja vode na Tonković vrele (i povezanim izvorima), uslijed tečenja vode kroz intenzivno zdrobljenu zonu rasjeda. Povremeno povišena mutnoća izvorske vode Tonković vrele, unatoč manje izraženoj dinamici u odnosu na Klanac i Majerovo vrelo, vjerojatno potječe od sitnozrnatog sedimenta unutar rasjedne zone, koji se mobilizira tijekom povećanih brzina tečenja. Ipak, prigušena dinamika istjecanja uz izostanak komponente vrlo brzo transportirane vode s površine do izvora (analiza hidrokemijskog monitoringa, poglavlje 4.2.2) ne uvjetuje i dulje vrijeme prosječnog zadržavanja vode unutar sustava. Ovo se odražava prisustvom sezonske dinamike temperature i izotopnih značajki izvorske vode, unatoč gotovo potpunom prigušenju brzih promjena tijekom pojedinih vodnih valova (poglavlje 4.2.2).

Izvoru Klanac prihranjivanje je dijelom vezano uz Tonković vrelo, a drugim dijelom uz dotok vode s područja sjeveroistočno od pružanja prethodno opisanog rasjeda (područje podsliva Klanca i Majerovog vrele). Na temelju analize provedenih istraživanja, miješanje vode iz ovih podslivova događa se u neposrednom zaleđu izvora. Prodor vode iz podsliva Klanca i Majerovog vrele na izvor Tonković vrelo moguć je samo pri vrlo visokim vodostajima, vjerojatno uslijed značajnijeg podizanja razine podzemne vode u zaleđu Klanca u odnosu na Tonković vrelo. I u takvim, obično kratkotrajnim uvjetima, dotok vode iz ovog podsliva prema Tonković vrele mnogo je manji u odnosu na dotok iz podsliva Tonkovića i Klanca. Stoga je podsliv Klanca i Majerovog vrele izuzet iz priljevnog područja Tonković vrele, usprkos povremeno

prisutnim pojavama trasera s tog područja (vremenski usklađenim s pojavama na Klanču, ali značajno niže koncentracije).

Prihranjivanje Klanca iz dva podsliva (uz miješanje vode u neposrednom zaleđu uz promjenjiv udio vode iz pojedinog podsliva ovisno o hidrološkoj situaciji) uzrok je višestruko većem priljevnom području ovog izvora u odnosu na rezultat hidrološke bilance: zajednička površina podslivova Klanca i Tonković vrela, te Klanca i Majerovog vrela iznosi 328 km², dok je potrebna površina podsliva dobivena bilanciranjem samo 97 km². Ovo je posljedica prihranjivanja Klanca iz dva smjera, odnosno dva podsliva, od kojih se niti jedan ne drenira isključivo na Klanču. Vode podsliva Tonkovića i Klanca samo manjim dijelom izvire na Klanču, a većim dijelom na Tonkoviću i prethodno opisanoj grupi izvora vezanih uz Tonković.

Izvor Pećina nalazi se u zoni rasjeda koji se pruža jugozapadnim rubom Gackog polja (slika 5.3). Unutar iste zone smješteni su i manji, povremeni izvori Pucirep i Begovac. Svi ovi izvori nalaze se nizvodno od opisanog barijernog rasjeda na kojem se nalazi Tonković vrelo. Od Pećine u smjeru SZ, blizu utoka Kostelke (vodotok Pećine) u Gacku, uz tok Gacke javljaju se prve estavele. Ovo ukazuje da je na ovom području prisutno podzemno otjecanje (ograničenog kapaciteta) u smjeru zone ponora, te dalje kroz duboko okršeni masiv Sjevernog Velebita prema priobalnim izvorima i vruljama Velebitskog kanala. Kao što je već prethodno opisano, ovakva situacija rezultira vrlo niskim minimalnim protocima Pećine, iz čijeg se podsliva dio vode gubi isključivo podzemnim otjecanjem.



- Podslivovi:**
- Klanac i Majerovo
 - Majerovo
 - Pećina
 - Pećina velike vode
 - Tonković i Klanac

Slika 5.4. Prikaz podslivova glavnih izvora Gacke

6 ZAKLJUČCI I PRIJEDLOZI

Vodotoci Lika i Gacka imaju iznimnu prirodnu, vodnogospodarsku i hidroenergetsku vrijednost. Izgradnjom sustava HE Senj sredinom šezdesetih godina prošlog stoljeća ostvarene su značajne promjene - izmijenjene su prirodne značajke toga sustava i umanjena njihova vrijednost, ali i osigurana proizvodnja el. energije iz obnovljivih izvora, korištenje voda za potrebe vodoopskrbe Senja i Vodovoda Hrvatskog primorja - Južni ogranak, te smanjena učestalost i trajanje poplavlivanja na području Lipovog polja, Donje Švice te doline rijeke Gacke. Najveće promjene, smanjivanje pa i potpuna presušivanja otjecanja na pojedinim dionicama toka vezane su uz otjecanja rijeke Gacke – kako kroz njen Sjeverni krak koji protječe Otočcem, tako i njen Južni krak nizvodno od Šumečice.

Prilikom planiranja, izgradnje sustava i rada sustava HE Senj uvjetovano je osiguranje tzv. „bioloških minimuma“ (BM) upravo vezanih uz Sjeverni i Južni krak. U tijeku je nadogradnja hidroenergetskog sustava planiranom izgradnjom HE Senj 2, kao i niza drugih pratećih objekata kao što je nova akumulacija Kosinj s pribranskom elektranom, novi kompenzacijski bazen Gusić polje 2 i slično, što će uzrokovati daljnje promjene otjecanja na postojećoj hidrografskoj mreži. Kako bi se minimalizirao negativni utjecaj tih promjena, kao i promjena uvjetovanih klimatskim promjenama i povećanju i drugih antropogenih pritisaka na vodne resurse, prije svega vezano uz korištenje voda za potrebe vodoopskrbe i navodnjavanje, kao i povećala saznanja vezana uz osiguranje što učinkovitije zaštite vodnih resursa, u sklopu predmetnog dokumenta provedene su analize hidroloških i hidrogeoloških značajki analiziranog područja. Radi se o podlogama koje su potrebne kako bi se osiguralo definiranje i primjena ekološki prihvatljivog protoka EPP kao mjere za osiguranje primjerenog stanja vodnih tijela na analiziranom području.

Naime, osim davno propisanih mjera osiguranja BM za hidroenergetsko korištenje voda, prema raspoloživim saznanjima, niti jednom drugom postojećem ili planiranom korisniku voda na analiziranom području nisu uvjetovana ograničenja korištenja u kontekstu potrebe osiguranja EPP. S njim se, sukladno Zakonu o vodama, osigurava kakvoća, količina i vremenska raspodjela površinske i podzemne vode potrebne za održavanje funkcija i procesa slatkovodnih, estuarijskih i o njima ovisnih ekosustava, o kojima ovise i ljudi. Tako čak ni za korištenje voda na izvoru Gacke za potrebe vodoopskrbe nije definirana potreba osiguranja EPP na njenom nizvodnijem dijelu toka, a u nekim varijantama recentni vodoopskrbni plan analiziranog područja, čak predviđa mogućnost korištenja glavnog izvora Gacke do njegovog potpunog iskorištenja isključivo za vodoopskrbu.

Problem je da ne samo da ne postoji definiran EPP za karakteristične dionice vodotoka, nego još uvijek ne postoji ni definirana obvezujuća metodologija za njegovo donošenje. No, postoji praksa i literaturna saznanja o mogućim pristupima, pri čemu su hidrološke podloge i procjene osnovna polazišta, a što se kasnije nadopunjuje s biološkim i ekološkim saznanjima i procjenama.

U tom cilju u ovome su dokumentu provedene opsežne hidrološke analize, s naglaskom na osiguranju dodatnih hidroloških i hidrogeoloških saznanja vezanih uz vodni potencijal najvažnijeg izvorišta na analiziranom području – izvorišta rijeke Gacke koje se sastojim od više pojedinačnih izvora.

Na četiri glavna izvora Gacke uspostavljen je dopunski hidrološki i hidrokemijski monitoring u trajanju od dvije godine (od svibnja 2018. do svibnja 2020. godine). U sklopu hidrološkog monitoringa opažani su zasebno razine i protoci pojedinih glavnih izvora, a dodatnim hidrokemijskim monitoringom odabrani fizikalni (temperatura i elektrolitička vodljivost) i kemijski parametri (glavni anioni i kationi, nitrati, sadržaj organskog ugljika, sastav stabilnih izotopa kisika i vodika). Tijekom razdoblja monitoringa, u ožujku 2019. godine obavljeno je simultano trasiranje podzemnih tokova vode s područja Čanka i Vrhovinskog polja. Istovremeno sa simultanim trasiranjem izvedeno je i intenzivno uzorkovanje izvorskih voda (hidrokemijski monitoring) u trajanju nešto dužem od dva mjeseca.

Analiza rezultata provedenog dopunskog monitoringa omogućila je detaljnu analizu hidrodinamičkih i hidrokemijskih značajki pojedinih izvora. Intenzivni monitoring hidrokemijskih značajki izveden je tijekom hidrološki dinamičkog razdoblja, što je doprinijelo povećanju informativnosti rezultata, te je omogućio stjecanje uvida u značajke vrlo brze dinamike krških sustava u zaleđu pojedinih izvora tijekom i nakon oborinskih događaja. Usporedba značajki dinamike na pojedinim izvorima omogućila je bolju interpretaciju povezanosti njihovih priljevni područja (detaljni opis i interpretacija rezultata monitoringa nalazi se u sklopu poglavlja 4.2).

Dodatan uvid u prostiranje i odnose pojedinih područja unutar ukupnog sliva Gacke omogućen je izvedbom spomenutog simultanog trasiranja. Za razliku od većine prethodnih trasiranja, ovo trasiranje izvedeno je u umjereno vodnim uvjetima, nakon čega je uslijedilo nekoliko vodnih valova. Ovo je omogućilo uz generalno utvrđivanje pravaca podzemnih tokova i usporedbu generalnih značajki tokova tijekom različitih hidroloških stanja u podzemlju. Naime, prethodna trasiranja ciljano su izvođena u uvjetima visokih i vrlo visokih vodostaja u svrhu određivanja obuhvata zaštitnih zona. Detaljnom usporedbom i analizom rezultata simultanog trasiranja s rezultatima prethodnih trasiranja utvrđeno je generalno podudaranje značajki veza s rezultatima novijih trasiranja, dok je većina rezultata trasiranja s područja Vrhovina i Kozjana izvedenih 70-tih godina prošlog stoljeća ocijenjena nepouzdanim. Ovo je u značajnoj mjeri promijenilo prostornu interpretaciju podzemnih tokova u istočnom i jugoistočnom dijelu sliva Gacke (detaljnije opisano u poglavlju 4.3).

Temeljem prethodnih istraživanja priljevno područje izvorišta rijeke Gacke bilo je podijeljeno na tri potpodručja prema pripadnosti pojedinim glavnim izvorima Gacke (Tonković vrelo i Klanac, Majerovo vrelo, Pećina) (Lukač Reberski 2011). Položaj granica ovih potpodručja pretpostavljen je orijentacijski, uz njihovo značajno preklapanje. Na temelju sinteze i zajedničke interpretacije svih provedenih istraživanja u sklopu ovog projekta napravljeno je redefiniranje sliva izvorišta Gacke. Sliv Gacke podijeljen je na četiri glavna podsliva: 1.) podsliv koji se drenira isključivo na Majerovo vrelo; 2.) podsliv koji prihranjuje dijelom Majerovo vrelo, a dijelom Klanac; 3.) podsliv iz kojeg se prihranjuje dominantno Tonković vrelo (Izvor Gacke), a manjim dijelom Klanac, te 4.) podsliv izvora Pećina, koji je manjeg obuhvata pri nižim vodostajima, a povećava se tijekom viših vodostaja u podzemlju. Ustanovljeno je da se podsliv Pećine s podslivom Tonković vrela vjerojatno preklapa u znatno manjoj mjeri od prethodnih interpretacija, kao i odvojenost podsliva Tonković vrela od istočnog dijela ukupnog sliva (sliv Majerovog vrela i dio sliva Klanca). Detaljan opis pojedinih podslivova, njihovih odnosa i preklapanja, te opis položaja i značajki podzemnih razvodnica nalazi se u okviru poglavlja 5.

Rezultati hidrogeoloških istraživanja provedenih u sklopu ovog projekta doprinose detaljnijem poznavanju značajki infiltracije oborina u krški sustav kroz

površinsku zonu tla i epikrša; značajki transporta podzemne vode, odnosno tečenja i zadržavanja vode u podzemlju; kao i poznavanju prostornih značajki podzemnih tokova unutar ukupnog sliva, te obuhvata priljevnih područja pojedinih izvora. Navedena saznanja mogu poslužiti kao podloga daljnjim hidrološkim i ekološkim analizama u svrhu određivanja okolišno prihvatljivih protoka, kao i određivanju efikasnih mjera zaštite podzemne vode unutar regionalnog krškog sliva izvorišta Gacke, te budućim novelacijama obuhvata zona sanitarne zaštite glavnih izvora.

Provedene su i hidrološke analize odabranih postaja na glavnom toku rijeke Like i Gacke i njihovih pritoka, a poseban naglasak je stavljen na analize hidroloških značajki protjecanja i gubitaka voda duž odabranih dionica pojedinih vodotoka – na rijeci Lici na dionici toka između Sklopa i Selišta, na glavnom toku Gacke između Podgore i Vivoza, te na Sjevernom i Južnom kraku Gacke. Provedena su i nadopunjavanja nizova s odabranih postaja, bilanciranja i praćenja hidroloških promjena kako na globalnoj razini, tako i na višegodišnjoj i unutar godišnjoj vremenskoj skali, te su definirani hidrološki karakteristični pokazatelji malih voda nužni za ocjenu hidroloških elemenata EPP. Dana je i polazna hidrološka EPP, koju će biti nužno preispitati vodeći računa o biološkim i ekološkim značajkama vodotoka na analiziranim dionicama toka, a moguće i u kontekstu primjene drugačijih metodoloških pristupa kad isti budu doneseni.

Utvrđeni položaj podzemnih razvodnica (poglavlje 5.) treba shvatiti zonarno i promjenjivo ovisno o hidrološkim prilikama u podzemlju. Treba naglasiti da uslijed nedostatka rezultata trasiranja podzemnih tokova s velikog dijela razmatranog područja stvarni položaj razvodnica na dijelovima terena može značajno odstupati. Ovo se posebno odnosi na područje podsliva Tonković vrela i Klanca. Naime, s obzirom na utvrđenu nepouzdanost rezultata trasiranja provedenog u Kozjanu 70-tih godina prošlog stoljeća (poglavlje 4.3.2.), do sada niti jedno trasiranje nije pokazalo vodnu vezu prema izvoru Tonković vrelo, te je područje njegovog prihranjivanja interpretirano posredno na temelju trasiranja koja su dala rezultate na druge izvore Gacke. Stoga smatramo da je izvedba dodatnih trasiranja od prioritetne važnosti u cilju pouzdanijeg utvrđivanja obuhvata pojedinih podslivova, kao i južnih i jugoistočnih granica ukupnog sliva. Kao prioritetne lokacije za buduća trasiranja mogu se izdvojiti: 1.) ponor u Kozjanu (rezultati prethodnog trasiranja nepouzdati, te za ovo područje nije sigurno pripada li podslivu Tonković vrela i Klanaca); 2.) ponor u južnom dijelu Perušičkog polja (u cilju potvrđivanja pripadnosti ovog područja slivu Gacke); 3.) područje podsliva Tonković vrela i Klanca (prvo treba terenskom prospekcijom utvrditi postoje li prikladne lokacije za upuštanje trasera - u nedostatku prikladnih ponora moguće i speleološki objekti); 4.) područje Turjanskog polja (nije sigurno pripada li podslivu Majerovog vrela i Klanaca, ili isključivo Majerovog vrela); i 5.) područje naselja Vrhovine zapadno od sliva Babinog potoka (nije sigurno pripada li podslivu Majerovog vrela ili povremenih izvora sjeverozapadno od njega). Treba napomenuti da prilikom izvedbe predloženih trasiranja treba predvidjeti dugotrajno (višemjesečno) i vrlo široko područje opažanja (pogotovo u slučaju trasiranja rubnih područja sliva).

Uz izvedbu dodatnih trasiranja, predlažemo i nastavak monitoringa hidrokemijskih i izotopnih pokazatelja na glavnim izvorima Gacke. Duži, višegodišnji nizovi opažanja omogućuju registraciju rijetkih (ekstremnih) hidroloških događaja, te usporedbu višegodišnjih značajki oborina i izvorske vode (stabilni izotopi kisika i vodika). Ovo povećava pouzdanost interpretacije dinamike podzemne vode unutar krškog sustava.

Predlaže se i unaprjeđivanje hidrološkog monitoringa na rijeci Gacki, prije svega u smislu potrebe stabilizacije monitoringa na već postojećim profilima hidroloških postaja te osiguranja veće pouzdanosti pri procjenama protoka, a što je moguće provedbom više vodomjerenja i boljim prilagođivanjima konsumpcijskih krivulja sezonskim promjenama obraslosti korita. Naime, uočeno je da se relativno često mijenjaju lokacije hidroloških postaja, da na pojedinim lokacijama postoje po dva ili više sustava za monitoring (DHMZ, HEP, Hrvatske vode) koji nerijetko daju i različite informacije o stanju hidroloških prilika. Nedostaju mjerenja i obračun protoka na iznimno važnom izvorištu Majerovom vrilu, gdje se prate samo vodostaji koji daju vrlo ograničene informacije.

Nužno je dopuniti i sustav hidrološkog monitoringa na Sjevernom kraku Gacke na način da se postaja Otočac – kameni most dopuni limnigrafom, kao i da se obnovi limnigrafska postaja Brlog. Isto tako, na Južnom kraku Gacke, neposredno uzvodno od praga na izlasku iz Gornjeg Švičkog jezera, nužno je uspostaviti limnigrafsku postaju za kontrolu stanja u jezeru i praćenje količina vode koje istječu preko praga. Nužno je obnoviti i hidrološka praćenja na akumulaciji Krušćica na način da se osigura njihova telemetrijska dojava i standardna obrada, s uključivanjem u Banku hidroloških podataka DHMZ-a i Hrvatskih voda. Nužno je osigurati i dnevno praćenje zahvaćenih količina voda za potrebe vodoopskrbe na glavnom Izvoru Gacke – Tonkovića vrilu, te obrade njegovih ukupnih protoka na način da se iste određuju na temelju monitoringa crpljenih količina i preljeva.

Predlaže se provedba detaljnijih analiza utjecaja klimatskih promjena na promjene količina voda Like i Gacke, kao i promjene temperatura njihovih voda, kao nužnoj podlozi za zaštitu njihovog vodnog potencijala i ekosustava.

7 LITERATURA

- Aljinović, B., Prelogović, E., Skoko, D. (1990): Tectonic processes on the contact of the Adriatic Platform and the Dinarides in the area of the Northern Dalmatia. Proc. Of the Inter. Conf. on Mechanics of Jointed and Faulted Rock, Inst. of Mech./Tech. Univ. of Vienna, 179-182, A. A. Balkema, Rotterdam/Brookfield.
- Bahun, S. (1961): HE Senj. Izvori i ponori uz tok Like od Kruščice do Selišta. Fond struč. dok. Inst. geol. istraž. 3384, Zagreb.
- Bahun, S. (1962): Geološki odnosi okolice Donjeg Pazarišta (trijas i tercijarne Jelar naslage). Geološki vjesnik, 16, 161-170, Zagreb.
- Bahun, S. (1973): Odnos krškog procesa i fluvijalne erozije u području Like. Krš Jugosl., 8/5, 91-100, Zagreb.
- Bahun, S. (1974): Tektogeneza Velebita i postanak Jelar-naslaga, Geol. vjesnik 27, 35-51, Zagreb.
- Bahun, S. (1984): Tektonsko i hidrogeološko značenje područja izgrađenih od Jelar-formacija. Krš Jugosl. 11/1, 1-11, Zagreb.
- Bahun, S., Fritz, F. (1972): Hidrogeologija Ličkog polja. Krš Jugoslavije 8/3, 43-55, Zagreb.
- Bahun, S., Fritz, F. (1975): Hidrogeološke specifičnosti Jelar-naslaga. Geol. vjesnik, 28, 345-355, Zagreb.
- Biondić, B. (1981): Hidrogeologija Like i južnog dijela Hrvatskog primorja. Disertacija. Prirodoslovno-matematički fakultet, 214 str., Zagreb.
- Biondić, B., Goatti, V. (1976 a): Hidrogeološke prilike ponornih zona rijeke Like i Gacke i njihove podzemne veze s izvorima u Hrvatskom primorju. 4. Jugosl. simp. hidrogeol. inž. geol., knj. 1, 1-14, Skopje.
- Biondić, B., Goatti, V. (1976 b): Regionalna hidrogeološka istraživanja Like i Hrvatskog primorja. Fond struč. dok. Geol. zavoda 6181, Zagreb.
- Blašković, I. (1998): The Two Stages of Structural Formation of the Coastal Belt of the External Dinarides. Geol. Croat., 51/1, 75-89, Zagreb.
- Bognar, A., Pavić, R., Riđanović, J., Rogić, V., Šegota, T. (1975): Geografija SR Hrvatske, Gorska Hrvatska, knjiga IV, Školska knjiga, Zagreb.
- Bojanić, L. (1960): Geološki i hidrogeološki odnosi šireg područja donjeg toka Like. Fond. struč. dok. Inst. geol. istraž. 3272, Zagreb.
- Bojanić, L., Milan, A., Bahun, S. (1959): Dopunska geološka i hidrogeološka istraživanja šireg područja toka Like od Kaluđerovca do Selišta u Lipovom polju. Fond struč. dok. Inst. geol. istraž., 3101, Zagreb.

- Bonacci, O. (2003): Ekohidrologija vodnih resursa i otvorenih korita. Građ.-arh. fakultet Split / IGH Zagreb, 487 str.
- Bonacci, O., Andrić I. (2008): Sinking Karst Rivers Hydrology: Case of the Lika and Gacka (Croatia), *Acta Carsologica*, 37/2-3, 185-196, Postojna
- Bonacci, O., Andrić, I. (2009): Zajednička hidrološka analiza Like i Gacke, *Hrvatske vode*, 17 (2009) 67, 1-12.
- Bonacci, O., Roje-Bonacci, T. (1997a): Hidrološki vid određivanja biološkog minimuma rijeke Žrnovnice. *Hrvatske vode* 5/19, 161-174.
- Bonacci, O., Roje-Bonacci, T. (1997b): Hidrološki vid određivanja minimuma rijeke Jadro. *Hrvatske vode* 5/21, 339-349.
- Božičević, S. (1964): Speleološki objekti He Sklope II dio. Fond struč. dok. Inst. geol. istraž. 3735, Zagreb.
- Božičević, S. (1965): Poljakova pećina. *Geol. vjesnik* 18/1, 141-157, Zagreb.
- Božičević, S. (1967): HE Senj. Hidrogeološka i inženjerskogeološka istraživanja toka rijeke Like. Fond struč. dok. Inst. geol. istraž. 4377., Zagreb.
- Božičević, S. (1968): Izveštaj o obilasku jame na desnom bazenu Gusić polja. Fond struč. dok. Inst. geol. istraž. 4/34., Zagreb.
- Božičević, S. (1969): Horvatova pećina. *Geol. vjesnik* 22., 11-16, Zagreb.
- Božičević, S. (1970): Speleološka istraživanja ponora Perinka u Švici kod Otočca. Fond. struč. dok. Geol. zavoda 4943, Zagreb.
- Božičević, S. (1971): Izveštaj o obilasku ponora Perinka, VIII 1970. Fond struč. dok. Inst. geol. istr. 5100, Zagreb.
- Božičević, S. (1973): Rijeka Gacka. Magistarski rad, PMF, Zagreb.
- Božičević, S. (1984): Rijeka Gacka. Hidrogeologija ponornice nakon energetskog zahvata za HE „Senj“. *Krš Jugosl.* 11/2, 13-70, Zagreb.
- Coles, S. (2001): *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer, 208 str.
- Cvijić, J. (1926): *Geomorfologija* II. dio, Beograd.
- Dansgaard, W. (1964): Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16(4), 436-468.
- DHMZ (2002): Meteorološka podloga za vodnogospodarsku osnovu Hrvatske (voditelj zad. Gajić-Čapka, M.), Zagreb, nepublicirano.
- Državna uprava za zaštitu i spašavanje (2014): Smjernice za izradu Procjene rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj. Zagreb. (<https://civilna->

zastita.gov.hr/UserDocsImages/DOKUMENTI_PREBACIVANJE/PLANSKI%20DOKUMENTI%20I%20UREDBE/Smjernice%20%20za%20izradu%20Procjene%20rizika%20od%20katastrofa%20u%20RH.pdf)

- Dukarić, F., Stroj, A. (2004): Trasiranja tokova podzemne vode u svrhu definiranja granice sliva izvorišta Novljanske Žrnovnice, hidrogeološka istraživanja. Fond struč. dok. Inst. geol. istraž., Zagreb.
- Dukarić, F., Stroj, A., Kuhta, M. (2005): Trasiranja tokova podzemne vode iz Markova ponora u Lipovom polju u porječju rijeke Like. Fond struč. dok. Inst. geol. istraž. 098/05, Zagreb.
- E.N. (1964): Karl Terzagi. Građevinar 16/3, 90-94.
- Elektroprojekt (1971): Vodoprivredna osnova slivova Like i Gacke, Arh. Elektroprojekt, Zagreb.
- Elektroprojekt (1989): Akumulacijsko jezero Kosinj s HE Kosinj i Otočac. Idejni projekt. Arh. Elektroprojekt, Zagreb.
- Elektroprojekt (1999): Idejni projekt HE Senj 2, Zagreb, Fond stručne dokumentacije Elektroprojekta, Zagreb.
- Elektroprojekt (2000 a): Hidroelektrane u Hrvatskoj, Hrvatska Elektroprivreda, neobjavljena studija.
- Elektroprojekt (2000 b): Ekološki prihvatljiv protok, Metodologija, Zagreb, neobjavljena studija.
- Elektroprojekt (2007): Plan navodnjavanja Ličko-senjske županije. Zagreb, neobjavljena studija.
- Elektroprojekt (2016): Studija o utjecaju na okoliš HES Kosinj, Fond stručne dokumentacije Elektroprojekta, Zagreb.
- Elektroprojekt (2018): Studija o utjecaju na okoliš HE Senj 2, SUO s Glavnom ocjenom prihvatljivosti za ekološku mrežu (voditelj zad. Pletikapić, Z.), Fond stručne dokumentacije Elektroprojekta, Zagreb.
- Elektroprojekt (2019): HE Senj 2 – Idejni projekt za lokacijsku dozvolu (vod. zad. Marasović, M.), Fond stručne dokumentacije Elektroprojekta, Zagreb.
- Elektroprojekt, Rijekaprojekt (1983): Studija optimalnog korištenja voda slivova Like i Gacke, Zagreb.
- EU Comission (2015): Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive, Guidance No.31, Luxembourg. (<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b2369e0f-d154-11e5-a4b5-01aa75ed71a1/language-en>)

- Fritz, F., Pavičić, A. (1972): HE Senj - Akumulacija Kosinj. Detaljno geološko kartiranje područja Kosinjski Bakovac-Gornji Kosinj-Studenci. Fond struč dok. Inst. geol. istraž., 5265, Zagreb.
- Fritz, F., Pavičić, A. (1975): Tektonski odnosi u području razvoja krednih i Jelar naslaga kod Kosinja u Lici. Geol. vjesnik 28., 35-42, Zagreb.
- Gajić Čapka, M., Perčec Tadić, M., Patarčić, M. (2003): Digitalna godišnja oborinska karta Hrvatske. Hrvatski meteorološki časopis, 38, 21-33.
- Geotehnički fakultet, Građevinski fakultet u Rijeci (2009): Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda na krškom području u Republici Hrvatskoj, Varaždin, neobjavljena studija.
- Grgasović, T. (2010): Tulove grede – Jelarske breče. Vodič ekskurzija, 4. Hrvatski geološki kongres, Šibenik.
- Herak, M., Bahun, S. (1980): The role of the calcareous breccias (Jelar-formation) in the tectonic interpretation of the high Karst zone of the Dinarides, Geol. vjesnik 31, 49-59, Zagreb.
- Hidro consult (2001): Vodoopskrbni plan Ličko-senjske županije, Rijeka, neobjavljena studija.
- Hidro consult (2004): Studija zaštite voda i mora Ličko-senjske županije (voditelj zad. Marijan, P.), Rijeka.
- Hidro-expert i Hidroprojekt–ing (2015): Novelacija Vodoopskrbnog plana Ličko-senjske županije (nos. zad. Bariša, M.), Fond stručne dokumentacije Hidro-expert i Hidroprojekt–ing, Rijeka.
- Hidroing (2007–2020): Izvještaji o izvršenim hidrološkim radovima na mjerenju gubitaka rijeke Gacke, Fond stručne dokumentacije Hidroing-a, Zagreb.
- Hidroing (2013-2020): Izvještaj o izvršenim hidrološkim radovima na mjerenju gubitaka rijeke Like, Fond stručne dokumentacije Hidroing-a, Zagreb.
- Hidrokon (2019): Idejno rješenje Varijantna rješenja za dobavu vode iz Like na uređaj Hrmotine (nos. zad. Milić, S), Fond stručne dokumentacije Hidrokon-a, Zagreb.
- Hirtz D. (1900, reprint 1996): Lika i Plitvička jezera. Tiskara Rijeka, Rijeka.
- Horvat, B.; Rubinić, J., 2006. Annual runoff estimation - an example of karstic aquifers in the transboundary region of Croatia and Slovenia. Hydrological Sciences Journal, 51(2), str. 314-324.
- Hrvatske vode (2014): Provedbeni plan obrane od poplava branjenog područja Sektor E – Sjeverni Jadran, Branjeno područje 25: Područje malog sliva Lika, Fond stručne dokumentacije Hrvatskih voda, Zagreb.

[https://www.voda.hr/sites/default/files/clanak/bp_25 -
provedbeni plan obrane od poplava.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/clanak/bp_25_-_provedbeni_plan_obrane_od_poplava.pdf)

Hrvatske vode (2020): Izvešća o stanju površinskih voda u 2019. godini, Fond stručne dokumentacije Hrvatskih voda, Zagreb.
https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/izvjesce_o_stanju_povrsinsk_ih_voda_u_2019_godini.pdf

Hrvatske vode i Institut za Elektroprivredu i energetiku (2002): VODNOGOSPODARSKA OSNOVA HRVATSKE – hidrološka studija za vodno područje primorsko-istarskih slivova, Zagreb, Rijeka, neobjavljena studija.

Hrvatski geološki institut (2009): Geološka karta Republike Hrvatske u mjerilu 1: 300 000, Zagreb, Hrvatska.

Hunjak, T. (2015): Prostorna distribucija stabilnih izotopa kisika i vodika iz oborine na području Republike Hrvatske. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 99 str.

Hunjak, T., Lutz, H. O., Roller-Lutz, Z. (2013): Stable isotope composition of the meteoric precipitation in Croatia. *Isotopes in environmental and health studies*, 49(3), 336-345.

IGH (2016): Sustav javne odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda aglomeracije Otočac (nos. zad. Medić, V.), Fond stručne dokumentacije IGH, Zagreb.

Institut za elektroprivredu i energetiku (1997): Produljivanje nizova dnevnih protoka i hidrološko bilanciranje HES Senj i Sklope, Zagreb, neobjavljena studija.

Institut za geološka istraživanja (1997): Studija ugroženosti izvorišta rijeke Gacke (nos. zad. Pavičić A.), Fond stručne dokumentacije Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.

Jørgensen, S., Bendoricchio, G. (2001): *Fundamentals of ecological modelling*. Amsterdam: Elsevier Science Ltd.

Klaus, J., McDonnell, J.J. (2013): Hydrograph separation using stable isotopes: Review and evaluation. *Journal of Hydrology* 505, 47-64.

Koch, F. (1925/26): Tektonika i hidrografija krša. Spomenica Dr. Gorjanović Kramberger. Poseb. izd. Hrv. prirod. dr. 38/39, 71-87, Zagreb.

Koch, F. (1932): Geološka karta Senj-Otočac, M 1:75.000, Geološki Institut Kraljevine Jugoslavije, Beograd.

Koch, F. (1933): Tumač za geološku kartu Senj-Otočac, M 1:75.000, Beograd.

Kovačević, T. (2008): Međunarodna speleoronilačka ekspedicija "Zrmanjin ZOV 2007". *Speleolog* 55, 88-98, Zagreb.

- Krajcar Bronić I, Barešić J, Sironić A, Lovrenčić Mikelić I, Borković D, Horvatinčić N, Kovač Z. (2020): Isotope Composition of Precipitation, Groundwater, and Surface and Lake Waters from the Plitvice Lakes, Croatia. *Water*, 12(9):2414.
- Kranjčević (2003): Švica, Katedra Čakavskog sabora pokrajine Gacke, Otočac.
- Kranjec, V., Prelogović, E. (1974): O paleogeografskim i neotektonskim odnosima u tercijaru i kvartaru na teritoriju SR Hrvatske. *Geol. Vjesnik* 127/ 27, 95-112, Zagreb.
- Kuhta, M., Frangen, T. (2013): Korenica – zone sanitarne zaštite izvora Krbavica i Čujića Krčevine: Trasiranje ponora Šuputove drage na Homoljačkom polju. Fond stručne dokumentacije HGI, Zagreb.
- Kuhta, M., Frangen, T., Stroj, A. (2010): Vodoistražni radovi u cilju zaštite izvorišta Krbavica II. faza: Trasiranje ponora na Trnovac polju. Fond stručne dokumentacije HGI, Zagreb.
- Langbein, W. B. (1962): The water supply of arid valleys in intermountain regions in relation to climate. *IAHS Bull*, 7(1), str. 34-39.
- Lukač Reberski, J. (2011): Određivanje podsljevova izvorišta rijeke Gacke na osnovi hidrogeoloških parametara. Doktorska disertacija, Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 158 str.
- Lukač Reberski, J., Marković, T., Nakić, Z. (2013): Definition of the river Gacka springs subcatchment areas on the basis of hydrogeological parameters. *Geologia Croatica: journal of the Croatian Geological Survey and the Croatian Geological Society* 66 (1), 39-53.
- Małoszewski, P.; Rauert, W.; Stichler, W.; Herrmann, A. (1983): Application of flow models in an alpine catchment area using tritium and deuterium data. *J. Hydrol.*, 66, 319–330.
- Mance, D. (2014): Karakterizacija krškog vodonosnika temeljena na prostornim i vremenskim promjenama stabilnih izotopa vodika i kisika. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 124. str.
- Mance, D., Hunjak, T., Lenac, D., Rubinić, J., Roller-Lutz, Z. (2014): Stable isotope analysis of the karst hydrological systems in the Bay of Kvarner (Croatia). *Applied Radiation and Isotopes*, 90, 23-34.
- Mandić, M., Bojić, D., Roller-Lutz, Z., Lutz, H.O., Krajcar Bronić, I. (2008): Note on the spring region of Gacka River (Croatia). *Isotopes in Environmental and Health Studies* (1025-6016) 44, 2; 201-208.
- Mangin, A. (1984): Pour une meilleure connaissance des systemes hydrologiques a partir des analyses correlative et spectrale, *Journal of Hydrology*, 67(1-4), str. 25-43.

- McGuire, K.J.; McDonnell, J.J. (2006): A review and evaluation of catchment transit time modeling. *J. Hydrol.*, 330, 543–563.
- Mišetić, S. (1995): Pristup određivanju minimalnih količina vode za potrebe biološkog minimuma. Zbornik radova Okruglog stola Hrvatskog hidrološkog društva «Uloga hidrologije u strukturi gospodarstva Hrvatske», Zagreb, 20.04.1995., 99-103.
- Mišetić, S., Mrakovčić, M. (2003): Uzroci eutrofikacije Vranskog jezera i mogućnosti njenog usporavanja. U: Zborniku radova Hidrološka stabilizacija i očuvanje biološke raznolikosti slivnog područja Parka prirode "Vransko jezero". Park prirode Vransko jezero, Biograd, 22-27.
- Mišetić, S., Pavlin, Ž. (2004): Pristup definiranju ekološki prihvatljivog protoka (EPP) u Republici Hrvatskoj. Zbornik radova seminara Velike i male vode. Društvo građevinskih inženjera Zagreb i Hrvatsko hidrološko društvo, Zagreb, 1. i 2. 04.2004., 205-221.
- Munda, B., Ljubešić, J., Jelić, M. (2014): Vodoistražni radovi mikrozoniranja na lokaciji odlagališta komunalnog otpada Razbojište. *Arhiv Geoaqua*, Zagreb.
- NN 144/13, 73/16 (2013, 2016). Pravilnik o strogo zaštićenim vrstama. Zagreb. (https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_12_144_3086.html), (https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2016_08_73_1745.html)
- NN 55/2016 (2016): Plan upravljanja vodnim područjima 2016.-2021. (https://www.voda.hr/sites/default/files/plan_upravljanja_vodnim_podrucjima_2016._-2021.pdf)
- NN 96/19 (2019): Uredba o standardu kakvoće voda. Zagreb. (https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_10_96_1879.html)
- Ozyurt, N. N., Lutz, H. O., Hunjak, T., Mance, D., Roller-Lutz, Z. (2014): Characterization of the Gacka River basin karst aquifer (Croatia): Hydrochemistry, stable isotopes and tritium-based mean residence times. *Science of the total environment*, 487, 245-254.
- Ožanić, N., Rubinić, J. (1999): Vodni resursi izvorišta Gacke, Zbornik radova 2. hrvatske konferencije o vodama, Dubrovnik, 19.-22. svibnja 1999.: 575-583.
- Paar, D., Mance, D., Stroj, A., Pavić, M. (2019): Northern Velebit (Croatia) karst hydrological system: results of a preliminary 2H and 18O stable isotope study. *Geologia Croatica*, 72 (3), 205-213. <https://doi.org/10.4154/gc.2019.15>
- Pavičić, A (1995): Hidrogeološki uvjeti za ostvarenje akumulacija u kršu zaleđa Velebita. Doktorska disertacija. Prirodoslovno matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Pavičić, A. (1974): Geološka osnova Velebitske razvodnice. Magistarski rad, PMF, Zagreb, 33 str.

- Pavičić, A. (1984): Geološka osnova Velebitske razvodnice. Zbornik VIII. Jugosl. simp. hidrogeol. inž. geol. Knjiga 1, 537-547, Budva.
- Pavičić, A., Dolić, S. (2003): Mikrozoniranje II zone sanitarne zaštite u području Perušića. Fond struč. dok. Inst. geol. istraž. 5/3, Zagreb.
- Pavičić, A., Fritz, F., Bahun, S. (1984): Studija optimalnog korištenja vode slivova Like i Gacke. Knjiga 4. Geologija (geološke i hidrogeološke podloge). Fond struč. dok. Inst. geol. istraž. 119, Zagreb.
- Pavičić, A., Kapelj, J., Renić, A. (1988): Akumulacijsko jezero Kosinj s HE Kosinj i HE Otočac, Idejni projekt. Fond struč. dok. Inst. geol. istraž. 146, Zagreb.
- Pavičić, A., Prelogović, E., Biondić, D., Kapelj, S., Hinić, V. (1997): Studija ugroženosti izvorišta rijeke Gacke. Fond str. dok. Inst. geol. istr. 72, Zagreb.
- Pavlin, B. (1970): Kruščica storage basin in the cavernous Karst area. Comision Internationale des Grandes Barrages. Dixieme Congres des Grands Barrages, 209-224, Montreal.
- Pernar, L. (2009): Švica, Hrvatska vodoprivreda 18/193, 50-53.
- PMF (2020): Revizija plana upravljanja – Mjere za unaprjeđenje slatkovodnog ribarstva na ribolovnoj zoni Gacka d.o.o. (nos. zad. Zanella D., Marčić Z.), Fond stručne dokumentacije Prirodoslovno matematičkog fakulteta – Zoologijski zavod. Zagreb.
- Polšak, A., Juriša, M., Šparica, M., Šimunić, A. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ, list Bihać. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Polšak, A., Šparica, M., Crnko, J., Juriša, M., (1978): Tumač za Osnovnu geološku kartu SFRJ, list Bihać. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Poljak, J. (1953): Geološki izvještaj o istražnim radovima na području rijeke Like i Gacke. Fond struč. dok. Inst. geol. istraž. 2130, Zagreb.
- Poljak, J. (1957): O mogućnosti akumulacije i hidroenergetske svrhe u G. Kosinjskom krškom polju i u dolini Bakovac potoka. Fond struč. dok. Inst. geol. istraž. 2902, Zagreb.
- Poljak, J., Herak, M., Ogulinac, J. (1953): Geologija područja Ričice, Obsenice i Krušnice. Geologija područja Otuče. Fond struč. dok. geol. zavoda, br. 2131, Zagreb.
- Poljak, J., Magdalenić, A. (1956): Geologija i hidrogeologija na području potoka Bakovca i Mlakve. Fond struč. dok. Inst. geol. istraž. 2768, Zagreb.
- Prelogović, E. (1989): Neotektonski pokreti u području sjevernog Velebita i dijela Like. Geol. vjesnik 42, 133-147, Zagreb.

- Prelogović, E., Kranjec, V. (1983): Geološki razvitak područja Jadranskog mora, Pomorski zbornik 21, 387-405, Rijeka.
- Reštarević, S. (1969): Energetsko iskorištavanje voda u slivovima vodotoka Hrvatske. Krš Jugosl. 6., 236-268, Zagreb.
- Rijekaprojekt i Elektroprojekt (1983): Studija optimalnog korištenja voda slivova Like i Gacke (nos. zad. Marijan, P.), Fond stručne dokumentacije Rijekaprojekta i Elektroprojekta, Rijeka.
- Rješenja Ministarstva okoliša i energetike o prihvatljivosti zahvata – hidroenergetski sustav (HES) Kosinjski (2018) (Klasa: UP/I-351-03/16-02/133; URBROJ: 517-06-2-1-1-18-21) od 14. svibnja 2018. godine. (https://mingor.gov.hr/UserDocImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/ARHIVA%20---%20PUO/2017/17052018_-_rjesenje_ministarstva_od_14_svibnja_2018_godine.pdf)
- Rješenje Ministarstva okoliša i energetike za HE Senj 2 (2018): https://mingor.gov.hr/UserDocImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJANA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Puo/14_12_2018_Rjesenje_HE_Senj_2.pdf
- Rješenje Ministarstva okoliša i energetike za HES Kosinjski (2018): (https://mingor.gov.hr/UserDocImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/ARHIVA%20---%20PUO/2017/17052018_-_rjesenje_ministarstva_od_14_svibnja_2018_godine.pdf)
- Roglić, J. (1957): Zaravni na vapnencima, Geografski glasnik 19/1, 103-131, Zagreb.
- Samin d.o.o. (2008): HE Senj – ustava na Gornjem Švičkom jezeru – glavni projekt, Fond stručne dokumentacije Samin d.o.o., Zagreb.
- Schenkel, T. (1912): Karstgebiete und ihre Wasserkraefte. A. Hartleben, Leipzig.
- SN FBiH 4/2013 (2013): Pravilnik o načinu određivanja ekološki prihvatljivog protoka. Sarajevo. (<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/bih147678.pdf>).
- Sokač, B., Nikler, L., Velić, I., Mamužić, P. (1976): Tumač za Osnovnu geološku kartu SFRJ, list Gospić. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Sokač, B., Nikler, L., Velić, I., Mamužić, P. (1974): Osnovna geološka karta SFRJ, list Gospić. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Sopex (2000): Idejni projekt odteretnog kanala Tunel Švica – G. Švičko jezero na rijeci Gackoj (nos.zad. Sopta, L.),. Fond stručne dokumentacije Sopex, Rijeka.
- Stepinac, A. (1969): Otjecanje u dinarskom kršu. Krš Jugosl. 6., 207-235, Zagreb.

- Stepinac, A. (1976): Studija zapremina šupljina u kršu na bazi konkretnih primjera, Zbornik radova Simpozija Hidrologija i vodno bogatstvo krša, Sarajevo, 287-318.
- Stepinac, A. (1979): Vodni kapaciteti u stijenskim masama krša, Građevinar 31/6, 251-258.
- Stepinac, A. (1983): Vodni režim rijeke Like i Gacke pod uplivom krša. Arh. Elektroprojekt, Zagreb.
- Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u RH za razdoblje do 2040. s pogledom na 2070. godinu (NN 46/2000)
- Stroj, A., Briški, M. (2017): Izvorište Krbavica: Elaborat zona sanitarne zaštite. Fond stručne dokumentacije HGI, Zagreb.
- Stroj, A., Briški, M., Oštrić, M. (2020): Study of Groundwater Flow Properties in a Karst System by Coupled Analysis of Diverse Environmental Tracers and Discharge Dynamics. *Water*, 12, 2442.
- Stroj, A., Paar, D. (2019): Water and air dynamics within a deep vadose zone of a karstmassif: Observations from the Lukina jama–Trojama cavesystem (–1, 431 m) in Dinaric karst (Croatia). *Hydrological processes*, 33, 551-561.
- Šušnjar, M., Sokac, Bahun, S., Bukovac, J., Nikler, L., Ivanović, A. (1976): Tumač za Osnovnu geološku kartu SFRJ, list Udbina. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Šušnjar, M., Sokač, Bahun, S., Bukovac, J., Nikler, L., Ivanović, A. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ, list Udbina. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Terzaghi, K. (1913): Beitrage zur Hydrographie und Morphologie des Kroates Karstes, Mit d. Jahrb. Ungar. Reichsamst, 20, 255-369, Budapest.
- Terzagi, K. (1913, reprint izdanje 1960): Landforms and subsurface drainage in the Gacka region in Yugoslavia. *Annals of Geomorphology*, Vol. 2, No. 1/2, pp. 76–100. Harvard soil mechanics series, 56.
- Trček, B. (2003): Epikarst zone and the karst aquifer behaviour: a case study of the Hubelj catchment, Slovenia. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Turc, L. (1954): Le biland' eau des sols, relation entve les precipitations, l' evaporation et iecoulment. Troisiesme journees del' hydraulique a Alger.
- Turner, S. (1957): Bojenje ponora Mizimovac. Arhiv HMZ, br. 27, Zagreb.
- Turner, S. (1958): Bojenje Vlatkovića jame u Donjem Pazarištu. Arhiv HMZ 41., Zagreb.
- Turner, S. (1960): Bojenje Markovog ponora u Lipovom polju. Arhiv HMZ 55, Zagreb.
- Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 96/2019)

- Vasseur, F. (2000): Ekspedicija „Speleoronjenje `99“. Speleozin 13, 3-23, SD Karlovac.
- Velić, I., Bahun, S., Sokač, B., Galović, I. (1974): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Otočac. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Velić, I., Bahun, S., Sokač, B., Galović, I. (1976): Tumač za Osnovnu geološku kartu SFRJ 1:100.000, list Otočac. Sav. geol. zavod, Beograd.
- Velić, I., Velić, J. (2009): Od morskih plićaka do planine. Geološki vodič kroz Nacionalni park Sjeverni Velebit [From Marine Shallows to the Mountain: Geological Guidebook through the Northern Velebit National Park – In Croatian].– NP Sjeverni Velebit, Krasno (Croatia).
- Vlahović, I., Tišljar, J., Velić, I. (2009): Tercijarne karbonatne breče (paleogen-neogen-Pg, Ng). U: Velić, I., Vlahović, I. (2009): Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300000, Hrvatski geološki institut, 141 str., Zagreb.
- Vodoprivreda RO Rijeka (1989): Studija zaštite voda od zagađivanja u svrhu osiguranja kvalitete vode za potrebe vodoopskrbe na području Like, hrvatskog primorja i otoka, Rijeka.
- Vujasinović, B (2007): Istaknute osobe u hrvatskom vodnom gospodarstvu kroz povijest, Hrvatsko društvo za odvodnju i navodnjavanje, Zagreb, 200 str.
- Zaninović, K., Gajić Čapka, M., Perčec Tadić, M. et al. (2008): Klimatski atlas Hrvatske 1961–1990., 1971–2000. Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.
- Zaninović, K., Srnec, L., Perčec Tadić, M. (2004): Digitalna godišnja temperaturna karta Hrvatske. Hrvatski meteorološki časopis, 39, 51-58.
- Žugaj, M. (1981): Posebne analize u hidrotehnici, Građevinski institut, Monografija br. 2, Liber, Zagreb
- Žugaj, R. (1983): Hidrološko-meteorološka obrada za studiju optimalnog korištenja voda u slivovima Like i Gacke. Arh. Elektroprojekt., Zagreb.
- Žugaj, R. (1995): Regionalna hidrološka analiza u kršu Hrvatske, Hrvatsko hidrološko društvo, monografija, Zagreb
- Žugaj, R. (2015): Hidrologija. Zagreb: Rudarsko-geološko naftni fakultet.
- 92/43/EEC (1992): The Habitats Directive
- https://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/habitatsdirective/index_en.htm,
- https://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/enlargement/index_en.htm
- <http://www.zupa-kompolje.hr/index.php?menu=110&action=476>
- www.bioportal.hr/gis

<https://www.hep.hr/projekti/hidroenergetski-sustav-senj-2/247>