

Izrada modela za hidrološka predviđanja, prognoziranje, donošenje odluka, priprema plana, smjernica, program obuke za optimalno upravljanje višenamjenskim akumulacijama u slivovima Rijeka Neretve i Trebišnjice

(Ugovor #: BA&CR-NTMP-GEF-QCBS-CS-11-08)

Matematički model

**HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE ISTOČNE
HERCEGOVINE**

Studeni 2014

EPTISA Servicios de Ingenieria, S.L.
CIF: B-85097962
C: Emilio Muñoz, 35-37
28037 Madrid, Spain

HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE ISTOČNE HERCEGOVINE

Sub-Consultant mr.
sc. Ivan Antunović, dipl. ing
9 Gajeva Street
21000 Split, Republic of Croatia

Split, Studeni 2014 godine

Sadržetak

UVODNE PRIPOMENE.....	1
1. OPĆE KARAKTERISTIKE SLIVNIH PODRUČJA	2
2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA.....	4
3. OSNOVNI KLIMATOLOŠKI PODACI	6
4. GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE ŠIREG PODRUČJA	11
4.1. Suhe doline	11
4.2. Krške površi - zaravni	12
4.3. Krška polja	12
4.3.1. Slato polje	13
4.3.2. Ljubinjsko polje	13
4.3.3. Popovo polje	15
4.3.4. Mokro i Trebinjsko polje.....	18
4.3.5. Nevesinjsko polje.....	19
4.3.6. Lukovačko polje	19
4.3.7. Dabarsko polje.....	20
4.3.8. Gatačko polje.....	21
4.3.9. Cerničko polje	22
4.3.10. Fatničko polje.....	22
4.3.11. Ljubomirsko polje.....	25
5. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE	26
5.1. Geološke jedinice	26
5.2. Strukturno tektonske značajke	29
6. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE.....	32
6.1. Hidrogeološke jedinice	32
6.2. Podzemne veze i brzine cirkulacije	35
7. SLIVOVI	39
7.1. Slivno područje rijeke Trebišnjice.....	39
7.1.1. Slivno područje vrela rijeke Trebišnjice – Bilečka vrela.....	40
7.1.1.1 Pravci podzemnog tečenja	41
7.1.1.2 Dinamika podzemnih voda	44
7.1.1.3 Izdašnost vrela Trebišnjice.....	49
7.1.1.4 Dinamika n.p.v. u izvedenim pijezometrima.....	52
7.1.2. Slivno područje toka Trebišnjice.....	79

7.1.3. Slivovi Popovog, Trebinjskog i Mokrog polja	80
7.2. Slivovi vrela u Dubrovačkom primorju	82
7.2.1. Sliv vrela Omble	82
7.2.1.1 Osnovne karakteristike	82
7.2.1.2 Pravci i brzina tečenja podzemnih voda	85
7.2.1.3 Mjerenja na v.s. Komolac	86
7.2.1.4 Kalibracija sliva	87
7.2.2. Slivno područje vrela Zavrelje - Mlini	88
7.2.2.1 Osnovne karakteristike	88
7.2.2.2 Slivno područje	90
7.2.2.3 Mjereni protoci	91
7.2.2.4 Kalibracija sliva	92
7.2.3. Sliv vrela Duboka Ljuta - Robinzon	93
7.2.3.1 Osnovne Karakteristike	94
7.2.3.2 Mjereni protoci	94
7.2.3.3 Slivno područje	95
7.2.3.4 Kalibracija sliva	96
7.2.4. Izvori i vrulje u priobalnom području Janska - Slano	97
7.2.4.1 Osnovne karakteristike	97
7.2.4.2 Slivno područje	97
7.2.4.3 Kalibracija sliva	99
7.2.5. Sliv vrela i vrulja u Malostonskom zaljevu - području Doli - Bistrina	100
7.2.6. Sliv vrela Bregave	102
7.2.6.1 Osnovne karakteristike	102
7.2.6.2 Slivno područje vrela Bregave	102
7.2.6.3 Mjereni protoci	103
7.2.6.4 Bilanca podzemnih voda	105
7.2.6.5 Karakteristike toka Bregave	106
7.2.7. Sliv Hutovog blata	108
7.2.7.1 Osnovne karakteristike	108
7.2.7.2 Slivno područje	108
7.2.7.3 Procijenjeni Dotoci	110
7.2.8. Sliv vrela Bune i Bunice	112
7.2.8.1 Slivno područje	112
7.2.8.2 Istraživaja u koritu Zalomke (6)	113
7.2.8.3 Mjereni protoci	118
7.2.8.4 Kalibracija slivnog područja	119

Popis priloga

1. Hidrogeološka karta istraživačkog područja 1:200.000
2. Karta slivova 1:200.000
3. Karta vodnih tijela 1:200.000
4. Anex 1 - komentari

Slike

Slika 1. Godišnje oborine na širem području Istočne Hercegovine (2)	6
Slika 2. Srednje godišnje oborine za Nevesinje i južni dio istraživačkog područja, razdoblje 1961-1988/91 (5)	7
Slika 3. Prikaz srednjih mjesečnih padalina za šire slivno područje (5).....	9
Slika 4. Raspored krških polja sa utvrđenim podzemnim vezama (2)	14
Slika 5. Generalizirani presjek s prikazom kaskadno raspoređenih polja i tečenjima podzemnih voda (2)	14
Slika 6. Krivulja kapaciteta gutanja ponora Popovog polja u zavisnosti od visine plavljenja (P. Milanović)	17
Slika 7. Krivulja kapaciteta gutanja ponora Dabarskog polja u zavisnosti od visine plavljenja (P. Milanović)	20
Slika 8. Krivulja kapaciteta gutanja ponora Gatačkog polja u zavisnosti od visine plavljenja (P. Milanović)	21
Slika 9. Krivulja kapaciteta gutanja ponora Fatničkog polja u zavisnosti od visine plavljenja (P. Milanović)	23
Slika 10. Fatničko polje s hidrogeološkim pojavama i poprečnim presjekom (P. Milanović)	24
Slika 11. Intenzivna okršenost jurskih vapnenaca na površini terena	33
Slika 12. Pojava dolomita u gornje jurskim vapnenačkim naslagama.....	34
Slika 13. Pojava većih kaverni u dolomitima gornje jure (usjek puta u izgradnji).....	34
Slika 14. Kaverna od više desetaka metara u trijaskim dolomitima, snimljeno u potkopima cca 400 m ispod površine terena (istraživački potkopi za HE Ombla).....	35
Slika 15. Slivovi vrela Trebišnjice i vrela Bregave (8).....	41

Slika 16. Protoci Mušnice na v.s. Srđevići (19).....	45
Slika 17. Odnos između dotoka i otjecanja u Fatničkom polju te dotoka na vrelima Trebišnjice (6)	46
Slika 18. Odnos kapaciteta gutanja i visine plavljenja u Fatničkom polju (Milanović P.)	47
Slika 19. Vremenski dijagram oborina na m.s. Stepen i Plana (19).....	49
Slika 20. Skica razvodnice u području Fatničkog polja (P. Milanović)	53
Slika 21. Sliv vrela Trebišnjice - krivulja pražnjenja krškog vodonosnika u uvjetima prije i nakon punjenja akumulacije Bileća (8)	54
Slika 22. Raspored bušotina na području Fatničko polje – vrela Trebišnjice (19)	55
Slika 23. Pijezometar K-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana.....	56
Slika 24. Pijezometar K-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća	56
Slika 25. Pijezometar K-1, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru	57
Slika 26. Pijezometar F-6, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana	58
Slika 27. Pijezometar F-6, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća	58
Slika 28. Pijezometar F-6, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru	59
Slika 29. Pijezometar F-2, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana	60
Slika 30. Pijezometar F-2, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća	60
Slika 31. Pijezometar F-2, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru	61
Slika 32. Pijezometar OK-2, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana.....	61
Slika 33. Pijezometar OK-2, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća	62
Slika 34. Pijezometar OK-2, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru.....	63
Slika 35. Pijezometar F-3, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana	64
Slika 36. Pijezometar F-3, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća	64
Slika 37. Pijezometar F-3, odnos n.p.v. i dotoka u akumulaciju Bileća	65

Slika 38. Pijezometar F-5, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.s. Plana	66
Slika 39. Pijezometar F-5, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća	67
Slika 40. Pijezometar F-5, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru	67
Slika 41. Pijezometar BT-4, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana	68
Slika 42. Pijezometar BT-4, vremensko kašnjenje odziva n.p.v. na oborine mjerene na m.s. Plana	69
Slika 43. Pijezometar BT-4, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća	69
Slika 44. Pijezometar BT-4, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru	70
Slika 45. Pijezometar PL-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana.....	71
Slika 46. Pijezometar PL-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća	71
Slika 47. Pijezometar PL-1, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru	72
Slika 48. Pijezometar L-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana	73
Slika 49. Pijezometar L-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća	74
Slika 50. Pijezometar L-1, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru	74
Slika 51. Pijezometar PB-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana	75
Slika 52. Pijezometar PB-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća	76
Slika 53. Pijezometar PB-1, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru	77
Slika 54. Vremenski dijagram dotoka u akumulaciju Bileća i protoka na v.s. Srđevići	78
Slika 55. Odnos dotoka u akumulaciju Bileća i protjecanja na v.s. Srđevići	78
Slika 56. Mjerni profili na toku Trebišnjice u Popovom polju i trasiranjem utvrđene podzemne veze (2).....	81
Slika 57. Vrelo Ombla sa ustavom	83
Slika 58. Minimalni, srednji i maksimalni protoci Omble mjereni na h.s. Komolac (2)	87
Slika 59. Vrelo Mlini	88

Slika 60. Naslage bigra i kaskadno tečenje nizvodno od vrela Mlini	89
Slika 61. Maksimalni, srednji i minimalni protoci na h.s. Mlini (5).....	92
Slika 62. Vrelo Duboka Ljuta - Robinzon.....	93
Slika 63. Minimalni, srednji i maksimalni protoci na h.s. Robinzon (5)	95
Slika 64. Generalizirana slica hidrogeološkog sliva Bregave s karakterističnim profilom (8) ..	103
Slika 65. Kriva trajanja protoke rijeke Bregave (V.S. „Do“) u prirodnom stanju (2)	104
Slika 66. Rezultati mjerenja na v.s. Do (5).....	104
Slika 67. Dijagram broj 2: Ukupne godišnje količine padalina na MP Stolac za razdoblje mjerenja 2007.-2013. (1)	105
Slika 68. Oborine na m.s. Trusina.....	105
Slika 69. Geološki profil duž korita rijeke Bregave nizvodno od V.S. Do. (P. Milanović).....	107
Slika 70. Utvrđene podzemne veze između ponora u zapadnom dijelu Popovog polja i vrela u području Hutovog, Svitavskog i Deranskog blata (P. Milanović).....	109
Slika 71. Šire područje Nevesinjskog polja s hidrogeološkim pojavama i utvrđenim podzemnim	112
Slika 72. Uzdužni profil toka Zalomke (HGB - Energoinvest Sarajevo)	114
Slika 73. Istražni radovi na pregradnom profilu Nadinići (P. Milanović).....	116
Slika 74. Utvrđene podzemne veze na području toka Zalomke i Nevesinjskog polja (P. Milanović)	117
Slika 75. Istražni radovi na profilima Rilja i Budisavlje (P. Milanović)	117
Slika 76. Istražni radovi na profilu Pošćenje (P. Milanović).....	118
Slika 77. Oborine na k.s. Kifino selo za razdoblje 2008 - 2013. godina.....	120
Slika 78. Oborine na k.s. Slivlje za razdoblje 2009 - 2011. godina)	120
Slika 1a. Pijezometar PB-1, odnos intenziteta oborina i oscilacija n.p.v. u pijezometru PB-1	124
Slika 2a. Pijezometar PB-1, odnos oscilacija nivoa podzemne vode u pijezometru (crvena crta) i nivoa akumulacije Grančarevo (plava crta).....	124
Slika 3a. Pijezometar PB-1, odnos intenziteta oborina i oscilacija n.p.v. u pijezometru PB-1.....	125

Slika 4a. Pijezometar PB-1, odnos oscilacija nivoa podzemne vode u pijezometru (crvena crta) i nivoa akumulacije Grančarevo (plava crta)	125
Slika 5a. Pijezometar PB-1, odnos intenziteta oborina i oscilacija n.p.v. u pijezometru PB-1.....	126
Slika 6a. Pijezometar PB-1, odnos oscilacija nivoa podzemne vode u pijezometru (crvena crta) i nivoa akumulacije Grančarevo (plava crta)	126
Slika 7a. Pijezometar PB-1, odnos intenziteta oborina i oscilacija n.p.v. u pijezometru PB-1.....	127
Slika 8a. Pijezometar PB-1, odnos oscilacija nivoa podzemne vode u pijezometru (crvena crta) i nivoa akumulacije Grančarevo (plava crta)	127
Slika 9a. Pijezometar F-3, odnos intenziteta oborina i oscilacija n.p.v. u pijezometru F-3.....	128
Slika 10a. Pijezometar F-1, odnos oscilacija nivoa podzemne vode u pijezometru (crvena crta) i nivoa akumulacije Grančarevo (plava crta)	129
Slika 11a. Pijezometar F-3, odnos intenziteta oborina i oscilacija n.p.v. u pijezometru F-3.....	129
Slika 12a. Pijezometar F-1, odnos oscilacija nivoa podzemne vode u pijezometru (crvena crta) i nivoa akumulacije Grančarevo (plava crta).....	130
Slika 13a. Pijezometar F-3, odnos intenziteta oborina i oscilacija n.p.v. u pijezometru F-3.....	130
Slika.14a. Pijezometar F-1, odnos oscilacija nivoa podzemne vode u pijezometru (crvena crta) i nivoa akumulacije Grančarevo (plava crta)	131
Slika 15a. Pijezometar F-3, odnos intenziteta oborina i oscilacija n.p.v. u pijezometru F-3	131
Slika 16a. Pijezometar F-1, odnos oscilacija nivoa podzemne vode u pijezometru (crvena crta) i nivoa akumulacije Grančarevo (plava crta).....	132
Slika 17a. V.S. Srđevići, odnos na mjernom profilu (crvena crta) i nivoa akumulacije Grančarevo (plava crta)	134
Slika 18a. V.S. Srđevići, odnos na mjernom profilu (crvena crta) i nivoa akumulacije Grančarevo (plava crta)	134

UVODNE PRIPOMENE

Ugovorom između

EPTISA Servicios de Ingenieria, S.L.

CIF: B-85097962

C: Emilio Muñoz, 35-37

28037 Madrid, Spain

i

Sub-Consultant mr.

sc. Ivan Antunović, dipl. ing

9 Gajeva Street

21000 Split, Republic of Croatia

Od 1. ožujka 2013. godine je preuzeta obveza suradnje u projektu „Development of the model for hydrological predictions, forecasting and decision making and preparation of the plan, guidelines, training program for optimal management of multi-purpose reservoirs in the river basins of Neretva and Trebišnjica“. U ovom dijelu rada dan je pregled hidrogeoloških karakteristika slivnih područja Hercegovine na istočnoj obali rijeke Neretve kao i područja sliva rijeke Trebišnjice i vrela koja se nalaze u priobalnom području Jadranskog mora Dubrovačke županije.

Kod izrade ovog izvješća u velikoj mjeri je korištena dokumentacija dostavljena od strane HET –a, iz Trebinja, Agencije sliva Jadranskog mora iz Mostara te Hrvatskih voda iz Splita.

Posebno značajne informacije korištene su iz literature (objavljenih knjiga i stručnih radova prof. dr. P. Milanovića, M. Miličevića i dr. koji su najviše zaslužni za ukupne spoznaje ovog vrlo istraženog prostora.

Osim dodatnih hidrogeoloških obrada, ovaj rad u suštini predstavlja sažetak rezultata do sada provedenih istraživanja na ovom prostoru.

1. OPĆE KARAKTERISTIKE SLIVNIH PODRUČJA

Šire područje sliva svih vrela lijeve obale rijeke Neretve, rijeke Trebišnjice i Zalomke, kao i vrela duž Dubrovačkog primorja pripada najvećim dijelom intezivno okršenom području sa nekoliko krških polja. Površinska otjecanja, osim navedenih tokova, su rijetka i uglavnom povremena sa pojavama povremenog plavljenja krških polja.

Dominirajuće geomorfološke forme na slivnom području su (6):

- Krška polja koja se kaskadno pojavljuju od Gatačkog i Nevesinjskog polja (~800 – 900 m) do razine mora;
- Suhe doline;
- Okršene zaravni i
- Okršeni planinski masivi.

Od krških pojava na površini i podzemlju su mnogobrojne vrtače, škrape, jame i spilje.

Od krških polja na širem slivnom područjuyaveće se nalazi nekoliko vrlo značajnih krških polja.

Popovo polje sa tokom rijeke Trebišnjice između kota 220 i 250 m. Sastoji se iz dva dijela, **uzvodnog** „Trebinjska šuma“ koji prestavlja dosta veliku kršku zaravan bez značajnijeg kvartarnog pokrivača i nizvodnog koji je prekriven kvartarnim aluvijalnim naslagama. Ukupna površina polja je 64,8 km². Polje povremeno plavi i prazni se preko 500 ponora i estavela. U području Zavale ima pojava pećina (najveća je Vjetrenica) sa pojavama stalne vode (Mareva ljut, Lukavac i Čvaušnik).

Trebinjsko i Mokro polje je na nadmorskoj visini od 270 – 275 m, ukupne površine oko 12 km². Stalnih velikih vrela nema, međutim ima nekoliko stalnih i povremenih izvora (Tučevac kod Dražin dola sa maksimalnom izdašnošću većom od 20 m³/s, zatim Oko, Rasovac te Zabora i Bugovina).

Ljubomirsko polje je povremeno plavljeno i nalazi se između kota 520 i 530 m. Površine je oko 8,1 km². Ponorska zona preko koje se prazni povremeno plavljena površina se nalaze u sjeverozapadnom dijelu polja (Ždrijelovići). Trasiranjem podzemnih voda utvrđena je veza sa vrelom Tučevac. Duž polja se javlja povremeni tok Brava.

Ljubinsko polje pripada skupini zatvorenih krških polja ukupne površine oko 8,5 km². Između kota 462 i 408 m. Rijetko plavi i duž polja prema ponoru Klanac se formira Bukov potok. Trasiranjem podzemne vode preko ponora Klanac utvrđena je podzemna veza prema Popovom polju na estaveli Meginja u Strujićima.

Fatničko polje je također zatvoreno polje ukupne površine 5,6 km² na nadmorskoj visini od oko 470 m.n.m. Izvorsku zonu ovog polja čine povremena vrela na sjeveroistočnom obodu polja (Obod, Jama, Baba i Pribabići). Najveća ponorska zona je u jugoistočnom dijelu polja Pasmica.

Cerničko polje se nalazi na sjeverozapadnom dijelu istraživanog područja na nadmorskoj visini od oko 850 m. Ukupna površina mu je oko 3 km². Povremeno vrelo je Vilina pećina koje formira vododerinu sa povremenim tokom dužine oko 300 m. Bitni ponori su Jasovica i Šukovića ponor.

Gatačko polje se nalazi na krajnjem sjeverozapadnom dijelu istraživanog područja na visini između kota 936 i 950 m. Ukupna površina mu je 37,6 km². Izgrađeno je od pjeskovito laporovitih neogenih naslaga ukupne debljine oko 450 m. Kroz polje postoji stalni tok Mušnica koji nastaje od stalnih izvora i stalnih tokova Vrba, Ulinjski potok i Jaseničkog potoka. Za slivno područje znakoviti su ponori u Malom Gatačkom polju preko kojih je utvrđena podzemna veza prema vrelima Trebišnjice.

Suhe doline su rezultat fluvijalne erozije u kojima nema pojava tečenja ni u razdobljima ekstremno velikih voda. Na istraživačkom prostoru značajnije suhe doline su od Dabarskog polja do Bregave, zatim između Ljubomir polja i Popovog polja i najmarkantnija od Zavale do Slanog.

Od okršenih zaravni značajniji se početni dijelovi Popovog polja tzv. Trebinjska šuma i Lug.

Ostali dio područja je brdovito planinski i planinski sa čestim visoravnima koje karakterizira izuzetno jaka okršenost.

2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Mnogi istraživači, a posebno geolozi, geografi, hidrolozi, speleolozi, biolozi i geofizičari proučavali su ovo područje i na svoj način tumačili geomorfološke, hidrogeološke, hidrološke i druge krške pojave i oblike. U novije vrijeme vrlo obimna istraživanja i značajni radovi izvedeni su u fazi izrade dokumentacije i izgradnje Višenamjenskog Hidro sistema Trebišnjice ali i brojnih drugih projekata među kojima dominiraju energetika i vodoprivredna problematika.

Prve podatke i prve geološke skice ovog područja daje A. Boue (1840, 1858 i 1862). Poslije njega ovdje se smjenjuju brojni austrijski geolozi, a E. Mojsisovicz, E. Tietze i A. Bitner Oni izrađuju 1880. prvu preglednu geološku kartu.

Istraživač, konzul i putopisac A. Hiljferding, posjećuje pećinu Vjetrenicu još 1853, a njen opis daje u knjizi "Bosna. Hercegovina i Staraja Srbija" koja je objavljena u Petrovgradu 1873.

H. Mihajlovic u radu "Pecina Vjetrenica u Zavali", Sarajevo, 1889. Daje nešto detaljniji opis ove pećine.

M. Groller (1889) u radu "Das Popovo polje in Herzegovina" analizira veliku poplavu u ovom polju iz 1883 godine.

Austrijski građevinski savjetnik za Bosnu Philipp Ballif (Filip Balif) analizira mogućnost odvodnje Fatničkog i Popovog polja i organizira prva mjerenja vodostaja. Istovremeno (1896) on rukovodi melioracijom Gatačkog polja i izgradnjom prve brane na Balkanu brane Klinje na rijeci Musnici, koja je i danas u funkciji. Svoje aktivnosti opisuje u radu "Wasserbauten in Bosnien und der Hercegowina" koji je štampan u Beču 1896.

Jovan Cvijic se bavi detaljnijim analizama krških polja u ovom području a svoja zapažanja objavljuje u clanku "Karsna polja zapadne Bosne i Hercegovine" 1900. Tu prikazuje bitne geološke, morfološke i hidrološke karakteristike slijedećih polja: Fatničkog, Dabarskog, Cerničkog, Gatačkog, Stolačkog kao i nekih manjih kao što su Plana, Meka Gruda i Korita.

Friedrich Katzer (Fridrih Kacer), austrijskih geolog iznosi u radovima "Das Popovo polje in der Herzegovina" (Breunschweig, 1903) i "Karst und Karsthydrographie", 1909, u Sarajevu. Njegovo ime je vezano i za mnoga druga istraživanja kao što je vodosnabdjevanje Nevesinja (1915) ili pojave ugljena u Nevesinjskom polju (1921).

Popovo polje I Trebišnjcu izučavaju i spominju u svojim radovima A. Penck (1900), A. Grund (1905-1910), V.J.Danes (1905, 1906), J. Dedijer (1907), N. Schubert (1909), G. Bukowsky (1917), K.

Absolon (1916, 1932), Z. Popović (1927), M.S. Radovanović (1929), S. Milojević (1925-1928), A. Cholley i G. Chabot (1930).

Interes za speleološke objekte ovog područja pokazuje i M. Kusijanović. U više radova (1929-1939) on opisuje pećine koje je istraživao u zaleđu Omble.

Geološke prilike pojedinih lokaliteta ovog područja proučavaju i brojni drugi autori V. Havelka (1930), B. Milojević (1933), J. Mihajlović (1930-1950), K. Petković (1935, 1958, 1961), Z. Bešić (1951-1959), R. Jovanović (1939-1954), S. Behlilović (1957), M. Vidović (1961), B. Đerković (1968), R. Radojčić (1959-1970) i brojni drugi.

Sredinom pedesetih godina dvadesetog vijeka počinju intenzivna istraživanja karsta Istočne Hercegovine: Geološka, hidrološka, hidrogeološka, speleološka i geofizička. Rezultati ovih ispitivanja pored projektne dokumentacije, objavljeni su u nizu stručnih i naučnih radova i monografija: B. Sikošek (1954), R. Gašparović (1957-1970), O. Zubčević (1959), S. Mikulec i K. Torbarov (1960-1975), P. Ramljak (1960-1980), D. Arandžević (1962-1980), J. Mladenović (1963-1975), O. Uzunović (1963), B. Petrović (1963), M. Malez (1970), P. Milanović (1971-2000), S. Božičević (1971-1980), M. Milicević (1975-2000), S. Šičarov (1970-1980), V. Pješčić (1968-1970), M. Simić (1970), I. Avdagić (1973), P. Stojić (1976), Ž. Žibret i Z. Šimunić (1976), I. Bagarić (1980), N. Kovačina (1980), M. Arsovski (1982), V. Jokanović (1980-2005), M. Bašagić (1979-1987) i mnogi drugi.

Problematika karsta Nevesinjskog polja obrađuju I. Bušatlija (1963) i B. Đerković (1966), Gatačkog polja R. Milojević (1973) i D. Ostojić (1980), a geomorfološku evoluciju i neotektoniku Orjena M. Marković (1973), endemsku faunu sliva rijeke Trebišnjice proučavaju S. Čucković (1978), i B. Sket (1976, 1983).

Osnovnu geološku kartu 1:100 000 područja koje zahvaća Istočna Hercegovina i Dubrovacko priobalje rade: B. Marković, list Dubrovnik (1966); M. Mojičević, list Nevesinje (1965); Lj. Natević i V. Petrović, list Trebinje (1964-1965); T. Vujisić, M. Mirković list Nikšić (1967); J. Papeš i dr. list Metković (1977).

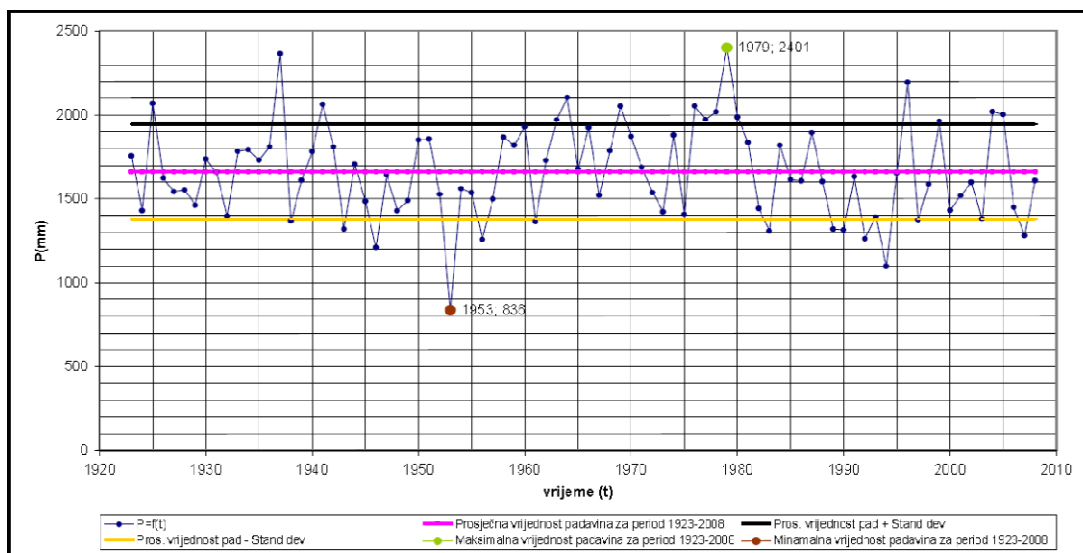
3. OSNOVNI KLIMATOLOŠKI PODACI

Klimatološke karakteristike ovog područja imaju obilježja humidne klime sa suhim ljetima i kišovitim zimama. Područje između obale mora i Popovog polja ima mediteranskom klimu. Zime su blage sa vrlo rijetkim snježnim padavinama. Ljeta su topla i suha, a temperature visoke.

Sa udaljenjem od Jadranske obale i povećanjem kote na visine preko 400 m klima prima obilježja umjereno kontinentalne. U području preko 800 m klima prelazi u planinsku. Ovdje su zime oštre i sa znatnim snježnim pokrivačem, a ljeta duga i sušna.

Oborine

Prosječne godišnje padaline na slivu određene na temelju višegodišnjih mjerenja do 1985. godine iznosile su oko 1.780 mm. Raspodjela oborina je vrlo različita u prostoru i vremenu. Na pojedinim meteorološkim stanicama (obronci Orjena) maksimalne godišnje padaline su iznosile do 5.000 mm.



Slika 1. Godišnje oborine na širem području Istočne Hercegovine (2)

Približno 75% oborina padne u razdoblju od studenog do travnja, a oko 25% od svibnja do listopada.

Za prikaz oborinskog režima na promatranome području, korišteni su srednji mjesečni podaci oborina sa sedam meteoroloških stanica Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske i Agencije za Vodno područje Jadranskog mora iz Bosne i Hercegovine.

Listopad, studeni i prosinac su izrazito vlažni sa oko 40% ukupnih godišnji padavina. Ljeto (VI, VII, VIII mjesec) je relativno suho sa ukupno 11% godišnje sume padavina. Mjesečni ekstremi padavina imaju velik dijapazon od 0 do 754 mm.

Maksimalne godišnje padaline (blizu 5000 mm) izmjerene su na stanicama Ubli i Vrbanje obronci (Orjena).

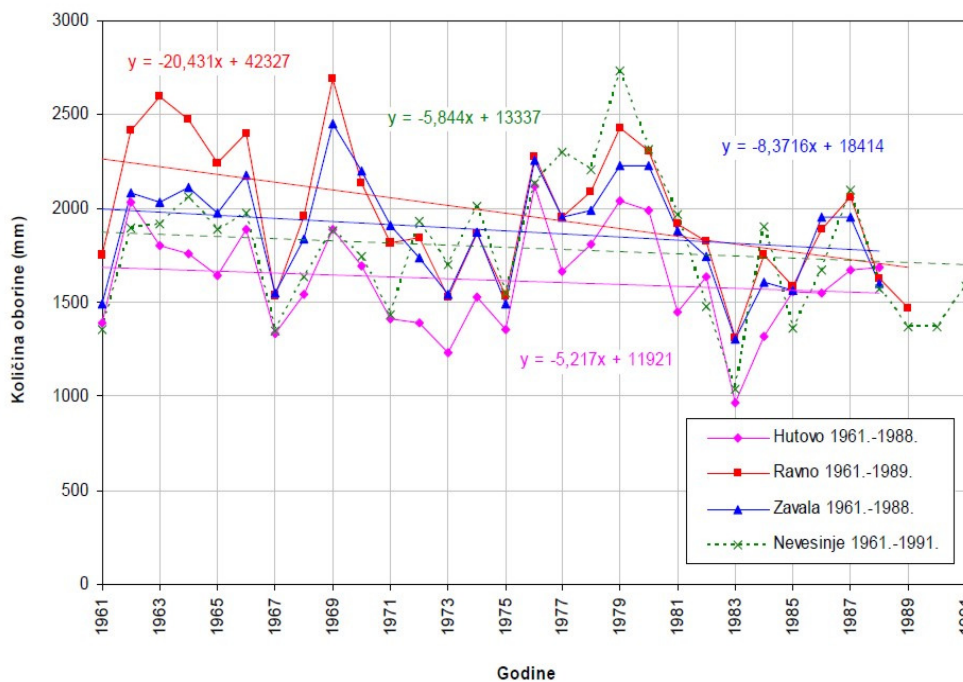
Pored Orjena područja sa najvećim padalinama su Žabica iznad Dobromana. Prosječne godišnje vrijednosti padalina za stanicu Dobromani u razdoblju 1923-1939/1947-1960 su:

$$\text{Min} = 1436 \text{ mm}, \quad \text{Sr} = 2164 \text{ mm}, \quad \text{i Max} = 4680 \text{ mm}$$

Odnosno po mjesecima (Tablica1)

Tablica 1

Mjeseci	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Minimalne	30	45	0	11	15	2	0	0	7	88	34	99
Srednje	201	209	187	164	111	79	47	68	151	265	349	308
Maksimalne	448	364	410	468	285	270	150	387	329	746	1030	1171



Slika 2. Srednje godišnje oborine za Nevesinje i južni dio istraživačkog područja, razdoblje 1961-1988/91

(5)

Za stanicu Trebinje godišnji ekstremi padalina za period 1957-1981 su:

Min=1311mm i Max=2399 mm

Međutim podaci mjerenja padalina za period 1923-1939/1947-1959 za istu stanicu razlikuju se i u minimalnim i u maksimalnim vrijednostima:

Min=860 mm, Sr=1890 mm i Max=3837 mm

Srednje i maksimalne jednodnevne padaline za stanicu Trebinje u razdoblju 1925-1940 su date tabelarno (Tablica 2)

Tablica 2

Mjeseci	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Srednje	64	71	60	59	45	49	24	38	50	90	86	84
Maksimalne	156	154	160	146	132	160	60	89	164	147	140	280

U hipsometrijski najvišem dijelu Istočne Hercegovine, Gatačkom polju (stanica Gacko) izmjerene su slijedeće padaline u razdoblju 1951-1970 g. (Tablica 3).

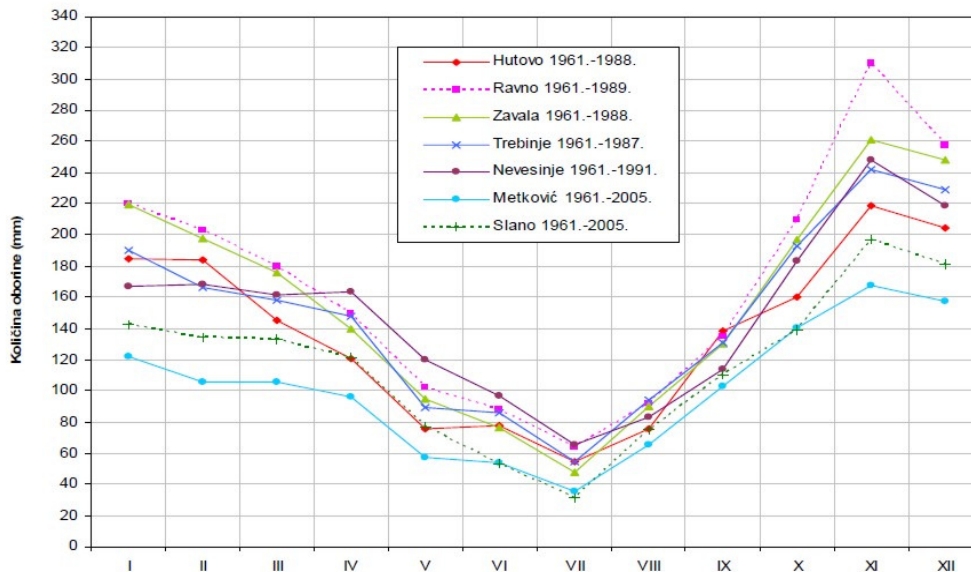
Tablica 3

Mjeseci	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Minimalne	4	20	4	25	25	19	19	10	0	0	17	55
Srednje	159	192	145	122	122	95	54	68	117	186	240	256
Maksimalne	372	355	392	350	272	257	110	238	371	573	423	636
Max. dnev.	60	88	68	74	63	63	48	91	87	130	79	85

Srednja vrijednost godišnji padalina za stanicu Gacko je:

Min=918 mm, Sr=1756 mm i Max=2513 mm

Najmanje padaline su uz obalu mora. Prosječne godišnje padaline za stanicu Dubrovnik su 1006,6 mm.



Slika 3. Prikaz srednjih mjesečnih padalina za šire slivno područje (5)

Ombrografska mjerenja pokazuju da maksimalni intenzitet padalina u području Istočne Hercegovine dostiže 4 mm/min.

Intenzitet od 1 mm/min može da traje preko 20 minuta.

Maksimalne dnevne padaline su preko 280 mm.

Prema analizama srednjih godišnjih protoka rijeke Trebišnjice na profilu Grančarevo i Gorica, Studija uticaja na životnu sredinu i dokaza za izdavanje ekološke dozvole za hidroenergetsko postrojenja „Dabar“, (Zavod za vodoprivredu d.d. Sarajevo) konstatirano je:

1. Prosječna višegodišnja vrijednost količina oborina na navedenom prostoru iznosi 1658 mm.
2. Značajna odstupanja pojedinačnih prosječnih vrijednosti visine godišnjih padalina oko navedenog višegodišnjeg prosjeka se približno u 60% slučajeva kreću u granicama 1390-1940 mm. Maksimalne vrijednosti prosječnih visina godišnjih padalina u slivu iznose 2401 mm, a minimalna 836 mm.
3. Odstupanja prosječnih vrijednosti na pojedinim stanicama u razmatranom prostoru oko prosječne višegodišnje vrijednosti količina padavina iznosi 1658 mm i predstavlja prosjek pojedinačnih vrijednosti svih razmatranih stanica. Analiza tih istih vrijednosti na pojedinačnim stanicama pokazuju da one variraju u širem diapazonu. Kao primjer prosječna višegodišnja vrijednost na KS Gacko iznosi 1756 mm a maksimalna čak 2513mm.

4. Prosječne mjesečne vrijednosti količine padalina na navedenom prostoru znaju gotovo i po nekoliko uzastopnih mjeseci biti blizu izuzetno niskih vrijednosti, što izaziva suprotne pojave od poplava-pojave suša.
5. Nedostaju pokazatelji koji bi upućivali na postojanje izraženijeg trenda kontinuiranog povećanja ili smanjenja prosječnih višegodišnjih vrijednosti količina padalina, odnosno protoka, na navedenom prostoru.

Temperature

Srednja godišnja temperatura iznad kote 400 m je manja od 14 C, a ispod kota 400 m je veća od 14 C. Uz obalu mora srednja godišnja temperatura je 16 C.

Srednja godišnja temperatura za područje Trebinja od 14,1 C.

Najhladniji mjesec je siječanj sa srednjom temperaturom 5,3 ° C, a najtopliji je srpanj sa srednjom temperaturom 23,3° C. Apsolutni registrirani maksimum je 39,5 ° C, a apsolutni minimum je -10,0 ° C.

Najhladnije područje u Istočnoj Hercegovini je Gacko. Apsolutni minimum je izmjeren 1967 godine od -29,6 ° C.

Relativna vlažnost i isparavanje

Srednja godišnja vlažnost je 65,8%, a najviša srednja mjesečna je u studenom 73,3%. Raspon minimalne relativne vlažnosti za siječanj je od 11% -43%.

Mjerenja isparavanja su obavljena na akumulacijama „Hutovo“ i „Bileća“. Iz tabelarnog prikaza (Tablica 4) vidi se da je u promatranom razdoblju od travnja do listopada (1981) isparavanje najveće u srpnju i kolovozu (6).

Tablica 4

	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
„Hutovo“	80,22	105,00	117,39	153,65	137,97	72,10	36,19
„Bileća“	71,54	89,95	103,18	136,71	127,40	72,45	45,64

4. GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE ŠIREG PODRUČJA

Osnovna značajka šireg područja je visoki stupanj okršenosti stjenovitih masa s velikim brojem karakterističnih krških oblika. To su (6):

- Pojava suhih dolina koje su ostatak ranije faze fluvijalne drenaže;
- prostrane krške visoravni;
- Krška polja koja se kaskadno pojavljuju od najviših Gatačkog i Nevesinjskog polja (800 - 900 m.n.m.) prema razini Jadranskog mora i
- intenzivno okršene stjenovite mase planinskih masiva

4.1. Suhe doline

Suhe doline su ostaci nekadašnjeg fluvio - glacijalnog drenažnog sustava u kojim danas nema nikakvog tečenja čak i u razdobljima vrlo velikih oborina.

Značajne suhe doline u području Istočne Hercegovine:

- Suha dolina Krstac od Gatačkog polja prema Nikšičkom polju;
- Dolina između Lukavačkog polja i Nevesinjskog polja. Nizvodni dio je usječen u zoni promina konglomerata i njime teče povremeni tok riječice Zavidolke;
- Suha dolina između Slatog i Nevesinjskog polja koja je ostatak nekadašnjeg otjecanja od Slatog polja i Zvidolke;
- Dolina Radimlje između Nevesinjskog polja i Bregave koji je nekadašnji tok od Nevesinjskog polja prema Bregavi. Aktiviranjem ponora prema vrelima Bune i Bunice prestaje i funkcija odvodnje ove suhe doline.
- Dolina od Dabarskog polja do izvorišta Bregave. Duž ovog dijela doline nema površinskog otjecanja ni u ekstremno kišnim razdobljima.
- Suha dolina između Ljubomir polja i Popovog polja su ostaci nekadašnjeg toka Bukovičkog potoka i zapadnog dijela Ljubomirskog polja u pravcu Popovog polja.
- Suha dolina iz pravca Hutovo - Kolojanj - Glušci prema dolini Neretve i
- vrlo izrazita dolina između Zavale u Popovom polju do Slanog. Ovom dolinom je bilo vrlo značajno otjecanje iz pravca Popovog polja prema Jadranskoj obali, ali zbog izrazitih tektonskih izdizanja navlake visokog krša ova dolina je izgubila funkciju odvodnje.

4.2. Krške površi - zaravni

O nastanku ovih površi postoje različita tumačenja koja imaju jednu zajedničku osnovu, a to je da su nastale kao rezultat tektonskih pokreta i razvoja okršavanja.

Na prostoru Hercegovine istočno od Neretve su izrazite dvije površi:

- Trebinjska šuma i Lug, te
- Dubrave

Trebinjska šuma i Lug je istočni dio Popovog polja nastao je u krajnjoj fazi stvaranja Popovog polja. Obuhvaća površinu od oko 120 km².

Dubrave su u suštini kombinacija krške površi i krških polja izgrađene od okršenih vapnenaca krede i paleogena, kao i naslagama fliša.

4.3. Krška polja

Krška polja su vrlo značajne krške pojave u području istočno od rijeke Neretve, izduženi sa dinardiskim pravcem pružanja SZ - JI. Njihovo pružanje upućuje da je njihova geneza usko vezana za strukturno tektonske odnose ovog područja. Polja su kaskadno raspoređena iz pravca krajnjeg sjeveroistoka prema dolini rijeke Neretve i Jadranskom moru.

Krška polja koja se nalaze na najvišoj razini su na krajnjem sjeveroistočnm dijelu terena su:

- Slato (1080 m.n.m.)
- Gatačko polje (950 - 936 m.n.m.)
- Lukavačko polje (880 m.n.m.) i
- Nevesinjsko polje (870 - 800 m.n.m.)

Srednju razinu krških polja na ovom području Istočne Hercegovine čine:

- Dabarsko polje (470 m.n.m.)
- Fatničko polje (462 m.n.m.)
- Ljubomirsko polje (520 m.n.m.)
- Ljubinjsko polje (470 m.n.m.)

Nešto nižoj razini krških polja pripadaju:

- Mokro polje s Trebinjskim poljem (270 m.n.m.) i
- Popovo polje (250 - 220 m.n.m.) .

Najnižoj razini krških polja pripadaju:

- polje Gradac (86 m.n.m.) i
- Konavli (60 m.n.m.)

4.3.1. Slato polje

Slato polje je hipsometrijski najviše između kota 1020 i 1060 m. Površine je oko 1,5 km. Nastanak ovog polja veza je za reversnu strukturu i izgrađeno je od naslaga fliša i promina konglomerata. Južni obod polja je izgrađen od okršenih krednih vapnenaca. Polje povremeno plavi, a prazni preko dva ponora od kojih je ponor Mlinica najveći i nalazi se na najnižoj koti (1000 m).

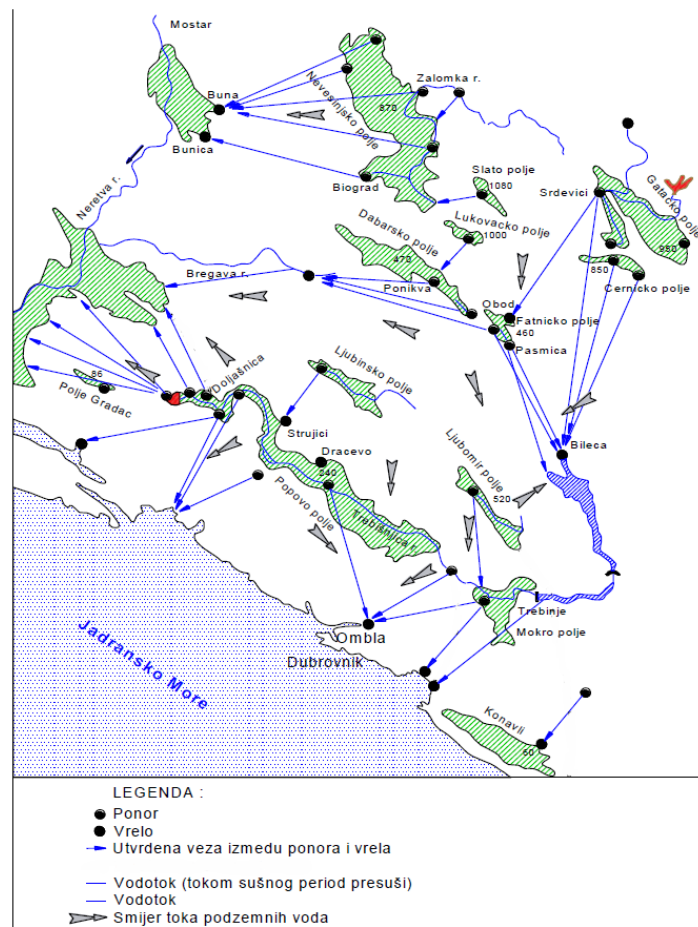
Utvrđene podzemne veze su u pravcu izvora Jama, kao i prema povremenim izvorima u Nevesinjskom polju duž korita Zovidolke u dužini od oko 3,5 km južno od izvora Jama (Pećina, Vrioci, Brusac i Milosava).

4.3.2. Ljubinjsko polje

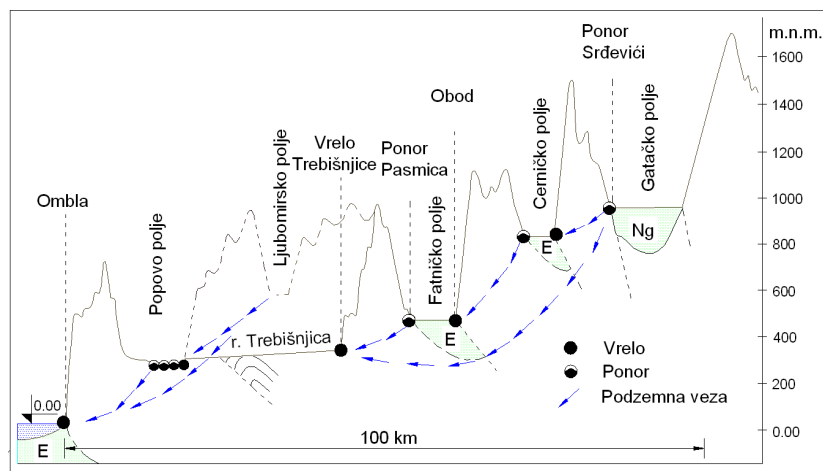
Ljubinjsko polje pripada skupini zatvorenih krških polja. Površina mu je oko 8,5 km² s blagim padom u pravcu sjeverozapada. Formirano je naslagama gornje krede. Površina samog polja je prekrivena aluvijalnim naslagama. Debljina ovih naslaga je oko 64 m.

Polje je povremeno plavilo vodama iz Bukovog potoka. Danas zbog regulirane odvodnje, Ljubinjsko polje praktično više ne plavi. Procjena je da je polje plavilo pri dotocima od 2 – 3 m³/s.

Vode iz Ljubinjskog polja prazne se preko ponora Konac koji se nalazi na jugozapadnom dijelu polja. Trasiranjem podzemnih voda preko ovog ponora utvrđena je podzemna veza s Meginjama (Strujići) koje su u to vrijeme bilo pod usporom poplavnih voda Popovog polja.



Slika 4. Raspored krških polja sa utvrđenim podzemnim vezama (2)



Slika 5. Generalizirani presjek s prikazom kaskadno raspoređenih polja i tečenjima podzemnih voda (2)

4.3.3. Popovo polje

Osnovne karakteristike

Popovo polje se nalazi na krajnjem jugozapadnom dijelu Istočne Hercegovine, približno je pružanja SZ – JI. O nastanku Popovog polja nema jedinstvenog stava kod znanstvenika koji su se bavili ovim krškim fenomenom. Neke teorije nastanak Popovog polja primarno vežu za neotektonsku aktivnost i razlomnu tektoniku na ovom području. Neki autori, međutim, smatraju da su fluvijalno glacijalni procesi iz pravca Orjena imali presudnu ulogu u stvaranju Popovog polja. Moguće je da su uzroci nastanka ovog polja utjecao splet svih navedenih okolnosti.

Područje Popovog polja je podijeljeno u dvije karakteristične morfološke cjeline:

- Površ Trebinjska šuma i
- Popovo polje u užem smislu.

Površ Trebinjske šume je prostrana krška zaravan izgrađena od okršenih vapnenaca i dolomitnim zonama. Površ je bez površinskog pokrivača i blago nagnuta u pravcu sjeverozapada od kote 275 m (Duži) do kote 250 m (Poljica) na potezu cca 20 km.

Nizvodno od Poljica polje je prekriveno aluvijalnim naslagama na ukupnoj površini od 68,4 km².

Pravac pružanja struktura i polja se u znatnoj mjeri podudaraju. Ispresijecane su gustom mrežom lomova najčešće pružanja SI-JZ, odnosno S-J. Karakteristična je gusta mreža rasjeda u području Trebinjske šume između Huma i Duža i Trebišnjice i od Dražin dola do Dobromana.

Od transversalnih, u odnosu na strukture uzdužnih, rasjeda značajan je Slivnički rasjed preko Duži i Kočela koji se proteže do izvora Duboka ljuta na obali mora.

Aluvijalne naslage prekrivenog dijela Popovog polja su u njegovom istočnom dijelu od 2 – 3 m debljine. U području oko Zavale debljina im je oko 10 m, a na krajnjem zapadnom dijelu nizvodno od ponora Ponikve njihova debljina iznosi i do 25 m.

Ponori Popovog polja

U prirodnim uvjetima sve dotekle vode u Popovo polje su preko velikog broja ponora otjecale kroz okršeno podzemlje prema obali mora, dolini Neretve, Svitavskoj i Deranskoj depresiji.

U samom polju je registrirano preko 500 ponora i estavela

Njaveći ponor je Doljašnica s maksimalnim kapacitetom gutanja oko 55 m³/s. Nešto manji ponori su Provalija i Crnulja s kapacitetom gutanja po cca 10 m³/s. Prema kapacitetu gutanja slijedi ponor Ponikva kao posljednji ponor toka Trebišnjice i Žire s kapacitetom gutanja od 3 – 5 m³/s.

Većina ostalih ponora i estavela ima kapacitet gutanja od 0,5 do 1,0 m³/s.

Jedan broj ljevkastih ponora nastalih kao proces sufozije i eruptivnog djelovanja zraka tijekom naglih porasta razina podzemnih voda, javlja se u samim aluvijalnim naslagama. Oni se povremeno aktiviraju, a ima ih nizvodno od Velje Međe.

Estavele

U procesu plavljenja i odvodnje plavljenih voda estavele imaju značajnu ulogu. Ima ih ponajviše između Strujića i Dračeva. Odlikuju se velikom izdašnošću i značajno utječu na ukupnu bilancu Popovog polja. Registrirane su pojedinačne 44 estavele i 33 lokaliteta s 3 – 7 bliskih estavela.

Pojedine estavele mogu imati maksimalnu izdašnost i do 70 m³/s.

Povremena vrela

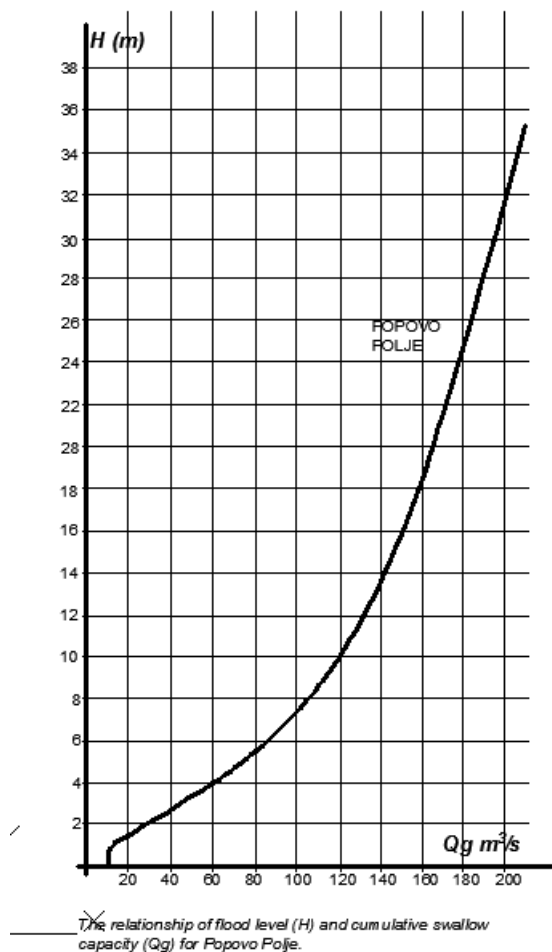
U Popovom polju nema stalnih vrela. Pojedina povremena vrela su uglavnom pećine s vodom. Jedna grupa ovih vrela se nalazi između Luga i Dobromana.

Uz južni obod polja u širem području Zavale su Pokrivenik kod Mareve Ljuti, Lukavac vezan za podzemne vode pećine Vjetrenice i Vrelo Čvaušnik. Velika je vjerojatnoća da na ova vrela ima stalnih dotoka koji podzemno otječu u aluvijalne naslage polja.

Otjecanje

Otjecanje plavljenih voda iz polja u neizmijenjenim prirodnim okolnostima je preko ponora i ponorskih zona. Nakon izgradnje PHE Čapljina s regulacijom korita rijeke Trebišnjice i izgradnjom kompenzacijskog bazena, dio plavljenih voda odvodi se i preko ovog hidro energetskog sustava.

U raspoloživoj dokumentaciji i objavljenim radovima se otjecanje preko ponora razmatra kroz tri sektora. (6)



Slika 6. Krivulja kapaciteta gutanja ponora Popovog polja u zavisnosti od visine plavljenja (P. Milanović)

Zapadnom sektoru (u literaturi označen sa „A“) pripadaju ponori koji imaju utvrđenu podzemnu vezu prema Svitavsko – Deranskoj močvari, rijeci Neretvi te vruljama u Jadranskom moru od Budime do Bistrine. Ovom sektoru pripadaju, među ostalim, i značajniji ponori: Doljašnjica, Provalija, Crnulja, Lisac i Ponikva u nivou polja, te Žira i Kaluđerov ponor na njegovom obodnom dijelu. Mjerene oscilacije nivoa podzemne vode u ovom sektoru su oko 100 m.

Središnji sektor (koji se u literaturi definira kao „B“) obuhvaća uglavnom estavele. Funkcioniranje estavela na ovom sektoru se objašnjava postojanjem raskinute dolomitne barijere između Popovog polja i mora na potezu od Zaplanika do Zavale i Ravnom. Veliki priliv voda iz zaleđa Popovog polje i ograničena provodnost ove barijere utječu na vrlo brzo dizanje nivoa podzemnih voda u njenom zaleđu što uzrokuje istjecanje preko estavela na površinu Popovog polja. U razdoblju smanjenih dotoka i sniženja nivoa podzemnih voda, estavele funkcioniraju kao ponori i ponorske zone. Generalni pravac podzemnog tečenja voda iz ovog sektora je prema moru.

Krajnji istočni sektor (označava se u literaturi kao „C“) obuhvaća najuzvodniji dio Popovog polja i dio površi Trebinjska šuma. U ovom sektoru se povremena vrela javljaju duž sjevernog oboda polja, a ponori i ponorske zone uglavnom u i uz korito Trebišnjice.

Zbog znatno veće provodnosti okršenih masa u ovom području, podzemno tečenje ispod ovog dijela polja je znatno intenzivnije i to je jedan od bitnih razloga da ovaj dio polja uglavnom ne plavi. Tečenje podzemnih voda je u najvećoj mjeri usmjereno prema vrelu Ombla.

4.3.4. Mokro i Trebinjsko polje

Mokro i Trebinjsko polje predstavljaju ustvari jednu cjelinu ukupne površine oko 12 km² na visini 270 – 275 m.n.m. razdvojena u dva dijela Malim i Velikim Humom. To je otvoreno polje prema sjeveru dolinom Trebišnjice, a južno prema Popovom polju.

Polje je formirano na dobro okršenim krednim vapnencima koji su na površini prekriveni fluvio-glacijalnim naslagama pijeska i šljunka.

Hidrografsku osnovu predstavlja rijeka Trebišnjica koja je u neizmijenjenim prirodnim uvjetima ponirala nizvodno od Trebinjskog polja između Mostača i Dražin dola.

Jedino stalno vrelo je Stdenac na lijevoj obali nizvodno od brane Gorica. Međutim, postoji veći broj povremenih vrela koja zbog sifonskog mehanizma funkcioniranja zadržavaju dio podzemne vode u sifonskim akumulacijama.

Najznačajnije povremeno vrelo u Trebinjskom polju je Tučevac kod Dražin dola. Maksimalna izdašnost ovog povremenog vrela je oko 20 m³/s

U Mokrom polju je povremeno vrelo Oko Rasovac, te Zbora i Bugovina uz sjeverni obod Mokrog polja. Pojedinačna izdašnost ovih vrela u razdoblju velikih voda je oko 10 m³/s.

Pojava estavela je nizvodno od brane Gorica.

Pojava ponora ima u oba ova polja. U Trebinjskom polju ih je najviše uz korito Trebišnjice i Pridvoračkog kraka. Procjena je da je kapacitet ovih ponora oko 0,5 m³/s. Trasiranja podzemnih voda su pokazala postojanje podzemnih veza prema vrelima Duboka ljuta, Zavrelje i vrelo Ombla.

Područje Mokrog polja povremeno plavi, međutim visina vodnog stupa nikad nije viši od 1 m. Poplavne vode poniru u području Zgonjevo – Luke.

Trasiranjem podzemnih voda na ovim ponorima utvrđena je podzemna veza prema vrelu Duboka ljuta.

4.3.5. Nevesinjsko polje

Nevesinjsko polje je najveće polje u Istočnoj Hercegovini. Površina mu je oko 170 km². Nalazi se između kota 870 m na sjevernom njegovom dijelu do kote oko 800 m na jugu u području ponora Biograd.

Polje je formirano u tektonskoj depresiji u kojoj su uglavnom istaloženi Promina konglomerati. Ispod njih su dosta okršeni mezozojski vapnenci. Debljina istaloženih Promina konglomerata u području Nevesinjskog polja iznosi preko 800 m.

U najmlađim istaloženim slatkovodnim naslagama se u području Dubljanice nalaze i ugljeni slojevi. Kako su Promina konglomerati izgrađenih od valutica vapnenaca s karbonatnim vezivnom, bili su izloženi okršavanju s krškim pojavama kao što su škrape, ponori, pećine i jame.

Stalni potoci u polju su Alagovac i Dušila, dok su ostali povremeni bujični tokovi koji se aktiviraju samo u razdoblju velikih voda.

Potok Alagovac se nalazi u sjeverozapadnom dijelu polja i ponire u ponor Ždrijelo. Procijenjeno je da je površina sliva ovog potoka oko 13 km². Neposredno ispred ponora Ždrijelo formirana je umjetna akumulacija za potrebe navodnjavanja i vodoopskrbe dužine oko 3 km i širine oko 200 - 250 m.

Dotok Dušila teče oko 5 km i ponire u ponor „Babova jama“. Značajniji ponori u ovom dijelu Nevesinjskog polja su još Zlatac (sjeveroistočni rub polja). Sve vode sa ovog dijela polja imaju podzemnu vezu s vrelom Bune.

Najveći dotok u područje Nevesinjskog polja je povremeni tok Zalomke s pritokama Drežanjkom i Zovidolkom. U Nevesinjsko polje Zalomka utječe kod Kifinog sela na sjeveroistočnom obodu središnjeg dijela Nevesinjskog polja i teče kroz polje do ponora Biogradci. Dio polja ispred ponora Biogradci u razdoblju velikih voda plavi (Najveći izmjereni nivo plavljenja je 838,2 m.n.m.), odnosno dubina poplavne vode je oko 38 m. Vode iz ovog plavljenog dijela poniru u ponor Biograd čiji je maksimalni kapacitet gutanja procijenjen na 80 m³/s.

4.3.6. Lukovačko polje

Ovo polje se nalazi na koti oko 880 m, površine je oko 2,5 km. Polje je formirano duž reversnog rasjeda i izgrađeno je najvećim dijelom od promina konglomerata i flišnih naslaga.

Istočni obod polje je izgrađen od okršenih vapnenaca u kojim su formirani ponori preko kojih poniru površinske vode iz nekoliko izvora (Pištet, Ljubica Lukavac) od kojih su neki kaptirani. Utvrđene su podzemne veze prema Dabarskom polju (ponor Mlinice do stalnog izvora Vrijeka i povremenom izvoru Sušica na sjeveroistočnom obodu polja. U području Lukavačkog polja se vjerojatno nalazi razvodnica između sliva Bregave i sliva Buna – Bunica.

4.3.7. Dabarsko polje

Dabarsko polje je formirano duž reversnog rasjeda duž sjeveroistočnog ruba polja. Stvorena tektonska depresija je naknadno ispunjena istaloženim tercijarnim naslagama debljine od 200 do 300 m. U području Ponikva njihova debljina je veća od 400 m. Podinu ovim tercijarnim naslagama čine Promina konglomerati koji se na površini javljaju duž sjevernog oboda polja od Berkovića do Sušica.

Sjeveroistočni obod polja grade dobro okršeni kredni vapnenci.

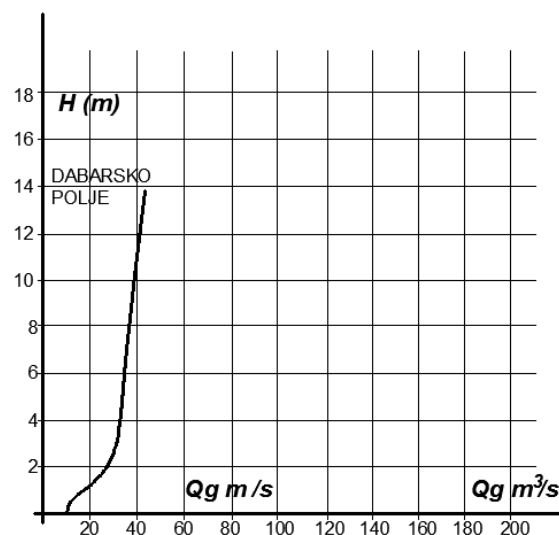
Polje povremeno plavi s vodenim stupom i do 14 m. Prema mjerenjima poplave na ovom polju traju od 42 do 216 dana u godini, prosječno 110 dana. Najveći doprinos plavljenju Dabarskog polja je bujični tok Opačica koji se formira u Trusinskom polju, Stalno vrelo Vrijeka, Estavela Ljelješnica i povremena vrela Sušica i Pribitu.

Duž sjeveroistočnog ruba polja postoji veći broj manjih vrela od kojih su neka kaptirana. Najznačajniji stalni izvor je Vrijeka s izdašnošću od 4,3 l/s do 25 m³/s.

Najveći ponori preko kojih se prazne vode plavljenja su Ponikva, Kutske jame, ponori Stupići i estavela Ljelješnica. Procijenjeno je da je maksimalni kapacitet gutanja ponora oko 42 m³/s.

Trasiranjem podzemnih voda preko ponora utvrđene su podzemne veze prema vrelu Bregave.

Dabarsko polje je detaljno istraživano, uglavnom istražnim bušenjem (izvedeno je 11 istražnih bušotina s oznakama DB i SD) i izveden istražni potkop dužine 536 m s četiri galerije u području podzemne elektrane.



The relationship of flood level (H) and cumulative swallow capacity (Qg) for Dabarsko Polje.

Slika 7. Krivulja kapaciteta gutanja ponora Dabarskog polja u zavisnosti od visine plavljenja (P. Milanović)

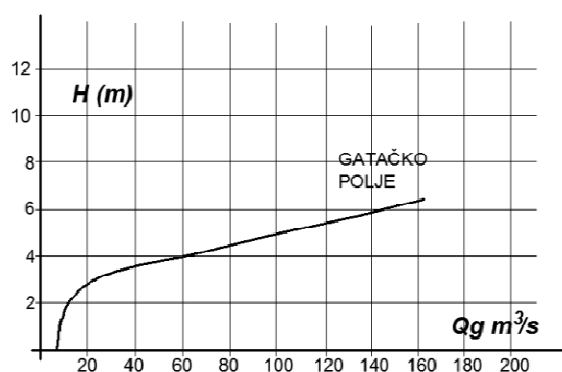
4.3.8. Gatačko polje

Gatačko polje formirano je duž dislokacije Pusto polje – Gradina – Bijenja koja je uzrokovala stvaranje tektonskog rova naknadno zapunjenog neogenim naslagama. Formirano je kao dva polja:

Veliko Gatačko polje površine oko 31,8 km² i

Malo gatačko polje površine 5,77 km²

Granicu između ova dva polja čini vapnenački greben između Fazlagića kule i Srđevića.



The relationship of flood level (H) and cumulative swallow capacity (Qg) for Gatačko Polje.

Slika 8. Krivulja kapaciteta gutanja ponora Gatačkog polja u zavisnosti od visine plavljenja (P. Milanović)

Duž sjevernog oboda Gatačkog polja su jurski dolomitični vapnenci, a dalje prema sjeveru je vrlo izrasjedana u intenzivno ubrana serija Durmitorskog fliša izgrađena od pjeskovito-glinovitih, konglomerata i vapnenačkih naslaga.

Samo polje izgrađeno je od naogenih naslaga čija je maksimalna dubina i do 450 m.

Poljem protječe stalni tok Mušnica čiji se tok formira od potoka Vrba, Ulinjskog potoka i Jaseničkog formiranih na padinama Čemerna i Lebršnika. Duž toka Mušnice od Avtovca do Srđevića su mjerenjima utvrđeno je postojanje nekoliko manjih ponora.

Područje Malog Gatačkog polja je karakteristično po velikom broju ponora duž jugozapadnog oboda polja od Srđevića do hipsometrijski najnižeg Šabanovog ponora.

Malo Gatačko polje povremeno plavi, a poplavne vode prazne se preko navedenih ponora. Procijenjeno je da je ukupan kapacitet ponora oko 160 m³/s od kojih je najveći Srđevićki ponor maksimalnog kapaciteta oko 60 m³/s.

Najveći dio ponirućih voda podzemljem otječu prema vrelima Trebišnjice, izuzev ponora na krajnjom istočnom dijelu polja između Ljeljinačkog ponora i Bobotovog groblja, od kojih je trasiranjem podzemnih voda utvrđena podzemna veza prema izvorima Pive.

4.3.9. Cerničko polje

To je relativno manje krško polje čija površina iznosi oko 3 km². Polje je formirano duž reversnog rasjeda kojeg prate flišne naslage. U zoni polja dubina fliša je oko 200 m koju u sklopu terena imaju hidrogeološku funkciju viseće hidrogeološke barijere. Podzemne vode koje poniru u Malom Gatačkom polju se preko ove barijere prelijevaju i u Cerničkom polju formiraju povremeni tok Ključke rijeke.

Ključka rijeka izvire iz Viline pećine čije vode poniru u ponoru Ključke rijeke. U ljetnom razdoblju koritom Ključke rijeke protječe oko desetak litara, a z razdoblju velikih voda oko 15 m³/s. U razdoblju velikih voda, izdašnost vrela Vilina pećina je procijenjena na više od 50 m³/s. U to vrijeme polje plavi kada se aktivira većina ponora duž južnog oboda polja među kojim su, osim ponora Ključke rijeke i veći ponori u jugoistočnom dijelu polja među kojim su Jasovica i Šukovića ponor.

U vrijeme malih voda sve podzemne vode protječu ispod Cerničkog polja ispod flišne barijere prema vrelima Trebišnjice.

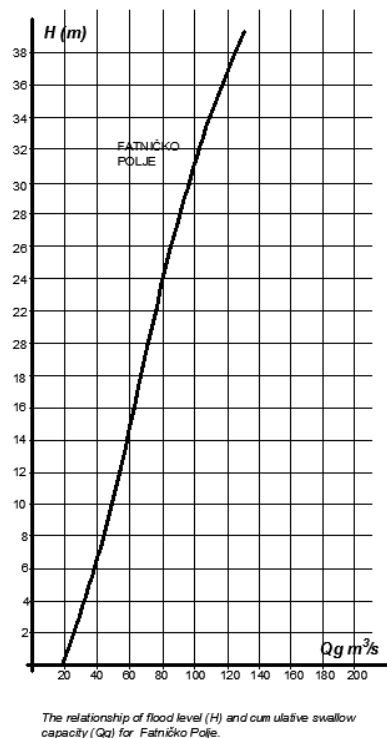
4.3.10. Fatničko polje

Fatničko polje se nalazi u centralnom dijelu Istočne Hercegovine na visini od oko 470 m.n.m. i obuhvaća površinu od oko 5,6 km².

Kao i većina krških polja slične veličine, Fatničko polje je nastalo uz veliki raversni rasjed gdje su kredni vapnenci navučeni preko eocenskog fliša.

Nastala tektonska depresija naknadno je zapunjena tercijskim, poglavito jezerskim naslagama vjerojatnim ulošcima barskih sedimenata. Najveće debljine ovih naslaga protežu se uz sjeveroistočni rub polja, odnosno uz reversni rasjed. Geofizičkim mjerenjima i istražnim bušenjem je potvrđena njihova dubina prostiranja od oko 110 do 167 m. Na području ovog polja i šire izvedeno je 15 istražnih bušotina od kojih su jedan broj formirani kao promatrački pijezometri.

Fatničko polje vrlo često plavi. Visine plavnog stupa vode je dosta velik. Prema rezultatima nekih objavljenih mjerenja i do 38 do 40 m, a kojoj odgovara zapremina od oko 228 x 10⁶ m³. Prosječno trajanje je oko 125 dana godišnje.(6)



Slika 9. Krivulja kapaciteta gutanja ponora Fatničkog polja u zavisnosti od visine plavljenja (P. Milanović)

Duž sjeveroistočnog oboda polja se javljaju niz većih povremenih vrela od kojih su najznačajnija Obod, Baba Jama, Pribabići, a u krajnjem sjeverozapadnom dijelu su Mačkovac i Zla stijena.

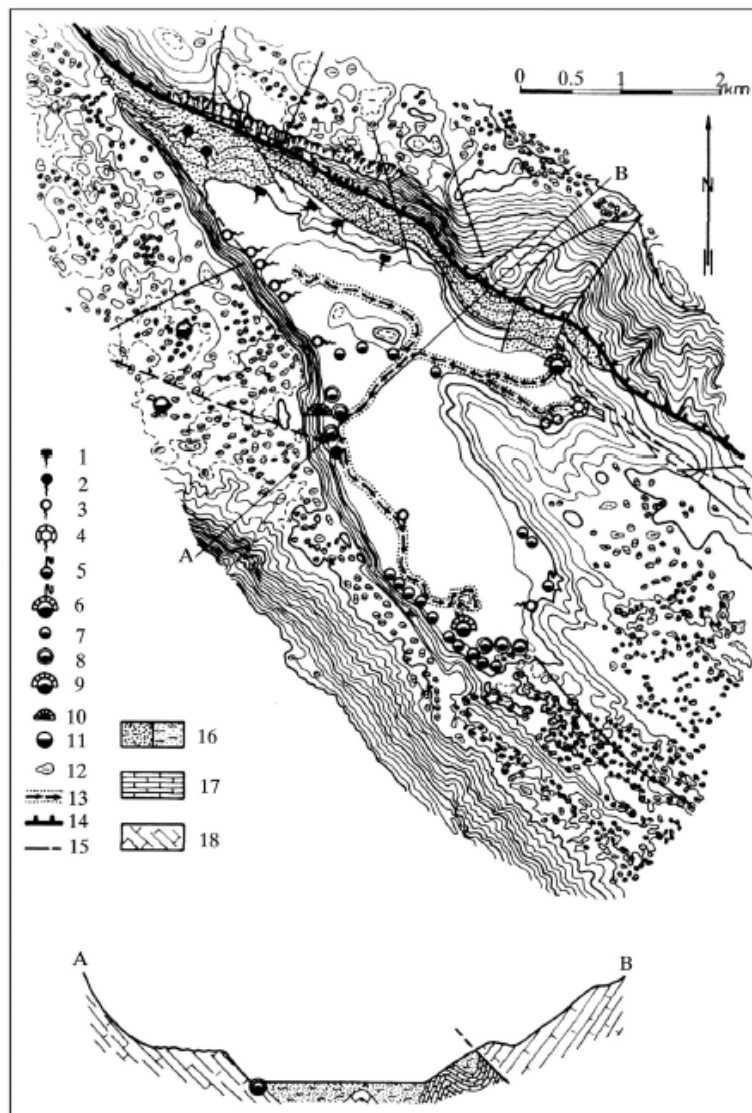
Manji stalni izvori su i kaptirani (Kukolj, Jastrebnjak i Studenac) i vezani su za odcjeđivanje flišnih naslaga.

Najveća izmjerena izdašnost povremenog vrela Obod je $35,8 \text{ m}^3/\text{s}$, a maksimalna izdašnost cijele zone izviranja je procijenjena na oko $60 \text{ m}^3/\text{s}$. Srednji dotok je oko $9,7 \text{ m}^3/\text{s}$, a maksimalni izmjereni je čak $261 \text{ m}^3/\text{s}$. Rezultati obavljenih brojnih trasiranja podzemnih voda su potvrdila podzemnu vezu s Gradinom i sliva Gatačkog polja. Postoji visoki stupanj usuglašenosti početka istjecanja na vrelu Obod s nivoom voda na VS Srđevići u Gatačkom polju (6).

Duž jugozapadnog oboda polja se nalaze ponori preko kojih se plavne vode prazne u okršeno podzemlje. Najveći ponor je Pasmica s maksimalnim kapacitetom gutanja od oko $25 \text{ m}^3/\text{s}$, a maksimalni kapacitet gutanja cijele ponorske zone pri maksimalnoj koti nivoa plavljenja je procijenjen na oko $120 \text{ m}^3/\text{s}$.

U sredini jugozapadnog oboda polja u području Lepenica nalazi se najveća zona estavela. Estavele Veliki i Mali Nežir se nalaze sjeveroistočno do Pasmice uz rub polja.

Rezultatima trasiranja podzemnih voda i mjerenim nivoima podzemnih voda u pijezometrima izvedenim u području ovog polja je utvrđeno da se Fatničko polje nalazi u zoni razvodnice između sliva Bregave i sliva vrela Trebišnjice. Različite su procjene o raspodjeli količina plavljenih voda prema Bregavi i vrela Trebišnjice. Prema različitim literaturnim podacima navodi se da na sliv Bregave otpada od 10 - 30% plavljenih polja Fatničkog polja.



1. Tapped spring, 2. Permanent spring, 3. Temporary spring, 4. Great temporary spring "Baba Jama", 5. Estavalle, 6. Estavalle "Obod", 7. Ponor, 8. Group of near ponors, 9. Great ponor, 10. Big Cave, 11. Jama, 12. Karren, 13. Temporary river, 14. Overthrust front, 15. Fault, 16. Eocene sediment flush, 17. Eocene limestone, 18. Karstified Cretaceous limestone.

Slika 10. Fatničko polje s hidrogeološkim pojavama i poprečnim presjekom (P. Milanović)

4.3.11. Ljubomirsko polje

Ljubomirsko polje se nalazi na jugoistočnom dijelu Istočne Hercegovine, površine oko 8 km i između kota 520 i 530 m.

Nastalo je uslijed tektonskih pomjeranja uzrokovana navlačenjem tzv. Lastvanske antiklinale. Jezgro ove antiklinale je od trijaskih dolomita koje obuhvaća najveći dio paleoreljefa ispod glinovito pjeskovitih naslaga na površini polja. U sjeverozapadnom dijelu polja paleoreljef je izgrađen uglavnom od okršenih vapnenaca.

Osnovu hidrografske mreže čini povremeni tok Brova koji u polje dotječe iz njegovog zapadnog dijela. Srednji dotok u Ljubomirsko polje Brovom je oko 0,12 m³/s. Procjena je da ukupan srednji dotok u polje iznosi oko 1,0 m³/s (6)

Zona s najvećim poniranjem nalazi se sjeverozapadnom dijelu polja kroz okršene vapnence. To je ponorska zona Ždrijelovići.

Obavljenim trasiranjem podzemnih voda preko ovih ponora utvrđena je podzemna veza prema vrelima duž desne obale Trebišnjice i to na 14 vrela i estavela od Arslanagića mosta do Dražin dola. Najbolja veza je prema nizvodnijim vrelima, odnosno prema vrelu Tučevac.

5. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Šire područje istraživanja obuhvaćeno je složenim sustavom tektonskih navlačenja mezozojskih naslaga. Uočene su određene razlike u geološkim odnosima između pojedinih dijelova sliva, a koje su geološkoj raščlambi posebno naglašene.

Sve geološke strukture imaju dinaridski pravac pružanja t.j. sjeverozapad – jugoistok.

Stratigrafsko litološke značajke šireg područja nisu ujednačene. Detaljan prikaz geološke građe istraživačkog područja prikazan je na hidrogeološkoj karti (Prilozi 1a do 1d).

5.1. Geološke jedinice

Šire slivno područje izgrađuju poglavito mezozojske naslage trijasa, jure, krede i eocena, te samo lokalno kvartarne naslage u vidu aluvijalnih, deluvijalnih i glacijalnih naslaga.

Temeljna značajka stratigrafsko litoloških jedinica je dosta neujednačen debljin stratigrafskih članova kao i njihova litološka građa, poglavito u zastupljenosti vapnenaca i dolomita koje se bočno vrlo često smjenjuju.

Trijas

Trijaske naslage (T_3) su najstarije i na površini su zastupljenu u zonama uz čelo velike navlake duž obalnog područja te od Grančareva prema Grahovskom polju gdje se formira tok Sušice. Ove naslage uglavnom su izgrađene od dolomita, a samo mjestimično vapnenaca i dolomitičnih vapnenaca. U sjeverozapadnom dijelu terena su trijaske naslage izdvojene kao gornji trijas (T_3) izgrađenog od dolomita s vapnencima i dolomitičnim vapnencima kao umetcima. U središnjem dijelu područja u naslagama dolomita utvrđena je nešto veća zastupljenost dolomitičnih vapnenaca dok u jugoistočnim području ove naslage su isključivo od debelo uslojenih i pločastih dolomita.

Gledajući u cjelini trijaske naslage, čija je debljina procijenjena od 250 – 350 m su pretežito dolomitne građe.

Jura

Donje jurski (J_1 - Ijas) sedimenti su izgrađeni uglavnom od oolitičnih - grudvastih vapnenaca, debljine od 180 do 300 m. U središnjem i jugoistočnom dijelu područja ovi oolitični vapnenci sadrže i proslojke tanko slojevitih zeleno smeđih i tamnosivih laporovitih vapnenca.

Srednja jura (J_2 , malm) nije svugdje u potpunosti razgraničena od donje jure te je na znatnom dijelu terena izdvojena zona kao prijelazna zona ($J_{1,2}$). Uglavnom je izgrađena od oolitičnih vapnenaca ukupne debljine oko 280 m. U središnjem dijelu područja debljina im je veća (od 250 do 450 m), a u jugoistočnom dijelu područja izgrađeni su uglavnom od dolomita sa rijetkim proslojcima vapnenaca. U tom dijelu područja debljina serije iznosi oko 300 m.

Gornje jurske naslage ($J_3^{1,2}$ i $J_3^{2,3}$) su nešto više zastupljeni u središnjem dijelu područja između Popovog Polja i Jadranske obale. Donji dio gornje jure ($J_3^{1,2}$) u sjeverozapadnom dijelu područja izgrađena je od slojevitih i debelo uslojenih vapnenaca ukupne debljine oko 300 m. U središnjem dijelu područja ove naslage prate i boksiti i znatno manje su debljine (100 – 180 m).

Više razine gornje jure ($J_3^{2,3}$) sadrže znatno više dolomita i dolomitičnih vapnenaca koji se vrlo često bočno smjenjuju u vapnence i dolomitične vapnence.

U jugozapadnom dijelu ove naslage su izdvojene kao dolomiti i dolomitični vapnenci. U središnjem dijelu područja debljina ovih naslaga je od 100 do 400 m i izgrađeni su od slojevitih i pločastih vapnenaca i dolomita.

U krajnjem jugoistočnom dijelu područja ovaj dio gornje jure izgrađuju uglavnom dolomitični vapnenci. U sjeveroistočnim dijelovima područja uglavnom su to vapnenci.

Kreda

Kredne naslage su zastupljene na najvećem dijelu slivnog područja. Donja kreda izdvojena je mjestimično u dvije razine (1K_1 i 2K_1) čija je ukupna debljina i do 1000 m. Najniže razine u sebi sadrže nešto dolomita, inače su u cjelini izgrađeni od masivnih i bankovitih vapnenaca.

U središnjem dijelu područja su debljine oko 250 do 350 m i uglavnom su to debelo slojeviti, bankoviti i masivni vapnenci. U krajnjem jugoistočnom dijelu područja nije jasno razgraničena jura i donja kreda te su izdvojeni prijelazni slojevi (J,K) debljine oko 200 m i izgrađeni su isključivo od dolomita i dolomitičnih vapnenaca. Tu je donja kreda izdvojena kao slojevi bankovitih i pločastih vapnenaca u izmjeni s dolomitima ukupne debljine oko 800 m.

Gornja kreda izdvojena je kao turon ($K_2^{1,2}$) i senon ($K_2^{2,3}$). Prijelaz između donje i gornje krede izdvojeni su slojevi dolomita i dolomitičnih vapnenaca s vapnencima u izmjeni ukupne debljine oko 450 m. u krajnjem sjeverozapadnom dijelu područja. U središnjem dijelu područja to si svijetlosmeđi i bijeli masivni vapnenci debljine serije od 200 do 370 m. U krajnjem jugoistočnom dijelu granica između donje i gornje krede je jasno utvrđena. Tu su gornje kredne naslage izgrađene su od vapnenaca i dolomita u izmjeni.

Naslage turona ($K_2^{1,2}$) su u sjeverozapadnom dijelu istraživanog područja izdvojeni kao vapnenci i dolomiti i dolomitični vapnenci u izmjeni, debljine oko 500 m. U središnjem dijelu turon je uglavnom

predstavljen bankovitim vapnencima s proslojcima dolomita debljine serije od 600 do 800 m. U krajnjem jugoistočnom bloku turon je izdvojen kao 800 m debela serija vapnenaca i dolomita u izmjeni.

U krajnjem sjeveroistočnom i sjeverozapadnom dijelu istraživačkog područja istočno od Gatačkog polja i jugozapadno od tzv. „Durmitorske dislokacije“ gornja kreda je izdvojena kao flišna serija izgrađena od vapnenaca, konglomerata, breča i laporovitih vapnenaca ukupne debljine veće od 900 m.

Senon je u najvišim razinama (K_2^3) u zapadnom i sjeverozapadnom dijelu područja izgrađen od uslojenih, bankovitih i masivnih vapnenaca. Ukupna debljina senonskih naslaga je oko 800 m. U središnjem dijelu područja debljina senona je oko 350 m i izgrađen je od bankovitih i masivnih vapnenaca. U jugoistočnom bloku senon je izgrađen od bankovitih vapnenaca s proslojcima dolomita ukupne debljine serije oko 300 m.

Paleogen

Sedimenti paleogena su razvijeni u većem dijelu Adrijatika (tektonski blok jugozapadno od velike navlake „visoki keš“), od ušća Neretve pa do Sutorina i Bokokotorskog zaljeva. Unutar područja Visokog krša nalazimo ih u području od Bađule do Gradca i Hotanj Hutovskog, te u području jugoistočno od Metkovića. Izdvojene su liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i fliš.

Liburnijske naslage (PcE_1) nalaze se u obliku užih pojaseva između foraminiferskih vapnenaca i krednih naslaga na kojima leže transgresivno. Kontakt prema podlozi često je markiran boksitičnim materijalom, a najstariji dio mjestimično čine breče ili brečasti vapnenci.

Debljina im se kreće do 250 m, a vodopropusnost im je vezana za svojstvo vapnenačke podine (kreda) i krovine, dakle u cjelini su određene kao propusne naslage.

Foraminiferski vapnenci, $E_{1,2}$ pripadaju istaloženom slijedu liburnijskih slojeva. Kontinuirano su istaloženi kao foraminiferski vapnenci. Tamo gdje nedostaju liburnijski slojevi, foraminiferski vapnenci leže transgresivno na gornjokrednim naslagama.

U području Konavla i Dubrovnika ovi vapnenci su pločasti do bankoviti. Debljina im je ovdje znatno manja nego u sjeverozapadnom dijelu terena gdje dosežu debljinu i do 300 m.

Na čitavom području foraminiferski vapnenci su određeni kao dobro propusne naslage.

Klastične naslage (fliš - $E_{2,3}$) nalaze se pretežno unutar područja Adrijatika, najčešće u jednoj uskoj i mjestimično prekinutoj zoni, uz reversne rasjede, a posebno uz veliku dislokaciju koja dijeli tektonsku jedinicu Visokog krša od Adrijatika.

Ove naslage izgrađuju različiti litološki elementi, među kojima dominiraju pješčenjaci, lapori i laporoviti vapnenci, a zatim breče, konglomerati i lokalno ulošci glinovitog materijala. Krupnozrnati klastični

elementi nešto su više zastupljeni u području Konavla i Dubrovnika. Uslojenost je kod pješčenjaka, lapora i vapnenaca dobro izražena, dok je kod ostalih litoloških članova znatno slabija ili potpuno neizražena.

Obzirom da je znatan dio ovih naslaga erodiran, njihova debljina je vrlo različita. U sjeverozapadnom dijelu područja ne prelazi debljinu od 250 m, dok je u području Konavla znatno veća, što bi se moglo protumačiti izoklinalnim nabiranjem naslaga.

U cjelini naslage fliša su nepropusne. Zbog različitih litoloških članova, tektonske razlomljenosti i različitih hidrogeoloških svojstava, karbonatni elementi su u znatnoj mjeri propusni te služe kao kolektori podzemnih voda koje izvire najčešće na kontaktu s nepropusnim elementima fliša (područje Konavla).

Zavisno o debljini, položaju u strukturnoj građi i hipsometrijskom položaju flišne naslage mogu imati funkciju potpune barijere (Konavle, Župa, Dubrovačka rijeka) do nepotpune ili viseće barijere (Smokovljani, Stupa, zaleđe Neuma, Slivno-Ravno).

Kvartar (Q)

Kvartarne naslage u priobalnom području su osobito dobro razvijene u dolini Neretve, u Konavoskom polju, u polju kod Župe, te širem području Rijeke Dubrovačke. U Unutarnjem dijelu sliva pokrivaju krška polja ili se javljaju kao padinske naslage i sipari na padinama brdskih masiva. Različite su debljine i uglavnom se kreću od 10 do 20 m. Uglavnom su to aluvijalne, deluvijalne i fluvioglacialne naslage. Prema poroznosti pripadaju skupini dobro do srednje propusnih naslaga (al) ili srednje do slabo propusnih naslaga (d).

5.2. Strukturno tektonske značajke

Područje istraživanja je vrlo složene tektonske građe. Prema tektonskim odnosima na istraživačkom području je izdvojene su: Adrijatik, Cukali zona i navlaka Visokog krša (kao dio Dinarika).

Osnovna karakteristika ovih jedinica je visok stupanj tektonske poremećenosti, sa intenzivnim boranjem, lomljenjem i rasjedanjem.

Adrijatik

Obuhvaća priobalni pojas do čela navlake Visokog krša, izgrađen je od vapnenaca i dolomita krede i vapnenaca i fliša eocena. Uzduž kontakta sa navlakom Visokog krša i navlakom Cukali zone

(Konavle) eocenski fliš (a ponegdje foraminiferski vapnenci, pa čak i kredni vapnenci) podvlače se pod naslage spomenutih tektonskih jedinica.

Jedno od osnovnih strukturnih obilježja ove tektonske jedinice su bore i rasjedi reversnog karaktera sa pružanjem sjeverozapad-jugoistok. U području Konavla razvijen je izoklinalno boran fliš, posebnih litofacijelnih značajki, dok su reversni rasjedi slabije zastupljeni. Područje Dubrovnik-Slano predstavlja uski priobalni pojas, koji zbog skoro neprekinute zone fliša u ulozi barijere duž kontakta sa navlakom Visokog krša ima funkciju potpune barijere (Konavle, Župa, Dubrovačka rijeka, Zaton) do nepotpune (višeće) u sjeverozapadnom dijelu terena (npr. SZ od Slanog).

Određeni hidrogeološki značaj imaju veći poprečni i dijagonalni rasjedi koji su poremetili cjelovitost navlačnog kontakta i time uz povoljan hipsometrijski položaj kontakta uvjetovali pojavu vrlo jakih vrela (npr. Ljuta, Ombla i dr.).

Cukali zona

Zbog vrlo složene tektonske građe i značajnih hidrogeoloških karakteristika, Cukali zona je registrirana u području Dunave - Dubravka istočno od Vodovađa, te se proteže dalje prema jugoistoku u područje Bokokotorskog zaljeva.

Naslage ove navlake karakterizira ljuskava građa i tektonska reduciranost. Na čelu navlake nalaze se gornjokredne vapnenačke breče, koje leže preko eocenskog fliša Konavla i Sutorina. Stanovitu tektonsku složenost u području Cukali zone uzrokovao je dijagonalni tzv. Zubački rasjed koji je u znatnoj mjeri komplicirao i hidrogeološke odnose u ovom području.

Navlaka visokog krša

Ova se jedinica prostire sjeveroistočno od čela navlake Visokog krša. Čitav kompleks sedimenata Visokog krša navučen je na Adrijatik, a u istočnom dijelu Konavala i na Cukali zonu, najčešće s trijaskim dolomitima na čelu. U jugoistočnom dijelu terena neki autori navode podatak o nagibu plohe navlačenja oko 30°, a hod i preko 10 km. U području čela navlake Visokog krša postoji niz poprečnih rasjeda različite veličine čime se objašnjava različita veličina navlačenja i redukcija pojedinih stratigrafskih članova na čelu navlake.

Ovu navlaku izgrađuju trijaskе, jurske, kredne i paleogenske naslage.

Na osnovi strukturnih oblika i njihovih deformacija razlikujemo u okviru navlake Visokog krša, nekoliko tektonskih podjedinica koje su međusobno odvojene poprečnim i dijagonalnim rasjedima.

Među njima je znakovit Slivnički rasjed koji se pruža od Plata do Popovog polja i presijeca poprečno čelo navlake Visokog krša i Adrijatik.

Značajni su rasjedi koji se od Slanog pružaju okomito (Slano-Zavala) i dijagonalno (Slano-Crnoglava i Žab-Trsteno) prema zaleđu.

Osim tektonskog, veliko je hidrogeološko značenje ovih rasjeda, jer oni najčešće predstavljaju drenove duž kojih se podzemne vode koncentrirano kreću iz prostranog karbonatnog krškog zaleđa prema priobalnom pojasu i erozivnoj bazi.

Trijaski dolomiti sa flišom Cukali zone i Adrijatika čine sigurnu barijeru za podzemne vode koje teku prema jugu, pa su one prisiljene teći pretežno prema jugoistoku.

Pružanje struktura je u osnovi SZ-JI, uz stanovita odstupanja u zoni spomenutih rasjeda. U perifernom dijelu terena konstatirane su prevrnute bore.

Sjeverno od Gradca razvijena je antiklinala Žaba koja je mjestimično prevrnutu. Pruža se od doline Neretve, prema jugoistoku do Ravna u Popovom polju. Unutar ove tektonske jedinice dobro su razvijeni tokovi podzemne vode paralelni s pružanjem struktura, što se manifestira brojnim izvorima uz rub doline Neretve.

6. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

6.1. Hidrogeološke jedinice

U hidrogeološkoj raščlambi stjenovitih masa izdvojene su šest hidrogeoloških jedinica koje se međusobno razlikuju po tipu poroznosti, provodnosti te kolektorskim značajkama i izdašnosti (Prilozi 1a do 1d).

Izdvojene su:

- Stijene međuzrne poroznosti i vrlo dobre izdašnosti kojima pripadaju kvartarne nevezane i slabo vezane naslage šljunka i pijeska prekrivenih zaglinjenim karbonatnim prahom, te konglomerati i siparišni materijal. To su pokrovne naslage Popovog Polja, dolina Dubrovačke rijeke i aluvijalne naslage u području Kupara. Samo Popovo Polje je prekriveno kvartarnim aluvijalnim pokrivačem čija se debljina povećava u pravcu nagiba polja. Između Zavale i Ravnog debljina aluvijalnog pokrivača je oko 10 m, a u krajnjem nizvodnom dijelu, u području ponora Ponikve debljina doseže i do 25 m. Gdje podinu šljunkovitim naslagama obično čine slabo propusne glinovite naslage.

U području Zavala – Ravno u ukupnoj masi ovih aluvijalnih naslaga prevladava šljunak.

- Stijene međuzrne poroznosti i osrednje izdašnosti kojim pripadaju kvartarne nevezane ili slabo vezane klastične naslage, fluvijalnoglacijalne naslage, karbonatno kršje s crvenicom, deluvij, glacijalni i fluvioglacijalni materijal. Nalaze se na više mjesta istraživačkog područja gdje najčešće popunjavaju depresije velikih vrtača i krških uvala i označene su kao kvartarni nanos (Q).
- Stijene kavernozno pukotinske poroznosti, vrlo dobre izdašnosti. U sklopu trena imaju funkciju krškog kolektora s relativno dubokom bazom okršavanja i velikim brzinama podzemnog tečenja duž primarnih pravca tečenja u zoni srednjih, velikih i regionalnih rasjeda. Pripadaju im vapnenci, rjeđe vapnenačke breče s rjeđim lećama i proslojcima dolomita. Uglavnom su to jurski, kredni i paleogeni vapnenci. Zauzimaju najveći dio istraživačkog prostora.



Slika 11. Intenzivna okršenost jurskih vapnenaca na površini terena

- Stijene u kojim prevladava pukotinska poroznost, a pojava kaverni vezana je uglavnom samo za velike rasjede, osrednje su izdašnosti i u sklopu terena imaju funkciju hidrogeološkog kolektora. Pripadaju im čvrste karbonatne stijene izgrađene od vapnenaca i dolomita u izmjeni. Tu pripadaju i laporoviti vapnenci, brečasti i pločasti vapnenci koji se mjestimično pojavljuju. Uglavnom su to jurske i kredne naslage dolomita i vapnenaca u izmjeni. Na površini se pojavljuju u vidu izduženih i isprekidanih zona. Zbog litoloških čestih promjena nisu uvijek kontinuirano rasprostranjeni i u podzemlju.
- Stijene sa slabom do srednje razvijenom pukotinskom poroznošću. Pojava kaverni vezana je samo za rijetke zone uz vrlo velike rasjede, u sklopu terena predstavljaju djelomično raskinutu hidrogeološku bočnu barijeru. Pripadaju im stijene izgrađene od dolomita, te dolomita i vapnenca u izmjeni. Poglavitito su trijaski dolomiti uz čelo navlake te mjestimično dolomiti i proslojci dolomita jure i krede.
- Stijene prevladavajuće pukotinske poroznosti. U sklopu terena su slabo do srednje vodonepropusne i mjestimično predstavljaju djelomičnu bočnu hidrogeološku barijeru. To su različite stijene u izmjeni: lapori, pješčenjaci, laporoviti vapnenci, mjestimično konglomerati i breče. Uglavnom su to flišne naslage koje se nalaze duž čela navlačenja u obalnom području i na njegovom krajnjem sjeveroistočnom dijelu.



Slika 12. Pojava dolomita u gornje jurskim vapnenačkim naslagama



Slika 13. Pojava većih kaverni u dolomitima gornje jure (usjek puta u izgradnji)



Slika 14. Kaverna od više desetaka metara u trijaskim dolomitima, snimljeno u potkopima cca 400 m ispod površine terena (istraživački potkopi za HE Ombla)

6.2. Podzemne veze i brzine cirkulacije

Bitan istraživački postupak kojim se utvrđuje brzina cirkulacije podzemne vode u kršu je bojenje podzemnih tokova. U slivovima vrela Dubrovačkog primorja i Neretve obavljen je veliki broj trasiranja podzemnih voda. Neki od njih su ponavljani da bi se utvrdile brzine tečenja u različitim hidrološkim uvjetima, odnosno pri različitim nivoima podzemne vode. Zbog značaja ovih podataka pri izdvajanju zona sanitarne zaštite, u tablici br. 5. dan je pregled osnovnih podataka o značajnijih trasiranja (6).

Tablica 5

BR.	Mjesto unosa trasera i kota (m)	Poniranje Q (m ³ /s)	datum	Mjesto pojave trasera i kota (m)	Rastojanje km	Prividna brzina (km/dan)
1.	Babica vrelo-Zalomka 895		26.05.1973	Ovciji brod, 838	5,7	1,21
2.	Biograd-Nevesinje 799	80	05.01.1963	Bunica, 37	20	29,1
3.	Bobotovo groblje 970	0,15	26.05.1964	Piva, 604	16,4	0,47
4.	Bravonik Zubci 800	0,03	03.12.1971	Konavoska Ljuta, 90	10	0,46
5.	Brljuske-Zalomka 885	0,001	17.05.1973	Ovciji brod, 838	4,8	1,49
6.	Budosi 487	0,012	01.03.1956	Stara Mlinica, 310	3,2	1,12
7.	Bitomislje Cesljari Popovo Polje	0,2	01.02.1972	Janaska(vrelo), Zagorje-Slano		085

BR.	Mjesto unosa trasera i kota (m)	Poniranje Q (m ³ /s)	datum	Mjesto pojave trasera i kota (m)	Rastojanje km	Prividna brzina (km/dan)
8.	Ponor "C" Fatnicko polje	Pasamica H=8m	02.04.1964	Veliki Suhavic, 195, Vrela Trebisnjice, 325	22,4 17,8	6,17 7,12
9.	Crnulja, Popovo polje	1	07.03.1970	Ljubanovo Vrelo, Svitava, +3	12,4	3,06
10.	Dobreljska pecina Gaeko, 880	0,075	15.04.1963	Piva Vrelo, 604	18,1	1,03
11.	Doljasnica Popovo Polje	23	05.05.1926	Svitava +3	11,7	6,65
12.	Doljasnica Popovo Polje 29	45	01.06.1960	Svitava +3 Crni vir +3	11,7 18,3	6,96 6,94
13.	Estavela br.4 Fatnicko polje 470	Pasamica H=8,09	17.12.1963	Veliki Suhavic, 195 Bitunja, 130 Vrela Trebisnjice, 325 Capelica, 324	22,2 24,3 18,0 20,7	3,97 1,50 1,37 0,86
14.	Geljov most, Mokro polje 273	0,08	16.08.1956	Ombla, Dubrovnik, +2,5	16,5	1,80
15.	Gradina, Dobro polje, Gacko, 930	0,1	31.03.1975	Obod, Fatnicko polje, 476 Baba jama	21 21,4	7,75 6,67
16.	Gradina, Trebinje, 272	0,3	22.09.1959	Ombla, Dubrovnik, +2,5	18	2,46
17.	Jasovica, Cernicko polje, 810	0,5	21.02.1964	Vrela Trebisnjice, 325 Obod, 476	25,6 19,8	7,04 5,28
18.	Kaludjerov ponor, Popovo polje, 250		27.04.1970	Glusci, Neretva, +1,5	14,6	0,57
19.	Ključki Ponor, Cernica, 818		29.11.1961	Vrela Trebisnjice, 325 Obod, 476	14 25,6	9,74 10,87
20.	Kocela, r. Trebisnjica, 262	~1	28.02.1972	Ombla, Dubrovnik, +2,5	11,3	1,71
21.	Krupac, Trusina, 1070	0,03	23.02.1972	Bunica, 37	19,3	3,46
22.	Kutske jame, Dabarsko polje, 472		27.03.1956	Veliki Suhavic, 195 Bitunja, 130	18,3 20,35	3,69 3,4
23.	Lisac, Popovo polje, 223	Dobri do	09.05			
24.	Lukovice, Gacko, Nadinici 955	0,02	26.01.1972	Obod i Baba Fatnicko polje 476	20,5	1,12
25.	Medjine, Gradac, 70	0,02	02.12.1970	Mliniste, Neretve, +2	8,9	1,89
26.	Mlinica, Lukovacko polje, 852	0,07	18.05.1961	Vrijeka i Susica, 475	5	1,28
27.	Mlin Bandera, Popovo polje, 238	0,3	22.04.1969	Londja, Svitava, +3 Janska vrulja, -10		
28.	Poljice, Mlinica, Popovo polje, 244	0,5	25.02.1952	Ombla, Dubrovnik, +2,5	18	5,79
29.	Parez, Miruse 306	0,03	09.09.1955	Oko, uzvodno od Gracareva, 299	1,4	0,95
30.	Ponikva, Dabar, 471	Lijevo=0,12 desno=0,6	15.11.1955	V. Suhavic, 195 Bitunja, 130	16,9 15,7	6,73 9,16
31.	Ponikva, Dabar, 471		14.05.1955	Bitunja, 130	15,7	0,50
32.	Provalija, Popovo polje (prvo bojenje), 225	Dobri do H=7	20.06.1958	Doli Slano, Bistrina 0,00 Derane-Londza, +3	16,6 15,6	1,3 1,51
33.	Pasmica, Fatnicko polje, 462	H=9,22	27.02.1958	Vrela Trebisnjice, 325 Capelica, 324	15,8 18,2	11,32 11,65

BR.	Mjesto unosa trasera i kota (m)	Poniranje Q (m ³ /s)	datum	Mjesto pojave trasera i kota (m)	Rastojanje km	Prividna brzina (km/dan)
34.	Provalija, Popovo polje (drugo bojenje), 225	H=19,20	23.03.1962	Morasina(Ston), Bistrina, Budima, Janska +/-0,00		
35.	Ponikva, Popovo polje, 207	3	16.02.1969	Glusci, Neretva, +2,5	16	4,16
36.	Ponikva, Popovo polje, 207	3	20.02.1962	Mislina, Neretva, +2 Bili Vir, Neretva +2	20 16	2,07 4,32
37.	Pridvorci, Trebisnjica, 273	0,52	29.07.1956	Ombla, Dubrovnik, +2,5	16,25	2,76
38.	Pridvorci, Trebisnjica, 273	H=1,25	28.03.196?	Ombla, Dubrovnik,+2,5 Zavrelje, 100	16,25 12,7	5,57 4,99
39.	Prisoje, Rilja, 890	0,1	21.05.1974	Ovciji brod, 838	4,85	1,68
40.	Slivnica, 410	0,01	03.12.1972	Zavrelje, Mlini, 100	4,9	1,05
41.	Srdjevici, Gacko, 940	0,2	23.07.1956	Vilina Pecina, Cernica, 835	8,25	0,55
42.	Srdjevici, Gacko, 940	1	31.08.1958	Vrela Trebisnjice, 325	33,65	0,98
43.	Srdjevici Gacko, 950	60	19.10.1964	Vrela Trebisnjice, 325 Obod Fatnickog polja, 476	33,65 19,4	6,51 4,95
44.	Strupici, Dabarsko polje, ~500	0,01	26.11.1972	Veliki Suhavic, 195, Bitunja, 130	10,4 12,2	1,56 1,64
45.	Slatopolje, Mlinica, 1000	0,02	27.05.1961	Zavidolka, jama kod Mlin. 845 Brusac, Zavidolka, 841	4,84 6,20	0,82 0,79
46.	Sukovici, Cernica, 810	0,05	26.03.1965	Obod,Fatnicko polje, 476 Vrela Trebisnjice	15,4 24,6	0,76 5,79
47.	Trap, Mokro polje, 275	0,02	02.02.1972	Plat I, 0,00 Robinzon, 1,00	11	4,06
48.	Sabanov ponor, Malo Gatacko polje, 924	H=3,40	22.11.1962	Obod, 476 Pb-1, 490 Vrela trebisnjice, 325	16 18 27,1	11,06 5,18 9,50
49.	Trnje, Mokro polje, 270		25.02.1957	Robinzon, 1,0	10,7	2,72
50.	Velja medja, Popovo polje, 232	0,3	22.04.1973	Der. Londza, +4,00 Janska, Vrulja, -5,00	14,8 17,1	
51.	Vratlo, Vala, 295	0,2	01.02.1973	Janska, 0,00	10,7	0,78
52.	Zlatac, Nevesinjsko polje, 828	Srednji vodostaj	28.03.1965	Bune, 37	21	3,80
53.	Zdrebanik , Nevesinje, Zalomka, 835	0,04	01.04.1969	Vrelo Bune, 37	27,2	3,40
54.	Zdrebanik,Nevesinje Zalomka, 835	0,003	08.10.1969	Vrelo Bune,37	27,2	2,59
55.	Zira, Popovo polje, 227		07.04.1970	Bili Vir, Neretva, +1,5	18,5	5,03
56.	Zdrijelo, Nevesinje, 825	0,23	04.12.1961	Vrelo Bune, 37	16,5	5,24
57.	Zdrijelovici, Ljubomir, 500	0,5	09.11.1960	Tucevac, Trebinje, 226	12,05	9,04
58.	Estavela kod V. Pecine, Fatnicko polje, 472	0,004	20.11.1957	V.Suhavic, 195 Bitunja, 130 Vrela Trebisnjice,325	21,70 24,00 18,50	7,85 5,88

BR.	Mjesto unosa trasera i kota (m)	Poniranje Q (m ³ /s)	datum	Mjesto pojave trasera i kota (m)	Rastojanje km	Prividna brzina (km/dan)
59.	Konac, Ljubinje, 408	0,5	22.12.1960	Popovo polje, Strujici, Meginja	7,85	0,29
60.	Z-1, Ziljevi, Nevesinje, 866	0,003	03.03.1964	Vrelo Bune, 37	21,6	2,71
61.	BR-1, Bregava, 98	0,0035	11.08.1975	Derane, Drijen, +4	15,9	0,66
62.	O-6, bus. Zaledje Omble, 275	Upump. 5m ³ vode	07.03.1986	Vrelo Omble, +2,5	4,2	1,21
63.	Cetanus, Zavidolka, 836	0,02	18.05.1979	Vrelo Bune, 37	27	3,89
64.	Ljeskovik, Zalomka, 824	0,01	20.10.1988	Vrelo Bune, 38	25,5	2,33
65.	Moraj Luke, Zalomka, 909	0,005 upumpan	17.01.1978	Zalomka, Rilja, Ovciji brod, Zalomka, Luke	2,15 5,95 2,5	2,98 1,57 2,36
66.	Kozjar, Gacko, Dobro polje, 948	0,015	17.05.1976	Jezerina, Nadanici	1,8	1,06
67.	Milino Prisoje, Sume, Nadanici, 949	0,05	28.04.1972	Jezerina, Nadanici, Zavidolka, Vrelo Bune	1,2 17,9 45,5	2,13 0,95 1,92
68.	Obod, Fatnicko polje, 476	?	1962	Dejanova pecina, Nicksicka vrela, Oko	18,2 18,4 18,3	
69.	G.Zijemlje, Hansko polje oko 850		14.10.1975	Buna, Potoci, Livcina (Bijelo polje)		

7. SLIVОВИ

Razvodnice na području istraživačkog područja su približno određene na temelju rezultata izvedenih mnogobrojnih trasiranja podzemnih voda, odnosa hidrogeoloških jedinica i strukturno tektonskih karakteristika.

Osnovna značajka slivova na ovom području da se podzemne i površinske vode prelijevaju iz viših u niže horizonta prema morskoj obali i rijeci Neretvi.

Najveći broj krških vrela na koje dotječu podzemne vode iz navedenih slivova imaju sifonski karakter. Dubina sifona se kreće od 140 do 25 m ispod razine pojave vrela.

Razvodnice – vododijelnice u kršu se bitno razlikuju od razvodnica u neokršenim područjima. U kršu one mogu biti na površini terena i da pri tomu nemaju nikakve veze s topografskim razvodnicama. Obično odgovaraju kontaktu okršenih, slabije propusnih i nepropusnih hidrogeoloških jedinica. U većini slučajeva ona je podzemna i rezultat je strukturno tektonskih, litoliških i razlomnih odnosa. Generalno promatrajući sliv većih vrela se najčešće sastoji od dva ili više podslivova čiji oblik i površina u velikoj mjeri zavisi od hidroloških razdoblja.

Iz tog razloga razvodnice u kršu se smatraju približnim i prognozirane su za razdoblje velikih voda.

Dosadašnjim vrlo obimnim istraživanjima na području Istočne Hercegovine približno su izdvojeni slivovi: rijeke Trebišnjice, sliv vrela Svitavske i Deranjske močvare, vrela Bregave, vrela Bune i Bunice.

Istočnoj Hercegovini također pripadaju i slivovi vrela koji imaju posrednu vezu s slivom rijeke Trebišnjice duž Dubrovačkog primorja, osim vrela Konavoska Ljuta i Palata u Zatonu Malom, te sliv vrela Kuti koji imaju zasebne slivove (Prilozi 2 i 3).

7.1. Slivno područje rijeke Trebišnjice

U okviru sliva rijeke Trebišnjice su razmatrani slivovi:

- Vrela Trebišnjice;
- Međusliv od vrela Trebišnjice do Gorice s podslivom toka Sušice, vrela Oko i Stare mlinice, te
- Sliv Trebišnjice nizvodno od Gorice, odnosno neposredni sliv Popovog polja i Mokrog polja.

7.1.1. Slivno područje vrela rijeke Trebišnjice – Bilećka vrela

Vrela Trebišnjice (Bilećka vrela) čine tri vrela:

- povremena Vrela Čepelice (324 m n m);
- vrelo "Oko" koje se nalazi oko 200 m nizvodno od Dejanove pećine (pećina, 327 m n m) i
- Nikšička vrela (325 m n m)

Pojavu ovih vrela uvjetovala je dolomitska jezgra Lastvanske antiklinale koja je u sklopu ovog terena ima funkciju bočne hidrogeološke barijere. Vrela Trebišnjice - Bilećka vrela se pojavljuju u vapnencima gornje krede. Vrelo se pojavljuje iz vrela Oko 200 m nizvodno od Dejanove pećine ispod grada Bileća, zatim Nikšičko vrelo na lijevoj obali cca 400 m nizvodnije od Dejanove pećine i povremena vrela Čepelica ispod Mirilovića. Ovom razbijenom i potopljenom vrelu svakako pripadaju pojedinačna vrela:

Lersko oko, stalno gravitaciono vrelo nalazi se na desnoj obali rijeke Trebišnjice

Vrelo Čepo je povremeno vrelo i predstavlja najjači izvor lijevog izvorišnog kraja Čepelice. Ono izbija iz pećine i najvjerojatnije funkcioniše u sklopu izvora Trebišnjice.

Potprisoje, povremeno gravitaciono vrelo, nalazi se u sjeverozapadnom dijelu akumulacionog bazena Miruše u dijelu Čepelice.

Vrelina, s nizvodnim stalnim vrelima Studenci, čini izvorište desnog kraja Čepelice.

Formiranjem akumulacije Bileća ova su vrela potopljena.

Rekonstrukcija granica slivnog područja vrela Trebišnjice je dana na temelju rezultata obavljenih brojnih trasiranja podzemnih voda, odnosa hidrogeoloških jedinica i naročito strukturno tektonskih odnosa.

Slivu Vrela Trebišnjice pripada dio masiva Viduše koji se nalazi zapadno od ovih vrela. U ovom dijelu terena se razvodnica pruža u pravcu sjeverozapada duž Ruda planine do Radimlja, obuhvaća samo manji istočni dio masiva Sitnica i pruža se prema središnjem dijelu Fatničkog polja. (na karti slivova označeno kao "C").

Slivnom području ovih vrela pripada veliko područje sjeverno i sjeveroistočno od Fatničkog polja kojem pripada Gatačko polje i područja sjeverno i sjeveroistočno od Gatačkog polja na kojem prevladavaju površinska otjecanja. To su krajnji jugoistočni dijelovi masiva Vučevo i jugozapadni dijelovi Lebišnika.

Razvodnica sa sjeverne i sjeveroistočne strane je djelomično morfološka u krednim flišnim naslagama i dolomitima i kao hidrogeološka duž kontakta slabo okršenih dolomita i okršenih vapnenaca. Na krajnjem sjeveru i sjeveroistoku razvodnica je morfološka sve do Lukovica.



Slika 15. Slivovi vrela Trebišnjice i vrela Bregave (8)

7.1.1.1 Pravci podzemnog tečenja

Na formiranje drenažnih pravaca u ovom području presudnu ulogu ima vrlo zamršeni sustav velikih rasjeda približnog pružanja u pravcu sjever – jug, te rasjeda koji se pružaju u pravcu sjeveroistok – jugozapad prema Cerkniaškom polju.

Vrlo značajan je i rasjed drugog sistema koji povezuje područje poniranja sa tektonskom dislokacijom Gradina – Lukavica - Srđevići. Ovaj rasjed ima ulogu primarne drenažne zone. Na satelitskim, a pogotovo avionskim snimcima ove rasjedne zone se jasno uočavaju. Tektonska zona, koja se od ovog čvorišta pruža prema vrelima Trebišnjice, popraćena je nizom vrtača od kojih su pojedine duboko i preko 100 m. Vrtače su međusobno povezane sa širokim sustavom lomova.

Opisani tektonski sustav je omogućio formiranje vrlo dugačkog kontinuiranog podzemnog toka od Srđevića u Gatačkom polju, a završava se na Bilečkim vrelima.

Najintenzivnija cirkulacija podzemnih voda je u razdoblju visokih podzemnih voda. Zračna udaljenost između ova dva mjesta je 34 km, a obilježeni val ga prevali za pet dana. U sušnom razdoblju brzina podzemnog tečenja kroz isti sistem kanala je šest puta manja.

Obavljena trasiranja su pokazala da se kroz transportne sustave ostvaruje vrlo brza cirkulacija podzemnih voda koja se kreće u granicama od 0,3 do 12 km/dan, a najčešće između 5 -10 km/dan. Na temelju utvrđenih hidrogeoloških odnosa na području ovog podsliva moguća su tri dominantna podzemna toka (6 i 3):

- A. iz pravca Gradina – Srđevići – Cernica prema Fatničkom polju, te iz pravca zapadnog dijela Fatničkog polja prema vrelima Trebišnjice;
- B. Malo Gatačko polje (ponori Srđevići - Šabanov ponor) – ponorska zona istočnog dijela Gatačkog polja (Ljeljinački ponor do Bobotovog groblja i Dobre vode - Čarađe) prema vrelima Trebišnjice i
- C. sa šireg područja Somina – Zaljuta prema vrelima Trebišnjice.

Prema rezultatima trasiranja podzemnih voda u Fatničkom i Gatačkom polju, maksimalne prividne brzine podzemnog tečenja prema Bilećkim vrelima su u razdoblju velikih voda izuzetno velike i iznose nešto manje od 12 km/dan.

Registrirane podzemne veze koje su obavljene na širem području sliva vrela Trebišnjice prikazani su u narednoj tablici:

Tablica 6

BR.	Mjesto unosa trasera i kota (m)	Poniranje Q (m ³ /s)	datum	Mjesto pojave trasera i kota (m)	Rastojanje km	Prividna brzina (km/dan)
1.	Bobotovo groblje 970	0,15	26.05.1964	Piva, 604	16,4	0,47
2.	Dobreljska pecina Gacko, 880	0,075	15.04.1963	Piva Vrelo, 604	18,1	1,03
3.	Estavela br.4 Fatnicko polje 470	Pasamica H=8,09	17.12.1963	Veliki Suhavic, 195 Bitunja, 130 Vrela Trebisnjice, 325 Capelica, 324	22,2 24,3 18,0 20,7	3,97 1,50 1,37 0,86
4.	Gradina, Dobro polje, Gacko, 930	0,1	31.03.1975	Obod, Fatnicko polje, 476 Baba jama	21 21,4	7,75 6,67
5.	Jasovica, Cernicko polje, 810	0,5	21.02.1964	Vrela Trebisnjice, 325 Obod, 476	25,6 19,8	7,04 5,28
6.	Kljucki Ponor, Cernica, 818		29.11.1961	Vrela Trebisnjice, 325 Obod, 476	14 25,6	9,74 10,87
7.	Kocela, r. Trebisnjica, 262	~1	28.02.1972	Ombla, Dubrovnik, +2,5	11,3	1,71
8.	Lukovice, Gacko, Nadinici 955	0,02	26.01.1972	Obod i Baba Fatnicko polje 476	20,5	1,12
9.	Parez, Miruse 306	0,03	09.09.1955	Oko, uzvodno od Grancareva, 299	1,4	0,95

BR.	Mjesto unosa trasera i kota (m)	Poniranje Q (m ³ /s)	datum	Mjesto pojave trasera i kota (m)	Rastojanje km	Prividna brzina (km/dan)
10.	Ponikva, Dabar, 471		14.05.1955	Bitunja, 130	15,7	0,50
11.	Pasmica, Fatnicko polje, 462	H=9,22	27.02.1958	Vrela Trebisnjice, 325 Capelica, 324	15,8 18,2	11,32 11,65
12.	Slivnica, 410	0,01	03.12.1972	Zavrelje, Mlini, 100	4,9	1,05
13.	Srdjevici, Gacko, 940	0,2	23.07.1956	Vilina Pecina, Cernica, 835	8,25	0,55
14.	Srdjevici, Gacko, 940	1	31.08.1958	Vrela Trebisnjice, 325	33,65	0,98
15.	Srdjevici Gacko, 950	60	19.10.1964	Vrela Trebisnjice, 325 Obod Fatnickog polja, 476	33,65 19,4	6,51 4,95
16.	Strupici, Dabarsko polje, ~500	0,01	26.11.1972	Veliki Suhavic, 195, Bitunja, 130	10,4 12,2	1,56 1,64
17.	Slatopolje, Mlinica, 1000	0,02	27.05.1961	Zavidolka, jama kod Mlin. 845 Brusac, Zavidolka, 841	4,84 6,20	0,82 0,79
18.	Sukovici, Cernica, 810	0,05	26.03.1965	Obod, Fatnicko polje, 476 Vrela Trebisnjice	15,4 24,6	0,76 5,79
19.	Trap, Mokro polje, 275	0,02	02.02.1972	Plat I, 0,00 Robinzon, 1,00	11	4,06
20.	Sabanov ponor, Malo Gatacko polje, 924	H=3,40	22.11.1962	Obod, 476 Pb-1, 490 Vrela trebisnjice, 325	16 18 27,1	11,06 5,18 9,50
21.	Trnje, Mokro polje, 270		25.02.1957	Robinzon, 1,0	10,7	2,72
22.	Zdrijelovici, Ljubomir, 500	0,5	09.11.1960	Tucevac, Trebinje, 226	12,05	9,04
23.	Estavela kod V. Pecine, Fatnicko polje, 472	0,004	20.11.1957	V. Suhavic, 195 Bitunja, 130 Vrela Trebisnjice, 325	21,70 24,00 18,50	7,85 5,88
24.	Konac, Ljubinje, 408	0,5	22.12.1960	Popovo polje, Strujici, Meginja	7,85	0,29
25.	Obod, Fatnicko polje, 476	?	1962	Dejanova pecina, Niksicka vrela, Oko	18,2 18,4 18,3	

U istočnom dijelu slivnog područja je izdvojen podsliv Nikšičkog vrela. Sam naziv ovog podsliva je dan uvjetno iz razloga jer vrela Trebišnjice funkcioniraju kao spregnuti sustav.

Ovaj sliv je relativno slabije istražen i definiran je samo na temelju strukturno tektonskih, hidrogeoloških odnosa, a dijelom i geomorfološkom obradom intenziteta površinske okršenosti. Ovaj podsliv se od vrela Trebišnjice lepezasto širi prema istoku i sjeveroistoku. Sa južne strane razvodnica je približno pruža pravcem prema Riječanima – Đurđev dolu i samo približno odgovara kontaktu dolomitnih i vapnenačkih naslaga. Sa istočne strane od Đurđev dola prema Miroč dolu razvodnica približno odgovara širem pojasu od kojeg postoji promjena nagiba struktura u pravcu istoka i s druge strane prema zapadu.

Od Đurđev dola prema Bilećkim vrelima razvodnica približno prati granicu pojave dolomitnih naslaga sa okršanim vapnencima. Približna površina ovog podsliva iznosi od 250 do 300 km².

7.1.1.2 Dinamika podzemnih voda

Pod dinamikom podzemnih voda se za određeni sliv podrazumijevaju se uvjeti njihovog prihranjivanja, brzine podzemnog tečenja i bilanca podzemnih voda. Bilanca podzemnih voda je rezultat površine sliva, veličine oborina i koeficijenta otjecanja.

Uvjeti prihranjivanja

Prihranjivanje podzemnih voda sliva vrela Trebišnjice se odvija:

- infiltracijom ponirućih voda iz stalnih i povremenih tokova te
- neposrednom infiltracijom oborinskih voda.

U ukupnoj bilanci podzemnih voda vrela Trebišnjice na krajnjem sjevernom i sjeveroistočnom dijelu sliva sudjeluju dotoci rijeke Mušnice s pritokama Gračanica i Gojkovića potok (spominjan i kao Žarovića potok). Ukupna površina sliva Mušnice je oko 229 km².

Mušnicu formiraju tokovi Vrba, Ulinjski potok i Jasenički potok. Tok Mušnice ponire u ponorskoj zoni Malog Gatačkog polja od Srđevića do Šabanovog ponora. U razdoblju malih i srednjih voda jednini stalni tok koji u slivu vrela Trebišnjice ponire je tok Mušnice preko ponora u Malom Gatačkom polju. U tim razdobljima nema plavljenja polja te se u ukupnoj bilanci podzemnih voda za razdoblja malih i srednjih voda, uz srednje male i srednje oborine, sudjeluju mali i srednji protoci toka Mušnice.

Protoci Mušnice mjereni na M.S. Srđevići iznose približno (6):

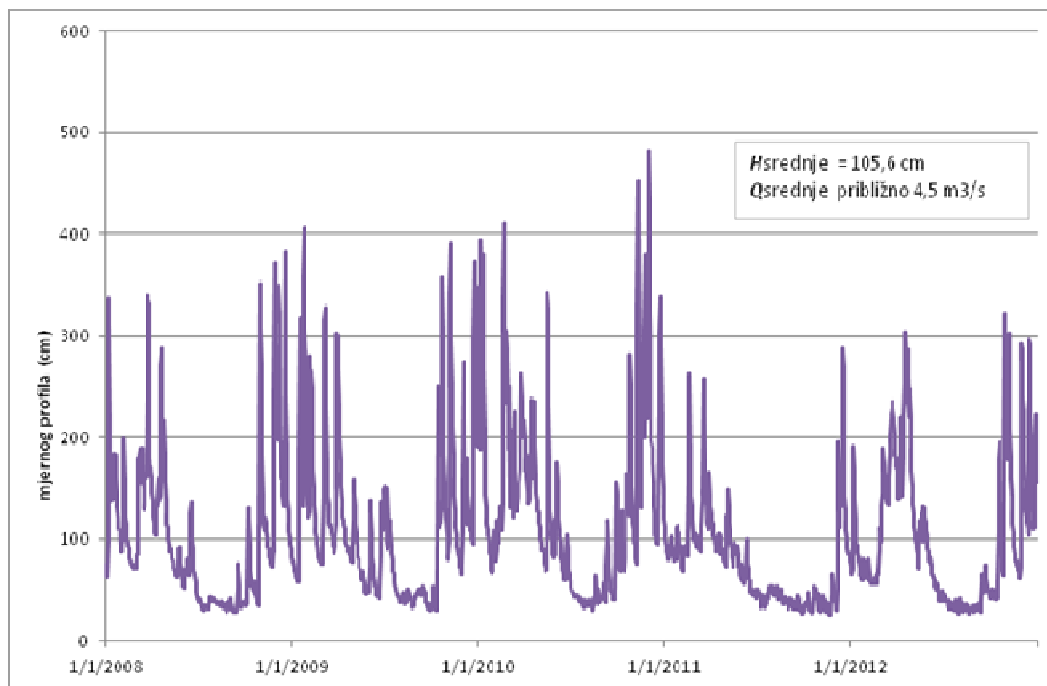
$$Q_{\max} \sim 600 \text{ m}^3/\text{s}^*,$$

$$Q_{\text{srednje}} \sim 4,5 \text{ m}^3/\text{s}^{**}$$

$$Q_{\min} = 0,13 \text{ m}^3/\text{s}^*$$

* Prema literaturnim podacima

** Prema mjerenim podacima 2008 - 2012 godine



Slika 16. Protoci Mušnice na v.s. Srđevići (19)

Za razdoblja velikih voda značajnu količinu prihranjivanja podzemnih voda je od poniranja poplavnih voda iz krških polja, odnosno Gatačkog, Cerničkog i Fatničkog polja. Procjena količina ponirućih voda iz ovih polja se može približno dati na temelju procjene ukupnog kapaciteta gutanja ponora u ovim poljima.

Kako su trasiranja podzemne vode pokazala da plavljene vode Malog Gatačkog polja se prelijevaju u Cerničko polje, procijenjene količine od 15 do 50 m³/s ovog polja se mogu smatrati sastavnim količinama ulaza iz Malog Gatačkog polja.

Ukupan kapacitet gutanja ponora Malog Gatačkog polja vezani su za visinu vodnog stupa plavljenja. Maksimalne vrijednosti su prema mjernim podacima prikazani na grafikonu u slici maksimalno iznose oko 160 m³/s.

Prema navedenim podacima prihranjivanje podzemnih voda preko ponora u Gatačkom polju bi se za razdoblje vrlo velikih vode (plavljenje) trebali očekivati ulazne količine od

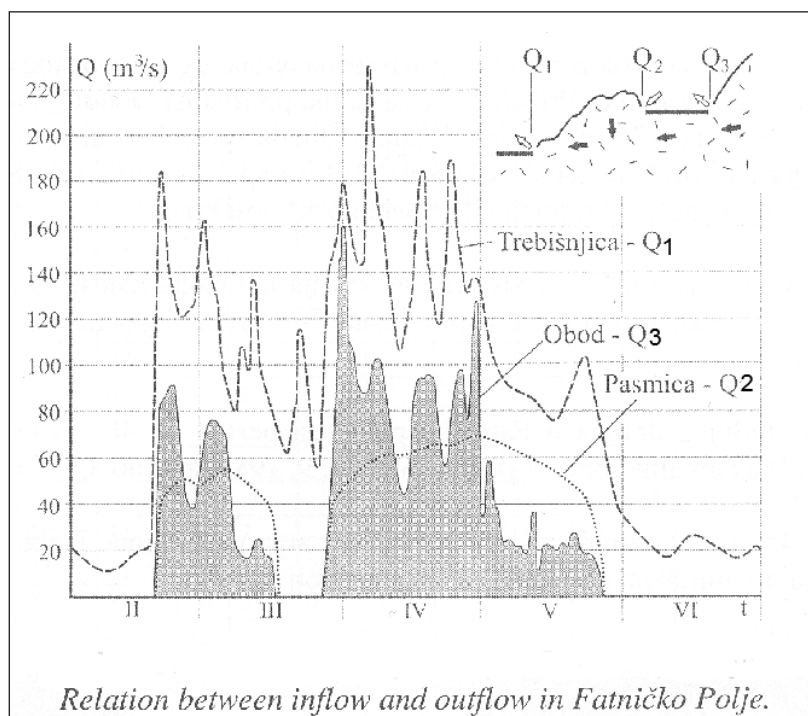
$$Q_{\text{inf. max.}} \sim 160 \text{ m}^3/\text{s}.$$

U bilanci podzemnih voda vrela Trebišnjice sudjeluju u znatnoj količini vode iz pravca Fatničkog polja. Infiltracijske količine su u razdoblju velikih voda su vode plavljenja, a u razdoblju srednjih voda

infiltracijskim količinama odgovaraju poniruće vode srednjih dotoka iz povremenih vrela duž sjeveroistočnog oboda polja. Srednji višegodišnji protok u tom razdoblju iznosi $9,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

U vrijeme vrlo čestih i znatnih plavljenja ovog polja, preko ponora u podzemlje prema vrelima Trebišnjice otječu dosta velike količine podzemnih voda. Prema rezultatima mjerenja i procjene, kapacitet gutanja ponora duž jugozapadnog oboda polja iznosi i do $120 \text{ m}^3/\text{s}$, kako je to prikazano na krivulji Q/H. sl.

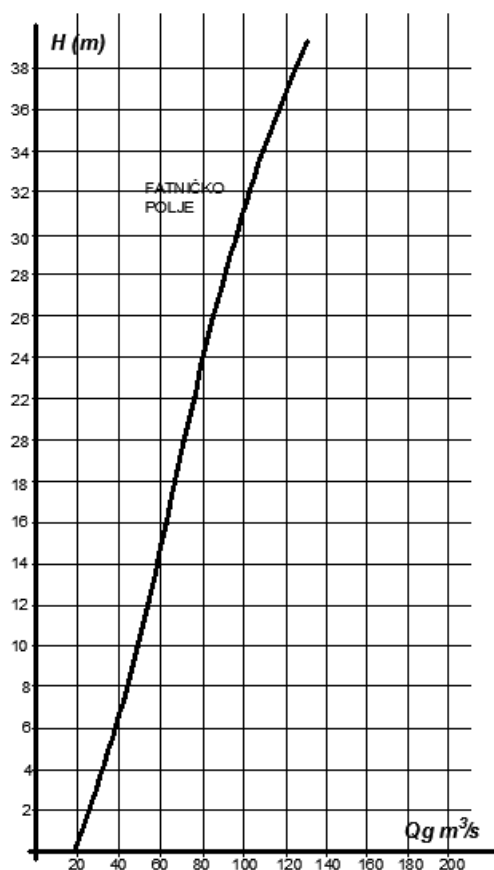
Prema rezultatima trasiranja podzemnih voda, u području Fatničkog polja se nalazi razvodnica slivova prema vrelima Trebišnjici i prema vrelu Bregave. U razdoblju velikih voda, vode plavljenja Fatničkog polja najvećim dijelom otječu podzemljem prema vrelima Trebišnjice, a jednim dijelom i prema vrelu Bregave. Preraspodjela voda plavljenja prema ova dva sliva u najvećoj mjeri zavisi od procjene kapaciteta estavela u jugozapadnom obodu polja. Dosadašnjim mjerenjima u određenoj mjeri je definiran odnos dotoka voda iz vrela Obod i otjecanja preko ponora Pasmica.



Slika 17. Odnos između dotoka i otjecanja u Fatničkom polju te dotoka na vrelima Trebišnjice (6)

Prema dijagrama na sl. više od 96 % voda iz Oboda otječe ponorom Pasmica prema vrelima Trebišnjice (Sl. 17). Prema literaturnim podacima grubim procjenama preraspodjele voda ukupne količine plavljenih voda Fatničkog polja koje otječu prema vrelu Bregave se navode podaci da od 5 do 10 % voda (6) i oko 30 % (5).

Za razdoblje vrlo velikih voda taj postotak je vjerojatno znatno veći od prosjeka. S obzirom na izmjerene vrlo velike brzine podzemnog tečenja iz pravca Fatničkog polja prema vrelu Bregave koje iznose od 4 do 7,8 km/dan, moguće je da u razdobljima vrlo velikih plavljenja otjecanje prema vrelu Bregave, prema gruboj procjeni, može da iznosi i do 30 % plavljenih voda.



The relationship of flood level (H) and cumulative swallow capacity (Q_g) for Fatničko Polje.

Slika 18. Odnos kapaciteta gutanja i visine plavljenja u Fatničkom polju (Milanović P.)

Prema rezultatima obavljenih mjerenja, dotoci iz vrela Obod i njihovo poniranje preko ponora Pasmica u bilančnim količinama voda vrela Trebišnjice sudjeluju oko 37%. Ovaj podatak vrijedi svakako za razdoblje velikih voda (II - V mjesec), kada su navedena mjerenja i obavljena.

Preostalih 63 % količina podzemne vode koje dotječu u vrela Trebišnjice odnosi se na drenažne pravce od Malog Gatačkog polja - vrela Trebišnjice i na dio istočnog sliva, uvjetno nazvan "sliv Nikšičkog vrela"

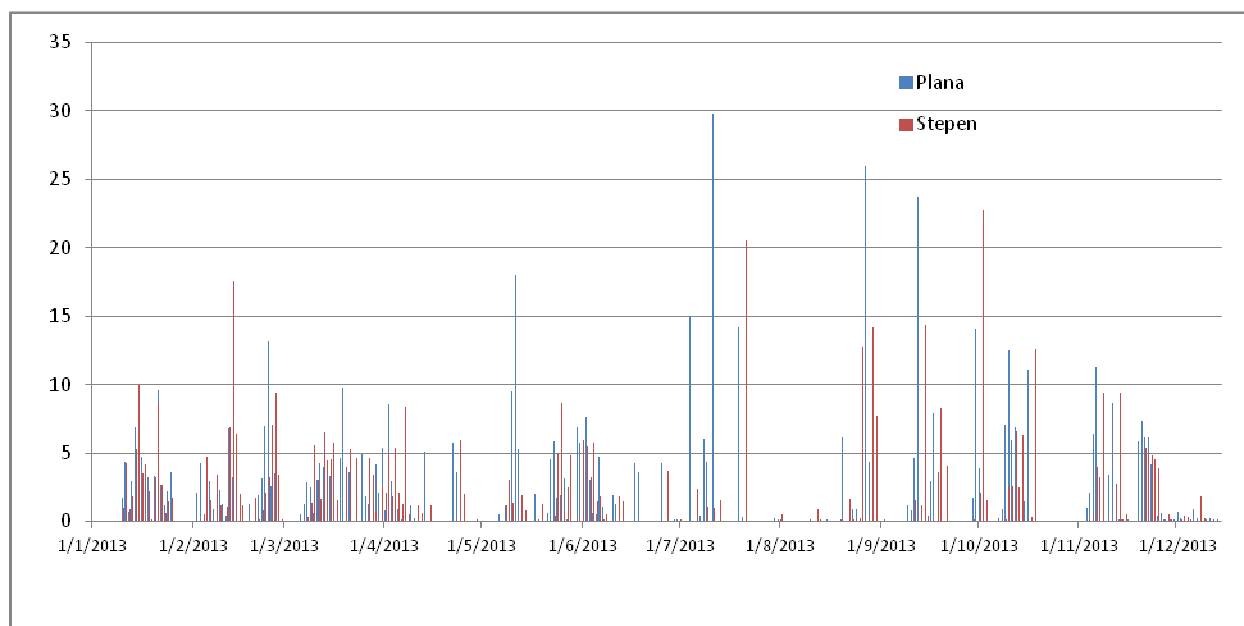
Infiltracija oborina

Prihranjivanje podzemnih voda od oborina je odnos količine oborina (srednje, srednje male i srednje velike), zatim površine slivnog područja i koeficijenta infiltracije (1 - koeficijent otjecanja). Koeficijent infiltracije je podatak koji za ovo područje nije detaljno ispitivan. Iz tog razloga su u najvećoj mjeri korišteni literaturni podaci za različite hidrogeološke jedinice, odnosno za izdvojena područja s prevladavajućim intenzitetom okršavanja, prikazana na prilogu:

- vrlo okršeno označeno indeksom 1 s prevladavajućim koeficijentom infiltracije $C_{otj} = 0,9$ (direktna infiltracija $C = 0,8$ i infiltracija povremenog otjecanja $C = 0,1$). Uglavnom su to okršeni mezozojski vapnenci koji obuhvaćaju i najveći dio slivnog područja.
- srednje okršeno označeno indeksom 2 s prevladavajućim koeficijentom infiltracije $C_{otj} = 0,85$ (direktna infiltracija $C = 0,7$ i infiltracija povremenog otjecanja $C = 0,15$). Ovim naslagama pripadaju uglavnom gornje jurski dolomitični vapnenci i vapnenci s čestim ulošcima dolomita, te donje kredni slojevi dolomita i vapnenaca u izmjeni.
- slabo okršeno označeno indeksom 3 s prevladavajućim koeficijentom infiltracije $C_{otj} = 0,8$ (direktna infiltracija $C = 0,5$ i infiltracija povremenog otjecanja $C = 0,3$). Odgovaraju im debele naslage krednog fliša koji se u najvećoj mjeri javljaju na sjeveroistočnim i sjevernim dijelovima sliva.
- neokršeno označeno indeksom 4 s prevladavajućim koeficijentom infiltracije $C_{otj} = 0,75$ (direktna infiltracija $C = 0,4$ i infiltracija povremenog otjecanja $C = 0,35$). Pripadaju im uglavnom flišne laporovite serije u reversne rasjede i neokršeni trijaski dolomiti.

Referentne oborine

Slivno područje vrela Trebišnjice pokrivaju tri automatske referentne meteorološke stanice: Plana i Rioce koje bi pokrivali središnji i zapadni dio slivnog područja, a meteorološka stanica Stepen istočni dio sliva. Stanice obuhvaćaju razdoblje 2010 do 2013. godine sa dosta prekida u mjerenjima. Stanica Rioci ima dosta prekida u mjerenju (za 2012 godinu padavine od svega 555 mm), te se ova mjerenja mogu smatrati vrlo upitnim i u ovom trenutku neuporabljivim.



Slika 19. Vremenski dijagram oborina na m.s. Stepen i Plana (19)

Godišnje padavine za 2013. godinu na meteorološkoj stanici Plano za 2013. godinu iznose 2037 mm, a za m.s. Stepen 1954 mm.

Prema obrađenim podacima oborina (19) prosječne godišnje padaline na slivu određene na temelju višegodišnjih mjerenja do 1985. godine iznosile su oko 1.780 mm.

7.1.1.3 Izdašnost vrela Trebišnjice

Podaci o izdašnosti vrela Trebišnjice bi bili dobra kalibracija definiranog slivnog područja. Prema literaturnim podacima izdašnost Vrela Trebišnjice varira u rasponu od $Q_{\min} \sim 2 \text{ m}^3/\text{s}$ do $Q_{\max} > 800 \text{ m}^3/\text{s}$. (P. Milanović)

Za kalibraciju izdvojenog sliva obično se koristi bilanca podzemnih voda koja se računa za srednje godišnje vode i predstavljaju njene približne vrijednosti.

Literaturni podaci o izdašnosti vrela Trebišnjice su vrlo različiti. Uglavnom se navode vrijednosti od:

- 80 m^3/s (Energy Financing Team (8));
- 67 m^3/s , CERO; u Studiji uticaja na životnu sredinu i dokaza za izdavanje ekološke dozvole za hidroenergetsko postrojenja „Dabar“ navedeno je da se u 60% slučajeva, kreću u intervalu od 54,5 do 81,2 m^3/s za interval oborina od 1290-1920 mm. Također se navode i podaci o maksimalnim vrijednostima protoke od 99,6 m^3/s za mjerene oborine od 2355 mm i minimalni protoci od 39,2 m^3/s za minimalne oborine od 927 mm. Treba svakako naglasiti da u sve ove

izračunate vrijednosti protoke nisu uračunati gubici koji u prosjeku iznose oko 20%, što znači da sve navedene vrijednosti trebaju biti manje za najmanje 20 % (2)

- 41 m³/s (EP HZ HB - istočni dio sliva je dodijeljen slivu akumulacije a ne vrelima Trebišnjice). U svakom slučaju podaci dosta odstupaju.(5)

Ovdje bi se izračunom definirala bilanca na dva načina:

- Izračun klasičnim obrascem za bilancu podzemnih voda i
- izračunom obrascem grube bilance.

Osnovna postavka izračuna bilance podzemnih voda klasičnim obrascem za sliv kao zatvorenog područja je da količina vode koja uđe na sliv treba biti jednaka onoj koja na bilo koji način izađe

$$U - I = \pm \Delta W \quad (1)$$

Prema navedenom bi bilanca podzemne vode bila:

$$[P + (Q_o + Q_{po}) + U] - [E_t + (Q'_o + Q'_{po}) + U'] = \pm \Delta W \quad (2)$$

$$[P + (Q_o + Q_{po}) + U] = [E_t + (Q'_o + Q'_{po}) + U']$$

- **P** - količina oborina pala na promatrano područje. Koriste se količine padavina na jednom slivu s jedne ili više mjernih kišomjernih stanica ili čak prosječne vrijednosti definirane od Državnog hidrometeorološkog zavoda. U našem slučaju koristit će se podaci meteoroloških stanica Plana (za središnji i zapadni dio sliva) i Stepen za istočni dio izdvojenog slivnog područja.
- **Q_o** - površinski dotok u promatrani prostor, nema ga ili je zanemariv jer je slivno područje obuhvatilo i slivove površinskog otjecanja.
- **Q_{po}** - podzemni dotok u promatrani prostor. Ovaj podatak, prema definiranim hidrogeološkim odnosima se može zanemariti.
- **U** - umjetni dovod vode (kanalima, vodovodima i dr.). Obično su to količine iz sistema vodosnabdjevanja i odvodnje naselja. Kako se koriste vode iz istog slivnog područja ove vode se već nalaze u bilančnim količinama. U našem slučaju jedino otvoreno pitanje je dotok kroz dovodni tunel Fatničko polje - akumulacija Grančarevo, koja se, ako se zanemare gubici iz tunela, odnosi na dotok u akumulaciju.

- E_t - ukupno isparavanje s promatranog područja. Ovaj podatak se dosta rijetko određuje. U literaturi se za okršena područja kao što je sliv Trebišnjice, obično koriste vrijednosti koje za krš iznose 10 do 20 %. Za područja koja imaju pojavu površinskog otjecanja su te vrijednosti obično veće i iznose do 30 %.
- Q'_o - količina površinskog otjecanja vode je vezana za izdvojene zone s povremenim i stalnim površinskim otjecanjem. Prema podacima za područje sliva „b3“ koji pripada slivu Mušnice, mjenom podatku srednjeg protoka od $4,5 \text{ m}^3/\text{s}^*$, površine sliva od 229 km^2 i srednjih višegodišnjih oborina od 1780 mm, izlazi da na površinsko otjecanje u tom dijelu sliva iznosi od 35 - 40% ulaznih voda. U ukupnoj bilanci podzemnih voda Vrela Trebišnjice na krajnjem sjevernom i sjeveroistočnom dijelu sliva sudjeluju dotoci rijeke Mušnice s pritokama Gračanica i Gojkovića potok (spominjan i kao Žarovića potok). Prema literaturnim podacima Srednji dotok na mjernom mjestu Srđevići iznosi $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Q'_{po} - količina podzemnog otjecanja vode je u suštini infiltracija i prema hidrogeološkim prevladavajućim karakteristikama su izdvojena područja s različitim koeficijentom infiltracije.
- U' - količina vode koja se odvodi umjetnim putem (kanalima, vodovodima). podaci o ovakvim gubicima ne postoje.

Za navedene obrasce (1) obično nedostaje niz pouzdanih podataka ili podataka koji nisu mjereni, te se cijeli obrazac pojednostavljuje:

$$P - (E_t + (\text{površinsko otjecanje} + \text{podzemno otjecanje})) = \pm dW \quad (3)$$

U praksi se, međutim, za krš najčešće koristi obrazac grube bilance srednjih godišnjih voda prema obrascu:

$$Q_{sr} = \frac{A_{sl} \cdot I \cdot C}{31,5 \cdot 10^{-6}} \quad (4)$$

Ulazni podaci za proračun bilance podzemne vode je:

Q_{sr} = računati srednji protok

A_{sl} = utvrđena površina slova

C = koeficijent otjecanja - obuhvaća površinsko i podzemno, od 0,7 do 0,8)

I = srednje godišnje oborine

Izračunom dobiveni rezultati prikazani su u tablici 7.

Tablica 7

Ozn. Podr.	A Površ. (km ²)	P oborine za 2013. g (mm)	C _{otjecanja} (infiltracija + površ. otjec.)	Ukupno za 2013. godinu (m ³ /s)	Za višegodišnji prosjek od 1780 mm	Prema obrascu (4) za grubu bilancu
a1	189	1954	0,9	10,5	9,5	
a2	93	1954	0,85	4,9	4,4	
a3	13	1954	0,7	0,6	0,5	
b1	157	2037	0,9	9,1	7,9	
b2	63	2037	0,85	3,5	3,0	
b3	229	2037	0,7	11,1	9,0	
c1	517	2037	0,9	30	26	
c3	8	2037	0,7	0,4	0,3	
	~ 1270					
Ukupan srednji godišnji dotok na vrela Trebišnjice				70,1	60,6	60,2

Prema dobivenim podacima, kao i podacima do sada definiranih granica slivnog područja koje se zanemarivo razlikuju, definirane hidrogeološke granice se mogu smatrati dosta korektnim.

Raspoloživi podaci o dotocima u akumulaciju za razdoblje 2013. godine iznosili su u prosjeku oko 80 m³/s. Međutim u tu količinu, osim dotoke iz vrela Trebišnjice, sudjeluju i dotoci iz drugih izvora potopljenih akumulacijom kao i dotoci iz tunela Dabarsko - Fatničko polje - Bilećka akumulacija. Dotoci iz Fatničkog polja su već sadržani u bilanci voda sliva.

Dotoci u Bilećku akumulaciju se prate preko promjene volumena akumulacije i mjerenih izlaza na brani. Mjereni podaci pokazuju, poglavito u razdoblju malih voda, upitne količine dotoka s negativnim predznakom. Ako se pretpostavi da je metoda mjerenja i određivanja dotoke korektna, uzrok ovomu svakako treba tražiti u postojanju gubitaka iz akumulacije.

7.1.1.4 Dinamika n.p.v. u izvedenim pijezometrima

Obavljeno je dosta obimna istraživanja u cilju definiranja mogućih gubitaka iz akumulacije Bileća. Najvećim dijelom su bila usmjerena na definiranje mogućih gubitaka u pravcu vrela i toka Bregave.

Obavljena su detaljna kartiranja, geofizička ispitivanja, bušenja i trasiranja podzemnih voda. Ovim istraživanjima je utvrđeno da je područje Fatničkog polja bifurkaciona zona, odnosno da tu postoji razvodnica slivova vrela Bregave i vrela Trebišnjice.

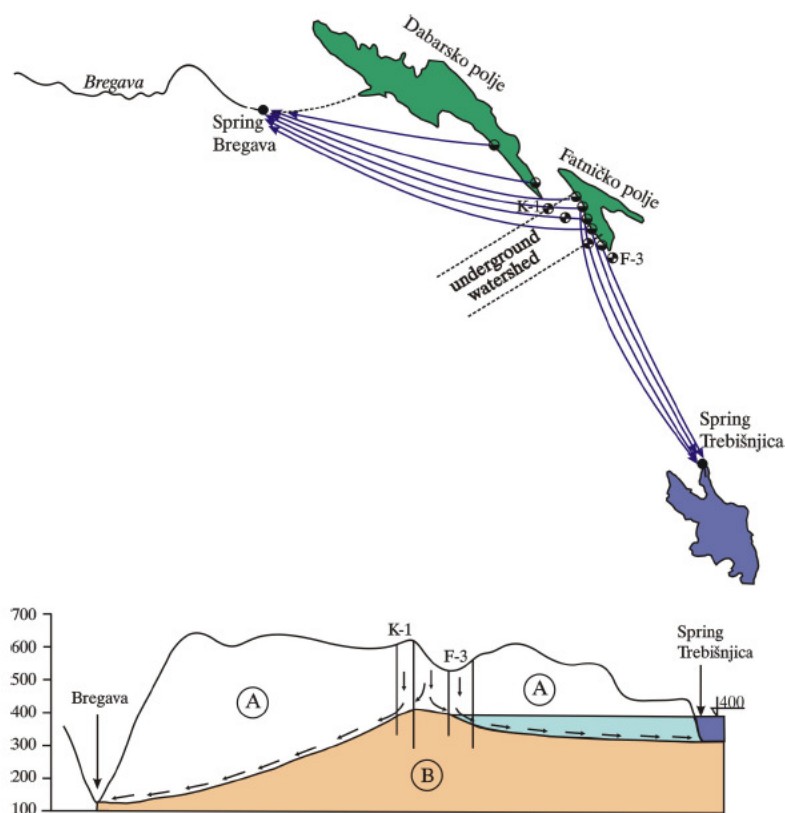
Hipsometrijski najviši položaj stjenovitih masa (dolomiti i kompaktni vapnenci) su iznad kote 400 m nalaze se između bušotina K-1 i F-3. Detaljnim praćenjima i mjerenjima je utvrđeno da pri najvišim kotama akumulacije nema prelijevanja voda odnosno gubitaka prema vrelima Bregave.

Utvrđeno je da je maksimalna kota akumulacije 32 m viša od minimalnih nivoa podzemne vode u području Fatničkog polja.

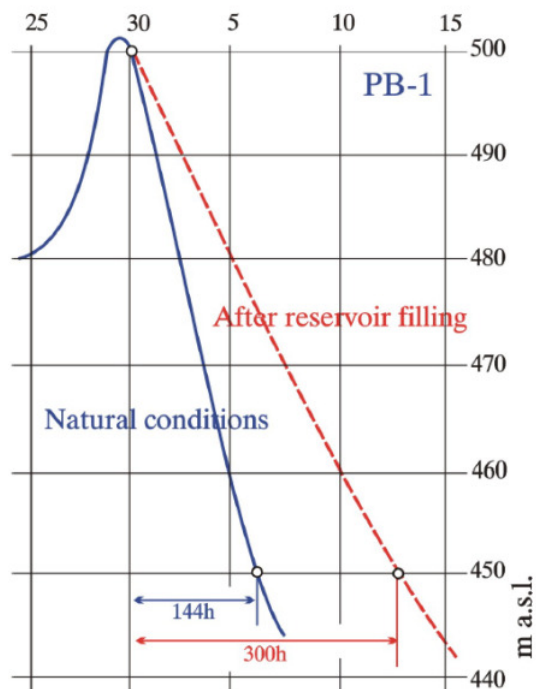
Višegodišnjim praćenjem oscilacija nivoa podzemne vode u bušotini PB-1 (12 km uzvodno od vrela Trebišnjice) i u pijezometrima oko Fatničkog polja utvrđeno je da puna akumulacija utiče na dinamiku pražnjenja krškog vodonosnika.

Na osnovu analize velikog broja ciklusa sniženja utvrđeno je da je pri istim hidrološkim uslovima i za isto sniženje nivoa izdani u periodu prije akumulacije bilo potrebno oko 150 h, a u slučajevima pune akumulacije oko 300 sati.

S obzirom na izvedeni veći broj istražnih dubokih bušotina formiranih kao pijezometri, moguće je raščlambu dinamike podzemnih voda dati i na temelju obavljenih mjerenja.



Slika 20. Skica razvodnice u području Fatničkog polja (P. Milanović)



Water table recession curve in borehole PB-1

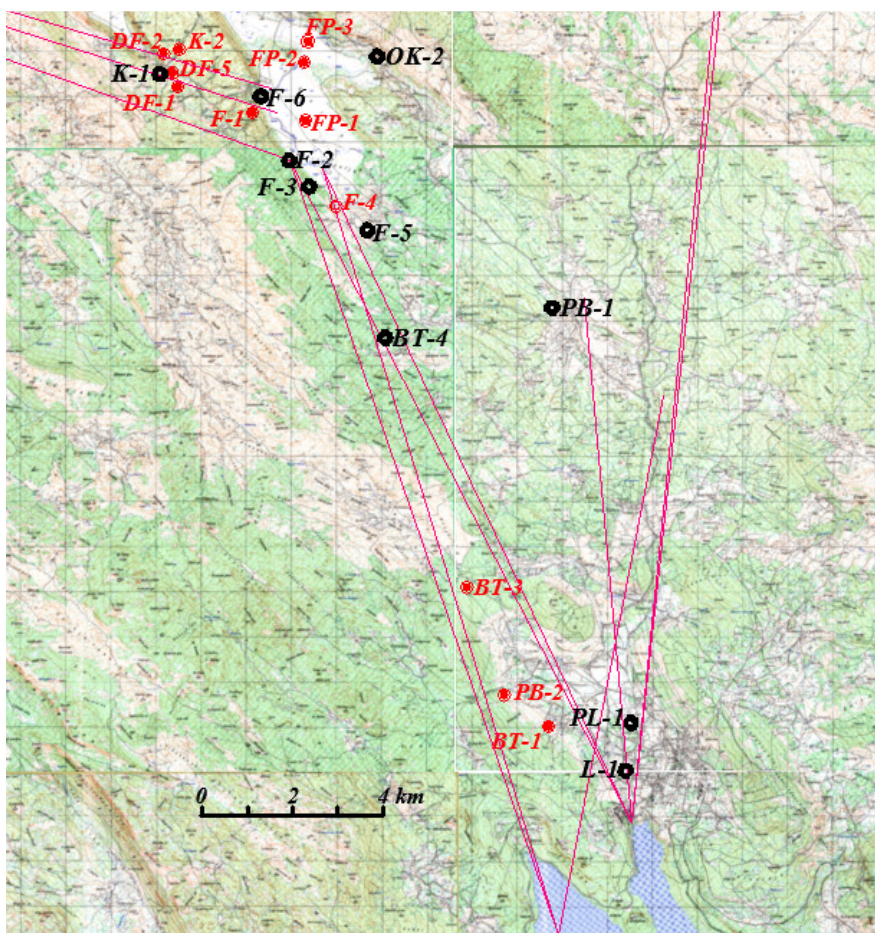
Slika 21. Sliv vrela Trebišnjice - krivulja pražnjenja krškog vodonosnika u uvjetima prije i nakon punjenja akumulacije Bileća (8)

Veći broj tih pijezometara je opremljen automatskim mjeracima. Najveći broj ovih pijezometara su locirani oko Fatničkog polja i široj zoni dovodnog tunela od Fatničkog polja do Bilečkog jezera. Raspolagalo se sa podacima o dinamici nivoa podzemne vode u bušotinama – pijezometrima: BT-4; F-2; F-3; F-5; F-6; K-1; L-1; OK-2; PB-1 i PL-1, te podaci izračuna dotoka u Bilečko jezero.

Kroz usporednu obradu ovih podataka s oborinama i mjerenim (računatim) dotocima u akumulaciju Bileća nastojalo se uspostaviti moguće njihove odnose kao, ocjenu mogućeg prognoziranja dotoka na temelju mjerenih n.p.v. te karakterističnih vremena kašnjenja vodnog vala od oborina do njihove pojave u vrelima Trebišnjice.

Raspored pijezometara za koje su bili na raspolaganju podaci dati su na Sl. 22.

Prema rezultatima provedenih trasiranja podzemnih voda pijezometri F-6 i K-1 pripadaju slivu vrela Bregave, dok su ostali pijezometri za koje raspolažemo informacijama o oscilacijama nivoa podzemnih voda u slivu vrela Trebišnjice.



Slika 22. Raspored bušotina na području Fatničko polje – vrela Trebišnjice (19)

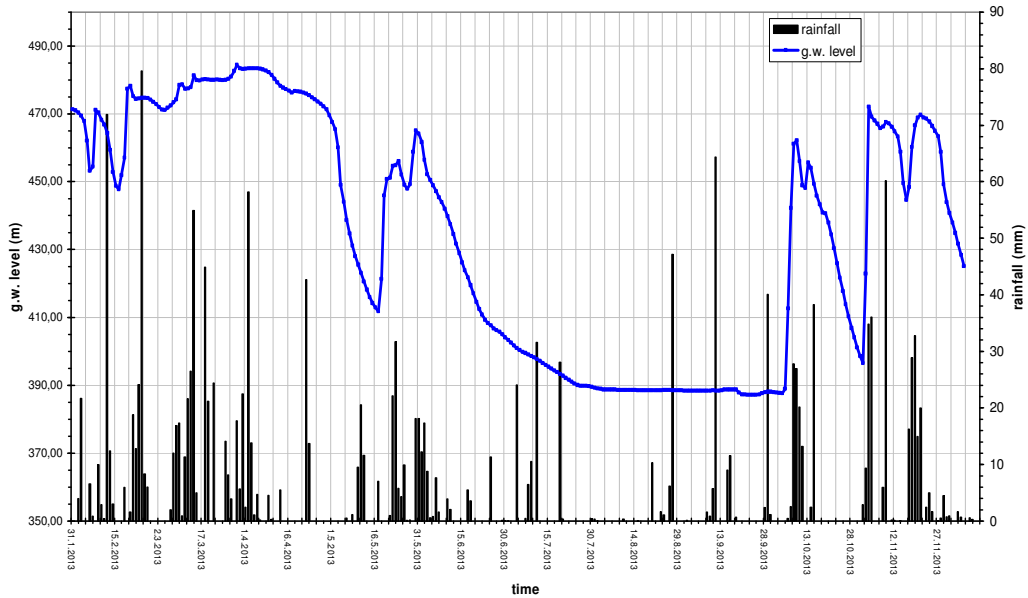
Pijezometar K-1

Ovaj pijezometar se nalazi uz krajnji jugoistočni dio Dabarskog polja u zoni sliva vrela Bregave. Na usporednim dijagramima odnosa oscilacija nivoa podzemne vode (u daljem tekstu n.p.v.) i oborina (za svu obradu korišteni su kao reprezentativni podaci o oborinama na M.S. Plano) se manifestira u vidu relativno velikih i naglih izdizanja (preko 60 m) i relativno brzog opadanja n.p.v. nakon intenzivnijih oborina u razdoblju srednjih voda.

Za razdoblja malih voda uočljivo je da nakon intenzivnijih oborina nema nikakvog odziva u promjeni n.p.v. što bi se moglo pripisati nekorektnom mjerenju automatskog mjerača.

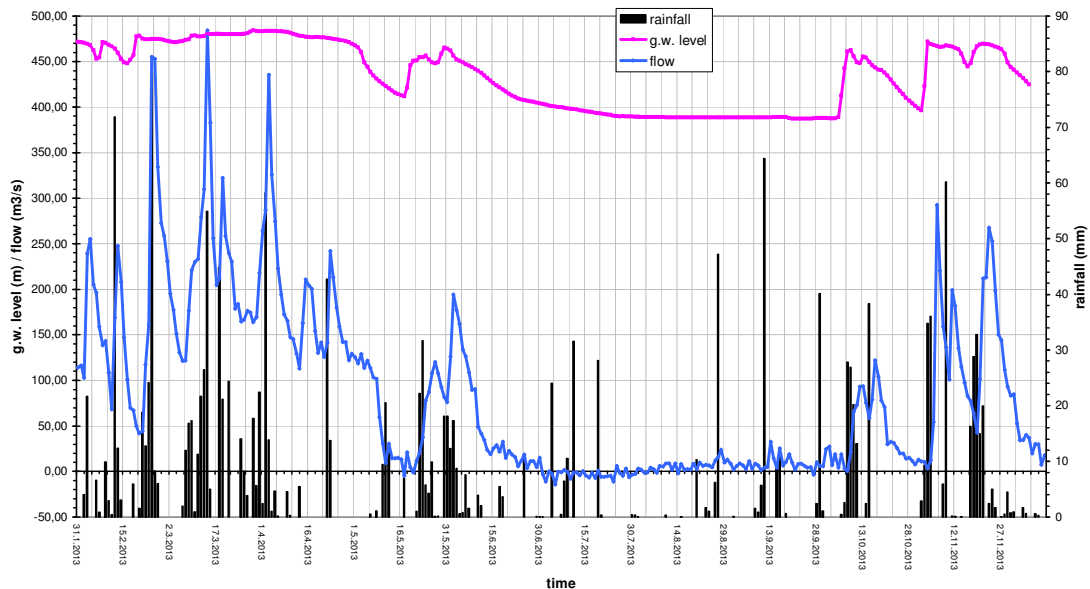
Na dijagramu odnosa dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometri K-1 uočljiva je dobra usklađenost i vrlo malo rasipanje točaka za razdoblje malih voda (do kote n.p.v. od 430 m) što je sasvim logično, s obzirom da u razdoblju malih voda imamo relativno konstantne male dotoke. Za više kote n.p.v. u pijezometru K-1 rasipanja točaka su dosta velika.

K-1

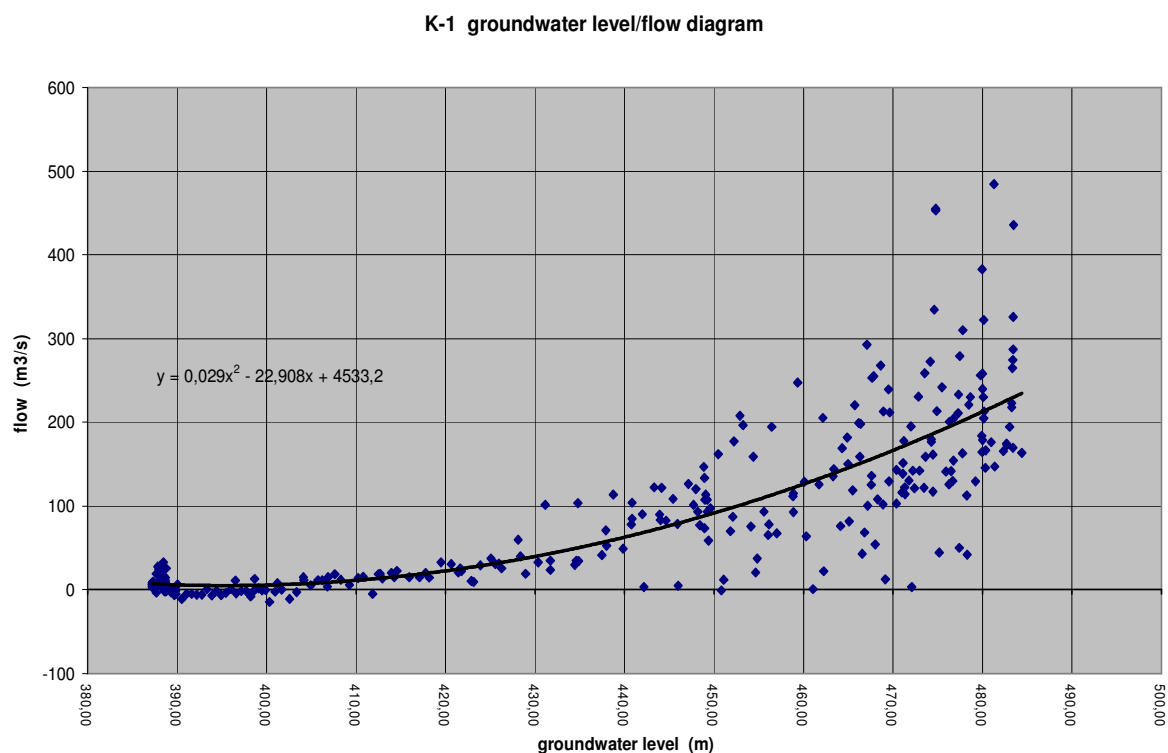


Slika 23. Pijezometar K-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana

K-1



Slika 24. Pijezometar K-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća

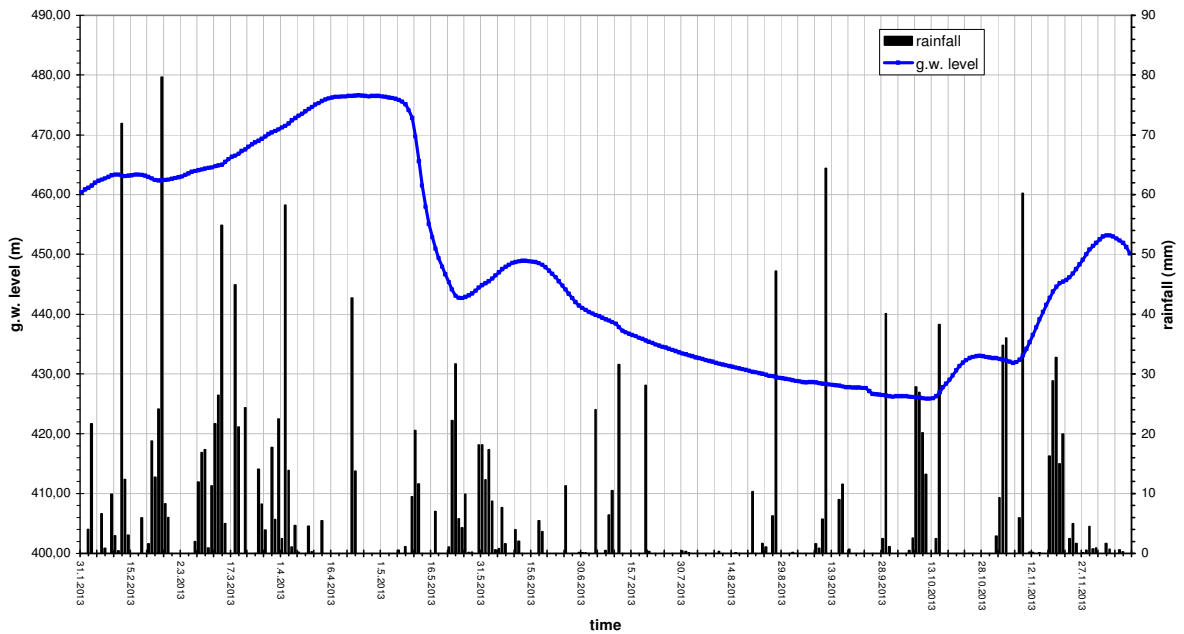


Pijezometar F-6

Ovaj pijezometar se također nalazi u slivnom području vrela Bregave. Oscilacije n.p.v. nakon intenzivnih oborina nemaju naglih skokova n.p.v. Pijezometar je vjerojatno lociran u zoni s ograničenom provodnošću.

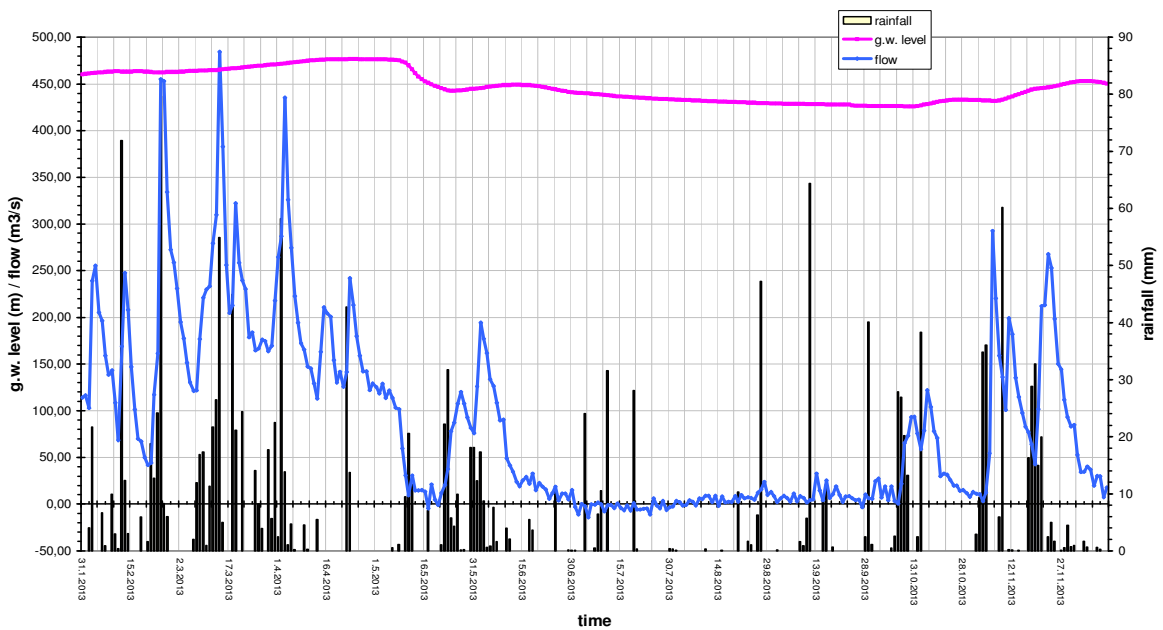
Iz odnosa n.p.v. u pijezometru i dotoka u akumulaciju Bileća prikazanog na dijagramu (Sl.28) uočava se dosta veliko rasipanje točaka u cijelom rasponu velikih i malih voda, što je i logično s obzirom da se pijezometar nalazi u drugom slivnom području.

F-6

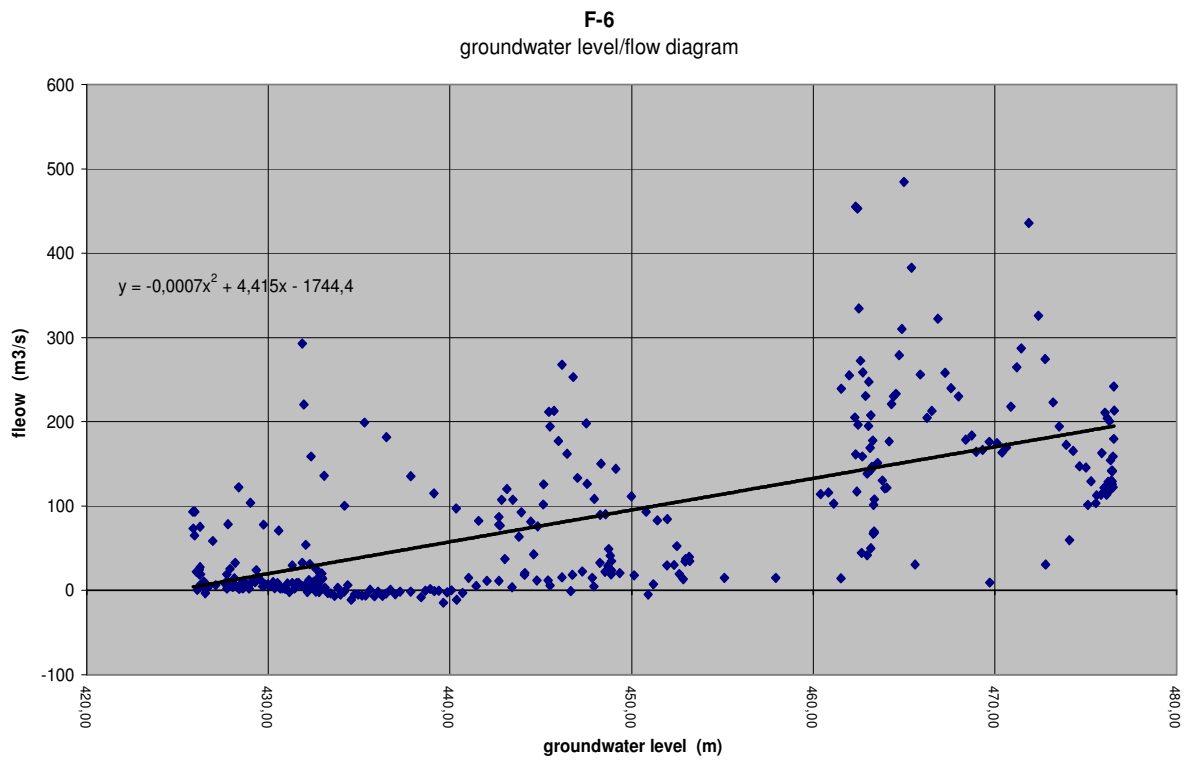


Slika 26. Pijezometar F-6, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana

F-6



Slika 27. Pijezometar F-6, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća



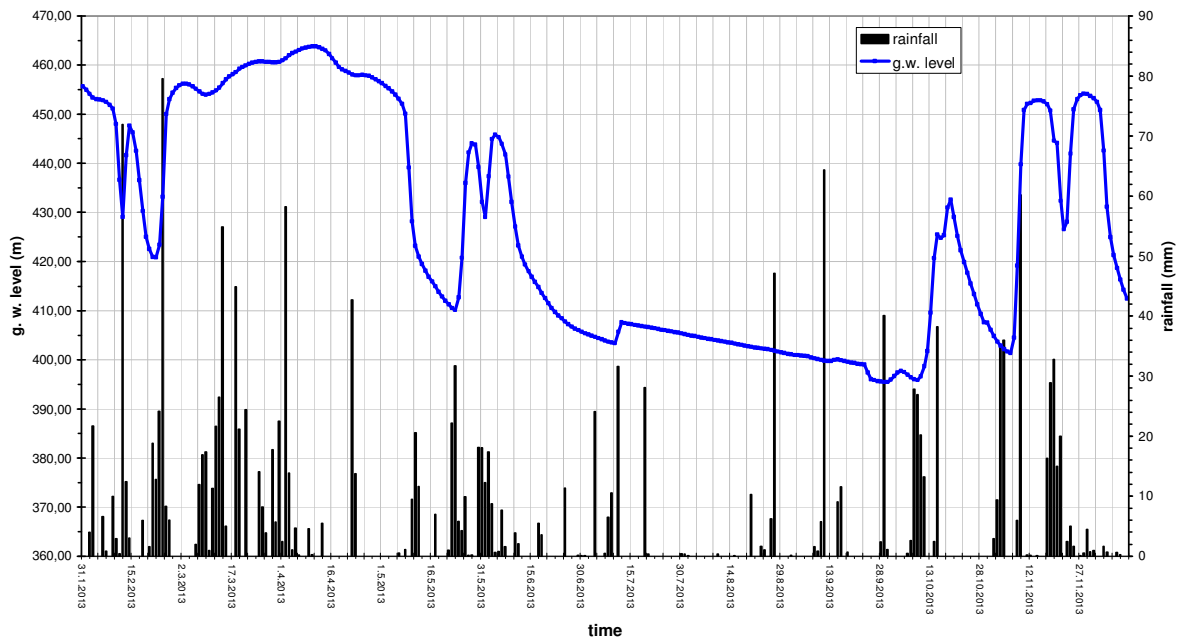
Slika 28. Pijezometar F-6, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru

Pijezometar F-2

Ovaj pijezometar nalazi se u slivnom području vrela Trebišnjice. Odziv n.p.v. u pijezometru F-2 na oborine je jasan i manifestira se naglim porastom n.p.v. i do 50 m. U razdoblju malih voda i kod ovog pijezometra nema značajnijih porasta n.p.v. nakon intenzivnijih oborina u trajanju od 1 - 3 dana. U razdobljima srednjih i velikih voda se nakon intenzivnijih oborina jasno uočavaju posljedični skokovi n.p.v. u pijezometru sa zakašnjenjem od 3 - 4 dana.

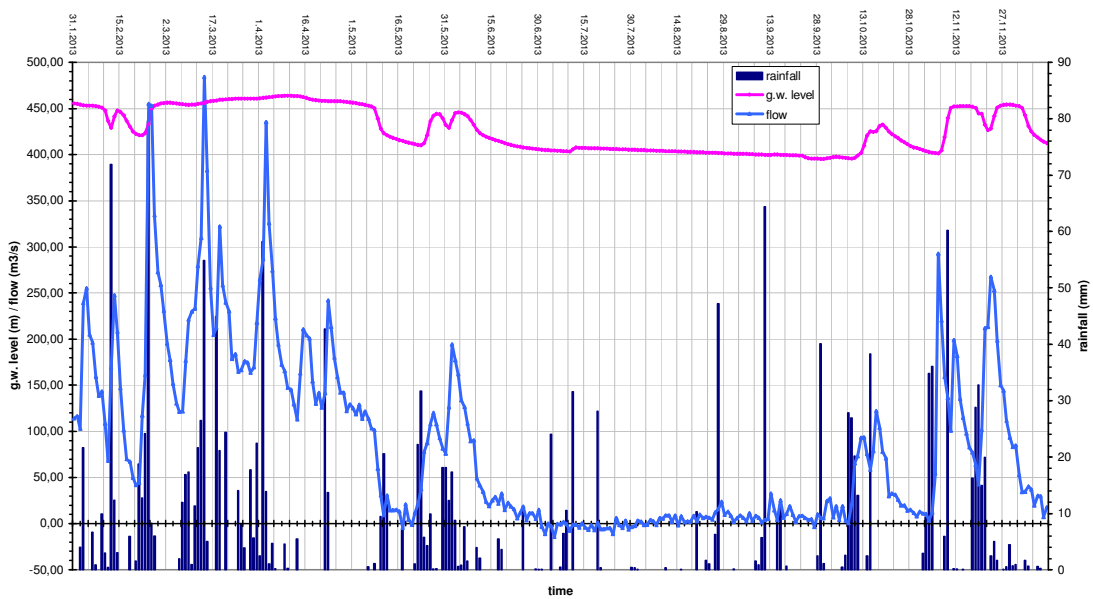
Odnos dotoka u akumulaciju i oscilacija n.p.v. u pijezometru ima srednje rasipanje točaka u rasponu srednjih i malih voda, a dosta manja u razdoblju malih voda.

F-2

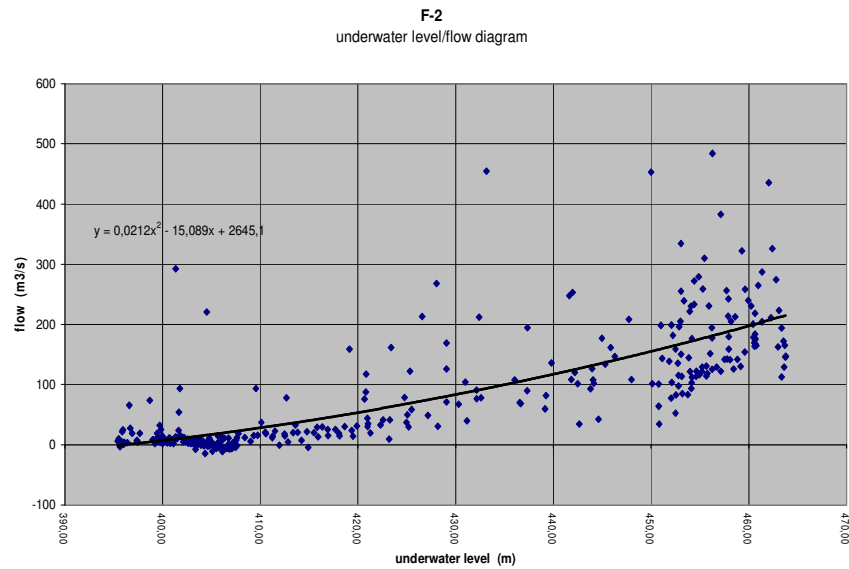


Slika 29. Pijezometar F-2, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana

F-2



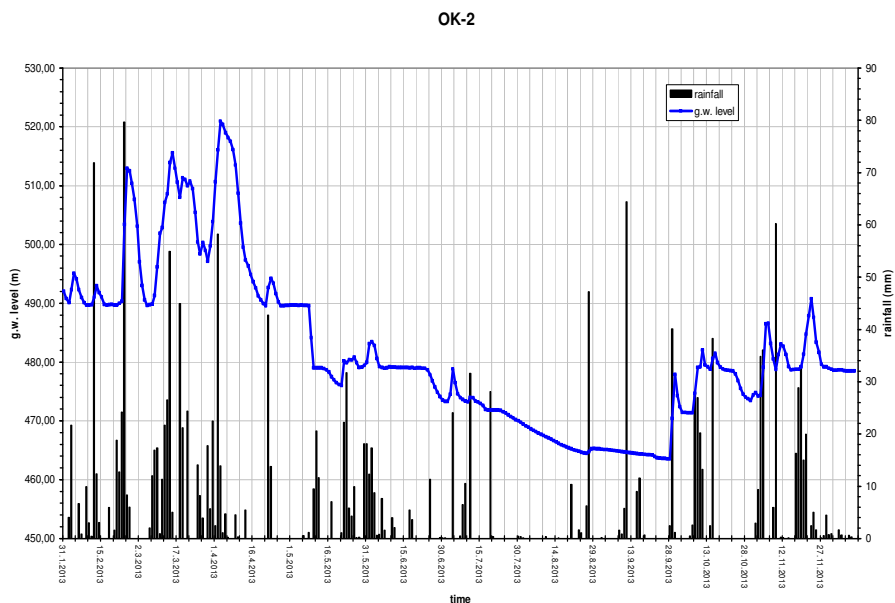
Slika 30. Pijezometar F-2, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća



Slika 31. Pijezometar F-2, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru

Pijezometar OK-2

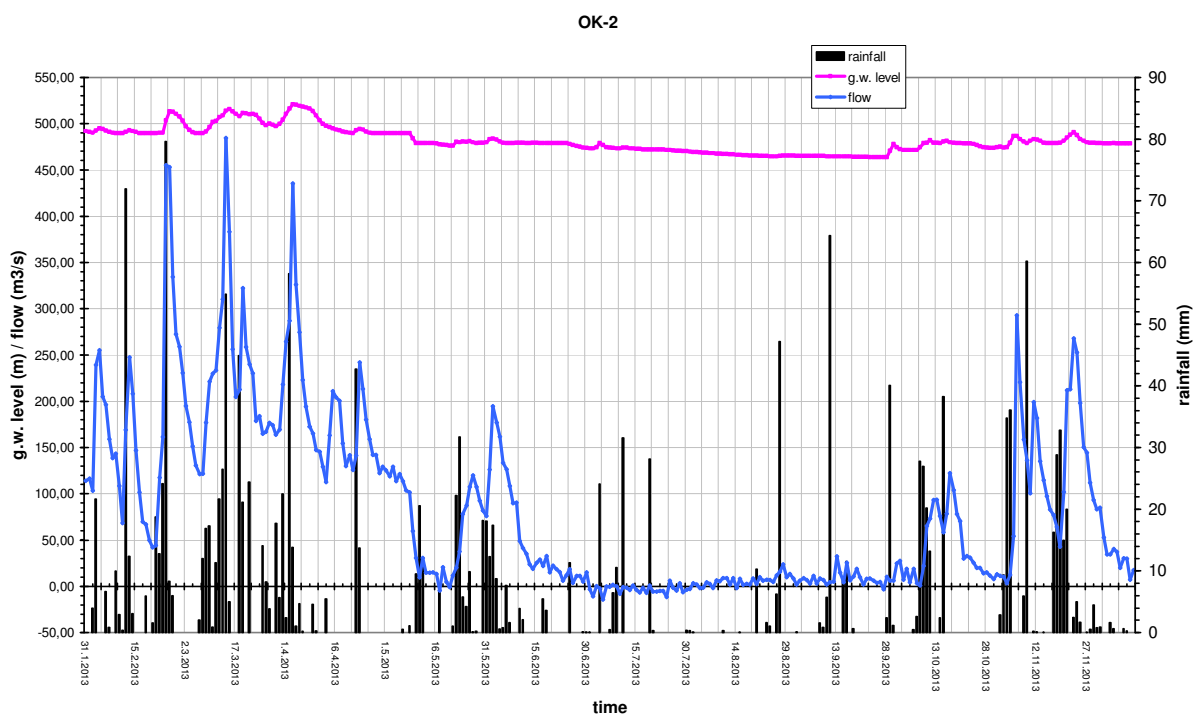
Pijezometar OK-2 se nalazi u blizini vrela Obod u Fatničkom polju. Odziv oscilacija n.p.v. na oborine je dosta usuglašen s uočljivim vremenskim pomacima maksimuma od 4 do 5 dana.



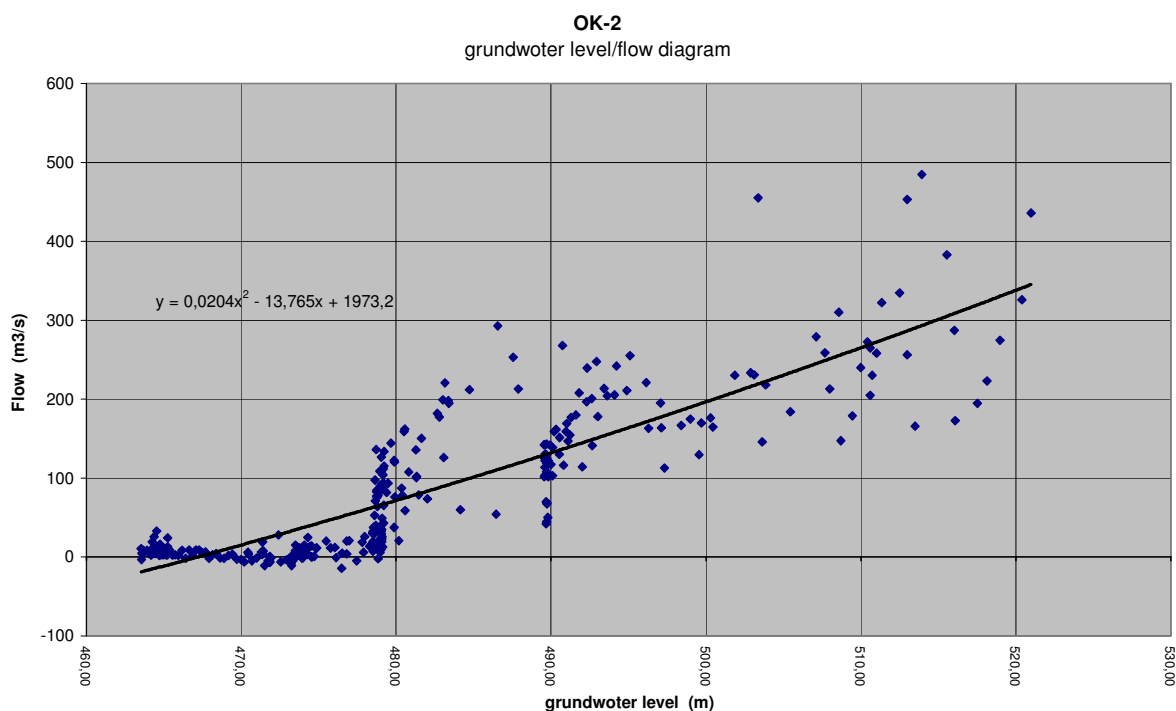
Slika 32. Pijezometar OK-2, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana

Česte pojave ustaljenosti n.p.v. upućuje na postojanje izrazitijeg sustava sifonskog tečenja podzemnih voda i lokalnih sifonskih akumulacija podzemne vode.

Iz dijagrama odnosa dotoka u akumulaciju i oscilacija n.p.v. u pijezometru pokazuju se nagli skokovi u dotocima za relativno ustaljeni n.p.v. oko kota 475 m i 490 m, odnosno razdoblje kad vrelo Obod radi i kad prelijevanje utječe na nesklad između dotoka u akumulaciju i n.p.v. u pijezometru. Generalno promatrajući navedeni dijagram može se smatrati da je njihov odnos izrazito neskladan.



Slika 33. Pijezometar OK-2, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća

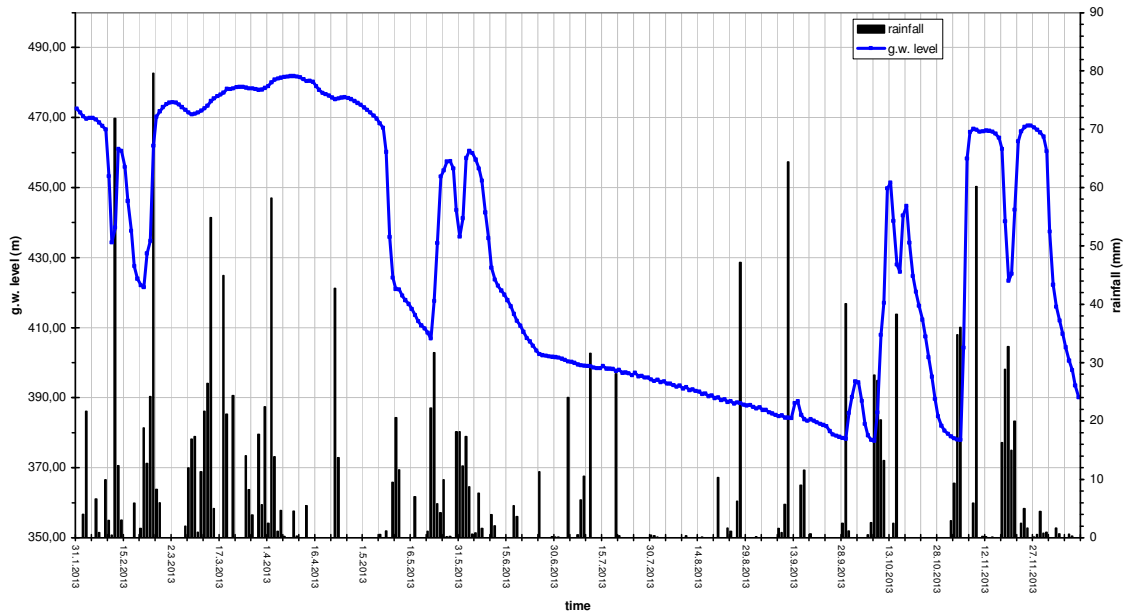


Slika 34. Pijezometar OK-2, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru

Pijezometar F-3

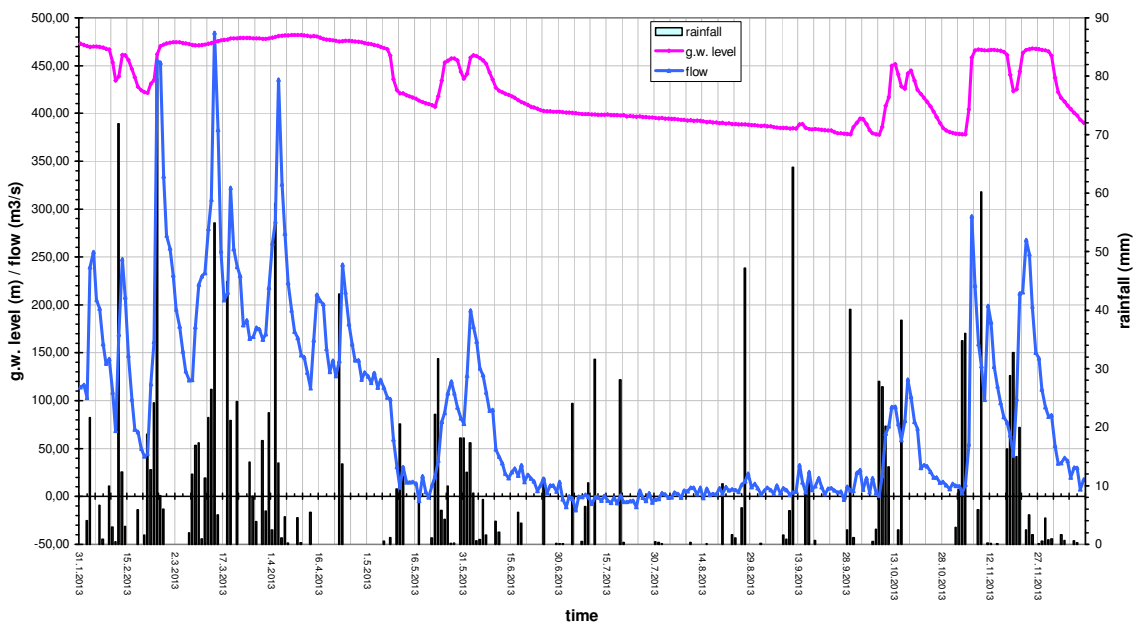
Ovaj pijezometar se nalazi oko 600 m od F-2 u pravcu vrela Trebišnjice. Na vremenskom dijagramu oscilacija n.p.v. i oborina vide se vrlo izraženi odzivi n.p.v. (preko 80 m) nakon oborina u razdoblju srednjih i velikih voda. Kao i kod ostalih pijezometara, u razdoblju malih voda odziv n.p.v. nakon intenzivnijih oborina je zanemarivo mal ili ga nema. U koliko je automatsko mjerenje bilo korektno u tom vremenskom razdoblju, uzrok ovom može se objasniti kao posljedica sifonskog tečenja podzemnih voda i postojanja lokalnih podzemnih akumulacija.

F-3

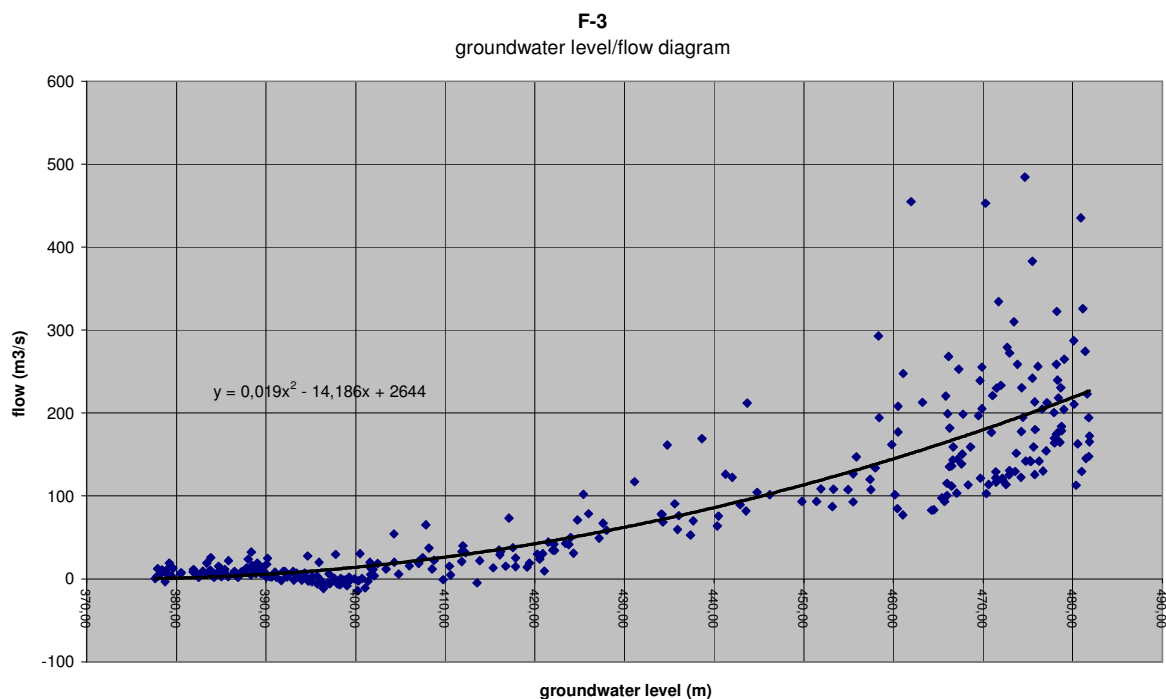


Slika 35. Pijezometar F-3, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana

F-3



Slika 36. Pijezometar F-3, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća



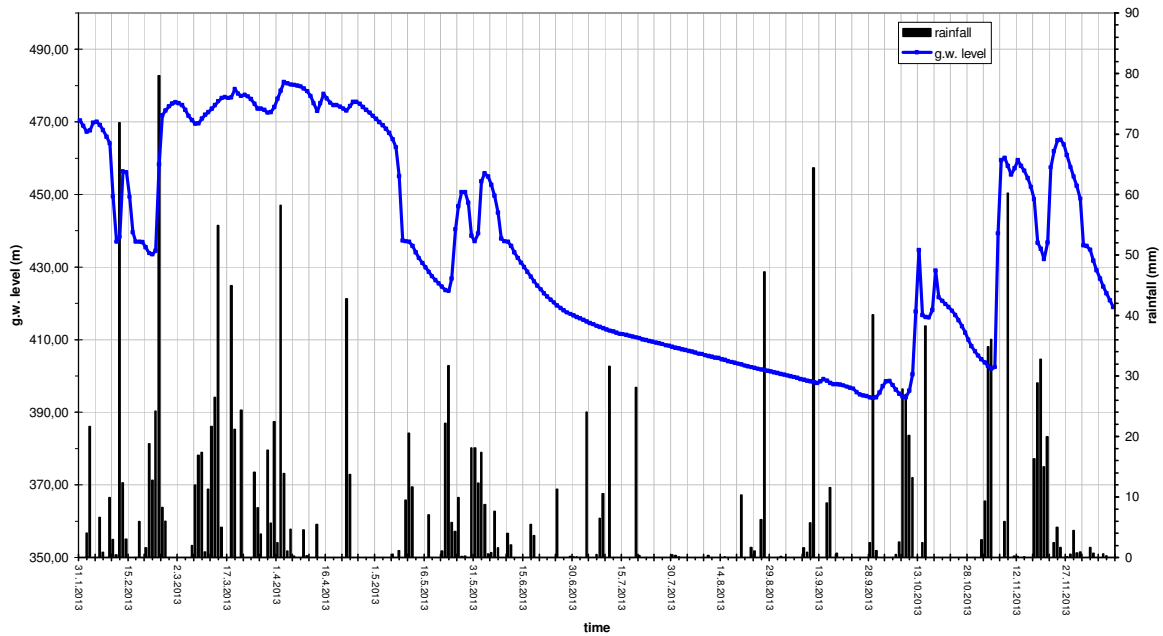
Slika 37. Pijezometar F-3, odnos n.p.v. i dotoka u akumulaciju Bileća

Odnos dotoka u akumulaciju i oscilacija n.p.v. je dosta dobar do rasta n.p.v. od kote oko 460 m. Preko ove kote rasipanje točaka je vrlo veliko i nije moguće i u tom rasponu nije moguće uspostaviti neki korektniji odnos između njih.

Pijezometar F-5

Pijezometar F-5 je udaljen oko 2 km od pijezometra F-3 u pravcu vrela Trebišnjice. Prema vremenskom dijagramu, odziv rasta n.p.v. je vrlo izražen, međutim s relativno brzim povratom. Maksimalni rast (skokovi) n.p.v. u pijezometru nakon intenzivnijih i višednevnih oborina je do 60 m.

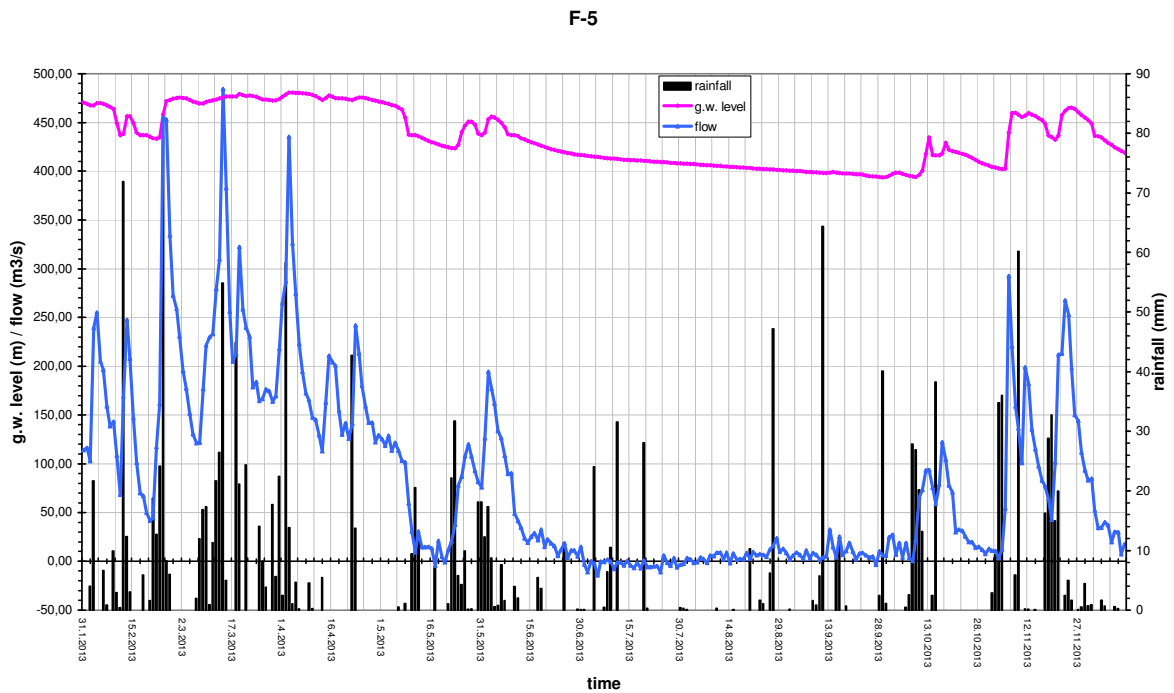
F-5



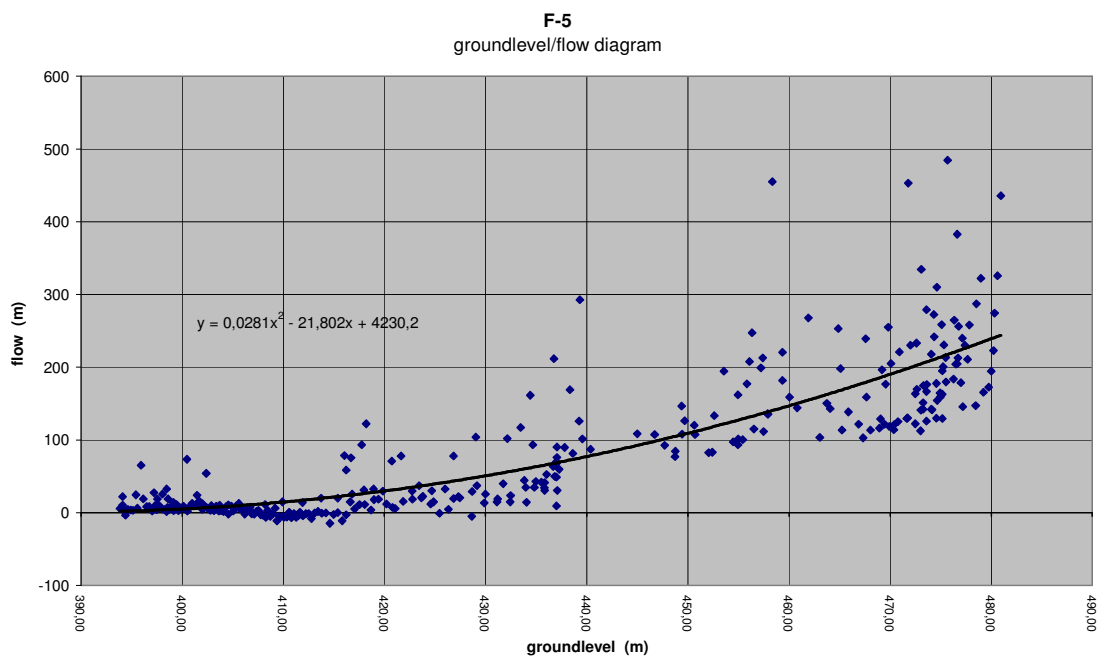
Slika 38. Pijezometar F-5, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana

Kao kod ostalih pijezometara, u razdoblju recesije - malih voda ne vide se odzivi intenzivnijih oborina.

Kao i kod pijezometra F-3, odnos dotoka u akumulaciju je dosta dobar do kote n.p.v. u pijezometru od 435 m. Iznad ove kote uočavaju se nagli skokovi dotoke u akumulaciju za ustaljenu visinu n.p.v.



Slika 39. Pijezometar F-5, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća

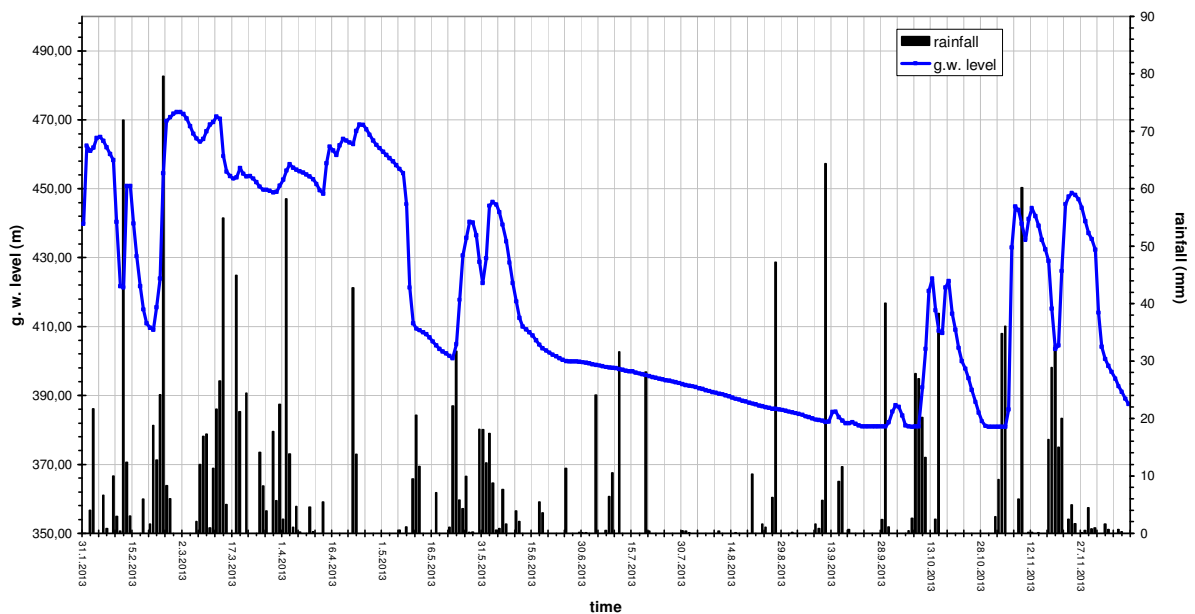


Slika 40. Pijezometar F-5, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru

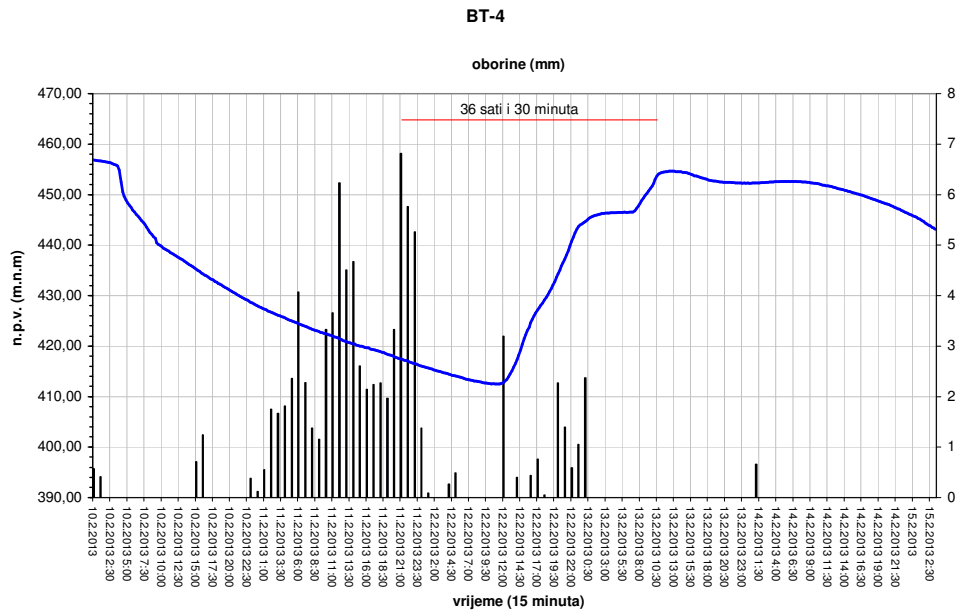
Pijezometar BT-4

Ovaj pijezometar udaljen je oko 3 km od pijezometra F-5 u pravcu vrela Trebišnjice. Vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina pokazuje njihov dosta dobar odnos. Maksimalni skokovi n.p.v. su do 50 m. U razdoblju velikih voda uočavaju se nelogičnosti u mjerenim podacima, što je vjerojatno posljedica pogreške u automatskim mjerenjima. Na sl.43. prikazan je karakterističan detalj ovog dijagrama iz kojeg se vidi da je odziv rasta n.p.v. nakon intenzivnijih oborina oko 36,5 sati.

BT-4

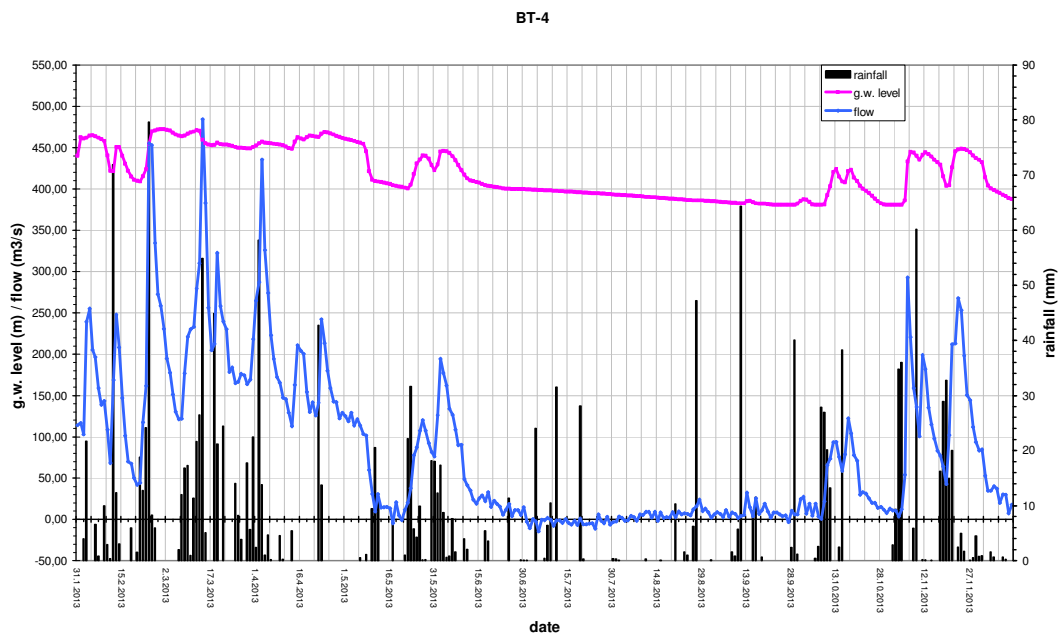


Slika 41. Pijezometar BT-4, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana

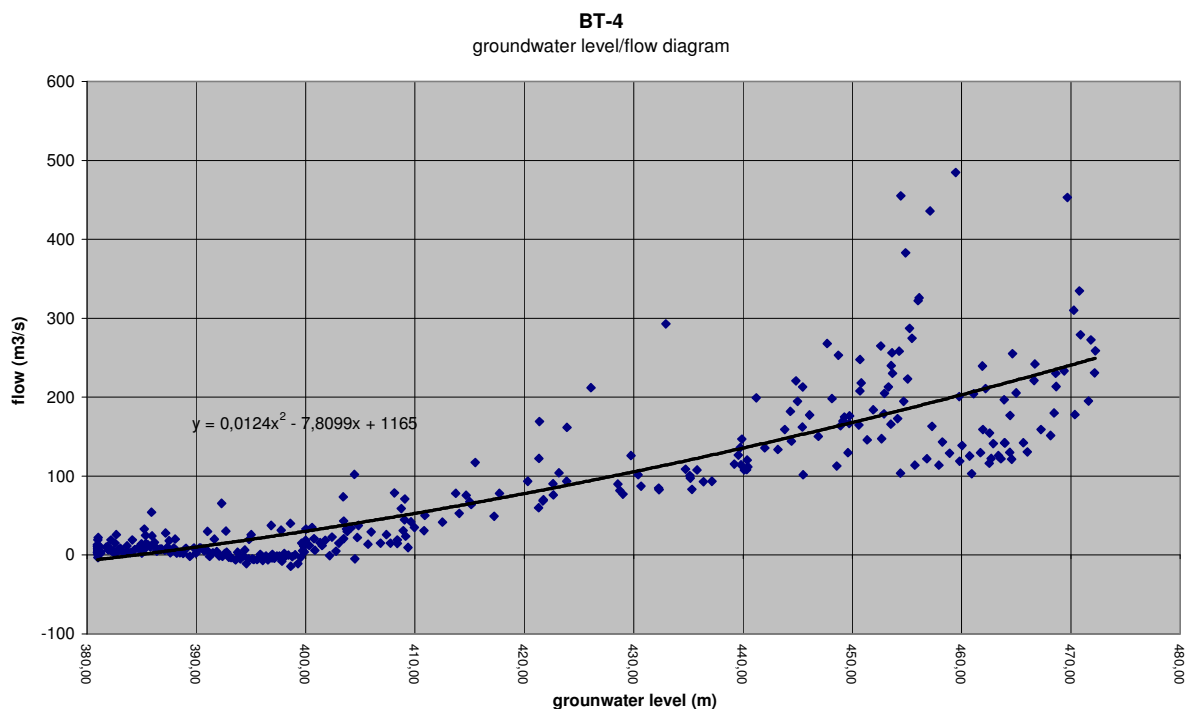


Slika 42. Pijezometar BT-4, vremensko kašnjenje odziva n.p.v. na oborine mjerene na m.s. Plana

Odnos dotoka u akumulaciju i oscilacija n.p.v. u pijezometru BT-4 je dosta usuglašen do rasta n.p.v. od 450 m.n.m. Nakon ove kote dolazi do znatnijeg rasipanja točaka.



Slika 43. Pijezometar BT-4, vremenski dijagram oscilacija n.p.v., oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća

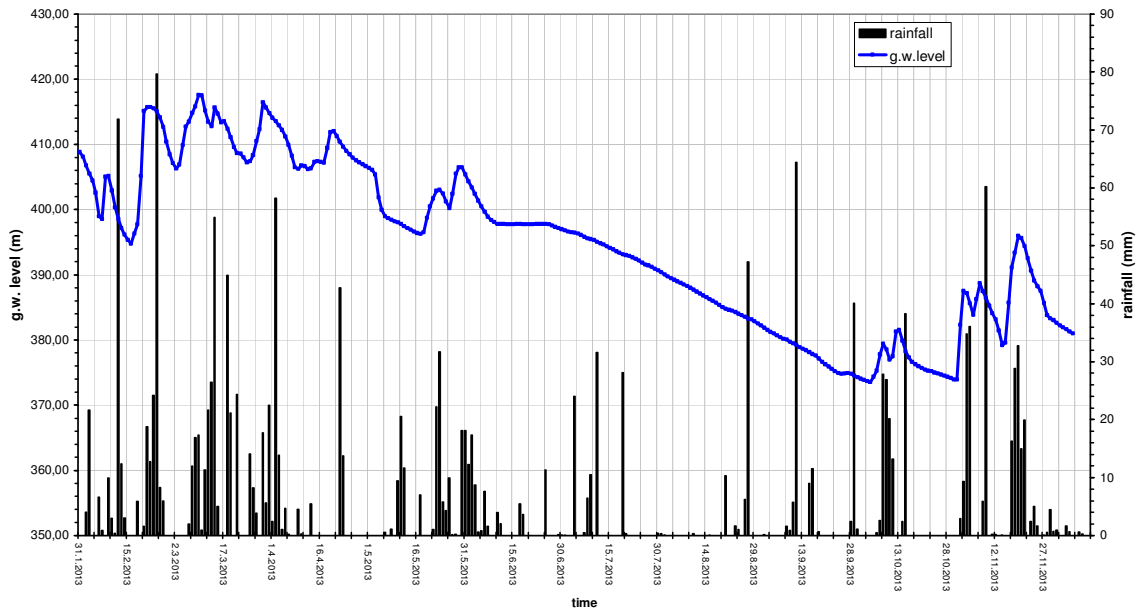


Slika 44. Pijezometar BT-4, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru

Pijezometar PL-1

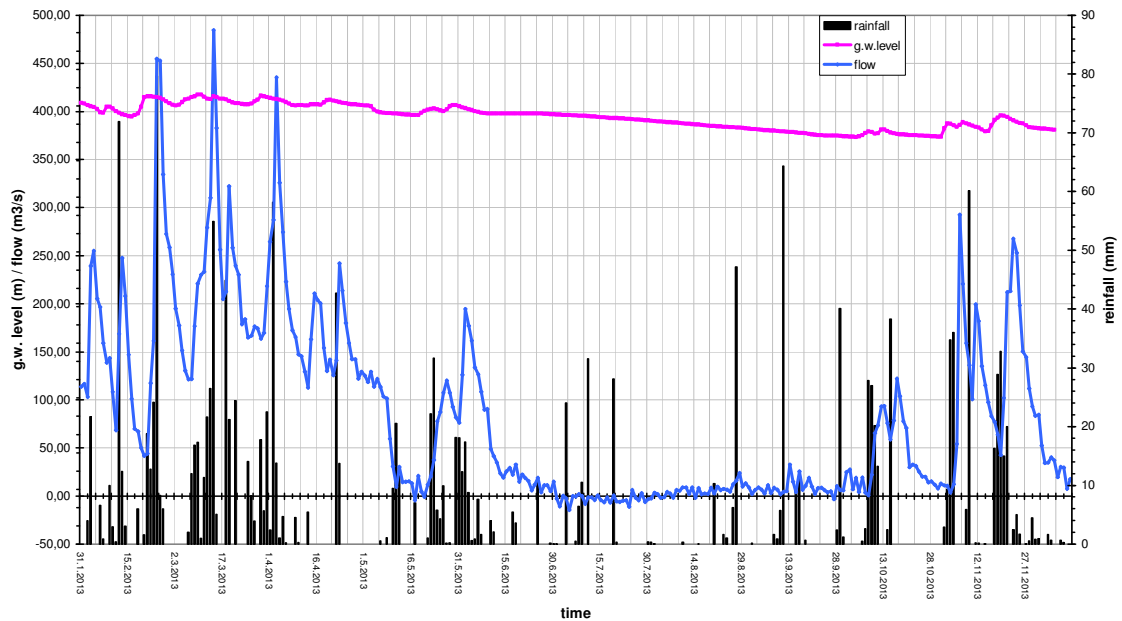
Ovaj pijezometar se nalazi na udaljenosti od oko 10 km od pijezometra BT-4 u pravcu vrela Trebišnjice. Nalazi se u blizini akumulacije Bileća. Kao i kod ostalih pijezometara, odziv n.p.v. na oborine je vidljiv za razdoblja srednjih i velikih voda.

PL-1

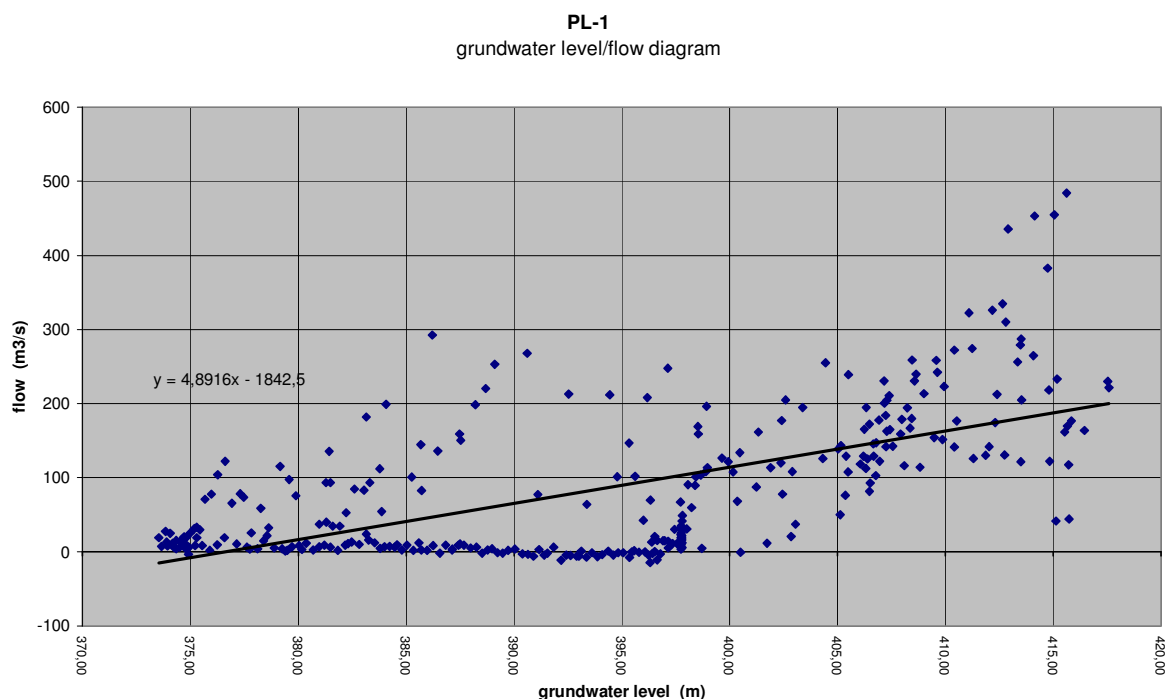


Slika 45. Pijezometar PL-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana

PL-1



Slika 46. Pijezometar PL-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća



Slika 47. Pijezometar PL-1, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru

Pijezometar se nalazi u području Bilečkog polja sa kotama i ispod 420 m. U razdoblju velikih voda se pojavljuju visine n.p.v. vrlo bliske toj koti. Pri punoj akumulaciji, a što je svakako slučaj u razdoblju velikih voda, kada su podzemne vode pod usporom, moguća su povremena plavljenja ovog polja, a što je i registrirano više puta u razdoblju nakon izgradnje akumulacije (6).

Za razdoblje malih voda, odziva na intenzivne i kratkotrajne oborine nema. Kod pijezometra PL-1 se povremeno pojavljuje nagli rast n.p.v. prije registriranih oborina. S obzirom da se za oborine koristi, kao referentna mjerna stanica Plana, postoji mogućnost utjecaja podzemnih dotoka iz drugih pravaca pokrivenih oborinama. Zbog ovog kao i zbog blizine akumulacije dijagram odnosa dotoka i oscilacija n.p.v. u ovom pijezometru pokazuje vrlo velika rasipanja točaka. Nagli porast dotoka za visine n.p.v. od oko 397 m upućuje na dotok prelijevanjem iz drugog pravca dotoka u akumulaciju.

O ovoj pojavi se u Studija utjecaja na životnu sredinu i dokaza za izdavanje ekološke dozvole za hidroenergetiko postrojenja „Dabar“ Zavoda za vodoprivredu d.d. Sarajevo navode i određeni podaci.

Na području Bilečkog polja prikupljeni su podaci o utjecaju akumulacije “Bileća” na plavljenje ovog polja koje se nalazi u neposrednom zaleđu akumulacije i vrela Trebišnjice. Od 1968.-1982. bile su 21 pojave plavljenja u najnižem dijelu Bilečkog polja (Duboki do) dok su stvarne poplave polja bile samo dva puta, 1970. i 1979. g. (6)

Nesumnjivo je da podudaranje visokih voda akumulacije, velikih padavina i velikih dotoka prouzrokuju porast nivoa podzemnih voda i njeno izlivanje u najniže dijelove polja.

Analizom poplave 1970. godine utvrđeno je da se izvori po obodu polja javljaju kad je akumulacija puna, a dotok u akumulaciju veći od 250 m³/s.

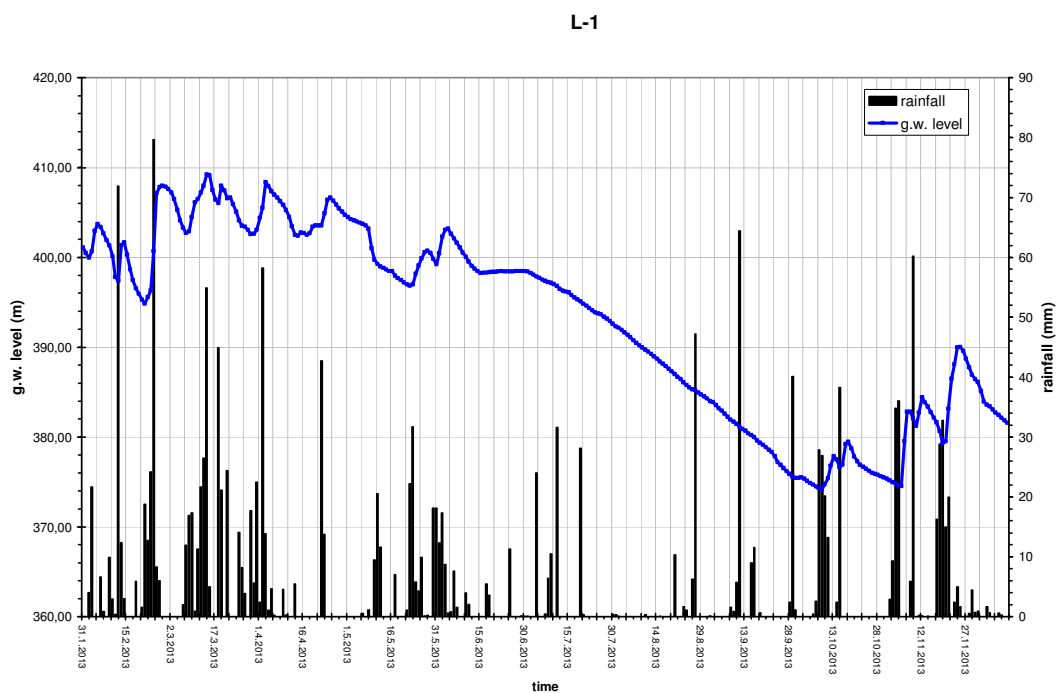
Ako je kota akumulacije ispod 398,00 m tada su mogućnosti za pojavu vode u Dubokom dolu veoma male. Da bi došlo do plavljenja, dotok treba da bude veći od 250 m³/s.

Najviša kota poplavne vode (424,87 m) registrirana je u vremenu kada je nivo u akumulaciji bio 399,5, a dotok 555 m³/s, odnosno ekstremnih 646 m³/s (dan ranije). Ukoliko je dotok manji od 100 m³/s do pojave vode u Dubokom dolu ne dolazi ni kad je kota akumulacije 400,00 m

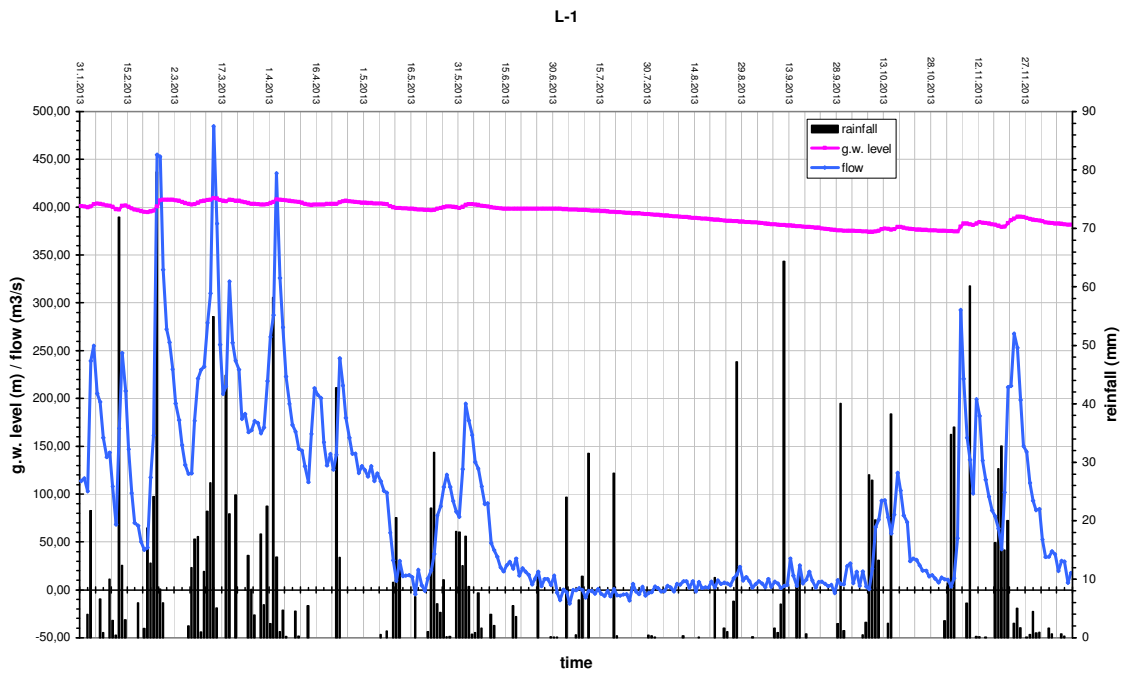
Pijezometar L-1

Ovaj pijezometar se nalazi još bliže Bilečkoj akumulaciji. Na vremenskom dijagramu oscilacija n.p.v. i oborina se jasno uočavaju odzivi u vidu skokova n.p.v. nakon oborina. Zbog blizine akumulacije ovi skokovi su uglavnom unutar granica manjih od 10 m. Kao i kod ostalih pijezometara, u razdoblju malih voda nema odziva n.p.v. na intenzivne i vremenski kraće oborine od 3 dana.

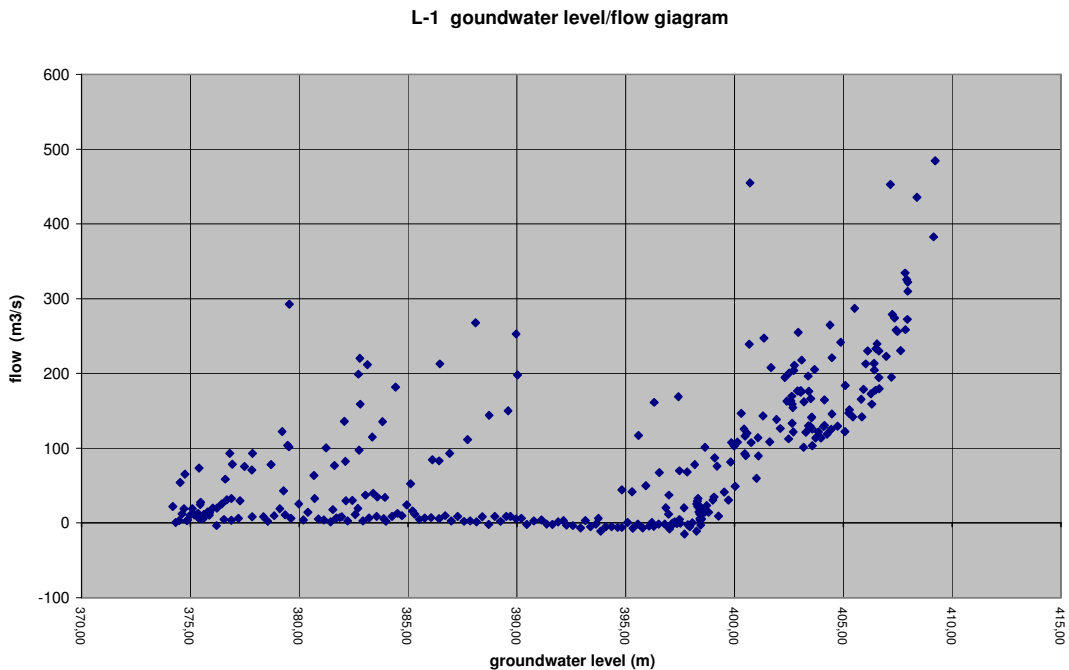
Na dijagramu odnosa dotoka u akumulaciju i n.p.v. u pijezometru su vrlo velika rasipanja točaka.



Slika 48. Pijezometar L-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana



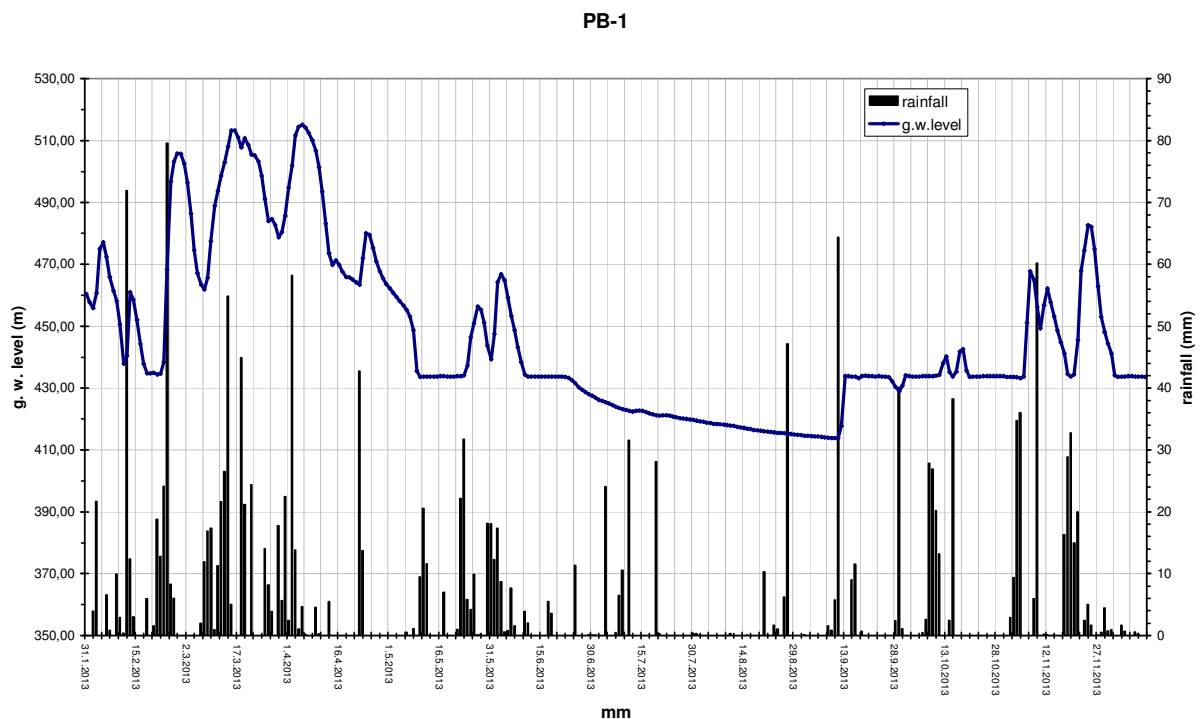
Slika 49. Pijezometar L-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća



Slika 50. Pijezometar L-1, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru

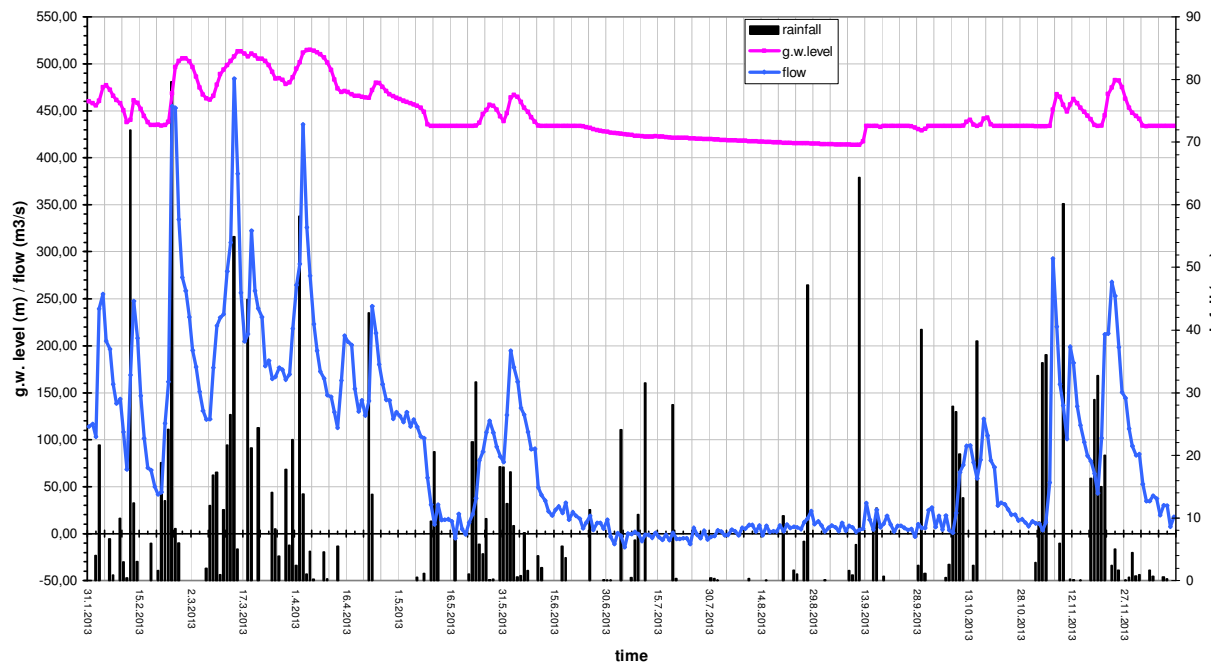
Pijezometar PB-1

Ovaj pijezometar se nalazi u blizini mjerne stanice Plana. Na vremenskom dijagramu se uočavaju vrlo brzi odzivi n.p.v. na oborine sa maksimalnim skokovima nešto preko 60 m. Na istom dijagramu se uočavaju i relativno brza sniženja n.p.v. u pijezometru nakon prestanka oborina. Povremena ustaljenja n.p.v. u razdoblju srednjih voda svakako su najvjerojatnije rezultat postojanja sifonskih tečenja i lokalnih podzemnih akumulacija



Slika 51. Pijezometar PB-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. i oborina na m.p. Plana

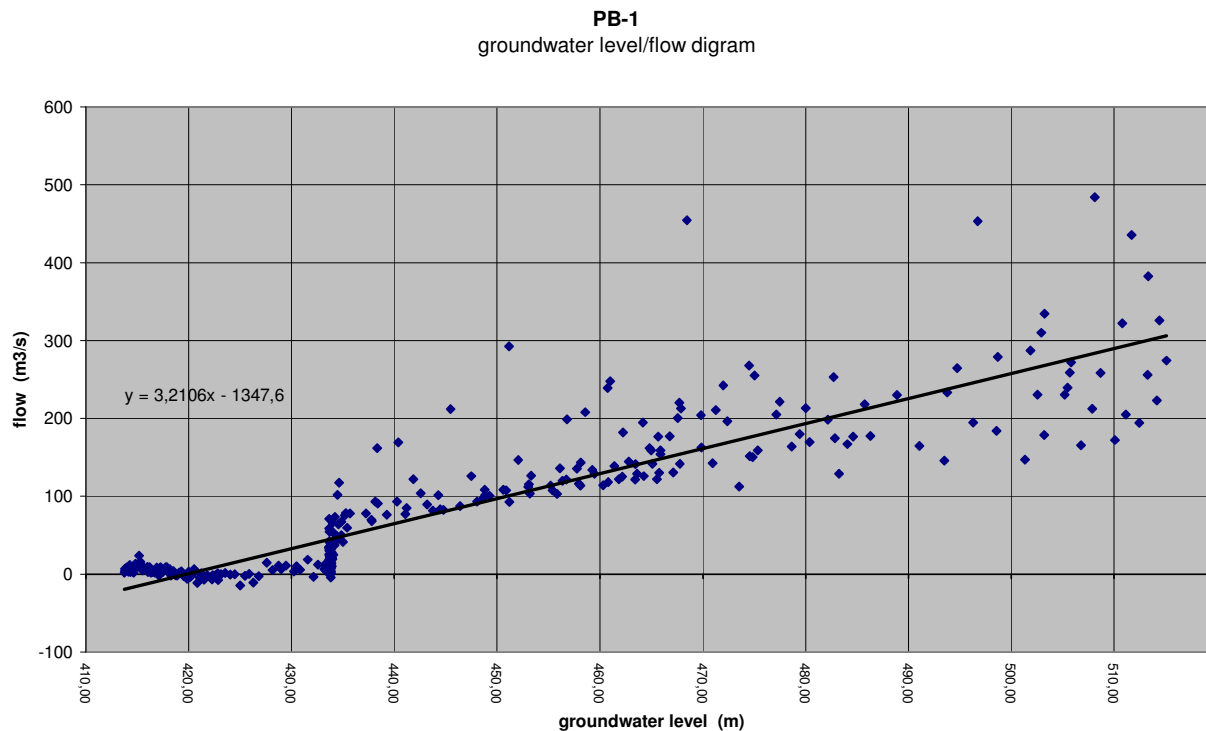
PB-1



Slika 52. Pijezometar PB-1, vremenski dijagram oscilacija n.p.v. , oborina na m.p. Plana i dotoka u akumulaciju Bileća

Na dijagramu odnosa dotoka u akumulaciju i oscilacija n.p.v. uočljivo je relativno manje rasipanje točaka s karakterističnim povećanjem dotoka za ustaljeni n.p.v. na koti nešto manjoj od 435 m. Uzrok ovom bi svakako mogao biti u prelijevanju podzemnih voda iz drugog podzemnog toka.

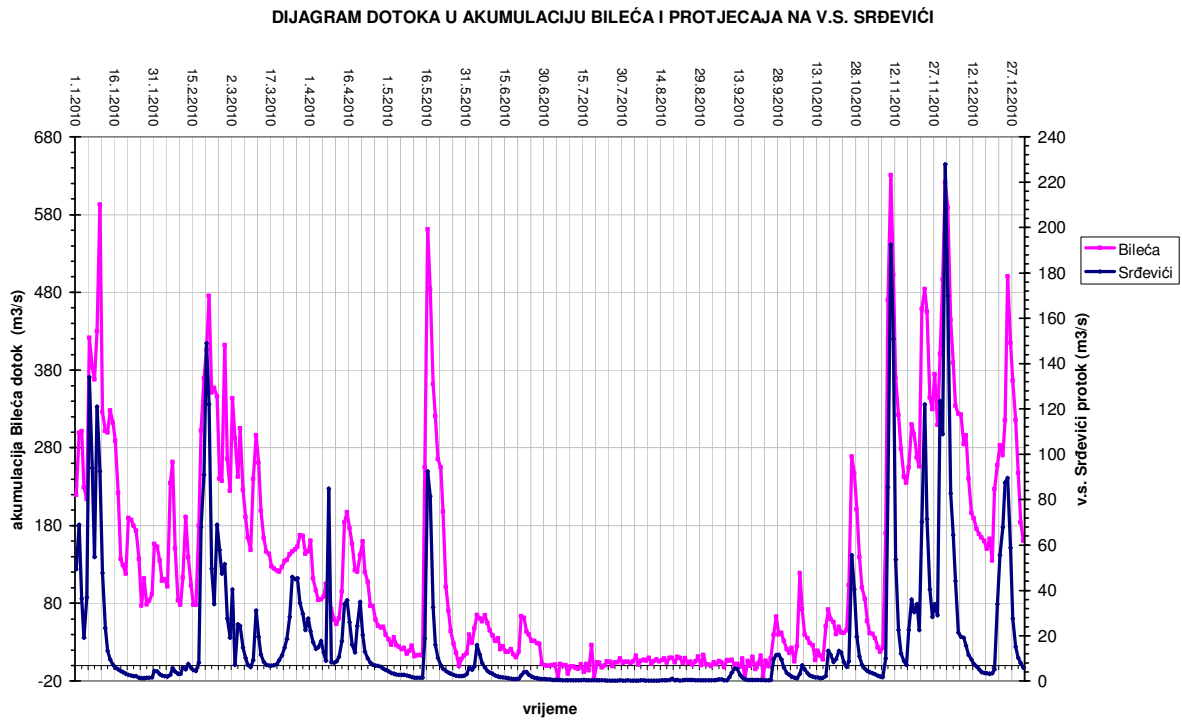
Podaci n.p.v. iz ovog pijezometra bi svakako mogli poslužiti prognoziranju nadolaska vodnih valova i dotoke u akumulaciju.



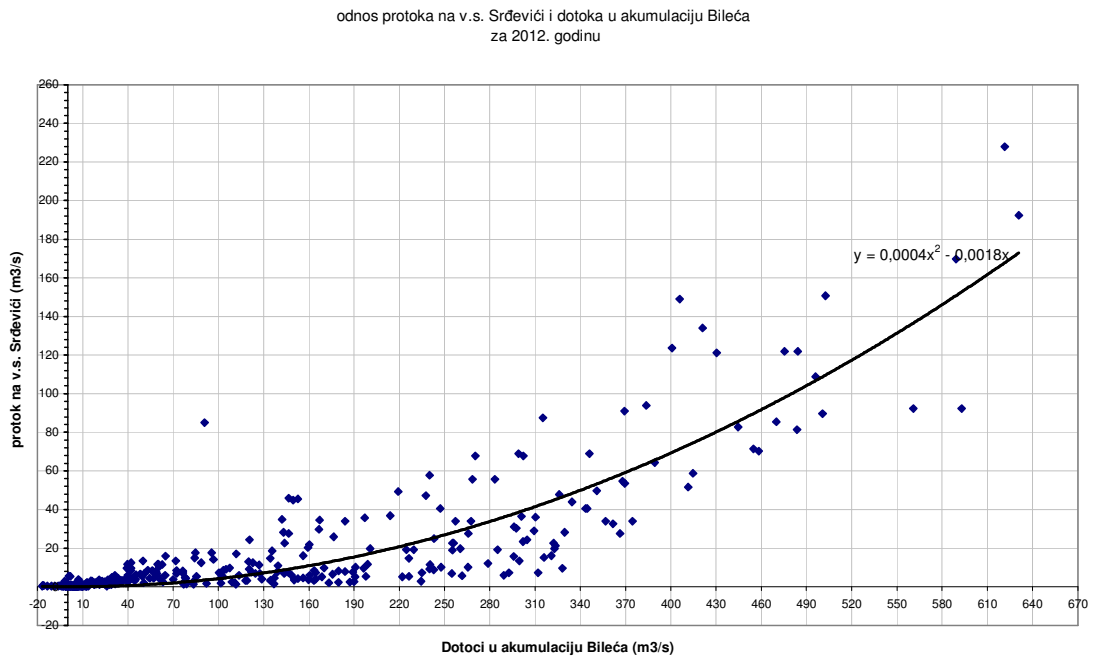
Slika 53. Pijezometar PB-1, odnos dotoka u akumulaciju Bileća i n.p.v. u pijezometru

Iz raspoloživih i podataka izvjesno je da n.p.v. u pijezometrima PB-1 i F-3 najbolje korespondiraju s vrijednostima dotoka u akumulaciju Bileća. Korektno praćenje n.p.v. u ovim pijezometrima bi svakako uz detaljniju obradu mogli poslužiti kod prognoziranja dotoka u akumulaciju Bileća.

Na v.s. Srđevići u Gatačkom polju se prate dotoci toka Mušnice, koji je i najveći površinski dotok u sliv vrela Trebišnjice. Usporedbom dotoka u akumulaciju Bileća i protoka na v.s. Srđevići dobije se dosta visok stupanj podudarnosti oscilacija na vremenskom dijagramu. Na dijagramu njihovih odnosa, rasipanje točaka nije veliko, što svakako može doprinijeti u iznalaženja mogućnosti prognoziranja dotoka u akumulaciju Bileća



Slika 54. Vremenski dijagram dotoka u akumulaciju Bileća i protoka na v.s. Srđevići



Slika 55. Odnos dotoka u akumulaciju Bileća i protjecanja na v.s. Srđevići

7.1.2. Slivno područje toka Trebišnjice

Površina sliva vrela čije se vode dreniraju u korito Trebišnjice, odnosno u akumulacije „Bileća“ i „Gorica“ između vrela Trebišnjice i profila Gorica je prema literaturnim podacima procijenjena na oko 500 km² (6), a prema ovoj hidrogeološkoj obradi 469 km².

Prihranjivanje vodom Trebišnjice preko ovog međusliva, odnosno navedenih akumulacija je preko toka Sušica i nekoliko stalnih i povremenih izvora.

U literaturi se ovaj međusliv dijeli na

- podsliv izvora u akumulaciji Bileća,
- sliv Sušice i na
- sliv vrela Oko.

Podsliv izvora u akumulaciji Bileća

Na ovom dijelu terena postoji veći broj izvora - vrela stalnog i povremenog funkcioniranja. Značajniji izvori su:

Studenci i Studenac su stalna gravitaciona vrela čije su vode odlazile u vodotok Čepelice i rijeku Trebišnjicu. Vrela su danas potopljena.

Oraški Studenac se nalazi nizvodno od Mišelića na desnoj obali rijeke Trebišnjice.

Mlin Dobrićevo, povremeno gravitaciono vrelo, nalazi se uzvodno od mlina Dobrićevo.

Otoka, povremeno gravitaciono vrelo, nalazi se nizvodno od manastira Dobrićevo.

Tmuša, stalno gravitaciono vrelo razbijenog izvorišta, nalazi se na desnoj obali rijeke, nizvodno od mlina Tmuša, i uvire u Trebišnjicu.

Uroševa pećina, koja se nalazi na sjeveroistočnom rubu Jasen-polja.

Na lijevoj obali Trebišnjice je i potopljeno stalno vrelo Oko. Protoci na ovom vrelu su u granicama od 0,5 m³/s do 30 m³/s. Vrelo ima tipičan sifonski mehanizam funkcioniranja. To je i osnovno izvorište za vodoopskrbu grada Trebinja.

Slivno područje je izrazito planinsko, okršeno vapnenačko područje između Zubaca i Bijele Gore. Procijenjena površina sliva je oko 100 km².

Sliv Sušice je površinski sliv razvijen na području neokršenih i slabo propusnih trijaskih dolomita. Sušica je lijevi pritok Trebišnjice (ulijeva se u kompenzacijski bazen „Gorica“) uzvodno od naselja Lastva. Ima karakteristike bujičnog toka s pritjecajima koje se kreću od cca 0,2 m³/s u sušnom razdoblju do preko 150 m³/s u razdoblju vrlo velikih oborina. Pritoke Sušice su stalni tokovi Zaslavnica i Kunski potok.

Prema literaturnim podacima površina sliva Sušice je procijenjena na oko 490 km², što je međutim malo vjerojatno, s obzirom da je sliv izgrađen pretežno od dolomita i da se sliv Sušice definira u najvećoj mjeri orografskom razvodnicom. Orografske sliv Sušice prikazan u ovom radu iznosi približno 116 km².

U slivu Sušice nalazi se i izvor Zaslavnica koji je karakterističan po petosatnoj periodičnoj promjeni izdašnosti uzrokovana pražnjenjem sifonskih akumulacija podzemne vode.

Na desnoj obali ima nekoliko manjih povremenih i stalnih izvora od kojih je najveće stalni izvor Stara Mlinica potopljeno akumulacijom Gorica.

Prema izdvojenoj slivnoj površini svih izvora i sliva Sušice (označena s oznakom "P") koja na hidrogeološkoj karti iznosi oko 490 km², izračun bilance srednjih godišnjih voda po standardnom i grubom obrascu je prikazano u tablici:

Tablica 8

Ozn. Podr.	A Površ. (km ²)	P oborine za 2013. g (mm)	C _{otjecanja} (infiltracija + površ. otjec.)	Ukupno za 2013. godinu (m ³ /s)	Za višego- dišnji prosjeak od 1780 mm	Prema obrascu (4) za grubu bilancu
p1	318	1954	0,9	17,7	16,1	
p2	60	1954	0,85	3,1	2,8	
p3	112	1954	0,7	4,9	4,5	
Ukupan srednji godišnji dotok u Trebišnjicu				25,7	23,4	22,1

Prema podacima iz izračuna bilance voda, sa ovog međusliva višegodišnji prosječan godišnji dotok u Trebišnjicu iznosi oko 23,4 m³/s se može smatrati dosta korektnim.

7.1.3. Slivovi Popovog, Trebinjskog i Mokrog polja

Ovo su dosta složeni slivovi kod kojih su razvodnice dosta složene i promjenjive, poglavito u razdoblju velikih voda. Ti slivovi ujedno predstavljaju i slivove najvećeg broja vrela u Dubrovačkom primorju. Prema rezultatima trasiranja podzemnih voda utvrđeno je:

- Mokro polje pripada slivu Popovog polja i vrela Duboka Ljuta;
- Trebinjsko polje pripada slivu Popovog polja, Omble i Zavrelja;
- Trebinjska šuma, Lug i Popovo polje do Sedlara pripadaju slivu Omble i povremeno slivu nizvodnog dijela Popovog polja.
- Popovo polje između Sedlara i Ravnog pripada izvorišnoj zoni i vruljama u području Slanog.

- Popovo polje između Velje Međe i Turkovića sa ponorima Mlin (Bandera), Provalija i Doljašnica pripada slivu Budima – Bistrine na obali mora i Svitavsko – Deranskom blatu.
- Najniži dio Popovog polja sa ponorima Crnulja, Ponikva, Žira, Lisac i Kaluđerov ponor pripada slivu izvorišnih zona u području Svitave i dolini Neretve kod Metkovića.

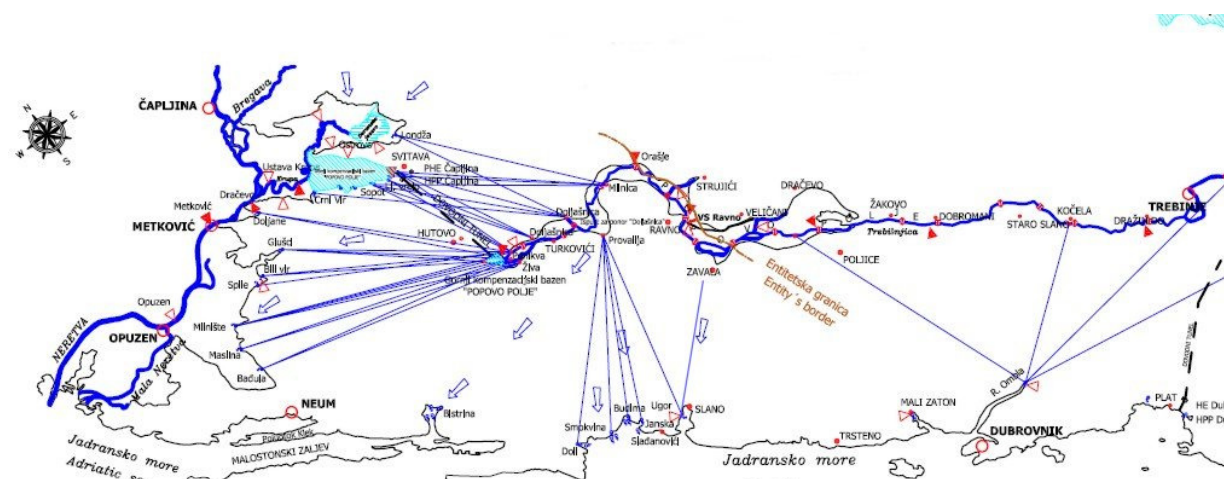
Karakteristike toka Trebišnjice

Iz dostupnih podataka o toku Trebišnjice nizvodno od pregradnog mjesta Gorica značajniji dostupni podaci se odnose na razdoblje prije regulacije korita Trebišnjice.

Prema mjerenim podacima gubici iz korita Trebišnjice kod ulaza od 50 m³/s do ponora Ponikve iznosili su oko 79 %. Za veće ulaze od oko 150 m³/s gubici poniranjem iznosili su oko 42%.

Mjerenjima iz 1970. godine (Energoinvest – Žibret i Šimunić) ocjenjeno je da je ukupan kapacitet ponora u koritu Trebišnjice oko 130 m³/s, a prema grafikonu na sl.6. ukupan kapacitet ponora u Popovom polju je procijenjen na preko 180 m³/s.

O dotocima u razdoblju velikih voda navodi se podatak da su dotoci iz estavela od Dračeva do Strujića, što iznosi oko 11 km toka Trebišnjice, iznosi oko 335 m³/s. Od mjernog profila Dražin do i Dobromana u razdoblju vrlo velikih voda je registriran je međudotok od oko 75 m³/s. Sve to ukupno iznosi oko 400 m³/s. Podaci o dotocima između Dobromana i Dračeva nisu bili dostupni. Međutim i navedene količine su mnogo veće od ukupnog kapaciteta ponora u Popovom polju, što uz dotoke Trebišnjice uzrokuje plavljenje Popovog polja.



Slika 56. Mjerni profili na toku Trebišnjice u Popovom polju i trasiranjem utvrđene podzemne veze (2)

7.2. Slivovi vrela u Dubrovačkom primorju

Velika antiklinala pružanja SZ – JI duž pravca Prisoje – Gorica s prevladavajućim dolomitima u jezgri ove antiklinale i predstavljaju hidrogeološku razvodnicu sa južne strane sliva vrela Trebišnjice (Dejanovo vrelo) i vrela koja se pojavljuju na desnoj obali Trebišnjice do Gorice.

Južno od ove razvodnice je sliv koji u razdoblju velikih voda preko velikog broja, uglavnom estavela, prihranjuje tok Trebišnjice od Gorice do njenog poniranja u Popovom polju.

Dio ovih voda koje poniru preko sustava ponora na južnom obodu Popovog polja prihranjuju podzemne vode vrela duž Jadranske obale Dubrovačkog primorja. Ovim vodama se prihranjuju aluvijalne naslage iz područja Trebinjskog, Mokrog i Popovog polja koje također imaju izravnu podzemnu vezu prema vrelima u obalnom području.

Kako ova polja predstavljaju svojim najvećim dijelom zonu pokrivenog krša, u razdoblju srednjih i malih voda većina vrela Dubrovačkog primorja se prihranjuju vodama koje protječu ispod njih, a jednim dijelom i vodama iz vodonosnika aluvijalnih naslaga sa ovim područja.

U ovim hidrološkim razdobljima također ima dotoka iz reguliranog toka rijeke Trebišnjice duž kojeg se osigurava odvodnja prema kompenzacijskom bazenu Hutovo za potrebe PHE Čapljina. Dosadašnjim istraživanjima je utvrđeno da se vrelo Palata u Zatonu Malom i Konavoska Ljuta ne prihranjuju podzemnim vodama iz ovog sliva.

7.2.1. Sliv vrela Omble

7.2.1.1 Osnovne karakteristike

Vrelo Omble je formirano uz čelo navlake "Visokog krša" i pratećih naslaga eocenskog fliša. Flišna zona predstavlja hidrogeološku barijeru koja je na mjestu vrela erodirana do razine mora. Preko tog erodiranog praga dolazi do pražnjenja prostrane krške izdani. U pravcu istoka i zapada ova barijera se kontinuirano izdiže iznad kota 170 - 200 m. Dubina ove flišne barijere je vrlo velika, tako da u široj zoni vrela Ombla nema pojava vrulja u moru, a također i prodora morske vode u zonu krškog vodonosnika.



Slika 57. Vrelo Ombla sa ustavom

Površinu kontakta navučenog dijela strukture čine dolomiti gornjeg trijasa koji su slabije provodni od vapnenaca, međutim sa pojavama rjeđih i relativno velikih kaverni.

U oba bloka su otkrivene kaverne u dolomitu.

Karbonatne mase krovinskog tektonskog bloka su dio regionalne monokline strukture koju karakterizira dinarski elementi pada i pružanja. U zoni površine navlačenja (T_3 i donji dio J_1) nagib strukture je dosta strm (40 -70 stupnjeve) da bi se udaljenjem od kontakta (završni dio J_1 i J_2) postupno prešao u strukturu koja tone u pravcu sjeveroistoka sa padom 20 -30 stupnjeva.

Jurski vapnenci sa prosljocima dolomita, karakterizira kavernoza poroznost i velika vodopropusnost duž tektonski razlomljenih zona.

Izvorišna zona se sastoji od tri koncentrirana mjesta istjecanja. Po kapacitetu dominira „Glavni izvor“ čija izdašnost se procjenjuje na 80% ukupnog dotoka. Tu su i izvori „Baba“ i „Crkvica“ koji se nalaze bočno od glavnog izvora. Za vodoopskrbu Dubrovnika kaptiran je glavni izvor.

Za potrebe projektiranja i izgradnje objekata Hidrosistema Trebišnjica i u novije vrijeme za potrebe projektiranja podzemne HE Ombla, obavljen je veliki broj istražnih radova tako da su bitne karakteristike ovog izvorišta dobro poznate.

Vrelo ima izrazite sifonske karakteristike. Istražene kaverne se dosta strmo spuštaju do kote -54 m (to je najdublja točka do koje su ronionci dospjeli, a nalazi se na udaljenosti cca 520 m od vrela).

Vrlo zamršeni hidrogeološki i hidrološki odnosi onemogućuju, kao i kod slivova većine krških vrela, pouzdanije definiranje hidrogeoloških razvodnica. Podzemne vode Omble se u prirodnim uvjetima prihranjuju vodama koje potiču iz posrednog i neposrednog sliva.

Posredni sliv pripada slivu vrela Trebišnjice i vrela koja se javljaju u Trebišnjici do brane Gorica, kao i prostora od Trebišnjice do.

Neposredni sliv je od prethodnog približno odijeljen hidrogeološkom barijerom koju u jezgri antiklinale čine dolomiti trijasa i jure. Sve podzemne vode posrednog sliva su zbog ove barijere izbijale na površinu terena i koritom Trebišnjice doticale u neposredni sliv.

Neposredni sliv zahvaća okršenu zaravan samog zaleđa vrela, dio Popovog polja (Trebinjsku Šumu, Lug i polje do Grmalja), područje između Popovog polja i Ljubomira i sliv Ljubomirskog polja. Pripadnost ovih područja (izuzimajući Ljubomir) slivu Omble utvrđena je izvedenim istražnim radovima, prije svega obavljenim trasiranjima.

Hidrogeološke razvodnice imaju sve odlike tipične za krš. One se ne mogu označiti oštrom granicom. To su vododjelničke zone, čije širine je teško definirati, čak i pod cijenu obimnih istražnih radova (6).

Raščlanjena razvodnica od vrela Omble sa istočne strane približno prati granicu dolomita i flišnih naslaga, te preko prijevoja Orlovići se pruža u pravcu sjeveroistoka prema Gomoljanima i Trebinjskom polju do ponora u Dolovima sa kojeg je utvrđena podzemna veza sa vrelom Omble. Na tom pravcu razvodnica je sa slivom vrela Zavelje - Mlini. Prema sjeverozapadu granica je najvjerojatnije preko Leotara u pravcu Žukovice, Ruda i Radimlja. U pravcu jugozapada razvodnica se pruža preko Ljubinjskog polja do Smolčića, obuhvaća dio masiva Lisac i preko kote Šiljevac, Dubljana i Grmljana presijeca Popovo Polje. U pravcu jugoistoka djelomično obuhvaća pojas dolomitnih vapnenaca i veći broj dijagonalnih rasjeda u pravcu Oštra Glava te se granicom dolomita i flišne serije pruža do vrela Omble.

Na širem području pojave vrela Ombla postoji još nekoliko manjih izvora koji pripadaju istom slivu, a zbog svog kontaktno – silaznog karaktera može se smatrati da egzistiraju kao manji podslivovi. Izvor Račevica ($Q = 0,2 - 0,4$ l/s); Čajkovića, Bota, Knežica ($\sim 0,2$ l/s).

U tom dijelu je najveće vrelo Slavijan formiranom na tektonskom kontaktu eocenskog fliša kao hidrogeološke barijere i mezozojskog karbonatnog kompleksa kao kolektora – vodosprovodnika. To je povremeno vrelo čija aktivnost je svedena samo na izrazito vlažni period godine. Izvor se nalazi na koti 108 m. Maksimalni protok se kreće u granicama $2 - 3$ m³/s.

7.2.1.2 Pravci i brzina tečenja podzemnih voda

Pravci tečenja podzemnih voda prikazani su na priloženim hidrogeološkim kartama (prilog 1 i 2). Prikazani su generalni pravci podzemnog tečenja koji odgovaraju dobivenim rezultatima trasiranja podzemnih voda.

U zaleđu vrela Omble, u njenom neposrednom slivu evidentni su dva dominirajuća pravca podzemnih tečenja.

Jedan je iz pravca sjeveroistoka koji prikuplja podzemne vode sa nekoliko manjih podslivova. Drugi dominirajući podzemni tok je iz pravca sjeverozapada, odnosno Popovog Polja.

U neposrednom zaleđu za podzemne vode je znakovito sifonskog tečenje. Na udaljenostima od oko 1 km od samog vrela, kaverne sa podzemnim tokovima nalaze se ispod kote – 50 m (utvrđeno bušenjem).

Registrirane brzine i pravci tečenja podzemnih voda u neposrednom slivu prikazane su u tablici 9.

Tablica 9

Br.	Mjesto bojenja i kota (m)	Ulaz Q (m ³ /s)	Datum	Mjesto pojave trasera - kota (m)	Udaljenost (km)	Prividna brzina (km/dan)
1.	Geljov most Mokro polje (273)	0,08	16.8.1956	Ombla Dubrovnik (2,5)	16,2	1,8
2.	Gradina Trebinje (272)	0,3	22.09.1959	Ombla Dubr. (2,5)	18,0	2,5
3.	Poljice Mlinica Popovo polje (244)	0,5	25.02.1952	Ombla Dubrovnik (2,5)	18,0	5,8
4.	Pridvorci Trebinje (273)	0,52	29.7.1956	Ombla Dubrovnik (2,5)	16,25	2,8
5.	O-6, bušotina, zaleđe Omble (275)	Upump. 0,5 m ³ vode	07.03.1986	Vrelo Ombla (2,5)	4,2	1,2

Iz vrijednosti prikazanih u tablici 9. brzine podzemnog tečenja prema vrelu Omble kreću se u granicama od 1,2 do 5,8 km/dan. Najmanja brzina od 1,2 km/dan utvrđena je u neposrednom zaleđu vrela (4,2 km udaljenosti) iz istraživačke bušotine uz naknadno usipanje vode. U načelu ovakva trasiranja daju najmanje pouzdane informacije.

Iz pravca Mokrog polja i Trebinjskog polja brzina podzemnog tečenja je od 1,8 do 2,8 km/dan, a najveća iz pravca Popovog polja 5,8 km/dan.

7.2.1.3 Mjerenja na v.s. Komolac

Vodomjerna stanica izvora Omble se vodi pod nazivom VS Komolac. Osnovana je 1982 godine sa kotom „0“ =2,38 m.n.m.

Četrdeset metara nizvodno od glavne izvorišne zone izgrađena je ustava u svrhu usporavanja vode radi njene eksploatacije i izoliranja izvorišne zone od utjecaja plime i oseke.

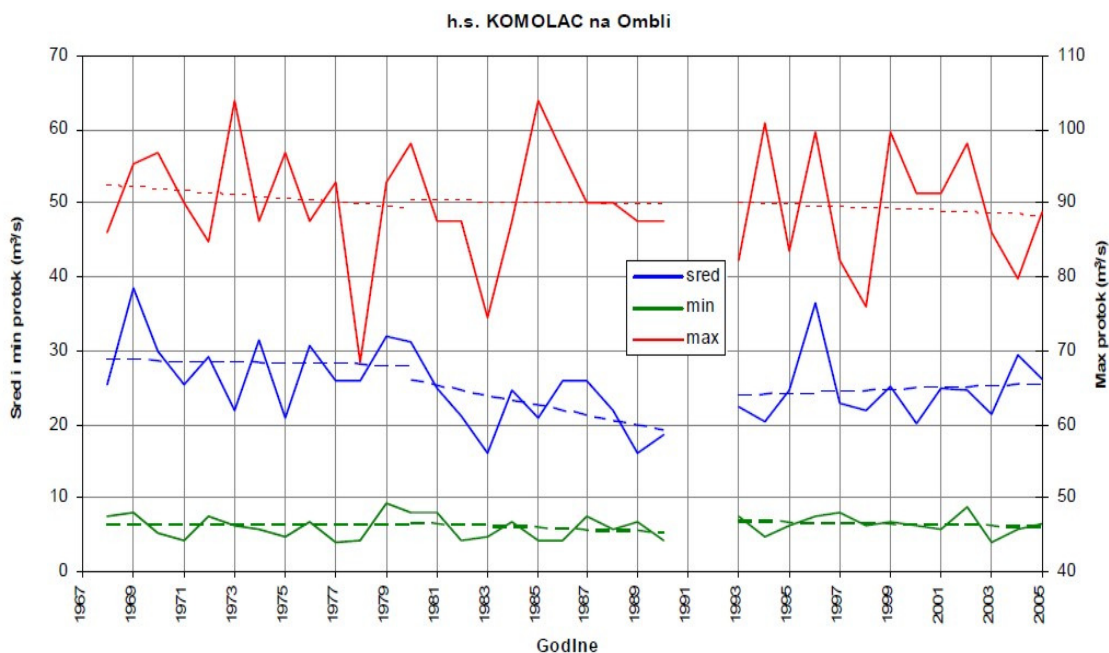
Podaci o protjecanju prije 1961 godine nisu pouzdani. U razdoblju promatranja 1962 – 1983 godine minimalni izmjereni vodostaj je bio -70 cm, a maksimalni 90 cm. Minimalni protok u tom razdoblju bio je 4,1 m³/s, a maksimalni 154 m³/s. Srednja vrijednost protoke za čitav ovaj period iznosi 32,2 m³/s. Najveća vrijednost srednje protoke zabilježena je 1963 god. Qsr. = 44,9 m³/s.

Do danas je došlo do značajnih promjena u slivu Omble koje su imale za posljedicu promjenu režima vode na vrelu:

- Srednji protok u prirodnim uvjetima (do 1965) je bio Qsr.= 33,8 m³/s.
- Puštanjem u pogon HE Dubrovnik (1965) vodonosnik Omble je osiromašena za dio voda koja se kroz tunel i elektranu u Platu transportira u more.
- Sa dovršenjem brane Grančarevo (1968) vodonosnik Omble je osiromašena za novu količinu vode koja se akumulira u akumulaciji Bileća i odvodi tunelom u more. Za period 1965-1979 protok je iznosio Qsr = 29,6 m³/s.
- Treće osiromašenje vodonosnika nastaje nakon betoniranja korita Trebišnjice u okviru projekta PHE Čapljina (1979). Sa ovim zahvatom isključena je najznačajnija zona koncentrirane infiltracije ovog vodonosnika. Nakon ovih promjena srednji protok je iznosio Qsr = 24,4 m³/s.

Na slici 14. prikazan je dijagram srednjih, minimalnih i maksimalnih godišnjih protoka zabilježenih na hidrološkoj stanici Komolac na Omblu u razdoblju 1961. do 2005. godine.

Na temelju navedenog dijagrama ne može se dati pouzdana ocjena ukupnog trenda u razdoblju 1961.-2005. godine, bez prekida bilježenja (1992.). Za prikaz trenda protoke na promatranoj stanici unutar razdoblja 1961.-2005. godine izdvojena su dva podrazdoblja: do 1991. i nakon 1993. kad su mjerenja ponovno nastavljena.



Slika 58. Minimalni, srednji i maksimalni protoci Omble mjereni na h.s. Komolac (2)

U prikazu trenda minimalnih godišnjih protoka za razdoblje 1961.-1991. godine nije uzet u obzir vodostaj u 1977. godini (registriran za vrijeme kada su ustave bile podignute što je rezultiralo nerealno niskim vodostajem ispod kote krune preljeva). Izuzevši 1977. godinu može se zaključiti da su maksimalni i minimalni protoci na hidrološkoj stanici Komolac ujednačeni, dok opada srednji vodostaj do 1991. godine. Nakon 1993. godine dolazi do stagnacije trenda svih vodostaja.

7.2.1.4 Kalibracija sliva

Bilanca podzemnih vrela Omble računa se za srednje godišnje vode i predstavljaju njene približne vrijednosti, jer u bilanci podzemnih voda koje se pojavljuju, osim oborina, sudjeluju i količine koje se koriste u višenamjenskom hidroenergetskom sustavu HET a i PHE Čapljina. Na temelju registriranih o obrađenih srednjih godišnjih oborina za područje sliva utvrđene su srednje godišnje padaline od 1765 mm.

Vrelo Ombla ima srednje protoke od $24,4 \text{ m}^3/\text{s}$. za mjereno razdoblje 1979 -2007 godine.

Gruba bilanca srednjih godišnjih voda se može sračunati prema obrascu:

$$Q_{sr} = \frac{A_{sl} \cdot I \cdot C}{31,5 \cdot 10^{-6}}$$

Ulazni podaci za proračun bilance podzemne vode je:

Q_{sr} = računati srednji protok

A_{sl} = utvrđena površina sliva (579 km²)

C = koeficijent infiltracije (0,8)

I = srednje godišnje padaline (1780 l/m²)

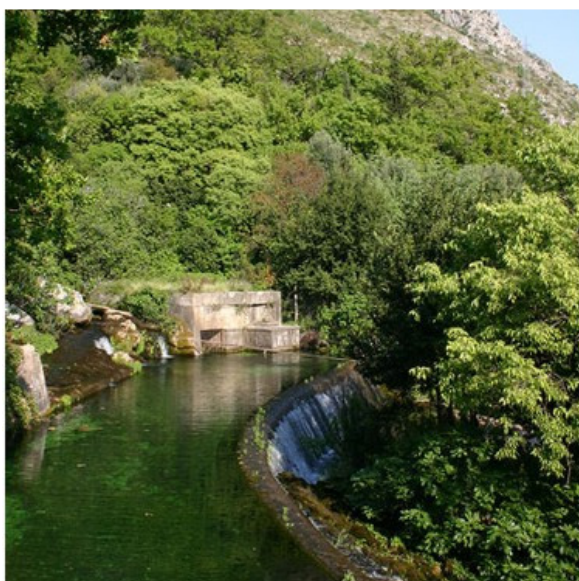
Izračunom bilance standardnim obrascem dobije se vrijednost srednje godišnje protoke na vrelu Ombla sa neposrednog sliva od oko 24,5 m³/s, odnosno 26,1 m³/s prema izračunu grube bilance.

Prema mjerenim srednjim protocima na v.s. Komolac od 24,4 m³/s potrebnim količinama vode za dva instalirana agregata u HE Dubrovnik te srednjeg protoka Trebišnjicom prema HE Čapljina, pretpostaviti je da se većina voda sa posrednog sliva odvodi prema HE Čapljina i HE Dubrovnik.

7.2.2. Slivno područje vrela Zavrelje - Mlini

7.2.2.1 Osnovne karakteristike

Izvor je formiran na tektonskom kontaktu eocenskog fliša i trijaskih dolomita, što je karakteristika svih značajnijih vrela ovog područja. Ovo vrelo je formirano visoko iznad nivoa mora. Izvorišna zona zahvaća veću površinu i zatrpna je sa velikim blokovima. Pri visokim vodostajima voda istječe iz zone u kojoj je razlika između najviše i najniže točke više metara.



Slika 59. Vrelo Mlini

Najstarije stjenovite mase u širem području izvora su bankoviti dolomiti i vapnenci gornjeg trijasa. Nagib bankova je oko 45° u pravcu sjeverozapada, uz mjestimična lokalna odstupanja.

U postupnom prijelazu od dolomita i vapnenaca u izmjeni, preko trijasa su istaložene karbonatne naslage jure. Gornji dijelovi ovog paketa imaju nešto blaži nagib od dijela strukture koja se nalazi uz čelo navlake. To su pretežno bankoviti do debelo – bankoviti vapnenci koji se morfološki jasno razlikuju od ostalih članova jurske serije. Oni grade više dijelove strmih padina. Najviši dijelovi grebena prelaze kote 550m.

Sedimenti eocenskog fliša u kojima dominira laporovito – glinovita komponenta su uškrljeni tamno-crveni i sivi lapori. Fliš gradi čitavu padinu između čela navlake i obale mora. Ovaj dio terena je prekriven osulinskim materijalom i padinskim brečama tako da njegovi izdanci nisu otkriveni na terenu.



Slika 60. Naslage bigra i kaskadno tečenje nizvodno od vrela Mlini

Stotinjak metara ispod izvora, pa do obale mora, sedimenti fliša su prekriveni sa naslagama bigra koje su deponirani kao posljedica izuzetno turbulentnog režima tečenja potoka Zavelja niz flišnu padinu.

Osnovna tektonska forma je svakako navlaka visokog krša. U području izvorišne zone njena trasa se nalazi ispod kote 100 m. U zapadnom bloku ona se blago penje do kote 150 m, a u istočnom do cca 175 m.n.m. Nagib površina navlačenja je dosta blag i iznosi oko 15 stupnjeva.

7.2.2.2 Slivno područje

Pored voda vlastitog sliva prema vrelu Zavrelje povremeno teku i vode susjednog sliva vrela Omble. Rezultati bojenja ponora Pridvorci su pokazali da su slivovi Omble i Zavrelja u razdoblju vrlo velikih voda povezani. Ponor se nalazi kod istoimenog sela na lijevoj obali Pridvoračkog kraka r. Trebišnjice. Obavljena su dva bojenja. Pri niskom vodostaju utvrđena je veza isključivo sa vrelom Omble.

Kvantitativna analiza bojenja ponora u Pridvorcima pokazuje da od ukupne količine vode koja na tom mjestu ponire pri visokim nivoima podzemne vode samo oko 27% otječe prema Zavrelju, dok preostalih oko 73% otječe prema Ombli. Prema nekim informacijama sa ovog ponora postoji otjecanje i prema vrelu Duboka ljuta (Robinzon).

Istočnu razvodnicu (prema slivu vrela Robinzon) većim dijelom čini široka tektonska zona Slivničkog rasjeda uz koju se protežu jursko – kredni dolomiti.

Osim Slivničkog rasjeda koji ima generalni pravac pružanja od juga prema sjeveru uz bočno povijanje prema zapadu model dominantnog rupturnog sklopa karakteriziraju razlomi koji se pružaju u pravcu istok – zapad (jugozapad), a što je prikazano na hidrogeološkoj karti.

Transverzalni lomovi su rjeđi, osim u neposrednom zaleđu Zavrelja. Veći broj lomova ovog pružanja lokalno je narušilo kompaktnost dolomitskog litostratigrafskog člana i omogućilo hidrogeološku vezu prema erozivnom bazu (jadranska depresija).

Podzemno tečenje

U rekonstrukciji tečenja podzemnih voda na području sliva vrela Zavrelje – Mlini korišteni su podaci obavljenih trasiranja podzemne vode, odnos slabo propusnih dolomita i okršenih vapnenaca, zatim podaci o mreži tektonskih lomova te rezultati provedenih geofizičkih ispitivanja – geoelektričnih sondiranja koja su obavljena na širem zaleđu ovog vrela i vrela Omble.

Dolomitske stijene koje imaju slabu provodnost u sklopu terena imaju funkciju prevladavajuće hidrogeološke bočne barijere prema jugozapadu i na istočnoj strani uz veliki Slivnički rasjed. Oni blago tonu iz pravca jugozapada prema sjeveroistoku i istoku, a uz Slivnički rasjed se pojavljuju u vidu praga koji ovaj sliv u najvećoj mjeri dijeli od sliva vrela Duboka Ljuta - Robinzon.

Raščlambom navedenih rezultata na slivu su izdvojena dva temeljna pravca dreniranja podzemnih voda i njihovog tečenja.

Jedan je iz pravca Pridvoraca u Trebinjskom polju prema Ljubovu gdje je rasjedima raskinut dolomitni prag uz Slivnički rasjed, zatim između Stubice i Mrnjiča podzemni tok se proteže prema Crnom dolu i vrelu Zavrelje – Mlini.

Drugi mogući pravac je nešto manje izražen i pruža se iz pravca Zaumca i Gluve smokve prema Crnim koritima i dalje prema vrelu.

Manji sekundarni pravci su tečenja uz Slivnički rasjed prema izvoru Smokvinac kao i podzemno tečenje na krajnjem zapadnom dijelu sliva iz pravca Spasove glave prema Drenovači i prema vrelu.

Brzina tečenja podzemnih voda

Brzinu tečenja podzemnih voda je utvrđena na temelju rezultata trasiranja podzemnih voda. Rezultati provedenih trasiranja sa prikazom prividnih brzina dani su u tablici 10.

Tablica 10

Br.	Mjesto bojenja i kota (m)	Ulaz Q (m ³ /s)	Datum	Mjesto pojave trasera - kota (m)	Udaljenost (km)	Prividna brzina (km/dan)
1.	Slivnica (410)	0,01	03.12.1972	Zavrelje, Mlini (100)	4,9	1,1
2.	Pridvorci Trebinje	H = 1,25	28.03.1956	Ombla Zavrlje Mlini	16,25 12,7	5,6 5,0

Izvedena su dva trasiranja od kojih je jedno u području Slivnice na udaljenosti od 4,9 km i prividnom brzinom od 1,1 km/dan. Ponor na kojem je unošen traser se nalazi na kontaktu dolomita i dolomitičnih vapnenaca koji imaju znatno manju provodnost od vapnenačkih stijena koje izgrađuju najveći dio sliva, a prema rekonstrukciji pravac podzemnog tečenja i znatno duži put.

7.2.2.3 Mjereni protoci

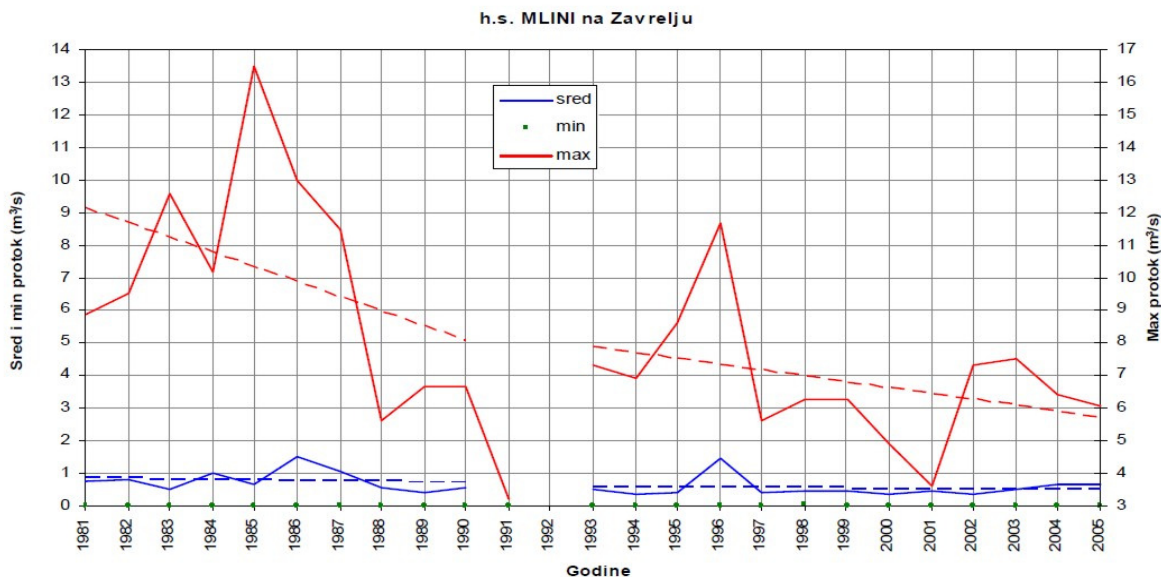
Izdašnost varira u širokim granicama, od cca 3 l/s u minimumu do desetak kubika u razdoblju velikih padalina. Prema podacima Energoinvesta 30. III 1989. godine srednji protok Zavrelja je bio 15 m³/s.

Izvor je kaptiran za lokalne potrebe vodoopskrbe, a preljevne vode su energetske iskorištene u maloj elektrani koja se nalazi na obali mora. Za potrebe elektrane na izvoru su izgrađeni neophodni objekti sa preljevnim pragom čija kruna se nalazi na koti 79,40 m. Ulogu kompenzacijskog bazena ima betonski kanal dužine preko 100 metara koji je ukopan duž izohipse u flišnu padinu.

Na hidrološkoj stanici Mlini na Zavrelju mjere se količine voda koje preostaju nakon zahvaćanja za potrebe hidroenergetike. Ukupne količine voda izvora Zavrelje čine radne vode HE Zavrelje i mjerenja na stanici Mlini.

U čitavom razdoblju mjerenja prisutan je negativni trend maksimalnih godišnjih vodostaja na hidrološkoj stanici Mlini što je vidljivo sa grafikona prikazanih na slikama 19 i 20.

Prema prikazu na slici na hidrološkoj stanici Mlini na Zavrelju prisutan je negativni trend maksimalnih protoka u čitavom razdoblju mjerenja, s time da je od 1993. godine nešto blaži nego u prethodnom razdoblju. U razdoblju mjerenja prisutan je blagi negativni trend i stagnacija srednjih godišnjih protoka.



Slika 61. Maksimalni, srednji i minimalni protoci na h.s. Mlini (5)

Na slici 62. prikazane su krivulje trajanja protoke na stanici Mlini za razdoblje prije i nakon izgradnje RHE Čapljina. Uz pretpostavku stabilnog mjernog profila uočavaju se značajne promjene u krivuljama. Došlo je u određenoj mjeri do smanjenja malih protoka i povećanja trajanja protoka suhog razdoblja.

7.2.2.4 Kalibracija sliva

Bilanca podzemnih vrela Zavrelje računa se za srednje godišnje vode i predstavljaju njene približne vrijednosti. Kako se radi o slivu koji se proteže od Trebinja do Župskog zaljeva, za proračun bilance bi se koristile srednje vrijednosti padalina između mjernih postaja Trebinje i Dubrovnik što iznosi oko 1500 mm

Ukupna površina izdvojenog hidrogeološkog sliva iznosi oko 40 km².

Gruba bilanca srednjih godišnjih voda se može sračunati prema obrascu:

$$Q_{sr} = \frac{A_{sl} \cdot I \cdot C}{31,5 \cdot 10^{-6}}$$

Ulazni podaci za proračun bilance podzemne vode je:

Q_{sr} = računati srednji protok

A_{sl} = utvrđena površina sliva (40 km^2)

C = koeficijent infiltracije (0,75)

I = srednje godišnje padaline (1500 l/m^2)

Dobije se vrijednost srednje godišnje protoke na vrelu Zavrelje od oko $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$, a što se kod obavljenih mjerenja odnosi samo na maksimalne srednje vode. U svakom slučaju bi se ovaj sliv morao detaljnije istražiti i provjeriti mogući otjecaji koji nisu obuhvaćeni mjerenjima. Svakako postoji znatan nesklad između bilance podzemnih voda i mjerenih protoka.

7.2.3. Sliv vrela Duboka Ljuta - Robinzon

Ovo vrelo je kaptirano i služi za vodoopskrbu dijela Dubrovačke Župe od Kupara do Cavtata i naselja između Močića i Čilipa. Iz izvora se crpi $Q = 150 \text{ l/s}$ dok se kao maksimalna količina koju je moguće crpiti u sušnom razdoblju procjenjuje $Q = 250 \text{ l/s}$.

Vrelo se nalazi istočno od Plata gdje se trasa čela navlake visokog krša spušta ispod nivoa mora.

U tijeku iskopavanja podzemnih objekata za HE Dubrovnik otkriven je dovodni kanalski sistem ovog vrela. Jedan od ovih kanala presječen je pristupnim tunelom prema podzemnoj strojarnici HE Dubrovnik.



Slika 62. Vrelo Duboka Ljuta - Robinzon

7.2.3.1 Osnovne Karakteristike

Slivno područje vrela Duboka Ljuta uklještemo je između slivova vrela Konavoska Ljuta i vrela Mlini. Položaj sliva ovog vrela je svakako rezultat litološkog sklopa terena kao i njegove tektonske poremećenosti.

Na strukturu ovog područja dominantni utjecaj su imali čelo velike navlake i položaj velikog Slivničkog rasjeda. U istočnom bloku Slivničkog rasjeda strukture se generalno pružaju paralelno Slivničkom rasjedu s padom slojeva u pravcu istoka da bi prema jugu povijali i poprimali pružanje približno čelu navlake, odnosno u pravcu istog – zapad. Unutar ovog dijela strukture na površini terena su izdignuti dolomiti J,K koji predstavljaju dosta visoki prag i bočnu barijeru prema slivu vrela Mlini.

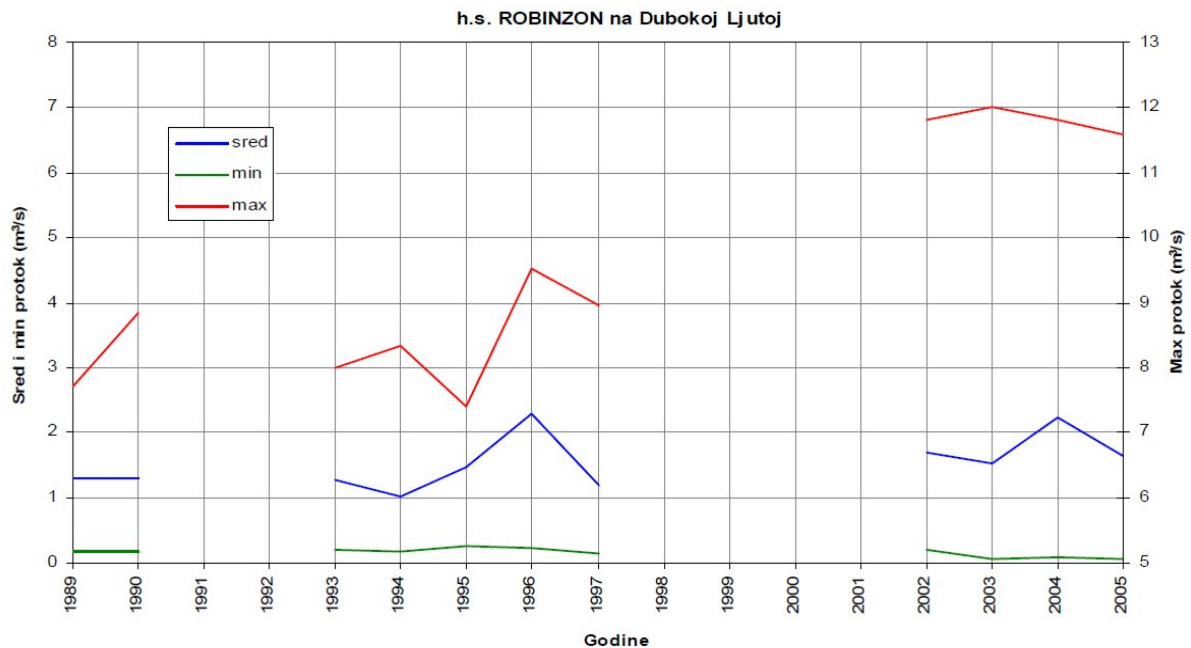
Prema jugu cijela struktura povija u pravcu istoka i poprima približno paralelan položaj sa čelom velike navlake.

Od ostalih rupturnih oblika svakako su značajni veliki normalni rasjedi dijagonalnog pružanja. Tu svakako značajnu ulogu u formiranju najjačih zona koncentracija podzemnih voda i podzemnog tečenja prema vrelu imaju veliki rasjedi od Glavske prema vrelu i splet rasjeda iz pravca Mokrog polja prema vrelu Duboka Ljuta.

7.2.3.2 Mjereni protoci

Podaci o maksimalnom i minimalnom protjecanju su krajnje nepouzdana. Minimalna izdašnost je sada nešto veća od prirodne, a zavisi od trenutnih gubitaka u dovodnom tunelu HE Dubrovnik. Maksimalni protok dostiže par kubnih metara vode u sekundi.

Na slici 64. prikazan je nivogram srednjih, te minimalnih i maksimalnih godišnjih protoka zabilježenih na hidrološkoj stanici Robinzon na Dubokoj Ljutuj u razdoblju 1989. do 2005. godine. Radi prekida mjerenja, promjene lokacije stanice i uspostave kontinuiranog mjerenja 1998. godine ne može se dati mjerodavna ocjena trenda protjecanja. Ističe se jedino porast minimalnih godišnjih i blagi pad srednjih godišnjih protoka nakon 1998. godine.



Slika 63. Minimalni, srednji i maksimalni protoci na h.s. Robinzon (5)

Za raspoloživi niz protoka prikazan na slici 24. uočava se stabilnost trenda ili blagi porast srednjih godišnjih protoka, te značajno povećanje maksimalnih u razdoblju 2002.–2005. godine.

7.2.3.3 Slivno područje

Veći dio vode Duboke Ljute potiče od voda vlastitog sliva, a jedan manji dio se javlja na vrelu kao posljedica gubitka iz dovodnog tunela HE Dubrovnik.

Utvrđivanje veličine sliva ovog vrela je vrlo komplicirano. Najznačajnija koncentrirana infiltracijska zona se nalazi u sjevernom dijelu sliva. To je ponorska zona Mokrog polja. Bojenje ponora Trap i Trnje pokazalo je da postoji dobra hidrogeološka veza ovog dijela sliva sa izvorišnom zonom. Obojeni val se kretao brzinom 2,7 km/dan do 4,1 km/dan.

Prema rezultatima geofizičkih mjerenja baze okršavanja sa istočne strane Slivničkog rasjeda okršavanje je usmjereno na vapnence oštećene pratećim pukotinama. Baza okršavanja nalazi se u zoni brazde oko kota 100 do 150 m.

Karakteristika ovog sliva je da kroz njega prolazi dovodni tunel za HE Dubrovnik. Veći dio gubitaka iz tunela teče prema Robinzonu. U zavisnosti od trenutnog stanja obloge gubici iz tunela variraju između 0,2 m³/s do 1,2 m³/s. Površina sliva Duboke Ljute se procjenjuje na cca 80 km².

Za ocjenu brzina tečenja podzemnih voda korišteni su podaci obavljenih trasiranja kojim je utvrđena podzemna povezanost sa vrelom Duboka Ljuta. Rezultati dva obavljenih trasiranja prikazani su u tablici 11:

Tablica 11

Br.	Mjesto bojenja i kota (m)	Ulaz Q (m ³ /s)	Datum	Mjesto pojave trasera - kota (m)	Udaljenost (km)	Prividna brzina (km/dan)
1.	Trap, Mokro polje (275)	0,02	02.02.1972	Plat I (0,0) Robinzon (1.0)	11,0	4,1
2.	Trnje Mokro polje (270)		25.02.1957	Robinzon (1.0)	10,7	2,7

Utvrđene brzine podzemnog tečenja od 2,7 do 4,1 km/dan.

7.2.3.4 Kalibracija sliva

Bilanca podzemnih vrela vrela Duboka Ljuta računa se za srednje godišnje vode i predstavljaju njene približne vrijednosti. Kako se radi o slivu koji se proteže od Mokrog polja do Župskog zaljeva, za proračun bilance bi se koristile srednje vrijednosti padalina između mjernih postaja Trebinje i Dubrovnik što iznosi oko 1500 mm

Ukupna površina izdvojenog hidrogeološkog sliva iznosi oko 90 km².

Gruba bilanca srednjih godišnjih voda se može sračunati prema obrascu:

$$Q_{sr} = \frac{A_{sl} \cdot I \cdot C}{31,5 \cdot 10^{-6}}$$

Ulazni podaci za proračun bilance podzemne vode je:

Q_{sr} = računati srednji protok

A_{sl} = utvrđena površina sliva (90 km²)

C = koeficijent infiltracije (0,6, s obzirom da je oko ¼ sliva u zoni dolomita i aluvijalnih naslaga)

I = srednje godišnje padaline (1500 l/m²)

Dobije se vrijednost srednje godišnje protoke na vrelu Duboka Ljuta od oko 1,9 do 2,3 m³/s. Usporedbu ovog podatka sa rezultatima praćenja na h.s. Duboka Ljuta nije baš pouzdana s obzirom na

nedefinirani utjecaj iz dovodnog tunela, neredovnost praćenja protoke, regulacije korita i određenih količina podzemne vode koja se kao vrulje pojavljuju u moru neposredno ispod samog izvorišta.

7.2.4. Izvori i vrulje u priobalnom području Janska - Slano

7.2.4.1 Osnovne karakteristike

Na najužem području naselja Slano ima nekoliko manjih izvora koji se dijelom koriste za vodoopskrbu. Međutim glavina podzemnih voda na ovom području istječe preko brojnih vrulja koje se pojavljuju u priobalnom području od Doli do Slanog.

Slivno područje ovih izvora i vrulja je procijenjeno na temelju hidrogeoloških, strukturalnih i tektonskih odnosa najšireg područja kao i rezultata obavljeni trasiranja podzemnih voda.

Bojenja su pokazala da je glavna zona koncentracije podzemnih voda usmjerena prema brojnim vrelima i vruljama od uvale Janske do Doli, kao i uvale Bistrina

Bojenjem ponora Vratla u Vali kod Zavale dao je vezu sa Janskom i Zagorjem u Slađenićima ali ne i sa vrelima u uvali Slano.

7.2.4.2 Slivno područje

Hidrogeološka razvodnica je u cijelosti hidrogeološka podzemna. Postavljena je tako da obilazi dolomitne barijere i prati velike rasjede, a na pojedinim dijelovima prati antiklinalnu strukturu.

Od izvora i vrulja koje se pojavljuju u izvorišnom području od Slanog do uvale Doli praktično polazi od rta Smokvina.

Podzemne veze i brzina tečenja podzemnih voda sa slivnog područja koje dotječu prema izvorišnom području je moguće približno procijeniti na temelju rezultata trasiranja podzemnih voda i dobivenih rezultata koji su prikazani u tablici 12.

Tablica 12

Br.	Mjesto bojenja i kota (m)	Ulaz Q (m ³ /s)	Datum	Mjesto pojave trasera - kota (m)	Udaljenost (km)	Prividna brzina (km/dan)
3.	Bitomišlje Češljari Popovo polje	0,2	01.02.1972	Janska (vrelo) Zagorje Slano vrelo Ugor	11,0	0,9
9.	Mlin bandera Popovo polje (238)	0,3	22.4.1969	Londža. Svitava (3) Janska vrulja (-10)		
14.	Provalija Popovo polje (225)	Dobri do	20.6.1958	Doli Slano Bistrina (0.0)	16,6	1,3

Br.	Mjesto bojenja i kota (m)	Ulaz Q (m ³ /s)	Datum	Mjesto pojave trasera - kota (m)	Udaljenost (km)	Prividna brzina (km/dan)
		H=7,0		Derane Londža (3)	16,6	1,5
16.	Provalija Popovo polje (225)	H=19,2	23.3.1962	Morašina (Ston) Bistrina, Budima, Janska (0,0)		
26.	Mlin bandera P.P.	0,5	22.04.1952	Londža Svitava Janska vruka		
27.	Provalija P.P.	Dobri do H = 7,0	20.6.1958	Doli Slano Bistrina Derane-Londža	16,6 15,6	1,3 1,5
28.	Velja međa P.P.	0,3	22.4.1969	Deransko j. Londža Janska vrulja	14,8 17,1	
29.	Vratlo, Val	0,2	01.02.1973	Janska	10,7	0,8

Prema podacima iz tablice vidljivo je da se brzine podzemnog tečenja prema izvorištu Slano od uvale Doli do Slanog kreću u granicama od 0,8 do 1,3 km/dan. Relativno male brzine podzemnog tečenja svakako su rezultat pozicije većeg broja dolomitnih barijera na njenom putu do izvorišta.

Razvodnicu prema vruljama u uvali Bistrina je vrlo teško pretpostaviti i ona je u tom dijelu terena dan uvjetno i približno. Očio je da je ona izražena samo u razdobljima velikih i vjerojatno srednjih voda. Kod malih voda ona je zasigurno u zoni koja obilazi djelomično dolomitnu barijeru u području Trnova i u pravcu sjeveroistoka obuhvaća mjesta raskinutih dolomitnih barijera do ponora na kojima je utvrđena bifurkacija u Trnčini i pored Velike Međe u pravcu Čvaške Gradine presijeca Popovo Polje. Dalje se pruža do Bančića, djelomično preko Ubuskog polja prema osi velike žrvanjske antiklinale. Duž osi ove antiklinale razvodnice se pruža do zaseoka Radići, odakle u pravcu jugozapada obuhvaća nekoliko velikih uzdužnih rasjeda, obilazi kotu Lisac i preko Dubljana i Grmljana presijeca Popovo Polje. U pravcu jugozapada razvodnica djelomično obilazi dolomitne barijere do Mravinjaca prema Podasojniku i dalje uz kontakt trijaskih dolomita i okršenih vapnenaca se pruža prema Slanom.

Raščlambom hidrogeoloških odnosa na širem zaleđu ovih izvora i vrulja se pokazalo da je tečenje podzemnih voda vrlo zamršeno. U biti se cijelo područje može podijeliti na tri podsliva. To su:

- Sliv sjeverozapadno i zapadno od suhe doline Zavala – Slano
- Sliv podzemnih voda Vjetrenice i izvora u području Zavale i
- Sliv jugoistočnog zaleđa Slanog.

Najveći i dominantni sliv pripada području koje se nalazi sjeverozapadno od suhe doline Zavala – Slano. Rezultati provedenih istraživanja pokazuju da ovaj dio slivnog područja obuhvaća prostor od oko 300 km² a pripada mu okršeno zaleđe do Popovog Polja kao i dio okršenog područja koji se nalazi

sjeveroistočno od Popovog Polja, sve do obronaka masiva Radimlja, obuhvaćajući i dijelove Ljubinjskog polja.

U razdobljima velikih voda sa ovog područja se prelijevaju znatne količine podzemnih voda na Popovo Polje koje se preko sustava ponora prazne u pravce vrulja i izvora, a u razdobljima srednjih i malih voda, podzemne vode sa ovog dijela sliva teku ispod Popovog polja prema navedenoj izvorišnoj zoni.

U formiranju pravaca podzemnog tečenja na ovom dijelu sliva vrlo važnu ulogu imaju pojave dolomita i dolomitičnih vapnenaca koji predstavljaju u određenoj mjeri isprekidanu bočnu barijeru, a također i pojave velikih rasjeda koji se pružaju iz pravca Popovog Polja (Trnčine) prema izvorišnoj zoni

Sjeveroistočno od suhe doline Zavala – Slano nalazi se sliv podzemnih voda koje se pojavljuju u spilji Vjetrenica i jugozapadnom obodu Popovog Polja u području Zavale.

U području oko Zavale pojavljuju se nekoliko vrela, koje i u najsušnijim razdobljima, u svojim pećinama imaju dotok vode.

Među njima su najznačajnija:

- Pokrivenik (Mareva Ljut)
- Lukavac ispod ulaza u pećinu Vjetrenica i koji ima vezu sa podzemnim vodama u Vjetrenici te
- Čvaušnik i izvor Čvostik kod Čvaljine.

Podzemne vode ovog sliva se duž suhe doline Zavala – Slano procjeđuju u pravcu izvorišne zone Slano. Trasiranjem je utvrđena veza sa vruljama Janska i izvorom Ugor, međutim ne i sa crpilištem Nereza.

Sliv jugoistočnog zaleđa izvorišnog područja Slano – Doli obuhvaća okršeni masiv Kosmatovice, visoravni Velje Gore, Selišta i Bačinovog Brda. Sa ovog područja tečenje podzemnih voda je uvjetovano pojavama dolomitnih barijera tako da se odvija u pravcu sjeverozapada prema spletu normalnih rasjeda te se u zoni između Plankovice i Lisnika procjeđuju u pravcu vrulja u uvali Janska.

7.2.4.3 Kalibracija sliva

Za proračun bilance srednjih godišnjih voda na području ovog sliva su bitni podaci i srednjim višegodišnjim oborinama.

Za procjenu srednjih višegodišnjih oborina korišteni su podaci nekoliko kišomjernih stanica na širem području, a podaci preuzeti iz "Analize utjecaja gradnje HE Čaplina na izdašnost izvora u donjoj Neretvi, Instituta za elektroprivredu i energetiku d.d., a koji su dani u tablici:

Tablica 13

Naziv stanice	Oborine	Raspoloživo razdoblje podataka
HUTOVO	1620	1957.-1988.
RAVNO	1976	1950.-1989.
ZAVALA	1884	1947.-1988.
TREBINJE	1611	1951.-1987. 1997.-2007.
SLANO	1283	1961.-2005.

Prema navedenim podacima, godišnje oborine za višegodišnje razdoblje iznose oko 1675 mm, akoje bi se mogle primijeniti na ovaj izdvojeni sliv.

Gruba bilanca srednjih godišnjih voda se može sračunati prema obrascu:

$$Q_{sr} = \frac{A_{sl} \cdot I \cdot C}{31,5 \cdot 10^{-6}}$$

Ulazni podaci za proračun bilance podzemne vode je:

Q_{sr} = računati srednji protok

A_{sl} = utvrđena površina sliva (425 km²)

C = koeficijent infiltracije (0,8)

I = srednje godišnje oborine (1675 l/m²)

Dobije se vrijednost srednje godišnje protoke na izvorima i vruljama od Slanog do uvale Doli od oko 18 m³/s. S obzirom da se ne poznaju vrijednosti istjecanja na vruljama nemoguće je ovaj podatak koristiti kao provjeru definiranog sliva.

7.2.5. Sliv vrela i vrulja u Malostonskom zaljevu - području Doli - Bistrina

Prema rezultati trasiranja podzemnih voda obavljenih u krajnjem zapadnom području Popovog polja granicu slivnog područja ovih vrela i vrulja je vrlo teško pouzdanije definirati, poglavito prema slivu vrela i vrulja Janska - Slano.

Ovo područje je posebno razmatrano kako bi se utvrdio utjecaj izgradnje objekata HET-a na vrulje u Malostonskom zaljevu (P. Ramljak 1978). Naime, postavljano je pitanje kako će prestanak aktivnosti velike ponorske zone Provalije u Popovom polju, na potezu između Velje Međe i Turkovića, utjecati na

salinitet i temperaturu mora i donošenje hranljivih sastojaka iz Popovog polja u Malostonski zaliv. Postojala je sumnja da će ove promjene negativno uticati na uzgoj školjkaša (kamenica i musula/dagnji). Obavljena su dugotrajna i detaljna ispitivanja. Prikupljeni rezultati su često tumačeni oprečno, ali je u navedenim analizama prevladalo mišljenje da negativnog utjecaja nema. Dosadašnja saznanja su to uglavnom i potvrdila.

Prema grubo izdvojenom slivu, a na temelju hidrogeoloških odnosa i trasiranja podzemnih voda, između Popovog polja i navedenih vrela postoji slivno područje koje prema grubim procjenama iznosi oko 160 km².

Gruba bilanca srednjih godišnjih voda se može sračunati prema obrascu:

$$Q_{sr} = \frac{A_{sl} \cdot I \cdot C}{31,5 \cdot 10^{-6}}$$

Ulazni podaci za proračun bilance podzemne vode je:

Q_{sr} = računati srednji protok

A_{sl} = utvrđena površina sliva (160 km²)

C = koeficijent infiltracije (0,8)

I = srednje godišnje oborine (1675 l/m²)

Dobije se vrijednost srednje godišnje protoke na izvorima i vruljama od Slanog do uvale Doli od oko 6,8 m³/s. Ako bi se primijenio odnos srednjih i malih voda za šire područje, a prema kojem su male vode manje za četiri puta os srednjih, izlazi da u razdoblju malih voda sa ovog sliva u more istječe oko 1,7 m³/s, a što je značajna količina koja može osigurati stalnost prirodnih uvjeta u ovom dijelu priobalnog područja.

7.2.6. Sliv vrela Bregave

7.2.6.1 Osnovne karakteristike

Vrelo Bregave je razbijeno vrelo između stalnog vrela Hrgud i Bitunje (kota 130 m) i povremenih vrela Mali i Veliki Suhavić (kota 195 m). vrela Slivu Bregave pripadaju područja Hrguda, Sitnice i Dabarskog polja s podslivovima Trusinskog i Lukavačkog polja. Dio sliva pripada i krajnjem zapadnom Fatničkom polju s kojim je u razdoblju većih voda utvrđena podzemna veza.

Pouzdanost definirati razvodnice ovog sliva je vrlo teško, jer dosta zavise od hidroloških prilika i nivoa poplave u Fatničkom polju. Prema literaturnim podacima (6) površina sliva je procijenjena na oko 396 km² (P. Milanović) do 454 km² (Energoinvest).

Prema hidrogeološkim analizama u ovom radu površina sliva je nešto veća i iznosi oko 460 km².

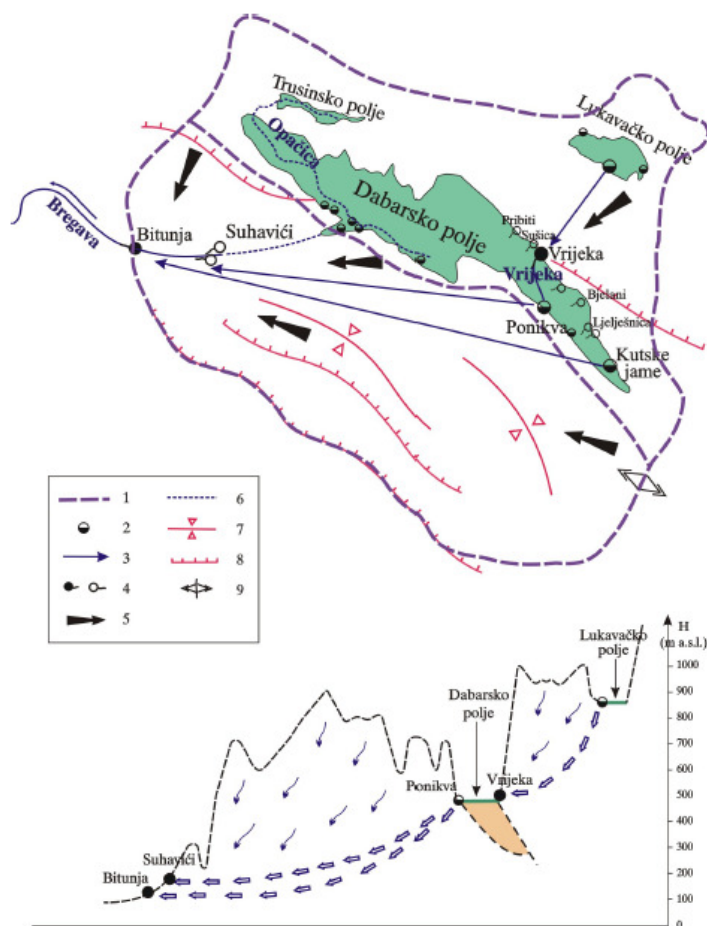
Iz pravca ponora Ponikva u Dabarskom polju je najintenzivnije prihranjivanje podzemnih voda ovog sliva. Osim ove, utvrđene su podzemne veze vrela Bregave s Kutskim jamama i Strupića u Dabarskom polju i estavele ispred Velike pećine u Fatničkom polju.

U Fatničkom polju je istraživanjima utvrđena razvodnica između sliva vrela Trebišnjice i vrela Bregave. Raspodjela otjecanja prema navedenim vrelima zavisi od visine plavljenja Fatničkog polja. Otjecanje prema vrelima Bregave nastaje kod visine plavljenja Fatničkog polja od 7 m. Sa povećanjem visine plavljenja omjer raspodjele se mijenja i prema vrelima Bregave iznose od od 10 do 30 %.

7.2.6.2 Slivno područje vrela Bregave

Sliv vrela Bregave definiran je hidrogeološkom razvodnicom koja sa južne i jugoistočne strane se pruža preko područja Orlja, obuhvaća dolinu Ubosko, obuhvaća veći dio masiva Radimlje i Sitnica.

Dalje se pruža u pravcu Krstače i Fatničkog polja, obuhvaća njegov krajnji zapadni i jugozapadni obod, pruža se dalje prema Lipniku i prema krajnjem jugozapadnom dijelu Bjelasice, zatim preko Ostrovice, obuhvaća masive Trusina i Hrgud i dalje prema vrelima Bregave. Ukupna površina sliva prema ovoj hidrogeološkoj analizi iznosi oko 460 km².



Simplified hydrogeological map of Bregava source spring drainage area

1. Catchment area, 2. Ponor, 3. Underground communication detected by a dry test, 4. Permanent or intermittent source spring, 5. General directions of underground water circulation, 6. Dry valley, 7. Synclinal axis, 8. Reverse fault, 9. Zone off bifurcation

Slika 64. Generalizirana slika hidrogeološkog sliva Bregave s karakterističnim profilom (8)

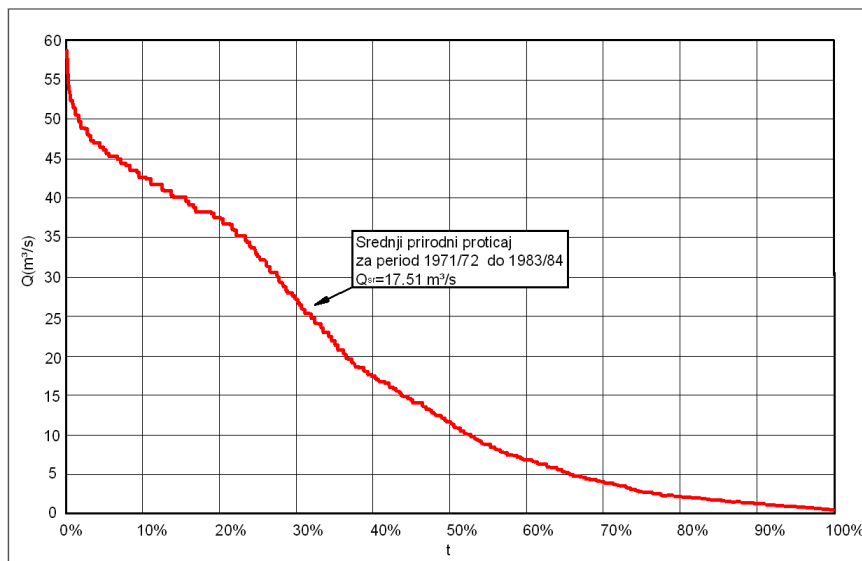
7.2.6.3 Mjereni protoci

Protoci vrela Bregave, mjereni na vodomjernoj stanici Do su:

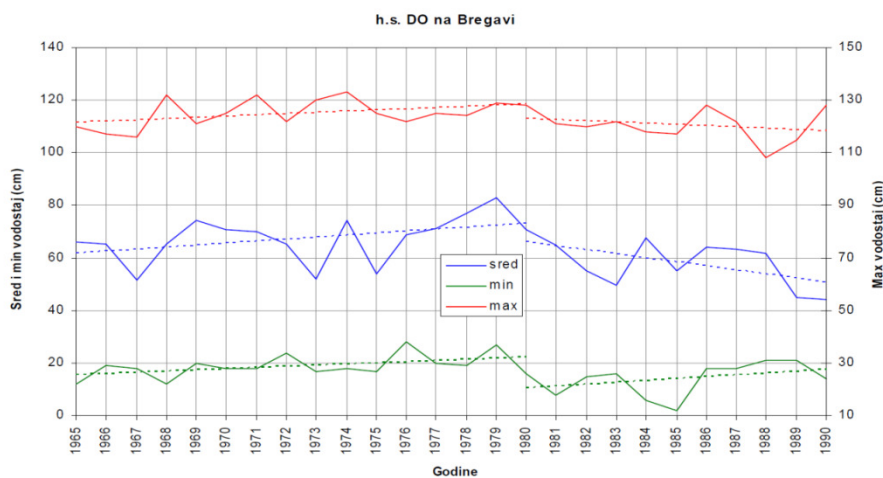
Sredji protoci: $Q_{sr} = 17,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (1961 – 1988)

Minimalni protoci: $Q_{min} = 0,33 \text{ m}^3/\text{s}$ (17. 8. 1960)

Maksimalni protok $Q_{max} = 71,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (31. 12. 1964)



Slika 65. Kriva trajanja protoke rijeke Bregave (V.S. „Do“) u prirodnom stanju (2)



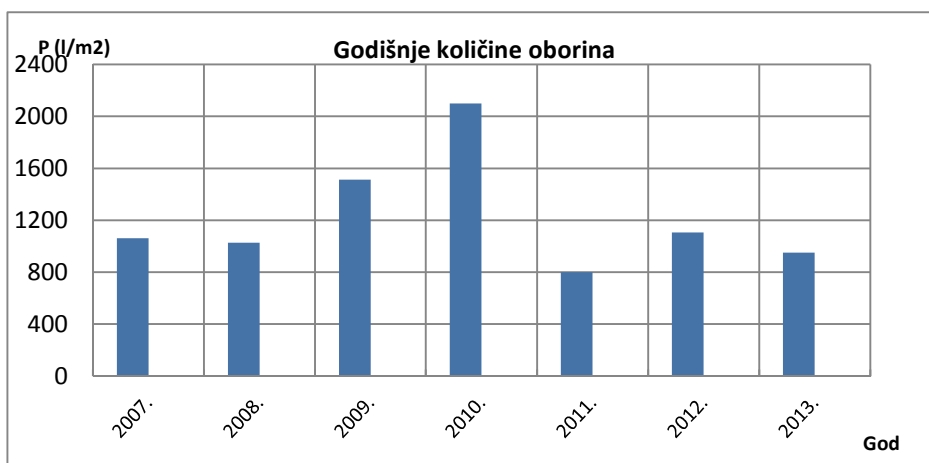
Slika 66. Rezultati mjerenja na v.s. Do (5)

Prema rezultatima mjerenja na mjerneoj stanici Do maksimalni nivoi se uglavnom kreću u granicama od 110 do 130 cm. sa neznatnim padom oko 1980. godine i tendencijom laganog pada prema 1990 godini.

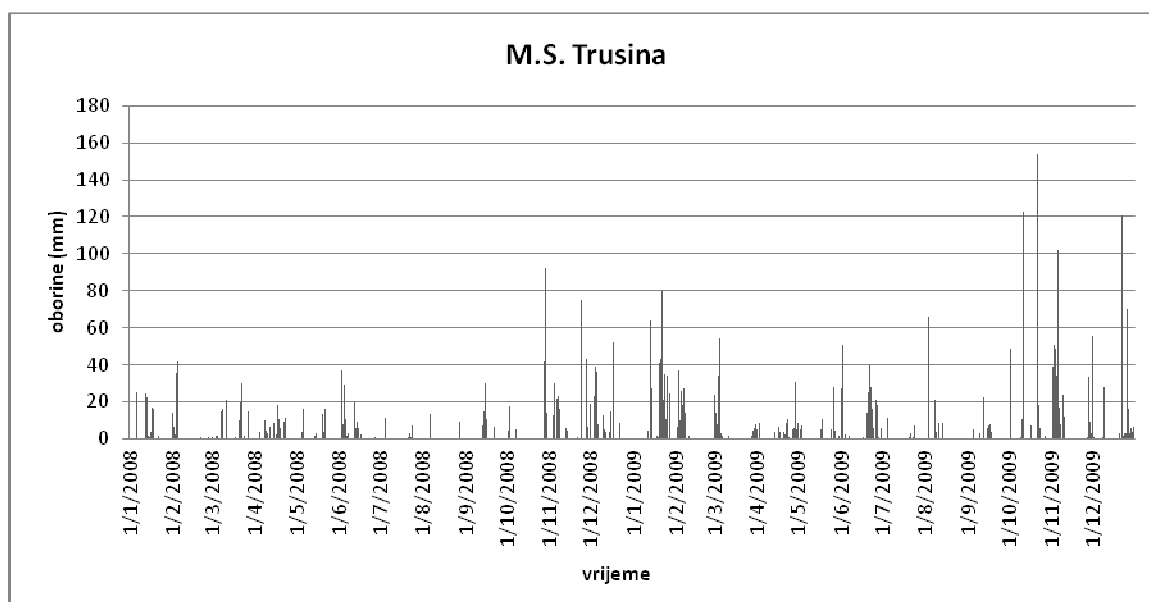
Minimalni visine od 1980. godine su uglavnom oko 30 cm do 1980. godini, od te do 1986.godine se registrira nagli pad do čak visine od 5 cm, a od 1986. godine ponovo dolazi do rasta od oko 30 cm s tendencijom laganog pada prema 1990 godini.

7.2.6.4 Bilanca podzemnih voda

Za referentne vrijednosti oborina na slivnom području Bregave mogu poslužiti prosječne vrijednosti mjerena na m.s. Stolac li Trusina.



Slika 67. Dijagram broj 2: Ukupne godišnje količine padalina na MP Stolac za razdoblje mjerenja 2007.-2013. (1)



Slika 68. Oborine na m.s. Trusina

Na m.s. Stolac, za razdoblje 2007 - 2013 godina srednje godišnje oborine iznose 1223 mm, a za m.s. Trusina srednje godine 2008 -2009 (za ostale godine postoje prekidi u mjerenju) srednje godišnje oborine iznose 1892 mm (1)

Tablica 14

MP Stolac – Ukupne godišnje količine padalina (l/m ²) za razdoblje 2007.-2013.								
Godina	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.	2013.	Srednja
Ukupna količina padalina	1063,9	1028,0	1513,0	2100,2	799,6	1108,3	949,3	1223,2

Izračun bilance za srednje godišnje vode vrela Bregave su obavljena prije svega radi kalibracije izdvojenog slivnog područja.

Gruba bilanca srednjih godišnjih voda se može sračunati prema obrascu:

$$Q_{sr} = \frac{A_{sl} \cdot I \cdot C}{31,5 \cdot 10^{-6}}$$

Ulazni podaci za proračun bilance podzemne vode je:

Q_{sr} = računati srednji protok

A_{sl} = utvrđena površina sliva (460 km²)

C = koeficijent infiltracije (0,75 – znatan dio sliva pripada krškim poljima)

I = srednje godišnje padaline 1560

Dobije se vrijednost srednje godišnje protoke na vrelu Duboka Ljuta od oko 17,3 m³/s. Usporedbom ovog podatka sa rezultatima praćenja na mjerne stanice Do od 17,7 m³/s se u dovoljnoj mjeri podudara da bi se moglo zaključiti da je površina sliva relativno dobro definirana.

7.2.6.5 Karakteristike toka Bregave

Rijeka Bregava je tipičan krški tok. Po geomorfološkim, hidrološkim i hidrogeološkim karakteristikama jasno se izdvajaju četiri dijela (6):

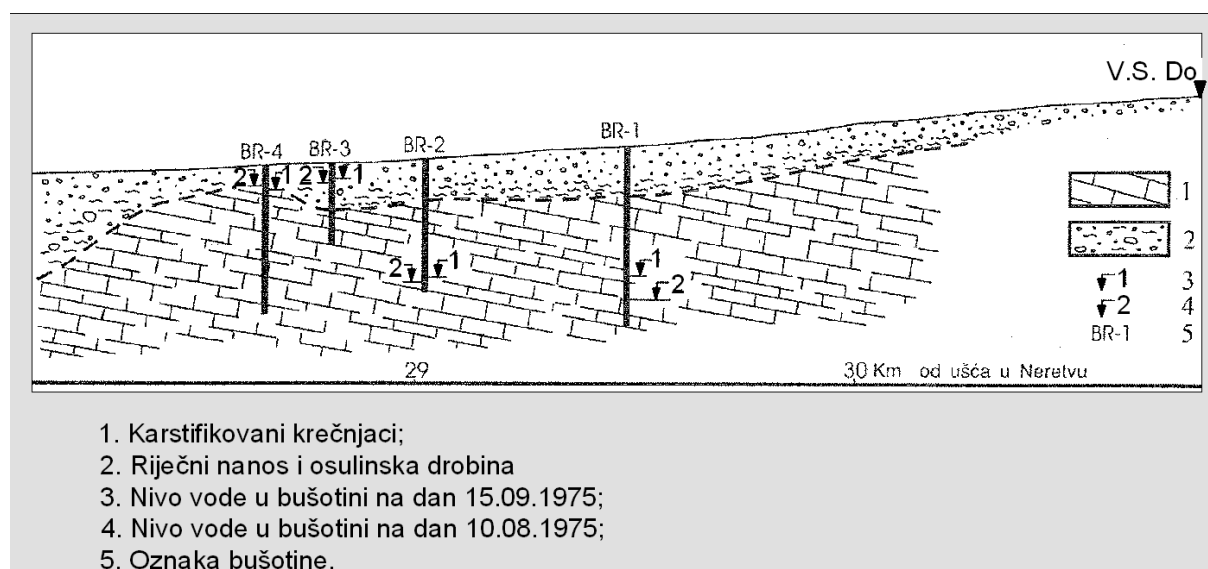
- suha dolina između Dabarskog polja (prevorac) i povremenih vrela;
- povremeno aktivan dio toka od najuzvodnijih povremenih vrela (Mali i Veliki Suhavić) do vrela Bitunje;
- stalno tok od vrela Bitunje do Stoca i
- dio toka nizvodno od Stoca do ušća u Neretvu koji je na površini aktivan samo u vlažnom razdoblju godine.

U sušnom razdoblju kada izdašnost izvorišne zone koja se kontrolirana V.S. Do spadne na cca 0.5 m³/s dužina toka je 12 km. U tom razdoblju presuši dio toka uzvodno od vrela Bitunje i nizvodno od Vidovog polja.

Nizvodno od Stoca i Vidovog polja voda ponire i teče podzemno prema Deranskom blatu i izvire na Drijenu i drugim vrelima duž sjevernog oboda i dijelom u jezeru Deranskog blata.

Eksploatacija šljunka u koritu Bregave su međutim potvrdila da se dio voda srednjih pa i malih voda, procjeđuje i kroz šljunkovite naslage prema koritu rijeke Neretve. U razdoblju velikih voda Bregava teče čitavom dužinom i poslije 33 km toka ulijeva se u Neretvu kod Čapljine.

Nizvodno od izvorišne zone rijeke Bregava je viseći tok (vidjeti sliku 69.)



Slika 69. Geološki profil duž korita rijeke Bregave nizvodno od V.S. Do. (P. Milanović)

Debljina aluvijalnog nanosa u koritu Bregave varira između 4.5 m (BR-4) i 23 m (BR-5). Vjerojatno da je lokalno i veća.

Ispod riječnog nanosa nalaze se vrlo okršeni vapnenci, što je konstatorano istražnim bušenjem. Kao primjer se navodi da je voda iz korita koja utječe u bušotinu na uspijeva da je „napuni“ jer je stvarni nivo daleko ispod dna bušotine. Zbog toga izmjereni nivoi u bušotinama ne predstavljaju istovremeno i nivo podzemne vode u okolnoj stijeni.

Prema navedenim istraživanjima i mjerenjima nivo podzemne vode u ovom području je na dubini preko 40 metara ispod korita. Tok egzistira samo zahvaljujući kolmiranosti riječnog nanosa ali i pored toga više od 50% minimalnog protoke ponire tako da od 450-500 l/s na vrelu kroz Stolac protječe samo 100 do 200 l/s.

7.2.7. Sliv Hutovog blata

7.2.7.1 Osnovne karakteristike

Hutovo blato čine dvije duboke depresije (Svitavsko i Deransko blato) koje su međusobno razdvojene karbonatnim grebenom – Ostrovom. Depresije su duboko usječene u vapnence gornje krede i paleogena. Sedimenti fliša duž južne padine Ostrova se sastoje od intenzivno ubranih lapora, pješčenjaka i glina. Depresije su ispunjene pijeskom, glinama, muljem i tresetom. Dubina ovih sedimenata je procijenjena na preko 100 m, a rezultati geoelektričnog sondiranja pokazuju da je dubina lokalno veća od 150 m. Debljina treseta u sredini Deranskog blata veća od 64 m.

Rijekom Krupom, koje se formira od brojnih vrela u navedena dva blata, površinske vode otječu prema Neretvi.

7.2.7.2 Slivno područje

Slivno područje Hutovog blata je hidrogeološki vrlo zamršeno i teško ga je pouzdanije definirati. U slivu sudjeluju vode Bregave, Popovog polja i dio sopstvenog sliva.

Površina neposrednog sliva Hutovog blata je oko 420 km² (oko 350 km² bez dotoka iz Bregave, a sa sopstvenog sliva toka Bregave se prema gruboj procjeni bi polovina bilance mogla odnositi na sliv Deranskog blata) uključujući i površinu Svitave, Derana i Ostrova. Ovaj dio sliva se proteže prema istoku (Ljubinjском polju) sa približnom granicom na liniji Čavaš – Žegulja. Jedino trasiranje koje je obavljeno u Ljubinjском polju (ponor Konac polje) nije pokazalo vezu sa Hutovim blatom.

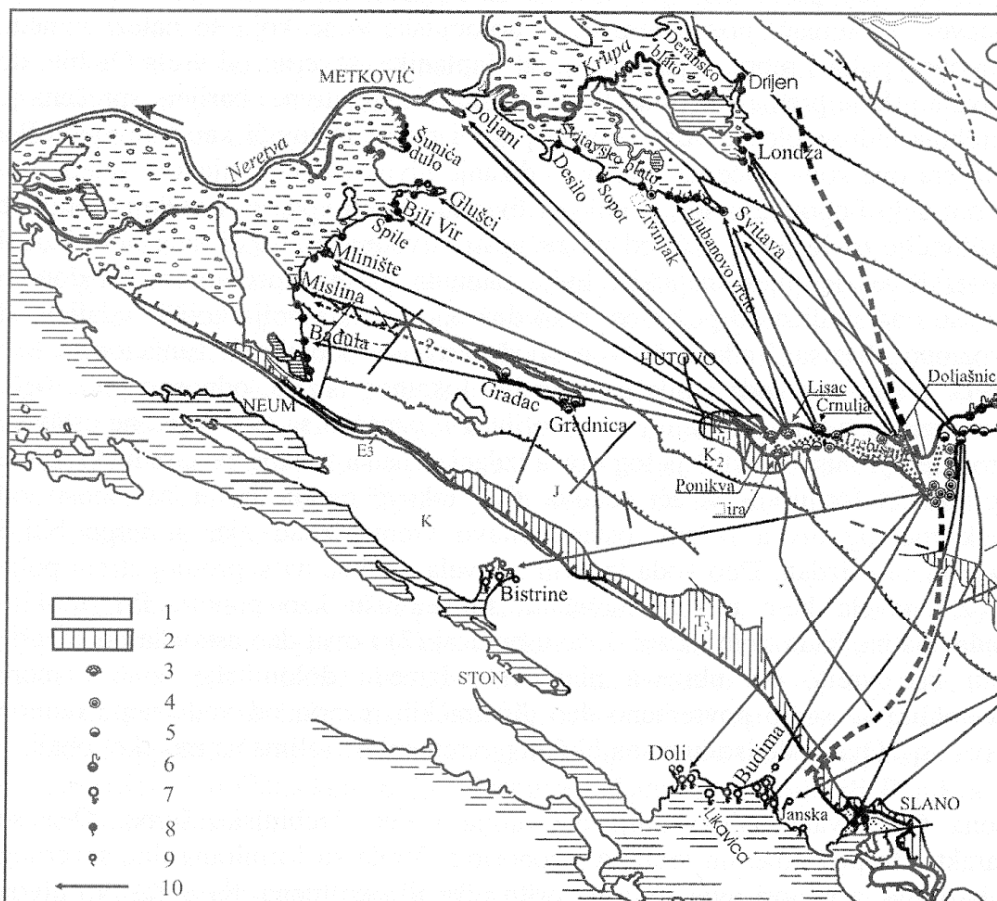
Većina njih je povremenog karaktera.

Dio voda koje poniru u ponor Ponikvu (u Dabarskom polju) i vode koje poniru duž korita Bregave, gotovo do njenog ušća sa Neretvom (uključujući i vode Radimlje) dotiču u Deransko blato. Postoje neprovjerene indikacije da dio ponirućih voda u Ponikvu u Dabarskom polju otječe direktno do vrela u Deranskom blatu.

Najznačajnija vrela na kojima istječu poniruće vode Bregave nalaze se uz sjeveroistočni rub Deranske depresije: Škrka, Jelim, Jamica, Kučine, Drijen i Orah, i duž istočnog ruba Deranskog blata: Babino oko, Londža i Smokva.

Najznačajnije stalno vrelo je Londža preko koga se dreniraju vode neposrednog sliva, vode koje poniru u Popovom polju, a vjerojatno i dio voda koji pripada slivu Bregave. Sublakustrijsko vrelo Jelim istječe iz potopljene vrtače dubine 6 – 10 m što je i najveća dubina u Deranskom blatu. U izvorišnu zonu

Londža dotiču i vode iz Popovog polja koje poniru u Doljašnicu, Provaliju i ponorsku zonu ispod Velje međe.



Područje Popovo polje - Svitava - Neretva - Jadranska obala. 1. Krečnjak; 2. Dolomit; 3. Ponor $Q > 3 \text{ m}^3/\text{s}$; 4. Grupa bliskih ponora; 5. Ponor; 6. Estavela; 7. Vrulja; 8. Stalni izvor; 9. Povremeni izvor; 10. Utvrđena podzemna veza.

Area of Popovo polje - Svitava - River Neretva - Adriatic coast.

1. Limestone; 2. Dolomite; 3. Ponor $Q > 3 \text{ m}^3/\text{s}$; 4. Group of close spaced ponors; 5. Ponor; 6. Estavelle; 7. Submarine spring; 8. Permanent spring; 9. Temporary spring; 10. Established underground connection.

Slika 70. Utvrđene podzemne veze između ponora u zapadnom dijelu Popovog polja i vrela u području Hutovog, Svitavskog i Deranskog blata (P. Milanović)

Najveće količine voda dotječu u Hutovo blato iz velikih posrednih slivova Bregave i Trebišnjice, odnosno Popovog polja i to isključivo podzemnim putem. Registrirano je više od 70 lokacija na kojima dolazi do isticanja vode ali samo 42 imaju karakteristike vrela.

Prema Hutovom blatu iz pravca Popovog polja podzemljem dotječu vode koje poniru preko brojnih ponora. Najznačajniji ponori koji imaju utvrđenu vezu s Hutovim blatom su:

- Doljašnica (maksimalni kapacitet 50-60 m³ /s),
- Crnulja i Provalija (preko 10 m³ /s),
- Žira (3-4 m³ /s),
- Ponikva (3-5 m³ /s).

Vode koje poniru u širem području gornjeg kompenzacijskog bazena RHE Čapljina koriste drenažne sustave razvijene ispod suhog korita rijeke Trebišnjice (selo Hutovo) i otječu prema dolini Neretve, gdje se javljaju na potezu Kuti-Doljani. Dio vode koji se javlja na ovome potezu potječe i iz vlastitog sliva (područje Moševići-Gradac-planina Žaba).

Zbog postojanja nekoliko flišnih i dolomitnih hidrogeoloških barijera onemogućena je podzemna cirkulacija iz pravca donjeg kompenzacijskog bazena Hutovo prema moru.

Ponori Ponikva i Žira pripadaju drenažnom sustavu koji se prazni isključivo u dolinu Neretve. Istraživanjima su utvrđene slijedeće veze ponora i izvora:

- Ponor Ponikva – izvori: Doljani, Glušci, Bili Vir, Mlinište, Mislina, Bađula, Smokvina, Budima, Janska.
- Ponor Žira – izvori: Glušci, Bili Vir, Mlinište, Mislina, Bađula, Bistrina.

Drugi veliki drenažni sustav je Crnulja – Doljašnica, koji se prazni u Svitavsko – Deransku depresiju, a pripadajuće veze ponora i izvora su:

- Ponor Crnulja – izvori: Svitava (Riječina), Ljubanovo vrelo, Sopot.
- Ponor Doljašnica – izvori: Londža, Svitava (Riječina), Sopot, Crni Vir.

Ponor Lisac je vezan za oba navedena sustava i on prihranjuje izvore: Svitava (Riječina), Ljubanovo vrelo, Sopot, Doljane, Glušci, Bili Vir, Špile.

7.2.7.3 Procijenjeni Dotoci

Ukupni minimalni dotok u Deransko blato se procjenjuje na 3 m³/s. Po obodu Svitavskog blata postoje brojna vrela koji najvećim djelom potječu od voda koje poniru u Popovom polju: Doljašnica, Provalija, Crnulja, Lisac i ponori oko Velje međe. Ove vode istječu na brojnim vrelima duž južnog oboda Svitave:

vrelo Svitava, Trstenik, Njeginja, Živinjak, Smokovnjak, Ljubanovo vrelo, Desilo, Lukavac, Ljubač i Crni vir. Vode ovih vrela se odvođe obodnim kanalom do Krupe. Većina vrela su povremeni.

Procjenjuje se da u sušnom razdoblju iz pravca Popovog polja dotiče između 1 i 3 m³/s. U vlažnom razdoblju godine ukupni protok na ovim vrelima je oko 90 m³/s. Vrelo Desilo ima oblik manjeg jezera sa dubinom 9 – 10 m

Nekoliko manjih vrela nalazi se uz oba ruba Ostrova, a registrirano je i nekoliko sublakustrijskih vrela oko Karaotoka.

U razdoblju velikih protoka rijeke Neretve rijeka Krupa dolazi pod uspor, a povremeno njen tok je od Neretve prema Deranskom jezeru.

Prema gruboj bilanci podzemnih voda sa sopstvenog sliva prosječan dotok u Hutovo blato iznosi prema obrascu:

$$Q_{sr} = \frac{A_{sl} \cdot I \cdot C}{31,5 \cdot 10^{-6}}$$

Ulazni podaci za proračun bilance podzemne vode je:

Qsr = računati srednji protok

Asl = utvrđena površina sliva (420 km²)

C = koeficijent infiltracije (0,8)

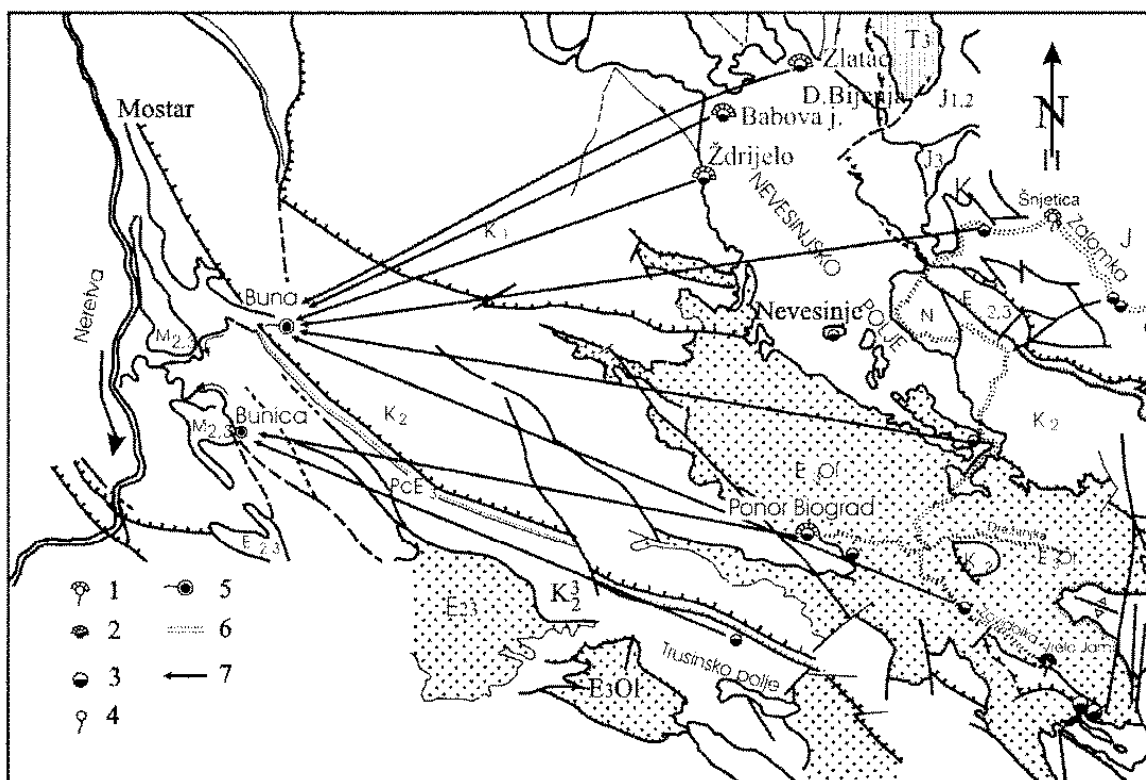
I = srednje godišnje padaline 1560

Sa sopstvenog sliva se prema navedenom izračunu dobije vrijednost srednjih godišnjih protoka od oko 16,6 m³/s.

7.2.8. Sliv vrela Bune i Bunice

7.2.8.1 Slivno područje

Slivu Bune i njene pritoke Bunice pripadaju podslivovi Nevesinjskog polja, Zalomke, Slatog polja, dijela Lukavačkog polja i međusliv između Nevesinjskog polja i oba vrela.



Nevesinjsko polje. 1. Pećina - povremeni izvor; 2. Veliki ponor; 3. Ponor; 4. Izvor male izdašnosti; 5. Veliko stalno vrelo; 6. Povremeni tok; 7. Utvrđena podzemna veza.

Nevesinjsko polje. 1. Cave - temporary spring; 2. Great ponor; 3. Ponor; 4. Small discharge spring; 5. Large permanent spring; 6. Temporary river flow; 7. Established underground link.

Slika 71. Šire područje Nevesinjskog polja s hidrogeološkim pojavama i utvrđenim podzemnim vezama (P. Milanović)

Razvodnica između ova dva vrela je krajnje upitna s obzirom na način prihranjivanja podzemnih voda i ukupnih hidrogeoloških odnosa.

Površina sliva rijeke Buna do v.s. Buna koja i dotoke Bunice je procijenjena od 900 do 1100 km².

Slivu Bune i Bunice pripadaju:

- Sliv rijeke Zalomke.
- Sjeverozapadni dio Nevesinjskog polja sa najmarkantnijim ponorima Ždrijelo, Babova jama i Zlatac.
- Centralni dio Nevesinjskog polja, južno od puta Nevesinje - Kifino selo.
- dijelovi voda koje poniru u koritu Zalomke, od Kifinog sela do Ljeskovika, zatim dijelovi voda koje poniru u koritu Zovidolke, prije ulijevanja u Zalomku (estavela Četenuša), kao i vode koje poniru u području ponora Krupac na Trusini južno od Sniježnice.
- Planinsko područje između Nevesinjskog polja i ovih vrela, zatim masiv Podveležja i dijelovi Veležja, uključujući i dio Gornjeg Zijemlja (Hanskog polja) koji, također, pripadaju ovom slivu.

Obodni dijelovi sliva nalaze u bifurkacionim zonama te je površina sliva Buna/Bunica podložna promjenama.

U literaturi se vrelo Bunice navodi da predstavlja kraj podzemnog toka Zalomke, nakon njenog poniranja u ponor Biograd i izuzetno velike brzine podzemnog toka do vrela u Mostarskom polju.

7.2.8.2 Istraživaja u koritu Zalomke (6)

Najuzvodniji dio korita toka Zalomke između Gradine i Crnog kuka je usječeno u dolomitima gornjeg trijasa i jurskim vapnencima s dolomitima koji nisu okršeni. To je i dio toka gdje nema poniranja voda iz toka.

Nizvodno od Crnog kuka do ulaska u Nevesinjsko polje korito Zalomke je usječeno u vrlo okršenim vapnencima s pojavom brojnih ponora i estavela.

Ulaskom u Nevesinjsko polje korito Zalomke prolazi kroz sedimente neogena da bi uzvodno od Budisavlja ušlo u okršene kredne vapnence doponora Biograd koji je usječen u Promina konglomeratima.

Protoci Zalomke se duže razdoblje prati na nekoliko mjernih profila:

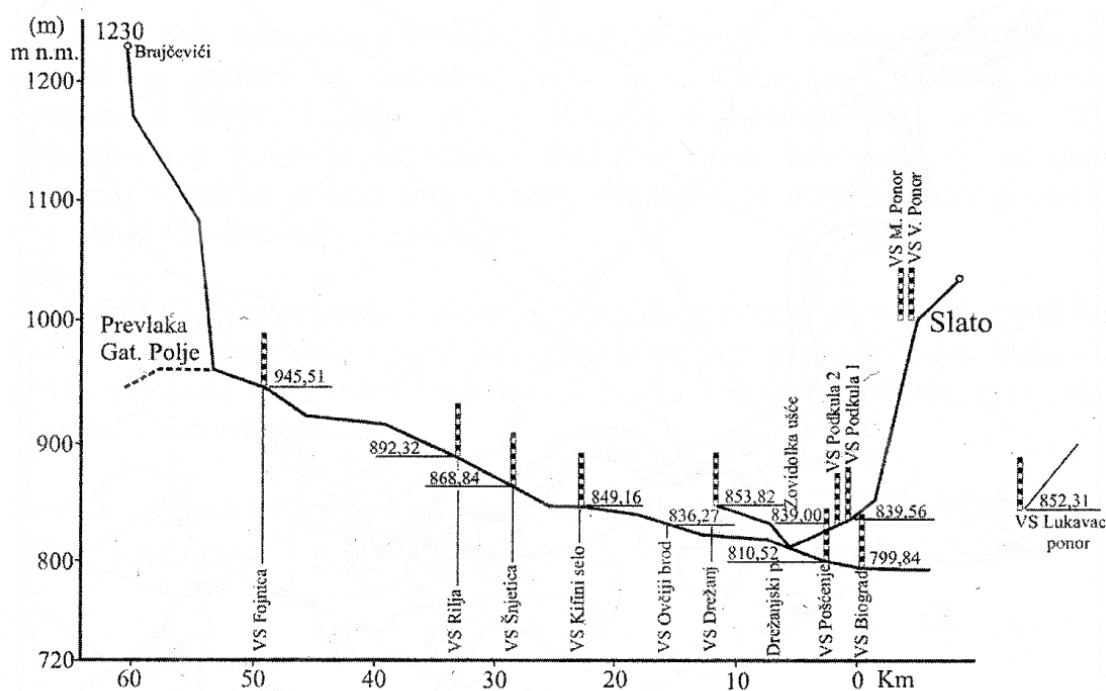
- Rilja,
- Kifino selo,
- Šnjetica i
- Pošćenje.

Tok Zalomke na profilu Rilja je prosječno aktivana 213 dana godišnje s protocima od 0,5 do 2 m³/s. Maksimalni registrirani protok je 122 m³/s (13. 10. 1975. Godine), a srednji protok na ovom profilu je Qsr = 11,2 m³/s.

Na mjernom profilu Pošćenje koji se nalazi u blizini ponora Biograd, Zalomka teče oko 212 dana u godini. Najčešći protoci su između 1,0 do 8,0 m³/s. Maksimalni registrirani protok je iznosio Qmax = 440 m³/s, a srednji protok Qsr=11,2 m³/s.

Detaljniji istražni radovi toka Zalomke obavljani su na četiri profila:

- Nadinići,
- Rilja,
- Šnjetica i
- Pošćenje.



Zalomka, uzdužni profil sa vodomernim stanicama. (Energoinvest).
Zalomka River, longitudinal profile with hydrological gauge stations.

Slika 72. Uzdužni profil toka Zalomke (HGB - Energoinvest Sarajevo)

Na području Rašćenice – na profilu Nadinići (radovi izvedeni za branu visine 20 m) izvedena su geofizička istraživanja, izvedeno je sedam istražnih bušotina i urađen istražni potkop.

Područje Raščelice je morfološka razvodnica, međutim trasiranjem ponora Raščelice utvrđena je jaka veza prema izvoru Jezerina kod Nadinića.

Do Crnog kuka Zalomka teče preko dolomitnih i neokršenih naslaga Trijasa i Jure. Kod Crnog kuka, zalomka ponire i do Biograda u razdoblju malih voda koritom Zelomke nema protoke.

Na prostoru između Crnog kuka i Rilja također su obavljene značajni istražni radovi.

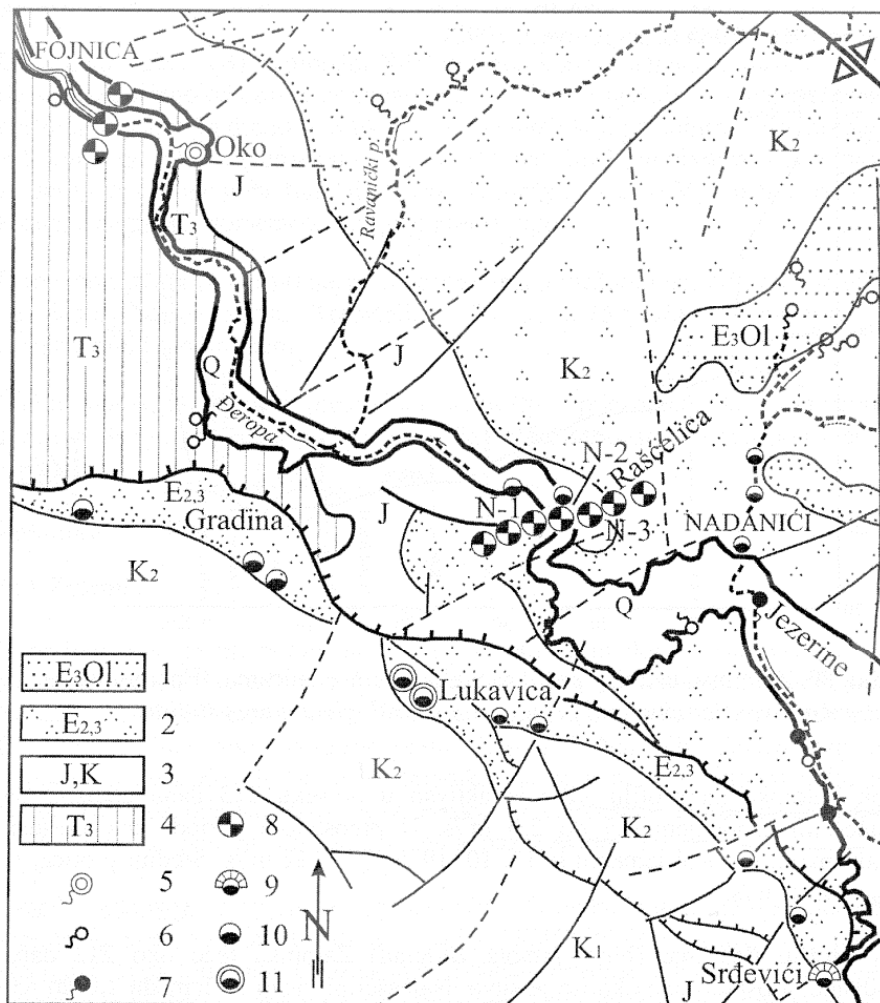
Obavljena trasiranja podzemnih voda na ovom istražnom prostoru (bušotina K-1 i K3) su pokazala da znatan dio ponirućih voda teče vrlo plitko, uglavnom kroz aluvijalni nanos do ponorske zone Rilja.

Odakle se boja pojavila na vreli Ovčiji Brod i dalje na vreli Bune (nakon 17 dana) i u Bogodolskom potoku nakon 27 dana.

Na profilu Šnjetica, uzvodno od Kifinog sela, izvedeno je šest dubokih istraživih bušotina (120 do 241 m).

Bojenjem ponora kod Kifinog sela utvrđena je veza prema vreli Bune.

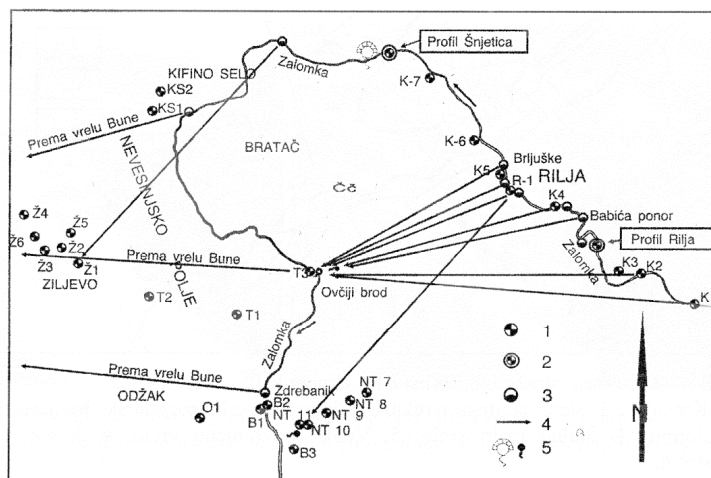
Obavljena trasiarnja podzemne vode između Ovčijeg broda i Budisavlja utvrđena je podzemna veza prema vreli Buna. Radi utvrđivanja vododrživosti korita Zalomke na ovom području izveden je veliki broj dubokih bušotina.



Zalomka, pregradni profil Nadanići. 1. Konglomerati; 2. Filiš; 3. Krečnjak; 4. Dolomit; 5. Veliko povremeno vrelo; 6. Malo povremeno vrelo; 7. Malo stalno vrelo; 8. Bušotina; 9. Veliki ponor (estavela); 10. Ponor; 11. Grupa bliskih ponora.

Zalomka River, dam site Nadanići. 1. Conglomerate; 2. Flysch; 3. Limestone; 4. Dolomite; 5. Large temporary spring; 6. Small temporary spring; 7. Small permanent spring; 8. Borehole; 9. Large ponor; 10. Ponor; 11. Group of close spaced ponors.

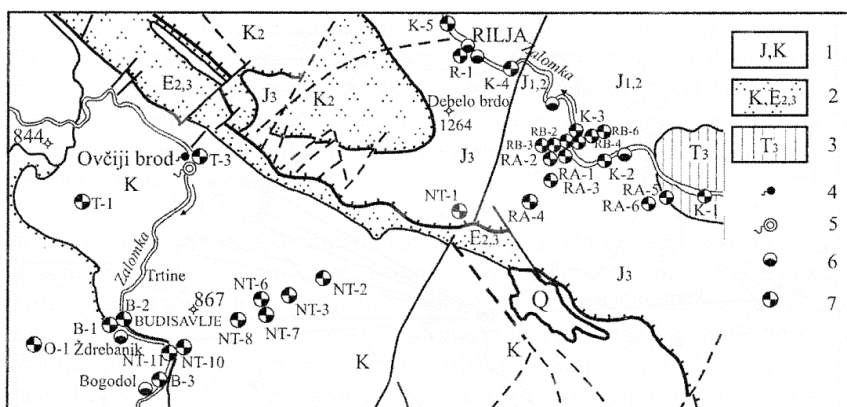
Slika 73. Istražni radovi na pregradnom profilu Nadanići (P. Milanović)



Podzemne veze u području Zalomke i Nevesinjskog polja.
 1. Bušotina; 2. Grupa bliskih bušotina na pregradnom profilu; 3. Ponor ili ponorska zona; 4. Utvrđena podzemna veza; 5. Povremeni izvor.
Established underground connections at the area of Zalomka River and Nevesinjsko Polje. 1. Borehole; 2. Closely spaced boreholes at dam site; 3. Ponor or ponor zone; 4. Established underground connection.

Slika 74. Utvrđene podzemne veze na području toka Zalomke i Nevesinjskog polja (P. Milanović)

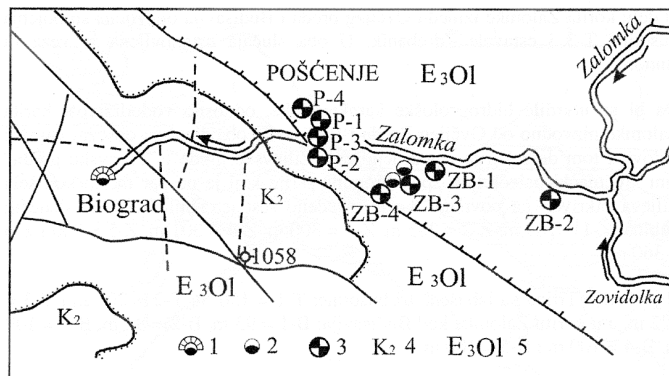
U području Trtina tri bušotine (oznake T), u koritu Zalomke pet bušotina (obnake B), a kod Odžaka jedna duboka bušotina (O-1 – 205 m). Ovom bušotinom je utvrđena dubina neogenih lapora od 76 m. Sva bojenja u ovom području pokazala su podzemnu vezu s vrelom Bune.



Položaj istražnih bušotina na području Rilja - Budisavlje.
 1. Krečnjak; 2. Stene sa ulogom relativne ili apsolutne hidrogeološke barijere; 3. Dolomiti; 4. Stalno malo vrelo; 5. Veliko povremeno vrelo; 6. Ponor; 7. Bušotina.
Position of boreholes in the area of Rilja - Budisavlje.
 1. Limestone; 2. Rocks with role of relativ and absolut hydrogeological barrier; 3. Dolomite; 4. Permanent small spring; 5. Large temporary spring; 6. Ponor; 7. Borehole.

Slika 75. Istražni radovi na profilima Rilja i Budisavlje (P. Milanović)

Na profilu Pošćenje izvedene su ukupno šet bušotina (P-1; P-2, ZB-1 do ZB-4).



Područje pregradnog profila Pošćenje. 1. Veliki ponor; 2. Ponor; 3. Bušotina; 4. Kredni krečnjaci; 5. Promina konglomerati.
 Area of dam site Pošćenje. 1. Large ponor; 2. Ponor; 3. Borehole; 4. Cretaceous limestone; 5. Promina conglomerates.

Slika 76. Istražni radovi na profilu Pošćenje (P. Milanović)

Drežanjski potok i Zvodolska rijeka su pritok na lijevoj obali Zalomke. U izvorišnoj zoni ovog potoka je formirana na kontaktu flišnih naslaga i koblomerata. U tom dijelu je registrirana jedna suha pećina, a u dijelu srednjeg toka još jedna koja je djelomično ispitana do 200 m. Tok je formiran u konglomeratima i ima obilježja krškog toka.

Prema istoku sliv Zavidolke graniči sa slivovima Bregave i Trebišnjice., prema jugu sa slivom Dabarskog polja – Bregave, a prema sjeveru slivom Zalomke, iako u konačnici pripadaju istom slivu.

Protok Zavidolke varira od 0,0 do 20 m³/s. Srednji protok je od 0,63 do 1.19 m³/s. Površinski tok od oko 20 l/s aktivan je od 275 do 351 dan u godini. Poniruće vode duž nizvodnog dijela korita Zavidolke (ponorska zona Četanuša) podzemljem teku prema vrelu Buna.

7.2.8.3 Mjereni protoci

Vrelo Bune je sigurno jedno od najpoznatijih vrela u kršu Dinarida. Režim voda vrela Bune, za razliku od vrela Bunice, ima relativno male varijacije protoke i maksimalnih izdašnosti. (mjerena na vodomjernoj stanici Blagaj u razdoblju 1970-1984 godine).

Posljedica retardacijske sposobnosti krškog akviferaje i u značajnim dijelom i retardacijskog kapaciteta velike mase Promina sedimenta koji grade dio Nevesinjskog polja i masiv planine Trusine (6).

- Prosječni protok: $Q_{sr} = 23.70 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{sr}/Q_{srmin} = 8,0$
- Minimalni protok: $Q_{sr min} = 2.95 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{srmax}/Q_{srmin} = 41,7$
- Maksimalni protok: $Q_{sr max} = 123 \text{ m}^3/\text{s}$. $Q_{srmax}/Q_{sr} = 5,2$

Vrelo Bunice ima značajno nepovoljnije osnovne karakteristike hidrološkog režima koje se kontroliraju na vodomjernoj stanici Malo polje (prije ušća u rijeku Bunu). Neravnomjernost protoke rijeke Bunice prije njenog ušća u Bunu u usporedbi sa neravnomjernosti protoke rijeke Bune je daleko nepovoljnija, a što pokazuje i brojevi odnos tih vrijednosti izražen koeficijentom $K1 = 3,51$. $(Qsr/Qsrmin)_{Bunice} = 28,1$ i $(Qsr/Qsrmin)_{Bune} = 8,0$.

Do još nepovoljnijeg zaključka dolazimo ako promatramo odnos $(Qsrmax /Qsrmin)$ Bunice= 287,5 i njemu analogan odnos $(Qsrmax /Qsrmin)$ Bune = 41,7, čija usporedba daje koeficijent koji iznosi čak $K2 = 6,7$.

Ponor Biograd zapravo kroz koji otječu vode iz najvećeg dijela Nevesinjskog polja i to direktno na vrelo rijeke Bunice, je jedan od najvećih pojedinačnih ponora Dinarskog karša s vrlo velikim kapacitetom gutanja koji je veći od $110 \text{ m}^3/\text{s}$.

- Prosječni protok: $Qsr = 20,25 \text{ m}^3/\text{s}$, $Qsr/Qsrmin = 28,1$
- Minimalni protok: $Qsrmin = 0,72 \text{ m}^3/\text{s}$, $Qsrmax/Qsrmin = 288$
- Maksimalni protok: $Qsrmax = 207 \text{ m}^3/\text{s}$, $Qsrmax/Qsr = 10,2$

Iz naprijed navedenog moguće je, slično kao kod vrela Bune doći do preliminarnog zaključka da je osjetljivost vrela Bunice na vještačke utjecaje dosta indikativna i da je direktno vezana za režim rada (prirodni i vještački) ponora Biograd.

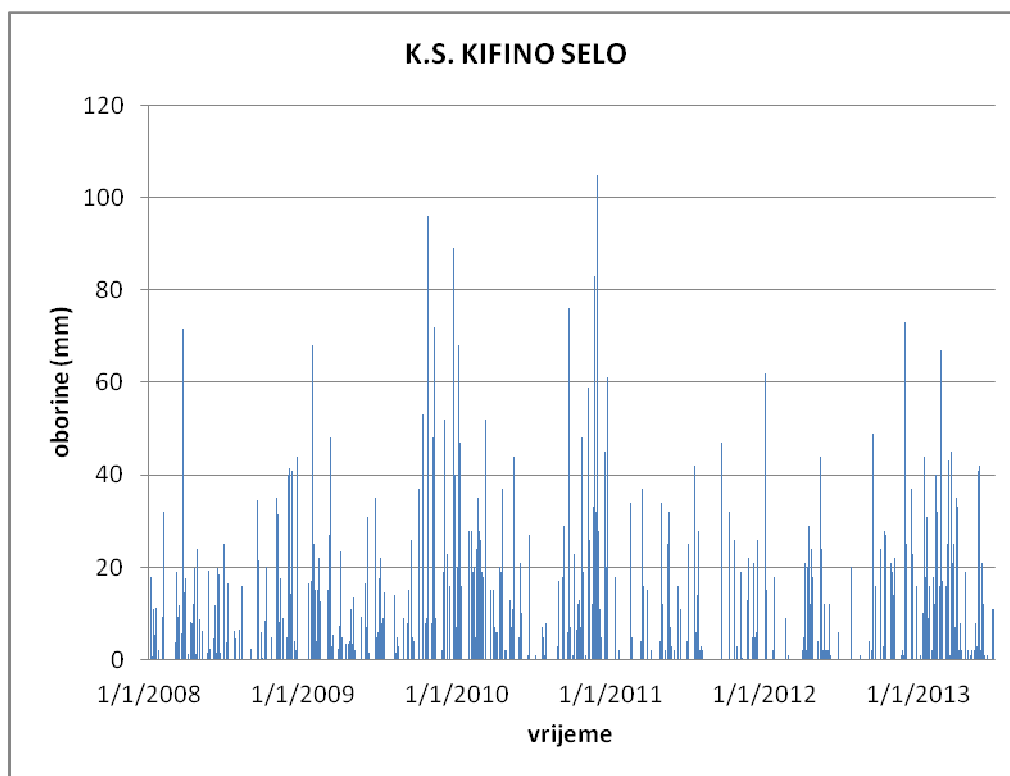
Oba vrela sifonski funkcioniraju. Prema istraživanjima C. Touloumdjian-a (2001) istraženo je 520 m sifonskog kanala Bune. Dubina istraženog dijela sifona je -68 m u odnosu na nivo isticanja. Dužina proronjenog dijela kanala vrela Bunice je 160, a dubina istraženog dijela sifona je 73 m.

7.2.8.4 Kalibracija slivnog područja

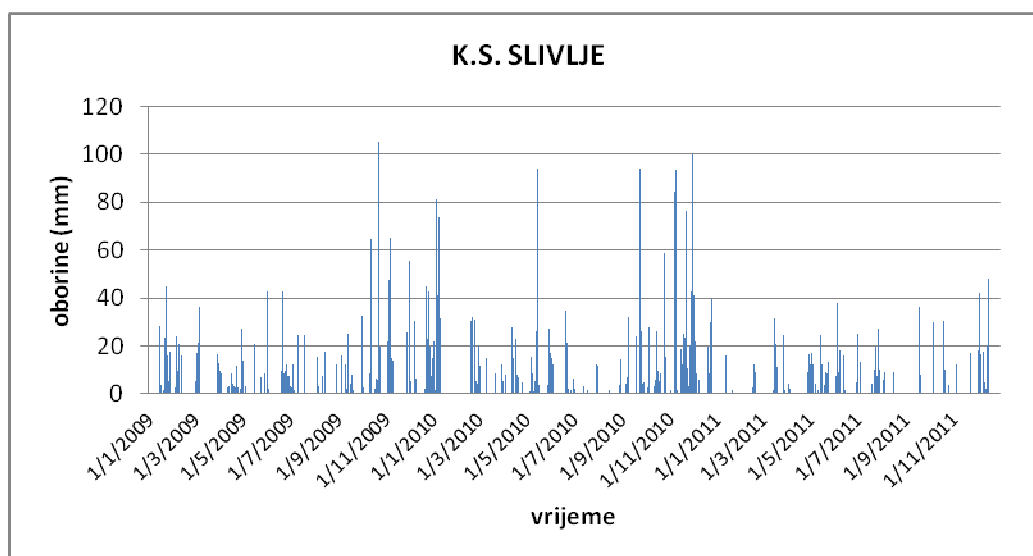
Kalibraciju slivnog područja vrela Buna i Bunica je moguće jedino na temelju izračuna grube bilance podzemnih voda.

Kao referentne oborine poslužit će srednje vrijednosti mjerenih podataka na meteorološkim stanicama "Slivlje" (kontinuirana mjerenja od 2009 do 2011. godine) i podataka na m.s. Kifino selo (mjerno razdoblje 2008 do 2013. godine).

Srednje vrijednosti oborina za m.s. Kifino selo iznose 1412 mm, a za m.s. Slivlje 1692 mm. Srednja vrijednost oborina ove dvije meteorološke stanice iznosi 1552 l/m^2 . Približno toliko iznose i godišnje oborine prema kartama Hidrometeorološkog zavoda BiH.



Slika 77. Oborine na k.s. Kifino selo za razdoblje 2008 - 2013. godina



Slika 78. Oborine na k.s. Slivlje za razdoblje 2009 - 2011. godina)

Prema gruboj bilanci podzemnih voda prosječan dotok na vrela Buna i Bunica iznosi prema obrascu:

$$Q_{sr} = \frac{A_{sl} \cdot I \cdot C}{31,5 \cdot 10^{-6}}$$

Ulazni podaci za proračun bilance podzemne vode je:

Q_{sr} = računati srednji protok

A_{sl} = utvrđena površina sliva (1100 km²)

C = koeficijent infiltracije (0,7 - velika površina otpada na Nevesinjsko polje)

I = srednje godišnje padaline 1552 l/m²

Sa sliva se prema navedenom izračunu dobije vrijednost srednjih godišnjih protoka od oko 38 m³/s.

U odnosu na mjerene vrijednosti srednjih protoka od ~ 44 m³/s, kao i okolnosti da u bilanci podzemnih voda utječu i retardacijske vode iz Promina naslaga, a koje prema navedenom izračunu iznose oko 6 m³/s, može se smatrati da izračunate vrijednosti bilance podzemnih voda pokazuju da je ukupan sliv navedenih vrela dosta dobro definiran.

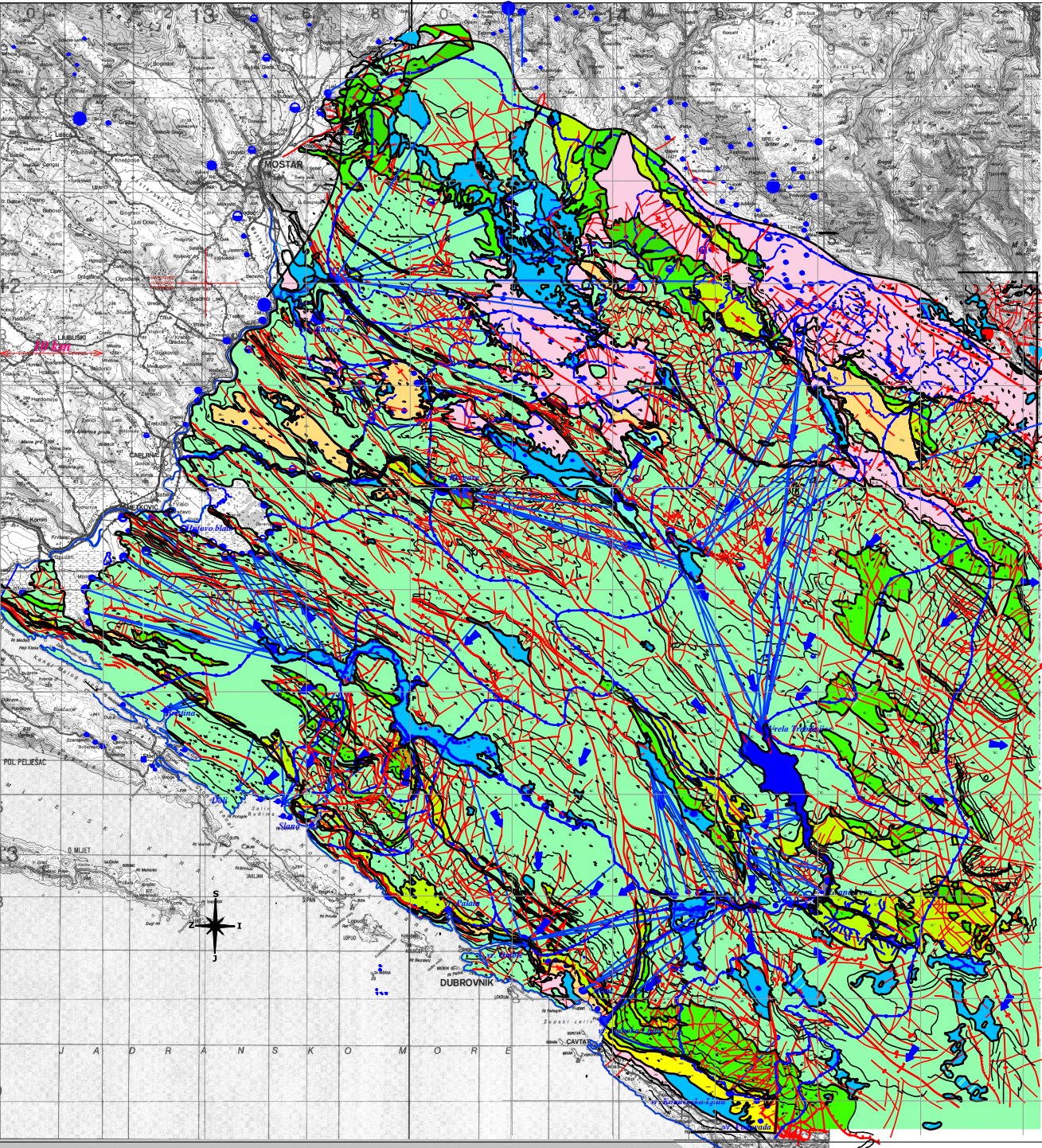
U koliko se navedenim retardacijskim vodama dodaju i prosječni dotoci Zalomke od oko 12 m³/s, izlazi da se količine od oko 20 m³/s dotječu sa dijela sliva koji ne pripada slivu Zalomke.

LITERATURA

1. ECOPLAN, Elaborat zaštite izvorišta Blace kod Neuma, Mostar, 2014.
2. CERO, Studija utjecaja hidroenergetskog postrojenja Dabar na životnu sredinu, Sarajevo – Banja Luka, 2012.
3. Ekotours d.o.o., Elaborat zaštite izvorišta Dubrovačkog primorja, Zagreb, 2012.
4. Integra d.o.o. Mostar, Hidrogeološka studija područja općine Ravno, 2009. godina.
5. Institut za elektroprivredu i energetiku d.d., Analiza utjecaja gradnje RHE Čapljina na izdašnost izvora u Donjoj Neretvi, Zagreb, 2008.
6. Milanović P., Karst istočne Hercegovine i dubovačkog priobalja, Beograd, 2006.
7. Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine, Mihovil Vlahinić, Poljoprivredno – melioracijska i agrohidrološka monografija Popova polja, Sarajevo, 2004.

8. Maksimovic, C., H. S. Wheeler, D. Koutsoyiannis, S. Prohaska, D. Peach, S. Djordevic, D. Prodanovic, C. Makropoulos, P. Docx, T. Dasic, M. Stanic, D. Spasova, and D. Brnjos, Final Report, Analysis of the effects of the water transfer through the tunnel Fatnicko Polje - Bileća reservoir on the hydrologic regime of Bregava River in Bosnia and Herzegovina, Commissioner: Energy Financing Team, Switzerland, Contractors: CUW-UK, ICCI Limited, London, 2004.
9. Estavela d.o.o. Hidrogeološka studija rješavanja vodoopskrbe sa izvorišta Zaton kod Dubrovnika, Solin, 2004.
10. Hidrogeološka karta 1:200 000 list Mostar; Institut za geološka istraživanja, Zagreb 2002 god.
11. Štambuk-Giljanović N., Vode Neretve injezina porječja, Split 1998.
12. Energoprojekt, Zone sanitarne zaštite izvorišta dubrovakog vodovoda, Beograd, 1991.
13. Milanović P. Regionalne hidrogeološke karakteristike karsta istočne Hercegovine, Vesnik, knjiga XVII/XIX, Beograd, 1983.
14. MILANOVIĆ P. Hidrogeologija karsta i metode istraživanja. Trebinje, 1979. god.
15. Mikulec S., Torbarov K., Istraživanje sigurnosti krške akumulacije Miruše (Bileća) na Trebišnjici, VII međunarodni kongres za visoke brane, Rim 1961 godine.
16. Osnovna geološka karta, listovi: Ston , Dubrovnik, Nikšić, Trebinje, Metković, Ploče, M 1: 100.000
17. Antunović I., Hidrogeološki aspekti zaštite krškog vrela rijeke Bregave. "Voda i sanitarna tehnika" br. 5, Sarajevo, 1989.
18. HET, Kraška polja Istočne Hercegovine, Vodoprivredna osnova, Trebinje 1967.
19. Razni izvještaji iz fonda stručne dokumentacije Agencije sliva Jadranskog mora iz Mostara, Agencije za vode Trebišnjice, HET-a i Hrvatskih voda iz Splita.

HIDROGEOLOŠKA KARTA SLIVA TREBŠNICE, VRELA DUBROVAČKOG PRIMORJA
 I VRELA NA LIJEVOJ OBALI NERETVE
 Hydrogeological map of the watershed of Trebšnjica, Spring Dubrovnik and the Spring on the
 left bank of the Neretva
 1 : 200 000



LITOLOGIJA	
Simbol	Opis
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]











STRUKTURNO-GEOL. IZOBILJEŽENJE	
Simbol	Opis
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]














SISTEMI ZA IZOLACIJU I ODREĐIVANJE VODNE MASINE	
Simbol	Opis
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]

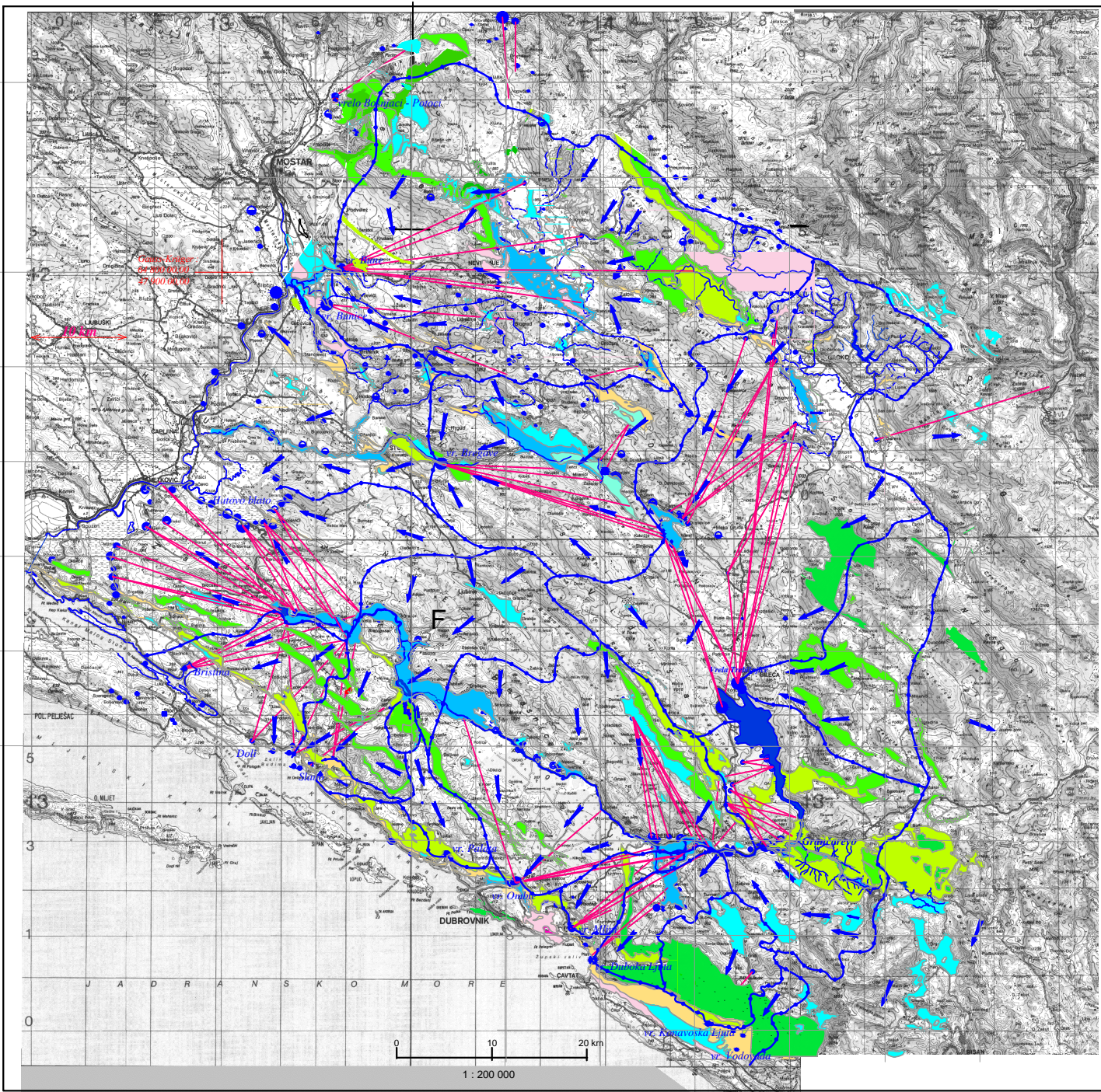
SISTEMI ZA IZOLACIJU I ODREĐIVANJE VODNE MASINE	
Simbol	Opis
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]
[Symbol]	[Description]

- crpilište vodoopskrbnog sustava
pumping water supply system
- IZVORI :**
 - a) 0,1 - 1
● b) 1-10
aktivni bušeni izdanci pojedinačna izdašnost (l/s)
Active drilled wells Individual yield (l/s)
 - 1-10
stalni izvori minimalna izdašnost (l/s)
permanent sources minimum yield (l/s)
 - 10-100
povremeni izvori srednja izdašnost (l/s)
intermittent sources average yield (l/s)
 - 100-1000
● 1000-10000
vruće nepoznate izdašnosti
submarine of unknown yield
 - > 1000
- ponor swallow hole
- generalni smjer protjecanja podzemnih voda
general direction of groundwater flow
- utvrđena odzračna veta - determined odzračna connection
razvodnica podzemna - hidrogeološka
watershed underground - hydrogeological
- OSTALE OZNAKE Other codes**
 - nivo intenzivnog oksidiranja određena geofizičkim mjerenjima
level of intense karstification certain geophysical measurements
 - ⊙ pozicija geoelektričnih sondiranja
position geoelectrical soundings
 - ⊙ pozicija istraživačke bušotine
position exploration wells

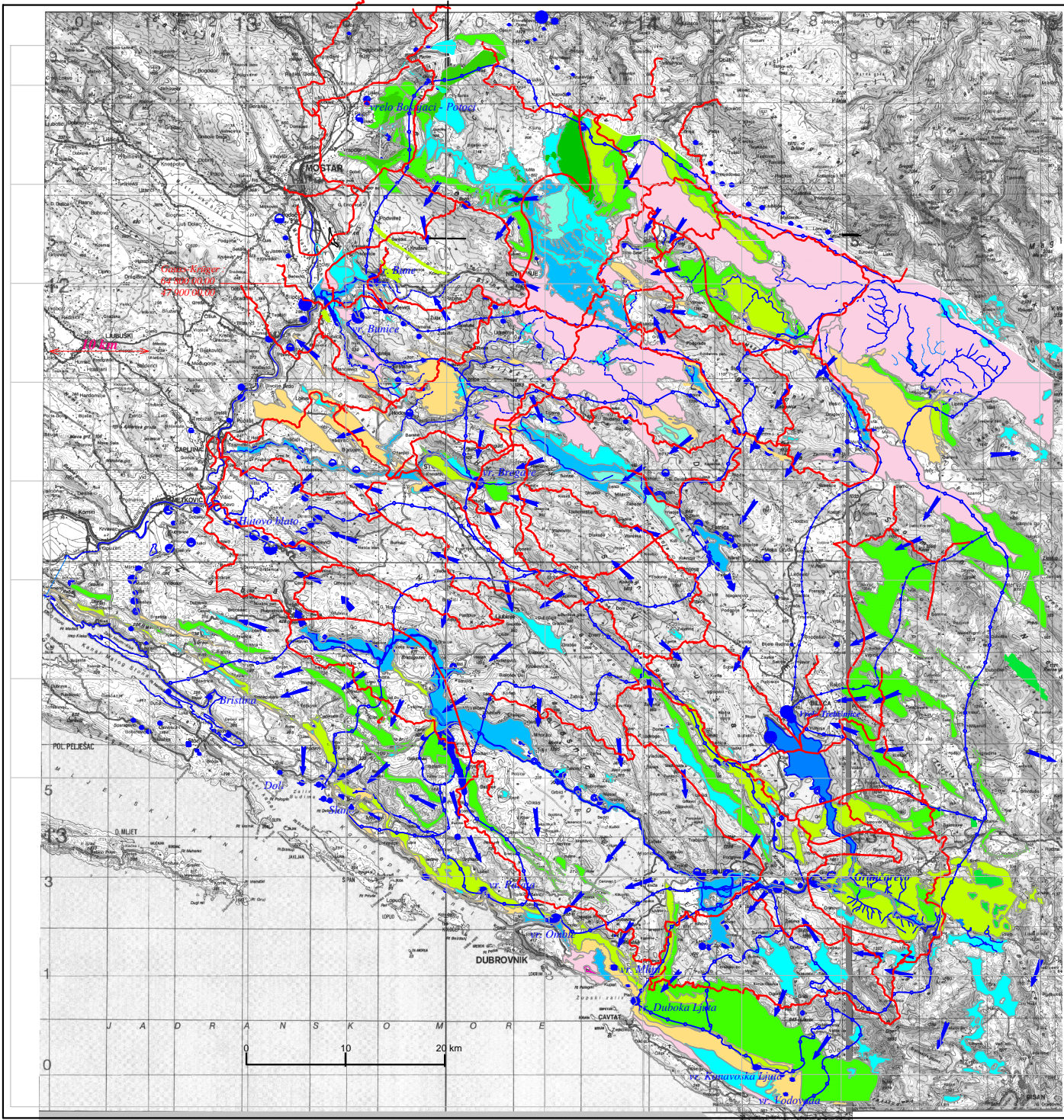
PODRUČJE SLIVA TREBIŠNICE, VRELA DUBROVAČKOG PRIMORJA I VRELA NA LIJEVOJ OBALI NERETVE
 Catchment area Trebišnjica, Spring Dubrovačko primorje and the Spring on the left bank of the Neretva
 KARTA VODNIH TIJELA MAP OF WATER BODIES
 1 : 200 000










-  vrlo okršeno vodno tijelo sa koeficijentom infiltracije od C - 0,7 (a karst water body with infiltration coefficient of C - 0,7)
-  srednje okršeno vodno tijelo sa koeficijentom infiltracije od C - 0,6 (medium karst water body with infiltration coefficient of C - 0,6)
-  neokršeno vodno tijelo sa slabom do srednjom pukotinskom poroznošću i funkcijom podinske i bočne barijere, koeficijent infiltracije - 0,3 (no karst water body with low to medium porosity fissures and function of the footwall and side barriers, infiltration coefficient - 0,3)
-  Indeks 4. neokršeno vodno tijelo sa prevladavajućom međuznom poroznošću i funkcijom djelomične bočne barijere, koeficijent infiltracije od ~ 0,3 (no karst water body with prevailing intergranular porosity and function of partial lateral barrier, infiltration coefficient from ~ 0,3)
-  kvartarne naslage - ponajviše područje pokriveno krša, koeficijent infiltracije ~ 0,3 (Quaternary sediments - mostly covered by karst infiltration coefficient from ~ 0,3)
-  Primarna hidrogeološka razvodnica
Primary hydrogeological watershed
-  Sekundarna hidrogeološka razvodnica
Secondary hydrogeological watershed
-  Približni pravci podzemnog tečenja
Approximate groundwater flow directions
-  Utvrđena podzemna veza (established an underground connection)
-  Granica područja sa prevladavajućim infiltracijskim karakteristikama (The border areas with prevailing infiltration characteristics)





- IZVORI:
- a)  0,1 - 1
 -  1-10
 -  10-100
 -  100-1000
 -  > 1000
 -  1-10
 -  10-100
 -  100-1000
 -  > 1000
 -  1-10
 -  10-100
 -  vruće nepoznate izdašnosti
 -  ponor
- stalni izvori
minimalna izdašnost (l/s)
- povremeni izvori
srednja izdašnost (l/s)
- stalni bočasti izvor
srednja izdašnost (l/s)



PODRUČJE SLIVA TREBIŠNJIČE, VRELA DUBROVAČKOG PRIMORJA I VRELA NA LJEVOJ OBALI NERETVE
 Catchment area Trebišnjica, Spring Dubrovačko primorje and the Spring on the left bank of the Neretva
 KARTA VODNIH TIJELA MAP OF WATER BODIES
 1:200.000



-  Indeks 1. vrlo okršeno vodno tijelo sa koeficijentom infiltracije od C = 0,8 do 0,9 (a karst water body with infiltration coefficient of C = 0.8 to 0.9)
-  Indeks 2. srednje okršeno vodno tijelo sa koeficijentom infiltracije od C = 0,6 do 0,7 (medium karst water body with infiltration coefficient of C = 0.6 to 0.7)
-  Indeks 3. neokršeno vodno tijelo sa slabom do srednjom pukotinskom poroznošću i funkcijom podinske i bočne barijere, koeficijent infiltracije od 0,4 do 0,5 (no karst water body with low to medium porosity fissures and function of the footwall and side barriers, infiltration coefficient 0.4 to 0.5)
-  Indeks 4. neokršeno vodno tijelo sa prevladavajućom međuznom poroznošću i funkcijom djelomične bočne barijere, koeficijent infiltracije od 0,4 do 0,5 (no karst water body with prevailing intergranular porosity and function of partial lateral barrier, infiltration coefficient from 0.4 to 0.5)
-  kvartarne naslage - ponajviše područje pokriveno krša (Quaternary sediments - mostly covered by karst)
-  Primarna hidrogeološka razvodnica
Primary hydrogeological watershed
-  Sekundarna hidrogeološka razvodnica
Secondary hydrogeological watershed
-  Približni pravci podzemnog tečenja
Approximate groundwater flow directions
-  Granica vodnih tijela
Boundaries of water bodies

- IZVORI:
- a)  0,1 - 1
1-10
10-100
100-1000
> 1000
stalni izvori
minimalna
izdašnost (l/s)
 - b)  1-10
10-100
100-1000
> 1000
povremeni izvori
srednja izdašnost (l/s)
 -  1-10
10-100
stalni bočasti izvor
srednja izdašnost (l/s)
 -  vruće nepoznate izdašnosti
ponor

Aneks 1.

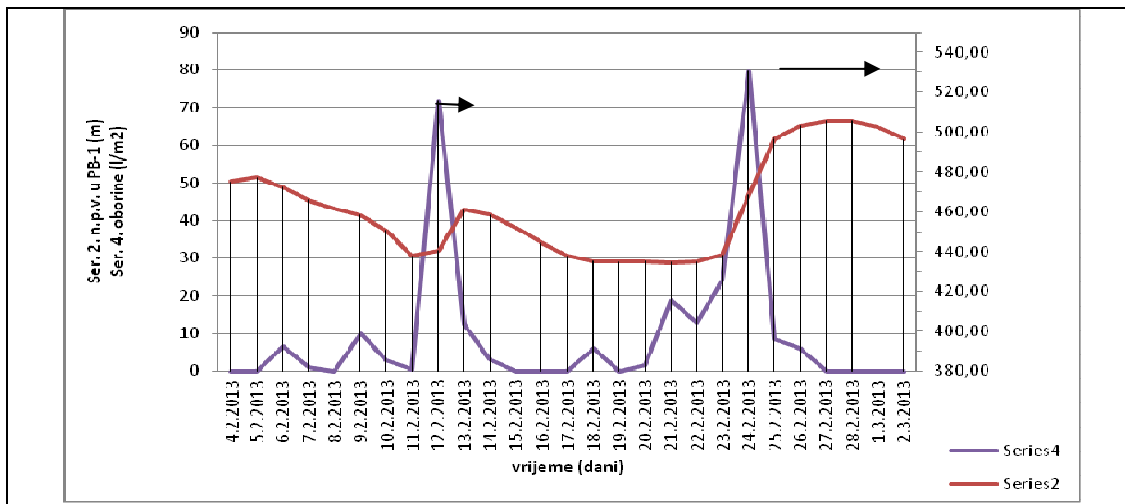
U komentarima koji se odnose na: COMMENTS ON THE THIRD PROJECT PROGRESS REPORT, i.e. ON THE “FINAL DRAFT MANAGEMENT PLAN OF RESERVOIRS AND HYDROPOWER PLANTS”PROJECT „DEVELOPMENT OF THE MODEL FOR HYDROLOGICAL PREDICTIONS, FORECASTING AND DECISION MAKING AND PREPARATION OF THE PLAN, GUIDELINES, TRAINING PROGRAM FOR OPTIMAL MANAGEMENT OF MULTI-PURPOSE RESERVOIRS IN THE RIVER BASINS OF NERETVA AND TREBIŠNJICA “Contract #: BA&CR-NTMP-GEF-QCBS-CS-11-08, pod stavkom C.2. HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF EASTERN HERZEGOVINA navedena su dva upita:

1. Why water levels in the reservoir Bileća, especially for PB-1 and F-3, were not given on the time diagram of oscillations of ground water level, rainfalls and inflow into the reservoir as there is an obvious interdependence and why were not several scenarios elaborated considering the water level in the reservoir Bileća in order to define good connections for the forecast of input hydrographs?
2. Why has not the impact of the redistribution of water in the underground been considered, especially in Fatničko polje and Dabarsko polje and to which extent this redistribution affects the water balance of the Bileća reservoir and the forecast of input hydrographs?

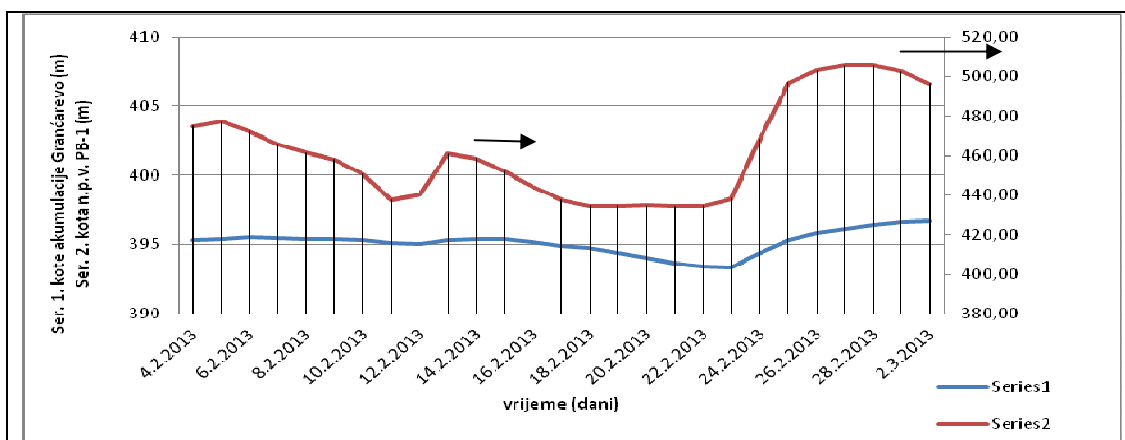
Vežano za navedena pitanja dostavljaju se slijedeći odgovori i komentari:

1. Vremenski dijagram odnosa oscilacija podzemnih voda u osmatranim pijezometrima, oborina i proračunatih dotoka u akumulaciju Bileća prikazani su u radu na slikama od 35 - 37 (F-3) i 52-53 (PB-1). Pretpostavljam da se primjedba odnosila na prikaz detaljnijih dijelova vremenskog dijagrama za pijezometre PB-1 i F-3 iz kojeg bi se lakše očitala vremena odziva oborina na n.p.v. u pijezometrima i sračunatih dotoka u akumulaciju Grančarevo. Svakako stoji primjedba da navedeni odnosi nisu razrađeni i prema oscilacijama nivoa akumulacije Bileća. Za navedenu obradu podataka postoje određena ograničenja koja mogu uzrokovati pogreške u konačnoj obradi. Oscilacije nivoa akumulacije su rezultat količine ukupnog dotoka podzemnih voda u akumulaciju, dinamike ukupnog protoka na brani i promjena zapremine akumulacije ovisno o visini njenog nivoa. Pokušalo se preko razrade sračunatih dotoka u akumulaciju, oborina i oscilacija nivoa podzemnih voda u pijezometrima dati prognozu ulaznih hidrografa. Kod ovog se pošlo od pretpostavke kojom se smatralo da su navedena ograničenja uključena u postupku proračuna dotoka u akumulaciju obavljenom u HET-u. U tom smislu, a dijelom i u skladu s navedenom primjedbom, daje se nekoliko karakterističnih segmenata vremenskih dijagrama koji obuhvaćaju oscilacije nivoa akumulacije Bileća u zavisnosti od oborina i oscilacija n.p.v. u reprezentativnim pijezometrima PB-1 i F-3, a također i V.S.Srđevići:

Karakteristični segmenti iz vremenskoj dijagrama pijezometra PB-1



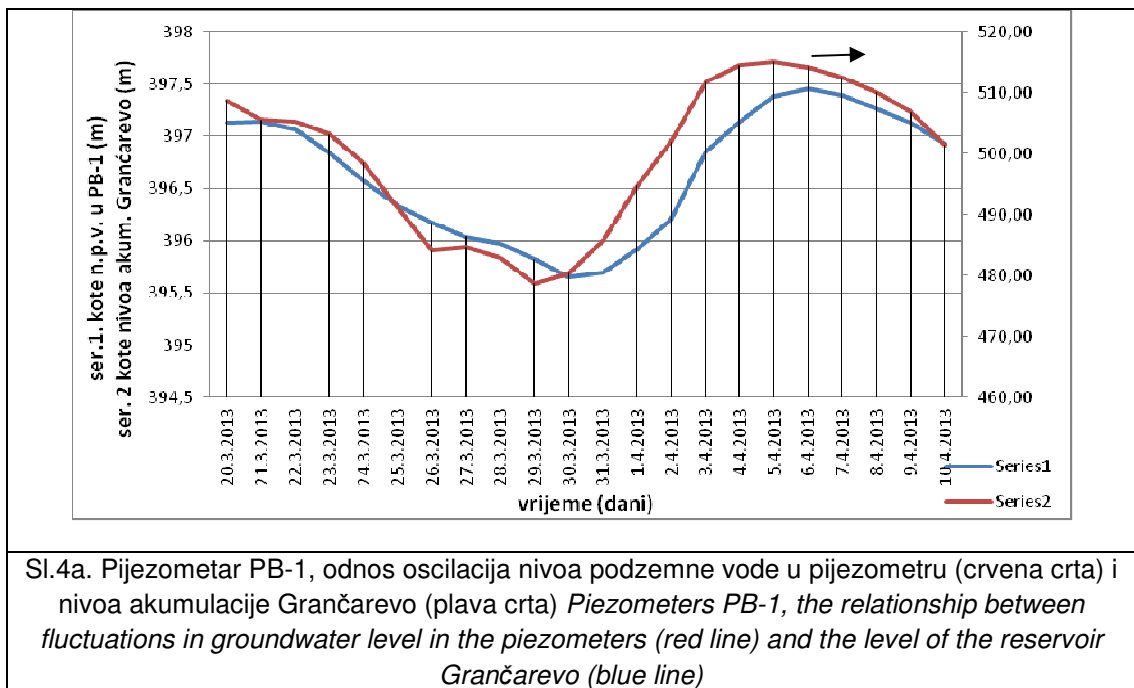
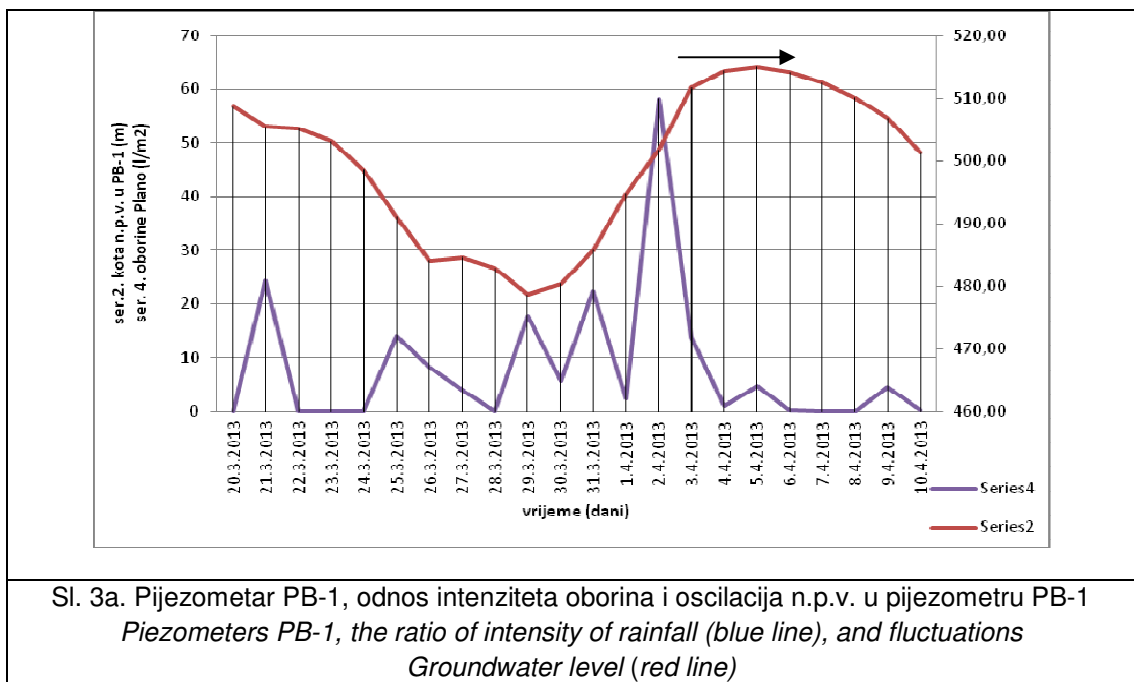
Sl. 1a. Pijezometar PB-1, odnos intenziteta oborina i oscilacija n.p.v. u pijezometru PB-1
Piezometers PB-1, the ratio of intensity of rainfall (blue line), and fluctuations Groundwater level (red line)



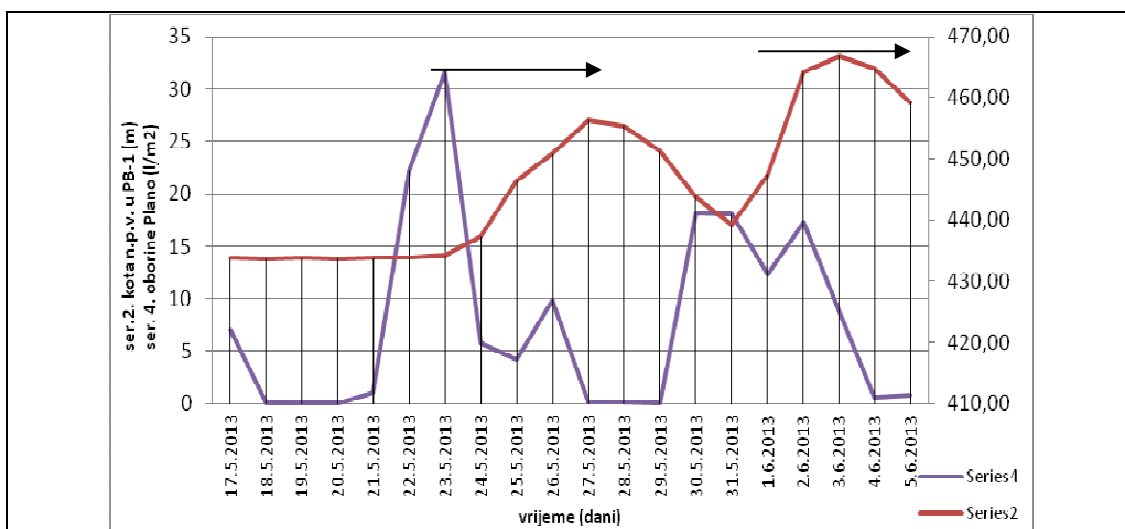
Sl.2a. Pijezometar PB-1, odnos oscilacija nivoa podzemne vode u pijezometru (crvena crta) i nivoa akumulacije Grančarevo (plava crta).
Piezometers PB-1, the relationship between fluctuations in groundwater level in the piezometers (red line) and the level of the reservoir Grančarevo (blue line)

Razdoblje velikih voda - razdoblje 04, 02. do 02. 3. 2013. :

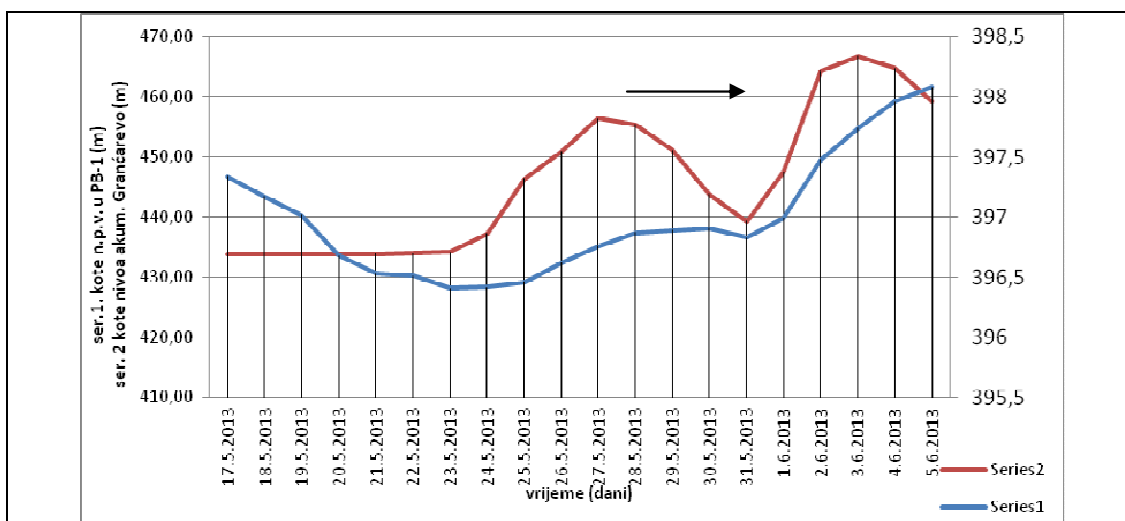
Kašnjenje odziva n.p.v. u pijezometru PB-1 nakon maksimuma oborina je **2 - 3 dana**.
 Kašnjenje odziva nivoa akumulacije Grančarevo nakon maksimuma n.p.v. u PB-1 je od **2 do 3 dana**.
 Ukupno kašnjenje nivoa akumulacije nakon maksimuma oborina za razdoblje velikih voda je **4 do 6 dana**



Razdoblje vrlo velikih voda - razdoblje 20. 3. do 10. 4. 2013. : Kašnjenje odziva n.p.v. u pijezometru PB-1 nakon maksimuma oborina je oko **3 dana**. Kašnjenje odziva nivoa akumulacije Grančarevo nakon maksimuma n.p.v. u PB-1 je **1,5 dana**. Ukupno kašnjenje nivoa akumulacije nakon maksimuma oborina za razdoblje vrlo velikih voda je **4,5 dana**

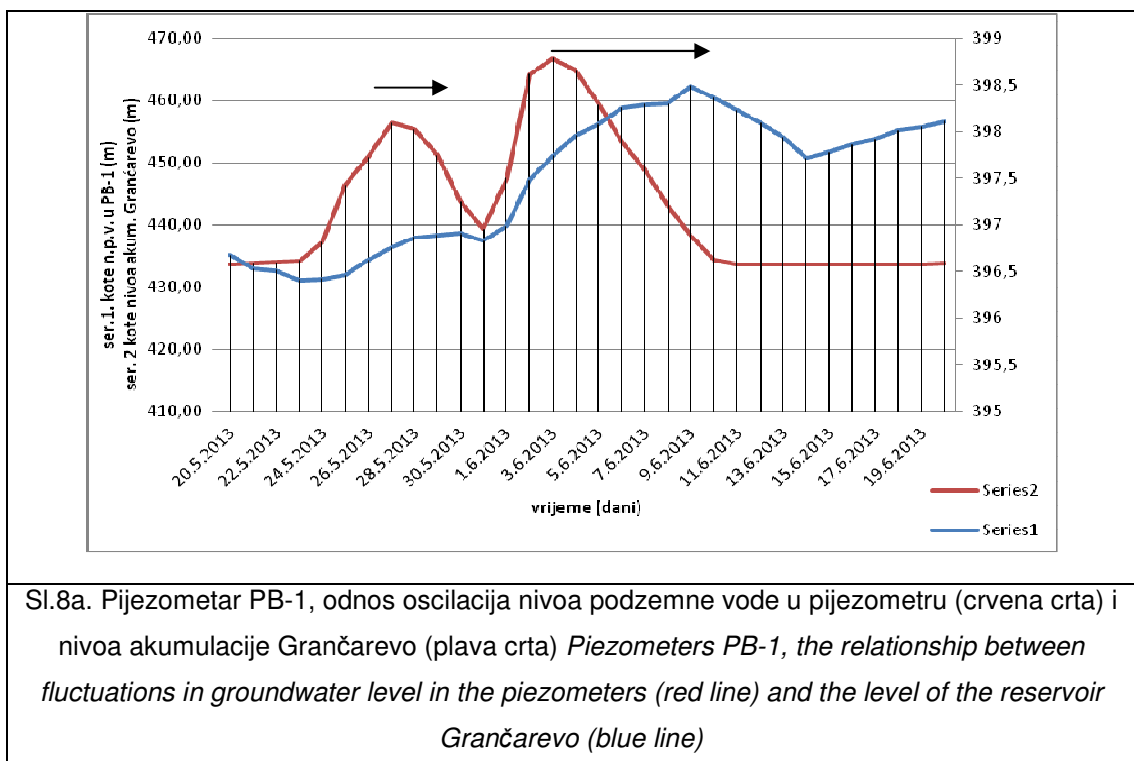
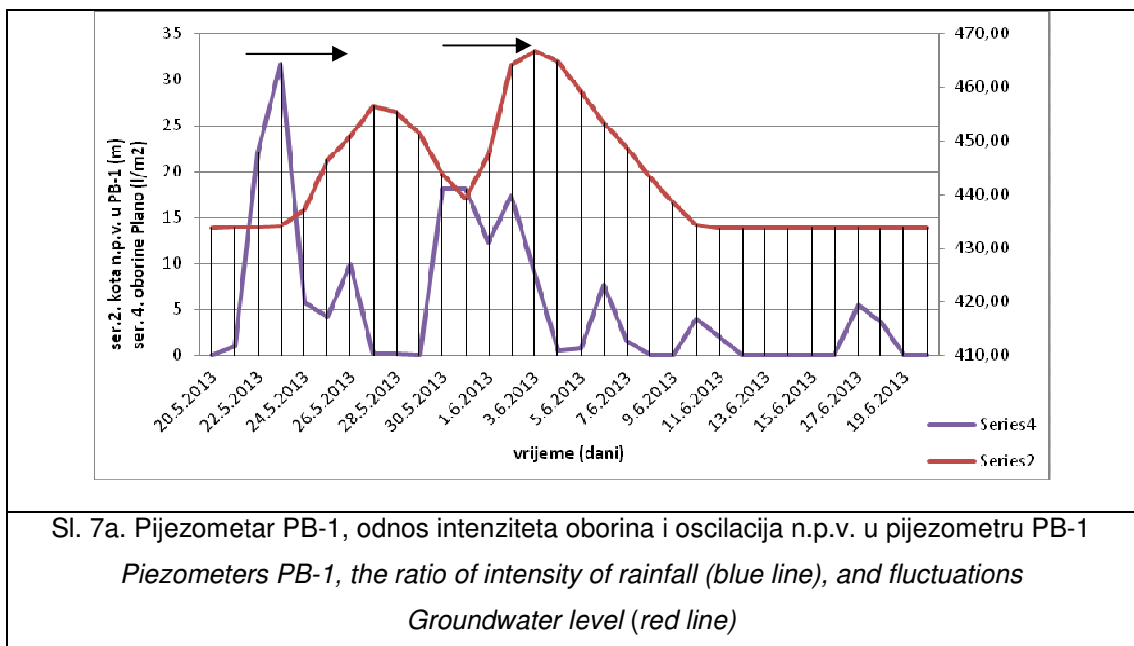


Sl. 5a. Pijezometar PB-1, odnos intenziteta oborina i oscilacija n.p.v. u pijezometru PB-1
Piezometers PB-1, the ratio of intensity of rainfall (blue line), and fluctuations Groundwater level (red line)



Sl.6a. Pijezometar PB-1, odnos oscilacija nivoa podzemne vode u pijezometru (crvena crta) i nivoa akumulacije Grančarevo (plava crta)
Piezometers PB-1, the relationship between fluctuations in groundwater level in the piezometers (red line) and the level of the reservoir Grančarevo (blue line)

Razdoblje velikih voda - razdoblje 17. 5. do 06. 6. 2013. : Kašnjenje odziva n.p.v. u pijezometru PB-1 nakon maksimuma oborina je oko **4 dana**. Kašnjenje odziva nivoa akumulacije Grančarevo nakon maksimuma n.p.v. u PB-1 je oko **3 dana**. Ukupno kašnjenje nivoa akumulacije nakon maksimuma oborina za razdoblje velikih voda je oko **7 dana**



Razdoblje srednjih voda - razdoblje 20. 5. do 20. 6. 2013. : Kašnjenje odziva n.p.v. u pijezometru PB-1 nakon maksimuma oborina je oko **4 dana**. Kašnjenje odziva nivoa akumulacije Grančarevo nakon maksimuma n.p.v. u PB-1 je **3 - 6 dana**. Ukupno kašnjenje nivoa akumulacije nakon maksimuma oborina za razdoblje velikih voda je oko **7 do 10 dana**

Zaključak:

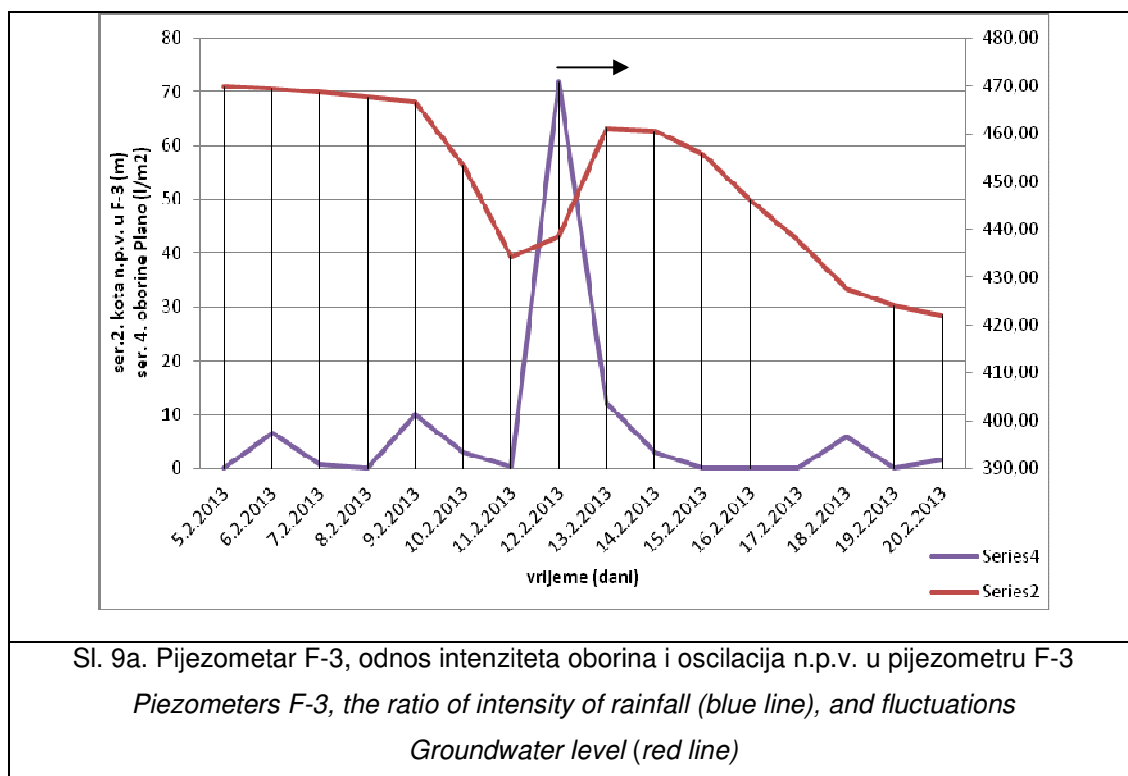
Iz navedenih odnosa intenziteta oborina, n.p.v. u pijezometru PB-1 i nivoa akumulacije za neka karakteristična razdoblja, da se grubo zaključiti:

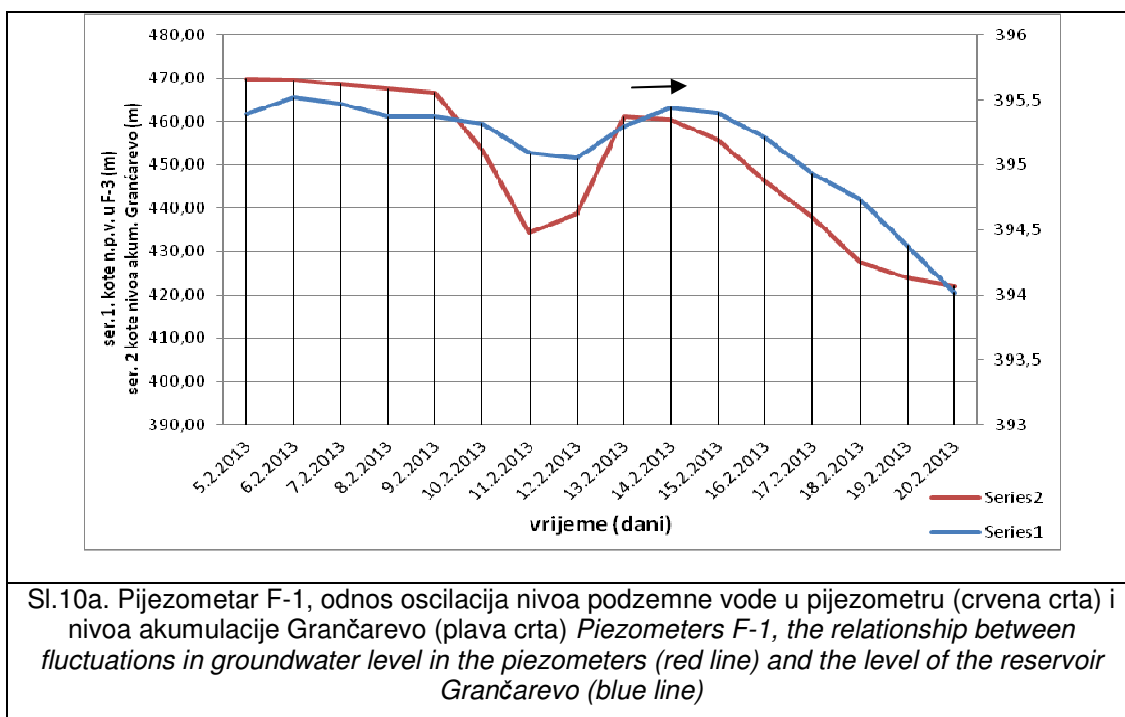
Razdoblje vrlo velikih voda: Kašnjenje odziva n.p.v. u pijezometru PB-1 nakon maksimuma oborina je oko 3 dana. Kašnjenje odziva nivoa akumulacije Grančarevo nakon maksimuma n.p.v. u PB-1 je 1,5 dana. Ukupno kašnjenje nivoa akumulacije nakon maksimuma oborina za razdoblje velikih voda je oko 4,5 dana

Razdoblje velikih voda: Kašnjenje odziva n.p.v. u pijezometru PB-1 nakon maksimuma oborina je oko 2-4 dana. Kašnjenje odziva nivoa akumulacije Grančarevo nakon maksimuma n.p.v. u PB-1 je oko 2-3 dana. Ukupno kašnjenje nivoa akumulacije nakon maksimuma oborina za razdoblje velikih voda je oko 4-7 dana

Razdoblje srednjih voda: Kašnjenje odziva n.p.v. u pijezometru PB-1 nakon maksimuma oborina je oko 4 dana. Kašnjenje odziva nivoa akumulacije Grančarevo nakon maksimuma n.p.v. u PB-1 je oko 3-6 dana. Ukupno kašnjenje nivoa akumulacije nakon maksimuma oborina za razdoblje velikih voda je oko 7-10 dana

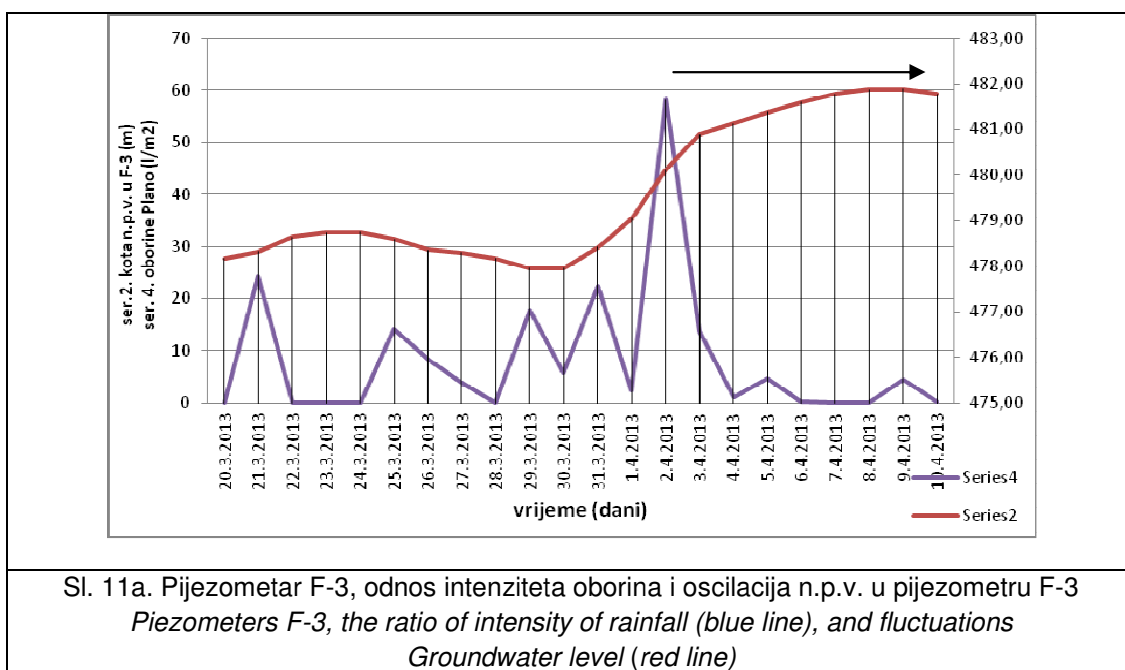
Karakteristični segmenti iz vremenskog dijagrama pijezometra F-3

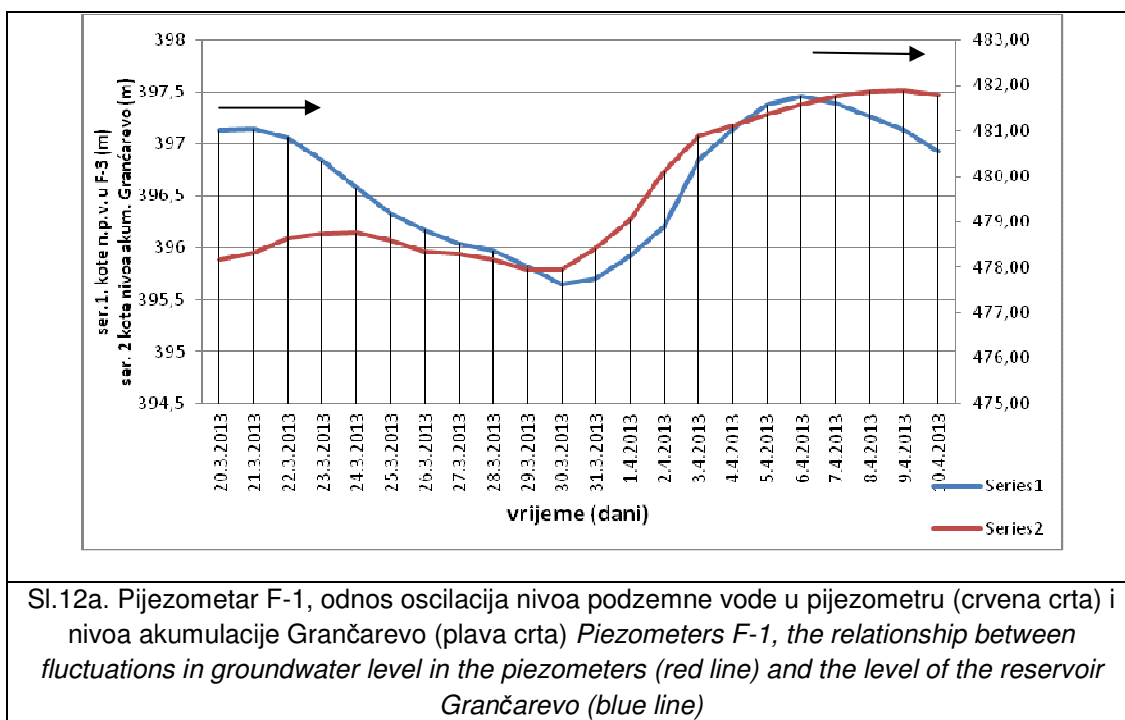




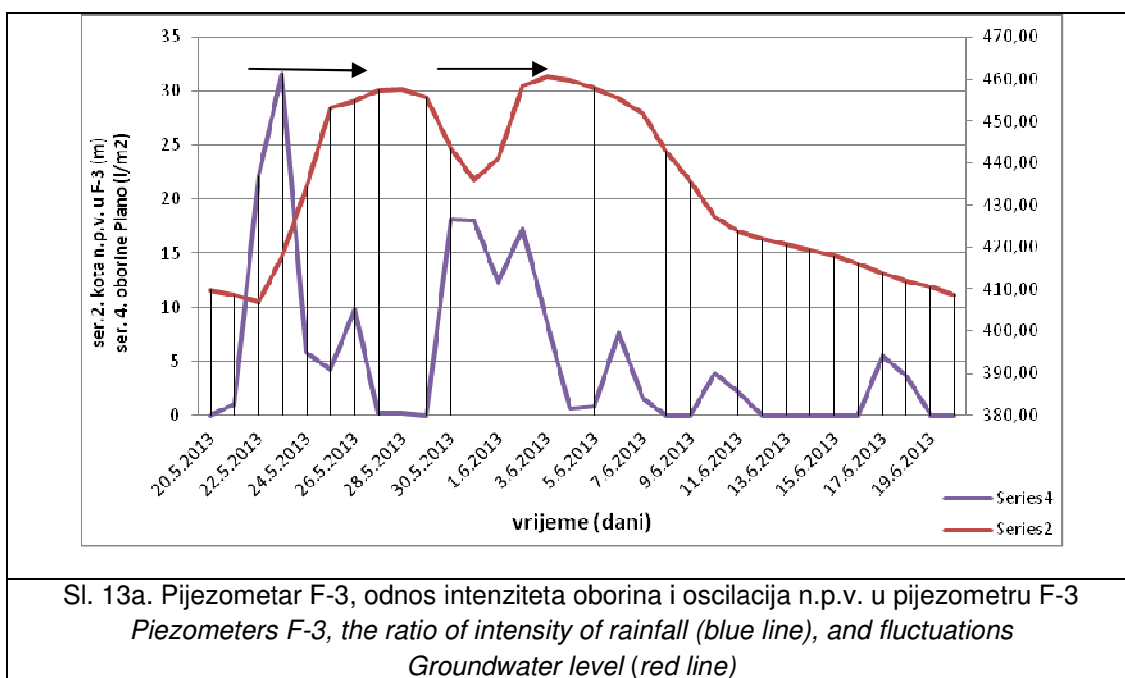
Razdoblje velikih voda - razdoblje 05. 2. do 20. 2. 2013. :

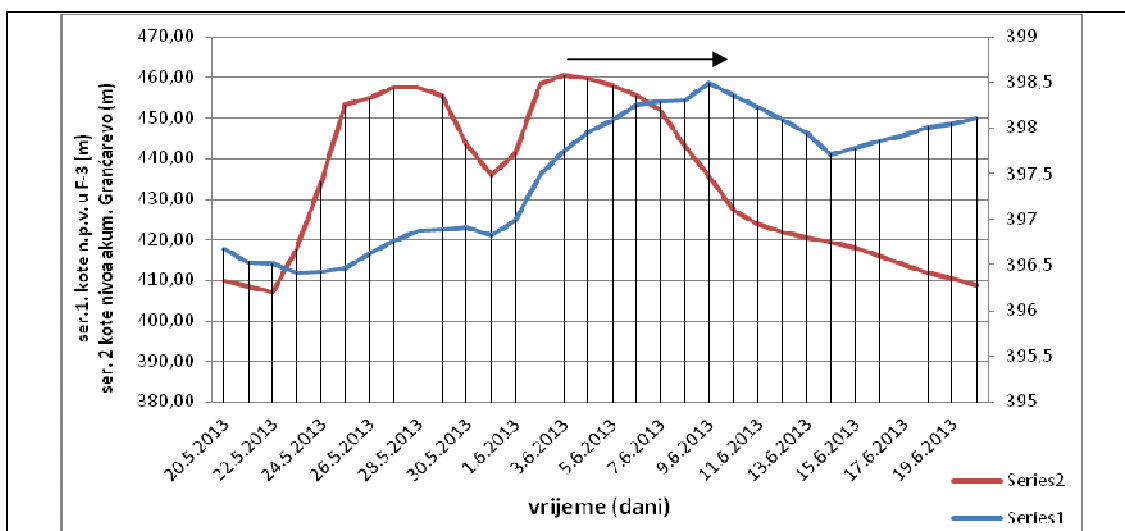
Kašnjenje odziva n.p.v. u pijezometru PB-1 nakon maksimuma oborina je oko **1 - 1,5 dana**
Kašnjenje odziva nivoa akumulacije Grančarevo nakon maksimuma n.p.v. u PB-1 je oko **1 dan**. Ukupno kašnjenje nivoa akumulacije nakon maksimuma oborina za razdoblje velikih voda je oko **2 do 2,5 dana**





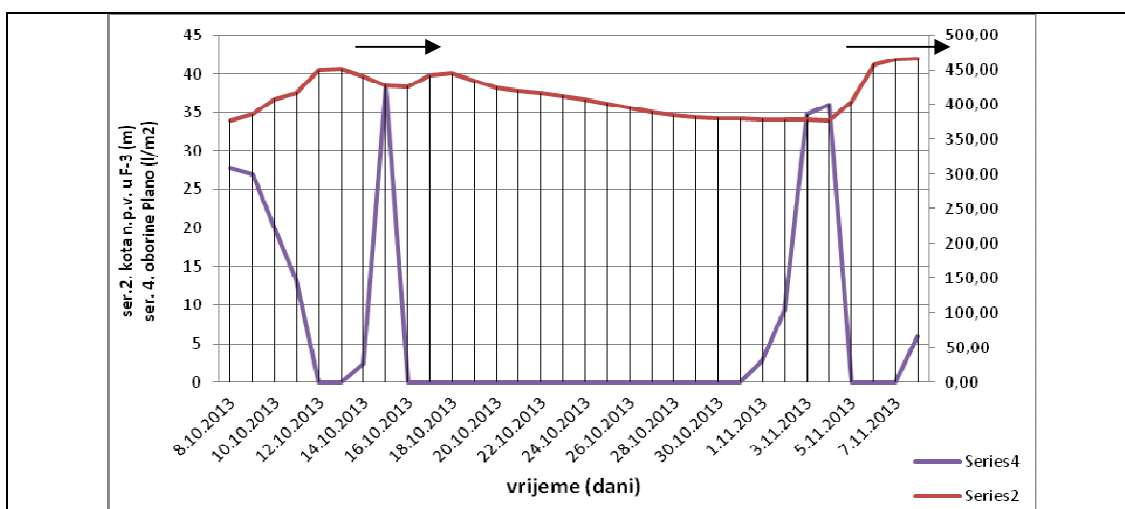
Razdoblje velikih voda - razdoblje 20. 3. do 10. 3. 2013. : Kašnjenje odziva n.p.v. u pijezometru PB-1 nakon maksimuma oborina je oko **6,5 dana**. Kašnjenje odziva nivoa akumulacije Grančarevo nakon maksimuma n.p.v. u PB-1 je oko **2,5 dana**. Ukupno kašnjenje nivoa akumulacije nakon maksimuma oborina za razdoblje velikih voda je oko **9 dana**



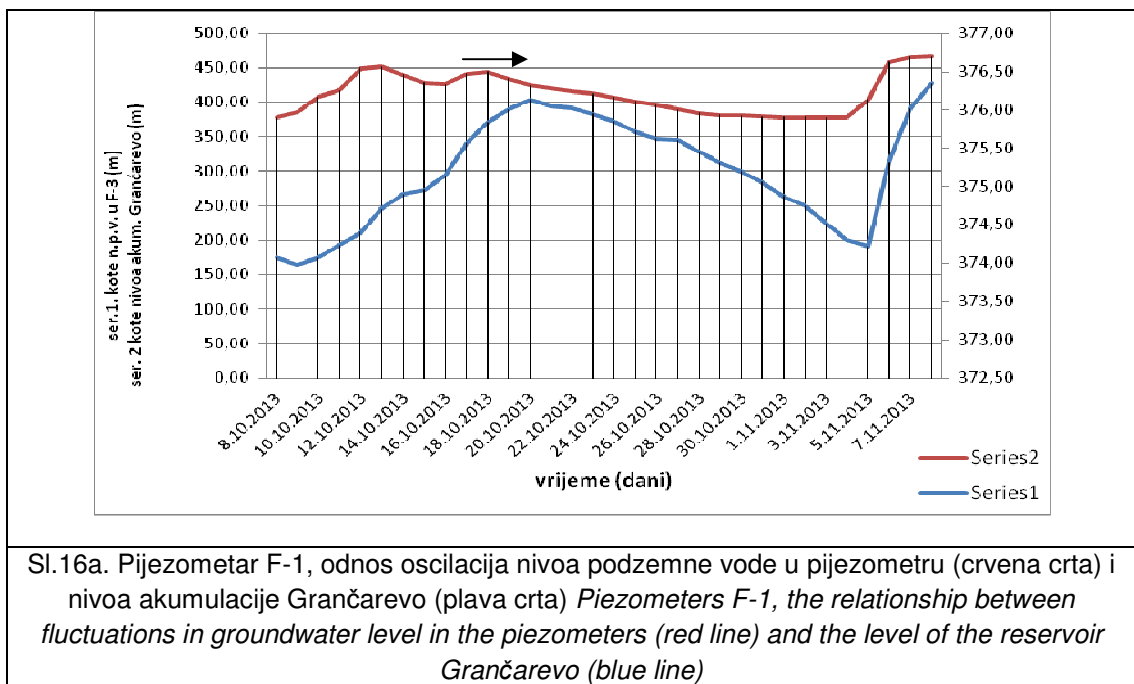


Sl.14a. Pijezometar F-1, odnos oscilacija nivoa podzemne vode u pijezometru (crvena crta) i nivoa akumulacije Grančarevo (plava crta) *Piezometers F-1, the relationship between fluctuations in groundwater level in the piezometers (red line) and the level of the reservoir Grančarevo (blue line)*

Razdoblje srednjih voda - razdoblje 17. 5. do 17. 6. 2013. : Kašnjenje odziva n.p.v. u pijezometru PB-1 nakon maksimuma oborina je oko **4,5 - 5 dana**. Kašnjenje odziva nivoa akumulacije Grančarevo nakon maksimuma n.p.v. u PB-1 je oko **6 dana**. Ukupno kašnjenje nivoa akumulacije nakon maksimuma oborina za razdoblje velikih voda je oko **10,5 do 11 dana**



Sl. 15a. Pijezometar F-3, odnos intenziteta oborina i oscilacija n.p.v. u pijezometru F-3 *Piezometers F-3, the ratio of intensity of rainfall (blue line), and fluctuations Groundwater level (red line)*



Razdoblje malih voda - razdoblje 08. 10. do 10. 10. 2013. : Kašnjenje odziva n.p.v. u pijezometru PB-1 nakon maksimuma oborina je oko **3 do 3,5 dana**. Kašnjenje odziva nivoa akumulacije Grančarevo nakon maksimuma n.p.v. u PB-1 je oko **2,5 dana**. Ukupno kašnjenje nivoa akumulacije nakon maksimuma oborina za razdoblje velikih voda je oko **5,5 do 6 dana**

Zaključak:

Iz navedenih odnosa intenziteta oborina, n.p.v. u pijezometru F-3 i nivoa akumulacije za neka karakteristična razdoblja, da se grubo zaključiti:

Razdoblje vrlo velikih voda:

Kašnjenje odziva n.p.v. u pijezometru PB-1 nakon maksimuma oborina je oko **1-1,5 dana**. Kašnjenje odziva nivoa akumulacije Grančarevo nakon maksimuma n.p.v. u PB-1 je oko **1 dan**. Ukupno kašnjenje nivoa akumulacije nakon maksimuma oborina za razdoblje velikih voda je oko **2 - 2,5 dana**

Razdoblje velikih voda:

Kašnjenje odziva n.p.v. u pijezometru PB-1 nakon maksimuma oborina je oko **6,5 dana**. Kašnjenje odziva nivoa akumulacije Grančarevo nakon maksimuma n.p.v. u PB-1 je oko **2,5 dana**. Ukupno kašnjenje nivoa akumulacije nakon maksimuma oborina za razdoblje velikih voda je oko **9 dana**

Razdoblje srednjih voda:

Kašnjenje odziva n.p.v. u piježometru PB-1 nakon maksimuma oborina je oko **2-4 dana**

Kašnjenje odziva nivoa akumulacije Grančarevo nakon maksimuma n.p.v. u PB-1 je oko **2-3 dana**. Ukupno kašnjenje nivoa akumulacije nakon maksimuma oborina za razdoblje velikih voda je oko **4-7 dana**

Razdoblje malih voda:

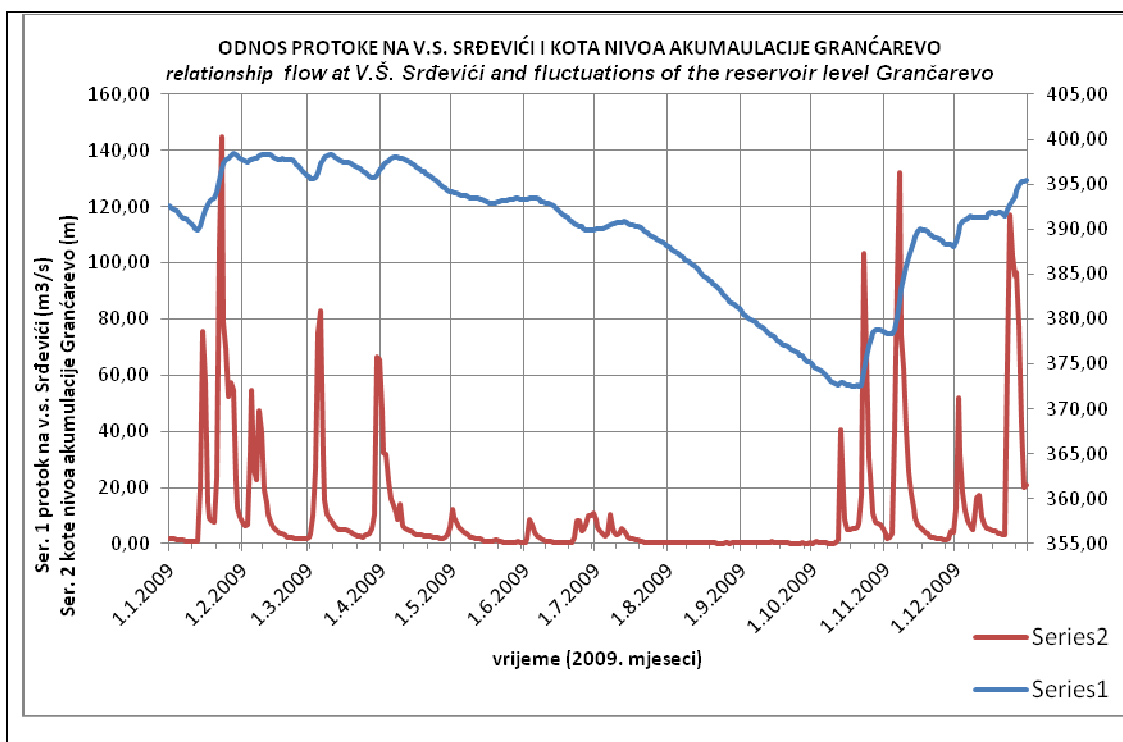
Kašnjenje odziva n.p.v. u piježometru PB-1 nakon maksimuma oborina je oko **3 - 3,5 dana**

Kašnjenje odziva nivoa akumulacije Grančarevo nakon maksimuma n.p.v. u PB-1 je oko **2,5 dana**. Ukupno kašnjenje nivoa akumulacije nakon maksimuma oborina za razdoblje velikih voda je oko **5,5 - 6 dana**

S obzirom na zadaću cijelog projekta, značajne su vrijednosti kašnjenja za velike i vrlo velike vode gdje je ukupno kašnjenje u granicama 2,5 do 4 dana, a za velike vode od 7 do 9 dana. Zbog mogućih ostalih utjecaja na nivo akumulacije Grančarevo i trasiranjima utvrđene prividne brzine tečenja podzemnih voda, ukupna kašnjenja u granicama od 2,5 dana za vrlo velike vode i 7 dana za razdoblje velikih voda se mogu smatrati realnim.

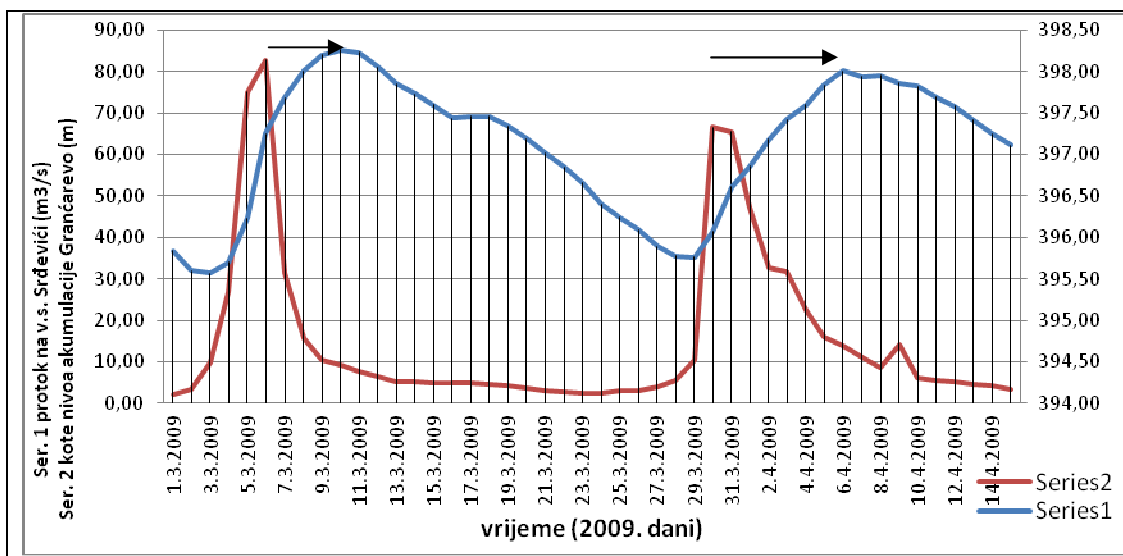
V.S. Srđevići: Odnos protoke na mjernom profilu i nivoa oscilacija akumulacije Grančarevo

V.S. Srđevići ojediniuje otjecanje voda sa najsjevernijeg dijela sliva vrela Trebišnjice. Prema rezultatima trasiranja i hidrogeološkoj razradi sliva vrela Trebišnjice, sa ovog područja s brzinama podzemnog tečenja od preko 10 km/dan dotječe većina podzemnih voda na vrela Trebišnjice.



Sl.17a. V.S. Srđevići, odnos na mjernom profilu (crvena crta) i nivoa akumulacije Grančarevo (plava crta) V.S. Srđevići, the ratio of the measuring profile (red line) and the level of the reservoir Grančarevo (blue line)

Za 2009. godinu s karakterističnim naglim povećanjima protoke na v.s. Srđevići se vrlo jasno uočavaju odrazi na nivo akumulacije Grančarevo (sl. 17)



Sl.18a. V.S. Srđevići, odnos na mjernom profilu (crvena crta) i nivoa akumulacije Grančarevo (plava crta) V.S. Srđevići, the ratio of the measuring profile (red line) and the level of the reservoir Grančarevo (blue line)

Za razdoblja vrlo velikih voda, kašnjenje odziva veličine protoke na v.s. Srđevići na nivo akumulacije iznosi oko 4 dana. Već za razdoblje velikih voda taj odziv se produžava na 7 dana. (sl. 18).

2. U svezi pitanja koje se odnosi na učinke preraspodjele vode u podzemlju, posebno u slučaju Dabarskog i Fatničkog polja i utjecaja na ravnotežu vode u akumulaciji Bileća potrebno je naglasiti slijedeće :

- Dabarsko polje pripada slivu vrela Bregave, a jedina povezanost sa Fatničkim poljem je preko dovodnog tunela. O količinama vode koje se prevode ovim tunelom imalo se samo šture informacije iz objavljene literature, koje su nedovoljne za jednu ozbiljniju analizu, a koja je ipak područje koje pokriva hidrologija i hidraulika površinskih voda.
- Fatničko polje se nalazi u zoni razvođa slivova, ponajviše sliva vrela Trebišnjice i manjim dijelom u sliva Bregave. O detaljnijoj analizi preraspodjeli voda plavljenja Fatničkog polja prema vrelima Trebišnjice i Bregave u radu su navedene procjene dane u literaturi (uglavnom prof.dr. P. Milanovića). Za ozbiljniju analizu potrebna su dosta komplicirana (uz to i vrlo teško izvodljiva) detaljna i dugotrajna praćenja promjene kapaciteta gutanja ponora u zavisnosti od visine plavljenja, a preko kojih se ostvaruje veza prema navedenim vrelima. Ocjena o preraspodjeli otjecanja plavljenih voda sa Fatničkog polja prema vrelu Bregave, a koja je nađena u dostupnoj literaturi izdanoj od istraživača koji su se bavili ovim prostorom, prije svih prof. dr. Milanovića, su vrlo realna i koja su u granicama od 5 - 10 %, zavisno od visine uspora. Ovu procjenu dijelom mogu potvrditi i rezultati analiza izdašnosti vrela Bregave u razdoblju velikih voda.

