Hidrogeokemijske značajke podzemne vode u panonskom dijelu Republike Hrvatske

Buškulić, Patricia

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:667080

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geološkog inženjerstva

HIDROGEOKEMIJSKE ZNAČAJKE PODZEMNE VODE U PANONSKOM DIJELU REPUBLIKE HRVATSKE

Diplomski rad

Patricia Buškulić
GI 359

Zagreb, 2019.

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Zoranu Kovaču na brojnim savjetima, uloženom vremenu i trudu koje mi je pružio pri izradi diplomskog rada.

Zahvaljujem se članovima povjerenstva izv. prof. dr. sc. Jeleni Parlov i doc. dr. sc. Dariju Perkoviću na pregledu rada, kritikama i sugestijama.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na pruženoj podršci tijekom studija.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

HIDROGEOKEMIJSKE ZNAČAJKE PODZEMNE VODE U PANONSKOM DIJELU REPUBLIKE HRVATSKE

PATRICIA BUŠKULIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Petrografski sastav tla i vodonosnika, propusnost i topografija hidrološkog sustava određuju kemijska obilježja podzemne vode. Prema kemijskom sastavu i količini otopljene tvari podzemna voda se može podijeliti na hidrogeokemijske facijese. Određeni su hidrogeokemijski facijesi, 15 grupiranih tijela podzemne vode u Panonskoj Hrvatskoj, na temelju podataka nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode i monitoringa sirove vode ustupljenih od strane Hrvatskih voda. Hidrogeokemijski facijesi su prikazani pomoću Piperovih dijagrama.

Ključne riječi: hidrogeokemijski facijes, Piperov dijagram, Panonska Hrvatska.

Diplomski rad sadrži: 65 stranica, 19 tablica, 26 slika, 2 priloga i 15 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Doc. dr. sc. Zoran Kovač

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Zoran Kovač
Izv. prof. dr. sc. Jelena Parlov
Doc. dr. sc. Dario Perković

Datum obrane: 15. studenog 2019.

University of Zagreb Master's Thesis

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

HYDROGEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF GROUNDWATER IN THE PANONIAN PART OF THE REPUBLIC OF CROATIA

PATRICIA BUŠKULIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The petrographic composition of soil and aquifers, the permeability and topography of the hydrological system determine the chemical characteristics of groundwater. According to the chemical composition and amount of the dissolved substance, groundwater can be divided into hydrogeochemical facies. The hydrogeochemical facies of 15 grouped groundwater bodies in Pannonian Croatia were determined based on national groundwater quality monitoring data and raw water monitoring data provided by Hrvatske vode. Hydrogeochemical facies are shown using Piper diagrams.

Keywords: hydrogeochemical facies, Piper diagram, Pannonian Croatia.

Thesis contains: 65 pages, 19 tables, 26 figures, 2 appendixes and 15 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Assistant Professor Zoran Kovač, PhD

Reviewers: Assistant Professor Zoran Kovač, PhD
Associate Professor Jelena Parlov, PhD
Assistant Professor Dario Perković, PhD

Date of defense: November 15th, 2019

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Kemijski sastav vode u prirodi i prikazivanje sastava vode 2
3. Nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode 5
4. Monitoring sirove vode 7
5. Grupirana tijela podzemne vode u panonskom dijelu Republike Hrvatske 9
   - 5.1. Međimurje 12
   - 5.2. Varaždinsko područje 14
   - 5.3. Sliv Bednje 15
   - 5.4. Legrad – Slatina 16
   - 5.5. Novo Virje 17
   - 5.6. Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava 18
   - 5.7. Sliv Sutle i Krapine 20
   - 5.8. Sliv Lonja – Ilova – Pakra 21
   - 5.9. Sliv Orljave 23
   - 5.10. Zagreb 24
   - 5.11. Lekenik – Lužani 30
   - 5.12. Istočna Slavonija – sliv Save 31
   - 5.13. Žumberak – Samoborsko gorje 33
   - 5.14. Donji tok Kupe 34
   - 5.15. Doji tok Une 36
6. Metodologija istraživanja 38
7. Opis i analiza rezultata 45
8. Zaključak 62
9. Literatura 64

Popis slika

Slika 2-1. Prikaz vodnih facijesa u Piperovu dijagramu (Freeze, 1977; Halle, 2004) 4
Slika 5-1. Prikaz hidrogeološke produktivnosti vodonosnika (Brkić et al., 2009)..... 11
Slika 5-2. Karta propusnosti vodonosnika (Brkić et al., 2009) 11
Slika 6-1. Statistika podataka nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode..... 39
Slika 6-2. Raspodjela kemijskih analiza nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode prema grupiranim tijelima podzemne vode 39
Slika 6-3. Statistika podataka monitoringa sirove vode 40
Slika 6-4. Raspodjela kemijskih analiza monitoringa sirove vode prema grupiranim tijelima podzemne vode 41
Slika 6-5. Raspodjela hidrogeokemijskih facijesa na Piperovom dijagramu 44
Slika 7-1. Piperovi dijagrami GTPV-a Međimurje 45
Slika 7-2. Piperovi dijagrami GTPV-a Varaždinsko područje 46
Slika 7-3. Piperov dijagram GTPV-a Sliv Bednje..... 47
Slika 7-4. Piperovi dijagrami GTPV-a Legrad – Slatina..... 48
Slika 7-5. Piperovi dijagrami GTPV-a Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava 49
Slika 7-6. Tumač oznaka za GTPV Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava 50
Slika 7-7. Piperovi dijagrami GTPV-a Sliv Sutle i Krapine..... 51
Slika 7-8. Tumač oznaka za GTPV Sliv Sutle i Krapine..... 52
Slika 7-9. Piperovi dijagrami GTPV-a Sliv Lonja – Ilova – Pakra 53
Slika 7-10. Tumač oznaka za GTPV Sliv Lonja – Ilova – Pakra 53
Slika 7-11. Piperovi dijagrami GTPV-a Sliv Orljave..... 54
Slika 7-12. Piperovi dijagrami GTPV-a Zagreb..... 55
Slika 7-13. Tumač oznaka za GTPV Zagreb..... 56
Slika 7-14. Piperovi dijagrami GTPV-a Lekenik – Lužani..... 57
Slika 7-15. Piperov dijagram GTPV-a Istočna Slavonija – sliv Save 58
Slika 7-16. Piperovi dijagrami GTPV-a Žumberak – Samoborsko gorje..... 59
Slika 7-17. Piperovi dijagrami GTPV-a Donji tok Kupe 60
Slika 7-18. Piperov dijagram GTPV-a Donji tok Une..... 61

Popis tablica

Tablica 3-1. Broj piezometara iz nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode 6
Tablica 4-1. Broj izvorišta iz monitoringa sirove vode 8
Tablica 5-1. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Međimurje (Nakić et al., 2018) 13
Tablica 5-2. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Varaždinsko područje (Nakić et al., 2018) 14
Tablica 5-3. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Sliv Bednje (Nakić et al., 2018) 16
Tablica 5-4. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Legrad – Slatina (Nakić et al., 2018) 17
Tablica 5-5. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Novo Virje (Nakić et al., 2018) 18
Tablica 5-6. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava (Nakić et al., 2018) 19
Tablica 5-7. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Sliv Sutle i Krapine (Nakić et al., 2018) 21
Tablica 5-8. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Sliv Lonja – Ilova – Pakra (Nakić et al., 2018) 23
Tablica 5-9. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Sliv Orljave (Nakić et al., 2018) 24
Tablica 5-10. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Zagreb (Nakić et al., 2018) 26
Tablica 5-11. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Lekenik – Lužani (Nakić et al., 2018) 31
Tablica 5-12. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Istočna Slavonija – sliv Save (Nakić et al., 2018) 32
Tablica 5-13. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Žumberak – Samoborsko gorje (Nakić et al., 2018) 34
Tablica 5-14. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Donji tok Kupe (Nakić et al., 2018) 36

Tablica 5-15. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Donji tok Une (Nakić et al., 2018) 37
Tablica 6-1. Broj piezometara iz nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode na kojima su se odredili hidrogeokemijski facijesi 42
Tablica 6-2. Broj izvorišta iz monitoringa sirove vode na kojima su se odredili hidrogeokemijski facijesi 42

Popis priloga

Prilog 1. Prostorni raspored piezometara iz nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode

Prilog 2. Prostorni raspored izvorišta iz monitoringa kakvoće sirove vode

1. Uvod

U podzemnoj vodi su najzastupljeniji kationi Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+} i anioni Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-}, CO_3^{2-} i NO_3^{-}. Tri glavna čimbenika koja određuju kemijska obilježja podzemne vode su petrografski sastav tla i vodonosnika, propusnost i topografija hidrološkog sustava. U vodi se mijenja sadržaj i vrsta iona pa se voda prema kemijskom sastavu i količini otopljene tvari može razvrstati u određene grupe. U hidrogeologiji se najviše koristi podjela na hidrogeokemijske facijese. Facijesi odražavaju učinke kemijskih procesa unutar vodonosnika, odnosno litološkog okružja kroz kojeg se voda kretala i prolazila. U hidrogeologiji se za grafičko prikazivanje sastava vode najviše upotrebljava Piperov trojni dijagram. Zadatak ovog diplomskog rada je odrediti hidrogeokemijske facijese, 15 grupiranih tijela podzemne vode (GTPV) u Panonskoj Hrvatskoj, pomoću Piperovih dijagrama. Korišteni su podaci kemijskih analiza vode iz nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode i monitoringa sirove vode ustupljeni od strane Hrvatskih voda. Nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode je monitoring praćenja kemijskog stanja podzemnih voda, a monitoring sirove vode je njegova dopuna prilikom ocjene kemijskoga stanja i procjene rizika od nepostizanja dobrog kemijskog stanja.

2. Kemijski sastav vode u prirodi i prikazivanje sastava vode

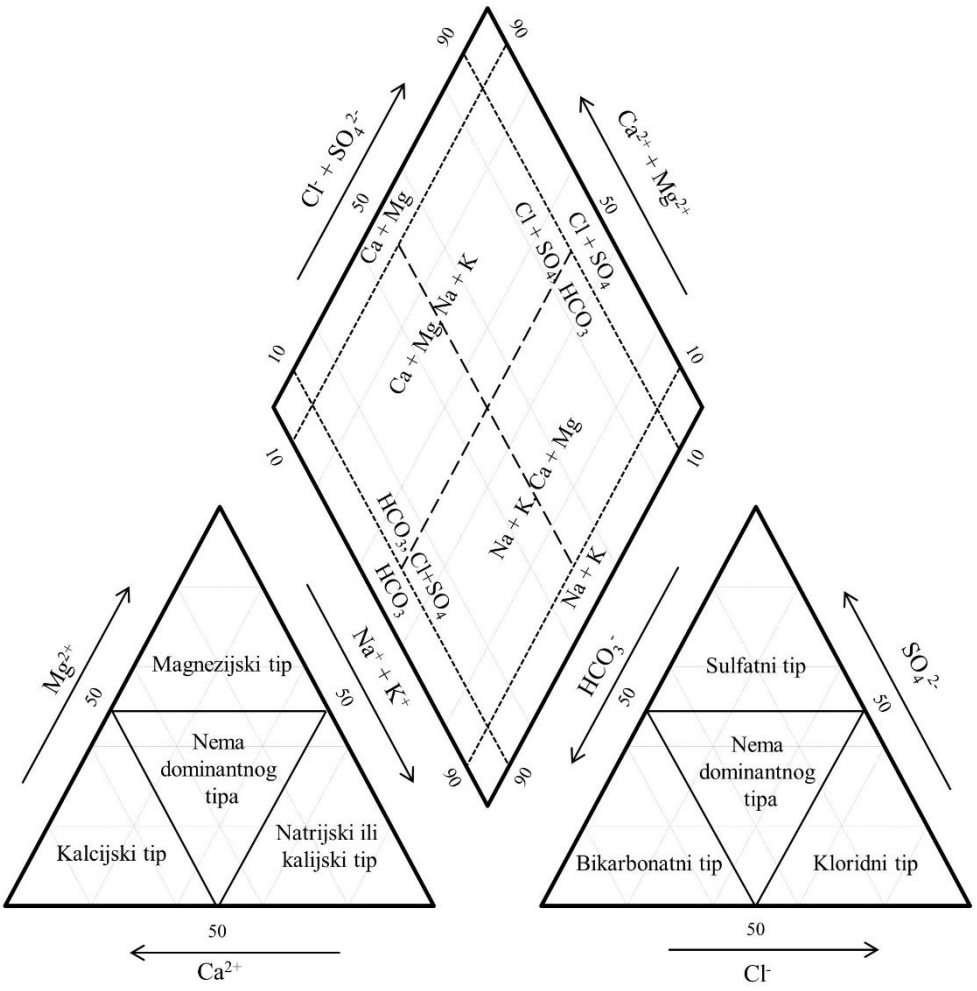
Voda u prirodi je otopina u kojoj se nalaze otopljeni plinovi, krute tvari i tekućine. Otopljene tvari se dijele na pet skupina: otopljene plinove, otopljene glavne ione (katione i anione), otopljene biogene tvari, otopljene mikroelemente i otopljene organske tvari. Najvažniji otopljeni plinovi su O_2, N_2, CO_2, SO_2 i NO_x, a u posebnim uvjetima mogu se javiti H_2, CH_4, H_2S, He, Ar i dr. Glavni kationi i anioni su ioni koji su najzastupljeniji u podzemnoj vodi, a to su Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-}, CO_3^{2-} i NO_3^{-}. Biogene tvari nastaju kao produkti razgradnje metaboličkih aktivnosti organizama i to su CO_2, H_2O, dušični, fosforni i sumporni spojevi. Mikroelementi su otopljene krute tvari kojih u vodi ima u vrlo malim količinama. Organske tvari u vodi su produkti raspada metabolizma organizama, produkata naftnih onečišćenja te komunalnih i tehnogenih onečišćenja. Sastav i koncentracija otopljenih krutih tvari najviše ovisi o petrografskom sastavu vodonosnika i svojstvima vode koja je ušla u taj vodonosnik (kemijski sastav, Eh i pH). Navedeni parametri će odrediti vrstu i doseg reakcije između vodonosnika i vode (Halle, 2004).

Za razumijevanje kemijskoga sastava podzemne vode u njoj treba odrediti koncentracije glavnih kationa i aniona, s obzirom da oni najviše pridonose ionskoj jakosti otopine koja utječe na koncentraciju svih ostalih otopljenih tvari. Tri glavna čimbenika koja određuju kemijski karakter podzemne vode su petrografski sastav tla i vodonosnika, propusnost i topografija hidrološkog sustava. Kod tumačenja geneze kemijskoga sastava podzemne vode ne smije se ispustiti niti jedan od ta tri važna čimbenika. U obzir treba uzeti i granulaciju krute faze, mogućnost ionske zamjene, brzinu strujanja vode, poroznost i propusnost, mogućnost miješanja s vodama različitog facijesa i dr. Uslijed toga, u vodi se mijenja sadržaj i vrsta otopljenih iona, pa se voda prema kemijskom sastavu i količini otopljene tvari može razvrstati u određene grupe. U hidrogeologiji se najviše koristi podjela na hidrogeokemijske facijese. Facijesi odražavaju učinke kemijskih procesa unutar vodonosnika, odnosno litološkog okružja kroz kojeg se voda kretala i prolazila. Mineralni sastav stijena određuje koji će se facijes razviti (Halle, 2004).

Kemijski sastav vode može se prikazati brojčano (tablicama) i grafički (dijagramima). Sastav vode se iskazuje koncentracijama ili masenim omjerima, a jedinice koje se najviše upotrebljavaju jesu mg/l ili mmol ekv/l ili u udjelima ekvivalenata (mmol ekv %). Zbroj ekvivalenata kationa mora biti jednak zbroju ekvivalenata aniona i takav način omogućuje uvid u točnost analize. Sastojci u tragovima se izražavaju u ppm (engl. parts per milion – dio

na milijun dijelova) jedinicama tj. jedinici za maseni omjer. U prikazu rezultata kemijske analize prikazuje se količina (ili masa) analiziranih iona. Kod jednostavnih iona sadržaj iona poistovjećuje se sa sadržajem elemenata, a kod kompleksnih iona analizirani sadržaj prikazuje se kao sadržaj elementa centralnog atoma. Za interpretiranje podataka kemijske analize potrebno je znati jedinice u kojima su izražene te vrstu i element koji je uzet za predstavljanje tog iona, odnosno spoja. Na primjer, sadržaj nitrata može biti izražen kao sadržaj dušika (N) ili kao sadržaj nitratnog iona (NO_3^-) (Halle, 2004).

U hidrogeologiji se za grafičko prikazivanje sastava vode najviše upotrebljava Piperov dijagram (Piper, 1953) (Slika 2-1.). Na njemu se rezultati sastava vode nanose u trokutni dijagram. U lijevi trokut nanose se postotni udjeli ekvivalenata najvažnijih kationa odnosno Ca^{2+}, Mg^{2+}, $Na^+ + K^+$, a u desni trokut postotni udjeli ekvivalenata najvažnijih aniona odnosno Cl^-, SO_4^{2-} i $HCO_3^- + CO_3^{2-}$. Ukupna suma kationa i aniona je 100 %. Između trokuta je smješten romb, na čijim su suprotnim stranicama nanesene sume postotnih udjela ekvivalenata grupe aniona i kationa. Kemijski sastav nekog uzorka vode određuju dvije točke, jedna u trokutu kationa i druga u trokutu aniona. Te dvije točke određuju kationski i anionski facijes vode. Postoje četiri tipa vode s obzirom na katione (kalcijev tip, magnezijski tip, natrijev ili kalijev tip i miješana voda – voda u kojoj nema dominantnog tipa) te četiri tipa vode s obzirom na anione (bikarbonatni tip, kloridni tip, sulfatni tip i miješana voda – voda u kojoj nema dominantnog tipa). Od svake točke se povlači pravac, paralelan s vanjskom stranicom trokuta, prema rombu. Sjecište dvaju pravaca u rombu označuje ukupan sastav vode. Svaka pojedina točka odgovara sastavu jednog uzorka vode. Položaj točaka u trokutima ili položaj zajedničke točke u rombu određuje vodni facijes kojemu pripada analizirana voda. Ovakav način prikazivanja sastava omogućuje da i anionski i kationski sastav bude prikazan na jednom grafikonu. Piperov dijagram ima mogućnost prikaza velikog broja analiza i pritom se odmah uoče razlike u njihovom kemizmu. Lako se može razlučiti kojem hidrogeokemijskom facijesu pripada pojedini uzorak podzemne vode, omogućuje brz i jasan uvid u procese koji su se odvijaju u vodonosniku, a prikladan je i za prikazivanje miješanja dviju voda iz različitih izvora (Halle, 2004).



Slika 2-1. Prikaz vodnih facijesa u Piperovu dijagramu (Freeze, 1977; Halle, 2004)

3. Nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode

Nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode je monitoring praćenja kemijskog stanja podzemnih voda. Nastao je kao posljedica usklađenja s *Okvirnom direktivom o vodama* (ODV) Europske Unije i propisan je u *Zakonu o vodama* (NN 66/19). Sustavni monitoring podzemnih voda na nacionalnoj razini uspostavljen je 2006. godine. Sustavna praćenja se provode u svrhu utvrđivanja kemijskog stanja voda, dugoročnih promjena prirodnih uvjeta, promjena koje su uzrokovale ljudske aktivnosti i promjena uslijed provođenja mjera na područjima za koja je utvrđeno da ne ispunjavaju uvjete za dobro stanje. Ocjena kemijskog stanja i procjena rizika od nepostizanja dobrog kemijskog stanja, grupiranih tijela podzemne vode, temelji se na korištenju podataka nacionalnoga monitoringa kakvoće podzemne vode (Nakić et al., 2018).

Prema *Uredbi o standardu kakvoće voda* (NN 96/19), plan praćenja stanja voda u Republici Hrvatskoj izrađuje se u Hrvatskim vodama. Na mjernim postajama se ispituju osnovni pokazatelji (otopljeni kisik, pH vrijednost, alkalitet, temperatura vode), pokazatelji za koje su propisane vrijednosti standarda kakvoće podzemnih voda (nitrati i aktivne tvari u pesticidima) i specifične onečišćujuće tvari (arsen, kadmij, olovo, živa, amonij, kloridi, sulfati, ortofosfati/fosfor, suma trikloretena i tetrakloretena i električna vodljivost). Dodatno se još prate ostali metali (željezo, mangan, bakar, cink, krom i nikal), organski spojevi i pokazatelji režima kisika (KPK-Mn, TOC) te mikrobiološki pokazatelji. Kemijsko stanje podzemnih voda svrstava se u dvije kategorije: dobro i loše.

Ukupan broj mjernih postaja u panonskom dijelu Republike Hrvatske iznosi 269 i one su raspoređene u svim grupiranim tijelima podzemne vode (Tablica 3-1.). Prostorni raspored piezometara iz nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode nalazi se u Prilogu 1.

Tablica 3-1. Broj piezometara iz nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode

Redni broj	Grupirano tijelo podzemne vode	Ukupni broj piezometara
1	Međimurje	7
2	Varaždinsko područje	9
3	Sliv Bednje	3
4	Legrad – Slatina	11
5	Novo Virje	3
6	Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava	29
7	Sliv Sutle i Krapine	8
8	Sliv Lonja – Ilova – Pakra	11
9	Sliv Orljave	5
10	Zagreb	147
11	Lekenik – Lužani	5
12	Istočna Slavonija – sliv Save	15
13	Žumberak – Samoborsko gorje	4
14	Donji tok Kupe	11
15	Donji tok Une	1
		269

4. Monitoring sirove vode

Monitoring sirove vode provodi se od 2009. godine, prema *Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analiza, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe* (NN 125/17). Monitoring izvorišta vode namijenjenih javnoj vodoopskrbi pokrenut je s ciljem dobivanja odgovora na pitanja kakve je kakvoće sirova voda i koje tehnološke postupke je potrebno uvesti za osiguranje zdravstveno ispravne vode za piće. Monitoring na izvorištima gdje je onečišćenje češće prisutno doprinosi razumijevanju izvora onečišćenja i varijabilnosti u kakvoći vode. Na posljetku, ovaj monitoring služi kao dopuna nacionalnom monitoringu kakvoće podzemne vode prilikom ocjene kemijskoga stanja i procjene rizika od nepostizanja dobrog kemijskog stanja. Bez poznavanja i razumijevanja što se događa s vodom na izvorištu i u slivnom području nema učinkovitog upravljanja rizicima u vodoopskrbnom sustavu (Nakić i Dadić, 2015).

Ukupan broj izvorišta u panonskom dijelu Republike Hrvatske na kojima se provodi monitoring sirove vode je 254. Izvorišta nema jedino u vodnom tijelu Novo Virje (Tablica 4-1.). Prostorni raspored izvorišta iz monitoringa kakvoće sirove vode prikazan je u Prilogu 2. Za 13 objekata nisu bile dostupne koordinate i zbog toga nisu prikazani u prilogu. Znamo kojim grupiranim tijelima podzemne vode pripadaju pa su se podaci tih mjernih mjesta koristili u analizama. To su izvorišta Drenovci (Istočna Slavonija – sliv Save), GPB – 4 (Sliv Lonja – Ilova – Pakra), Gunja (Istočna Slavonija – sliv Save), Jelenske Vodice (Zagreb), Kaptaža Slapnica Lipovec (Žumberak – Samoborsko gorje), Kolarec – Pofuki (Sliv Lonja – Ilova – Pakra), Krajačići (Istočna Slavonija – sliv Save), Viškovci (Istočna Slavonija – sliv Save), Vrpolje (Istočna Slavonija – sliv Save), ZB – 1 (Sliv Lonja – Ilova – Pakra), ZB – 2 (Sliv Lonja – Ilova – Pakra), ZB – 3 (Sliv Lonja – Ilova – Pakra) i ZGA – 1/05 (Sliv Lonja – Ilova – Pakra).

Tablica 4-1. Broj izvorišta iz monitoringa sirove vode

Redni broj	Grupirano tijelo podzemne vode	Ukupni broj izvorišta
1	Međimurje	2
2	Varaždinsko područje	3
3	Sliv Bednje	11
4	Legrad – Slatina	18
5	Novo Virje	0
6	Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava	42
7	Sliv Sutle i Krapine	42
8	Sliv Lonja – Ilova – Pakra	38
9	Sliv Orljave	9
10	Zagreb	19
11	Lekenik – Lužani	6
12	Istočna Slavonija – sliv Save	30
13	Žumberak – Samoborsko gorje	14
14	Donji tok Kupe	18
15	Donji tok Une	2
		254

5. Grupirana tijela podzemne vode u panonskom dijelu Republike Hrvatske

Kriteriji za delineaciju tijela podzemne vode su u zemljama koje pripadaju slivu Save bili različiti zbog različitih geoloških i hidrogeoloških uvjeta i raspoloživih podataka o prirodnim uvjetima i pritiscima. No ipak, sve su zemlje poštivale hijerarhijski pristup koji je bio preporučen (podzemna voda → vodonosnik → vodno tijelo). Delineacija i inicijalna karakterizacija vodnih tijela u Hrvatskoj provedena je temeljem analize geološke građe terena (listostratigrafske jedinice i strukturno-tektonski odnosi) (1), vrste poroznosti (međuzrnska, pukotinska, pukotinsko-kavernozna) (2), geokemijskog sastava vodonosnika (silikatni, karbonatni) (3), hidrogeoloških značajki (propusnost, hidraulička vodljivost i transmisivnost vodonosnika) (4), krovinskih naslaga vodonosnika (5), smjerova tečenja podzemnih voda (6), izdašnosti izvora i zdenaca (7), napajanja podzemnih voda (8), odnosa s površinskim tokovima (9), analize položaja vodnog tijela unutar riječnih slivova definiranih u okviru Vodnogospodarske osnove RH (10), te zahtjeva Okvirne Direktive o Vodama (ODV - 2000/60/EZ) da se označe sva tijela podzemnih voda koja se koriste ili bi se u budućnosti mogla koristiti za zahvaćanje vode namijenjene ljudskoj potrošnji, a koja osiguravaju u prosjeku više od 10 m^3/dan (11) (Nakić et al., 2016).

U Hrvatskoj je inicijalnom karakterizacijom izdvojeno 363 vodnih tijela u Crnomorskom slivu, od toga 316 u panonskom dijelu, a ostatak na krškom dijelu Hrvatske (Brkić et al., 2005). Posebno su izdvojena dva dublja vodonosnika međuzrnske poroznosti, od čega se jedan nalazi na varaždinskom, a drugi na zagrebačkom području.

Brkić et al. (2009) izdvojili su tri tipa vodonosnika:

- primarni (osnovni) vodonosnici – iz kojih se ostvaruje značajno korištenje podzemne vode i oni koji imaju značajnu ulogu u održavanju ekosustava podzemne vode. U njih se ubrajaju:
    - Kvartarni vodonosnici međuzrnske poroznosti u dolinama rijeka Drave i Save visokih hidrauličkih svojstava iz kojih se odvija glavnina javne vodoopskrbe u sjevernoj Hrvatskoj ili su planirani za vodoopskrbu (dravski vodonosnik, vodonosnik na zagrebačkom području, konusni nanosi desnih pritoka rijeke Save, aluvijalni vodonosnik na karlovačkom području).

    - Karbonatni vodonosnici pukotinsko-kavernozne poroznosti i visoke propusnosti u zonama visokog krša u slivovima rijeka Kupe i Une, iz kojih podzemna voda istječe na izvorima velikih izdašnosti.

- sekundarni vodonosnici – koji imaju važnu ulogu u opskrbi podzemnom vodom, ali zbog svojih hidrogeoloških i hidrauličkih svojstava lako mogu doći u stanje pre-eksploatacije. U sekundarne vodonosnike ubrajaju se:

    - Kvartarni vodonosnici međuzrnske poroznosti u slivovima rijeka Drave i Save nešto nižih hidrauličkih svojstava koji se koriste za vodoopskrbu, a izdašnosti izvorišta su u pravilu manja od 20 l/s.

    - Karbonatni (trijaski) vodonosnici pukotinske poroznosti i osrednje propusnosti u području sjeverne Hrvatske (Zagorsko i Slavonsko gorje, Žumberačko-Samoborsko gorje, Medvednica).

    - Karbonatni vodonosnici pukotinsko-kavernozne poroznosti u zonama plitkog krša u slivovima rijeke Kupe, praktički bez značajnijih izvora.

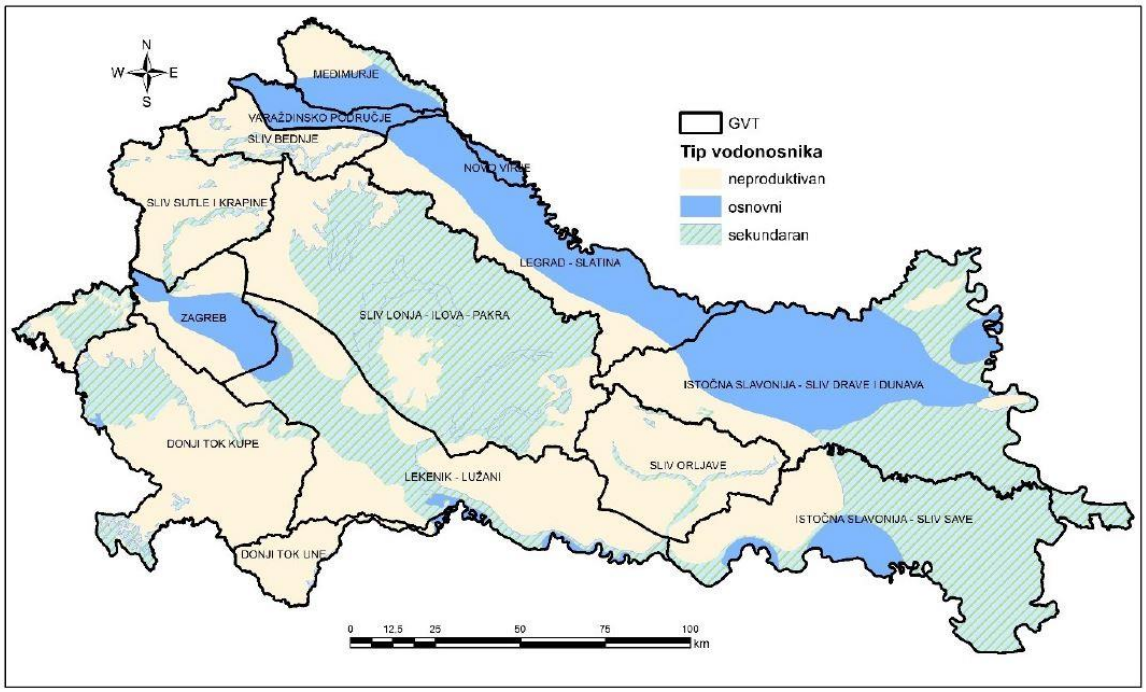
- neproduktivni vodonosnici – koji općenito ne mogu dati količine veće od 10 m^3/dan. U neproduktivne vodonosnike ubrajaju se:

    - Neogenske naslage (izmjena lapora, praha, glina, pijesaka, mjestimice karbonata).

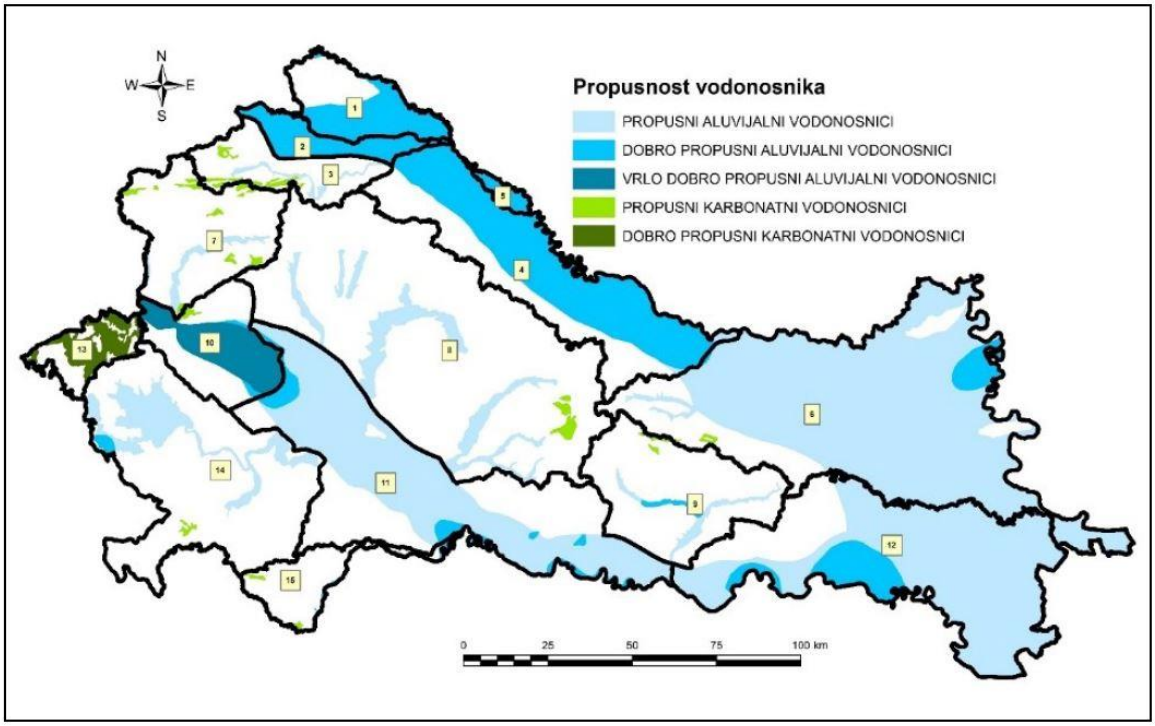
    - Kvartarne naslage niskih hidrauličkih svojstava i/ili malih debljina.

    - Metamorfne stijene (propusne samo plitko ispod površine terena).

S obzirom na hidrogeološke značajke pojedinih područja vodonosnici su razvrstani u kategorije primarnih (osnovnih), sekundarnih i neproduktivnih vodonosnika (Slika 5-1.). Na Slici 5-2. prikazani su vodonosnici dobre propusnosti za sva grupirana tijela podzemne vode.



Slika 5-1. Prikaz hidrogeološke produktivnosti vodonosnika (Brkić et al., 2009)



Slika 5-2. Karta propusnosti vodonosnika (Brkić et al., 2009)

Budući da se prema ODV-ama monitoring podzemnih voda mora uspostaviti u svakom izdvojenom tijelu podzemne vode, vodna tijela izdvojena inicijalnom karakterizacijom su grupirana. Grupiranje vodnih tijela u panonskom dijelu Hrvatske provedeno je na temelju sličnosti u pogledu hidrogeoloških značajki vodonosnika i opće sheme „napajanje – tok podzemne vode – istjecanje“ (Brkić et al., 2009). Na taj je način izdvojeno 20 vodnih tijela u Crnomorskom slivu, a od toga 15 u panonskom dijelu Hrvatske. Osam vodnih tijela sadrže vodonosnike međuzrnske poroznosti, u šest vodnih tijela prevladavaju vodonosnici međuzrnske poroznosti, a znatno manje vodonosnici pukotinske poroznosti i jedno vodno tijelo ima vodonosnik isključivo pukotinske do pukotinsko-kavernozne poroznosti. Prostorni smještaj grupiranih vodnih tijela podzemne vode prikazan je na Slici 5-1. (Nakić et al., 2016).

Prema preporukama, količinsko i kemijsko stanje svakog pojedinog vodnog tijela mora se promatrati u homogenim hidrogeokemijskim područjima. Ukoliko dođe do promjene stanja nekog dijela vodnog tijela, granice treba revidirati u skladu s tim. Za svaki novi ciklus plana upravljanja vodnim područjima moguće je dorađivati granice vodnih tijela s ciljem što točnije procjene stanja i definiranja potrebnih mjera za postizanje dobrog stanja (Nakić et al., 2016).

5.1. Međimurje

Grupirano tijelo podzemne vode Međimurje smješteno je u međurječju Mure i Drave, a na zapadu je omeđeno državnom granicom s Republikom Slovenijom. Obuhvaća površinu od 746,83 km^2. Većina površine čine poljodjelska i šumska područja (Nakić et al., 2018). Površine produktivnih vodonosnika spadaju u zone visoke do vrlo visoke ranjivosti (Brkić et al., 2009).

Sustav podzemnih voda iz kojeg se zahvaća voda na izvorištima Nedelišće, Prelog i Sveta Marija čine kvartarne šljunkovito-pjeskovite naslage. Njihova je maksimalna debljina otprilike 100 m. Neproduktivni vodonosnici zauzimaju 38 % ukupne površine ovog GTPV-a. Produktivni vodonosnici pripadaju aluvijalnim dolinama rijeka Mure i Drave. U vodoopskrbnom i hidrogeološkom smislu značajnija je aluvijalna dolina rijeke Drave u kojoj se nalaze glavna izvorišta Nedelišće i Prelog. Murski vodonosnik otvorenog je tipa i

međuzrnske poroznosti (prevladavaju čestice šljunka i pijeska). Slabopropusnu krovinu vodonosnika čine čestice praha i gline, a ponegdje samo humus. Dravski vodonosnik čine dva vodonosna sloja međusobno odijeljena slabopropusnim slojem gline i praha. Prvi (gornji) vodonosni sloj sastoji se od šljunkovito-pjeskovitih naslaga, koje na području izvorišta Nedelišće imaju hidrauličku vodljivost oko 180 m/dan, a na području izvorišta Prelog od 590 do 690 m/dan. Drugi (donji) vodonosni sloj, koji se sastoji od šljunaka i pijesaka s većim udjelom sitnozrnatijeg materijala, ima manju hidrauličku vodljivost (Nedelišće od 9 do 12 m/dan, a na području HE Dubrava hidraulička vodljivost iznosi 173 m/dan). U krovini vodonosnika nalazi se slabopropusni glinovito-prašinasti sloj koji mjestimično izostaje. Podina vodonosnog sustava sastoji se od gline, praha i lapora. Rijeka Drava je usječena u vodonosnik čime je ostvarena izravna hidraulička veza rijeke i vodonosnika. Obnavljanje podzemne vode se odvija infiltracijom oborina i procjeđivanjem iz akumulacijskih jezera izgrađenih za potrebe hidroelektrana (Nakić et al., 2018).

U razdoblju od 2003. do 2013. godine prosječna količina crpljenja varirala je u rasponu od 280 do 150 l/s, s kontinuiranim trendom smanjenja zahvaćenih količina podzemne vode. Težište vodoopskrbe je na crpištu Nedelišće s više od 80 % ukupno zahvaćene podzemne vode (Nakić et al., 2018).

U nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode uključeno je sedam opažačkih točaka. Od sedam lokacija bušotina samo je za jednu poznata dubina bušotine i položaj filtra (Tablica 5-1.).

Tablica 5-1. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Međimurje (Nakić et al., 2018)

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
26103	–	–
26106	–	–
26122	–	–
26123	–	–
26124	42,5	24,5 – 30,5
26150	–	–
26151	–	–

5.2. Varaždinsko područje

Područje grupiranog tijela podzemne vode Varaždin obuhvaća površinu od 402,1 km^2 i nalazi se u prostranoj varaždinskoj ravnici, južno od rijeke Drave. Većina površine čine poljodjelska i šumska područja, a manji dio površine zauzimaju urbana područja te vodene površine (Nakić et al., 2018). Brkić et al. (2009) odredili su visoku do vrlo visoku (preko 25 %) prirodnu ranjivost vodnog tijela Varaždin.

Osnovnom produktivnom vodnosniku pripada 100 % površine vodnog tijela. Vodonosnik se sastoji od naslaga šljunka i pijeska, debljine do preko 100 m, s pojavom glinovitog proslojka koji dijeli vodonosnik u dva vodonosna sloja. Gornji vodonosnik je otvorenog tipa s prosječnom hidrauličkom vodljivosti od 85 do 340 m/dan, a donji je poluzatvorenog tipa sa sitnozrnatijim materijalom i hidrauličkom vodljivosti do 85 m/dan. Vrijednosti hidrauličke vodljivosti smanjuju se od zapada prema istoku, a debljina vodonosnika povećava. U većem dijelu obuhvaćenog područja pokrovne naslage izostaju. Kako je vodonosnik većinom otvorenog tipa, obnavljanje podzemne vode se ostvaruje infiltracijom oborina. Nadalje, rijeka Drava je u izravnom kontaktu s vodonosnikom i u prirodnim uvjetima predstavlja dren podzemnih voda (Nakić et al., 2018).

Podzemna voda zahvaća se na izvorištima Varaždin, Vinokovščak i Bartolovec. Prosječna količina crpljenja na izvorištima je u razdoblju od 2003. do 2013. godine varirala u rasponu od 270 do 375 l/s (Nakić et al., 2018).

Za sedam od ukupno devet opažačkih točaka poznati su podaci o dubini bušotine i položaju filtra (Tablica 5-2.).

Tablica 5-2. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Varaždinsko područje (Nakić et al., 2018)

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
26002	–	–
26003	–	–
26004	75	65,8 – 71,8
26022	31	13,7 – 19,7
26023	25	11,7 – 17,7

Nastavak Tablice 5-2.

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
26025	42,5	29,3 – 32,3
26051	50	21 – 25; 39 – 43
26052	37	15 – 19; 31 – 35
26053	31,3	9 – 13; 25 – 29

5.3. Sliv Bednje

Grupirano tijelo podzemne vode Sliv Bednje površine 724,9 km^2 morfološki je obilježeno blagim brežuljcima. U hidrografskoj mreži dominira vodotok Bednje. Većinu površine čine poljodjelska i šumska područja (Nakić et al., 2018). Određena je dominantno niska do umjerena prirodna ranjivost područja (Brkić et al., 2009).

Većinu površine grupiranog vodnog tijela čine slabopropusne i nepropusne stijene (neproduktivni vodonosnici). Postotak površine produktivnih vodonosnika iznosi tek 15 % od ukupne površine, a unutar njih mogu se razlikovati aluvijalni vodonosnici s međuzrnskom poroznošću vezani uz vodotok Bednje te vodonosnici sekundarne poroznosti razvijeni u karbonatnim stijenama (trijaske i gornjobadenske starosti). Najvažniji vodonosnici su karbonatne stijene trijaske starosti za koje su vezana najznačajnija i vodom najbogatija izvorišta pitke vode na ovom području (Belski dol, Sutinska, Ravna Gora, Bistrica, Žgano Vino i Šumi). U litološkom sastavu zastupljeni su dolomiti, dolomitne breče i vapnenci. Poroznost ovih stijena je pukotinska do pukotinsko-kavernozna, a propusnost im je osrednja. Gornjobadenski karbonatni vodonosnici slabijih su hidrogeoloških svojstava. U litološkom sastavu zastupljeni su litotamnijski vapnenci te različiti varijeteti laporovitih vapnenaca, lapora i pješčenjaka. Poroznost im je većinom međuzrnska i pukotinska, mjestimično pukotinsko-kavernozna, a propusnost im je slaba. Unutar aluvijalnih sedimenata Bednje formirani su vodonosnici male debljine te lateralno i vertikalno heterogenog sastava. Poroznost im je međuzrnska, a obzirom na to da dominiraju sitnozrnate čestice propusnost ovih naslaga je slaba. Obnavljanje podzemne vode svih vodonosnika odvija se infiltracijom oborina (Nakić et al., 2018).

U nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode uključene su tri opažačke točke, no za nijednu lokaciju nisu poznati tehnički podaci (Tablica 5-3.).

Tablica 5-3. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Sliv Bednje (Nakić et al., 2018)

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
26060	–	–
26061	–	–
26062	–	–

5.4. Legrad – Slatina

Grupirano tijelo podzemne vode Legrad – Slatina obuhvaća površinu od 2370,6 km^2, a izgrađuju ga dvije geotektonske jedinice s različitim hidrogeološkim značajkama. To su dravska depresija, u kojoj je formiran debeli kvartarni aluvijalni vodonosni kompleks u kojem su uskladištene velike količine podzemnih voda i iz kojih se podzemna voda zahvaća za potrebe vodoopskrbe, te dijelovi Bilogorskog i Papučkog gorja u kojima se rijetko pojavljuju vodonosnici i koji su u pravilu lokalnoga značaja. Većinu površine čine poljodjelska i šumska područja, a manji dio površine zauzimaju urbana područja (Nakić et al., 2018). Brkić et al. (2009) odredili su dominantno povišenu do vrlo visoku (više od 6 %) prirodnu ranjivost ovog vodnog tijela.

Najznačajnija hidrogeološka sredina unutar grupiranog vodnog tijela Legrad – Slatina je dravski aluvijalni vodonosnik, koji zauzima više od 65 % njegove ukupne površine. U njegovom litološkom sastavu prevladava šljunak. Od zapada prema istoku povećava se udio pijeska te broj polupropusnih glinovito-prašinastih proslojaka. Vodonosnik je izražene heterogenosti i anizotropije. Ukupna debljina vodonosnog kompleksa doseže preko 300 m. Prosječna hidraulička vodljivosti vodonosnika varira između 50 i 170 m/dan. Generalni smjer toka je od sjeverozapada prema jugoistoku. Krovinu vodonosnika čine prašinasto-glinovite naslage. Napajanje vodonosnika odvija se infiltracijom oborina, a podzemna voda otječe u Dravu (Nakić et al., 2018).

Podzemna voda zahvaća se iz plićih dijelova vodonosnog kompleksa na cijelom nizu većih i manjih izvorišta (Bikana, Delovi, Đurđevac, Pitomača i dr.) s ukupnom prosječnom količinom oko 300 l/s (Nakić et al., 2018).

U nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode uključeno je 11 opažačkih točaka. Poznati podaci o dubinama bušotina i položaju filtera prikazani su u Tablici 5-4.

Tablica 5-4. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Legrad – Slatina (Nakić et al., 2018)

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
26203	120	77 – 89
26204	30	17 – 23
26231	–	41,5 – 45,5
26232	–	–
26240	–	–
26241	–	–
26243	–	–
26251	–	–
26301	–	–
26351	–	–
26771	–	–

5.5. Novo Virje

Grupirano tijelo podzemne vode Novo Virje obuhvaća lijevu obalu rijeke Drave između Legrada i Novog Virja, a sjeverna granica je državna granica s Mađarskom. Obuhvaća površinu od 97,30 km^2. Većina površine pokrivena je poljodjelskim i šumskim područjima (Nakić et al., 2018). Najveći dio vodnog tijela ima povišenu prirodnu ranjivost, a veliki dio površine (preko 30 %) ima vrlo visoku ranjivost (Brkić et al., 2009).

Vodno tijelo Novo Virje u cijelosti je zastupljeno dravskim šljunkovito-pjeskovitim vodonosnikom, tj. osnovnim produktivnim vodonosnikom. Površinski promatrano geološka građa je vrlo jednolična. Kronostratigrafski jednolična, jer su to sve najmlađe naslage koje pripadaju holocenu i najmlađem pleistocenu, i litološki jednolična, jer su na površini uglavnom glina, prah i pijesak. Vodonosni kompleks se sastoji od šljunkovito-pjeskovitih slojeva međusobno odvojenih polupropusnim prašinasto-glinovitim naslagama. Debljina vodonosnih naslaga kreće se oko 60 m. Krovina vodonosnog kompleksa predstavljena je slabopropusnim naslagama od praha, gline i prašinastog sitnozrnatog pijeska. Prosječna

vrijednost hidrauličke vodljivosti vodonosnika doseže 170 m/dan. Vodonosnik se napaja infiltracijom oborina, dok rijeka Drava drenira podzemnu vodu (Nakić et al., 2018).

Iako postoje tri bušotine u opažačkoj mreži nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode, tehnički podaci o dubinama bušotine i položaju filtra nisu dostupni (Tablica 5-5.).

Tablica 5-5. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Novo Virje (Nakić et al., 2018)

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
26182	–	–
26183	–	–
26184	–	–

5.6. Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava

Grupirano tijelo podzemne vode Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava nalazi se na krajnjem istoku Republike Hrvatske i obuhvaća površinu od 5011,2 km^2. Za ovo vodno tijelo karakteristične su prostrane ravnice u kojima su se tijekom kvartara istaložile debele klastične naslage. Najveći dio površine čine poljodjelska područja, a rasprostranjena su i šumska područja (Nakić et al., 2018). Najveći dio vodnog tijela ima umjerenu prirodnu ranjivost (Brkić et al., 2009).

Prema hidrogeološkim svojstvima, unutar ovog tijela razlikuju se četiri vrste stijena. Dolina rijeke Drave ispunjena je aluvijalnim naslagama kvartarne starosti unutar kojih je formiran vodonosnik međuzrnske poroznosti. U karbonatnim stijenama trijaske i badenske starosti u gorskim i prigorskim predjelima Papuka i Baranjske grede formirani su vodonosnici pukotinske do pukotinsko-kavernozne poroznosti. Ostale stijene su uglavnom prekambrijske i paleozojske starosti (Papuk), u pravilu nepropusne ili slabo propusne, a njihova propusnost vezana je samo za plitki površinski dio. Četvrtu grupu stijena čine neogenske naslage na padinama gorja, koje su uglavnom nepropusne do slabo propusne. Debljina kvartarnog vodonosnog kompleksa u dolini rijeke Drave doseže više od 200 m, a u Baranji oko 50 m. Vodonosnik je sastavljen pretežito od slojeva srednje do sitnozrnatog pijeska. Pjeskoviti slojevi su međusobno odvojeni prašinasto-glinovitim proslojcima. Vodonosnik je

poluzatvorenog do zatvorenog tipa. Prosječna hidraulička vodljivost vodonosnika na desnoj obali rijeke Drave iznosi između 10 i 20 m/dan, a u Baranji mjestimice doseže i 50 m/dan. Generalni smjer toka podzemne vode je od jugozapada/zapada prema sjeveroistoku, odnosno istoku. Krovinu vodonosnika čini glinovito-prahoviti sloj. Značajnu hidrogeološku cjelinu predstavljaju i stijene trijaskog karbonatnog kompleksa – dolomiti, dolomitne breče i dolomitični vapnenci, koji izgrađuju vršne dijelove Papuka i Krndije. Osnovna hidrogeološka značajka im je pukotinska do pukotinsko-kavernozna poroznost, koja u zonama jače razlomljenosti omogućava infiltraciju dijela oborina u podzemlje i formiranje vodonosnika. Značajniji izvori u ovom dijelu Papuka su Jankovac, Kovačica, Uviraljka i Tisovac (Nakić et al., 2018).

Osnovni vodonosnici zauzimaju 46 % ukupne površine vodnog tijela, a 38 % površine čine sekundarni vodonosnici. Najveće količine podzemne vode zahvaćaju se iz osnovnog vodonosnika, a ukupna crpna količina (osnovni i sekundarni vodonosnici) kreće se između 400 i 650 l/s. Glavna izvorišta su Vinogradi, Livade, Cerića, Konkološ, Jarčevac, Donji Miholjac, Topolje te niz manjih (Nakić et al., 2018).

U nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode uključeno je 29 opažačkih točaka. Podaci o dubinama bušotina i pozicijama filtera dostupni su samo za dvije bušotine (Tablica 5-6.).

Tablica 5-6. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava (Nakić et al., 2018)

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
26420	–	–
26430	–	–
26440	–	–
26451	–	–
26461	–	–
26470	–	–
26480	–	–
26490	–	–
26501	–	–
26503	–	–
26551	120,5	34 – 40; 47 – 71; 74 – 82; 93 – 99; 108 – 110
26601	–	–

Nastavak Tablice 5-6.

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
26602	–	–
26603	–	–
26701	–	–
26711	–	–
26720	–	–
26732	–	–
26741	–	–
26742	–	–
26753	–	–
26754	–	–
26761	60	39,5 – 48; 80 – 93
26781	–	–
26791	–	–
26792	–	–
26793	–	–
26802	–	–
26811	–	–

5.7. Sliv Sutle i Krapine

Grupirano tijelo podzemne vode Sliv Sutle i Krapine je sa sjeverne strane zatvoreno zagorskim gorama: Ivanščicom, Strahinjčicom i Maceljskom gorom, na jugoistoku je Medvednica, na jugu dolina Save, a na zapadu državna granica sa Slovenijom. Obuhvaća područje od 1406 km^2, od čega nepunih 10 % površine pripada sekundarnim vodonosnicima. Poljodjelstvo predstavlja najveći pritisak na podzemne vode s obzirom da poljodjelska područja zauzimaju preko 58 % ukupne površine vodnog tijela (Nakić et al., 2018). Brkić et al. (2009) detektiraju umjerenu do povišenu prirodnu ranjivost u dijelu koji se odnosi na sekundarne produktivne vodonosnike u dolinama Sutle i Krapine, a u području sekundarnih karbonatnih vodonosnika vrlo nisku do nisku prirodnu ranjivost.

Na vodnom tijelu prevladavaju slabopropusne i nepropusne taložine (neproduktivni vodonosnici), što uz morfološke značajke terena ima za posljedicu površinsko otjecanje uz formiranje brojnih vodotoka bujičnog karaktera te slabu infiltraciju oborinskih voda. Najznačajniju vodonosnu sredinu čine tektonski poremećeni i raspucali vapnenci i dolomiti srednjeg i gornjeg trijasa, kao i trošni i tektonski poremećeni litotamnijski vapnenci

badenske starosti koji ih okružuju. Trijaski karbonatni vodonosnici imaju primarnu ulogu u vodoopskrbi, poroznost im je pukotinska do pukotinsko-kavernozna, a propusnost im je osrednja. Najviše izvora se nalazi na obroncima Ivanščice. Kvartarne šljunkovito-pjeskovite taložine nalaze se u dolini Sutle i Krapine, ali nisu značajnog prostiranja niti debljine. Poroznost im je međuzrnska, a propusnost ovisi o granulometrijskom sastavu naslaga. Obnavljanje podzemne vode se ostvaruje infiltracijom oborina i procjeđivanjem vode iz korita vodotoka (Nakić et al., 2018).

Iskorištavanje podzemne vode u ovom tijelu vezano je za 12 izvorišta u karbonatnim vodonosnicima na južnim padinama Ivanščice i Strahinjčice, zatim u masivima i grebenima Koštruna, Desiničke i Kuna gore, Brezovice, Brda Jesenjskog, Cesargradske gore, Strugače te sjeverozapadnim i sjeveroistočnim obroncima Medvednice (Nakić et al., 2018).

U nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode uključeno je osam opažačkih točaka i osim dvije, sve su smještene u produktivni dio GTPV-a. Niti za jednu opažačku točku nisu dostupni tehnički podaci, što je vidljivo iz Tablice 5-7.

Tablica 5-7. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Sliv Sutle i Krapine (Nakić et al., 2018)

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
18411	–	–
18412	–	–
18413	–	–
18414	–	–
18415	–	–
18416	–	–
18417	–	–
18418	–	–

5.8. Sliv Lonja – Ilova – Pakra

Grupirano tijelo podzemne vode Sliv Lonje – Ilove – Pakre prostire se na površini od 5188 km^2 i odlikuje se izrazito složenom strukturno-tektonskom građom. Poljodjelska područja zauzimaju preko 55 % ukupne površine vodnog tijela (Nakić et al., 2018). Prirodna ranjivost

vodonosnika kreće se od povišene u aluvijalnim dolinama vodotoka do vrlo niske u ostalom području (Brkić et al., 2009).

Trijaski karbonatni vodonosnici, badenski karbonatni vodonosnici i kvartarni aluvijalni vodonosnici zauzimaju gotovo 70 % ukupne površine ovog vodnog tijela i predstavljaju važne sekundarne vodonosnike. Trijaski karbonatni vodonosnik je pukotinsko do pukotinsko-kavernozne poroznosti i osrednje propusnosti. U litološkom sastavu prevladavaju dolomiti, dolomitne breče, vapnenci, dolomitični vapnenci i vapnenački dolomiti. Gornjobadenske karbonatne naslage su heterogenog sastava, a vodonosnici se lateralno i vertikalno izmjenjuju s naslagama slabije propusnosti i praktički nepropusnim naslagama – konglomeratima, laporovitim vapnencima, laporima i pješčenjacima. S vodnogospodarskog aspekta najvažniji litološki član je litotamnijski vapnenac. Karakterizira ga međuzrnska te pukotinsko do pukotinsko-kavernozna poroznost i slaba propusnost. Na području Kalnika su u hidrogeološkom smislu najznačajnije vapnenačko-dolomitne, krupnoklastične, karbonatne breče paleogenske starosti. Poroznost naslaga je pukotinska do pukotinsko-kavernozna, a propusnost osrednja. Središnjim dijelom ove cjeline dominiraju najmlađe, kvartarne naslage. Nalazi se više genetskih tipova sedimenata – močvarni prapor, kopneni prapor, deluvijalno-proluvijalni sedimenti, fluvijalno-jezerski sedimenti, sedimenti facijesa mrtvaja, aluvijalni sedimenti recentnih vodenih tokova i dr. Općenito se radi o naslagama vrlo slabe do slabe propusnosti. Poroznost im je međuzrnska. Unutar tog kompleksa naslaga formirani su vodonosnici u čijem litološkom sastavu dominiraju sitno do krupnozrnati pijesci, mjestimično s malo šljunka. Vodonosnici su uglavnom poluzatvorenog do zatvorenog tipa, mjestimice arteški (Nakić et al., 2018).

U hidrogeološkom smislu, od navedenih vodonosnika, najvažniji su gornjobadenski karbonati i karbonati srednjeg i gornjeg trijasa. Za ove vodonosnike vezane su pojave izvora čiji kapaciteti se kreću do 10 l/s. U aluvijalnim vodonosnicima relativno malih debljina i hidrauličke vodljivosti izdašnosti zdenaca su uglavnom ispod 5 l/s. Na izvorištima Blanje Vrbovec, Cugovec, Gradec, Mali i Veliki Zdenci, Grubišno Polje, Vrani kamen, Trstenik, Vrtlinska, Milaševac i dr. zahvaća se ukupno oko 120 l/s (Nakić et al., 2018).

U nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode uključeno je 11 opažačkih točaka i sve su smještene u produktivni dio GTPV-a . Tehnički podaci prikazani su u Tablici 5-8.

Tablica 5-8. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Sliv Lonja – Ilova – Pakra (Nakić et al., 2018)

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
18291		
18301	120	81 – 83; 85 – 87; 89 – 91; 93 – 95; 97 – 109
18311	–	–
18321	–	9 – 11; 12,5 – 14,5
18322	–	–
18323	–	–
18324	–	–
18325	–	–
18326	–	–
18327	–	–
18328	–	–

5.9. Sliv Orljave

Grupirano vodno tijelo Sliv Orljave obuhvaća južne padine Papuka i Krndije, zapadne obronke Psunja, sjeverne i istočne padine Požeške gore te sjeverne i zapadne padine Dilja. Površina vodnog tijela iznosi 1575,64 km^2. Samo 8 % površine pripada sekundarnim vodonosnicima. Poljodjelstvo predstavlja najveći pritisak na podzemne vode s obzirom da poljodjelske površine zauzimaju preko 44 % ukupne površine vodnog tijela (Nakić et al., 2018). Prirodna ranjivost vodonosnika kreće se od povišene u aluvijalnim dolinama Orljave i Londže do vrlo niske na najvećem dijelu područja (Brkić et al., 2009).

Područje izgrađuju magmatske, metamorfne i sedimentne stijene starosti od prekambrija do holocena. U hidrogeološkom smislu važno je istaknuti dvije skupine naslaga: karbonatne stijene trijaske starosti i aluvijalne naslage Orljave kvartarne starosti. Karbonatni vodonosnik prostire se središnjim dijelom Papuka te njegovim južnim obroncima. U litološkom sastavu nalaze se dolomiti, dolomitični vapnenci i dolomitno-vapnenačke breče. Poroznost ovih naslaga je pukotinsko do pukotinsko-kavernozna, a propusnost im je osrednja. Uz karbonate trijasa vezani su svi značajniji izvori u slivu. Najveći su Veličanka (Q = 20 – 110 l/s), Stražemanka (Q = 25 – 40 l/s), Dubočanka (Q = 10 – 15 l/s) i Tisovac (Q = 20 – 30 l/s). Aluvijalni vodonosnik rijeke Orljave čini temelj vodoopskrbe ovog kraja.

Izdužen je paralelno toku Orljave, a širina mu većinom iznosi oko 1,5 km. Vodonosnik je izgrađen od sitno do krupnozrnatog šljunka s primjesama pijeska. Na širem području Požege debljina mu iznosi od 5 do 6 m. Krovinu vodonosnika izgrađuju prašinasto-glinovite naslage. Hidraulička vodljivost vodonosnika varira u ovisnosti o litološkom sastavu. Na izvorištima Zapadno polje i Luke iznose do 300 m/dan (lokalno i više), a od središnjeg dijela vodonosnika prema rubovima hidraulička vodljivost se postupno smanjuje. Vodonosnik je međuzrnske poroznosti, vrlo dobre propusnosti i otvorenog tipa. Generalni smjer toka podzemne vode je paralelan Orljavi (Nakić et al., 2018).

U nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode uključeno je pet opažačkih točaka. Dostupni podaci o dubinama i pozicijama filtera prikazani su u Tablici 5-9.

Tablica 5-9. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Sliv Orljave (Nakić et al., 2018)

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
13508	–	–
13509	–	–
18142	–	–
18151	13	4,5 – 9,5
18171	12	4,7 – 9,4

5.10. Zagreb

Grupirano tijelo podzemne vode Zagreb prostire se na 988 km^2 i nalazi se u sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske. U promatranom tijelu 52 % površine čine osnovni aluvijalni zagrebački i samoborsko-zaprešićki vodonosnik, a 2 % sekundarni karbonatni vodonosnici. Zagrebački i samoborsko-zaprešićki vodonosnik sastoje se od po dva vodonosna sloja povezana u jednu hidrauličku cjelinu. Oba vodonosnika predstavljaju vrlo dobro propusne otvorene vodonosnike. Iz njih se zahvaća podzemna voda za potrebe vodoopskrbe grada Zagreba i Zagrebačke županije. Većinu površine čine poljodjelska i šumska područja. Međutim, veliki dio površine zauzimaju umjetna i urbana područja. Te površine su opterećene različitim vrstama onečišćivala. Primjerice, na priljevnom području

zagrebačkih izvorišta zabilježena su 324 divlja odlagališta otpada, 91 šljunčara i 2365 potencijalnih onečišćivača (Bačani et al., 2010). Također, Nakić et al. (2013) izdvajaju pet glavnih skupina onečišćivala na području zagrebačkoga vodonosnika: pesticide, nitrate, potencijalno toksične metale, farmaceutske spojeve i klorirane alifatske ugljikovodike. Prema Brkić et al. (2009) najveći dio vodnog tijela spada u umjerenu do visoku prirodnu ranjivost.

Dublji vodonosni slojevi taloženi su u srednjem i gornjem pleistocenu, kada je okolno gorje, odnosno Medvednica, Marijagorička brda i Žumberačko gorje, bilo podložno intenzivnoj eroziji i denudaciji. Uslijed tih procesa trošeni materijal nošen je potocima i taložen u jezerima i močvarama. Po sastavu naslage odgovaraju jezersko-barskim naslagama s raznim udjelima šljunka, pijeska, praha i gline. Plići vodonosni slojevi taloženi su tijekom holocena kada su tektonski i klimatski procesi omogućili prodor rijeke Save čime je započeo transport i donos materijala s područja Alpa, uglavnom šljunaka i pijesaka. Za vrijeme toplih i vlažnih razdoblja transport materijala je bio puno intenzivniji nego za vrijeme suhih i hladnih razdoblja. Sve to je uvjetovalo izrazitu heterogenost i anizotropiju vodonosnika. Debljina vodonosnika zapadno od geološke strukture podsusedskog praga uglavnom iznosi oko 10 do 15 m, osim u lokalnoj uleknini kod Strmca gdje doseže oko 50 m s prosječnom hidrauličkom vodljivosti preko 800 m/dan. U krovini vodonosnika nalazi se glinovito-prašinasti sloj promjenjive debljine (Nakić et al., 2018).

Na podsusedskom pragu podzemna hidraulička veza između samoborsko-zaprešićkog i zagrebačkog vodonosnika ograničena je na usku zonu širine jedva 1,5 km, a maksimalna debljina vodonosnika je oko 8 m. Istočno od podsusedskog praga aluvijalni vodonosnik se produbljava, a najveću debljinu doseže između Petruševca i Črnkovca koja iznosi oko 100 m. Vrijednosti prosječne hidrauličke vodljivosti vodonosnika u ovom području mijenjaju se s promjenom litološkog sastava vodonosnika, u zapadnim predjelima maksimalno dosežu 800 m/dan, a oko Prerovca i Dubrovčaka 40 m/dan. Generalni smjer toka podzemne vode je od sjeverozapada prema istoku-jugoistoku. Za potrebe vodoopskrbe uglavnom se koristi plići aluvijalni dio vodonosnika koji je u izravnoj vezi s rijekom Savom. Iako se napajanje dodatno ostvaruje infiltracijom oborina, dotjecanjem po određenim granicama te infiltracijom iz propusne vodoopskrbne i kanalizacijske mreže, rijeka Sava predstavlja dominantni granični uvjet. Za vrijeme visokih voda rijeka Sava uglavnom napaja vodonosnik, dok za vrijeme niskih i srednjih voda na pojedinim dijelovima dolazi i do dreniranja vodonosnika (Nakić et al., 2018).

Grupirano tijelo podzemne vode Zagreb obuhvaća i južne padine Medvednice. Procjeđivanje i akumuliranje vode u ovom području vezano je za trijaske dolomite i badenske litotamnijske vapnence. Nešto dublja cirkulacija podzemne vode postoji i na prostorno vrlo ograničenim površinama izgrađenim od paleozojskih stijena u središnjem dijelu Medvednice, gdje u kompleksu izmjene škriljaca i karbonatnih stijena prevladavaju mramorizirani vapnenci. Oni su okršeni i lokalno predstavljaju vodom bogatije vodonosnike (izvor Tisova peć, minimalne izdašnosti oko 22 l/s). Površinsko prostiranje trijaskih i gornjobadenskih stijena je ograničeno samo na jugozapadni dio Medvednice, međutim istražnim je bušenjima na dubini od 240 do 1230 m utvrđeno njihovo znatno rasprostiranje na prostoru zagrebačkog bazena gdje formiraju vodonosnike termalne vode. Južnom dijelu GTPV-a Zagreb pripadaju sjeverne padine Vukomeričkih gorica izgrađene od paludinskih naslaga u kojima su razvijeni pjeskoviti vodonosnici debljine do 20 m. Prosječne vrijednosti hidrauličke vodljivosti dosežu do 10 m/dan (Nakić et al., 2018).

Unutar aluvijalnog vodonosnika akumulirane su velike zalihe podzemne vode koja se trenutno iskorištava za potrebe javne vodoopskrbe na izvorištima: Mala Mlaka, Petruševac, Sašnjak, Strmec, Velika Gorica, Šibice, Zaprađe i Žitnjak. U razdoblju od 2003. do 2013. godine primjećuje se trend smanjenja eksploatacijskih količina. Najveća količina crpljenja je zabilježena 2004. godine sa više od 4,4 m^3/s, a od tada se prati postupan pad pa je danas manje od 4,0 m^3/s (Nakić et al., 2018).

U mrežu nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode uključeno je 147 opažačkih točaka (Tablica 5-10.).

Tablica 5-10. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Zagreb (Nakić et al., 2018)

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
52002	14	3 – 9,8
52003	–	–
52005	–	3 – 11,8
52008	–	–
52101	11,1	–
52103	–	–
52105	–	–
52106	–	–

Nastavak Tablice 5-10.

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
52107	–	–
52108	–	6 – 6,5; 7,5 – 8
52109	–	–
52113	–	–
52114	–	–
52121	–	3,2 – 10,2
52124	–	–
52125	–	–
52141	–	–
52144	–	–
52145	–	3 – 9
52201	–	–
52202	–	–
52203	–	–
52204	–	–
52206	25	2 – 10
52305	–	29,2 – 57,9
52306	–	10,6 – 21,8
52307	87	59 – 75
52308	–	24 – 53,7
52309	84	61,8 – 71,8
52310	–	11,2 – 16,3; 22,9 – 28,9; 34,9 – 40,9; 52,9 – 56,9
52314	12	3 – 11
52318	3	13 – 29
52320	–	4 – 39
52331	–	5,5 – 27,2
52332	–	32 – 56
52333	93	58,5 – 87,5
52336	–	35 – 58,5
52337	92	64,5 – 81
52338	–	3 – 27,5
52341	–	5,5 – 24,5
52342	–	31 – 54,5
52346	–	5,5 – 24
52347	–	28 – 51,8
52348	–	53,5 – 56,5
52351	85	57 – 62,5; 66,5 – 79
52352	–	–
52353	–	–

Nastavak Tablice 5-10.

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
52354	–	–
52355	–	–
52356	–	–
52402	39	6 – 33
52403	30	6 – 26
52404	26,2	6 – 25
52405	38	5 – 35,5
52406	28	6 – 26
52407	27	5 – 20; 22 – 25
52408	15	3 – 15
52409	26,5	5 – 16,5; 17,5 – 18,5; 23 – 24,5
52411	38	5 – 36
52413	14	2 – 11
52414	15	3 – 12,8
52415	22	6 – 19,5
52416	11,6	3 – 9,7
52419	13	5 – 12
52420	15,5	4,5 – 14,5
52422	19,7	4,7 – 18,7
52423	31	5 – 30
52426	16,7	4 – 10,7
52427	15	9 – 14
52428	–	–
52429	–	–
52504	40	3,5 – 37
52506	60	6 – 51
52509	65	20 – 30
52510	45	3 – 41,6
52511	40	5 – 36
52513	30	2 – 10,3; 10,7 – 14
52516	66	40 – 4; 52 – 62,7
52517	40	28 – 30,2; 30,8 – 38
52519	64,5	29,5 – 37
52520	62,5	42,3 – 53,8; 58,3 – 60,5
52521	62,5	28 – 38
52522	35	5 – 34
52523	–	–
52601	18	3 – 17
52602	15	5 – 14

Nastavak Tablice 5-10.

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
52603	32	5 – 29,4
52604	27	5 – 18; 19 – 25
52606	33	5 – 11; 12 – 31
52607	24	11 – 22
52610	27	13 – 26
52612	27	12 – 24
52613	28,5	5 – 25,5
52614	29	5 – 25,7
52615	–	–
52616	34,5	5 – 32
52618	–	–
52619	–	–
52620	–	–
52701	–	–
52703	–	4,5 – 7,5
52704	–	3 – 10
52705	13	4,6 – 7,6
52706	–	–
52801	36	2,5 – 12; 21 – 34,4
52803	26,5	3 – 11,5
52804	23	3 – 14; 17,5 – 19,5
52806	14	3 – 11,7
52807	41	2 – 12,5; 14,5 – 19,5; 24 – 36
52810	30,5	2 – 10,5; 16,5 – 18,5; 19,5 – 22,5
52811	35	28 – 31
52815	16	8 – 14
52816	12	4 – 11,6
52817	12	4 – 11,5
52901	16,5	2,5 – 14,5
52902	17	3 – 15
52903	–	–
52905	–	–
52906	25	5,7 – 7,7
52907	28,2	6 – 10; 12 – 16; 18 – 22
52909	25,5	1,5 – 23,5
52911	16,5	2,5 – 14,5
52912	17	3 – 15
52914	–	–

Nastavak Tablice 5-10.

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
53001	87	21,8 – 43,9
53002	37,5	4 – 30; 32 – 35
53003	44,5	17,3 – 40,6
53005	67	16,8 – 9,6
53006	–	–
53007	45,5	4 – 43,5
53010	41	4 – 38,8
53012	35,5	4 – 33
53015	20	2 – 5,5; 6 – 19
53016	41	4 – 39
53017	–	–
53018	–	–
53019	–	–
53104	–	4 – 12
53105	–	5 – 12
53107	–	3 – 12,8
53108	–	–
53109	–	–
53201	–	–
53202	–	–
53203	–	–
53204	–	–
53205	–	–

5.11. Lekenik – Lužani

Grupirano tijelo podzemne vode Lekenik – Lužani prostire se u dolini Save, istočno od Zagreba. Ukupne površine je oko 3446 km^2 i obuhvaća sliv rijeke Save od Lekenika do ušća Orljave u Savu. U promatranom tijelu 5 % površine su osnovni aluvijalni vodonosnici, a 32 % površine sekundarni vodonosnici. Poljodjelske površine zauzimaju gotovo polovinu ukupne površine vodnog tijela (Nakić et al., 2018). Brkić et al. (2009) određuju povišenu do mjestimično visoku prirodnu ranjivost u dolini Save i na području Lekenika, do vrlo niske na području Zrinske Gore i Psunja.

Vodonosni sustav u dolini Save čine klastične naslage pliopleistocenske i kvartarne starosti, a karakterizira ih ritmička izmjena propusnih šljunkovito-pjeskovitih, pjeskovito-

šljunkovitih i pjeskovitih sedimenata i relativno nepropusnih glinovito-prašinastih naslaga. Idući u dubinu raste udio pjeskovite, prašinaste pa i glinovite frakcije. Debljina vodonosnog sustava je vrlo promjenljiva i kreće se od 20 do 250 m. Vodonosni sustav je izrazito heterogen kako po dubini tako i po prostiranju. Generalni smjer toka podzemne vode je od zapada prema istoku. Krovinu vodonosnika čine sitnozrnati, pretežito prašinasti sedimenti s različitim udjelom gline i sitnozrnog pijeska. Hidraulička vodljivost se kreće od ispod 10 do maksimalno 300 m/dan. Izdašnost zdenaca jako varira ovisno o lokaciji, dubini i tipu, a kreće se od 1,5 l/s pa do više od 30 l/s (Nakić et al., 2018).

Podzemna voda se zahvaća na izvorištima Prerovec, Ravnik, Osekovo, Davor i Drenov Bok na području savskog aluvija i na izvorištu Pašino vrelo koje zahvaća podzemnu vodu iz badenskog karbonatnog vodonosnika unutar sliva rijeke Sunje. U razdoblju od 2003. do 2013. godine ukupne eksploatacijske količine nisu prelazile 150 l/s (Nakić et al., 2018).

U nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode uključeno je pet opažačkih točaka, a dostupni podaci o dubinama i pozicijama filtera prikazani su u Tablici 5-11.

Tablica 5-11. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Lekenik – Lužani (Nakić et al., 2018)

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
18114	70	31 – 34
18121	–	52 – 58
18421	40	11 – 21; 28 – 38
18423	–	–
18424	–	–

5.12. Istočna Slavonija – sliv Save

Grupirano tijelo podzemne vode Istočna Slavonija – sliv Save obuhvaća područje čija površina iznosi 3329 km^2. Južna granica mu je Sava, odnosno državna granica s Bosnom i Hercegovinom, istočna granica je državna granica sa Srbijom, a zapadna granica je rijeka Orljava. Na sjeverozapadu obuhvaća jugoistočne padine Dilja i Krndije, a na sjeveru Đakovačko-vinkovački ravnjak. Poljodjelske površine zauzimaju preko 60 % površine

vodnog tijela (Nakić et al., 2018). Prirodna ranjivost vodonosnika kreće se od visoke na pojedinim lokacijama uz Savu do vrlo niske na području Psunja (Brkić et al., 2009).

Unutar vodnog tijela ističu se dvije hidrogeološke sredine. Prva se nalazi na jugu, uz Savu, a čini ju šljunkovito-pjeskoviti vodonosni sloj zauzimajući 11 % površine GTPV-a (osnovni vodonosnik). Sjeverno i istočno od ovog sloja nalazi se druga, hidrogeološki manje povoljna, sredina koja se sastoji od pjeskovitih slojeva i zauzima 66 % površine GTPV-a (sekundarni vodonosnik). Šljunkovito-pjeskoviti vodonosni sloj pripada lepezastim nanosima desnih pritoka Save, Ukrini i Bosni. Istaložen je na dubinskom intervalu od 25 do preko 80 m. U litološkom sastavu prevladava sitno do srednjozrnasti šljunak. Vrijednosti hidrauličke vodljivosti se kreću od 30 do 200 m/dan. Krovinu vodonosnog sustava čine glinovito-prašinaste naslage. Sjeverno i istočno od poteza V. Kopanica – Babina Greda nalazi se područje prostiranja pjeskovitih slojeva. Slabopropusne naslage koje se nalaze između vodonosnih slojeva izgrađene su od gline i praha čiji se omjeri mijenjaju od lokacije do lokacije. Pojedinačne debljine vodonosnih slojeva variraju od 5 do 30 m, a zdencima su zahvaćeni do oko 120 m dubine. Prosječna hidraulička vodljivost vodonosnika varira u rasponu od 4 do 12 m/dan u dubljim vodonosnicima, pa do oko 30 m/dan u plićim. Krovinu čine glinovito-prašinaste naslage s lećama pijeska. Obnavljanje podzemnih voda osigurano je infiltracijom oborina, a napajanje iz rijeke Save vezano je samo za visoke vode. U uvjetima niskih i srednjih voda Sava drenira podzemlje (Nakić et al., 2018).

Na području GTPV-a Istočna Slavonija – Sliv Save nalazi se 34 izvorišta. Većinom su to manja izvorišta s prosječnim količinama crpljenja ispod 5 l/s. U razdoblju od 2005. do 2013. godine prosječna ukupna količina crpljenja na manjim i većim izvorištima (Jelas, Sikirevci, Trslana) iznosila je oko 500 l/s (Nakić et al., 2018).

U nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode uključeno je 15 opažačkih točaka, a dostupni podaci o dubinama i pozicijama filtera prikazani su u Tablici 5-12.

Tablica 5-12. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Istočna Slavonija – sliv Save (Nakić et al., 2018)

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
18010	–	–
18020	–	–

Nastavak Tablice 5-12.

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
18040	–	–
18050	–	–
18183	–	–
18184	–	–
18185	55	30 – 35
18191	59,5	41 –53
18222	67,5	29,5 – 34,5; 41,5 – 53,5; 59,5 – 65,5
18223	66,7	38,7 – 44,7; 52,7 – 64,7
18272	–	–
18281	88	28,8 – 36,9; 77,4 – 83,4
18381	–	41,5 – 51,5
26702	–	–
26703	–	–

5.13. Žumberak – Samoborsko gorje

Grupirano tijelo podzemne vode Žumberak – Samoborsko gorje prostire se na 443 km^2 i nalazi se u zapadnom dijelu središnje Hrvatske. Teren je izgrađen pretežito od trijaskih i jurskih karbonatnih naslaga (dolomita i vapnenca) koje uvjetuju prevlast krškog i fluviokrškog reljefa. Najvažnije (sekundarne) vodonosnike na ovom području čine tektonski razlomljeni i dijelom okršeni gornjotrijaski dolomiti koji prostorno zauzimaju 62 % ukupne površine GTPV-a. Većinu površine čine šumska područja, ali i poljodjelska područja (Nakić et al., 2018). Gotovo cijelo područje vodnog tijela spada u vrlo nisku do umjerenu prirodnu ranjivost (Brkić et al., 2009).

Najstarije naslage pripadaju paleozojskim naslagama, dok su na površini najrasprostranjenije mezozojske naslage, osobito trijaske starosti. Litološki prevladavaju karbonatne stijene (vapnenci i dolomiti). Najvažnije vodonosnike na ovom području čine tektonski razlomljeni i dijelom okršeni gornjotrijaski dolomiti uz koje su vezane pojave najizdašnijih izvora. Gornjotrijaski dolomiti su vodonosnici vrlo dobre propusnosti i u čestoj su izmjeni s dobro propusnim jurskim i krednim karbonatima. Karbonatni vodonosnici vrlo dobre i dobre propusnosti hidraulički su međusobno povezani i čine jednu dobro propusnu cjelinu. Podzemna voda obično izvire na kontaktu karbonatnih proslojaka i nepropusnog

lapora. Formirani vodotoci nerijetko su dugi svega nekoliko stotina, pa i desetaka metara, a gube se u podzemlje na kontaktu s narednom karbonatnom sekvencom. Na području Samoborskog gorja glavni kolektor oborinskih voda koje poniru u podzemlje su dolomiti trijaske starosti unutar kojih je formiran vodonosnik pukotinske do pukotinsko-kavernozne poroznosti. Istjecanje vode na površinu terena vezano je za rasjede ili tektonski oštećene zone unutar karbonatnih stijena ili za kontakte sa slabije propusnim naslagama kredne ili neogenske starosti (Nakić et al., 2018).

Za potrebe javne vodoopskrbe podzemna voda karbonatnog vodonosnika zahvaća se na izvorištima Drašći vrh, Kostanjevac, Sošice, Hrašća, Sveta Jana, Prodin dol 1, Prodin dol 2, Draga Svetojanska, Sopot I, Sopot II i Slapnica. U razdoblju od 2003. do 2013. godine prosječne ukupne eksploatacijske količine bile su približno 110 l/s (Nakić et al., 2018).

U nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode uključene su četiri opažačke točke. Niti za jednu opažačku točku nisu dostupni podaci o dubinama i pozicijama filtera, kao što je prikazano u Tablici 5-13.

Tablica 5-13. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Žumberak – Samoborsko gorje (Nakić et al., 2018)

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
18401	–	–
18402	–	–
18403	–	–
18404	–	–

5.14. Donji tok Kupe

Grupirano tijelo podzemne vode Donji tok Kupe zauzima površinu od 2870 km^2 i obuhvaća Karlovačku depresiju i sliv rijeke Gline, prostirući se od Karlovca do Siska. Manje od 0,5 % površine zauzimaju osnovni aluvijalni vodonosnici, a 24 % površine čine sekundarni aluvijalni i karbonatni vodonosnici. Većinu površine čine šumska područja. Međutim, veliki dio površine zauzimaju i poljodjelska područja (Nakić et al., 2018). Umjerenu do povišenu prirodnu ranjivost ima 58 % površine (Brkić et al., 2009).

S hidrogeološkog stanovišta najvažniji vodonosnik je međuzrnske poroznosti formiran unutar aluvijalnih kvartarnih naslaga Kupe i u Karlovačkom bazenu. Prosječna hidraulička vodljivost aluvijalnog vodonosnika zahvaćenog na karlovačkim izvorištima (Gaza, Švarča, Mekušje) doseže 400 m/dan. Na utoku Kupe i Korane kod Karlovca do dubine 81 m nabušeni su uglavnom pijesci, uz nešto nepropusnih naslaga. Vodonosnik je prekriven prašinasto-glinovitim naslagama. Veći dio područja (Karlovačka depresija) prekrivaju debele naslage kvartara, kada završava sedimentacija uz taloženje grubo i finoklastičnih materijala u izmjeni, a u skladu s neotektonskim pokretima i donosom materijala. Ukupna debljina dokazana bušenjem u području Crne Mlake je oko 150 m. Odlaganje krupnozrnatih kvartarnih sedimenata u Karlovačkoj depresiji omogućile su rijeke Kupa i Dobra, te potoci s istočnih padina Žumberačkog i Samoborskog gorja. Najveće debljine šljunčanog vodonosnika od preko 10 m prisutne su u središnjem dijelu depresije, dok idući prema rubovima padaju na ispod 10 m. Prosječna hidraulička vodljivost aluvijalnog vodonosnika se kreće oko 50 m/dan. Vodonosnik je pokriven prašinasto-glinovitim naslagama. Područje desne obale rijeke Kupe uključuje slivove vodotoka Gline, Utinje i Petrinjčice. Najvećim dijelom je izgrađeno od naslaga miocenske starosti. Unutar njih se izmjenjuju klastične i karbonatne naslage. Istjecanje podzemne vode bilježi se na većem broju izvora vrlo male izdašnosti, najčešće ispod 1 l/s. Akumuliranje većih količina podzemne vode omogućeno je u organogenim vapnencima badenske starosti koje se odlikuju pukotinskom, mjestimice i kavernoznom poroznosti i uglavnom dobrom propusnošću. Izdašnosti izvora poprilično variraju, od izvora na kojima istječe manje od 0,1 l/s vode, pa do onih izdašnosti do 5 l/s (Nakić et al., 2018).

Za potrebe javne vodoopskrbe podzemna voda zahvaća se iz osnovnog vodonosnika na izvorištima Gaza, Mekušje, Švarča i Borlin, a iz sekundarnog vodonosnika na izvorištima Pecki, Prezdan, Križ, Hrastovica, Kljajića vrelo, Krmarevac i Živo vrelo u ukupnoj prosječnoj količini na razini GTPV-a oko 370 l/s (Nakić et al., 2018).

U nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode uključeno je 11 opažačkih točaka. Niti za jednu opažačku točku nisu dostupni podaci o dubinama i pozicijama filtera (Tablica 5-14.).

Tablica 5-14. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Donji tok Kupe (Nakić et al., 2018)

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
18331	–	–
18332	–	–
18333	–	–
18341	–	–
18351	–	–
18361	–	–
18362	–	–
18371	–	–
18375	–	–
18376	–	–
18377	–	–

5.15. Doji tok Une

Područje grupiranog tijela podzemne vode Donji tok Une je većim dijelom brežuljkasti prostor površine 540 km^2 u kojem se reljefno ističe Zrinska gora (616 m n. m.). Većina površine predstavljena je šumskim područjima, no veliki dio površine zauzimaju i poljodjelska područja (Nakić et al., 2018). Prema Brkić et al. (2009) 90 % površine ima vrlo nisku do nisku prirodnu ranjivost.

Sjeverni dio vodnog tijela (sliv potoka Žirovac) pretežno izgrađuju nepropusne stijene paleozoika, mezozoika i tercijara. Svega 3,5 % površine GTPV-a odnosi se na osnovni vodonosnik, a 3,5 % na sekundarni. Oborine koje padnu na ovo područje uglavnom površinski otječu i dreniraju se u potok Žirovac te je karakteristična razgranata hidrografska mreža. Prisutni izvori male su izdašnosti, obično povremeni. Stijene slabe do bolje propusnosti, dolomiti, silificirani vapnenci i litotamnijski vapnenci prisutni su samo lokalno i ograničenog su prostiranja. Propusne naslage, šljunci i pijesci prisutni su u dolini Une gdje se nalaze deblje šljunčano-pjeskovite kvartarne naslage u kojima su akumulirane nešto veće količine podzemne vode. Na prostoru Matijevići – Dvor, utvrđeno je da mjestimično debljina ovih naslaga prelazi i 10 m. Ovaj vodonosni sloj predstavlja jedini značajniji izvor podzemne vode na ovom prostoru (Nakić et al., 2018).

Jedini zahvat podzemne vode u blizini Une je izvorište Unsko polje koje se koristi za potrebe vodoopskrbe Dvora na Uni. Količina crpljenja ne prelazi 15 l/s. U nizvodnom dijelu nalazi se izvorište Kombinat kojim se iz unskog aluvija crpi prosječno 1,5 l/s (Nakić et al., 2018).

U nacionalni monitoring kakvoće podzemne vode uključena je jedna opažačka točka za koju nisu dostupni podaci o dubini i poziciji filtra, što je vidljivo iz Tablice 5-15.

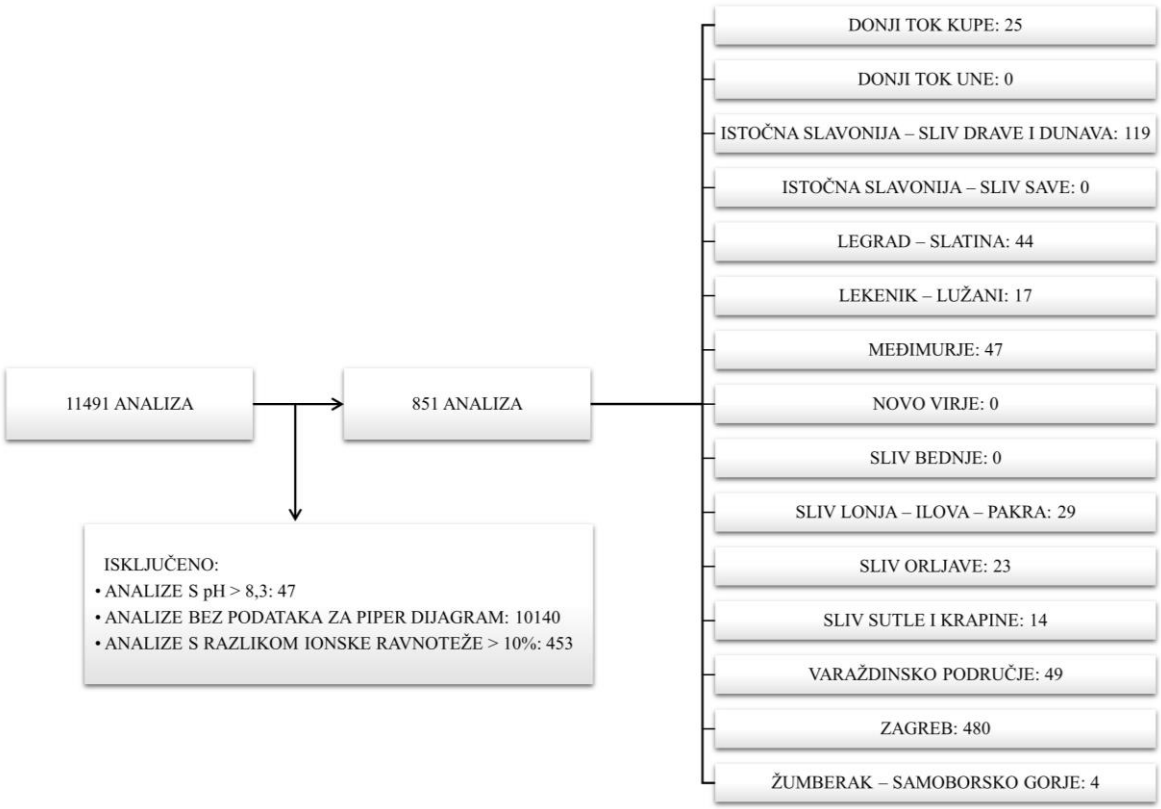
Tablica 5-15. Tehnički podaci o opažačkim točkama unutar GTPV-a Donji tok Une (Nakić et al., 2018)

Šifra bušotine	Dubina bušotine (m)	Položaj filtra (m)
18432	–	–

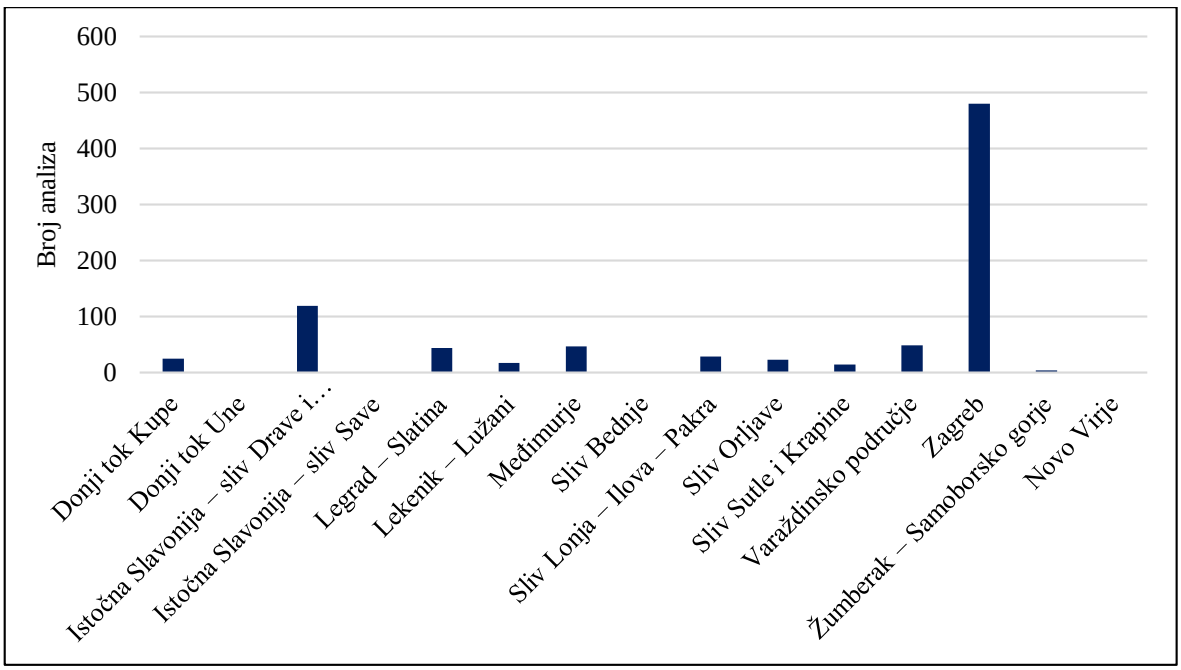
6. Metodologija istraživanja

Rad na izradi diplomskog rada sastojao se od tri faze. U prvoj fazi obrađeni su podaci iz nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode i monitoringa sirove vode. Podaci kakvoće podzemne vode ustupljeni su posebno za svako grupirano tijelo podzemne vode u obliku Excel datoteka za razdoblje od 2007. do 2017. godine. Podaci analize sirove vode dobiveni su u obliku Excel datoteke za razdoblje od 2014. do 2017. godine, a stariji podaci od 2009. do 2013. ustupljeni su po županijama te se zbog navedenog sve podatke moralo povezati u jednu novu Excel datoteku. Nakon agregacije, podaci su obrađeni i sistematizirani. U drugoj fazi su rađene analize i selekcija podataka (prema grupiranim tijelima podzemne vode) te su izdvojeni oni koji su korišteni u daljnjoj obradi.

Podaci nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode sveukupno su obuhvatili podatke za 11 491 analizu. Isključeno je 47 analiza koje su pokazale pH veći od 8,3 i 10 140 analiza koje nisu imale sve potrebne podatke (glavne katione i anione) za Piperov dijagram. Potom je provedena kontrola ekvivalencije kationa i aniona gdje zbroj mmol ekvivalenata kationa i aniona mora biti jednak, a za prihvatljivu grešku se odabrao iznos od 10 %. Rezultati su pokazali razliku veću od 10 % kod 453 analize koje su isključene iz daljnje obrade. Nakon provedenih obrada, određena grupirana tijela podzemne vode su ostala bez analiza (Slika 6-1. i Slika 6-2.). To su vodna tijela Donji tok Une, Istočna Slavonija – sliv Save, Novo Virje i Sliv Bednje koja kao rezultat nemaju napravljen Piperov dijagram s podacima kakvoće podzemne vode. Većina analiza vezana je uz GTPV Zagreb (480) i GTPV Istočna Slavonija – Sliv Drave i Dunava (119). Bitno je navesti da podaci nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode nemaju koncentracije hidrogenkarbonata, HCO_3 (mg/l). Umjesto njih korištena je vrijednost alkalitet m-vrijednost (mg $CaCO_3$/l) i utrošak kiseline-m (mmol/l). Masena koncentracija hidrogenkarbonata je jednaka iznosu alkaliteta m-vrijednosti ako je pH manji od 8,3. Kod analiza bez alkaliteta, masena koncentracija hidrogenkarbonata se dobije korištenjem formula za titraciju i iznosa utroška kiseline.

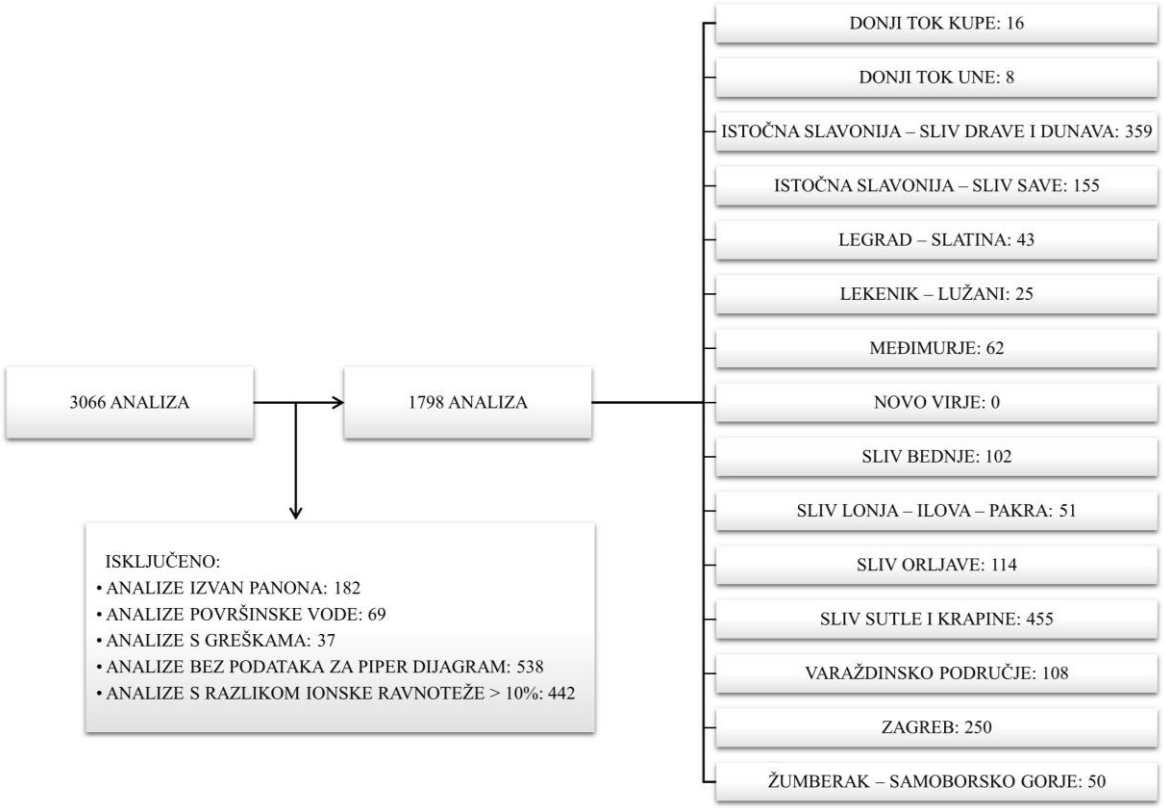


Slika 6-1. Statistika podataka nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode

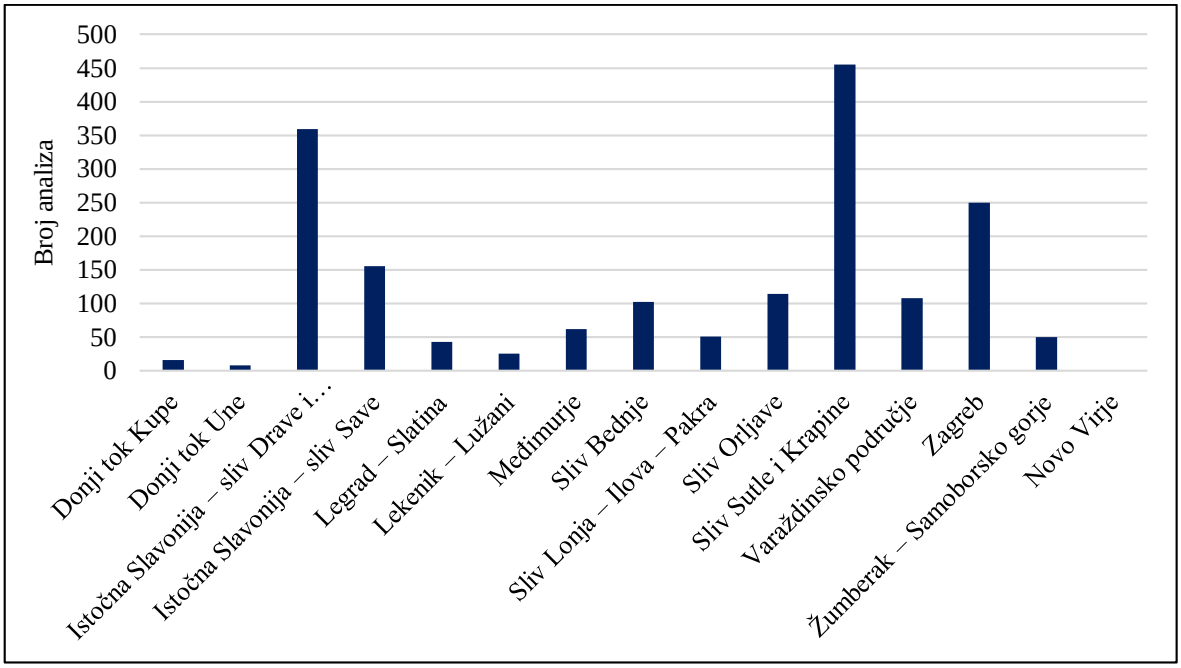


Slika 6-2. Raspodjela kemijskih analiza nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode prema grupiranim tijelima podzemne vode

Podaci monitoringa sirove vode sveukupno su obuhvatili podatke za 3066 analiza (Slika 6-3.). Isključene su 182 analize izvan Panona, 69 analiza površinske vode, 37 analiza s greškama pri upisivanju podataka i 538 analiza koje nisu imale sve potrebne podatke (glavne katione i anione) za Piperov dijagram. Provela se kontrola ekvivalencije kationa i aniona, a za prihvatljivu grešku se odabrao iznos od 10 %. Grešku veću od 10 % su pokazale 442 analize koje su isključene iz daljnje obrade. U GTPV-u Novo Virje nema mjernih postaja pa je to razlog zašto nema niti jedne analize i zbog čega nije izrađen Piperov dijagram s podacima sirove vode. Većina analiza vezana je uz Sliv Sutle i Krapine (455) i GTPV Istočna Slavonija – Sliv Drave i Dunava (359) (Slika 6-4.).



Slika 6-3. Statistika podataka monitoringa sirove vode



Slika 6-4. Raspodjela kemijskih analiza monitoringa sirove vode prema grupiranim tijelima podzemne vode

U trećoj fazi su određeni hidrogeokemijski facijesi na temelju sveukupno 2649 analiza tj. 851 analize podataka nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode i 1798 analiza podataka monitoringa sirove vode. Obrađene su analize sa 62 piezometra i 208 izvorišta (Tablica 6-1. i Tablica 6-2.). Hidrogeokemijski facijesi određeni su pomoću Piperovih dijagrama napravljeni korištenjem Visual Basic[1] makroa u Microsoft Excel programu. Excel datoteka je jednostavna za korištenje, a za dobivanje Piperovog dijagrama potrebno je upisati koncentracije glavnih iona podzemne vode, a to su Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} i K^{+} od kationa i HCO_3^{-}, CO_3^{2-}, Cl^{-} i SO_4^{2-} od aniona. Koncentracije se unose u mg/l jedinicama. Dobiveni Piperovi dijagrami, za sva grupirana tijela podzemne vode Panonske Hrvatske, prikazani su u sljedećem poglavlju.

[1] https://nevada.usgs.gov/tech/excelforhydrology/WaterQualityTools/PiperPlot-QW.XLS

Tablica 6-1. Broj piezometara iz nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode na kojima su se odredili hidrogeokemijski facijesi

Redni broj	Grupirano tijelo podzemne vode	Broj piezometara
1	Međimurje	4
2	Varaždinsko područje	3
3	Sliv Bednje	0
4	Legrad – Slatina	6
5	Novo Virje	0
6	Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava	16
7	Sliv Sutle i Krapine	3
8	Sliv Lonja – Ilova – Pakra	4
9	Sliv Orljave	3
10	Zagreb	14
11	Lekenik – Lužani	3
12	Istočna Slavonija – sliv Save	0
13	Žumberak – Samoborsko gorje	1
14	Donji tok Kupe	5
15	Donji tok Une	0
		62

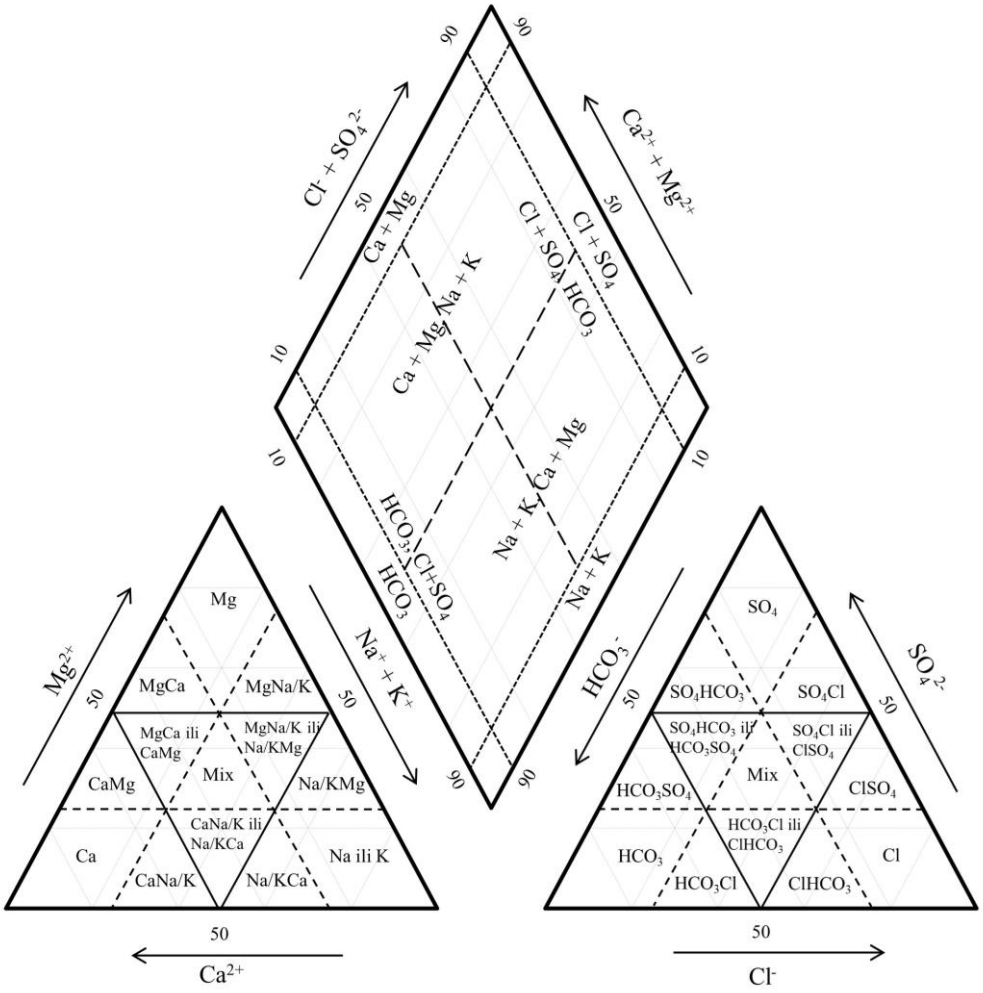
Tablica 6-2. Broj izvorišta iz monitoringa sirove vode na kojima su se odredili hidrogeokemijski facijesi

Redni broj	Grupirano tijelo podzemne vode	Broj izvorišta
1	Međimurje	2
2	Varaždinsko područje	3
3	Sliv Bednje	11
4	Legrad – Slatina	6
5	Novo Virje	0
6	Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava	42
7	Sliv Sutle i Krapine	40
8	Sliv Lonja – Ilova – Pakra	22
9	Sliv Orljave	9
10	Zagreb	18
11	Lekenik – Lužani	6
12	Istočna Slavonija – sliv Save	30
13	Žumberak – Samoborsko gorje	13

Nastavak Tablice 6-2.

Redni broj	Grupirano tijelo podzemne vode	Broj izvorišta
14	Donji tok Kupe	4
15	Donji tok Une	2
		208

Dijagrami su opisani prema kriteriju određivanja hidrogeokemijskih facijesa prikazanom na Slici 6-5. Za granicu je uzeta brojka od 25 meq/l. Prema tome, uzorak analize koji sadrži određeni ion u koncentraciji nižoj od 25 meq/l, ne pripada facijesu tog iona. U nazivu facijesa, dominantan ion se navodi prvi. Na primjer, uzorak Ca tipa je onaj koji ima Ca^{2+} više od 50 meq/l, a Mg^{2+} i Na^{+}/K^{+} niže od 25 meq/l. CaMg tip je onaj koji ima Ca^{2+} više od 50 meq/l, Na^{+}/K^{+} niže od 25 meq/l, a Mg^{2+} više od 25 meq/l. CaNa/K tip je onaj koji ima Ca^{2+} više od 50 meq/l, Mg^{2+} niže od 25 meq/l, a Na^{+}/K^{+} više od 25 meq/l.



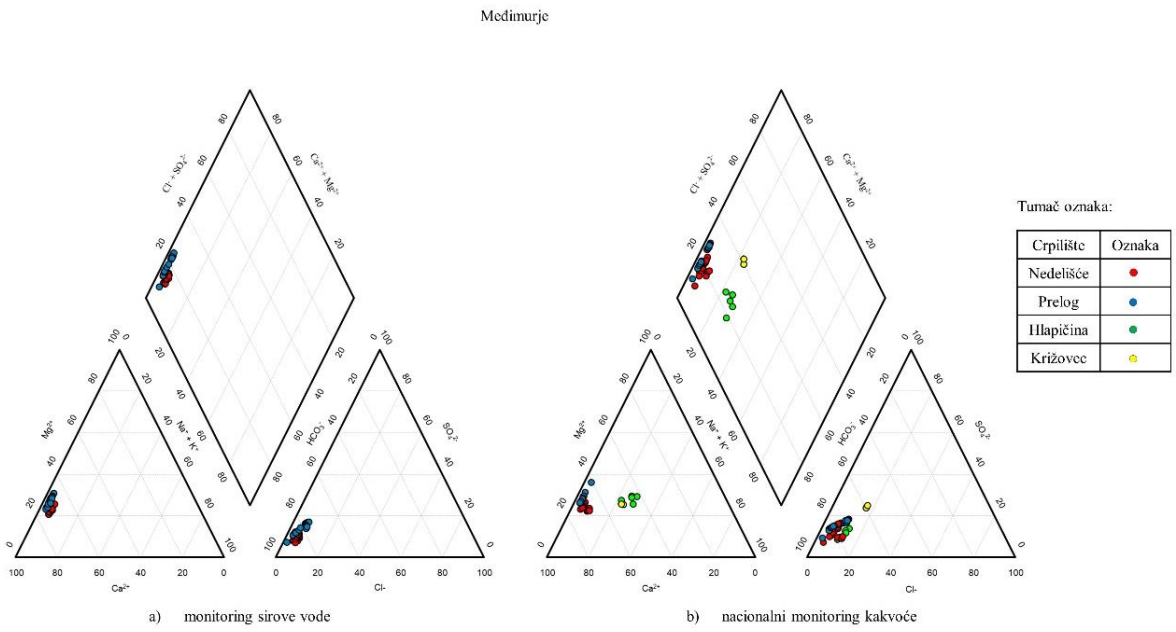
Slika 6-5. Raspodjela hidrogeokemijskih facijesa na Piperovom dijagramu

7. Opis i analiza rezultata

Rezultati provedenih analiza su pokazali da u GTPV-u Međimurje (Slika 7-1.) u izvorištima Nedelišće i Prelog prevladavaju Ca^{2+} i Mg^{2+} kao kationi i HCO_3^- kao anion pa je podzemna voda tih izvorišta kalcijsko-magnezijskog i bikarbonatnog tipa. Mjerna mjesta Hlapičina i Križovec nemaju dominantan tip vode s obzirom na kation, a HCO_3^- je dominantan anion kao i kod prve grupe podataka. Kod njih je vidljiva niža koncentracija Ca^{2+}, a viša koncentracija $Na^+ + K^+$ iona. Mjerno mjesto Križovec sadrži podzemnu vodu kalcijsko-natrijskog facijesa i ima nešto više koncentracije sulfata. Podzemna voda mjernog mjesta Hlapičina pripada miješanoj vodi tj. kalcijsko-natrijsko-magnezijskom tipu voda.

Podzemna voda GTPV-a Međimurje pripada od CaMg-HCO_3, CaNa-HCO_3 do CaNaMg-HCO_3 hidrogeokemijskom facijesu.

Prema Marković et al. (2015), podzemne vode vodnog tijela Međimurje pripadaju CaMg-HCO_3 hidrogeokemijskom facijesu.



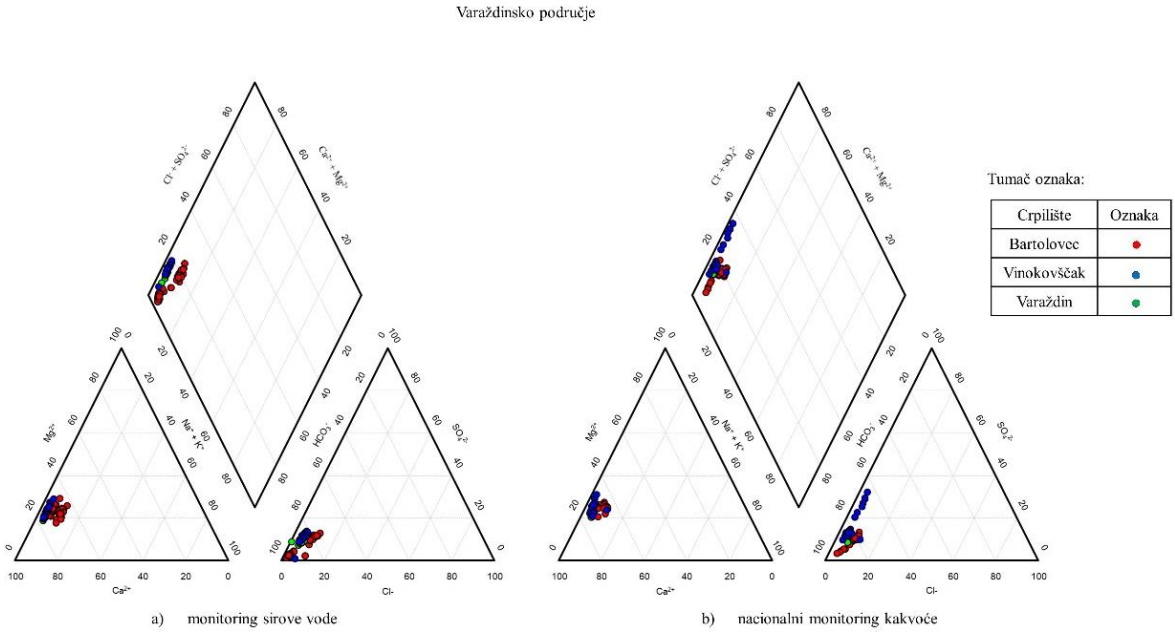
Slika 7-1. Piperovi dijagrami GTPV-a Međimurje

Prema Piperovim dijagramima GTPV-a Varaždinsko područje (Slika 7-2.), podzemna voda se svrstava u kalcijski i kalcijsko-magnezijski tip voda. U pojedinim analizama prevladava

Ca^{2+} kao kation , a u nekim zajedno Ca^{2+} i Mg^{2+} ion. Dominantan anion u svim analizama je HCO_3^- pa se voda klasificira kao bikarbonatni tip. Mjerno mjesto Vinokovščak u tri analize ima nešto više koncentracije sulfata u vodi.

S obzirom na navedeno, podzemna voda GTPV-a Varaždinsko područje pripada Ca-HCO_3 i CaMg-HCO_3 tipu voda.

Na području vodnog tijela Varaždinsko područje, prema Marković et al. (2015), podzemne vode pripadaju CaMg-HCO_3 hidrogeokemijskom facijesu.

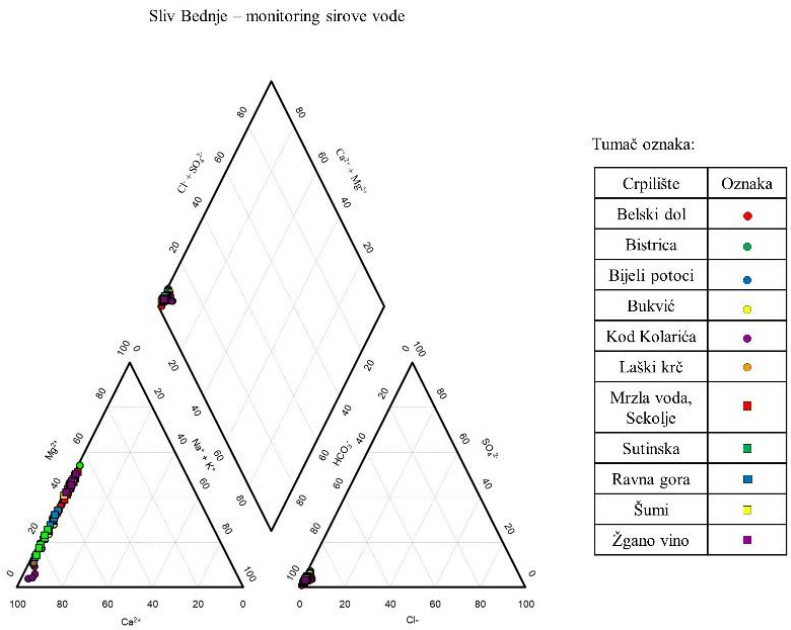


Slika 7-2. Piperovi dijagrami GTPV-a Varaždinsko područje

U vodnom tijelu Sliv Bednje (Slika 7-3.) u nekim izvorištima prevladava Ca^{2+}, a u pojedinim izvorištima zajedno Ca^{2+} i Mg^{2+} ioni. Koncentracije kalcija i magnezija su u širokom rasponu. Najviše koncentracije Ca^{2+} iona imaju izvorišta Kod Kolarića i Laški krč. Izvorišta Bistrica, Mrzla voda i Žgano vino imaju najvišu koncentraciju Mg^{2+} kationa. Analize izvorišta Kod Kolarića, Laški krč, Sutinska i Bukvić odgovaraju kalcijskom tipu voda, a izvorišta Ravna gora, Belski dol, Šumi, Žgano vino, Mrzla voda i Bijeli potoci kalcijsko-magnezijskom tipu. Podzemna voda izvorišta Bistrica je magnezijsko-kalcijskog facijesa. Dominantan anion u svim analizama je HCO_3^- pa se voda klasificira kao bikarbonatni tip.

Podzemna voda GTPV-a Sliv Bednje pripada od Ca-HCO_3, CaMg-HCO_3 do MgCa-HCO_3 hidrogeokemijskom facijesu.

Marković et al. (2015) navode da podzemne vode vodnog tijela sliv Bednje pripadaju CaMg-HCO_3 tipu voda.

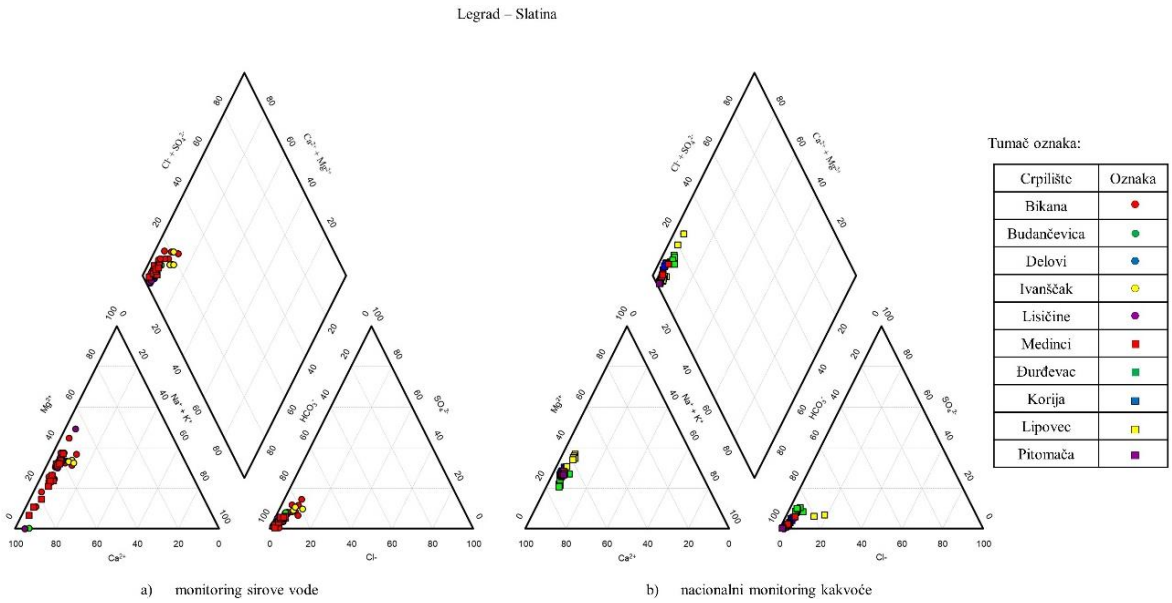


Slika 7-3. Piperov dijagram GTPV-a Sliv Bednje

Prema dijagramima GTPV-a Legrad – Slatina (Slika 7-4.), podzemna voda je kalcijskog ili kalcijsko-magnezijskog tipa s obzirom da Ca^{2+} i Mg^{2+} prevladavaju kao glavni kationi. Koncentracije Ca^{2+} i Mg^{2+} iona su u širokom rasponu kod izvorišta Bikana, Lisičine i Medinci. Podzemna voda mjernih mjesta Medinci i Bikana pripada kalcijskom i kalcijsko-magnezijskom tipu voda. Kalcijski tip podzemne vode ima mjerno mjesto Budančevica i Đurđevac. Delovi, Ivanščak, Lisičine, Korija, Lipovec i Pitomača imaju kalcijsko-magnezijski tip vode. Od grupe podataka razlikuje se jedna analiza izvorišta Lisičine kod koje je vidljiva najviša koncentracija Mg^{2+} iona i koja odgovara magnezijsko-kalcijskom tipu voda i jedna analiza koja ima najnižu koncentraciju Mg^{2+}, a najvišu Ca^{2+} pa odgovara kalcijskom tipu. No, takve analize nisu reprezentativne za cijelo izvorište. Dominantan anion u svim analizama je HCO_3^- pa se voda klasificira kao bikarbonatni tip.

Podzemna voda GTPV-a Legrad – Slatina pripada Ca-HCO_3 i CaMg-HCO_3 tipu voda.

Prema Marković et al. (2015), podzemne vode vodnog tijela Legrad – Slatina pripadaju CaMg-HCO_3 hidrogeokemijskom facijesu, odnosno tipu voda.



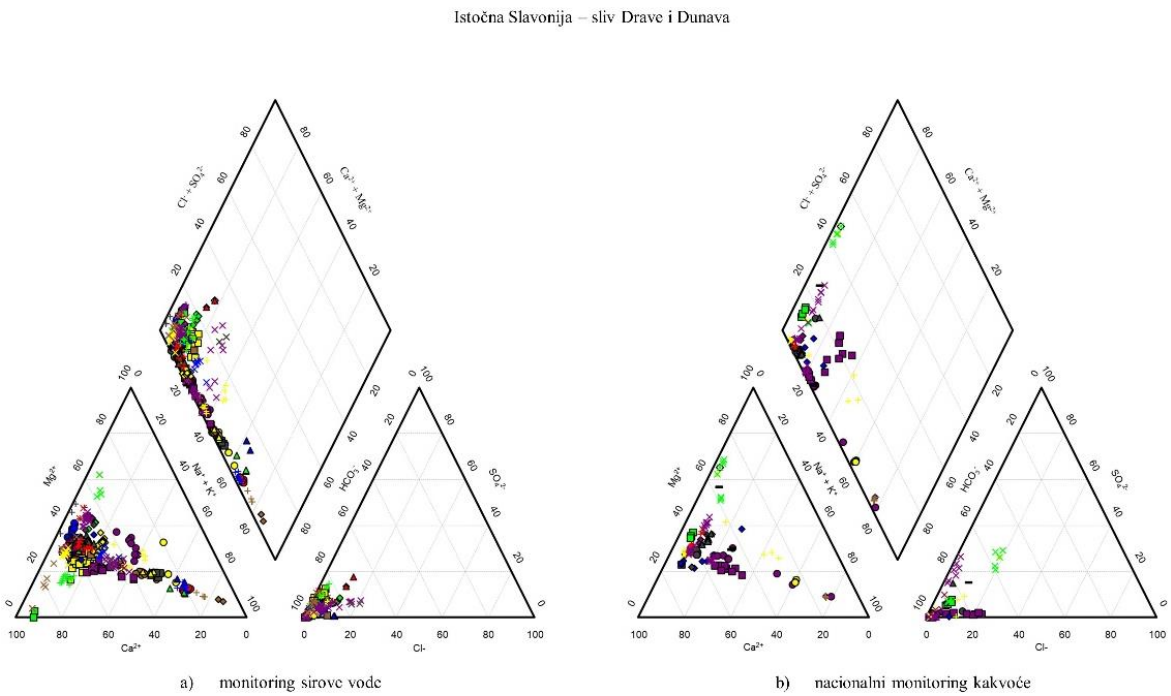
Slika 7-4. Piperovi dijagrami GTPV-a Legrad – Slatina

Na dijagramima GTPV-a Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava (Slika 7-5.) podzemna voda je različitih facijesa. Kalcijskog tipa su analize mjernog mjesta Seona. Mjerna mjesta Gornja Motičina, Fatovi, Konkološ Bilje i Voćin imaju podzemnu vodu kalcijskog i kalcijsko-magnezijskog tipa. Podzemna voda mjernog mjesta Topolje pripada magnezijsko-kalcijskom hidrogeokemijskom facijesu. Tisovac i Toplica imaju analize koje pokazuju kalcijsko-magnezijski i magnezijsko-kalcijski tip vode. Podzemnu vodu od kalcijsko-magnezijskog do kalcijsko-natrijskog facijesa ima mjerno mjesto Vinogradi. Analize mjernih mjesta Petrova Slatina i Zahvat Pampas pripadaju kalcijsko-natrijskom tipu voda, dok natrijsko-kalcijskom facijesu pripadaju analize mjernih mjesta Šodolovci i Palača. Podzemna voda mjernog mjesta Jarčevac je od kalcijskog, kalcijsko-natrijskog do natrijsko-kalcijskog facijesa. Mjerno mjesto Čepin sadrži podzemnu vodu kalcijsko-natrijskog i natrijsko-kalcijskog tipa. Podzemna voda mjernog mjesta Skela (Antin) je kalcijsko-natrijskog do natrijsko-kalcijsko-magnezijskog facijesa. Natrijskog tipa je podzemna voda mjernih mjesta Ada, Markušica, Ostrovo, Silaš i Škola (Korođ). Podzemna voda mjernog mjesta Novo Nevesinje je natrijskog do natrijsko-kalcijskog tipa. Mjerno mjesto Centar (Tordinci) ima podzemnu vodu natrijskog i natrijsko-magnezijskog facijesa. Natrijsko-

kalcijsko-magnezijskog facijesa (miješana voda) je podzemna voda mjernog mjesta Cerić. Mjerno mjesto Čvorkovac ima dvije analize, jedna pripada miješanoj vodi tj. kalcijsko-magnezijsko-natrijskom facijesu, a druga magnezijsko-kalcijskom facijesu. Podzemna voda svih ostalih mjernih mjesta je kalcijsko-magnezijskog tipa. U gotovo svim analizama HCO_3^- je dominantan anion pa je podzemna voda bikarbonatnog tipa. Mjerna mjesta Topolje i Vinogradi, na dijagramu za nacionalni monitoring kakvoće, pokazuju više koncentracije sulfata pa je voda bikarbonatno-sulfatnog tipa.

Prema tome, podzemna voda GTPV-a Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava pripada od Ca-HCO_3, CaMg-HCO_3, CaNa-HCO_3, CaMgNa-HCO_3, MgCa-HCO_3, NaCaMg-HCO_3, NaCa-HCO_3, NaMg-HCO_3 do Na-HCO_3 tipu voda.

Prema Marković et al. (2015), podzemne vode ovog GTPV-a pripadaju CaMg-HCO_3, MgCa-HCO_3, CaMgNa-HCO_3 i NaCa-HCO_3 hidrogeokemijskim facijesima.



Slika 7-5. Piperovi dijagrami GTPV-a Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava

Tumač oznaka:

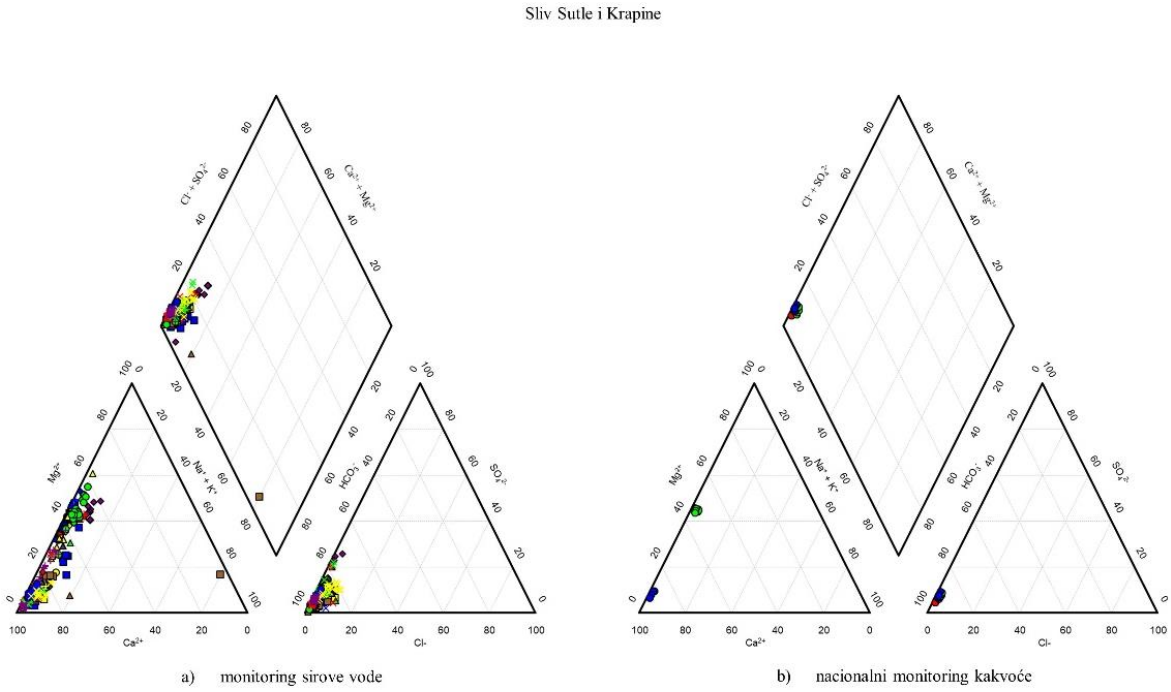
Crpilište	Oznaka	Crpilište	Oznaka
Ada	●	Novo Nevesinje	▲
Berića plac, Marinci	●	Ostrovo	▲
Bošnjaci	●	Palača	▲
Centar, Tordinci	●	Park, Nuštar	▲
Cerić	●	Petrova Slatina	▲
Čepin	●	Prosine	▲
Donji Miholjac	●	Semeljci	✚
Đurđenovac	■	Seona	✚
Fatovi	■	Silaš	✚
Gaboš	■	Skela, Antin	✚
Gornja Motičina	■	Široko polje	✚
Jarčevac	■	Škola, Korođ	✚
Jarmina	■	Tisovac	✚
Šodolovci	■	Toplica	✖
Josipovac Punitovački	◆	Topolje	✖
Kneževo	◆	Valenovac	✖
Konkološ Bilje	◆	Velimirovac	✖
Lekić	◆	Vinogradi	✖
Livade, Komletinci	◆	Voćin	✖
Markušica	◆	Zahvat Pampas	✖
Mohovo	◆	Čvorkovac	━
Novi Bezdan	▲		

Slika 7-6. Tumač oznaka za GTPV Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava

Glavni kation u podzemnoj vodi vodnog tijela Sliv Sutle i Krapine (Slika 7-7.) predstavlja kalcij ili kombinacija kalcija i magnezija. Najveći broj analiza odgovara kalcijskom tipu voda. Podzemna voda izvorišta Belečka Selnica, Bijeli zdenci 1, Bijeli zdenci 2, Gorjak – Strahinje, Grobotek, Kaptaža Jablanovec, Kojzica, Lobor, Mlačine – Grabari, Mrzli zdenec, Orlove stijene, Osredek Desinički i Podgora je kalcijsko-magezijskog tipa. Izvorišta Bukovje i Rudnica pripadaju kalcijskom i kalcijsko-magnezijskom tipu voda. Analize izvorišta Jelovica, Kostel, Mrzla voda (Galovići) i Pregrada pripadaju kalcijsko-magnezijskom i magnezijsko-kalcijskom tipu voda. Od grupe podataka iskače jedna analiza izvorišta Dobri zdenci koja ima najnižu koncentraciju kalcija, a najvišu natrija. Ona nije reprezentativna za cijelo izvorište pa nije uzeta u obzir pri određivanju hidrogeokemijskih facijesa. Općenito, koncentracije kalcija i magnezija su u širokom rasponu. Dominantan anion u svim analizama je HCO_3^- pa se voda klasificira kao bikarbonatni tip. Izvorište Kostel u nekim analizama ima povišen sadržaj sulfata.

Podzemna voda GTPV-a Sliv Sutle i Krapine pripada od Ca-HCO_3, CaMg-HCO_3 do MgCa-HCO_3 hidrogeokemijskom facijesu.

Marković et al. (2015) navode da podzemne vode u GTPV-u Sliv Sutle i Krapine, prema svom osnovnom ionskom sastavu, pripadaju od Ca-HCO_3 do CaMg-HCO_3 tipu voda.



Slika 7-7. Piperovi dijagrami GTPV-a Sliv Sutle i Krapine

Tumač oznaka:

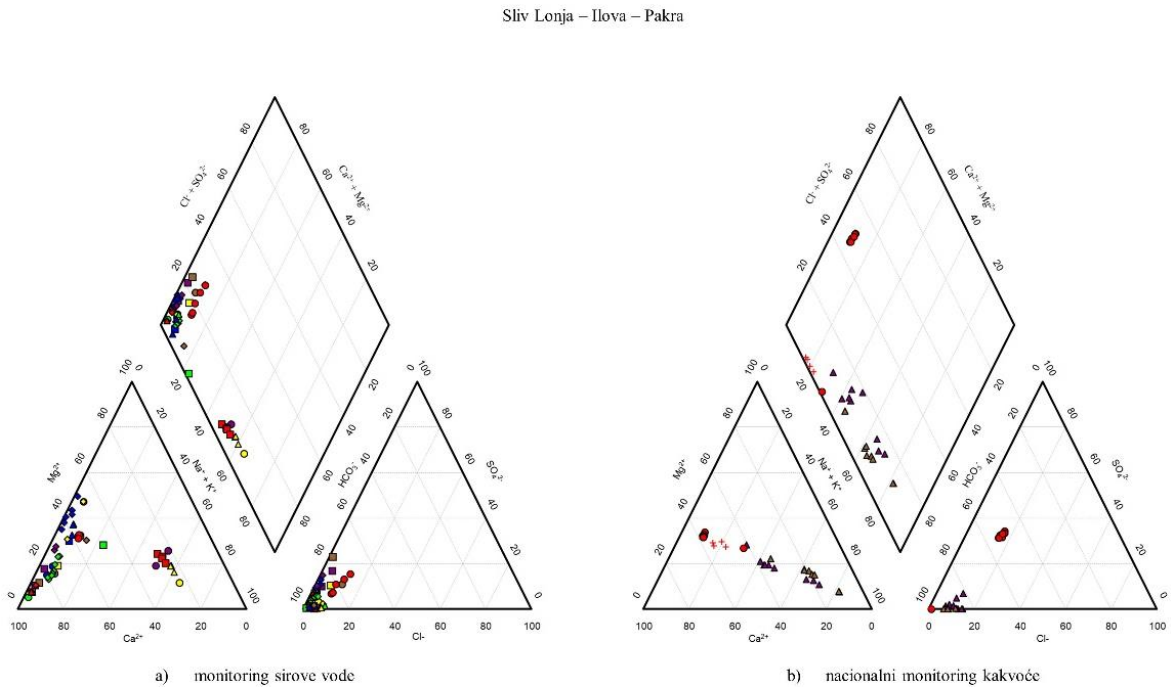
Crpilište	Oznaka	Crpilište	Oznaka
Grobotek	●	Kulmerica	◆
Pregrada	●	Lobor, otvoreni zahvat	▲
Štrajbeki	●	Lobor, zatvoreni zahvat	▲
Bajsičnjak	●	Mlačine – Grabari	▲
Belečka Selnica	●	Mrzla voda, Galovići	△
Bijeli zdenci	●	Mrzli zdenec	▲
Bijeli zdenci 1	●	Mrzljak	▲
Bijeli zdenci 2	■	Orlove stijene	▲
Biušek	■	Osredek Desinički	✚
Bukovje	■	Pece	✚
Curek	□	Podgora	✚
Dobre vode	■	Poštovac	✚
Dobri zdenci	■	Rudnica	✚
Gorjak – Strahinje	■	Rudnica, Kulmerica	✚
Gorjani	◆	Sopot	✚
Jelovica	◆	Stupa	✖
Kaptaža Jablanovec	◆	Svinjski jarek 1 i 2	✖
Kojzica	◇	Vojnovec	✖
Kostel	◆	Vrbanščak	■
Kralješak	◆	Zvirale	✖

Slika 7-8. Tumač oznaka za GTPV Sliv Sutle i Krapine

Prema Piperovim dijagramima GTPV-a Lonja – Ilova – Pakra (Slika 7-9.), podzemna voda je kalcijskog tipa u izvorištima Biškupec Zelinski, Blaguša, Glavica Gornja, Kašina, Kolarec – Pofuki, Maškovec, Planina Gornja, Puklica i Vugnet. Mjerna mjesta Grđevica, Grubišno polje, Škodinovac, Trstenik, Veliki i Mali zdenci, Vratno, Vrtlinska, Veliki Grđevac, ZB – 2 i ZB – 3 imaju podzemnu vodu kalcijsko-magnezijskog tipa. Natrijskom tipu odgovaraju analize izvorišta Blanje, GPB –3 i ZGA – 1/05. Mjerna mjesta Čazma i Milaševac imaju podzemnu vodu natrijskog i natrijsko-kalcijskog tipa. Izvorište Garešnica ima jednu analizu koja pripada natrijsko-kalcijskom tipu vode i jednu analizu koja pripada natrijsko-magnezijskom tipu. Jedna analiza mjernog mjesta Trstenik i jedna analiza Milaševca pripada miješanoj vodi tj. kalcijsko-natrijsko-magnezijskom tipu voda. Navedene analize nisu uzete u obzir jer nisu reprezentativne za cijelo mjerno mjesto. U svim analizama HCO_3^- je dominantan anion pa je podzemna voda bikarbonatnog tipa. U odnosu na ostale analize, mjerno mjesto Trstenik ima niže koncentracije hidrogenkarbonata, a više sulfata pa pripada bikarbonatno-sulfatnom facijesu.

Podzemna voda GTPV-a Lonja – Ilova – Pakra pripada od Ca-HCO_3, Ca-HCO_3SO_4, CaMg-HCO_3, NaCa-HCO_3 do Na-HCO_3 tipu voda.

Prema Marković et al. (2015), u ovom GTPV-u podzemne vode pripadaju od CaMgNa-HCO_3 do NaCa-HCO_3 tipu voda.



Slika 7-9. Piperovi dijagrami GTPV-a Sliv Lonja – Ilova – Pakra

Tumač oznaka:

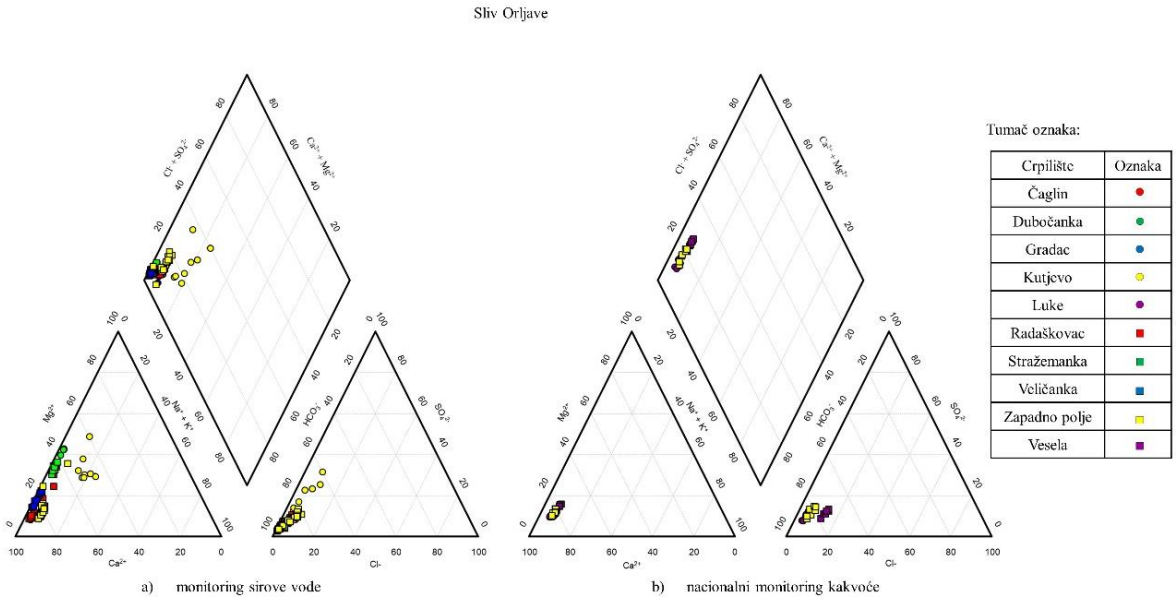
Crpilište	Oznaka	Crpilište	Oznaka
Trstenik	●	Puklica	◆
Biškupec Zclinski	●	Škodinovac	◆
Blaguša	●	Veliki i Mali zdenci	◆
Blanje	●	Vratno	◆
Garešnica	●	Vrtlinska	◆
Glavica Gornja	●	Vugnet	▲
GPB – 3	■	ZB – 2	▲
Grđevica	■	ZB – 3	▲
Grubišno polje	■	ZGA – 1/05	▲
Kašina	■	Čazma	▲
Kolarec – Pofuki	■	Milaševac	▲
Maškovec	■	Veliki Grđevac	✚
Planina Gornja	◆		

Slika 7-10. Tumač oznaka za GTPV Sliv Lonja – Ilova – Pakra

Prema dijagramima GTPV-a Sliv Orljave (Slika 7-11.), u analizama prevladavaju Ca^{2+} ili Ca^{2+} i Mg^{2+} kao kationi. Podzemna voda mjernih mjesta Čaglin, Gradac, Luke, Radaškovac, Veličanka, Vesela i Zapadno polje je kalcijskog hidrogeokemijskog facijesa. Podzemna voda mjernih mjesta Dubočanka, Stražemanka i Kutjevo je kalcijsko-magnezijskog tipa. Jedna analiza, od ukupnog broja analiza mjernog mjesta Zapadno polje, odgovara kalcijsko-magnezijskom facijesu. Jedna analiza izvorišta Kutjevo pokazuje najvišu koncentraciju magnezija i pripada magnezijsko-kalcijskom tipu vode, a druga analiza odgovara kalcijsko-magnezijsko-natrijskom facijesu tj. mješanoj vodi. Takve analize nisu reprezentativne za mjerno mjesto i nisu se uzele u obzir. Dominantan anion u svim analizama je HCO_3^-. Iako izvorište Kutjevo ima nešto višu koncentraciju SO_4^{2-}, voda se klasificira kao bikarbonatni tip.

Podzemna voda GTPV-a Sliv Orljave pripada Ca-HCO_3 i CaMg-HCO_3 tipu voda.

Prema Marković et al. (2015), podzemne vode GTPV-a Sliv Orljave pripadaju Ca-HCO_3 tipu voda (podzemne vode u aluvijalnom vodonosniku), a podzemne vode Papuka (izvori Stražemanka i Veličanka) od Ca-HCO_3 do CaMg-HCO_3 tipu voda.



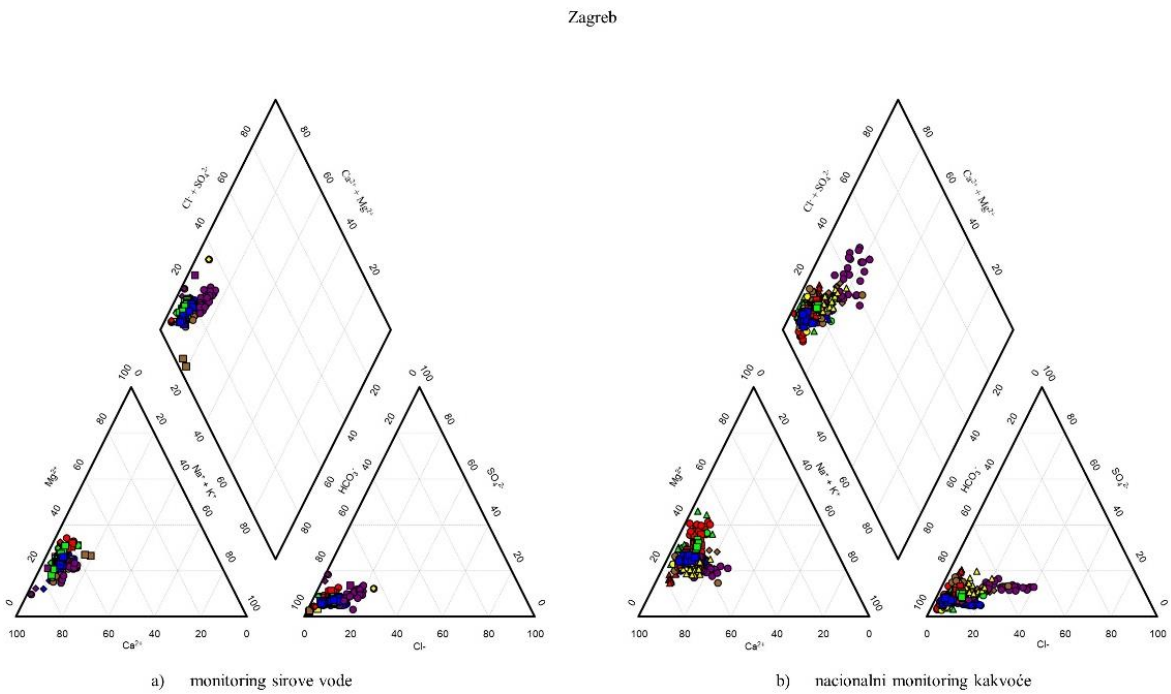
Slika 7-11. Piperovi dijagrami GTPV-a Sliv Orljave

Rezultati provedenih analiza su pokazali da u GTPV-u Zagreb (Slika 7-12.) prevladava Ca^{2+} kao kation ili Ca^{2+} i Mg^{2+} kao kationi i HCO_3^- kao anion. Prema tome, podzemna voda ovog

vodnog tijela je kalcijsko-bikarbonatnog ili kalcijsko-magnezijsko-bikarbonatnog tipa. S obzirom na katione, analize mjernih mjesta Bregana, Petrova Gora Lipnica, Strmec, Kupinečki Kraljevec, Velika Gorica i Kosnica pripadaju kalcijsko-magnezijskom facijesu. Podzemna voda svih ostalih mjernih mjesta je kalcijskog tipa. Analize mjernog mjesta Sašnjak-Žitnjak pokazuju nešto više koncentracije natrija i više koncentracije klorida u odnosu na ostale analize. Prema tome, mjerno mjesto Sašnjak-Žitnjak sadrži podzemnu vodu kalcijskog ili kalcijsko-natrijskog tipa prema kationima, a bikarbonatno-kloridnog tipa prema anionima.

Podzemna voda GTPV-a Zagreb pripada od Ca-HCO_3, Ca-HCO_3Cl, CaMg-HCO_3, do CaNa-HCO_3Cl hidrogeokemijskom facijesu.

Iako su vodonosni slojevi samoborsko-zaprešićkog i zagrebačkog vodonosnika povezani u jednu zajedničku hidrauličku cjelinu, oni su hidrogeokemijski različiti. Podzemna voda iz dubljeg sloja uglavnom pripada CaMgNa-HCO_3, a voda iz plićeg CaMg-HCO_3 hidrogeokemijskom facijesu (Marković et al., 2015).



Slika 7-12. Piperovi dijagrami GTPV-a Zagreb

Tumač oznaka:

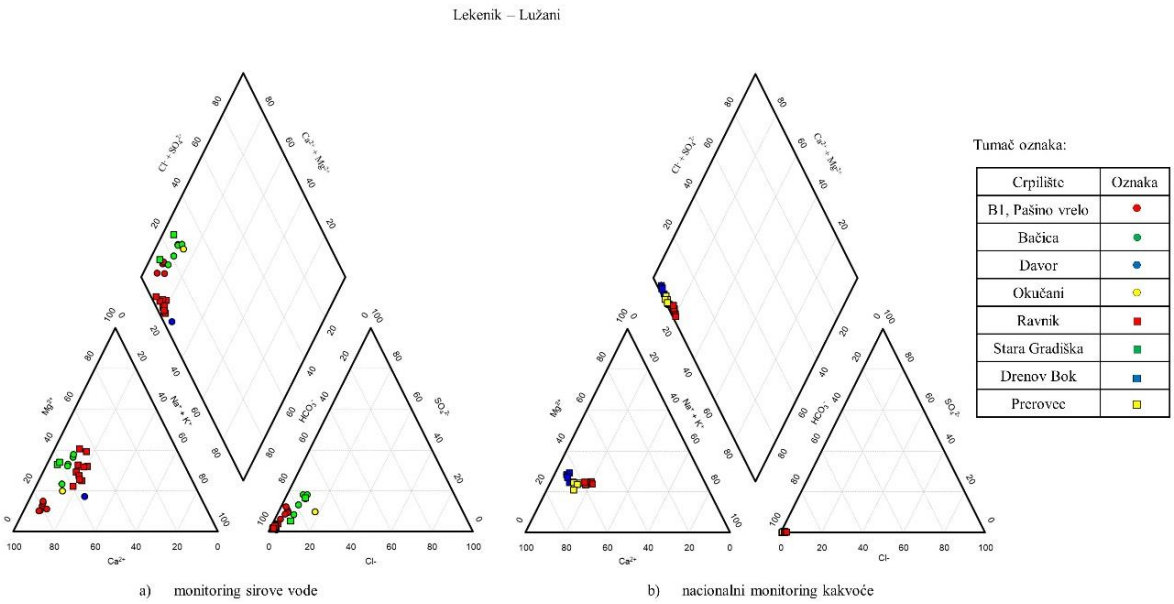
Crpilište	Oznaka	Crpilište	Oznaka
Bregana	●	Kupinečki Kraljevec	■
Horvati	●	Petrova Gora Lipnica	◆
Mala Mlaka	●	Planina Donja	◆
Petruševac	●	Prekvršje	◆
Sašnjak – Žitnjak	●	Sljeme	◆
Šibice	●	Šimunčevec	◆
Strmec	■	Gradska crpilišta	◆
Velika Gorica	■	Ivanja Reka	▲
Zaprude	■	Kosnica	▲
Donji Dragonožec	■	Prečko	▲
Jelenske Vodice	■	Stara Loza	△

Slika 7-13. Tumač oznaka za GTPV Zagreb

Prema dijagramima vodnog tijela Lekenik – Lužani (Slika 7-14.), u svim analizama prevladavaju Ca^{2+} i Mg^{2+} kao kationi. Najviše koncentracije Ca^{2+} ima izvorište Pašino vrelo, a najviše koncentracije $Na^{+} + K^{+}$ ima mjerno mjesto Davor. Kalcijski tip podzemne vode imaju mjerna mjesta Pašino vrelo, Okučani i Prerovec. Podzemna voda mjernih mjesta Bačica, Ravnik, Stara Gradiška i Drenov bok je kalcijsko-magnezijskog facijesa. Analize mjernog mjesta Davor pokazuju pripadnost kalcijsko-natrijskom tipu voda. Dominantan anion u svim analizama je HCO_3^- pa se voda klasificira kao bikarbonatni tip.

Prema tome, podzemna voda GTPV-a Lekenik – Lužani pripada od Ca-HCO_3, CaMg-HCO_3 do CaNa-HCO_3 tipu voda.

Marković et al. (2015) zaključuju da podzemne vode na području ovog GTPV-a pripadaju od CaMg-HCO_3 do CaMgNa-HCO_3 hidrogeokemijskom facijesu.

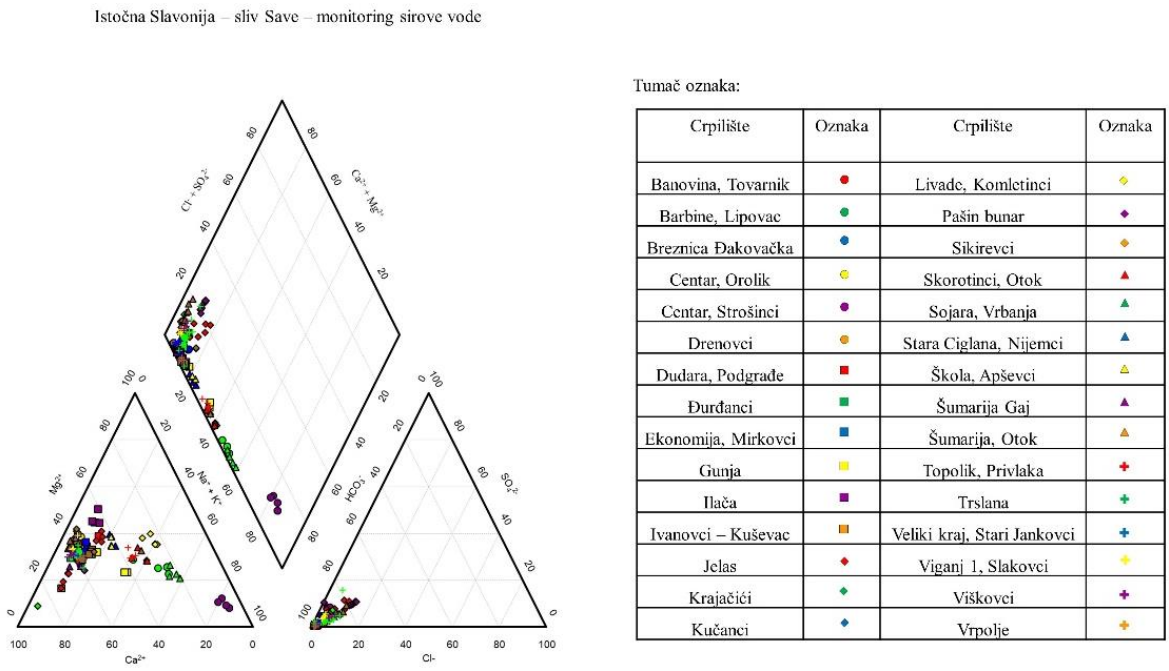


Slika 7-14. Piperovi dijagrami GTPV-a Lekenik – Lužani

Na dijagramu GTPV-a Istočna Slavonija – sliv Save (Slika 7-15.) analize se mogu podijeliti u tri grupe podataka koje se međusobno razlikuju prema glavnom kationu u podzemnoj vodi. Prva grupa u kojoj dominira Ca^{2+} ion (u nekim izvorištima zajedno s Mg^{2+} ionom), druga grupa koja pripada miješanoj vodi i treća grupa s Na^{+} kao glavnim kationom. Podzemna voda izvorišta Krajačići ima najviše koncentracije kalcija i kalcijskog je tipa. Podzemna voda izvorišta Jelas je kalcijskog i kalcijsko-magnezijskog tipa. Kalcijsko-natrijskog tipa je podzemna voda izvorišta Gunja. Analize mjernih mjesta Skorotinci (Otok) i Topolik (Privlaka) pokazuju pripadnost miješanoj vodi tj. natrijsko-kalcijsko-magnezijskom facijesu. Izvorište Barbine (Lipovac) sadrži podzemnu vodu natrijskog i natrijsko-kalcijskog facijesa. Natrijsko-magnezijski hidrogeokemijski facijesi imaju analize izvorišta Livade (Komletinci). Izvorište Centar (Strošinci) ima najviše koncentracije natrija i zajedno s izvorištem Sojara (Vrbanja) pripada natrijskom tipu vode. Sva ostala mjerna mjesta odgovaraju kalcijsko-magnezijskom facijesu. Samo jedna analiza izvorišta Šumarija (Otok) je natrijsko-kalcijsko-magnezijskog facijesa jer pokazuje povišene koncentracije natrija, ali kao takva nije reprezentativna za cijelo izvorište. U svim analizama HCO_3^- je dominantan anion pa se podzemna voda klasificira kao bikarbonatni tip.

Podzemna voda GTPV-a Istočna Slavonija – sliv Save pripada od Ca-HCO_3, CaMg-HCO_3, CaNa-HCO_3, NaCaMg-HCO_3, NaCa-HCO_3, NaMg-HCO_3 do Na-HCO_3 tipu voda.

Prema Marković et al. (2015), podzemna voda GTPV-a Istočna Slavonija – sliv Save, prema svom osnovnom kemijskom sastavu, pripada od CaMg-HCO_3, CaMgNa-HCO_3 do NaCaMg-HCO_3 hidrogeokemijskom facijesu.



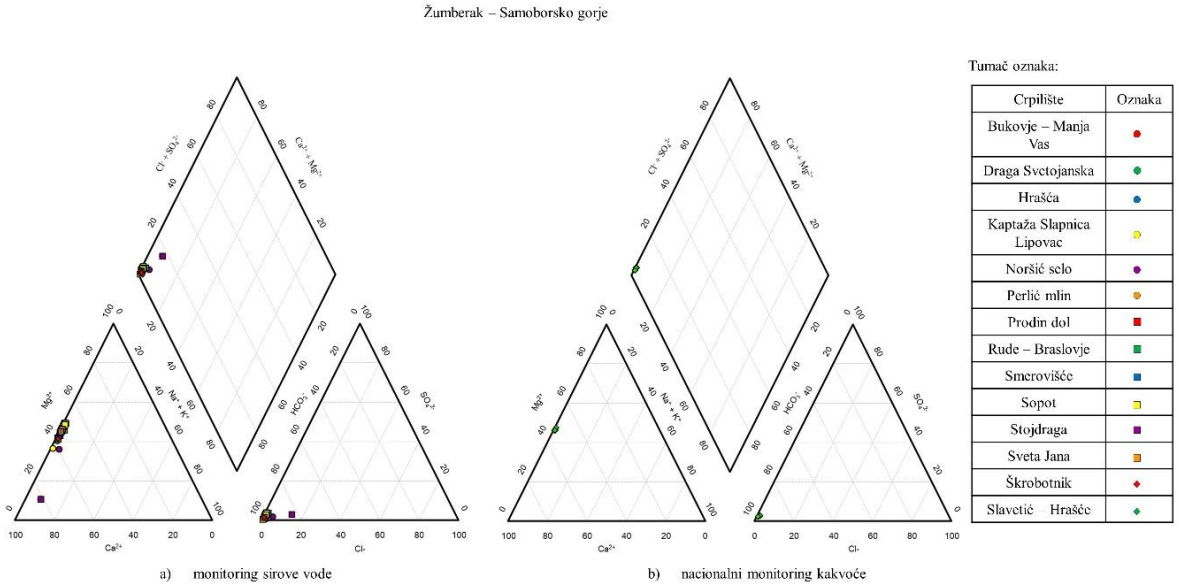
Crpilište	Oznaka	Crpilište	Oznaka
Banovina, Tovarnik	●	Livade, Komletinci	◆
Barbine, Lipovac	●	Pašin bunar	◆
Breznica Đakovačka	●	Sikirevci	◆
Centar, Orolik	●	Skorotinci, Otok	▲
Centar, Strošinci	●	Sojara, Vrbanja	▲
Drenovci	●	Stara Ciglana, Nijemci	▲
Dudara, Podgrađe	■	Škola, Apševci	△
Đurđanci	■	Šumarija Gaj	▲
Ekonomija, Mirkovci	■	Šumarija, Otok	▲
Gunja	■	Topolik, Privlaka	✚
Ilača	■	Trslana	✚
Ivanovci – Kuševac	■	Veliki kraj, Stari Jankovci	✚
Jelas	◆	Viganj 1, Slakovci	✚
Krajačići	◆	Viškovci	✚
Kučanci	◆	Vrpolje	✚

Slika 7-15. Piperov dijagram GTPV-a Istočna Slavonija – sliv Save

U GTPV-u Žumberak – Samoborsko gorje (Slika 7-16.) izvorište Stojdraga odskače od ostalih analiza zbog puno viših koncentracija Ca^{2+} pa je podzemna voda tog izvorišta kalcijskog tipa. Sva ostala izvorišta imaju slične koncentracije Ca^{2+} i imaju više koncentracije Mg^{2+} iona od izvorišta Stojdraga. Najviše koncentracije Mg^{2+} kationa imaju izvorišta Hrašća i Sopot. Mjerno mjesto Slavetić – Hrašće također ima više koncentracije magnezija. Sve ostale analize, prema kationu, odgovaraju kalcijsko-magnezijskom tipu voda. HCO_3^- je dominantan anion u svim analizama pa je podzemna voda klasificirana kao bikarbonatni tip.

Podzemna voda GTPV-a Žumberak – Samoborsko gorje pripada Ca-HCO_3 i CaMg-HCO_3 hidrogeokemijskom facijesu.

Prema Marković et al. (2015), podzemna voda ovog vodnog tijela pripada CaMg-HCO_3 hidrogeokemijskom facijesu, odnosno tipu voda.

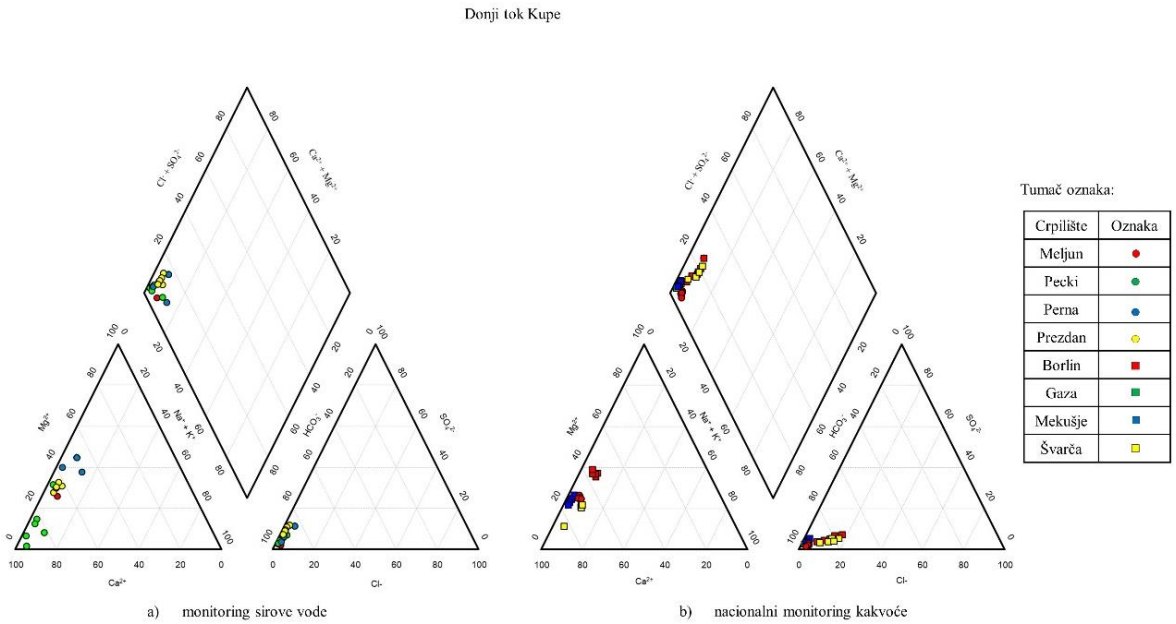


Slika 7-16. Piperovi dijagrami GTPV-a Žumberak – Samoborsko gorje

Na dijagramima vodnog tijela Donji tok Kupe (Slika 7-17.) u svim analizama prevladavaju Ca^{2+} i Mg^{2+} kao kationi. Mjerna mjesta Borlin i Perna imaju nešto više koncentracije Mg^{2+}, a niže Ca^{2+} u odnosu na ostala mjerna mjesta. Izvorište Pecki i mjerno mjesto Švarča imaju najviše koncentracije kalcija. Podzemna voda mjernih mjesta Pecki, Švarča, Mekušje i Gaza je kalcijskog tipa. Analize mjernih mjesta Meljun, Perna, Prezdan i Borlin pripadaju kalcijsko-magnezijskom facijesu. Dominantan anion u svim analizama je HCO_3^- pa se voda klasificira kao bikarbonatni tip.

Podzemna voda GTPV-a Donji tok Kupe pripada Ca-HCO_3 i CaMg-HCO_3 tipu voda.

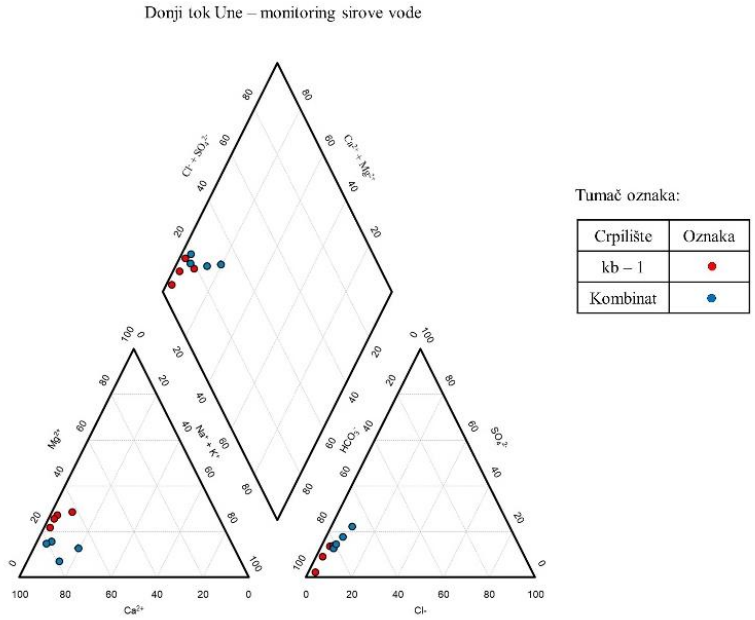
Prema Marković et al. (2015), podzemne vode vodnog tijela Donji tok Kupe pripadaju od Ca-HCO_3 do CaMg-HCO_3.



Slika 7-17. Piperovi dijagrami GTPV-a Donji tok Kupe

U GTPV-u Donji tok Une (Slika 7-18.) podzemna voda izvorišta Kombinat je kalcijskog tipa. Izvorište kb-1 ima nešto više koncentracije Mg^{2+} u odnosu na izvorište Kombinat i pripada kalcijsko-magnezijskom tipu vode. HCO_3^- je dominantan anion u svim analizama pa se podzemna voda klasificira kao bikarbonatni tip.

S obzirom na navedeno, podzemna voda GTPV-a Donji tok Une pripada od Ca-HCO_3 do CaMg-HCO_3 tipu voda.



Slika 7-18. Piperov dijagram GTPV-a Donji tok Une

8. Zaključak

U ovom radu, prilikom analize i sistematizacije dobivenih podataka primijećeno je da kod većine analiza datumi i brojke nisu bile upisane kao numeričke vrijednosti, već kao tekstualne. Postoje analize za koje nisu navedene vrijednosti mjerenja i većina analiza nema potrebne parametre da bi se odredili hidrogeokemijski facijesi (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} + K^{+}, Cl^{-}, SO_4^{2-} i HCO_3^{-} + CO_3^{2-}) pa se zbog toga nisu mogle obraditi. U Excel datotekama ne postoje informacije o korištenim analitičkim metodama te granicama detekcije, a u pojedinim datotekama nisu navedene mjerne jedinice parametra koji se mjeri. Sve navedeno je produljilo vrijeme rada s podacima te svakako unosi određenu mjeru nepouzdanosti prikazanih rezultata.

Opažačke točke bi trebale imati točne koordinate, biti slikane i imati informacije o dubini bušotine i položaju filtra. Trebalo bi kamerom snimiti bušotine i položaje filtra unutar njih. Podaci o dubinama bušotina i položaju filtra su oskudni, ili ih je malo ili skroz nedostaju. U grupiranim tijelima podzemne vode Sliv Bednje, Novo Virje, Sliv Sutle i Krapine, Žumberak – Samoborsko gorje, Donji to Kupe i Donji tok Une niti jedna opažačka točka nema dostupne podatke o dubini i poziciji filtra, što je neprihvatljivo, pogotovo s aspekta implementacije Okvirne direktive o vodama.

Piperovi dijagrami su opisani prema kriteriju određivanja hidrogeokemijskih facijesa u kojem uzorak analize, koji sadrži određeni ion u koncentraciji nižoj od 25 meq/l, ne pripada facijesu tog iona Prema tom kriteriju, niti jedno grupirano tijelo podzemne vode nema jednoznačan hidrogeokemijski facijes. U svim vodnim tijelima prisutno je nekoliko različitih hidrogeokemijskih facijesa: Međimurje (od CaMg-HCO_3, CaNa-HCO_3 do CaNaMg-HCO_3), Varaždinsko područje (Ca-HCO_3 i CaMg-HCO_3), Sliv Bednje (od Ca-HCO_3, CaMg-HCO_3 do MgCa-HCO_3), Legrad – Slatina (Ca-HCO_3 i CaMg-HCO_3), Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava (od Ca-HCO_3, CaMg-HCO_3, CaNa-HCO_3, CaMgNa-HCO_3, MgCa-HCO_3, NaCaMg-HCO_3, NaCa-HCO_3, NaMg-HCO_3 do Na-HCO_3), Sliv Sutle i Krapine (od Ca-HCO_3, CaMg-HCO_3 do MgCa-HCO_3), Lonja – Ilova – Pakra (od Ca-HCO_3, Ca-HCO_3SO_4, CaMg-HCO_3, NaCa-HCO_3 do Na-HCO_3), Sliv Orljave (Ca-HCO_3 i CaMg-HCO_3), Zagreb (od Ca-HCO_3, Ca-HCO_3Cl, CaMg-HCO_3, do CaNa-HCO_3Cl), Lekenik – Lužani (Ca-HCO_3, CaMg-HCO_3 i CaNa-HCO_3), Istočna Slavonija – sliv Save (od Ca-HCO_3, CaMg-HCO_3, CaNa-HCO_3, NaCaMg-HCO_3, NaCa-HCO_3, NaMg-HCO_3 do Na-HCO_3), Žumberak –

Samoborsko gorje (Ca-HCO_3 i CaMg-HCO_3), Donji tok Kupe (Ca-HCO_3 i CaMg-HCO_3) i Donji tok Une (od Ca-HCO_3 do CaMg-HCO_3). GTPV Novo Virje nema izrađen Piperov dijagram i određen hidrogeokemijski facijes jer analize nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode ne sadrže potrebne parametre i nema mjernih postaja u monitoringu sirove vode.

Rezultati dobiveni provedenim analizama u ovome radu u velikoj se mjeri podudaraju s rezultatima prethodnih istraživanja na istome prostoru. Stoga, značajke glavnine hidrogeokemijskih facijesa odgovaraju značajkama facijesa dobivenim prethodnim analizama. Hidrogeokemijski facijesi s kalcijem i/ili magnezijem kao glavnim kationom upućuje na dominantan utjecaj otapanja karbonatnih minerala u vodonosnicima. Povišeni sadržaj natrija posljedica je trošenja minerala glina odnosno kationske zamjene Ca^{2+} iz vode s Na^{+} iz sedimenta.

S obzirom da bi se ocjena kemijskog stanja svakog pojedinog vodnog tijela, kao i procjena rizika od nepostizanja dobrog kemijskog stanja, trebala provoditi u homogenim hidrogeokemijskim područjima, predlaže se reevaluacija granica grupiranih tijela podzemne vode u kojima je određeno nekoliko različitih hidrogeokemijskih facijesa, kako u vertikalnom, tako i u horizontalnom smislu. Nadalje, predlaže se provjera svih opažačkih postaja koje se trenutno nalaze u monitoringu kako bi se dobile detaljnije informacije o dubinama i intervalima filtra. Sve navedeno predstavlja uvjet za donošenje zaključaka o kemijskom stanju podzemne vode s visokom razinom pouzdanosti koje će omogućiti održano upravljanje vodnim resursom te osigurati dovoljne količine zdravstveno ispravne vode za buduće generacije.

9. Literatura

BAČANI A., POSAVEC K., PARLOV J., ŽUBČIĆ M., KOVAČ Z., PLETIKOSIĆ N., BEDENICKI N., KLANFAR M., DVORABIĆ A., 2010. Prva faza izrade programa mjera za zaštitu i sanaciju u zonama zaštite izvorišta. Stručni elaborat, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

BRKIĆ Ž., BIONDIĆ R., KAPELJ J., KAPELJ S., MARKOVIĆ, T., 2005. Karakterizacija vodnih cjelina na Crnomorskom slivu u okviru implementacije Okvirne direktive o vodama EU. Stručni elaborat, Hrvatski geološki institut, Zagreb.

BRKIĆ Ž., LARVA O., MARKOVIĆ T., 2009. Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske. Stručni elaborat, Hrvatski geološki institut, Zagreb.

FREEZE, R. A., 1977. Groundwater, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs.

HALLE, R., 2004. Kemizam i obradba vode. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

MARKOVIĆ T., LARVA O., BRKIĆ Ž., DOLIĆ, M., KUHTA, M., 2015. Stanje podzemnih voda na vodnom području rijeke Dunav s obzirom na prirodan sadržaj metala i njihov antropogeni utjecaj. Stručni elaborat, Hrvatski geološki institut. Zagreb.

NAKIĆ Z., DADIĆ Ž., 2015. Ocjena stanja sirove vode na crpilištima koja se koriste za javnu vodoopskrbu u Republici Hrvatskoj. Stručni elaborat, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

NAKIĆ Z., RUŽIČIĆ S., POSAVEC K., MILEUSNIĆ M., PARLOV J., BAČANI A., DURN G., 2013. Conceptual model for groundwater status and risk assessment - case study of the Zagreb aquifer system. Geologia Croatica, Vol. 66, No 1.

NAKIĆ, Z., BAČANI, A., PARLOV, J., DUIĆ, Ž., PERKOVIĆ, D., KOVAČ, Z., TUMARA, D., MIJATOVIĆ, I., ŠPOLJARIĆ, D., UGRINA, I., STANEK, D., SLAVINIĆ, P., 2016. Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske. Studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

NAKIĆ, Z., PARLOV, J., PERKOVIĆ, D., KOVAČ, Z., BUŠKULIĆ, P., ŠPOLJARIĆ, D., UGRINA, I., STANEK, D., 2018. Definiranje kriterija za određivanje pozadinskih koncentracija i graničnih vrijednosti onečišćujućih tvari u tijelima podzemne vode u panonskom dijelu Hrvatske. Studija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.

PIPER, A. M., 1953. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis. Washington D.C.: United States Geological Survey.

Službeni dokumenti:

Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analiza, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/17).

Uredba o standardu kakvoće voda (NN 96/19).

Zakon o vodama (NN 66/19).

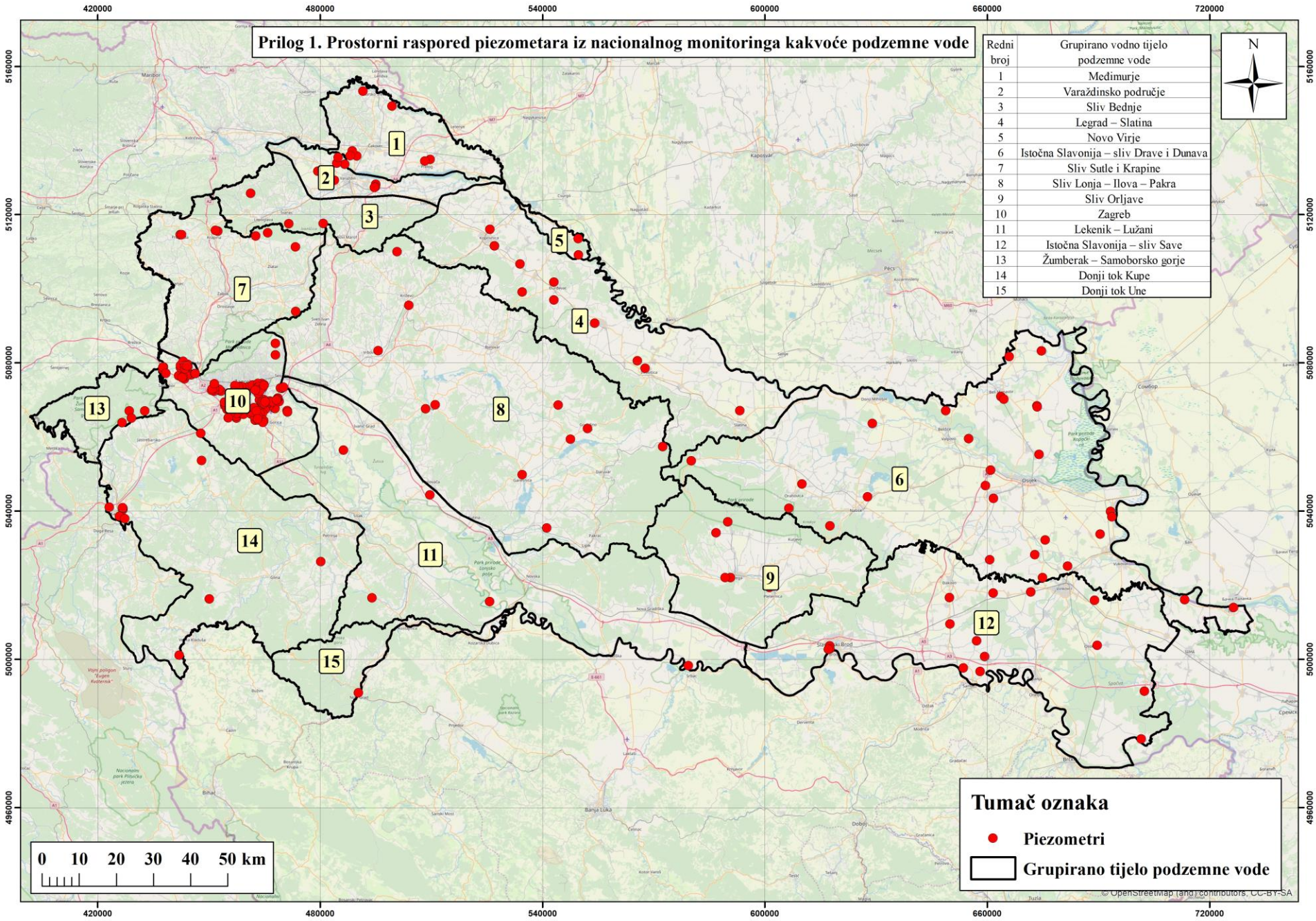
web izvori:

Piperov dijagram – (29.05.2019.)

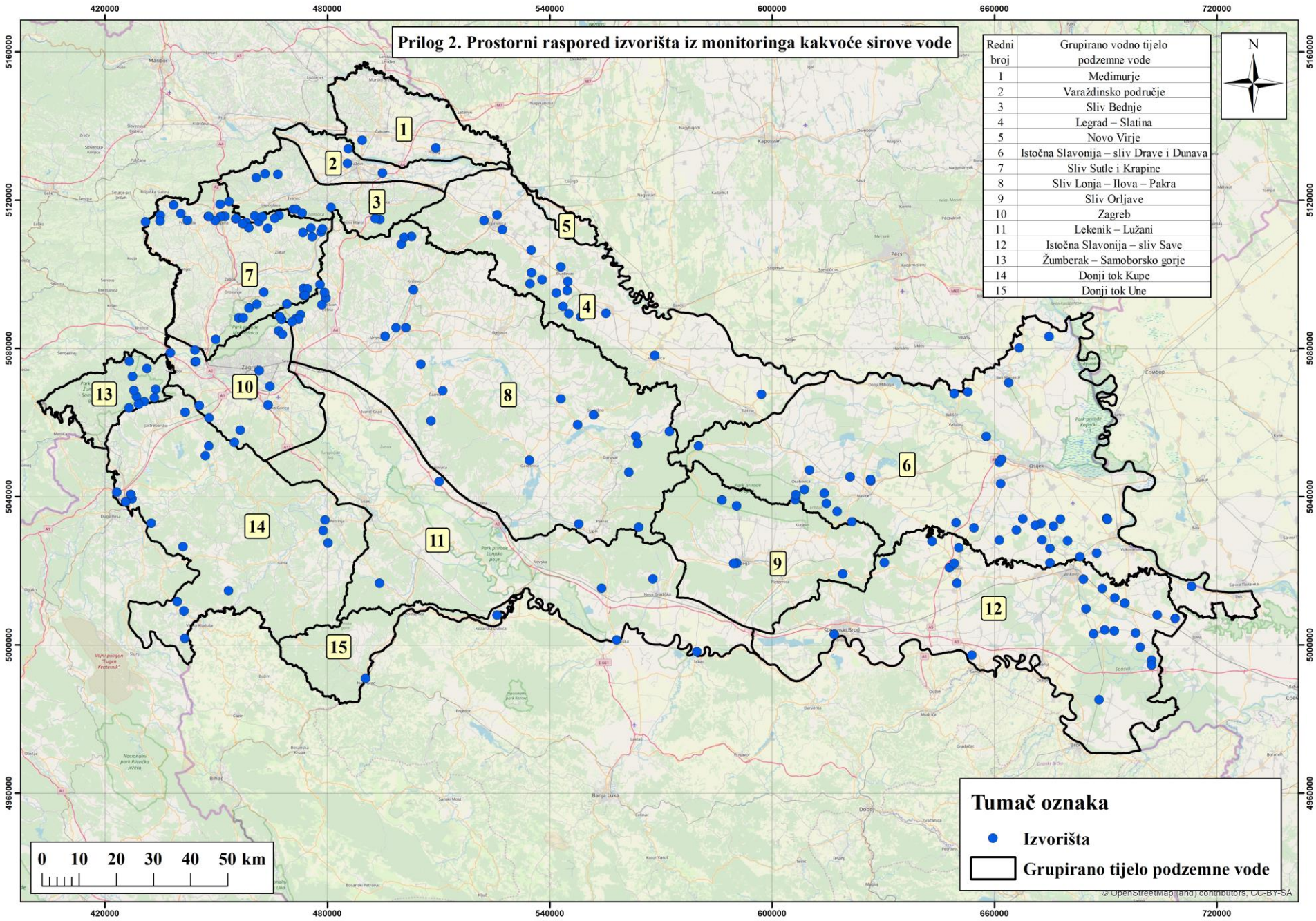
(https://nevada.usgs.gov/tech/excelforhydrology/WaterQualityTools/PiperPlot-QW.XLS)

PRILOZI

Prilog 1. Prostorni raspored piezometara iz nacionalnog monitoringa kakvoće podzemne vode



Redni broj	Grupirano vodno tijelo podzemne vode
1	Međimurje
2	Varaždinsko područje
3	Sliv Bednje
4	Legrad – Slatina
5	Novo Virje
6	Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava
7	Sliv Sutle i Krapine
8	Sliv Lonja – Ilova – Pakra
9	Sliv Orljave
10	Zagreb
11	Lekenik – Lužani
12	Istočna Slavonija – sliv Save
13	Žumberak – Samoborsko gorje
14	Donji tok Kupe
15	Donji tok Une


Prilog 2. Prostorni raspored izvorišta iz monitoringa kakvoće sirove vode
Redni broj
Grupirano vodno tijelo podzemne vode
1 Međimurje
2 Varaždinsko područje
3 Sliv Bednje
4 Legrad – Slatina
5 Novo Virje
6 Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava
7 Sliv Sutle i Krapine
8 Sliv Lonja – Ilova – Pakra
9 Sliv Orljave
10 Zagreb
11 Lekenik – Lužani
12 Istočna Slavonija – sliv Save
13 Žumberak – Samoborsko gorje
14 Donji tok Kupe
15 Donji tok Une
N
Tumač oznaka
Izvorišta
Grupirano tijelo podzemne vode
0 10 20 30 40 50 km
420000
480000
540000
600000
660000
720000
5160000
5120000
5080000
5040000
5000000
4960000
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA