

# Utjecaj klimatskih promjena na stanje podzemnih voda dubokih aluvijalnih vodonosnika u funkciji osiguranja pouzdanosti javne vodoopskrbe

---

Zima, Jasna

Doctoral thesis / Disertacija

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:133:973442>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-01**



GRAĐEVINSKI I ARHITEKTONSKI FAKULTET OSJEK  
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

Repository / Repozitorij:

[Repository GrAFOS - Repository of Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek](#)



  
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek

Poslijediplomski sveučilišni studij Građevinarstvo

Doktorska disertacija

Utjecaj klimatskih promjena na stanje  
podzemnih voda dubokih aluvijalnih  
vodonosnika u funkciji osiguranja pouzdanosti  
javne vodoopskrbe

Jasna Zima, dipl.ing.građ.

Osijek, srpanj 2019. godine



Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Civil Engineering Osijek

Postgraduate University Study Programme in Civil Engineering

Doctoral dissertation

The effect of climate changes on the ground  
water status of deep alluvial aquifers in  
function of ensuring the public water  
supply reliability

Jasna Zima, dipl.ing.građ.

Osijek, July 2019.

# Prosudbena povjerenstva i bibliografski podaci

## Povjerenstvo za prihvaćanje teme doktorske disertacije

Povjerenstvo za prihvaćanje teme doktorske disertacije imenovano na 203. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, održanoj 23. listopada 2018. godine:

1. *Prof. dr. sc. Lidija Tadić, dipl.ing. građ., Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, (predsjednica Povjerenstva)*
2. *Izv. prof. dr. sc. Marija Šperac, dipl. ing. građ., Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, (članica i mentorica)*
3. *Doc. dr. sc. Dražen Vouk, dipl. ing. građ. Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, (vanjski član)*

Tema, mentorica i komentor doktorske disertacije prihvaćeni su odlukom Fakultetskog vijeća Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku na 204. redovitoj sjednici održanoj 27. studenoga 2018. godine.

## Povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije

Povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije imenovano na 213. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, održanoj 18. lipnja 2019 godine:

1. *Prof. dr. sc. Lidija Tadić, dipl. ing. građ., Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, (predsjednica Povjerenstva)*
2. *Izv. prof. dr. sc. Marija Šperac, dipl. ing. građ., Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, (članica i mentorica)*
3. *Izv. prof. dr. sc. Željko Duić, dipl. ing. geol., Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko- geološko-naftni fakultet, (vanjski član i komentor)*
4. *Doc. dr. sc. Dražen Vouk, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, (vanjski član)*
5. *Dr. sc. Kosta Urumović, dipl. ing. geol., Hrvatski geološki institut, (vanjski član)*

Doktorska disertacija prihvaćena je odlukom Fakultetskog vijeća Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku na 214. redovitoj sjednici održanoj 9. srpnja 2019. godine.

### **Povjerenstvo za obranu doktorske disertacije**

Povjerenstvo za obranu doktorske disertacije imenovano na 214. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, održanoj 9. srpnja 2019. godine:

1. *Prof. dr. sc. Lidija Tadić, dipl.ing. građ., Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, (predsjednica Povjerenstva)*
2. *Izv. prof. dr. sc. Marija Šperac, dipl. ing. građ., Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, (članica i mentorica)*
3. *Izv.prof. dr. sc. Željko Duić, dipl. ing. geol., Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko- geološko-naftni fakultet (vanjski član i komentor)*
4. *Doc. dr. sc. Tamara Brleković, mag. ing. aedif, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, (članica)*
5. *Dr. sc. Kosta Urumović, dipl. ing. geol. Hrvatski geološki institut, (vanjski član)*

Doktorska disertacija javno je obranjena 17. srpnja 2019. godine na Građevinskom i arhitektonskom fakultetu Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

Doktorska disertacija sadržava 179 stranica, 87 slika, 26 tablica i 132 citiranih publikacija.

Mentorica doktorske disertacije je *izv. prof. dr. sc. Marija Šperac, dipl. ing. građ., Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek.*

Komentor doktorske disertacije je *izv. prof. dr. sc. Željko Duić, dipl. ing. geol., Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.*

Istraživanje u okviru doktorske disertacije pripada znanstvenom području tehničkih znanosti, znanstvenom polju građevinarstvo.

## **Izjava o akademskoj čestitosti**

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je doktorska disertacija isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno prepisan iz necitiranog rada te kako nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem kako nisam prijavila doktorsku disertaciju s istovjetnom temom na drugom studiju Sveučilišta ili na drugom sveučilištu.

Osijek, srpanj 2019.g.

JASNA ZIMA





# PREDGOVOR

Početak 21. stoljeća u okolišnom smislu obilježila je tema o globalnoj promjeni klime. Na tu temu provedeno je niz istraživanja te izrađeno niz prognostičkih modela i globalnog i regionalnog karaktera kojima se prognozira dinamika i trend klimatskih promjena.

Projekcije budućeg stanja klime pokazuju kako će se trend klimatskih promjena nastaviti i u budućnosti i to sa izraženom pojavnošću ekstremnih klimatskih elemenata.

Budući da promjene hidroloških klimatskih elemenata izravno utječu na obnavljanje i stanje podzemnih voda pa posljedično i na stabilnost i pouzdanost javne vodoopskrbe oslonjene na podzemne vode, provela sam znanstveno istraživanje međusobne interakcije vodonosnika kao prirodnog sustava i javne vodoopskrbe kao izgrađenog sustava u uvjetima prognoziranih klimatskih promjena. Obzirom na nepredvidljivost prirodnih događaja, pa slijedom toga i nesigurnost prognoziranja klimatskih promjena, istraživački sam provjerila reakciju vodonosnika i u uvjetima hipotetskog katastrofičnog scenarija višegodišnjeg niza ekstremno malovodnih godina.

Nit vodilja moga istraživanja jest kako i u uvjetima ekstremnih klimatskih promjena osigurati dovoljnu količinu vode za ljudsku potrošnju.

Istraživanje sam radila na primjeru osječkog crpilišta Vinogradi, crpilišta regionalnog značaja, na kojemu se zahvaća podzemna voda iz dubokih aluvijalnih vodonosnika te opskrbljuje vodom za ljudsku potrošnju preko 125.000 stanovnika centralnog dijela Osječko baranjske županije.

U istraživanju mi je od neprocjenjivog značaja bio bogati fond podataka sa lokacije crpilišta Vinogradi kojim raspolaže Vodovod Osijek, a odnose se na crpne količine, nivoe podzemnih voda te na kakvoću podzemnih voda. Navedeni podaci prikupljeni su kontinuirano tijekom eksploatacije crpilišta od 1984.g. do danas.

Obzirom da je sustav vodoopskrbe izuzetno trom i kompleksan sustav, istražujući reakciju na ekstremne klimatske promjene, namjera mi je bila doći do znanstvenih spoznaja koje će biti temelj za donošenje odluka o pravovremnom poduzimanju mjera za spriječavanje ugroze javne vodoopskrbe u uvjetima klimatskih ekstrema.



# SAŽETAK

Predmet ovoga istraživanja je reakcija prirodnog sustava – dubokog aluvijalnog vodonosnika i izgrađenog sustava – sustava javne vodoopkrbe na klimatske ekstreme oborinskog režima i režima temperature zraka sa stajališta osiguranja dovoljnih količina zdravstveno ispravne vode za potrebe javne vodoopkrbe. Osnovni cilj ovoga istraživanja usmjeren je prema bilanciranju vodnih zaliha u funkciji osiguranja pouzdanosti i stabilnosti javne vodoopkrbe u uvjetima klimatskih ekstrema.

Istraživanje je provedeno temeljem podataka o radu crpilišta Vinogradi i podataka prikupljenih sa izgrađene piezometarske mreže u zoni Crpilišta u razdoblju eksploatacije (od 1984. do 2015.g.) te mjerodavnih povijesnih podataka o količinama oborina i temperaturi zraka u istom razdoblju za promatrano područje. Crpilište Vinogradi je najveće crpilište u Republici Hrvatskoj na kojem je zahvaćen duboki aluvijalni vodosnik. Na crpilište Vinogradi je oslonjen javni vodoopkrbni sustav putem kojeg se osigurava voda za ljudsku potrošnju za oko 125.000 stanovnika. Slijedom toga, za područje istraživanja je odabrano šire područje grada Osijeka.

U radu su analizirane razine podzemne vode u navedenom razdoblju, zahvaćene količine podzemne vode te podaci o kakvoći podzemne vode u istom razdoblju. Analizirane su uzročno posljedične veze između pojave ekstremnih deficitarnih oborinskih odstupanja i s tim svezi pozitivnih ekstremnih odstupanja temperature zraka te stabilnosti javne vodoopkrbe oslonjene na duboke aluvijalne vodonosnike.

Budući je dosadašnjim istraživanjima dokazano da je napajanje osječčkog vodonosnika, iz kojega se zahvaća voda na crpilištu Vinogradi, isključivo putem infiltracije oborina, u radu je istražena varijabilnost oborina i s tim u svezi reakcija vodonosnika i vodoopkrbnog sustava na isto.

U radu su opisane promjene količina oborina u razdoblju od 1980. do 2015.g te promjene temperature zraka u istom razdoblju. Zatim su utvrđene ekstremno sušne i ekstremno tople godine u navedenom razdoblju te se za takve uvjete napajanja i potrošnje vode provjerila reakcija vodonosnika u smislu oscilacija razina podzemne vode i reakcija vodoopkrbnog sustava u smislu varijacija količine crpljenja i isporuke vode potrošačima.

U cilju utvrđivanja reakcije vodonosnika na uvjete višegodišnjeg niza malovodnih godina sa istovremenim ekstremnim povećanjem temperature zraka provedeno je modeliranje strujanja podzemne vode programskim paketom AnAqSim koji je zbog svoje robustnosti i mogućnosti da vrlo brzom obradom ponudi različita varijantna rješenja odabran kao primjereno sučelje za provjeru globalne reakcije vodonosnika i s tim u svezi reakciju javne vodoopskrbe na simulirani scenarij drastičnog pogoršanja klimatskih uvjeta.

Simulirala se situacija petogodišnjeg niza ekstremno hidrološki deficitarnih uvjeta napajanja uz povećanje potreba za vodom. Provjerom ponašanja vodonosnika, modeliranjem toka podzemne vode u uvjetima petogodišnjeg oborinskog deficita, potvrđeno je kako niti dugogodišnja ekstremno sušna razdoblja ne ugrožavaju Crpilište do te mjere da bi se dovela u pitanje vodoopskrba.

Temeljem provedene analize i rezultata dosadašnjih istraživanja trendova klimatskih promjena, dane su prognoze budućih klimatskih promjena kako na globalnoj razini tako i regionalno.

Slijedom provedenog istraživanja te donesenih zaključaka predložena je metodologija određivanja klimatskih utjecaja na stabilnost javne vodoopskrbe oslonjene na aluvijalne vodonosnike i dane su smjernice za ublažavanje negativnog utjecaja očekivanih klimatskih promjena.

Ključne riječi: podzemne vode, duboki aluvijalni vodonosnik, javna vodoopskrba, crpilište Vinogradi, grad Osijek, klimatske promjene.

# ABSTRACT

Subject of this research is the reaction of (1) natural system – deep alluvial aquifers and (2) built system – system of public water supply, on climate extremes of rainfall regime and air temperature regime from the point of ensuring a sufficient quantity of sanitary approved water for the purpose of public water supply. The basic aim of this research was directed to balancing the water resources in function of ensuring the reliability and stability of public water supply in conditions of climate extremes.

The research is carried out based on operation data of well field Vinogradi and groundwater level data collected from the piezometer network in the zone of sanitary protection of Well field, in the period of exploitation from 1984 to 2015, and applicable history data about rainfall quantities and air temperature in the same period, for the researched observed area. The Well field Vinogradi is the largest well field in the Republic of Croatia in which the deep alluvial aquifer is used for abstraction. The public water supply for about 125.000 inhabitants relies on the well field Vinogradi. Subsequently, the wider area of the City of Osijek was selected as research area.

In this research, groundwater levels, as well as the pumping rates and groundwater quality data were analyzed, through the mentioned period. Causal connections between extreme rainfall deviations and positive extreme air temperature deviations occurrence were also analyzed, as well as the stability of public water supply which relies on deep alluvial aquifer.

Since the former researches have proved that the recharge of Osijek aquifer is ensured exclusively by rainfall infiltration, this thesis studies the rainfall variability, and subsequently – reaction of the aquifer and water supply system.

This thesis describes the changes of rainfall quantities as well as air temperature changes in the period from 1980 to 2015 are described. Next extreme dry and extreme warm years in that period were defined. After that, the reaction of aquifer was checked for water supply and consumption needs, in terms of fluctuations of ground water levels and reaction of water supply system in terms of variations of pumping rates and water delivery to consumers.

With aim to define the reaction of aquifer in the conditions of multiannual sequence, with low water levels and with extreme increase of air temperature at the same time, simulation of underground water flow was performed using the software package AnAqSim.

Because of its robustness and ability to deliver different variable solutions (with very high effectivity), this application package was chosen as appropriate interface to control the global reaction of aquifer and, in this respect, reaction of public water supply on simulated scenario of drastic aggravation of climatic conditions.

The situation of 5-years of hydrologically extremely low recharge conditions, along with an increase of water demand conditions was simulated. Through the simulation of aquifer reaction in groundwater flow model, the thesis that not even long term extremely dry periods do not pose a threat to the wellfield nor to the public water supply was confirmed.

Based on analyses and results of previous researches of climate changes trends, the prognoses of future climate changes, both on global and on regional level are given.

Subsequently to the research and to the adopted conclusions, the methodology for defining climate influence on stability of public water supply which relies on alluvial aquifer is proposed. Also, the guidelines for mitigation of negative effects regarding expected climate changes are given.

Key words: groundwater, deep alluvial aquifers, public water supply, well field Vinogradi, city of Osijek, climate changes



# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Hipoteze i ciljevi rada.....	2
1.2. Pregled prethodnih istraživanja .....	3
2. METODE ISTRAŽIVANJA I KORIŠTENI PODACI .....	8
2.1. Uvod .....	8
2.2. Podaci o oborinama i temperaturama zraka .....	8
2.3. Opažanje razina podzemnih voda.....	9
2.4. Opažanje kakvoće podzemnih voda .....	16
2.5. Metode istraživanja .....	17
2.6. Model strujanja podzemnih voda .....	18
3. JAVNA VODOOPSKRBA.....	20
3.1. Uvod.....	20
3.2. Povijesni pregled .....	21
3.3. Pravo na vodu.....	22
3.4. Priključenost stanovništva na javnu vodoopskrbu.....	24
3.5. Potrošnja vode .....	29
4. PRIRODNE ZNAČAJKE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA .....	35
4.1. Geografski položaj .....	35
4.2. Hidrogeološke značajke.....	39
4.2.1. Uvod .....	39
4.2.2. Hidrogeološke karakteristike sjeverne Hrvatske .....	40
4.2.3. Dravski aluvijalni vodonosnik.....	42
4.2.4. Vodno tijelo „Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava“ .....	44
4.2.5. Napajanje vodonosnika .....	50
4.2.6. Kakvoća podzemne vode u vodonosnicima sjeverne Hrvatske.....	52
4.3. Hidrološki parametri.....	53



4.4.	Crpilište Vinogradi .....	55
4.5.	Klimatska obilježja.....	59
4.5.1.	Uvod .....	59
4.5.2.	Klimatska obilježja Hrvatske .....	60
4.5.3.	Meteorološka motrenja.....	63
5.	KLIMATSKE PROMJENE.....	65
5.1.	Uvod.....	65
5.2.	Globalni klimatski modeli .....	68
5.2.1.	Simulacija promjene temperature zraka .....	69
5.2.2.	Simulacija promjene količina oborina.....	70
5.3.	Klimatski modeli za područje Hrvatske .....	71
5.3.1.	Opažene klimatske promjene u Hrvatskoj.....	72
5.3.2.	Simulacije promjene temperature zraka .....	73
5.3.3.	Simulacije promjene količine oborina.....	75
6.	REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA.....	81
6.1.	Analiza klimatskih faktora .....	81
6.1.1.	Oborine.....	81
6.1.2.	Temperatura zraka .....	96
6.1.3.	Klimatski ekstremi oborina i temperature zraka.....	100
6.2.	Crpne količine .....	107
6.3.	Opažanje razina podzemnih voda.....	114
6.4.	Modeliranje strujanja podzemnih voda .....	131
6.5.	Kakvoća podzemnih voda .....	141
6.6.	Strateški značaj dubokih aluvijalnih vodonosnika .....	151
6.7.	Metodologija istraživanja .....	153
7.	OSIGURANJE STABILNOSTI JAVNE VODOOPSKRBE .....	156
8.	ZAKLJUČAK.....	160

LITERATURA.....	164
ŽIVOTOPIŠ.....	177



## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Geografski položaj zdenaca i piezometarskih bušotina na crpilištu Vinogradi (Fond dokumenata Vodovod Osijek)

Slika 2.2. Presjek jednog karakterističnog piezometarskog gnijezda (Fond dokumenata Vodovod Osijek)

Slika 2.3. Shematski prikaz prostornog pozicioniranja piezometarskih gnijezda Pz 3, Pz 5 i Pz 6 i piezometarske bušotine Pz 8 u odnosu na centar Crpilišta (Fond dokumenata Vodovod Osijek)

Slika 3.1. Globalna bilanca voda ( izvor: Kruženje vode u zemljinom sustavu, Gereš, 2004)

Slika 3.2. Vodoopskrbno područje Vodovoda Osijek (izvor: Projekt, Uspostava tehničkog informacijskog sustava vodoopskrbe na području Osijek – Čepin – Dalj i izrada programa upravljanja gubicima vode, Hidroing d.o.o. Osijek, 2018.)

Slika 3.3. Prosječna potrošnja pitke vode u RH po stanovniku (izvor: <https://www.kcvode.hr/racionalno-gospodarenje-pitkom-vodom/>)

Slika 3.4. Odnos isporučene vode u sustav i vode isporučene korisnicima u razdoblju 2008.-2018.g.

Slika 3.5. Zahvaćena voda u razdoblju 2008.-2018.g. u odnosu na zahvaćenu vodu 2018.g.

Slika 4.1. Struktura pokrova zemljišta (Plan upravljanja vodnim područjima 2016.-2021., Vlada Republike Hrvatske, 2016)

Slika 4.2. Način korištenja zemljišta u grupiranom vodnom tijelu Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava (CORINE, 2012; AZO, 2013)

Slika 4.3. Položaj Osječko baranjske županije u RH (<http://www.obz.hr/>)

Slika 4.4. Pregledna hidrogeološka karta Hrvatske (Mayer, 1996), Oznake: A-područje sjeverne Hrvatske koje je pretežito izgrađeno od klastičnih sedimentnih stijena, B-područje jugozapadne i južne Hrvatske - hrvatski krš koje je pretežito izgrađeno od karbonatnih stijena (vapnenaca i dolomita)

Slika 4.5. Shematski hidrogeološki profil dravskog aluvijalnog vodonosnika (Rudarsko geološko nafni fakultet, 2016.)

Slika 4.6. Regionalni ocrtni hidroizohipsi (Rudarsko geološko nafni fakultet, 2016.)

Slika 4.7. Prostiranje glavnih hidrogeoloških značajki osnovnih vodonosnika u grupiranom vodnom tijelu Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava (Rudarsko geološko nafni fakultet, 2016.)

Slika 4.8. Shematski hidrogeološki profil u grupiranom vodnom tijelu Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava (Rudarsko geološko nafni fakultet, 2016.)

Slika 4.9. Shematski hidrogeološki profil u grupiranom vodnom tijelu Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava (Rudarsko geološko nafni fakultet, 2016.)

Slika 4.10. Profil kvartarnih naslaga zahvaćenih zdencima Crpilišta Vinogradi (Fond dokumenata Vodovoda Osijek)

Slika 4.11. Debljina krovinskih naslaga aluvijalnih vodonosnika u sjevernoj Hrvatskoj (Plan upravljanja vodnim područjima 2016.-2021., 2016.)

Slika 4.12. Fotografski snimak Crpilišta Vinogradi (Fond dokumenata Vodovoda Osijek, 2000.)

Slika 4.13. Kolebanje razine podzemne vode po profilu vodonosnika na lokaciji piezometarskoga gnijezda Pz-7 (Duić Ž., 2007)

Slika 4.14. Geografska raspodjela klimatskih razreda po Köppenovoj podjeli klima: A-tropske kišne klime, B-suhe klime, C – umjereno tople kišne klime, D--snježno-šumske ili borealne klime, E- snježne klime (Köppen, 1918.; Geiger i dr., 1954.)

Slika 4.15. Geografska raspodjela klimatskih tipova po W. Köppenu u Hrvatskoj u standardnom razdoblju 1961.-1990.: Cfa, umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetom; Cfb, umjerena topla vlažna klima s toplim ljetom; Csa, sredozemna klima s vrućim ljetom; Csb, sredozemna klima s toplim ljetom; Df, vlažna borealna klima (Filipčić, 1998).

Slika 4.16. Srednja godišnja temperatura zraka za razdoblje 1961-1990.g. (Nimec i dr., 2015)

Slika 4.17. Karta prosječnih godišnjih oborina u RH (Klimatski atlas RH, 2008)

Slika 4.18. Meteorološke postaje za ocjenu i praćenje klime (DHMZ, [www.meteo.hr](http://www.meteo.hr), 2018-2019)

Slika 5.1. Globalna temperaturna promjena kao rezultat zajedničkog utjecaja prirodnih promjena i antropogenog utjecaja (izvor: ClimateChange 2001. Synthesis Report: Intergovernmental panel on Climate Change)

Slika 5.2. Globalna kombinirana površinska temperatura zraka iznad kopna i površinska temperatura mora (°C). Horizontalna siva crta označava vrijednost višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1961.-1990.g. (14°C). (WMO, 2013)

Slika 5.3. Promjena srednjih godišnjih vrijednosti do konca 21. stoljeća za globalnu površinsku temperaturu u odnosu na referentno razdoblje 1986. – 2005. Sjenčana područja odnose se na scenarij RCP2.6 (plavo) i RCP8.5 (crveno). Crna krivulja (sivo sjenčanje) je simulacija vremenske evolucije povijesnih podataka do 2005.g. (IPCC, 2013.)

Slika 5.4. Prostorna razdioba promjene temperature za 2081.-2100.g. u odnosu na 1986.-2005.g.; lijevo za RCP 2.6, desno za RCP 8.5 (IPCC, 2013)

Slika 5.5. Prostorna razdioba promjene OBORINA za 2081.-2100. u odnosu na 1986.-2005.; lijevo za RCP2.5, desno za RCP8.5 (IPCC, 2013.)

Slika 5.6. Dekadni trendovi (%/10god) godišnjih količina oborine (R, godina). Krugovi označavaju pozitivne trendove, trokuti negativne, dok popunjeni znakovi označavaju statistički značajan trend (Šesto nacionalno izvješće Republike Hrvatske, 2013)

Slika 5.7. Promjena prizemne temperature zraka (u °C) u Hrvatskoj u razdoblju 2011.-2040. u odnosu na razdoblje 1961.-1990. prema rezultatima srednjaka ansambla regionalnog klimatskog modela RegCM za A2 scenarij emisije plinova staklenika za zimu (lijevo) i ljeto (desno) (DHMZ, <https://meteo.hr/>)

Slika 5.8. Promjena prizemne temperature zraka (u °C) u Hrvatskoj u razdoblju 2041.-2070. u odnosu na razdoblje 1961.-1990. prema rezultatima srednjaka ansambla regionalnog klimatskog modela RegCM za A2 scenarij emisije plinova staklenika za zimu (lijevo) i ljeto (desno) (DHMZ, <https://meteo.hr/>)

Slika 5.9. Promjena oborine u Hrvatskoj (u mm/dan) u razdoblju 2011.-2040. u odnosu na razdoblje 1961.-1990. prema rezultatima srednjaka ansambla regionalnog klimatskog modela RegCM za A2 scenarij emisije plinova staklenika za jesen (DHMZ, <https://meteo.hr/>)

Slika 5.10. Promjena oborine u Hrvatskoj (u mm/dan) u razdoblju 2041.-2070. u odnosu na razdoblje 1961.-1990. prema rezultatima srednjaka ansambla regionalnog klimatskog modela RegCM za A2 scenarij emisije plinova staklenika za zimu (lijevo) i ljeto (desno) (DHMZ, <https://meteo.hr/>)

Slika 6.1. Karta srednjih godišnjih količina oborina; 1 - < 800, 2 – 800-1000, 3 – 1000-1500, 4 – 1500-2000, 5 – 2000-3000, 6 - > 3000 (Mayer, 1996.)

Slika 6.2. Srednje mjesečne oborine u mm za Osijek za razdoblje 1961.-1990., 1971.-2000., 1980.-2015. i 1899.-2017.

Slika 6.3. Klimadijagram za Osijek za srednjake oborina i temperature zraka

Slika 6.4. Ukupne godišnje oborine za Osijek za razdoblje 1980.-2015.g.

Slika 6.5. Godišnje količine oborina u postocima višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1961.-1990.g. za Hrvatsku za 2000.g. (izvor: DHMZ, 2001.).

Slika 6.6. Mjesečne oborine za Osijek u 2000.g. i srednje mjesečne oborine za Osijek za razdoblje 1899.-2017.g.

Slika 6.7. Klimadijagram za Osijek za 2000.g.

Slika 6.8. Godišnje količine oborina u postocima višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1961.-1990.g. za Hrvatsku za 2003.g. (DHMZ, 2004.)

Slika 6.9. Mjesečne oborine za Osijek u 2003.g. i srednje mjesečne oborine za Osijek za razdoblje 1899.-2017.g.

Slika 6.10. Klimadijagram za Osijek za 2003.g.

Slika 6.11. Godišnje količine oborina u postocima višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1961.-1990.g. za Hrvatsku za 2011.g. (DHMZ, 2012.)

Slika 6.12. Mjesečne oborine za Osijek u 2011.g. i srednje mjesečne oborine za Osijek za razdoblje 1899.-2017.

Slika 6.13. Klimadijagram za Osijek za 2011.g.

Slika 6.14. Odstupanje srednje godišnje temperature zraka °C za 2000.g. od prosječnih 1961.-1990.(DHMZ, 2001)

Slika 6.15. Odstupanje srednje godišnje temperature zraka °C za 2003.g. od prosječnih 1961.-1990. ( DHMZ, 2004)

Slika 6.16. Odstupanje srednje godišnje temperature zraka °C za 2011.g. od prosječnih 1961.-1990. (DHMZ, 2012)

Slika 6.17. Trendovi oborina za razdoblje 1980.-1997., 1998.-2015. i 1980.-2015.g.

Slika 6.18 Ekstremne klimatske godine po kriteriju oborina i temperature zraka u Osijeku za razdoblje 1996.-2015.g.

Slika 6.19. Ukupne crpne (zahvaćene) količine vode od 1984. do 2015.g.

Slika 6.20. Intenzitet crpljenja vode u 2000.g.

Slika 6.21. Intenzitet crpljenja vode u 1999. i 2000.g

Slika 6.22. Intenzitet crpljenja u 2003.g.

Slika 6.23. Intenzitet crpljenja u 2002. i 2003.g.

Slika 6.24. Intenzitet crpljenja u 2011.g.

Slika 6.25. Intenzitet crpljenja u 2010. i 2011.g.

Slika 6.26. Korelacija crpnih količina i godišnjih oborina u razdoblju od 1984-2015.g.

Slika 6.27. Kolebanje razina podzemnih voda od 1984. do 2015.g

Slika 6.28. Kolebanje razina podzemnih voda u Pz 3, Pz 5, Pz 6 i Pz 8 u razdoblju 1984.-2015.g.

Slika 6.29. Kolebanje razina podzemnih voda u Pz 3, Pz 6 i Pz 8 u razdoblju 1997.-2015.g.

Slika 6.30. Kolebanje razina podzemnih voda u Pz 3 u razdoblju 1997.-2015 .

Slika 6.31. Kolebanje razina podzemnih voda u Pz 8 u razdoblju 1997.-2015 .



Slika 6.32. Kolebanje razina podzemnih voda Pz 3 i Pz 8 tijekom 2000. i 2001.g.

Slika 6.33 Kolebanje razina podzemnih voda Pz 3 i Pz 8 tijekom 2003. i 2004.g.

Slika 6.34. Kolebanje razina podzemnih voda Pz 3 i Pz 8 tijekom 2011. i 2012.g.

Slika 6.35. Kolebanje razina podzemne vode u piezometrima Pz 3, 3A, 5, 5A, 6 i 6A u razdoblju 1997.-2015.g.

Slika 6.36. Kolebanje razina podzemne vode u piezometrima Pz 3 i 3A i 6 i 6A u razdoblju 1997.-2015.

Slika 6.37. Kalibracija modela usporedbom opažanih i računatih razina podzemne vode na kontrolnim piezometrima za 1997.g.

Slika 6.38. Kalibracija modela usporedbom opažanih i računatih razina podzemne vode na kontrolnim piezometrima za 2000 g.

Slika 6.39. Konturna karta piezometarskih razina konstruirana simulacijom rada Crpilišta Vinogradi

Slika 6.40. Konturna karta piezometarskih razina konstruirana simulacijom rada Crpilišta Vinogradi za slučaj ekstremno sušne godine (2000.g.)

Slika 6.41. Konturna karta piezometarskih razina modeliranog hipotetskog strujanja u vodonosniku za slučaj višegodišnjeg (simulirano 5 godina) ekstremno sušnog razdoblja (godišnja oborina ne prelazi 314 mm) uz povećanje crpnih količina za 15%.

Slika 6.42. Koncentracije željeza u podzemnoj vodi uzorkovanoj na crpilištu Vinogradi u razdoblju 1984.- 2015.g.

Slika 6.43. Koncentracije mangana u podzemnoj vodi uzorkovanoj na crpilištu Vinogradi u razdoblju 1984.-2015.g.

Slika 6.44. Koncentracije amonijaka u podzemnoj vodi uzorkovanoj na crpilištu Vinogradi u razdoblju 1984.-2015.g.

Slika 6.45. Koncentracije nitrata u podzemnoj vodi uzorkovanoj na crpilištu Vinogradi u razdoblju 1984.-2015.g.

Slika 6.46. Korelacija koncentracije željeza u podzemnoj vodi i godišnjih oborina u razdoblju od 1984.-2015.g.

Slika 6.47. Korelacija koncentracije mangana u podzemnoj vodi i godišnjih oborina u razdoblju od 1984.-2015.g.

Slika 6.48. Korelacija koncentracije amonijaka u podzemnoj vodi i godišnjih oborina u razdoblju od 1984.-2015.g.

Slika 6.49. Korelacija koncentracije nitrata u podzemnoj vodi i godišnjih oborina u razdoblju od 1984.-2015.g.

Slika 6.50. Strateške rezerve podzemnih voda (Strategija upravljanja vodama, NN 91/2008.)

Slika 7.1. Mehanizam djelovanje klimatskih promjena na javnu vodoopskrbu i mjere ublažavanja posljedica

## POPIS TABLICA

Tablica 3.1. Priključenost stanovništva Republike Hrvatske na javnu vodoopskrbu (izvor: HZJZ, Izvještaj o zdravstvenoj ispravnosti vode za ljudsku potrošnju u Republici Hrvatskoj za 2017.g.)

Tablica 3.2. Broj stanovnika prema popisu iz 2011.g. na vodoopskrbnom području Vodovoda Osijek

Tablica 3.3. Prosječna potrošnja vode u gradu Osijeku i prigradskim naseljima

Tablica 3.4. Zahvaćena voda na crpilištu Vinogradi, isporučena voda u sustav i voda isporučena korisnicima za razdoblje 2008.-2018.g.

Tablica 3.5. Usporedba zahvaćenih količina tijekom razdoblja 2008-2018.g. sa količinom zahvaćenom 2018.g.

Tablica 4.1. Udio pokrova zemljišta u grupiranom vodnom tijelu istočne Slavonije

Tablica 5.1. Projekcija klime u Republici Hrvatskoj do 2040. godine s pogledom do 2070. (izvor: Sedmo nacionalno izvješće i treće dvogodišnje izvješće Republike Hrvatske prema okvirnoj konvenciji ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC), 2014)

Tablica 5.2. Projekcija klime u Republici Hrvatskoj do 2040. godine s pogledom do 2070. (izvor: Sedmo nacionalno izvješće i treće dvogodišnje izvješće Republike Hrvatske prema okvirnoj konvenciji ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC), 2014)

Tablica 6.1. Srednjaci oborina za šire područje Osijeka

Tablica 6.2. Ukupne mjesečne oborine za Osijek za razdoblje 1980.-2015.g. (izvor DHMZ)

Tablica 6.3. Odstupanje godišnje oborine i temperature zraka u 2000., 2003. i 2011.g.

Tablica 6.4. Hidrološki parametri niza godišnjih oborina za razdoblje 1980.-2015., podrazdoblje 1980.-1997. i podrazdoblje 1998.-2015.

Tablica 6.5. Malovodne i kišne godine u razdoblju od 1980. do 2015.g. za Osijek (izvor podataka: DHMZ, Prikazi od br. 1 do 29.)

Tablica 6.6. Sumarno odstupanje količina oborina(godišnjih) od srednjaka 61-90

Tablica 6.7. Osnovne karakteristike piezometaraskih gnijezda Pz 3, Pz 5, Pz 6 i Pz 8

Tablica 6.8. Minimalne i maksimalne razine, razlika max i min razina, aritmetička sredina, standardna devijacija te koeficijent varijacije za Pz 3, Pz 5, Pz 6 i Pz 8 u razdoblju 1984.-2015.g

Tablica 6.9. Minimalne i maksimalne razine, razlika max i min razina, aritmetička sredina, standardna devijacija te koeficijent varijacije za Pz 3, Pz 5, Pz 6 i Pz 8 u razdoblju 1997.-2015.g.

Tablica 6.10. Usporedba najvažnijih hidroloških parametara kolebanja razina podzemne vode u Pz 3 i Pz 8 u razdoblju 1997.-2015.g.

Tablica 6.11. Usporedba hidrološki parametara za Pz 3 i Pz 8 u godinama 2000.-2001., 2003.-2004., 2011.-2012. i razdoblju 1997.-2015.g.

Tablica 6.12. Hidrološki parametri za piezometre 3 i 3A te 6 i 6A u razdoblje 1997.-2015.g.

Tablica 6.13. Koeficijenti korelacije za razine podzemnih voda u Pz 3 i 3A te Pz 6 i 6A za razdoblje 1997.-2015.g.

Tablica 6.14. Koeficijenti korelacije količine oborina i razina podzemne vode u Pz 3 i 3A te Pz 6 i 6A u razdoblju 1997.-2015.g.

Tablica 6.15. Maksimalne i minimalne razine podzemnih voda u Pz 3, Pz 5, Pz 6 i Pz 8 u razdoblju 1997.-2015.g.

Tablica 6.16. Koncentracije Fe, Mn, NH<sub>4</sub> i NO<sub>3</sub> u razdoblju 1984.-2015.g.

Tablica 6.17. Korelacijski faktori između prosječnih godišnjih koncentracija željeza, mangana, amonija i nitrata u podzemnoj vodi i količina godišnjih oborina u razdoblju 1984.-2015.g.

Tablica 6.18. Korelacijski faktori između prosječnih godišnjih koncentracija nitrata u podzemnoj vodi i količina godišnjih oborina sa odmakom od 12 mjeseci u razdoblju 1984.-2015.g.



## 1. UVOD

Bilanciranje vodnih zaliha u funkciji osiguranja pouzdanosti i stabilnosti javne vodoopskrbe u uvjetima klimatskih ekstrema predstavlja važan znanstveni izazov.

U ovom radu se razmatrala otpornost dubokog aluvijalnog vodonosnika kao prirodnog sustava te otpornost vodoopskrbnog sustava kao izgrađenog sustava na intenziviranje pojava kritičnih hidroloških uvjeta i klimatskih ekstrema. Središnja tema ove disertacije su raspoložive zalihe i reakcije podzemnih voda dubokih aluvijalnih vodonosnika u uvjetima klimatskih promjena sa stajališta osiguranja dovoljnih količina vode za potrebe javne vodoopskrbe.

Za istraživanje koristili su se povijesni podaci o razinama i kvaliteti vode prikupljeni tijekom 30-godišnje eksploatacije (1984.-2015.g.) crpilišta Vinogradi u Osijeku na kojemu se zahvaća voda iz dubokog aluvijalnog vodonosnika. Crpilište Vinogradi kapaciteta je 720 l/s iz ukupno 18 zdenaca. Podaci su prikupljeni na lokaciji zdenaca smještenih u liniju dužine 1,2 km te na lokaciji 64 piezometarske bušotine smještene u krugu 5 km od linije zdenaca.

Sustavi podzemnih voda uglavnom su u interakciji s drugim komponentama prirodnog i ljudskog okoliša. Sa socioekonomskog gledišta, prisutnost produktivnih vodonosnika može potaknuti razvoj i ublažiti siromaštvo u zemljama s niskim prihodima osiguravanjem vode za javnu vodoopskrbu i održivo navodnjavanje, povećavajući učinkovitosti korištenja zemljišta. Ovo naglašava potrebu za cjelovitim i interdisciplinarnim istraživanjima koji povezuju podzemnu vodu s klimatskim, društvenim i ekonomskim znanostima (Stigter i dr., 2017). U okolnostima široke dostupnosti informacija (Loch i dr., 2013), i za znanstvenike i za javnost javljaju se izazovi kako u dostupnim informacijama prepoznati one koje su relevantne i pouzdane.

Klima je jedna od najvažnijih komponenti životnog okoliša kojoj se valja prilagoditi, iskoristiti njezine prednosti, ali i zaštititi od njezinih mogućih štetnih utjecaja (Branković, 2013). Evidentno je kako su u današnje vrijeme prisutne klimatske promjene. Znanstvena istraživanja potvrđuju da će se trend promjena nastaviti i u budućnosti (Branković i dr., 2010.). Prognoze predviđaju da će se u budućnosti intenzivirati pojave ekstremnih klimatskih

elementa u vidu česte izmjene izrazito vlažnih i izrazito suhih i vrućih sezona. Modelske prognoze predviđaju moguće intenziviranje tih ekstrema (Branković i dr., 2012.).

Podzemna voda je pretežiti izvor vode za ljudsku potrošnju diljem svijeta. U Republici Hrvatskoj se oko 90% potreba vode za javnu vodoopskrbu namiruje iz zaliha podzemnih voda.

Vodonosnici su najbolji „instrument“ prirode za pohranu i filtriranje vode. S većim kapacitetom uskladištenja, manjom evapotranspiracijom i duljim vremenom zadržavanja, vodonosnici su općenito otporniji na sušu nego površinske vode (Leblanc i dr., 2009). Upravo zahvaćanje vode iz dubokih vodonosnika često pruža sigurnu i isplativu vodoopskrbu (UNESCO-WWAP, 2009). Predviđanje potpunog utjecaja klimatskih promjena na sustave vodonosnika i dalje će predstavljati veliki izazov (Treidel i dr., 2012). Zadatak je složen, jer klimatske promjene izravno utječu na obnavljanje podzemnih voda, njihovu interakciju s površinskom vodom i mogućnosti i uvjete korištenja (Green i dr., 2011). Procjenjuje se da oko 80% radnih mjesta koja predstavljaju globalnu radnu snagu ovisi o vodi i da je više od 1.4 milijarde radnih mjesta (40% ukupne aktivne radne snage u svijetu) u sektorima koji ovise o vodi, kao što su vodoopskrba, poljoprivreda, industrija i sanitacija (UNESCO WWAP, 2016).

## **1.1. Hipoteze i ciljevi rada**

U sklopu predložene teme disertacije pozornost je usmjerena ka istraživanju dubokih aluvijalnih vodonosnika izrazite heterogenosti. Istraživanje će se temeljiti na analizi dubokog aluvijalnog vodonosnika smještenog u nizinskom području sjeveroistočne Hrvatske. U tim kvartarnim vodonosnicima značajne su zalihe podzemnih voda i značajne obnovljive količine podzemnih voda pa predstavljaju osnovicu vodoopskrbe.

Postavljene su slijedeće HIPOTEZE ovoga istraživanja:

- Podzemne vode dubokih aluvijalnih vodonosnika zadržavaju kvalitativnu i kvantitativnu stabilnost u uvjetima pojave klimatski ekstremnih oborina.

- Podzemne vode dubokih aluvijalnih vodonosnika omogućuju pouzdanost javne vodoopskrbe i u uvjetima pojave klimatskih promjena.

Temeljem istraživanja žele se postići slijedeći CILJEVI RADA:

- Istražiti utjecaj klimatski ekstremnih oborina na kvantitativno i kvalitativno stanje vodnog tijela dubokog aluvijalnog vodonosnika na primjeru crpilišta Vinogradi. Istraživanje fokusirati na utjecaj ekstremnog deficita oborina u razdoblju od 1984.-2015.g.
- Simuliranjem situacije višegodišnjih uzastopnih malovodnih godina, koje bi uzrokovale izraženu promjenu razina podzemnih voda, istražiti ponašanje prirodnog sustava (vodonosnika) i izgrađenog sustava (sustava vodoopskrbe).
- Definirati metodologiju određivanja klimatskih utjecaja na stabilnost javne vodoopskrbe oslonjene na duboke aluvijalne vodonosnike.
- Dobivenim spoznajama o utjecaju klimatskih promjena dati smjernice koje će pomoći u ublažavanju eventualnih negativnih utjecaja na pouzdanost javne vodoopskrbe.
- Dobivenim spoznajama o dubokim aluvijalnim vodonosnicima pridonijeti razvijanju nacionalne strategije upravljanja vodama u pravcu prepoznavanja dubokih aluvijalnih vodonosnika kao strateških rezervi podzemne vode u Republici Hrvatskoj i temelj postojeće i buduće javne vodoopskrbe promatranog područja.
- Prepoznati značaj i važnost razvijanja daljnjeg monitoringa izdašnosti vodonosnika i kvalitete vode u dubokim aluvijalnim vodonosnicima u funkciji upravljanja vodnim resursima za potrebe javne vodoopskrbe.

## **1.2. Pregled prethodnih istraživanja**

Prva sustavna hidrogeološka istraživanja širega područja Osijeka provedena su već početkom prošloga stoljeća (Anon,1908) i bila su usmjerena upravo na pitanja pronalaska najprikladnijega izvora osječke vodoopskrbe. Zanimljivo je za istaknuti kako je u istraživanjima za potrebe vodoopskrbe ovoga područja sudjelovao i Adolf Thiem, začetnik intenzivnih istraživanja podzemnih voda u Njemačkoj u drugoj polovici devetnaestoga



stoljeća. Thiem je provodio terenska testiranja zdenaca i primjenjivao teorijske obrasce toka pri projektiranju razvitka vodoopskrbe zahvatima podzemnih voda dubokim zdenacima. Istraživanja su obuhvatila područje južno od Drave između Čepina na zapadu, Sarvaša na istoku i Tenje na jugu. Načinio je pedesetak bušotina dubine od 20 do 100 m (pretežito od 40 do 50 m dubine).

Prvu regionalizaciju hidrogeoloških značajki za cijelu sjevernu Hrvatsku objavio je Miletić (1969), u sklopu koje za istočnu Podravinu ističe da ju karakterizira „močvarna i povremeno plavljena tla, velika dubina, povećan broj vodonosnih slojeva i visoki pritisak u vodonosnim slojevima, te povećana dubinu i relativno mali kapacitet zdenaca u odnosu na zapadne predjele“.

Može se reći da su za suvremene predodžbe hidrogeoloških prilika u cijeloj istočnoj Slavoniji najvažniju ulogu imala «Regionalna hidrogeološka istraživanja porječja donje Drave i dijela Dunava» koja su započeta 1970. godine (Miletić i dr., 1971, Babić i dr., 1978). Provedenim istraživanjem zaključeno je kako stanje podzemnih voda omogućuje izvedbu crpilišta iz kojih se mogu zahvaćati značajne količine podzemne vode, što je bilo u suprotnosti s ranije uvriježenim gledanjem da u istočnoj Slavoniji nije moguće zahvatiti količine podzemnih voda dostatnih za vodoopskrbu. Takve rasprave pojavljuju se i u zadnje vrijeme (Bačani i dr., 1998; Urumović i dr., 1998), pa su podaci o stvarnim rezultatima dugoročnog crpljenja na crpilištu Vinogradi objektivni arbitar o stvarnom učinku napajanja podzemnih voda, a njihove analize i interpretacije imaju regionalno značenje.

Za uspješno obavljanje djelatnosti vodnog sektora te za prilagodbu i razvoj znanstvenih i tehnoloških inovacija u okolnostima ekstremnih klimatskih godina koje ukazuju na globalne promjene klime nužno je naglasiti interdisciplinarni pristup istraživanjima vodonosnih sustava koji se koriste za vodoopskrbu. Pri tome se javlja potreba da se suvremena znanstvena istraživanja usmjere na premošćivanje jaza između pojedinih segmenata znanosti i društva (Re, 2015) s ciljem podizanja svijesti o utjecaju klimatskih promjena na zalihe podzemnih voda.

U sklopu istraživanja ovoga i susjednih područja načinjeni su vrijedni magistarski radovi i disertacije. Hernitz (1980) u svojoj doktorskoj disertaciji opisuje dubinske strukturno-tektonske odnose, Urumović (1977) u magistarskom radu detaljno obrađuje hidrogeološke

značajke istočne Posavine, dok je u doktorskoj disertaciji Urumović (1982) istraživanja usmjerio na hidrogeološke značajke istočnog dijela dravske potoline.

Hidrogeološke prilike na vododjelnici savskog i dravskog porječja u istočnoj Slavoniji su tema doktorske disertacije Bačani (1997).

Brojne zaključke o učinku napajanja podzemnih voda infiltracijom u uvjetima intenzivnog i dugotrajnog crpljenja podzemnih voda omogućila su temeljita opažanja razina, crpnih količina i kakvoće podzemne vode na crpilištu Vinogradi.

Rezultate iz prvih godina eksploatacije prikazali su u radovima Urumović i dr. (1996), Urumović i Hlevnjak (1998), a podaci o mjerenjima razina podzemne vode u brojnim elaboratima (Urumović i dr. (1987,1995); Duić i dr.( 2004)).

Obnovljivost zaliha podzemnih voda heterogenog vodonosnog kompleksa na primjeru osječkog crpilišta Vinogradi prikazao je Duić (2007) u doktorskoj disertaciji. U navedenom radu identificirana je strukturna građa i uvjeti napajanja vodonosnika uz uporabu dostupnih geostatističkih alata u GMS programskom paketu koji na jednostavan način daju određene vizualne korelacije istraživačkih bušotina dometi kojih su limitirani neravnomjernom istraženošću heterogenih naslaga.

Istraživanje usmjereno na detaljno istraživanje hidrodinamičkih značajki zahvaćenog dubokog vodonosnog sustava, definiranje napajanja vodonosnog sustava te porijekla i starosti podzemne vode provela je Briški (2015) na primjeru vodonosnika zahvaćenog na Crpilištu Sikirevci.

Verifikacijom rada crpilišta Vinogradi za radoblje 2011-2016.g. (Hlevnjak i Duić, 2016) ponovno se potvrdio pretpostavljeni proces odvijanja infiltracije oborina i s tim povezano napajanje podzemnih voda koji je pretpostavljen u ranijim verifikacijama i studioznim analizama bilance podzemne vode na crpilištu Vinogradi.

Planom upravljanja vodnim područjima 2016-2021. (Vlada RH, 2016) naglašeno je kako klimatske promjene utječu na hidrološki režim tj. na količinu i kvalitetu voda, koje imaju utjecaj na osiguranje dostatnih količina vode za vodoopskrbu, očuvanje života i zdravlja ljudi, zaštitu kopnenih površinskih i morskih voda, zaštitu i poboljšanje stanja vodnih ekosustava. U spomenutom se Planu navodi da metodologija za ocjenu utjecaja klimatskih promjena na

promjenu režima voda nije donesena, ali je napravljeno nekoliko parcijalnih istraživanja ograničenog prostornog obuhvata. Istraživanja generalno ukazuju na „negativne“ trendove, prema kojima se očekuje produženje sušnih razdoblja i povećanje dinamičnosti hidrograma (brža izmjena razdoblja malih i velikih voda).

Utjecaj klimatskih promjena na stanje podzemnih voda u fokusu je sve brojnijih istraživanja diljem Europe i šire. Nistor (2018) istražuje utjecaj klimatskih promjena na vodonosnike u južnoj Europi na području Rumunjske, Bugarske, Makedonije, Grčke i europskog dijela Turske, Caballero i dr. (2015) utjecaj klimatskih promjena na vodonosnik u području Mediterana, a Ahzegbobor (2010) potencijalne klimatske utjecaje na vodonosnike s globalnog i lokalnog stajališta.

Međuvladin panel o klimatskim promjenama (engleski: *Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) nastao je 1988.g. na poticaj Ujedinjenih naroda, Svjetske meteorološke organizacije i Programa za okolinu UN-a (UNEP) u svrhu procijene rizika od klimatskih promjena uzrokovanih ljudskom aktivnošću.

IPCC ne vrši istraživanja, niti prati klimatske i druge fenomene. Jedna od glavnih aktivnosti IPCC je izdavanje posebnih izvještaja vezanih uz primjenu Okvirne konvencije UN o promjeni klime (UNFCCC). IPCC svoje procjene uglavnom temelji na znanstvenoj literaturi. IPCC-ovi izvještaji često se citiraju u debatama vezanim uz promjene klime. Većina država i međunarodnih organizacija smatra UN-ov klimatski panel autoritetom.

Važan europski politički okvir za izradu Strategije prilagodbe daje *Strategija prilagodbe klimatskim promjenama Europske Unije (EU)*. Akcijski okvir definiran strategijom EU, usvojenom 2013. godine, daje način na koji bi se EU i zemlje članice trebale pripremiti na posljedice klimatskih promjena.

Na području upravljanja vodama i morskim resursima, pretraživanjem baza i dostupnih publikacija, utvrđen je relativno velik broj dokumenata koji tematiziraju problematiku klimatskih promjena i mogućeg utjecaja na vodne resurse (vode i more) s različitih aspekata. U Hrvatskoj je raspoloživa respektabilna literatura u obliku izvješća, knjiga i radova: 7 nacionalnih izvješća Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) izrađenih od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda

Hrvatske (DHMZ); Meteorološki i hidrološki bilteni, mjesečne publikacije Državnog hidrometeorološkog zavoda Hrvatske; Prikazi, godišnja izvješća DHMZ-a; Klimatski atlas Republike Hrvatske (DHMZ) te niz znanstvenih i stručnih radova.

U tijeku je izrada Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. i s pogledom na 2070. (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 2017.-). Vezano za navedeni dokument provedeno je niz istraživanja, modeliranja te su izrađeni sljedeći dokumenti:

- „Pregled dosadašnjih istraživanja i aktivnosti vezano za utjecaj klimatskih promjena i prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj“ (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, (2016)),
- „Radna verzija Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (Zelena knjiga)“, (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, (2017)),
- „Nacrt Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu“ (Bijela knjiga), (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, (2017)),
- „Izvještaj o procijenjenim utjecajima i ranjivosti na klimatske promjene po pojedinim sektorima“. (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, (2017)).

Utjecaj ekstremnih odstupanja u količinama oborina na razine podzemnih voda dubokog kvartarnog vodonosnika na primjeru Crpilišta Vinogradi u Osijeku globalno je obrađeno u radu Duić i dr. (2018). U radu su dani podaci višegodišnjeg praćenja razina podzemnih voda iz dubokog aluvijalnog vodonosnika na osječkom području iz kojeg se zahvaćaju značajne količine vode te usporedive količine oborina na promatranom području.

Prihvaćanjem Okvirne direktive o vodama EU ( WFD 2000/60/EC) preuzeta je i obveza donošenja zakonodavnog okvira koji će osigurati dostatne količine površinskih i podzemnih voda dobre kakvoće potrebnih za održivu, uravnoteženu i pravičnu uporabu voda. Na tragu ove osnovne premise donošena je Strategija upravljanja vodama (NN 91/2008), Zakon o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14), Zakon o vodi za ljudsku potrošnju (NN 56/2013, NN 64/2015, NN 104/2017, NN 115/2018), Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 66/2011, NN 47/2013) i ostali zakonski i podzakonski akti iz djelokruga vodnoga gospodarstva

## **2. METODE ISTRAŽIVANJA I KORIŠTENI PODACI**

### **2.1. Uvod**

U okviru ovog poglavlja prikazani su svi izvori podataka koji su korišteni u izradi ove disertacije kao i metodologija istraživanja.

Za potrebe ovoga istraživanja, koristit će se podaci o količini i kakvoći podzemnih voda prikupljeni tijekom razdoblja 1984-2015.g. na području crpilišta Vinogradi i opažačke mreže objekata izgrađene na području promjera oko 5,5 kilometara od središnje linije zdenaca Crpilišta. Jedan od glavnih razloga zašto je za predmetno istraživanje izabrano upravo crpilište Vinogradi jest njegovo najbolje snimljeno početno stanje i 35 godina eksploatacije za koje vrijeme su prikupljeni svi podaci o relevantnim parametrima podzemnih voda, vodonosnog kompleksa te sustava crpljenja, a i zbog činjenice da je crpilište Vinogradi najveće crpilište u Republici Hrvatskoj u kojemu su zahvaćene podzemne vode iz dubokih aluvijalnih vodonosnika za potrebe vodoopskrbe.

Za potrebe istraživanja korišteni su hidrometeorološki podaci Državnog hidrometeorološkog zavoda Hrvatske (DHMZ). U istraživanju su se analizirali podaci o količinama oborina i temperaturama zraka na promatranom području u razdoblju 1980-2015.g., a kao referentno razdoblje za uspoređivanje uzeto je razdoblje 1961-1990.g. Razdoblje analiziranja količina oborina i temperatura zraka obuhvatilo je i vremenski period prije sustavnog motrenja količina i kvalitete podzemnih voda na promatranom području kako bi se dobio uvid o oborinskom režimu koji je utjecao na vodonosni kompleks prije početka eksploatacije crpilišta Vinogradi. Analizirale su se ukupne godišnje, ukupne, minimalne i maksimalne mjesečne oborine te srednje temperature zraka.

### **2.2. Podaci o oborinama i temperaturama zraka**

U ovom istraživanju korišteni su meteo podaci o količini oborina i temperaturama zraka koje Državni hidrometeorološki zavod Hrvatske bilježi na glavnoj meteorološkoj stanici Osijek.

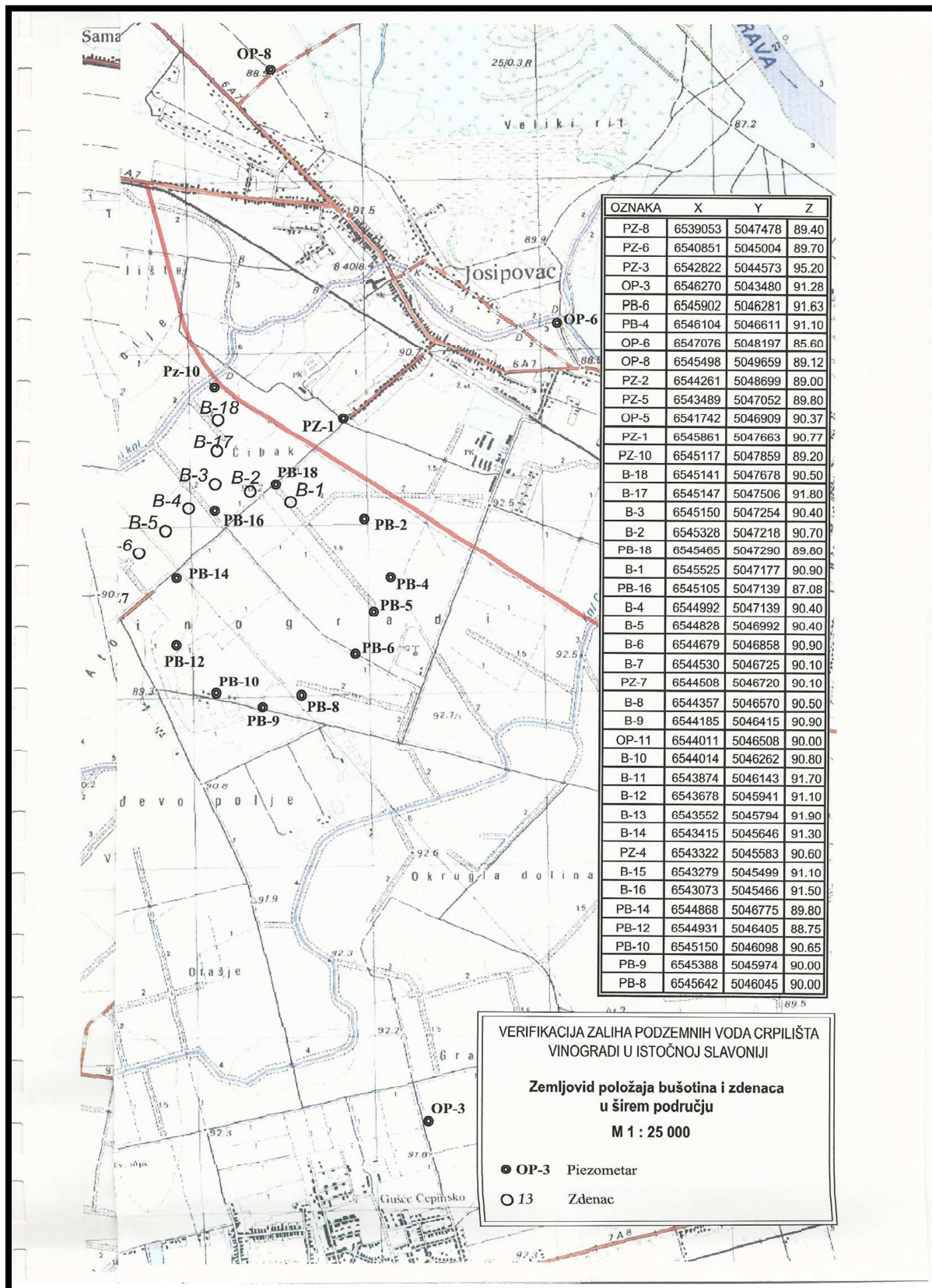
Glavna meteorološka stanica grada Osijeka nalazi se u Čepinu (Osijek – Čepin).

Nalazi se na 45°30' N geografske širine, na 18°34' E geografske duljine te na nadmorskoj visini 89 mn.m. Na meteorološkoj stanici Osijek podaci o meteorološkim parametrima neprekinuto se bilježe od 1899.g.

### **2.3. Opažanje razina podzemnih voda**

Crpilište Vinogradi uključeno je u pogon 25. srpnja 1984. godine u 14 sati i 48 minuta. Time je započelo korištenje podzemnih voda za potrebe vodoopskrbe šireg područja Osijeka i napušteno korištenje ranijega zahvata dravske vode na lokaciji Pampas. Istovremeno sa puštanjem u rad otpočelo je stalno hidrogeološko praćenje rada crpilišta Vinogradi kako u svrhu upravljanja izvorištem tako i u svrhu opažanja količina i kvalitete vode izvorišta poglavito u kontekstu zaštite vodonosnika.

U sklopu mreže opažanja podzemnih voda na crpilištu Vinogradi organizirano je opažanje na svim zdencima (18 zdenaca) i najprikladnijim piezometarskim bušotinama načinjenim u sklopu tekućih i prethodnih istraživanja Crpilišta (slika 2.1.). Opažanja se provode na 18 zdenaca i 65 piezometarskih bušotina, na 24 lokacije.



Slika 2.1. Geografski položaj zdenaca i piezometarskih bušotina na Crpilištu Vinogradi (Fond dokumenata Vodovod Osijek)

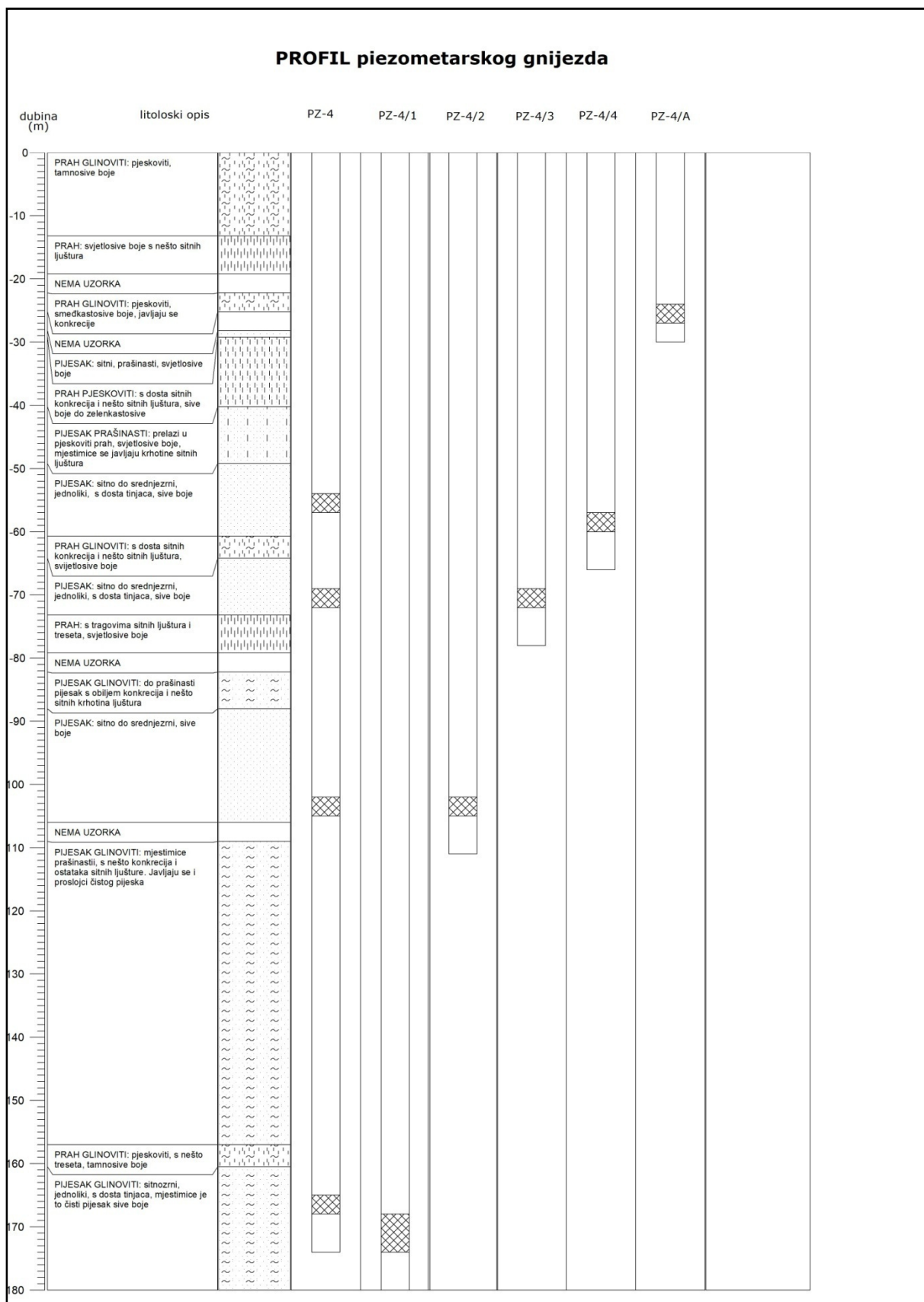
Crpna količina svih zdenaca standardizirana je na 40 l/s. Maksimalna izdašnost Crpilišta od 18 zdenaca mogla bi, dakle, dosežati 720 l/s. Istraživanjem i modeliranjem preporučljiva količina crpljenja definirana je na 600 l/s (Fond dokumenata Vodovod Osijek).

Tijek eksploatacije Crpilišta obilježavaju dva razdoblja. Prvo razdoblje eksploatacije koje obuhvaća vrijeme rada Crpilišta od uključanja Crpilišta u rad do travnja 1994.g. kada je crpilište Vinogradi isključeno iz rada zbog rekonstrukcije cjevovoda sirove vode. Drugo razdoblje eksploatacije obuhvaća vrijeme rada od prosinca 1994.g. do danas, odnosno razdoblje rada od ponovnog uključanja crpljenja do danas. U prvom razdoblju crpljenja crpne količine nerijetko su prelazile 600 l/s. Glavni generator pojačanog crpljenja je bio cjevovod sirove vode od Crpilišta do pogona za proizvodnju koji je zbog oštećenja generirao ogromne gubitke vode te slijedom toga i povećanu potrebu crpljenih količina. Poslije rekonstrukcije cjevovoda sirove vode i ponovnog uključanja Crpilišta u rad, crpne količine su se ustalile na 400-450 l/s.

Opažačku mrežu čine opažački objekti. Budući je riječ o heterogenim naslagama i slojevima, većina opažačkih objekata je izvedena kao opažačko (piezometarsko) gnijezdo tj. na jednoj lokaciji je izveden veći broj piezometara s različitom dubinom položenoga sita. Na taj način su zahvaćene različite zone vodonosnog sustava, te je slijedom toga moguće opažati interakcije vodonosnih slojeva te uspoređivati razine podzemnih voda u njima.

Na crpilištu Vinogradi zahvaćeni su vodonosni slojevi u dubinskom intervalu od 40 do 176 m. Ukupna debljina slojeva zahvaćenih zdenacima na crpilištu Vinogradi kreće se od 56,8 m do 78,7 m. Opažačka gnijezda su izvedena u većini slučajeva na način da najblići piezometar zahvaća izvorni sloj (koji nije zahvaćen eksploatacijskim zdenacima, a koji se napaja infiltracijom oborina i preko kojega se odvija napajanje niže položenoga zahvaćenog vodonosnika), dok su ostali piezometri u gnijezdu raspoređeni su po dubini vodonosnika (slika 2.2.).

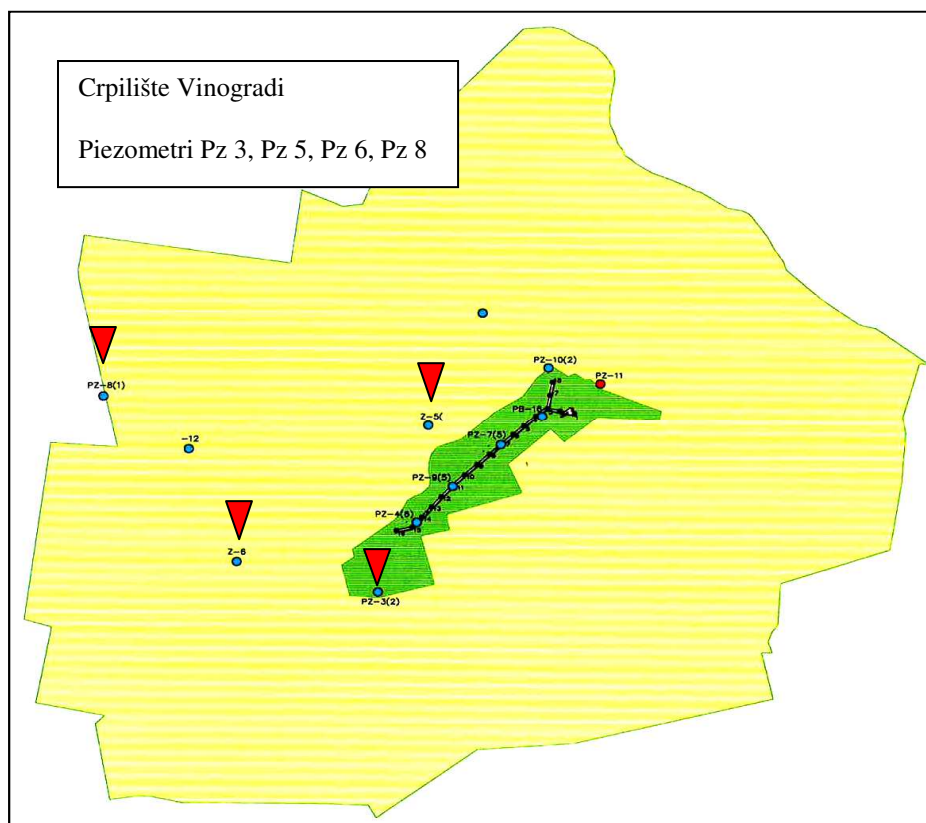




Slika 2.2. Presjek jednog karakterističnog piezometarskog gnijezda (Fond dokumenata Vodovod Osijek)

Piezometarska gnijezda smještena su u tri grupe po kriteriju udaljenosti od linije zdenaca.

Prvu grupu čine piezometarska gnijezda smještena na udaljenosti od 900 do 5500 m od središta Crpilišta. Izgrađena su na način da jedan piezometar ima sito u vodonosniku, a drugi u plitkom izvornom sloju. Crpilištu je najbliže gnijezdo Pz 5, a nalazi se oko 900 m sjeverozapadno od zdenca Z 9. U njemu piezometar Pz 5 ima tri sita po 3 m dužine položenih u zahvaćenome vodonosniku na dubinama oko 60, 105 i 150 m, dok Pz 5A zahvaća izvorni sloj sa sitom na oko 30 m dubine. Po udaljenosti slijedi Pz 3 koji je oko 950 m južno od zdenca Z 16. U njemu piezometar Pz 3 ima tri sita po 3 m dužine u zahvaćenome vodonosniku na dubinama oko 50, 90 i 165 m, dok Pz 3A zahvaća izvorni sloj sa sitom na 27-30 m dubine. Zapadno od ovoga je piezometarsko gnijezdo Pz 6 koje se nalazi oko oko 2100 m zapadno od zdenca Z 16. U njemu piezometar Pz 6 ima tri sita po 3 m dužine u zahvaćenome vodonosniku na dubinama oko 65, 95 i 135 m, dok Pz 6A zahvaća izvorni sloj sa sitom na 9-12 m dubine. I konačno, najzapadniji je piezometar Pz 8, a nalazi se oko 5,5 km zapadno od središta Crpilišta. To je usamljeni piezometar u kojemu su sita dužine 3 m položena na dubinama oko 60, 95 i 165 m, pa bi prema tome trebao mjeriti osrednjenu razinu podzemne vode u zahvaćenom vodonosniku. Piezometarska gnijezda Pz 3, Pz 5 i Pz 6 i piezometarska bušotina Pz 8 (slika 2.3.) obzirom na udaljenost od Crpilišta mogu se promatrati kao regionaln opažački objekti budući je utjecaj crpljenje na razine podzemnih voda minoran te informacije dobivene monitoringom navedenih piezometara predstavljaju pouzdane informacije o općem kolebanju nivoa podzemnih voda dubokog aluvijalnog vodonosnika.



Slika 2.3. Shematski prikaz prostornog pozicioniranja piezometarskih gnijezda Pz 3, Pz 5 i Pz 6 i piezometarske bušotine Pz 8 u odnosu na centar Crpilišta (Fond dokumenata Vodovod Osijek)

Drugu skupinu piezometarske mreže čine piezometarska gnijezda i piezometri smješteni oko 100 do 500 m od eksploatacijskih zdenaca, dakle u njihovom neposrednijem okružju. To su piezometarska gnijezda PB-12 i PB-18, te usamljeni piezometri PB-14 i PB-16. Piezometarsko gnijezdo PB-12 nalazi se oko 500 m jugoistočno od zdenca Z7, dakle položeno je okomito na sredinu linije zdenaca. Ovo piezometarsko gnijezdo oblikovano je oko prvoga istraživačkoga zdenca B12 koji zahvaća pješčane slojeve od oko 40 do 110 m i označen je kao PB-12/1. Sito piezometra PB-12/2 je na oko 45 m dubine, piezometra PB-12/3 je na oko 95 m dubine. Piezometarsko gnijezdo PB-18 nalazi se između zdenaca Z 1 i B 2. Ugniježđena su tri piezometra s tim da PB-18 zahvaća dva debela vodonosna sloja s dva sita dužine po 3 m položena na dubinama oko 70 i 115 m, piezometar PB-18/1 ima sito na oko 100 m, a PB-18/2 na oko 60 m. Od usamljenih piezometara PB-14 je smješten oko 250 m jugoistočno od zdenca Z 6 i u njemu je sito dužine 3 m na oko 50 m dubine, a piezometar PB-16 je smješten oko 150 m istočno od zdenca Z 4 i u njemu su položena sita dužine 3 m na dva intervala, jedno na oko 70 m i drugo na oko 100 m dubine.

Treću skupinu opažačke mreže čine sami zdenci smješteni u liniju duljine 1,2 km te piezometarska gnijezda i piezometri Pz 4, Pz 7 i Pz 9 smješteni uz same zdence. Kolebanja podzemne vode u tim piezometrima uvjetovana su prvenstveno kolebanjem crpnih količina.

U sve eksploatacijske zdence i tri opažačka piezometra ugrađeni su automatski mjerači razine podzemne vode. Mjerač se sastoji od mjerne sonde koja je spuštena u zdenac i elektronskog uređaja. U okviru nadzorno-upravljačkog sustava (NUS) rada Crpilišta se svakodnevno bilježe aktivnosti uključivanja i isključivanja zdenaca, mjere se količine ukupno iscrpljene vode te razina podzemne vode. Mjerenje razina u ostalim opažaćkim objektima gdje nisu ugrađeni automatski mjerači, vrši se ručnim mjeračima u pravilu jedanput mjesečno.

Rad crpilišta Vinogradi kontinuirano se prati pomoću nadzorno-upravljačkog sustava. Sustav čini modularno strukturni sustav za automatsko prikupljanje podataka o Crpilištu, njihovu obradu s ciljem određivanja aktualnog stanja, predviđanje budućeg ponašanja podzemnih voda u različitim uvjetima, te automatsku kontrolu i upravljanje radom crpilišta. Sustav se dijeli na informacijski i kontrolni podsustav. Informacijski podsustav obuhvaća sustav za prikupljanje podataka o podzemnim vodama (piezometarske razine, crpne količine, fizikalno-kemijske karakteristike), te sustav za obradu podataka s ciljem analize trenutnog stanja. U opažačku mrežu je uključeno svih 18 zdenaca i 65 piezometarskih bušotina, na 22 lokacije.

Kontrolni podsustav ima zadatak mjerenja razina podzemne vode, mjerenja protoka na zdencima, registraciju sati rada crpke na zdencima i mjerenje količine ukupno iscrpljene vode. Mjerenje razine vode izvodi se automatskim mjeračima koji su ugrađeni u svih 18 zdenaca i 3 piezometra. Mjerači protoka na zdencima sastoje se od elektromagnetskog sklopa koji je montiran na cijevi i elektronskog dijela sa pokazivačem protoka, koji su smješteni u energetske kućice zdenca. Registratori sati rada crpke na zdencima služe za određivanje trenutaka uključivanja i isključivanja pojedinog zdenca.

Opći prekid mjerenja nastupio je u dva navrata. Prvi put u prosincu 1989.g. i trajao je do listopada 1990.g. i drugi koji je nastupio u svibnju 1991.g. i produžio se do ožujka 1992.g. Prekid opažanja jamačno je bio prvenstveno posljedica ratnih okolnosti, međutim zapuštanje sustava praćenja rada Crpilišta pojavljivao se i kasnije tijekom cijele druge polovice 1999.g. i cijele prve polovice 2003.g.. Za svako razdoblje može se naći po neki razlog (ugradnja opreme, okupiranost izvršitelja redovitih opažanja nekim drugim obvezama) no u svakom slučaju radi se o propuštanju informacija važnih za sustavno upravljanje ne samo ovim

Crpilištem nego i regionalnim zalihama podzemnih voda. Unatoč svemu raspoloživi podaci su daleko najkvalitetniji u usporedni sa svim crpilištima cijele Slavonije (Duić, 2008).

Ako bi se pokušalo procijeniti broj podataka koji se opažanjem prikupio, i to konzervativnim pristupom, da je na 18 lokacija zdenaca plus 65 lokacija piezometarskih bušotina samo jednom mjesečno kroz 30 godina registrirana razina podzemnih voda (a rađena je više puta mjesečno), unatoč navedenim prekidima opažanja, dolazi se do broja od oko 30.000 informacija o kolebanju razina podzemne vode u razdoblju od 30-tak godina.

## **2.4. Opažanje kakvoće podzemnih voda**

Osim mjerenja razina podzemne vode provodi se i uzorkovanje podzemne vode. Uzorci su uzimani jednom mjesečno na lokacijama piezometara i zdenaca. Uzorci su uzimani nakon crpljenja tri volumena vode iz dubokih piezometara ili spuštanjem uzorkivača u razinu filtra, te ručnim crpkama. Svakodnevno se analizira zbirni uzorak neprerađene vode uzorkovan na ulazu u pogon za proizvodnju vode. Godišnje se prosječno analizira 250 uzoraka podzemne vode. Uzorci vode se analiziraju u Laboratoriju pitke vode Vodovoda Osijek i laboratoriju Zavoda za javno zdravstvo Osijek. Analizirani su slijedeći parametri:

### **KEMIJSKI PARAMETRI:**

- mutnoća (turbidimetrijski), boja (spektrofotometrijski, Handbook. Pt-Co st. metoda 8025), miris (organoleptički na sobnoj temp. (25°C), "Voda za piće" Stand. metode), pH vrijednost (elektrokemijski – "Voda za piće" Standardne metode), amonijak (spektrofotometrijski DR/2000 HACH Handbook – metoda 8038), nitriti (metoda ionske kromatografije), nitrati (metoda ionske kromatografije), utrošak  $\text{KMnO}_4$  (metoda kuhanja u kis., sred. s titracijom prema Kûbel – Tiemannu, "Voda za piće", Američke stan. metode), isparni ostatak (gravimetrijska metoda – "Voda za piće" Stand. metode), alkalitet (titracijski), otopljeni kisik, slobodni  $\text{CO}_2$  (Handbook DR-EL/5 – APHA StandardsMethods), fluoridi (metoda ionske kromatografije), fosfati (metoda ionske kromatografije), provodljivost (konduktometrijski – "Voda za piće" Standardne metode), mangan (spektrofotometrijski DR/2000 Handbook – metoda 8149), željezo (spektrofotometrijski DR/2000 Handbook –

metoda 8008), kalcij (metoda ionske kromatografije), magnezij (metoda ionske kromatografije), kloridi (metoda ionske kromatografije), sulfati (metoda ionske kromatografije), ukupna tvrdoća (kompleksometrijska metoda), ukupni klor (Handbook DPD metoda 8167), slobodni klor (Handbook metoda 8021), arsen (voltometrijska metoda sa zlatnom rotirajućom elektrodom), kalcijeva tvrdoća (kompleksometrijska metoda), magnezijeva tvrdoća kompleksometrijska metoda).

#### MIKROBIOLOŠKI PARAMETRI:

-Broj kolonija bakterija u 1 ml na 37°C ( HRN EN ISO 6222, 2000), Broj kolonija bakterija u 1 ml na 22°C ( HRN EN ISO 6222, 2000), Ukupni koliformi u 100 ml (HRN EN ISO 9308-1:2000 i ispr. 1:2008), Escherichiacoli u 100 ml ( HRN EN ISO 9308-1:2000 i ispr. 1:2008), Enterokoki u 100 ml ( HRN EN ISO 7899-2:2000), Pseudomonasaeruginosa ( HRN EN ISO 16266).

## 2.5. Metode istraživanja

Za izradu ovoga rada rađena je analiza oborinskog režima tijekom promatranog razdoblja. Podaci su statistički obrađeni kao ukupne, minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti. Analiza je rađena na bazi godišnjih i mjesečnih vrijednosti. Grafički su rađeni trendovi.

Izračunate su najvažnije hidrološke vrijednosti oborinskog niza: srednja vrijednost niza, standardno odstupanje, koeficijent varijacije te izračunom pogreške koeficijenta varijacije provjerena duljina hidrološkog niza.

Analiza podataka o temperaturama zraka rađena je na bazi mjesečnih i godišnjih srednjih vrijednosti temperature zraka te su utvrđene ekstremne vrijednosti i vremensko razdoblje u kojem su se dogodili temperaturni maksimumi.

Rađena je analiza kolebanja crpnih količina. Podaci su statistički obrađeni kao ukupne, minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti. Analiza je rađena na bazi godišnjih i mjesečnih vrijednosti.

Metodom korelacijske analize provjerena je međuovisnost između crpnih količina i količina oborina.

Kolebanje razina podzemnih voda prikazane su nivogramima. Obradene su mjesečne i godišnje vrijednosti sa utvrđivanjem njihovih srednjih vrijednosti. Definirane su minimalne i maksimalne razine te utvrđena razlika između njih.

Koncentracija parametara kakvoće rađena je grafički u obliku graf linija mjerenih koncentracija u odnosu na maksimalno dozvoljene koncentracije utvrđene zakonskom regulativom.

Metodom korelacijske analize provjerena je međuovisnost između koncentracije karakterističnih parametara kakvoće podzemnih voda i količine oborina.

Analitika svih podataka rađena je brojčano (tablično) i grafički (graf linije, nivogrami).

Agregiranje podataka u svezi kolebanja razina podzemnih voda, crpnih količina i parametara kakvoće podzemnih voda provedeno je:

- a. na razini pojedinačnog piezometra;
- b. na razini pojedinačnog zdenca;
- c. na razini grupiranih područja;
- d. na razini cijelog vodonosnika.

## **2.6. Model strujanja podzemnih voda**

Za modeliranje strujanja podzemnih voda je korišten AnAqSim programski paket koji je zbog svoje robustnosti i mogućnosti da vrlo brzo obradom ponudi različita varijantna rješenja odabran kao primjereno sučelje. AnAqSim koristi metodu analitičkih elemenata (AEM), koja superponira analitička rješenja kako bi se dobilo složeno rješenje sustava koji se sastoji od jednadžbi potencijala i količine tečenja (crpljenja) u funkciji mjesta i vremena. AEM je

detaljno opisan u knjigama Strack (1989) i Haitjema(1995). Kraći sažetci metode mogu se naći u Fitts (2012) i Strack (2003). AEM je bitno drugačija od uobičajenih numeričkih metoda kao što su metode konačnih elemenata i konačnih razlika, gdje je domena podijeljena u male blokove ili elemente i pretpostavlja se jednostavna distribucije (npr. linearna) potencijala unutar tih blokova ili elemenata. U AEM, granice domene su diskretizirane, ali sama domena nije. AnAqSim koristi varijaciju AEM koji dijeli modelirano područje u poddomene, svaku sa svojim definicijama parametara vodonosnika i svojim zasebnim AEM modelom (Fitts, 2010). Model za određenu poddomenu (u AnAqSim se naziva domena) uključuje doprinose iz elemenata unutar i na vanjskoj granici poddomene. Svaka poddomena je opisana kao dvodimenzionalna funkcije, a trodimenzionalno strujanje može se simulirati pomoću više slojeva u modelu. Kao i bilo koji model strujanja, jednadžba toka u AnAqSim temelji se na Darcy-evom zakonu i zakonu očuvanje mase (i volumena, sa stalnom gustoćom).



### 3. JAVNA VODOOPSKRBA

#### 3.1 Uvod

Svi oblici života i sve ljudske aktivnosti su više ili manje vezane uz vodu iz čega proizlazi i važnost odnosa prema vodi. Voda je osnova svih životnih oblika, ekosustava, ljudskog društva i njegovih aktivnosti. Kruženje vode je proces planetarnih razmjera (Gereš, 2004).

Voda prekriva oko 70% površine Zemlje. Ukupni volumen vode na Zemlji procjenjuje se na oko 1,4 milijarde  $\text{km}^3$  (Nace, 1960, Feth, 1973, Bačani, 2006) što na prvi pogled djeluje kao imponantna količina vode.

Međutim, sama činjenica da se oko 97% te vode nalazi u morima i oceanima (može se koristiti samo za određene i ograničene svrhe), mijenja sliku o upotrebnoj vrijednosti raspoložive količine vode. To dalje znači da samo oko 3% (2,7%), odnosno 37,55 milijuna  $\text{km}^3$  otpada na slatke vode (Gereš, 2004).

Ako se, zatim, ima u vidu da se oko 77,5% ili 29,2 milijuna  $\text{km}^3$  slatkovodnih resursa nalazi u obliku ledenjaka, a 4,17 milijuna  $\text{km}^3$  ili 11,1% dubokih i obično za korištenje nepristupačnih voda, onda proizlazi da je čovječanstvu na raspolaganju samo oko 4,3 milijuna  $\text{km}^3$  ili 11,4% upotrebljive od ukupno raspoložive slatke vode (Gereš, 2004), odnosno samo 0,3% od ukupnih količina vode na Zemlji (slika 3.1).



Slika 3.1. Globalna bilanca voda ( izvor: Kruženje vode u zemljinom sustavu, Gereš, 2004)

Ukupna količina obnovljivih resursa slatke vode ostaje konstantna posljednjih stotinu godina. U isto vrijeme iskorištavanje vode za ljudske potrebe procjenjuje se da se povećalo sedam puta (Gereš, 2004), uglavnom zbog porasta uporabe vode za proizvodnju hrane i za industriju.

Hrvatska se ubraja u skupinu vodom relativno bogatih zemalja u kojoj problemi s vodom i oko vode još nisu zaoštreni i vodni resursi zasad nisu ograničavajući čimbenik razvoja. Prema istraživanjima UNESCO-a iz 2003.g., Hrvatska je po dostupnosti i bogatstvu vodenih izvora na vrlo visokom 5. mjestu u Europi, a na 42. u svijetu. Bilance površinskih i podzemnih voda pokazuju da Hrvatska raspolaže velikim iako nejednoliko prostorno i vremenski raspoređenim količinama površinskih i podzemnih voda.

Podzemne vode čine samo 12 posto ukupnih količina vode u Hrvatskoj (Strategija vodnoga gospodarstva, 2010), ali njihovu važnost najbolje pokazuje podatak da je više od 90 posto vodoopskrbnih količina gradova i naselja vezano uz podzemnu vodu.

Strategija vodnoga gospodarstva Republike Hrvatske (2010) temelji se na premisi da su svi oblici života i sve ljudske aktivnosti više ili manje vezane uz vodu te su slijedom toga i strateške odrednice razvoja vodnog gospodarstva usmjerene ka očuvanju i zaštiti vodnih resursa u RH. Gospodarenje vodama vrlo je složena multidisciplinarna aktivnost i čini jednu od osnova kvalitete života ljudi uopće (Karleuša i dr., 2010) jer voda predstavlja ključni prirodni resurs.

### **3.2. Povijesni pregled**

Početak gradnje vodovoda povezan je s razvojem prvih stambenih naselja. Poznati su podaci o izgradnji vodovoda oko 3000. godina prije Krista. U starom su Egiptu bili kopani zdenci promjera 3 do 4 m i dubine veće od 200 m. Dizanje vode s velike dubine bilo je poznato u starom Egiptu, Babilonu i Kini; za to su se upotrebljavali uređaji s vjedrima i vitlima, a za razvođenje su služile keramičke, drvene ili olovne cijevi. Gradili su se vodovodi kojima se izvor nalazio daleko od naselja. U Jeruzalemu su sačuvani ostaci vodovoda izgrađenog oko 1000. godina prije Krista. Izgradnja vodovoda osobito se razvila u grčkoj i rimskoj

civilizaciji. U to su se doba gradili tuneli i mostovi za provođenje vode-akvadukti. U Hrvatskoj je potkraj 3. i početkom 4. stoljeća izgrađen rimski vodovod, akvadukt duljine 9 km za opskrbu Dioklecijanove palače u današnjem Splitu koji je i dan-danas u upotrebi. Iz toga su doba u nas još pronađeni fragmenti olovni cijevi koje su služile za dovod vode u Sisak ispod korita rijeke Kupe, ostaci vodovoda u Novalji na otoku Pagu i u Varaždinskim Toplicama.

U srednjem vijeku nastao je zastoj u razvoju vodoopskrbe. Počeci ponovne izgradnje vodovoda u europskim gradovima zabilježeni su potkraj 12. i početkom 13. stoljeća. U velikim gradovima Europe i Sjeverne Amerike suvremeni su vodovodni sustavi izgrađeni tek tijekom 14. stoljeća. U Hrvatskoj je značajna izgradnja vodovoda u Dubrovniku. Vodovod od izvora Šumet do grada, duljine oko 10 km, izgrađen je 1436–1437.g. Nakon vodovoda sagrađena je Velika Onofrijeva česma u središtu Dubrovnika.

U Europi, pa tako i u Hrvatskoj moderni vodoopskrbni sustavi razvijaju se od druge polovine 18. stoljeća. Postojeći sustavi su se stalno proširivali i modernizirali. Izgradnja novih i obnova postojećih vodoopskrbnih sustava traje i danas.

Na području istraživanja, povijesni podaci govore da je u drugoj polovici 18. stoljeća u Tvrđi, naselju grada Osijeka izgrađen prvi vodovod javnog karaktera (Živaković-Kerže, 2007.). Obzirom da je u to vrijeme Tvrđa bila vojno uporište na rubu Austrijskog-ugarskog Carstva i vodovod je isključivo služio u vojne svrhe. Idućih stotinjak godina ostali dijelovi današnjeg grada - Gornji, Donji i Novi grad - doživjeli su ekspanziju stanovništva, razvoj obrta i trgovine. Razvoj naselja nije pratio i razvoj javne vodoopskrbe, poglavito zbog nedostatka novčanih sredstava za ulaganje u izgradnju javne vodovodne mreže. Tek je krajem 20-tih godina 20. stoljeća izgrađena javna vodoopskrbna mreža u svim tadašnjim naseljima grada Osijeka, koristeći za vodoopskrbu vodu iz rijeke Drave. Te 20.-te godine prošlog stoljeća mogu se smatrati počecima suvremene vodoopskrbe Osijeka (Živaković-Kerže, 2007).

### **3.3. Pravo na vodu**

Sve su se ljudske zajednice tijekom povijesti suočavale s potrebom osiguravanja opskrbe vodom za piće i sanitarne potrebe kao primarne pretpostavke vlastitog održanja i nastojale

osigurati osnovne količine vode za svakoga svog člana (Sarvan, 2015). Svako ljudsko biće mora ostvariti pravo na vodu (Sarvan, 2015).

Ljudsko pravo na vodu ovlašćuje svakoga na dovoljne količine sigurne, prihvatljive, fizički i financijski dostupne vode za osobne potrebe i potrebe kućanstva (United Nations Commission on Human Rights, 2005).

Primarni cilj je osigurati svakome minimalne količine vode za sprječavanje dehidracije i bolesti, ali ostvarenje ljudskog prava ne jamči samo pristup vodi dovoljan za osiguranje ljudskog preživljavanja, već zahtijeva razinu potrebnu za odgovarajući standard života i zaštitu ljudskog zdravlja, tj. vodu za zadovoljavanje osnovnih ljudskih potreba, osobne higijene i higijene kućanstva (Winkler, 2012).

Voda nije komercijalni proizvod kao neki drugi, nego je naslijeđe koje treba čuvati, zaštititi i u skladu s tim postupati (Okvirna direktiva o vodama EU (2000/60/EU)).

Voda na nacionalnoj razini predstavlja opće dobro koje je dano na uporabu svima (Staničić i dr., 2018), a najznačajnije državne institucije i tijela su proglasile vodu nacionalnim blagom o čijem gospodarenju, zaštiti, očuvanju i unapređenju su dane brojne smjernice u Ustavu Republike Hrvatske, zakonima, uredbama, aktima i raznim strateškim dokumentima.

Slijedom toga, korištenje vode za osobne potrebe i potrebe domaćinstva ima prednost pred drugim namjenama korištenja vode i postavlja određene zahtjeve u upravljanju vodama.

Prema Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14, 46/18), „Javna vodoopskrba“ je djelatnost zahvaćanja podzemnih i površinskih voda namijenjenih ljudskoj potrošnji i njihova kondicioniranja te isporuka do krajnjega korisnika ili do drugoga isporučitelja vodne usluge, ako se ti poslovi obavljaju putem građevina javne vodoopskrbe te upravljanje tim građevinama.

U tehničkom smislu vodoopskrbni sustav je sustav građevina, uređaja i instalacija povezanih u funkcionalnu cjelinu namijenjen opskrbi vodom stambenih naselja, industrije, a dijelom i poljoprivrede. Osnovna svrha vodoopskrbnog sustava, a što je i strateški cilj vodnog

gospodarstva Republike Hrvatske je osiguranje dovoljnih količina zdravstveno ispravne vode namijenjene za ljudsku potrošnju.

„Voda namijenjena za ljudsku potrošnju“ po odrednici Zakona o vodama je: (a) sva voda, bilo u njezinu izvornome stanju ili nakon obrade (kondicioniranja) koja je namijenjena za piće, kuhanje, pripremu hrane ili druge potrebe kućanstava, neovisno o njezinu podrijetlu te o tome potječe li iz sustava javne vodoopskrbe, iz cisterni ili iz boca odnosno posuda za vodu; (b) sva voda koja se rabi u industrijama za proizvodnju hrane u svrhu proizvodnje, obrade, očuvanja ili stavljanja na tržište proizvoda ili tvari namijenjenih za ljudsku potrošnju, osim ukoliko nadležno tijelo ne smatra da kakvoća vode ne može utjecati na zdravstvenu ispravnost prehrambenih proizvoda u njihovom konačnom obliku.

### **3.4. Priključenost stanovništva na javnu vodoopskrbu**

Procjenjuje se da je u Republici Hrvatskoj na javnu vodoopskrbu priključeno oko 87% stanovništva, a na lokalnu oko 1,6% (tablica 3.1.). Osim pojma priključenosti koristi se i pojam mogućnost priključenosti koja je u Republici Hrvatskoj veća od 90%. Navedeno znači da u pojedinim naseljima postoji mogućnost priključka na javnu vodoopskrbu, ali se stanovništvo ne želi priključiti, a to se najčešće javlja u područjima gdje se stanovništvo opskrbljuje iz lokalnih vodovoda jer se u takvim vodovodima voda uglavnom ne naplaćuje ili se naplaćuje po simboličnim cijenama (Ujević Bošnjak, 2017) ili vlastitih bunara.

Prema popisu iz 2011.g., procjenjuje se da od ukupnog broja stanovnika 318.939 ljudi (oko 7,44% ukupnog broja stanovnika) koristi vodu iz malih, nekontroliranih vodoopskrbnih sustava, od čega 221.953 ukupnog broja stanovnika (5,18%), odnosno gotovo 70% stanovnika priključenih na nekontrolirane, male vodoopskrbne sustave, koristi vodu koja nije sanitarno ispravna (Ministarstvo poljoprivrede Republike Hrvatske Zagreb, 2015).

Tablica 3.1. Priključenost stanovništva Republike Hrvatske na javnu vodoopskrbu (izvor: HZJZ, Izvještaj o zdravstvenoj ispravnosti vode za ljudsku potrošnju u Republici Hrvatskoj za 2017.g.)

ŽUPANIJA	Broj stanovnika (popis stanovništva 2011)	JAVNA VODOOPSKRBA			LOKALNA VODOOPSKRBA		
		*A	**B	***C	*A	**B	***C
ZAGREBAČKA	317.606	9	230.651	72,6	41	11.613	3,66
KRAPINSKO - ZAGORSKA	132.892	4	83.917	63,2	49	21.875	16,5
SISAČKO - MOSLAVAČKA	172.439	12	164.132	95,2	28	4.560	2,64
KARLOVAČKA	128.899	9	120.979	93,9	38	4.839	3,75
VARAŽDINSKA	175.951	2	144.131	81,2	21	5.313	3,02
KOPRIVNIČKO - KRIŽEVAČKA	115.584	3	66.832	57,8	3	1.075	0,93
BJELOVARSKO - BILOGORSKA	119.764	7	62.033	51,8	0	0	0
PRIMORSKO - GORANSKA	296.195	9	288.129	97,3	21	266	0,09
LIČKO - SENJSKA	50.927	11	42.395	83,3	0	0	0
VIROVITIČKO - PODRAVSKA	84.836	4	61.236	72,2	7	2.323	2,74
POŽEŠKO - SLAVONSKA	78.034	2	50.458	64,7	12	650	0,83
BRODSKO - POSAVSKA	158.575	3	92.371	58,3	0	0	0
ZADARSKA	170.017	10	140.476	82,6	0	0	0
OSJEČKO - BARANJSKA	305.032	11	294.267	96,5	10	3.417	1,12
ŠIBENSKO - KNINSKA	109.375	5	101.909	93,2	1	261	0,24
VUKOVARSKO - SRIJEMSKA	179.521	6	155.533	86,6	0	0	0
SPLITSKO - DALMATINSKA	454.798	10	447.792	98,5	1	3.222	0,71
ISTARSKA	208.055	3	205.829	98,9	0	0	0
DUBROVAČKO - NERETVANSKA	122.568	12	113.776	92,8	0	0	0
MEDIMURSKA	113.804	1	96.300	84,6	0	0	0
GRAD ZAGREB	790.017	1	749.427	94,9	9	7.677	0,97
<b>HRVATSKA</b>	<b>4.284.889</b>	<b>134</b>	<b>3.712.573</b>	<b>86,6</b>	<b>241</b>	<b>67.091</b>	<b>1,57</b>

\*A – broj vodovoda; \*\*B – broj priključenih stanovnika; \*\*\*C - % priključenosti

Prema podacima Zavoda za javno zdravstvo u 2017.g. u Hrvatskoj je bilo definirano ukupno 551 zona opskrbe od čega 310 u javnoj vodoopskrbi i 241 u lokalnoj vodoopskrbi. Pod zonom opskrbe smatra se zemljopisno područje unutar kojega voda namijenjena za ljudsku potrošnju

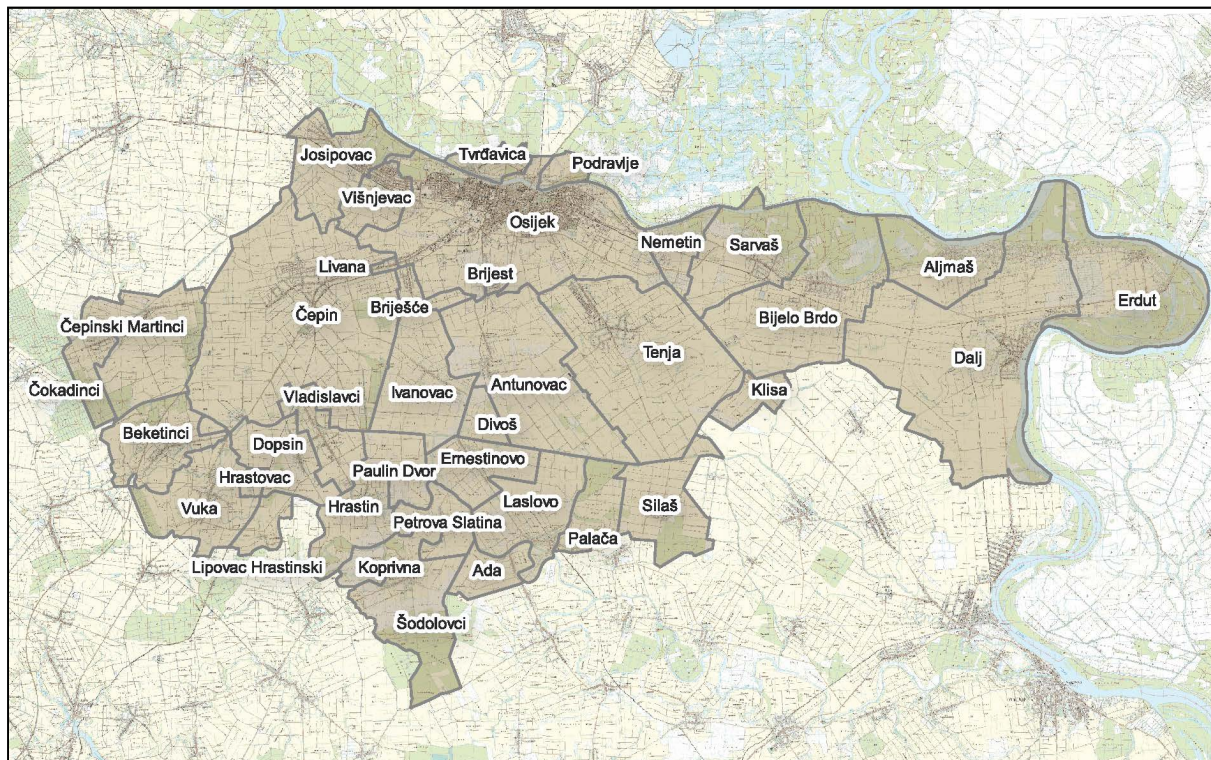
dolazi iz jednog ili više izvora te unutar kojega se kvaliteta vode može smatrati otprilike ujednačenom. U 310 zona opskrbe u javnoj vodoopskrbi dominantno se za potrebe javne vodoopskrbe koristi podzemna voda i to u njih 83%, površinska voda se koristi u 10% zona opskrbe, miješanje površinske i podzemne vode prisutno je u 5% zona opskrbe, bočata voda koristi se u 2% zona opskrbe.

Na području istočne Slavonije javni vodoopskrbni sustav imaju gradovi i veća naselja. Stanovništvo izvan većih gradova-naselja nema organiziranu vodoopskrbu i koristi se vlastitim zdencima i vlastitim sustavima distribucije koji su često neredovito kontrolirani i najčešće nezadovoljavajuće kvalitete (Ujević Bošnjak, 2017).

Na području istraživanja javni isporučitelj vodne usluge vodoopskrbe je VODOVOD-OSIJEK d.o.o. Osijek. Vodoopskrbno područje kojim VODOVOD-OSIJEK d.o.o. Osijek upravlja obuhvaća sljedeće jedinice lokalne samouprave:

- 1) GRAD OSIJEK (Osijek, Brijest, Briješće, Josipovac, Klisa, Nemetin, Podravlje, Sarvaš, Tenja, Tvrđavica, Višnjevac),
- 2) OPĆINA ANTUNOVAC (Antunovac, Ivanovac),
- 3) OPĆINA ERNESTINOVO (Divoš, Ernestinovo, Laslovo),
- 4) dio OPĆINE ČEPIN (samo naselja Livana i Beketinci, vodoopskrbnom mrežom u ostalim naseljima upravlja Urednost d.o.o., Čepin),
- 5) OPĆINA VLADISLAVCI (Dopsin, Hrastin, Vladislavci),
- 6) OPĆINA VUKA (Vuka, Hrastovac, Lipovac Hrastinski),
- 7) OPĆINA ŠODOLOVCI (Ada, Koprivna, Palača, Paulin Dvor, Petrova Slatina, Silaš, Šodolovci),
- 8) OPĆINA ERDUT (Aljmaš, Bijelo Brdo, Dalj, Erdut)

Područje vodoopskrbnog sustava prostire se na 8 jedinica lokalne samouprave te je organizirano u 38 naselja (slika 3.2.).



Slika 3.2. Vodoopskrbno područje VODOVODA OSIJEK (izvor: Projekt Uspostava tehničkog informacijskog sustava vodoopskrbe na području Osijek – Čepin – Dalj i izrada programa upravljanja gubicima vode, Hidroing d.o.o. Osijek, 2018.)

Prema Statističkom izvješću Državnog zavoda za statistiku Popis stanovništva, kućanstva i stanova 2011.g., Republika Hrvatska ima 4.284.889 stanovnika (2.218.554 žena i 2.066.335 muškaraca). Prostor Republike Hrvatske nije ravnomjerno naseljen. Prosječna gustoća naseljenosti u 2011.g. kreće se od 103,8 u Zagrebačkoj do 9,5 stanovnika/km<sup>2</sup> u Ličko-senjskoj županiji, te je prosječna gustoća naseljenosti za RH iznosila 75,7 stanovnika/km<sup>2</sup>. Vrlo blizu prosječne gustoće naseljenosti je naseljenost u Osječko baranjskoj županiji i iznosi 73,4 stanovnika/km<sup>2</sup>.

U tablici 3.2. naveden je ukupan broj stanovnika u jedinicama lokalne samouprave na vodoopskrbnom području VODOVODA OSIJEK. Od ukupnog broja stanovnika, procjenjuje se da je, unatoč tomu što je mogućnost priključenja 100%, oko 98% stanovništva odnosno oko 125.000 stanovnika priključeno na javnu vodoopskrbu,. Prostorna raspodjela priključenja je kao i na cijelom području Hrvatske, u većim gradovima i naseljima gotovo 100%, a u manjim naseljima stanovništvo koje nije priključeno na javnu vodoopskrbu crpi vodu iz vlastitih zdenaca.

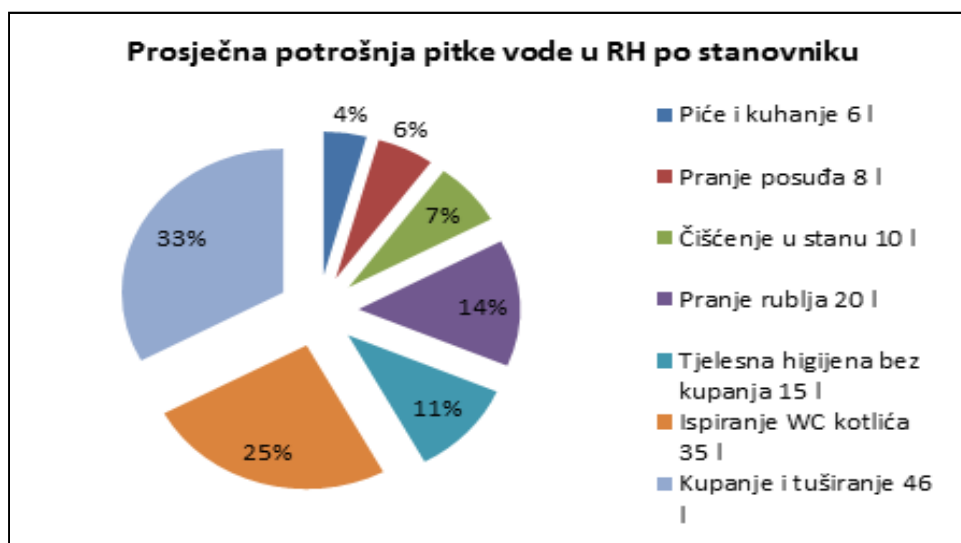


Tablica 3.2. Broj stanovnika prema popisu iz 2011.g. na vodoopskrbnom području VODOVODA OSIJEK

NASELJE	BROJ STANOVNIKA		GRAD, OPĆINE
Osijek	84.104	<b>108.048</b>	<b>OSIJEK</b>
Brijest	1.187		
Briješće	1.318		
Josipovac	4.101		
Klisa	324		
Nemetin	139		
Podravlje	357		
Sarvaš	1.884		
Tenja	7.376		
Tvrđavica	578		
Višnjevac	6.680		
Antunovac	2.181	<b>3.703</b>	<b>ANTUNOVAC</b>
Ivanovac	1.522	<b>1.263</b>	<b>ČEPIN</b>
Beketinci	613		
Livana	650	<b>7.308</b>	<b>ERDUT</b>
Erdut	805		
Aljmaš	605		
Bijelo Brdo	1.961		
Dalj	3.937		
Ernestinovo	1.047	<b>2.189</b>	<b>ERNESTINOVO</b>
Divoš	63	<b>1.653</b>	<b>ŠODOLOVCI</b>
Laslovo	1.079		
Šodolovci	338		
Ada	200		
Koprivna	113		
Palača	241		
Paulin Dvor	76		
Petrova Slatina	209		
Silaš	476		
Vladislavci	1.073	<b>1.882</b>	<b>VLADISLAVCI</b>
Dopsin	482	<b>1.200</b>	<b>VUKA</b>
Hrastin	327		
Vuka	945		
Hrastovac	173		
Lipovac Hrastinski	82		
	127.246	<b>127.246</b>	

### 3.5. Potrošnja vode

U ukupnoj potrošnji pitke vode po stanovniku, procjenjuje se da se 4% pitke vode koristi za piće i kuhanje, odnosno osiguranje ljudskog preživljavanja dok se preostalih 96% potrošnje odnosi na održavanje odgovarajućeg standarda življenja te zaštitu ljudskog zdravlja (slika 3.3.).



Slika 3.3. Prosječna potrošnja pitke vode u RH po stanovniku (izvor: <https://www.kcvode.hr/racionalno-gospodarenje-pitkom-vodom/>)

Prema fondu podataka koje posjeduje VODOVOD OSIJEK procjenjuje se da je specifična potrošnja vode u kućanstvima grada Osijeku i gradskih naselja 140 l/stanovnik/dan, a u kućanstvima seoskih sredina 90 l/stanovnik/dan (tablica 3.3.).

Tablica 3.3. Prosječna potrošnja vode u gradu Osijeku i prigradskim naseljima

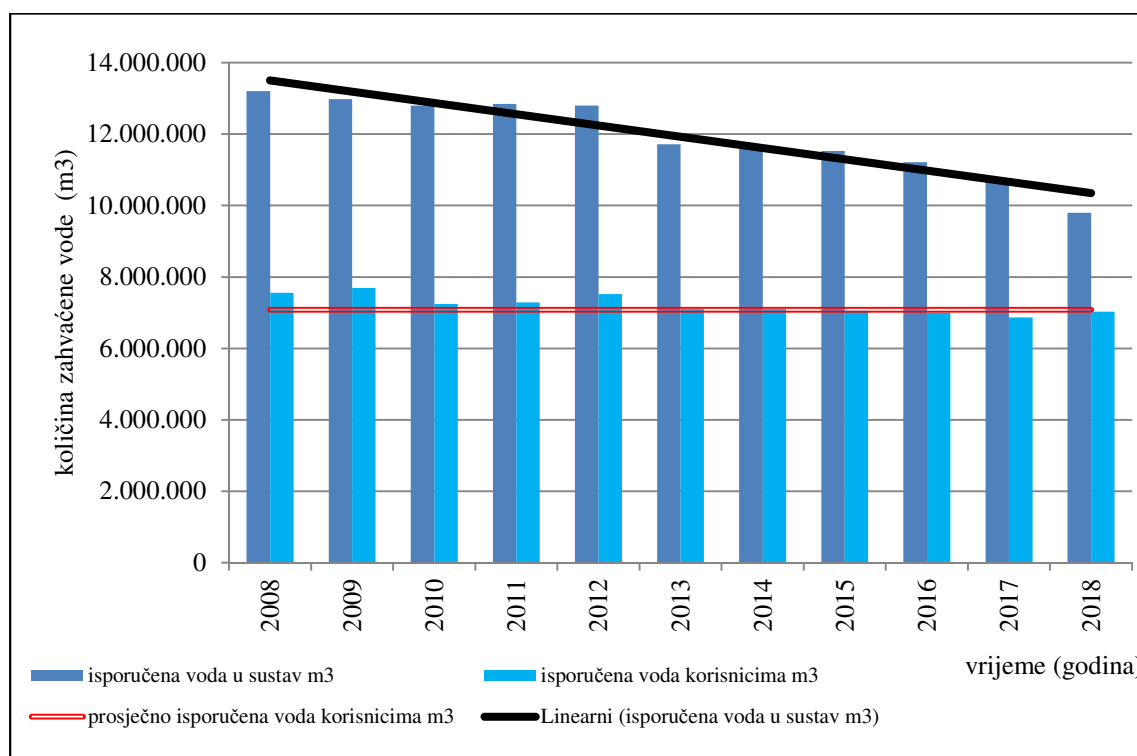
<b>JEDINICA LOKALNE SAMOUPRAVE</b>	<b>DULJINA JAVNE VODOOPSKRBNE MREŽE (km)</b>	<b>POTROŠNJA PITKE VODE (l/stanovnik/dan)</b>
GRAD OSIJEK	439,89	140
OPĆINA ANTUNOVAC	45,32	105
OPĆINA ERNESTINOVO	31,25	90
OPĆINA ČEPIN (samo naselja Livana i Beketinci)	17,82	90
OPĆINA VLADISLAVCI	23,90	90
OPĆINA VUKA	22,70	90
OPĆINA ŠODOLOVCI	39,96	90
OPĆINA ERDUT	117,53	90
	<b>738,37</b>	

U 2018.g. na crpilištu Vinogradi je zahvaćeno 10.596.418 m<sup>3</sup> vode. Od toga, poslije kondicioniranja, u sustav je isporučeno 9.798.958 m<sup>3</sup>, a krajnjim korisnicima 7.030.913 m<sup>3</sup>.

U tablici 3.4. te na slici 3.4. prikazan je odnos zahvaćene/isporučene vode u sustav/isporučene vode korisnicima u prethodnom 10-godišnjem razdoblju. Trend zahvaćenih količina je izrazito opadajući. Istovremeno, od 2010.g., izuzev 2012., količine vode isporučene korisnicima uprosječene su te neznatno variraju oko srednje vrijednosti koja je za razdoblje 2010.-2018.g. (bez atipične 2012.) 7.086.704 m<sup>3</sup> godišnje.

Tablica 3.4. Zahvaćena voda na crpilištu Vinogradi, isporučena voda u sustav i voda isporučena korisnicima za razdoblje 2008.-2018.g.

GOD	ZAHVAĆENA VODA NA CRPILIŠTU VINOGRADI m <sup>3</sup>	ISPORUČENA VODA U SUSTAV m <sup>3</sup>	ISPORUČENA VODA KORISNICIMA m <sup>3</sup>
2008	14.479.540	13.202.864	7.559.637
2009	14.282.251	12.979.357	7.690.294
2010	13.507.971	12.799.881	7.242.447
2011	14.397.989	12.842.484	7.286.832
2012	14.154.773	12.801.614	7.525.836
2013	12.689.591	11.717.591	7.104.952
2014	12.341.773	11.620.969	7.104.641
2015	12.247.621	11.527.476	7.052.787
2016	12.098.683	11.213.594	7.005.821
2017	11.656.375	10.691.150	6.865.241
2018	10.596.418	9.798.958	7.030.913
			<b>PROSJEČNO 7.086.704</b> za razdoblje (2010-2018)



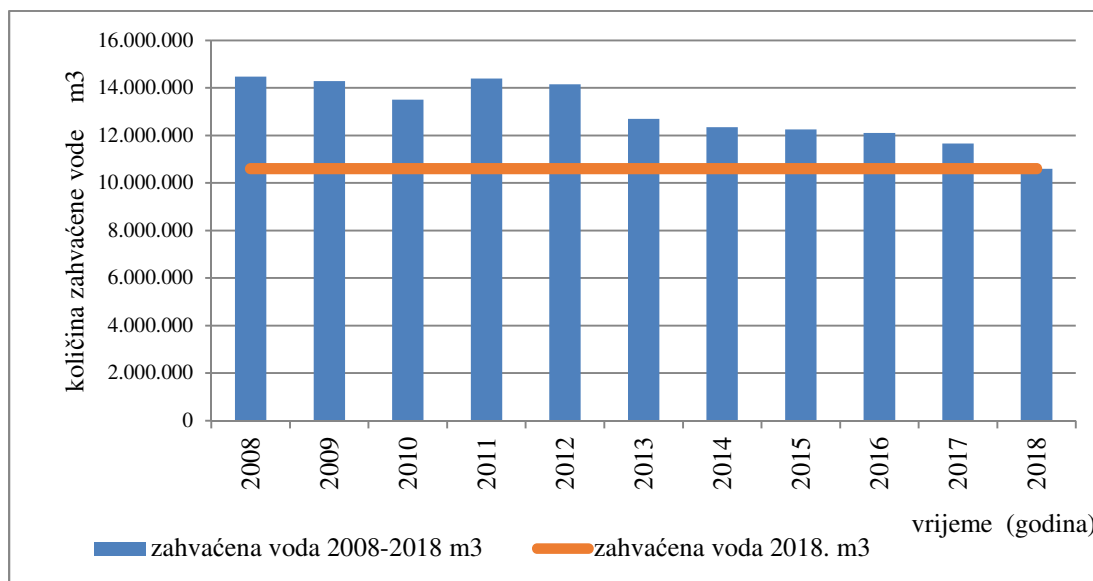
Slika 3.4. Odnos isporučene vode u sustav i vode isporučene korisnicima u razdoblju 2008-2018.g.

Smanjenje zahvaćenih količina vode uz zadržavanje prosječno istih količina isporučene vode krajnjim korisnicima pokazatelj je smanjenja gubitaka vode u vodoopskrbnom sustavu. Učinak smanjenja gubitaka u vodoopskrbnim sustavima na zalihe podzemnih voda može se pokazati i na ovom primjeru.

U promatranom razdoblju od 2008.-2018.g. ukupno je zahvaćeno 142.452.985 m<sup>3</sup> podzemne vode. Da je svake od navedenih godina zahvaćena količina jednaka zahvaćenoj količini iz 2018.g., ukupno bi se zahvatilo 116.560.598 m<sup>3</sup>. Razlika između ukupno zahvaćenih količina navedenog razdoblja i količina mogućeg zahvaćanja s prosječnom količinom vode iz 2018.g. iznosi gotovo 26 milijuna m<sup>3</sup>, što je dostatno za zadovoljenje potreba vodoopskrbe u trajanju od 2,5 godine (tablica 3.5. i slika 3.5.)

Tablica 3.5. Usporedba zahvaćenih količina tijekom razdoblja 2008-2018.g. sa količinom zahvaćenom 2018.g.

GODINA	ZAHVAĆENO (CRPLJENO) m <sup>3</sup>	ZAHVAĆENO 2018.g. m <sup>3</sup>
2008	14.479.540	10.596.418
2009	14.282.251	10.596.418
2010	13.507.971	10.596.418
2011	14.397.989	10.596.418
2012	14.154.773	10.596.418
2013	12.689.591	10.596.418
2014	12.341.773	10.596.418
2015	12.247.621	10.596.418
2016	12.098.683	10.596.418
2017	11.656.375	10.596.418
2018	10.596.418	10.596.418
UKUPNO (m <sup>3</sup> )	142.452.985	116.560.598
RAZLIKA (m <sup>3</sup> )		<b>25.892.387</b>



Slika 3.5. Zahvaćena voda u razdoblju 2008.-2018.g. u odnosu na zahvaćenu vodu 2018.g.

Održiva uporaba vode u kontekstu prilagodbe klimatskim promjenama uključuje, kao jedan od prioritarnih ciljeva, smanjenje vodnih gubitaka (curenja) iz vodovodnih sustava. Gubici vode u distribuciji nisu samo financijski problem vezan uz povećane troškove pogona i održavanja, već rezultiraju povećanjem potreba za vodom što ima za posljedicu povećanje energije potrebne za zahvaćanje podzemne vode i dodatno „trošenje“ vodnih zaliha. Smanjenje vodnih gubitaka svakako je važan segment prilagodbe klimatskim promjenama, poglavito jer se očekuju klimatske promjene koje će rezultirati povećanjem potražnje za vodom.

## 4. PRIRODNE ZNAČAJKE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

### 4.1. Geografski položaj

Republika Hrvatska je srednjoeuropsko-mediteranska zemlja, smještena na panonskom, dinarskom, jadranskom i predalpskom prostoru. Obzirom na različitost prirodno-geografskih i društveno povijesnih obilježja pojedinih dijelova uočljiva je podjela na tri prirodno-geografske cjeline:

- niski panonski i peripanonski prostor na sjeveru,
- gorsko-planinski prostor u središnjem dijelu,
- jadranski prostor na jugu.

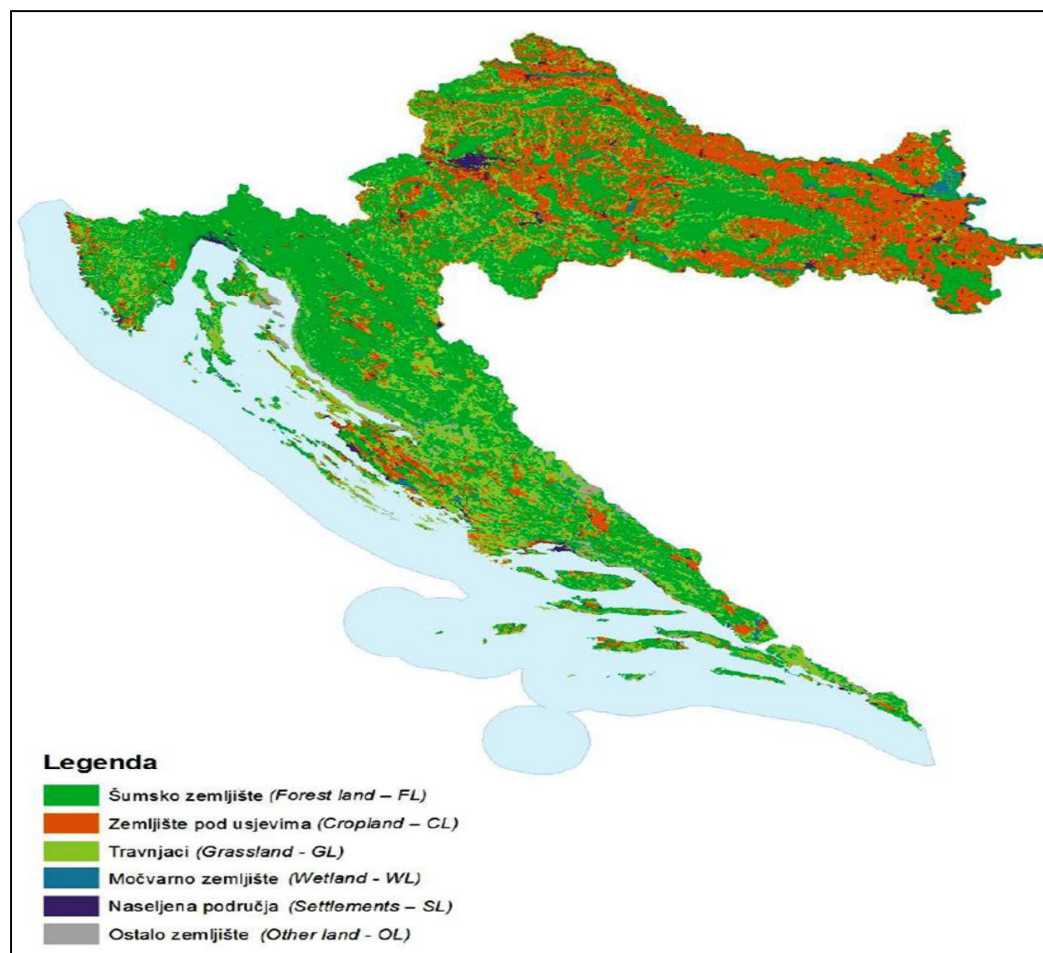
Nizinska područja do 200 m nadmorske visine čine 53% površine Republike Hrvatske, brežuljkasti krajevi i pobrđa od 200 m do 500 m visine čine 26%, dok 21% otpada na gorska i planinska područja iznad 500 m visine. Najviši planinski vrh u Republici Hrvatskoj je Dinara (1.831 mn.m.). Područje krša reljefna je specifičnost koja zauzima oko 54% teritorija Republike Hrvatske. Krške pojave i oblici razvijeni su osobito u vapnencima u gorskom i obalnom dijelu Hrvatske, a kao izdvojena pojava u savsko-dravskom prostoru (Sedmo nacionalno izvješće o promjeni klime, 2018).

Panonska, sjeverna Hrvatska zauzima rubni dio panonskoga bazena. To je pretežito ravničarsko (80 - 135 mn.m.) područje, s nešto izoliranog, razmjerno niskog gorja eruptivnog porijekla s rijetkom pojavom karbonatnih stijena. Dominiraju izdužene doline desnih pritoka rijeke Dunava, rijeka Drava i Sava, ispunjene velikom količinom barskog i aluvijalnog sedimenta. Najniža je istočna Slavonija i Baranja, s prostranim vlažnim poplavnim nizinama i razmjerno suhim i ocjeditim lesnim terasama.

Poljoprivredne površine u 2014.g. zauzimale su 27,48%, a površine šuma 34,35% kopnene površine Republike Hrvatske (Sedmo nacionalno izvješće o promjeni klime, 2018).



U nizinskom kopnenom dijelu prevladavaju obradive površine s tradicionalnim kontinentalnim ratarskim kulturama (slika 4.1.).

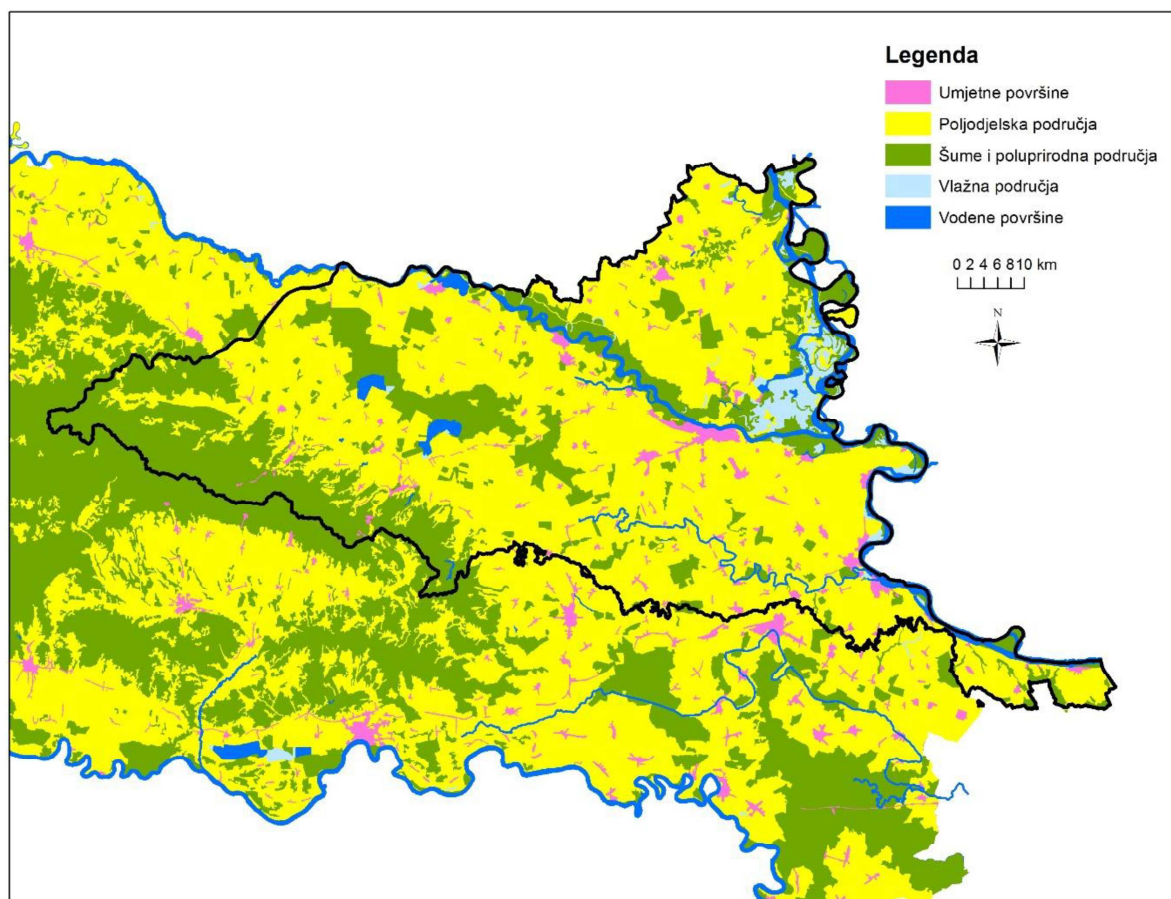


Slika 4.1. Struktura pokrova zemljišta (Plan upravljanja vodnim područjima 2016.-2021., Vlada Republike Hrvatske, 2016)

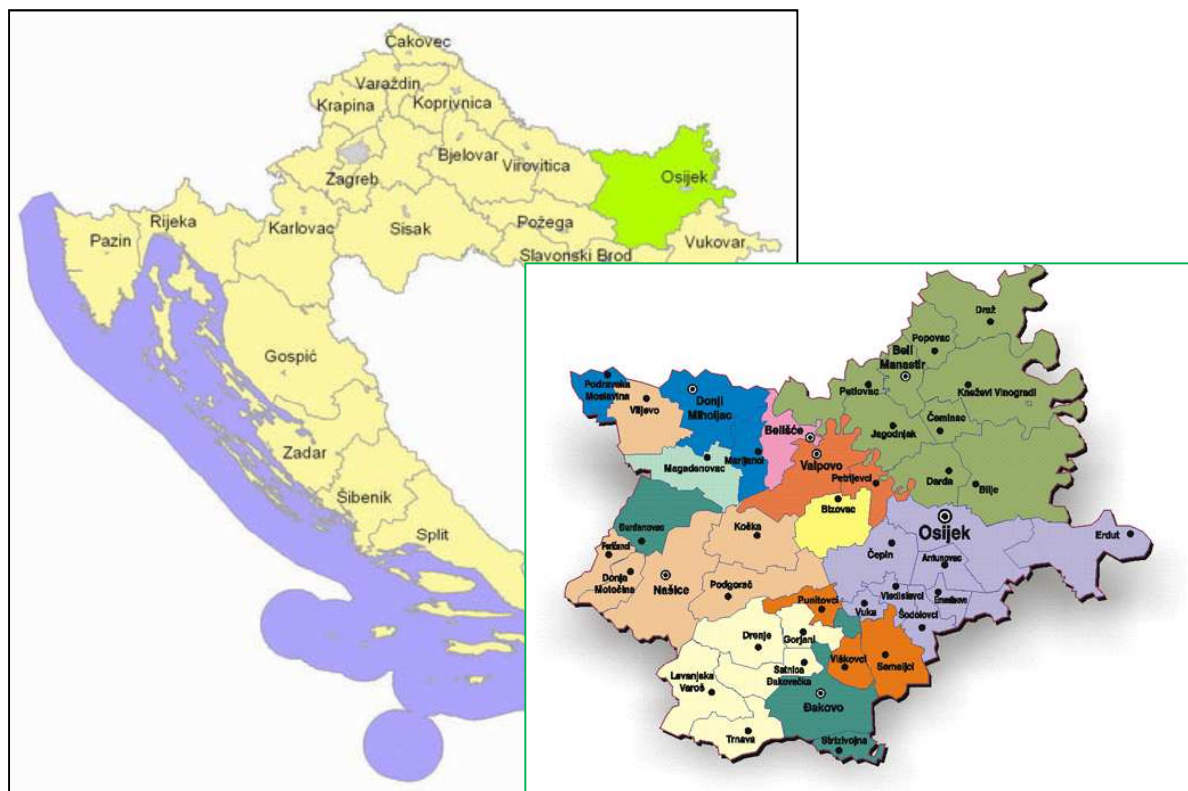
Prema podacima Hrvatske agencije za okoliš i prirodu, a po kriteriju načina korištenja zemljišta, u grupiranom vodnom tijelu Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava, dominiraju poljoprivredne površine (63,8%), znatno manje je šumskih predjela (28,1%), dok je močvarnih i vodenih površina (4,7%) (tablica 4.1. i slika 4.2.) znatno više od prosjeka cijelog vodnog područja rijeke Dunav (1,6%) kojemu podsliv Drave i Dunava pripada.

Tablica 4.1. Udio pokrova zemljišta u grupiranom vodnom tijelu istočne Slavonije

<b>POKROV ZEMLJIŠTA</b>	<b>%</b>
umjetne površine	3,4
poljodjelska područja	63,8
šume i poluprirodna zemljišta	28,1
vlažna zemljišta	2,3
vodene površine	2,4



Slika 4.2. Način korištenja zemljišta u grupiranom vodnom tijelu Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava (CORINE, 2012; AZO, 2013)



Slika 4.3. Položaj Osječko baranjske županije u RH (<http://www.obz.hr/>)

Područje istraživanja smješteno je u istočnoj Slavoniji, u Osječko baranjskoj županiji (slika 4.3.).

Današnji morfološki izgled terena u najvećoj mjeri je rezultat postpliocenskih gibanja koja su u ovom području snažno izražena. Izrazito ravničarski tereni imaju bogati mikoreljef u kojemu su najmarkantniji tragovi meandriranja oko korita rijeka i Đakovačko-vukovarski pleistocenski ravnjak. U mikoreljefu najjasnije se očitava oko 10 km široko inundacijsko područje Drave koje pretežno zauzima rubne dijelove Baranje. Ova riječna nizina ulazi u još šire inundacijsko područje Dunava i to u predjelu Kopačkoga rita, zaostale velike prirodne akumulacije kao najniže depresije ovih predjela. Na području Baranje u reljefu dominira Bansko brdo te se pojavljuju dva izražena praporna ravnjaka.

Crpilište Vinogradi se nalazi na samoj razdjelnici između Poganovačko-Brodničkog kanala i Crnog Foka. Između najznačajnijih pritoka rijeke Drave na ovom području, rijeke Vuke te

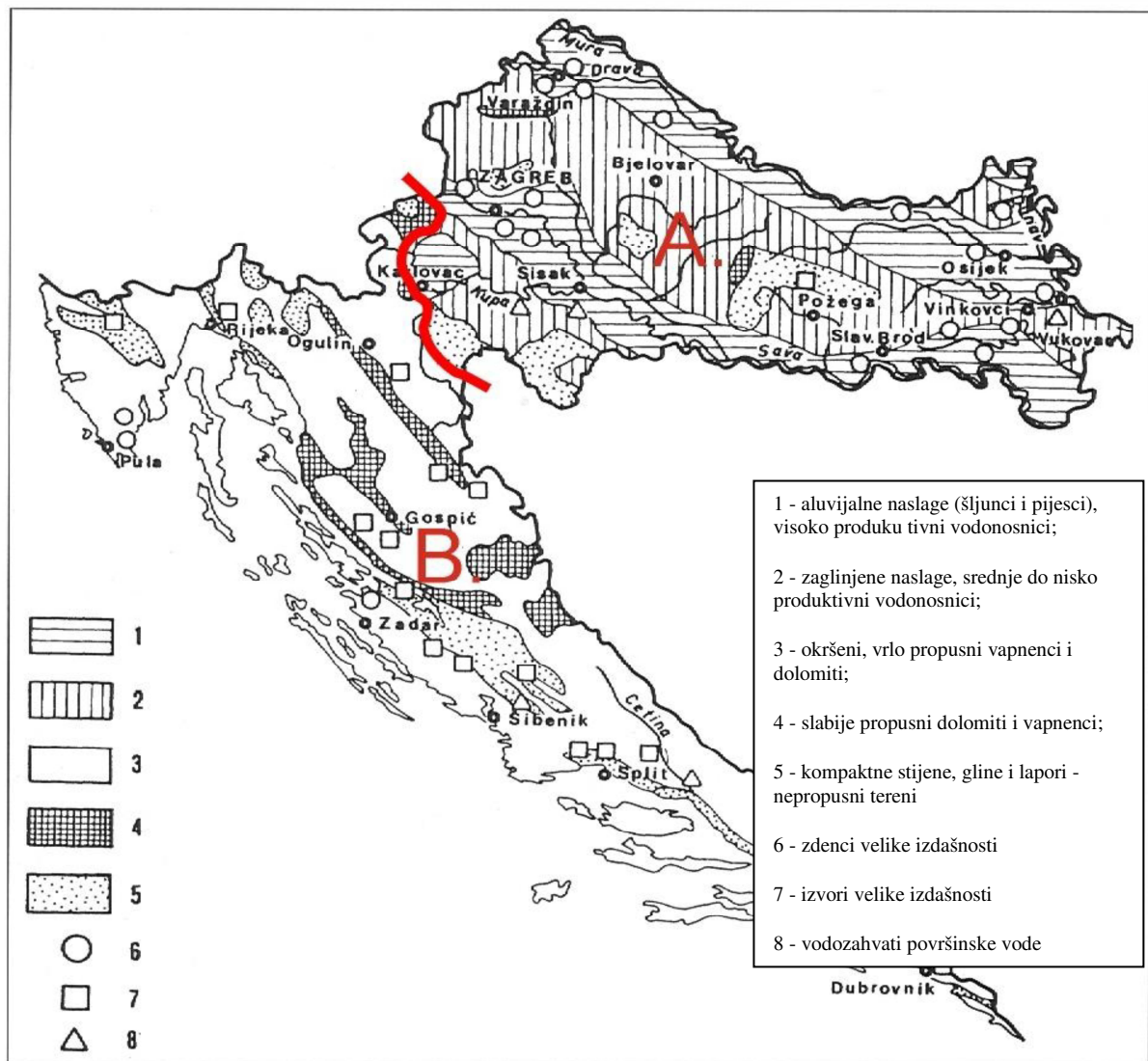
Karašice s najvećim pritokom Vučicom, je široko područje spleta kanala koji se dreniraju u Poganovačko-Brodnički kanal. Kanal se proteže od Čepinskih Martinaca do Josipovca gdje se ulijeva u staru Dravu.

## **4.2. Hidrogeološke značajke**

### **4.2.1. Uvod**

Prema geološkoj građi i hidrogeološkim značajkama cijelo područje Republike Hrvatske može se podijeliti u dva potpuno različita dijela. To su, s jedne strane, područje sjeverne i istočne Hrvatske, koje je najvećim dijelom izgrađeno od klastičnih sedimentnih stijena različitog granulometrijskog sastava i različitog stupnja konsolidacije, i s druge strane, zapadna i južna Hrvatska, hrvatski krš gdje u građi terena prevladavaju karbonatne čvrste stijene (slika 4.4.).

Prvenstveno zbog geološke građe, ali i velikih razlika u reljefu te zbog klimatskih značajki, ta dva dijela Hrvatske bitno se razlikuju po načinu nakupljanja podzemnih voda, njihovoj dinamici te mogućnosti zahvaćanja i ugroženosti antropogenim utjecajima. Zbog toga se i mogućnosti korištenja podzemnih voda, kao i mogući utjecaji na kakvoću podzemnih voda u ta dva područja bitno razlikuju.



Slika 4.4. Pregledna hidrogeološka karta Hrvatske (Mayer, 1996), Oznake: A-područje sjeverne Hrvatske koje je pretežito izgrađeno od klastičnih sedimentnih stijena, B-područje jugozapadne i južne Hrvatske - hrvatski krš koje je pretežito izgrađeno od karbonatnih stijena (vapnenaca i dolomita)

#### 4.2.2. Hidrogeološke karakteristike sjeverne Hrvatske

Za hidrogeološke karakteristike sjeverne Hrvatske najznačajniji su vodonosni sustavi formirani u kvartarnim naslagama prisavske i pridravske ravnice. U strukturno geološkom pogledu radi se o naslagama istaloženim u dvjema izduženim dubokim tektonskim depresijama tipa grabe. To su, na sjeveru Dravska depresija (na koju se zapadno nastavlja

Murska depresija) i na južnom rubu Savska i Slavonsko-srijemska depresija, a između njih su niski stari gorski masivi (Urumović, 2013).

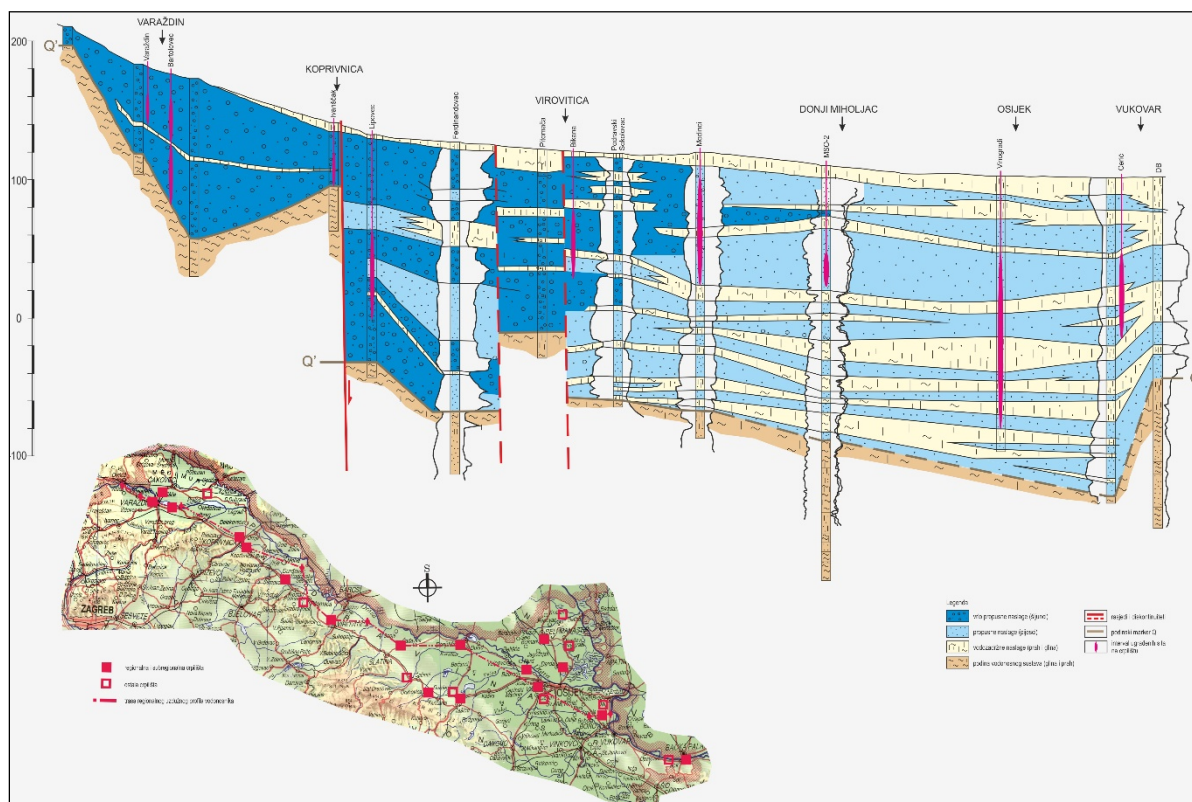
Aluvijalni vodonosnici u dravskom i savskom bazenu bogati su vodom i predstavljaju glavni vodoopskrbni resurs sjevernog dijela Hrvatske. Usprkos znatnih razlika između vodonosnika dravskog i savskog bazena, osobito s obzirom na njihovo lateralno i vertikalno prostiranje, oni imaju niz sličnih značajki:

- generalno produbljenje vodonosnika od zapada prema istoku, uglavnom ravnomjerno duž pridravske ravnice, a isprekidano s više lokalnih izdignutih struktura u kvartarnim naslagama prisavske ravnice,
- promjenu litološkog sastava vodonosnika od zapada prema istoku u smislu povećanja udjela sitnozrnate komponente i, sukladno tome, smanjenje izdašnosti vodonosnika,
- najveće vrijednosti prosječne hidrauličke vodljivosti u vršnim dijelovima sedimentacijskog bazena i njihovo postupno smanjenje od zapada prema istoku, u skladu s litološkim sastavom,
- povećanje debljine krovinskih naslaga od zapada prema istoku, te u lateralnom smjeru i odgovarajuća promjena načina prihranjivanja vodonosnika,
- česta pojava subarteških i arteških voda u istočnim dijelovima savske i dravske ravnice,
- povišen sadržaj željeza, mangana i drugih pratećih elemenata kod dubljih vodonosnika u istočnim dijelovima savske i dravske ravnice, te zapadu savske ravnice,
- vrlo spori podzemni tokovi i spora izmjena vode, zbog čega veća onečišćenja mogu imati dugotrajne posljedice.

U depresijama su istaložene debele klastične naslage tercijarne i kvartarne starosti, najprije u morskoj, a potom u jezerskoj i konačno močvarnoj sredini.

### 4.2.3. Dravski aluvijalni vodonosnik

U dravskom području je vrlo karakteristična distribucija krupnozrnih klastičnih tvorevina. Litološki razvoj vodonosnika je u gruboj shematizaciji tipičan primjer aluvijalnih nanosa rijeke od gornjeg do donjeg toka (slika 4.5.). Na zapadu su istaloženi krupni šljunci s manjim ili većim sadržajem pijeska. Nizvodno, prema središnjem području, sadržaj valutica šljunka opada, a povećava se sadržaj pijeska i pojavljuju se proslojci praha i gline. U najnižim istočnim predjelima vodonosnik je izgrađen od jednoličnog sitno do srednjozrnastog pijeska s tanjim i debljim proslojcima praha i gline. Debljina vodonosnika raste od desetak metara na zapadu kraj Križovljana na preko 300 m, no najznačajniji vodonosni slojevi su u pravilu iznad dubine od 150 m.



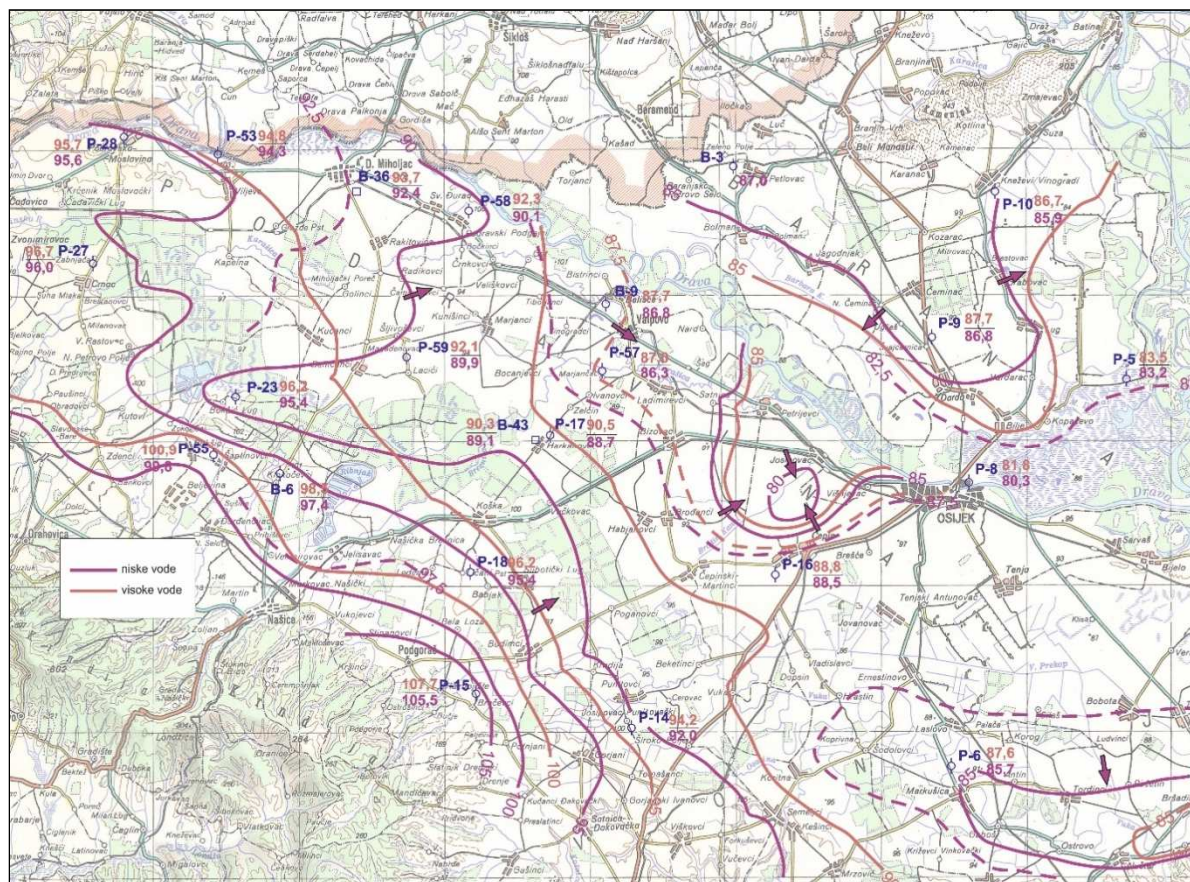
Slika 4.5. Shematski hidrogeološki profil dravskog aluvijalnog vodonosnika (Rudarsko geološko nafni fakultet, 2016.)

Dravski aluvijalni vodonosnik je prekriven relativno slabo propusnim taložinama. U krajnjim zapadnim predjelima pokrovne naslage su pjeskovito-prahovitoga sastava i vrlo male debljine,

pa ponegdje vodonosni šljunci dosežu do površine. Vodonosnik je ovdje otvorenog tipa. Idući prema istoku debljina pokrovnih polupropusnih naslaga se zadebljava do dvadesetak i više metara, a u njegovom sadržaju ima sve više čestica praha i gline. Dinamika podzemnih voda uvjetovana je okolnošću da se vodonosnik napaja poniranjem oborina kroz slabo propusne pokrovne naslage gotovo na cijeloj površini i da je korito Drave denudacijskim procesima relativno duboko usječeno u aluvijalni vodonosnik. U takvim uvjetima rijeka Drava i unutarnja kanalska mreža u pravilu dreniraju podzemne vode u prirodnim uvjetima. Veličina poniranja oborina ovisi o brojnim čimbenicima povezanim s lokalnim hidrogeološkim prilikama, klimatskim prilikama i zasađenim kulturama, a u gruboj aproksimaciji može se uzeti da od 8 do 30% oborina ponire do vodonosnika i obnavlja podzemne vode (Urumović i dr., 1995). Hidraulička vodljivost vodonosnih naslaga u zapadnim predjelima dravskog vodonosnika kreće se od 100-1000 m/dan, a idući prema istoku opada slijedom promjena litološkoga sastava na oko 10-30 m/dan u pješćanim vodonosnicima istočne Slavonije (Urumović, 2013).

Karta regionalnih hidrauličkih odnosa načinjena je za karakteristične niske i za visoke podzemne vode na temelju podataka mjerenja Državnoga hidrometeorološkog zavoda u sklopu osnovne motriteljske mreže. Regionalni ocrtni hidroizohipsi za njih prikazan je na slici 4.6. Konstruirani raspored potencijala razvidno izražava dreniranje podzemnih voda duž glavnih površinskih recipijenata od kojih je primarni rijeka Drava, koja uz ostale manje površinske tokove izražava osnovni tok podzemnih voda. U južnim rubnim predjelima vodonosnoga sustava hidroizohipse se zakreću i teže okomitom presjecanju južne granice vodonosnika (slika 4.6.) izražavajući strujanje paralelno s ovom nepropusnom barijerom. Učinak crpljenja podzemnih voda izražen je samo u neposrednoj okolini značajnijih crpilišta (Bikana u Virovitici, Vinogradi u Osijeku).





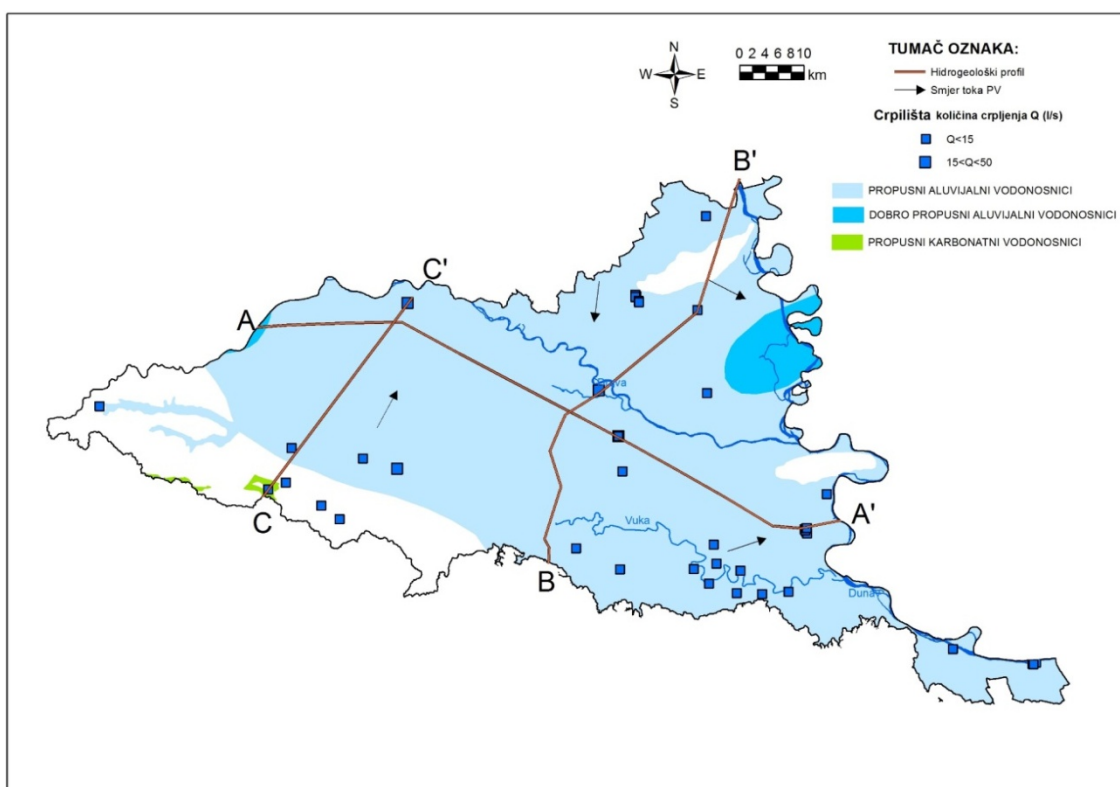
Slika 4.6. Regionalni ocrtni hidroizohipsi (Rudarsko geološko naftni fakultet, 2016.)

#### 4.2.4. Vodno tijelo „Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava“

Crpilište Vinogradi u regionalnom smislu pripada u grupirano vodno tijelo „Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava“ koje se pruža na krajnjem istoku Republike Hrvatske karakteriziranom prostranim ravninama u kojima su se tijekom kvartara istaložile debele klastične naslage. Današnji morfološki izgled terena u najvećoj mjeri je rezultat postpliocenskih gibanja koja su u ovom području snažno izražena. Izrazito ravničarski tereni imaju bogati mikroreljef u kojemu su najmarkantniji tragovi meandriranja oko korita rijeka i Đakovačko-vukovarski pleistocenski ravnjak. U mikroreljefu najjasnije se ocrta oko 10 km široko inundacijsko područje Drave koje pretežno zauzima rubne dijelove Baranje. Ova riječna nizina ulazi u još šire inundacijsko područje Dunava i to u predjelu Kopačkoga rita, zaostale velike prirodne akumulacije kao najniže depresije ovih predjela. Na području Baranje u reljefu dominira

Bansko brdo te se pojavljuju dva izražena praporna ravnjaka. Na južne padine Banskog brda naslanja se južni baranjski praporni ravnjak, a druga izražena praporna terasa pruža se od Kneževa prema sjeveru. U jugozapadnom dijelu vodno tijelo pruža se duž sjevernih obronaka Papučkog gorja. Vodno tijelo obuhvaća površinu od 5.010,97 km<sup>2</sup>.

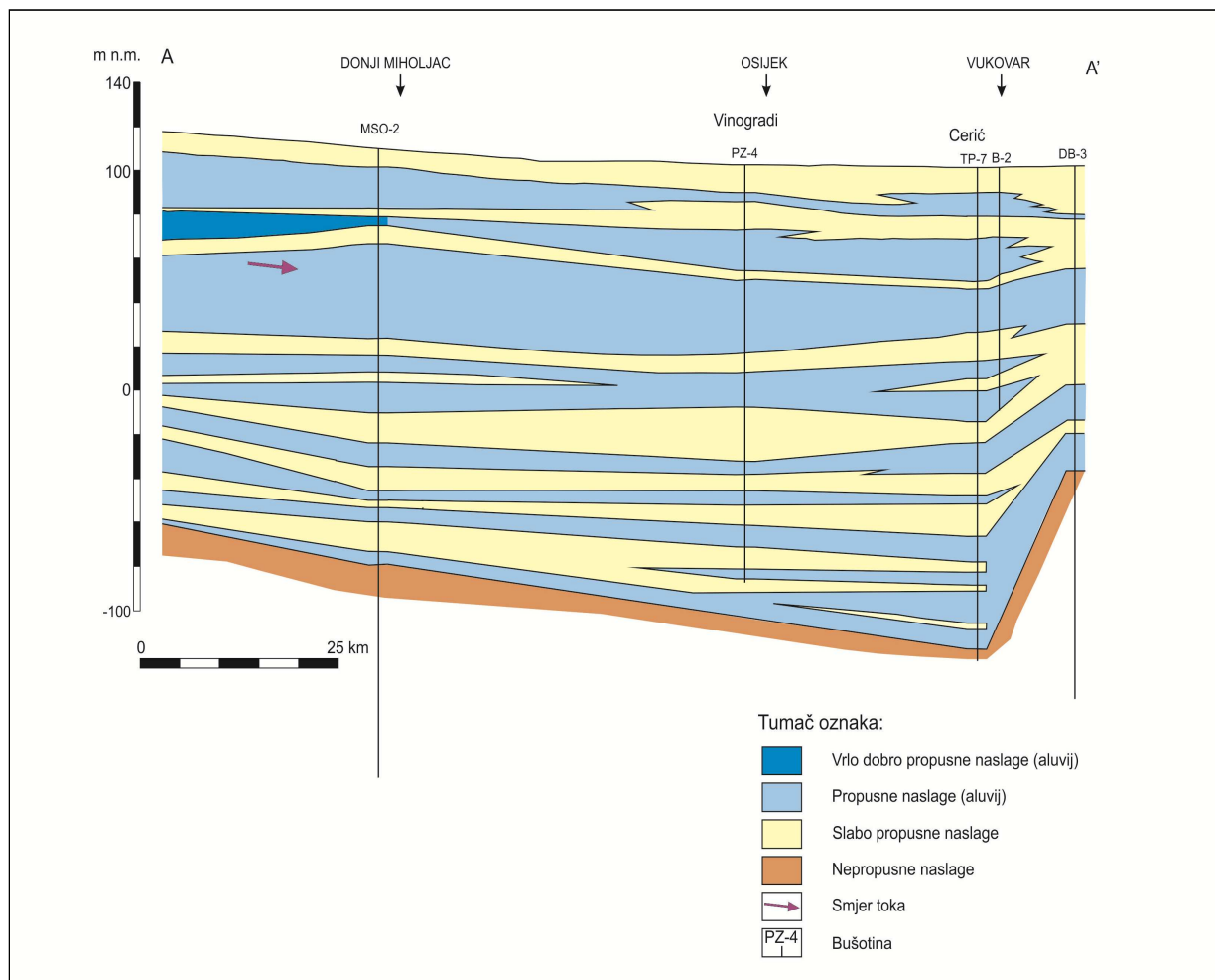
Na najvećem dijelu grupiranog vodnog tijela Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava geološka građa je vrlo jednolična (slika 4.7.). Kronostratigrafski to su najmlađe naslage koje pripadaju holocenu i najmlađem pleistocenu. Litološki su zastupljeni uglavnom glina, prah i pijesak. Oni se miješaju u svim omjerima kako lateralno, tako i vertikalno. Ipak, i površinski ima sustavnih diferencijacija kako u morfološkom, tako i u litostratigrafskom smislu, što s dubinom raste



Slika 4.7. Prostiranje glavnih hidrogeoloških značajki osnovnih vodonosnika u grupiranom vodnom tijelu Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava (Rudarsko geološko nafni fakultet, 2016.)

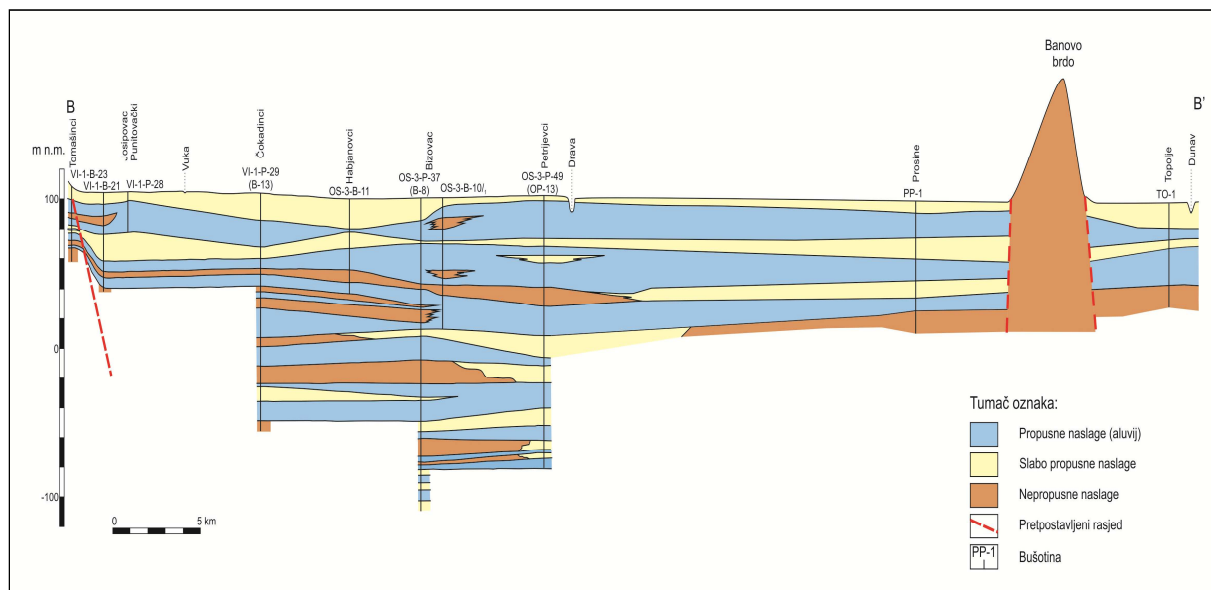
Na litološkom profilu naslaga uočavaju se dva kontrastna dijela u inače općoj izmjeni sitno i krupno klastičnih sedimenata. Granicu među njima označava uvjetni marker Q'. Kao značajke

gornjega dijela naslaga ističe se nekonsolidiranost materijala, relativno visoki udjel propusnih gruboklastičnih slojeva i sadržaj slatkih voda, a u domaćoj literaturi obično se nazivaju kvartarni vodonosni kompleks ili kvartarni vodonosnik koji na ovom području ima debljinu oko 150 m (slika 4.8. i 4.9.). Naslage iznad markera Q' (Urumović i dr. 1976, 1978) pripisuju srednjem i gornjem pleistocenu, te holocenu, a one ispod donjem pleistocenu i pliopleistocenu. U najvećem dijelu vodonosnik je izgrađen od jednoličnog sitno do srednjoznastog pijeska s tanjim i debljim proslojcima praha i gline. Važna značajka građe kvartarnih naslaga je alternacija gruboklastičnih i sitnoklastičnih slojeva. Ispod markera Q' stupanj konsolidacije je veći, udjel propusnih, gruboklastičnih slojeva je smanjen i znatne su razlike u mineralizaciji slojnih voda kako po vertikali, tako i horizontali, a mineralizacija vode je općenito povišena u odnosu na gornji dio jedinice.



Slika 4.8. Shematski hidrogeološki profil u grupiranom vodnom tijelu Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava (Rudarsko geološko nafni fakultet, 2016.)

Na području Baranje kvartarni vodonosni kompleks je izgrađen tako da je površinski dio naslaga, debljine uglavnom oko 10 do 25 m, izgrađen od praha, gline i prašinastoga pijeska. U južnim dijelovima promatranoga područja debljina tog pokrivača reducirana je na 3-7 m. Ispod površinskih naslaga do oko 30 m, pa i 50 m dubine prevladavaju slojevi uglavnom jednoličnoga pijeska, ali raznolike granulacije, a ponegdje se pojavljuju i tanji slojevi i leće šljunka. Za istočni dio područja su značajne jako propusne naslage šljunka nabušenoga u Tikvešu. Kompleks kvartarnih naslaga predstavljaju vodonosnik ispod kojeg su uglavnom glinoviti i prašinski slojevi, te lapori (Duić i Briški, 2010).



Slika 4.9. Shematski hidrogeološki profil u grupiranom vodnom tijelu Istočna Slavonija – sliv Drave i Dunava (Rudarsko geološko naftni fakultet, 2016.)

Na krajnjem istoku osnovno obilježje ovih krajeva su praporne naslage, a općenito se može reći da su hidrogeološke prilike uvjetovane okolnošću da krajnji istočni dijelovi vodnog tijela u geotektonskom smislu pripadaju rubnim dijelovima bačke depresije u kojoj su kao i u slavonsko-srijemskoj depresiji istaložene debele naslage kvartarnih i tercijarnih naslaga. U hidrogeološkom smislu također je zanimljiv gornji dio istaloženih naslaga koji je u okviru regionalnih hidrogeoloških istraživanja izdvojen kao kvartarni vodonosni kompleks (Urumović i dr., 1976; Urumović, 1982) uz pojavu arteških tlakova. Izgrađen je od slojeva pijeska i šljunka koji se izmjenjuju s glinovito-praštinastim slojevima. U širem prostoru prapornog ravnjaka debljina ovih naslaga iznosi oko 100 m, dok u rubnim predjelima tonu.

Vrijednosti hidrogeoloških parametara proučavani su u više navrata pomoću brojnih analitičkih i numeričkih metoda. Može se reći da kvartarni vodonosni kompleks karakteriziraju prosječne vrijednosti hidrauličke vodljivosti:  $K=10-30$  m/dan.

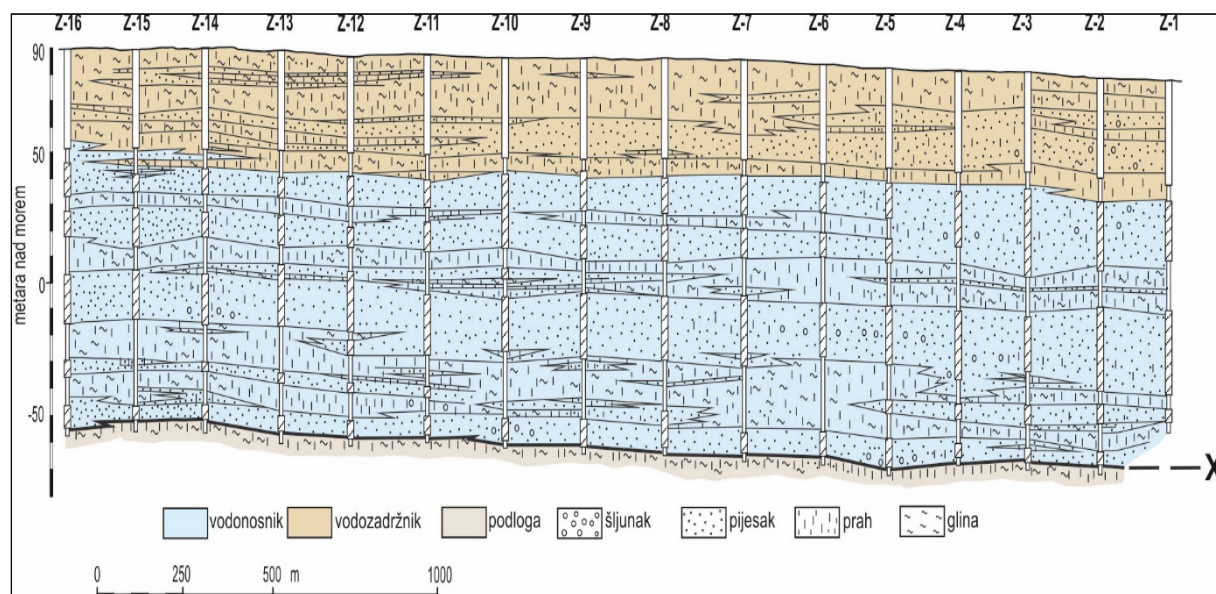
Na površini su kvartarne naslage različitoga sastava. U širem području Osijeka to su kopneni i kopneno-močvarni prapori koji se nastavljaju od Erdutskoga ravnjaka i u širokom pojasu uzvodno slijede asimetričnu dravsku terasu. U južnim predjelima pojavljuju se i močvarne gline, a u Baranji prevladavaju pijesci, praštinasti pijesci i prah.

Gruboklastični materijali su u širem području crpilišta Vinogradi pretežito predstavljeni jednoličnim pijescima srednjega do sitnoga zrna veličine od 0,05 do 0,3 mm. To su pretežito zrnca kvarca udjel kojega doseže do 85%. U sitnozrnastim pijescima značajan je udjel tinjaca, ponekad do te mjere da svojim bljeskanjem u bušotinskoj jezgri daju privid krupnijega zrna od stvarnoga. U mineralnom sastavu pijesaka također se pojavljuju odlomci karbonatnih stijena, feldspati, amfiboli, epidotigranati, prema kojima se zaključuje da su izvorišne stijene dominantno bili masivi Alpa, a u podređenoj mjeri slavonskih planina.

Sitno klastični materijali pretstavljeni su prahom, pjeskovitim prahom, te prašinastim do masnim glinama. Boje su sive, sivoplave do zelenkaste. U njima se često pojavljuju kongrecije kao fragmenti, oštrobriđni do slabozabljeni, obično svjetosive do zelenkaste i bjeličaste, vapnene boje. Za razliku od slojeva praha i gline koji su vlažni, nakupine kongrecija su obično sukcijski isušene, pa na elektrokarotažnim dijagramima ponekad pokazuju kontrastan otklon. U mineralnom sastavu redovito prevladavaju zrna kvarca, a nešto su podređeni tinjčasti minerali, zatim dolaze feldspati. U pojedinim dijelovima pojavljuje se značajan sadržaj kalcita, naročito u česticama iznad 0,06 mm, a među sitnijim montmorilonit doseže do 10%.

Važna značajka građe kvartarnih naslaga je alternacija grubo klastičnih i sitno klastičnih slojeva. Ona je izražena na dvije razine mjerila. U teksturnom smislu zapaža se tanka, gotovo milimetarska, izmjena slojeva praha i pijeska, ponegdje kao laminacijska i kosa slojevitost. Ovakve pojave se zapažaju u nekim od slojeva u kojima prevladava sitnozrnasti pijesak ili prah. U debljim slojevima pijeska karakteristično je da pojedini ciklusi taloženja započinju s nešto krupnijim pijeskom u kojemu prevladavaju zrna veća od 0,2 mm. U kasnijem taloženju karakteristično je sve manje prosječno zrno, pa granulometrijski parametri ilustriraju cikluse taloženja kod gotovo svakoga sloja veće debljine.

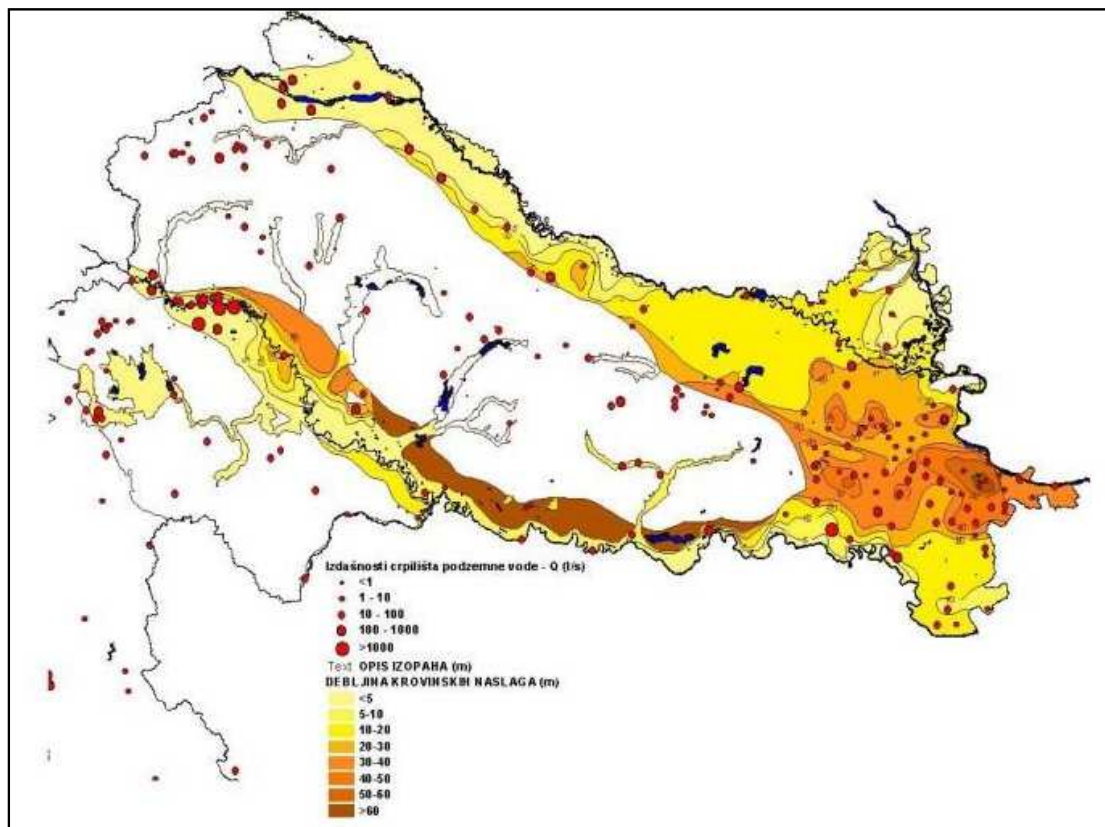
Opisana litološka obilježja generiraju hidrauličku anizotropiju na razini laboratorijskoga mjerila i opću heterogenost koja može izazivati učinke anizotropije (slika 4.10.).



Slika 4.10. Profil kvartarnih naslaga zahvaćenih zdencima Crpilišta Vinogradi (Fond dokumenata Vodovoda Osijek)

#### 4.2.5. Napajanje vodonosnika

Na krajnjem zapadu, gdje nema krovinskih naslaga ili su one vrlo tanke, postoji otvoreni tip vodonosnika, zbog čega se prirodno napajanje odvija infiltracijom oborina neposredno u vodonosnik, a procjenjuje se i na više od 30% prosječnih godišnjih količina oborina (Urumović, K. i dr., 2002). Idući prema istoku, aluvijalni vodonosnici i u pridravskoj i u prisavskoj ravnici su poluzatvorenog do zatvorenog tipa, budući da se debljina krovinskih naslaga povećava do znatnih debljina (slika 4.11.) te se prirodno napajanje odvija infiltracijom oborina kroz krovinske naslage. Prema Urumoviću (2003) infiltracija je proces kojim se tekuća voda uvodi u tlo kroz njegovu površinu ili kroz plitke rupe (udubine), odnosno jame u tlu, te se dalje giba kroz vodom nezasićenu sredinu. Infiltracija predstavlja prema Patrčević i dr. (2014) količinu vode koja iz atmosfere ulazi u zemljište u jedinici vremena, u zavisnosti od složenih uvjeta koji su u tom trenutku prisutni.



Slika 4.11. Debljina krovinskih naslaga aluvijalnih vodonosnika u sjevernoj Hrvatskoj (Plan upravljanja vodnim područjima 2016.-2021., 2016.)

Vrijednost infiltracije oborina u dravski aluvijalni vodonosnik istočne Hrvatske istraživana je u više navrata. Među najdetaljnije analize infiltracije oborina i općenito kolebanje razine vode u pripovršinskim naslagama spadaju istraživanja Vukovića i Plamenca (1972) u cijelom nizinskom području slijeva Karašice i Vučice u kojemu su postavili nekoliko pokusnih polja i veliki broj skupina po 3 plitka piezometra na kojima je vršeno višegodišnje opažanje kolebanja razina podzemnih voda. Na temelju numeričke simulacije vertikalne bilance oni su procijenili parametre infiltracije oborina u pojedinim mjesecima vegetacijskoga i izvan vegetacijskoga razdoblja. Kada se ti parametri primjene za prosječne mjesečne oborina primjerice u Donjem Miholjcu tada se dobije ukupna godišnja infiltracija od čak 36% srednjih godišnjih količina oborina. Sličnu analizu metodama statističke korelacije načinio je Urumović (1982) za cijelo područje istočne Podravine i dobio mjesečne parametre prema kojima se za iste prosječne mjesečne oborine u Donjemu Miholjcu dobije ukupna godišnja infiltracija od 16% srednjih godišnjih količina oborina. Takvi iznosi pokazali su se prikladnim



i na temelju pedoloških istraživanja na pokusnim poljima u Čepinu i Bizovcu (Tadić i dr, 1994).

Drugi način provjere veličine infiltracije oborina povezan je s modeliranjem strujanja podzemnih voda tijekom pokusnoga rada Crpilišta Vinogradi. Kalibracijom matematičkoga modela na temelju podataka opažanja pokusne eksploatacije, tj. za razdoblje od uključivanja crpilišta u pogon koncem srpnja 1984. do konca prosinca 1987.g. identificirana je godišnja infiltracija od 80 do 170 mm, što je iznosilo 12% do 19% odnosnih godišnjih oborina (Urumović i dr., 1996.). Ti su iznosi dobro usporedivi s pedološkim istraživanjima vodne bilance na pokusnom polju Bizovac za koje je infiltracija oborina do podzemnih voda procijenjena s iznosom oko 10 do 20% godišnjih količina oborina (Tadić i dr, 1994). Ovi iznosi potvrđeni su i kasnijom verifikacijom matematičkog modela na temelju podataka o desetgodišnjem ponašanju podzemnih voda za razdoblje 1984.-1994.g. Kroz to razdoblje dobra kalibracija modela ostvarena je uz promjenjivu mjesečnu infiltraciju oborina, a u prosjeku ona je iznosila oko 8 mm/mjesec, odnosno 96 mm/godinu, što je odgovaralo oko 16% količine oborina (Urumović i dr., 1996.; Urumović i Hlevnjak, 1998). Pritom je na udaljenijim predjelima vodonosnog sustava efektivna infiltracija opadala, jer se povremena infiltracija izmjenjivala s evapotranspiracijom iz vodozadržnih naslaga i lokalnim otjecanjem.

U kasnijim analizama napajanja podzemnih voda obično se prinos godišnje infiltracije oborina u duboke aluvijalne vodonosnike dravskog vodonosnika istočne Hrvatske uzimao s iznosom od 14% idući tako na stranu sigurnosti.

#### **4.2.6. Kakvoća podzemne vode u vodonosnicima sjeverne Hrvatske**

Opće stanje kakvoće vode u dravskom vodonosniku uvjetovano je načinom sedimentacije te debljinom slabopropusnih naslaga iznad vodonosnika. Na krajnjem zapadu vodonosnik je pokriven razmjerno tankim prašinasto-glinenim naslagama pa je tamo izražena prirodna ranjivost vodonosnika, zbog čega je u prvom vodnosnom sloju, na pojedinim područjima, povećana koncentracija nitrata kao posljedica antropogenog utjecaja. Podzemna voda iz drugog vodonosnika je relativno dobre kakvoće. U središnjem i istočnom dijelu dravskog

bazena, zbog znatne debljine pokrovnih naslaga, ranjivost od onečišćenja znatno je manja. Osnovna karakteristika prirodne kakvoće podzemnih voda u vodonosnicima intergranularne poroznosti u istočnom dijelu sjeverne Hrvatske je povećan sadržaj željeza, mangana, amonijaka i njihovih pratećih sastojaka, od kojih se posebno ističe arsen zabilježen u području istočne Slavonije (Osijek, Vinkovci). Posljedica je to prirodnih, reduktivnih uvjeta u vodonosniku i nije uzrokovan antropogenim utjecajem.

### **4.3. Hidrološki parametri**

Osječka Podravina predstavlja najniže predjele Podravine. To je izrazito nizinski kraj u kojemu se spajaju široke doline rijeka Drave i Dunava. U mikroreljefu najjasnije se ocrta oko 10 km široko inundacijsko područje Drave koje pretežno zauzima rubne dijelove Baranje. Ova riječna nizina ulazi u još šire inundacijsko područje Dunava i to u predjelu Kopačkoga rita, zaostale velike prirodne akumulacije kao najniže depresije ovih predjela. Ostali predjeli nadvisuju inundacijsko područje. Na desnoj obali Drave je riječna terasa izdignuta oko 5 m iznad inundacijskoga područja. Pružanjem Dravske terase zatvorene su blage depresije nizinskih rijeka, potoka i kanala, od kojih su najznačajniji Karašica s Vučicom, te Vuka. Karašica s Vučicom se uzvodno od Osijeka probija dijagonalno kroz dravsku terasu i ulijeva u Dravu. Nizvodno je Vuka koja teče središnjim predjelima prostrane ravnice od zapada prema istoku, meandrira u širokom području Povučja i kod Vukovara se ulijeva u Dunav (Duić, 2007).

Između slivova Karašice i Vuke je široko područje spleta kanala koji se dreniraju u Poganovačko-Kravički kanal koji je probijen od Čepinskih Martinaca do Josipovca gdje se ulijeva u staru Dravu. Samom osječkom terasom krivuda kanal Crni Fok povezan sa splotom kanala i u Višnjevcu se ulijeva u Staru Dravu malo nizvodno od Poganovačko-Kravičkoga kanala.

Na samoj vododjelnici između Poganovačko-Kravičkoga kanala i Crnoga Foka je crpilište Vinogradi. Linija zdenaca slijedi kanal na udaljenosti oko 200 do 500 m od korita.

Na području Crpilišta kota terena je oko 90 mn.m kao i u pretežitom dijelu osječke terase. U širokom pojasu južno od Osijeka naziru se blage uzvisine koje dosežu i do 95 mn.m, a svojim

regionalnim slijedom kao da predstavljaju zapadni produžetak strukture Erdutskoga brda i čine vododjelnicu između Drave i sliva rijeke Vuke.

Za vodostaje Drave karakteristično je da povijesno zabilježene visoke vode dosežu preko 85,5 mn.m, a zabilježene male vode opadaju na ispod 81 mn.m, no najniži vodostaji ne opadaju ispod 80 mn.m. Od desnih pritoka Drave jedino Karašica ima značajne minimalne dotoke, dok dotoci iz Poganovačko-Kravičkoga kanala i Crnoga Foka praktično prestaju pa se voda zadržava samo u udubljenjima njihovoga korita, što je izraženije kod Crnoga Foka.

Toplinske značajke kraja također izražavaju njegovu kontinentalnost. Srednja godišnja temperatura je oko 11°C (Klimatski atlas Hrvatske, 2008). Godišnji hod srednje mjesečne temperature ima pravilan sinusoidni hod s minimumom u siječnju i maksimumom u srpnju, a obrnut hod ima relativna vlažnost zraka. Temperaturni maksimumi povezani su s ljetnim jugozapadnim strujanjem i kontinentalnim obilježjem kraja, pa temperature mogu dosegnuti i do 40°C. Najhladnija razdoblja nastaju u pravilu u siječnju i veljači kada se panonskim prostorom proširi sibirski anticiklon pa temperatura može pasti i na ispod -25°C (Klimatski atlas Hrvatske, 2008).

Obnavljanje podzemnih voda u ovim predjelima je pod dominantnim utjecajem vertikalnih faktora bilance. Površinski tokovi ovdje predstavljaju, naime, najnižu piezometarsku razinu i prema tome trasiraju mjesta pražnjenja podzemnih voda u prirodnim uvjetima. Inverzna situacija događa se povremeno u inundacijskom području Drave i Dunava i to u vrijeme njihovih visokih vodostaja.

Obnavljanje podzemnih voda u dubljim vodonosnim slojevima odvija se procjeđivanjem kroz polupropusne međuslojeve iz vodonosnika s višom, prema vodonosniku s nižom piezometarskom razinom. Pražnjenje vodonosnog sustava uvjetovano je evapotranspiracijom, drenažom duž površinske hidrografske mreže i eksploatacijom vode (Duić 2007, Urumović i dr., 2011).

#### **4.4. Crpilište Vinogradi**

Crpilište Vinogradi je vodozahvat na kojemu se zahvaćaju podzemne vode pomoću 18 eksploatacijskih zdenaca položenih u nizu uz međusobnu udaljenost susjednih zdenaca od 200 m. Osim eksploatacijskih zdenaca na Crpilištu je izgrađena i mreža opažачkih objekata koji su izgrađeni u obliku piezometarskih gnijezda sa bušotinama dubine od 60 do 200 m radi opažanja razina i kakvoće podzemne vode po vertikali vodonosnoga sustava.

Na crpilištu Vinogradi su zahvaćeni vodonosni slojevi u dubinskom intervalu od 40 do 176 m. Vodonosni slojevi su izgrađeni pretežno od sitno do srednje zrnatog jednoličnog pijeska, a polupropusni međuslojevi izgrađeni su od praha i gline. U pijescima se ponegdje pojavljuju sitne valutice šljunka i to pretežno pri dnu markantnijih slojeva pijeska. Debljina pojedinih propusnih, odnosno polupropusnih slojeva je dosta ujednačena, no ipak mjestimice dolazi do uklinjavanja pojedinih slojeva.

Ukupna debljina slojeva zahvaćenih zdenacima na crpilištu Vinogradi kreće se od 56,8 m do 78,7 m. U krovini zahvaćenog vodonosnika dolazi polupropusni sloj izgrađen od praha i prašinaste gline.

Eksploatacijski zdenci su izgrađeni u razdoblju 1980.-1986.g. Zdenac B-1 izgrađen je 1980.g. u sklopu druge etape hidrogeoloških istraživanja Crpilišta. Zdenci B-2 do B-15 izgrađeni su u razdoblju od listopada 1982. do listopada 1983.g. Time je kompletiran niz od 15 zdenaca koji su 1984.g. uključeni u pokusni rad. Tijekom pokusnog rada pokazala se potreba za povećanjem crpnih količina, pa se nakon prethodnih analiza pristupilo proširenju crpilišta za još tri zdenca. Zdenci B-16, B-17 i B-18 izgrađeni su u razdoblju od 22. rujna do 11. studenog 1986.g. (slika 4.12.). Na svim je zdenacima izvršeno pokusno crpljenje u koracima na temelju čega su određeni parametri zdenaca.



Slika 4.12. Fotografski snimak Crpilišta Vinogradi (Fond dokumenata Vodovoda Osijek, 2000.)

Vrijednosti hidrogeoloških parametara na Crpilištu proučavani su u više navrata pomoću brojnih analitičkih i numeričkih metoda. Koristeći ranije i najnovije analize može se reći da crpilište Vinogradi karakteriziraju sljedeće prosječne vrijednosti parametara:

$M = 60 - 80$  m - debljina vodonosnika,

$K = 12 - 19$  m/d - hidraulička vodljivost vodonosnika,

$k' = (1.5-5) \cdot 10^{-3}$  m/d - vertikalna hidraulička vodljivost polupropusne krovine,

$S = 0.5-2 \cdot 10^{-3}$  - koeficijent uskladištenja vodonosnika,

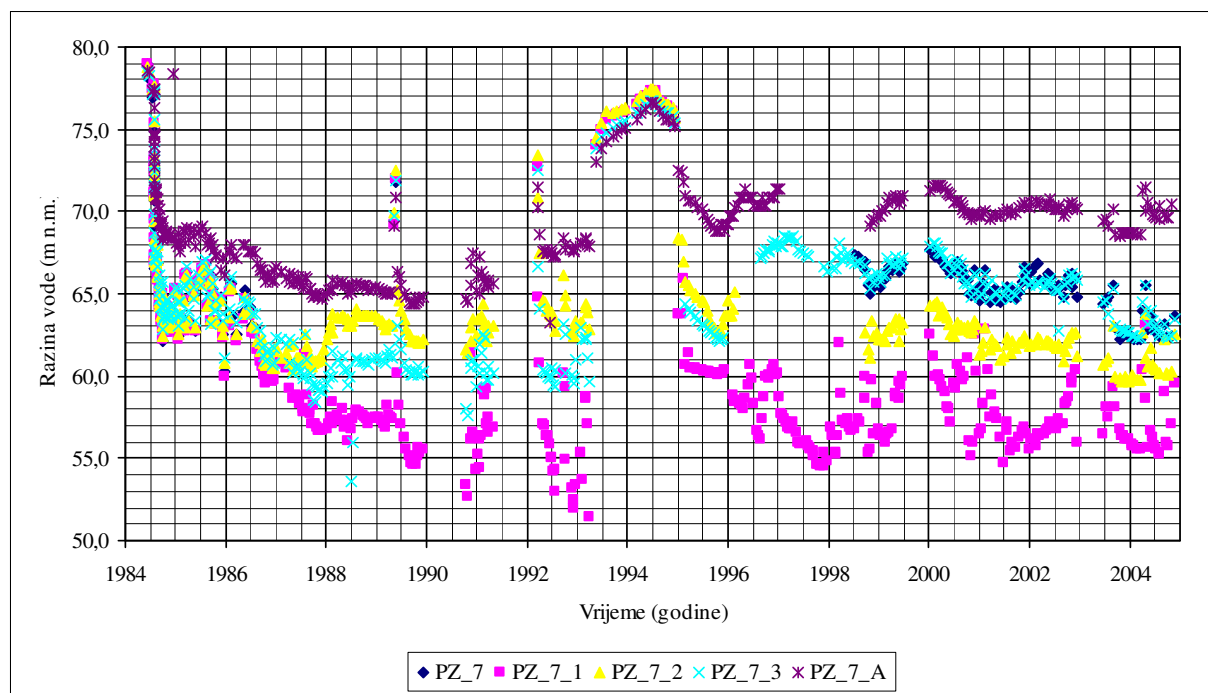
$n = 0,20$  - efektivna poroznost pijeska,

$n' = 0,03-0,16$  - prosječna efektivna poroznost naslaga u krovini kaptiranog vodonosnika (Fond dokumenata Vodovod Osijek).

Na crpilištu Vinogradi organizirano se provode mjerenja crpnih količina i razina podzemnih voda, te snimanje kakvoće podzemnih voda. U sklopu mreže opažanja podzemnih voda na crpilištu Vinogradi inicijalno je organizirano opažanje na svim zdencima (18 zdenaca) i piezometarskim bušotinama izvedenim tijekom istraživanja crpilišta i za potrebe monitoringa

autoceste (koridor VC) i južne obilaznice Osijeka. Opažanja se provode na 65 piezometarskih bušotina, na 24 lokacije. Naime, na većini lokacija postoji veći broj piezometara s različitim zacjevljenjem (piezometarska gnijezda). Tako, primjerice, na lokaciji piezometarskog gnijezda Pz-7 (koji je smješteno na udaljenosti oko 20 m južno od zdenca B-7 postoji 5 piezometara od kojih Pz-7A zacjevljuje najplići, izvorni sloj (koji nije zahvaćen eksploatacijskim zdencima, a koji se napaja infiltracijom oborina i preko kojega se odvija napajanje niže položenog zahvaćenog vodonosnika). Piezometarska cijev s oznakom Pz-7/1 zahvaća sve ili većinu slojeva u vodonosniku koji su zahvaćeni eksploatacijskim zdencima, a od tih slojeva pojedini su posebice zacijevljeni, tako da Pz-7/1 zahvaća prvi (145-156 m dubine), Pz-7/2 zahvaća drugi (92-125 m dubine), a Pz-7/3 (66-78 m dubine) zahvaća treći od slojeva u vodonosniku.

Praćenjem kolebanja razina podzemne vode po profilu vodonosnika na lokaciji piezometarskog gnijezda Pz-7 kojim su zahvaćeni svi slojevi vodonosnika može se pratiti opće kolebanje razine podzemne vode karakteristično za cijelu regiju (Duić, 2007). Na slici 4.13. je prikazano kolebanje razine podzemne vode po profilu vodonosnika na lokaciji piezometarskoga gnijezda Pz-7.



Slika 4.13. Kolebanje razine podzemne vode po profilu vodonosnika na lokaciji piezometarskoga gnijezda Pz-7 (Duić Ž., 2007)

U razdoblju od ožujka 1994. do konca prosinca 1994.g. bio je prekid eksploatacije Crpilišta, odnosno prekid crpljenja, zbog izmjene spojnog cjevovoda sirove vode između crpilišta Vinogradi i postrojenja za preradu vode. U istraživačkom smislu taj prekid eksploatacije bio je izuzetno dragocjen jer je omogućio prikupljanje najvrjednijih podataka za identifikaciju i potvrdu hidrauličkih odnosa u vodonosnom sustavu, kao i uvjeta napajanja podzemnih voda (Duić, 2007).

U sklopu identifikacije hidrauličkih uvjeta kroz to razdoblje posebice su važne sljedeće pojave:

- Neposredno nakon prekida crpljenja nastaje snažniji porast razine vode u vodonosniku koja poraste iznad razine vode u izvornom sloju pokazujući elastičnost vodonosnika i tromost izvornoga sloja u kojemu je rast razine vode povezan s pojavom saturiranja ranije odvodjenih naslaga;
- Povratak razine izvornoga sloja na udaljenim piezometrima čak premašuje razinu registriranu prije uključenja Crpilišta, dok je razina podzemne vode u vodonosniku samo 20 cm niža od razine prije uključenja;
- Povratak razine podzemne vode u neposrednom području Crpilišta u zahvaćenome vodonosniku doseže oko 1 m, a u izvornome sloju do 1,5 m ispod razine registrirane prije početka rada crpilišta (Duić, 2007.).

Može se dakle zaključiti da je vrijeme prekida crpljenja od ožujka do prosinca 1994.g., dakle približno 9 mjeseci bilo prekratko za cjelovito obnavljanje izvornoga sloja i uspostavljanje inicijalne ravnoteže, što izražava tromost sustava, a suglasna je vremenu (oko 2-3 godine) potrebnom za relativno ustaljenje konusa depresije u početku rada Crpilišta. Izmjerene razine podzemnih voda i uočene pojave njenoga ponašanja tijekom prekida te nakon ponovnoga uključenja Crpilišta neprijeporno potvrđuju obnavljanje podzemnih voda koje pri danim crpnim količinama i pri dugoročnom radu Crpilišta jamačno nije deficitarno (Duić, 2007.).

## **4.5. Klimatska obilježja**

### **4.5.1. Uvod**

Klima je prosječno stanje atmosfere nad određenim mjestom u određenom vremenskom razdoblju (minimalno 30 godina) uzimajući u obzir prosječna ekstremna odstupanja.

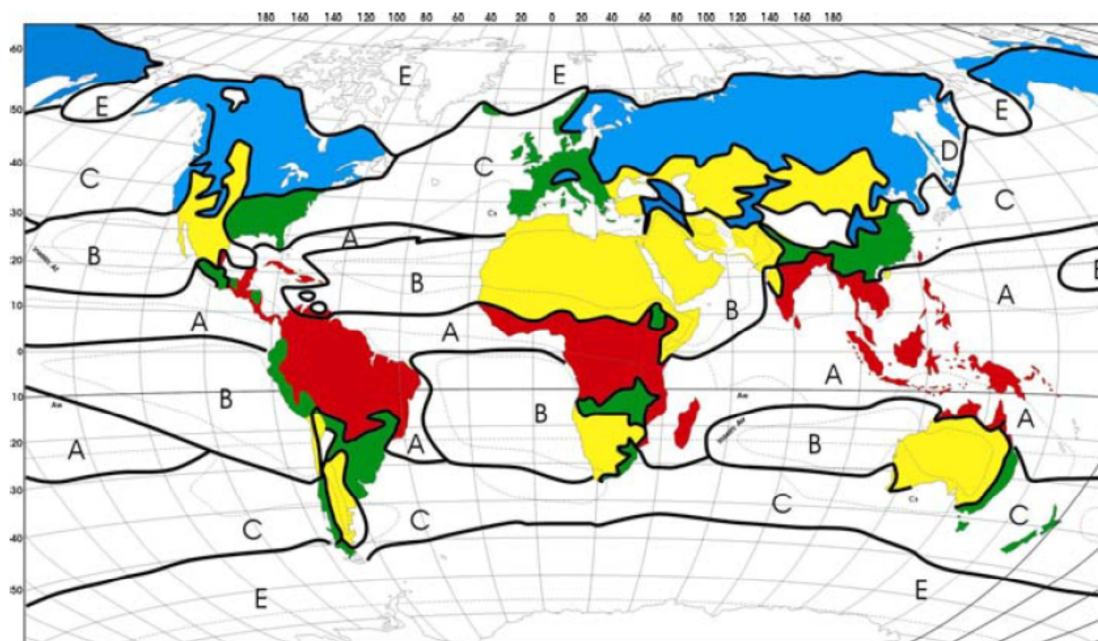
Klima ili podneblje nekog područja u nekom razdoblju definira se kao skup osrednjih ili očekivanih vrijednosti meteoroloških elemenata (varijabli) i pojava. Na klimu utječu Sunčevo, Zemljino i atmosfersko zračenje, sastav atmosfere, oceanske i zračne struje, razdioba kopnenog i morskog leda, zemljopisna širina, reljef, razdioba kopna i mora, nadmorska visina, udaljenost od mora ili većih vodenih površina, sastav tla, biljni pokrov, a također i djelovanje čovjeka (Zaninović i dr., 2008). Da bi se odredila klima nekog područja potrebno je mjeriti meteorološke elemente ili opažati meteorološke pojave kroz dulje vremensko razdoblje (minimalno 30 godina).

Klima je prosječan tijek vremena (Šegota i dr., 2003). U sadašnjoj fazi razvoja klimatologije određuje se uzročno-posljedični odnos temperature zraka i oborina, ali veliko značenje ima i godišnjih hod ovih temeljnih veličina (Šegota i dr., 2003).

Sve klimatske kvalifikacije sistematiziraju klimu cijele Zemlje i to na način da se „bezbroj“ mikroklima mora svesti na razuman broj klimatskih razreda, tipova i podtipova (Šegota i dr., 2003) odnosno da se golema količina informacija mora svesti na prihvatljivu mjeru.

U gotovo većini zemalja u primjeni je klasifikacija klima prema W.P.Köppenu, koji je klasificirao klimu prema dva klimatska elementa – temperaturi zraka i oborinama (slika 4.14.).





Slika 4.14. Geografska raspodjela klimatskih razreda po Köppenovoj podjeli klima: A-tropske kišne klime, B-suhe klime, C – umjereno tople kišne klime, D--snježno-šumske ili borealne klime, E- snježne klime (Köppen, 1918.;Geiger i dr., 1954.)

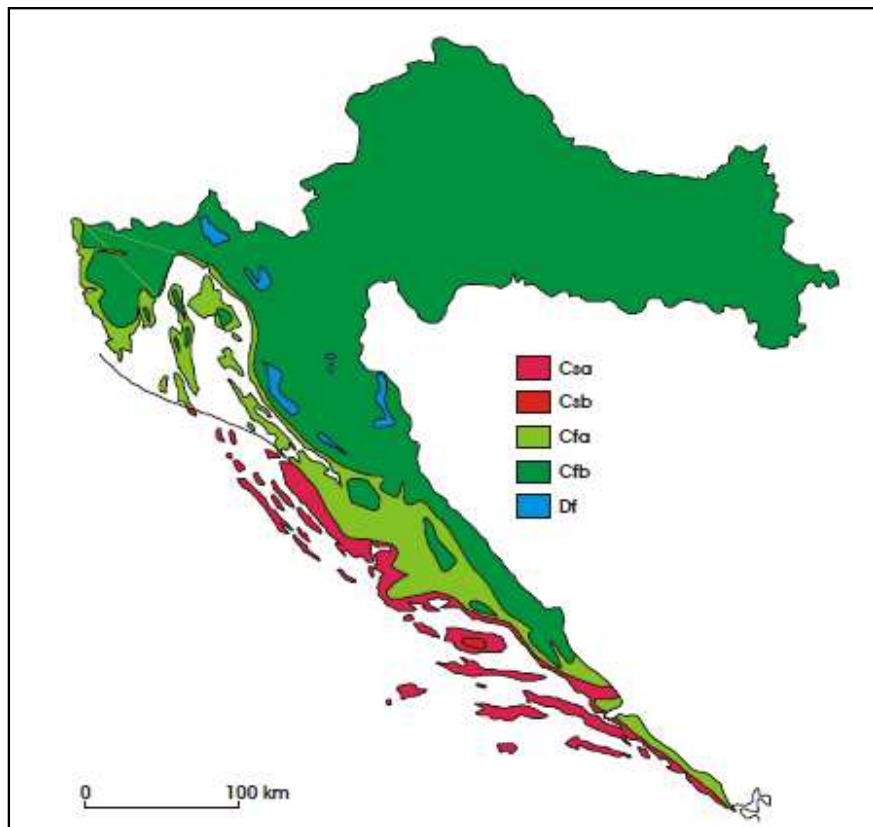
Za potrebe iskorištavanja voda korisnicima stoje na raspolaganju dvije osnovne grupe meteoroloških podataka: klimatološki podaci (arhivski) koje primarno koriste planeri i projektanti i sinoptički podaci (trenutni) koje trebaju operativne službe, te rezultati klimatskih i hidroloških modela za dugoročnija planiranja (Stewart, 2011).

#### 4.5.2. Klimatska obilježja Hrvatske

Geografski položaj i morfologija uvjetuju specifična i raznolika klimatska obilježja. Na području Hrvatske prisutna su tri oborinska režima: kontinentalni, mediteranski i prijelazni koji sadržava karakteristike obaju režima (Zaninović i dr., 2008).

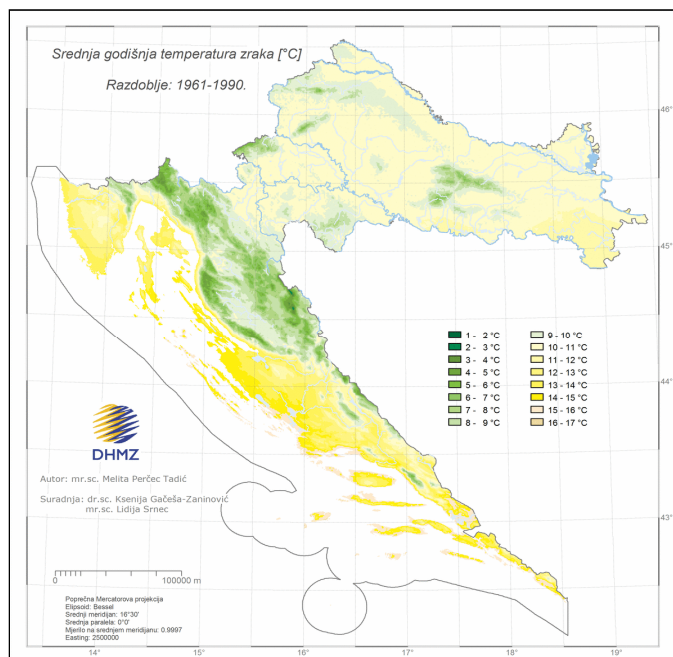
Prema Köppenovoj klasifikaciji (Škreb i dr., 1942.; Seletković i dr., 1992) (slika 4.15.) najveći dio Hrvatske ima umjereno toplu kišnu klimu sa srednjom mjesečnom temperaturom najhladnijeg mjeseca višom od  $-3^{\circ}\text{C}$  i najtoplijeg mjeseca nižom od  $18^{\circ}\text{C}$ . Samo najviša

planinska područja (>1200 mn.m.) imaju snježno - šumsku klimu sa srednjom temperaturom najhladnijeg mjeseca nižom od -3°C.



Slika 4.15. Geografska raspodjela klimatskih tipova po W. Köppenu u Hrvatskoj u standardnom razdoblju 1961.-1990.: Cfa, umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetom; Cfb, umjerena topla vlažna klima s toplim ljetom; Csa, sredozemna klima s vrućim ljetom; Csb, sredozemna klima s toplim ljetom; Df, vlažna borealna klima (Filipčić,1998).

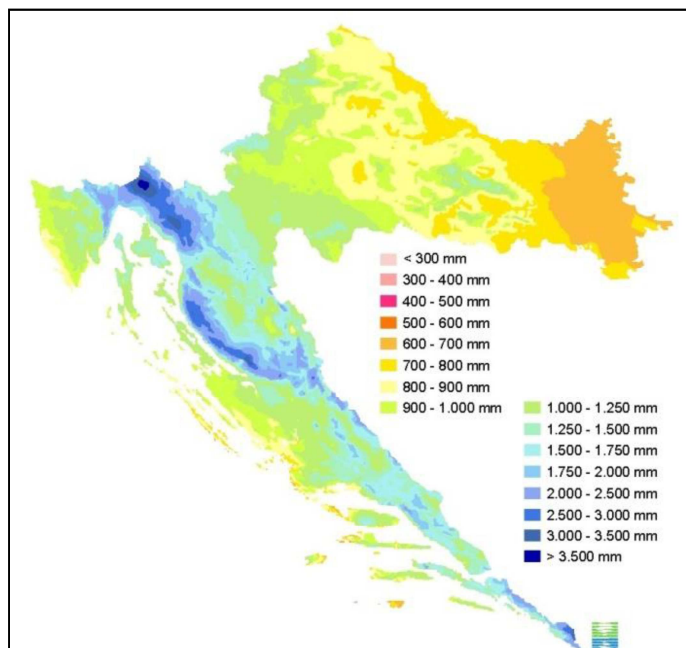
Srednja godišnja temperatura zraka na području Hrvatske kreće se od 3°C na najvišim planinskim predjelima do 17°C uz samu obalu i na otocima srednje i južne Dalmacije zbog njihovog geografskog položaja i neposrednog utjecaja mora. U unutrašnjosti najtopliji mjesec u godini ima srednju temperaturu nižu, a u priobalnom području višu od 22°C (slika 4.16.).



Slika 4.16. Srednja godišnja temperatura zraka za razdoblje 1961-1990.g. (Nimec i dr., 2015)

Ravničarski dio kontinentalne Hrvatske ima blage razlike u srednjoj godišnjoj temperaturi zraka uz prevladavajuću temperaturu zraka od oko 11°C. Veće srednje godišnje temperature zraka (12°C) uočavaju se samo u najistočnijim predjelima Hrvatske kao posljedica najtoplijih ljeta u tom najkontinentalnijem dijelu Hrvatske. (Klimatski atlas RH, 2008).

Prema podacima DHMZ (Klimatski atlas RH, 2008) srednja godišnja količina oborine na području Hrvatske u rasponu je od oko 300 mm do nešto iznad 3500 mm. U istočnoj Slavoniji u prosjeku padne oko 600 do 700 mm oborine (slika 4.17.).



Slika 4.17. Karta prosječnih godišnjih oborina u RH (Klimatski atlas RH, 2008)

Godišnji hod mjesečnih količina oborine u kopnenom području pripada tipu godišnjeg hoda koji ima ljetni maksimum, odnosno najviše oborina ima u toplom dijelu godine (travanj-rujan), a najmanje u hladnom polugodištu (listopad-ožujak). Pa tako u sjevernom dijelu Hrvatske ljetni maksimum oborina postaje glavni, a onaj u studenom sporedni. Glavni minimum oborina nastupa na kraju zime, a sporedni u listopadu.

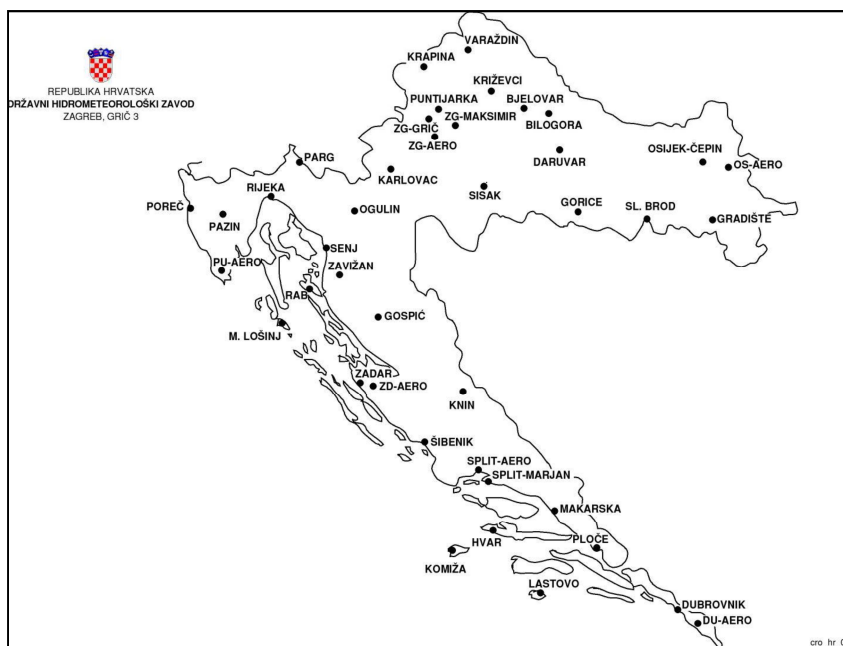
### 4.5.3. Meteorološka motrenja

Meteorološka motrenja objedinjuju dvije vrste podataka, i to vizualna opažanja vremenskih pojava kao što su oblaci, vjetar, oborina, atmosferske optičke i akustičke pojave, nepogode i slično, te instrumentalne podatke o temperaturi, vlažnosti i tlaku zraka, smjeru i brzini vjetra, količini pale oborine, o osunčavanju i slično (DHMZ, 2014).

U Hrvatskoj postoji pet meteoroloških postaja koje imaju neprekinute nizove motrenja dulje od sto godina, koji su potrebni za proučavanje klimatskih promjena. To su postaje Zagreb-Grič (1862.), Crikvenica (1891.), Osijek (1899.), Gospić (1872.) i Hvar (1858.). (Zaninović,

2008). Osim dugogodišnjeg motrenja, geografski raspored ovih meteoroloških postaja pokriva gotovo cijelu Hrvatsku, odnosno osigurava reprezentativan motrenih podataka za sve tipove klima na području Hrvatske.

Za praćenje i ocjenu klime analiziraju se podaci sa meteoroloških postaja prikazanih na slici 4.18.



Slika 4.18. Meteorološke postaje za ocjenu i praćenje klime (DHMZ, [www.meteo.hr](http://www.meteo.hr),2018-2019)

## 5. KLIMATSKE PROMJENE

### 5.1. Uvod

Statistički značajne promjene srednjeg stanja ili varijabilnosti klimatskih veličina koje traju desetljećima i duže, nazivaju se klimatskom promjenom (DHMZ, www.meteo.hr, 2018-2019).

Istražujući dostupnu literaturu uočavaju se različiti scenariji klimatskih promjena. Prognoistički modeli nisu ujednačeni niti istoznačni, odnosno usuglašeni. Ono što im je zajedničko jest prognoziranje klimatskih promjena i to poglavito u vidu izraženijih klimatskih varijacija koje će uzrokovati češće pojave ekstremno visokih i niskih temperatura zraka, ekstremno vlažnih i sušnih razdoblja, te promjenu statističkih raspodjela klimatskih događaja.

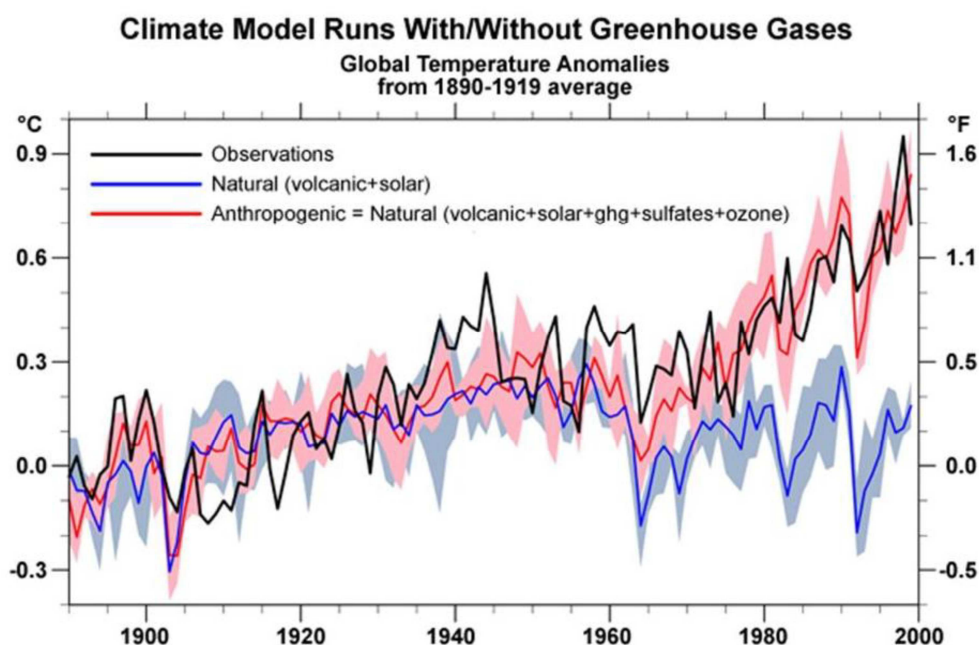
Klimatska kretanja su teško predvidiva. Trendovi klimatskih promjena ne mogu se sa sigurnošću predvidjeti. No, klimatološki ekstremni događaji upućuju na očiglednu realnost promjene klime. Ekstremni klimatski elementi nisu više iznimka već gotovo pravilo, a njihovo pojavljivanje događa se u sve kraćem vremenskom nizu.

Sve učestalije pojave ekstremnih klimatskih prilika upućuju na to da se vodno gospodarstvo mora prilagođavati novim uvjetima i pripremati za scenarije ekstremnih klimatskih uvjeta.

Ako je klima prosječno stanje atmosfere nad određenim mjestom u određenom vremenskom razdoblju, onda su klimatske promjene značajne i trajne promjene u statističkoj razdiobi vremenskih pojava (od dekade do milijuna godina).

Zbog dobivanja znanstvenih, tehničkih i socioekonomskih informacija važnih za razumijevanje klimatskih promjena, njezinih mogućih posljedica i mogućnosti prilagodbe i ublažavanja, Svjetska meteorološka organizacija (*World Meteorological Organization*, WMO) i Program za okoliš Ujedinjenih naroda (*United Nations Environment Programme*, UNEP) osnovali su Međuvladino tijelo za klimatske promjene (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC). Ono okuplja stručnjake različitih struka koji na temelju rezultata istraživanja znanstvenika iz cijeloga svijeta donose izvješća o klimatskim promjenama, njihovim složenim uzrocima i posljedicama (Zaninović i dr., 2008).

Prvo IPCC izvješće iz 1990.g. ustanovilo je da se *s klimom nešto događa*. U drugom izvješću iz 1995.g. istaknuto je da postoji antropogeni signal unutar prirodne klimatske varijabilnosti. Treće IPCC izvješće iz 2001.g. naglašava da postoje novi i jači dokazi da se najviše opaženih zatopljenja proteklih 50 godina vjerojatno (vjerojatnost 66–90%) može dovesti u vezu s ljudskim djelovanjem. Četvrto izvješće IPCC-a iz 2007.g. nepobitno utvrđuje da je opaženo zatopljenje od sredine 20. stoljeća vrlo vjerojatno (vjerojatnost 90–99%) uzrokovano opaženim povećanjem koncentracija antropogenih stakleničkih plinova (Zaninović i dr.). Simulacija opažene klime kao rezultat prirodnih i antropogenih utjecaja prikazana je na slici 5.1.



Slika 5.1. Globalna temperaturna promjena kao rezultat zajedničkog utjecaja prirodnih promjena i antropogenog utjecaja ( izvor: ClimateChange 2001. Synthesis Report: Intergovernmental panel on Climate Change)

Prema Sedmom nacionalnom izvješću Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 2018), zadnje tri godine to jest 2015., 2016. i 2017. bile su 3 najtoplije godine od kada postoje sustavna meteorološka motrenja sa srednjom globalnom temperaturom za 1.1-1.2°C iznad predindustrijskog razdoblja 1881-1910.godine. Godina 2017. bila je godina bez utjecaja El Nina te godina jakog utjecaja ekstremnog vremena.

Klimatski modeli su jedini „alat“ kojima se može predvidjeti buduće klimatske promjene. Uz modeliranje klime i klimatskih promjena vezane su mnoge nesigurnosti. Hawkins i dr. (2009) dijele izvore neizvjesnosti u tri grupe:

- prirodna varijabilnost klimatskog sustava,
- nesavršenost klimatskih modela,
- nepoznavanje buduće koncentracije plinova staklenika,

što se donekle može ublažiti višestrukim simulacijama i predviđanjem različitih scenarija.

Dakle, ne bi se trebali promatrati rezultati samo jednog klimatskog modela, već rezultati skupa različitih modela (ili *ansambla*, engl. ensemble) koji ukazuju na raspon mogućih i jednako vjerojatnih rješenja (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 2018.).

Direktne posljedice klimatskih promjena prema 5. izvješću IPCC-a u najvažnijim točkama su slijedeće:

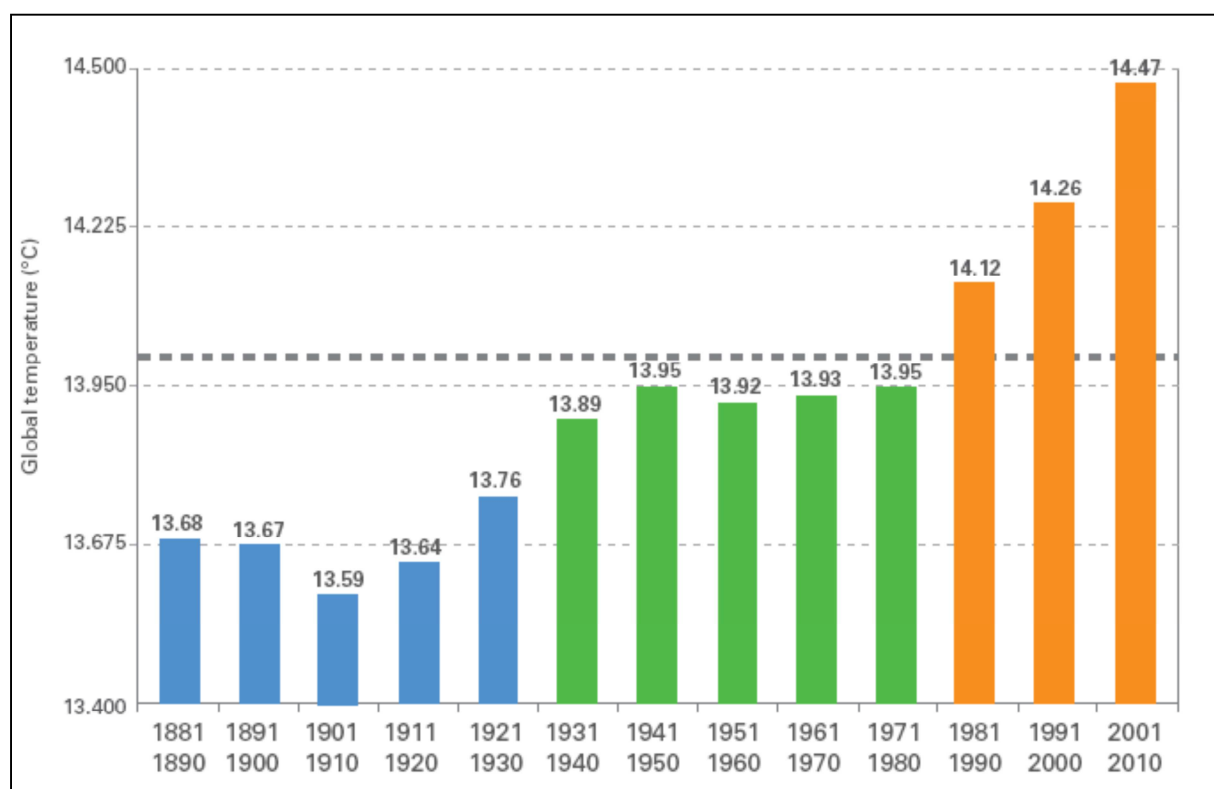
- porast prosječnih globalnih temperatura (npr. blaže zime ili toplija ljeta), te češći i intenzivniji toplinski valovi,
- porast razine mora i oceana (npr. prodor slane morske vode u rijeke),
- promjene učestalosti i intenziteta oborina (npr. češća pojava poplava ili dugih sušnih razdoblja),
- oprečni rezultati u svezi trenda oborinskih režima,
- češća pojava klimatskih ekstrema (npr. jaki vjetrovi orkanske snage: uragani i tajfuni).

U svjetlu navedenog, treba promatrati utjecaj klimatskih promjena na zalihe podzemnih voda te posljedično na stabilnost vodoopskrbe. Razmatrajući reakciju ta dva sustava na vanjske podražaje u vidu promjene hidroloških i drugih klimatskih faktora važno je provjeriti u kojem vremenu i na koji način će se dogoditi reakcija na promijenjene prirodne uvjete. Za preslagivanje i uspostavljanje nove ravnoteže, obzirom na kompleksnost i prirodnog i izgrađenog sustava potrebno je detektirati koji scenarij klimatskih promjena će ugroziti uspostavljenu ravnotežu kako bi se na vrijeme poduzele aktivnosti za ublažavanje potencijalnih nesigurnosti.



## 5.2. Globalni klimatski modeli

Prema podacima koje je zabilježila NOAA (Američka nacionalna oceanografska i atmosferska služba) posljednjih 10 godina, od 2005. do 2015.g., bile su među najtoplijima u povijesti mjerenja (slika 5.2.). Godina 2015. je bila daleko najtoplija otkad se krajem 19. stoljeća počela mjeriti temperatura. Prosječna temperatura kopna i mora za čitavu 2015.g. bila je 0,9°C iznad prosjeka za 20. stoljeće, što je najviše od početka mjerenja 1880.g. Napokon, utvrđeno je da je prosinac 2015.g. bio najtopliji mjesec prosinac u zadnjih 136 godina. U prvoj polovici 2016.g. ovaj se je trend nastavio. Američka nacionalna oceanografska i atmosferska služba (NOAA) objavila je u kolovozu 2016.g. da je srpanj 2016.g. do sada najtopliji zabilježeni srpanj, a ujedno i najtopliji mjesec otkad se bilježe podaci (NOAA, 2016). Najnoviji podaci (Sedmo nacionalno izvješće o promjeni klime, 2018) govore da su već 2017.g. premašene najviše zabilježene temperature zraka te da je 2017.g. najtoplija godina od početka sustavnog mjerenja.



Slika 5.2. Globalna kombinirana površinska temperatura zraka iznad kopna i površinska temperatura mora (°C). Horizontalna siva crta označava vrijednost višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1961.-1990.g. (14°C). (WMO, 2013)

Nadalje, porast od 0,21°C srednje dekadne temperature između razdoblja 1991.-2000. i 2001.-2010.g. je veći od porasta srednje dekadne temperature razdoblja 1981.-1990. i 1991.-2000.g. (0,14°C) te najveći od svih sukcesivnih dekada od početka instrumentalnih mjerenja.

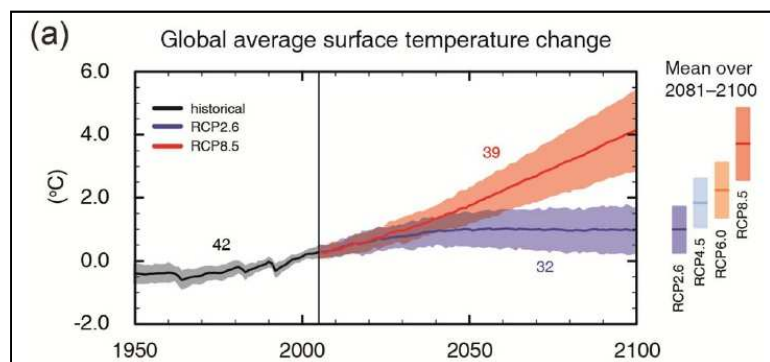
Za predviđanje klimatskih promjena koriste se različiti scenariji koji se potom modeliraju.

Određena su četiri scenarija predviđanja klime u budućnosti, ovisno o količini emisija stakleničkih plinova u budućem razdoblju, tzv. RCP (Representative Concentration Pathways), pri čemu su scenariji nazive dobili po mogućim vrijednostima zračenja topline do 2100.g. u odnosu na preindustrijske vrijednosti, odnosno +2.6, +4.5, +6.0 i +8.5 W/m<sup>2</sup>. Slijedom navedenog, rađene su modelske simulacije za scenarij RCP2.6, RCP4.5, RCP6 i RCP8.5 (IPCC, 2013).

*Globalni klimatski model* (engl. Global Climate Model, GCM) ili model Zemljinog sustava (engl. Earth System Model, ESM) uvažava mnoštvo kompleksnih procesa u raznim komponentama klimatskog sustava na području čitave Zemlje (Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, 2017.).

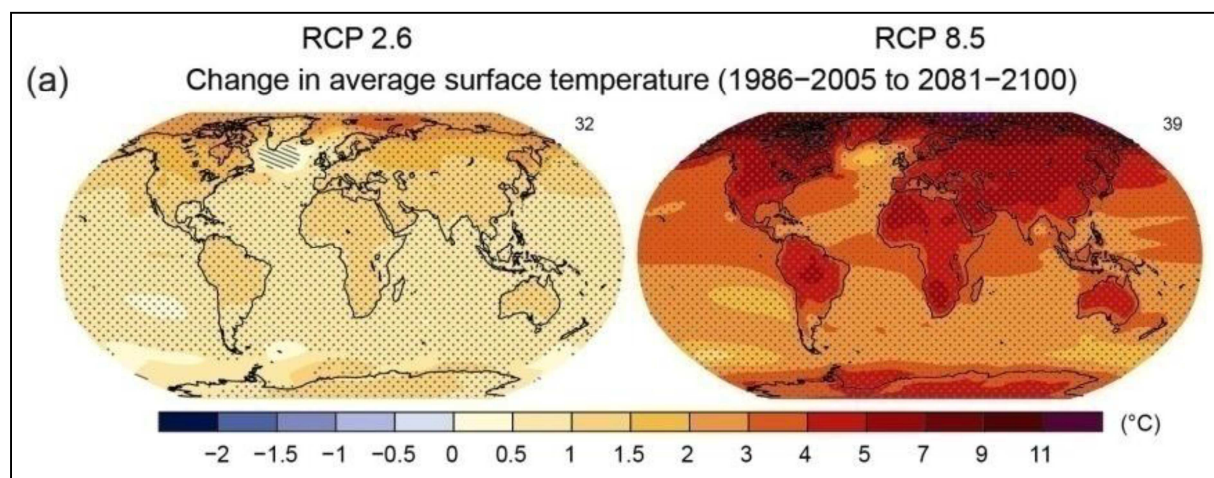
### **5.2.1. Simulacija promjene temperature zraka**

Prema IPCC-u temperatura zraka na površini Zemlje do kraja 21. stoljeća nastavit će se povećavati, pri čemu intenzitet povećanja ovisi o količini proizvedenoga CO<sub>2</sub> u budućnosti. Promjena globalne površinske temperature za kraj 21. stoljeća vjerojatno će prelaziti vrijednost od 1.5°C u odnosu na razdoblje od 1850. do 1900.g. za sve RCP scenarije osim RCP2.6. Za scenarije RCP6.0 i RCP8.5 promjena temperature zraka bit će iznad 2°C, dok je velika vjerojatnost da scenarij RCP4.5 neće prelaziti 2°C (slika 5.3.). Zagrijavanje će se nastaviti i nakon 2100.g. u svim scenarijima, osim RCP2.6.



Slika 5.3. Promjena srednjih godišnjih vrijednosti do konca 21. stoljeća za globalnu površinsku temperaturu u odnosu na referentno razdoblje 1986. – 2005. Sjenčana područja odnose se na scenarij RCP2.6 (plavo) i RCP8.5 (crveno). Crna krivulja (sivo sjenčanje) je simulacija vremenske evolucije povijesnih podataka do 2005.g. (IPCC, 2013.)

Na slici 5.4. je prikazana prostorna razdioba očekivane promjene temperature do konca 21. stoljeća za scenarij RCP 2.6 ili RCP 8.5 ( IPCC, 2013).



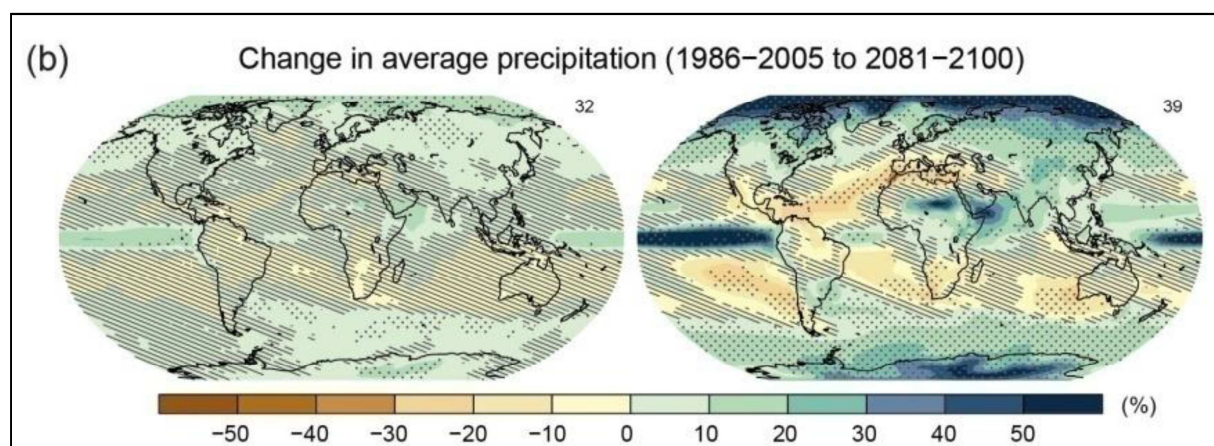
Slika 5.4. Prostorna razdioba promjene temperature za 2081.-2100.g. u odnosu na 1986.-2005.g.; lijevo za RCP 2.6, desno za RCP 8.5 (IPCC, 2013)

## 5.2.2. Simulacija promjene količina oborina

Za razliku od globalnog povećanja prizemne temperature zraka, signal promjene oborine nije prostorno koherentan. Primjerice, prema A1B (Nakićenović i dr., 2000.) scenariju vrlo je vjerojatan porast oborine u tropskom Pacifiku i u visokim zemljopisnim širinama, dok se

zmanjenje oborine očekuje u većini kopnenih suptropskih područja. Postoji tendencija porasta ekstremnih dnevnih količina oborine čak i u područjima u kojima projekcije daju smanjenje ukupne količine oborine (www.meteo.hr,DHMZ,2018-2019).

Predviđene promjene količine oborina variraju od regije do regije (slika 5.5.). Pod scenarijem RCP8.5, u područjima uz Sjeverni i Južni pol te vlažna područja iznad i ispod ekvatora vjerojatno će se krajem ovog stoljeća dogoditi povećanja srednjih godišnjih količina oborina. Prema istom scenariju, u subtropskom suhom području i suhom području iznad i ispod ekvatora dogodit će se smanjenje srednjih godišnjih količina oborina (IPCC,2007.)



Slika 5.5. Prostorna razdioba promjene OBORINA za 2081.-2100. u odnosu na 1986.-2005.; lijevo za RCP2.5, desno za RCP8.5 (IPCC, 2013.)

### 5.3. Klimatski modeli za područje Hrvatske

U Šestom nacionalnom izvješću Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (2013) opisani su rezultati budućih klimatskih promjena za područje Hrvatske za dva osnovna meteorološka parametra: temperaturu na visini od 2 m (T2m) i oborinu. Za svaki od ovih parametara rezultati se odnose na dva izvora podataka: a) dinamičku prilagodbu regionalnim klimatskim modelom RegCM urađenu u Državnom hidrometeorološkom zavodu (DHMZ) po IPCC scenariju A2 (Nakićenović i dr., 2000) i b) dinamičke prilagodbe raznih regionalnih klimatskih modela iz europskog projekta

ENSEMBLES (van der Linden i Mitchell 2009, Christensen i dr. 2010) po IPCC scenariju A1B.

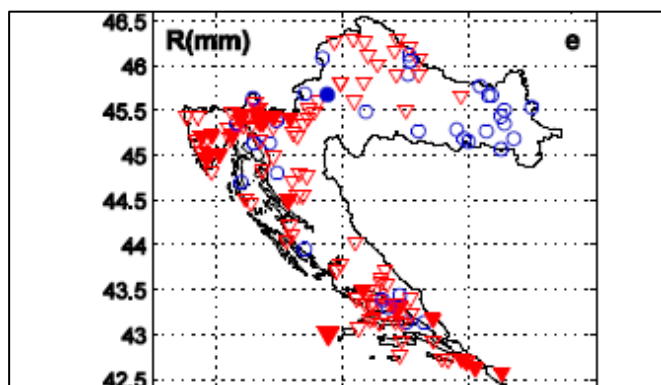
### **5.3.1. Opažene klimatske promjene u Hrvatskoj**

U Šestom nacionalnom izvješću Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) (2013) razmatrani su klimatski faktori i njihova odstupanja odnosno trendovi tijekom 50-godišnjeg razdoblja (1961.-2010.) u odnosu na nulto razdoblje 1961.-1990.g..

Trendovi srednje, srednje minimalne i srednje maksimalne temperature zraka pokazuju zatopljenje u cijeloj Hrvatskoj. Trendovi godišnje temperature zraka su pozitivni i signifikantni, a promjene su veće u kontinentalnom dijelu zemlje nego na obali i u dalmatinskoj unutrašnjosti.

Uočeno zatopljenje očituje se i u svim indeksima temperaturnih ekstrema: pozitivnim trendovima toplih temperaturnih indeksa (topli dani i noći te trajanje toplih razdoblja) s negativnim trendovima hladnih temperaturnih indeksa (hladni dani i hladne noći te duljina hladnih razdoblja). Trendovi indeksa toplih temperaturnih ekstrema statistički su značajni za sve trendove što potvrđuje i sveukupna značajnost trenda.

Prema Šestom nacionalnom izvješću Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC, 2013), trendovi godišnjih i sezonskih količina oborina daju opći pregled vremenskih promjena količine oborine u cijeloj zemlji. Tijekom nedavnog 50-godišnjeg razdoblja (1961.-2010.), godišnje količine oborine ( $R$ ) pokazuju prevladavajuće nesignifikantne trendove, koji su pozitivni u istočnim ravničarskim krajevima i negativni u ostalim područjima Hrvatske (slika 5.6.).

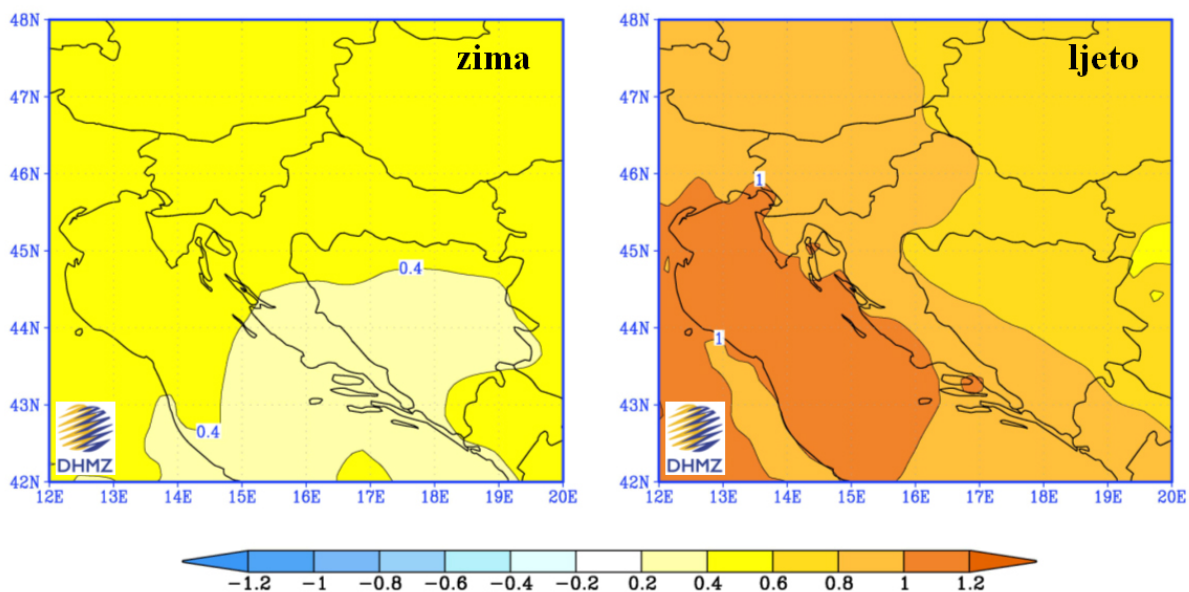


Slika 5.6. Dekadni trendovi (%/10god) godišnjih količina oborine (R, godina). Krugovi označavaju pozitivne trendove, trokuti negativne, dok popunjeni znakovi označavaju statistički značajan trend (Šesto nacionalno izvješće Republike Hrvatske, 2013)

### 5.3.2. Simulacije promjene temperature zraka

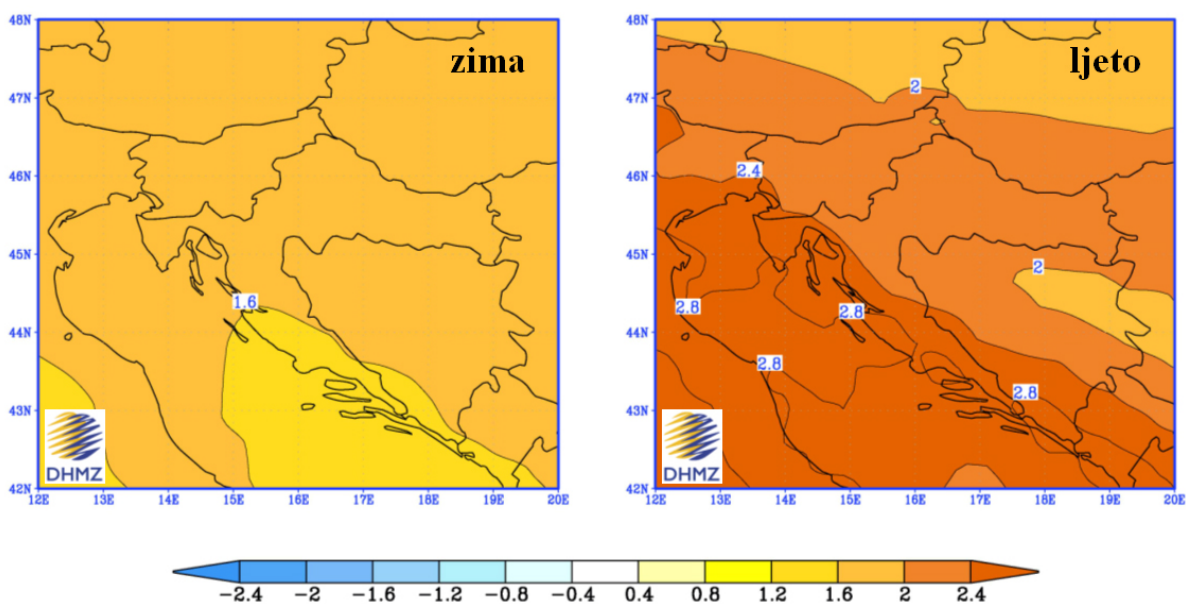
Prema rezultatima RegCM-a, za A2 scenarij emisije plinova staklenika (IPCC, 2010), za područje Hrvatske, srednjak ansambla simulacija upućuje na povećanje temperature zraka u oba razdoblja i u svim sezonama. Amplituda porasta veća je u drugom nego u prvom razdoblju, ali je statistički značajna u oba razdoblja. Povećanje srednje dnevne temperature zraka veće je ljeti (lipanj - kolovoz) nego zimi (prosinac - veljača) (DHMZ).

U prvom razdoblju buduće klime (2011. - 2040.) na području Hrvatske (slika 5.7.) zimi se očekuje porast srednje temperature do 0,6 °C, a ljeti do 1°C (Branković i dr., 2012).



Slika 5.7. Promjena prizemne temperature zraka (u °C) u Hrvatskoj u razdoblju 2011. - 2040. u odnosu na razdoblje 1961. - 1990. prema rezultatima srednjaka ansambla regionalnog klimatskog modela RegCM za A2 scenarij emisije plinova staklenika za zimu (lijevo) i ljeto (desno) (DHMZ, <https://meteo.hr/>)

U drugom razdoblju buduće klime (2041. - 2070.) očekivana amplituda porasta u Hrvatskoj (slika 5.8.) zimi iznosi do 2°C u kontinentalnom dijelu i do 1,6°C na jugu, a ljeti do 2,4°C u kontinentalnom dijelu Hrvatske, odnosno do 3°C u priobalnom pojasu (Branković i dr., 2012.).



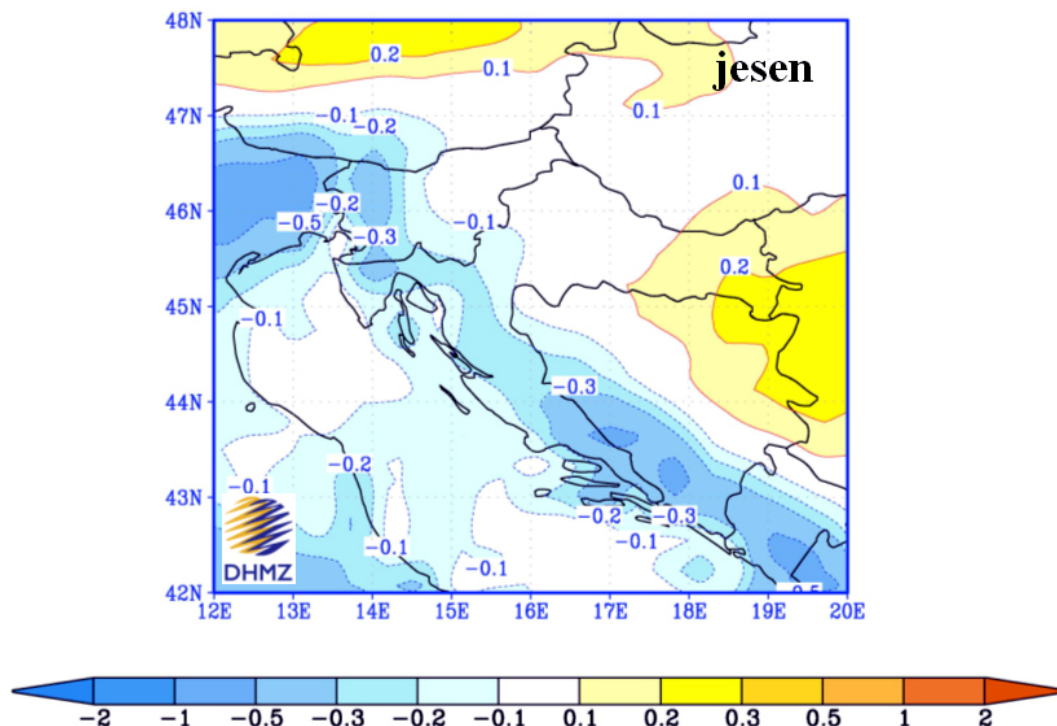
Slika 5.8. Promjena prizemne temperature zraka (u °C) u Hrvatskoj u razdoblju 2041. - 2070. u odnosu na razdoblje 1961. - 1990. prema rezultatima srednjaka ansambla regionalnog klimatskog modela RegCM za A2 scenarij emisije plinova staklenika za zimu (lijevo) i ljeto (desno) (DHMZ, <https://meteo.hr/>)

Projekcije za kraj 21. stoljeća upućuju na mogući izrazito visok porast temperature zraka te na veće razlike u proljeće i jesen u odnosu na projicirane promjene u ranijim razdobljima 21. stoljeća. U kontinentalnoj Hrvatskoj zimi projicirani porast je od 3.5°C do 4°C te nešto blaži porast u obalnom području - između 3°C i 3.5°C. Ljetni, vrlo izražen, projicirani porast u južnoj i središnjoj Dalmaciji iznosi između 4.5°C i 5°C, a u ostalim dijelovima Hrvatske između 4°C i 4.5°C.

### **5.3.3. Simulacije promjene količine oborina**

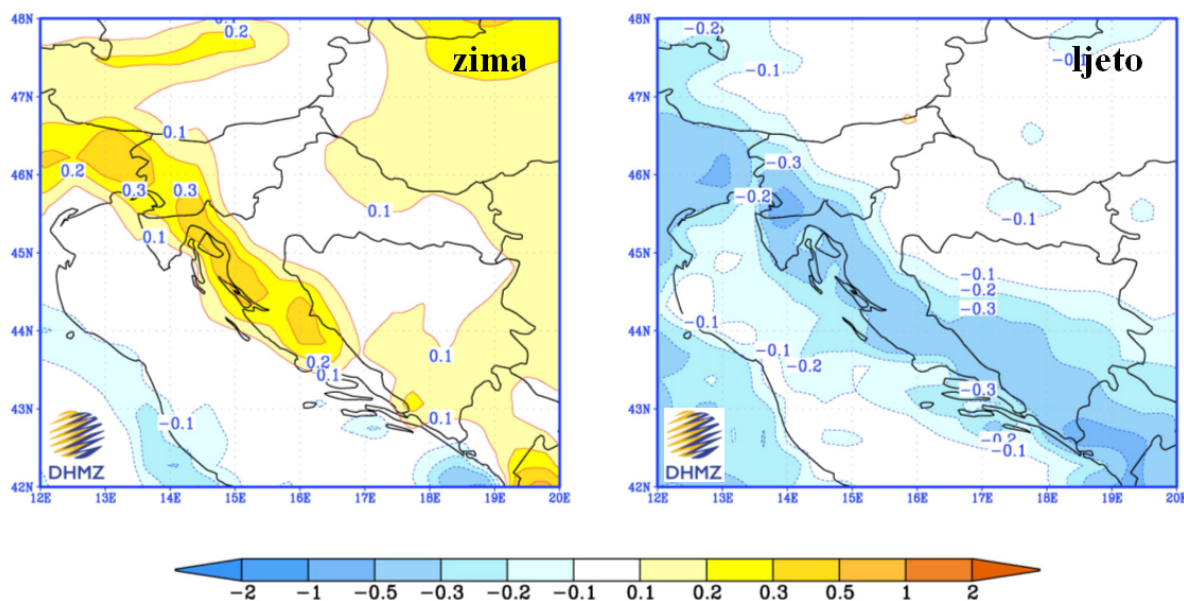
Prema rezultatima RegCM promjene količine oborine u bližoj budućnosti (2011. - 2040.) su vrlo male i ograničene samo na manja područja te variraju u predznaku ovisno o sezoni. Najveća promjena oborine, prema A2 scenariju, može se očekivati na Jadranu u jesen kada RegCM upućuje na smanjenje oborine s maksimumom od približno 45 - 50 mm na južnom dijelu Jadrana. Međutim, ovo smanjenje jesenske količine oborine nije statistički značajno (slika 5.9.).





Slika 5.9. Promjena oborine u Hrvatskoj (u mm/dan) u razdoblju 2011. - 2040. u odnosu na razdoblje 1961. - 1990. prema rezultatima srednjaka ansambla regionalnog klimatskog modela RegCM za A2 scenarij emisije plinova staklenika za jesen (DHMZ, <https://meteo.hr/>)

U drugom razdoblju buduće klime (2041. - 2070.) promjene oborina u Hrvatskoj su nešto jače izražene. Tako se ljeti u gorskoj Hrvatskoj te u obalnom području očekuje smanjenje oborine. Smanjenja dosižu vrijednost od 45 - 50 mm i statistički su značajna. Zimi se može očekivati povećanje oborine u sjeverozapadnoj Hrvatskoj te na Jadranu, međutim to povećanje nije statistički značajno (slika 5.10.)



Slika 5.10. Promjena oborine u Hrvatskoj (u mm/dan) u razdoblju 2041. - 2070. u odnosu na razdoblje 1961. - 1990. prema rezultatima srednjaka ansambla regionalnog klimatskog modela RegCM za A2 scenarij emisije plinova staklenika za zimu (lijevo) i ljeto (desno) (DHMZ, <https://meteo.hr/>)

Projekcije za kraj 21. stoljeća predviđaju promjene u sezonskim količinama oborine koje zahvaćaju veće dijelove Hrvatske. Tijekom zime projiciran je porast količine oborine između 5% i 15% na cijelom području Hrvatske osim na krajnjem jugu. Projekcije za ljeto ukazuju na veće smanjenje oborine. U središnjoj i istočnoj Hrvatskoj i Istri projicirano smanjenje oborine bilo bi od -15% do -25%, a u gorskoj Hrvatskoj te u većem dijelu Primorja i zaleđa između 25% do -35%.

Slijedom navedenih simulacija klimatskih promjena, u budućnosti se očekuje zatopljenje u obje sezone, a izraženije ljeti, osobito krajem 21. stoljeća. Može se očekivati blagi porast količine oborina zimi te smanjenje količina ljeti, a obje promjene mogu biti jače izraženije krajem 21. stoljeća (DHMZ, [www.meteo.hr.](http://www.meteo.hr), 2018-2019)(tablica 5.1. i 5.2.).

Tablica 5.1. Projekcija klime u Republici Hrvatskoj do 2040. godine s pogledom do 2070. (izvor: Sedmo nacionalno izvješće i treće dvogodišnje izvješće Republike Hrvatske prema okvirnoj konvenciji ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC), 2014)

Klimatološki parametar		Projekcije buduće klime prema scenariju RCP4.5 u odnosu na razdoblje 1971. - 2000. godine dobivene klimatskim modeliranjem	
		2011. - 2040.	2041. - 2070.
OBORINE		<b>Srednja godišnja količina: malo smanjenje</b> (osim manji porast u SZ Hrvatskoj)	<b>Srednja godišnja količina: daljnji trend smanjenja</b> (do 5%) u gotovo cijeloj Hrvatskoj osim u SZ dijelovima
		<b>Sezone: različit predznak: zima i proljeće</b> u većem dijelu Hrvatske <i>manji porast</i> +5 -10 %, a <b>ljetu i jesen smanjenje</b> (najviše -5 - 10% u J Lici i S Dalmaciji)	<b>Sezone: smanjenje u svim sezonama</b> (do 10% gorje i S Dalmacija) <i>osim zimi</i> (povećanje 5 - 10% S Hrvatska)
		<i>Smanjenje broja kišnih razdoblja</i> (osim u središnjoj Hrvatskoj gdje bi se malo povećao). Broj <b>sušnih razdoblja</b> bi se <i>povećao</i> .	Broj <b>sušnih razdoblja</b> bi se <i>povećao</i> .
SNJEŽNI POKROV		<i>Smanjenje</i> (najveće u Gorskom Kotaru, do 50%)	<i>Daljnje smanjenje</i> (naručito planinski krajevi)
POVRŠINSKO OTJECANJE		Nema većih promjena u većini krajeva: no u gorskim predjelima i zaleđu Dalmacije <i>smanjenje</i> do 10%	<i>Smanjenje</i> otjecanja u cijeloj Hrvatskoj (osobito u proljeće)
TEMPERATURA ZRAKA		Srednja: <i>porast</i> <b>1 - 1,4°C</b> (sve sezone cijela Hrvatska)	Srednja: <i>porast</i> <b>1,5 - 2,2°C</b> (sve sezone, cijela Hrvatska - naročito kontinent)
		Maksimalna: <i>porast</i> u svim sezonama <b>1 - 1,5°C</b>	Maksimalna: najveći <i>porast</i> do <b>2,2°C</b> ljeti (do 2,3°C na otocima)
		Minimalna: najveći <i>porast</i> zimi <b>1,2 - 1,4°C</b>	Minimalna: najveći <i>porast</i> na kontinentu zimi <b>2,1 - 2,4°C</b> : a <b>1,8 - 2°C</b> primorski krajevi
EKSTREMNI VREMENSKI UVJETI	<b>Vrućina</b> (br.dana s Tmax > + 30°C)	<b>6 do 8 dana</b> više od referentnog razdoblja (referentno razdoblje: 15 - 25 dana godišnje)	Do <b>12 dana</b> više od referentnog razdoblja
	<b>Hladnoća</b> (br.dana s Tmin < - 10 °C)	<i>Smanjenje</i> broja dana s Tmin < - 10 °C i porast s Tmin vrijednosti (1.2 - 1.4 °C)	Daljnje <i>smanjenje</i> broja dana s Tmin < - 10 °C
	<b>Tople noći</b> (br.dana s Tmin < - 10 °C)	<i>U porastu</i>	<i>U porastu</i>

Tablica 5.2. Projekcija klime u Republici Hrvatskoj do 2040. godine s pogledom do 2070. (izvor: Sedmo nacionalno izvješće i treće dvogodišnje izvješće Republike Hrvatske prema okvirnoj konvenciji ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC), 2014)

<b>VJETAR</b>	<b>Sr. Brzina</b> na 10m	<b>Zima i proljeće</b> bez promjene, no u <b>ljetu i osobito u jesen</b> na Jadranu porast do 20-25%	<b>Zima i proljeće</b> uglavnom bez promjene, no trend jačanja u <b>ljetu i jesen</b> na Jadranu
	<b>Max.brzina</b> na 10m	Na godišnjoj razini: bez promjene (najveće vrijednosti na otocima J Dalmacije) Po sezonama: <b>zmanjenje zimi</b> na J Jadranu i zaleđu	Po sezonama: <b>zmanjenje</b> u svim sezonama osim ljeti. <b>Najveće smanjenje zimi</b> na J Jadranu
<b>EVAPOTRANSPIRACIJA</b>		<b>Povećanje</b> u <b>proljeće i ljetu</b> 5 - 10% (vanjski otoci i Z Istra > 10%)	<b>Povećanje</b> do 10 % za veći dio Hrvatske, pa do 15% na obali i zaleđu te do 20 % na vanjskim otocima.
<b>VLAŽNOST ZRAKA</b>		<b>Porast</b> cijele godine ( <b>najviše ljeti</b> na Jadranu)	<b>Porast</b> cijele godine ( <b>najviše ljeti</b> na Jadranu)
<b>VLAŽNOST TLA</b>		<b>Smanjenje</b> u S Hrvatskoj	<b>Smanjenje</b> u cijeloj Hrvatskoj ( <b>najviše ljeti i na jesen</b> )
<b>SUNČANO ZRAČENJE (FLUKS ULAZNE SUNČANE ENERGIJE)</b>		<b>Ljeti i na jesen</b> porast u cijeloj Hrvatskoj, a u <b>proljeće</b> porast u S Hrvatskoj, a <b>zmanjenje</b> u Z Hrvatskoj: <b>zmanjenje</b> cijeloj Hrvatskoj	<b>Povećanje</b> u svim sezonama osim zimi (najveći porast u gorskoj i središnjoj Hrvatskoj)
<b>SREDNJA RAZINA MORA</b>		2046. - 2065. <b>19 - 33 cm</b> (IPCC AR5)	2081. - 2100. <b>32 - 65 cm</b> (procjena prosječnih srednjih vrijednosti za Jadran iz raznih izvora)

U budućnosti se očekuju značajna odstupanja vremenskih prilika u obliku neujednačenih i nepredvidivih oborinskih obrazaca, češćih i intenzivnijih temperaturnih oscilacija, promjene intenziteta i učestalosti vjetra, količine oblaka, intenziteta i kvalitete sunčeve svjetlosti kako na globalnom planu tako i na regionalnom.

Iako klimatski modeli svakim danom postaju sve pouzdaniji, još uvijek nisu dovoljno napredni i ne daju dovoljno pouzdana predviđanja klimatskih uvjeta za precizne odluke o prilagodbama. Neizvjesnost u pogledu varijabilnosti klime, budućnosti društva, opsega emisija stakleničkih plinova u budućnosti i znanstvenih spoznaja o međusobnoj povezanosti sastavnih dijelova klimatskog sustava, sve su to izvori neizvjesnosti kad je riječ o klimatskim projekcijama. Različiti klimatski modeli mogu dati različite rezultate kad je riječ o stupnju i znakovima promjena za različite klimatske varijable (Europska komisija, Glavna uprava za klimatsku politiku).

## 6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA

### 6.1. Analiza klimatskih faktora

#### 6.1.1. Oborine

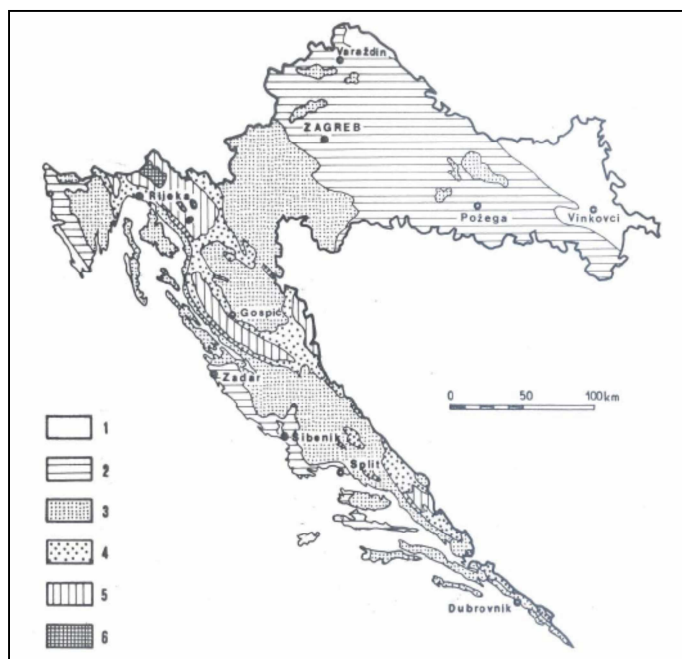
Glavni ulazni klimatski element u hidrološkim proračunima za vodno gospodarske potrebe su oborine. Kod analize oborina zanimljivi su upravo podaci o odstupanju pojedinačnih godišnjih oborina od prosječnih vrijednosti.

Hrvatska je klimatski veoma raznolika država. Klimu Hrvatske određuje njezin položaj u sjevernim umjerenim širinama i pripadni vremenski procesi velikih srednjih razmjera. Najvažniji modifikatori klime na području Hrvatske jesu Jadransko i šire Sredozemno more, orografija Dinarida sa svojim oblikom, nadmorskom visinom i položajem prema prevladavajućem strujanju, otvorenost sjeveroistočnih krajeva prema Panonskoj ravnici, te raznolikost biljnog pokrova (Klimatski atlas Hrvatske, 2008).

Kontinentalna Hrvatska ima umjereno kontinentalnu klimu. Cijele se godine nalazi u cirkulacijskom pojasu umjerenih širina, gdje je stanje atmosfere vrlo promjenjivo: obilježeno je raznolikošću vremenskih situacija uz česte i intenzivne promjene tijekom godine (Klimatski atlas Hrvatske, 2008.). Količina oborine smanjuje se od zapada prema istoku, u najvećem je dijelu između 800 i 1000 mm (Klimatski atlas Hrvatske, 2008).

Primorska Hrvatska ima primorsku klimu budući je osnovni moderator klime toga područja more. Primorska Hrvatska također se veći dio godine nalazi u cirkulacijskom području umjerenih širina, s čestim i intenzivnim promjenama vremena (Klimatski atlas Hrvatske, 2008.). Količina je oborine između 800 i 1200 mm, na otocima i manje, a na pristrancima priobalnih planina više. Veći dio oborina padne u hladnom dijelu godine, a najsuši su mjeseci srpanj i kolovoz.

I gorski dio zemlje ima kontinentalnu klimu, ali znatno modificiranu reljefom. Količina je oborine veća, u Gorskom kotaru ponegdje i 3000 mm, a snijeg se zadržava 50–60 dana godišnje (DHMZ).



Slika 6.1. Karta srednjih godišnjih količina oborina; 1 - < 800, 2 – 800-1000, 3 – 1000-1500, 4 – 1500-2000, 5 – 2000-3000, 6 - > 3000 (Mayer, 1996.)

U kontinentalnom oborinskom režimu toplo polugodište ima 368 mm (57% godišnje količine), a hladno 282 mm oborine (43%). Oborinski deficit u toplom polugodištu iznosi 61% (Gajić-Čapka, 2006).

Istočna Slavonija se nalazi u dijelu Hrvatske s godišnjim oborinama manjim od 800 mm (slika 6.1.). Prosječne godišnje količine oborina variraju na području Osječko baranjske županije, a kreću se od 609 mm (na području Dalja) do 792 mm (na području Feričanaca). Oborine tijekom godine imaju maksimum u lipnju, sekundarni maksimum u studenome, bez izrazito sušnih mjeseci.

Iako je u istočnoj nizinskoj Hrvatskoj prosječno više oborine u proljetnim mjesecima, 1-, 3- i 5-dnevne količine oborine su intenzivnije u jesenskim mjesecima (Nimac i dr., 2015).

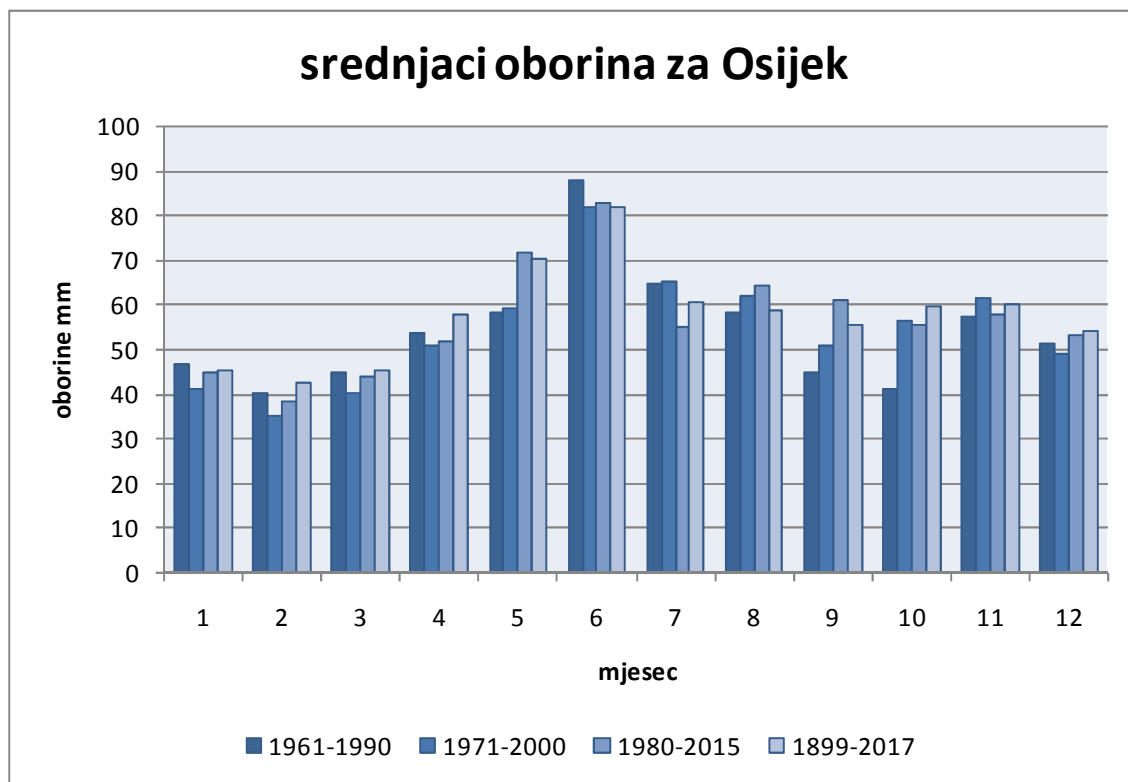
Prosječne godišnje oborine za područje Osijeka imaju vrijednost 651 mm za razdoblje 1961.-1990.g., 655 mm za razdoblje 1971.-2000.g., 681 mm za razdoblje 1980.-2015.g. te 693 mm za razdoblje 1899.-2017.g. (www.meteo.hr, 2018-2019)(tablica 6.1.).

Tablica 6.1. Srednjaci oborina za šire područje Osijeka

mjesec	srednjak mjesečnih oborina (mm)			
	1961-1990	1971-2000	1980-2015	1899-2017
1	47	41	45	45
2	40	35	38	43
3	45	41	44	45
4	54	51	52	58
5	59	59	72	71
6	88	82	83	82
7	65	65	55	61
8	59	62	64	59
9	45	51	61	56
10	41	57	55	60
11	57	62	58	60
12	52	49	53	54
srednjak godišnjih oborina (mm)	651	655	681	693

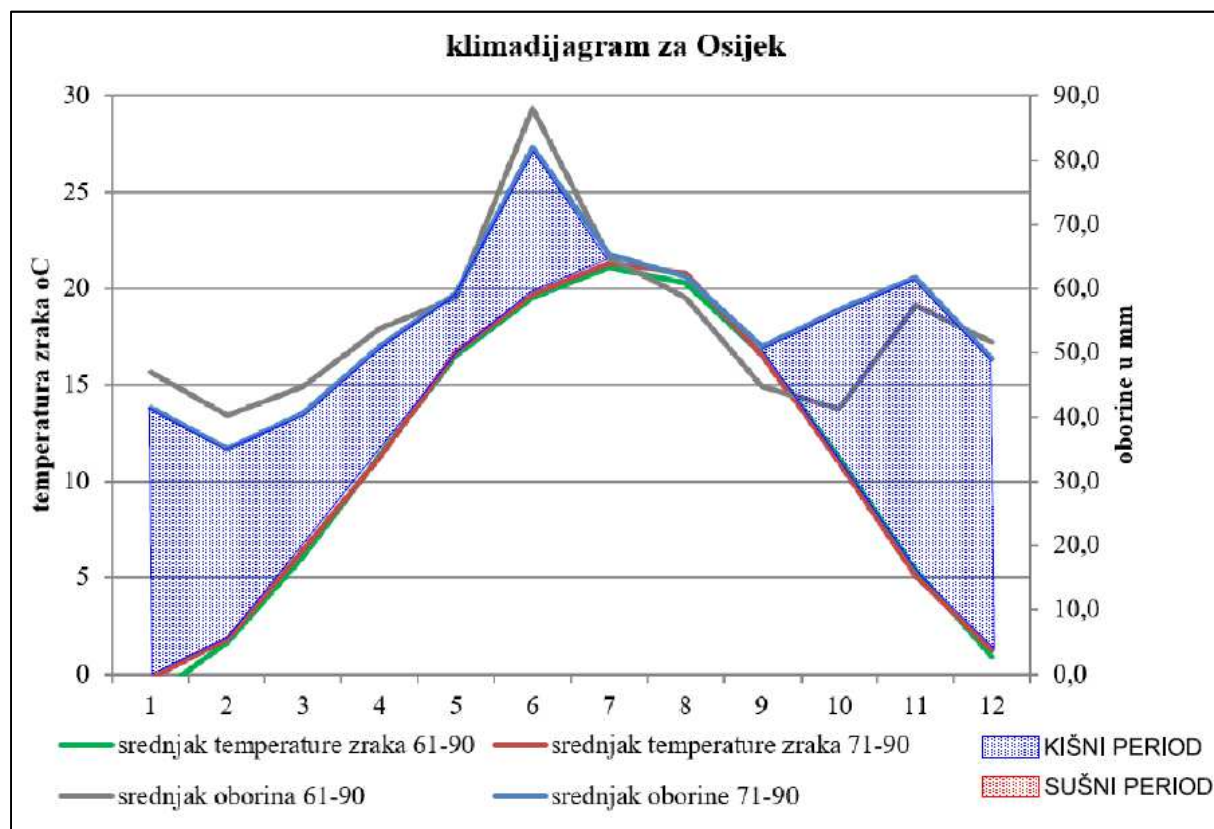
Najmanje oborina padne u veljači sa srednjom mjesečnom vrijednošću od 38 do 43 mm u ovisnosti o razdoblju za koje se računa srednjak oborina (izvor: DHMZ), a najviše u lipnju sa srednjom mjesečnom vrijednošću od 82 do 88 mm (tablica 6.1.). Oborinski režim prosječnih mjesečnih oborina tijekom godine za Osijek prikazan je na slici 6.2.





Slika 6.2. Srednje mjesečne oborine u mm za Osijek za razdoblje 1961.-1990., 1971.-2000., 1980.-2015. i 1899.-2017.

Prema klimadijagramu (slika 6.3.) srednjaka oborina za razdoblje 1961.-1990.g. i 1971.-2000.g. i srednjaka temperature zraka u istim razdobljima, nema izrazitog sušnog perioda. Vlažni period prevladava gotovo cijele godine, osim u srpnju, kolovozu i djelomično u rujnu, ovisno o promatranom srednjaku oborina.



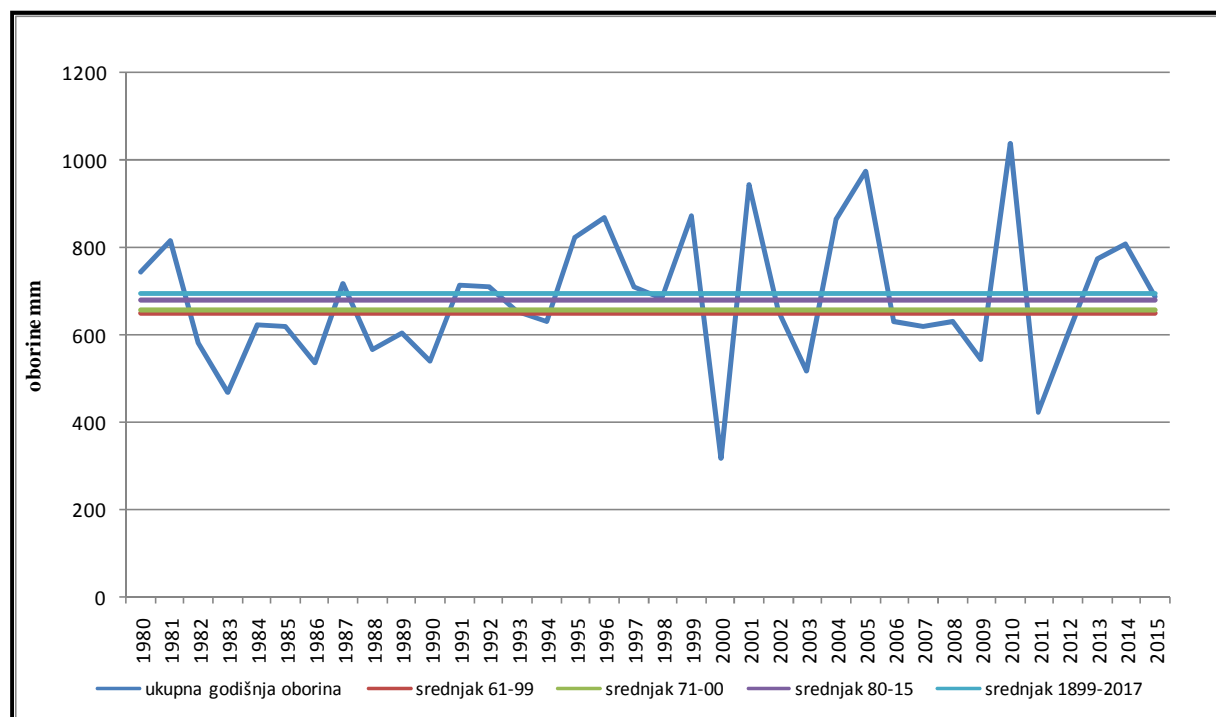
Slika 6.3. Klimadijagram za Osijek za srednjake oborina i temperature zraka

U tablici 6.2. i slici 6.4. dani su podaci o ukupnim količinama oborina za područje Osijeka za razdoblje od 1980.g. do 2015.g.

Tablica 6.2. Ukupne mjesečne oborine za Osijek za razdoblje 1980.-2015.g. (izvor DHMZ)

MJESEC	GODINA																				
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
1	32	58	15	28	100	46	67	97	35	6	12	29	44	23	45	71	31	44	91	36	18
2	47	34	16	40	34	52	79	6	42	9	39	30	35	9	32	53	51	43	1	61	15
3	37	96	46	27	37	50	43	54	116	48	26	37	13	62	35	45	42	23	21	29	41
4	93	28	71	20	55	56	38	60	40	46	38	79	59	43	52	52	82	59	54	45	28
5	100	22	31	62	90	33	42	171	44	106	26	102	40	48	35	96	78	38	49	89	26
6	76	180	59	67	74	120	58	78	96	83	101	26	112	70	88	106	30	86	26	150	10
7	58	28	80	43	37	30	41	33	29	64	39	119	42	55	19	27	95	91	84	96	63
8	66	50	97	32	36	88	61	27	15	96	42	89	19	57	84	86	77	41	99	74	5
9	16	65	23	100	50	9	7	18	58	36	72	41	36	59	120	123	157	53	64	51	23
10	51	91	26	20	51	10	60	24	31	49	34	50	155	43	58	6	61	100	97	22	10
11	116	47	33	11	41	105	16	113	29	42	53	60	105	96	16	54	99	42	69	124	42
12	53	118	84	17	20	22	24	38	30	18	59	51	50	93	45	104	67	92	30	98	37
max	116	180	97	100	100	120	79	171	116	106	101	119	155	96	120	123	157	100	99	150	63
min	16	22	15	11	20	9	7	6	15	6	12	26	13	9	16	6	30	23	1	22	5
suma	744	817	580	<b>467</b>	624	619	536	719	565	603	541	714	711	655	629	822	869	711	684	873	<b>317</b>

MJESEC	GODINA															mjesečni		
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	prosjek	max	min
1	75	11	66	50	36	33	25	33	60	84	24	28	61	36	74	45	100	6
2	23	48	16	50	66	48	47	5	29	59	18	58	86	48	57	38	86	1
3	83	10	5	41	54	53	76	82	27	22	37	1	84	39	51	44	116	1
4	72	64	12	137	55	87	3	49	19	71	19	46	45	81	13	52	137	3
5	60	135	18	65	51	79	56	67	39	121	81	94	119	161	113	72	171	18
6	240	37	44	80	110	78	33	76	63	234	50	68	63	91	17	83	240	10
7	77	59	60	44	171	15	27	68	14	32	74	48	37	66	26	55	171	14
8	7	84	42	107	238	134	45	46	61	111	5	4	33	54	106	64	238	4
9	195	82	51	42	75	11	65	86	10	108	16	32	129	69	41	61	195	7
10	5	59	132	94	6	31	93	30	55	67	29	67	52	88	142	55	155	5
11	74	40	45	115	16	32	103	48	68	56	0	50	64	9	45	58	124	0
12	34	24	27	43	97	33	48	41	101	74	69	104	0	66	2	53	118	0
max	240	135	132	137	238	134	103	86	101	234	81	104	129	161	142			
min	5	10	5	41	6	11	3	5	10	22	0	1	0	9	2			
suma	945	654	<b>517</b>	865	974	632	621	631	545	1038	<b>422</b>	599	773	809	686			



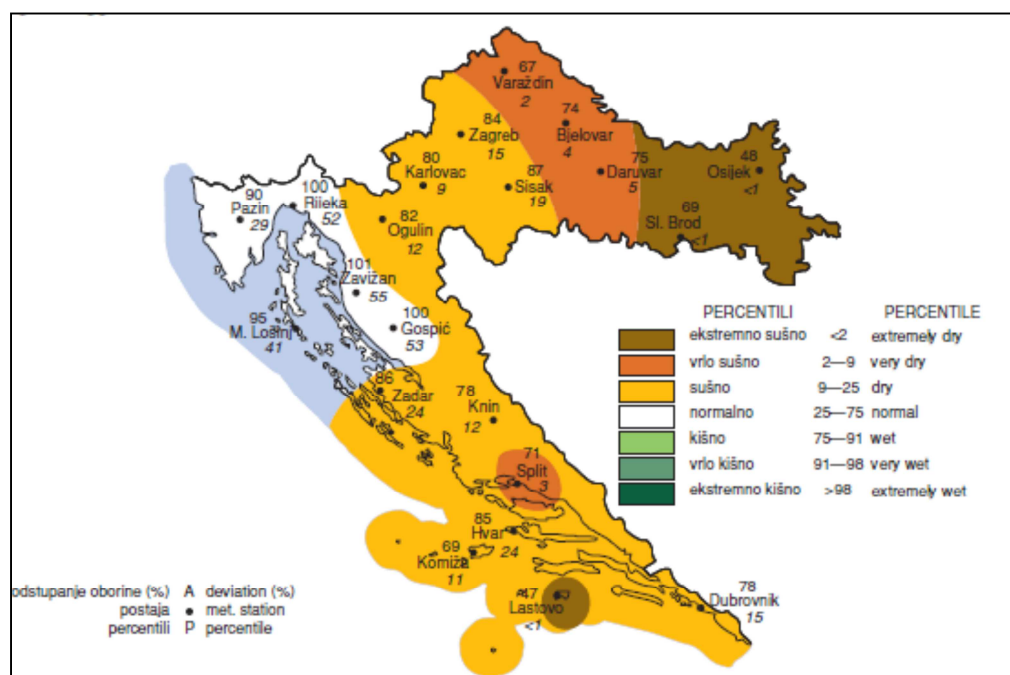
Slika 6.4. Ukupne godišnje oborine za Osijek za razdoblje 1980.-2015.g.

U razdoblju 1980.-2015.g pojavljuju se četiri izrazito malovodne godine: 1983., 2000., 2003. i 2011.g.. U kontekstu ovoga istraživanja zanimljivo je detaljnije razmotriti malovodne godine koje su zabilježene tijekom rada Crpilišta.

Postupak ocjene oborinskog režima u nekom vremenskom razdoblju (mjesec, godina) temelji se na modificiranoj Conrad-Chapmanovoj metodi ([www.meteo.hr](http://www.meteo.hr),2018-2019) koja na temelju odstupanja od normalnog tridesetgodišnjeg niza 1961.-1990. daje slijedeću klasifikaciju za oborine:

- ekstremno sušno < 2
- vrlo sušno 2 - 9
- sušno 9 - 25
- normalno 25 - 75
- kišno 75 - 91
- vrlo kišno 91 - 98
- ekstremno kišno > 98

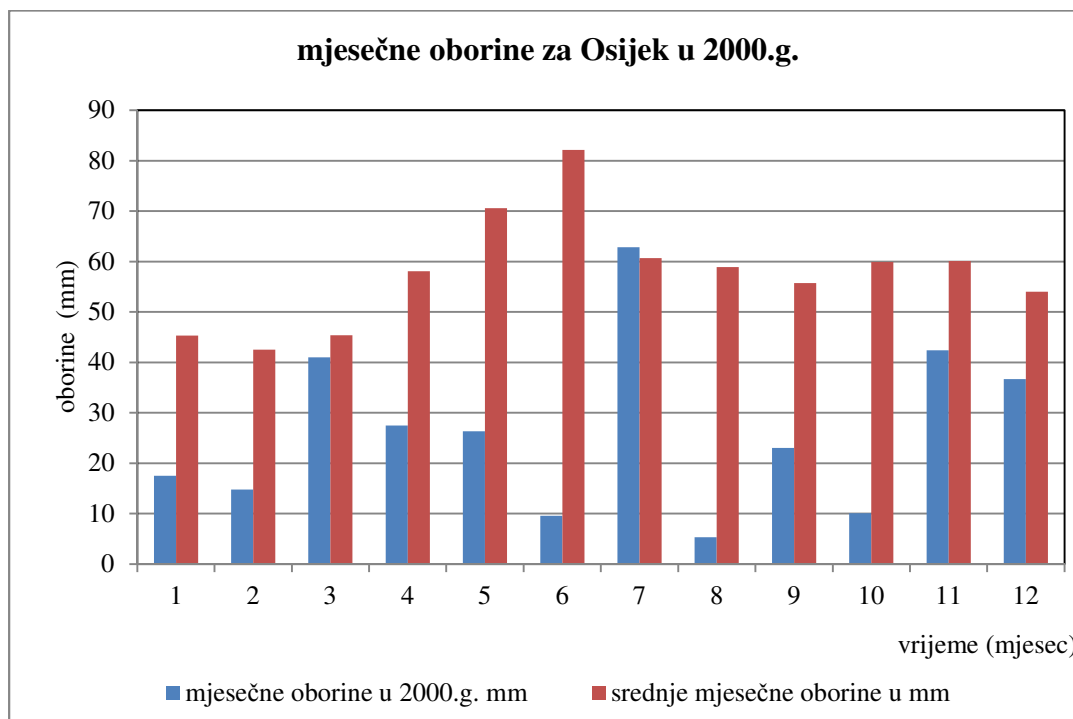
Godišnja ocjena hidroloških prilika u 2000.g. prema DHMZ (2001.) dana je na slici 6.5.



Slika 6.5. Godišnje količine oborina u postocima višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1961.-1990.g. za Hrvatsku za 2000.g. (izvor: DHMZ, 2001.).

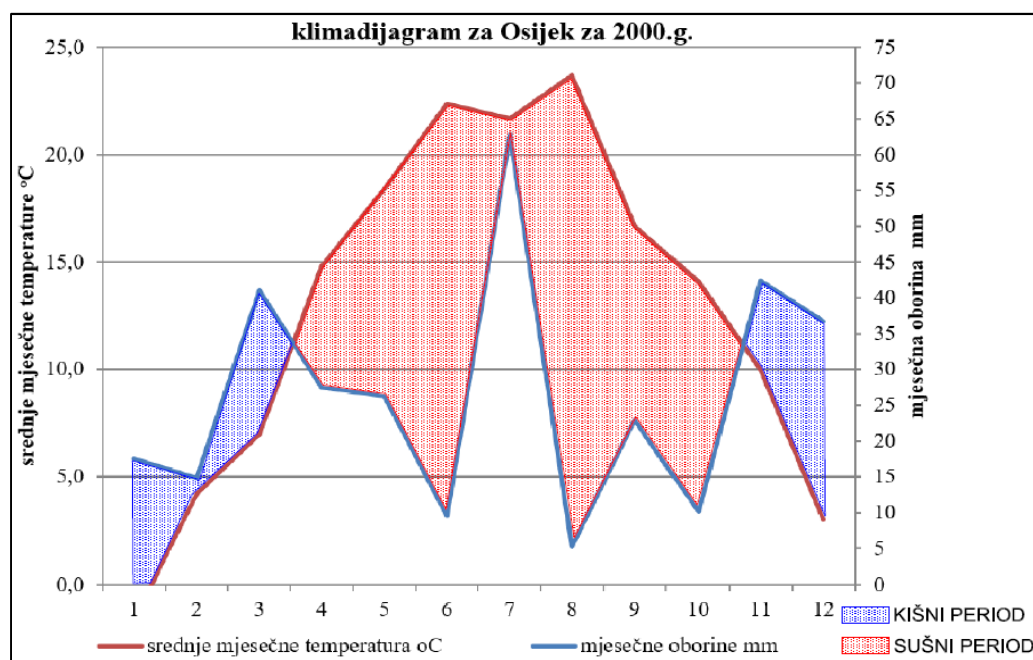
Iz karte (slika 6.5.) je vidljivo kako je 2000.g. za šire područje Osijeka ocijenjena kao *ekstremno sušno*. Ukupno tijekom 2000.g. na postaji Osijek izmjereno je 317 mm oborina.

U hidrološkom smislu 2000.g. nije bila ekstremna samo po ukupnoj godišnjoj količini oborina u odnosu na srednje vrijednosti, već je i mjesečna raspodjela oborina tijekom godine pokazala izrazita odstupanja od mjesečnih višegodišnjih prosjeka (slika 6.6.) za gotovo sve mjesece u godinu.



Slika 6.6. Mjesečne oborine za Osijek u 2000.g. i srednje mjesečne oborine za Osijek za razdoblje 1899.-2017.g.

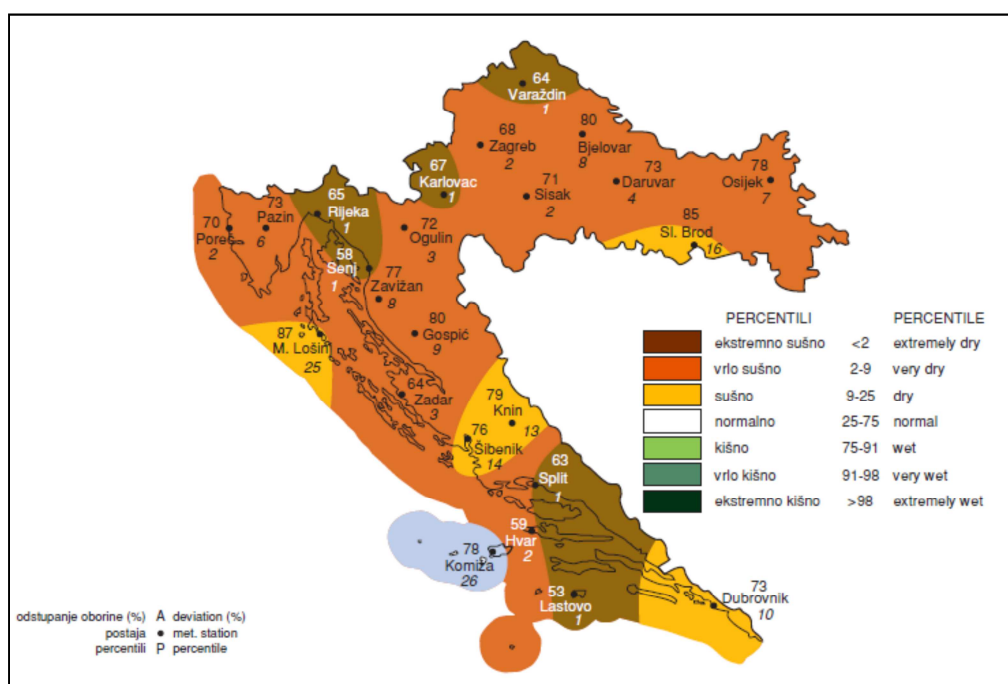
U cijeloj 2000.g. samo je u mjesecu srpnju količina oborina bila približna višegodišnjem prosjeku dok je u svim ostalim mjesecima izraženo izrazito odstupanje od prosjeka (slika 6.6.) na manje vrijednosti.



Slika 6.7. Klimadijagram za Osijek za 2000.g.

Klimadijagram za 2000.g. potvrđuje obilježja vremenskih prilika u kategoriji ekstremnih (slika 6.7.). Gotovo cijele godine prevladavao je sušni period po kriteriju Walterovog klimadijagrama. Vlažni period se pojavljuje u siječnju, veljači, ožujku i prosincu.

Na slici 6.8. prikazana je godišnja ocjena hidroloških prilika u RH za 2003.g.

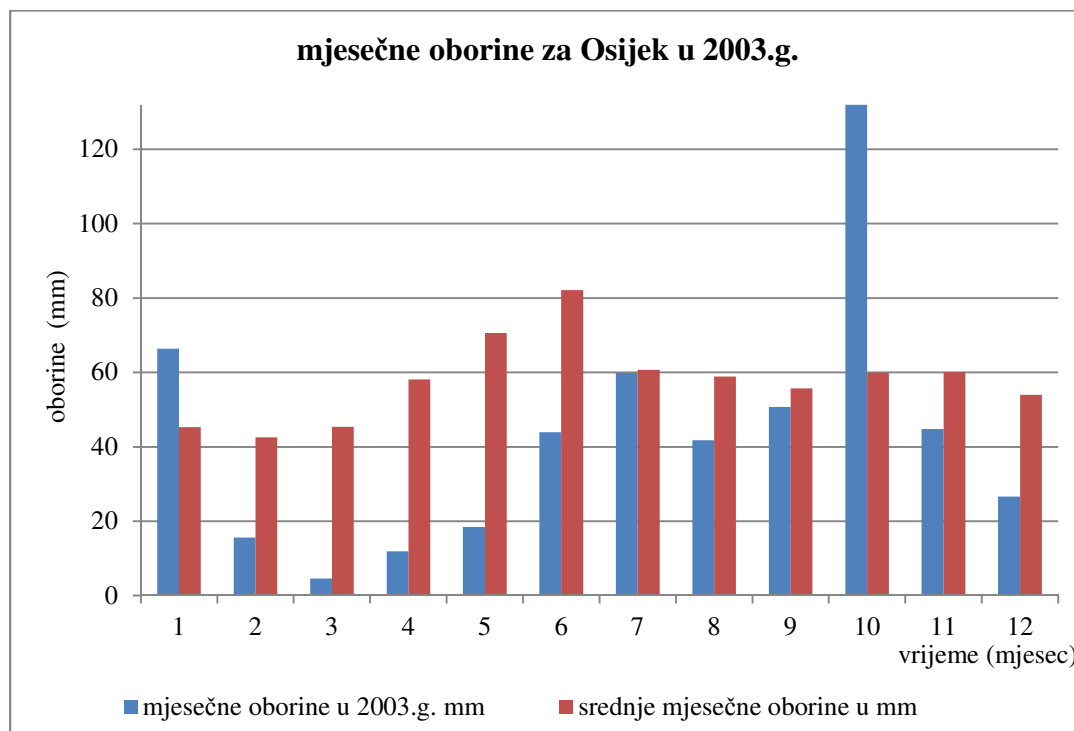


Slika 6.8. Godišnje količine oborina u postocima višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 19961.-1990.g. za Hrvatsku za 2003.g. (DHMZ, 2004.)

Po kriteriju oborina 2003.g. ocijenjena je kao *vrlo sušna* za šire područje Osijeka. Na postaji Osijek izmjereno je 517 mm oborina.

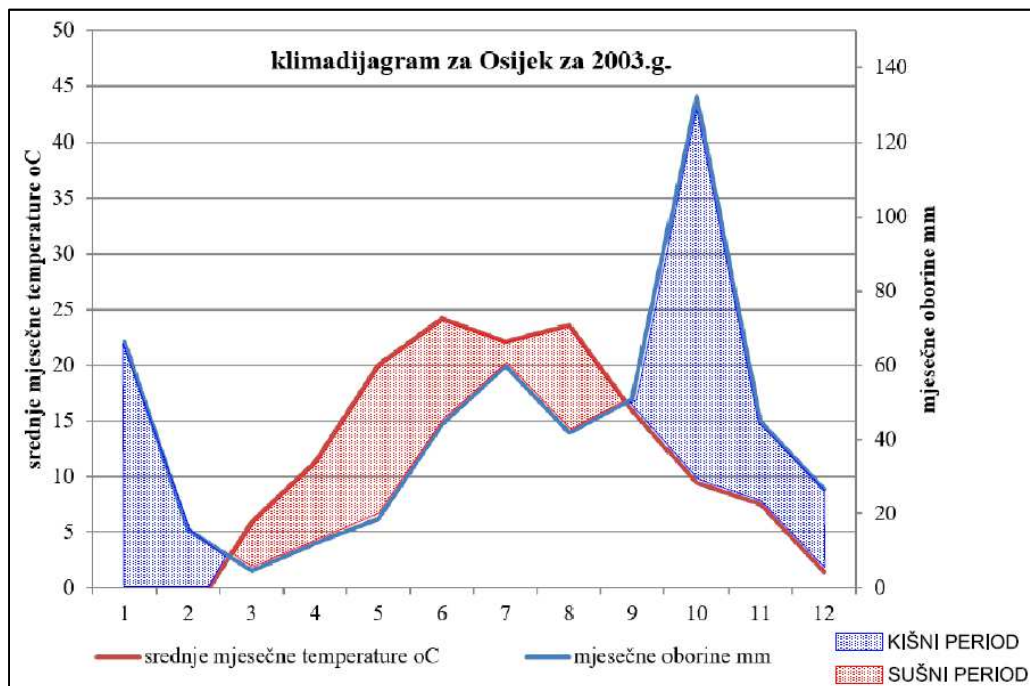
Na slici 6.9. prikazana je raspodjela tijekom 2003.g. srednjih mjesečnih (1899.-2017.) i mjesečnih oborina u 2003.g. za Osijek.





Slika 6.9. Mjesečne oborine za Osijek u 2003.g. i srednje mjesečne oborine za Osijek za razdoblje 1899.-2017.g.

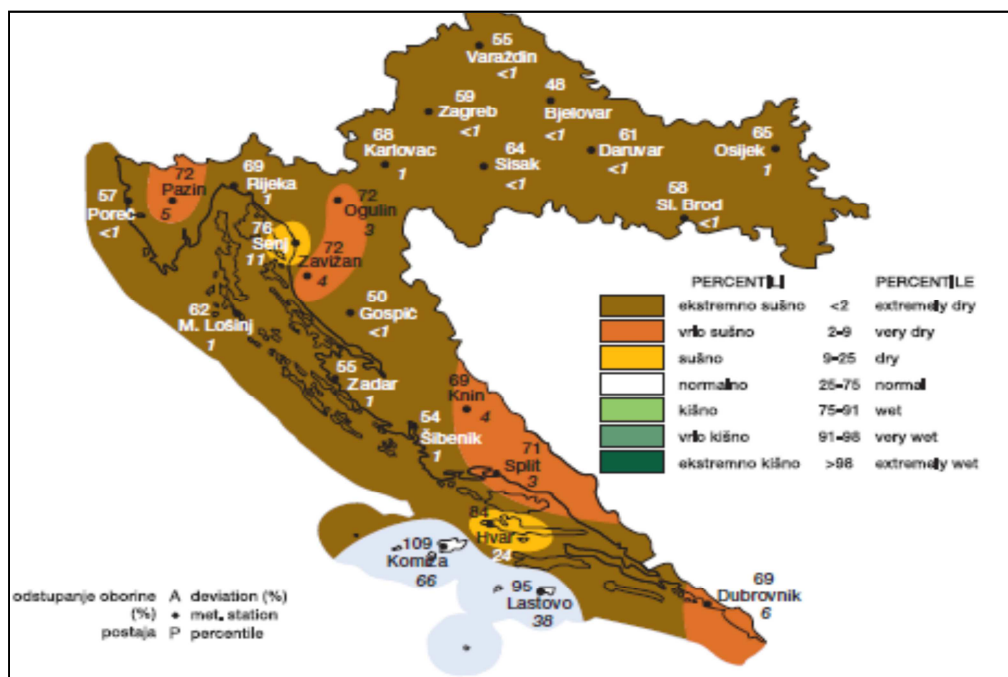
Karakteristično za ovu godinu je pojava višestruko iznadprosječne oborine u listopadu i to 132 mm. Prosječna oborina u tom mjesecu je 59,9 mm.



Slika 6.10. Klimadijagram za Osijek za 2003.g.

Sušni period po klimadijagramu u 2003.g. potrajao je od veljače do rujna (slika 6.10).

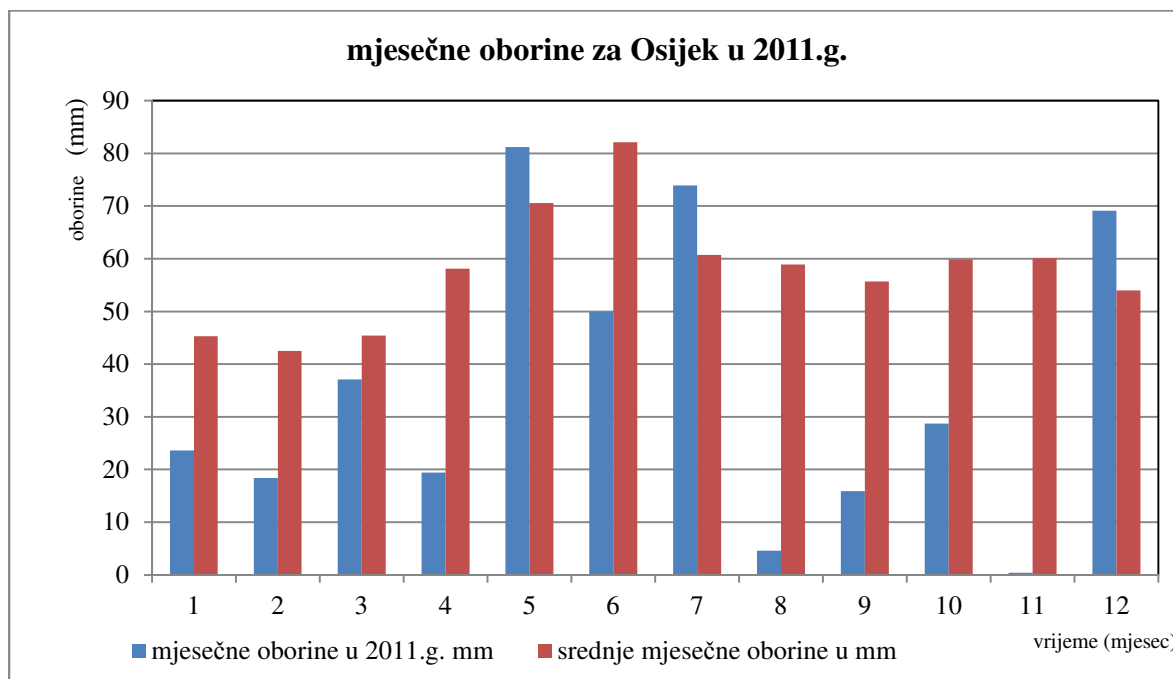
Godišnja ocjena hidroloških prilika u 2011.g. prema DHMZ (2012.) dana je na slici 6.11.



Slika 6.11. Godišnje količine oborina u postocima višegodišnjeg prosjeka za razdoblje 1996.-1990.g. za Hrvatsku za 2011.g. (DHMZ, 2012.)

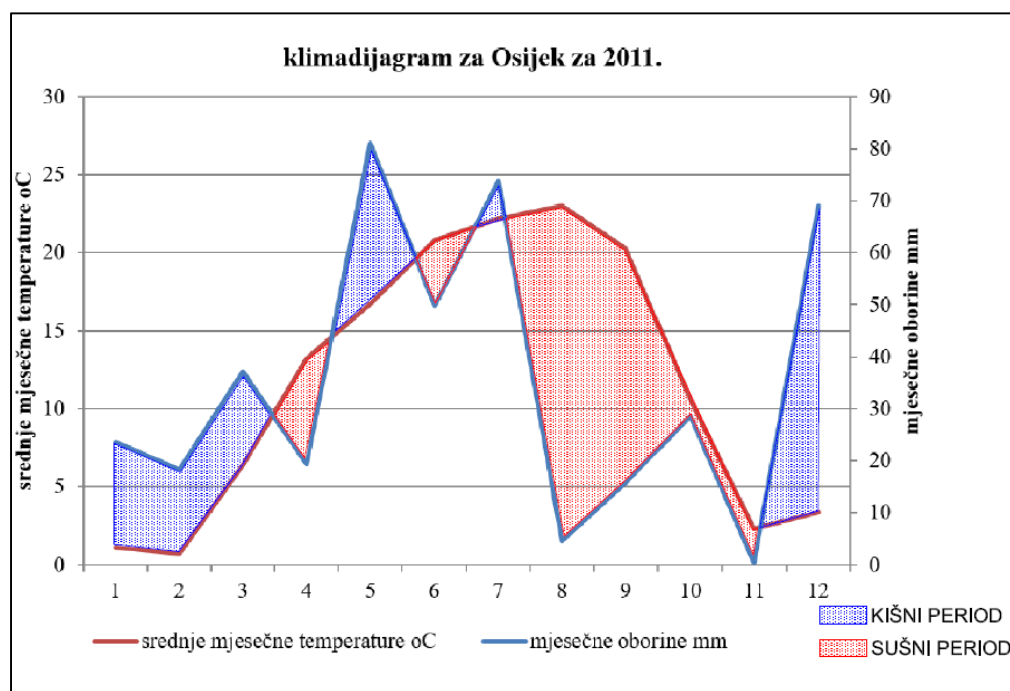
Iz karte (slika 6.11.) je vidljivo kako je 2011.g. za gotovo cijelu Republiku Hrvatsku bila ocjenjena kao *ekstremno sušno*. Na postaji Osijek izmjerena je godišnja oborina od 422 mm.

Razmatrajući raspodjelu mjesečnih oborina te godine (slika 6.12.) u usporedbi sa srednjim mjesečnim oborinama uočavaju se daljnji ekstremi. U prvih sedam mjeseci godine uočava se izmjena iznadprosječnih i ispodprosječnih oborina u mjesecu. Obilježje ekstremnosti uočava se u drugom dijelu godine sa ispod prosječnim oborinskim režimom koji je najizraženiji u mjesecu studenom kada je palo samo 0,4 mm kiše (prosjeak za taj mjesec je 60,1 mm), a prema klimatskom obilježju ovoga područja u tom mjesecu se očekuje maksimum oborina drugi po redu u prosječnoj godišnjoj bilanci.



Slika 6.12. Mjesečne oborine za Osijek u 2011.g. i srednje mjesečne oborine za Osijek za razdoblje 1899.-2017.

Klimadijagram za 2011.g. pokazuje daljnju atipičnost ove godine. Sušna i kišna razdoblja odudaraju od prosječnih i izmjenjuju se gotovo na mjesečnoj razini (slika 6.13.).



Slika 6.13. Klimadijagram za Osijek za 2011.g.

### **6.1.2. Temperatura zraka**

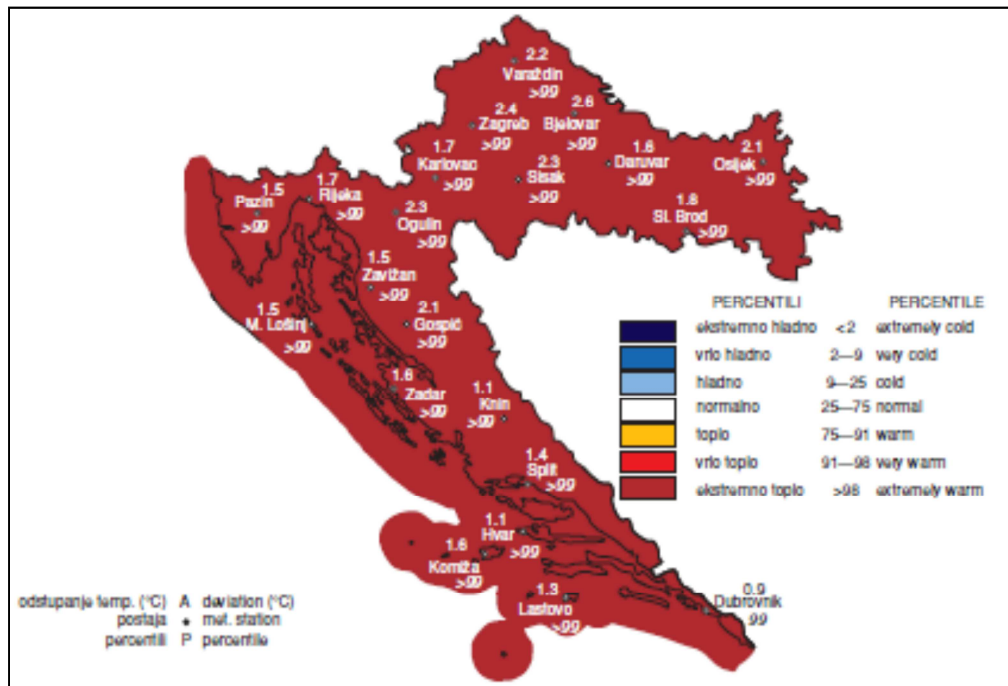
Najveće temperaturne razlike između najtoplijeg i najhladnijeg mjeseca najveće su u nizinskom kontinentalnom dijelu Hrvatske i iznose oko 21°C do 22°C (Nimac i dr., 2015).

U nastavku analize detaljnije će se izanalizirati temperaturni režim u 2000., 2003. i 2011. godini koje su u promatranom razdoblju hidrološki bile izuzetno deficitarne.

Postupak ocjene temperaturnog režima u nekom vremenskom razdoblju (mjesec, godina) temelji se na modificiranoj Conrad-Chapmanovoj metodi (DHMZ) koja na temelju odstupanja od normalnog tridesetgodišnjeg niza 1961.-1990. daje slijedeću klasifikaciju za temperaturu zraka u percentilima:

- ekstremno hladno < 2
- vrlo hladno 2 - 9
- hladno 9 - 25
- normalno 25 - 75
- toplo 75 - 91
- vrlo toplo 91 - 98
- ekstremno toplo > 98

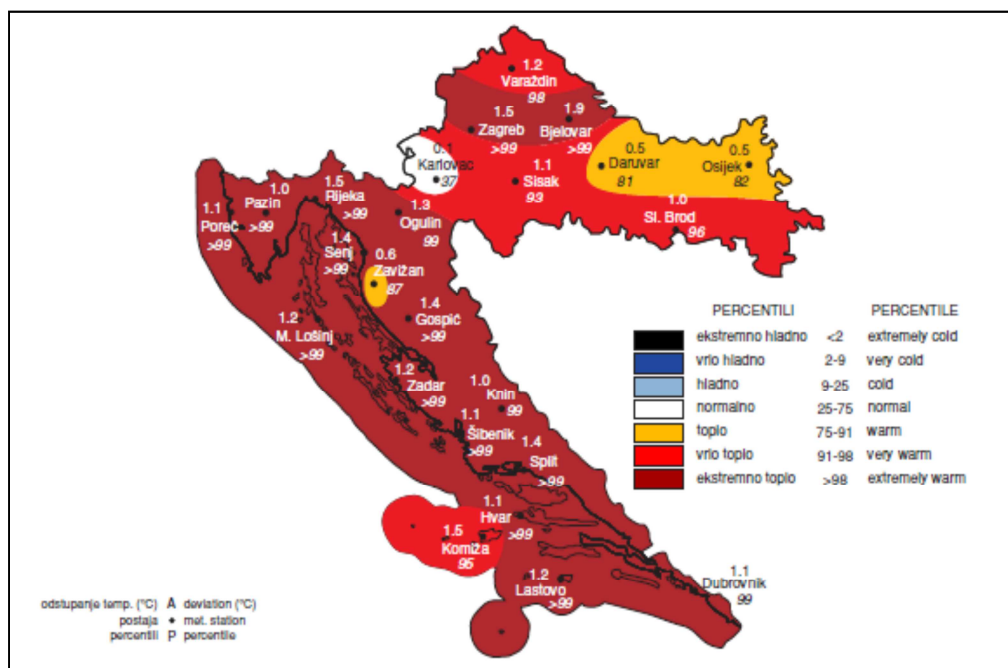
Po odstupanju srednje godišnje temperature zraka, 2000.g. ocijenjena je kao *ekstremno topla* (slika 6.14.).



Slika 6.14. Odstupanje srednje godišnje temperature zraka °C za 2000.g. od prosječnih 1961.-1990.(DHMZ, 2001)

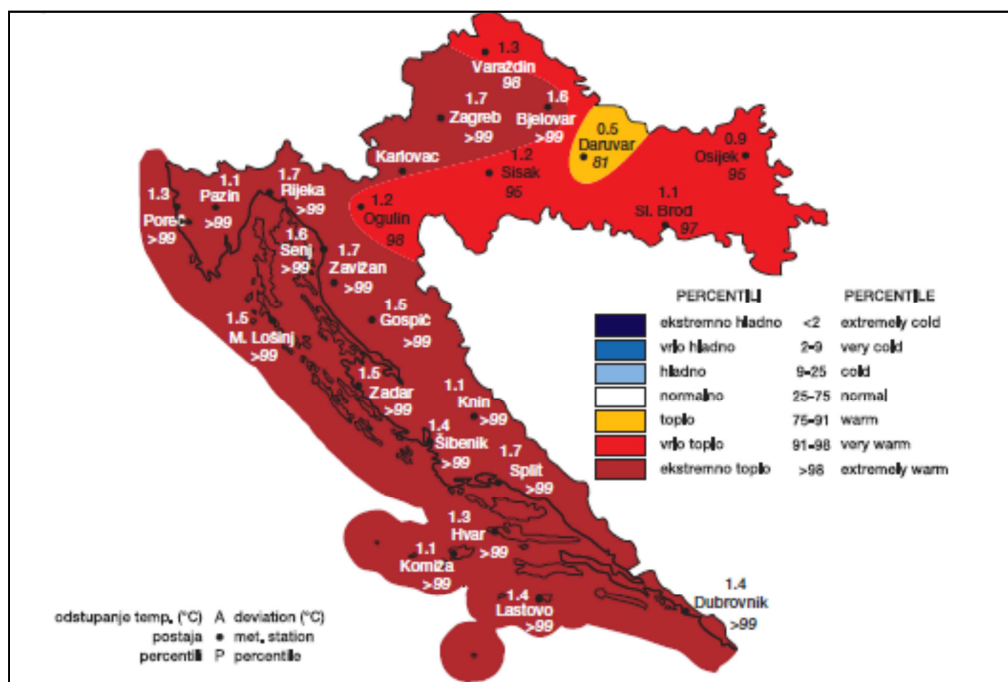
U hidrološkom smislu, 2000.g. je za područje šire okolice Osijeka ocijenjena kao *ekstremno sušna* godina. Slijedom toga, 2000. se može okarakterizirati kao izrazito klimatski ekstremnom za promatrano područje šire okolice Osijeka.

Odstupanje srednje godišnje temperature zraka °C od prosječnih (1961.-1990.), 2003.g. svrstava u kategoriju *toplo* za promatrano područje šire okolice Osijeka (slika 6.15.). Obzirom na godišnje količine oborina 2003.g. bila je *vrlo sušna*.



Slika 6.15. Odstupanje srednje godišnje temperature zraka °C za 2003.g. od prosječnih 1961.-1990. ( DHMZ, 2004)

Odstupanje srednje godišnje temperature zraka °C od prosječnih (1961.-1990.) svrstava 2011.g. u kategoriju *vrio toplo* za promatrano područje šire okolice Osijeka (slika 6.16.). Obzirom na godišnje količine oborina 2011.g. bila je *ekstremno sušna* za šire područje Osijeka.



Slika 6.16. Odstupanje srednje godišnje temperature zraka °C za 2011.g. od prosječnih 1961-1990. (DHMZ, 2012)

Zaključno, osnovna obilježja oborinskog režima i režima temperature zraka u 2000., 2003. i 2011.g. dane su tablici 6.3. Pozitivni predznak temperaturnog režima koincidira sa negativnim predznakom oborina. Manjak oborina, odnosno negativno odstupanje od oborinskog prosjeka popraćeno je istovremeno sa visokim iznadprosječnim temperaturama zraka.

Tablica 6.3. Odstupanje godišnje oborine i temperature zraka u 2000., 2003. i 2011.g.

godina	odstupanje godišnje oborine	odstupanje godišnje temperature
2000	ekstremno sušno	ekstremno toplo
2003	vrlo sušno	toplo
2011	ekstremno sušno	vrlo toplo



### **6.1.3. Klimatski ekstremi oborina i temperature zraka**

Hidrološki niz podataka o godišnjim oborinama treba zadovoljiti pet uvjeta (Žugaj, 2015) kako bi bio pogodan za primjenu metoda matematičke statistike, kako slijedi:

1. Članovi niza su slučajne veličine.
2. Članovi niza su međusobno neovisni.
3. Niz mora biti homogen.
4. Članovi niza moraju biti stacionarni.
5. Niz mora biti dovoljno dug. (Žugaj, 2015)

Niz podataka o godišnjim oborinama za razdoblje 1980.-2015.g. zadovoljava navedene uvjete te su, slijedom toga, izračunati najvažniji parametri u određivanju karakteristike niza (Žugaj, 2015): aritmetička sredina, standardna devijacija, koeficijent varijacije i pogreška koeficijenta varijacije. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 6.4.

Tablica 6.4. Hidrološki parametri niza godišnjih oborina za razdoblje 1980.-2015., podrazdoblje 1980.-1997. i podrazdoblje 1998.-2015.

<b>godina</b>	<b>RAZDOBLJE 1980.-2015. godišnja oborina (mm)</b>	<b>PODRAZDOBLJE 1980.-1997. godišnja oborina (mm)</b>	<b>PODRAZDOBLJE 1998.-2015. godišnja oborina (mm)</b>
1980	744	744	
1981	817	817	
1982	580	580	
1983	467	467	
1984	624	624	
1985	619	619	
1986	536	536	
1987	719	719	
1988	565	565	
1989	603	603	
1990	541	541	
1991	714	714	
1992	711	711	
1993	655	655	
1994	629	629	
1995	822	822	
1996	869	869	
1997	711	711	
1998	684		684
1999	873		873
2000	317		317
2001	945		945
2002	654		654
2003	517		517
2004	865		865
2005	974		974
2006	632		632
2007	621		621
2008	631		631
2009	545		545
2010	1038		1038
2011	422		422
2012	599		599
2013	773		773
2014	809		809
2015	686		686
aritmetička sredina (mm)	<b>681</b>	<b>662</b>	<b>699</b>
standardna devijacija (mm)	<b>156</b>	<b>109</b>	<b>193</b>
koeficijent varijacije	<b>0,23</b>	<b>0,16</b>	<b>0,28</b>
pogreška koeficijenta var.	<b>0,0278</b>	<b>0,0273</b>	<b>0,0502</b>

Za promatrani niz podataka o godišnjim oborinama u razdoblju 1980.-2015.g. prosječna godišnja oborina je 681 mm, sa standardnom devijacijom od 156 mm. Koeficijent varijacije je 0,23, odnosno 23%. Niz je dovoljno dug za donošenje pouzdanih zaključaka budući je pogreška koeficijenta varijacije manja 0,10 (Žugaj, 2015) i iznosi 0,0278 (tablica 6.4.).

U razdoblju od 1980. do 2015.g., prema ocjeni Državnog hidrometeorološkog zavoda (Prikazi od br. 1 do br. 29.), a prema modificiranoj Conrad-Chapmanove metodi, hidrološki ekstremnih bilo je 13 godina. Od tih 13 godina, 4 godine su bile hidrološki izrazito deficitarne, odnosno sušne, a 9 godina izrazito suficitarne odnosno kišne (tablica 6.5.)

Tablica 6.5. Malovodne i kišne godine u razdoblju od 1980. do 2015.g. za Osijek (izvor podataka: DHMZ, Prikazi od br. 1 do 29.)

razdoblje (god)	duljina razdoblja (god)	malovodne godine	kišne godine	ukupno	trend
1980-1997	18	1	3	4	rast
1998-2015	18	3	6	9	stagnacija
1980-2015	36	4	9	13	rast

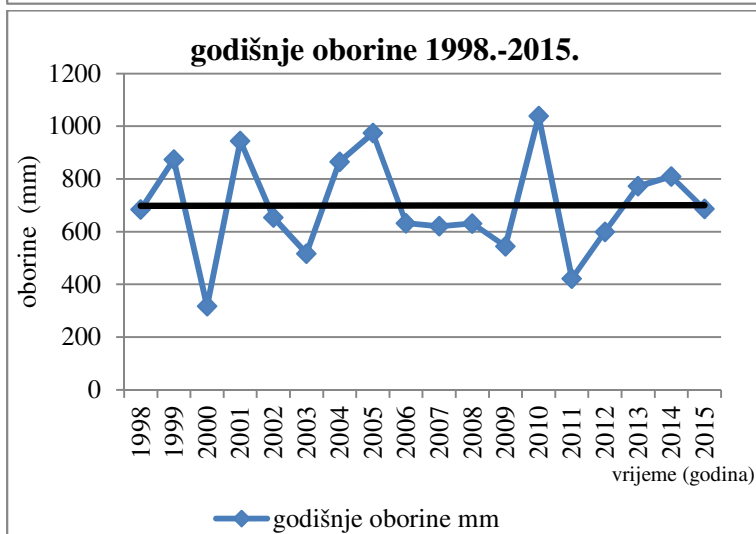
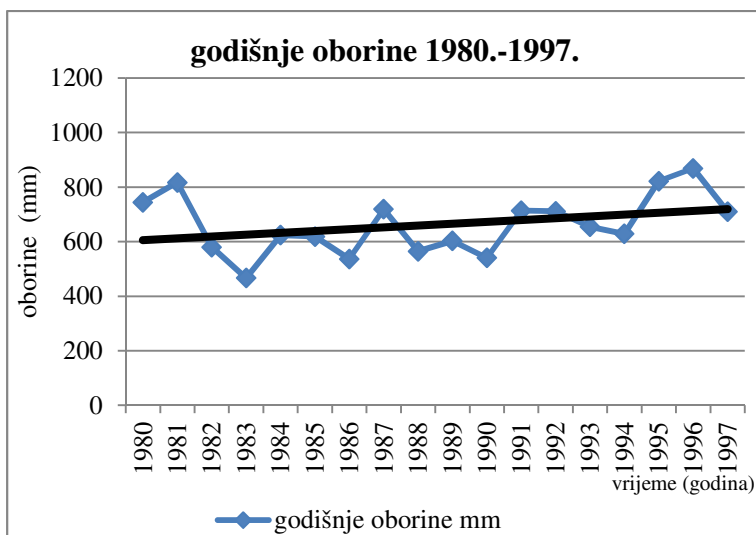
Detaljnija analiza cijelog razdoblja provest će se analitikom dva podrazdoblja: podrazdoblje od 1980.-1997.g. i podrazdoblje od 1998.-2015.g. Ovakova podjela niza, osim što su podrazdoblja jednakog vremenskog trajanja, koincidira i s karakterističnim razdobljima eksploatacije Crpilišta (prvo razdoblje eksploatacije 1984.-1997., drugo karakteristično razdoblje eksploatacije od 1998.g., poslije prekida rada 1994.g., kada je ponovo uspostavljena uravnoteženost vodonosnog i vodoopskrbnog sustava, do 2015.godine).

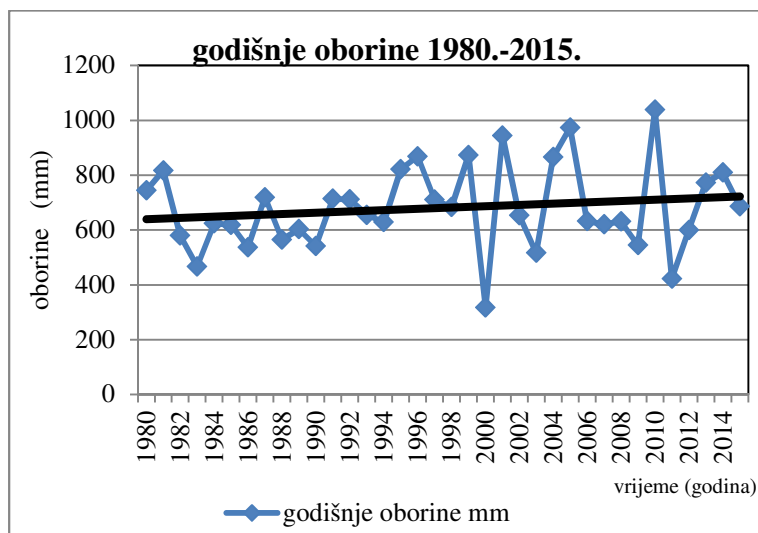
U prvom podrazdoblju od 1980. do 1997.g.:

- prosječna godišnja oborina je 662 mm, sa standardnom devijacijom od 109 mm. Koeficijent varijacije je 0,16, odnosno 16%, pogreška koeficijenta varijacije manja je 0,10 (tablica 6.4.),
- pojavljuje se jedna malovodna i tri kišne godine, dakle ukupno četiri hidrološki ekstremne godine (DHMZ, 1986.-2017.), (tablica 6.5.),
- oborinski režim pokazuje trend rasta (slika 6.17.).

U drugom podrazdoblju od 1998. do 2015.g.:

- prosječna godišnja oborina je 699 mm, sa standardnom devijacijom od 193 mm. Koeficijent varijacije je 0,28, odnosno 28%, pogreška koeficijenta varijacije manja je od 0,10 (tablica 6.4.),
- pojavljuju se tri malovodne i šest kišnih, odnosno devet hidrološki ekstremnih godina (tablica 6.5.),
- pojavljuje se najmanja godišnja i najveća godišnja oborina cijelog promatranog razdoblja,
- oborinski režim pokazuje trend stagnacije (slika 6.17.)





Slika 6.17. Trendovi oborina za razdoblje 1980.-1997., 1998.-2015. i 1980.-2015.g.

Obilježja drugog podrazdoblja, te izračunati hidrološki parametri, potvrđuju kako se ekstremni hidrološki događaji pojavljuju sve češće, sa sve manjim međurazmacima i sve ekstremnijim vrijednostima maksimalnih i minimalnih oborina.

Ako se promotre ukupna odstupanja godišnjih oborina od srednjaka 1961.-1990.g. uočava se slijedeće (tablica 6.6.):

- podrazdoblje 1980.-1997.g. obilježeno je sa 902 mm ukupnih odstupanja količine oborina od srednjaka 61-90 na više i 696 mm odstupanja na manje, što u apsolutnom iznosu iznosi ukupno odstupanja 1598 mm, a u relativnom iznosu 206 mm.
- podrazdoblje 1998.-2015.g. obilježeno je sa 1791 mm ukupnih odstupanja količine oborina od srednjaka 61-90 na više i 925 mm odstupanja na manje, što u apsolutnom iznosu iznosi ukupno odstupanja 2716 mm, a u relativnom iznosu 866 mm.

Tablica 6.6. Sumarno odstupanje količina oborina(godišnjih) od srednjaka 61-90

		<b>Podrazdoblje 80-97</b>	<b>Podrazdoblje 98-2015</b>	<b>Razdoblje 80-2015</b>
<b>Sumarno odstupanje količina oborina (godišnjih) od srednjaka 61-90</b>	odstupanje na više mm	902	1791	2693
	odstupanje na manje mm	-696	-925	-1621
	ukupno odstupanje u apsolutnom iznosu mm	1598	2716	4314
	ukupno odstupanje mm	206	866	1072

Ukupno odstupanje količina oborina cijelog razdoblja je 1072 mm, od toga se 80% vrijednosti odnosi na drugo podrazdoblje, a samo 20% na prvo podrazdoblje što upućuje na zaključak da su hidrološka odstupanja sve izraženija i ekstremnija u kvantitativnom smislu.

Daljnjom analizom provjerit će se godišnja ocjena klimatskih obilježja područja istočne Hrvatske. Od 1996.g. do danas DHMZ redovito prati i ocjenjuje klimu u Republici Hrvatskoj (Prikazi praćenja i ocjene klime). Analiziraju se svi važniji klimatski faktori i daje njihova ocjena u odnosu na srednje vrijednosti razdoblja 1961.-1990.g. U nastavku će se pokazati ocjena oborinskog režima i režima temperature zraka za navedeno razdoblje praćenja i ocjene klime za područje istočne Slavonije.

Za razdoblje mjesec, sezona i godina DHMZ izračunava vrijednost anomalija temperature zraka i oborina. Anomalije mjesečnih, sezonskih i godišnjih klimatskih elemenata izražavaju se kao odstupanje meteorološkog elementa od višegodišnjeg prosjeka: za temperaturu zraka izraženo u Celzijevim stupnjevima (°C) te za količinu oborine u postocima (%) višegodišnjeg prosjeka (srednjak 61-90). Nadalje, za anomalije mjesečnih, sezonskih i godišnjih klimatskih elemenata izračunava se percentil prema kojem se klimatski element svrstava u odgovarajuću klasu. Percentili predstavljaju procjenu vjerojatnosti (izraženu u postocima) da odgovarajuća vrijednost anomalije u promatranom razdoblju nije bila nadmašena. Klase oborinskog režima

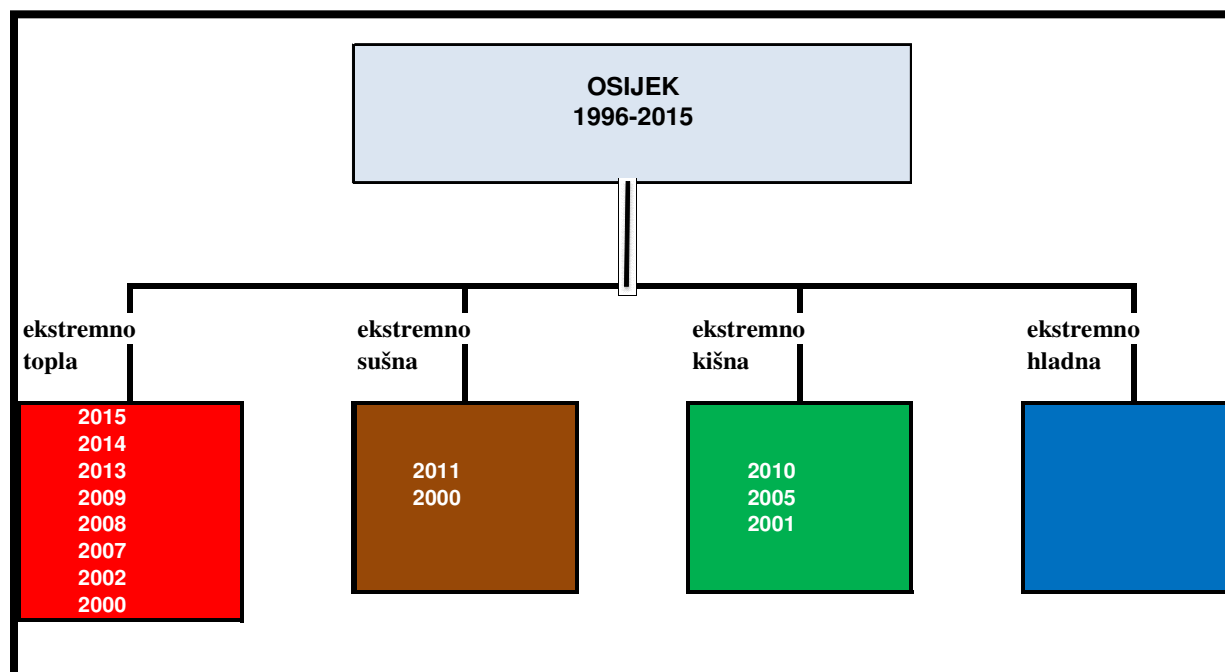
i režima temperature zraka obrazložene su u prethodnom tekstu i kreću se od *ekstremno sušno* do *ekstremno kišno* za oborinski režim te od *ekstremno toplo* do *ekstremno hladno* za temperaturni režim.

Osim za svrstavanje u odgovarajući klasu pomoću percentila P može se procijeniti povratni period T (izražen u godinama) iz relacije:

$$T = 100/P \quad \text{ako je } P < 50$$

$$T = 100/100 - P \quad \text{ako je } P > 50.$$

Znači, za percentil 2% vjerojatnost je da će se odgovarajući klimatski element javiti 2 puta u 100 godina ili jedan put u 50 godina. Isti povratni period se dobije za P = 98% (DHMZ, www.meteo.hr).



Slika 6.18 Ekstremne klimatske godine po kriteriju oborina i temperature zraka u Osijeku za razdoblje 1996.-2015.g.

Analizirajući razdoblje od 1996. do 2015.g., (izvor podataka: DHMZ, Prikazi od br. 1 do 29.) kao klimatski ekstremne ocijenjeno je 13 godina od ukupno 19 godina promatranog razdoblja (slika 6.18.)

Za *ekstremno hladno* i *ekstremno sušno* izračunati percentil je  $< 2$ , a za *ekstremno toplo* i *ekstremno kišno* je  $>98$ . Iz toga slijedi da je vjerojatnost da će se klimatski element javiti 2 puta u 100 godina odnosno jedanput u 50 godina.

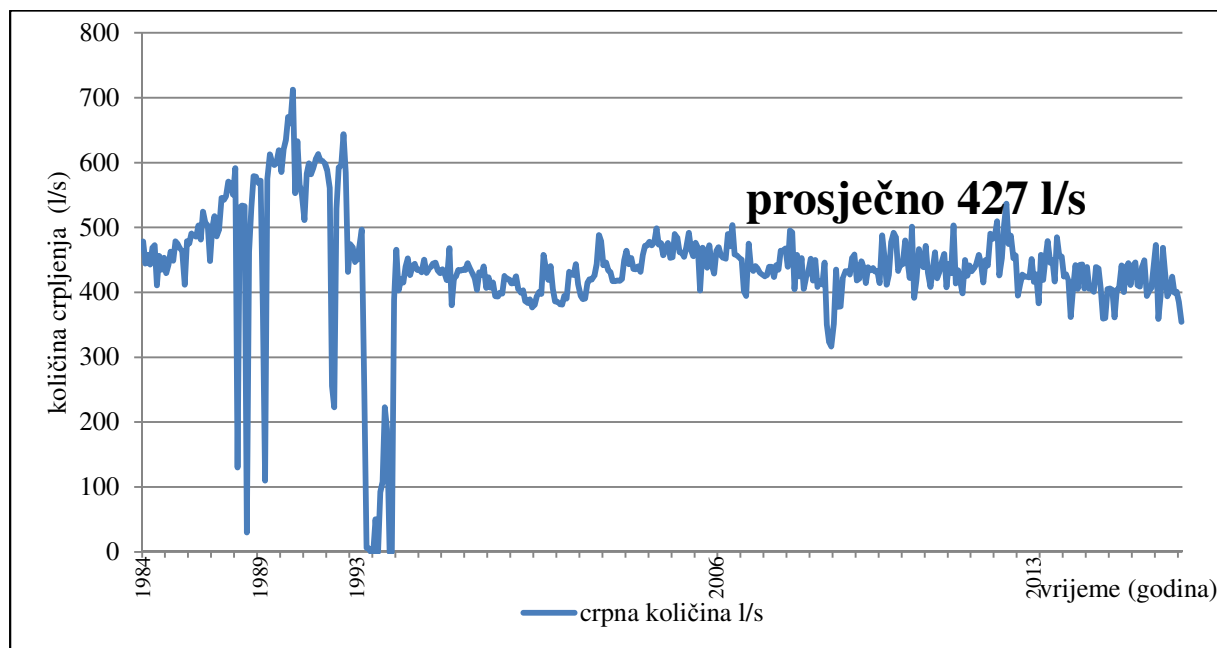
Na slici 6.18. prikazana je pojavnost godišnjih oborinskih i temperaturnih anomalija ocijenjenih u klasi *ekstremno* u razdoblju od 1996. do 2015.g. za područje istočne Hrvatske. Obzirom na izračunati percentil od  $< 2$ , odnosno  $>98$ , vjerojatnost pojavnosti takvih anomalija je 2 puta u 100 godina. Analiza razdoblja 1996.-2015.g. dana na slici 6.18 dokazuje da je ta pojavnost daleko premašena, te da je učestalost pojavljivanja 8 puta u 19 godina za anomaliju (*ekstremno*) temperature zraka, a 5 puta u 19 godina za anomaliju (*ekstremno*) oborina.

## 6.2. Crpne količine

Crpne (zahvaćene) količine mjere se pojedinačno po svakom zdencu i sumarno za cijelo crpilište Vinogradi. Svaki zdenac opremljen je automatskim mjerачem protoka te se u sustavu centralnog nadzora i upravljanja (NUS-a) Crpilišta izmjerene količine pohranjuju i obrađuju. Sumarne količine ukupno crpljene vode mjere se na spojnom cjevovodu sirove vode DN 800, i to na izlazu iz Crpilišta i na ulazu u pogon za proizvodnju vode.

Prve godine rada Crpilišta od 1984. do 1986.g. obilježila je relativno ujednačena količina crpljenja. Njena vrijednost se je kretala od 411 do 478 l/s. Koncem 1986.g. pa do 1990.g. crpne količine postupno rastu te u 1990. i u 1991.g. dosežu maksimum preko 600 l/s. U tom periodu je zabilježena i količina crpljenja od 712 l/s. Sve do prekida rada Crpilišta u ožujku 1994.g. eksploataciju Crpilišta su karakterizirala učestali prekidi uzrokovani problemima sa cjevovodom sirove vode između Crpilišta i pogona za proizvodnju što je rezultiralo vrlo neujednačenim režimom rada. Nakon rekonstrukcije cjevovoda sirove vode te ponovnog uključenja u rad u prosincu 1994.g. postupno se ustaljuju crpne količine na prosječnim 427 l/s s tendencijom smanjenja ukupno crpljenih količina u zadnje dvije godine istraživanoga razdoblja (slika 6.19.).





Slika 6.19. Ukupne crpne (zahvaćene) količine vode od 1984. do 2015.g.

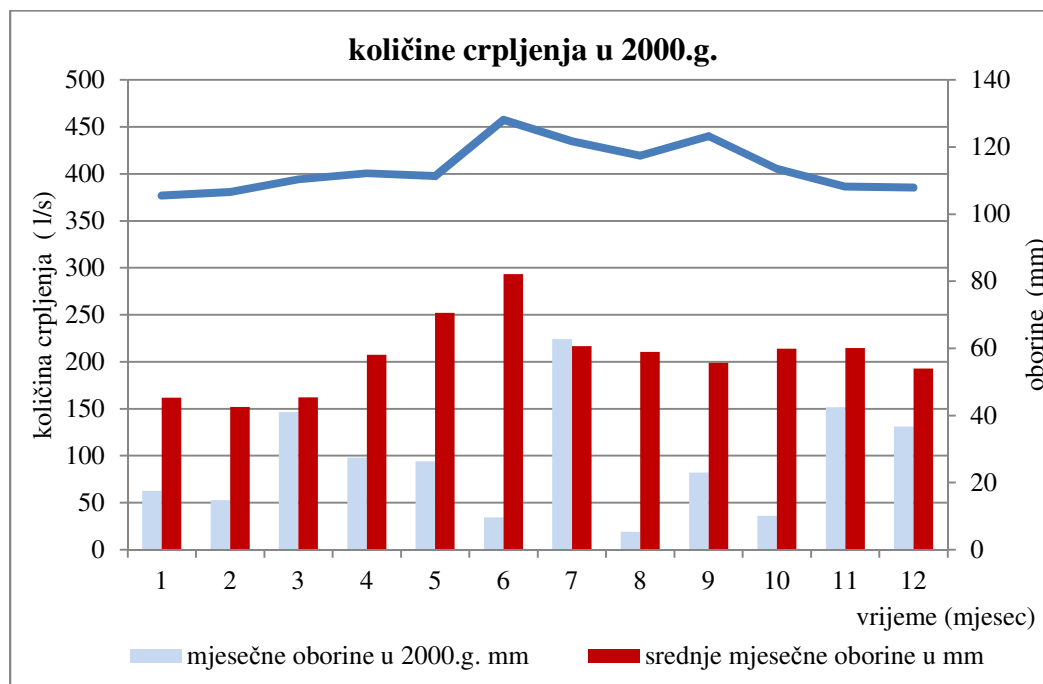
Može se zapaziti povremeno intenzivnija crpljenja, ali jednako tako i smanjenje crpnih količina uglavnom u zimskom razdoblju. Zapaža se izrazito smanjenje crpnih količina tijekom ožujka, travnja i svibnja 2008.g.

Ranijom analizom je pokazano kako su se tijekom promatranih 30-tak godina pojavljivale hidrološki ekstremne godine, te kako je njihova izmjena u u zadnjih 15 godina promatranog perioda dinamična, sa sve kraćim razmacima u pojavljivanju.

U tih 30-tak godina 3 godine se ističu po izrazitom hidrološkom deficitu 2000., 2003. i 2011.g.

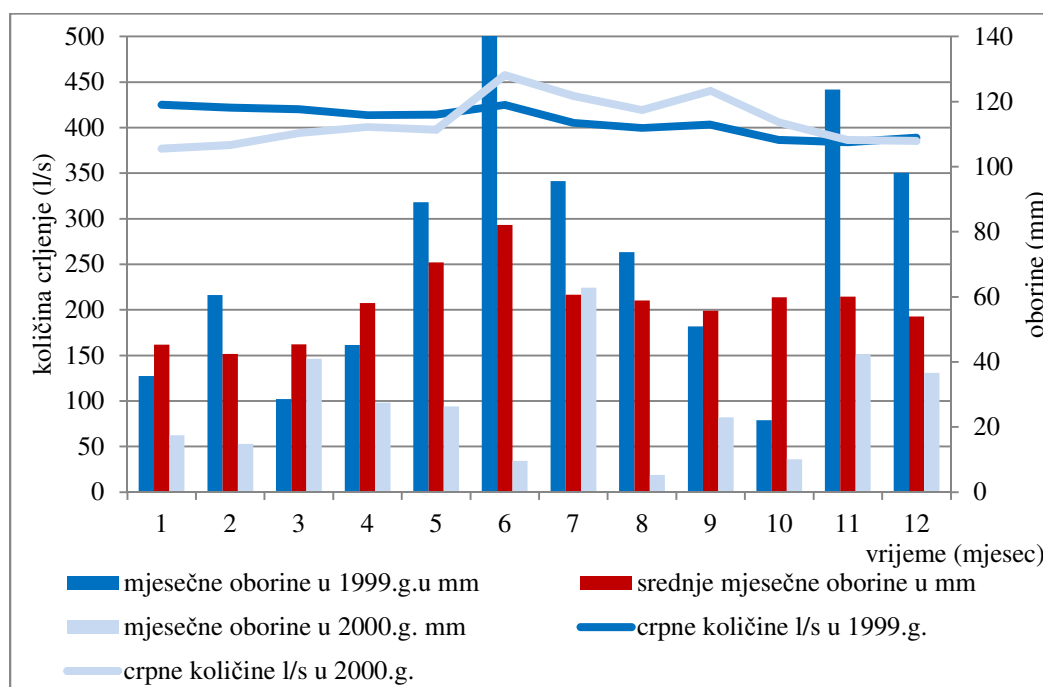
Na slikama 6.20., 6.22. i 6.24. prikazan je dijagram crpnih količina pojedinačno za svaku od navedenih godina.

U 2000.g. crpljene količine su se kretale u okviru od 377 do 458 l/s sa srednjom vrijednošću od 407 l/s. Povećani intenzitet crpljenja se pojavljuje u toplijem dijelu godine od svibnja do listopada.



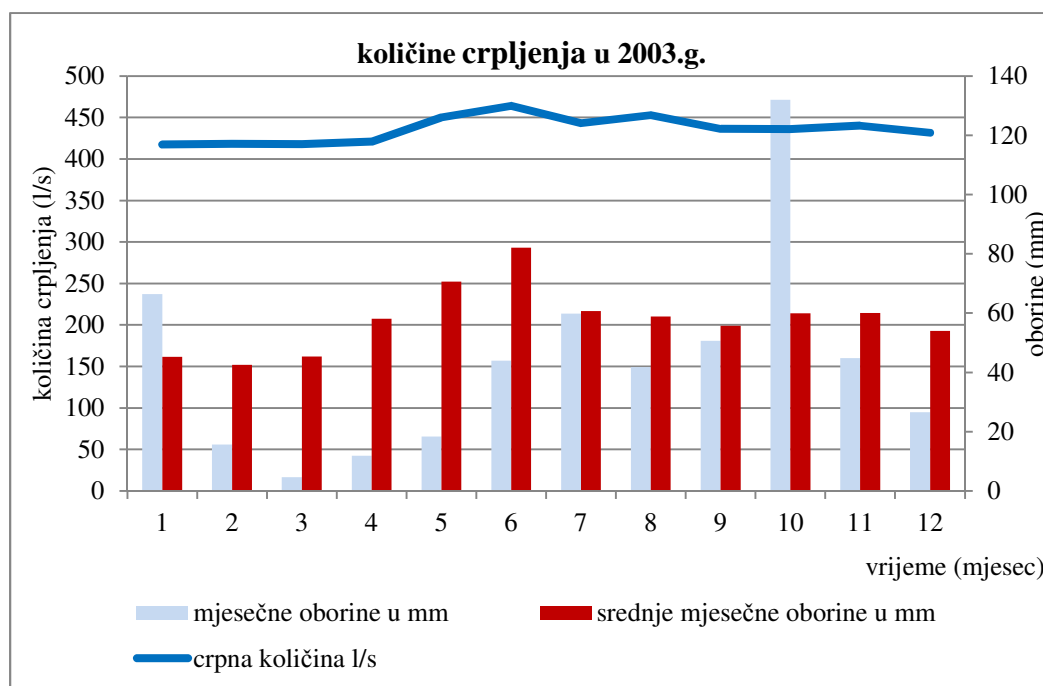
Slika 6.20. Intenzitet crpljenja vode u 2000.g.

Prethodna 1999.g. u hidrološkom smislu bila je izuzetno kišna s ukupno 873 mm oborina. Uspoređujući dijagrame crpljenja u te dvije godine, uočava se kako su trendovi crpljenja slični unatoč izuzetno velikoj razlici u hidrološkim uvjetima (slika 6.21.). I u 1999. i 2000.g. prosječno se crpilo 407 l/s.



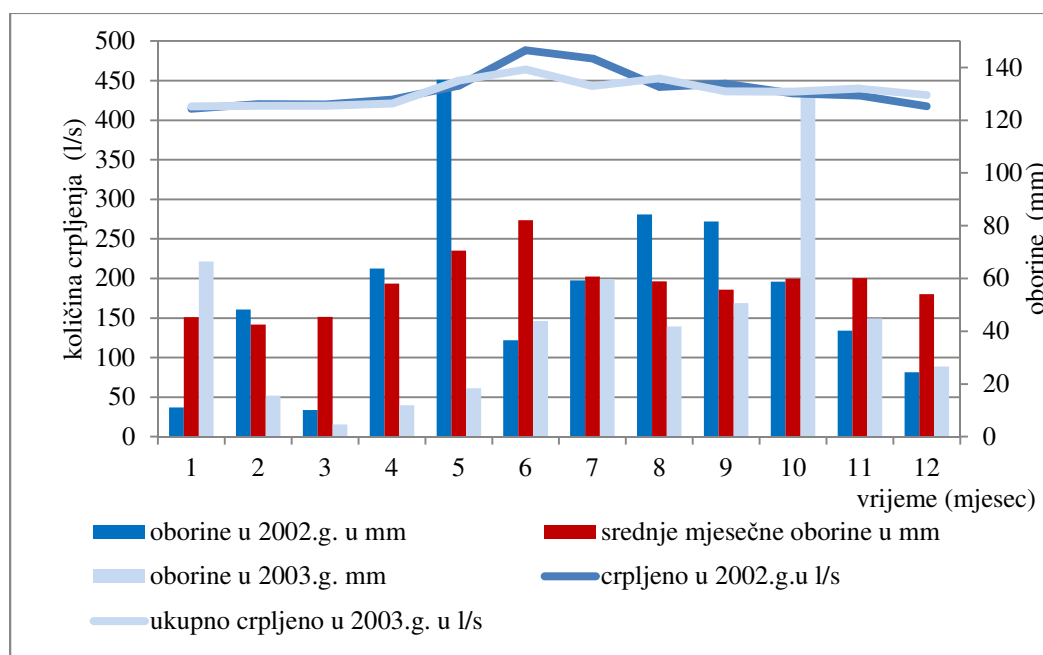
Slika 6.21. Intenzitet crpljenja vode u 1999. i 2000.g.

U 2003.g. crpljene količine su se kretale u granicama od 417 do 465 l/s sa srednjom vrijednošću od 436 l/s (slika 6.22.). Povećani intenzitet crpljenja se pojavljuje u toplijem dijelu godine od svibnja. Do smanjenja intenziteta dolazi u zadnjim mjesecima godine.



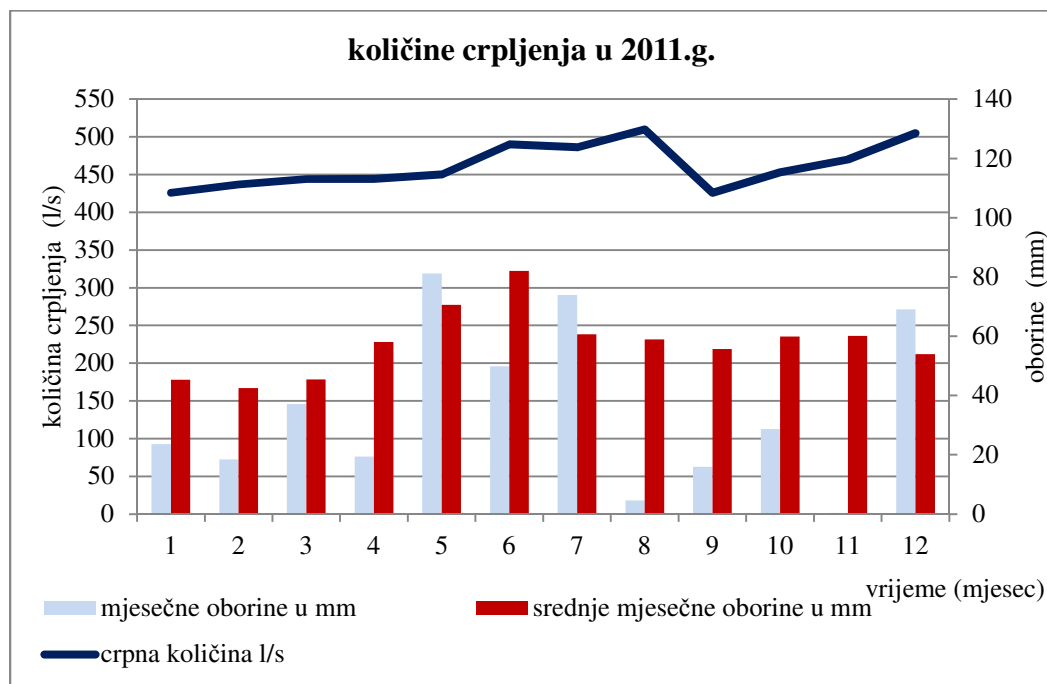
Slika 6.22. Intenzitet crpljenja u 2003.g.

Prethodna 2002.g. u hidrološkom smislu bila je prosječna sezona s ukupno 653 mm oborina. Uspoređujući dijagrame crpljenja vode u te dvije godine, uočava se kako su trendovi crpljenja slični unatoč izuzetno velikoj razlici u hidrološkim uvjetima (slika 6.23.). U 2002. se prosječno crpilo 438, a u 2003.g. 436 l/s, znači gotovo identični parametri u obje godine.



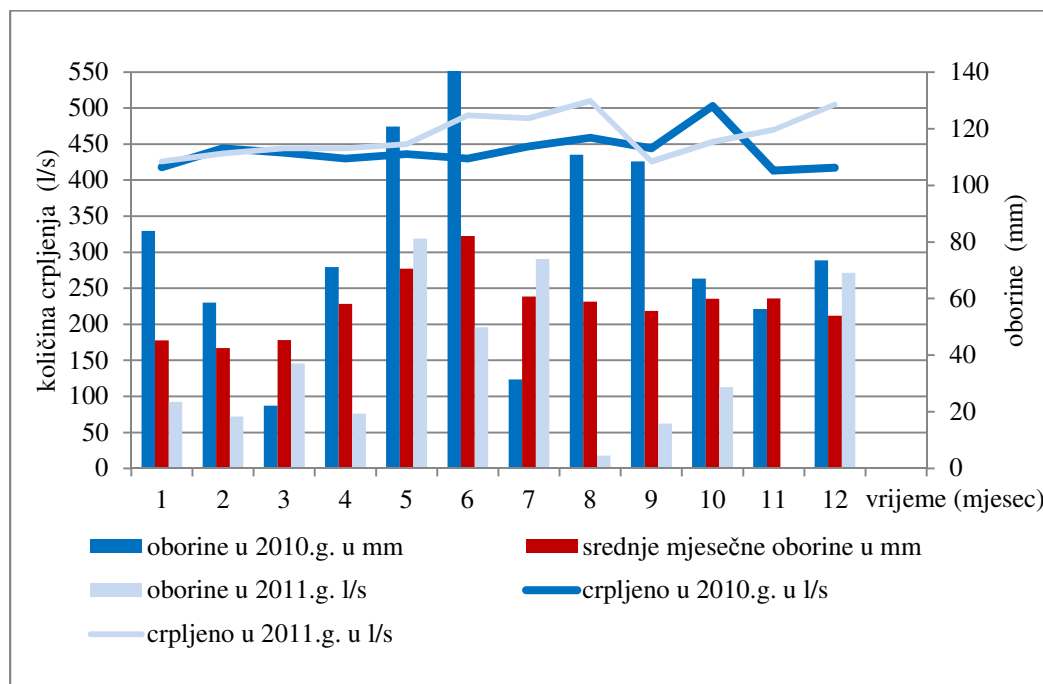
Slika 6.23. Intenzitet crpljenja u 2002. i 2003.g.

U 2011.g. crpljene količine su se kretale u okviru od 426 do 510 l/s sa srednjom vrijednošću od 461 l/s (slika 6.24). Povećani intenzitet crpljenja se pojavljuje u svibnju i traje do kolovoza kada se smanjuje tijekom rujna. Izrazito povećanje crpnih količina pojavljuje se u zadnjem tromjesječju godine. U rujnu 2011.g. prošireno je područje isporuke vode za ljudsku potrošnju na Općinu Čepin te je povećanje crpnih količina posljedica značajnog povećanja količina isporuke vode krajnjim korisnicima.



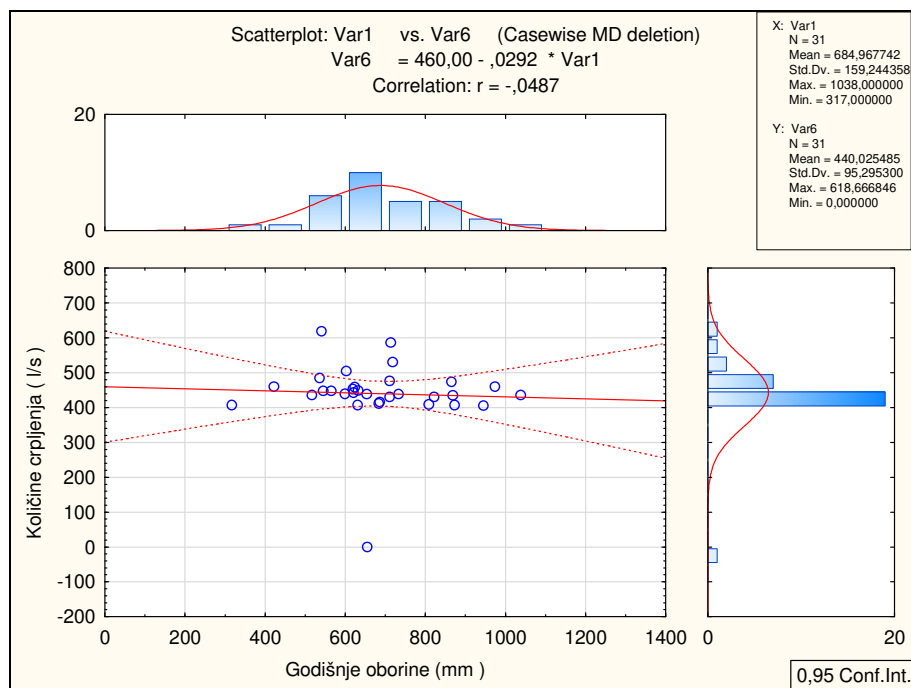
Slika 6.24. Intenzitet crpljenja u 2011.g.

Prethodna 2010.g. u hidrološkom smislu bila je izrazito kišna godina s najvećom ukupnom oborinom u promatranom razdoblju od 1038 mm oborina. Uspoređujući dijagrame crpljenja u te dvije godine, uočava se kako su trendovi crpljenja slični unatoč izuzetno velikoj razlici u hidrološkim uvjetima (slika 6.25.). U 2010. se prosječno crpilo 436 l/s, a u 2011.g. 461 l/s.



Slika 6.25. Intenzitet crpljenja u 2010. i 2011.g.

U okviru istraživanja provedena je korelacija između količina crpljenja i godišnjih oborina. Koeficijent korelacije iznosi - 0,0487 (slika 6.26.), što statistički znači da je korelacijski odnos tek naznačen i nema praktične vrijednost. Prema Žugaju (2015) općenito se smatra da se korelacijski odnos može koristiti ako je apsolutna vrijednost korelacijskog faktora veća od 0,60. Provedenom korelacijskom analizom potvrđuje se kako količine crpljenja nisu u korelaciji sa količinom oborina.

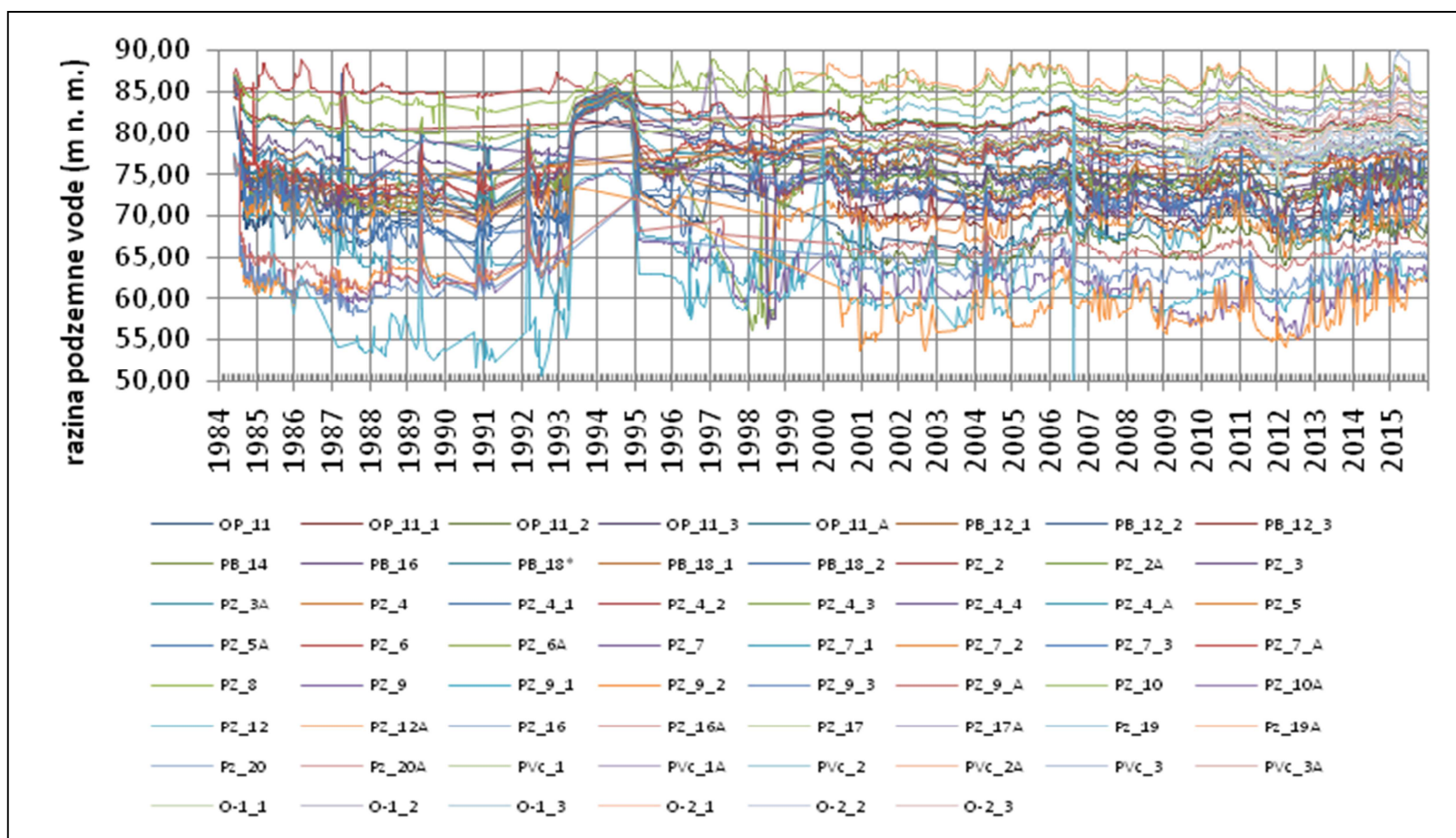


Slika 6.26. Korelacija crpnih količina i godišnjih oborina u razdoblju od 1984-2015.g.

Potrošnja odnosno crpna količina je generalno stabilna i gotovo nepromjenjiva veličina i nije u ovisnosti o oborinskom režimu. Sve eventualne promjene u razinama podzemne vode su posljedica promjene u iznosu napajanja odnosno količine oborine, a ne posljedica veće ili manje potrošnje, odnosno crpljenja.

### 6.3. Opažanje razina podzemnih voda

Na slici 6.27. prikazano je regionalno opažanje razina podzemnih voda u razdoblju od 1984.g. do 2015.g. Uočava se nekoliko karakterističnih razdoblja.



Slika 6.27. Kolebanje razina podzemnih voda od 1984. do 2015.g.



Prvo i osnovno obilježje nivograma podzemne vode odnosi se na sam čin uključivanja crpilišta 25. srpnja 1984.g., odnosno snažni pad razine koji se postupno širi i postupno doseže i najudaljenije piezometre (Duić, 2007.). U prve tri godine rada Crpilišta, kada se crpna količina najmanje mijenjala, izraženo je relativno snažno opadanje razine podzemne vode, ne kao posljedica povećanja crpnih količina već kao logično, fizikalno nezaobilazno, preuređenje hidrogeološkog sustava izazvanim šokom naglog aktiviranja crpilišta Vinogradi (Duić, 2008.). Vodonosni sustav u takvim okolnostima reagira težnjom uspostavljanja nove ravnoteže, no nju može uspostaviti samo uz bitno drugačiju raspodjelu razine podzemne vode u prostoru. U ovom slučaju radi se o jednom vrlo inertnom sustavu pa je za uspostavljanje takvoga kvazistacionarnog stanja potrebno nekoliko godina (Duić, 2008.).

Potom slijedi razdoblje povećanja crpnih količina što je rezultiralo i smanjenjem razina podzemnih voda. Već je ranije navedeno kako je to razdoblje učestalih kvarova spojnog cjevovoda te posljedično privremenih isključenja Crpilišta iz rada.

U razdoblju od ožujka 1994. do prosinca 1994.g. crpilište Vinogradi je izvan rada budući se u tom razdoblju rekonstruirao cjevovod sirove vode od Crpilišta do pogona za proizvodnju. U tom razdoblju uočava se porast razina podzemnih voda, no vrijeme isključenja bilo je prekratko da se uspostavi početno stanje, odnosno ono prije uključivanja Crpilišta u rad. Dakle, približno 9 mjeseci, bilo je prekratko razdoblje za cjelovito obnavljanje izvornoga sloja i uspostavljanje inicijalne ravnoteže, u čemu se ogleda tromost sustava. Procjena je da je potrebno je oko 2-3 godine za relativno ustaljenje konusa depresije (Duić, 2008.).

Slijedi razdoblje uspostavljanja ravnotežnog odnosa crpljenih količina i razina podzemnih voda. Nakon 3 godine, dakle 1997.g. uspostavlja se relativno ujednačeno kolebanje nivoa podzemnih voda na svim mjerenim točkama te se uspostavlja ravnotežni odnos nivoa podzemnih voda, oborinskog režima, odnosno infiltracije i crpnih količina.

U nastavku rasprave detaljnije će biti analizirano kolebanje razina podzemnih voda izmjerenih u reprezentativnoj grupi piezometara udaljenih od 900 do 5.500 metara od Crpilišta u kojima je kolebanje razina podzemne vode prvenstveno posljedica infiltracije, dok je utjecaj eksploatacije zanemarivo malen. Već je ranije navedeno da su to piezometarska gnijezda Pz 3, Pz 5, Pz 6 i piezometar Pz 8.

Osnovne karakteristike navedene grupe udaljenih piezometarskih gnijezda te njihove udaljenosti od Crpilišta dane su tablici 6.7.

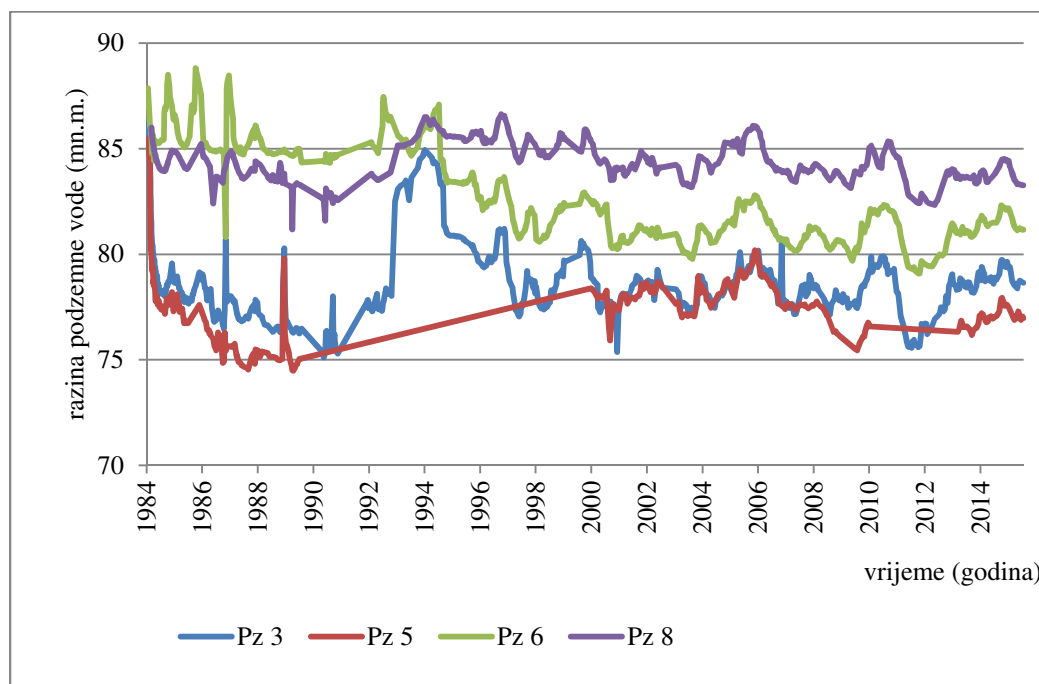
Tablica 6.7. Osnovne karakteristike piezometarskih gnijezda Pz 3, Pz 5, Pz 6 i Pz 8

Piezometarsko gnijezdo	Piezometar	Godina izvedbe	Dubina (m)	Udaljenost od Crpilišta oko (m)	Vrsta materijala
Pz 3	Pz 3	1983.	171	950	Pocinčani čelik $\phi$ 2“
	Pz 3A	1983.	36		Pocinčani čelik $\phi$ 2“
Pz 5	Pz 5	1983.	159	900	Pocinčani čelik $\phi$ 2“
	Pz 5A	1983.	35		PVC $\phi$ 3“
Pz 6	Pz 6	1983.	171	2.100	Pocinčani čelik $\phi$ 2“
	Pz 6A	1983.	36		Pocinčani čelik $\phi$ 2“
Pz 8	Pz 8	1983.	171	5.500	Pocinčani čelik $\phi$ 2“

Detaljan opis konstrukcije piezometarskih gnijezda Pz 3, Pz 5 i Pz 6 te osamljenog piezometra Pz 8, odnosno razdioba i dužina sita po profilu piezometarske bušotine, dana je u poglavlju 2. Metode istraživanja i korišteni podaci.

Nivogrami podzemne vode u navedenoj grupi piezometara pokazuju kolebanja razine podzemne vode gotovo isključivo uzrokovana vertikalnim parametrima vodne bilance budući da režim rada zdenaca odnosno crpljenje vode ima vrlo mali utjecaj na razinu podzemne vode, kako u izvornom sloju, tako i u slojevima zahvaćenim zdencima na Crpilištu.

Kolebanje razina podzemne vode u piezometrima Pz 3, Pz 5, Pz 6 i Pz 8 prikazano je na nivogramima na slici 6.28.



Slika 6.28. Kolebanje razina podzemnih voda u Pz 3, Pz 5, Pz 6 i Pz 8 u razdoblju 1984.-2015.g.

U razdoblju eksploatacije od 1984.-2015. g. evidentirane su minimalne razine 75,11 mn.m za Pz 3; 74,48 mn.m za Pz 5; 79,08 mn.m. za Pz 6 te 81,18 mn.m za Pz 8. U istom razdoblju evidentirane su maksimalne razine 86,19 mn.m. za Pz 3; 85,47 mn.m. za Pz 5; 88,81 mn.n. za Pz 6, te 86,64 mn.m. za Pz 8. Razlike između maksimalnih i minimalnih zabilježenih razina podzemne vode u navedenom razdoblju kreću se od 5,46 m (Pz 8) do 11,08 m (Pz 3) ( tablica 6.8.).

Za cijelo razdoblje, odnosno pripadajući niz podataka o zabilježenim razinama podzemne vode u Pz 3, Pz 5, Pz 6 i Pz 8, izračunati su: aritmetička sredina, standardna devijacija i koeficijent varijacije. Standardna devijacija se kreće od 0,92 (Pz 8) do 2,19 m (Pz 6), a koeficijent varijacije je od 0,01 (Pz 8) do 0,03 (Pz 6) (tablica 6.8.).

Tablica 6.8. Minimalne i maksimalne razine, razlika max i min razina, aritmetička sredina, standardna devijacija te koeficijent varijacije za Pz 3, Pz 5, Pz 6 i Pz 8 u razdoblju 1984.-2015.g

razdoblje 1984.-2015.g.	piezometri			
	Pz 3	Pz 5	Pz 6	Pz 8
<b>minimalna razina (mn.m.)</b>	75,11	74,48	79,08	81,18
<b>maksimalna razina (mn.m.)</b>	86,19	85,47	88,81	86,64
<b>razlika max i min (m)</b>	11,08	10,99	9,73	5,46
<b>aritmetička sredina niza (mn.m.)</b>	78,63	77,51	82,72	84,37
<b>standardna devijacija (m)</b>	1,81	1,83	2,19	0,92
<b>koeficijent varijacije</b>	0,02	0,02	0,03	0,01

Na nivogramu kolebanja razina podzemnih voda u Pz 3, Pz 5, Pz 6 i Pz 8 od 1984. do 2015.g. (slika 6.28.) uočava se da je od 1997. uspostavljen uravnotežen režim kolebanja razina podzemne vode. Razdoblje od 1997.g. (3 godine poslije ponovnog uključanja Crpilišta u rad) do 2015. obilježeno je kontinuiranom i stabilnom eksploatacijom, bez prekida crpljenja što je rezultiralo uspostavljanjem ravnoteže vodonosnika. Navedeno razdoblje, dakle razdoblje 1997.-2015.g. razmatralo se u daljnjoj analizi kao reprezentativno za utvrđivanje odnosa razina podzemne vode i količina oborina.

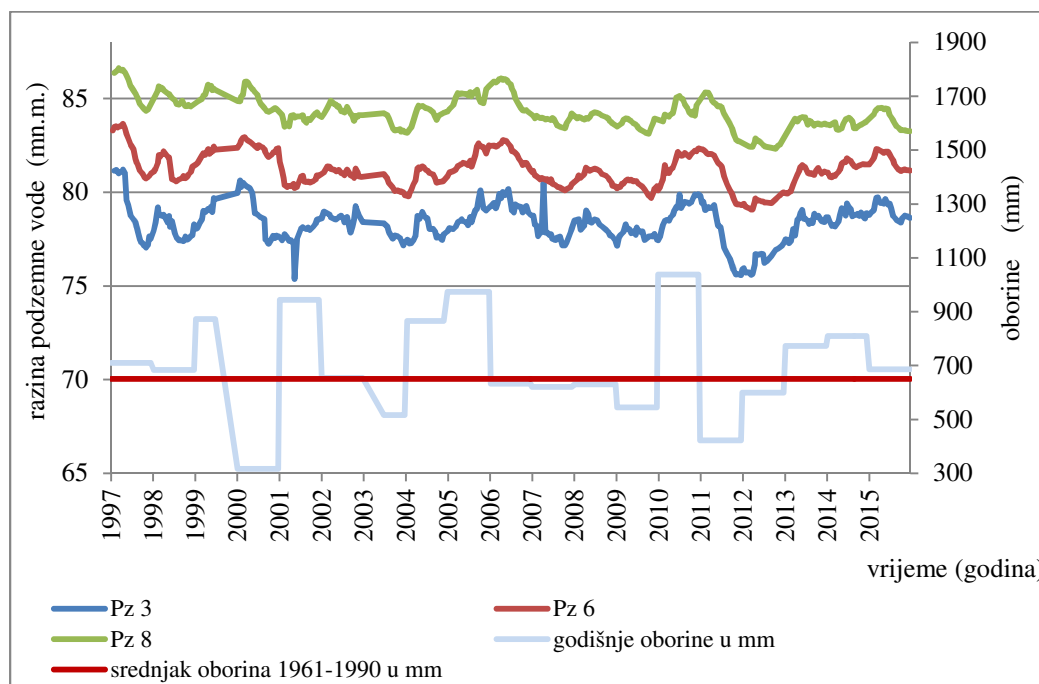
Najvažniji hidrološki parametri, izračunati za niz podataka o razinama podzemne vode u piezometrima, za razdoblje 1997.-2015.g. dani su u tablici 6.9.

Tablica 6.9. Minimalne i maksimalne razine, razlika max i min razina, aritmetička sredina, standardna devijacija te koeficijent varijacije za Pz 3, Pz 5, Pz 6 i Pz 8 u razdoblju 1997.-2015.g.

razdoblje 1997.-2015.g.	piezometri			
	Pz 3	Pz 5	Pz 6	Pz 8
<b>minimalna razina (mn.m.)</b>	75,37	75,44	79,08	82,32
<b>maksimalna razina (mn.m.)</b>	81,21	80,19	83,66	86,64
<b>razlika max i min(m)</b>	5,84	4,75	4,58	4,32
<b>aritmetička sredina niza (mn.m.)</b>	78,36	77,63	81,21	84,30
<b>standardna devijacija (m)</b>	1,02	0,91	0,92	0,87
<b>koeficijent varijacije</b>	0,01	0,01	0,01	0,01

Kada se usporede hidrološki parametri svakog pojedinog razdoblja potvrđuje se pretpostavka uravnoteženja vodonosnog sustava u razdoblju 1997.-2015.g. Razlika maksimalnih i minimalnih razina u razdoblju 1997.-2015.g. je od 4,32 do 5,84 m za promatrane piezometre, što je znatno manje od razlike maksimalnih i minimalnih razina u razdoblju 1984.-2015.g. (od 5,46 do 11,08 m). I ostali parametri, standardna devijacija te koeficijent varijacije, niži su za razdoblje od 1997.-2015.g. (tablica 6.9.) od istih parametra za razdoblje 1984.-2015.g. (tablica 6.8.).

Na slici 6.29. prikazan je nivogram razina podzemnih voda za duboke piezometre Pz 3, Pz 5, Pz 6 i Pz 8 za razdoblje 1997.-2015.g. te istovremeno kolebanje godišnje količine oborina u odnosu na srednjak oborina 1961.-1990.g. Rezultati prikazani kao nivogrami karakterističnih aktivnih dubokih piezometara, pokazuju razvitak sniženja u vodonosnoj sredini kao posljedicu manjka oborina, odnosno smanjenja infiltracije, bez utjecaja sniženja razina uzrokovanih padom specifične izdašnosti zdenaca (Duić, 2008).

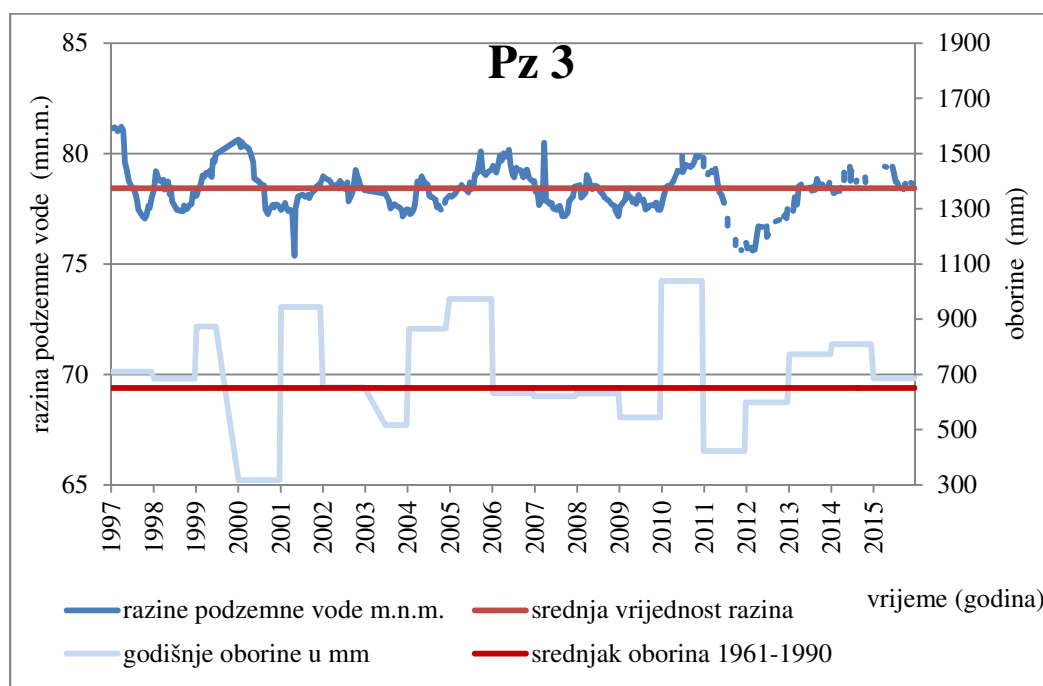


Slika 6.29. Kolebanje razina podzemnih voda u Pz 3, Pz 6 i Pz 8 u razdoblju 1997.-2015.g.

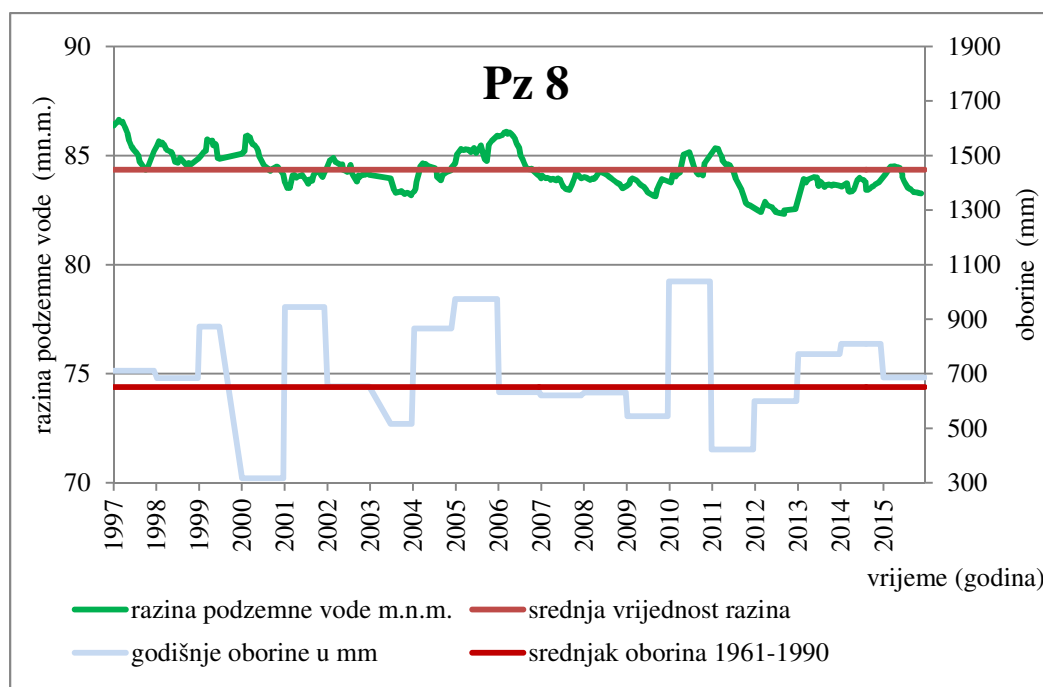
U oborinskom režimu, u razdoblju 1997.-2015.g. zabilježeno je tri malovodne i šest kišnih, odnosno devet hidrološki ekstremnih godina (tablica 6.2.). Zatim, u tom razdoblju pojavljuje se najmanja godišnja i najveća godišnja oborina cijelog promatranog razdoblja (u 2000.g. godišnja oborina je 317 mm, a u 2010. 1038 mm), te oborinski režim pokazuje trend stagnacije (slika 6.17).

Za bolje razumijevanje reakcije vodonosnika na ekstremne malovodne godine promotrit će se nivogrami pojedinačnih piezometara. Razmatrat će se piezometar Pz 3 kao najbliži piezometar Crpilištu, udaljen cca 950 m (tablica 6.7.) te Pz 8 kao najudaljeniji piezometar od Crpilišta (udaljen cca 5.500 m) u promatranoj grupi piezometara koji se mogu tretirati kao reprezentativni piezometri grupe udaljenih piezometara (tablica 6.7.).

Kolebanje nivoa podzemne vode obilježava ujednačeni sezonski ritam (slika 6.30. i 6.31.).



Slika 6.30. Kolebanje razina podzemnih voda u Pz 3 u razdoblju 1997.-2015 .



Slika 6.31. Kolebanje razina podzemnih voda u Pz 8 u razdoblju 1997.-2015 .

Standardna devijacija i koeficijent varijacije za kolebanje razina podzemne vode u Pz 3 pokazuju nešto veće vrijednosti nego isti parametri za kolebanje razina u Pz 8 što se može

objasniti činjenicom da je Pz 8 najudaljeniji piezometar od Crpilišta u kojemu je utjecaj eksploatacije, odnosno crpljenja na kolebanje nivoa podzemne vode gotovo zanemariv, dok se u Pz 3 koji je bliži Crpilištu primjećuje blagi utjecaj količine crpljenja (tablica 6.10.).

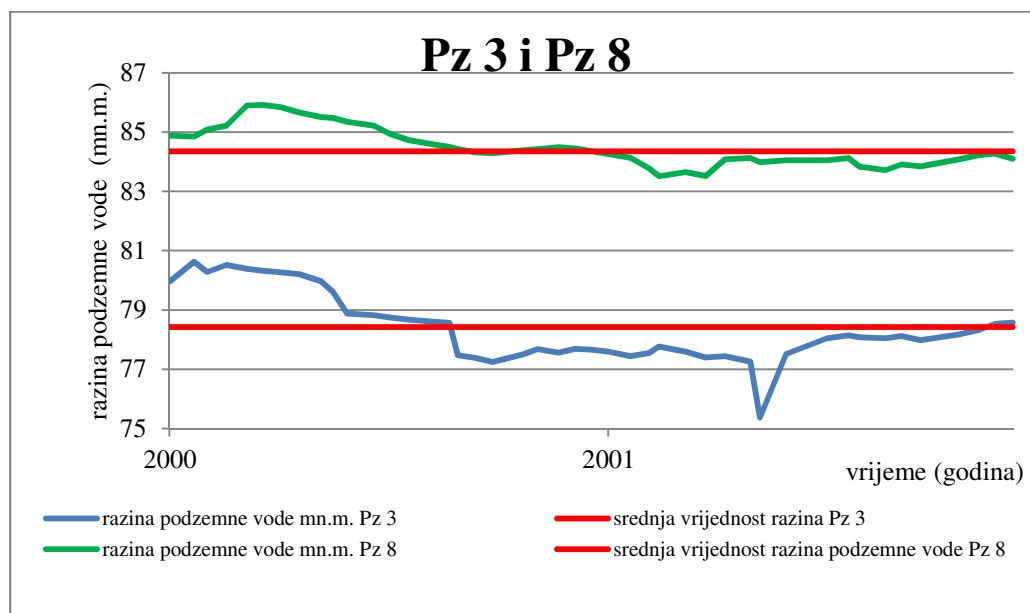
Tablica 6.10. Usporedba najvažnijih hidroloških parametara kolebanja razina podzemne vode u Pz 3 i Pz 8 u razdoblju 1997.-2015.g.

<b>razdoblje 1997.-2015.g.</b>	<b>piezometri</b>	
	<b>Pz 3</b>	<b>Pz 8</b>
<b>minimalna razina (mn.m.)</b>	75,37	82,32
<b>maksimalna razina (mn.m.)</b>	81,21	86,64
<b>razlika max i min razine (m)</b>	5,84	4,32
<b>aritmetička sredina niza (mn.m.)</b>	78,36	84,30
<b>standardna devijacija (m)</b>	1,02	0,87
<b>koeficijent varijacije</b>	0,01	0,01

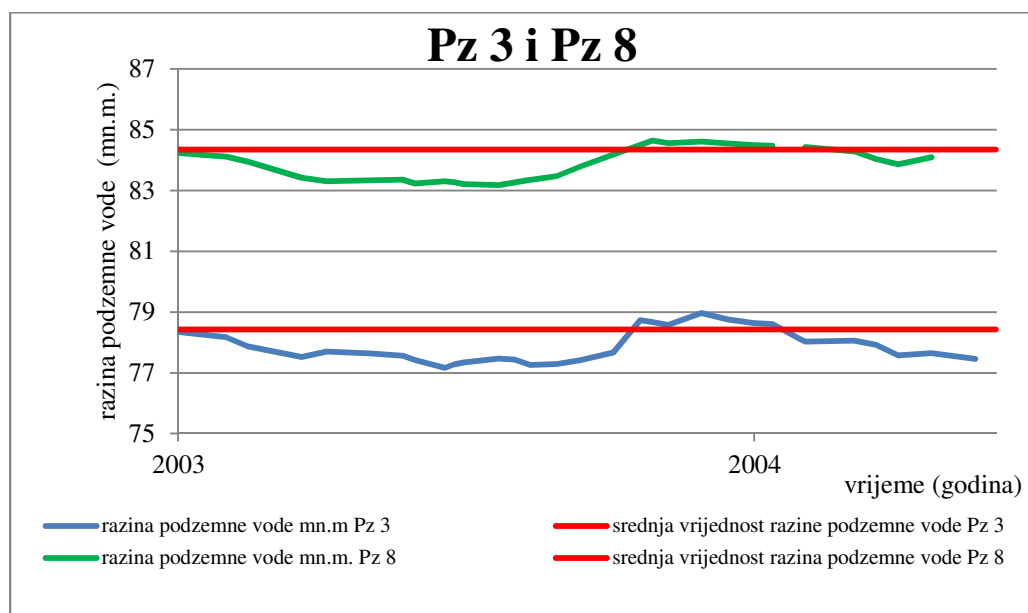
Izraženija amplituda snižavanja nivoa podzemnih voda u Pz 3 i Pz 8 uočava se u 2000.-2001., 2003.-2004. te 2011.-2012.g. (slika 6.30. i 6.31.) što koincidira sa zabilježenom količinom oborina u 2000., 2003. i 2011.g. koje su okarakterizirane kao izrazito deficitarne u odnosu na višegodišnje prosječne količine oborina ( tablica 6.2.).

Nivogrami kolebanja razina podzemnih voda u Pz 3 i Pz 8 u razdobljima 2000.-2001., 2003.-2004. te 2011.-2012.g. prikazani su na slikama 6.32, 6.33. i 6.34.

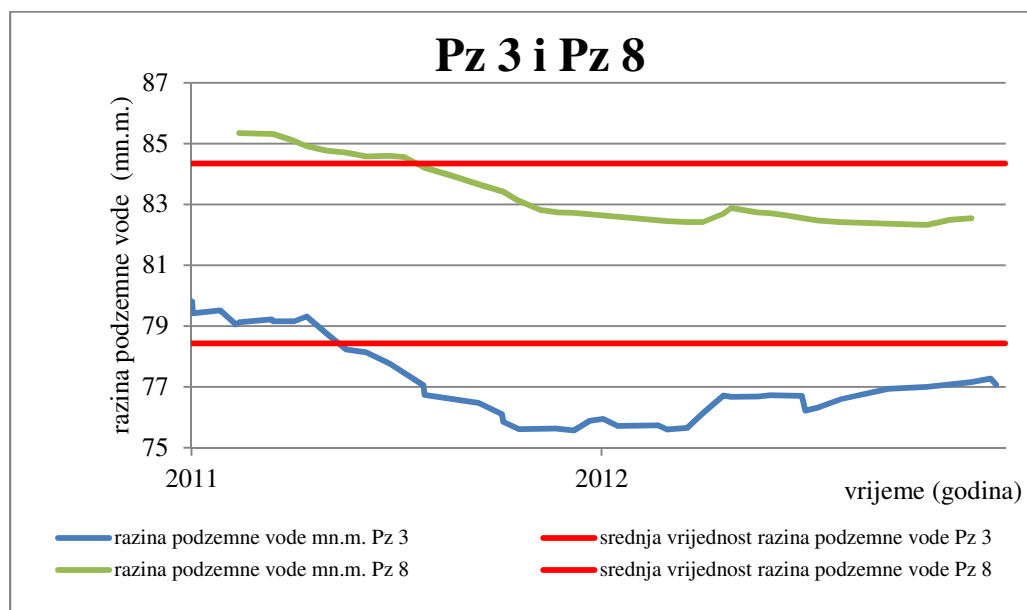




Slika 6.32. Kolebanje razina podzemnih voda Pz 3 i Pz 8 tijekom 2000. i 2001.g.



Slika 6.33 Kolebanje razina podzemnih voda Pz 3 i Pz 8 tijekom 2003. i 2004.g.



Slika 6.34. Kolebanje razina podzemnih voda Pz 3 i Pz 8 tijekom 2011. i 2012.g.

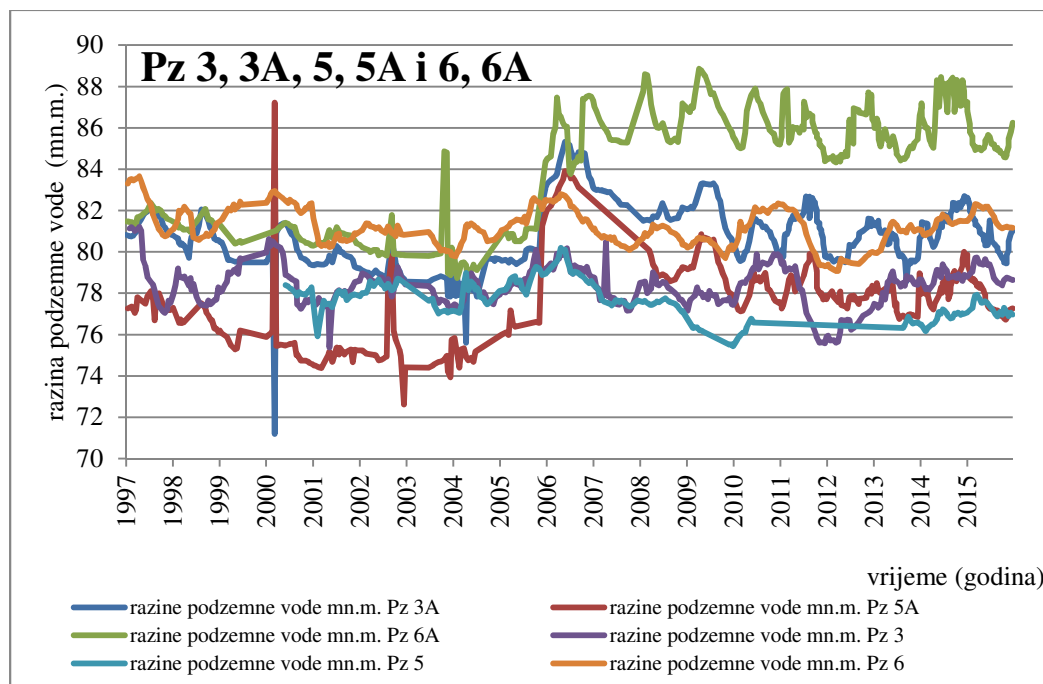
Nivogrami Pz 3 i Pz 8 te najvažniji hidrološki parametri (tablica 6.11.) pokazuju kako je reakcija sustava na vrlo izražene razlike u količinama oborina blago variranje amplituda razina podzemne vode od 1,46 do 4,32 m u Pz 8 te 1,8 do 5,84 metara u Pz 3.

Standardna devijacija te koeficijenti varijacije od 0,0067 do 0,0174 za Pz 3 te od 0,0063 do 0,0125 za Pz 8 potvrđuju prethodno iznesenu konstataciju (tablica 6.11.).

Tablica 6.11. Usporedba hidrološki parametara za Pz 3 i Pz 8 u godinama 2000.-2001., 2003.-2004., 2011.-2012. i razdoblju 1997.-2015.g.

	2000.-2001.		2003.-2004.		2011.-2012.		1997.-2015.	
	Pz 3	Pz 8	Pz 3	Pz 8	Pz 3	Pz 8	Pz 3	Pz 8
<b>minimalna razina (mn.m.)</b>	75,37	83,51	77,16	83,18	75,57	82,32	75,37	82,32
<b>maksimalna razina (mn.m.)</b>	80,63	85,92	78,96	84,64	79,81	85,34	81,21	86,64
<b>razlika max i min razina (m)</b>	5,26	2,41	1,80	1,46	4,24	3,02	5,84	4,32
<b>aritmetička sredina niza 97-15 (mn.m.)</b>	78,36	84,30	78,36	84,30	78,36	84,30	78,36	84,30
<b>standardna devijacija (m)</b>	1,1621	0,6732	0,5288	0,5281	1,3628	1,0499	1,0190	0,8685
<b>koeficijent varijacije</b>	0,0148	0,0080	0,0067	0,0063	0,0174	0,0125	0,0130	0,0103

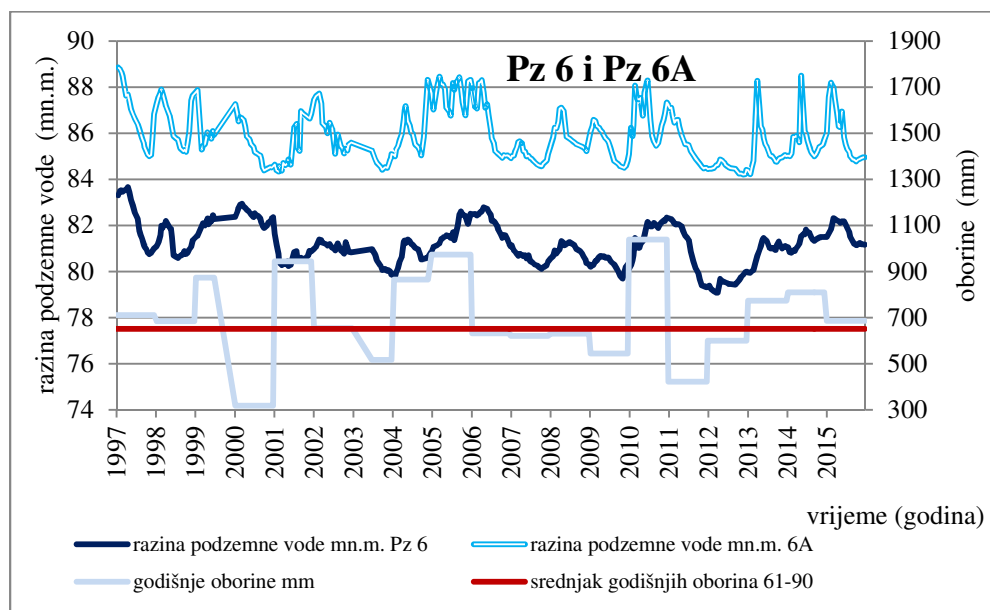
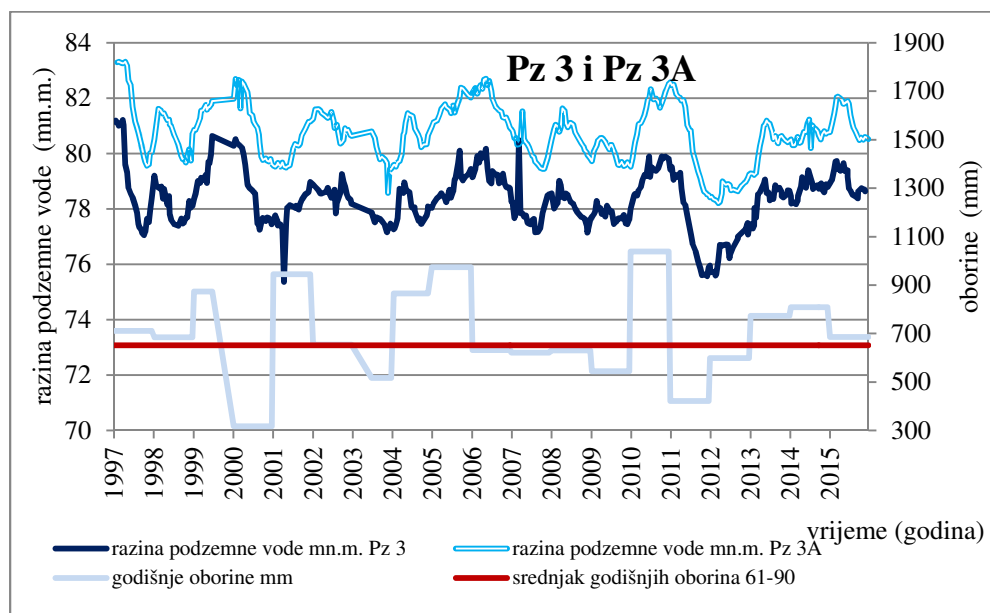
Kako bi se provjerio utjecaj malovodnih godina na kolebanje razina izvornog sloja koji nije zahvaćen eksploatacijskim zdencima, a koji se napaja infiltracijom oborina i preko kojega se odvija napajanje niže položenoga zahvaćenog vodonosnika izrađen je nivogram kolebanja razina podzemnih voda u piezometrima 3 i 3A, 5 i 5A te 6 i 6A (slika 6.35.).



Slika 6.35. Kolebanje razina podzemne vode u piezometrima Pz 3, 3A, 5, 5A, 6 i 6A u razdoblju 1997.-2015.g.

Za detaljniju analizu izabrani su parovi piezometara 3 i 3A te 6 i 6A kao reprezentativni uzorak budući je piezometarsko gnijezdo 3 i 3A najbliže Crpilištu (950 m, tablica 6.7.), a piezometarsko gnijezdo 6 i 6A najudaljenije (2.100 m, tablica 6.7.) u promatranoj grupi udaljenih piezometara. Za analizu nije odabran piezometar Pz 8 koji je razmatran tijekom istraživanja budući je to „osamljeni“ duboki piezometar bez plitke piezometarske bušotine koja zahvaća izvorni sloj.

Na nivogramima plitkog i dubokog piezometra u istom piezometarskom gnijezdu (Pz 3 i Pz 3A te Pz 6 i Pz 6A) (slika 6.36.) uočava se da globalno porast razina u izvornom sloju, kao rezultat infiltracije oborina, koincidira s porastom razina u zahvaćenom vodonosniku što potvrđuju parametri iz tablice 6.14. (standardna devijacija i koeficijenti varijacije).



Slika 6.36. Kolebanje razina podzemne vode u piezometrima Pz 3 i 3A i 6 i 6A u razdoblju 1997.-2015.

Hidrološki parametri iz tablice 6.12. za piezometre Pz 3, 3A, 6 i 6A pokazuju kako su amplitude kolebanja podzemne vode u izvornom sloju (Pz 3A i Pz 6A) približno iste amplitudama kolebanja u zahvaćenom vodonosniku (Pz 3 i Pz 6) te iznose oko 5 m za 3 i 3A, te oko 4 m za Pz 6 i Pz 6A. I standardna devijacija te varijabilnost tih kolebanja razina podzemne vode pokazuju približno iste vrijednosti (tablica 6.12.).

Tablica 6.12. Hidrološki parametri za piezometre 3 i 3A te 6 i 6A u razdoblje 1997.-2015.g.

1997.-2015.g.	piezometri			
	Pz 3	Pz 3A	Pz 6	Pz 6A
<b>minimalna razina (mn.m.)</b>	75,37	78,21	79,08	84,21
<b>maksimalna razina (mn.m.)</b>	81,21	83,32	83,66	88,86
<b>razlika max i min razina (mn.m.)</b>	5,84	5,11	4,58	4,65
<b>aritmetička sredina niza 97-15 (mn.m.)</b>	78,36	80,77	81,21	85,90
<b>standardna devijacija (m)</b>	1,02	1,05	0,92	1,14
<b>koeficijent varijacije</b>	0,01	0,01	0,01	0,01

Uočene manje razlike u razinama pa i njihovim amplitudama proizlaze prije svega u različitim udaljenostima od Crpilišta (Pz 3 oko 950 m, Pz 6 oko 2.100 m), zatim zbog različitih dubina položaja sita na cijevima bušotina piezometara te kao posljedica izrazite heterogenosti vodonosnika. Tako Pz 3 ima sita dužine 3 m na dubinama oko 50, 90 i 165 m od kote terena, a Pz 3A zahvaća izvorni sloj sa sitom na 27-30 m od kote terena. Piezometar Pz 6 ima sita dužine 3 m na oko 65, 95 i 135 m od kote terena, dok Pz 6A zahvaća izvorni sloj sa sitom na 9-12 m.

Provjera ovisnosti promjene razina podzemne vode u zahvaćenom vodonosniku od promjene razina u izvornom sloju rađena je korelacijskom analizom nizova podataka o razinama podzemne vode u razdoblju 1997.-2015.g. zabilježenim u piezometrima Pz 3 i Pz 3A, te 6 i 6A. Izračunati koeficijenti korelacije dani su u tablici 6.13.

Tablica 6.13. Koeficijenti korelacije za razine podzemnih voda u Pz 3 i 3A te Pz 6 i 6A za razdoblje 1997.-2015.g.

<b>RAZDOBLJE 1997.-2015.g.</b>		
razine podzemne vode mn.m.	<b>koeficijent korelacije</b>	
	Pz 3 i Pz 3A	Pz 6 i Pz 6A
mjesečne	<b>0,93</b>	<b>0,58</b>
prosječne godišnje	<b>0,93</b>	<b>0,67</b>

Korelacijskom analizom odnosa kolebanja razina podzemne vode u zahvaćenom vodonosniku (Pz 3 i Pz 6) s kolebanjem razina u izvornom sloju (Pz 3A i Pz 6A), potvrdila se gotovo potpuna korelacija (koeficijent korelacije 0,93) kolebanja razina u zahvaćenom vodonosniku s kolebanjem u izvornom sloju na piezometrima Pz 3 i 3A te srednje jaka korelacija (koeficijent korelacije 0,58 i 0,67) na piezometrima Pz 6 i Pz 6A. Rezultati pokazuju nešto slabiju ovisnost kolebanja razina podzemne vode u zahvaćenom vodonosniku od kolebanja razina u izvornom sloju na području piezometra Pz 6 i 6A (koeficijent korelacije pokazuje srednje jaku korelaciju), što nije neočekivano budući je riječ o izrazito heterogenom hidrogeološkom sustavu. Heterogenost sustava očito je više izražena u području piezometarskog gnijezda Pz 6 od heterogenosti u području piezometarskog gnijezda Pz 3. Zaključno, koeficijenti korelacije potvrđuju ovisnost kolebanja razina podzemne vode u vodonosniku od kolebanja razina podzemne vode u izvornom sloju.

Korelacijskom analizom provjerila se ovisnost kolebanja razina podzemne vode u izvornom sloju (Pz 3A i 6A) i zahvaćenom vodonosniku (Pz 3 i 6) s kolebanjem količina oborina. Dobiveni rezultati dani su u tablici 6.14.

Tablica 6.14. Koeficijenti korelacije količine oborina i razina podzemne vode u Pz 3 i 3A te Pz 6 i 6A u razdoblju 1997.-2015.g.

<b>RAZDOBLJE 1997.-2015.g.</b>				
razine podzemne vode (mn.m.) i oborine (mm)	<b>koeficijent korelacije</b>			
	Pz 3	Pz 3A	Pz 6	Pz 6A
prosječne godišnje razine i ukupne godišnje oborine	0,20	0,22	0,07	0,51
prosječne godišnje razine (s pomakom od 12 mjeseci) i ukupne godišnje oborine	<b>0,54</b>	<b>0,63</b>	<b>0,62</b>	<b>0,38</b>

Napajanje vodonosnika oborinama, temeljem ranijih istraživanja (Vuković i Plamenac,1972; Urumović, 1982; Urumović i dr., 1996) usvojeno je kao osnovni mehanizam obnavljanja vodonosnika.

Korelacijskom analizom dodatno se potvrdila korelacija prosječnih godišnjih razina podzemne vode u izvornom sloju i u zahvaćenom vodonosniku s kolebanjem godišnjih količina oborina. Koeficijenti korelacije potvrđuju, a što je i vidljivo na nivogramima (slika 6.36.) da vodonosni sustav reagira na promjenu godišnje količine oborina sa kašnjenjem od oko 12 mjeseci te su, za takav odnos izračunati koeficijenti korelacije potvrdili srednje jaku ovisnost, osim na Pz 6A, gdje je heterogenost vodonosnog sustava, kao što je i ranijom analizom uočeno, jače izražena.

Može se zaključiti kako unatoč vrlo izraženim razlikama u količinama oborina u razdoblju 1997.-2015.g. (od 317 mm do 1038 mm), amplitude razina u udaljenim piezometrima (Pz 3, 5, 6 i 8) variraju maksimalno od 4,32 m do 5,84 m (tablica 6.15.) što obzirom na ukupnu debljinu zahvaćenih vodonosnih slojeva koja iznosi 60-80 metara nije problematično sa stajališta izdašnosti vodonosnika pa tako, posljedično, niti sa stajališta stabilnosti vodoopskrbe.

Tablica 6.15. Maksimalne i minimalne razine podzemnih voda u Pz 3, Pz 5, Pz 6 i Pz 8 u razdoblju 1997.-2015.g.

RAZDOBLJE 1997.-2015.g.	razina podzemne vode (mn.m.)			
	Pz 3	Pz 5	Pz 6	Pz 8
max	81,21	80,19	83,66	86,64
min	75,37	75,44	79,08	82,32
<b>razlika max i min razine (m)</b>	<b>5,84</b>	<b>4,75</b>	<b>4,58</b>	<b>4,32</b>

Isto tako važno je zaključiti da ekstremne hidrološke godine ne narušavaju mehanizam napajanja dubokih aluvijalnih vodonosnika. Reakcija vodonosnika na hidrološke ekstreme koji su zabilježeni u zadnjih 30-tak godina nije izašla iz okvira „elastičnog“ ponašanja. Nakon reakcije vodonosnika na hidrološke ekstreme u vidu povećanja/smanjenja razina, vodonosnik se u kratkom razdoblju nakon toga vraća u prvobitno prirodno stanje. U nastavku će se modeliranjem provjeriti u kojim ekstremnim hidrološkim uvjetima dolazi do „preslagivanja“ vodonosnika, dakle trajne promjene razina podzemnih voda sa neizvjesnim posljedicama na izdašnost, napajanje, kakvoću vode te posljedično na iskoristivost vodonosnika za potrebe vodoopskrbe.

#### 6.4. Modeliranje strujanja podzemnih voda

Trodimenzijsko gibanje podzemne vode stalne gustoće kroz porozni materijal opisuje se diferencijalnom jednačinom

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (4.1.)$$

Gdje su:

$K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ , i  $K_{zz}$  – vrijednosti hidrauličke vodljivosti duž x,y i z koordinatnih osi za koje se pretpostavlja da su paralelne s glavnim osima hidrauličke vodljivosti;



$h$  – piezometarska razina;

$W$  – protok kroz elementarni volumen koji predstavlja količinu vode koja ulazi odnosno izlazi iz sustava;

$S_s$  – specifično uskladištenje vodonosnika;  $i$

$t$  – vrijeme.

Dana jednadžba zajedno s graničnim i inicijalnim uvjetima u vodonosniku predstavlja matematičku predodžbu tečenja podzemnih voda. Rješenje jednadžbe predstavljaju piezometarske razine  $h(x,y,z,t)$  koje se u korištenom sustavu dobivaju korištenjem numeričkih metoda.

Numerički model toka podzemne vode kreiran je za potrebe simulacija toka podzemne vode u uvjetima rada crpilišta Vinogradi koji se održavaju kroz promatrano razdoblje bez većih odstupanja. Obrada i priprema podataka o razinama podzemne vode, zdencima i crpljenju na Crpilištu, te oborinama napravljena je uz pomoć programa Microsoft Excel. S obzirom na raspoloživa mjerenja razina, podatke o oborinama, te podatke o iscrpljenim količinama na Crpilištu na mjesečnoj bazi, vremenska diskretizacija je određena na mjesečnoj bazi.

Za definiranje početnih vrijednosti hidrogeoloških parametara u modelu toka korištene su vrijednosti identificirane tijekom ranijih istraživanja poglavito onih koja su obuhvaćala izradu modela strujanja podzemnih voda (Urumović, 1982 i 2003; Urumović i dr., 1996; Duić, 2007). Konceptualni model rubnih granica modela opisan je u hidrauličkom smislu nepropusnom granicom na sjeveru i jugu, dok su granice poznatog potencijala na zapadu i istoku definirane na način da su u dovoljnoj mjeri udaljene od vodocrpilišta kako bi u što manjoj mjeri utjecale na rješenje. Rubne uvjete unutar vodonosnika predstavljali su zdeni Vodocrpilišta Vinogradi. Pri tome su izdašnosti pojedinačnih zdenaca uzete kao nepromjenjive vrijednosti koje u sumi odgovaraju ukupnoj izdašnosti crpilišta. Ovakav pristup, obzirom na cilj istraživanja može se smatrati opravdanim, budući se varijacije u pojedinačnim izdašnostima zdenaca tijekom dužih perioda osrednjavaju, a izbjegavaju se problemi prespecificiranja samog modela. Rubni uvjet također je predstavljalo i napajanje vodonosnika oborinama koje je temeljem ranijih istraživanja (Vuković i Plamenac, 1972;

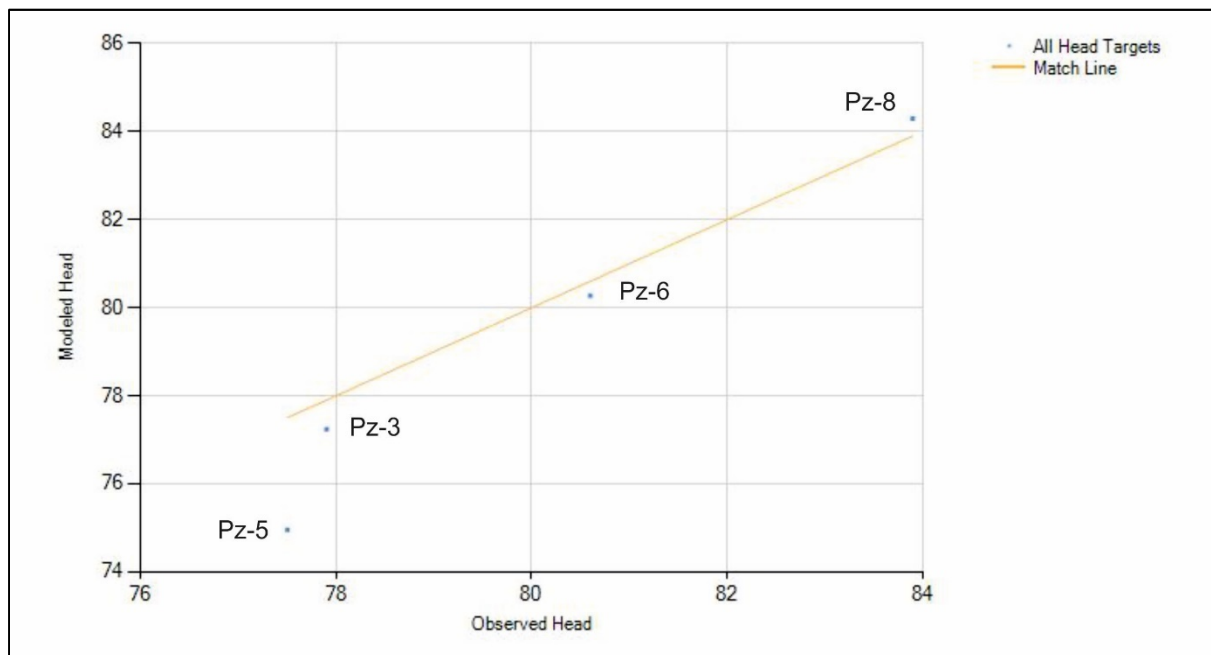
Urumović, 1982; Urumović i dr., 1996) usvojen kao osnovni mehanizam obnavljanja vodonosnika.

Vodonosnik je s hidrogeološkog stajališta simuliran kao dvoslojna cjelina. Prvi sloj predstavlja vodozadržnik koji je izgrađen od praha, gline i prašinstoga pijeska. Debljina mu je vrlo raznolika, a osim toga rašireni su facijesni prijelazi pojedinih tvorevina. Općenito se može reći da u sjevernim predjelima prevladavaju tvorevine krupnijih, a na jugu sitnijih frakcija, te da mu je debljina oko 40m. Obnavljanje vodonosnika kaptiranog na crpilištu Vinogradi odvija se kroz vodozadržnik s parametrima vertikalne hidrauličke vodljivosti polupropusne krovine  $k' = (1.5-5) \cdot 10^{-3}$  m/dan, dok je prosječna efektivna poroznost naslaga u krovini kaptiranog vodonosnika  $n' = 0,03-0,16$  (Duić, 2007).

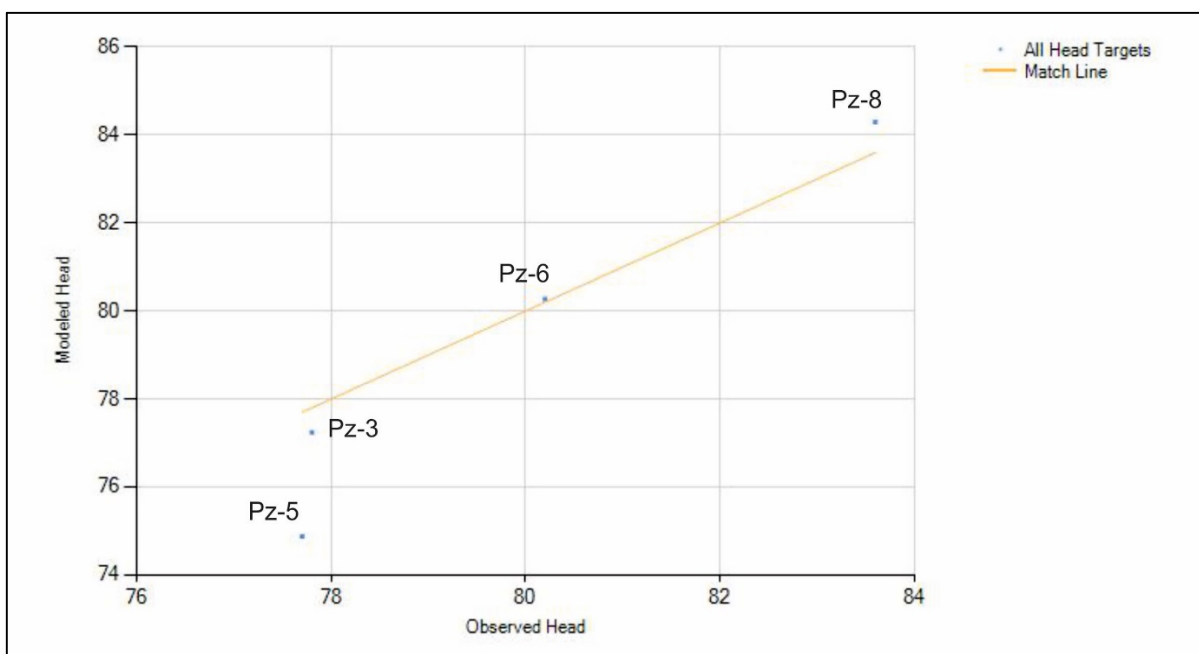
Drugi sloj predstavlja zahvaćeni vodonosnik izgrađen od sitnozrnog pijeska s proslojevima praha i gline koji se pojavljuje na dubini ispod 40 m, a debljina mu je 60-80 m. Hidrogeološki parametri vodonosnika određeni su tijekom projektiranja crpilišta, te su potvrđeni tijekom njegove dugogodišnje eksploatacije pri čemu su srednje vrijednosti parametara hidrauličke vodljivost vodonosnika  $K = 12 - 19$  m/dan, koeficijenta uskladištenja vodonosnika  $S = 0.5-2 \cdot 10^{-3}$  i efektivne poroznosti pijeska  $n = 0,20$  usvojene kao veličine koje najbolje odgovaraju u hidrogeološkim odnosima na istraživanom području uzimajući u obzir izrazitu nehomogenost litološkog sastava kvartarnih naslaga.

Za kalibraciju modela izabrani su piezometri Pz 3, Pz 5, Pz 6, i Pz 8. Dijagramima su prikazani odnosi između opažanih i izračunatih razina vode na položajima pojedinih piezometara (slika 6.37. i 6.38.).

Odnos simuliranih i mjerenih razina podzemne vode prikazan je na slici 6.37. za 3 godine nakon ponovnog uključanja Crpilišta (1997.), a na slici 6.38. za 6 godina nakon ponovnog uključanja, dakle za stanje u prosincu 2000.g.



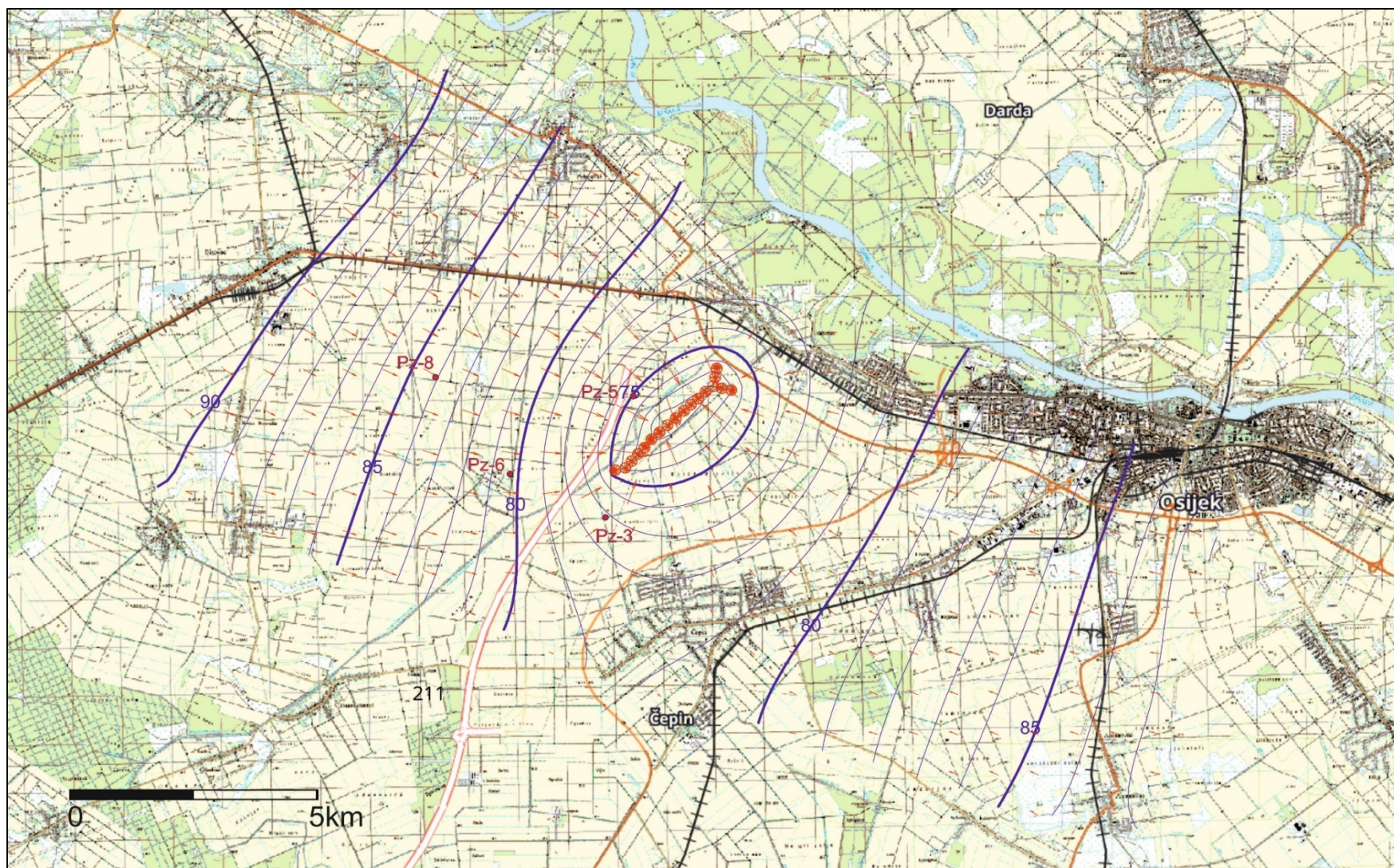
Slika 6.37. Kalibracija modela usporedbom opažanih i računatih razina podzemne vode na kontrolnim piezometrima za 1997.g.



Slika 6.38. Kalibracija modela usporedbom opažanih i računatih razina podzemne vode na kontrolnim piezometrima za 2000 g.

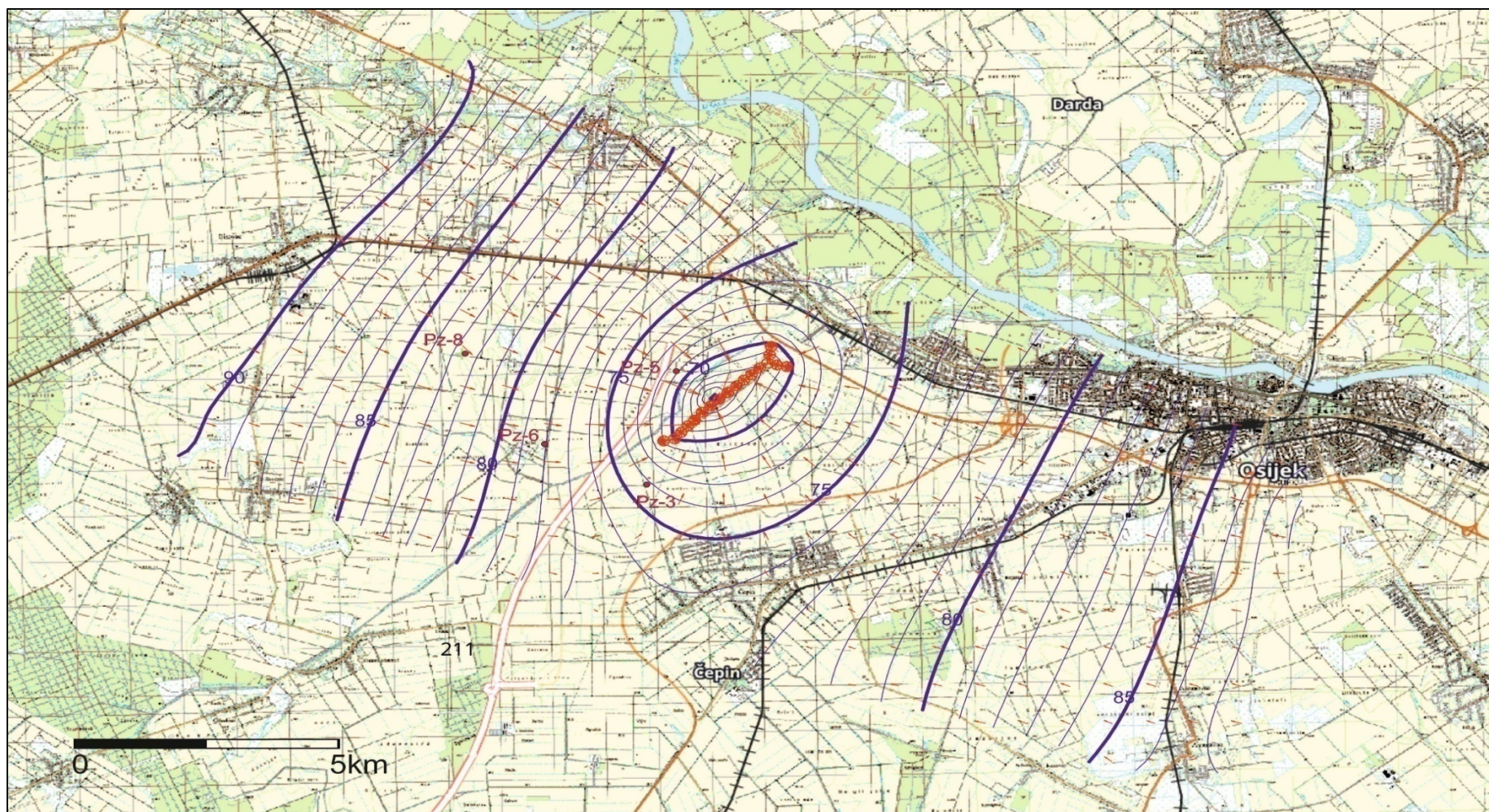
Može se reći da su za piezometre Pz 3, Pz 6 i Pz 8 postignuti zadovoljavajući odnosi između izračunatih i opažanih razina podzemne vode. Veće odstupanje uočava se na piezometru Pz 5 koji se nalazi najbliže središtu samog Crpilišta, a uzrok tome je odstupanje stvarnih crpnih količina na zdencima od prosječnih iznosa. Općenito se može zaključiti da je postignuta zadovoljavajuća korelacija modelirane piezometarske razine s mjerenim podacima.

Na slici 6.39. je prikazana konturna karta piezometarskih razina konstruirana simulacijom rada Crpilišta Vinogradi. U neposrednoj blizini zdenaca, u uvjetima prosječnog crpljenja od 427 l/s, piezometarska razina je oko 75 mn.m. U navedenoj simulaciji računalo se s godišnjim efektivnim napajanjem  $I_w=80$  mm/god, odnosno oko 12% srednjih godišnjih oborina (srednja godišnja oborina za razdoblje 1961.-1990. je 651 mm).



Slika 6.39. Konturna karta piezometarskih razina konstruirana simulacijom rada Crpilišta Vinogradi

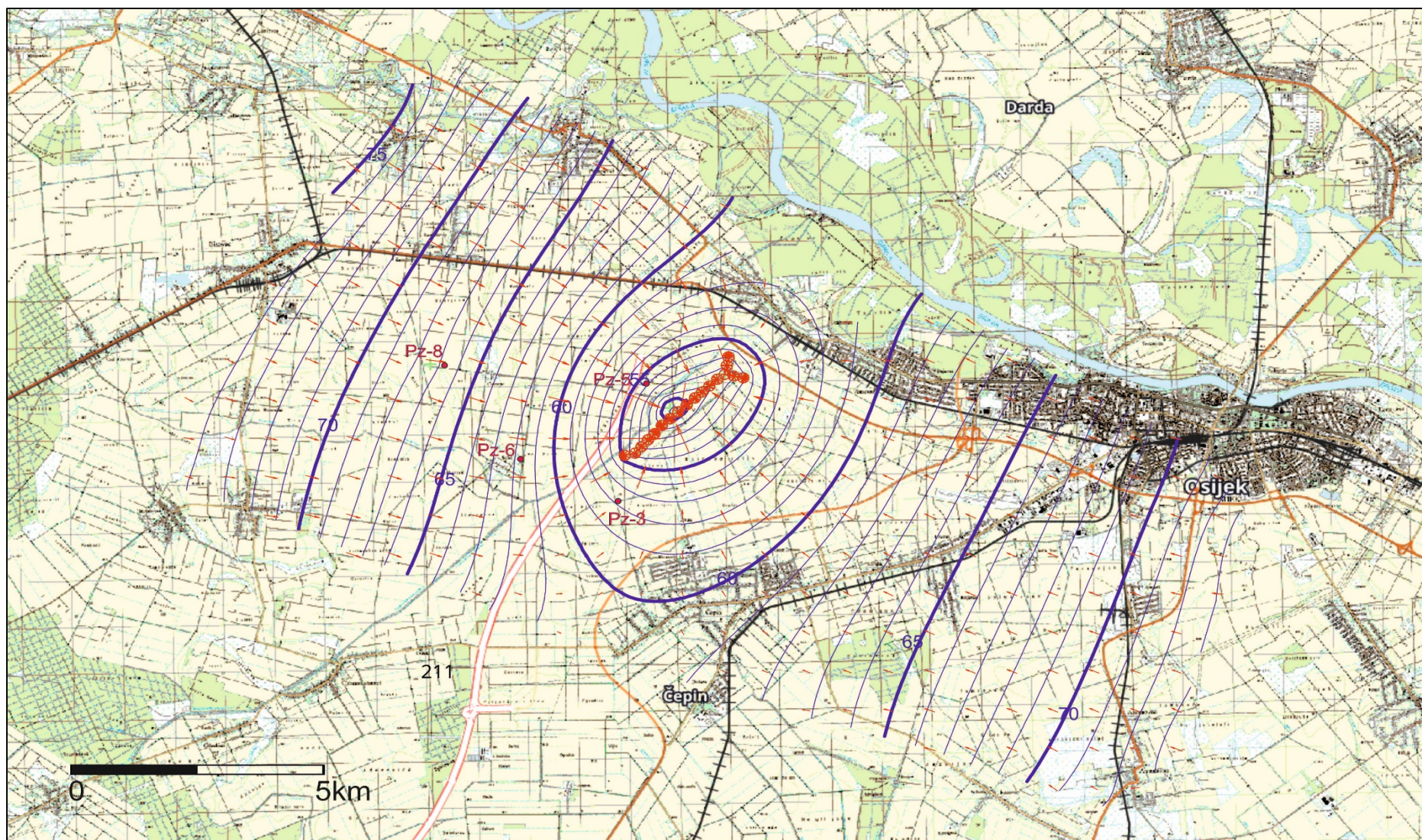
U razdoblju koje je predmet ovoga istraživanja, 2000.g. se može smatrati referentnom za simuliranje ponašanja vodonosnika u uvjetima ekstremno niskog napajanja vodonosnika i rezultirajućeg sniženja razina vode u vodozadržniku. U uvjetima nedostatne infiltracije oborina dolazi do djelomičnoga odvodnjavanja izvornoga sloja što rezultira općim opadanjem razine podzemnih voda. Modeliranjem toka podzemne vode u uvjetima ekstremno sušne 2000. godine konstruirana je karta piezometarskih razina (slika 6.40.). U navedenoj simulaciji računalo se s godišnjim efektivnim napajanjem manjim od 40 mm/god. ( $I_w=38$  mm/god, odnosno oko 12% godišnje oborine koja je za 2000.g. iznosila 317 mm) i prosječnim crpljenjem od 427 l/s. Razina podzemne vode pala je na oko 70 mn.m., odnosno snizila se je za oko 5 metara u odnosu na referentno stanje rada Crpilišta.



Slika 6.40. Konturna karta piezometarskih razina konstruirana simulacijom rada Crpilišta Vinogradi za slučaj ekstremno sušne godine (2000.g.)

Uzimajući u obzir prognozne modele koji ukazuju na vjerojatnost pojave klimatski ekstremnih godina kako po učestalosti tako i intenzitetu, može se promatrati hipotetski slučaj toka u okruženju crpilišta Vinogradi. Tako je promatran slučaj strujanja podzemne vode u uvjetima petogodišnjeg razdoblja sa ekstremno niskim vrijednostima godišnjih oborina od 314 mm., odnosno infiltracijom manjom od 40 mm/god. Pri tome se uzelo u obzir da u tako drastičnim klimatskim uvjetima, vjerojatno dolazi i do povećanja potrošnje (presušivanje alternativnih izvora vodoopskrbe, povećana potrošnja za navodnjavanje manjih površina i sl), pa je pretpostavljena povećana potrošnja vode, odnosno povećano crpljenje vode za cca 15%. Sami iznos tog povećanja je izrazito spekulativan i treba ga promatrati kao hipotetsku veličinu.





Slika 6.41. Konturna karta piezometarskih razina modeliranog hipotetskog strujanja u vodonosniku za slučaj višegodišnjeg (simulirano 5 godina) ekstremno sušnog razdoblja (godišnja oborina ne prelazi 314 mm) uz povećanje crpnih količina za 15%.

Strujna mreža unatoč promjeni rubnih uvjeta ostaje nepromijenjena iako se zapaža značajnije snižavanje razina osobito u neposrednom okruženju linije zdenaca. Iz slike 6.41. vidljivo je kako razina podzemne vode u takovim uvjetima pada na 55 mn.m., odnosno snižava se za 20 metara u odnosu na referentno stanje rada Crpilišta (prosječna infiltracija od 80 mm/god. i prosječno crpljenje od 427 l/s). Iznosi tog sniženja mogu biti lokalno još i veći obzirom na neujednačenu izdašnost pojedinačnih zdenaca.

Promatrajući zahvaćeni vodonosnik u cjelini ipak može se potvrditi kako niti dugogodišnja ekstremno sušna razdoblja ne ugrožavaju Crpilište do te mjere da bi se dovela u pitanje vodoopskrba uz održavanje sadašnje razine potrošnje. Zdencima su zahvaćeni vodonosni slojevi u dubinskom intervalu od 40 do 176 m, dakle i uz ovakvu simulaciju dubinski intervali na kojima su raspoređena zdenačka sita i dalje će ostati ispod razine podzemne vode, dakle moći će i dalje obavljati svoju osnovnu funkciju zahvaćanja podzemne vode, iako bi se sama hidraulika strujanja u tom hipotetskom strujanju uvelike promijenila. I eventualne promjene u povećanoj potrošnji kao posljedica prognoziranog rasta temperatura i povećane evapotranspiracije, te drugih čimbenika (socioekonomskih) mogu se očekivati, no samu vrijednost tog eventualnog povećanog zahvaćanja vode na Crpilištu je nemoguće pouzdano kalkulirati kao rubni uvjet.

## **6.5. Kakvoća podzemnih voda**

Za istraživanje u ovom radu prikupljene su kemijske i mikrobiološke analize podzemnih voda izrađene od strane laboratorija pitke vode Vodovoda Osijek. Uzorci su uzimani, u pravilu, jednom mjesečno, a ponekad i učestalije na 18 zdenaca.

U mikrobiološkim analizama koje su rađene tijekom promatranog razdoblja nije zabilježeno odstupanje od zakonski utvrđenih standarda, odnosno nije zabilježena neispravnost prirodne vode dubokog aluvijalnog vodonosnika u mikrobiološkom pogledu. Prirodna voda, zahvaljujući reduktivnim uvjetima ambijenta sloja iz kojega se crpi, ne sadrži mikroorganizme. Ova osobina prirodne vode dubokih aluvijalnih vodonosnika je svakako njena značajna prirodna prednost.

U nastavku detaljnije će se analizirati kemijska kakvoća prirodne vode.

Kakvoća podzemne vode je posljedica sumarnih utjecaja prirodnih i antropogeno uvjetovanih procesa koji se javljaju u nezasićenoj i zasićenoj zoni, što u određenim uvjetima može dovesti do povišenih koncentracija pojedinih tvari u podzemnoj vodi i iznad standarda za pitku vodu.

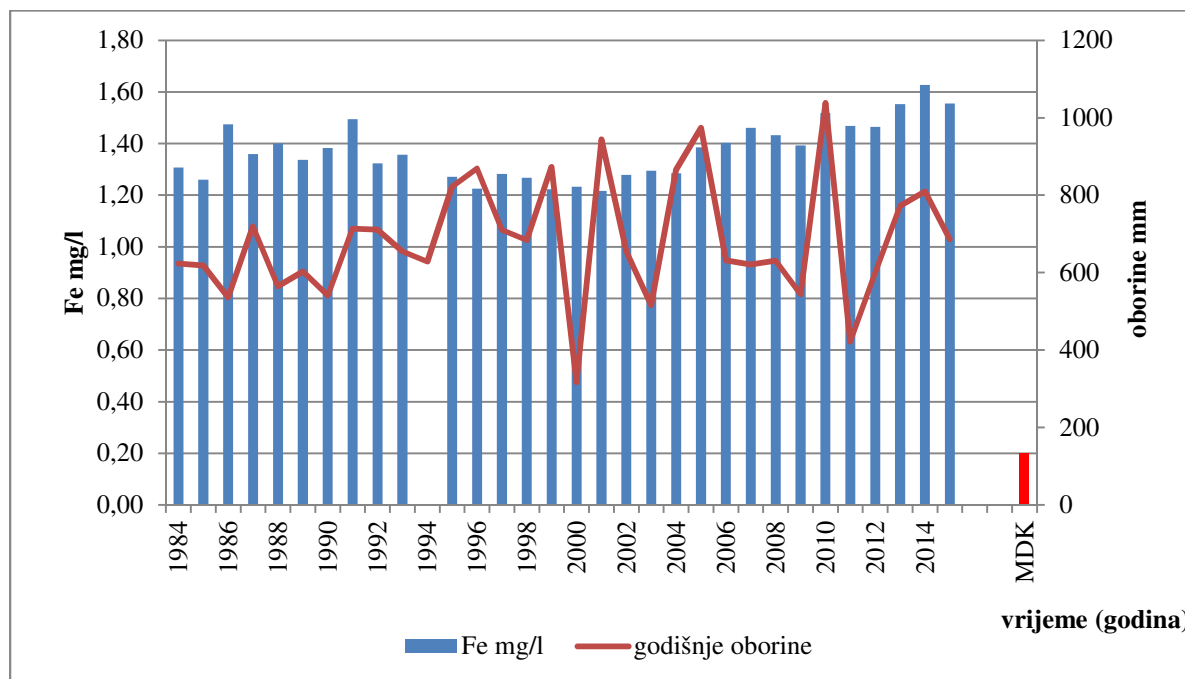
Prirodna kvaliteta podzemnih voda ovoga područja uvjetovana je taloženjem naslaga, a samo taloženje odvijalo se u reduktivnoj sredini pa je za ova područja očekivati da će se u vodi pojavljivati povećani sadržaj željeza, mangana i mjestimično amonijaka.

Kako bi se provjerio utjecaj klimatski ekstremnih godina i dobio uvid u promjene kemijskih značajki kakvoće podzemne vode u nastavku će se analizirati dominantni parametri kakvoće vode promatranog područja, a to su željezo, mangan i amonijak. Analizom se želi dokazati da su navedeni parametri pod dominantnim utjecajem ambijenta sloja u kojem se zahvaća podzemna voda, a ne vertikalne bilance voda.

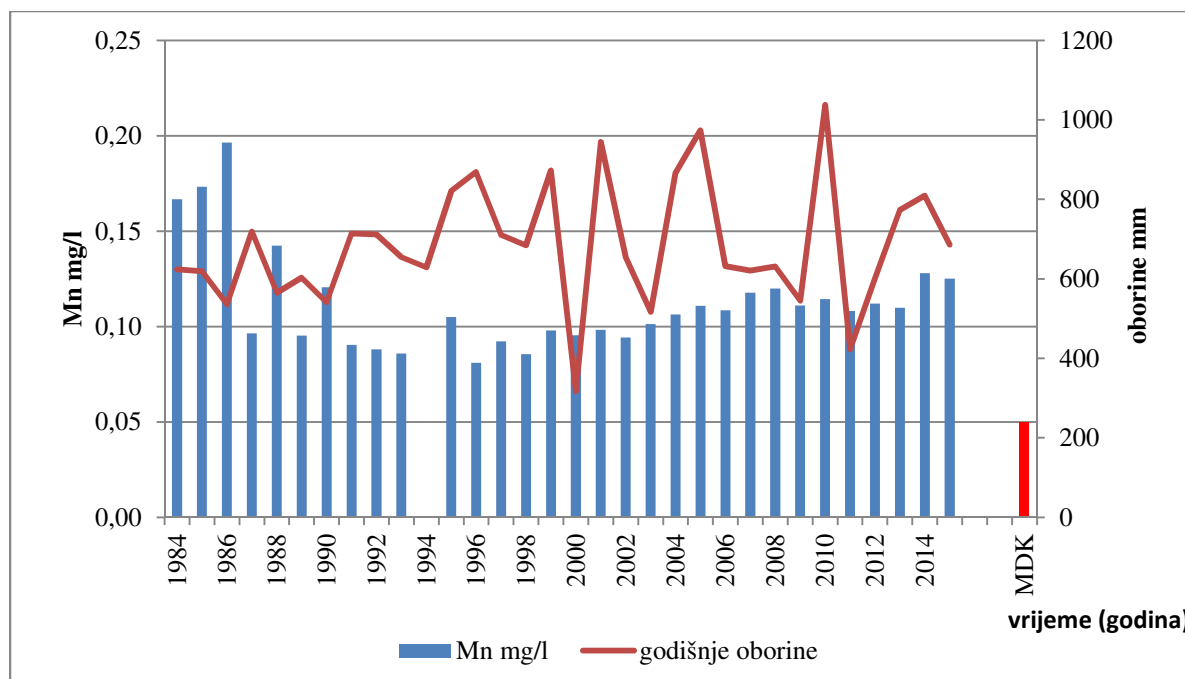
Analizom koncentracije nitrata, osim utjecaja klimatski ekstremnih godina, procijenilo se i eventualni antropogeni utjecaj.

Analiza navedenih parametara kakvoće podzemnih voda provela se usporedbom koncentracija utvrđenih uzorkovanjem na Crpilištu i maksimalno dopuštenih koncentracije (MDK) sukladno Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/17).

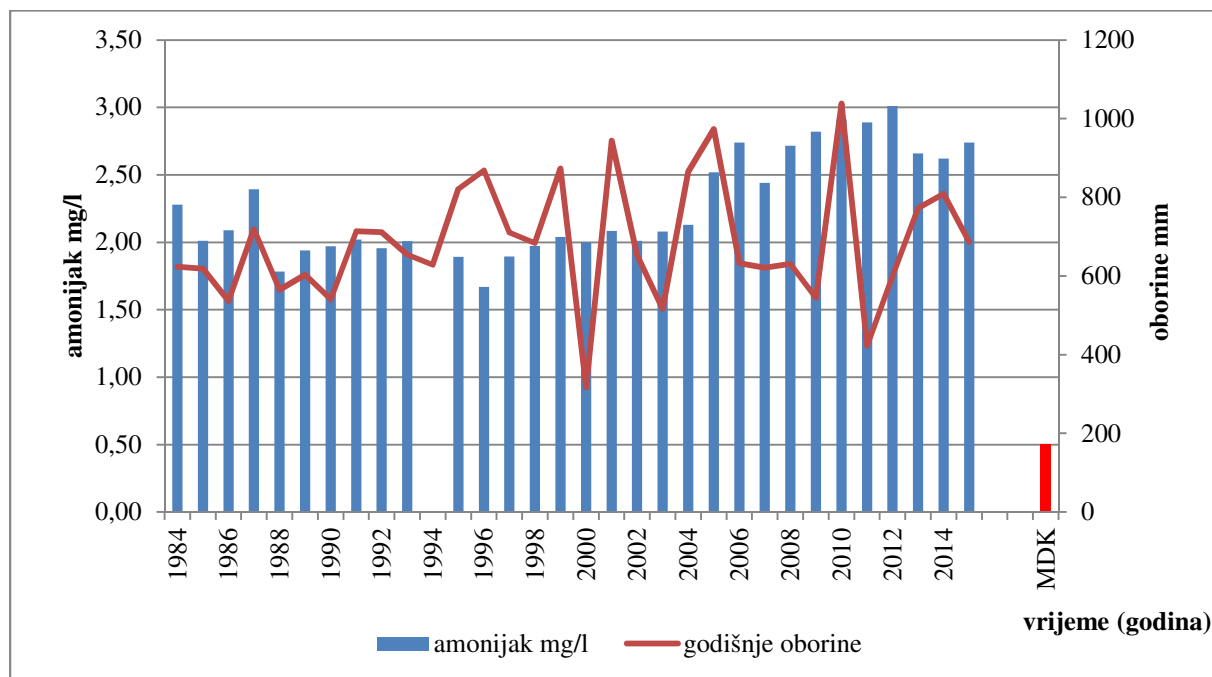
Koncentracija željeza (simbol Fe), mangana (simbol Mn) i amonijaka (simbol  $\text{NH}_3$ ) se analizira na uzorcima podzemne vode iz zdenaca. Na slikama 6.42, 6.43. i 6.44. prikazane koncentracije željeza, mangana i amonijaka u podzemnoj vodi uzorkovano na zdenacima Crpilišta u razdoblju od 1984. do 2015.g. Prikazane su osrednjene godišnje vrijednosti koncentracija željeza, mangana i amonijaka u sirovoj vodi dobivene osrednjavanjem vrijednosti po svakom zdenacu za 12 godišnjih uzoraka i maksimalna dopuštena koncentracija (MDK) prema važećoj zakonskoj regulativi te ukupne godišnje oborine.



Slika 6.42. Koncentracije željeza u podzemnoj vodi uzorkovanoj na crpilištu Vinogradi u razdoblju 1984.-2015.g.



Slika 6.43. Koncentracije mangana u podzemnoj vodi uzorkovanoj na crpilištu Vinogradi u razdoblju 1984.-2015.g.



Slika 6.44. Koncentracije amonijaka u podzemnoj vodi uzorkovanoj na crpilištu Vinogradi u razdoblju 1984.-2015.g.

Analizirajući kolebanja koncentracija tih elemenata prvo se, generalno, uočava kako su njihove vrijednosti u prirodnoj vodi značajno veće od maksimalno dopuštenih koncentracija utvrđenih zakonskom regulativom (tablica 6.16.).

Tablica 6.16. Koncentracije Fe, Mn, NH<sub>4</sub> i NO<sub>3</sub> u razdoblju 1984.-2015.g.

	Fe mg/l	Mn mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l
<b>MDK</b>	0,2	0,05	0,5	50
<b>min</b>	1,22	0,08	1,67	0,02
<b>max</b>	1,63	0,20	3,01	1,04

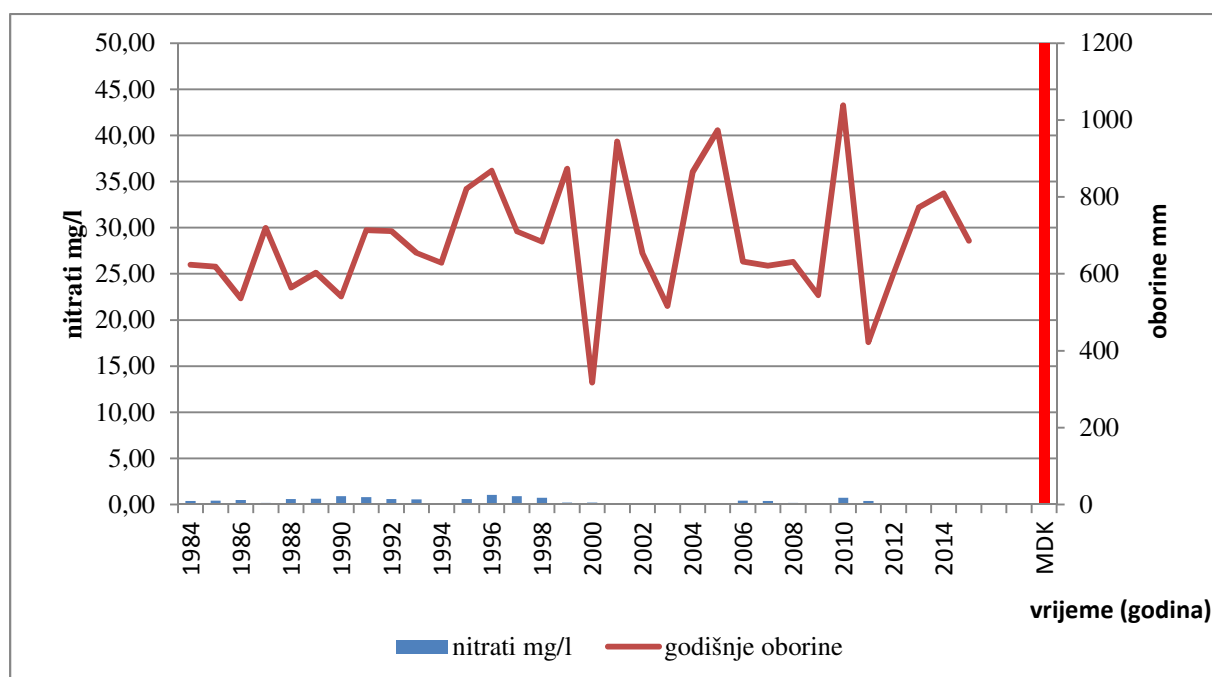
Koncentracija željeza kreće se od minimalnih 1,22 mg/l do maksimalno 1,63 mg/l. Sporadična kolebanja koncentracije vremenski se podudaraju sa „starenjem“ zdenaca (Duić, 2008).

Koncentracije mangana kreću se od minimalnih 0,08 mg/l do maksimalno 0,20 mg/l. Iz slike 6.41. vidljivo je kako se, nakon ponovnog uključenja Crpilišta u rad 1994.g., koncentracija ustalila na oko 1 mg/l.

Posebice je naglašena prisutnost amonijaka kojemu koncentracije dosežu i šest puta veće vrijednosti od dozvoljenih. Uočava se neznatno povećanje koncentracija od 2004.g. do danas, koje se ustalilo na prosječnoj koncentraciji od 2,5 mg/l.

Opće stanje kemizma prirodne vode malo se je mijenjalo tijekom razdoblja eksploatacije Crpilišta. Zapravo, može se tretirati kao neizmijenjeno. Svih tih godina kemijski sastav podzemnih voda je stabilan (Duić, 2008). To je prvenstveno zahvaljujući ambijentu sloja iz kojeg se crpi podzemna voda te njegovim dominantnim utjecajem na kakvoću prirodne vode (Duić, 2008).

Nitrati se analiziraju na uzorcima podzemne vode iz zdenaca. Na slici 6.45. prikazane koncentracije nitrata u podzemnoj vodi uzorkovano na zdenacima Crpilišta u razdoblju od 1984. do 2015.g. Prikazane su osrednjene godišnje vrijednosti koncentracija amonijaka u sirovoj vodi dobivene osrednjavanjem vrijednosti po svakom zdencu za 12 godišnjih uzoraka, maksimalna dopuštena koncentracija (MDK) prema važećoj zakonskoj regulativi te ukupne godišnje oborine.



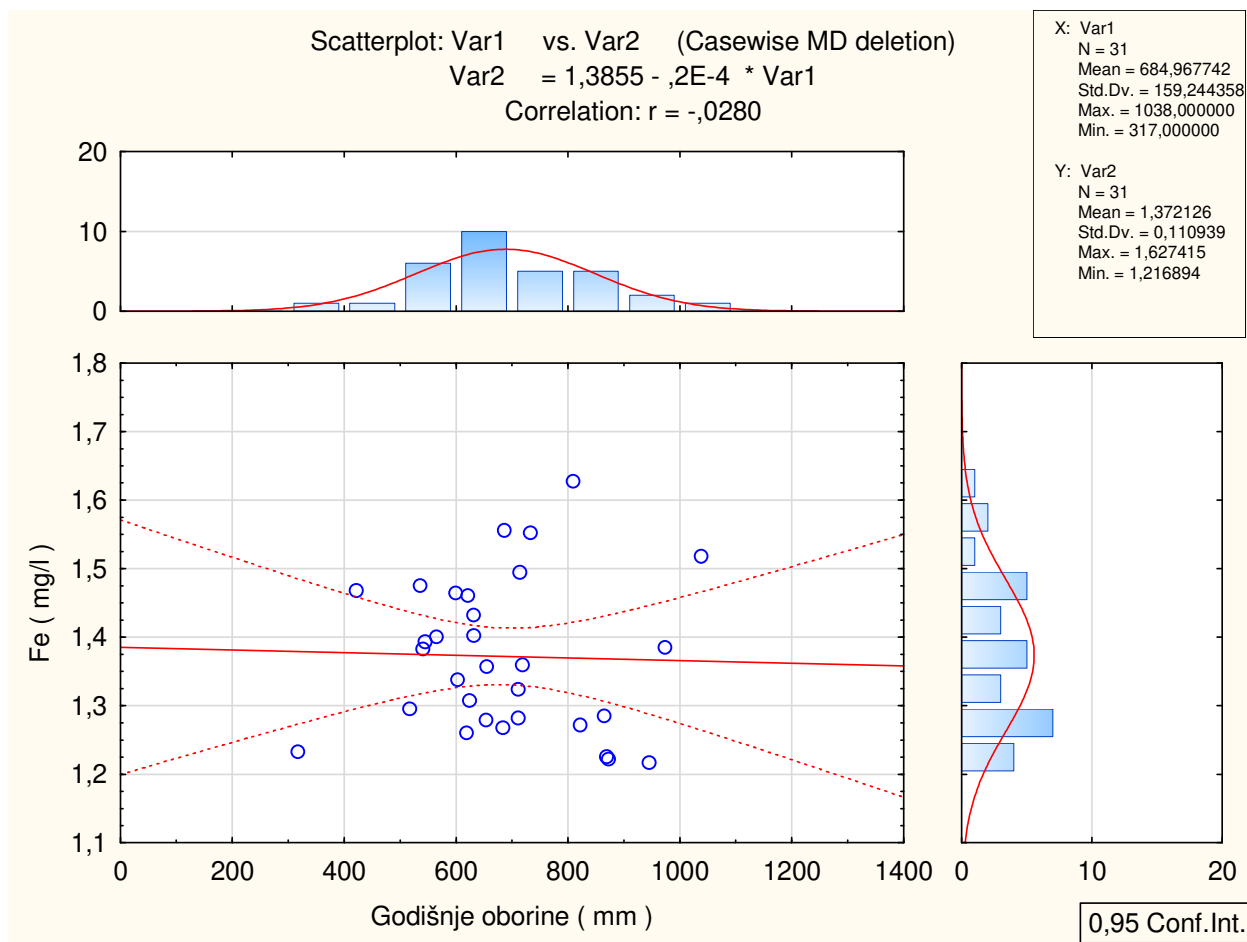
Slika 6.45. Koncentracije nitrata u podzemnoj vodi uzorkovanoj na crpilištu Vinogradi u razdoblju 1984.-2015.g.

Koncentracije nitrata u podzemnoj vodi Crpilišta kreću se od 0,02 mg/l do 1,04 mg/l. Takve koncentracije su daleko ispod zakonom utvrđene MDK-e koja iznosi 50 mg/l. Prirodna kakvoća podzemne vode po pitanju nitrata je vrlo zadovoljavajuća, a povoljni prirodni uvjeti sa stajališta zaštite podzemnih voda doprinose prihvatljivoj zaštiti od moguće zagade podzemne vode nitratima poljoprivrednog porijekla.

U okviru istraživanja rađena je korelacijska analiza između prosječnih godišnjih koncentracija željeza, mangana, amonijaka i nitrata u podzemnoj vodi i godišnjih količina oborina u razdoblju od 1984. do 2015.g. Korelacijski faktori (tablica 6.17.) upućuju na zaključak kako je korelacijski odnos statistički tek naznačen i nema praktičnu vrijednost što je vidljivo i iz grafičkog prikaza korelacije (slika 6.46., 6.47., 6.48. i 6.49.).

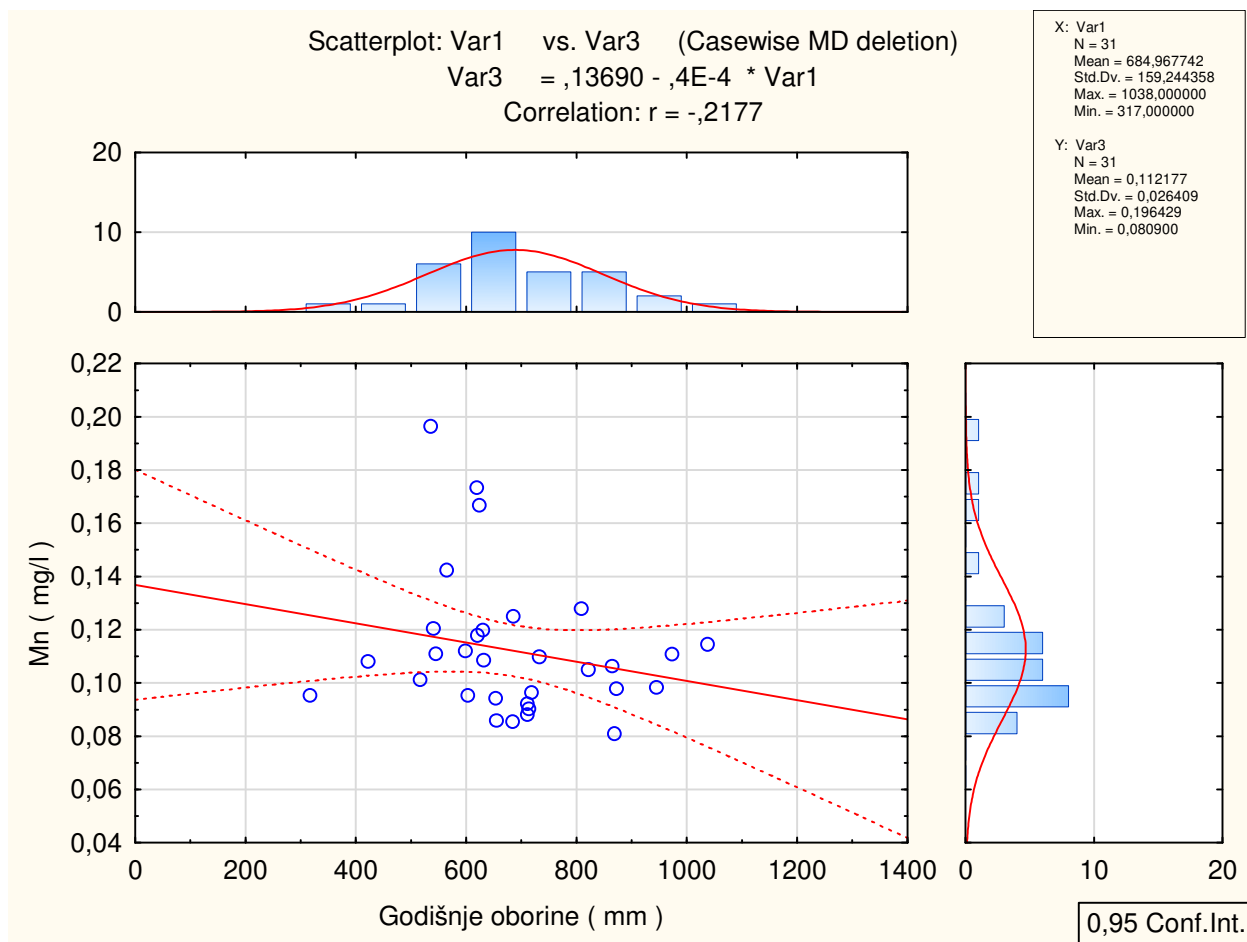
Tablica 6.17. Korelacijski faktori između prosječnih godišnjih koncentracija željeza, mangana, amonija i nitrata u podzemnoj vodi i količina godišnjih oborina u razdoblju 1984.-2015.g.

	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)
Oborina ( mm)	-0,027962	-0,2177654	0,009258	0,04986

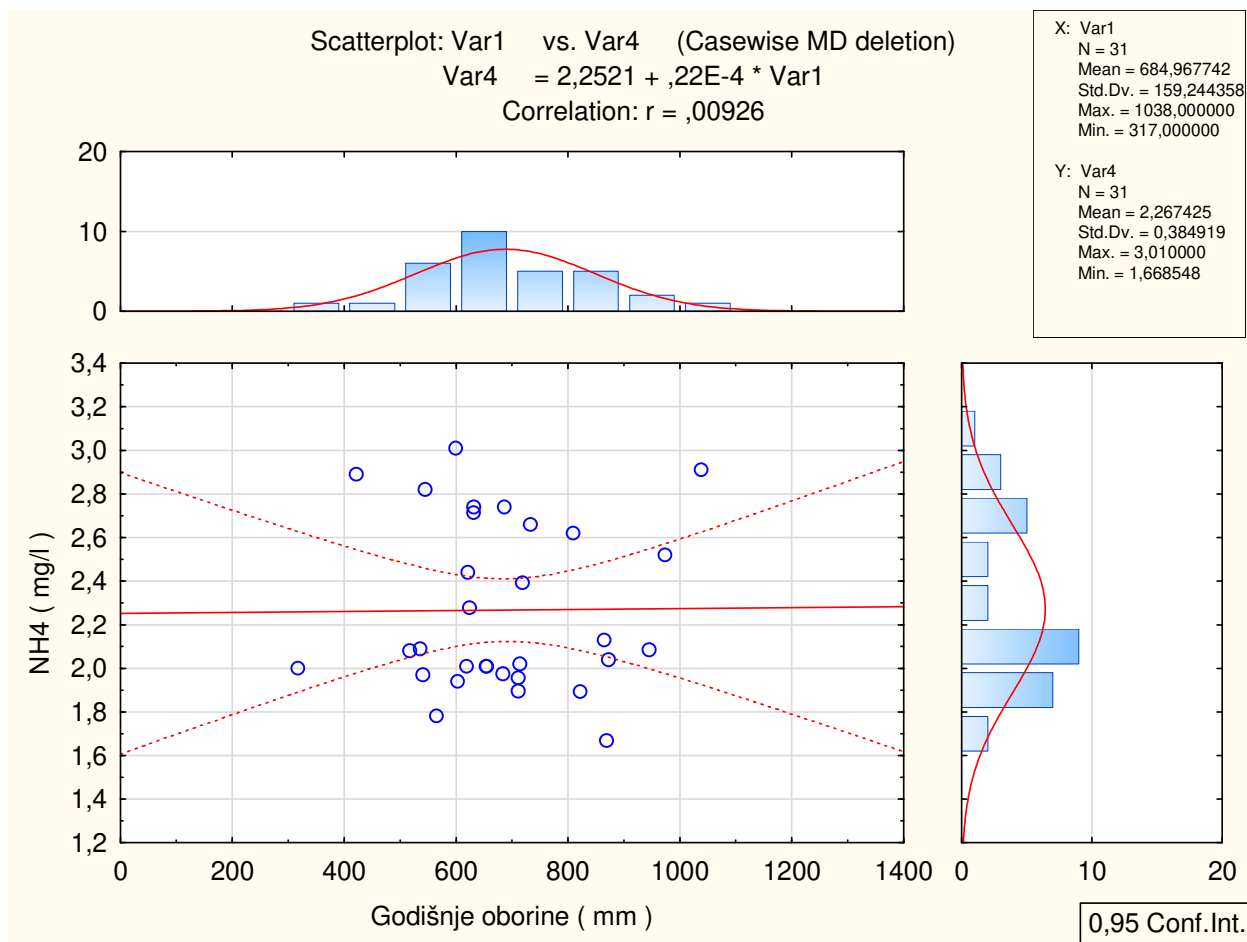


Slika 6.46. Korelacija koncentracije željeza u podzemnoj vodi i godišnjih oborina u razdoblju od 1984.-2015.g.

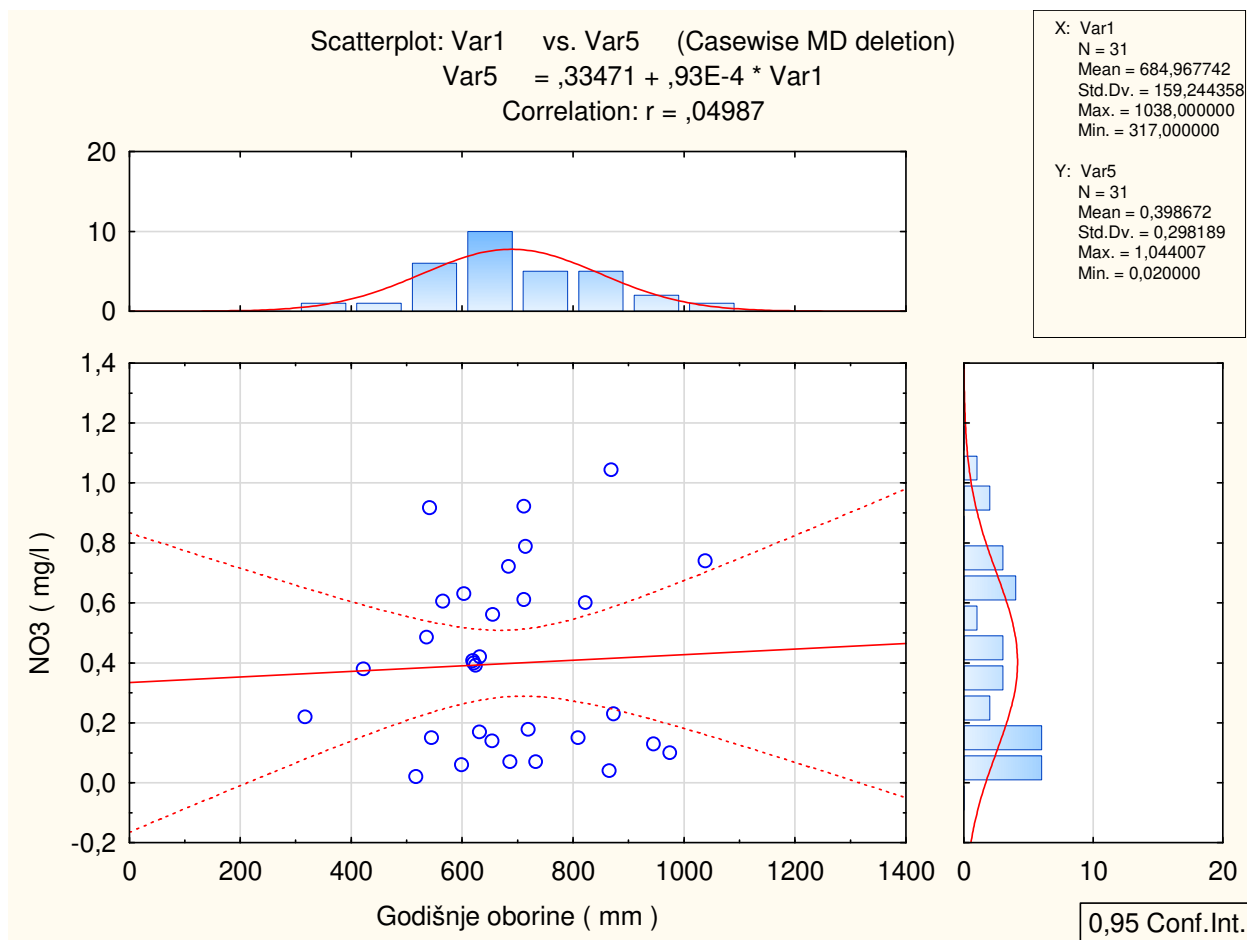




Slika 6.47. Korelacija koncentracije mangana u podzemnoj vodi i godišnjih oborina u razdoblju od 1984.-2015.g.



Slika 6.48. Korelacija koncentracije amonijaka u podzemnoj vodi i godišnjih oborina u razdoblju od 1984.-2015.g.



Slika 6.49. Korelacija koncentracije nitrata u podzemnoj vodi i godišnjih oborina u razdoblju od 1984.-2015.g.

Korelacijskom analizom provjerena je i korelacija parametara kakvoće sa vremenskim odmakom utjecaja godišnjih oborina za 12 mjeseci. Koeficijenti korelacije (tablica 6.16.) potvrđuju da promatrani parametri kakvoće vodonosnika ne ovise o promjeni količine oborina ni u uvjetima vremenskog odmaka djeovanja oborina od 12 mjeseci. Koeficijenti korelacije tek su statistički naznačene vrijednosti (tablica 6.18.).

Tablica 6.18. Korelacijski faktori između prosječnih godišnjih koncentracija nitrata u podzemnoj vodi i količina godišnjih oborina sa odmakom od 12 mjeseci u razdoblju 1984.-2015.g.

	Fe mg/l	Mn mg/l	NH <sub>3</sub> mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l
koeficijent korelacije	-0,005	0,0127	0,0127	0,1042

Zaključno se može potvrditi kako su kolebanja koncentracija analiziranih kemijskih elemenata nasumična i kako se ne mogu povezati sa kolebanjem oborina, odnosno ne ovise o varijabilnosti oborina. Općenito se za to razdoblje može reći da se globalne značajke kakvoće podzemne vode nisu značajno promijenile u eksploataciji, te da su osnovni kemijski sastojci podzemnih voda pod dominantnim utjecajem ambijenta u sloju iz kojega je zahvaćena (Duić, 2008).

Zbog dubokog slabo propusnog krovinskog sloja ne postoji mogućnost direktnog procjeđivanja oborinske vode u vodonosnik pa je podzemna voda dubokih aluvijalnih vodonosnika prirodno zaštićena čime je onemogućena varijacija prirodne kakvoće vode i prodor zagađivala antropogenog porijekla.

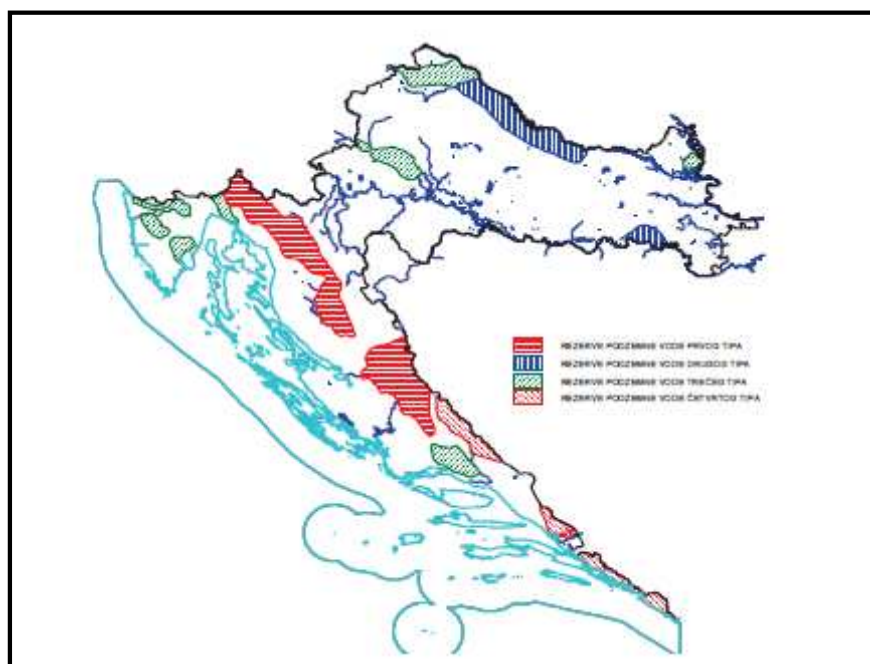
Sirova voda, odnosno voda koja se crpi i/ili zahvaća nikada nije apsolutno čista. Ona uvijek sadrži više ili manje različitih tvari u otopljenom ili suspendiranom obliku koje su unesene iz okoline kroz koju voda prolazi (Jahić, 1984.). Razvojem prirodnih i tehničkih znanosti uspostavljeni su algoritmi različitih procesa i operacija kojima se sirova voda pročišćava do razine zdravstvene ispravnosti.

Podzemna voda dubokih aluvijalnih vodonosnika je, upravo zbog navedenih prirodnih uvjeta, postojane kakvoće sa minimalnim oscilacijama koncentracija parametara kakvoće koji se u sirovoj vodi nalaze u povećanim vrijednostima. Zbog te postojanosti i nepromjenjivosti kakvoće sirove vode moguće je, uspostavljenim slijedom odgovarajućih tehnoloških postupaka, postići nepromjenjivu i stabilnu kvalitetu vode nakon kondicioniranja te osigurati isporuku zdravstveno ispravne vode njenim korisnicima.

## **6.6. Strateški značaj dubokih aluvijalnih vodonosnika**

Republika Hrvatska je strateškim dokumentima definirala strateške rezerve podzemnih voda. Strategijom upravljanja vodama (NN 91/2008) definirane su četiri razine rezervi podzemnih voda, temeljem njihove kakvoće i mogućnosti njihove zaštite. Vode krških područja su kvalificirane kao rezerve najvišeg stupnja zbog visokog stupnja njihove kakvoće. Rezerve druge razine su podzemne vode aluvijalnih vodonosnika u dolinama Save i Drave. U treću

razinu rezervi uključena su područja u kojima se voda intenzivno eksploatira ponegdje i preko prirodnih mogućnosti što može imati za posljedicu stalno pogoršanje kakvoće vode pa i potencijalnu nemogućnost korištenja za javnu vodoopskrbu. Četvrtu razinu rezervi predstavljaju vode krajnjeg juga Hrvatske koje su tako rangirane ne zbog kakvoće koja je izuzetna već zbog otežane zaštite i očuvanja budući su priljevna područja izvan Republike Hrvatske. Na slici 6.50. prikazana je geografska podjela strateških rezervi podzemne vode u Republici Hrvatskoj.



Slika 6.50. Strateške rezerve podzemnih voda (Strategija upravljanja vodama, NN 91/2008.)

Obzirom da vodonosnik istočne Hrvatske nije definiran kao strateška rezerva podzemnih voda Republike Hrvatske, prethodnom raspravom želi se dati prilog razmatranju novih strategija razvoja i upravljanja vodnim resursima Republike Hrvatske.

Ovim istraživanjem dokazano je kako podzemne vode dubokih aluvijalnih vodonosnika zadržavaju kvalitativnu i kvantitativnu stabilnost u uvjetima pojave klimatski ekstremnih oborina, što omogućuje stabilnost javne vodoopskrbe i u uvjetima klimatskih promjena.

Za razliku od plitkih aluvijalnih vodonosnika zapadne Hrvatske (zagrebački i varaždinski vodonosnik), mogućnost zagade voda dubokih aluvijalnih vodonosnika je minimalna. Kakvoća vode je neprikladna za direktno korištenje u vodoopskrbi, ali razvojem tehnološko-tehničkih disciplina utvrđeni su postupci kondicioniranja kojima se voda pročišćava i postiže

zdravstvena ispravnost. Obzirom na stabilnost i minimalnu promjenjivost kakvoće sirove vode, postavljeno kondicioniranje vode nije potrebno prilagođavati i mijenjati jer se konstantnim parametrima ulaza dobiju konstantni parametri izlaza. U pogledu količina podzemne vode, ove vodonosnike odlikuje velika izdašnost koja je minimalno promjenjiva i u uvjetima ekstremnih hidroloških pojava.

Kvalitativna i kvantitativna stabilnost podzemnih voda te otpornost na prirodne i antropogene utjecaje predstavlja nezaobilazni značaj takvih vodonosnika za njihovu iskoristivost u javnoj vodoopskrbi. Takove karakteristike dubokih aluvijalnih vodonosnika daju im obilježje strateških rezervi ne samo toga dijela Hrvatske već i na nivou cijele države. Slijedom toga, trebalo bi ponovo razmotriti značaj dubokih aluvijalnih vodonosnika istočne Hrvatske u strategiji budućeg razvoja upravljanja vodnim resursima Republike Hrvatske.

## **6.7. Metodologija istraživanja**

Slijedom provedenog istraživanja preporuča se analizu utjecaja klimatskih promjena na stanje dubokih aluvijalnih vodonosnika (u funkciji osiguranja pouzdanosti javne vodoopskrbe) provesti kroz slijedeće aktivnosti:

### **Aktivnost 1**

Razmatrana je količina oborina i temperature zraka u razdoblju od 36 godina (1980.-2015.g.). Statističom analizom izračunali su se hidrološki parametri: aritmetička sredina, standardna devijacija i varijabilnost. Pomoću pogreške koeficijenta varijabilnosti provjerila se duljina niza. Utvrdila su se ekstremna klimatska odstupanja u oborinama i temperaturi zraka u promatranom razdoblju i izdvojile klimatski ekstremne malovodne godine.

### **Aktivnost 2**

Provjerila se reakcija vodonosnika na nepovoljne klimatske uvjete, razmatrajući promjene razina podzemnih voda u klimatski ekstremnim malovodnim godinama. Osjetljivost vodonosnika provjerila se kroz analizu kolebanja razina podzemne vode u godinama sa ekstremnim deficitom oborina, koje godine su redovito popraćene i sa izrazitim povećanjem

temperature zraka. Statističkom analizom provjerila se varijabilnost kolebanja razina podzemne vode u promatranom razdoblju. Provedenim analizama dokazala se otpornost dubokih aluvijalnih vodonosnika na deficitarne uvjete napajanja.

Provjerila se reakcija vodoopskrbnog sustava, razmatrajući promjene crpnih količina u klimatski ekstremnim malovodnim godinama. Odnos crpnih količina i oborina u promatranom razdoblju provjerio se postupkom korelacije. Izračunom korelacijskog faktora dokazalo se da stabilnost vodoopskrbnog sustava u pogledu ovisnosti o količinama oborina pa tako i ekstremnog manjka oborina nije u korelaciji s kolebanjem količine oborina.

### **Aktivnost 3**

Ispitala se je reakcija vodonosnika u pogledu kakvoće vode u uvjetima kolebanja oborinskog režima.

Analizirali su karakteristični parametri kakvoće dubokih aluvijalnih vodonosnika, željezo, mangan i amonijak. Izračunale su se srednje godišnje vrijednosti navedenih parametara za vodonosnik te su se brojčano i grafički usporedile njihove vrijednosti sa zakonski utvrđenim maksimalno dozvoljenim koncentracijama (MDK). Korelacijskom analizom provjerila se povezanost kolebanja koncentracije parametara kakvoće sa kolebanjem količina oborina u promatranom razdoblju. Slijedom izračunatih korelacijskih faktora, dokazalo se kako kolebanje koncentracija parametara kakvoće nisu povezana sa kolebanjem količine oborina već su pod dominantnim utjecajem ambijenta sloja iz kojega je podzemna voda zahvaćena.

### **Aktivnost 4**

Simulirala se situacija petogodišnjeg niza ekstremno hidroloških deficitarnih uvjeta napajanja uz povećanje potreba za vodom. Navedeni scenarij predviđa drastično pogoršanje klimatski uvjeta kakvi nisu prognozirani niti jednim klimatskim modelom po bilo kojem scenariju predviđanja klime u budućnosti (tzv. RCP). Navedeni scenarij je izabran kao reprezentativni uzorak kataklizmične promjene klimatskih uvjeta. Provjerom ponašanja vodonosnika, modeliranjem toka podzemne vode u uvjetima petogodišnjeg oborinskog deficita (modeliranje standardnim računalnim modelskim paketom), dokazana je otpornost dubokih aluvijalnih vodonosnika do te mjere da se ni i u takvim uvjetima ne bi dovela u pitanje stabilnost vodoopskrbe.

### **Aktivnost 5**

Rezultati istraživanja potvrdili su kvalitativnu i kvantitativnu otpornost sustava na klimatske promjene. Simuliranjem petogodišnjeg niza hidrološki deficitarnih uvjeta napajanja te rezultatima te simulacije dokazana je i tromost sustava što će osigurati dovoljno dugo vremensko razdoblje i za slučaj potrebe poduzimanja mjera i eventualni pronalazak adekvatnih alternativnih izvora vodoopskrbe za najnepovoljniji scenarij klimatskih promjena.

### **Aktivnost 6**

Predložene su mjere osiguranja stabilnosti vodoopskrbe i preporuke za daljnja istraživanja u cilju razvijanja institucionalnog okvira za upravljanje klimatskim rizicima na nivou cjelokupnog vodnog gospodarstva sa definiranjem prioriteta i mjera prilagodbe na očekivane klimatske promjene.



## **7. OSIGURANJE STABILNOSTI JAVNE VODOOPSKRBE**

Evidentne klimatske promjene, poglavito promjene oborinskog i temperaturnog režima i uz to vezani utjecaji na sustave javne vodoopskrbe kako na prirodni dio sustava, zahvaćeni vodonosnik, tako i na izgrađeni dio sustava, traže proširivanje uspostavljenih procesa nadzora i monitoringa novim procedurama i provjerama. Također, nužno je uspostaviti dodatne kontrolne procedure kako bi se osigurala mogućnost pravovremenog predviđanja kritičnih stanja i pronašli odgovarajući upravljački odgovori kao i strukturna rješenja vezana uz korištenje i zaštitu vodnih resursa u uvjetima klimatskih promjena te osiguranje dovoljnih količina zdravstveno ispravne vode za ljudsku potrošnju.

Javna vodoopskrba, osim u funkciji osiguranja životno važnog resursa – vode za piće, ujedno je i izuzetno važna djelatnost u sveukupnom ljudskom djelovanju budući da cjelokupni socio ekonomski razvoj i napredak ljudskog društva nije moguć bez stabilne i pouzdane javne vodoopskrbe što zahtijeva stalno propitkivanje i provjeru svih relevantnih faktora utjecaja na stabilnost javne vodoopskrbe.

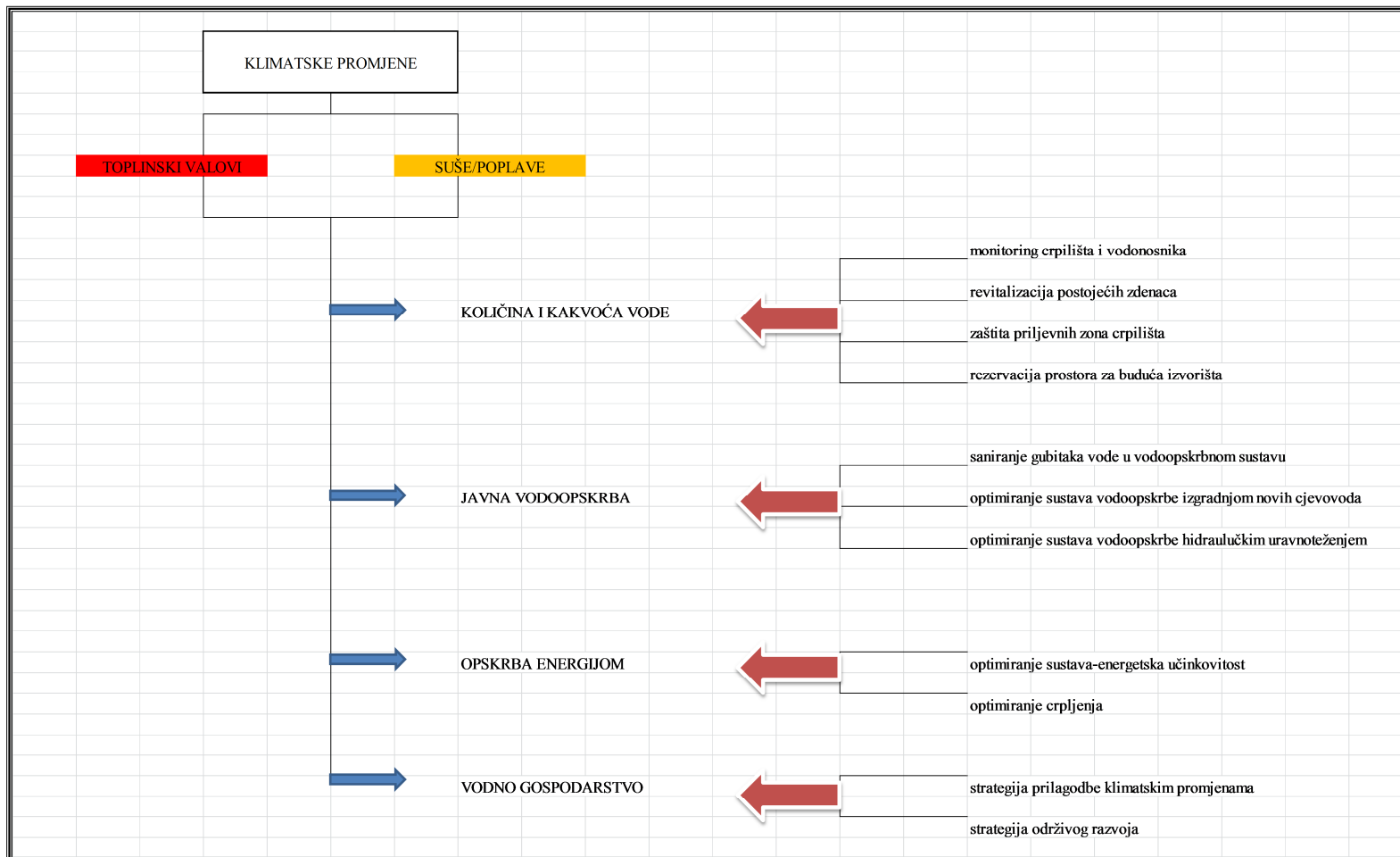
Trend pogoršavanja klimatskih uvjeta zahtijeva provođenje mjera kojima će se osigurati prilagodba novonastalim okolnostima i zadržati i/ili poboljšati uspostavljenju stabilnost sustava javne vodoopskrbe.

Provođenje mjera prilagodbe treba usmjeriti u dva pravca. Prvi pravac djelovanja treba usmjeriti ka prirodnom dijelu sustava vodoopskrbe – vodonosniku. Najvažnije mjere su zaštita vodocrpilišta i uspostavljanje motrenja podzemnih voda. Zaštita vodocrpilišta je zakonski utemeljena kategorija koja se provodi donošenjem odluka o zonama sanitarne zaštite izvorišta. Navedene odluke donešene temeljem provedenih hidrogeoloških istraživanja, definiraju mjere zaštite i ograničenja koja se provode na području vodocrpilišta. Dosljednim provođenjem donešenih odluka, primjenjujući mjere zabrane i/ili restriktivnog ograničavanja gospodarskih djelatnosti na području zona sanitarne zaštite vodocrpilišta osigurava se zaštita vodonosnika i raspoloživost cjelokupnog kapaciteta crpilišta isključivo za potrebe javne vodoopskrbe.

Osiguranje stabilnosti prirodnog sustava treba provoditi kroz ustrojeni sustav motrenja (monitoringa). Motrenje podzemnih voda provodi se prikupljanjem podataka o količinskom stanju i stanju kakvoće podzemne vode. Podaci se prikupljaju sa piezometarskih bušotina koje čine piezometarsku mrežu postavljenu na priljevnom području izvorišta. Podaci prikupljeni motrenjem podzemnih voda dobijaju na značaju i relevantnosti što su brojniji i prikupljeni u dužem vremenskom slijedu. Ažurnom interpretacijom prikupljenih podataka omogućit će se uočavanje trenutnih i trendovskih poremećaja stabilnosti vodonosnika pod utjecajem klimatskih promjena dovoljno rano da se mogu aktivirati mjere zaštite ili prilagodbe.

Drugi pravac djelovanja u provođenju mjera prilagodbe i osiguranja stabilnosti treba usmjeriti ka izgrađenom dijelu sustava vodoopskrbe koji čine vodozahvatne građevine (zdenci), postrojenja za kondicioniranje vode i mreža distribucije vode (vodoopskrbna mreža). Najvažnija mjera u osiguranju stabilnosti jest stalno optimiranje sustava. Optimiranje sustava se provodi kroz postizanje hidrauličke uravnoteženosti, zatim uravnoteženjem sustava distribucije te saniranjem gubitaka vode u cjelokupnom vodoopskrbnom sustavu. Analiza zahvaćenih i isporučenih količina vode sa crpilišta Vinogradi provedena u okviru ovoga istraživanja, pokazala je kako smanjenje gubitaka vode iz distribucijskog sustava povećava raspoložive količine vode za iskorištavanje bez povećanja zahvaćanja vode u prirodi (Gereš, 2003). Saniranjem gubitaka vode ostvaruju se dodatne rezerve vode za slučaj povećanja potrošnje vode zbog klimatskih promjena kao i zaštita cijelog sustava od prekomjernog trošenja.

Prikupljeni podaci i s tim u svezi provedeno istraživanje omogućavaju stvaranje opće slike o utjecaju klimatskih promjena na vodne resurse i vodoopskrbu (slika 7.1.).



Slika 7.1. Mehanizam djelovanje klimatskih promjena na javnu vodoopskrbu i mjere ublažavanja posljedica

Utjecaj klimatskih promjena najviše se očituje kroz dva klimatska faktora – oborine i temperaturu zraka. Ekstremna pojavnost tih faktora je u vidu toplinskih valova i suša, odnosno poplava. Provođenjem mjera i aktivnosti u upravljanju vodnim resursima za potrebe javne vodoopskrbe osigurat će se prilagodba sustava vodoopskrbe na djelovanje klimatskih promjena. Provođenjem monitoriniga crpilišta i vodonosnika, revitalizacijom postojećih zdenaca, zaštitom priljevnih zona crpilišta, rezervacijom prostora za buduća crpilišta prevenirat će se i ublažiti poremećaji količina i kakvoće vode u vodonosnicima iz kojih se zahvaća voda za ljudsku potrošnju. Saniranjem gubitaka vode u vodoopskrbnom sustavu, optimiranjem sustava vodoopskrbe izgradnjom novih cjevovoda, optimiranjem sustava vodoopskrbe hidrauličkim uravnoteženjem smanjit će se rasipanje vode te će se osloboditi dodatne količine vode raspoložive za osiguranje stabilnosti vodoopskrbe za ljudsku potrošnju. Optimiranje sustava kroz energetska učinkovitost i optimiranje crpljenja racionalizirat će se potrošnja energije u uvjetima povećanih potreba. Donošenjem strategije prilagodbe klimatskim promjenama na temeljima održivog razvoja postaviti će se institucionalni okvir za upravljanje klimatskim rizicima na nivou cjelokupnog vodnog gospodarstva sa definiranjem prioriteta i mjera prilagodbe na očekivane klimatske promjene.

## 8. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja kojemu je bilo cilj utvrditi utjecaj klimatskih promjena na stanje podzemnih voda dubokih aluvijalnih vodonosnika. Pozornost je usmjerena na ovaj vodni resurs sa stajališta osiguranja potreba za vodom za ljudsku potrošnju. Kao područje istraživanja odabrano je crpilište Vinogradi koje je izvorište javne vodoopskrbe za šire područje grada Osijeka, a koje osigurava opskrbu vodom za piće za oko 125.000 stanovnika.

Tijekom eksploatacije crpilišta Vinogradi u razdoblju od njegovog aktiviranja 1984.g. do danas prikupljeno je obilje podataka o njegovom radu koji su korišteni u ovom istraživanju. Upravo ta vremenska odrednica od preko 30 godina eksploatacije i kontinuiranost prikupljanja podataka o svim značajnim parametrima zahvaćenog vodonosnika i izgrađenog sustava vodoopskrbe oslonjenog na njega, tijekom cijelog navedenog razdoblja, omogućava da se analogijom rezultati ovoga istraživanja mogu primijeniti i na druga crpilišta središnje i istočne Slavonije.

Nedvojbeno je da su klimatske promjene, barem djelomice uzrokovane ljudskim djelovanjem, već prisutne. Ekstremni klimatski elementi nisu više iznimka već gotovo pravilo. Znanstvena istraživanja pokazuju da će se trend klimatskih promjena nastaviti i u budućnosti.

Projekcije budućeg stanja klime modelirane različitim klimatskim modelima i globalnog i regionalnog značaja pokazuju naznake nesumnjivog porasta kako srednjih godišnjih temperatura zraka, a tako još i naglašenije njihovih sezonskih vrijednosti. U pogledu promjene režima oborina, klimatskim modelima se daju oprečne projekcije budućeg stanja i u pogledu količine oborina i u pogledu smjera promjena oborina. Vezano za budući režim oborina, projekcije budućeg stanja klime pokazuju pojavu neujednačenih i nepredvidivih oborinskih obrazaca te učestaliju pojavu ekstremno sušnih godina.

Važno je naglasiti kako razne projekcije budućih klimatskih promjena, obzirom na niz pretpostavki u ulaznim podacima, treba promatrati kao putokaz za određivanje smjera djelovanja za ublažavanje i/ili prilagodbu klimatskim promjenama, a ne kao nešto apsolutno precizno, nedvojbeno i izvjesno.

Obzirom na neizvjesnost projekcija klimatskih promjena ovim istraživanjem tražio se odgovor na pitanje: kako će prirodni sustav i na njega prislonjeni izgrađeni sustav reagirati u najnepovoljnijim budućim klimatskim uvjetima koje uključuju i značajan trend smanjenja oborina od višegodišnjeg prosjeka i učestaliju pojavu ekstremno sušnih godina uz istovremeno uzlazni trend temperature zraka. Najbolji način adaptacije vodoopskrbnog sustava na potencijalne učinke klimatskih promjena je unaprijed prepoznati učinke te se pravodobno za njih pripremiti.

Usporedbom povijesnih podataka o količinama oborina i temperaturama zraka u razdoblju od 1980. do 2015.g. utvrđeno je kako je navedeno razdoblje (36 godina) obilježeno pojavama ekstremno sušnih i ekstremno vrućih godina. Ekstremne promjene oborinskog režima odvijale su se i na različitim vremenskim skalama – od unutar mjeseca pa do višegodišnjih trendova. Isto tako je utvrđeno da je izmjena tih ekstrema sve češća i jačeg intenziteta.

Reakcija vodonosnika i vodoopskrbnog sustava provjerila se za 2000., 2003. i 2011.g. koje su se izdvojile kao godine sa izrazitim deficitom količine oborina.

Reakcija vodonosnika na vrlo izražene razlike u količinama oborina za promatrano razdoblje očitovala se variranjem amplitude razina podzemne vode maksimalno 4-5 metara što obzirom na ukupnu debljinu zahvaćenih slojeva koja iznosi 60-80 metara ne predstavlja problematično stanje sa stanovišta vodoopskrbe.

Ovim istraživanjem provjerila se i reakcija sustava na drastično nepovoljnije uvjete oborinskog režima u odnosu na modelska predviđanja. Promatran je hipotetski scenarij petogodišnjeg niza ekstremno sušnih godina sa godišnjom oborinom manjom od 317 mm (najniža godišnja oborina promatranog razdoblja 2000.g.) sa pretpostavkom 15% povećanja potrošnje vode. U tako simuliranim uvjetima dolazi do značajnijeg snižavanja razina podzemne vode. Globalno, razina podzemne vode se smanjuje za 20-tak metara od referentne, sadašnje prosječne razine. Ali, promatrajući zahvaćeni vodonosnik u cjelini te imajući u vidu da se ukupna debljina slojeva zahvaćenih zdencima na crpilištu Vinogradi kreće od 56,8 do 78,7 m može se potvrditi kako niti ovakav scenarij drastičnih sušnih razdoblja ne ugrožava vodonosnik do te mjere da bi se dovela u pitanje pouzdanost vodoopskrbe. Dugogodišnja otpornost vodonosnika na pogoršanje klimatskih uvjeta ostavlja dovoljno vremena za iznalaženje mjera prilagodbe te razvijanje alternativnih izvora javne vodoopskrbe.

Istraživanjem je potvrđeno kako su promjene količine crpljenja prvenstveno u ovisnosti o potrebama vodoopskrbe te nemaju izrazitu povezanost sa kolebanjem oborinskih količina, što je i potvrđeno korelacijskom analizom. Promjena količine crpljenja je sezonskog karaktera, jer su, općenito, ljeti veće potrebe za vodom za ljudsku potrošnju, a zimi manje. Upravo takav obrazac slijedi dijagram crpnih količina. Crpna količina je generalno stabilna, blago promjenjiva veličina.

Rezultati analize karakterističnih parametara kakvoće podzemne vode istraživanog vodonosnika, željezo, mangan i amonijak, upućuju na zaključak kako ne postoji korelacija promjene parametara sa promjenom količinskog režima oborina, što je dodatna potvrda kako su navedeni elementi u vodi isključivo uvjetovani taloženjem naslaga u reduktivnoj okolini.

Osim parametara kakvoće karakterističnih za kvalitetu podzemne vode dubokih aluvijalnih vodonosnika, u sklopu istraživanja provjerio se i parametar nitrati čija promjena, u odnosu na utvrđeni MDK, obično signalizira onečišćenje antropogenim izvorom (najčešće, kao rezultat intenzivne poljoprivrede i prekomjernog prihranjivanja tla gnojivima na bazi dušika). Tijekom cijelog razdoblja eksploatacije Crpilišta nisu zabilježene značajnije koncentracije nitrata u podzemnoj vodi. Potvrđeno je kako ne postoji korelacija promjene vrijednosti parametra nitrata sa promjenom količina oborina. Debljina pokrovnog sloja od oko 40 m, heterogenost vodonosnog sustava, infiltracija od površine terena do vodonosnika duža od 90 dana najvažniji su faktori koji otežavaju mogućnost zagade podzemne vode osječčkog vodonosnika i promjene prirodne kakvoće vode zahvaćenog vodonosnika.

Slijedom navedenog, može se zaključiti kako je:

- prva hipoteza „Podzemne vode dubokih aluvijalnih vodonosnika zadržavaju kvalitativnu i kvantitativnu stabilnost u uvjetima pojave klimatski ekstremnih oborina” potvrđena,
- druga hipoteza “Podzemne vode dubokih aluvijalnih vodonosnika omogućuju pouzdanost javne vodoopskrbe i u uvjetima pojave klimatskih promjena.” potvrđena.

Rezultati ovoga istraživanja potvrdili su kvantitativnu i kvalitativnu postojanost dubokih aluvijalnih vodonosnika istočne Slavonije, otpornost na ekstremno pogoršanje oborinskog režima kao i otpornost na potencijalna onečišćenja antropogenog porijekla. Osobitosti

dubokih aluvijalnih vodonosnika koje su potvrđene ovim istraživanjem ukazuju na veliki potencijal za osiguranje stabilnosti javne vodoopskrbe u uvjetima klimatskih promjena.

Rezultati ovoga istraživanja upućuju i na potrebu preispitivanja značaja dubokih aluvijalnih vodonosnika u kontekstu strateških rezervi podzemnih voda Republike Hrvatske, s preporukom da se isti kategoriziraju kao strateške rezerve podzemnih voda.

Ovim istraživanjem želi se doprinijeti razvijanju strategije prilagodbe klimatskim promjenama u segmentu vodoopskrbe, budući je, dugoročno, nužno uspostaviti multidisciplinarni strateški pristup prilagodbi problemima koje donose klimatske promjene, nastaviti provoditi istraživanja te kontinuirano preispitivati mjere kojima je cilj smanjenje utjecaja i mjere prilagodbe novonastalim okolnostima tamo gdje nije moguće smanjiti utjecaj.



## LITERATURA

Ahzegebobor, P., A., (2010), Global warming and climate change: Realities, uncertainties and measures, *International journal of physical sciences* 4:868-879.

Anon, (1908), *Elaborat der Vorarbeiten für eine Grundwassersorgung der Kögl. Freistadt Esseg*, Fond dok. kulturno tehničkog odsjeka Kraljevske hrvatsko-slavonske zemaljske vlade, br.III, b, 420-1909, Osijek.

Babić, Ž., Čakarun, I., Sokač, A., Mraz, V., (1978), O geologiji kvartarnih naslaga područja rijeke Drave, *Geolški vjesnik*, 30/1, 43-61, Zagreb.

Bačani, A., (1997), Značajke hidrauličkih granica vodonosnih slojeva n avododjelnici savskog i dravskog porječja u istočnoj Slavoniji, *Disertacija*, 1-156, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

Bačani, A., i Miletić, P., (1998), Some Differences between the Calculated and Real Exploitable Groundwater Resources, XIXth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, *Proceedings*, 503-509, Osijek.

Bogunović, M., Vidaček, Ž., Racz, Z., Husnjak, S., Sraka, M., (1997), Namjenska pedološka karta Republike Hrvatske i njena uporaba, *Agronomski glasnik* 5-6, Zagreb, str. 369-399.

Branković, Č., Güttler, I., Patarčić, M., Srnc, L., (2010), Climate Change Impacts and Adaptation Measures - Climate Change scenario, Fifth National Communication of the Republic of Croatia under the United Nation Framework Convention on the Climate Change, Ministry of Environmental Protection, Physical Planning and Construction, str. 152-166.

Branković, Č., Patarčić, M., Güttler, I., Srnc, L., (2012), Near-future climate change over Europe with focus on Croatia in an ensemble of regional climate model simulations, *Climate Research*, 52, 227-251.

Branković, Č., (2013), Klima i klimatske promjene, *Matematičko-fizički list*, LXIV3.

Branković, Č., (2016), *Klima i klimatsko modeliranje*, radionica, Osijek, projekt: Prijelazni instrument, Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i prirode za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama.

Briški, M., (2015), *Određivanje značajki napajanja vodonosnog sustava na širem području crpilišta Sikirevci u istočnoj Slavoniji*, disertacija, Rudarsko-naftno-geološki fakultet Zagreb.

Brkić, Ž., Larva, O. i Marković, T., (2009), *Ocjena stanja i rizika cjelina podzemnih voda u panonskom dijelu Republike Hrvatske*, Hrvatski geološki institut, Zagreb, 182 str.

Brkić, Ž., Biondić, R., Kapelj, J., Kapelj, S. i Marković, S., (2005), *Karakterizacija vodnih cjelina na Crnomorskom slivu u okviru implementacije Okvirne direktive o vodama EU*, Hrvatski geološki institut, Zagreb 28 str.

Caballero, Y., Ladouche, B., (2015) *Impact of climate change on groundwater in a confined Mediterranean aquifer*, *Hydrology and Earth System Sciences Discussion*, 12(10):10109-10156.

Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), (1986.-2017), *Prikazi od br. 1 do br. 29.*, godišnja publikacija DHMZ-a.

Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), (1987.-2018.), *Meteorološki i hidrološki bilteni*, mjesečna publikacija DHMZ-a.

Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), (2014), *160 godina meteoroloških motrenja i njihova primjena u Hrvatskoj*, Zagreb, str. 244.

Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), (2018., 2019.), <http://www.meteo.hr/>.

Državni zavod za statistiku, (2012), *Statističko izvješće Državnog zavoda za statistiku Popis stanovništva, kućanstva i stanova 2011.g.*

Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske, (2012), *Hrvatska u brojkama, 2012*, 31 str.

Duić, Ž., Hlevnjak, B. i Urumović, K., (2004), *Verifikacija zaliha podzemnih voda crpilišta Vinogradi u istočnoj Slavoniji*, Fond stručnih dokumenata Vodovoda-Osijek.

Duić, Ž., (2007), *Obnovljivost zaliha podzemnih voda heterogenog vodonosnog kompleksa na primjeru osječkog crpilišta Vinogradi*, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-naftno-geološki fakultet Zagreb.

Duić, Ž. i Briški, M., (2010), *Učinak geoloških struktura na hidrogeološke značajke kvartarnih naslaga u Baranji*, Rudarsko-geološko-naftni zbornik vol. 22, str. 1-9., Zagreb.

Duić, Ž. i Hlevnjak, B., (2017), *Verifikacija rada Crpilišta Vinogradi 2011-2016.*, Fond stručnih dokumenata Vodovoda-Osijek.

Duić, Ž., Zima, J., Rajič, B., (2018), *Utjecaj ekstremnih odstupanja u količinama padalina na razine podzemnih voda dubokog kvartarnog vodonosnika*, INŽENJERSTVO OKOLIŠA Vol.5 / No.1-2, str. 7-16.

EU, (2013), *EU Adaptation Strategy*.

Filipčić, A. (1998), *Klimatska regionalizacija Hrvatske po Köppenu za standardno razdoblje 1961.-1990. u odnosu na razdoblje 1931.-1960.*, Acta Geographica Croatica, 34, 1-15.

Fond arhivskih dokumenata Vodovod d.o.o Osijek, (1980-2018).

Forzieri, G., Feyen, L., Russo, S., Voudoukas, M., Alfieri, L., (2016.), *Multi-hazard assessment in Europe under climate change*, Climatic change, 137(1-2), pp. 105-119.

Geiger, R., Pohl, W., (1954), *Eine neue Wandkarte der Klimagebiete der Erde*, Erdkunde 8, 1, 58-61.

Gajić-Čapka, M., Čapka, B., (1997), *Procjene maksimalnih dnevnih količina oborine*, Hrvatske vode, 5, 20, 231-247.

Gajić-Čapka, M., (1999), *Duljina normalnog niza za kratkotrajne jake oborine u Hrvatskoj*, Hrvatske vode, 7, 29, 367-380.

Gajić-Čapka, M., (2012), *Klimatske informacije i klimatske promjene za potrebe upravljanja vodama*, Hrvatska elektroprivreda, 201 (2012), 22-26.

Gereš, D., (2002), *Održivo iskorištavanje vode u Hrvatskoj i Europi*, Građevinar 54 6, 345-353.

Gereš, D., (2002), Upravljanje potražnjom vode, *Građevinar* 55 6, str. 329 -338.

Gereš, D.,(2004), Održivi razvoj vodnoga gospodarstva, Sabor hrvatskih graditelja 2004, Cavtat, str. 925-931.

Gereš, D., (2004), Kruženje vode u zemljinom sustavu , *Građevinar* 56 6, 355-365.

Green, T., Taniguchi, M., Kooi, H., Gurdak, J.J., Hiscock, K., Allen, D., Treidel, H., Aureli, A., (2011), Beneath the surface of global change:impacts of climate change on groundwater, *Journal of Hydrology*, Volume 405, Issues 3–4, 532-560.

Hawkins, E., Sutton, R., (2009), The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90, 1095–1107.

Hem, J.D., (1985), Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, U.S geological survey water-supply paper 2, 263 str.

Hernitz, Z., (1980), Prikaz diferencijalnih i maloamplitudnih struktura s primjerima iz Savske potoline (Panonski bazen), *Nafta*, 7-8, 399-409.

Hlevnjak, B. i Duić, Ž., (2016), Verifikacija rada crpilišta Vinogradi 2011-2016.g. (Fond dokumenata Vodovoda Osijek), Zagreb, 34 str.

Houghton, J. T., Callander B. A., Varney, S. K., (1992), The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, Cambridge, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 200 str.

Jahić, B. M., (1984), Snabdevanje vodom i zaštita voda, Udruženje za tehnologiju vode, Beograd.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (1996), Guidelines for National GHG Inventories, Revised 1996, (IPCC/UNEP/OECD/IEA).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Nakićenović, N. i Swart, R. (editor), (2010), Summary for policymakers, Emissions scenarios A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 570 str.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Ivančan-Picek, B., Državni hidrometeorološki zavod, (2015), *Vremenski ekstremi-uzroci i posljedice*, *Zaštita okoliša*, Kem. Ind. 64 (5-6) (2015) 306–308.

Karleuša, B., Beraković, B., Rajčić, V., (2010), *Ekspertni sustav za ocjenu uspješnosti planiranja u gospodarenju vodama*, *Građevinar*, ISSN 1333-9095 62 1-11.

Kashani, M.G., (2017), *Reliability assessment of water distribution network using informational entropy considering design/hydraulic parameters (Ocjena pouzdanosti vodoopskrbne mreže pomoću informacijske entropije primjenom projektnih/hidrauličkih parametara)*, *Građevinar*, 69(2017) 7, 547-559.

Köppen, W., (1918), *Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf*, *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 64, 193-203.

Lay, V., (2016), *Klimatska pismenost: analiza osnovnih prepreka razvoju i širenju klimatske pismenosti*, *Socijalna ekologija Zagreb*, Vol. 25 (2016.), No. 1-2.

Leblanc, M.J., Tregoning, P., Ramillien, G., Tweed, S.O., Fakes, A., (2009), *Basin-scale, integrated observations of the early 21.st century multiyear drought in Southeast Australia*, *Water Resources Research*, 45(4).

Loch, A., Adamson, D., Mallawaarachchi, T., (2013), *Role of hydrology and economics in water management policy under increasing uncertainty*, *Journal of Hydrology*, 2013.10.049.

Mayer, D., (1996), *Zalihe pitkih voda u Hrvatskoj*, *Rudarsko-geološko- naftni zbornik*, Vol. 8, Zagreb.

Mayer, D., (2004), *Voda od nastanka do upotrebe*, *Prosvjeta*, Zagreb, str. 207.

Margeta, J., (2011), *Promjene u svijetu i gospodarenje urbanim vodnim sustavom*, *Građevinar*, 63 (2011) 12, 1069-1077.

Marković, T., Larva, O., Brkić, Ž., Dolić, M. i Kuhta, M., (2015), Stanje podzemnih voda na vodnom području rijeke Dunav s obzirom na prirodan sadržaj metala i njihov antropogeni utjecaj, Zagreb, Hrvatski geološki institut/Croatian geological survey, 100 str.

Miletić, P., (1969), Hidrogeološke karakteristike sjeverne Hrvatske, Geološki vjesnik 22, Zagreb, str. 511-524.

Miletić, P., Urumović, K. i Capar, A., (1971), Hidrogeologija prvog vodonosnog horizonta porječja Drave na području Hrvatske, Geološki vjesnik 24 (za 1970), Zagreb, str. 149-158

Miletić, P., Heinrich-Miletić, M. i Bačani, A., (1993), Konceptualni hidrogeološki model za hidrogeološki sustav istočne Slavonije, Rudarsko-geološko naftni zbornik, Vol. 5, Zagreb, str. 65-73.

Mlinarić, M., (2016), Zaštita podzemnih voda-primjer procjene ranjivosti sliva izvora Gradole metodom sintacs, Inženjerstvo okoliša, Vol.3 / No.1.

Ministarstvo poljoprivrede Republike Hrvatske, (2015), Strateška studija o vjerojatno značajnom utjecaju na okoliš višegodišnjeg programa gradnje komunalnih vodnih građevina za razdoblje 2014. –2023., Zagreb.

Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja, (2001), Prvo nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC), str. 260.

Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja, (2014), Šesto nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime.

Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, (2016), Pregled dosadašnjih istraživanja i aktivnosti vezano za utjecaj klimatskih promjena i prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj.

Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, (2017-), Radna verzija Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (Zelena knjiga), Nacrt Strategije prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (Bijela knjiga).

Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, (2017), Izvještaj o procijenjenim utjecajima i ranjivosti na klimatske promjene po pojedinim sektorima.

Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, (2018), Sedmo nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime.

Nakić, Z., Bačani, A. i Vlaković, T., (2001), Antropogeni utjecaj na podzemne vode crpilišta Strmec Zagreb, Rudarsko geološko naftni zbornik, Vol 13, str. 25-38 2001.

Nakić, Z., (2010), Zaštita strateških zaliha podzemnih voda Republike Hrvatske, Knjiga sažetaka, IV. Hrvatski geološki kongres, Zagreb, Hrvatski geološki institut, 2010. str. 4-5.

Nakić, Z., Dadić, Ž., (2015), Studija „Ocjena stanja sirove vode na crpilištima koja se koriste za javnu vodoopskrbu u Republici Hrvatskoj“, str. 57

Nakić, Z., Bačani, A., Parlov, J., Duić, Ž., Perković, D., Kovač. Z., Tumara. D., Mijatović, I., (2016), Studija „Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda napodručju panonskog dijela Hrvatske“, Rudarsko geološko naftni fakultet Zagreb, 382 str.

Nimac, I., Cindrić Kalin, K., Perčec Tadić, M., Gajić-Čapka, M., (2015), Analiza maksimalnih trodnevnih količina oborine u Hrvatskoj, 6. hrvatska konferencija o vodama s međunarodnim sudjelovanjem: Hrvatske vode na investicijskom valu, Zbornik radova, Opatija, str. 151-160.

Nistor, M.M., (2018), Climate change effect on groundwater resources in South East Europe during 21.st century, Journal of Hydrology, 2018.05.019.

Objava o stupanju na snagu Pariškog sporazuma u odnosu na Republiku Hrvatsku, (2017), NN 5/17.

Okvirna direktiva o vodama EU, (2000), WFD 2000/60/EC.

Osječko baranjska županija, (2011), Novelacija plana razvitka vodoopskrbe Osječko-baranjske županije.

Osječko baranjska županija, (2015), Izvješće o stanju u prostoru Osječko-baranjske županije.

Pandžić, K., (2014), DHMZ, Klimatska varijabilnost, očekivani učinci i scenarij klimatskih promjena u Hrvatskoj, Nacionalno savjetovanje–prilagodba klimatskim promjenama, Zagreb.

Patrčević, V., Kopjar, A., Đurin, B., (2014), Analiza infiltracije oborina na aluvijalnom tlu, Inženjerstvo okoliša, No. 1, Vol. 1, str. 7-18.

Perčec Tadić, M., (2010), Objektivna analiza temperaturnog polja s prikazom u geografskom informacijskom sustavu, magistarski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet Zagreb.

Pokos, N., (2017), Demografska obilježja sjeverozapadne Hrvatske, Radovi Zavoda za znanstveni rad HAZU Varaždin, br. 28, 2017., str. 155 – 174.

Posavec, K., Bačani, A., Nakić, Z., (2006), A Visual Basic Spreadsheet Macro for Recession Curve Analysis, 1.44, No. 5, Ground water, 764–767.

Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta (2011), NN 66/2011, 47/2013.

Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (2017), NN 125/17.

Re, V., (2015), Incorporating the social dimension into hydrogeochemical investigations for rural development: the Bir al-Nas approach for socio-hydrogeology, Hydrogeology Journal, Volume 23, Issue 7, pp 1293–1304.

Republika Hrvatska, Vlada Republike Hrvatske, (2015), Procjena rizika od katastrofa za Republiku Hrvatsku.

Rudarsko geološko naftni fakultet Zagreb, (2016), Studija „Definiranje trendova i ocjena stanja podzemnih voda na području panonskog dijela Hrvatske“, str. 382

The United Nations Framework Convention on Climate Change (*UNFCCC*), (2015) Paris Agreement.

Samokovlija Dragičević, J., (2007), Rezerve i kakvoća podzemnih voda u Hrvatskoj, Građevinar 59 (2007) 10.



Sarvan, D., (2015), Normativni sadržaj ljudskog pravana vodu, *Hrvatske vode* 23 (2015) 93., 211-221.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L., (2007), Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change, 2007, Cambridge University Press, UK, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Staničić, F., (2018), Vodni resursi Republike Hrvatske i zakonsko uređenje njihovog korištenja i zaštite, Ondrašek, G. (ur.), *Vodni resursi Republike Hrvatske funkciji proizvodnje hrane*, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb, 2-36 str.

Stigter, T.Y., Varanda, M., Bento, S., Nunes, J.P., Hugman, R. (2017,) Combined assessment of climate change and socio-economic development as drivers of freshwater availability in the south of Portugal, *Water ResourManag* 31:609–628.

Strategija održivog razvitka Republike Hrvatske, (2009), NN 30/2009.

Strategija upravljanja vodama, (2008), NN 91/2008.

Stewar, K. (2011), *Atmospheric Attunements*, Volume: 29 issue: 3, page(s): 445-453.

Šegota, T., Filipčić, A., (2003), Koppenova podjela klime i hrvatsko nazivlje, *Geoadria*, vol. 8/1, 17–37, 2003.

Treidel, H., Martin-Bordes, J.J., Gurdak, J.J., (2012), Climate change effectson groundwater resources: a global synthesis of findings and recommendations, *IAH International Contributions to Hydrogeology*, Taylor and Francis, London.

Ujević Bošnjak, M., (2018), Izvještaj o zdravstvenoj ispravnosti vode za ljudsku potrošnju u Republici Hrvatskoj za 2017. godinu, Hrvatski zavod za javno zdravstvo, str. 37.

United Nations Commission on Human Rights, Sub-Commission on the Promotion and Protection of Human Rights, Fifty-seventh session, Economic, Social And Cultural Rights, (2005), Guidelines for the realization of the right to drinking water and sanitation, Realization of the Right to Drinking Water and Sanitation, Report of the Special Rapporteur, El Hadji Guissé, UN Doc. E/CN.4/Sub.2/2005/25.

United Nations, (2016), *Aggregate effect of the intended nationally determined contributions: an update synthesis report by the secretariat, Conference of the Parties twenty-second session, Marrakesh.*

UNESCO-WWAP, (2016), *The United Nations World Water development report: water and jobs*, UNESCO, Paris.

Urumović, K., HERNITZ, Z., ŠIMON, J. i VELIĆ, J., (1976), *O propusnom mediju kvartarnih, te gornjo i srednjo-pliocenskih naslaga sjeverne Hrvatske. IV jug.simp.o hidrogeol. i inž.geol.,2,395-410*, Skopje.

Urumović, K., (1977), *Hidrogeološke značajke istočne Posavine u SR Hrvatskoj*, magistrski rad, Sveučilište u Zagrebu.

Urumović, K., HERNITZ, Z., ŠIMON, J., (1978), *O kvartarnim naslagama istočne Posavine (SR Hrvatska)*, Geol. vjesnik, 30/1, 297-304, Zagreb.

Urumović, K., (1982), *Hidrogeološke značajke istočnog dijela dravske potolin*, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu.

Urumović, K., Gold, H., Hlevnjak, B., Kvaternik, R., (1987), *Proširenje crpilišta Vinogradi*, Hidrogeološka studija, Fond stručnih dokumenata Vodovoda-Osijek.

Urumović, K., Gold, H., Hlevnjak, B., (1995), *Vodoopskrbni sustava Osijeka*, Hidrogeološka studija verifikacije crpilišta Vinogradi, Fond stručnih dokumenata Vodovoda-Osijek.

Urumovic, K., Hlevnjak, B., Gold, H., (1996), *Replenishment of the groundwater from precipitation in the Osijek area (Croatia)*, XVIIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Proceedings, A45-A50, Graz.

Urumovic, K., Hlevnjak, B. ,(1998), *The Development of Basin Multilayer Aquifer*, XIXth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Proceedings, 519-528, Osijek.

Urumović K., Duić, Ž., Hlevnjak, B., (2002), *Positive and negative influences of hydroelectric plants on Drava river to groundwater quality*, XXIst Conference of the

Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Conference Abstracts, Bucharest, Romania, str. 91-98.

Urumović, K., (2003), *Fizikalne osnove dinamike podzemnih voda*, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, udžbenik, 318 str.

Urumović, K., Duić, Ž., Hlevnjak, B. (2011), Impact of rainfall infiltration on groundwater recharge of the deep quaternary aquifer, *Geologia Croatica*, Vol. 64/1, pp 17-30.

Urumović, K., (2013), *Parametarska kvantifikacija hidrogeoloških svojstava klastičnih naslaga na primjerima pokusnih polja u sjevernoj Hrvatskoj*, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

Vidaček, Ž., Karavidović, P., Mihalić, A., Galović, V., (1997), Agroekološke značajke istočne Slavonije i Baranje, *Agronomski glasnik* 5-6/1997., 333-362.

Vlada Republike Hrvatske, (2010), *Plan provedbe (revidirani) vodno-komunalnih direktiva*, Zagreb, <https://www.voda.hr/hr/plan-provedbe-vodnih-direktiva>.

Vlada Republike Hrvatske, (2016), *Plan upravljanja vodnim područjima 2016.-2021.*

Vlada Republike Hrvatske, (2015), *Procjena rizika od katastrofa za Republiku Hrvatsku*, str. 466.

Višegodišnji program gradnje komunalnih vodnih građevina, (2015), NN 117/15.

Vučetić, V., (2012), *Požari raslinja i klimatske promjene u Hrvatskoj*, Državni hidrometeorološki zavod, Stručno savjetovanje, Hrvatska vatrogasna zajednica, Makarska.

Vuković, M, i Plamenac, M., (1972): *Studija vodnog režima dolinskog dela sliva «Karašica-Vučica» na teritoriji vodne zajednice iz Donjeg Miholjca*, Knjiga 1: Opšta studija vodnog režima. Fond stručnih dokumenata vodne zajednice Karašica-Vučica Donji Miholjac.

Winkler, I., (2012), *The human Right to Water – Significance, legal status and implications for Water allocation*, Publishing Oxford and Portland, Oregon.

World Water Assessment Programme (UNESCO WWAP), (2016), *2016 UN World Water Development Report, Water and Jobs*, Paris, 165 str

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., (1998), Climatic Changes of Water Balance Components at Osijek, XIXth Conference of the Danube Countries, Osijek, Proceedings, 111-116

Zaninović, K., (2001), Meteorološki parametri u projektiranju toplinske zaštite zgrada, Građevinar 53 (2001) 10, 619-629.

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., (2008), Klimatske promjene i utjecaj na zdravlje, Infektološki glasnik 28:1, 5–15.

Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M. i dr., (2008), Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990., 1971–2000., Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.

Zakon o vodama, (2009), NN 153/2009, NN 130/2011, NN 53/2013, NN 14/2014.

Zakon o vodi za ljudsku potrošnju (2013), NN 56/2013, NN 64/2015, NN 104/2017, NN 115/2018.

Živaković-Kerže, Z., (2007), Voda i grad, Povijest vodoopskrbe grada Osijek, Vodovod Osijek d. o. o., Hrvatski institut za povijest - Podružnica za povijest Slavonije, Srijema i Baranje u Slavanskom Brodu, Osijek, 199 str.

Žugaj, R., (2015), Hidrologija, Rudarsko-geološki-naftni fakultet, Zagreb, 538 str.

Zima, Jasna, 2019, *Utjecaj klimatskih promjena na stanje podzemnih voda dubokih aluvijalnih vodonosnika u funkciji osiguranja pouzdanosti javne vodoopskrbe*,  
Doktorska disertacija, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet  
Osijek.

---

## ŽIVOTOPIS

### OSOBNI PODACI:

Prezime:	Zima
Ime:	Jasna
Datum rođenja:	9. svibnja 1965.
Adresa:	Čvrsnička 44, 31000 Osijek
Telefon:	+385 98 474 517
e-mail:	zima.jasna@gmail.com

### OBRAZOVANJE:

2010. do danas	poslijediplomski doktorski studij, smjer Građevinarstvo, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek;
1995.	diplomirani inženjer građevinarstva, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet.

### RADNO ISKUSTVO:

2006. g. do danas	Rukovoditelj PJ Vodoopskrba u Vodovod d.o.o. Osijek
2010. - 2013.	Vanjski suradnik (naslovno zvanje) na predmetu Vodoopskrba i odvodnja, Građevinski fakultet u Osijeku
2005. - 2006.	Savjetnik Direktora za investicije u Vodovod d.o.o. Osijek
1995. - 2005.	Direktor Marketinga u Gradnja d.o.o. Osijek
1993. - 1995.	Referent marketinga u Gradnja d.o.o. Osijek

## **USAVRŠAVANJE:**

2015. Pučko učilište Osijek, menadžer za izradu i provedbu EU projekata
2016. Hrvatska udruga za upravljanje projektima, Certified Project Management Associate IPMA Level D

## **POPIS OBJAVLJENIH RADOVA:**

Šperac, Marija; Grgurovac, Anamarija; Zima, Jasna, Water management activities in the Sava drainage basin in Croatia // People, Buildings and Environment 2010 : proceedings / Hanak, Tomas ; Aigel, Petr ; Dyntarova, Katerina (ur.), Brno, 2010. 429-434 (međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni)

Hlevnjak, Branko; Zima, Jasna; Skeležija, Vlado, Optimalna metoda i trenutak revitalizacije zdenca ugroženog djelovanjem Fe bakterija//4. Hrvatski geološki kongres s međunarodnim sudjelovanjem, Šibenik: Hrvatsko geološko društvo, 2010 međunarodna recenzija, objavljeni rad, znanstveni)

Dako F., Raos P., Stoić A., Šarić T., Šimunović G., Samardžić I., Zima J. Iskustva u održavanju vodoopskrbnog sustava grada Osijeka//8. međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi// PLIN 2017 konferencija-plin.sfsb.hr//Slavonski Brod, 2017 (recenzija, objavljen rad, poster)

Dako F., Raos P., Stoić A., Samardžić I., Zima J., Duspara M., Marić D., Starčević V., Putnik I., Tehnološki postupci izrade spojeva vodoopskrbnog sustava//8. međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi// PLIN 2017 konferencija-plin.sfsb.hr//Slavonski Brod, 2017 (recenzija, objavljen rad, poster)

Željko Duić, Jasna Zima, Barbara Rajič, Utjecaj ekstremnih odstupanja u količinama padalina na razine podzemnih voda dubokog kvartarnog vodonosnika.// časopis „INŽENJERSTVO OKOLIŠA“, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Vol.5 / No.1-2, str. 7-16. (recenzija, znanstveni)

Dako F., Zima J., Šperac M., Zoniranje i praćenje vodoopskrbnog sustava// Zoning and monitoring of water supply system// 9. međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi// PLIN 2018 konferencija-[plin.sfsb.hr/](http://plin.sfsb.hr/)Slavonski Brod, 2018, (međunarodna recenzija, objavljeni rad, poster)

Dako F., Zima J., Kristić A., Samardžić I., Tonković Z., Održavanje hidrantske mreže vodoopskrbnog sustava// Maintenance of hydraulic networks of the waterproofing system // 9. međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi// PLIN 2018 konferencija-[plin.sfsb.hr/](http://plin.sfsb.hr/)Slavonski Brod, 2018,(međunarodna recenzija, objavljeni rad, poster)



Zima, Jasna, 2019, *Utjecaj klimatskih promjena na stanje podzemnih voda dubokih aluvijalnih vodonosnika u funkciji osiguranja pouzdanosti javne vodoopskrbe*,  
Doktorska disertacija, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet  
Osijek.

---