

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**OCENA VPLIVA KLIMATSKIH SPREMEMB NA BILANCO
PODZEMNE VODE NA SEVERNEM DELU DRAVSKEGA
POLJA**

TOMAŽ KOPAČ

VELENJE, 2020

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**OCENA VPLIVA KLIMATSKIH SPREMEMB NA BILANCO
PODZEMNE VODE NA SEVERNEM DELU DRAVSKEGA
POLJA**

TOMAŽ KOPAČ

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentor: doc. dr. Marta Svetina Veder

VELENJE, 2020

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študent Visoke šole za varstvo okolja **Tomaž Kopač** lahko izdela diplomsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

Ocena vpliva klimatskih sprememb na bilanco podzemne vode na severnem delu Dravskega polja.

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:

Assessment of climate change impact on groundwater balance in the northern part of Dravsko polje.

Mentorica: **doc. dr. Marta Svetina Veder.**

Diplomsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom VŠVO.

Pouk o pravnem sredstvu: zoper ta sklep je dovoljena pritožba na Senat VŠVO v roku 8 delovnih dni od prejema sklepa.



Izr. prof. dr. Boštjan Pokorny
dekan

Visoka šola za varstvo okolja

Trg mladosti 7 | 3320 Velenje

t: 03 898 64 10 | f: 03 898 64 13 | e: info@vsvo.si

www.vsvo.si



IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Tomaž Kopač, z vpisno številko 34140055, študent dodiplomskega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtor diplomskega dela z naslovom Ocena vpliva klimatskih sprememb na bilanco podzemne vode na severnem delu Dravskega polja, ki sem ga izdelal pod mentorstvom doc. dr. Marte Svetina Veder.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili VŠVO;
- so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili VŠVO;
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na VŠVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektorirala Nina Ančič, prof. slovenskega in angleškega jezika;
- dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani VŠVO;
- sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identična.

V Velenju, dne 1. 6. 2020

podpis avtorja

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem doc. dr. Marta Svetina Veder za mentorstvo, podporo in strokovno usmerjanje pri izdelavi diplomskega dela.

Posebna zahvala velja tudi vsem domačim za vzpodbudo, potrpežljivost in podporo skozi celoten čas študija.

Zahvaljujem se tudi bivšima lastnikoma Instituta za ekološki inženiring, ki sta mi omogočila študij med delom na podjetju.

IZVLEČEK

Tako po svetu, kot tudi v Sloveniji se srečujemo z vse pogostejšimi klimatskimi spremembami. Za to je še toliko bolj pomembno razumevanje, kaj se dogaja z bilanco podzemne vode. V Sloveniji so podzemne vode najpomembnejši vir pitne vode in je potrebno z njimi skrbno ravnati. Na severnem delu Dravskega polja, ki smo ga obravnavali, je pet večjih črpališč pitne vode. Od tega so 4 črpališča odvisna od napajanja podzemne vode s padavinami in odtoka voda z zaledja Pohorja. Le vodonosnik Vrbanskega platoja se v glavnem napaja z infiltracijo reke Drave. Bilanca podzemne vode je vedno odvisna od stopnje evapotranspiracije in količine padavin. Odtoki so v primeru podzemnih vod po navadi zanemarljiv faktor. Vendar vedno večji ekstremi, kot so suše in ekstremni nalivi v obliki padavin, lahko prinesejo površinske odtoke, ki pa niso več zanemarljivi. Višanje letnih temperatur in manjšanje količin padavin prinaša spremembe v evapotranspiraciji in posledično spremembe v bilanci podzemne vode. Opredelili smo problematiko in možne posledice sprememb v temperaturi zraka in količini padavin na severnem delu Dravskega polja. Naredili smo izračune trendov glede na obstoječe podatke meteoroloških postaj Maribor Tabor, Letališče Edvarda Rusjana in Starše. Podatki, ki smo jih uporabili, so bili povprečna temperatura zraka, količina padavin in evapotranspiracija; izračunali smo trend vodne bilance. S pomočjo programa HydroClimATe smo nato naredili simulacijo teh parametrov za približno naslednjih 100 let, pri čemer je simulacija pokazala drugačnejši trend, kot smo ga predvideli. Ker izračuni niso pokazali večjih sprememb v naslednjih 100 letih, razen ekstremnih nihanj med leti, smo nato naredili še dodatne simulacije bilance podzemne vode po letnih časih. Izpostavili smo tudi uporabo oz. računanje referenčne evapotranspiracije in ne potencialne oz. dejanske evapotranspiracije, ki jo lahko izračunamo s pomočjo merilnih sistemov, kot so lizimetske postaje. S pomočjo teh lizimetrov lahko natančno merimo tudi večanje in nižanje količine vode v tleh in določamo dejanske količine padavin, ki prehajajo s površja v podzemne vode.

Ključne besede: bilanca podzemne vode, klimatske spremembe, Dravsko polje, lizimetri, HydroClimATe.

ABSTRACT

Both worldwide and in Slovenia we are experiencing more frequent climate changes. For this reason, it is an even more important to understand what is happening with the groundwater balance. In Slovenia is groundwater the most important source of drinking water and needs to be handled with care. In the northern part of the Dravsko polje, which we discussed, there are five major drinking water pumping stations. 4 of these pumping stations are dependent on groundwater recharge with precipitation on the Dravsko polje and water flow from the hinterland of Pohorje hill. Only aquifer the Urbanski plato is recharged mainly with the infiltration of the Drava River. The groundwater balance always depends on the degree of evapotranspiration and the amount of precipitation. In the case of aquifers in the planes, surface drains are a negligible factor. However, more frequent extremes, such as droughts and intense rainfall, can lead to surface drains, which are no longer negligible. Increasing the annual temperatures and reducing the amount of precipitation brings changes in evapotranspiration and consequently changes in the balance of groundwater. We identified problems and possible consequences of changes in air temperature and the amount of precipitation in the northern part of the Dravsko polje. We made calculations of trends according to the existing data of meteorological stations Maribor Tabor, airport Edvard Rusjan and Starše. The data we used were the average air temperature, precipitation and evapotranspiration, and the water balance trend was calculated. Using the HydroClimAt program, we simulated these parameters for approximately the next 100 years and the simulation showing a slightly different trend than we assumed. Since the calculations did not show any major changes over the next 100 years, except for extreme fluctuations over the years, we then made additional simulations of the groundwater balance in the seasons. We also highlighted the use of, or calculation of reference evapotranspiration, not potential or effective evapotranspiration, which can be calculated using measurement systems such as lysimeter stations. With the help of these lysimeters, we can also accurately measure the increase and decrease in the amount of water in the soil and the determination of the actual amount of precipitation that passes from the surface to the groundwater.

Keywords: Groundwater balance, climate change, Dravsko polje, lysimeters, HydroClimAte.

KAZALO VSEBINE

1.	UVOD	1
1.1	OPIS PROBLEMA.....	1
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE.....	2
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE RAZISKAVE	2
1.4	UPORABLJENE METODE DELA.....	2
1.5	UPORABLJENA PROGRAMA QGIS IN HYDROCLIMATE	3
2.	KLIMATSKE SPREMEMBE IN PODZEMNA VODA	4
2.1	POJMI POVEZANI S KLIMATSKIMI SPREMEMBAMI IN VODO	4
2.2	VPLIV KLIMATSKIH SPREMEMB NA PODZEMNE VODE	6
2.3	PROBLEMI, POVEZANI S KLIMATSKIMI SPREMEMBAMI IN PODZEMNIMI VODAMI	9
2.3.1	Napajanje podzemne vode	9
2.3.2	Odtok podzemne vode.....	10
2.3.3	Zaloga podzemne vode	10
2.3.4	Kvaliteta podzemne vode.....	11
2.3.5	Vplivi ne-klimatskih dejavnikov.....	11
2.3.6	Adaptacija na klimatske spremembe	12
2.4	EVROPSKA PRIZADEVANJA NA PODROČJU KLIMATSKIH SPREMEMB	14
3	OPIS OBRAVNAVANEGA OBMOČJA	16
3.1	GEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI.....	16
3.2	GEOLOŠKE ZNAČILNOSTI.....	18
3.3	VODOVARSTVENA OBMOČJA.....	20
3.4	HIDROLOŠKE ZNAČILNOSTI	21
4	OPIS LOKACIJ PRIDOBLENIH PODATKOV ZA OBDELAVO	23
4.1	VREMENSKE POSTAJE.....	23
4.2	OPAZOVALNE VRTINE PODZEMNE VODE	24
4.3	ČRPALIŠČA PITNE VODE	26
5	OBDELAVA PODATKOV IN PRIKAZ REZULTATOV	27
5.1	IZRAČUN POVPREČNIH VREDNOSTI TEMPERATURE ZRAKA IN KOLIČINE PADAVIN PO MESECIH V 40 - 57 LETNEM OBDOBJU.....	28
5.2	IZRAČUN POVPREČNIH 10-LETNIH VREDNOSTI TEMPERATURE ZRAKA IN KOLIČINE PADAVIN V 40 - 57 LETNEM OBDOBJU	32
5.3	TRENDI POVPREČNIH TEMPERATUR ZRAKA, KOLIČIN PADAVIN IN EVAPOTRANSPIRACIJE.....	34
5.4	IZRAČUN VODNE BILANCE	39
5.5	OBDELAVA PODATKOV IN IZRAČUN PREDVIDENIH TRENDOV NA PODLAGI ANALIZE PROGRAMA HYDROCLIMATE	44
5.5.1	Simulacija povprečne količine padavin v naslednjih 100 letih.....	46
5.5.2	Simulacija povprečne temperature zraka v naslednjih 100 letih	48
5.5.3	Simulacija evapotranspiracije za naslednjih 100 let	49
5.5.4	Simulacija bilance vodne za naslednjih 100 let	51

5.6	OBDELAVA PODATKOV IN IZRAČUN PREDVIDENIH TRENDOV NA PODLAGI ANALIZE PROGRAMA HYDROCLIMATE PO LETNIH ČASIH	53
6.	ZAKLJUČEK.....	58
7.	SUMMARY	60
8.	VIRI IN LITERATURA.....	62

KAZALO SLIK

Slika 1:	Hidrološki cikel	5
Slika 2:	Prikaz referenčne in potencialne evapotranspiracije v obdobju rasti posevka (koruza) ...	7
Slika 3:	Diagram koncepta adaptacije od podzemnih vod odvisnega sistema na klimatske spremembe in variabilnosti	13
Slika 4:	Prikaz območja Dravskega polja.....	16
Slika 5:	Podrobnejši prikaz obravnavanega območja Dravskega polja z orodjem QGIS	17
Slika 6:	Višinski model obravnavanega območja - DMR.....	18
Slika 7:	Geološka zgradba Dravskega polja z okolico, izsek iz OGK 1:100.000, lista Maribor in Leibnitz.....	19
Slika 8:	Vodovarstvena območja po Uredbi o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ruš, Vrbanskega platoja, Limbuške dobave in Dravskega polja (Ur. l. RS, št. 24/2007, spremembi: Ur.l. RS, št. 32/2011 ter št. 22/2013) in po Uredbi o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Dravsko-Ptujskega polja (Ur. l. RS, št 59/07, 32/11 in 24/13).....	20
Slika 9:	Hidrogeološka karta Dravskega polja s površinskimi vodotoki	22
Slika 10:	Natančen prikaz lokacij vremenskih postaj na Dravskem Polju v programu QGIS	24
Slika 11:	Natančen prikaz lokacij obravnavanih vrtin na Dravskem polju v programu QGIS	25
Slika 12:	Natančen prikaz lokacij črpališč na Dravskem polju v programu QGIS	26
Slika 13:	Prikaz celotnega območja obravnave z vremenskimi postajami, črpališči in vrtinami v programu QGIS	27
Slika 14:	Graf povprečne temperature zraka po mesecih	31
Slika 15:	Graf povprečnih padavin po mesecih.....	31
Slika 16:	Graf povprečne desetletne temperature zraka od leta 1961 do 2018	33
Slika 17:	Graf povprečne desetletne količine padavin od leta 1961 do 2018	34
Slika 18:	Graf trenda povprečnih temperatur zraka po mesecih	36
Slika 19:	Graf trenda povprečne temperature zraka po letnih časih.....	37
Slika 20:	Graf trenda količine padavin po mesecih	37
Slika 21:	Graf trenda količine padavin po letnih časih.....	38
Slika 22:	Graf trenda evapotranspiracije po letnih časih	38
Slika 23:	Graf nivoja podzemnih vod od leta 1969 do 2016	40
Slika 24:	Graf trenda gladin podzemne vode od leta 1969 do 2016.....	41
Slika 25:	Graf količine padavin (MP Maribor Tabor) in višine podzemne vode (Maribor Tezno), 1969 - 2016	41
Slika 26:	Graf količine padavin (MP Starše) in višine podzemne vode (Starše), 1969 - 2016	42
Slika 27:	Graf količine padavin (MP Letališče Edvarda Rusjana) in višine podzemne vode (Bohova), 1969 - 2016.....	42
Slika 28:	Graf vodne bilance, 1962 - 2018.....	43
Slika 29:	Graf trenda vodne bilance	43
Slika 30:	Uporabniški vmesnik z zavijki in meniji	45

Slika 31: Graf projekcije količine padavin na meteorološki postaji Maribor Tabor za naslednjih 100 let s programom HydroClimATe.....	47
Slika 32: Graf projekcije količine padavin na meteorološki postaji Maribor Tabor za naslednjih 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto.....	47
Slika 33: Graf simulacije povprečne temperature zraka za naslednjih 100 let s programom HydroClimATe	48
Slika 34: Graf simulacije povprečne temperature zraka za naslednjih 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto	49
Slika 35: Graf simulacije letne evapotranspiracije na severnem delu Dravskega polja za naslednjih 100 let s programom HydroClimATe	50
Slika 36: Graf simulacije letne evapotranspiracije zraka za naslednjih 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto	50
Slika 37: Graf simulacije letne bilance vode za naslednjih 100 let, predstavljena s programom HydroClimATe	52
Slika 38: Graf simulacije letne bilance podzemne vode naslednjih za 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto	52
Slika 39: Graf simulacije zimske bilance podzemne vode za naslednjih 100 let, predstavljen s programom HydroClimATe	54
Slika 40: Graf simulacije zimske bilance podzemne vode za naslednjih 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto	54
Slika 41: Graf simulacije pomladne bilance podzemne vode za naslednjih 100 let, predstavljen s programom HydroClimATe	55
Slika 42: Graf simulacije pomladne bilance podzemne vode naslednjih za 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto	55
Slika 43: Graf simulacije poletne bilance podzemne vode za naslednjih 100 let, predstavljen s programom HydroClimATe	56
Slika 44: Graf simulacije poletne bilance podzemne vode za naslednjih 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto	56
Slika 45: Graf simulacije jesenske bilance podzemne vode za naslednjih 100 let, predstavljen s programom HydroClimATe	57
Slika 46: Graf simulacije jesenske bilance podzemne vode za naslednjih 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto	57

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Koordinate vremenskih postaj po Gauß-Krüger koordinatnem sistemu.....	23
Preglednica 2: Koordinate vrtin po Gauß-Krüger koordinatnem sistemu	25
Preglednica 3: Koordinate črpališč po Gauß-Krüger koordinatnem sistemu	26
Preglednica 4: Povprečne vrednosti padavin in temperature meteorološke postaje na Letališču Edvarda Rusjana po mesecih od leta 1977 do leta 2017	28
Preglednica 5: Povprečne vrednosti padavin in temperature meteorološke postaje Maribor Tabor po mesecih od leta 1963 do leta 2017	29
Preglednica 6: Povprečne vrednosti padavin in temperature meteorološke postaje Starše po mesecih od leta 1961 do leta 2018.....	30
Preglednica 7: Povprečne desetletne temperature zraka od leta 1961 do 2018	33
Preglednica 8: Povprečne desetletne količine padavin od leta 1961 do 2018.....	34

1. UVOD

1.1 OPIS PROBLEMA

Človek je s svojim antropocentričnim mišljenjem že v času industrijske revolucije predpostavljal, da so naravni viri neomejeni in tako tudi ni posvečal večje pozornosti lastnem vplivu na okolje. Takrat se ni razmišljalo o tem, kaj pomeni prag nosilnosti ekosistema in da ima narava omejeno sposobnost samočistilnosti. Začela se je hitra globalna porast ljudi in s tem tudi vedno večji vpliv na okolje. Globalna porast je pomenila tudi večjo potrebo po virih za življenje, kot so na primer živila. Ta potreba je prinesla velik razvoj v tehnologiji, ki je sicer olajšalo življenje ljudi, vendar pa je pomenilo tudi močan vpliv na okolje. Takrat so bile ideje o t. i. zeleni tehnologiji, ki ne bi imele tako znatnega vpliva na okolje, še daleč. Posledice pretiranega onesnaževanja okolja so privedle k spremembi razmišljanja in uvajanja novih, okolju prijaznih tehnologij ter drugih ukrepov za zmanjšanje vpliva le-teh na okolje. Trenutno je najbolj prepoznaven problem izpust toplogrednih plinov in posledično učinek tople grede oz. višanja temperatur v atmosferi. Atmosfera se najhitreje odziva na spremembe in ima vpliv na podnebje. Odzivi podnebja se lahko izražajo v hitrih in velikih spremembah, kot so temperaturne razlike, neenakomeren padec količine padavin (pogostejše suše in kratka obdobja močnih nalivov s posledicami poplav), vročinski vali, zmrzali itd.

Predvsem je potrebno omeniti vpliv podnebja na vodne vire. Voda je namreč esencialno živilo in predstavlja nepogrešljiv vir življenja ter je sestavni del vsakega živega organizma. Pitna voda je tako pomemben dejavnik našega življenja, ki se ga začenjamo vedno bolj zavedati. Trud za ohranjanje vodnih virov pa pogosto predstavlja trdo delo, saj je pogosto veliko dejavnikov, ki vplivajo na kvaliteto in kvantiteto vode. V Republiki Sloveniji pridobimo približno 97 odstotkov pitne vode iz podzemne vode na katere ima velik vpliv človek, predvsem s kmetijstvom, in klimatske spremembe. Klimatske spremembe lahko še dodatno vplivajo na negativni učinek kmetijstva na okolje. Kadar imamo npr. sušno obdobje, se lahko pojavijo razpoke v zemlji. Če kmetovalec v tem času uporablja gnojila in nato pade velika količina padavin v zelo kratkem času, se gnojilo hitro spere skozi zemljino v podzemne vodotoke in vodonosnike ali pa površinsko odteče v površinske vodotoke. Vendar je to samo eden od mnogih primerov vpliva klimatskih sprememb na človekovo dejavnost, kjer se lahko učinki še povečajo.

Sicer v zadnjih desetletjih ugotavljamo vse večje in hitrejše spremembe v klimi, vendar zaradi napredka v tehnologiji, ki nam omogoča pridobivanje več podatkov in možnosti izdelave klimatskih modelov, lahko opredeljujemo problem in izdelamo klimatske napovedi in spremembe. Klimatske spremembe lahko prinašajo spremembe v temperaturi ozračja, spremembe v količinah padavin ter posledično spremembe v evaporaciji in evapotranspiraciji, kar pa ima seveda vpliv tudi na bilanco voda. Ker Slovenija pridobiva pitno vodo pretežno iz podzemne vode, so klimatske spremembe, ki vplivajo na bilanco podzemne vode, še toliko pomembnejše.

Ministrstvo za okolje in prostor – Agencija Republike Slovenije za okolje v poročilu Podnebne spremembe v Sloveniji, 2014, poroča, da se je v zadnji 50 letih povprečna temperatura zraka

dvignila za 1,7°C in povprečna količina padavin v nekaterih delih Slovenije v istem obdobju zmanjšala tudi za 20 %.

Na severnem delu Dravskega polja je pet pomembnih vodnih virov (Vrbanski plato, Betnava, Bohova, Dobrovci in Dravski dvor) za oskrbo s pitno vodo, ki jih upravlja Mariborski vodovod. Razen vodonosnika Vrbanski plato, ki se napaja predvsem z infiltracijo reke Drave, se ostali štirje vodni viri napajajo v glavnem z infiltracijo padavin in so odvisni od klimatskih pojavov in sprememb. Potrebno je razumeti, kaj se dogaja z našo podzemno vodo, njenim napajanjem in zakaj prihaja do sprememb. Tako bomo tudi razumeli, kaj se bo v bodoče dogajalo z vodami in kako ukrepati oziroma ravnati s spremembami, da zagotovimo varno oskrbo s pitno vodo tudi generacijam za nami.

1.2 NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE

Namen diplomske naloge je predstaviti interakcijo klimatskih sprememb na podlagi hidroloških podatkov in podzemne vode skozi desetletja po svetu in v Sloveniji, podrobnejše na severnem delu Dravskega polja. S pomočjo izračuna preteklih meritev oz. podatkov se bo pokazal trend klimatskih sprememb in bilance podzemne vode ter njihova interakcija.

Vprašanja, na katera bomo poskušali odgovoriti, so:

Kako so na območju severnega dela Dravskega polja klimatske spremembe vplivale na podzemne vode v preteklosti in kako bodo teoretično nanje vplivale v prihodnosti?

Glede na splošno znanje vpliva klime na vodni cikel, se predpostavlja, da je na obravnavanem območju prišlo do spremembe vodne bilance. Predvidena je tudi sprememba vodne bilance v prihodnje. Ali je ta znatna? To bo pokazal hidroklimatološki model trenda.

1.3 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE RAZISKAVE

Tako kot je omenjeno že v prejšnjem poglavju, je na obravnavanem območju predviden vpliv spremembe klime na bilanco podzemne vode. Predpostavljeno je tudi, da se bo ta vpliv sčasoma še povečal. Do omejitve raziskave lahko pride v primeru nedostopnosti podatkov oziroma premajhne količine podatkov na področju vodne bilance in klimatskih parametrov.

1.4 UPORABLJENE METODE DELA

Pri diplomski nalogi smo uporabil opisno oziroma deskriptivno metodo s študijo različne domače in tuje literature. Raziskovalni del naloge je predstavljal pridobivanje in obdelavo hidrometeoroloških podatkov.

V delu smo uporabili programska orodja QGIS in HydroClimATe. QGIS je prosto dostopen geografski informacijski sistem, ki se v strokovnem prostoru vse bolj uveljavlja. Pri obravnavi problematike podzemnih voda se lahko uporablja tako za geografsko prostorski prikaz, prikaz hidrogeoloških lastnosti in modeliranja toka podzemne vode ter transporta snovi v njej. V tej diplomski nalogi smo ga uporabili za prostorski prikaz obravnavanega območja in pomembnih dejavnikov, kot so lokacije vrtin za opazovanje podzemne vode, lokacije črpališč in lokacije meteoroloških postaj. Program HydroClimATe prihaja iz ameriškega geološkega združenja (USGS) in je bil razvit zaradi možnosti prepoznavanja potencialnih posledic in vpliva klimatskih sprememb na zaloge voda določenega območja. Program smo uporabili za analizo arhivskih podatkov in dolgoročno napoved vpliva na bilanco podzemne vode na severnem delu Dravskega polja.

1.4.1 UPORABLJENA PROGRAMA QGIS IN HYDROCLIMATE

Program QGIS je profesionalni geografski informacijski sistem, ki je neplačljiv in prosto dostopen. Z njim lahko ogledujemo, dodajamo in analiziramo geografske prostorske podatke. Lahko ga tudi uporabljamo za modeliranje in za geografski prostorski prikaz podzemnih vod. Možnosti za njegovo uporabo je veliko, vendar se bo v diplomski nalogi uporabil samo za natančen prostorski prikaz obravnavanega območja in za pomembne dejavnike, kot so lokacije vrtin podzemne vode, črpališč in vremenskih postaj.

Program HydroClimATe je bil razvit v sodelovanju Oddelka za notranje zadeve Združenih držav (U.S. Department of the Interior) in Oddelka za geološke raziskave Združenih držav USGS). Beseda HydrClimATe pomeni Hydrologic and Climatic Analysis Toolkit, v prevodu orodje za hidrološke in klimatske analize. Program je bil razvit zaradi prepoznave problema potencialnih posledic in vpliva klimatske variabilnosti in klimatskih sprememb na svetovne zaloge voda. Čeprav ima program veliko možnosti za različne analize, bo v diplomski nalogi uporabljen za napoved klimatskih sprememb in vpliva le-teh na bilanco podzemne vode na severnem delu Dravskega polja.

2 KLIMATSKE SPREMEMBE IN PODZEMNA VODA

2.1 POJMI POVEZANI S KLIMATSKIMI SPREMEMBAMI IN VODO

Klima ali podnebje po SSKJ pomeni povprečne vremenske razmere, značilne za določen kraj ali področje. Kadar govorimo o klimatskih spremembah, govorimo o tem, kako se te vremenske razmere spreminjajo. Spremembe so lahko kratkotrajne, torej govorimo o spremembah na letni ravni, ali dolgotrajne, kadar govorimo o spremembah skozi desetletja. Klimo na določenem območju definira celoten splet okoliščin, kot so: količina in moč sončnega obsevanja, temperatura, vlaga in tlak zraka in tal, na katera vplivajo sestava in poraščenost tal ter vrsta tal, bližina jezer in morij, nadmorska višina, vetrovnost itd. Kadar se ta splet okoliščin dolgoročno spremeni, bodisi naravno ali antropogeno, lahko pride do dolgotrajne spremembe klimatskih razmer.

Sestavni deli podnebnega sistema so:

1. Atmosfera
2. Hidrosfera
3. Kriosfera
4. Biosfera
5. Litosfera

Atmosfera ali ozračje je plast plina, ki obdaja Zemljo. Sestavljeno je iz različnih plinov, vode in drobnega prahu in sega skoraj 700 km visoko. Z višino je vse redkejša in v zgornjih plasteh preide v ionosfero. Ostre meje prehoda ni (Farndon, 2000:138).

Atmosfera je najbolj spremenljiv del podnebnega sistema in je sestavljena predvsem iz dušika in kisika ter v manjših količinah drugih plinov kot npr. ogljikov dioksid, vodna para, metan, dušikov oksid in ozon.

Kriosfera označuje zamrznjeno vodo (sneg, ledeniki, polarni ledeni pokrovi in permafrost – neprestano zamrznjena tla). Pokriva 10% celotnega površja. Včasih so znanstveniki menili, da ima kriosfera pasivno vlogo pri podnebnih spremembah, medtem ko danes ugotavljajo obratno (Guidie, 1997: 116).

Biosfero sestavljajo rastline in živali na zemlji in v morju. Pokriva 30% Zemljinega površja. Biosfera ima pomembno vlogo pri ogljikovem krogu, predvsem zaradi respiracije ali dihanja organizmov, in s tem vpliva tudi na podnebne spremembe.

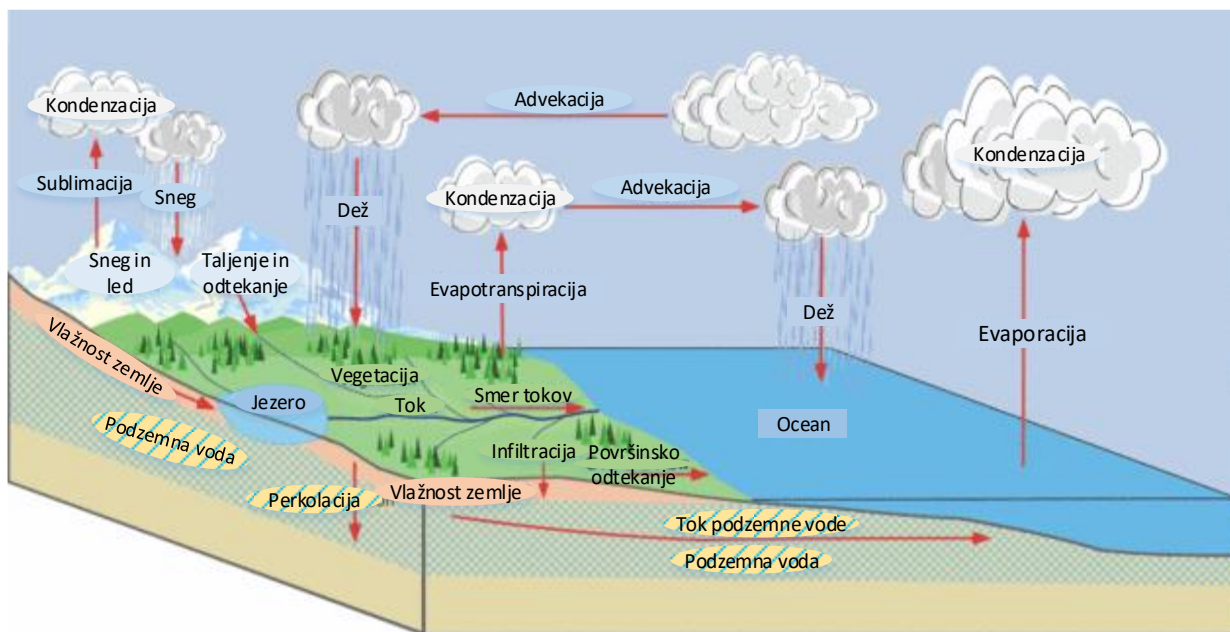
Litosfera predstavlja Zemljino skorjo oz. kamniti del. Razbita je na tektonske plošče, ki s svojim premikanjem tvorijo gorovja in s tem vplivajo predvsem na mikro klimo, kot npr. na količino padavin (Drake, 2000: 58).

S hidrosfero označujemo vodo na Zemlji (morja, reke, oceani, jezera), ki predstavlja skoraj 75 % Zemljinega površja. Od tega je oceanske slane vode več kot 97 % in sladke vode manj kot 3 %. 2,24 % vode je zamrznjene v ledenikih in celinskem ledu, podzemne vode je samo 0,6 %, manj kot 0,1 % je v jezerih in manj kot 0,001 % vode v rekah (Farndon, 2000:172).

Naše obravnavano področje v diplomskem delu bo torej vpliv klimatskih sprememb na podzemne vode in vodonosnike, kar predstavlja »samo« 0,6 % hidrosfere, vendar je za nas pomemben vir življenja. Pri tem je zelo pomemben hidrološki krog, da lahko proučujemo kje, kdaj in kako prehajajo molekule vode v podzemne toke in vodonosnike.

Hidrološki krog predstavlja neprestano gibanje vodnih molekul med atmosfero, zemeljsko površino (ledeniki, prekritost s snegom, tokovi, mokrišča, in oceani) in tlemi ter kamenjem. Izraz podzemna voda se nanaša na vodo v tleh in geološko sestavo, ki je popolnoma nasičena.

Hidrološki krog poganja sončna energija, ki segreva Zemljino površino in povzroča, da površinska voda izhlapeva in se pretvori. Voda se nato v obliki padavin, kot sta dež ali sneg, prenese iz atmosfere nazaj na površino tal.



Slika 1: Hidrološki cikel

Vir: Medmrežje 1, prevedeno in obdelano: T. Kopač, 2018

Prehajanje atmosfere vode v podzemno vodo je možno bodisi z infiltracijo dežja ali s taljenjem snega skozi profil tal. Voda lahko tudi površinsko odteče in se infiltrira v podzemno vodo preko kanalov in mokrišč. Proces, pri katerem vstopa voda s površja v podzemno vodo imenujemo *recharge* oziroma napajanje.

Izguba podzemne vode v atmosfero poteka s procesom **evapotranspiracije**. Ta proces vključuje direktno izhlapevanje plitve podzemne vode in transpiracijo (izhlapevanje vode iz rastlin, zlasti

listov, stebel, cvetov in plodov) preko vegetacije. Seveda lahko podzemna voda odteka tudi v reke, mokrišča, oceane in/ali je črpana iz vodnjakov za človeško uporabo. Proces, pri katerem se voda izgublja iz podzemne vode, imenujemo *discharge* oz. odtok. Razlika med napajanjem in odtokom določa volumen shranjene vode.

Klimatske spremembe so "spremenjeno stanje klime, ki je lahko identificirana s spremembo v pomenu in/ali variabilnosti njenih lastnosti in ta vztraja v širši periodi, običajno desetletja ali dlje" (Bates et. al., 2008). Klimatske spremembe so zaradi "naravnega notranjega procesa ali zunanega prisiljenja, ali konstantni antropogeni spremembi v sestavi atmosfere ali rabi zemljišč" (IPPC, 2007).

Vodna bilanca predstavlja razmerje med količino vode, ki pride na Zemljino površje s padavinami, in količino, ki z njenega dela v istem času izhlapi. (Bufon, Černe, idr., 2005: 424)

2.2 VPLIV KLIMATSKIH SPREMOMB NA PODZEMNE VODE

Vsaka sprememba v klimi ima potencialni učinek na napajanje, odtekanje in kvaliteto podzemne vode, bodisi neposredno ali posredno. Neposreden vpliv je lahko npr. zmanjšanje napajanja v obdobju z manj padavinami. Vdor morske vode v priobalne vodonosnike v obdobju povišanja temperature in naknadnega povišanja morske gladine pa predstavlja posreden vpliv na kvaliteto podzemne vode.

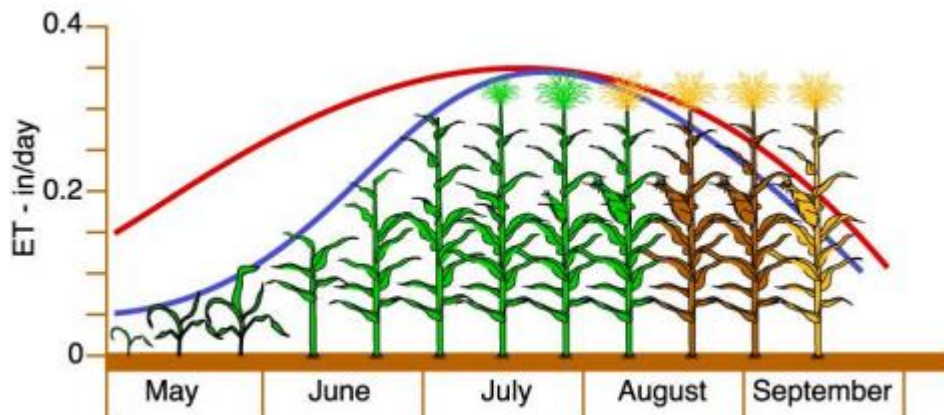
Na kvantiteto in kvaliteto podzemne vode lahko vpliva tudi sprememba rabe vode in zemljišč. Primeri vključujejo spremembe režima črpanja podzemne vode, zajezitve rek, goloseki gozdov in pretvorba kmetijstva na suhih površinah do namakanja.

V zadnjih 150 letih se je globalna povprečna temperatura povišala s pospešeno stopnjo ogrevanja v zadnjih 25 do 50 letih. Upoštevajoč, da lahko po vsej verjetnosti te spremembe v večji meri pripisujemo antropogenemu vplivu (zlasti povečanju koncentracije ogljikovega dioksida (CO₂), kot posledica izgorevanja fosilnih virov), se bo globalno segrevanje nadaljevalo v prihodnosti (IPPC, 2007).

Napajanje podzemne vode se pojavi iz površinskih vodnih teles ali v razpršeni obliki iz padavin preko nenasičene cone tal (Döll in Fiedler, 2008). Padavine so primarni klimatski pogoj za napajanje podzemne vode. Vendar sta temperatura in koncentracije CO₂ tudi pomembni, saj imata vpliv na evapotranspiracijo in tako lahko del padavin odteče skozi profil tal do vodonosnikov. Drugi faktorji, ki lahko vplivajo na napajanje podzemne vode, so še lahko prekritost tal, zemljina, geološka sestava, topografski relief in tip vodonosnika.

Evapotranspiracija je pomemben dejavnik, kadar govorimo o bilanci podzemne vode. Z izračunom le-te določamo izgube vode, ki bi prešla v podzemno vodo. Evapotranspiracija je pojem, katerega sestavljata evaporacija in transpiracija. Evaporacija pomeni prehajanje vode v obliki vodne pare s talnega površja ali vodne površine v atmosfero: medtem ko transpiracija pomeni prehajanje vode v obliki vodne pare skozi listne reže (rastline) v atmosfero. Obstaja sicer več metod za določanje evapotranspiracije, vendar se v večini uporablja Penman-Monteithova metoda. Ta metoda

uporablja izračun naslednjih klimatskih parametrov: temperatura zraka (maksimalna, minimalna, povprečna in ob 14. uri), relativna vlaga zraka (minimalna, maksimalna in ob 14. uri), letna količina padavin, hitrost vetra in moč sončnega obsevanja. Evapotranspiracija pa ni odvisna samo od klimatskih dejavnikov, temveč tudi od načina in vrste pokritosti tal ter lastnosti tal. Zato govorimo o referenčni evapotranspiraciji, kadar računamo po Penman-Monteithovi metodi in o potencialni evapotranspiraciji, kadar upoštevamo še pokritost in lastnosti tal. Lastnosti tal so pomemben dejavnik, saj npr. če so tla zbita in voda iz padavin površinsko odteka in izhlapeva, se le-ta ne more infiltrirati skozi talni profil, kjer bi bila dostopna rastlinam za potencialno evapotranspiracijo. Tla so lahko tudi takšne sestave, da ne zadržujejo vode dlje časa in ta odteka v podzemno vodo ter ni dostopna rastlinam. Na potencialno evapotranspiracijo pa vpliva tudi pokritost tal. Če imamo slabo pokritost tal, pomeni, da bomo sicer imeli manjšo transpiracijo, vendar pa bo evaporacija veliko večja, saj so rastline tudi zaščita pred večjo izgubo vode z evaporacijo. Upoštevati moramo še, da je to odvisno tudi od vrste rastline in v katerem obdobju rasti je rastlina. V prvem obdobju rasti, ko je rastlina še majhna, ima manjšo evapotranspiracijo. Slika 1 prikazuje primer koruze. Z rdečo krivuljo je v istem obdobju rasti rastline prikazana referenčna evapotranspiracija, z modro pa potencialna. Krivulji se v glavnem med seboj razlikujeta v začetni fazi rasti, saj imata takrat zaradi velikosti rastline na evapotranspiracijo velik vpliv pokritost tal in manjša specifična površina rastline za transpiracijo.



Slika 2: Prikaz referenčne in potencialne evapotranspiracije v obdobju rasti posevka (koruza)

Vir: A. Valher, ARSO, 2015

Spremembe v velikosti napajanja podzemne vode niso vedno enake spremembam padavin. Napajanje ni odvisno samo od količine padavin, temveč tudi od njenih intenzivnosti, kako pogoste so, v kateri sezoni se pojavijo in od tipa padavin. Drugi faktorji, kot npr. spremembe sestave tal ali vegetacijskega tipa in rabe vode, lahko vplivajo na stopnjo napajanja. Van Roosmalen idr. (2007) so prišli do sklepa, da so spremembe v stopnji napajanja podzemne vode močno odvisne od geološke sestave področja.

Pomemben faktor pri napajanju podzemne vode sta tudi rosa in zmrzal. Vedno več raziskav kaže, da ta dva faktorja lahko močno vplivata na bilanco podzemne vode, vendar ju je v preteklosti bilo težko meriti. Ena prvih metod je bila predstavljena od Duvdevanija (1947), ki je predlagal optično vrednotenje njegovega Duvdevani merilnika rose v primerjavi z referenčnimi fotografijami. Na

posebno obdelanem kosu lesa se lahko rosa kondenzira in se lahko zaradi njenega videza po intenzivnosti klasificira, kot tudi ločuje od deževnega pojava. Ker je tvorba rose močno odvisna od fizikalnih lastnosti lesa, je možna samo relativna primerjava lokacij in ne zaznava absolutne vodne količine rose. Kidron je leta 1999 predstavil optimizirano metodo za določanje vodne količine rose, kjer je uporabil močno adsorpcijski sintetični tekstil. Ta je postavljen med dve stekleni plošči in omogoča sprejem velikih vodnih količin rose. Na ta način se je lahko določila absolutna količina vodne rose na eno noč, vendar to ne da dolgoročnih informacij in ne more določiti stopnje tvorbe rose (Agam in Berliner, 2006).

Danes lahko precizni tehtalni lizimetri neprekinjeno zaznavajo vodno količino rose. Lizimetri, s katerimi se je merila rosa, so tako imenovani lizimetri tretje generacije. Lizimeter je naprava, ki je namenjena raziskavam na področju hidrologije v tleh in transporta snovi skozi talni profil na terenu. Gre za v tla vtisnjen monolit v zaprtem sistemu, ki je postavljen na tehtnico z visoko natančnostjo in je opremljen z različnimi merilniki, kot so merilniki za tlak, vlago, temperaturo itd. Tehtalna natančnost sistema je 10 g, kar omogoča določanje vsebnosti vode do 0,01 mm natančno. Na ta način lahko merimo dejansko potencialno evapotranspiracijo in ne računamo samo referenčne. Seveda pa je pomemben faktor, da lahko določimo tudi stopnjo rosnega pojava in merimo oz. določimo vpliv rose na vodno bilanco. Ti lizimetri sicer niso cenovno ugodni in za določanje rose in evapotranspiracije zahtevajo veliko dela. Vendar bomo na podlagi praktičnih primerov opisanih v naslednjem odstavku začeli razmišljati v smeri, da so mogoče potrebni.

Dr. Thomas Pütz je na lizimetrskem srečanju 21. 5. 2019 v Gumpensteinu, v Avstriji, predstavil lizimetrsko študijo z naslovom Rosa – pomembna komponenta vodne bilance v travinji. Študija je bila izvedena v sklopu projekta TERENO Soil-can, kjer je bilo postavljenih 126 lizimetrov na 13 različnih lokacijah v Nemčiji. Monoliti za lizimetre so bili vtisnjeni in nato preneseni na drugi del države v namen raziskave vpliva klimatskih sprememb na tla. Tako lahko opazujejo, kaj se dogaja z določenim monolitom, ki je bil npr. prenesen iz nižavja s toplejšo klimo v višavje s hladnejšo klimo. Najnovejša študija z določanjem stopnje rose in vpliva na bilanco vode na letni ravni je bila opravljena od leta 2015 do 2017 na dveh lokacijah. Prva lokacija je bila Selhausen z nadmorsko višino 104 m, opremljena s tremi lizimetri, povprečno letno temperaturo 11°C vsa tri leta in s povprečno količino padavin 700,67 mm na leto v treh letih. Druga lokacija pa je bila Rollesbroich, z nadmorsko višino 511 m, opremljena s šestimi lizimetri, s povprečno letno temperaturo 8°C vsa tri leta in s povprečno količino padavin 1096,00 mm na leto v treh letih. V študiji so ugotovili, da je imela rosa v Selhausenu 7,2 % in v Rollesbrouichu 6,5 % vpliva na bilanco vode glede na količino padavin v teh letih. Dobro je poznati tudi mesečni vpliv rose, saj se rosa ne pojavlja v vseh letnih časih in ima vpliv samo v določenih mesecih. Kot je študija pokazala, so največji vpliv izmerili in izračunali na lokaciji Selhausen v mesecu decembru 2016 s 24,7 % prispevne vode in v Rollesbroichu v januarju 2017 s kar 30,7 % vpliva na vodno bilanco. Takšen podatek kaže, da rosa ni zanemarljiv faktor, temveč močno prispeva k bilanci podzemne vode.

V Sloveniji imamo šest tehtalnih lizimetrov. Enega od njih ima VO-KA v Mestni občini Ljubljana in se uporablja za izračun vodne bilance in poznavanje razmer, kot sta vlaga in temperature tal, ki vplivata na procese dušikovega kroga. Dva monolitna lizimetra uporablja Biotehniška fakulteta v Ljubljani, katere spekter raziskav je osredotočen na kmetijsko področje. Z njima določajo količino in kakovost odcedne vode in računajo bilanco vode v tleh. En kmetijski monolitni lizimeter je postavljen v Mestni občini Maribor, katerega lastnik je tudi občina. Ta se uporablja za merjenje razmer v tleh na kmetijskem zemljišču, analize prehoda snovi v podzemno vodo in

računanje vodne bilance v tleh. En lizimeter je postavljen na vodarni Podgrad pri Gornji Radgoni in se uporablja za računanje vodne bilance in s tem pomaga pri načrtovanju črpalnih količin za potrebe vodarne (zaenkrat še ni v uporabi vodarne). Šesti pa je postavljen na odlagališču smeti oziroma na območju Centra za ravnanje z odpadki v Puconcih, v bližini Murske Sobote. Ta se uporablja predvsem za merjenje razmer v tleh in za računanje vodne bilance tal. Vse zgoraj navedene lizimetre spremljajo tudi vremenske postaje, ki pripomorejo k razumevanju sprememb v tleh.

2.3 PROBLEMI, POVEZANI S KLIMATSKIMI SPREMEMBAMI IN PODZEMNIMI VODAMI

2.3.1 Napajanje podzemne vode

Klimatske spremembe lahko prinašajo vse pogostejša nihanja v padavinah, zlasti se lahko pojavi večja intenzivnost padavin, manjša pogostost, različni tipi padavin itd. V času intenzivnega pojava dežja je infiltracijska kapaciteta tal lahko hitro presežena. Rezultat tega je povečano odtekanje in pretok toka z manjšo infiltracijo padavin v podzemno vodo (Acreman, 2000). Večja pogostost in daljše suše lahko pripeljejo do razpok v tleh in hidrofobnih tal, tako da se v obdobju pojavov padavin kopenski tok poveča in s tem zmanjša napajanje podzemne vode (Döll in Florke, 2005). V območjih, kjer se podzemna voda napaja iz površinskih vodnih teles ali preko preferencialnih poti, kot so makro pore in sklepi, po vsej verjetnosti večja intenzivnost padavin pripelje do večjega napajanja podzemne vode (Döll in Florke, 2005; van Vliet, 2007).

Spremembe padavin v sezoni glavnega napajanja bodo verjetno znatnejše kot letne spremembe. Na to bodo vplivali predhodni pogoji sezon in medletni obseg. Pogostejše suše ali zmanjšanje padavin v poletnih mesecih lahko privedejo do večjega deficita vlažnosti tal in posledično bodo lahko periode napajanja krajše (Acreman, 2000; Holman, 2006; Döll in Florke, 2005). To se lahko še poslabša s povečanjem temperature in evapotranspiracije, vendar je učinek klimatskih sprememb na transpiracijo iz vegetacije negotov.

V regijah z višjo nadmorsko višino se lahko napajanje pojavi prej, zaradi toplejših zimskih temperatur se premakne pomladansko taljenje snega od pomladi proti zimi (van Vliet, 2007).

Razmerje med spremembo v napajanjem podzemne vode in spremembo v padavinah ni 1:1. Green idr. (1997) so z modeliranjem vplivov povečanja atmosferskih koncentracij CO₂ na padavine in potencial režima evapotranspiracije simulirali učinke klimatskih sprememb na podzemno vodo v Gngangara Moundu v vzhodni Avstraliji. Ugotovili so, da sta velikost in tudi smer sprememb v napajanju odvisni od lokalne sestave tal, vegetacije in klime v regiji.

2.3.2 Odtok podzemne vode

Vpliv klimatskih sprememb na odtok podzemne vode ni toliko poznan, saj je ta odtok težko meriti in se tako pojavi praznina v podatkih, s katerimi bi lahko ovrednotili proces odтока (van Vliet, 2007). V preteklosti so bile ocene osredotočene na razumevanju, koliko vode vstopi v sistem podzemne vode in ali je primerna za človeško uporabo. Manj se je razmišljalo o ekosistemski podpori podzemne vode, kot so kopenska vegetacija, tok podzemne vode v tokove, mokrišča in oceani.

Pri evapotranspiraciji neposredne klimatske spremembe vključujejo: spremembo v vegetacijski rabi podzemne vode, zaradi povišane temperature in koncentracije CO₂; spremembe v dostopnosti vode za evaporacijo ali transpiracijo, predvsem zaradi sprememb v režimu padavin.

Medtem ko je CO₂ verjetno poglaviti faktor v vodni bilanci, je njegov obseg še vedno negotov. Eksperimentalni dokazi kažejo, da povišana koncentracija atmosferskega CO₂ teži k zmanjšanju stomatalnih odprtin rastlin in posledično k manjši transpiraciji (Kruijt idr., 2008).

Daljše in vse pogostejše suše, zaradi povišane temperature in večjih sprememb v padavinah, bodo pripeljale k večjemu deficitu vlažnosti tal. Posledica tega je lahko izčrpanje vode vezane v tleh. Ker vegetaciji voda ni dostopna, ta zaradi preživetja, postane vedno bolj odvisna od podzemne vode (v kolikor podzemna voda lahko prodira do območja korenin). V sušnih obdobjih to lahko pripelje k povečani evapotranspiraciji iz podzemne vode. Posredni vplivi povezani s spremembo rabe tal lahko vplivajo tudi na evapotranspiracijo iz podzemne vode (Dragoni in Sukhija, 2008).

Črpanje podzemne vode je tudi ena oblika izgube podzemne vode. Predvideno povečanje variabilnosti padavin najverjetneje pripelje k sušam in poplavam, ki vplivajo na zanesljivost oskrbe površinske vode, tako na kvantiteto kot tudi na kvaliteto. Človeška potreba po podzemni vodi bo najverjetneje povečala izravnavo upada dostopnosti površinske vode in dostopnost postane kritičen vidik za prilagajanje skupnosti klimatskim spremembam (Foster, 2008).

2.3.3 Zaloga podzemne vode

Zaloga podzemne vode je odvisna od napajanja in praznjenja podzemne vode, ki se odvija v nekem časovnem obdobju skozi procese, ki se pojavljajo v razponu med dnevi ter do tisoče let. Seveda je velikost zaloge in njeno spreminjanje odvisna od specifičnih lastnosti, velikosti in tipa vodonosnika. Globlji vodonosniki se na velik obseg klimatskih sprememb odzovejo z zakasnitvijo, ampak ne na kratkoročne klimatske variabilnosti. Plitvi sistemi podzemne vode (predvsem nekonsolidiran sediment ali drobljena podlaga vodonosnika) so bolj odzivni na manjši obseg klimatskih variabilnosti (Kundzewicz in Döll, 2008). Vpliv klimatskih sprememb na zalogo je tudi odvisen od tega, ali je podzemna voda obnovljiva ali ne.

2.3.4 Kvaliteta podzemne vode

V mnogih območji vodonosniki predstavljajo pomemben vir pitne vode, zato je vzdrževanje teh esencialnega pomena za skupnosti in kmetijske dejavnosti, ki so odvisne od njih. Klimatske spremembe lahko vplivajo tako na termalne kot tudi kemijske lastnosti podzemne vode. V plitvih vodonosnikih se lahko temperatura podzemne vode poviša že s povišanjem temperature ozračja. V sušnih in delno sušnih območjih se poveča evapotranspiracija, kar lahko vodi do zasoljevanja podzemne vode. V obalnih območjih, kjer se nivo morja poviša in nevihte povečajo, lahko pride do prodora morske vode v vodonosnike in zasoljenosti podzemne vode. Tako lahko spremembe v napajanju in odtekanju podzemne vode prinesejo tudi spremembe v ranljivosti vodonosnikov z razpršeno onesnaženostjo (van Vliet, 2007).

V območjih, kjer se pričakujejo intenzivne padavine, so onesnažila (pesticidi, organske snovi, težke kovine itd.) izprana z zemljine neposredno v vodna telesa. Kjer se vodonosniki napajajo iz površinskih vodnih teles, je pričakovan padec kvalitete podzemne vode. Kjer je pričakovano zmanjšanje napajanja vode, lahko zaradi manjšega redčenja pride tudi do zmanjšanja kvalitete vode (IPCC, 2007) in v nekaterih primerih tudi do vdora slabše kvalitete vode iz sosednjih vodonosnikov (van Vliet, 2007).

2.3.5 Vplivi ne-klimatskih dejavnikov

Medtem ko bodo klimatske spremembe predvidoma neugodno vplivale na kvantiteto in kvaliteto podzemne vode, bodo globalno gledano v nekaterih predelih imeli večji vpliv ne-klimatski dejavniki, kot so rast globalne populacije, potreba po hrani (posledični namakalno kmetijstvo), sprememba rabe zemljišč in socialno-ekonomski dejavniki, ki vplivajo na sposobnost primerne ravnjanja z viri podzemne vode.

Zgodovinsko gledano, tako v razvitih narodih kot tudi narodih v razvoju, je bila potreba po podzemni vodi slabo upravljana. Slabo upravljanje se je pokazalo predvsem v času 20. stoletja, kjer je bila intenzivna raba podzemne vode za proizvodnjo kmetijskih pridelkov. Povečana raba podzemne vode v povezavi z rastjo populacije je tudi velik dejavnik, predvsem v sušnih in delno sušnih predelih, kjer je podzemne vode malo.

Tudi sprememba rabe zemljišč vpliva na vire podzemne vode, vendar sta stopnja in velikost vpliva odvisni od lokalnih pogojev. Seguis idr. 2004 so v prispevku »Simulated impacts of climate change and land clearing on runoff from a small Sahelian catchment« ugotovili, da je prehod iz vlažnega obdobja na »naravni« prekritosti tal (1950) do suhega obdobja na obdelani prekritosti tal (1992) rezultat v 30 - 70 % povečanem odtoku vode. Napajanje tega Sahelskega povodja je bilo predvsem preko ribnikov. Seguis idr. 2004 so v tem prispevku prišli do sklepa, da ima sprememba rabe tal večji vpliv na to povodje kot suša. Tudi Mutibwa, 2008, je na mednarodni konferenci v Ugandi predstavil raziskavo z naslovom »Land use impacts on gravity-fed water supply system in south-western Uganda. Prišel je do zaključka, da se je zaradi povečanja populacije povečala potreba po obdelovanju zemlje in posledično zmanjšala naravna pokritost tal. Posledica izgube

naravne vegetacijske prekritosti tal sta bila manjši sprejem in infiltracija padavin ter povečan odtok vode. Vse skupaj je prineslo do 90 % zmanjšanja donosa iz lokalnih izvirov podzemne vode.

Prevladujoči mehanizem napajanja podzemne vode je neposredna infiltracija padavin in zato je rezultat sprememb v odnosu med padavinami in odtoku pomembno zmanjšanje napajanja podzemne vode.

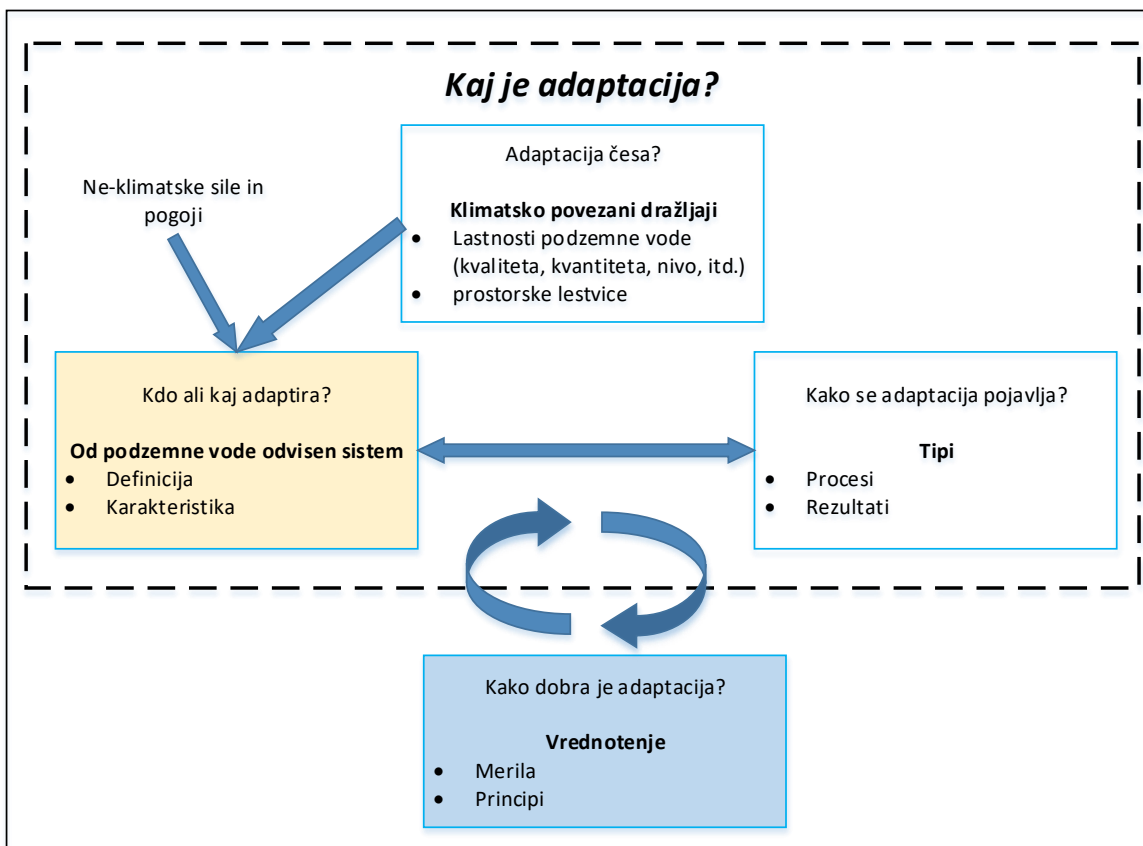
Tehnološki in sociološko-ekonomski dejavniki imajo tako sedaj, kot bodo tudi v prihodnosti imeli, vpliv na upravljanje s podzemnimi vodami. Problemi se kažejo predvsem v:

- pomanjkanju usposobljenega kadra;
- povečanem onesnaženju vode zaradi kmetijstva, industrije in rudarstva;
- nekontrolirani abstrakciji podzemne vode;
- pomanjkanju pravilnega načrtovanja rabe tal;
- nezadostni finančni zmogljivosti in
- pomanjkanju izobraževanja in zavedanja med ljudmi.

Tudi Mutibwa (2008) je prišel do zaključka, da sta za primerno upravljanje z viri podzemne vode potrebni ne samo tehnološka in finančna zmogljivost, ampak tudi »politična dobra volja«.

2.3.6 Adaptacija na klimatske spremembe

Sistemi, ki so odvisni od podzemne vode, imajo zmožnost obvladovanja nekaterih stopenj hidroloških variabilnosti kvalitete in kvantitete vode brez oslabitve. Če je sistem občutljiv na klimatske spremembe, potem območje obvladovanja podzemne vode variira v različnih lastnostih podzemne vode, kot je kvaliteta, globina, pritisk, tok otekanja vode itd. Vendar lahko ekstremi naravnih variabilnosti (daljše klimatske suše) za določene lastnosti podzemne vode pomenijo, da izpadejo iz območja obvladovanja v sistemu, česar posledice so lahko vidne v ekonomsko-sociološki in/ali okoljski škodi. Na nekaterih območjih človeško povzročene klimatske spremembe ogrožajo hidrološko okolje tako, da je njeno stanje pogosteje zunaj območja obvladovanja in potencialno v neprestano škodo. Adaptacije so ustvarjene prilagoditve v naravnem ali človeškem sistemu kot odziv na izkušene ali projicirane klimatske pogoje ali njihove koristne ali neugodne učinke ali vplive (Smit idr., 2001). Adaptacije so esencialno vodeni odzivi na nevarnosti, povezane s klimatskimi variabilnostmi in klimatskimi spremembami.



Slika 3: Diagram koncepta adaptacije od podzemnih vod odvisnega sistema na klimatske spremembe in variabilnosti

Vir: prevedeno in prirejeno po Smit idr., 2000

Diagram 1 (Smit idr., 2000) uporablja tri osnovna vprašanja za koncept klimatske adaptacije:

1. Adaptacija česa?
2. Kdo ali kaj adaptira?
3. Kako se adaptacija pojavlja?

Prepoznavna in/ali razvoj adaptacije bi morala odražati razumevanje teh treh vprašanj. Pred uporabo ali izvajanjem je potrebno adaptacijo ovrednotiti, ali je primerna za namen in stroškovno učinkovita. Adaptacije na klimatske spremembe in variabilnosti morajo dopolniti ali vključiti tudi adaptacije ne-klimatskih pritiskov ali pogojev, ki lahko vplivajo na sistem.

Adaptacije se lahko pojavijo kot rezultat načrtovanih dejavnosti (Diagram 1) ali avtonomno. Naravni ali človeški sistemi, ki so neprestano pod izzivom klimatskih in hidroloških ekstremov tendirajo k adaptaciji, da minimalizirajo škodo, v kolikor se ponovno pojavi izziv. Načrtovane adaptacije so predkupni odziv, ki temelji na oceni prihodnosti klime in hidrološkega tveganja.

2.4 EVROPSKA PRIZADEVANJA NA PODROČJU KLIMATSKIH SPREMEMB

Po navedbah Evropske komisije je za vzroke klimatskih sprememb kriv predvsem človek. Človek naj bi s svojimi dejanji, kot so raba fosilnih goriv, krčenje deževnega gozda in z živinorejo posegal v klimatske spremembe in temperaturne razmere na Zemlji. S temi dejavnostmi se sproščajo ogromne količine toplogrednih plinov, ki skupaj z že prisotnimi povzročajo učinek tople grede. Učinek tople grede pomeni, da toplotno sevanje z Zemljine površine absorbirajo atmosferski toplogredni plini in se del tega toplotnega sevanja vrne nazaj na površino, kar povzroča segrevanje ozračja v nižjih plasteh. Poglavitni toplogredni plini so ogljikov dioksid (CO₂), metan, dušikov oksid in fluorirani plini. CO₂ se najpogosteje sprošča pri dejavnostih človeka in povzroča 63 % globalnega segrevanja. V ozračju je trenutno za 40 % več CO₂, kot ga je bilo v začetku industrijske dobe. Drugi toplogredni plini so v ozračju sicer v manjših količinah, vendar je njihova sposobnost zadrževanja toplote lahko tudi tisočkrat večja (vir: Evropska komisija, vzroki in posledice podnebnih sprememb [Medmrežje 2], 2018).

Povprečna globalna temperatura ozračja je zdaj za 0,85°C višja kot ob koncu 19. stoletja. Po mnenju strokovnjakov se lahko temperatura ozračja dvige za največ 2°C, nato bomo presegli mejo, ko nam bodo grozile nevarne in verjetno katastrofalne spremembe globalnega okolja, navaja Evropska komisija (vir: Evropska komisija, vzroki in posledice podnebnih sprememb [Medmrežje 2], 2018).

Evropska komisija navaja, da so posledice klimatskih sprememb opazne po vsem svetu. Večni led se tali, gladina morja se dviga. Ponekod so vse pogostejši izredni vremenski dogodki in padavine, ekstremni vročinski vali in suša. Zaradi močnega deževja in drugih ekstremnih vremenskih dogodkov nastajajo poplave, tudi kvaliteta vode se slabša in ponekod prihaja celo do manjšanja vodnih virov. Za Evropo to pomeni, da v južni in srednji Evropi prihaja do vročinskih valov, gozdnih požarov in suš. Podobno je tudi v srednji Evropi, kjer je podnebje vedno bolj suho in lahko nastajajo požari ter prihaja do suš. Medtem ko v severni Evropi prihaja do velikih količin padavin oz. nalivov, česar posledice so poplave v poznem jesenskem in zimskem času. Večje posledice občutijo države v razvoju, kjer so prebivalci močno odvisni od svojega naravnega okolja in nimajo sredstev za uspešno spopadanje s klimatskimi spremembami (vir: Evropska komisija, vzroki in posledice podnebnih sprememb [Medmrežje 2], 2018).

Prvi korak k spopadanju s podnebnimi spremembami je bila Okvirna konferenca Združenih narodov o spremembah podnebja (UNCED – United Nations Conference on Environment and Development), v Riu de Janeiru, v Braziliji, leta 1992. Udeležilo se je je 178 delegacij različnih držav z vsega sveta, kar je bil velik uspeh.

Poglavitni cilj konvencije je bil omejitev toplogrednih plinov v ozračju do te mere, ki ne bi negativno vplivala na svetovni podnebni sistem. Največjo odgovornost nosijo razvite države, saj večina toplogrednih plinov izvira prav od njih. Konvencija razvitim državam iz moralnega vidika nalaga tudi pomoč nerazvitim državam z zagotavljanjem denarne in tehnološke pomoči, z okolju prijaznimi tehnologijami in znanjem ter denarno pomočjo (Keating, 1995: 73).

S podpisom konvencije so se države zavezale, do bodo do leta 2000 zmanjšale emisije CO₂ in drugih toplogrednih plinov na raven iz leta 1990. ZDA so zahtevale, da se iz dogovora o

omejevanju emisij CO₂ umakne bolj obvezujoče cilje in časovne roke. Ker konvencija ni več vsebovala dovolj konkretnih obveznosti, so leta 1997 sprejeli Kyotski protokol.

Kyotski protokol temelji na podobni osnovi, kot je temeljila Okvirna konvencija Združenih narodov o spremembah podnebja. Tam je bila določena omejitev obvezujočih zmanjšanj emisij toplogrednih plinov za razvite države. Omejitve so bile izračunane za vsako državo posebej, glede na njihovo stanje iz leta 1990, in bi morale biti dosežene med leti 2008 in 2012. Cilj omejitev naj bi prinesel zmanjšanje emisij toplogrednih plinov za najmanj 5 %. Pomanjkljivost protokola je bila, da za države v razvoju ni bil zavezujoč in kasneje je mnogo držav tudi priznalo, da ne morejo doseči tega cilja v zastavljenem časovnem okvirju.

Leta 2001 so v Bonnu, v Nemčiji, potekala dodatna pogajanja in na koncu je bil sporazum podpisan. Mnogi menijo, da ta sporazum ni dovolj, vendar je belgijski minister poudaril, da je ta sporazum vseeno bolje, kot če ne bi naredili nič (Retallack, 2001).

Že pri okvirni konvenciji so ZDA zahtevale omilitev ukrepov, tokrat so šle celo korak naprej in predsednik Bush je odločil odstop od protokola. Kljub temu da so ZDA največji proizvajalec emisij CO₂, zaradi odstopa niso bile več zavezane k zmanjšanju emisij v zrak.

Decembra 2015 se je v Parizu odvijala konvencija na temo podnebnih sprememb, katere načrt za omejitev globalnega segrevanja na manj kot 2°C je bil sprejet 12. decembra. Sporazum je začel veljati decembra 2016, in podpisalo ga je 194 držav, od tega jih je 118 sporazum ratificiralo. Med njimi so bile tudi ZDA pod vodstvom takratnega predsednika Baracka Obame. (vir: Evropski svet, Svet Evropske Unije [Medmrežje 3], 2018).

Poglavitne točke pariškega sporazuma so bile (vir: Evropski svet, Svet Evropske Unije [Medmrežje 3], 2018):

1. Omejiti povišanje globalne povprečne temperature, da ne bi presegle 2°C nad predindustrijsko ravnjo in sprejeti ukrepe in mehanizme za doseganje teh ciljev.
2. Povečanje prilagajanja posledicam klimatskih sprememb ter zmanjšanje emisij toplogrednih plinov tako, da ne ogrožajo proizvodnje hrane.
3. Zagotavljanje sredstev za projekte, ki zmanjšujejo nastajanja emisij toplogrednih plinov.

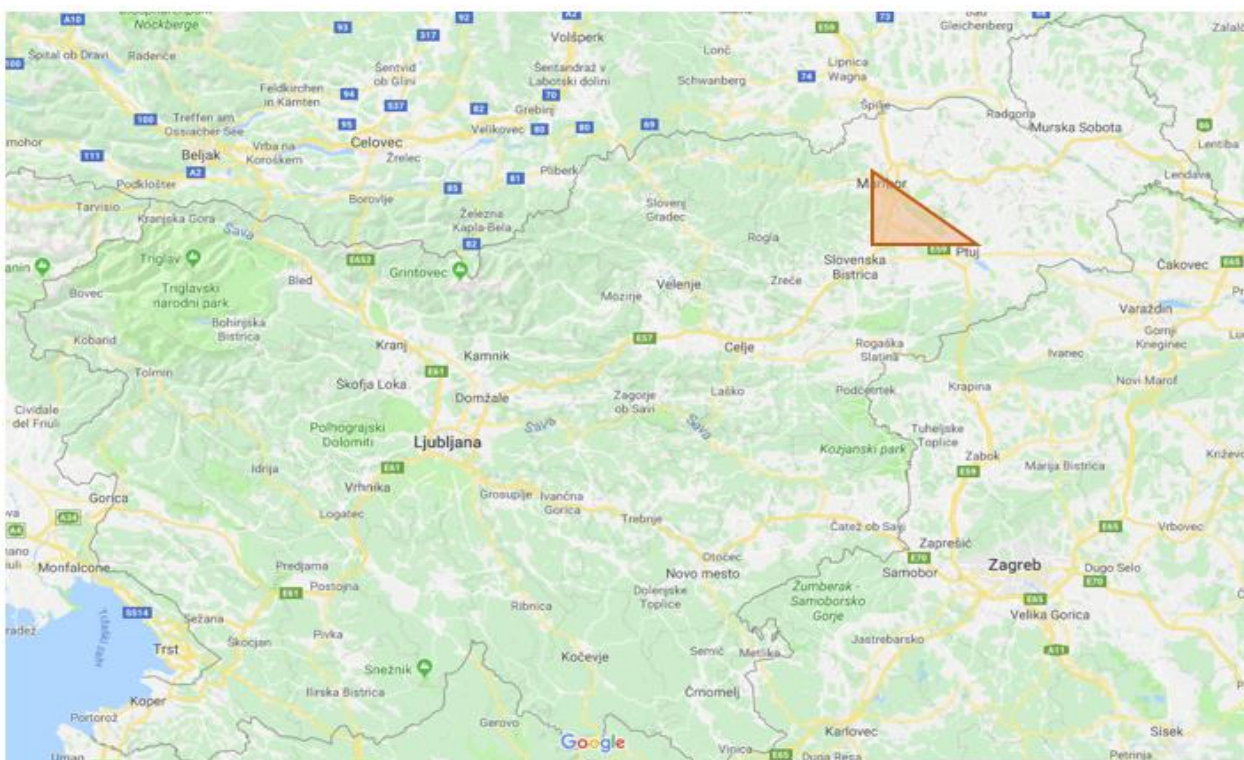
Združene države Amerike (ZDA) so 1. junija 2017, po izvolitvi novega predsednika Donalda Trumpa, ponovno zapustile sporazum. Po izjavah Donalda Trumpa je sporazum za ZDA slab in koristi Kitajski in Indiji ter ZDA kaznuje. Trump je, kot navaja časnik DELO, v dolgi razlagi na tiskovni konferenci pred belo Hišo 1. junija 2017 zavrnil znanstveno statistiko o segrevanju ozračja (vir: časnik Delo 1. junij [Medmrežje 4], 2017). Problem sporazuma je tudi v tem, da lahko države izstopijo brez predvidenih sankcij.

Evropski svet je že oktobra 2014 sprejel, da bo izvajal podnebno politiko, ki je bila načrtovana z okvirom podnebne in energetske politike EU do leta 2030. Poglavitni cilj je zmanjšanje emisij toplogrednih plinov za najmanj 40 % v primerjavi z ravnjo iz leta 1990 (vir: Evropski svet, Svet Evropske Unije [Medmrežje 3], 2018).

3 OPIS OBRAVNAVANEGA OBMOČJA

3.1 GEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI

Dravsko polje leži na severovzhodnem delu Slovenije in se nekako v obliki pravokotnega trikotnika na površini s približno 260 km² razteza od Maribora, kjer ga na zahodu obdaja Pohorje, proti Ptujju na vzhodu in jugovzhodu in na zahodu proti Pragerskemu ter na jugu do vznožja haloških gričev. Predstavlja obsežen del Štajerske. Glavni vodotok je reka Drava (Žlebnik, 1982).

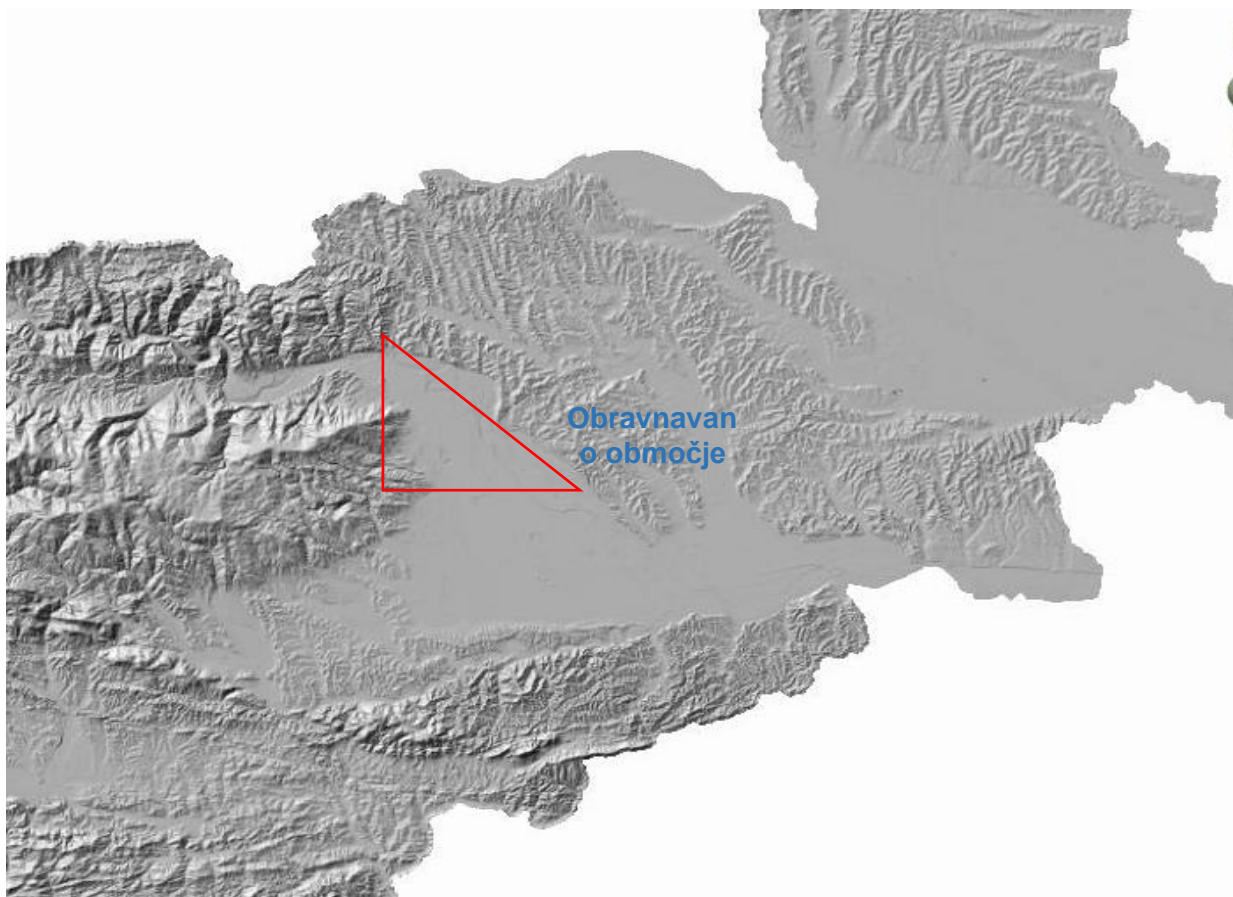


Slika 4: Prikaz območja Dravskega polja

Vir: Google Maps, 2018

Za Dravsko polje je značilno subpanonsko podnebje, kar pomeni, da ima topla poletja in hladne zime. Subpanonsko oziroma zmerno celinsko podnebje obsega največji del Slovenije. Povprečne temperature najhladnejšega meseca se gibljejo med 0 in -3°C in najtoplejšega meseca med 15 in 20°C. Letna količina padavin Dravskega polja se giblje med 800 in 1300 mm (Ogrin).

Dravsko polje glede na geološko sestavo delimo na zgornje in spodnje Dravsko polje. Oba dela imata tudi svoji uredbi o vodovarstvenem območju glede na vodno telo vodonosnika. V diplomski nalogi je bilo potrebno dobiti oceno vpliva klimatskih sprememb na bilanco podzemne vode na



Slika 6: Višinski model obravnavanega območja - DMR

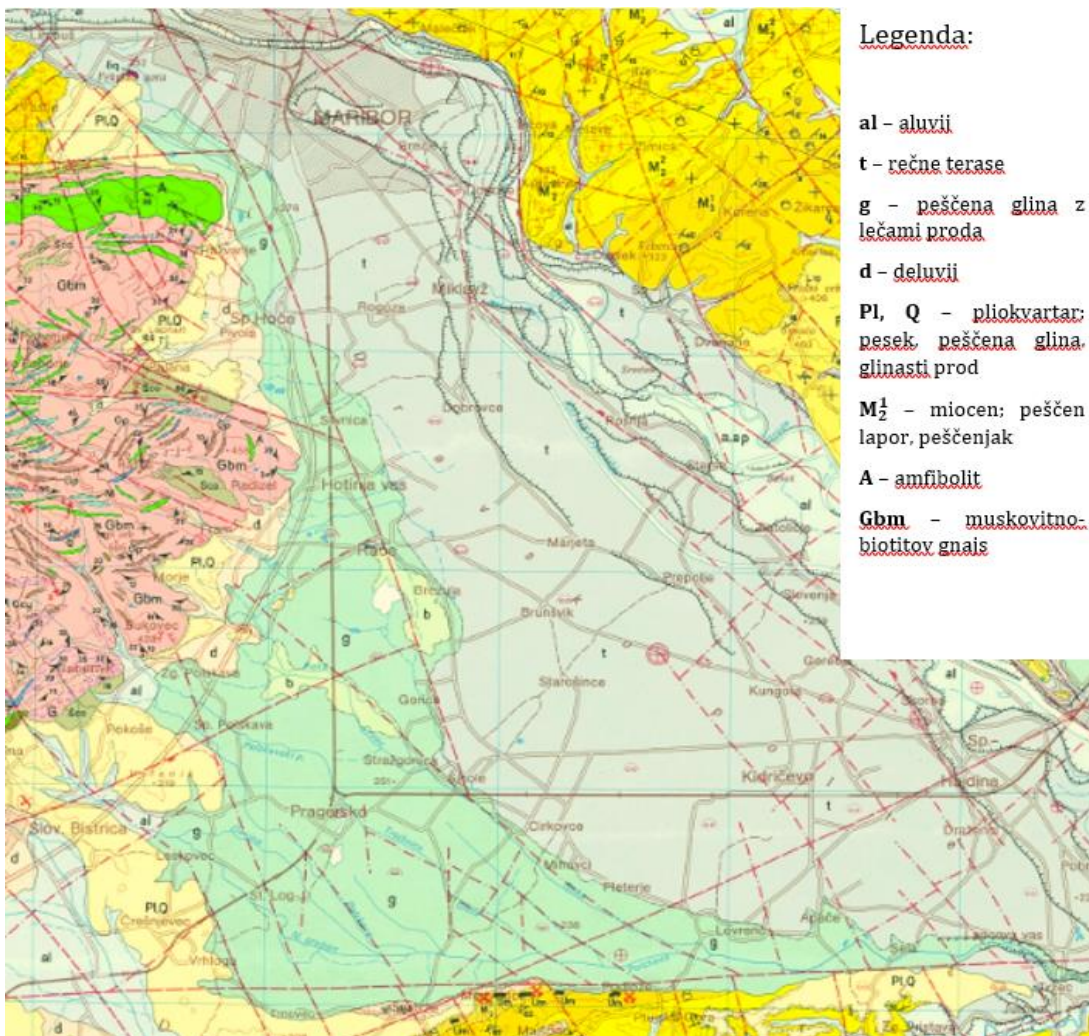
Vir: Atlas okolja MKO-Arso, 2018

3.2 GEOLOŠKE ZNAČILNOSTI

Dravsko polje je nastalo v pleistocenu, ko se je reka Drava postopoma vrezovala v terciarni relief in ga v fazah tektonskega mirovanja ali grezanja zasula z naplavinami. Kasneje je svojo strugo vrezala v lastne naplavine, kar dokazujejo številne terase. Na severovzhodnem delu Dravskega polja imamo 4 terase, katerih najvišja na 270 n. m. v. je v Teznem in se razteza od Teznega čez Tezenski gozd v smeri ceste Rogoza - Miklavž. Druga terasa je na višini 265 n. m. v. v Mariboru in poteka vzporedno z nižje ležečo teraso od Maribora, mimo Brezja, Dogoš, Miklavža, Šmarjete, Njiverk na Ptujsko polje. Najmlajša pleistocenska terasa poteka vzporedno z Dravo od Pobrežja, mimo Zrkovcev, Dogoš, Miklavža, Loke, Gerečje vasi in Zgornje Hajdine na Ptujsko polje (Žlebnik, 1982).

Pleistocenske naplavine sestavljajo prod s plastmi in lečami peska ter v Stražunskem gozdu tudi vložke gline. Ponekod se zaradi diagenoze pojavlja tudi rahlo vezan konglomerat, predvsem na obrobju teras. Na severnem robu polja, predvsem okoli Maribora, je prod bolj grob. Pod nizko

pleistocensko teraso je halocenska ravnina, ki poteka ob reki Dravi od Maribora do Ptuja. Na površini je plast peska z meljem in pod to plastjo je prod s peskom, ki je zelo neenakomerne sestave. Na tej halocenski ravnini med Mariborom in Ptujem so bile postavljene opazovalne vrtime. Podatki sestave tal, ki so bili pridobljeni iz vrtin, kažejo, da se menjavajo plasti in leče proda s peskom, plasti granuliranega proda s peskom, peska in peska s prodniki. Močna heterogena sestava se kaže tudi v koeficientu propustnosti (Žlebnik).



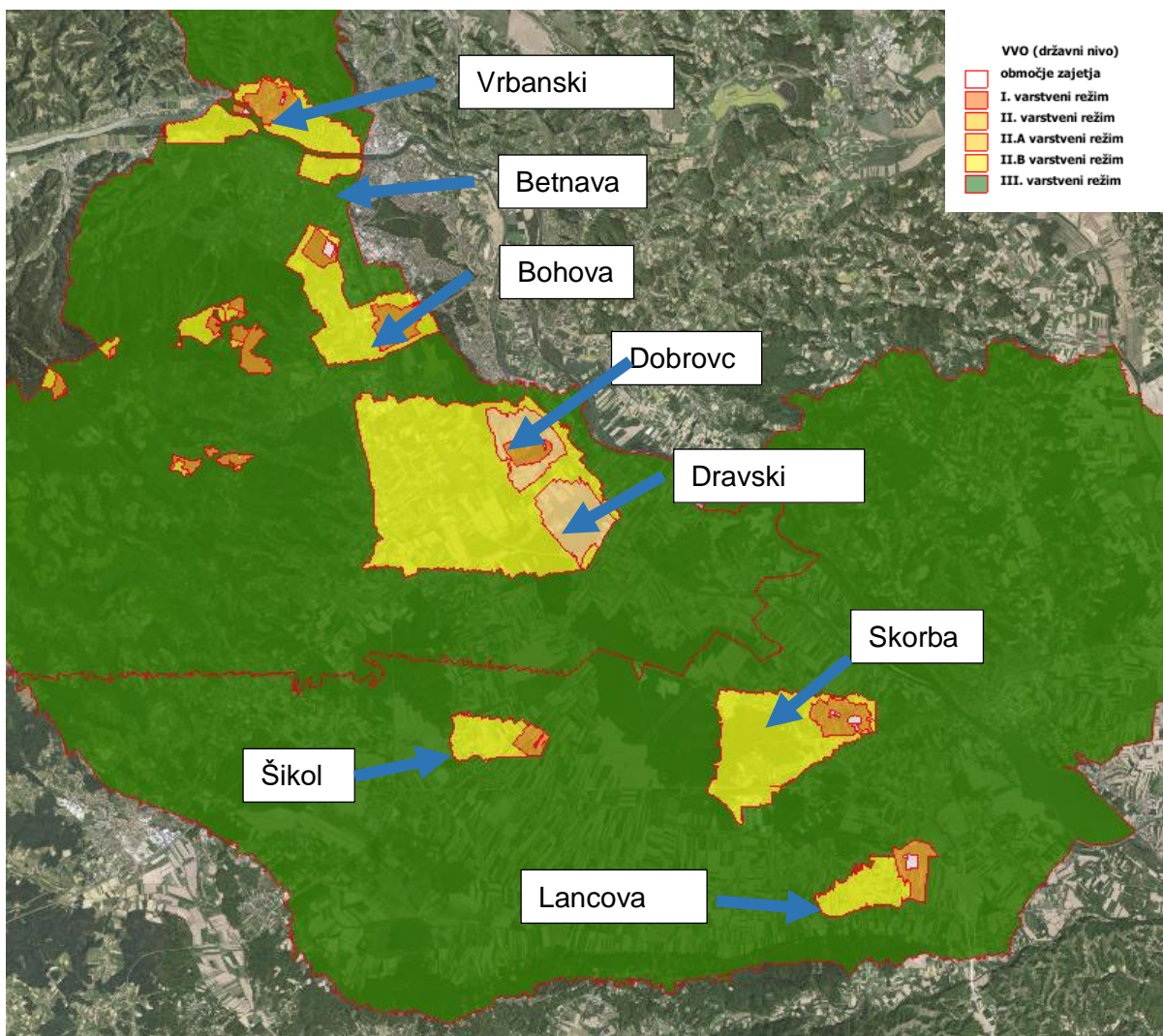
Slika 7: Geološka zgradba Dravskega polja z okolico, izsek iz OGK 1:100.000, lista Maribor in Leibnitz

Vir: GeoZS, 2018

3.3 VODOVARSTVENA OBMOČJA

Na Dravskem polju imamo znotraj vodovarstvenih območij 8 pomembnejših črpališč pitne vode. Območja so določena po dveh Uredbah:

- Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ruš, Vrbanskega platoja, Limbuške dobrave in Dravskega polja (Ur. l. RS, št. 24/2007, spremembi: Ur. l. RS, št. 32/2011 ter št. 22/2013) in
- Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Dravsko-Ptujskega polja (Ur. l. RS, št 59/07, 32/11 in 24/13) (vir: Atlas okolja MKO-ARSO).



Slika 8: Vodovarstvena območja po Uredbi o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ruš, Vrbanskega platoja, Limbuške dobrave in Dravskega polja (Ur. l. RS, št. 24/2007, spremembi: Ur.l. RS, št. 32/2011 ter št. 22/2013) in po Uredbi o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Dravsko-Ptujskega polja (Ur. l. RS, št 59/07, 32/11 in 24/13)

Vir: Atlas okolja MKO-ARSO, 2018

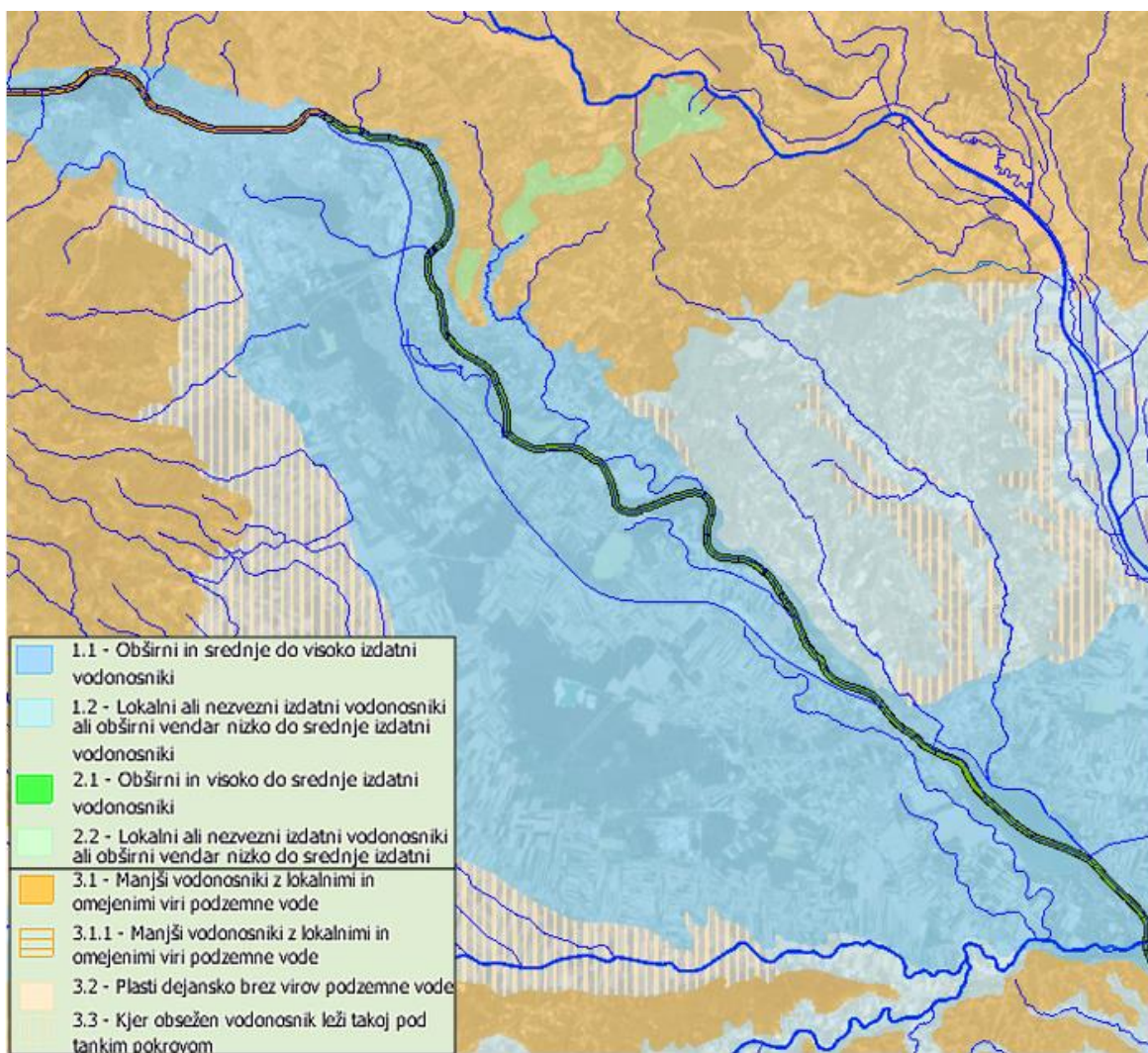
Raziskava diplomske naloge se osredotoča na severni oziroma zgornji del Dravskega polja, kar pomeni, da je zajeto območje črpališč pitne vode Betnava, Bohova, Dobrovce in še neizgrajenega črpališča Dravski dvor. Izvzeto je črpališče Vrbanski plato, saj se, kot že rečeno, v glavnem napaja z infiltracijo reke Drave in ni odvisno od padavin na sami lokaciji, ter črpališča Šikole, Skorba in Lancova vas na južnem oziroma spodnjem Dravskem polju. Obravnavano območje je določeno po Uredbi o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ruš, Vrbanskega platoja, Limbuške dobrove in Dravskega polja (Ur. l. RS, št. 24/2007, spremembi: Ur. l. RS, št. 32/2011 ter št. 22/2013).

»Ta uredba določa vodovarstveno območje in vodovarstveni režim za vodno telo Ruš, Vrbanskega platoja, Limbuške dobrove in Dravskega polja na območju Mestne občine Maribor ter občin Hoče–Slivnica, Lovrenc na Pohorju, Miklavž na Dravskem polju, Rače–Fram, Ruše, Slovenska Bistrica in Starše, ki se uporablja za oskrbo prebivalcev s pitno vodo, ter vodovarstveni režim in roke, v katerih morajo lastniki ali drugi posestniki nepremičnin na tem območju svoje delovanje prilagoditi določbam te uredbe.« (Ur. l. RS, št. 24/2007)

V splošnem uredba določa ukrepe, prepovedi in omejitve za rabo vode in gradnjo na območju vodovarstvenih območij za vodno telo vodonosnikov Ruš, Vrbanskega platoja, Limbuške dobrove in Dravskega polja. S tem se zagotavlja varnost oz. omeji riziko možnega vstopa antropogenih onesnažil v vodno telo.

3.4 HIDROLOŠKE ZNAČILNOSTI

Na severnem in severovzhodnem delu Dravskega polja teče reka Drava, ki ima fluvioglacialni režim (L. Žlebnik, 1982). Fluvioglacialni vodni režim pomeni, da ima najvišje vodne pretoke junija, v času taljenja ledenikov. Drugi najvišji pretok doseže novembra, zaradi jesenskih deževij. Sicer se pretok reke Drave regulira s postavljenimi hidroelektrarnami, vendar prihaja zaradi večjih neregularnih vremenskih pojavov tudi do poplav. Zadnje čase ugotavljamo, da v jesenskem času, zaradi močnih nenadnih padavin, reka Drava prestopa bregove, ker se tok reke poveča iz srednjega letnega pretoka $297 \text{ m}^3/\text{s}$ tudi na več kot $2800 \text{ m}^3/\text{s}$. V začetku novembra leta 2012 je reka Drava celo dosegla pretok tudi preko $3100 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 9: Hidrogeološka karta Dravskega polja s površinskimi vodotoki

Vir: Atlas okolja MKO-ARSO, 2018

4 OPIS LOKACIJ PRIDOBLENIH PODATKOV ZA OBDELAVO

4.1 VREMENSKE POSTAJE

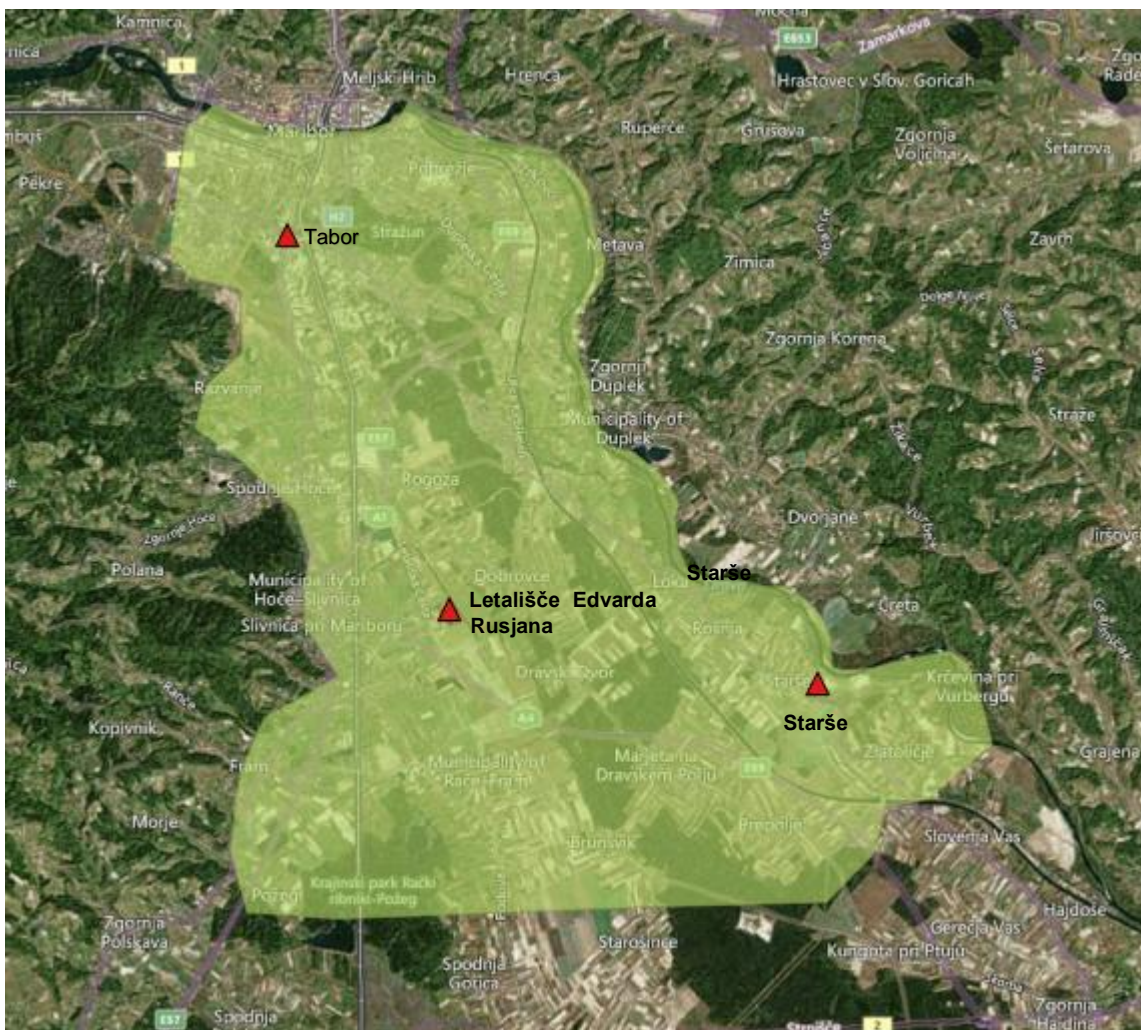
V nadaljevanju so bili uporabljeni meteorološki podatki štirih uradnih vremenskih postaj na območju Dravskega polja. Nekateri teh postaj delujejo že od leta 1961 in nam dajejo poglobljene podatke za raziskavo. Med najpomembnejše vremenske postaje na območju Dravskega polja štejemo vremenski postaji Maribor Tabor in Letališče Edvarda Rusjana Maribor. Ti dve postaji merita skoraj vse meteorološke pojave. Uporabljena je tudi meteorološka postaja Starše, ki leži v neposredni bližini črpališča Starše. Vendar so bili za potrebe in raziskavo v diplomski nalogi uporabljeni samo podatki o temperaturi in padavinah, saj za računanje vodne bilance drugi podatki niso potrebni. S podatki, kot so moč sončnega obsevanja, minimalna in maksimalna temperatura, podatki o vlažnosti itd., se lahko računa evapotranspiracija, vendar Agencija Republike Slovenije za okolje preko njihovega portala omogoča dostop do že izračunanih podatkov.

Preglednica 1: Koordinate vremenskih postaj po Gauß-Krüger koordinatnem sistemu

Vremenska postaja	X	y	z
Maribor Tabor	549839.8	155245.6	275
Letališče Edvarda Rusjana	552719.8	148633.8	264
Starše	559213.7	147304	240

Avtor: T. Kopač, 2018

Koordinate so bile pridobljene s spletnega portala meteo.si, ARSO, vendar jih je bilo potrebno pretvoriti iz Mercator (WGS84) koordinatnega sistema v Gauß-Krüger koordinatni sistem, za atributno tabelo v programu QGIS za prikaz natančne lokacije vremenskih postaj na severnem Dravskem polju (slika 6).



Slika 10: Natančen prikaz lokacij vremenskih postaj na Dravskem Polju v programu QGIS

Avtor: T. Kopač, 2018

4.2 OPAZOVALNE VRTINE PODZEMNE VODE

V Sloveniji imamo opazovalne vrtine podzemne vode, v katerih se spremlja nivo podzemne vode. Nekatere vrtine se še danes uporabljajo za monitoringe gladin ali kakovosti podzemne vode. Podatki gladin nekaterih vrtin so javno dostopni na spletnem portalu Agencije Republike Slovenije za okolje. V kolikor želimo tudi natančno nahajališče vrtin, pa se moramo obrniti na Portal e-vode (atlas voda, DRSV), kjer je mnogo teh vrtin zavedenih in prikazanih na karti. Koordinate vrtin za prikaz v programu QGIS so bile pridobljene prav s tega portala.

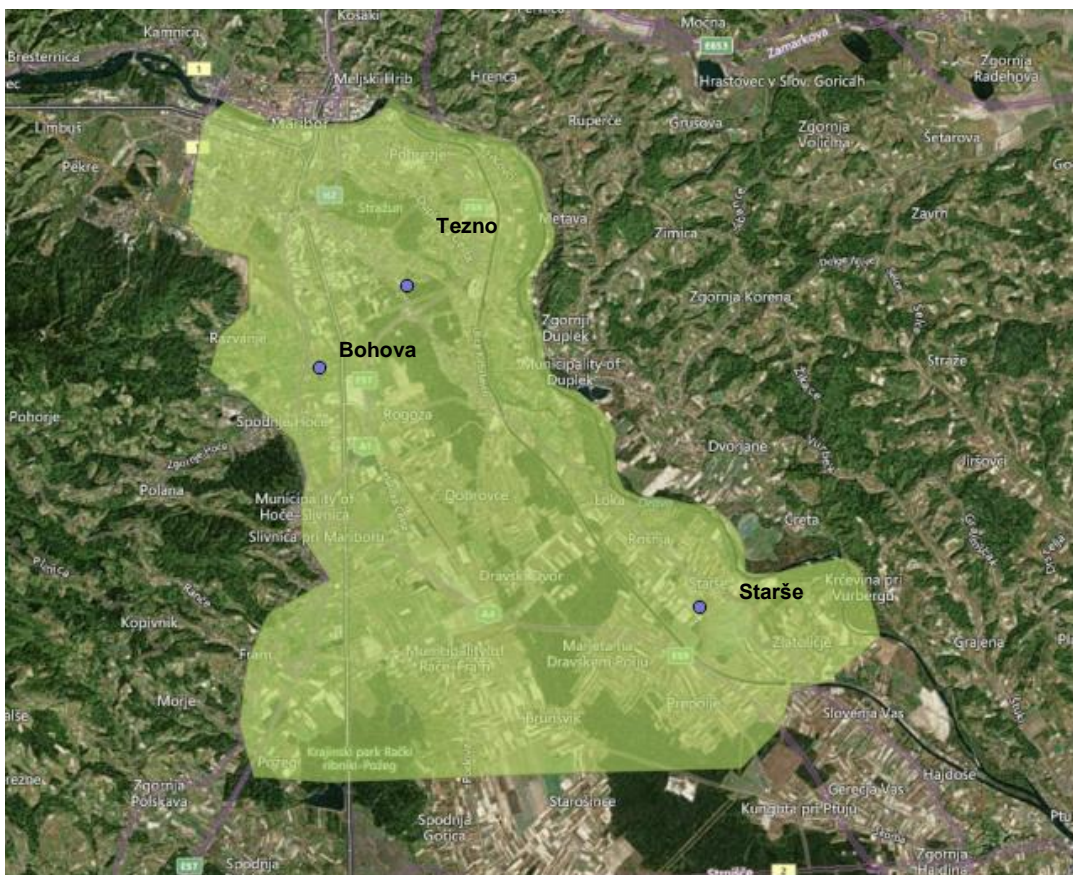
Po pregledu možnih vrtin, ki bi bile primerne za raziskave v diplomski nalogi, se je pri nekaterih opazil nekontinuirani niz podatkov, podatki nekaterih vrtin pa ne segajo dovolj v preteklost. V

nekaterih primerih manjka celoten niz meritev od leta 1969 do 1990. Največ podatkov je pridobljenih iz vrtine na Teznu. Ti podatki predstavljajo glavno vlogo za primerjavo gladine podzemne vode z meteorološkimi podatki ter za izračun vodne bilance. Uporabni so bili tudi podatki vrtine v Bohovi, saj se tam nahaja črpališče, ter v Staršah zaradi vremenske postaje, ki je na tej lokaciji. Sicer imata vrtini Bohova in Starše manjkajoče podatke, vendar sta vseeno pokazali nekakšen trend nivoja podzemne vode v zadnji 60 letih.

Preglednica 2: Koordinate vrtin po Gauß-Krüger koordinatnem sistemu

Vrtina	x	y
Tezno	552340	153642
Bohova	550520	151900
Starše	558520	146845

Avtor: T. Kopač, 2018



Slika 11: Natančen prikaz lokacij obravnavanih vrtin na Dravskem polju v programu QGIS

Avtor: T. Kopač, 2018

4.3 ČRPALIŠČA PITNE VODE

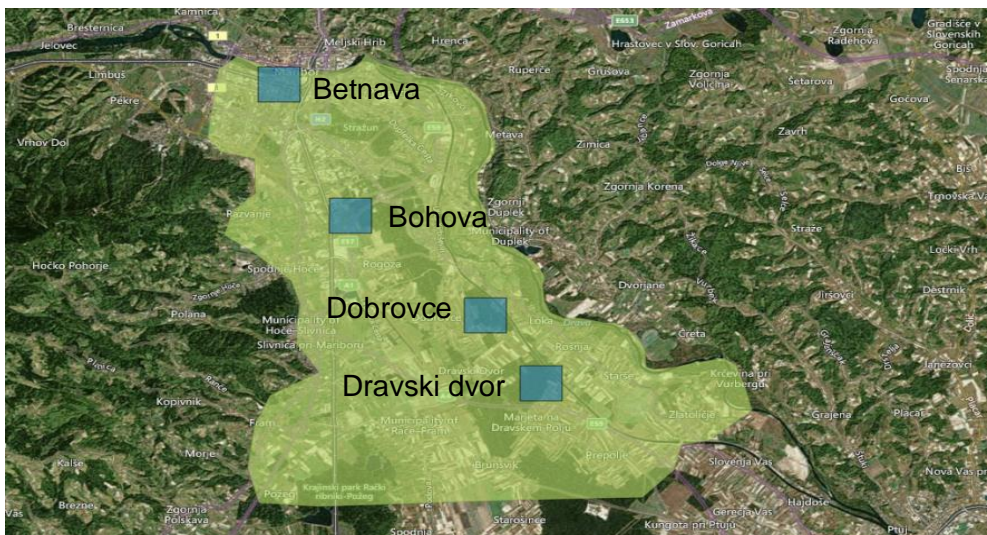
Črpališča pitne vode so Bohova, Betnava, Dobrovce, Dravski dvor, Vrbanski plato, Šikole, Skorba in Lancova vas. Črpališče Dravski dvor je zaenkrat samo predvidena gradnja in ne gre za obstoječe črpališče. Črpališče Vrbanski plato šteje za strateško najpomembnejše vodovarstveno območje na območju Maribora in v okolici, vendar v raziskavi ni obravnavano. To območje se namreč v glavnem napaja z infiltracijo reke Drave in ni odvisno od količine padavin na sami lokaciji. Raziskava pa temelji na korelaciji povprečnih temperatur in količine padavin z bilanco podzemne vode.

Koordinate črpališč so bile pridobljene s spletnega portala atlas okolja, ARSO, s katerimi je bil omogočen prikaz podrobne lokacije črpališč Betnava, Bohova, Dobrovce in Dravski dvor na severnem delu Dravskega polja.

Preglednica 3: Koordinate črpališč po Gauß-Krüger koordinatnem sistemu

Črpališče	x	y
Betnava	549672	156651
Bohova	551577	152444
Dobrovce	555176	149242
Dravski dvor	556657	147073

Avtor: T. Kopač, 2018



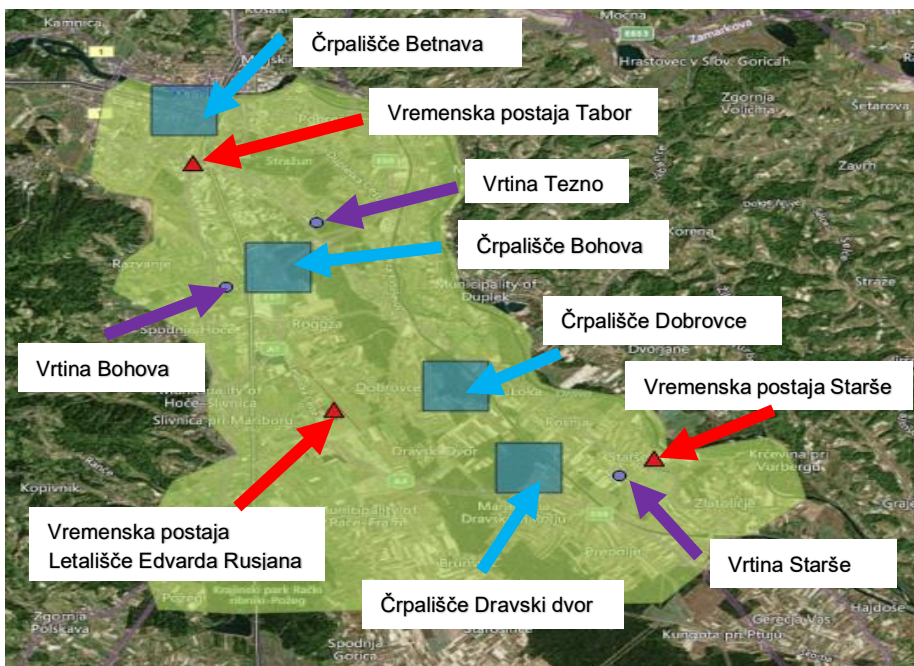
Slika 12: Natančen prikaz lokacij črpališč na Dravskem polju v programu QGIS

Avtor: T. Kopač, 2018

5 OBDELAVA PODATKOV IN PRIKAZ REZULTATOV

Meteorološki podatki in podatki gladin podzemne vode so bili pridobljeni na straneh Ministrstva za okolje in prostor oziroma Agencije Republike Slovenije za okolje. Ti podatki so uradni in prosto dostopni. Meteorološki podatki so bili pridobljeni s spletne strani meteo.si (Arhivski podatki) in gladine podzemne vode s spletne strani vode.arso.gov.si (hidrološki arhiv).

Kot že predstavljeno v prejšnjem poglavju, so bili uporabljeni podatki 3 vremenskih postaj (Maribor Tabor, Letališče Edvarda Rusjana in Starše) in 3 vrtin podzemne vode (Maribor Tezno, Bohova, Starše). Vremenske postaje so bile izbrane, ker so edine uradne državne še obstoječe vremenske postaje na Dravskem polju. Vrtine podzemne vode pa glede na lokacijo, pri čemer je bilo potrebno zajeti celotno Dravsko polje in bližino vremenskih postaj in črpališč ter na podlagi količine dostopnih podatkov. Nekatero vrtino so sicer imele dobro lokacijo, vendar podatki le-teh sežejo samo za približno 20 let nazaj. Namen naloge pa je obdelava podatkov za 40- do 60-letno obdobje. Od vremenske postaje Starše so bili uporabljeni podatki povprečne temperature zraka in količine padavin v obdobju od leta 1962 do 2017, kar pomeni 56 let. Vremenska postaja Tabor je sicer začela delovati leta 1962, vendar ni podatkov za celotno leto, zaradi česar ni bilo možno računati povprečnih letnih podatkov temperature in količine padavin, tako da je bilo začetno leto 1963. Zajeto je bilo obdobje od leta 1963 do 2017 oz. 55 let. Od vremenske postaje Letališče Edvarda Rusjana se je uporabilo podatke povprečne temperature in količine padavin za obdobje od 1977 do 2017 oz. 40 let.



Slika 13: Prikaz celotnega območja obravnave z vremenskimi postajami, črpališči in vrtinami v programu QGIS

Avtor: T. Kopač, 2018

5.1 IZRAČUN POVPREČNIH VREDNOSTI TEMPERATURE ZRAKA IN KOLIČINE PADAVIN PO MESECIH V 40 - 57 LETNEM OBDOBJU

Preglednica 4: Povprečne mesečne vrednosti padavin in povprečne mesečne temperature meteorološke postaje na Letališču Edvarda Rusjana po mesecih od leta 1977 do leta 2018

Letališče Edvarda Rusjana		
Od leta 1977 do 2018		
Mesec	Temperatura	Padavine
Januar	-0,6	39,4
Februar	1,1	44,3
Marec	5,6	53,7
April	10,4	62,5
Maj	15,3	90,3
Junij	18,8	109,4
Julij	20,4	100,5
Avgust	19,7	106,4
September	15,2	106,4
Oktober	10,3	87,7
November	4,9	79,1
December	0,5	57,4
Leto	10,1	933,7

Avtor: T. Kopač, 2018

Preglednica 5: Povprečne mesečne vrednosti padavin in povprečne mesečne temperature meteorološke postaje Maribor Tabor po mesecih od leta 1963 do leta 2018

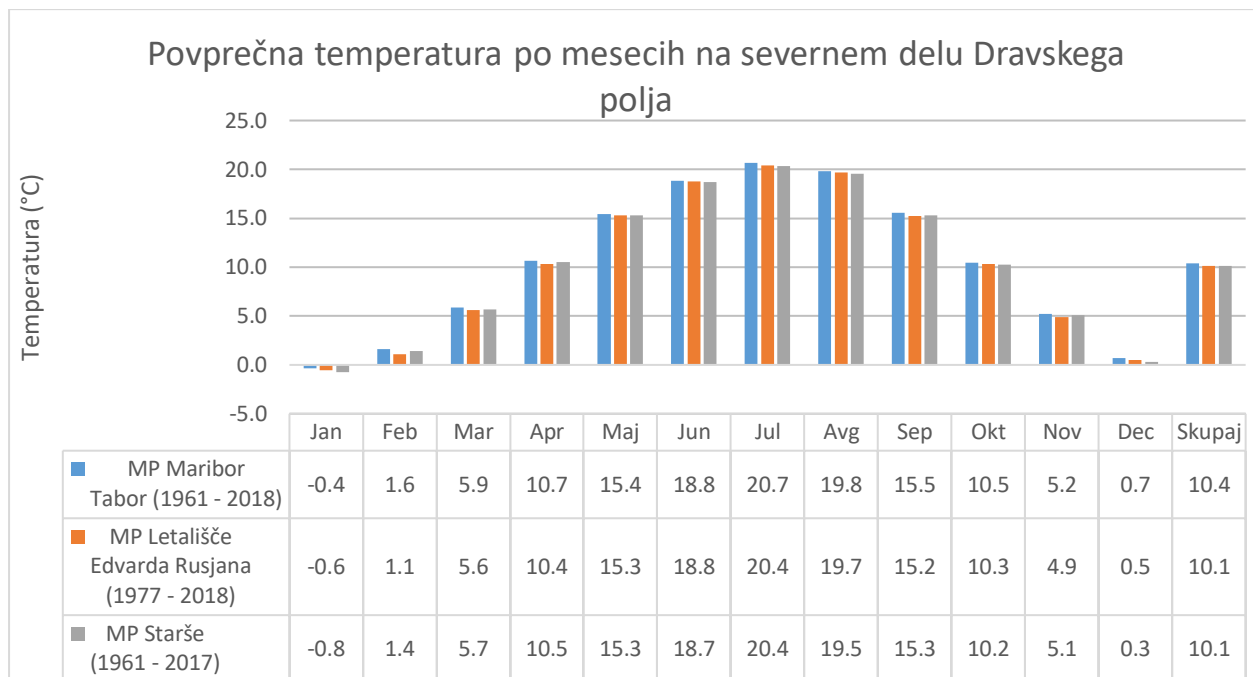
Maribor Tabor		
Od leta 1963 do 2018		
Mesec	Temperatura	Padavine
Januar	-0,4	41,9
Februar	1,6	49,2
Marec	5,9	60,8
April	10,7	71,3
Maj	15,4	94,7
Junij	18,8	113,7
Julij	20,7	108,9
Avgust	19,8	124,9
September	15,5	107,1
Oktober	10,5	87,6
November	5,2	84,6
December	0,7	60,4
Leto	10,4	1005,0

Avtor: T. Kopač, 2018

Preglednica 6: Povprečne mesečne vrednosti padavin in povprečne mesečne temperature meteorološke postaje Starše po mesecih od leta 1961 do leta 2017

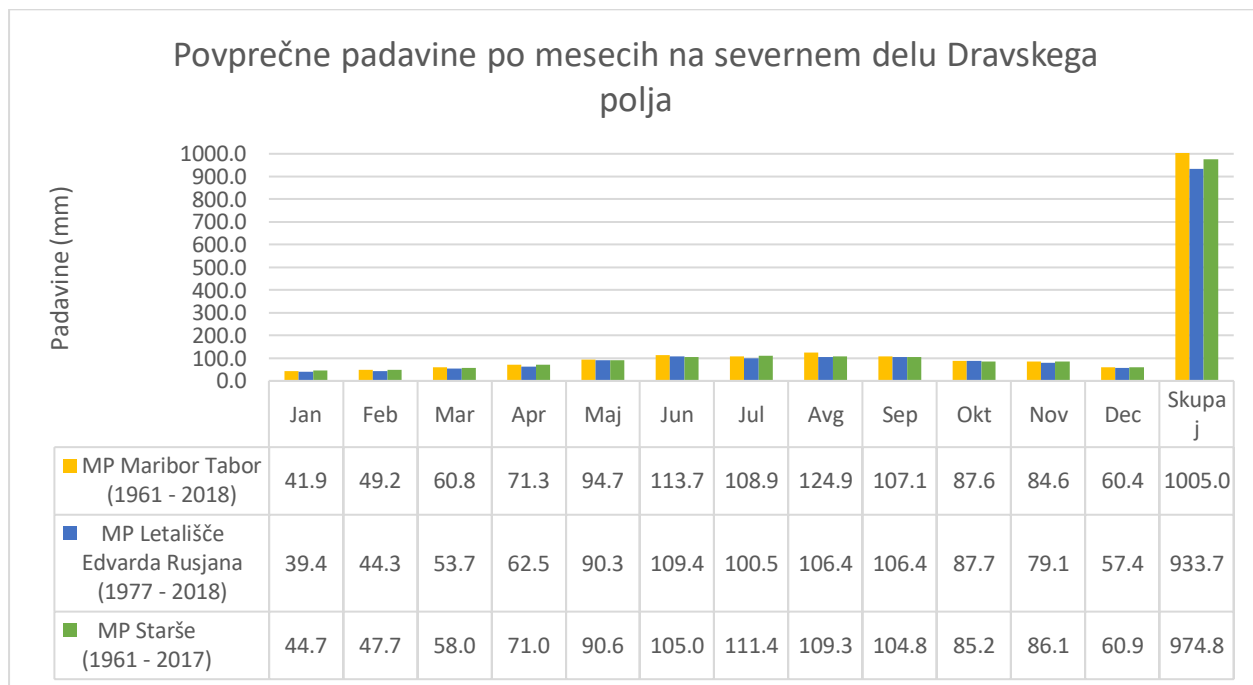
Starše		
Od leta 1961 do 2017		
Mesec	Temperatura (°C)	Padavine (mm)
Januar	-0,8	44,8
Februar	1,4	48,0
Marec	5,7	57,6
April	10,5	70,8
Maj	15,6	92,1
Junij	18,8	105,2
Julij	20,4	111,2
Avgust	19,5	109,9
September	15,3	106,6
Oktober	10,2	84,8
November	5,1	86,9
December	0,3	60,8
Leto	10,2	974,8

Avtor: T. Kopač, 2018



Slika 14: Graf povprečne temperature zraka po mesecih

Avtor: T. Kopač, 2018



Slika 15: Graf povprečnih padavin po mesecih

Avtor: T. Kopač, 2018

Grafa meteoroloških postaj prikazujeta, da je na severnem delu Dravskega polja največ padavin v poletnih mesecih, od junija do septembra, ko se povprečne vrednosti gibljejo med 100 mm in 130 mm. Najmanj padavin je v zimskih mesecih, predvsem v januarju in februarju, ko v povprečju ne presegajo 50 mm. Povprečne vrednosti temperature so v pričakovanju najvišje v poletnih mesecih, ko je najvišja izmerjena povprečna vrednost pri vseh meteoroloških postajah v mesecu juliju, in sicer do 20,5°C. Najnižja izmerjena povprečna vrednost temperature je v mesecu januarju, in sicer do -0,8°C. Kot že opisano v poglavju 3.1.1 Geografske značilnosti Dravskega polja, se ta nahaja v zmerno-celinskem podnebnem pasu, kjer so povprečne temperature najtoplejšega meseca med 15 in 20°C in najhladnejšega meseca od 0 do -3°C. Najhladnejši mesec glede na povprečne vrednosti meteoroloških postaj ne pade pod mejo -3°C. Tudi padavine, izmerjene med 40 in 50 leti na meteoroloških postajah, se v povprečju gibljejo med 933,7 mm (Letališče Edvarda Rusjana) in 1005,0 mm (Maribor Tabor), kar je še vedno skladno s podnebnim pasom obravnavanega območja, kjer je povprečno med 800 in 1300 mm padavin.

Opazi se razlika v najtoplejšem mesecu, kjer je bila izmerjena temperatura v vseh meteoroloških postajah 20,4 in 20,5°C. Ali gre za dvig povprečnih temperatur, so pokazali naslednji podatki, s katerimi so bile izračunane povprečne vrednosti temperatur in padavin po letih. Izračunan je bil tudi trend povprečnih padavin, čeprav so te po dosedanjih podatkih še vedno znotraj meje, ki je značilna za zmerno-celinski pas.

5.2 IZRAČUN POVPREČNIH 10-LETNIH VREDNOSTI TEMPERATURE ZRAKA IN KOLIČINE PADAVIN V 40 - 57 LETNEM OBDOBJU

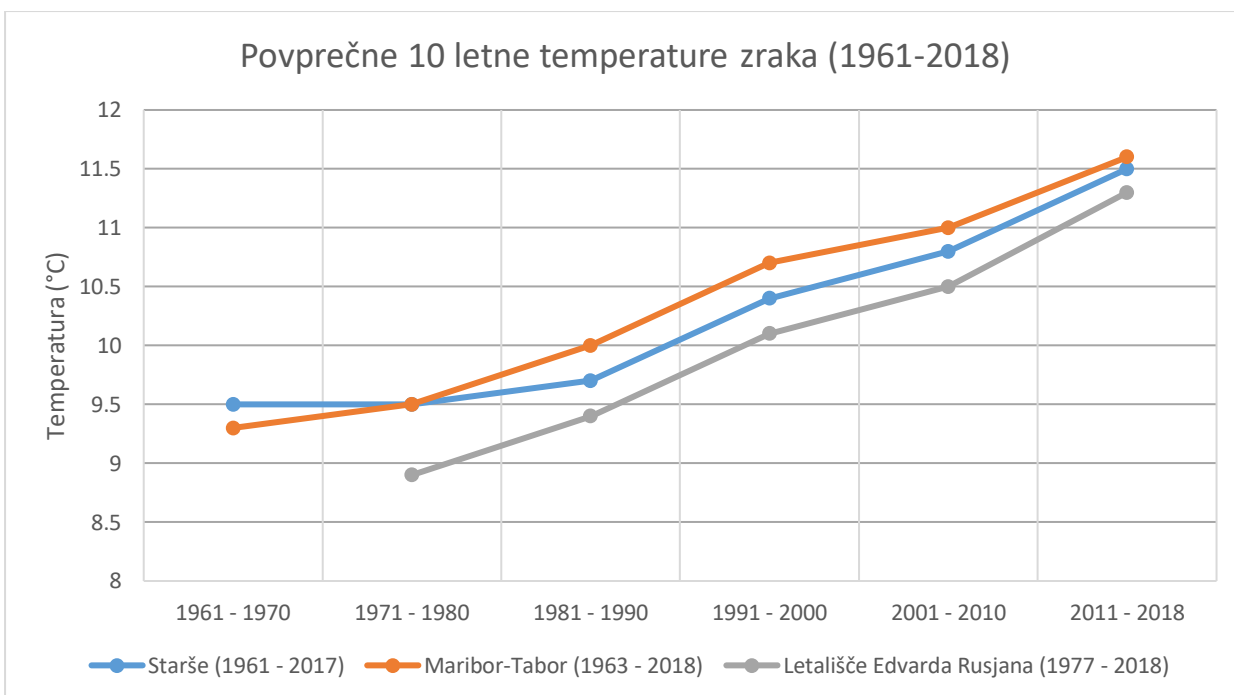
Desetletna obdobja dajo lažji vpogled v spreminjanje povprečnih temperatur zraka in količin padavin. Pri veliki količini podatkov, v kolikor bi ti bili prikazani v skupnem grafu, bi ta bil nepregleden. Meteorološke postaje bi lahko bile predstavljene vsaka posebej, vendar je skupni graf boljša rešitev. Tako so bile izračunane povprečne vrednosti temperatur zraka in količin padavin po desetletnih obdobjih. Vendar je potrebno omeniti, da prvo in zadnje obdobje ne obsegata 10 let, saj podatki niso bili na voljo. Tudi po meteoroloških postajah se ti dve obdobji razlikujeta. Meteorološka postaja Starše obsega celotno prvo obdobje, vendar so podatki v zadnjem obdobju le do leta 2017, saj je bila nato ukinjena. Podatki za meteorološko postajo Maribor Tabor so bili na voljo od leta 1963 do leta 2018. V primeru meteorološke postaje Letališče Edvarda Rusjana pa prvega obdobja ni in tudi drugo obdobje je krajše, saj je bila postaja zgrajena šele leta 1977.

Izračun podatkov povprečnih vrednosti temperatur zraka po 10 letih je pokazal, da se je v 58-letnem obdobju na vseh meteoroloških postajah močno povišala temperatura zraka. V prvem obdobju je bila povprečna temperatura zraka na meteoroloških postajah Starše in Maribor Tabor 9,5 in 9,3 °C. V zadnjem obdobju pa 11,5 in 11,6 °C. Meteorološka postaja letališče Edvarda Rusjana kaže še nižje temperature v začetnih obravnavanih obdobjih, vendar je potrebno tudi tukaj upoštevati, da gre za niz manjkajočih podatkov in je močno verjetno, da izračun ni popolnoma natančen. Ne glede na to pa se tudi na tej meteorološki postaji lahko opazi dvig povprečnih temperatur zraka (Preglednica 5, Graf 1).

Preglednica 7: Povprečne desetletne temperature zraka od leta 1961 do 2018

Povprečne temperature zraka (°C)	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2010	2011 - 2018
Starše (1961 - 2017)	9,5	9,5	9,7	10,4	10,8	11,5
Maribor Tabor (1963 - 2018)	9,3	9,5	10,0	10,7	11,0	11,6
Letališče Edvarda Rusjana (1977 - 2018)		8,9	9,4	10,1	10,5	11,3

Avtor: T. Kopač, 2018



Slika 16: Graf povprečne desetletne temperature zraka od leta 1961 do 2018

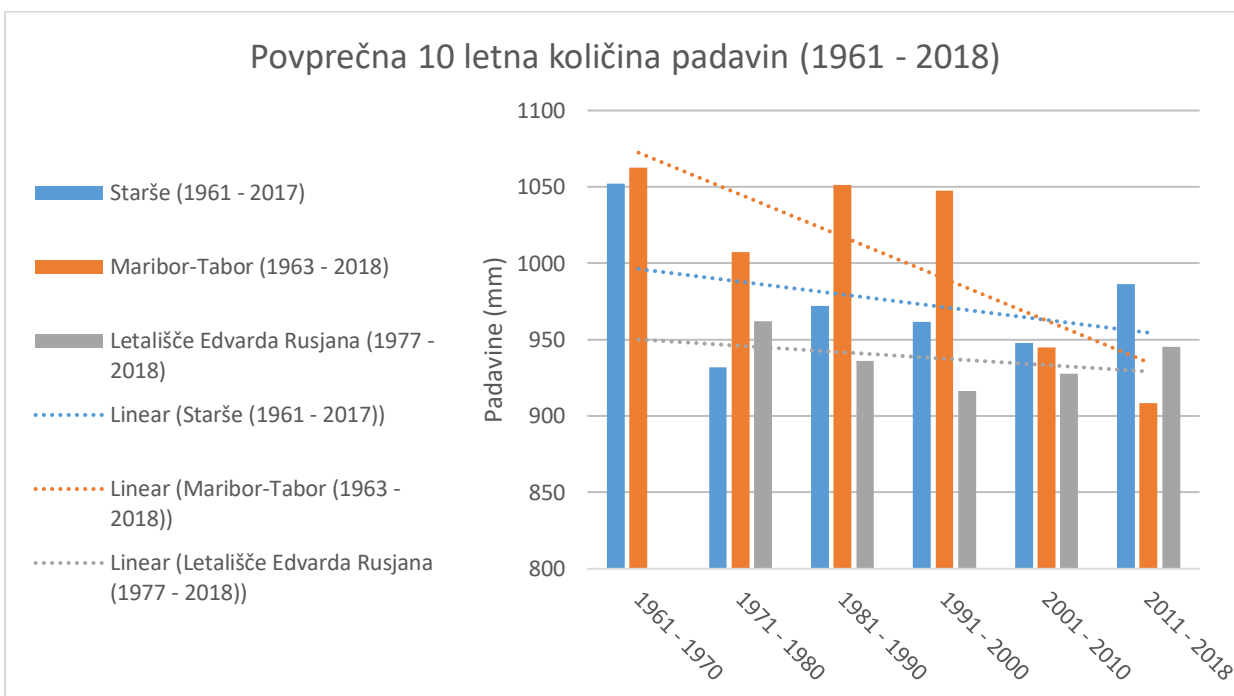
Avtor: T. Kopač, 2018

Medtem ko podatki kažejo, da se povprečne temperature zraka višajo, so se v enakem obdobju v povprečju nižale količine padavin. Med prvim in zadnjim obdobjem je razlika tudi po 100 mm ali več. Potrebno je upoštevati, da ni vsako naslednje obdobje nižje, temveč količina padavin niha. Iz grafa 3 je razvidno, kam se trend nagiba oziroma ali se povprečje viša ali nižja. Kako pa so se temperature in padavine natančno višale ali nižale, je bilo ugotovljeno z izračunom trendov v naslednjem poglavju.

Preglednica 8: Povprečne desetletne količine padavin od leta 1961 do 2018

Povprečne padavine (mm)	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2010	2011 - 2018
Starše (1961 - 2017)	1052,2	932,1	972,2	961,7	947,9	986,4
Maribor Tabor (1963 - 2018)	1062,6	1007,4	1051,5	1047,4	944,9	908,5
Letališče Edvarda Rusjana (1977 - 2018)		962,2	936,1	916,3	927,9	945,3

Avtor: T. Kopač, 2018



Slika 17: Graf povprečne desetletne količine padavin od leta 1961 do 2018

Avtor: T. Kopač, 2018

5.3 TRENDI POVPREČNIH TEMPERATUR ZRAKA, KOLIČIN PADAVIN IN EVAPOTRANSPIRACIJE

Izračun trenda povprečnih temperatur in količine padavin v preteklih letih je bil narejen z Microsoft Excel® formulo LINEST. Trend prikazuje povprečen odklon zbranih podatkov na leto. Na primer: če so podatki temperature za 50 let in trend pokaže pozitivno vrednost (+), pomeni, da se temperatura v povprečju za določeno vsoto na leto viša.

Za prikaz podatkov trendov sta bila izbrana dva načina. Eden je po mesecih, s katerim se lahko natančno po mesecih vidi, ali trend kaže naraščanje ali padanje. Drugi način je bil po letnih časih. Trend se s tem ne spremeni, vendar je zaradi količine podatkov le-ta preglednejša.

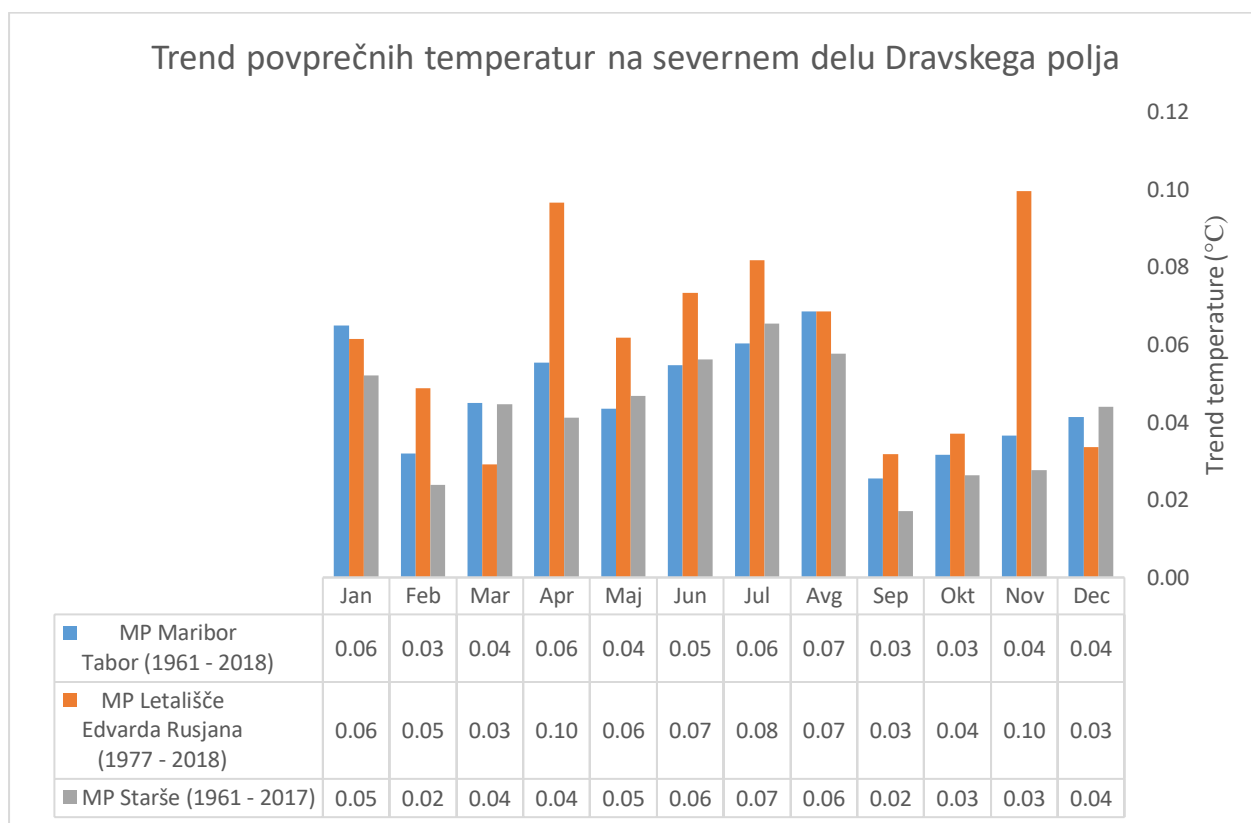
Meteorološke postaje Maribor Tabor, Letališče Edvarda Rusjana in Starše so bile združene v skupne grafe, s čimer je bila omogočena lažja primerjava med samimi meteorološkimi postajami.

Po izračunih je **trend povprečnih temperatur zraka** v vseh mesecih pozitiven, kar pomeni, da so povprečne temperature zraka v obdobju od 1961 do 2018 naraščale. Izrazita rast se opazi na meteorološki postaji Letališče Edvarda Rusjana, vendar je nadpovprečna rast, v primerjavi z drugimi meteorološkimi postajami, lahko posledica tega, da je bila ta postaja zgrajena šele leta 1977. Pomeni, da manjkajo podatki za začetnih 16 let. V kolikor se izpostavi, da gre za globalne spremembe temperature zraka, kar se kaže tudi v mikroklimi, pomeni, da temperature zraka z leti naraščajo in da je bil trend v začetnih 16 letih manjši oziroma so bila ta leta toplejša, kar je lahko vplivalo na celoten niz podatkov. Izrazita razlika je predvsem v mesecih april in november. Za boljše razumevanje te razlike so bili za meseca april in november narejeni izračuni povprečne temperature zraka na drugih dveh meteoroloških postajah, in sicer 15 let pred izgradnjo Meteorološke postaje Letališče Edvarda Rusjana, leta 1977, in 15 let po izgradnji. Povprečna temperatura zraka 15 let pred letom 1977 na meteoroloških postajah Maribor Tabor in Starše je bila v mesecu novembru 5,2°C in v mesecu aprilu 9,9°C ter po letu 1977 v mesecu novembru 4,0°C v Staršah in 3,9°C v Maribor Tabor ter v mesecu aprilu v Staršah 9,9°C in Maribor Tabor 9,7°C. Meteorološka postaja na Letališču Edvarda Rusjana je po letu 1977 imela povprečno temperaturo v mesecu novembru 3,5°C in v mesecu aprilu 9,3°C. Ta podatek pove, da ima Letališče Edvarda Rusjana v teh dveh mesecih v osnovi nižjo temperaturo zraka od ostalih dveh postaj. Pomembnejši podatek pa je, da je razlika med povprečno temperaturo zraka med leti pred 1977 in letih po 1977 med 1,2°C do 1,3°C. Ker je bila povprečna temperatura zraka pred letom 1977 višja, je posledično tudi trend manjši. Pri Letališču Edvarda Rusjana pred letom 1977 ni podatkov in le-ti ne morejo znižati trenda, zato je ta posledično tudi višji. Iz grafa 5 in grafa 6 je razvidno, da je trend povprečnih temperatur v vseh mesecih pozitiven, kar pomeni, da povprečne temperature konstantno naraščajo, in sicer med 0,02 do 0,07°C na leto v MP Starše in MP Maribor Tabor. MP Letališče Edvarda Rusjana ima zaradi krajšega obravnavanega obdobja višji trend in sicer med 0,03 do 0,1°C.

Trend količine padavin je v večji meri negativen, kar pomeni, da se tudi količina padavin manjša. Iz grafa 7 je razvidno, da je trend količine padavin v glavnem negativen oziroma se količine padavin manjšajo. Pozitivni trend se na vseh meteoroloških postajah kaže v mesecu februarju, maju in septembru, v mesecu oktobru na MP Starše in novembru na MP Letališče Edvarda Rusjana. Vendar je iz grafa 8, ki prikazuje trend padavin po letnih časih, razvidno, da je trend v vseh letnih časih negativen oziroma da se količina padavin manjša. Odstopa le Meteorološka postaja Letališče Edvarda Rusjana, ki ima pomladi in poleti pozitivni trend oziroma količine padavin naraščajo. Tudi v tem primeru je lahko odstopanje, tako kot v primeru povprečnih temperatur zraka, posledica manjkajočih podatkov pred letom 1977.

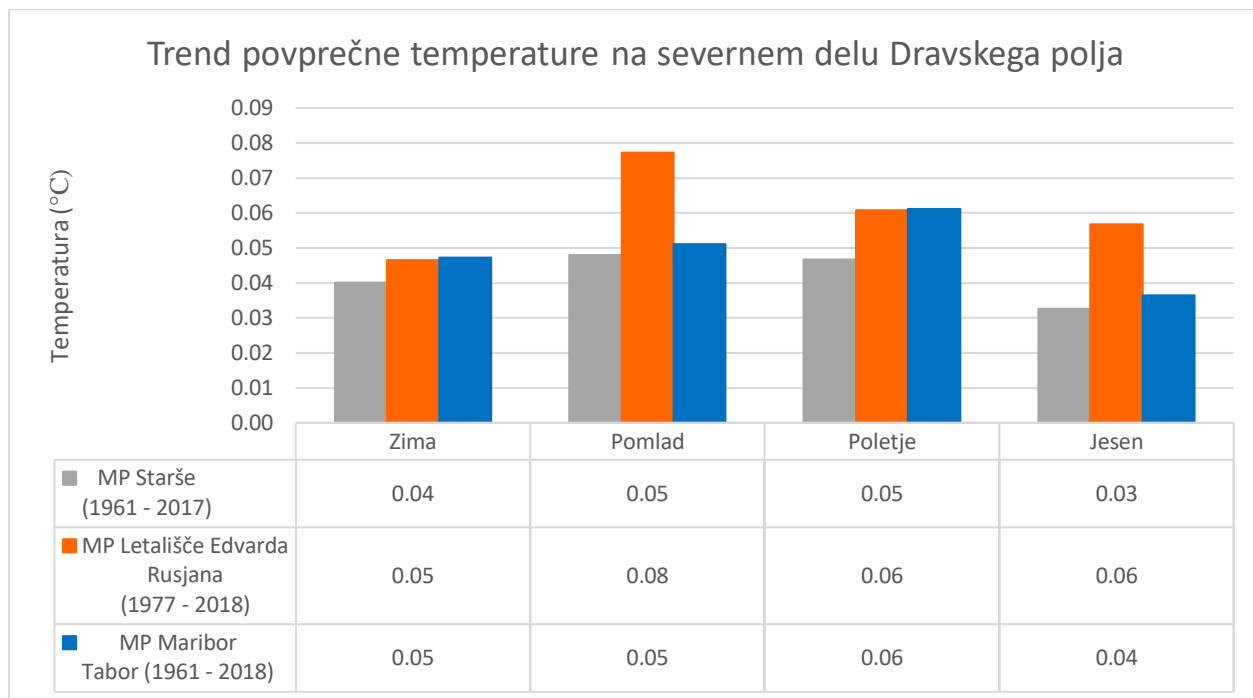
Evapotranspiracije ni bilo potrebno izračunati, saj so izračuni za evapotranspiracijo po Penman-Monteithovi metodi že dostopni na portalu ARSO. S tem izračunom je dobljena referenčna evapotranspiracija, ki upošteva samo klimatske razmere. V kolikor bi bila potreba po

natančnejšem izračunu, da bi dobili potencialno evapotranspiracijo, bi bilo potrebno upoštevati tudi sestavo in pokritost tal. V poglavju 2.2 je evapotranspiracija podrobneje opisana in tudi slika 1 prikazuje, da sta poteka krivulj referenčne in potencialne evapotranspiracije skozi časovno obdobje zelo podobna, razlikuje se le višina. Za potrebe diplomske naloge tako popolnoma zadostuje referenčna evapotranspiracija, saj je skozi zastavljeno obdobje potreben samo trend dogajanj. Rezultati kažejo (graf 9), da se trend evapotranspiracije spomladi in poleti viša, jeseni se na meteoroloških postajah Maribor Tabor in Starše niža, pozimi se pa na meteorološki postaji Starše niža. Izrazito odstopanje je na meteorološki postaji Letališče Edvarda Rusjana, kjer podatki prikazujejo močno povišan trend, vendar je tudi tukaj takšen trend lahko posledica manjkajočih podatkov pred letom 1977.



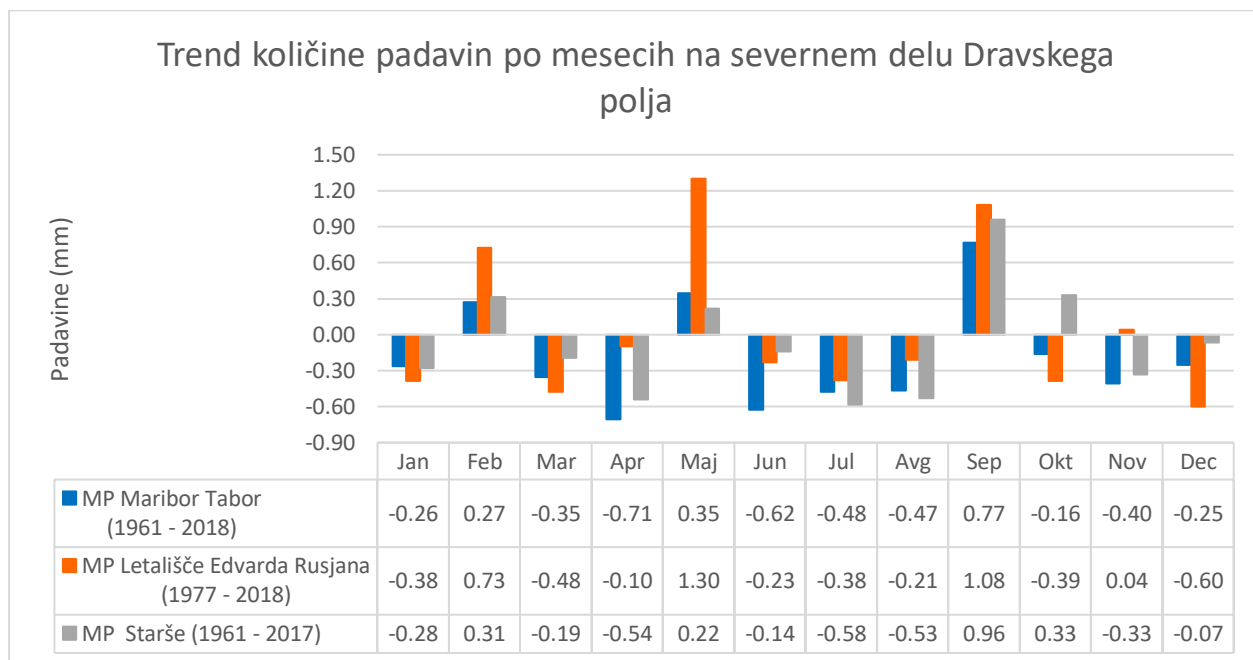
Slika 18: Graf trenda povprečnih temperatur zraka po mesecih

Avtor: T. Kopač, 2018



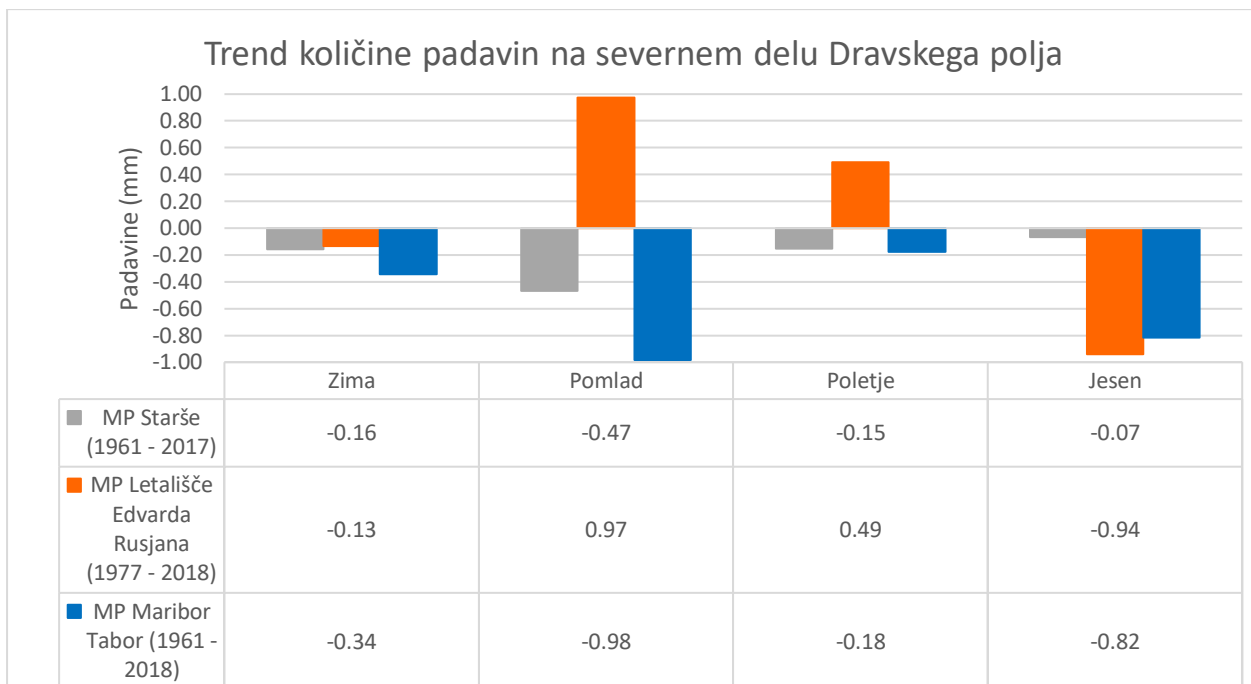
Slika 19: Graf trenda povprečne temperature zraka po letnih časih

Avtor: T. Kopač, 2018



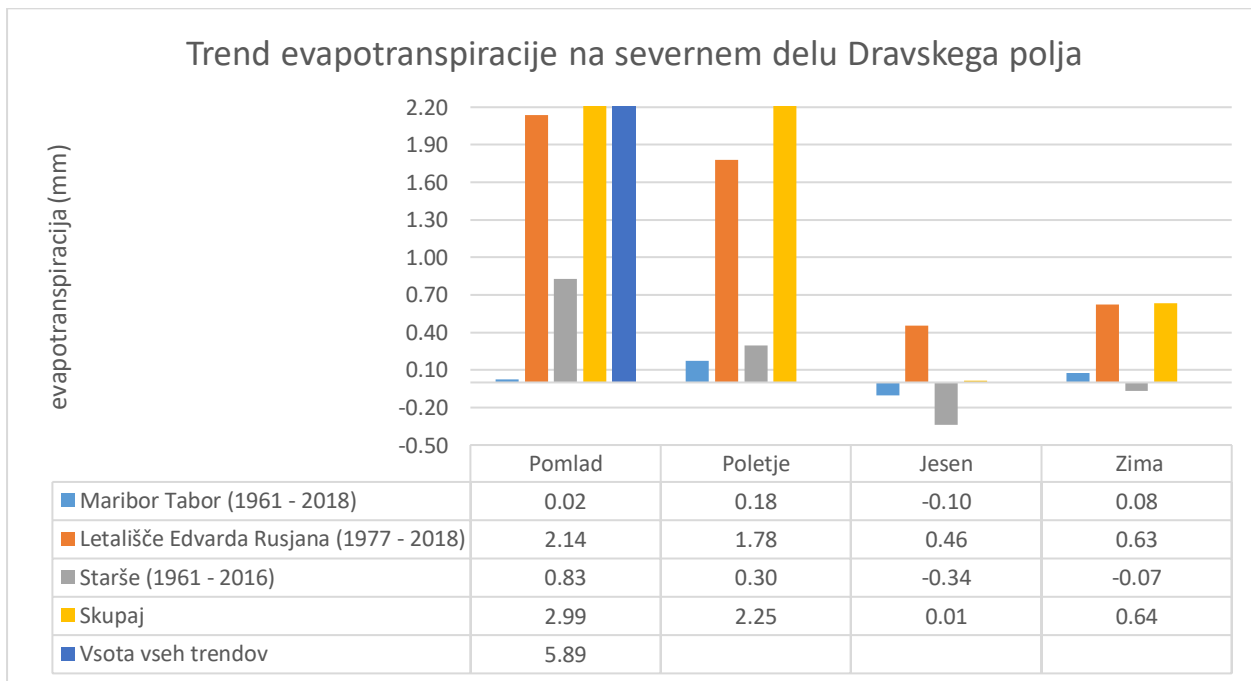
Slika 20: Graf trenda količine padavin po mesecih

Avtor: T. Kopač, 2018



Slika 21: Graf trenda količine padavin po letnih časih

Avtor: T. Kopač, 2018



Slika 22: Graf trenda evapotranspiracije po letnih časih

Avtor: T. Kopač, 2018

5.4 IZRAČUN VODNE BILANCE

Z vodno bilanco se lahko določi količina vode na določenem območju v določenem časovnem obdobju. Na vodno bilanco vplivajo lega in relief, podnebje, kamnine in prsti, rastlinstvo ter antropogeni dejavniki.

Enačba za izračun vodne bilance (Bat idr., 2008):

$$P = Q + I + dS$$

Pri čemer je:

- P padavine,
- Q odtok,
- I izhlapevanje,
- dS sprememba zalog.

Pri bilanci malega vodnega kroga padavine predstavljajo dotok, izhlapevanje pa odtok (Ritte, 2006, cit. po Bat idr., 2008).

Kadar je vrednost vodne bilance pozitivna, pomeni, da se količina vode ne zmanjšuje, in obratno, kadar je vodna bilanca negativna.

V diplomski nalogi ni bil upoštevan odtok (Q) v formuli, saj so merilna mesta na pretežno ravninskem delu in je ta zanemarljiv. Kot že prej omenjeno, odtok predstavlja samo izhlapevanje (I). Podatek za izhlapevanje daje izračunana referenčna evapotranspiracija na meteoroloških postajah. Torej je uporabljena formula za izračun vodne bilance:

$$dS = P - I$$

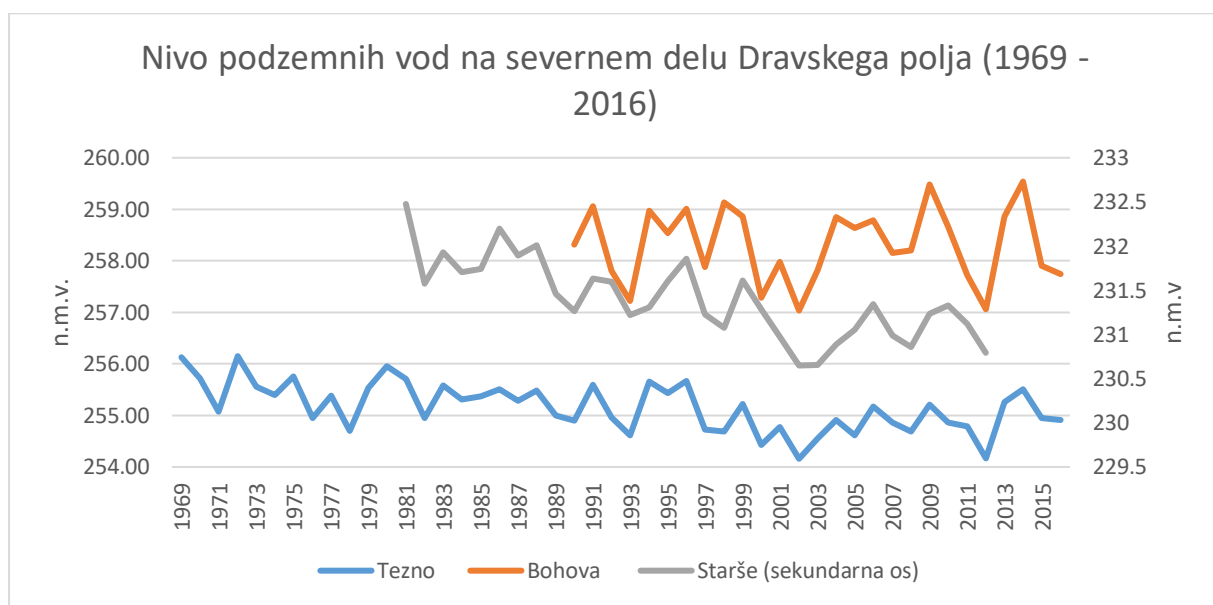
Pri čemer je:

- P padavine,
- I izhlapevanje,
- dS sprememba zalog.

Za izračun vodne bilance sicer niso potrebni podatki gladin podzemne vode, vendar so uporabljeni in prikazani kot potrditev stanja vodne bilance. Ta je namreč potrdila, da se nivo podzemne vode niža (grafa 10 in 11). Kar pomeni, da se zaloga vode, glede na trend v obravnavanem obdobju, v povprečju manjša. Podatki so združeni tako, da je vzeta meteorološka postaja in njej najbližja vrtina podzemne vode (ki po količini podatkov zadostuje potrebam) (grafi 12, 13 in 14). Tako smo

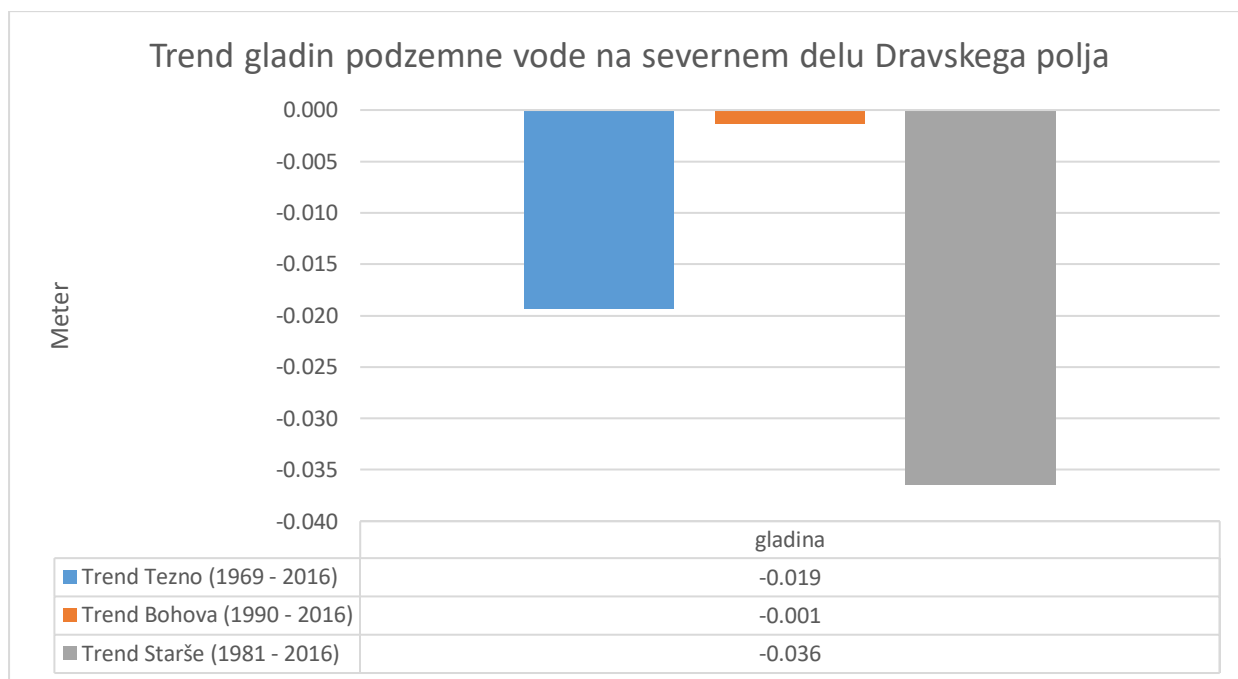
poskušali prikazati odvisnost podzemne vode od količine padavin. Iz grafov 12 in 13 je lepo razvidno, da kadar so bile količine padavin majhne, se je nivo podzemne vode posledično znižal in obratno. Podobno lahko opazimo tudi iz grafa 14, vendar se tukaj opazi tudi močno nihanje nivoja podzemne vode. Vzrok tega nihanja je lahko tudi to, da sta v neposredni bližini vrtine postavljena dva vodnjaka črpališča pitne vode Bohova. Graf 11 prav tako nakazuje trend očitnega padca nivoja podzemne vode.

v grafu 15 je prikazana sprememba vodne bilance po letih. Vidno je, da se spremembe močno razlikujejo od leta do leta. Sprememba v tem primeru pomeni količino padavin, kateri se na območju meteoroloških postaj odšteje količina referenčne evapotranspiracije. Predvidoma se trend zaradi močnega nihanja iz leta v leto lahko hitro spremeni, kar pa ne pomeni, da bi trend preskakoval iz pozitivnega v negativnega. Tako se realni trend na meteoroloških postajah Maribor Tabor in Starše giblje do -2,3 mm na leto, kar pomeni negativno vodno bilanco. Tako kot pri ostalih meteoroloških dejavnikih je tudi pri izračunu vodno bilance na meteorološki postaji Letališče Edvarda Rusjana zaznana veliko odstopanje. To namreč kaže -4,2 mm na leto, kar je skoraj dvakrat več kot pri drugih dveh postajah. Ampak tudi tukaj je potrebno opozoriti, da je lahko takšna razlika posledica manjkajočih podatkov pred letom 1977.



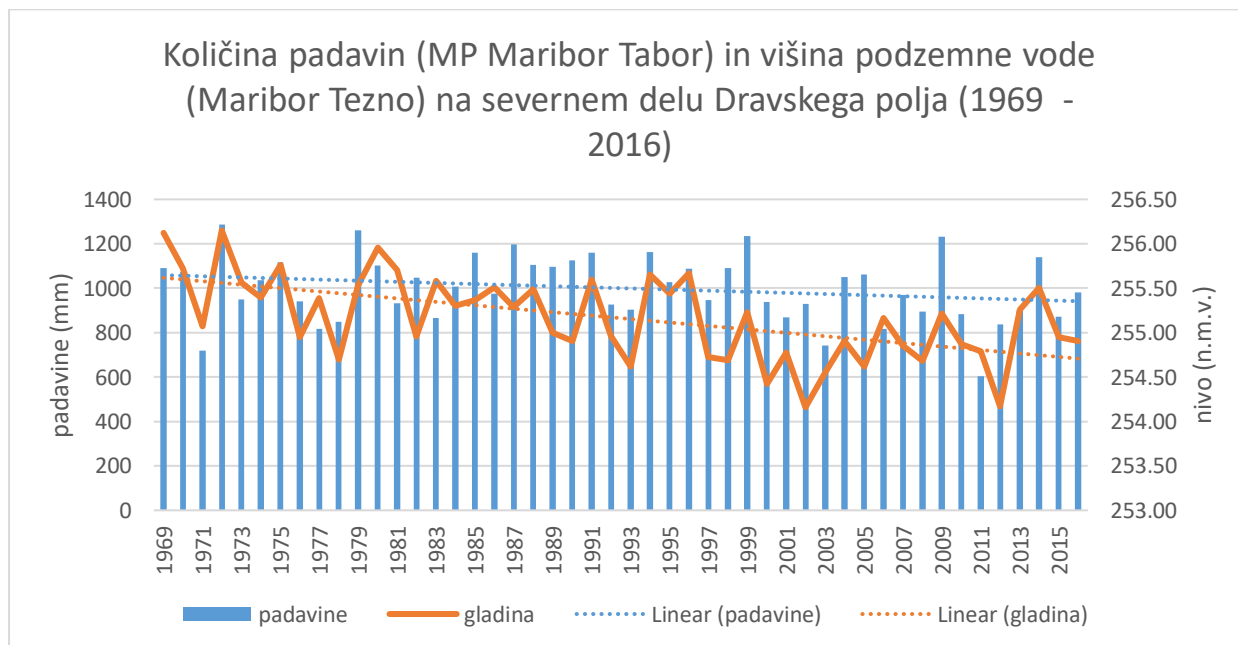
Slika 23: Graf nivoja podzemnih vod od leta 1969 do 2016

Avtor: T. Kopač, 2018



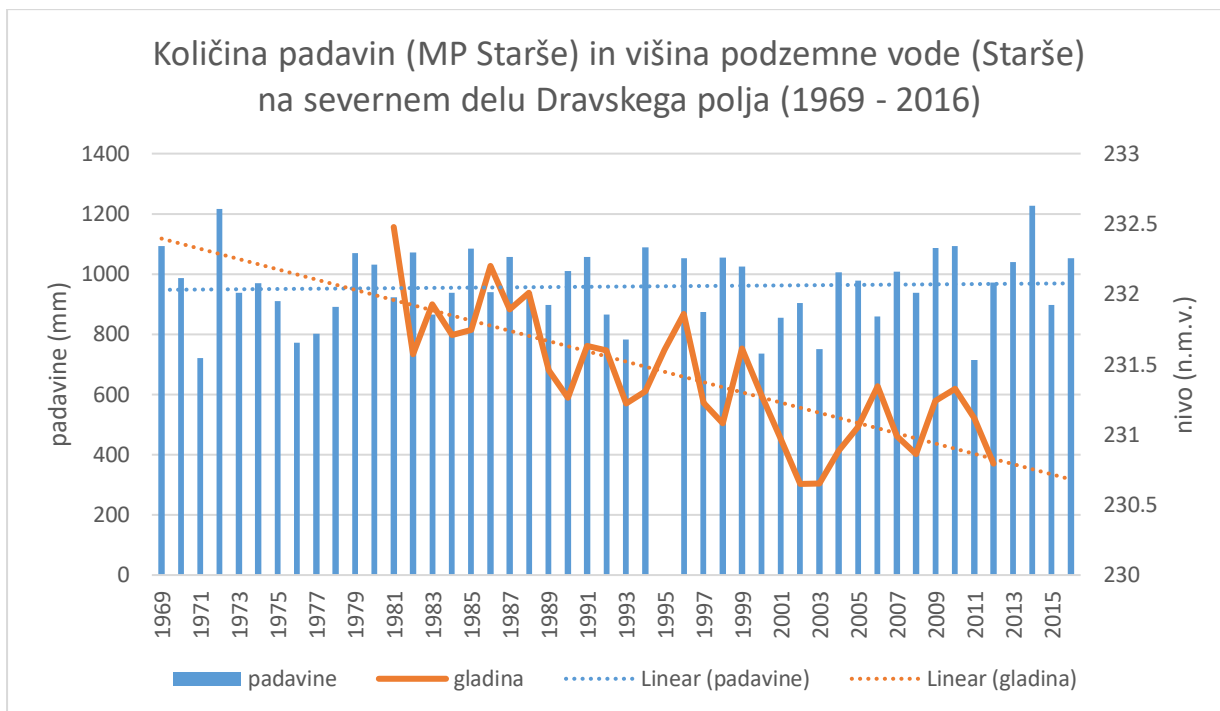
Slika 24: Graf trenda gladin podzemne vode od leta 1969 do 2016

Avtor: T. Kopač, 2018



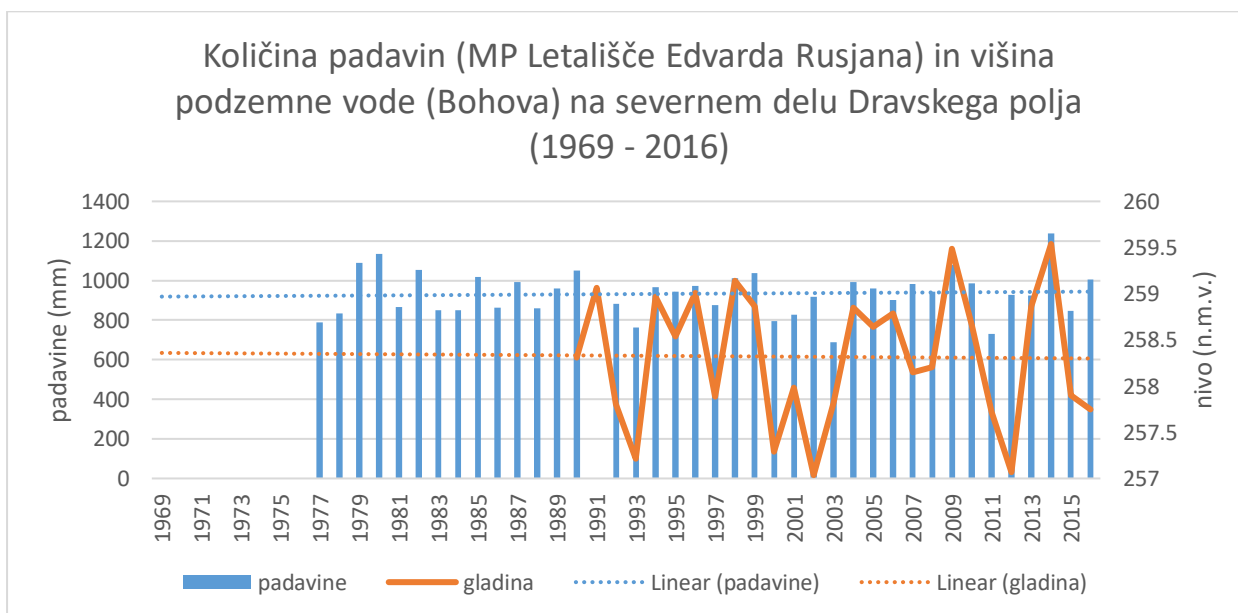
Slika 25: Graf količine padavin (MP Maribor Tabor) in višine podzemne vode (Maribor Tezno), 1969 - 2016

Avtor: T. Kopač, 2018



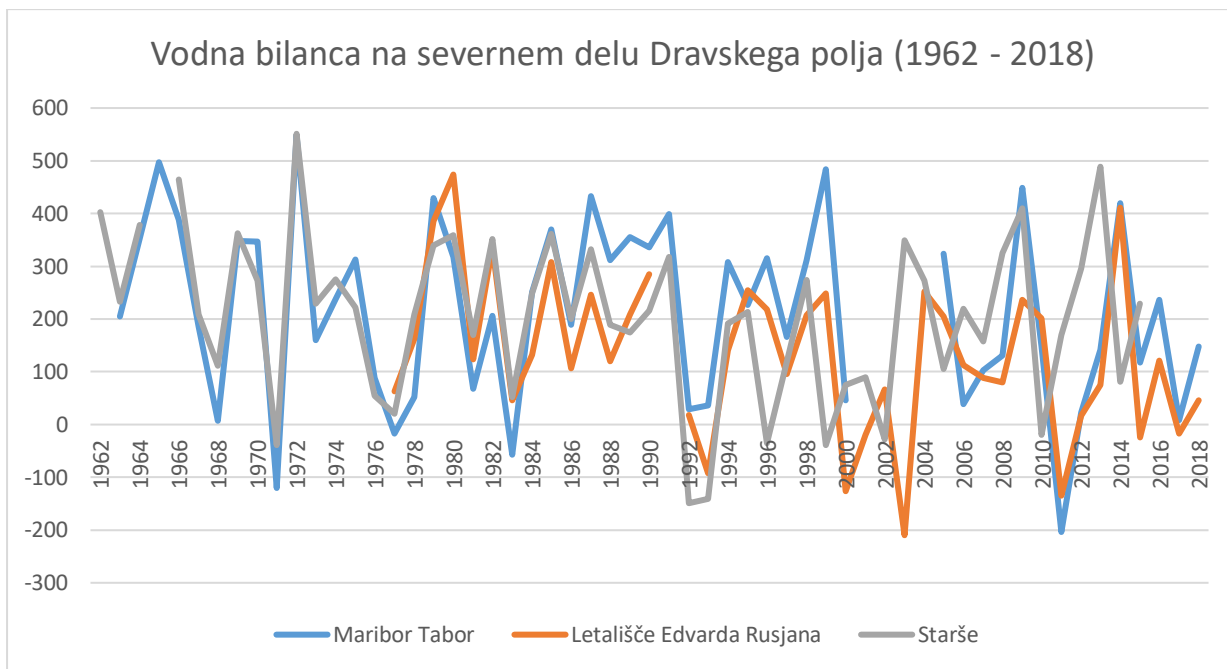
Slika 26: Graf količine padavin (MP Starše) in višine podzemne vode (Starše), 1969 - 2016

Avtor: T. Kopač, 2018



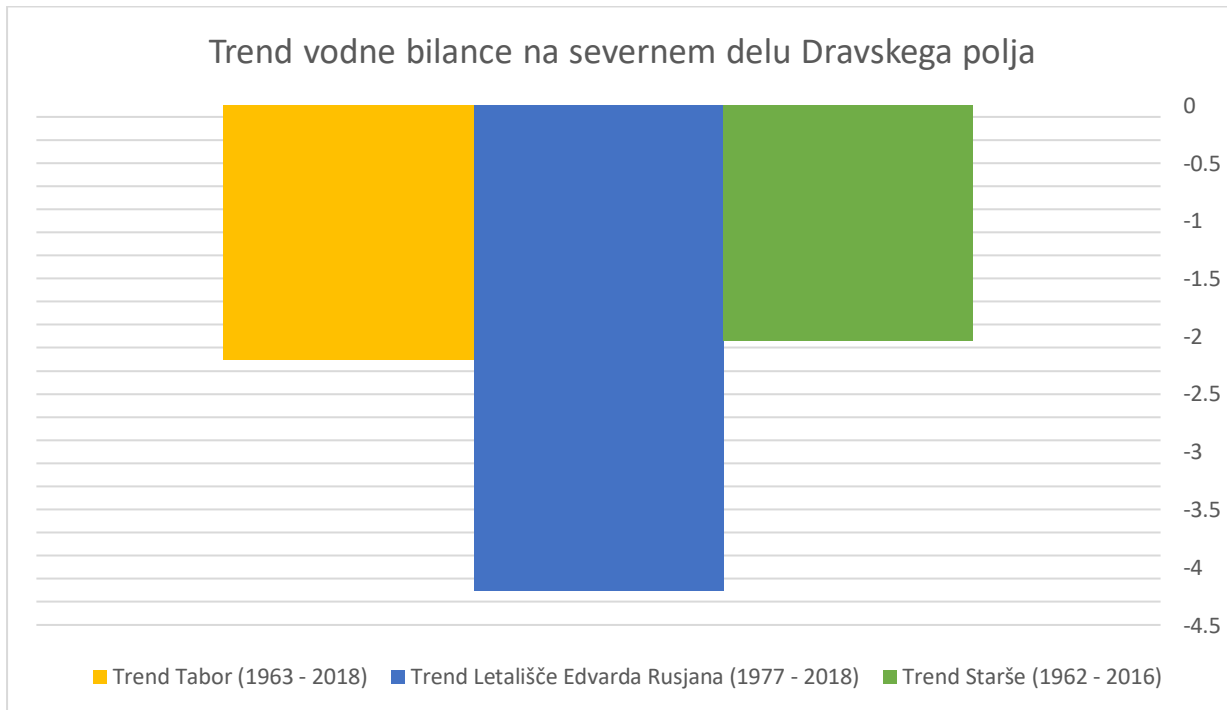
Slika 27: Graf količine padavin (MP Letališče Edvarda Rusjana) in višine podzemne vode (Bohova), 1969 - 2016

Avtor: T. Kopač, 2018



Slika 28: Graf vodne bilance, 1962 - 2018

Avtor: T. Kopač, 2018



Slika 29: Graf trenda vodne bilance

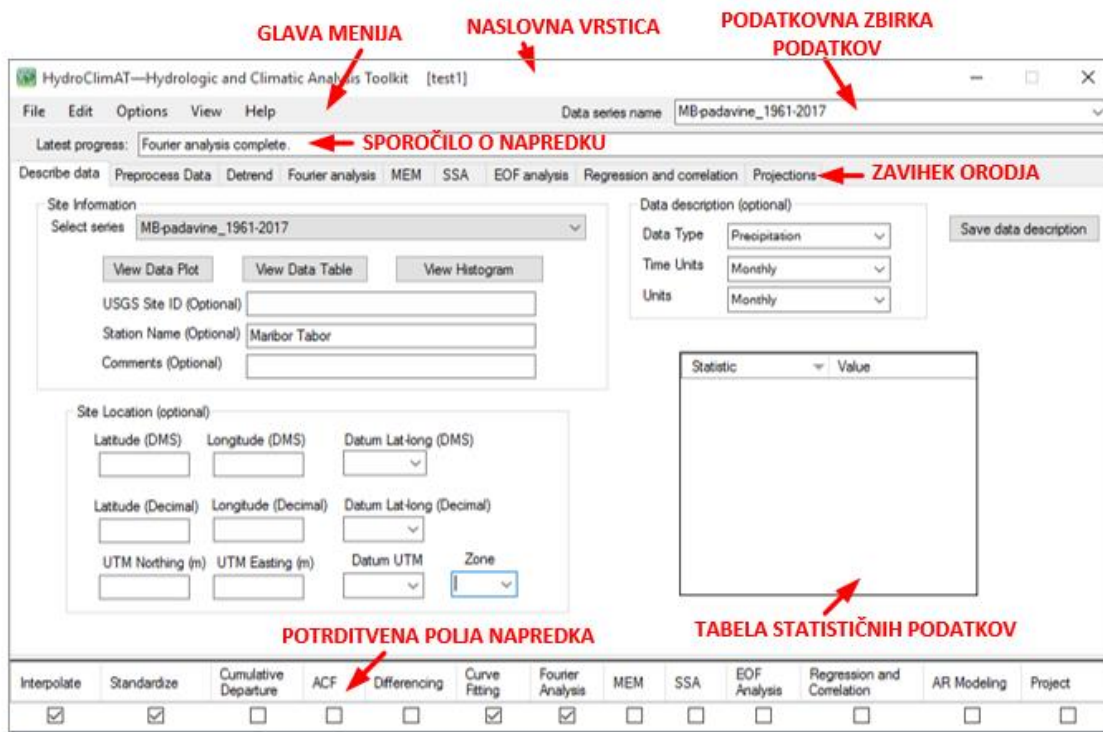
Avtor: T. Kopač, 2018

5.5 OBDELAVA PODATKOV IN IZRAČUN PREDVIDENIH TRENDOV NA PODLAGI ANALIZE PROGRAMA HYDROCLIMATE

Kako spremenljivost podnebja vpliva na potencialni odziv vodnih virov je eno najpomembnejših vprašanj za zagotavljanje trajnostnega oziroma vzdržnostnega razvoja naše družbe. Podnebna variabilnost predstavlja reverzibilne in periodične spremembe v globalnih vremenskih sistemih, ki se ponavljajo v nekaj letih do nekaj desetletij ali celo v daljših obdobjih. Tako so odgovori na to vprašanje pomembni za dolgoročno načrtovanje in upravljanje vodnih virov.

Za oceno spremenljivosti podnebja in njegovega vpliva se uporabljajo različna orodja. Za večjo zanesljivost ocen je potrebno veliko število podatkov in za obdelavo obsežnih baz podatkov običajno tudi močni računalniki. Določena orodja, predvsem s svojimi statističnimi analizami, nam lahko nudijo tudi hitrejši vpogled v trende spremenljivosti. Trenutno so na voljo bogati hidrološki podatki znotraj obsežnih časovnih obdobjih. Vendar je kombinacija priprave podatkov in statističnih metod razmeroma nedostopna za hidrologe in inženirje, ki bi lahko imeli koristi od ocen variabilnosti podnebja in njegovih vplivov na redno polnjenje in razpoložljivost vodnih virov (Dickinson idr., 2014). Tako je bil v okviru ameriškega geološkega združenja – USGS, United State Geological Survey za operacijski sistem Windows za ocenjevanje razmerij med spremenljivimi podnebnimi in hidrološkimi časovnimi podatki razvit računalniški program HydroClimATe.

HydroClimATe vključuje orodja za (1) prepoznavanje odzivov hidroloških sistemov na spremenljivost podnebja; (2) kvantificiranje statističnih povezav med večkratnimi časovnimi serijami in podnebnimi indeksi in (3) projiciranje hidroloških podatkov časovnih vrst z uporabo modelov časovnih vrst in spektralne analize. Programska oprema vključuje statistična orodja za (1) predprocesiranje časovnih serij, (2) spektralno analizo, (3) prostorsko in časovno analizo, (4) korelacijsko analizo in (5) projekcije. Programska oprema je sestavljena iz grafičnega uporabniškega vmesnika, ki je izvedljiv v operacijskem sistemu Windows z različico 4.0 .NET Framework. Vhodni podatki programske opreme so lahko kakršnikoli podatki o dolgoročnih časovnih vrstah, kot so gladine podzemne vode, pretok, padavine, podatki o drevesnih obročih, temperatura zraka in podnebni indeksi. Uporabijo se lahko tudi druge vrste časovnih vrst podatkov, kot so npr. ekonomski podatki. Vendar so dane metode analize v prvi vrsti namenjene za podnebne in hidrološke podatke časovnih vrst. Rezultate programske opreme se lahko izvozi v datoteke, ki jih berejo urejevalniki besedil, program Microsoft Excel® ali programska oprema za geografski informacijski sistem (GIS).



Slika 30: Uporabniški vmesnik z zavihki in meniji

Avtor: T. Kopač, 2018

SPEKTRALNA ANALIZA

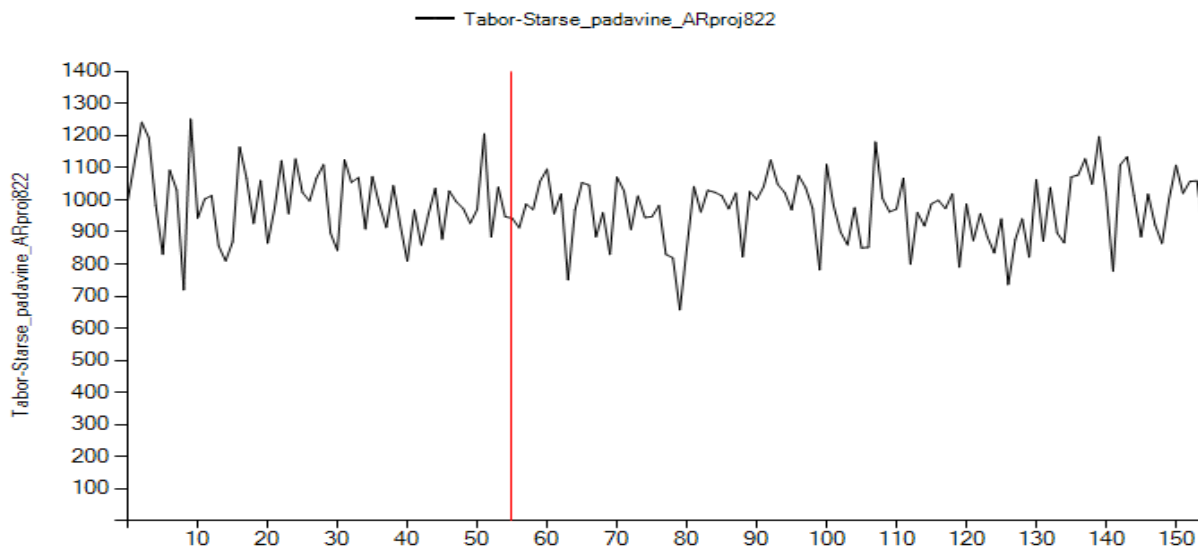
Spektralna analiza časovne serije je močno orodje za prepoznavanje ponavljanja, frekvenčno odvisno variabilnost, ki bi lahko bila povezana z vzročnim fizikalnim mehanizmom. Spekter je krivulja spremenljivke časovne vrste kot funkcije valovne številke, frekvence ali obdobja vgrajenih periodičnih funkcij. Spekter se lahko uporabi za identifikacijo osnovnega vzorca, ki pojasnjuje veliko o spremenljivosti v časovni vrsti in lahko zagotovi nekaj vpogleda v to, kateri fizikalni procesi lahko povzročijo spremenljivost.

V programu HydroClimATe so bili obdelani podatki meteoroloških postaj Maribor Tabor, Letališče Edvarda Rusjana in Starše. Za vsako postajo bil lahko bil v programu sicer posebej narejen izračun in simulacija, vendar bi s tem dobili nešteto grafov, ki se pa med seboj ne bi veliko razlikovali. Glede na niz podatkov in lokacije meteoroloških postaj se je uporabilo samo podatke meteoroloških postaj Maribor Tabor in Starše. Pri meteorološki postaji Letališče Edvarda Rusjana ni podatkov od leta 1963 do 1977. V kolikor bi se podatke vseh treh meteoroloških postaj združilo, bi se do leta 1977 dobilo drugačne vrednosti od vrednosti po letu 1977. S tem bi bila prikazana nerealna slika izračunanih obstoječih vrednosti in vrednosti projekcije. Podatki meteoroloških postaj Maribor Tabor in Starše so tako bili predhodno med seboj združeni in izračunani v povprečne vrednosti. Podatki, ki so se uporabili, so količine padavin in temperatura zraka. Podatki o evapotranspiraciji so bili direktno dostopni na portalu Agencije Republike Slovenije za okolje,

vendar samo do leta 2016. Podatke bilance podzemne vode pa je bilo potrebno izračunati (poglavje 3.3). Za vsak parameter je bila posebej narejena simulacija in s tem tudi vpogled v to, kaj se bo predvidoma zgodilo s klimatskimi dejavniki na obravnavanem območju čez približno 100 let. Narejene so bile tudi simulacije za naslednjih 500 let, vendar projekcije niso pokazale večjega odklona od projekcij za 100 let in zato niso bile vključene v raziskavo. Sam program na žalost ne prepozna letnic in je te potrebno oštevilčiti kot niz podatkov od 1 do številke, kjer se konča niz oziroma kjer je zadnja letnica. Letnice je potrebno oštevilčiti kot niz podatkov, ker tako določimo število projekcij. V prvi simulaciji smo uporabili 100 projekcij, kar je enako kot 100 let. Podatki, ki so bili pridobljeni, so se ponovno vpisali v Microsoft Excel®, kjer so bile izračunane povprečne vrednosti in trendi ter za lažji pregled izdelani grafi.

5.5.1 Simulacija povprečne količine padavin v naslednjih 100 letih

Prvi model simulacije je bila simulacija količine padavin na meteoroloških postajah Maribor Tabor in Starše. Podatki obeh postaj so se združili in narejeni so bili izračuni povprečnih vrednosti. Tako so bili pridobljeni povprečni podatki količin padavin v mm na leto. Te podatke smo vstavili v podatkovne tabele. Pri simulaciji smo uporabili enojno projekcijo, iz katere se je pridobilo podatke količine padavin, ki so predvidene za naslednjih 100 let. S projekcijo smo dobili podatke, ki kažejo na vse večje ekstreme oziroma nihanja padavin od leta do leta (graf 17 in graf 18). Začetni podatek je iz leta 1963, kar v programu HydroClimATe predstavlja številko 1, 1964 številko 2 in tako naprej do leta 2017, ki ima številko 55. Leto 2018 je bilo potrebno že simulirati, saj meteorološka postaja Starše leta 2018 ni več delovala. Pri grafu 17 (izračun programa HydroClimATe) rdeča črta označuje mejo med merjenimi podatki iz meteoroloških postaj in projekcijo za naslednjih 100 let. Za lažjo predstavo je bil narejen podoben graf v Microsoft Excel® (graf 18), kjer so vidne predvidene količine padavin v naslednjih 100 letih in tudi linearna črta, ki prikazuje trend količine padavin. Sam trend nam nakazuje padec povprečne količine padavin v naslednjih 100 letih za skoraj 50 mm. Rezultat je bil pričakovan, saj je že izračun trenda količine padavin na severnem Dravskem polju v Microsoft Excel® (poglavje 3.2) nakazoval takšen rezultat.



Slika 31: Graf projekcije količine padavin na meteorološki postaji Maribor Tabor za naslednjih 100 let s programom HydroClimATe

Avtor: T. Kopač, 2019

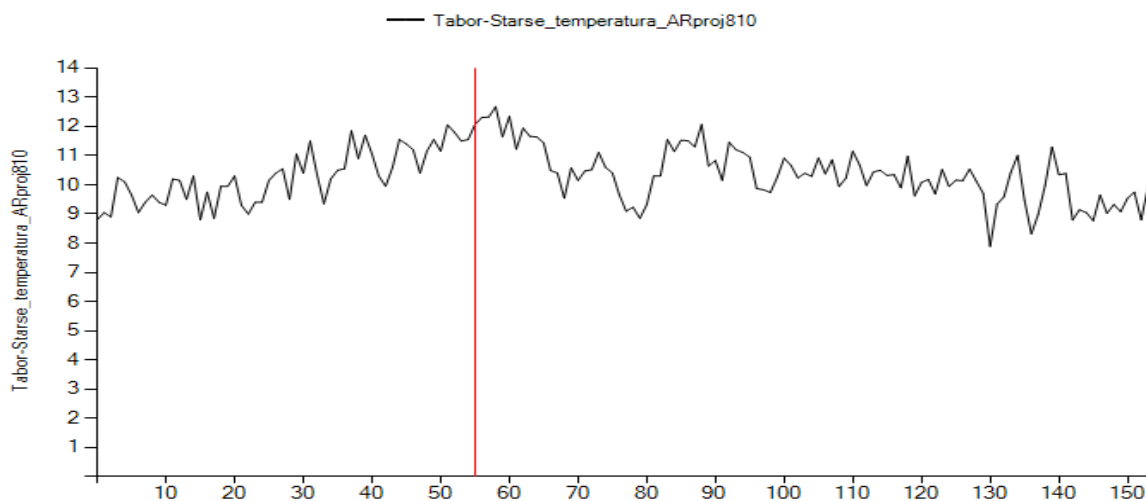


Slika 32: Graf projekcije količine padavin na meteorološki postaji Maribor Tabor za naslednjih 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto

Avtor: T. Kopač, 2019

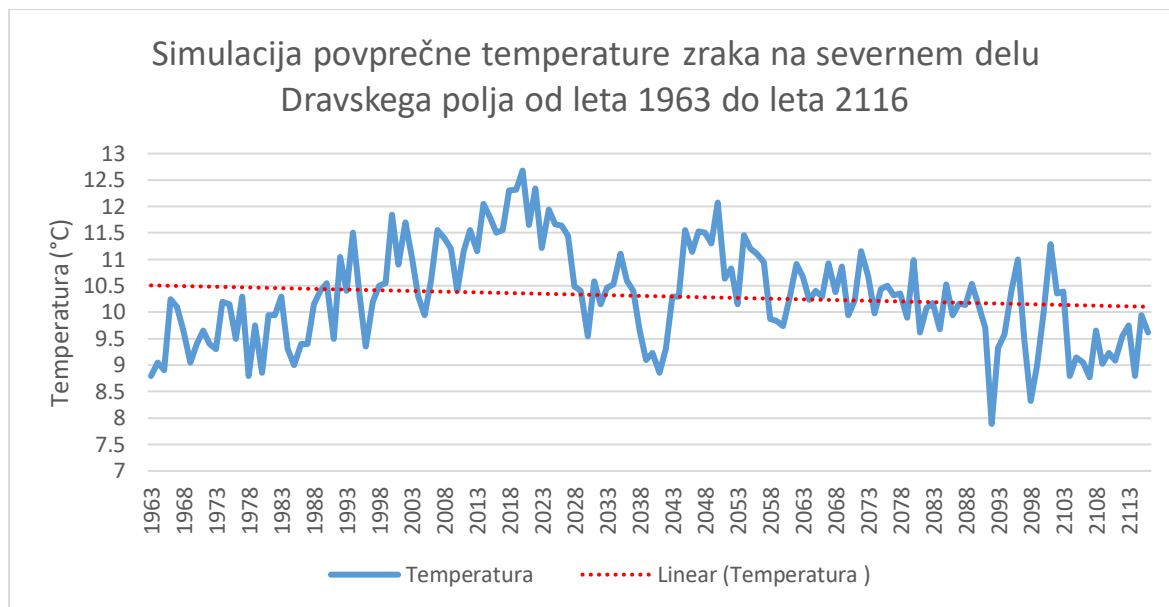
5.5.2 Simulacija povprečne temperature zraka v naslednjih 100 letih

Naslednji model je bila simulacija temperature zraka. Uporabilo se je enako izhodišče, tako da se je podatke o temperaturi zraka od meteoroloških postaj Maribor Tabor in Starše združilo. Tudi tukaj je niz podatkov enak kot pri padavinah. Začetno leto je 1963, kar v programu HydroClimATe ponazarja začetek s številko 1, konča pa se s številko 154, ki predstavlja leto 2116. Simulacija je pokazala zanimiv obrat leta 2020, kjer je padec temperatur zraka v naslednjih 21 letih iz 12,7 °C na 8,9 °C, kar pomeni 3,8 °C temperaturne razlike. Od leta 2041 predvideva nenadno porast do leta 2050 na 12,1 °C, kar pomeni povišanje temperature za 3,2° v 10 letih. Od leta 2062 do leta 2089 simulacija prikazuje nekoliko mirno obdobje, vendar pa po letu 2089 ponovno predvideva zelo močne ekstreme, ki trajajo do leta 2104, za tem pa spet sledi manjša umiritev nihanja. Zanimivo je tudi, da celoten model v naslednjih 100 letih prikazuje padec temperatur zraka za skoraj 0,5 °C. Rezultat te simulacije je nekoliko presenetljiv, saj so izračuni trendov v Microsoft Excel® (poglavje 3.2) nakazovali porast temperatur zraka in ne padca. Pričakovani so sicer bili večji ekstremi, vendar v obratno smer. Pri grafu 19 (izračun programa HydroClimATe) rdeča črta označuje mejo med merjenimi podatki iz meteoroloških postaj in projekcijo za naslednjih 100 let.



Slika 33: Graf simulacije povprečne temperature zraka za naslednjih 100 let s programom HydroClimATe

Avtor: T. Kopač, 2019

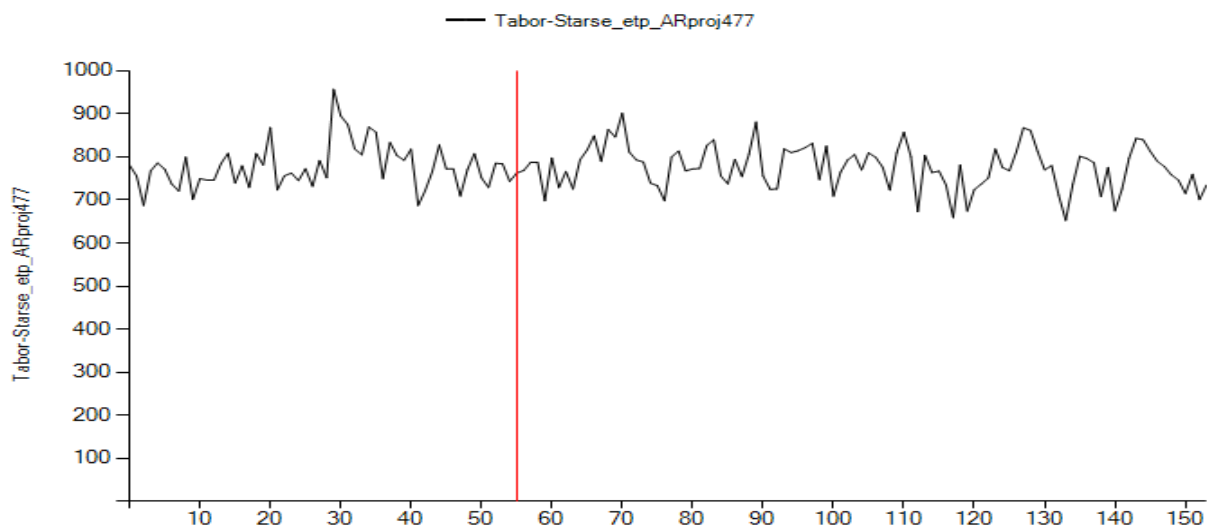


Slika 34: Graf simulacije povprečne temperature zraka za naslednjih 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto

Avtor: T. Kopač, 2019

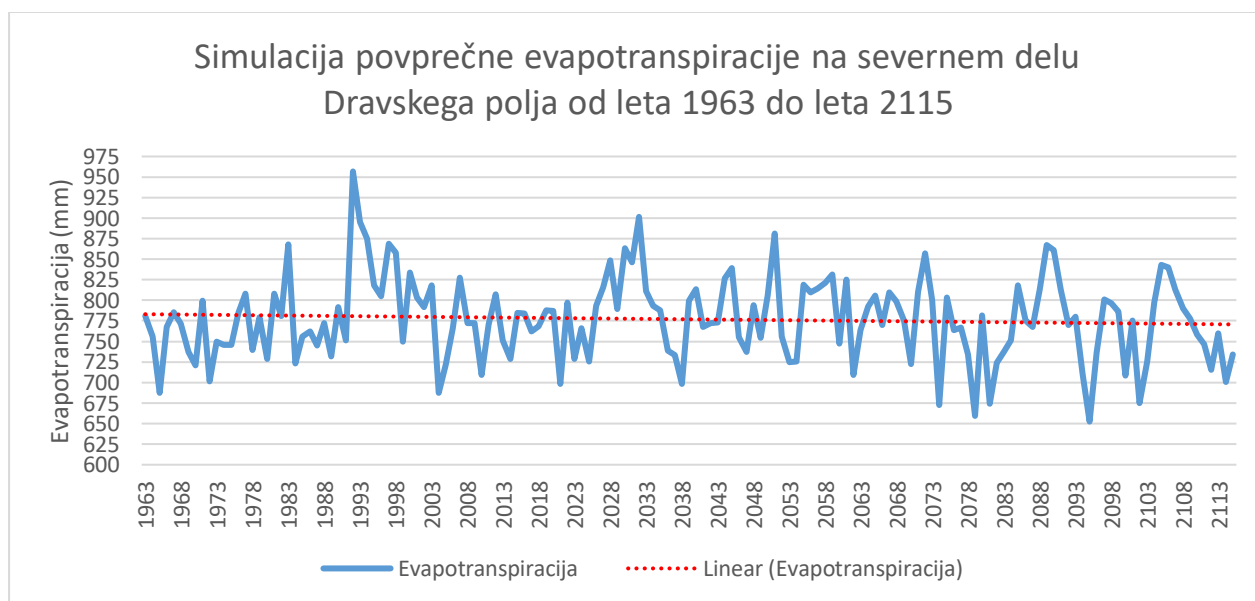
5.5.3 Simulacija evapotranspiracije za naslednjih 100 let

Evapotranspiracija je seštevek neposrednega izhlapevanja vode, torej evaporacije, in izhlapevanja vode preko rastli, transpiracije. Simulacija evapotranspiracije kaže rahel padec v naslednjih 100 letih. Ekstremi se bodo sicer nadaljevali, vendar močno povečanje teh ekstremov ni predvideno. Kot vemo, na evapotranspiracijo močno vplivata temperatura zraka in količina padavin. Da se bodo padavine predvidoma nekoliko zmanjšale in temperatura zraka povečala, je bilo povedano pri izračunu trendov (poglavje 3.2), zato je bila pričakovana tudi porast evapotranspiracije. Vendar se je že pri simulaciji temperature zraka pokazal drugačen trend, saj je bil ta v smeri ohladitve in ne rasti. Posledično je bilo nato pričakovati tudi zmanjšanje evapotranspiracije, vendar je ta minimalna, in sicer približno 10 mm v naslednjih 100 letih. Pri grafu 21 (izračun programa HydroClimATe) rdeča črta označuje mejo med merjenimi podatki iz meteoroloških postaj in projekcijo za naslednjih 100 let.



Slika 35: Graf simulacije letne evapotranspiracije na severnem delu Dravskega polja za naslednjih 100 let s programom HydroClimATe

Avtor: T. Kopač, 2019



Slika 36: Graf simulacije letne evapotranspiracije zraka za naslednjih 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto

Avtor: T. Kopač, 2019

5.5.4 Simulacija bilance vodne za naslednjih 100 let

Vodno bilanco se računa po osnovni enačbi vodne bilance (Bat idr, 2008):

$$P = Q + I + dS$$

Pri čemer je:

P – padavine

Q – odtok

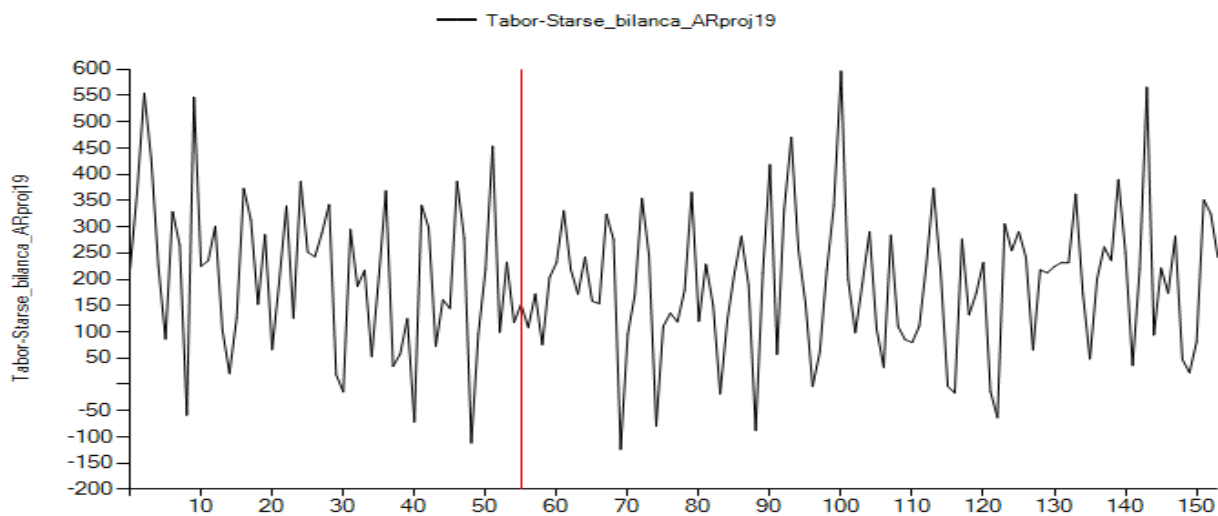
I – izhlapevanje

dS – zaloge

Kot že opisano v poglavju 5.4, je odtok v našem primeru za podzemne vode zanemarljiv in ni bil upoštevan. Tako smo dobili formulo:

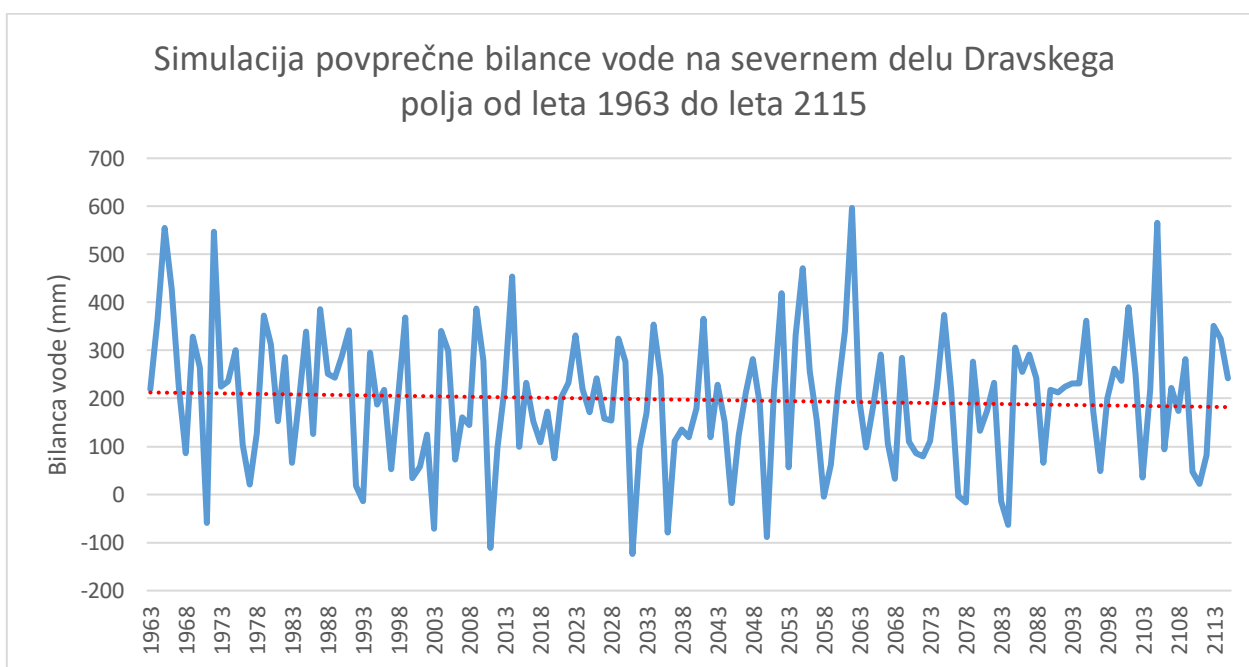
$$dS = P - I$$

Glede na osnovne podatke in izračune, ki so bili narejeni s pomočjo MS Excel®, je trend vodne bilance na vseh treh meteoroloških postajah kazal negativno rast, kar pomeni predvideno manjšanje zalog podzemne vode. Tudi primerjalna obdelava podatkov gladin podzemne vode nakazuje padec le-te. Simulacija je pokazala tako vse večja nihanja v bilanci vode, kot tudi padec za dobrih 40 mm do leta 2115. Moramo se zavedati še, da se v izračunu bilance vode ne upošteva vpliva rose kot pomembnega prispevnega faktorja k bilanci (poglavje 2.2), saj se stopnja rose ne meri in zanjo ni podatkov. Ne moremo upoštevati tudi, kolikšna količina padavin površinsko odteče v površinske vodotoke in ne v podzemne vode, kadar so večji nalivi in je zaradi prevelikih količin vode onemogočena zmožnost pronicanja skozi tla. V takšnem primeru se tudi evaporacija močno poveča, saj se voda dlje časa zadržuje na površini tal. Na Dravskem polju je na Teznu v Mariboru postavljen lizimeter na kmetijski površini, vendar se ta uporablja za kemijske analize, ki jih opravlja Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano v Mariboru, in za obdelavo vremenskih podatkov v sklopu Imisijskega monitoringa Mestne občine Maribor. Pri grafu 23 (izračun programa HydroClimATe) rdeča črta označuje mejo med merjenimi podatki iz meteoroloških postaj in projekcijo naslednjih za 100 let.



Slika 37: Graf simulacije letne bilance vode za naslednjih 100 let, predstavljena s programom HydroClimATe

Avtor: T. Kopač, 2019



Slika 38: Graf simulacije letne bilance podzemne vode naslednjih za 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto

Avtor: T. Kopač, 2019

5.6 OBDELAVA PODATKOV IN IZRAČUN PREDVIDENIH TRENDOV NA PODLAGI ANALIZE PROGRAMA HYDROCLIMATE PO LETNIH ČASIH

Izračuni trendov in simulacije za naslednjih 100 let so sicer pokazali nekakšne težnje k zmanjšanju obravnavanih parametrov. Poglavitni podatek je dalo dejstvo, da bo glede na simulacije prišlo do vse večjih ekstremov na letni ravni. Ker se opažajo tudi večja sezonska nihanja, je bilo potrebno za naslednjih 100 let narediti še simulacijo bilance podzemne vode po letnih časih.

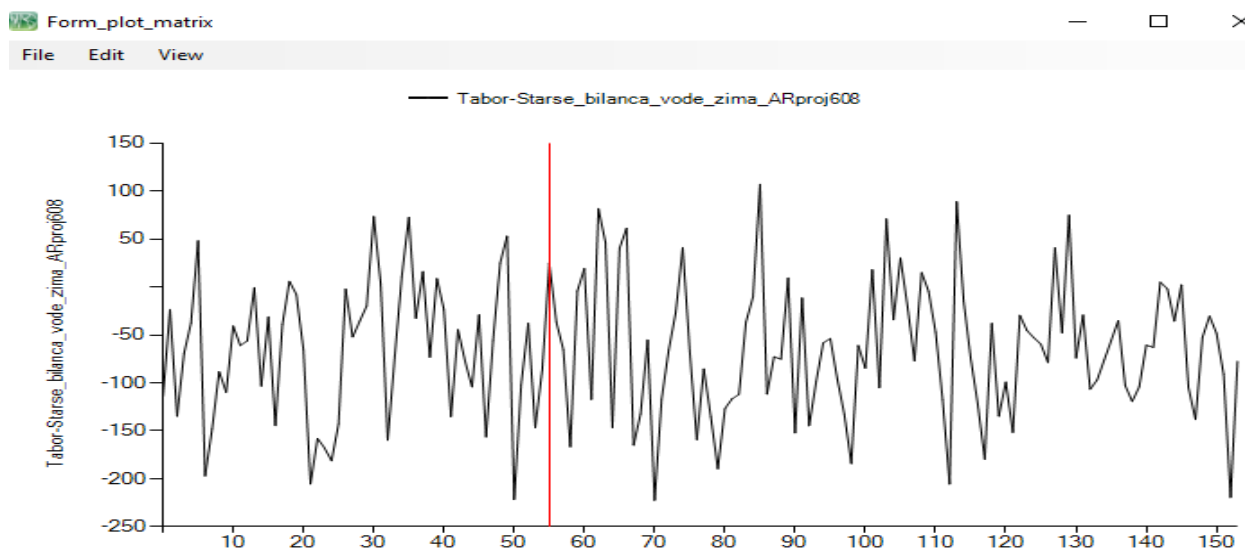
Pri grafih z izračunom programa HydroClimATe rdeča črta označuje mejo med merjenimi podatki iz meteoroloških postaj in projekcijo za naslednjih 100 let.

Simulacija zimskega letnega časa (grafa 24 in 25) ima skoraj nespremenjeno stanje trenda. Linearna črta se malenkost nagiba k znižanju vodne bilance, vendar je ta bolj neopazna. Celotna povprečna vodna bilanca v zimskem času ostaja negativna in se v povprečju giblje med -50 mm in -65 mm. Največja negativna vodna bilanca bi naj bila leta 2033 z -222,4 mm in najvišja pozitivna leta 2048 s +107,1 mm.

Medtem ko bilanca podzemne vode v zimskem času ostaja bolj ali manj nespremenjena, se v pomladnem času (grafa 26 in 27) nakazuje dvig pozitivne bilance do leta 2116. Povprečje te bilance se giblje med približno +25 mm in +60 mm, kar pomeni, da se bo po izračunih od leta 1963 do leta 2116 le-ta dvignila za 35 mm. Največji pozitiven trend bi naj dosegla leta 2094 s +220,6 mm in največji negativen trend leta 2096 z -168,4 mm.

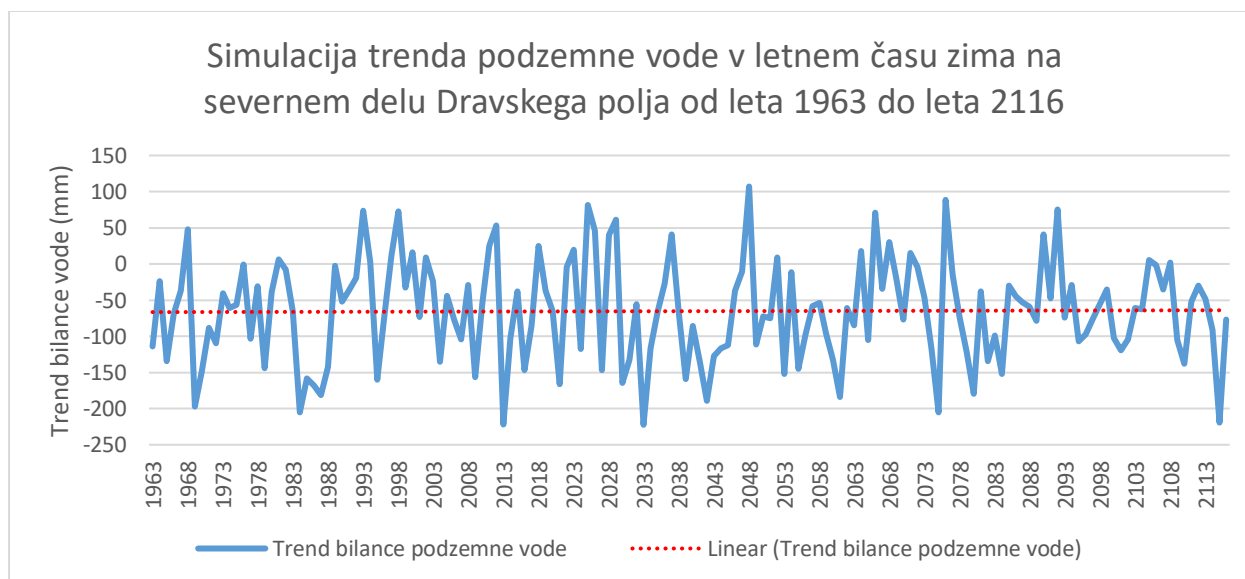
Simulacija poletnega časa (grafa 28 in 29) ne prikazuje večjih sprememb. Nihanja naj ne bi presegla dosedanjih. Nakazuje se manjši padec trenda bilance, in sicer iz -20 mm na -40 mm do leta 2116. Največja negativna bilanca se nakazuje leta 2025 z -298,9 mm. Največja pozitivna bilanca pa je bila leta 1992 s +301,3 mm, ki pa do leta 2116 naj ne bi bila presežena.

Simulacija jesenskega letnega časa (grafa 30 in 31) je pokazala rahel dvig trenda bilance podzemne vode iz približno -170 mm na -150 mm. Vendar je trend simulacije še vedno izrazito negativen, kar pomeni, da je v glavnem evapotranspiracija v tem obdobju večja od količine padavin. Kaže se tudi nadaljevanje ekstremov. Najvišja pozitivna bilanca je bila izračunana v letu 2112 s +39,5 mm, medtem ko je bila najnižja bilanca izračunana leta 2063 z -368,7 mm. Povprečje skozi celotno obdobje pa se giblje med približno -170 in -150 mm.



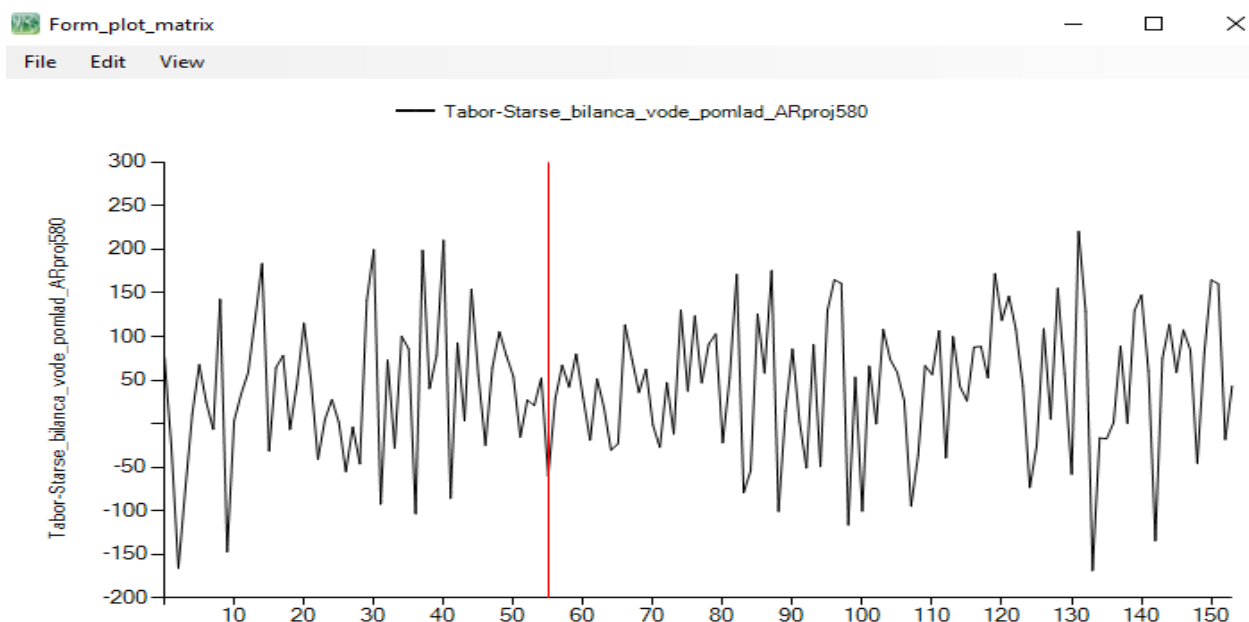
Slika 39: Graf simulacije zimske bilance podzemne vode za naslednjih 100 let, predstavljen s programom HydroClimATe

Avtor: T. Kopač, 2019



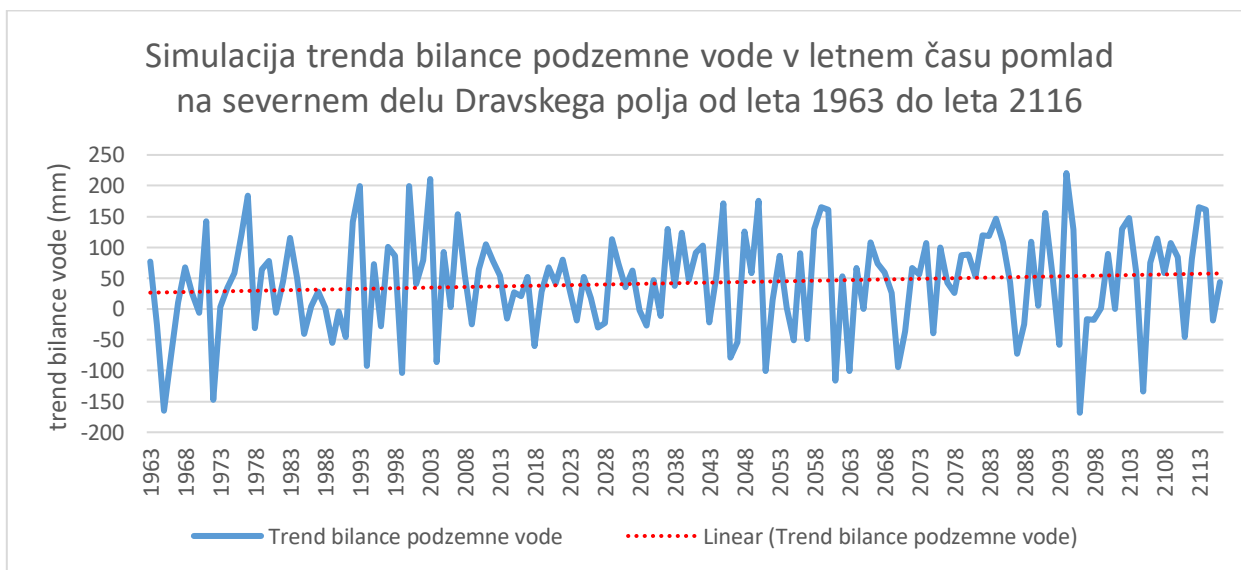
Slika 40: Graf simulacije zimske bilance podzemne vode za naslednjih 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto

Avtor: T. Kopač, 2019



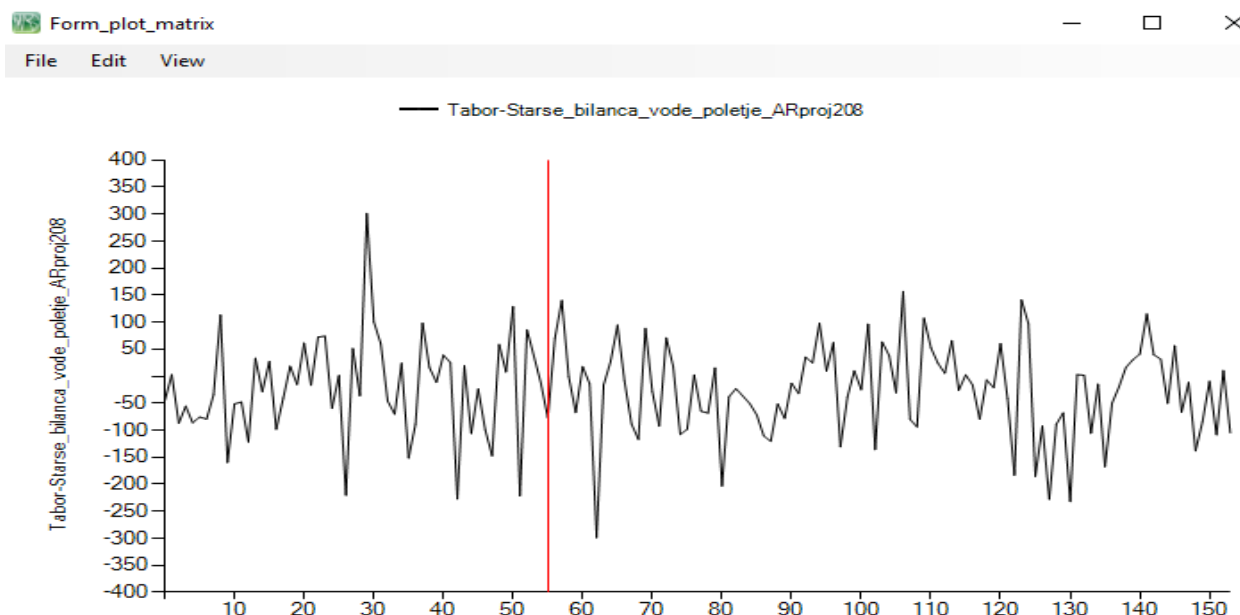
Slika 41: Graf simulacije pomladne bilance podzemne vode za naslednjih 100 let, predstavljen s programom HydroClimATe

Avtor: T. Kopač, 2019



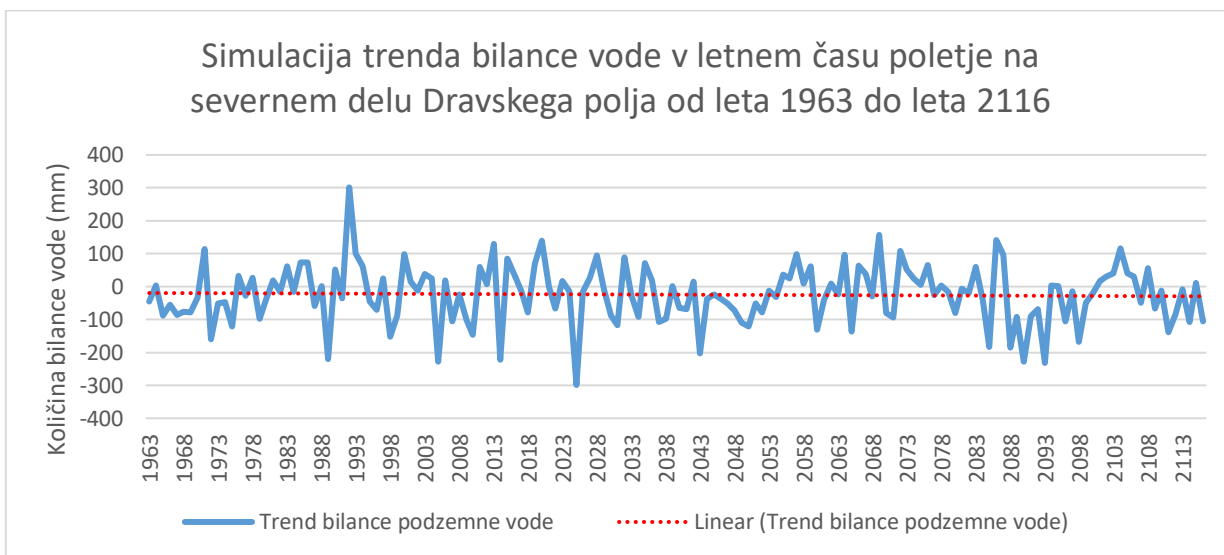
Slika 42: Graf simulacije pomladne bilance podzemne vode naslednjih za 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto

Avtor: T. Kopač, 2019



Slika 43: Graf simulacije poletne bilance podzemne vode za naslednjih 100 let, predstavljen s programom HydroClimATe

Avtor: T. Kopač, 2019



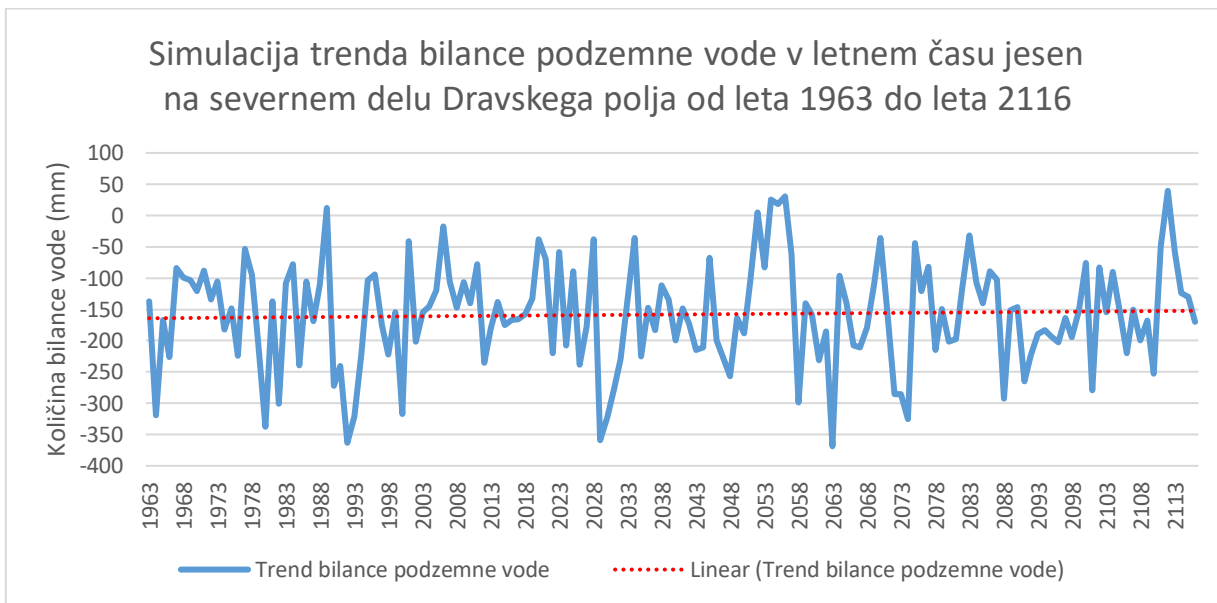
Slika 44: Graf simulacije poletne bilance podzemne vode za naslednjih 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto

Avtor: T. Kopač, 2019



Slika 45: Graf simulacije jesenske bilance podzemne vode za naslednjih 100 let, predstavljen s programom HydroClimATe

Avtor: T. Kopač, 2019



Slika 46: Graf simulacije jesenske bilance podzemne vode za naslednjih 100 let, predstavljen v Microsoft Excel® s trendno črto

Avtor: T. Kopač, 2019

6. ZAKLJUČEK

Z nalogo smo želeli predstaviti medsebojno povezanost klimatskih sprememb in napajanja podzemne vode na območju severnega dela Dravskega polja. S pomočjo arhivskih hidroloških podatkov smo analizirali trende klimatskih sprememb in vpliv na vodno bilanco podzemne vode tega območja.

Obravnavano območje predstavlja pomemben vodonosnik za oskrbo z vodo velikega dela severovzhodne Slovenije. Osredotočili smo se na podzemno vodo, ki napaja črpališča Betnava, Bohova in Dobrovce ter predviden vodni vir Dravski dvor. Za analizo klimatskih sprememb smo uporabili podatke meteoroloških postaj ARSO Maribor Tabor, Letališče Edvarda Rusjana, Fram in Starše. Za analizo trendov nivoja podzemne vode smo upoštevali vrtine na Teznem, v Bohovi in v Staršah.

Analiza arhivskih meteoroloških podatkov je pokazala, da imamo na severnem delu Dravskega polja največ padavin v poletnih mesecih, od junija do septembra, najmanj pa v zimskih mesecih, predvsem januarja in februarja. Najtoplejši mesec je julij, ko se povprečne temperature gibljejo okrog 20,5 °C. Zaradi lažjega vpogleda v spreminjanje povprečnih temperatur zraka in količin padavin smo razdelili podatke na 10 -letna obdobja. Ta so pokazala, da se je na vseh meteoroloških postajah močno povišala temperatura zraka (povprečje v začetnem obdobju okrog 9,5 °C, v zadnjem 11,5 °C). V enakem obdobju so se količine povprečnih padavin znižale in je razlika med prvim in zadnjim obdobjem tudi do 100 mm.

Pri izračunu trendov smo ugotovili, da je trend povprečnih temperatur zraka v vseh mesecih pozitiven, količina padavin je v večji meri v vseh letnih časih negativna in trend evapotranspiracije prav tako pozitiven. To pa pomeni, da se napajanje podzemne vode tega območja zmanjšuje. Podzemna voda Dravskega polja se napaja z vodami ob vznožju Pohorja in s padavinami na samem polju ter se drenira v staro strugo reke Drave. Podzemna voda izpod Pohorja do reke Drave priteče v obdobju dobrega leta in nima možnosti ustvarjanja večjih zalog voda. Tako je v sedanjih razmerah in urejenosti črpališč ranljiva na pomanjkanje vode.

S programom HydroClimATe smo predvideli prihodnost in ključne dejavnike (temperaturo, količine padavin, evapotranspiracijo in bilanco vode) simulirali s projekcijo za naslednjih 100 let. Projekcija padavin nakazuje nadaljnji padec povprečnih padavin za skoraj 50 mm v 100 letih. Pri simulaciji temperature smo dobili zanimiv obrat po letu 2020, ko se v naslednjih 21 letih nakazuje padec temperature iz 12,7 °C na 8,9 °C, nato pa v obdobju 2041 do 2050 spet porast, ko bi dosegla 12,1 °C. Po tem sledi mirnejše obdobje do leta 2089, kateremu ponovno sledijo močni ekstremi do leta 2104 in temu spet mirnejše obdobje. Ta simulacija je nakazala rahel padec povprečne temperature za celotno obdobje. Simulacija evapotranspiracije je pokazala minimalno zmanjšanje, in sicer za približno 10 mm v naslednjih 100 letih. Simulacija napajanja podzemne vode je pokazala vse večja nihanja v bilanci vode in tudi padec za dobrih 40 mm do leta 2115.

Če pogledamo letne čase, ugotavljamo, da pozimi trend ostaja skoraj nespremenjen, s povprečno negativno bilanco do -65 mm. Pomlad nakazuje dvig pozitivne bilance vode s povprečjem +35 mm. Poletje ne prikazuje večjih sprememb, nihanja ostajajo podobna sedanjim, z manjšim padcem bilance vode za dodatnih -20 mm do leta 116. Jesenski čas ima negativno bilanco vode, a se trend rahlo zmanjšuje od -170 mm na -150 mm.

Po vseh analizah lahko vidimo, da dolgoletno povprečje in simulacije za naslednjih 100 let v povprečju ne predstavljajo dramatičnih sprememb. Vendar pa so v posameznih letih ali tudi daljših časovnih obdobjih prisotne ekstremne razmere, ki lahko ob upoštevanju enoletnega obdobja za obnavljanje dinamičnih zalog podzemne vode tega območja predstavljajo zmanjševanje obstoječih kapacitet v črpališčih javne oskrbe z vodo. Tako je vsekakor potrebno v bodoče upravljanje teh vodnih virov vključiti adaptacijske ukrepe na klimatske spremembe.

Da bi bili ti ukrepi smiselni, je potrebno nadaljevati s primernim hidrološkim monitoringom in spremljati, kako se ključni dejavniki še naprej odzivajo na klimatske pogoje, vključno z ekstremnimi dogodki. Ob posodobljenih pristopih do izračuna in spremljanja vodne bilance z lizimetskimi postajami ali drugimi merilnimi napravami spremljanja vode v tleh lahko vključimo v vodno bilanco tudi do sedaj neupoštevane dejavnike, kot sta npr. rosa ali megla. Glede na to, da poteka ob robu Dravskega polja dovodni kanal HE Zlatoličje, ta relativno velika vodna površina pogosto ustvarja meglo in lahko predvsem v jesenskem času delno blaži negativno vodno bilanco. Vendar je sedaj brez pravih podatkov težko oceniti, kolikšen je ta delež.

Najučinkovitejši ukrep zagotavljanja varne oskrbe z vodo in prilagajanja klimatskim spremembam je vse bolj uporabljeno kontrolirano umetno bogatenje podzemne vode. V preteklosti so za črpališči Betnava in Dobrovce ter predviden vodni vir Dravski dvor že bili predlogi za to. S tem ukrepom lahko stabiliziramo in kontroliramo kapaciteto črpališč, varujemo kakovost vode v njih in tudi zmanjšujemo potrebna vodovarstvena območja.

Čeprav se bodo klimatski ekstremi naslednjih 100 let predvidoma nadaljevali, se povprečne vrednosti na podlagi teh izračunov ne bodo toliko spremenile. Izračuni meteoroloških podatkov preteklih 50 let s samim opazovanjem trendov so v povprečni temperaturi zraka, količini padavin in vodni bilanci nakazovali bolj drastične spremembe. Vseeno pa se moramo zavedati, da spremembe bodo in da niso zanemarljive. Osebnostno menim, da so z vse boljšo tehnologijo in načrtno večjim posvečanjem problematiki predvidene spremembe lahko obvladljive. V prognozi imamo tudi en velik ekstrem v padcu in ponovni rasti temperature zraka med leti 2020 in 2050. Vsekakor bi bilo potrebno te napovedi primerjati z nadaljnjimi podatki v naslednjih letih. Vendar nam prav takšne prognoze in razni klimatološki modeli lahko podajo vodilo k spopadanju s spremembami ali z ekstremi.

7. SUMMARY

The aim of this thesis was to present the interconnectedness of climate change and groundwater supply in the case of the northern part of the Drava Field. With the help of archival hydrological data, I have analyzed the trends of climate change and the impact on the groundwater balance of the area.

Software tools QGIS and HydroClimATe were used in our work. QGIS is a freely accessible geographic information system that is increasingly established in the professional space. When dealing with groundwater issues, it can be used for both geographical and spatial presentation, presentation of hydrogeological properties and modeling of groundwater flow and mass transport within it. In this diploma paper, I have used it for spatial representation of the area under consideration and important factors such as locations of groundwater observation wells, locations of pumping stations and locations of meteorological stations. The HydroClimATe program comes from the United States Geological Society (USGS) and was developed to identify potential impacts and impacts of climate change on specific water supplies in the area.

The area in question represents an important aquifer for the water supply of a large part of northeastern Slovenia. We focused on the groundwater that supplies the Betnava, Bohova and Dobrovce wells and the Dravski dvor water source. We used data from ARSO meteorological stations Maribor Tabor, Edward Rusjan Airport, Fram and Starše to analyze climate change. For the analysis of groundwater level trends, we considered observations wells at Tezno, Bohova and Starše.

Analysis of archival meteorological data showed that in the northern part of the Drava field, the highest rainfall occurs in the summer months from June to September, and the least in the winter months, especially in January and February. The warmest month is July, when average temperatures are around 20.5 ° C. To facilitate insight into changing average air temperatures and precipitation, I have split the data into 10 annual periods. These showed me that at all meteorological stations the air temperature increased significantly (average in the initial period around 9.5 ° C, in the last 11.5 ° C). During the same period, the average rainfall decreased and the difference between the first and the last period was up to 100 mm.

When calculating the trends, I could conclude that the trend of average air temperatures in all months is positive, the amount of precipitation is more negative in all seasons, and the trend of evapotranspiration is also positive. This, of course, means that the groundwater supply of the area is reduced. Groundwater of the Drava Field is fed by the waters at the foothills of Pohorje, by precipitation in the field itself and drained into the old riverbed of the Drava River. Groundwater from Pohorje flows to the Drava River during a good year and does not have the potential to create larger water storages. Thus, in the current conditions and orderliness of the pumping stations, it is vulnerable to water shortages.

With HydroClimATe, I have looked to the future and simulated key factors (temperature, precipitation, evapotranspiration) with a projection for the next 100 years. Rainfall projection indicates a further fall in average rainfall of nearly 50 mm over 100 years. In the simulation of temperature, I have obtained an interesting turn after year 2020, when a decrease in temperature from 12.7 ° C to 8.9 ° C is indicated in the next 21 years, and then again in the period 2041 to

2050, when it would reach 12.1 ° C. It is then followed by a more peaceful period until 2089, again followed by strong extremes until 2104, and again a more peaceful period. This simulation suggested a slight decrease in average temperature over the whole period. Evapotranspiration simulation showed a minimum decrease of about 10 mm over the next 100 years. The simulation of groundwater supply showed increasing fluctuations in the water balance and a drop of more than 40 mm by 2115.

Looking at the seasons, I find that in winter the trend remains almost unchanged with an average negative balance of up to -65 mm. Spring indicates raising a positive water balance with an average of +35 mm. The summer shows no major changes, fluctuations remain like the current ones with a slight decrease in the water balance by an additional -20 mm by 116. Autumn has a negative water balance, but the trend decreases slightly from -170 mm to -150 mm.

From all the analyzes, I can see that the long-term average and the simulations of the next 100 years do not represent a dramatic change on average. However, in individual years or longer periods, extreme conditions are present which, given the 1-year period for the renewal of dynamic groundwater reserves in the area, may represent a reduction in existing capacity at public water supply pumping stations. It is therefore certainly necessary to integrate climate change adaptation measures into the future management of these water resources.

For these measures to make sense, appropriate hydrological monitoring should be continued and monitoring of how key factors continue to respond to climatic conditions, including extreme events. With up-to-date approaches to calculating and monitoring the water balance by lysimeter stations or other soil monitoring devices, we can also include factors that have not yet been considered in the water balance, dew or fog. Given that the inlet channel of the Zlatoličje Hydroelectric Power Station runs along the edge of the Drava Field, this relatively large water surface often creates fog and can partially mitigate the negative water balance especially in the autumn. However, it is now difficult to estimate what this percentage is without the right data.

The most effective measure of ensuring a secure water supply and adapting to climate change is the increasingly used controlled artificial groundwater recharge. In the past, proposals for this were already made for the Betnava, Dobrovci and Dravski dvor pumping stations. With this measure we can stabilize and control the capacity of the pumping stations, protect the water quality in them and reduce the required water protection areas.

Although climate extremes are projected to continue for the next 100 years, average values based on these calculations will not change as much. The calculations of meteorological data from the past 50 years, by observing trends alone, indicated more drastic changes in average air temperature, precipitation, and water balance. However, we must be aware that changes will be and will not be negligible. Personally, I think that the changes that are anticipated, with better technology and planned greater focus on the issues, can be manageable. The forecast also has one major extreme in the fall and rebound of air temperature between 2020 and 2050 year. In any case, these forecasts should be compared with further measured data in the coming years. However, it is precisely such forecasts and various climatological models that help us or can lead us to cope with change or extremes.

8. VIRI IN LITERATURA

- Acreman M., 2000. *Hydrology of the UK*. Routledge, UK. Str. 336.
- Agam N., Berliner P. R., 2006. Dew formation and water vapor adsorption in semi-arid environments – A review, *Jurnal of Arid Environments* 65 (2006) 572-590.
- Bates, B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof J.P., 2008. *Climate change and water. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, str. 210.* <https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-change-water-en.pdf>
- Brunke M., Groh J., Vanderborght J. Vereecke H., Pütz T., 2019. Tau – ein bedeutsamer Bestandteil des Wasserhaushaltes eines Grünlandstandortes – Eine lysimeterbasierte Studie. 18. Lysimetertagung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 21.-22. Mai, 2019. Str. 49-58.
- Dickinson, J.E., Hanson, R.T. in Predmore, S.K., 2014, *HydroClimATe—Hydrologic and climatic analysis toolkit*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 4–A9, 49 p, <http://dx.doi.org/10.3133/tm4a9>.
- Drake, F., 2000: *Global warming: the science of climate change*. Arnold, Great Britain. Str. 116.
- Dragoni W. in Sukhija B. S., 2008. *Climate change and groundwater*, geological Society, London, 288. str.1-12. <http://dzumervis.nic.in/Climate%20Change/pdf/Climate%20change%20and%20groundwater.pdf>
- Döll P. in Fiedler K., 2008. *Global-scale modeling of groundwater recharge*. *Hydrol. Earth Syst. Sci* 12. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00305174/document>
- Döll P. in Florke M., 2005. *Global-scale estimation of diffuse groundwater recharge: model tuning to local data for semi-arid and arid regions and assesment of climate change impact*. *Franfurt Hydrology Paper*. August 2005. https://www.uni-frankfurt.de/45217767/FHP_03_Doell_Floerke_2005.pdf
- Frandon, J., 2000: *Leksikon zemlje*. Mladinska knjiga, Ljubljana. Str. 138 in 172.
- Foster S., 2008. *Urban water-supply security in sub Saharan Africa: making best use of groundwater. Groundater and climate in Africa*. International Conference, Kampala. Uganda. 24-28 junij, 2008.

- Green T.R., Charles S.P., Bates B.C. in Flaming P.M., 1997. *Simulated effects of climate change on groundwater recharge: Ghandara Mound, western Australia*. Hydrology and water resources symp., Auckland, New Zealand.
- Goudie, A.S., 1997: Geomorfologic System and Climates. Str. 58.
- Holman I.P.; 2006. *Climate change impacts on groundwater recharge uncertainty, shortcomings, and the way forward?* Hydrogeology Journal 14. Str. 637-647.
<https://core.ac.uk/download/pdf/138272.pdf>
- IPCC, 2007. Summary for policymakers. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor in H.L. Miller. <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>
- Keating, M., 1995: Agenda za spremembo, s Srečanja na vrh, Agenda 21 in drugi sporazumi iz Ria de Janeiro v razumljivem jeziku, Umanotera, Ljubljana.
- Kruijt B., Witte J. M., Jacobs S.M.J., Kroon T., 2008. Effects of rising atmospheric CO₂ on evapotranspiration and soil moisture: a practical approach for the Netherlands. *Journal of Hydrology* 349, str. 257-267 <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/362410>
- Kundzewicz Z.W. in Döll P., 2008. Will groundwater ease freshwater under climate change? *Groundwater and climate in Africa*. International Conference . Kampala, Uganda, 24-28 junij, 2008.
- Mutibwa R. K., 2008. Land use impacts on gravity-fed water supply systems in south-western Uganda. *Groundwater and Climate in Africa*. International Conference. Kampala, Uganda, 24-28 Junij, 2008.
- Retallack, S., 2001, »We´ve saved Kyoto! (Shame about the world´s climate)«. *The Ecologist* No. 9, November 2001, Climate Change.
- Roosmalen L. van, Christensen B.S.B., Sonnenborg T.O., 2007. *Regional differences in climate change impacts on groundwater and stream discharge in Denmark*. *Vadose Zone Journal*. 6
http://www.graphicnetwork.net/wp-content/uploads/2014/09/vanRoosmalen_etal_2007.pdf
- Smit B., Pilifosova O., Burton I., Challenger B., Huq S., Klein R.J.T. in Yohe G., 2001. Chapter 18 Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. IPCC Third Assessment Report, Intergovernmental Panel on Climate Change.
<https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg2/pdf/wg2TARchap18.pdf>

- Seguis L., Cappalaere B., Milesi G., Peugeot C., Massuel S., Favreau G., 2004. Simulated impacts of climate change and land clearing on runoff from small Sahelian catchment. *Hydrological Processes* 18: 3401-3413. <http://hal.ird.fr/ird-00187211/document>
- van Vliet M., 2007. *Impact of climate change on groundwater review*. IGRAC report for TNO Bouw en Ondergrond, str. 34.
- Žlebnik M., Hidrogeološke razmere na Dravskem polju. *Revija Geologija* 25/1, str. 151-164, 1982, Ljubljana. <http://www.geologija-revija.si/dokument.aspx?id=999>
- Medmrežje 1: Slika 1. Hidrološki krog, 2018. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8b.html>
- Medmrežje 2: Evropska komisija, vzroki in posledice podnebnih sprememb, 2018. https://ec.europa.eu/clima/change/causes_sl
https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_sl
- Medmrežje 3: Evropski svet, Svet Evropske Unije, 2018. <http://www.consilium.europa.eu/sl/policies/climate-change/timeline/>
- Medmrežje 4: Časnik Delo 1. junij, 2017. <https://www.delo.si/svet/evropa/v-pricakovanju-ameriske-odlocitve-kitajska-in-eu-prisegata-na-pariski-sporazum.html>
<https://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:DOC-6GGVNOCF/0940d6b6-6e52-49ba-9346-ce879f0b9d9d/PDF>
- Medmrežje 5: Geološki zavod Slovenije. <http://biotit.geo-zs.si/ogk100/>
- Medmrežje 6: ARSO, arhiv podatkov podzemne vode http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pod_arhiv_tab.php?p_vodotok=Dravsko%20polje&p_postaja=20025
- Medmrežje 7: ARSO, arhiv vremenskih podatkov <http://www.meteo.si/met/sl/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9yd!JWblR3LwVnaz9SYtVmYh9iclFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZulWYnwCchJXYtVGdlJnOn0UQQdSf;>
- Medmrežje 8: D. Ogrin, zveza Geografov Slovenije, razprava o podnebnih tipih http://zgs.zrc-sazu.si/Portals/8/Geografski_vestnik/Pred1999/GV_6801_039_056.pdf