

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**ANALIZA PODATKOV IMISIJSKEGA MONITORINGA
PODZEMNE VODE NA VODONOSNIKU VRBANSKI PLATO
S PROGRAMOM QGIS**

ANJA AČKO KOLARIČ

VELENJE, 2022

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**ANALIZA PODATKOV IMISIJSKEGA MONITORINGA
PODZEMNE VODE NA VODONOSNIKU VRBANSKI PLATO
S PROGRAMOM QGIS**

ANJA AČKO KOLARIČ

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentorica: doc. dr. Nataša Smolar-Žvanut

Somentorica: mag. Irena Kopač, univ. dipl. inž. grad.

VELENJE, 2022

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Anja Ačko Kolarič z vpisno številko 34140001, študentka visokošolskega strokovnega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtorica diplomskega dela z naslovom

ANALIZA PODATKOV IMISIJSKEGA MONITORINGA PODZEMNE VODE NA VODONOSNIKU VRBANSKI PLATO S PROGRAMOM QGIS

ki sem ga izdelala pod

- mentorstvom doc. dr. Nataše Smolar-Žvanut in
- somentorstvom mag. Irene Kopač, univ. dipl. inž. grad.

- 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 oziroma 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 plagiatstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na VŠVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektorirala ; izr. prof. dr. Alenka Valh Lopert;
- dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani VŠVO;
- sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

Velenje, dne _____

Podpis avtorice

Številka: 726-11/2020-2
Datum: 17. 8. 2020

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študentka Visoke šole za varstvo okolja **Anja Ačko Kolarič** lahko izdela diplomsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

Analiza podatkov imisijskega monitoringa podzemne vode na vodonosniku Vrbanski plato s programom QGIS.

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:

Data analysis of the imission monitoring of the groundwater in aquifer Vrbanski plato with the QGIS program.

Mentorica: **doc. dr. Nataša Smolar Žvanut**

Somentorica: **mag. Irena Kopač**.

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.



Prof. dr. Boštjan Pokorny
dekan

Visoka šola za varstvo okolja

Trg mladosti 7 | 3320 Velenje

t: 03 898 64 10 | f: 03 89864 13 | e: info@vsvo.si

www.vsvo.si



ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Nataši Smolar-Žvanut, somentorici mag. Ireni Kopač, univ. dipl. inž. grad. in Matevžu ter Andreji za vso pomoč, strokovno svetovanje ter spodbudo pri ustvarjanju diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi svoji družini in Jerneju, ki so mi ves čas študija in pisanja diplomske naloge stali ob strani in me bodrili. Hvala tudi sinku Timoteju, saj je bil moja največja motivacija za dokončanje diplomske naloge. Brez njih bi bilo veliko težje.

IZVLEČEK IN KLJUČNE BESEDE

Imisijski monitoring podzemnih voda je pomemben za spremljanje glavnih dejavnikov, ki vplivajo na kakovost pitne vode. Vključuje količino in kakovost podzemne vode, kakovost in količino ključnih površinskih vodotokov ter tal s kmetijsko proizvodnjo, ki lahko vplivajo na kakovost podzemne vode.

V prvem delu diplomske naloge je prikazan imisijski monitoring na državni ravni ter v Mestni občini Maribor ter predpise po katerih se izvaja imisijski monitoring podzemnih voda.

V drugem delu diplomske naloge je predstavljen program QGIS, prednosti in slabosti vodenja baze podatkov hidrološkega monitoringa in monitoringa kakovosti stanja podzemnih voda s programom QGIS, ter analiza teh podatkov na območju vodonosnika Vrbanski plato.

Ključne besede: podzemna voda, voda, okolje, imisijski monitoring, program QGIS, Vrbanski plato, Mestna občina Maribor

ABSTRACT AND KEY WORDS

Imission monitoring of groundwater is of importance in regards to monitoring the main factors affecting the quality of drinking water. It encompasses the quality and quantity of groundwater, key surface watercourses and soil used for agriculture which may affect the quality of groundwater.

The first part of this bachelor's thesis focuses on immission monitoring at the national level and in the Municipality of Maribor, as well as the regulations for carrying out immission monitoring of groundwater.

The second part of this thesis presents QGIS software, advantages and disadvantages of database management of hydrological monitoring and groundwater quality monitoring using QGIS software, as well as the analysis of the corresponding data acquired in the area of the Vrbanski plato aquifer.

Key words: groundwater, water, environment, immission monitoring, QGIS software, Vrbanski plato, Municipality of Maribor

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
1.1 Opredelitev teme	1
1.2 Namen in cilji diplomskega dela	2
1.3 Delovne hipoteze	2
1.4 Uporabljene raziskovalne metode	2
2 IMISIJSKI MONITORING PODZEMNIH VODA	4
2.1 Zakonodajne osnove	4
2.2 Monitoring podzemne vode na državnem nivoju	5
2.3 Ukrepi za doseganje dobrega stanja podzemnih voda	10
2.4 Imisijski monitoring podzemne vode v Mestni občini Maribor	12
3 PROGRAM QGIS	14
3.1 Predstavitev programa QGIS	14
3.2 Prednosti in slabosti vodenja baze podatkov hidrološkega monitoringa in monitoringa kakovosti voda s programom QGIS	16
4 OBSEG IN REZULTATI IMISIJSKEGA MONITORINGA PODZEMNE VODE NA VODONOSNIKU VRBANSKI PLATO	17
4.1 Hidrogeološke lastnosti vodonosnika Vrbanski plato	17
4.4 Analiza in predstavitev podatkov imisijskega monitoringa v obdobju 2007 – 2016	23
5 RAZPRAVA	33
6 ZAKLJUČKI	35
7 POVZETEK	37
8 SUMMARY	39
9 LITERATURA IN VIRI	41

KAZALO SLIK

Slika 1: Državno merilno mesto na Vrbanskem platuju, kjer se meri kakovost in količinsko stanje podzemnih voda. (Vir: Atlas okolja, 13. 4. 2021)	6
Slika 2: Državno merilno mesto na Vrbanskem platuju, kjer se meri kakovost podzemnih voda. (Vir: Atlas okolja, 13. 4. 2021).....	7
Slika 3: Merilna mesta, na katerih se izvaja monitoring kakovosti podzemne vode v okviru imisijskega monitoringa Mestne občine Maribor, prikazana s programom QGIS (Vir: Ačko Kolarič A.)	12
Slika 4: Uporabniški vmesnik programa QGIS (Vir: Ačko Kolarič A.).....	15
Slika 5: Primer dela s programom QGIS (Vir: Ačko Kolarič A.).....	15
Slika 6: Vodonosnik Vrbanskega platoja (Vir: Kopač I., Vremec M.).....	17
Slika 7: Nepropustna podlaga vodonosnika, podlaga: Pregledne karte RS 1:25.000 (Vir: Kopač I., Vremec M.)	19
Slika 8: Debelina vodonosnika, po katerem teče podzemna voda, ki se jo lahko izkorišča, podlaga: Pregledne karte RS 1:25.000 (Vir: Kopač I., Vremec M.)	19
Slika 9: Debelina nenasičene cone tal nad vodonosnikom služi tudi kot varovalna pregrada pred onesnaženjem s površine, podlaga: Pregledne karte RS 1:25.000 (Vir: Kopač I., Vremec M.)	20
Slika 10: Deleži načrpanih količin pitne vode v posameznih črpališčih mariborskega vodovodnega sistema leta 2016 (vir: Ačko Kolarič A.)	21
Slika 11: Merilna mesta hidrološkega monitoringa in monitoringa kemijskega stanja podzemnih voda – vnos podatkov v QGIS (Vir: Ačko Kolarič A.)	22
Slika 12: Gladina podzemne vode (Vir: Ačko Kolarič A.)	23
Slika 13: Raba tal (Vir: Ačko Kolarič, vir podatkov MOM.)	24
Slika 14: Nihanje podzemne vode v piezometru KP-2 (Vir: Ačko Kolarič A.).....	25
Slika 15: Statistično značilni trendi ($\alpha = 0,05$) letnih povprečij gladin podzemne vode na območju VTPodV_3012 Dravska kotlina v obdobju 1990 – 2019 (Vir: Andjelov M., Frantar P., Pavlič U. in sodelavci).....	25
Slika 16: Nihanje podzemne vode v piezometru IEI-LD2 (Vir: Ačko Kolarič A.).....	26
Slika 17: Nihanje podzemne vode v piezometru P-2 (Vir: Ačko Kolarič A.)	26
Slika 18: Nihanje podzemne vode v piezometru K-24 (Vir: Ačko Kolarič A.)	27
Slika 19: Nihanje podzemne vode v piezometru K-26 (Vir: Ačko Kolarič A.)	27
Slika 20: Nihanje podzemne vode v piezometru K-32 (Vir: Ačko Kolarič A.)	28
Slika 21: Nihanje podzemne vode v piezometru K-30 (Vir: Ačko Kolarič A.)	29
Slika 22: Prekomerne obremenitve podzemne vode z nitrati (Vir: IEI d. o. o.)	30
Slika 23: Prekomerne obremenitve podzemne vode z atrazinom (Vir: IEI d. o. o.).....	31
Slika 24: Primer prostorskega prikaza podatkov nihanja gladine podzemne vode s pomočjo QGIS (Vir: Ačko Kolarič A.)	32
Slika 25: Predlog vodenja baze v okviru QGIS (Vir: Ačko Kolarič A.).....	34

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Seznam parametrov, vključenih v program monitoringa kemijskega stanja podzemne vode. (Vir: Dobnikar Tehovnik in sod., 2017, str. 36).....	8
--	---

1 UVOD

1.1 Opredelitev teme

Voda je naravna dobrina in je pogoj za življenje na Zemlji. V naravi nenehno kroži, saj z izhlapevanjem prehaja v ozračje in se s padavinami vrača na zemeljsko površje, kjer se del vode porabi za življenjske združbe, del odteče v reke in v podzemlje, del vode pa izhlapi in se vrne v ozračje. Na našem planetu je dostopne sladke vode, ki ostane za potrebe človeka (sem spada gospodinjstvo, kmetijstvo in industrija) le en odstotek. V zadnjih sto letih se je zaradi naraščanja števila prebivalstva poraba pitne vode povečala za približno šestkrat. Po podatkih Statističnega urada RS je v Sloveniji leta 2019 količina porabljene vode iz javnega vodovoda znašala 59,3 m³/prebivalca. Onesnaževala, ki jih razlijemo po tleh končajo v podzemnih vodah, tista, ki izhlapijo, pa v obliki dimnih plinov skupaj s padavinami padejo nazaj v zemljo in vode. Emisije nevarnih snovi v vode vplivajo na poslabšanje kakovosti ter primernosti pitne vode za uporabo, kar še dodatno poslabšuje stanje na področju voda.

Najpomembnejši vir pitne vode na območju Slovenije je podzemna voda, saj se z njo oskrbuje približno 97 odstotkov njenih prebivalcev (Krajnc M., 2008, str. 5). Pomembna pa je tudi za industrijo in kmetijstvo, ki spadata v skupino največjih onesnaževalcev podzemnih voda. Onesnaženja podzemnih voda izvirajo pretežno iz točkovnih virov – izpusti industrijskih, komunalnih odpadnih voda in spiranje urbaniziranih površin. Industrija nosi največji del odgovornosti za onesnaževanje voda s težkimi kovinami in organskimi snovmi.

Odpadna voda iz naprav, ki odvajajo industrijsko odpadno vodo je lahko obremenjena predvsem z različnimi sintetičnimi onesnaževali, ki so izključno rezultat človekovega delovanja, kot tudi t.i. nesintetičnimi onesnaževali (med temi so tudi kovine), ki jih lahko najdemo tudi v naravnem okolju (Vlada Republike Slovenije, 2016, str. 24).

Značilen vpliv na onesnaževanje voda imajo tudi razpršeni viri, med katerimi pa prvo mesto zasedata intenzivno poljedelstvo in živinoreja. Med pomembnejše onesnaževalce sodi intenzivno poljedelstvo predvsem zaradi čezmerne uporabe mineralnih gnojil ter neustrezne in nenadzorovane uporabe sredstev za varstvo rastlin pred škodljivci. Intenzivno poljedelstvo je eden glavnih onesnaževalcev podzemnih voda z nitrati, fosfati in pesticidi. Živinorejske farme pa spadajo v skupino glavnih onesnaževalcev podzemnih voda zaradi neustreznega ravnanja z nastalimi odpadnimi vodami oziroma onesnaževanja z organskimi snovmi in amonijevimi spojinami. Organske snovi v vodnem okolju so ostanki odmrlih živalskih in rastlinskih organizmov in njihovih iztrebkov (Vlada Republike Slovenije, 2016, str. 24).

Do onesnaževanja s hranili prihaja zaradi izvajanja kmetijskih dejavnosti, to je rabe živinskih gnojil, rabe mineralnih gnojil, rabe gnojilne gošče iz večjih živinskih obratov ali komunalnih čistilnih naprav. Navedeno je v kombinaciji z neprimernim urejanjem kmetijskih zemljišč (odstranjevanje obrežne vegetacije, neprimerno namakanje, ipd.) in v kombinaciji z naravnimi danostmi (tla, padavine, itn.) velikokrat vzrok za slabo stanje voda. Do onesnaževanja prihaja zaradi spiranja, zanašanja ob aplikaciji mineralnih gnojil in gnojevke, neposrednega površinskega odtoka zaradi odstranjene obrežne vegetacije ipd. (Vlada Republike Slovenije, 2016, str. 33).

Za izboljšanje kakovosti življenja ljudi in z izogibanjem onesnaženju, ki ima škodljive posledice na človekovo zdravje, je Evropska skupnost pripravila nekaj ključnih strateških dokumentov. Na področju voda je glavni poudarek na izvajanju Vodne direktive (2000/60/ES), postavlja enotne principe za spremljanje in ocenjevanje stanja voda (Dobnikar Tehovnik in sod., 2017, str. 1). Program imisijskega monitoringa podzemnih voda, ki je načrtovan na podlagi določil

slovenskih predpisov in evropske Direktive o vodah, se v Sloveniji izvaja vse od leta 1987, Mestna občina Maribor pa imisijski monitoring izvaja neprekinjeno od leta 2001, spremlja glavne dejavnike, ki vplivajo na kakovost pitne vode in pridobivajo podatke o problematičnih onesnaževalih kot so endokrini motilci in ostanki farmakoloških substanc na območju mariborske občine in sosednjih občin na vodoprисpevnih območjih vodnih virov javnega vodovodnega sistema, ki ga upravlja Mariborski vodovod. Program monitoringa kemijskega stanja podzemnih voda se izvaja dvakrat letno in sicer v pomladanskem in jesenskem času. Program monitoringa količinskega stanja podzemnih voda poteka celo leto. Na obravnavanem območju se vsako leto opravi na nekaj ključnih točkah tudi analiza tal za oceno onesnaževanja s kmetijskih ali drugih obremenjenih površin. Program monitoringa kemijskega stanja podzemnih voda se v skladu z Vodno direktivo deli na nadzorni in operativni monitoring.

1.2 Namen in cilji diplomskega dela

Namen diplomskega dela je predstaviti strokovne zasnove programa QGIS ter njegovo uporabnost pri vodenju hidroloških in kakovostnih baz podatkov imisijskega monitoringa podzemne vode. Predstavljeno je testiranje orodja QGIS na območju vodonosnika Vrbanski plato v obdobju desetih let (2007 – 2016) ter ocena prednosti in slabosti tega orodja.

Cilji diplomskega dela so:

- pregledati zakonodajo s področja podzemnih voda in imisijskega monitoringa podzemnih voda,
- predstaviti prednosti in slabosti uporabe programa QGIS.

1.3 Delovne hipoteze

V diplomskem delu sem postavila naslednje hipoteze:

- Program QGIS predstavlja sodobnejše vodenje baz podatkov od obstoječega načina z uporabo programov Microsoft Excel in Access.
- Program QGIS omogoča hitrejšo in lažjo predstavitev določenega izbora podatkov baze monitoringa, predvsem pa omogoča lažjo izmenjavo datotek in njihovo uporabnost med različnimi deležniki.
- Za predstavitve rezultatov imisijskega monitoringa se je do sedaj uporabljalo ločena orodja kot sta Access in Excel. Podatke je treba vnašati v vsak program posebej, program QGIS pa omogoča hitrejšo prikazovanje rezultatov, ki jih želimo prikazati, saj v ta program podatke vnesemo le enkrat, nato pa z ukazi določimo kaj želimo prikazati (npr.: koordinate merilnih mest, gladine podzemnih voda, hidroizohipse, onesnaženost podzemnih voda). Za vnos osnovnih točkovnih podatkov se lahko uporablja tudi neposredno Excelove tabele, ki postanejo del baze QGIS.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

V diplomski nalogi sem pregledala domačo in tujo literaturo s področja monitoringa podzemnih voda na državnem nivoju ter v Mestni občini Maribor.

V povezavi z imisijskim monitoringom podzemnih voda sem pregledala domačo literaturo, ki sem jo pridobila na spletnih straneh in v podjetju IEI d. o. o.. Pregledala sem direktive, zakone, pravilnike in uredbe s področja podzemnih voda.

Ačko Kolarič, A.: Analiza podatkov imisijskega monitoringa podzemne vode na vodonosniku Vrbanski plato s programom QGIS. VŠVO, Velenje, 2022

Pregledala in obdelala sem podatke imisijskega monitoringa Mestne občine Maribor za obdobje desetih let (2007 – 2016), ki sem jih pridobila v podjetju IEI d. o. o. ter primerjala dosednji način vodenja baze podatkov z vodenjem podatkov s pomočjo programa QGIS. Pregledala sem predvsem tujo literaturo o programu QGIS, saj v slovenski literaturi obstaja zelo malo podatkov o uporabi tega programa.

Za ugotavljanje kakovosti podzemnih voda na območju Vrbanskega platoja sem med vsemi parametri, ki so vključeni v program imisijskega monitoringa podzemnih voda, izbrala nitrat in atrazin, saj spadata med parametre, ki v Sloveniji povzročajo slabo kemijsko stanje podzemne vode. Na podlagi pridobljenih podatkov o gladinah podzemne vode v Mestni občini Maribor in parametrih, ki so vključeni v program, sem izdelala grafe, iz katerih je razvidno naraščanje oziroma padanje gladin podzemne vode ter vsebnosti nitratov in atrazina v podzemni vodi na območju Vrbanskega platoja. Z analizo podatkov sem predstavila desetletne podatke o hidrološkem in kakovostnem stanju podzemnih voda. V program QGIS sem vstavila koordinate merilnih mest, na katerih se v Mestni občini Maribor izvaja tako hidrološki monitoring kot tudi monitoring kemijskega stanja podzemnih voda – teh merilnih mest je 8. Iz tega sem ugotavljala vpliv reke Drave na gladino podzemne vode ter vpliv gladin na prisotnost nitratov in atrazina v podzemni vodi. S tem sem tudi ugotavljala uporabnost programa QGIS. Pri diplomskem delu sem uporabljala različico QGIS 2.18.19 Las Palmas de G.C.

2 IMISIJSKI MONITORING PODZEMNIH VODA

2.1 Zakonodajne osnove

Program imisijskega monitoringa stanja voda je pripravljen v skladu z nacionalno in evropsko zakonodajo s področja spremljanja stanja voda ter v skladu z mednarodnimi konvencijami in meddržavnimi sporazumi s sosednjimi državami. Upošteva se tudi ocena stanja voda ter ocena verjetnosti doseganja okoljskih ciljev, ki sta sestavni del Načrta upravljanja voda 2016–2021 (Dobnikar Tehovnik in sod., 2017 str. 2)

Nacionalna zakonodaja s področja spremljanja stanja podzemnih voda:

- Zakon o varstvu okolja (*Uradni list RS št. 41/04, 20/06, 39/06, 70/08, 108/09, 48/12, 57/12, 92/13, 56/15, 102/15, 30/16*),
- Zakon o vodah (*Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdl-A, 41/04 – ZVO-1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14 in 56/15*),
- Nacionalni program varstva okolja (NPVO) (*Uradni list RS, št. 83/99 in 41/04*),
- Uredba o stanju podzemnih voda (*Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16*),
- Uredba o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov (*Uradni list RS št. 113/09, 5/13, 22/15*),
- Uredba o standardih kakovosti podzemne vode (*Uradni list RS, št. 100/05 in 25/09*),
- Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o podrobnejši vsebini in načinu priprave načrta upravljanja voda (*Uradni list RS št. 74/16*),
- Pravilnik o metodologiji za določanje vodnih teles podzemnih voda (*Uradni list RS, št. 65/2003*),
- Pravilnik o pitni vodi (*Uradni list RS, št. 19/04, 35/04, 26/06, 92/06, 25/09, 74/15 in 51/17*),
- Pravilnik o oskrbi s pitno vodo (*Uradni list RS, št. 35/06*) in
- Pravilnik o monitoringu podzemnih voda (*Uradni list RS, št. 31/2009*).

Evropska zakonodaja s področja spremljanja stanja podzemnih voda:

- Direktiva 2000/60/ES Evropskega Parlamenta in Sveta z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike,
- Direktiva 2006/118/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 12. decembra 2006 o varstvu podzemne vode pred onesnaževanjem in poslabšanjem,
- Direktiva 2008/105/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 16. decembra 2008 o okoljskih standardih kakovosti na področju vodne politike, spremembi in poznejši razveljavitvi direktiv 82/176/EGS, 83/513/EGS, 84/156/EGS, 84/491/EGS, 86/280/EGS ter spremembi Direktive 2000/60/ES Evropskega parlamenta in Sveta,
- Direktiva Komisije 2009/90/ES z dne 31. julija 2009 o določitvi strokovnih zahtev za kemijsko analiziranje stanja voda v skladu z Direktivo Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES.

Dejavnosti ter posegi v okolje so na območju Vrbanskega platoja strogo omejeni, saj spada to območje pod najožji režim vodovarstvenega območja. Dejavnosti, ki jih lahko oziroma ki se jih ne sme opravljati na tem območju, so zapisane v Uredbi o vodovarstvenem območju za vodno telo Ruš, Vrbanskega platoja, Limbuške dobrove in Dravskega polja (Ur. l. RS, št. 24/2007) (Vremec, 2016, str. 10).

Najpomembnejše zakonodajne podlage za program imisijskega monitoringa podzemne vode na območju Vrbanskega platoja so:

1. Pravilnik o monitoringu podzemnih voda (Uradni list RS, št. 31/2009)

Pravilnik določa način in obseg izvajanja monitoringa podzemnih voda, pogostost vzorčenja, analiz ali meritev ter pogoje za izvajalce monitoringa podzemnih voda.

2. Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ruš, Vrbanskega platoja, Limbuške dobrove in Dravskega polja (Uradni list RS, št. 24/07, 32/11, 22/13, 79/15 in 182/20)

Ta uredba določa vodovarstveno območje in vodovarstveni režim za vodno telo vodonosnikov 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.

2.2 Monitoring podzemne vode na državnem nivoju

Državni monitoring kakovosti podzemnih voda se je v Sloveniji začel izvajati leta 1987. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) izvaja imisijski monitoring voda v naravnem okolju na podlagi Zakona o varstvu okolja in Zakona o vodah. Program spremljanja kakovosti podzemne vode je za vsako leto pripravljen v skladu z Uredbo in Pravilnikom o monitoringu podzemnih voda, ki sta v slovenski pravni red leta 2009 prenesla Direktivo o varstvu podzemne vode pred onesnaženjem in poslabšanjem. Okvir za delovanje Skupnosti na področju vodne politike določa Direktiva o vodah (Mihorko in Gacin, 2015, str. 1).

Cilji Direktive Evropskega parlamenta in Evropskega sveta z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike za podzemne vode so, da države članice izvedejo potrebne ukrepe, da preprečijo ali omejijo vnašanje onesnaževal v podzemno vodo in da preprečijo poslabšanje stanja vseh teles podzemne vode ter da varujejo, izboljšujejo in obnavljajo telesa podzemne vode ter zagotavljajo ravnotežje med odvzemanjem in obnavljanjem podzemne vode tako, da se dobro stanje doseže do leta 2027. V omenjeni direktivi so podani osnovni principi monitoringa in ocenjevanja stanja voda (Dobnikar Tehovnik in sod., 2017, str. 1).

Imisijski monitoring se izvaja z namenom (Sovič in sod., 2013, str.13):

- ugotavljanja prisotnosti nevarnih snovi,
- spremljanja trendov obremenitev v prostoru in po času,
- priprave reprezentativnih informacij o razmerah v okolju, ki so med drugim primerna oblika informacije prebivalcem in sočasno podlaga za načrtovanje in izvajanje sanacijskih programov oziroma aktivnosti.

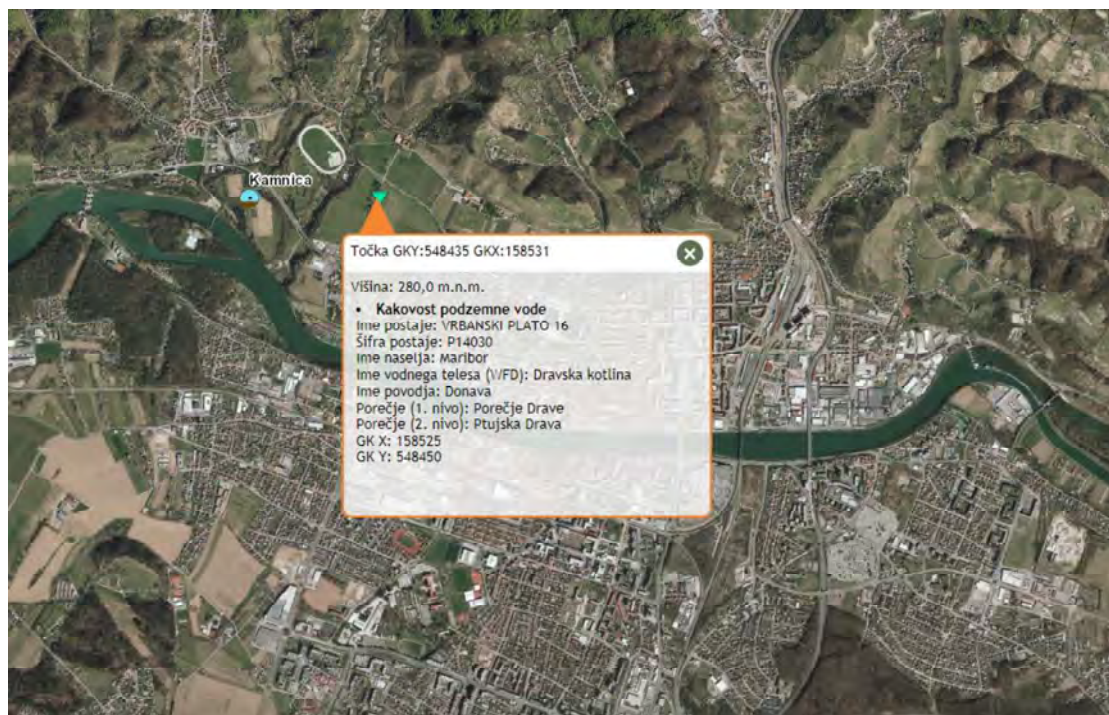
V Pravilniku o monitoringu podzemnih voda (Uradni list RS, št. 31/2009) je zapisano, da izvajanje monitoringa podzemnih voda obsega:

- zbiranje in vodenje podatkov o merilnih mestih,
- vzpostavitev in vzdrževanje mreže merilnih mest,
- izvajanje meritev in vzorčenja na merilnih mestih,
- osnovno obdelavo podatkov in vodenja podatkovnih zbirk,
- ugotavljanje kemijskega oziroma količinskega stanja,
- obveščanje pristojnih institucij o preseganju standardov kakovosti oziroma vrednosti praga,
- pripravo programa monitoringa podzemnih voda in
- pripravo poročila o stanju podzemnih voda.

Monitoring podzemnih voda vključuje monitoring kemijskega stanja podzemnih voda in hidrološki monitoring podzemnih voda (količinsko stanje). Parametri, ki so vključeni v program monitoringa kemijskega stanja podzemne vode, so predstavljeni v preglednici 1. Na spletni strani ARSO – Atlas okolja – lahko preverimo, na katerih merilnih mestih se izvaja monitoring kakovosti podzemnih voda in na katerih se zraven kakovosti izvaja tudi hidrološki monitoring. Primer prikaza za Vrbanski plato je predstavljen na slikah 1 in 2.



Slika 1: Državno merilno mesto na Vrbanskem platoju, kjer se meri kakovost in količinsko stanje podzemnih voda. (Vir: Atlas okolja, 13. 4. 2021)



Slika 2: Državno merilno mesto na Vrbanskem platoju, kjer se meri kakovost podzemnih voda. (Vir: Atlas okolja, 13. 4. 2021)

Preglednica 1: Seznam parametrov, vključenih v program monitoringa kemijskega stanja podzemne vode. (Vir: Dobnikar Tehovnik in sod., 2017, str. 36)

PODATKI O OBJEKTU IN VZORČENJU:

vodostaj, premer objekta, globina vrtine, nivo vode, višina vodnega stolpca, ocenjeni volumen v objektu, globina zajema vzorca, pretok - ocena, predčrpanje - (tip črpalke, čas črpanja, prečrpan volumen), električna prevodnost na začetku, električna prevodnost na koncu, temperatura vode na začetku, temperatura vode na koncu, opombe - (stanje okolice, opažanja ob vzorčenju, opažanja stanja podzemne vode ali vodotoka).

PARAMETRI MERJENI NA TERENU:

temperatura zraka, temperatura vode, pH, električna prevodnost (20 °C), kisik, nasičenost s kisikom, redoks potencial.

OSNOVNI PARAMETRI:

barva, motnost, KPK s KMnO_4 , skupni organski ogljik TOC, amonij, nitrit, nitrat, ortofosfati, skupni fosfor, sulfati, kloridi fluorid, natrij, kalij.

ONESNAŽENJA:

PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153, PCB-180.

KOVINE:

aluminij, antimon, arzen, baker, barij, berilij, bor, cezij, cink, galij, kadmij, kobalt, kositer, krom, mangan, molibden, nikelj, rubidij, selen, srebro, stroncij, svinec, talij, titan, vanadij, železo, živo srebro.

TRIAZINSKI PESTICIDI IN METABOLITI:

acetoklor, alaklor, atrazin, azoksistrobin, cianazin, desetil-atrazin, desetil-terbutilazin, desizopropil-atrazin, diazinon, 2,6 diklorobenzamid, dimetenamid, dimetoat, metalaksil, metazaklor, metolaklor (R in S izomera skupaj, pendimetalin, prometrin, propazin, propikonazol, simazin, terbutilazin, terbutrin.

OSTALI PESTICIDI:

bentazon, bromacil, bromoksinil, 2,4-D, dicamba, diuron, joksini, izoproturon, kloridazon, klortoluron, linuron, MCPA, MCPP, metamitron, metribuzin.

DODATNI PESTICIDI, PREPOVEDANI NA VODOVARSTVENIH OBMOČJIH:

amidofurfuron, foramsulfuron, nikosulfuron, primisulfuron-metil, prosurfuron, rimsulfuron, triasulfuron, tritosulfuron, dikloprop-P, dimetaklor, flurokloridon, klopuralid, klorotalonil petoksamid, flufenacet.

LAHKOHLAPNE HALOGENIRANE ORGANSKE SPOJINE:

triklorometan, tribromometan, bromdiklorometan, dibromklorometan, tetraklorometan, diklorometan, 1,1-dikloroetan, 1,2-dikloroetan, 1,1-dikloroeten, 1,2-dikloroeten, tetrakloroeten, trikloroeten, 1,1,1-trikloroetan, 1,1,2-trikloroetan, 1,1,2,2-tetrakloroetan.

FARMACEVTIKI:

sulfamerazin, trimetoprim, metoprolol, betaksolol, bezafibrat, diklofenak, fenofibrat, fenoterol, indometacin, ketoprofen, kofein, kodein, propanolol, paracetamol, penicilin G, sulfametoksazol, testosteron, teofilin.

Program monitoringa kemijskega stanja podzemnih voda se v skladu z Vodno direktivo deli na nadzorni in operativni monitoring.

Nadzorni monitoring se izvaja v skladu z načrtom upravljanja voda, ki se pripravi vsakih šest let in zajema določanje kemijskega stanja na vseh vodnih telesih (Mihorko in Gacin, 2015, str. 1). V program nadzornega monitoringa so vključena vsa vodna telesa podzemnih voda celotnega ozemlja Slovenije. Izvaja se z namenom preverjanja kemijskega stanja podzemne vode v vseh enaindvajsetih vodnih telesih podzemne vode. V nadzornem monitoringu se spremljajo osnovni parametri (temperatura vode, vsebnost kisika, pH, električna prevodnost, motnost, KPK, TOC, nitriti, nitrati, kloridi, sulfati, kalcij, magnezij, natrij, kalij ...) in parametri, zaradi katerih obstaja tveganje, da vodno telo ne bo dosegalo dobrega stanja, oziroma parametri, ki kažejo vplive obremenitev podzemne vode zaradi človekovih aktivnosti (pesticidi, kovine, mineralna olja in halogenirani derivati metana, etana in etena).

Operativni monitoring se izvaja letno, razen če je tisto leto na programu nadzorni monitoring. Vzpostavimo ga na tistih mestih, kjer kakovost podzemne vode ni dosegala dobrega kemijskega stanja oziroma ni ustrezala standardom kakovosti, na vodnih telesih, ki so zaradi rabe prostora še posebej ranljiva ter na vodnih telesih, v katerih so viri pitne vode namenjeni za vodooskrbo večjega števila prebivalcev.

V Sloveniji so tako v operativni monitoring stalno vključena vodna telesa aluvialnih vodonosnikov, kjer so identificirani največji problemi, ter vodonosniki visoke ranljivosti s hitrim razširjanjem onesnaženja, kot so vodonosniki s kraško in razpoklinsko poroznostjo. V okviru operativnih monitoringov spremljamo tudi učinkovitost ukrepov (Dobnikar Tehovnik in sod., 2017, str. 31).

V pravilniku o monitoringu podzemnih voda je določeno, da morajo biti merilna mesta izbrana tako, da omogočajo skladen in izčrpen pregled kemijskega stanja podzemne vode v vsakem povodju ali porečju in da se zazna pojav dolgoročnih trendov naraščanja vsebnosti onesnaževal, ki jih povzroči človek.

Podzemno vodo iz vodnjakov in vrtin vzorčimo približno meter pod gladino, če je višina vodnega stolpca v vodnjakih ali vrtinah manjša od enega metra se izvajalec glede vzorčenja posvetuje z naročnikom.

S programom hidrološkega monitoringa podzemnih voda se ugotavljata količinsko stanje podzemnih voda in tok podzemne vode. Na podlagi opazovanj in podatkov meritev se ocenjuje dolgoročne spremembe v vodnem ciklu in razmerju med viri in odvzemi podzemne vode.

Glede na namen so vodomerne postaje državnega hidrološkega monitoringa podzemnih voda razvrščene v dve skupini, in sicer v osnovno in dopolnilno mrežo merilnih mest.

Osnovna mreža merilnih mest državnega hidrološkega monitoringa podzemnih voda je sestavljena iz reprezentativnih merilnih mest na posameznih najpomembnejših hidrogeoloških enotah (Andjelov in sod., 2008, str. 2). Osnovna mreža merilnih mest se uporablja za ocenjevanje dolgoročnih sprememb v režimu podzemne vode, zato se morajo meritve gladin in pretokov izvajati redno.

Dopolnilna mreža merilnih mest predstavlja prostorsko gostejšo mrežo, ki se uporablja za občasna simultana hidrogeološka merjenja in sledenje voda v okviru nadaljnje karakterizacije vodnih teles za potrebe vodnobilančnega preizkusa, preizkusa vpliva na površinske vode in na kopenske ekosisteme ter preizkusa slanosti in drugih vodnih intruzij v okviru ocenjevanja količinskega stanja podzemnih voda (Andjelov in sod., 2008, str. 2).

2.3 Ukrepi za doseganje dobrega stanja podzemnih voda

Za doseganje dobrega stanja podzemnih voda je Vlada Republike Slovenije sprejela ukrepe, ki se nanašajo na varstvo podzemnih voda. Ukrepe na področju zmanjševanja in preprečevanja onesnaževanja voda sestavljajo ukrepi za področje onesnaževanja iz industrijskih in kmetijskih virov ter onesnaževanja voda zaradi poselitve. Cilji ukrepov so zmanjšanje onesnaževanja iz različnih industrijskih virov, preprečevanje ali nadzorovanje vnosa onesnaževal in hranil na področju onesnaževanja iz kmetijskih virov ter zagotavljanje ustreznega odvajanja in čiščenja komunalne vode na področju onesnaževanja voda zaradi poselitve (Vlada Republike Slovenije, 2016, str. 2).

ON1.1a – Odvajanje in čiščenje komunalne odpadne vode iz aglomeracij (območij poselitve) s skupno obremenitvijo, enako ali večjo od 2000 PE (populacijskih ekvivalentov)

Vrednosti parametrov komunalne odpadne vode na iztoku iz komunalnih čistilnih naprav ne smejo presegati mejnih vrednosti, ki so predpisane glede na njihovo zmogljivost oziroma glede na skupno obremenitev aglomeracije ter glede na zahtevano stopnjo čiščenja.

ON1.2a – Odvajanje in čiščenje komunalne odpadne vode iz aglomeracij s skupno obremenitvijo, manjšo od 2000 PE

Vrednosti parametrov odpadne vode na iztoku iz malih komunalnih čistilnih naprav ne smejo presegati mejnih vrednosti, ki so predpisane glede na njihovo zmogljivost ter glede na zahtevano stopnjo čiščenja oziroma glede na skupno obremenitev aglomeracije, če se v mali komunalni čistilni napravi čisti komunalna odpadna voda iz aglomeracije s skupno obremenitvijo, enako ali večjo od 2000 PE.

ON1.3a – Odvajanje in čiščenje komunalne odpadne vode na območju izven meja aglomeracij

Na območju izven meja aglomeracij morajo lastniki objektov sami zagotoviti individualno ureditev (čiščenje komunalne odpadne vode v mali komunalni čistilni napravi z zmogljivostjo, manjšo od 50 PE ali njeno zbiranje v nepretočni greznici). Komunalno odpadno vodo je izjemoma dovoljeno zbirati v nepretočni greznici le na območjih, kjer čiščenje komunalne odpadne vode v mali komunalni čistilni napravi z zmogljivostjo, manjšo od 50 PE, tehnično ni izvedljivo zaradi prepovedi odvajanja odpadne vode v vode ali posebnih razmer, ki lahko negativno vplivajo na delovanje male komunalne čistilne naprave, kot so posebne geografske razmere ali nestalno naseljene stavbe.

ON1.5a – Odvajanje in čiščenje padavinske odpadne vode

Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo določa ukrepe za padavinsko odpadno vodo. Lastnik objekta mora za padavinsko odpadno vodo, ki odteka s strehe objekta, zagotavljati odvajanje neposredno ali posredno v vode, kadar je to tehnično izvedljivo, razen če to vodo uporabi kot dodatni vir vode za namene, pri katerih ni treba zagotoviti kakovosti za pitno vodo.

ON2a – Ravnanje z blatom iz komunalnih čistilnih naprav

Blato iz komunalnih čistilnih naprav je prepovedano izpuščati v javno kanalizacijo ali neposredno ali posredno v vode.

ON3a – Varstvo voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov (Nitratna direktiva)

Namen nitratne uredbe je zmanjšati in preprečiti onesnaževanje voda, ki ga povzročajo nitrati iz kmetijskih virov. Uredba določa za vse vrste tal na območju RS mejne vrednosti letnega vnosa gnojil v tla, ki je 170 kg N/ha na ravni kmetijskega gospodarstva. V Sloveniji se nitratna

uredba šteje za program ukrepov zmanjševanja vnosa dušika v tla in na tla zaradi varstva voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov

ON4a – Ukrepi s področja varovanja voda pred onesnaževanjem s fitofarmacevtskimi sredstvi

Za doseganje cilja o zmanjševanju tveganja zdravja ljudi in okolja zaradi uporabe pesticidov, je bila leta 2002 v Evropski uniji sprejeta Tematska strategija o trajnostni rabi pesticidov. Namen te strategije je zagotoviti visoko raven varstva zdravja ljudi in živali ter varovanja okolja. Direktiva o trajnostni rabi pesticidov nalaga državam članicam izvedbo dodatnih ukrepov za varovanje vodnega okolja in zalog pitne vode pred vplivom fitofarmacevtskih sredstev, ki morajo biti skladni s predpisi, ki urejajo vode, in predpisi, ki urejajo dajanje fitofarmacevtskih sredstev v promet.

ON5a – Ukrepi s področja varovanja voda pred onesnaževanjem s hranili in fitofarmacevtskimi sredstvi iz drugih virov ob površinskih vodah

Z namenom varstva voda ter zmanjševanja in preprečevanja onesnaževanja voda Zakon o vodah določa prepoved gnojenja in/ali uporabo sredstev za varstvo rastlin na priobalnih zemljiščih v tlorisni širini 15 m od meje brega voda 1. reda in 5 m od meje brega voda 2. reda.

ON11a – Ukrepi za varstvo pred onesnaževanjem zaradi nesreč pri prevozu nevarnega blaga v cestnem, železniškem, zračnem in pomorskem prometu – načrti zaščite in reševanja

Priprava Načrtov zaščite in reševanja skladno z Zakonom o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami in podzakonskimi akti. Načrti so na podlagi ocene ogroženosti in spoznanj stroke razdelana zamisel zaščite, reševanja in pomoči ob določeni naravni ali drugi nesreči. Izdela jih država, občina, gospodarska družba, zavod ali druga organizacija (tako imenovani nosilci načrtovanja), pri čemer se načrt izdela za vsako vrsto nesreče posebej.

ON15a – Ukrepi v zvezi z rabo kemikalij in biocidov

Ukrepi s področja rabe kemikalij in biocidnih pripravkov zajemajo dajanje fitofarmacevtskih sredstev v promet, urejajo njihovo uporabo in določajo zahteve glede njihove uporabe v pripravkih.

ON18a – Ukrepi znotraj neposrednih plačil kmetijske politike (zelena komponenta)

Ukrepi povzemajo določila tako imenovane zelene komponente in naslavljajo zmanjševanje onesnaževanja voda s hranili in sredstvi za varstvo rastlin. Predvideni so trije osnovni ukrepi:

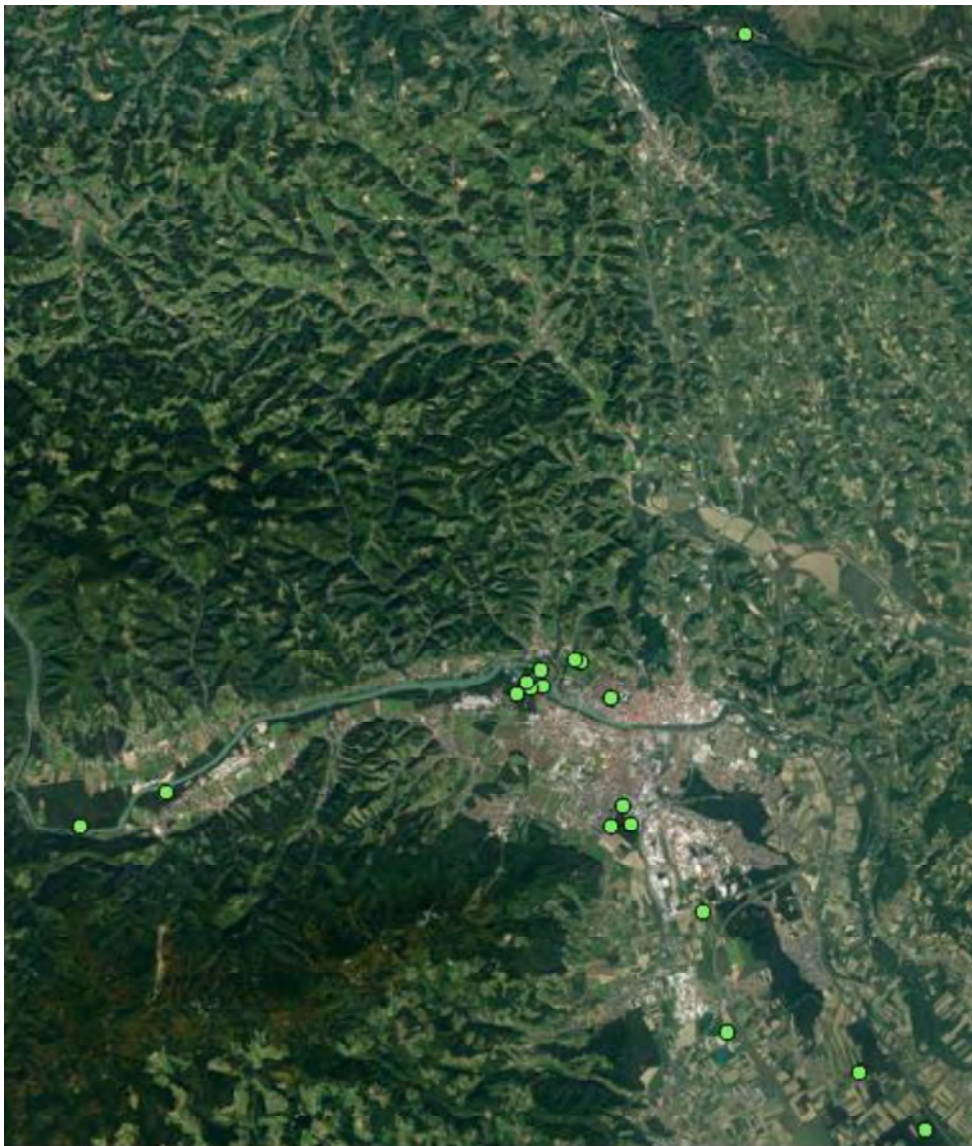
- raznolikost poljščin (kolobarjenje),
- ohranjanje trajnega travinja in
- ohranjanje »območja ekološkega pomena«, ki obsega vsaj 5 % obdelovalne površine kmetijskega gospodarstva

OPZ1.1a – Vodovarstvena območja

Da se zavaruje vodno telo, ki se uporablja za odvzem ali je namenjeno za javno oskrbo s pitno vodo, pred onesnaževanjem ali drugimi vrstami obremenjevanja, ki bi lahko vplivalo na zdravstveno ustreznost voda ali na njeno količino, vlada določi vodovarstveno območje. Na vodovarstvenem območju se lahko omejijo ali prepovejo dejavnosti, ki bi lahko ogrozile količinsko ali kakovostno stanje vodnih virov, ali zaveže lastnike ali druge posestnike zemljišč na vodovarstvenem območju, da izvršijo ali dopustijo izvršitev ukrepov, s katerimi se zavaruje količina ali kakovost vodnih virov.

2.4 Imisijski monitoring podzemne vode v Mestni občini Maribor

Upravljalci javnih vodovodnih sistemov izvajajo v okviru svojega notranjega nadzora po sistemu HACCP nadzor nad vodnimi viri. Ker običajno tako državni monitoring kot tudi monitoring upravljalcev javnih vodovodnih sistemov zaradi finančnih in kadrovskih omejitev ne zadošča za varno oskrbo z vodo, slovenska zakonodaja omogoča mestnim občinam izvajanje podrobnejšega imisijskega monitoringa. Tako Mestna občina Maribor že od leta 2001 na podlagi Zakona o varstvu okolja izvaja podrobnejši imisijski monitoring za varovanje podzemnih voda iz katerih se oskrbuje s pitno vodo 14 občin tega območja. Imisijski monitoring poleg Mestne občine Maribor sofinancirajo občine Miklavž na Dravskem polju, Benedikt, Pesnica, Ruše, Hoče-Slivnica, Duplek, Kungota, Gornja Radgona, Šentilj, Lenart, Sveti Jurij v Slovenskih goricah, Sveta Ana v Slovenskih goricah in Sveta Trojica v Slovenskih goricah. Na sliki 3 so prikazana merilna mesta na katerih se izvaja kakovostni del imisijskega monitoringa Mestne občine Maribor.



Slika 3: Merilna mesta, na katerih se izvaja monitoring kakovosti podzemne vode v okviru imisijskega monitoringa Mestne občine Maribor, prikazana s programom QGIS (Vir: Ačko Kolarič A.)

Od leta 2005 dalje so za dodatno oceno stanja podzemne vode in posredno pitne vode v sistemu oskrbe s pitno vodo, uporabljeni podatki iz programa notranjega nadzora vodnih zajetij sistema oskrbe s pitno vodo Mariborskega vodovoda (Blažeka, 2013, str. 5). Pri izvajanju imisijskega monitoringa sodelujejo strokovnjaki iz različnih institucij in sicer: Mestna občina Maribor – Medobčinski urad za varstvo okolja in ohranjanje narave (MOM – MUVOON), Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano (NLZOH), ki je vodja projekta in glavni izvajalec, Institut za ekološki inženiring (IEI) – po njegovem stečaju Aneri Eco inženiring (AEI), Kmetijsko-gozdarski zavod Maribor (KGZ) in Mariborski vodovod. Namen izvajanja imisijskega monitoringa je pridobivanje podatkov kemijskega in količinskega stanja podzemnih voda na vodovarstvenih območjih za vodno telo vodonosnikov Vrbanski plato, Selniška Dobrava, Ruše, Limbuška dobjava in Dravsko polje.

Z imisijskim monitoringom spremljamo glavne dejavnike, ki vplivajo na kakovost pitne vode v mariborski občini in okoliških občinah ter vključujejo količino in kakovost podzemne vode, kakovost in količino ključnih površinskih vodotokov ter tal s kmetijsko proizvodnjo, ki lahko vplivajo na kakovost podzemne vode. Namen monitoringa je tudi pridobitev podatkov o problematičnih onesnaževalih, kot so endokrini motilci in ostanki farmakoloških substanc, ki v Evropi postajajo ključna okoljska onesnaževala z resnimi in nepredvidljivimi zdravstvenimi tveganji (Sovič in Lapajne, 2013, str. 3).

Poznamo program monitoringa kemijskega stanja podzemnih voda, ki se izvaja dvakrat letno, in sicer v pomladanskem in jesenskem času, ter program monitoringa količinskega stanja podzemnih voda, ki poteka celo leto. V okviru hidrološkega monitoringa se v tem času redno spremlja meteorološke podatke vključenih postaj, podatke o gladinah podzemne vode ter izvaja občasne potrebne meritve podzemnih voda. Med izvajanjem terenskega vzorčenja NLZOH Maribor za analizo kakovosti podzemnih voda se opravi širši posnetek gladin podzemnih voda in ob vzorčenju površinskih voda se oceni njihovo hidrološko stanje. Prav tako se pridobivajo podatki Dravskih elektrarn o pretokih in gladinah reke Drave na območju HE Mariborski otok in jezu v Melju. Podzemna voda se vzorči na 18 mestih (največje število opazovanih vrtin je na območju črpališča Vrbanski plato).

Glavne skupine parametrov, ki jih analiziramo v podzemnih vodah, so:

- osnovni fizikalno-kemijski parametri,
- skupinski parametri onesnaženja (mineralna olja, PBC, ...),
- kovine in metaloidi,
- pesticidi,
- lahkohlapni halogenirani ogljikovodiki,
- benzen in njegovi metilirani in klorirani derivati.

Glavni cilj imisijskega monitoringa je na osnovi ugotovitev o kakovostnem in količinskem stanju ter trendih obremenitev na vodovarstvenih območjih, predlagati ukrepe, ki so potrebni za doseganje dobrega stanja podzemnih in površinskih voda ter posledično za pitne vode (Sovič in Lapajne, 2013, str. 3).

3 PROGRAM QGIS

3.1 Predstavitev programa QGIS

Geografski informacijski sistem (ang. Geographic Information System – GIS) je sistem za urejanje in upravljanje prostorskih podatkov. S svojim razvojem so sistemi GIS prinesli veliko koristi, saj omogočajo urejanje, analiziranje, modeliranje, predstavitev in prikaz geografsko referenciranih podatkov. Sistem GIS ne odgovarja zgolj na enostavna vprašanja, ki se tičejo pozicije, pač pa kombinira najrazličnejše podatke, tako prostorske (geolocirane) kot neprostorske (tematske), zato so geografski podatki postali osnova za kakovostno odločanje (Jereb in sod., 2010, str. 148).

Sprva so imeli na trgu prevlado programi GIS z licenco, danes pa je v porastu predvsem razvoj odprtokodnih in prosto dostopnih programov GIS. Odprtokodni in prosto dostopni programi GIS omogočajo, da so aplikacije GIS dostopne posameznikom, ki imajo dostop do računalnika in spleta (Špruk, 2014, str. III). Aplikacija GIS uporabniku omogoča ustvarjanje, vizualizacijo, poizvedbo in analizo geoprostorskih podatkov.

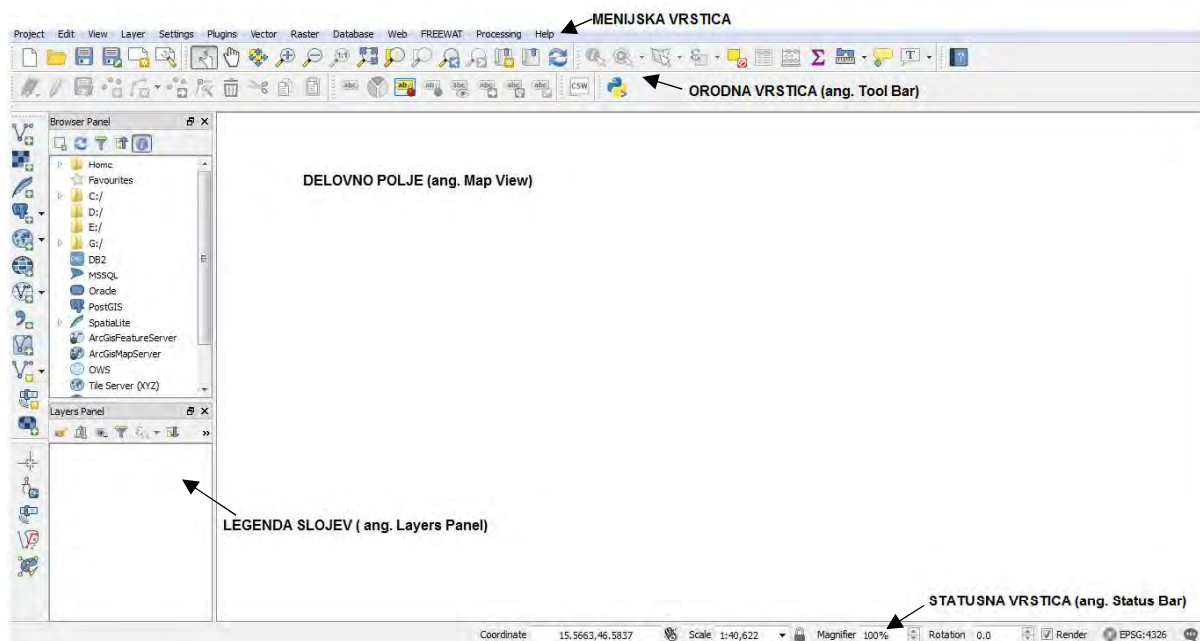
Organizacija Open Source Geospatial Foundation je neprofitna organizacija, katere namen je skrbeti za razvoj odprtokodne programske opreme GIS in podpirati širjenje uporabe take programske opreme. Razvoj odprtokodnih geografskih informacijskih sistemov spodbujajo in podpirajo tudi nerazvite države, saj jim takšni programi omogočajo cenejše urejanje in uporabo prostorskih podatkov. Eden takšnih programov je tudi Quantum GIS (QGIS), ki ga je leta 2002 začel razvijati Gary Sherman, vendar je verzija 1.0 začela delovati šele leta 2009. Trenutno je QGIS preveden v 31 jezikov, med katerimi je tudi slovenščina. Uporablja licenco GNU General Public License, to je ena izmed najbolj priljubljenih in najbolj znanih licenc, ki se uporabljajo za licenciranje brezplačne programske opreme. QGIS je uradni projekt odprtokodne geoprostorske organizacije (OSGeo). Deluje v vseh operacijskih sistemih in podpira številne vektorske in rastrske podatke, podatkovne baze in nudi širok spekter funkcionalnosti. Uporabniški vmesnik programa QGIS in primer dela ter predstavitev podatkov so prikazani na slikah 4 in 5.

Marble (1984) definira GIS na podlagi štirih sestavin (Kračun, 2016, str. 3):

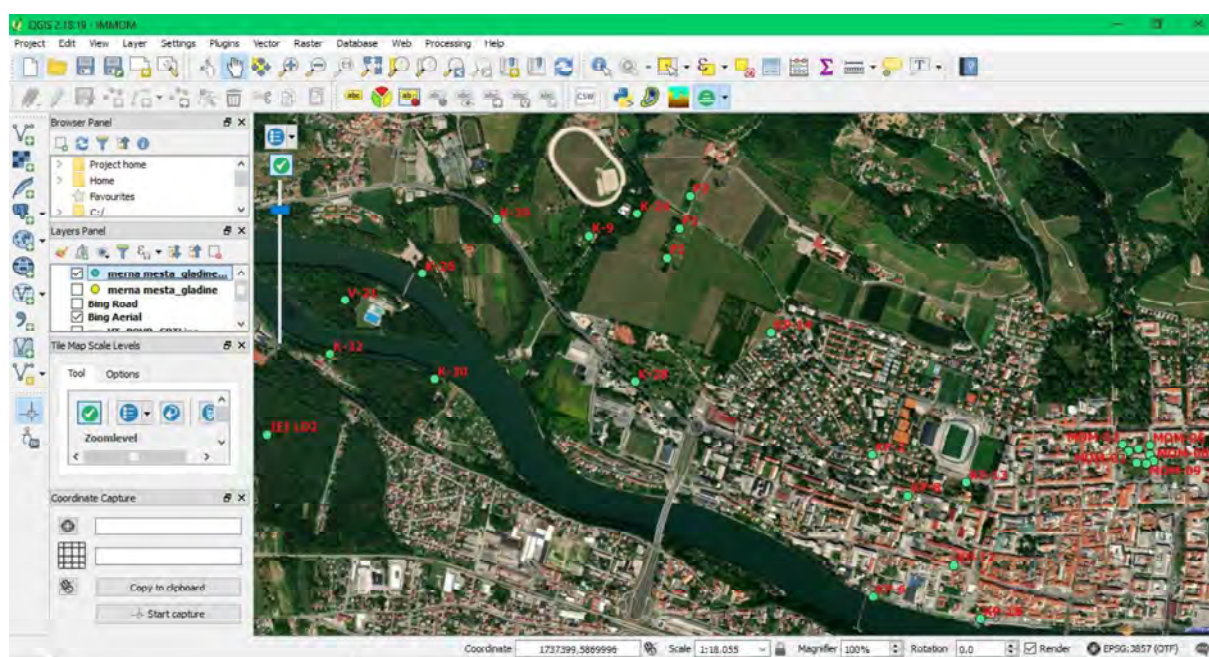
- sistem za vnos podatkov, ki omogoča upoštevanje prostorske komponente, pridobljene na različne načine: iz tematskih in topografskih kart, daljinskega zaznavanja ali fotografij;
- sistem za shranjevanje in iskanje podatkov, urejenih na podlagi geografskih položajev; torej sistem, ki omogoča hiter dostop do podatkov za analizo ali prikaz in obenem dovoljuje popraviljanje podatkov;
- sistem za analizo podatkov, ki omogoča pretvorbe, zbiranje in združevanje podatkov, ustvarjanje novih podatkov, statistične obdelave, ovrednotenje in modeliranje;
- sistem za prikaz podatkov, ki je zmožen prikazati dele baze podatkov ali pa informacije pridobljene pri obdelavah in modeliranju. Prikazi so lahko v obliki računalniških tematskih kart, tabel in grafov.

Vektorska organizacija geometričnih podatkov temelji na točkah, linijah in likih (ploskvah). Rastrska organizacija geometričnih podatkov pa temelji na mreži (matriki) gridnih celic.

Programsko orodje omogoča kreiranje kart in interaktivno raziskovanje prostorskih podatkov z uporabniku prijaznim grafičnim vmesnikom (ang. Graphic User Interface – GUI), ki zajema veliko koristnih orodij: urejanje atributov, prostorski zaznamki, funkcija označevanja, spremembe vektorskih in rastrskih simbologij, prepoznavanje funkcij, shranjevanje in obnavljanje projektov itd. (Jereb in sod., 2010, str. 149).



Slika 4: Uporabniški vmesnik programa QGIS (Vir: Ačko Kolarič A.)



Slika 5: Primer dela s programom QGIS (Vir: Ačko Kolarič A.)

Program QGIS je zasnovan po načelu vtičnikov (ang. plugins), ki so namenske razširitve programskega paketa. Vtičnike programa delimo na jedrne in zunanje: jedrni so vgrajeni že v osnovni različici programa, ki jo namestimo na računalnik; zunanje pa lahko dodatno namestimo v program.

Najpogosteje uporabljeni vtičniki so Open Layers Plugin, GRASS GIS, FREEWAT in fTools Plugin.

Med projektom FREEWAT, ki je razvijal vtičnik za modeliranje podzemne vode in oceno njenih podatkov, je bilo usposobljenih za delo s programom QGIS približno 1200 oseb v približno 60 tečajih, vključenih je bilo več kot 400 institucij in podjetij po vsem svetu (Medmrežje 1). Tudi v Sloveniji je bilo izvedeno nekaj delavnic, ki so bile najbolj zanimive za uslužbence Agencije Republike Slovenije za okolje, Geološkega zavoda Slovenije in nekaterih fakultet in raziskovalnih inštitucij. Statistika o prenosih FREEWAT kaže, da je približno 40 % prenosov namenjenih usposabljanju. Usposabljanje za delo s programom QGIS je nujno, saj je brez znanja in razumevanja programa QGIS težko predstaviti določen izbor podatkov monitoringa. Na povezavi <http://www.qgistutorials.com/en/> najdemo nekaj vadnic in nasvetov, kako uporabljamo program.

3.2 Prednosti in slabosti vodenja baze podatkov hidrološkega monitoringa in monitoringa kakovosti voda s programom QGIS

S trenutnim razvojem odprtokodne programske opreme postajajo prosto dostopni programi, kot je QGIS, konkurenčni licenčnim. Multifunkcionalnost programa QGIS omogoča uporaba le-tega v namene vodenja baze podatkov hidrološkega in kakovostnega monitoringa, v primerjavi s predhodnim načinom vodenja baze podatkov lahko med prednosti uporabe QGIS štejemo:

- Funkcionalnost: QGIS omogoča obdelavo in vnos podatkov ter prikaz in analizo podatkov. Posledično nam podatkov ni treba obdelovati in analizirati z različnimi programskimi orodji, ampak lahko to naredimo z uporabo le enega.
- Ekonomičnost/prost dostop: uporaba in namestitvev programa QGIS je brezplačna, v večini primerov so brezplačni tudi vtičniki, ki jih uporabljamo. Namesto vlaganja denarja v drage licence se lahko ta denar porabi za usposabljanje kadra.
- Večnamenskost: uporaba vtičnikov omogoča dodatne funkcije pri obdelavi, prikazu in analiziranju geografskih podatkov. Z vtičnikom FREEWAT je mogoče tudi modeliranje toka podzemne vode.
- Zanesljivost: podpora in zaledje podjetij programa QGIS sta zelo močna, kar pomeni, da se aplikacija neprestano izboljšuje in posodablja.

Med pomanjkljivosti uporabe QGIS pa lahko štejemo:

- Zahtevnost uporabe: usposabljanje za delo s programom QGIS je nujno, predvsem uporaba osnovnih orodij in določenih vtičnikov.
- Lastništvo: slaba stran prosto dostopnih programskih oprem se pojavi ob težavah s programsko opremo, takrat se sodno ali samo za nasvet ne moremo obrniti na podjetje, ki bi stalo za programom.

4 OBSEG IN REZULTATI IMISIJSKEGA MONITORINGA PODZEMNE VODE NA VODONOSNIKU VRBANSKI PLATO

4.1 Hidrogeološke lastnosti vodonosnika Vrbanski plato

Vodonosnik Vrbanski plato je najpomembnejši vodni vir v Mestni občini Maribor in je najbolj izdaten vodni vir severovzhodne Slovenije. Ima ugodno lego za izkoriščanje in varovanje pitne vode. Območje Vrbanskega platoja je pod vplivom zajezone reke Drave, kar pomeni, da se skozi vodonosnik na tem območju v glavnem pretaka voda, ki pronica iz Drave. Delež padavin, ki padejo na območje vodonosnika in napajajo podtalno vodo, je zanemarljiv, saj je območje, zaradi goste poselitve na eni strani, komunalno urejeno. Na drugi strani so terase z nepropustno glinasto plastjo, kar pomeni, da padavinska voda v večini odteka v okoliške potoke. Zaradi tega ne prihaja do večjih nihanj gladin podzemne vode, saj je pretok reke Drave skozi vse leto stalen oziroma mu sorazmerno stabilnost zagotavlja veriga hidroelektrarn na Dravi s svojimi zajezivitvami. Na območju Maribora, kjer reka Drava napaja vodonosnik Vrbanskega platoja, je ta zajezena med HE Mariborski otok na zahodni strani ter jezom v Melju, pred izpustom voda v staro strugo reke Drave, in dovodnim kanalom HE Zlatoličje na vzhodni strani. Pogoj za delovanje HE Zlatoličje je, da gladina reke Drave na tem območju ne sme nihati več kot 1 meter nad oziroma pod gladino na koti 253,00. Zaradi tega morajo Dravske elektrarne svoje obratovanje v vseh hidroloških pogojih prilagoditi tej zahtevi, zato je napajanje vodonosnika Vrbanski plato relativno stabilno glede na potrebe oskrbe z vodo.

Sistem toka podzemne vode oziroma vodonosnika Vrbanski plato je prikazan na sliki 6. Poteka po stari strugi reke Drave. Podzemno vodno telo Dravske kotline se nahaja na severozahodnem delu Maribora in obsega širše območje, ki se razprostira od točke nad zajezivitvijo HE Mariborski otok, Limbuške dobrave, preko Mariborskega otoka, Koblarjevega zaliva, dela območja jugovzhodne Kamnice, doline Rošpoškega in Vinarskega potoka, platoja med njima, skozi črpališče na Vrbanskem platoju, omejenem na eni strani s Kalvarijo in na drugi z reko Dravo, območja mestnega jedra Maribor na levem bregu Drave vse do Meljskega jezusa ter manjšega vplivnega območja na območju Studencev, kjer priteka del podzemne vode z desnega brega reke Drave.



Slika 6: Vodonosnik Vrbanskega platoja (Vir: Kopač I., Vremec M.)

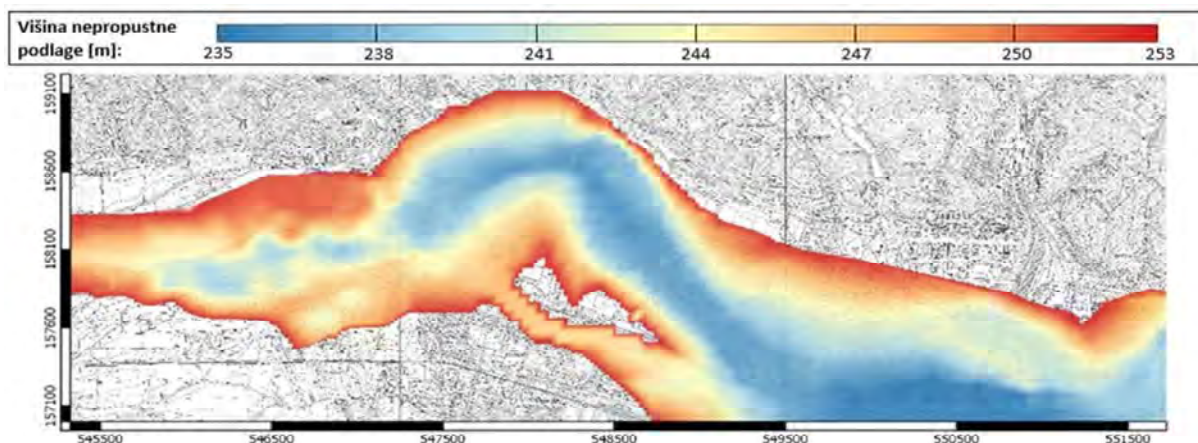
Zaradi pomembnosti vodonosnika Vrbanski plato je bilo na tem območju opravljenih več geoloških in hidrogeoloških raziskav (Žibrik in sod., 1964, Žlebnik 1971 in 1981). Ravniško območje na levem in desnem bregu reke Drave med Mariborskim otokom na zahodu in Meljem na vzhodu sestavljajo prodne in peščene kvartarne naplavine. Vsi ti sedimenti so razčlenjeni v več teras, ki se v stopnjah spuščajo od hribovja proti reki Dravi (Rismal, 1981).

V dobi pogrezanja ozemlja in zasipavanja s prodom in peskom, ko si je Drava tik pod vznožjem gričevja urezala okrog 14 metrov globljo strugo od današnje, je nastala visoka terasa, ki je dobro ohranjena v Kamnici ter v centru mesta severno od Gosposvetske ceste in Partizanske ulice. Na zahodu je terasa na nadmorski višini približno 280 metrov in pada v smeri proti Melju.

Na levem bregu Drave med Mariborskim otokom in Meljem se nad terasami dviga gričevje, ki je sestavljeno iz terciarnih plasti spodnje in srednje miocenske starosti. Te plasti niso homogene, saj jih sestavljajo različni sedimenti. V zaledju črpališča Vrbanski plato od Kamnice proti Kalvariji nastopa na gričevjih in v podlagi kvartarnega zasipa temno sivi trdi peščen lapor z vložki peščenjaka in konglomerata (Kopač I., 2009, Žlebnik L., 1971, 1981).

Na tem območju sta dve vrsti kamenin, in sicer propustne (propustni pleistocenski prod in pesek) ter nepropustne (nepropustni terciarni lapor, peščen lapor, peščenjak, diagenetsko sprijeta glina ter konglomerat), ki sta pomembni za hidrogeologijo. Propustni pleistocenski peščeni prod sestavlja pleistocenske terase na levem in desnem bregu Drave. V teh plasteh se spreminja odstotek melja, ki predvsem zmanjšuje propustnost le-teh.

Spodaj prikazane karte (slike 7, 8, 9) so dober primer uporabe orodja QGIS za vnos in obdelavo podatkov. Slika 7 predstavlja višino nepropustne podlage vodonosnika Vrbanski plato. Slika je bila izdelana na podlagi vnešenih geolociranih podatkov vrtin na tem območju. Vsaka vrtna predstavlja točko z x-, y- in z-koordinato, pri čemer je z-koordinata višina nepropustne podlage. Karta nepropustne podlage je bila izdelana na podlagi interpolacije točkovnih podatkov o višini nepropustne podlage, pridobljenih iz geomehanskih vrtin, raziskovalnih vrtin ter piezometrov. Za interpolacijo je bilo uporabljeno QGIS orodje »IDW interpolation«, ki temelji na metodi inverzne razdalje. Pri uporabi metode je bil za opis funkcije razdalj med iskanim ogliščem gridne mreže in podanimi točkami upoštevan eksponent druge stopnje, za velikost celic interpolirane mreže pa je bilo izbranih 10 pikslov. Celotno območje osnovnega modela je obsegalo 48 vrstic in 128 kolon, dimenzij 50 × 50 m. pri interpolaciji nepropustne podlage vodonosnika so bile izločene vse vrednosti nad koto 253.00, ker zaradi napajanja reke Drave podzemna voda ne more seči nad to vrednost. Rastrska karta nepropustne podlage, ki je prikazana na sliki 7, je vhodni podatek pri modeliranju toka podzemne vode in predstavlja dno vodonosnika. Pomembna je tudi pri načrtovanju opazovalnih piezometrov, ki morajo biti vrtani do nepropustne podlage.



Slika 7: Nepropustna podlaga vodonosnika, podlaga: Pregledne karte RS 1:25.000 (Vir: Kopač I., Vremec M.)

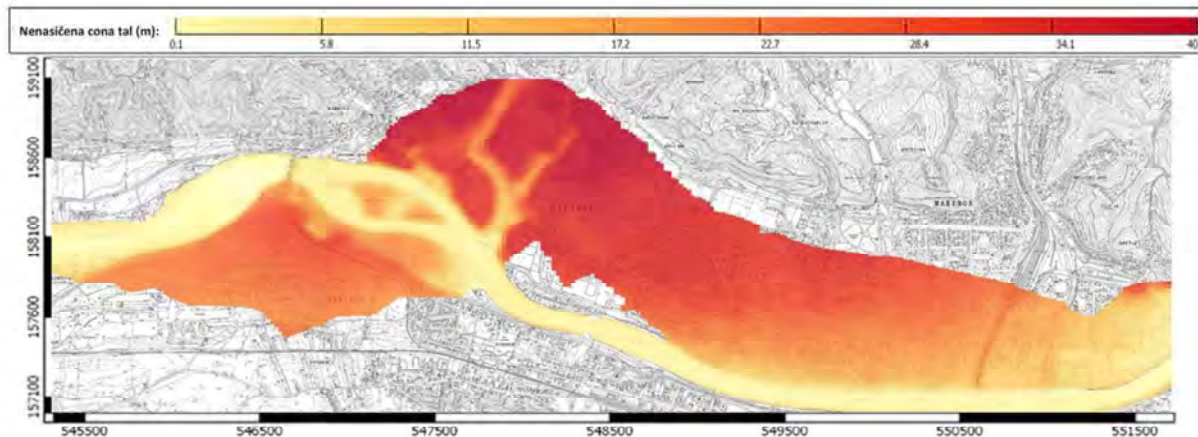
S karto gladine podzemne vode, ki predstavlja rezultat modeliranja podzemne vode z vtičnikom FREEWAT, in zgoraj izdelano karto nepropustne podlage lahko izračunamo debelino vodonosnika Vrbanski plato. S pomočjo orodja »Raster Calculator« odštejemo višino podzemne vode in višino nepropustne podlage. Na podlagi izračunane debeline vodonosnika, lahko tudi ocenimo volumen vodonosnika.



Slika 8: Debelina vodonosnika, po katerem teče podzemna voda, ki se jo lahko izkorišča, podlaga: Pregledne karte RS 1:25.000 (Vir: Kopač I., Vremec M.)

Območje tal med gladino podzemne vode in površjem imenujemo nenasičena cona tal in je ključna pri omejevanju možnega onesnaženja podzemne vode. Debelejša kot je nasičena cona, dlje časa onesnaževalo potrebuje, da doseže podzemno vodo. Debelina podzemne

vode je izračunana tako, da je s pomočjo orodja »raster calculator« od višine površja odšteta gladina podzemne vode.



Slika 9: Debelina nenasušene cone tal nad vodonosnikom služi tudi kot varovalna pregrada pred onesnaženjem s površine, podlaga: Pregledne karte RS 1:25.000 (Vir: Kopač I., Vremec M.)

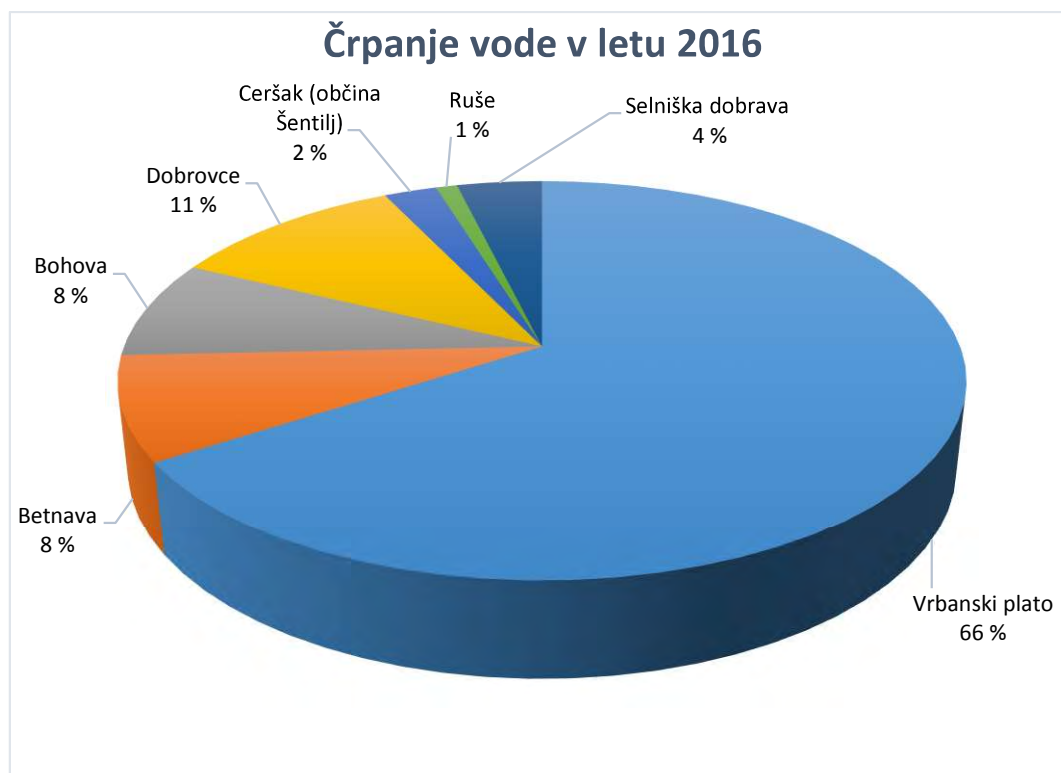
Na hidrogeološke razmere vodonosnika Vrbanski plato vplivajo poleg hidrogeoloških lastnosti kvartarnega zasipa še naslednji trije ključni dejavniki:

- morfologija predkvartarne podlage,
- zajezitev reke Drave z jezom v Melju ob izgradnji HE Zlatoličje,
- črpanje pitne vode v črpališču Vrbanski plato.

4.2 Črpališče Vrbanski plato

Vrbanski plato je najpomembnejše črpališče Mariborskega vodovoda, saj se s tega območja zagotavlja več kot 70 % vseh potreb po vodi, in sicer za Mestno občino Maribor in za okoliške občine. To se kaže tudi na sliki 10, kjer vidimo, da je bil delež načrpanih količin pitne vode leta 2016 na črpališču Vrbanski plato kar 66-odstoten. Vodonosnik je zelo izdaten, saj je s severne in z južne strani delno zaprt z nepropustno podlago, zajezena struga reke Drave pa v vodonosniku omogoča dovolj vode tudi med sušo. Vodonosnik Vrbanski plato se v glavnem napaja z reko Dravo in glede na to, da so pretoki v reki bistveno večji kot v podzemni vodi (npr. v izrednih sušnih razmerah je pretok reke Drave cca 100 m³/s, v črpališču Vrbanski plato pa se izkorišča cca 0,5 m³/s), izdatnost tega vodonosnika ni ogrožena tudi ob vse bolj grozečih globalnih klimatskih spremembah (Kopač, 2009, str. 18).

Skupna dnevna količina načrpane vode v sistem oskrbe je približno 31.000 m³ oziroma več kot 11 milijonov m³ letno.



Slika 10: Deleži načrpanih količin pitne vode v posameznih črpalniških mariborskega vodovodnega sistema leta 2016 (vir: Ačko Kolarič A.)

Začetki tega črpalnišča segajo v leta od 1956 do 1959, ko so zaradi kritičnega pomanjkanja pitne vode zgradili prvi poskusni vodnjak. Takratna kapaciteta možnega izkoriščanja pitne vode je bila ocenjena na cca 100 l/s. Ob izgradnji HE Zlatoličje in jezua v Melju se je dvignila gladina reke Drave in še povečala kapaciteto tega vodonosnika (Kopač, 2009, str. 19). Razmere na Vrbanskem platoju so idealne za umetno bogatenje podzemne vode in tudi za aktivno zaščito črpalnišča, zato se je tukaj izgradil sistem umetnega bogatenja podzemne vode. Načrpana voda iz vodnjakov na Mariborskem otoku bogati podzemno vodo Vrbanskega platoja v nalivalnih vodnjakih, ki se nahajajo ob vodarni v dolini Vinarskega potoka.

Na območju črpalnišča je skupno zgrajenih šestindvajset vodnjakov, od tega je petnajst črpalnih vodnjakov do globine 42 metrov pod terenom, štiri vodnjaki so zgrajeni za črpanje vode z Mariborskega otoka, štiri so nalivalni vodnjaki v dolini Vinarskega potoka ter trije varovalni vodnjaki ob cesti Maribor–Dravograd med dolinama Vinarskega in Rošpoškega potoka (Kopač, 2009, str. 20).

Za zaščito črpalnišča so že v preteklosti zgradili zaščite proti onesnaženju podzemne vode:

I. faza sistema umetnega bogatenja podzemne vode z zmogljivostjo 150 l/s je na območju Vrbanskega platoja že zgrajena. Vključuje štiri črpalne vodnjake na Mariborskem otoku, ki so bili zgrajeni leta 1978, štiri nalivalni vodnjaki v dolini Vinarskega potoka, ter objekt za pripravo vode. Sistem za varovanje ter zagotavljanje dodatnih količin vode je pričel delovati leta 1988.

I. faza sistema bogatenja predstavlja osnovo za izvajanje II. in III. faze izgradnje aktivne zaščite in povečanja zmogljivosti črpalnišča Vrbanski plato.

II. faza aktivne zaščite načrtuje preprečitev onesnaženja črpane pitne vode z onesnaženo podzemno vodo iz smeri centra mesta, z območja regionalne ceste Maribor–Dravograd ter z

nitratni in pesticidi onesnaženo podzemno vodo iz območja Vinarskega in Rošpoškega potoka (Kopač, 2009, str. 20). Z načrtovanjem II. faze želijo zmogljivost črpališča povečati na 250 l/s.

III. faza aktivne zaščite načrtuje povečanje kapacitete črpališča Vrbanski plato ter varovalnih črpalnih in nalivalnih vodnjakov. Faza načrtuje neposredno koriščenje dravske vode za umetno bogatenje podzemne vode. Aktivna zaščita in umetno bogatenje tako predvidevata približno 1000 l/s. S tem bi lahko ob večjem katastrofalnem onesnaženju s strani regionalne ceste Maribor–Dravograd in centra mesta popolnoma preprečili onesnaženje podzemne vode za črpanje (Kopač, 2009, str. 20).

4.3 Merilna mesta imisijskega monitoringa

Za učinkovito spremljanje hidrološkega, kemijskega in mikrobiološkega stanja teles podzemnih voda je potrebna mreža merilnih mest imisijskega monitoringa.

Mreža merilnih mest se za posamezno vodno telo načrtuje glede na hidrološke značilnosti vodonosnikov, glede na problematiko onesnaženja in primernost objekta. Merilna mesta se razmeščajo v čim bolj izdatnih in zveznih vodonosnikih, kjer se spremljajo vplivi glavnih virov onesnaženja (Cvitanich in sod., 2010, str. 47).

Vrbanski plato je najpomembnejše črpališče na širšem območju Maribora. Prav zaradi te pomembnosti črpališča je število opazovanih vrtin na tem območju največje. Opazovalne vrtime oziroma merilna mesta se ločijo v dve skupini (slika 11), in sicer na merilna mesta, ki so namenjena samo za hidrološki monitoring, ter merilna mesta, namenjena za hidrološki monitoring in monitoring kemijskega stanja podzemnih voda.



Slika 11: Merilna mesta hidrološkega monitoringa in monitoringa kemijskega stanja podzemnih voda – vnos podatkov v QGIS (Vir: Ačko Kolarič A.)

Na sliki 11 so prikazana merilna mesta hidrološkega monitoringa ter monitoringa kemijskega stanja podzemnih voda. Z zeleno barvo so označena merilna mesta Vrbanskega platoja, kjer se izvajajo samo hidrološke meritve (gladine podzemnih voda). Z rdečo barvo so označena merilna mesta, na katerih se izvaja monitoring kemijskega stanja podzemnih voda na območju Vrbanskega platoja. V vzorcih podzemne vode se analizira od 50 do 170 parametrov.

Na območju sedeža Mestne občine Maribor je prišlo v začetku leta 2016 do nesreče z razlitjem kurilnega olja. V okviru sanacije so na tem območju zgradili devet piezometrov in dva vodnjaka za črpanje onesnažene podzemne vode. Sanacija je bila uspešno izvedena, eden od piezometrov (MOM-03), lociran v smeri toka podzemne vode v smeri Vrbanskega platoja, pa je bil kasneje vključen v analizo kakovosti podzemne vode imisijskega monitoringa Mestne občine Maribor.

4.4 Analiza in predstavitev podatkov imisijskega monitoringa v obdobju 2007 – 2016

Analiza podatkov je nastala na osnovi prostorskih podatkov, ki so bili vneseni v QGIS (raba prostora, karte vodonosnika – konceptualna zasnova, nepropustna podlaga, karta gladin, karta debeline vodonosnika, karta debeline nenasičenih tal nad vodonosnikom), lokacije merilnih mest, rezultati meritev.

Gladina podzemne vode je rezultat modeliranja podzemne vode z uporabo vtičnika FREEWAT in predstavlja povprečne vrednosti višine podzemne vode na tem območju (slika 12). Modeli podzemne vode nam omogočajo boljše razumevanje podzemnega sistema, to pa je posebej pomembno pri zaščiti pred potencialnim onesnaženjem podzemne vode.



Slika 12: Gladina podzemne vode (Vir: Ačko Kolarič A.)

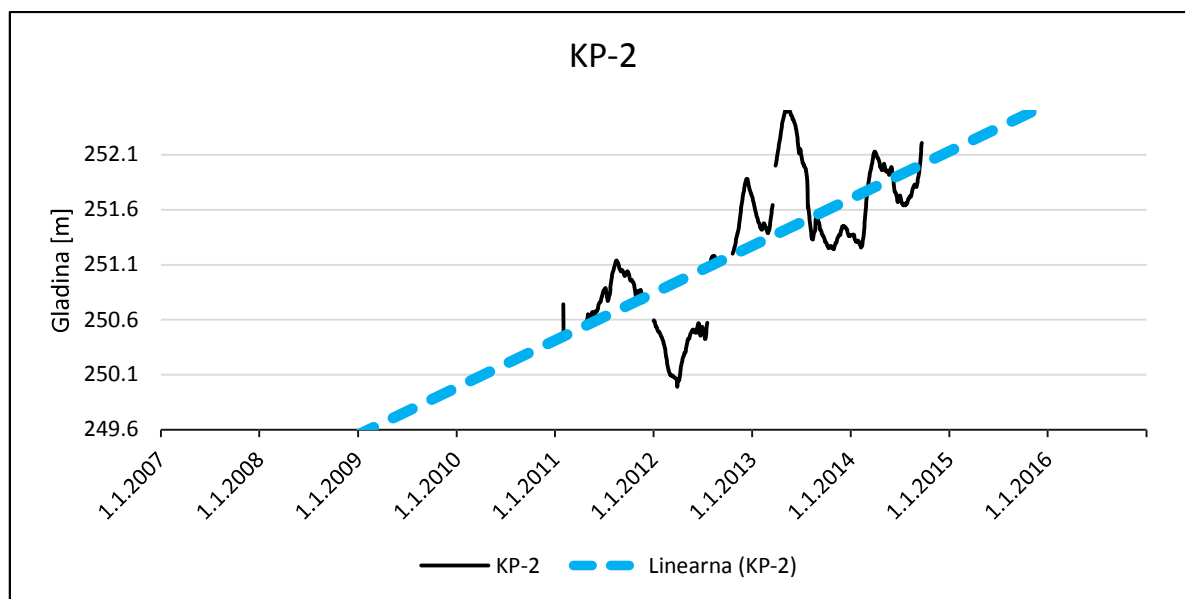
Karte rabe tal (slika 13) lahko v rastrski ali vektorski obliki obdelujemo in vizualiziramo v QGIS. Karta rabe tal nam omogoča vpogled v potencialne vire onesnaženja na preiskovanem območju.



Slika 13: Raba tal (Vir: Ačko Kolarič, vir podatkov MOM.)

Na slikah 14, 16, 17, 18, 19, 20 in 21 so grafično prikazani podatki avtomatskih meritev gladin podzemne vode na merilnih mestih Vrbanskega platoja ter trendi naraščanja oziroma padanja skozi desetletno obdobje spremljanja (med letoma 2007 in 2016). Opremljanje merilnih mest z merilniki za kontinuirno spremljanje gladin je bilo v teh letih zelo različno, Mariborski vodovod pa je ključna merilna mesta dokončno opremil leta 2011.

Neprekinjeno zbiranje podatkov je zelo pomembno, vendar pa zahteva redno vzdrževanje opreme ali disciplino pri izvajanju ročnih meritev. Na žalost v praksi ni vedno tako, posledično prihaja do izpada podatkov zaradi poškodb piezometrov, okvar merilnikov, spreminjanja ničelne točke in neredne kontrole z ročnimi meritvami. Nihanje gladine podzemne vode na območju Vrbanskega platoja je sorazmerno majhno, in sicer do približno 2,5 metra.

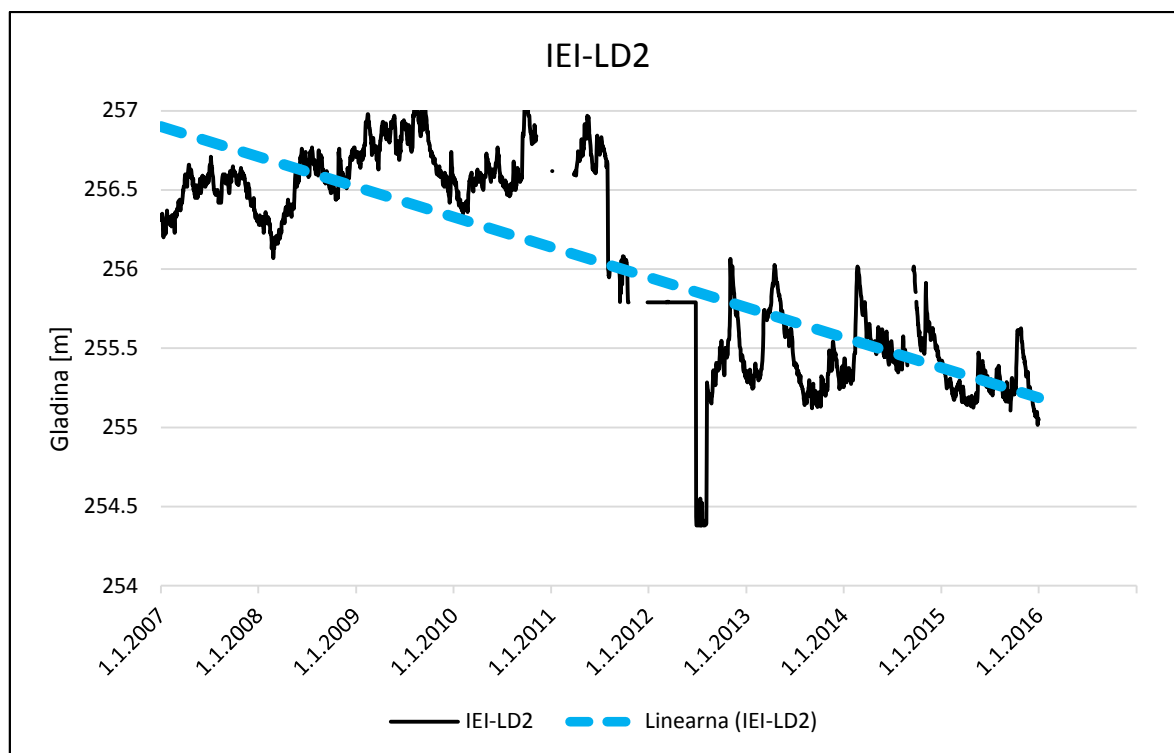


Slika 14: Nihanje podzemne vode v piezometru KP-2 (Vir: Ačko Kolarič A.)

Na sliki 14 vidimo graf nihanja podzemne vode na piezometru KP-2, ki je na območju mesta Maribor. Na območju mesta na podlagi pridobljenih meritev zasledimo trend dvigovanja gladine podzemne vode, ki je posledica ugodnejših hidroloških razmer v zadnjem desetletju in seveda tudi rednega umetnega bogatenja podzemne vode z vodnjaki na Mariborskem otoku.

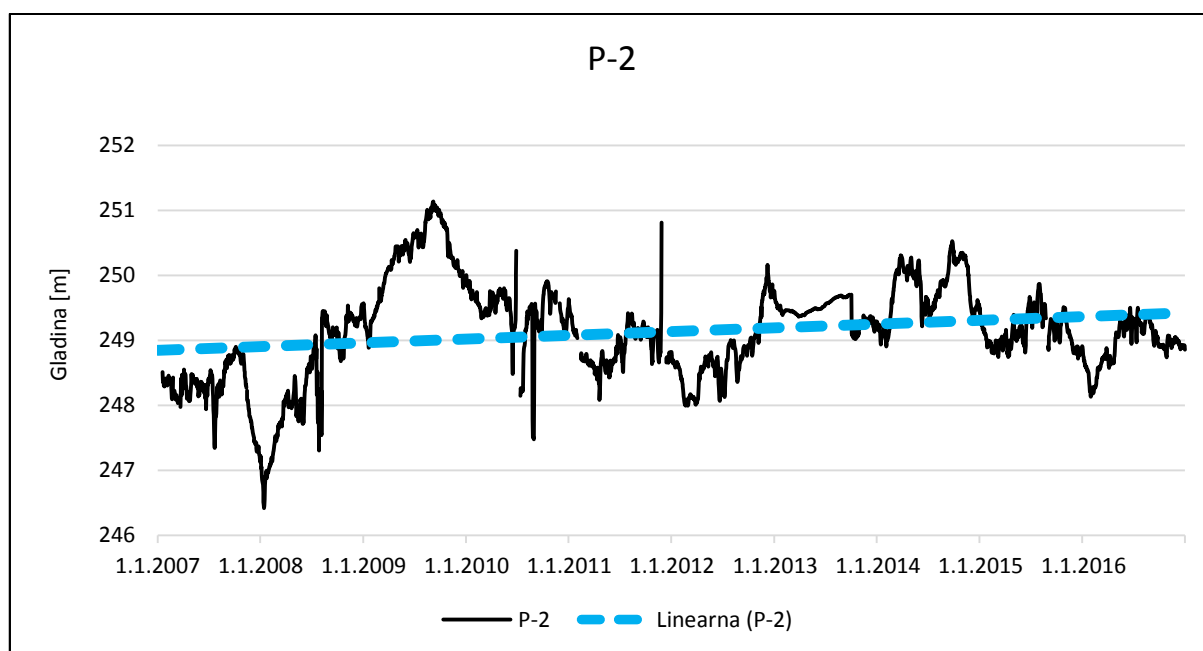


Slika 15: Statistično značilni trendi ($\alpha = 0,05$) letnih povprečij gladin podzemne vode na območju VTPodV_3012 Dravska kotlina v obdobju 1990 – 2019 (Vir: Andjelov M., Frantar P., Pavlič U. in sodelavci)



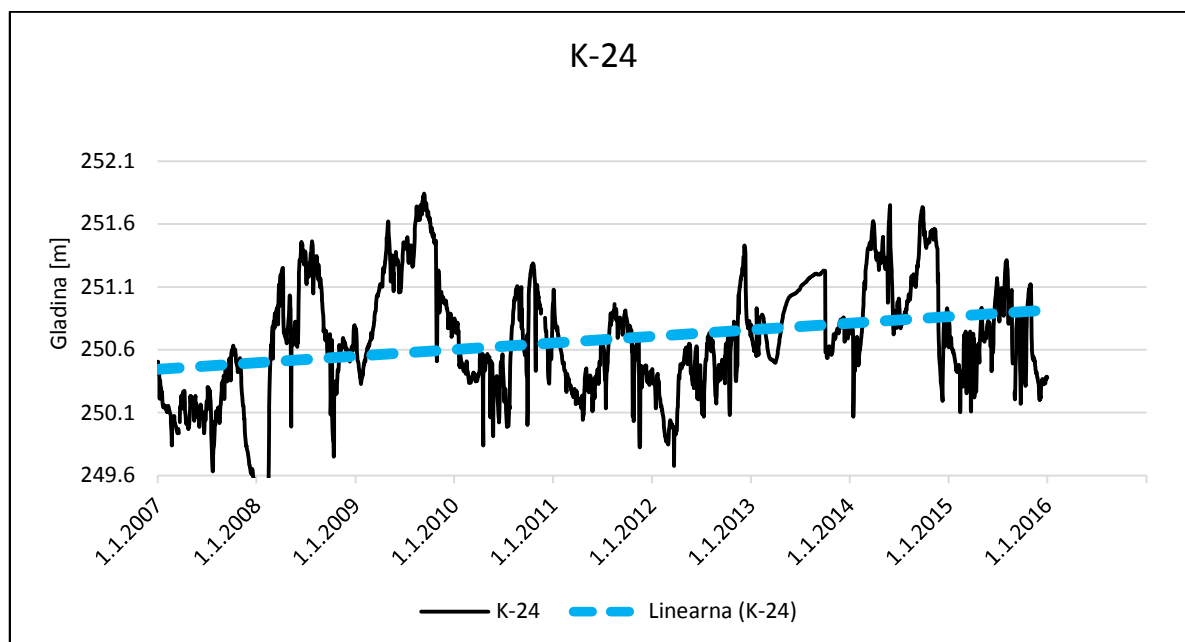
Slika 16: Nihanje podzemne vode v piezometru IEI-LD2 (Vir: Ačko Kolarič A.)

Na območju Limbuške dobrove, kjer se nahaja piezometer IEI-LD2, je zaznati padanje gladine podzemne vode. Razlog zniževanja gladine je tok podzemne vode, ki se napaja iz zajezone reke Drave nad hidroelektrarno Mariborski otok in dotokov zaledne vode z obronkov Pohorja (zmanjševanje skupne višine snežne odeje).



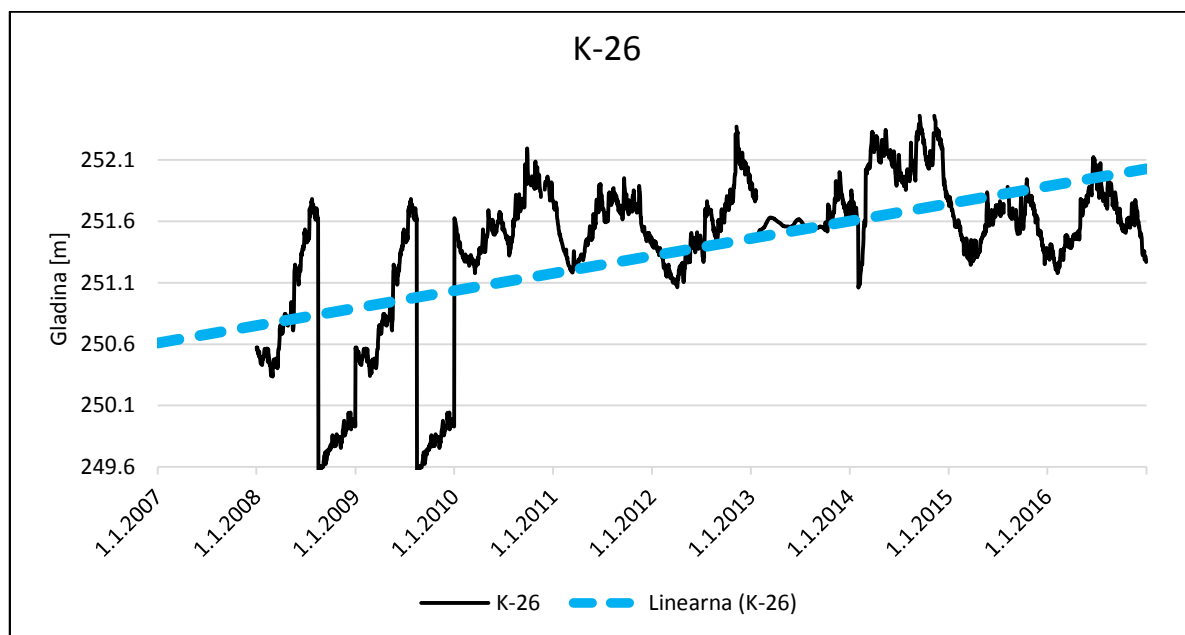
Slika 17: Nihanje podzemne vode v piezometru P-2 (Vir: Ačko Kolarič A.)

Piezometer P-2 se nahaja med vodnjaki črpališča Vrbanski plato in tako v povprečju kaže sorazmerno stabilne razmere.



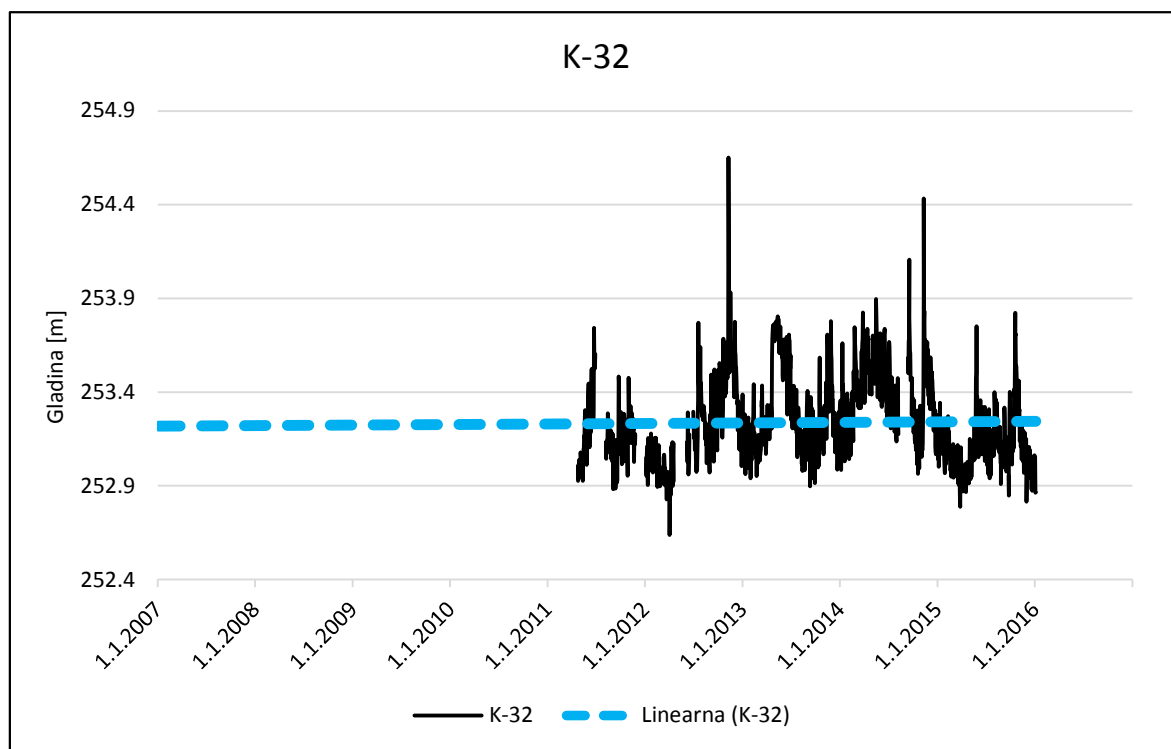
Slika 18: Nihanje podzemne vode v piezometru K-24 (Vir: Ačko Kolarič A.)

Piezometer K-24 se nahaja med nalivalnima vodnjakoma umetnega bogatenja podzemne vode v dolini Vinarskega potoka in samim glavnim črpališčem. Tukaj ugotavljamo rahlo dviganje gladine zaradi vpliva umetnega bogatenja.

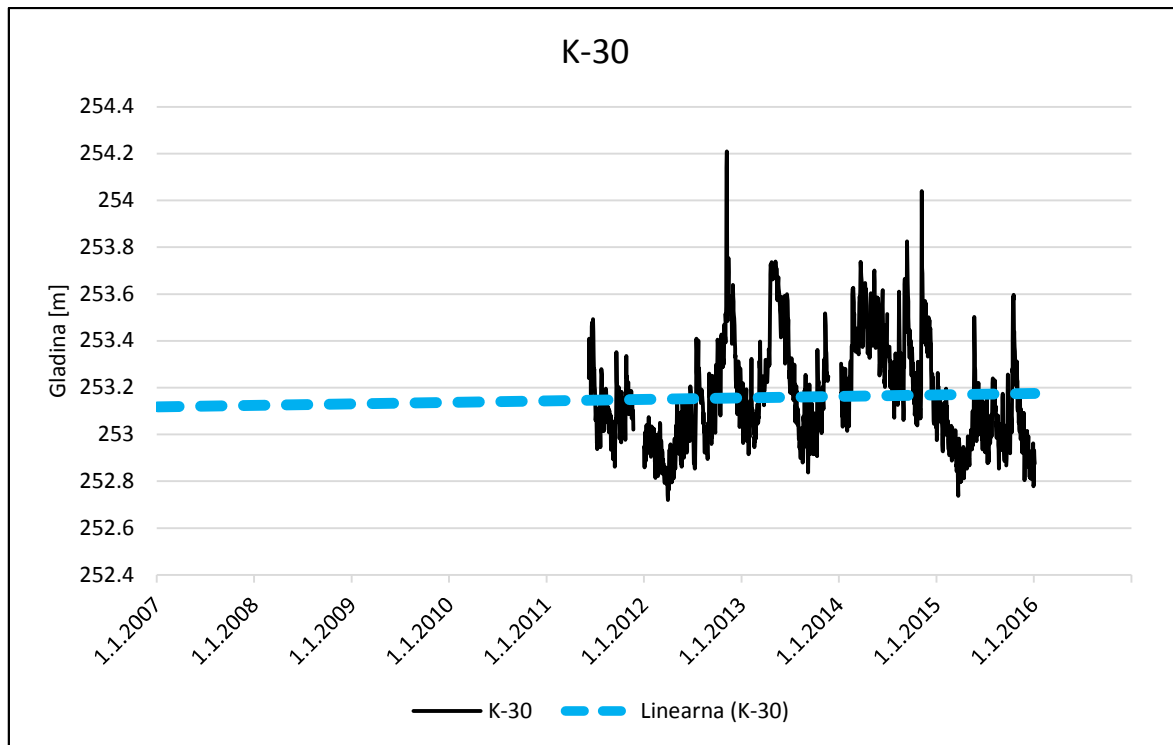


Slika 19: Nihanje podzemne vode v piezometru K-26 (Vir: Ačko Kolarič A.)

K-26 je piezometer ob levem bregu reke Drave in kaže vpliv pretoka v Dravi. Tudi ta je bil v zadnjih letih hidrološko dokaj ugoden. Reka Drava, ki je pod vplivom režima verige Dravskih elektrarn je tista, ki v glavnem napaja vodonosnik Vrbanskega platoja in ga tako dela neodvisnega od sušnih ali klimatskih sprememb (opisano na strani 17). Sušni pretok v reki Dravi je $60 \text{ m}^3/\text{s}$, za potrebe oskrbe z vodo pa se sedaj potrebuje okoli $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$.



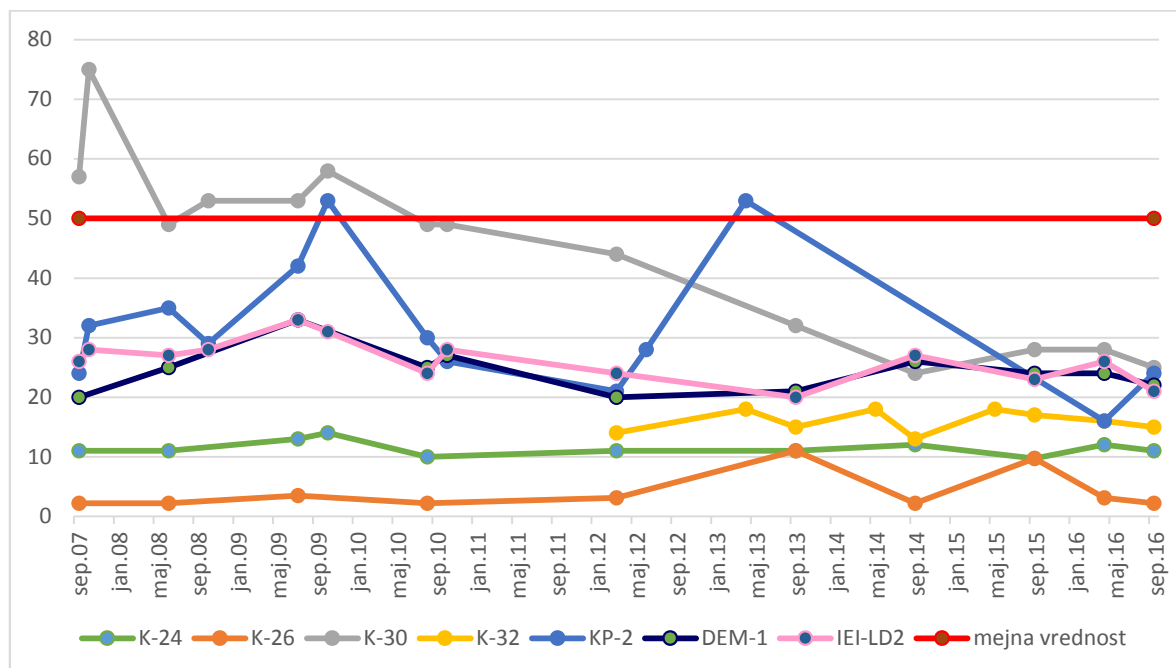
Slika 20: Nihanje podzemne vode v piezometru K-32 (Vir: Ačko Kolarič A.)



Slika 21: Nihanje podzemne vode v piezometru K-30 (Vir: Ačko Kolarič A.)

Piezometra K-32 in K-30 se nahajata na desnem bregu reke Drave, od koder se podzemna voda z višje ležeče Limbuške dobrove delno izceja v reko Dravo in delno odteka pod njo in Mariborskim otokom v smeri črpališča Vrbanski plato. Tukaj so hidrološke razmere dokaj stabilne.

Nitrati predstavljajo indikatorski parameter vplivov intenzivne kmetijske proizvodnje na stanje podzemne vode, pa tudi vpliv odpadnih komunalnih vod, zato je med spojinami dušika najpomembnejši parameter.

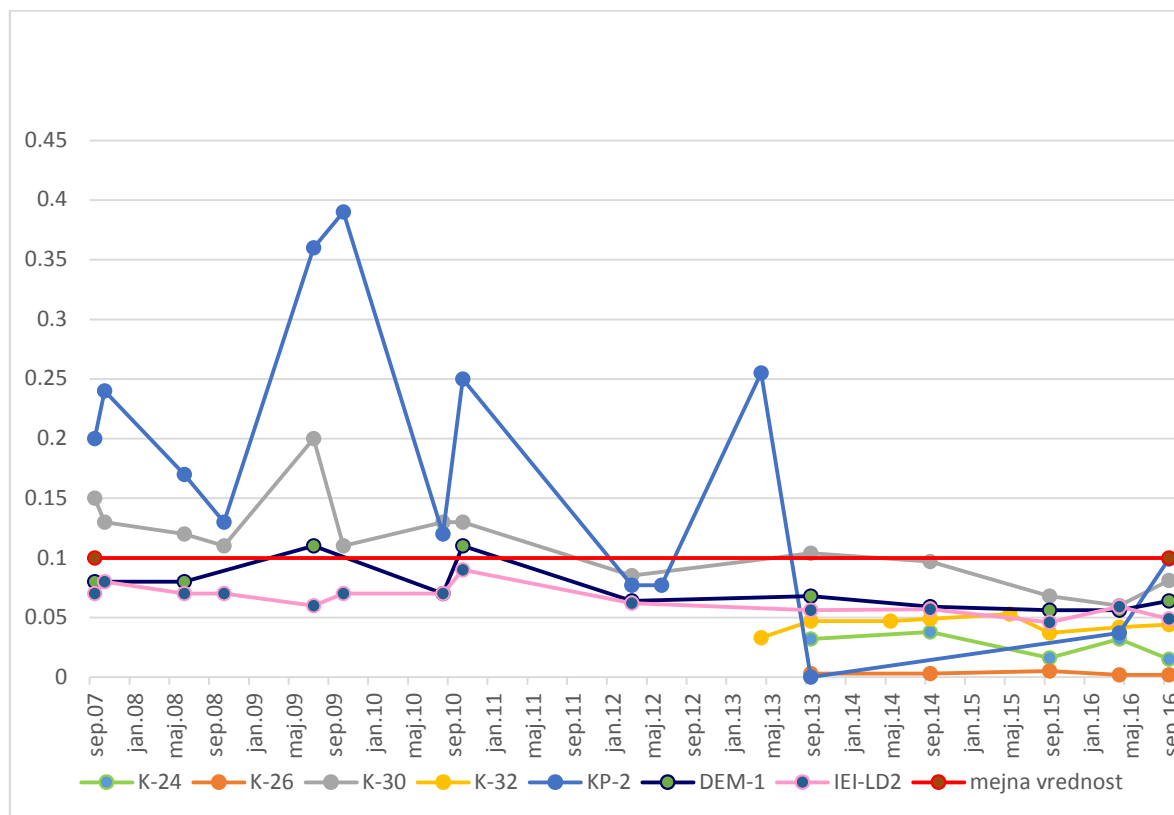


Slika 22: Prekomerne obremenitve podzemne vode z nitrati (Vir: IEI d. o. o.)

Kakovost podzemnih voda se na območju črpališč Mariborskega vodovoda v zadnjih desetih letih izboljšuje. Iz slike 22 vidimo trend upadanja koncentracij nitratov, kar bi lahko bila posledica ukrepov za zniževanje vnosa dušika v tla. Po letu 2013 vsebnost nitratov ni presegla mejne vrednosti, katere vrednost je 50 mg/l. Vsebnost nitratov v podzemni vodi na območju Vrbanskega platoja je bila v obdobju 2013 – 2016 med 3 mg/l in 28 mg/l. Iz analiz prostorskih podatkov lahko vidimo, da je v piezometru na levem bregu reke Drave (K-26) in piezometrom K-24, ki je pod vplivom umetnega bogatenja, nižja vrednost nitratov. Tam, kjer podzemna voda doteka s širšega podzemnega prostora, so vrednosti nitratov višje.

Potrebno je poudariti, da je naravno ozadje nitratov v podzemni vodi manj kot 5 mg/l. Vsako preseganje te vrednosti nakazuje na vpliv človekove dejavnosti.

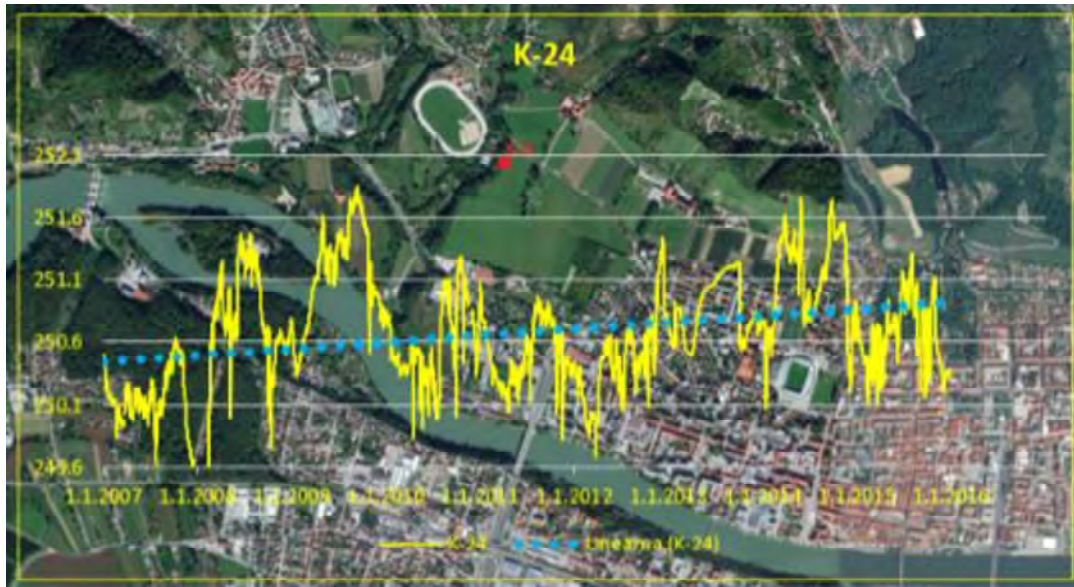
Atrazin je ostanek sredstva za zatiranje plevela, ki se kljub večletni prepovedi uporabe še vedno pojavlja v podzemni vodi. To kaže predvsem na dolgo zadrževanje in potovanje skozi nenasičeno cono tal.



Slika 23: Prekomerne obremenitve podzemne vode z atrazinom (Vir: IEI d. o. o.)

S slike 23 je razvidno, da je bila v okviru imisijskega monitoringa Mestne občine Maribor ugotovljena prisotnost atrazina v podzemni vodi vse do leta 2013. Iz grafa vidimo, da je vsebnost atrazina po letu 2013 padla pod mejno vrednost, kar pa je vseeno skrb zbujajoč podatek, saj je atrazin prepoznan kot rušilec hormonskega ravnovesja. Povzročča številne oblike raka (rak dojk, jajčnikov, maternice, mod, levkemijo), motnje normalnega delovanja hormonov, motnje v spolnosti, motnje vedenja in splošno zmanjšanje odpornosti. Uporabo atrazina kot monokomponentnega FFS so v Sloveniji prepovedali leta 2002 (Odredba o prepovedi ali omejitvi prometa oziroma uporabe fitofarmaceutskih sredstev, ki vsebujejo določene aktivne snovi).

Najbolj kritični mesti sta bili KP-2 in K-30, kjer je vsebnost atrazina krepko presegala mejno vrednost, ki znaša $1\mu\text{g/l}$. Ti podatki kažejo na to, da ostankov herbicidov ne najdemo samo v podzemni vodi, ki je pod kmetijskimi površinami, ampak tudi v podzemni vodi v mestu, saj za zatiranje plevela na asfaltiranih in tlakovanih površinah, igriščih, parkih in drugih javnih površinah uporabljajo herbicid, ki ima pomemben vpliv na kakovost podzemne vode (MOM-MUVOON, 2017).



Slika 24: Primer prostorskega prikaza podatkov nihanja gladine podzemne vode s pomočjo QGIS (Vir: Ačko Kolarič A.)

Slika 24 prikazuje eno od možnosti, kako uporabiti QGIS (ali katero drugo orodje GIS) za prostorsko predstavitev podatkov. Prednost združevanja baze podatkov monitoringa in orodja GIS, v našem primeru QGIS je v tem, da lahko hitro dobimo raznovrstne predstavitve podatkov monitoringa, odvisno od trenutne potrebe po vsebini in časovnem obdobju.

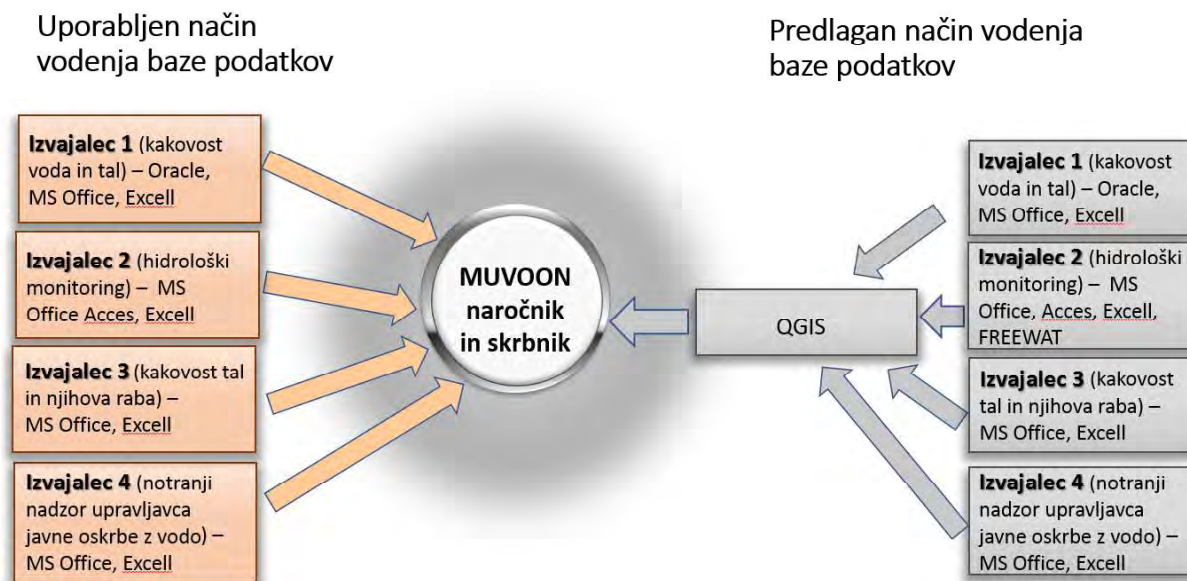
5 RAZPRAVA

Monitoring stanja je pomemben in neizogiben pri upravljanju s prostorom in okoljem. Del tega je tudi monitoring podzemnih voda, ki nam zagotavlja večji del vodnih virov v javni oskrbi s pitno vodo. Premalo je zavedanja, da so mnoge družbeno pozitivne socialne, ekonomske in okoljske odločitve odvisne od kakovosti podatkov monitoringa voda. Pomembna sta tudi način, kako so ti podatki predstavljeni ključnim deležnikom, in hitrost oziroma ažurnost predstavljenih podatkov monitoringa. Zato sem v nalogi preučila možnost uporabe QGIS za integracijo in hranjenje podatkov monitoringa ter deležnikom bolj prijazno, celovito in hitro predstavitev izbranih podatkov monitoringa podzemnih voda.

Geografski informacijski sistemi so že dalj časa pomembni pri predstavitvah in opazovanju prostora z več parametri hkrati. Zaradi finančno zahtevnejših licenčnih orodij GIS je njihova uporaba v glavnem ostala znotraj posameznih institucij, ki so to zmogle. Uporaba orodij GIS ni doživela enotne širše uporabe. Zaradi te slabosti so poskušali v posameznih okoljih razvijati svoja, bolj dostopna GIS orodja. A so ta imela ali pa še imajo zgolj lokalni namen. QGIS je po začetnih, še omejenih korakih, dobil močno družino prostovoljnih programerjev, ki so ga v letih razvoja in nadgradnje postavili ob bok profesionalnim licenčnim programom. Omogoča izmenljivost različnih formatov datotek, zato je prenos v kateri koli smeri dokaj enostaven. Projekt Evropske unije FREEWAT (Horizont 2020), v katerega je bil vključen matematični model vodonosnika Vrbanski plato z uporabo vtičnika v QGIS, je prikazal možnost širše uporabe QGIS. Cilj FREEWAT je promocija programov GIS, ki se nanašajo na vode, in sicer s pomočjo odprtih in javno dostopnih domen, rešitev za načrtovanje, upravljanje s površinskimi in podzemnimi vodnimi viri podprtih v okolju GIS, hkrati z namenskim participativnim pristopom (Med mreže 2, str. 1).

Hranjenje in obdelava podatkov imisijskega monitoringa Mestne občine Maribor se od njegovega začetka leta 2001 ni spreminjala. Izvirne datoteke (v Microsoft Office – Word, Excel, Access ter Oracle) se hranijo pri posameznih izvajalcih imisijskega monitoringa, naročnik Mestna občina Maribor pa hrani poročila v glavnem v tiskani obliki. Tako bi poenotenje hranjenja podatkov v QGIS pri vseh udeleženi vsekakor predstavljalo sodobnejše upravljanje s podatki monitoringa.

Slika 25 prikazuje, da sedaj pravzaprav ne obstaja skupna baza podatkov imisijskega monitoringa, le letna poročila, ki jih hrani naročnik Mestna občina Maribor. Njihovi podatki pa so pri posameznih izvajalcih v programskih orodjih, ki jih le-ti uporabljajo. Podatke o kakovosti vode in tal, recimo hrani NLZOH v svojem programskem orodju Oracle, do katerega imajo dostop le sami, Mestni občini Maribor predajo samo letne datoteke v Excelu. Tako je za vsako nadaljnjo obdelavo podatkov potrebno ponovno naročilo in dodatno delo. Podobno je pri drugih izvajalcih. Tudi prostorska predstavitev teh podatkov ni avtomatična, ampak zahteva posebno obdelavo in dodatna orodja. Če bi se podatki avtomatično zbirali v QGIS, ki omogoča tudi dokaj preprost vnos podatkov iz Excela, bi lahko izdelali enotno bazo imisijskega monitoringa. Takšna baza podatkov monitoringa bi omogočala lažji dostop do prikaza in obdelave podatkov monitoringa – tako v prostoru kot v različnih časovnih obdobjih.



Slika 25: Predlog vodenja baze v okviru QGIS (Vir: Ačko Kolarič A.)

Program QGIS je prosto dostopen, zato ni ovire za njegovo uporabo. Izmenjava datotek monitoringa in njihova uporaba bi bila v tem primeru preprosta.

V primeru uporabe QGIS bi se vse dogajalo znotraj enega orodja, ki bi omogočalo tudi bistveno večji nabor možnosti prikazovanja in obdelave podatkov znotraj različnih prostorskih in časovnih okvirjev. Seveda to ni edina možnost, a druga orodja GIS so licenčna, zato plačljiva, ali pa je treba razviti svoja, ki pa ne bodo tako dodelana kot QGIS. Tudi njihova izmenjava med različnimi deležniki bi bila v tem primeru onemogočena. Zato je tudi v tem primeru QGIS v prednosti, a je potrebno za delo z njim usposobiti uporabnike baze podatkov monitoringa.

6 ZAKLJUČKI

V diplomski nalogi sem postavila tri hipoteze, ki se nanašajo na delo s programom QGIS.

Hipoteza 1: Program QGIS predstavlja sodobnejše vodenje baz podatkov od obstoječega načina z uporabo programov Microsoft Excel in Access.

Geografski informacijski sistem (GIS) je sistem za urejanje in upravljanje prostorskih podatkov. S svojim razvojem je sistem GIS prinesel veliko koristi, saj omogoča urejanje, analiziranje, modeliranje, predstavitve in prikaz geografsko referenciranih podatkov. S programom QGIS je možno izvajati tudi prostorsko in časovno analizo glede količin in kakovosti vode. Zato so geografski podatki postali osnova za kakovostno odločanje.

Microsoft Excel in Access sta licenčni orodji, ki omogočata hranjenje ter statistično in grafično obdelavo podatkov, ne omogočata pa vizualnih prostorskih predstavitev, enakovrednih orodjem GIS. Aplikacija QGIS uporabniku omogoča ustvarjanje, vizualizacijo, poizvedbo in analizo geoprostorskih podatkov, zato to hipotezo potrjujem.

Hipoteza 2: Program QGIS omogoča hitrejšo in lažjo predstavitev določenega izbora podatkov baze monitoringa, predvsem pa omogoča lažjo izmenjavo datotek in njihovo uporabnost med različnimi deležniki.

Sedanje vodenje baze podatkov imisijskega monitoringa je programsko razpršeno in ni avtomatsko vezano na prostorske predstavitve podatkov. Uporaba orodja QGIS bi omogočila hitrejšo in lažjo predstavitev podatkov iz baze. Za določene analize dogajanj v prostoru se običajno potrebujejo podatki na določenem prostoru in v določenem časovnem obdobju. Prav tako je tudi izmenjava datotek QGIS med posameznimi deležniki preprostejša kot izmenjava posameznih datotek različnih programskih orodij, večinoma vezanih tudi na licence. Edina ovira je usposobljenost za delo z orodjem.

Med projektom FREEWAT je bilo usposobljenih za delo s programom QGIS približno 1200 oseb, iz več kot 400 ustanov po vsem svetu. Statistika o prenosih programa QGIS kaže, da je približno 40 % prenosov namenjenih usposabljanju. Usposabljanje za delo s programom QGIS je nujno, saj je brez znanja in razumevanja programa QGIS težko predstaviti določen izbor podatkov monitoringa. Ko uporabnik usvoji delo s programom, je predstavitev podatkov hitrejša in lažja, zato hipotezo 2 potrdim.

Hipoteza 3: Za predstavitve rezultatov imisijskega monitoringa se je do sedaj uporabljalo ločeni orodji kot sta Access in Excel. Podatke je treba vnašati v vsak program posebej, program QGIS pa omogoča hitrejšo prikazovanje rezultatov, ki jih želimo prikazati, saj v ta program podatke vnesemo le enkrat, nato pa z ukazi določimo, kaj želimo prikazati (npr.: koordinate merilnih mest, gladine podzemnih voda, hidroizohipse, onesnaženost podzemnih voda). Za vnos osnovnih točkovnih podatkov se lahko uporablja tudi neposredno Excelove tabele, ki postanejo del baze QGIS.

Kot kompozitni vtič je, npr. FREEWAT zasnovan kot modularni skupek različnih orodij za podzemno vodo. Nekatera od njih se lahko uporabljajo samostojno, nekateri moduli pa zahtevajo predhodno izvajanje drugih orodij, zato predstavlja prikazovanje rezultatov imisijskega monitoringa s programom QGIS bistveno lažji in hitrejši način. Je pa treba (ponovno) poudariti, da je za takšno vrsto prikazovanja podatkov treba vložiti precej časa in truda za učenje in razumevanje programa QGIS.

Ačko Kolarič, A.: Analiza podatkov imisijskega monitoringa podzemne vode na vodonosniku Vrbanski plato s programom QGIS. VŠVO, Velenje, 2022

Ko podatke vnesemo v program, lahko na podlagi orodij in vtičnikov v QGIS urejamo, analiziramo, modeliramo, predstavimo in prikažemo geografsko referencirane podatke ter izvajamo prostorsko in časovno analizo glede količin in kakovosti vode. Hipotezo 3 potrjujem.

7 POVZETEK

Voda je naravna dobrina in je pogoj za življenje na Zemlji. Najpomembnejši vir pitne vode je podzemna voda. Z njo se oskrbuje približno 97 % slovenskih prebivalcev. Voda je pomembna tudi za kmetijstvo in industrijo, ki sicer spadata v skupino največjih onesnaževalcev podzemnih voda. Najpogostejši vzroki onesnaženja podzemnih voda so izpusti industrijskih in komunalnih odpadnih vod, izpiranje urbaniziranih površin ter izpiranje mineralnih gnojil iz kmetijskih površin.

Zaradi zagotavljanja visoke kakovosti življenja ljudi z izogibanjem onesnaženju, ki ima škodljive posledice na človekovo zdravje, je Evropska skupnost pripravila nekaj ključnih strateških dokumentov in načinov njihovega izvajanja. Na področju voda je glavni poudarek na izvajanju Vodne direktive, ki je sprejet tudi v slovenskem pravnem redu. Program imisijskega monitoringa kakovosti podzemnih voda, ki je načrtovan na podlagi določil slovenskih predpisov in evropske Direktive o vodah se v Sloveniji izvaja vse od leta 1987, Mestna občina Maribor pa imisijski monitoring izvaja neprekinjeno od leta 2001, in sicer dvakrat letno. Spremljajo glavne dejavnike, ki vplivajo na kakovost pitne vode, in pridobivajo podatke o morebitno problematičnih onesnaževalih, kot so endokrini motilci in ostanki farmakoloških substanc na območju mariborske občine in sosednjih občin.

Imisijski monitoring Mestne občine Maribor omogoča pregledno in učinkovito ocenjevanje stanja in upravljanja voda ter uresničevanje okoljskih ciljev.

Vrbanski plato je najpomembnejše črpališče Mariborskega vodovoda, saj se s tega območja pokrije več kot 70 % vseh potreb po vodi, tako za Mestno občino Maribor kot tudi za okoliške občine. Vodonosnik je zelo izdaten, saj je s severne in z južne strani delno zaprt z nepropustno podlago, zajezena struga reke Drave pa v vodonosniku omogoča dovolj vode tudi v sušnih razmerah, saj je pretok reke dokaj stalen. Srednji letni pretok (sQs) na območju Maribora je 297 m³/s, stoletna voda (vQvk) pa lahko doseže tudi 2860 m³/s. Najmanjši mali pretok (nQnp) se giblje okrog 60 m³/s. Za potrebe pitne vode pa se trenutno potrebuje okrog 0,5 m³/s v črpališču Vrbanski plato. Maksimalno je načrtovano do 1,0 m³/s.

Če analiziramo podatke avtomatskih meritev gladin podzemne vode na merilnih mestih Vrbanskega platoja ter trende naraščanja oziroma padanja v desetletnem obdobju spremljanja (med letoma 2007 in 2016), vidimo, da se gladina podzemne vode rahlo dviguje, razen na območju Limbuške dobrove, kjer se gladina znižuje. To je lahko posledica ugodnejših hidroloških razmer v reki Dravi v opazovanih obdobjih in nekoliko manjših količin črpanja pitne vode zaradi zmanjšanja potreb po vodi ob njeni bolj učinkoviti rabi. Na območju Limbuške dobrove se poznajo slabše snežne razmere na Pohorju, posledično tudi manjši dotok zalednih voda, ter zablatenje brežin Drave nad HE Mariborski otok, s tem pa njeno manjše infiltriranje v podzemno vodo Limbuške Dobrove.

Razmere na Vrbanskem platoju so idealne za umetno bogatenje podzemne vode in tudi za aktivno zaščito črpališča, zato so tukaj zgradili sistem umetnega bogatenja podzemne vode.

Zaradi izvedbe I. faze aktivne zaščite z umetnim bogatenjem in zaježitve reke Drave je na območju Vrbanskega platoja zagotovljena zadostna količina vode. Se je pa treba posvetiti preprečevanju možnosti onesnaževanja podzemne vode, saj je območje vodonosnika zaradi vpliva mesta Maribor bolj ranljivo.

Čeprav se kakovost podzemnih voda na območju črpališča Vrbanski plato izboljšuje, bi bilo nujno izgraditi II. fazo aktivne zaščite, da se prepreči možnost nepredvidenega onesnaževanja s strani mesta. Takšno je bilo recimo razlitje kurilnega olja leta 2016 na območju stavbe Mestne občine Maribor, a je zaradi delovanja I. faze aktivne zaščite to območje onstran vododelnice,

Ačko Kolarič, A.: Analiza podatkov imisijskega monitoringa podzemne vode na vodonosniku Vrbanski plato s programom QGIS. VŠVO, Velenje, 2022

od koder teče voda proti Vrbanskemu platoju, in je onesnaženje preusmerilo v nasprotno smer, tj. proti Melju.

Vrbanski plato je preveč pomemben vodni vir, da bi ga izgubili. Zato potrebuje tudi ustrezen nadzor in upravljanje z vodonosnikom, ki ga podpira imisijski monitoring. Ureditev enotne prostorske in časovne baze podatkov, recimo s QGIS, bi dala temu nadzoru in upravljanju novo kakovost na ravni sedanje, digitalne dobe.

8 SUMMARY

Water is a natural capital and an essential requirement for life on Earth. The most important source of drinking water is groundwater. Approximately 97% of people in Slovenia get their water from groundwater. Water is also of importance for agriculture and industry, which are among the biggest polluters of groundwater. The most common causes of groundwater pollution are discharges of industrial and urban wastewater, urban runoff and agricultural runoff due to mineral fertilizers.

In order to ensure a high quality of life by avoiding pollution which is causing damaging effects on human health, some key strategy documents have been drawn up by the European Community, including the ways to implement them. The primary focus in regards to water is on the implementation of the Water Framework Directive, also adopted in the Slovenian legal order. In Slovenia, the groundwater quality monitoring programme designed on the basis of Slovenian provisions and the European Water Framework Directive has been enforced since 1987, while in the Municipality of Maribor, it has been enforced twice per year since 2001. The main factors affecting the quality of drinking water are being monitored and data on potentially problematic pollutants is being collected, such as endocrine disruptors and residues of pharmacological substances in the Municipality of Maribor and the municipalities surrounding it.

Emissions monitoring in the Municipality of Maribor enables transparent and effective evaluation of water status and management, as well as achievement of environmental objectives.

The pumping station Vrbanski plato is the most important pumping station of the Maribor water supply company Mariborski vodovod as this area accounts for more than 70% of all water used in the Municipality of Maribor as well as the municipalities surrounding it. The aquifer provides abundant amounts of water as the impermeable layer is partially closing off the north and the south side of it, and the dammed riverbed of Drava enables enough water for the aquifer even in dry conditions due to the fairly stable flow of the river. The mean annual discharge (sQs) in Maribor equals 297 m³/s, and the annual maximum high discharge (vQvk) can reach up to 2860 m³/s. The minimum low discharge (nQnp) equals approximately 60 m³/s. At present, in the Vrbanski plato pumping station, around 0.5 m³/s is needed for drinking water. The expected maximum equals up to 1.0 m³/s.

According to the analysis of automatic measurements of groundwater levels carried out at monitoring stations of Vrbanski plato, and upward or downward trends in monitoring in the 10-year period (from 2007 to 2016), the groundwater level is slightly rising with the exception of Limbuška Dobrava area where the water level is decreasing. This may be the result of more favorable hydrological conditions of the Drava river during the observation periods and slightly decreased quantity of drinking water that is being pumped due to reduced water needs and more efficient use of water. The Limbuška Dobrava area is affected by poorer snow conditions on Pohorje, resulting also in reduced water inflow of hinterland waters, and creating mudbanks of Drava river above hydroelectric power plant Mariborski otok, and thus its smaller infiltration to the groundwater Limbuška Dobrava.

The conditions of Vrbanski plato are ideal for artificial recharge of groundwater, as well as for active protection of the pumping station, which was the reason for building a system for artificial recharge of groundwater.

The implementation of phase I active protection with artificial recharge and the damming of the Drava river provide a sufficient amount of water in the Vrbanski plato area. However,

prevention of possible groundwater pollution requires attention as the aquifer area is more vulnerable due to the impact of the city of Maribor.

Although the quality of groundwater in the area of Vrbanski plato pumping station is improving, it is necessary to build phase II active protection to prevent possibility of unexpected pollution by the city. This happened, for instance, in 20016 at the seat of the Municipality of Maribor where fuel oil was spilled. Due to phase I active protection, this area is on the other side of the drainage divide from where the water runs towards the Vrbanski plato, therefore the pollution was redirected towards Melje settlement.

The Vrbanski plato water source is too important to lose. Therefore, it requires proper control and management of the aquifer which is supported by immission monitoring. Building a single spatial and temporal database, for example with QGIS software, would give such control and management a new quality in keeping with the current digital age.

9 LITERATURA IN VIRI

- Agencija Republike Slovenije za okolje (2020). Atlas okolja. Medmrežje: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso.
- Andjelov, M., Frantar, P., Mikulič, Z., in sodelavci. (2015). Količinsko stanje podzemnih voda v Sloveniji: Osnove za NUV 2015-2021. Ljubljana, 64 str. Medmrežje: http://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Kolicinsko_stanje_podzemnih_voda_v_Sloveniji_OSNOVE_ZA_NUV_2015_2021.pdf (21. 2. 2018).
- Andjelov, M., Frantar, P., Pavlič, U., Rman, N., Souvent, P. (2021). Količinsko stanje podzemnih voda v Sloveniji. Osnove za NUV 2022 – 2027. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, 95 str.
- Andjelov, M., Souvent, P., Mikulič, Z., in sodelavci. (2008). Program hidrološkega monitoringa podzemnih voda za leto 2009. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, 10 str.
- Blažeka, Ž., Kopač, I., Babič, M., in sodelavci. (2013). Izvajanje imisijskega monitoringa tal, površinskih in podzemnih voda na vodovarstvenem območju črpališč Mariborskega vodovoda: Poročilo za leto 2012. Maribor, 49 str. Medmrežje: http://okolje.maribor.si/data/user_upload/Zaključno_porocilo_imisijski_monitoring_tal_podzemnih_in_povrsinskih_voda_za_leto_2012.pdf (22. 2. 2018).
- Cvitanič, I., Dobnikar Tehovnik, M., Gacin, M., in sodelavci. (2010). Ocena ekološkega in kemijskega stanja voda v Sloveniji za obdobje od 2006 do 2008. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, 74 str. Medmrežje: <http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost%20voda/Ocena%20stanja%20voda%2020062008.pdf> (8. 3. 2018).
- Direktiva 2006/118/ES evropskega parlamenta in sveta z dne 12. decembra 2006 o varstvu podzemne vode pred onesnaževanjem in poslabšanjem.
- Dobnikar Tehovnik, M., Dolinar, N., Cvitanič, I., in sodelavci (2017). Program monitoringa kemijskega in ekološkega stanja voda: Program za obdobje 2016 in 2021. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, 81 str. Medmrežje: <https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/ARSO/Vode/Stanje-voda/Program-monitoringa-kemijskega-in-ekoloskega-stanja-voda-za-obdobje-2016-do-2021.pdf> (28. 9. 2021).
- IEI d. o. o. (2017). Priročnik za FREEWAT/QUANTUM GIS (QGIS) SEMINAR. Izobraževalna delavnica za uporabi orodja QGIS/FREEWAT. Maribor, Institut za ekološki inženiring d. o. o., 3 str.
- Jereb, B., Skok, D., Šafran, M., Škornik, M. (2010). Programi za logistike. Univerza v Mariboru, fakulteta za logistiko, laboratorij za informatiko, 489 str. Medmrežje: <http://labinf.fl.uni-mb.si/programi-za-logistike/proglog.si.pdf> (10. 3. 2018)
- Kopač, I. (2009). Črpališče Vrbanski plato: II. faza aktivne zaščite. Maribor, Institut za ekološki inženiring d. o. o., 19 str.
- Kopač, I., Vremec, M. (2017). Report on the application of the FREEWAT to Vrbanski Plato case study (Slovenia). EU HORIZON 2020 project FREEWAT – FREE and open source software tools for WATer resource management (Grant Agreement No. 642224).
- Kračun, M. (2016). QGIS (Quantum GIS). PowerPoint predstavitev. Maribor, Institut za ekološki inženiring d. o. o., 12 str.
- Krajnc, M. (2008). Poročilo o kakovosti podzemne vode v Sloveniji v letu 2006. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, 159 str.
- Medmrežje 1: https://cordis.europa.eu/result/rcn/198380_en.html (14. 4. 2018).
- Medmrežje 2: http://www.freewat.eu/sites/default/files/FREEWAT_Leaflet_Slovenian.pdf (14. 4. 2018).

- Mihorko, P., Gacin, M. (2015). Ocena kemijskega stanja podzemne vode v Sloveniji v letu 2014. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, 59 str. Medmrežje: http://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Porocilo_podzemne_2014_objava_splet_5.1.2016_OK_sken.pdf (8. 3. 2018).
- MOM – MUVOON. (2017). 15 let izvajanja imisijskega monitoringa tal, podzemnih in površinskih voda. Brošura, Maribor: Mestna občina Maribor, Medobčinski urad za varstvo okolja in ohranjanje narave MOM – MUVOON.
- Pravilnik o monitoringu podzemnih voda, Uradni list RS, št.31/2009.
- Rismal, M. (1981). Analiza možnih virov onesnaženja podtalnice na Vrbanskem platoju s Cr+6 in predlog ukrepov za povečanje varnosti tega vodnega vira. Ljubljana: FAGG, VTOZD Gradbeništvo in geodezija, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko.
- Sovič, N., Baskar, M., Blažeka, Ž., kopač, I., Zadravec, D., Kumer, S. (2014). Izvajanje imisijskega monitoringa tal, površinskih in podzemnih voda na vodovarstvenem območju črpališč mariborskega vodovoda – zaključno poročilo za leto 2013. Maribor: Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, 44 str.
- Sovič, N., Lapajne, S. (2013). Izvajanje imisijskega monitoringa tal, površinskih in podzemnih voda na vodovarstvenem območju črpališč Mariborskega vodovoda, povzetek stanja na območju MOM. Zavod za zdravstveno varstvo – inštitut za varstvo okolja Maribor. 49 str. Medmrežje: <http://www.maribor.si/dokument.aspx?id=20084> (14. 3. 2018)
- Špruk, K. (2014). uporaba odprtokodnega programa Quantum GIS. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. 121 str.
- Uredba o stanju podzemnih voda, Uradni list RS, št. 25/09, 68/12 in 66/16.
- Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnika Selniška dobava (Uradni list RS, št. 72/06, 32/11, 22/13 in 79/15).
- Uredba o vodovarstvenem območju za vodno telo vodonosnikov Ruš, Vrbanskega platoja, Limbuške dobave in Dravskega polja, Uradni list RS, št. 24/07, 32/11, 22/13 in 79/15.
- Vlada Republike Slovenije. (2016). Načrt upravljanja voda na vodnem območju Donave za obdobje 2016 – 2021. Ljubljana. 287 str. Medmrežje: https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Voda/NUV/63dbe4066b/NUV_VOD.pdf.
- Vlada Republike Slovenije. (2016). Program ukrepov upravljanja voda. Ljubljana. 248 str. Medmrežje: http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/voda/nuv_II/programe_ukrepov_upravljanja_voda.pdf.
- Vremec, M. (2016). Modeliranje toka podzemne vode na območju vodonosnika Vrbanski plato s programom FREEWAT. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, 48 str.
- Žibrik, K., Meden, S., Kralj, J. (1964). Režim podtalne vode na območju Maribora z okolico. Arh. števil. Pč E1 06-2/1964, Ljubljana: Hidrometeorološki zavod SRS.
- Žlebnik, L. (1971), Podatki vrtin v Limbušu in Mariborskem otoku. Ljubljana: Geološki zavod Ljubljana.
- Žlebnik, L. (1981). Poročilo o nadaljevanju hidrogeoloških raziskav na širšem območju črpališča mariborskega vodovoda na Vrbanskem platoju. Ljubljana: Geološki zavod Ljubljana, Tozd-I geologija, geotehnika, geofizika, Sektor za geotehniko in hidrogeologijo, Arh. št. K-II-30d/c-19/6-h.