

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Bračič Železnik, B., 2016. Dinamika podzemne vode sistemov vodonosnikov Iškega vršaja. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Brilly, M., somentorica Šraj, M.): 57 str.

Datum arhiviranja: 26-09-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Bračič Železnik, B., 2016. Dinamika podzemne vode sistemov vodonosnikov Iškega vršaja. M.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Brilly, M., co-supervisor Šraj, M.): 57 pp.

Archiving Date: 26-09-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**PODIPLOMSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
HIDROTEHNIČNA SMER**

Kandidatka:

BRANKA BRAČIČ - ŽELEZNIK

**DINAMIKA PODZEMNE VODE SISTEMOV
VODONOSNIKOV IŠKEGA VRŠAJA**

Magistrsko delo št.: 291

**THE GROUNDWATER DYNAMICS OF THE AQUIFER
SYSTEM AT IŠKA FAN**

Graduation – Master Thesis No.: 291

Mentor:
prof. dr. Mitja Brilly

Predsednik komisije:
prof. dr. Matjaž Četina

Somentor:
doc. dr. Goran Vižintin

Ljubljana, 20. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisani/-a študent/-ka **Branka Bračič Železnik**, vpisna številka **26001745**, avtor/-ica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: **Dinamika podzemne vode sistemov vodonosnikov Iškega vršaja**

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*
 - a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
 - b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V Ljubljani

Datum:13.9.2016

Podpis študenta/-ke:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDC:	556.3(043.3)
Avtor:	Branka Bračić Železnik, univ.dipl.inž.geol.
Mentor/mentorica:	prof.dr. Mitja Brilly
Somentor/somentorica:	doc.dr. Goran Vižintin
Naslov:	Dinamika podzemne vode sistemov vodonosnikov Iškega vršaja
Tip dokumenta:	magistrsko delo
Obseg in oprema:	57 str., 16 slik, 27 graf., 12 en., 5 pril.
Ključne besede:	podzemna voda, onesnaženje, pesticidi, konceptualni model, črpalni poskus, vodonosnik

Izvleček

Leta 1981 je bila v sistem javne oskrbe s pitno vodo vključena vodarna Brest, ki zajema podzemno vodo Iškega vršaja na različnih globinah. Onesnaženja podzemne vode s pesticidi in drugimi onesnaževali so vodila k spremembi režima črpanja in sicer tako, da so daljša obdobja pretežno delovali plitvi vodnjaka, ob problemih glede količin ali kakovosti v plitvih vodnjakih, pa je bil poudarek na črpanju iz globokih vodnjakov.

Leta 2009 je bil izveden enomesečni črpalni poskus na VD Brest 1a z namenom, da se ugotovi dinamika podzemne vode pri različnih kombinacijah delovanja plitvih in globokih vodnjakov. Na osnovi zbranih podatkov so bili narejeni izračuni parametrov vodonosnika, kot so transmisivnost, koeficient elastičnega uskladiščenja, izgube v vodonosniku in spremembe gradientov podzemne vode.

Izračuni in spremembe fizikalno-kemijskih parametrov v obdobju črpalnega poskusa zavračajo konceptualni model vodonosnikov Ljubljanskega barja, po katerem sta spodnji in zgornji pleistocenski vodonosnik med seboj ločena z glinasto plastjo in med njima ni hidravlične povezave.

Analiza podatkov je pokazala, da vodonosniki na območju Iškega vršaja zelo hitro odreagirajo tako na ekstremne vremenske razmere, kakor tudi na človekove posege. Črpanje iz različnih vodonosnikov vpliva na spremembe gradientov, kar ima za posledico prenos onesnaževal iz zgornjih holocenskih plasti v spodaj ležeče pleistocenske vodonosne plasti. Nižanje koncentracij DAT v VD Brest 9 je posledica spremembe gradienta v smeri vodnjaka VD Brest 1a in kaže na hidrodinamično povezavo med holocenskim, zgornje pleistocenskim in spodnje pleistocenskim vodonosnikom.

BIBLIOGRAPHIC-DOKUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	556.3(043.3)
Avtor:	Branka Bračič Železnik, BSc Geology
Mentor/mentorica:	Prof. Mitja Brilly, Ph.D.
Somentor/somentorica:	Doc. Goran Vižintin, Ph.D.
Naslov:	The groundwater dynamics of the aquifer system at Iška fan
Tip dokumenta:	M. Sc. Thesis
Obseg in oprema:	57 p., 16 fig, 27 graph., 12 eq., 5 ann.
Ključne besede:	groundwater, pollution, pesticides, conceptual model, pumping test, aquifer

Abstract

The water field Brest is in production since 1981, from where groundwater is abstracted from different depths through a series of 10 shallow wells. Pesticides and other contaminants present in the groundwater caused a change in the pumping regime.

In the 2009 a pumping test was performed. Groundwater was abstracted for one month with the aim to define the groundwater dynamics with the combination of different pumping regimes from shallow and deep wells. Based on the measured data some of the aquifer parameters were calculated, such as transmissivity, the coefficient of storage and groundwater gradient changes.

The calculations and changes of physical-chemical parameters of groundwater in the time of the pumping test reject the conceptual model of the Ljubljansko barje aquifers because the upper and lower Pleistocene aquifers are separated by a layer of clay and there is no hydraulic connectivity between them.

The data analysis confirms that the aquifers of Iška fan are very sensitive to extreme weather conditions as well as to human impacts. The groundwater abstraction from different aquifers influences the groundwater gradient which can cause the pollutant transport from the upper Holocene aquifer to the underlying Pleistocene upper and lower aquifers. Lower DAT concentrations in the shallow well VD Brest 9 is a consequence of groundwater gradient change in the direction towards well VD Brest 1 and indicates to the hydrodynamic connection between the Holocene, the upper Pleistocene and the lower Pleistocene aquifer.

ZAHVALA

Za pomoč in napotke pri izdelavi magistrske naloge se zahvaljujem mentorju prof.dr. Mitji Brilliju in somentorju doc.dr. Goranu Vižintinu.

Zahvala JP VODOVOD-KANALIZACIJA d.o.o., ki mi je omogočilo uporabo podatkov.

Hvala vsem prijateljem, ki niste obupali nad menoj, še posebej Barbari Čenčur Curk in Petri Souvent.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOKUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
2 PREGLED GEOLOŠKIH IN HIDROGEOLOŠKIH RAZISKAV NA VPLIVNEM OBMOČJU VODARNE BREST	5
3 GEOLOGIJA IN HIDROGEOLOGIJA IŠKEGA VRŠAJA IN JUŽNEGA DELA LJUBLJANSKEGA BARJA	8
3.1 Geološka zgradba	8
3.2 Hidrogeologija iškega vršaja	10
3.2.1 Holocenski vodonosnik (H).....	10
3.2.2 Zgornji pleistocenski vodonosnik (Pl _{zg})	12
3.2.3 Spodnji pleistocenski vodonosnik (Pl _{sp})	12
3.2.4 Karbonatni vodonosnik.....	13
3.2.5 Severno obrobje barja.....	14
3.2.6 Hidrološke in hidrometeorološke razmere na območju Iškega vršaja in v osrednjem delu Ljubljanskega barja.....	14
4 VODARNA BREST.....	18
4.1 Črpane količine.....	20
4.2 Obremenjenost podzemne vode.....	22
5 ČRPALNI POSKUS NA VODNJAKU VD BREST 1a V LETU 2009	26
5.1 Zasnova črpalnega poskusa in njegov potek	26
5.2 Rezultati črpalnega poskusa – dinamika podzemne vode v času črpalnega poskusa	26
5.2.1. Izračun vplivnega radija	30
5.2.2. Analiza znižanja gladine podzemne vode v vodnjaku in izračun izgub	31
5.2.3. Določanje lastnosti vodonosnika	33
5.2.4. Vpliv črpanja na spremembo gradienta podzemne vode	36
5.3 Rezultati črpalnega poskusa – spreminjanje anorganskih komponent	39
5.3 Rezultati črpalnega poskusa – spreminjanje koncentracij atrazina in desetilatrazina	43
5.4 Matematično modeliranje črpalnega poskusa.....	44
5.4.1 Teoretična izhodišča	44
5.4.2 Konceptualni model in vhodni parametri	45
5.4.3 Rezultati modeliranja.....	47

6 ZAKLJUČEK	50
7 SUMMARY	53
VIRI	56

KAZALO SLIK

Slika 1: Ljubljansko barje.....	1
Slika 2: Območje gojenja koruze.....	2
Slika 3: Konceptualni model vodonosnikov na Ljubljanskem barju (Kristensen et al., 2000)	4
Slika 4: Geološka zgradba Iškega vršaja (po osnovni geološki karti 1:100000, list Ribnica in list Postojna).....	8
Slika 5: Tok podzemne vode v holocenskem vodonosniku.....	11
Slika 6: Lokacije vodomernih postaj na reki Iški	16
Slika 7: Lokacije vodnjakov vodarne Brest.....	18
Slika 8: Razširjenost oblaka onesnaženja s TCE.....	23
Slika 9: Piperjev diagram za ponazoritev anorganske sestave vodnjakov vodarne Brest pred pričetkom črpalnega poskusa. Odvzem 19.10.2009, dopoldne in popoldne (Auersperger, 2011)	39
Slika 10: Piperjev diagram za ponazoritev anorganske sestave vodnjakov vodarne Brest po prvem tednu črpalnega poskusa s črpanjem 54 l/s iz VD Brest-1a. Odvzem 26.10.2009	40
Slika 11: Piperjev diagram za ponazoritev anorganske sestave vodnjakov vodarne Brest med črpalnim poskusom. Črpanje VD Brest 1a 54 l/s in VD Brest 2a. Odvzem 2.11.2009	41
Slika 12: Piperjev diagram za ponazoritev anorganske sestave vodnjakov vodarne Brest med črpalnim poskusom. Črpanje VD Brest-1a 100 l/s in izklop VD Brest-2a. Odvzem 9.11.2009.	42
Slika 13: Prikaz generaliziranega konceptualnega modela vplivnega območja črpališča Brest za modelirano območje. Rdeče puščice kažejo generalno smer toka podzemne vode (Vižintin, 2010)....	46
Slika 14: Modelirane gladine podzemne vode (Vižintin, 2010).....	47
Slika 15: Prikaz izračuna koncentracij DAT za pleistocensko plast (Vižintin, 2010).....	48
Slika 16: Izračunane koncentracije DAT (roza črta = VD Brest 1a, rdeča črta = VD Brest 9, zelena črta= VD Brest 2a) (Vižintin, 2010).....	49

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Gibanje koncentracij atrazina (ATR) in desetilatrazina (DAT) v vodnjaku VD Brest 1a... 2	
Grafikon 2: Dnevne padavine na padavinski postaji Črna vas v obdobju 1984 - 2015	14
Grafikon 3: Letne padavine na padavinski postaji Črna vas	15
Grafikon 4: Pretoki reke Iške v obdobju 1984 – 2001	17
Grafikon 5: Pretoki reke Iške v obdobju 2002 – 2015	17
Grafikon 6: Dnevne načrpane količine podzemne vode po posameznem vodnjaku (1987 – 2015)	20
Grafikon 7: Načrpane letne količine podzemne vode glede na globine vodnjakov	20
Grafikon 8: Načrpane letne količine podzemne vode na globokih vodnjakih	21
Grafikon 9: Načrpane letne količine podzemne vode v plitvih vodnjakih	22
Grafikon 10: Gibanje koncentracij TCE v vodnjakih vodarne Brest	23
Grafikon 11: Gibanje koncentracij desetilatrazina (DAT) v globokih vodnjakih VD Brest 1a in VD Brest 2a.....	24
Grafikon 12: Gibanje koncentracij atrazina(ATR) in desetilatrazina (DAT) v globokem vodnjaku VD Brest 4a.....	25
Grafikon 13: Gibanje koncentracij atrazina (ATR) in desetilatrazina (DAT) v vodnjaku VD Brest 9. 25	
Grafikon 14: Gibanje gladin podzemne vode v piezometrih v času črpalnega poskusa	27
Grafikon 15: Gibanje gladin podzemne vode v vodnjakih vodarne Brest v času črpalnega poskusa ...	27
Grafikon 16: Gibanje gladin podzemne vode v vodnjakih VD Brest 4a in VD Brest 1a v času črpalnega poskusa	28
Grafikon 17: Gibanje gladine podzemne vode na vodnjaku VD Brest 9 v času črpalnega poskusa.....	28
Grafikon 18: Meritve gladine podzemne vode in pretoka na črpalni v VD Brest 1a.....	29
Grafikon 19: Diagram Q/s za vodnjak VD Brest 1a	32
Grafikon 20: Znižanje gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 1a času črpalnega poskusa	33
Grafikon 21: Znižanje gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 1a v prvih 1000 minutah	34
Grafikon 22: Znižanje gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 9 in piezometru Iš-1gl v času črpalnega poskusa	35
Grafikon 23: Znižanje gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 9 in piezometru Iš-1gl v prvih 1000 minutah.....	36
Grafikon 24: Sprememba gradienta podzemne vode med vodnjakoma VD Brest 1a in VD Brest 4a..	37
Grafikon 25: Sprememba gradienta podzemne vode med vodnjakoma VD Brest 1a in VD Brest 9....	38
Grafikon 26: Spreminjanje koncentracij DAT pri različnih režimih črpanja iz vodnjakov VD Brest 1a in VD Brest 4a.....	43
Grafikon 27: Padanje koncentracij ATR in DAT na VD Brest 9 v času črpalnega poskusa	43

LIST OF FIGURES

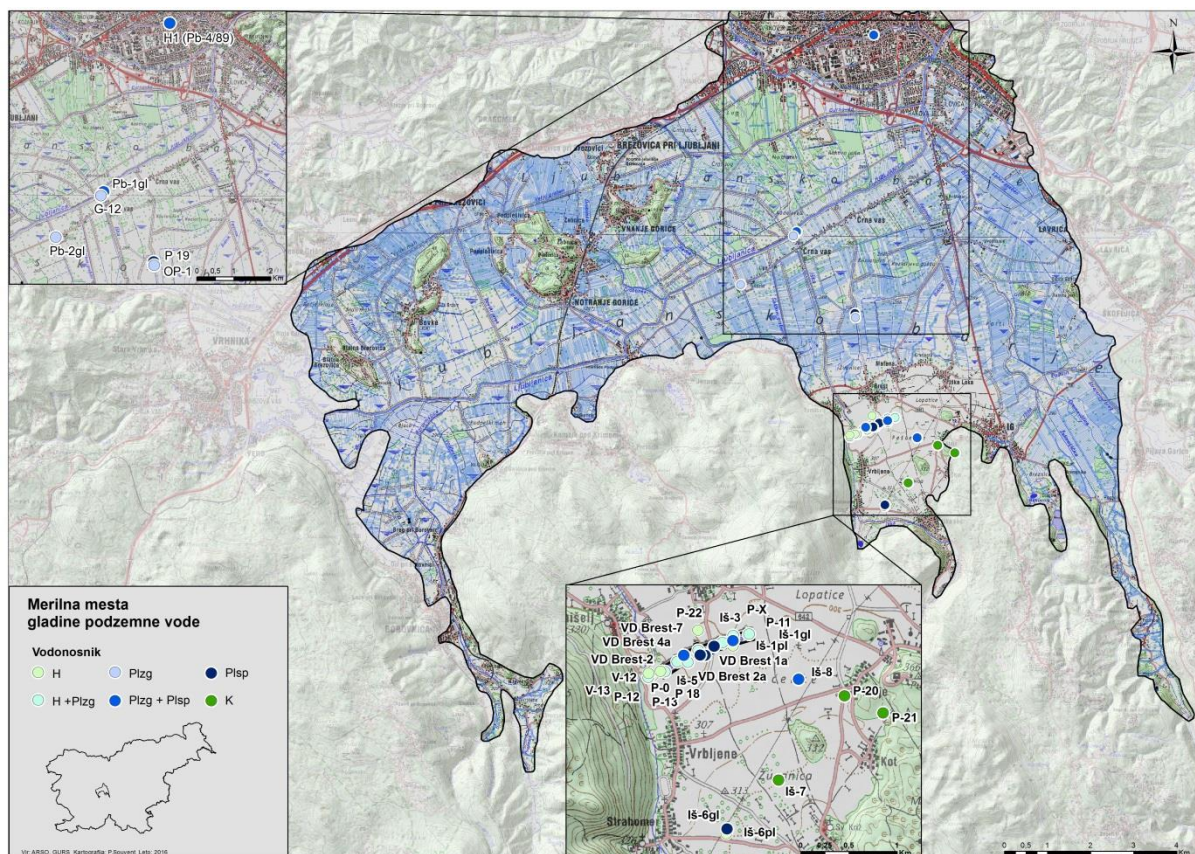
<i>Figure 1: The Ljubljansko barje area</i>	1
<i>Figure 2: The area of maize cultivation</i>	2
<i>Figure 3: The conceptual model of the Ljubljana barje aquifers system (Kristensen et al., 2000)</i>	4
<i>Figure 4: The geological map of the Iška fan (basic geological map 1:100 000, sheet Ribnica and sheet Postojna)</i>	8
<i>Figure 5: The groundwater flow lines in the Holocene aquifer</i>	11
<i>Figure 6: The gauging stations on the Iška river</i>	16
<i>Figure 7. The locations of the water field Brest wells</i>	18
<i>Figure 8: The TCE pollution cloud</i>	23
<i>Figure 9: The Piper diagram: The inorganic composition of groundwater in the wells of waterfield Brest before the pumping test. The sampling time: 19.10.2009, in the morning and in the afternoon (Auersperger, 2011)</i>	39
<i>Figure 10: The Piper diagram: The inorganic composition of groundwater in the wells of waterfield Brest after one week when the abstraction on VD Brest 1a was 54 l/s.. The sampling time: 26.10.2009</i>	40
<i>Figure 11: The Piper diagram: The inorganic composition of groundwater in the wells of waterfield Brest when abstraction on VD Brest 1a was 54 l/s and VD Brest 2a was in operation. The sampling time: 2.11.2009</i>	41
<i>Figure 12: The Piper diagram: The inorganic composition of groundwater in the wells of waterfield Brest when abstraction on VD Brest 1a was 100 l/s and VD Brest 2a was out of operation. The sampling time: 9.11.2009</i>	42
<i>Figure 13: The generalised conceptual model for the modeled area of water field Brest. Red arrows show the direction of the groundwater flow</i>	46
<i>Figure 14: Modeled groundwater levels(Vižintin, 2010).....</i>	47
<i>Figure 15: The DAT concentration simulation for the Pleistocene aquifer(Vižintin, 2010)</i>	48
<i>Figure 16: Calculated DAT concentration (pink line = VD Brest 1a, red line =VD Brest 9, green line = VD Brest 2a) (Vižintin, 2010)</i>	49

LIST OF GRAPHS

<i>Graph 1: DAT and ATR concentration changes inside the well VD Brest 1a</i>	<i>2</i>
<i>Graph 2: The daily precipitation at the raingauge Črna vas between 1984-2015</i>	<i>14</i>
<i>Graph 3: The raingauge Črna vas - yearly precipitation</i>	<i>15</i>
<i>Graph 4: The Iška River discharge between 1984-2001.....</i>	<i>17</i>
<i>Graph 5: The Iška River discharge between 2002-2015.....</i>	<i>17</i>
<i>Graph 6. The daily groundwater abstractions per well between 1987-2015.....</i>	<i>20</i>
<i>Graph 7. The yearly groundwater abstractions according to the depth of the wells</i>	<i>20</i>
<i>Graph 8: The yearly groundwater abstractions in the deep wells</i>	<i>21</i>
<i>Graph 9: The yearly groundwater abstractions in the shallow wells</i>	<i>22</i>
<i>Graph 10: The TCE concentration inside the wells of water field Brest</i>	<i>23</i>
<i>Graph 11: The DAT concentrations inside the deep wells VD Brest 1a and VD Brest 2a</i>	<i>24</i>
<i>Graph 12: The ATR and DAT concentrations inside the deep well VD Brest 4a.....</i>	<i>25</i>
<i>Graph 13: The ATR and DAT concentrations inside the well VD Brest 9.....</i>	<i>25</i>
<i>Graph 14: The groundwater fluctuations inside piezometers during the pumping test</i>	<i>27</i>
<i>Graph 15: The groundwater fluctuations inside the wells during the pumping test.....</i>	<i>27</i>
<i>Graph 16: The groundwater fluctuations inside the wells VD Brest 4a and VD Brest 1a during the pumping test</i>	<i>28</i>
<i>Graph 17: The groundwater fluctuations inside the well VD Brest 9 during the pumping test.....</i>	<i>28</i>
<i>Graph 18: Groundwater levels and the water discharge at the pump in the well VD Brest 1a.....</i>	<i>29</i>
<i>Graph 19: Q/s diagram for well VD Brest 1a</i>	<i>32</i>
<i>Graph 20: The groundwater drawdown inside the well VD Brest 1a during the pumping test</i>	<i>33</i>
<i>Graph 21: The groundwater drawdown inside the well VD Brest 1a in the first 1000 minutes</i>	<i>34</i>
<i>Graph 22: The groundwater drawdown inside the well VD Brest 9 and inside the piezometer Iš-1gl. 35</i>	
<i>Graph 23: The drawdown inside the well VD Brest 9 and inside the piezometer Iš-1gl in the first 1000 minutes</i>	<i>36</i>
<i>Graph 24: The groundwater gradient difference between well VD Brest 1a and VD Brest 4a</i>	<i>37</i>
<i>Graph 25: The groundwater gradient difference between well VD Brest 1a and VD Brest 9.....</i>	<i>38</i>
<i>Graph 26: The change of DAT concentrations at different abstraction regims on VD Brest 1a and VD Brest 4a</i>	<i>43</i>
<i>Graph 27: The DAT concentration decline inside VD Brest 9 during the pumping test.....</i>	<i>43</i>

1 OPREDELITEV PROBLEMA

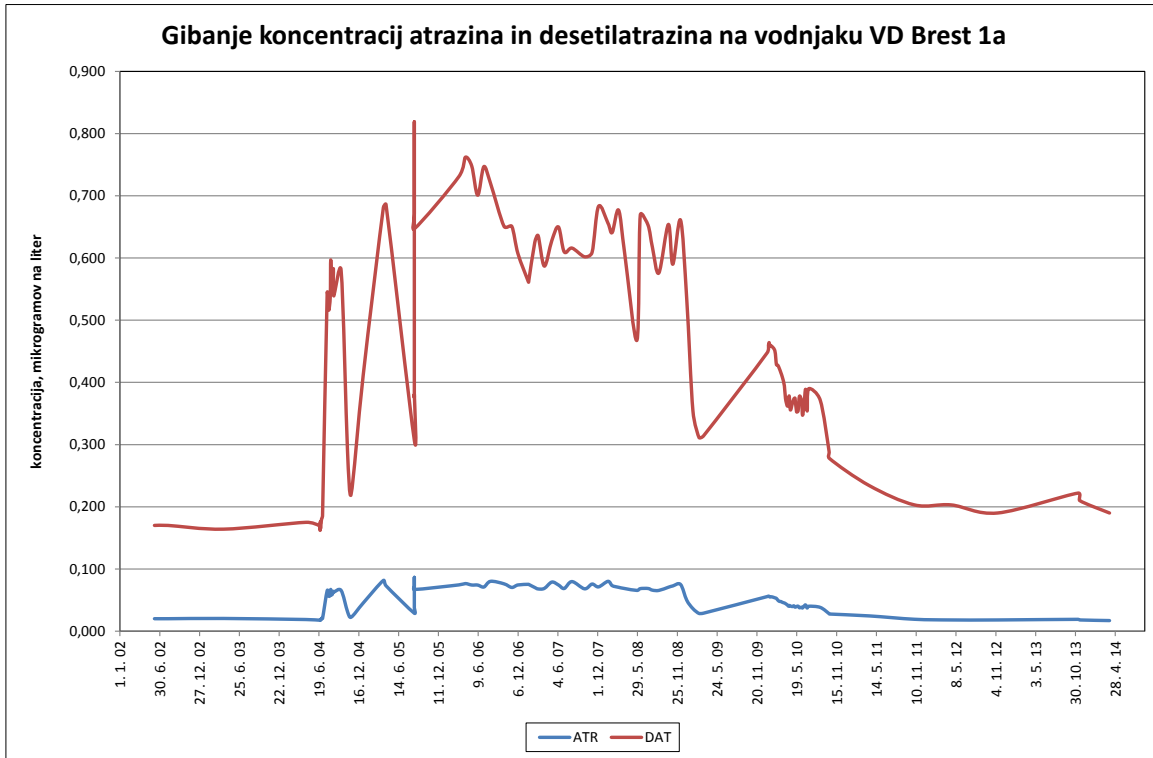
Vodarna Brest se nahaja na Iškem vršaju, na južnem delu Ljubljanskega barja. Območje Ljubljanskega barja, lega Iškega vršaja in merilna mesta gladine podzemne vode so prikazani na sliki 1.



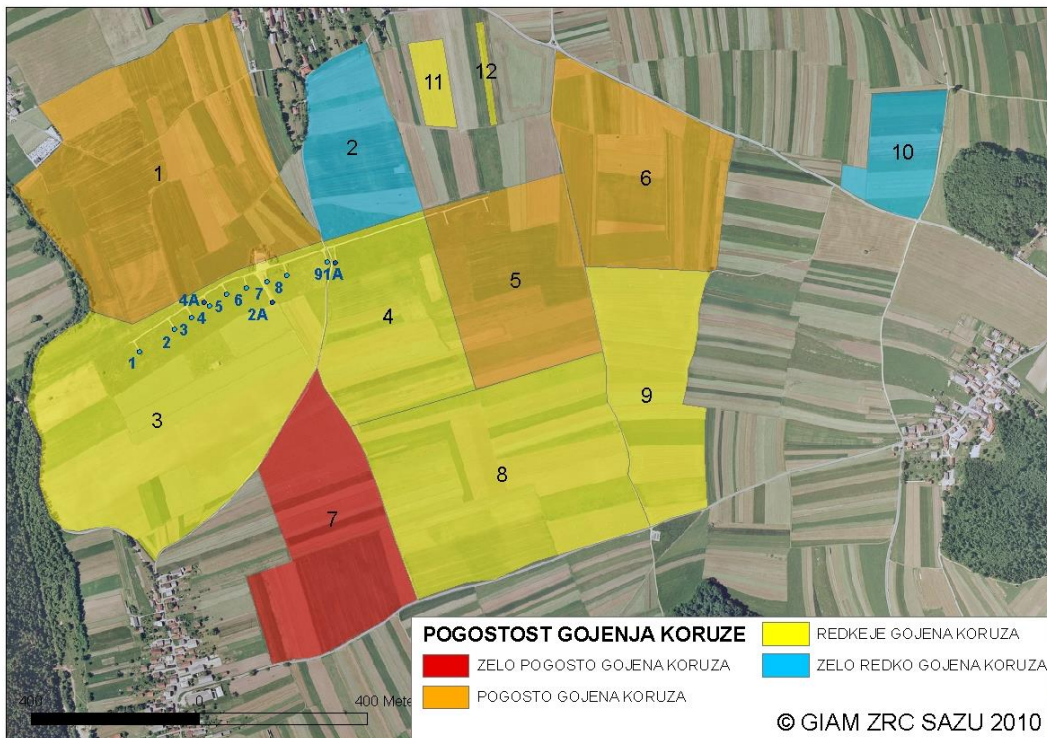
Slika 1: Ljubljansko barje

Figure 1: The Ljubljansko barje area

V letu 2002 so bile v vodnjaku VD Brest 1a ugotovljene koncentracije desetilatrazina (DAT), ki so presegle maksimalno dovoljeno koncentracijo, t.j. 10 $\mu\text{g/l}$ (Pravilnik o pitni vodi, Ur.I.RS št.19/04 35/34, 26/06, 92/06 in 74/15). Ko se je zaznala prekoračena dovoljena koncentracija DAT, se je vodnjak izklopil iz sistema oskrbe s pitno vodo. V neaktivnem vodnjaku VD Brest-1a so koncentracije desetilatrazina v podzemni vodi skokovito naraščale. Sredi leta 2004 je bil zaznan zelo velik skok, koncentracija desetilatrazina se je povečala s 185 $\mu\text{g/l}$ na 543 $\mu\text{g/l}$, ki se je nato do aprila 2006 povečala do 762 $\mu\text{g/l}$ in se nato postopoma zniževala ter znašala pred pričetkom črpalnega poskusa, 5.10.2009, 324 $\mu\text{g/l}$. Gibanje koncentracij DAT na vodnjaku VD Brest 1a v obdobju 2002-2014 prikazuje Grafikon 1.



Grafikon 1: Gibanje koncentracij atrazina (ATR) in desetilatrazina (DAT) v vodnjaku VD Brest 1a
Graph 1: DAT and ATR concentration changes inside the well VD Brest 1a



Slika 2: Območje gojenja koruze

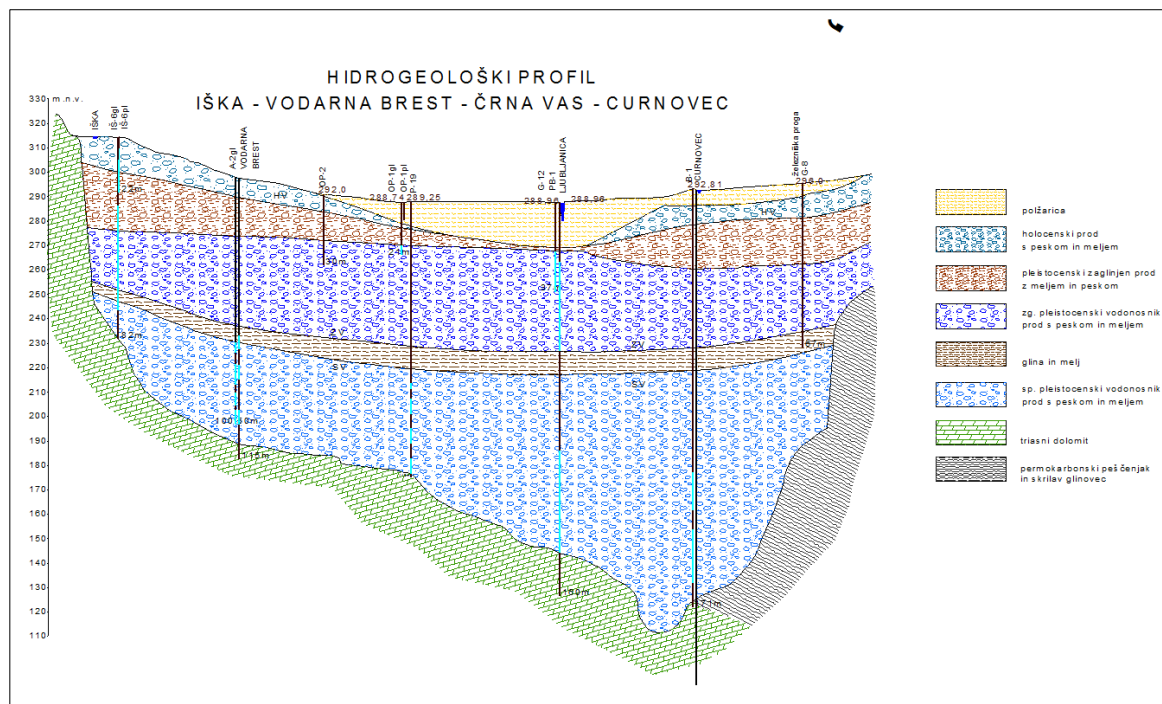
Figure 2: The area of maize cultivation

Zaradi ugodnih pogojev za kmetovanje, prevladuje na območju Iškega vršaja kmetijska raba prostora. V preteklosti so tu prevladovale njive koruze. V sklopu projekta LIFE+INCOME je bila narejena analiza rabe prostora v preteklih desetletjih, kje so bile v preteklosti njive koruze (slika 2).

Na gojenje koruze je vezana uporaba fitofarmaceutskih sredstev, ki vsebujejo aktivno snov atrazin. Atrazin je aktivna snov z različnim deležem v pripravkih z raznimi trgovskimi imeni, ki so bili registrirani v Sloveniji vse do leta 2003. Je selektivni herbicid za zatiranje širokolistnih plevelov in semenskih trav, zato je bila njegova raba širša in ne le na površinah, kjer so gojili koruzo. Atrazin spada med zelo obstojna fitofarmaceutska sredstva, saj je njegova razpolovna doba daljša od 100 dni, hkrati pa je mobilan, kar predstavlja velik potencial za izpiranje skozi tla v podzemno vodo. Na adsorpcijo atrazina v tleh vplivajo organska snov in tip mineralnih glin, pH tal, vsebnost vode, koncentracija ionov v tleh ter temperatura tal. Adsorpcija in razpad atrazina v tleh sta najbolj odvisna od deleža organske snovi v tleh ter prisotnosti mikroorganizmov (Cesar, 2008). Različna vsebnost organske snovi v tleh Ljubljanskega barja vplivata na različne koncentracije atrazina in njegovega razgradnega produkta desetilatrazina.

Po popolni prepovedi rabe atrazinskih herbicidov s 1.1.2003, se je spremenila praksa rabe fitofarmaceutskih sredstev in tako se v novejšem času zaznavajo sledovi terbutilazina in njegovega razgradnega produkta desetilterbutilazina v kombinaciji z metolaklorom in razgradnimi produkti metolaklora. Z atrazinom in njegovim razgradnim produktom, desetilatrazinom, je onesnažena podzemna voda vodonosnikov Ljubljanskega barja. Zaradi geološke zgradbe in hidrogeoloških značilnosti posameznega območja obstajajo razlike v obsegu in trajanju onesnaženja.

Konceptualni model Ljubljanskega barja, ki je bil prevzet vse do črpalnega poskusa na VD Brest 1a, prikazuje slika 3.



Slika 3: Konceptualni model vodonosnikov na Ljubljanskem barju (Kristensen et al., 2000)

Figure 3: The conceptual model of the Ljubljana barje aquifers system (Kristensen et al., 2000)

Leta 2009 je bil koncept geološke zgradbe Ljubljanskega barja in Iškega vršaja sledeči: holocenski in zgornji pleistocenski medzrnski vodonosnik naj bi bila hidravlično ločena od spodnjega pleistocenskega vodonosnika z zelo slabo do neprepustno plastjo rdeče glinovec (Mencej, 1990a).

Glede na ta koncept se postavlja vprašanje, od kod in kako je prišlo onesnaženje v spodnji pleistocenski vodonosnik? So vodonosniki med seboj res ločeni z glinasto plastjo in med njimi ni komunikacije?

Namen naloge je ugotoviti dinamiko podzemne vode v sistemu vodonosnikov na območju Iškega vršaja s podrobno analizo rezultatov črpalnega poskusa v letu 2009 na območju vodarne Brest. Grafično sem obdelala meritve gladine podzemne vode na vodnjakih vodarne Brest in piezometrih, ki se nahajajo na območju Iškega vršaja ter na osnovi pridobljenih podatkov naredila izračuna osnovnih parametrov spodnjega pleistocenskega vodonosnika ter analizirala spremembe koncentracije pesticidov v posameznih vodnjakih v odvisnosti od črpanih količin ter na osnovi analiz in izračunov določila mehanizme, ki povzročajo širjenje onesnaženj v globlje vodonosne plasti. Spremembe koncentracij in izračunani parametri vodonosnika kažejo na hidravlično povezavo med posameznimi vodonosniki.

2 PREGLED GEOLOŠKIH IN HIDROGEOLOŠKIH RAZISKAV NA VPLIVNEM OBMOČJU VODARNE BREST

Ljubljansko barje in območje Iškega vršaja sta bila predmet geoloških in hidrogeoloških raziskav že v petdesetih letih prejšnjega stoletja. L. 1959 so bile izvedene prve raziskave za zajem pitne vode pri Tomišlju (Nosan, 1959). Na osnovi navrtanega materiala iz vrtin V-1 in V-2 je bilo ugotovljeno, da vodonosnik Iškega vršaja gradijo prod in meljne gline kvartarne starosti. Dolomitna podlaga je bila navrtana na globini 15 m. Z raziskavami so bile v temu vodonosniku potrjene precejšnje količine podzemne vode. Kot zanimivost, v poročilu je Iška poimenovana Sušica.

V letih od 1959 do 1962 so bile izvrtane vrtine BV-1 (globina 108,5m), BV-2 (globina 116,8 m) in G-12 (globina 37 m). Izvrtane so bile z namenom ugotoviti globino podlage barjanskih plasti. Pri vrtanju teh vrtin so zaznali pojav arteške vode iz prodnih plasti, ki se nahajajo pod vrhnjimi barjanskimi plastmi.

V okviru raziskav za študije variant izgradnje avtoceste Vrhnika-Ljubljana (Žlebnik, 1969) so bili pridobljeni podatki o pojavu arteške podzemne vode na Barju. To je spodbudilo nadaljnje raziskave vodonosnikov na Barju. Glavna ideja teh raziskav je bila ugotoviti izdatnost vodonosnikov za oskrbo s pitno vodo.

V letu 1974 je bila potreba po pitni vodi in za potrebe industrije v Ljubljani 1380 l/s. Vir je bila podzemna voda, ki je bila črpana na desnem bregu Save. Izdatnost podzemne vode na desnem bregu Save je bila v sušnem obdobju ocenjena na 1400 l/s in ker je potreba po pitni vodi vsako leto naraščala so se iskali novi vodni viri izven območja obstoječih črpališč. V petletnem razvoju Mestnega vodovoda Ljubljana (1976-1980) je bilo predvideno izkoriščanje podzemne vode Iškega vršaja z izgradnjo vodarne Brest. V letih 1974-1975 so bila na temu področju izvršena obsežna raziskovalna dela. (Breznik, 1975).

Kasnejše hidrogeološke raziskave so pokazale, da se pod barjanskimi glinasto meljastimi sedimenti, na južnem in zahodnem delu barja, nahajajo debele plasti proda s podzemno vodo pod pritiskom. Za te prodne vodonosnike je značilno, da so nadaljevanje prodnih vršajev rečic, ki tečejo iz obrobja na barje.

Rezultati raziskovalnih del (1975-1985) so narekovali detajlnejše raziskave prodnega vodonosnika pod barjanskimi sedimenti.

L. 1983 je bila zaključena I.faza raziskav podzemne vode na Ljubljanskem barju. Izdelana je bila hidrogeološka karta s širšim zaledjem. Na karto so bili vneseni vsi pomembnejši izviri, barjanska okna, vrtine, zajetja in črpališča. Na karti je prikazana litološka zgradba obrobja Barja in barjanskih

osamelcev. V tej fazi so bili na novo opremljeni vsi piezometri, kjer je bilo možno opazovanje nihanja gladine podzemne vode.

Pri obratovanju vodarne Brest so se začele pojavljati težave z zmanjšano zmogljivostjo črpališča ob znižanju gladine podzemne vode za 3 do 5 m (Breznik, 1983). Postavljena je bila hipoteza, da je bila s prvo fazo izgradnje vodarne zajeta le ena tretjina zgornjega vodonosnika (PI_{zg}), ter da se ob visokih vodah najverjetneje drenira podzemna voda iz prodnega vodonosnika (H), ki je nad zgornjim vodonosnikom (PI_{zg}).

V I. 1984 je bila izvedena II.faza. Izvrtana je bila vrtina PB-1/84 v Črni vasi do globine 160 m. Vrtina je navrtala na globini od 19,5 do 30,5 m zgornji prodni vodonosnik, ki pripada mlajšemu zasipu Iške (holocen) in od globine 99 do 141 m spodnji vodonosnik, ki pripada nanosu Iške in Gradaščice. Od globine 141 do 160 m je bil navrtan milonitiziran dolomit.

V letu 1985 je bilo izvedeno poskusno črpanje na Ljubljanskem barju v okviru III.faze raziskav. Črpalni poskusi so pokazali dobro prepustne lastnosti globljih vodonosnih plasti. Meritve so pokazale, da je podzemna voda v posameznih plasteh pod različnimi tlaki. Narejen je bil matematični model vodonosnika Ljubljanskega polja (Brilly, 1985).

V III. fazi raziskav je bilo opravljeno geoelektrično sondiranje v profilu Brest-Kozarje (sever-jug) in Črna vas –Vrhnika.

V letu 1986 je bil izdelan globoki vodnjak A-1gl v vodarni Brest (Breznik, 1986).

V okviru raziskav za rezervni vodni vir za Ljubljano so bile v letu 1989 opravljene hidrogeološke raziskave Barja (Mencej, 1989). Izvrtana je bila vrtina T-1/89 v karbonatnem vodonosniku Krimsko-Mokrškega hribovja.

L. 1989 je Geološki zavod Ljubljana opravil raziskave na širšem območju vodarne Brest (Mencej, 1990 b). Namen raziskav je bilo ugotoviti možnosti zajema večjih količin podzemne vode v zgornjem prodnem vodonosniku Iške z že izdelanimi vodnjaki. Raziskave so pokazale, da bi lahko z izdelanimi vodnjaki zajeli v profilu vodarne Brest okrog 450 l/s, ob pogoju, da je konstantno ponikanje reke Iške na odseku med Iško vasjo in Vrbljenami v količini 500 l/s (Mencej, 1991).

V sklopu raziskovalne naloge » Hidrogeološke raziskave pomembnejših vodonosnikov na vodnem območju Ljubljana-Sava ter izdelava predlogov varovanja« je bila izdelana hidrogeološka karta celotnega povodja Iške, Ižice, Želimeljščice in zajetja Virje do obrobja barja v merilu 1:25000 (Rogelj, 1992).

Da bi dobili podatke o izdatnosti globokega vodonosnika (PI_{sp}) na območju vodarne Brest, so l.1993 izvrtali raziskovalno vrtino P-18 in globok vodnjak A-2gl (Mencej, 1993).

Leta 1997 je bil izveden črpalni poskus na globokih vodnjakih vodarne Brest, z namenom ugotoviti možnost črpanja 300 l/s in več iz spodnjega prodnega vodonosnika (PI_{sp}), ugotoviti vire napajanja vodonosnika in povezavo s kraškim vodonosnikom, ki ga drenirajo izviri Ižice na Igu (Mencej, 1998). V okviru naloge so bili podani izračuni hidrogeoloških parametrov vodonosnika (Prestor et al., 1998).

V letih 1998-2000 je potekal projekt » Model upravljanja vodnih virov Ljubljanskega polja in Ljubljanskega barja« (Kristensen e tal., 2000), v katerem so bili zbrani rezultati vseh dotodanjih raziskav. Postavljen je bil konceptualni model (Mencej, 1990 a).

V letu 2000 je bilo izdelano poročilo o vplivih na okolje ob vključitvi globokega vodnjaka A-2gl v vodarni Brest (Čenčur-Curk, 2000). Poročilo opozarja, da obstaja možnost, da v vodnjaku prihaja do mešanja voda iz holocenskega in pleistocenskega vodonosnika, saj je bila ugotovljena obremenjenost vodnjaka z razgradnim produktom DAT (desetilatrazinom). To naj bi bil eden od pokazateljev, da med zgornjim in spodnjim vodonosnikom ni zvezne hidravlične bariere.

L. 2000 so bile izdelane strokovne podlage za varovanje vodnih virov na območju občine Ig. S strokovnimi podlogami se naj bi zavarovala kakovost in količina podzemne vode vodonosnikov na vzhodnem delu Ljubljanskega barja pred posegi, ki bi lahko pomenili onesnaženje ali pa zmanjšanje razpoložljivih količin spodnjega prodnega vodonosnika in kraško razpoklinskega vodonosnika, katerih podzemna voda bi lahko oskrbovala Ljubljano s pomembnimi količinami pitne vode (Mencej, 2000).

V okviru projekta LIFE+ INCOME so bile izvedene raziskave in interpretacije novejših ugotovitev za izboljšanje hidrološkega in geološkega konceptualnega modela Ljubljanskega barja (Janža e tal., 2011). Hidrogeološki konceptualni model na osnovi geološkega modela ni bil izboljššan, zato je bil privzet hidrogeološki model prirejen po Menceju (1990).

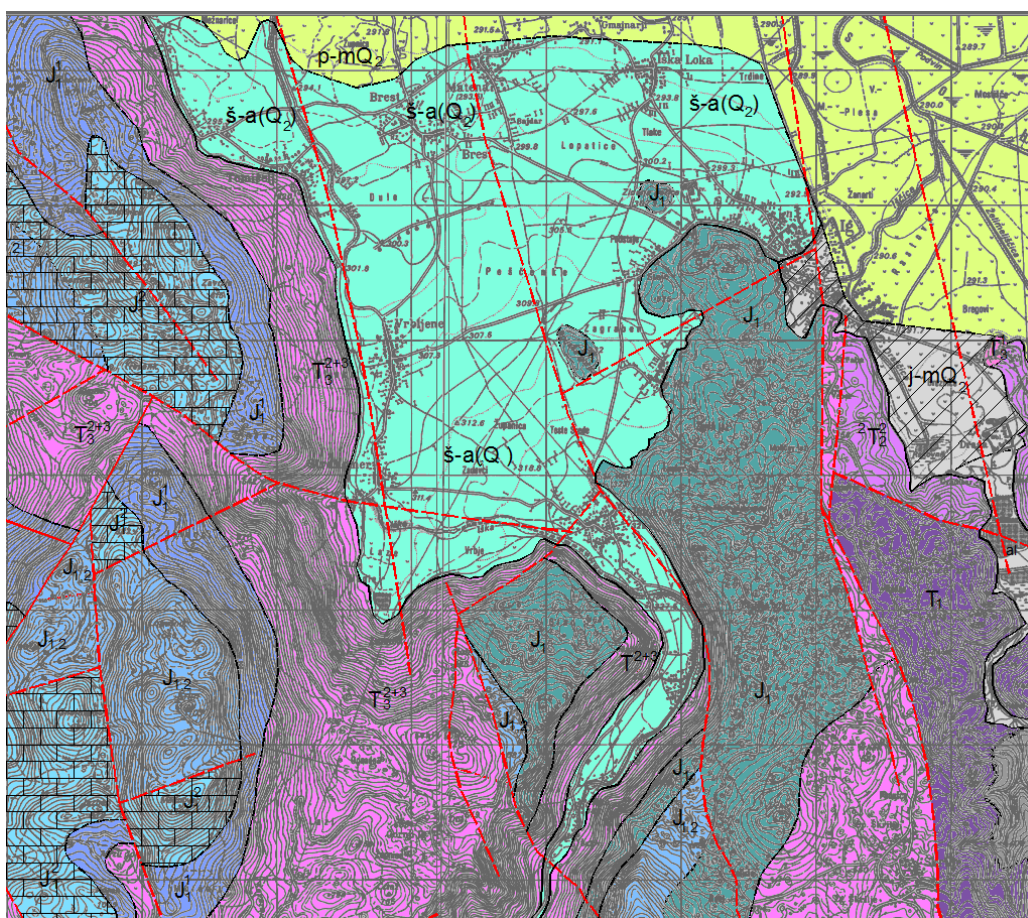
L. 2010 je bila v vodarni Brest izvrtana opazovalna vrtina P-23/10 globine 102,65 m (Petauer&Hiti, 2011a). Vrtina je bila jedrovana po celotni globini. Na vzorcih sedimentov jeder so bile izvedene geokronološke analize (Horvat e tal., 2013).

V letu 2015 sta bili v sklopu projekta »Nadgradnja sistema za spremljanje in analiziranje stanja vodnega okolja v Sloveniji« (BOBER) izvrtani strukturni vrtini v Iški Loki (ILok-1/15s) in na Rakovi Jelši (RJel-1/15s).

3 GEOLOGIJA IN HIDROGEOLOGIJA IŠKEGA VRŠAJA IN JUŽNEGA DELA LJUBLJANSKEGA BARJA

3.1 Geološka zgradba

V pleistocenu in holocenu so udorino Ljubljanskega barja, pogreznjeno ob številnih prelomih, zapolnili rečni in jezerski sedimenti: peščeno prodnati, zaglinjeni peščeno prodnati, glinasto peščeni in meljasto glinasti nanosi. V osrednjem, južnem in zahodnem delu Barja so sedimenti odloženi na zgornjetriasni dolomit (T_3^{2+3}) in spodnje jurski apnenec, apnenec z vložki dolomita in oolitnega apnenca (J_1), v severnem in vzhodnem delu pa so sedimenti odloženi na permokarbonski skrilav glinovec in peščenjak (P, C) (Slika 4).



Slika 4: Geološka zgradba Iškega vršaja (po osnovni geološki karti 1:100000, list Ribnica in list Postojna)

Figure 4: The geological map of the Iška fan (basic geological map 1:100 000, sheet Ribnica and sheet Postojna)

p-m Q_2 = kvartar (prod prekrit z barjanskimi sedimenti); j-m Q_2 = kvartar (jezersko barjanska sekvenca); š-a(Q_2)=kvartar (prod); J_1^2 = srednja jura (ooliten in temno siv apnenec); $J_{1,2}$ = spodnja in srednja jura (temno siv in ooliten apnenec); J_1^1 = spodnja jura (zrnat dolomit z vložki); T_3^{2+3} = zgornji trias (glavni dolomit); ${}_2T_2^2$ = srednji trias (bel zrnat masiven dolomit); T_1 = spodnji trias (skladovit rjavo siv do bel dolomit z vmesnimi plastmi sljudnatega peščenega skrilavca)

V ozkem, tektonsko omejenem pasu južno od Iga se pojavljajo karbonati zgornje triasne starosti. Tvorijo jih masivni sparitni dolomiti in dolomitne breče, ki se pojavljajo južno od Iga (Kremenica), proti Borovnici pa prevladuje masivni svetlosivi do beli mikritni apnenec. Apnenec je močno zakrasel. V spodnjih delih vzhodnih pobočij masiva Krma, v okolici Gornjega Iga, v spodnjih delih levih in desnih pobočij nad Iško in severozahodno od Škrilja izdanja formacija glavnega dolomita zgornje triasne starosti. Tvori jo plastnati do debelo plastnati svetlosivi, mestoma stromatolitni dolomit. Pojavlja se zahodno od Vrbljen in Strahomera, v Iškem vintgarju, na območju Škrilja ter med Vinom in Ljubljanskim barjem. Glavni dolomit navzgor postopno prehaja v spodnje jurski dolomit in temnosivi mikritni apnenec. Meja med zgornje triasnim in jurskim dolomitom je postavljena tam, kjer postane dolomit bolj zrnat ter ni več stromatoliten. Na prehodu triasnega v jurski dolomit se pogosto pojavlja tudi dolomitna breča (Lapajne A. et al., 2016) (slika).

Menjavanje proda in drobnozrnatih sedimentov (peska, melja in gline) mlajše pleistocenske starosti je značilno za skrajni severozahodni del aluvialnega vršaja Iške. Pod preperino, debelo do 40 cm, se pojavljajo te plasti v zahodnem delu vodarne Brest ter vzhodno od vasi Tomišelj in Podkraj. V smeri proti severu se sedimenti v globini vse pogosteje izmenjujejo z barjanskimi sedimenti, predvsem meljno glino in šoto. Pretežno prod, mestoma meljasto-peščeni prod mlajše pleistocenske starosti se na površini pojavlja v celotnem južnem ter v severovzhodnem delu Iškega vršaja: Najbolj severno ga je pod preperino mogoče najti pri vaseh Iška Loka, Matena in Brest. Prod sestavljajo večinoma dobro zaobljeni prodniki v veliki večini karbonatnih kamnin (Lapajne A. et al., 2016).

Najpomembnejši strukturi element na območju Iškega vršaja je Mišjedolski prelom in je najzahodnejši v sistemu dinarskih desnozmičnih prelomov na JV delu Ljubljanskega barja. V zadnjih nekaj kilometrih trase južno od roba Ljubljanskega barja se Mišjedolski prelom razcepi v vsaj dve glavni veji (zahodna in vzhodna), ki sta dokazani z geološkim kartiranjem, geofizikalnimi in geomorfološkimi analizami. Zahodna veja Mišjedolskega preloma prečka južni del vršaja Iške na območju Iške vasi in zahodno od nje. Tam se razcepi v tri prelomne veje. Glavna veja se pod kvartarnimi sedimenti nadaljuje med vasjo Vrbljene in osamelcem Poljska gorica v smeri vasi Brest. Vzhodna veja Mišjedolskega preloma pa na območje Barja pride v vzhodnem delu Iga. Od tu dalje prelom poteka pod kvartarnimi sedimenti v smeri severa, približno 1 km vzhodno od Iške loke (Lapajne A. et al., 2016).

Na južnem robu Barja se podlaga od nekaj 10 m strmo spusti na globino 100 m. V severnem delu je podlaga na globini več kot 150 m.

3.2 Hidrogeologija iškega vršaja

Vodno telo Ljubljanskega barja je kompleksen vodonosni sistem z več vodonosnimi horizonti – vodonosniki.

Na osnovi meritev gladin podzemne vode ločimo na Ljubljanskem barju štiri med seboj bolj ali manj ločene vodonosnike:

- Holocenski prodni vodonosnik s prosto gladino podzemne vode
- Zgornji pleistocenski vodonosnik, ki ima v osrednjem delu barja arteški nivo podzemne vode
- Spodnji pleistocenski vodonosnik s subarteškim nivojem podzemne vode
- Kraško-razpoklinski karbonatni vodonosnik

Gladino podzemne vode na območju Iškega vršaja in širšega vplivnega območja vodarne Brest smo od leta 1984 do 2015 merili na 28 piezometrih in vodnjakih (Priloga 1). Od leta 2014 se izvajajo zvezne meritve gladine podzemne vode na vseh aktivnih vodnjakih vodarne Brest, razen na VD Brest 4a (Iš-4gl).

Piezometri, ki so vključeni v merilno mrežo, so bili izdelani v različnih raziskavah, zato imamo tudi različno dolge časovne nize gibanja gladine podzemne vode.

Najdaljši nizi sistematičnih meritev so od leta 1984. V Prilogi 1 so zbrani nizi meritev gladine podzemne vode in predstavljeni v grafikonih.

3.2.1 Holocenski vodonosnik (H)

Holocenski prodni vodonosnik Iške zapolnjuje ravnico med vzhodnimi pobočji Krima ter zahodnimi zakraselimi pobočji Mokrškega pogorja, ki se končuje nad Igom. Debelina holocenskih nanosov je med 25 in 30 m. Proti severu holocenski nanosi tonejo pod jezerskimi sedimenti in se izklinjajo.

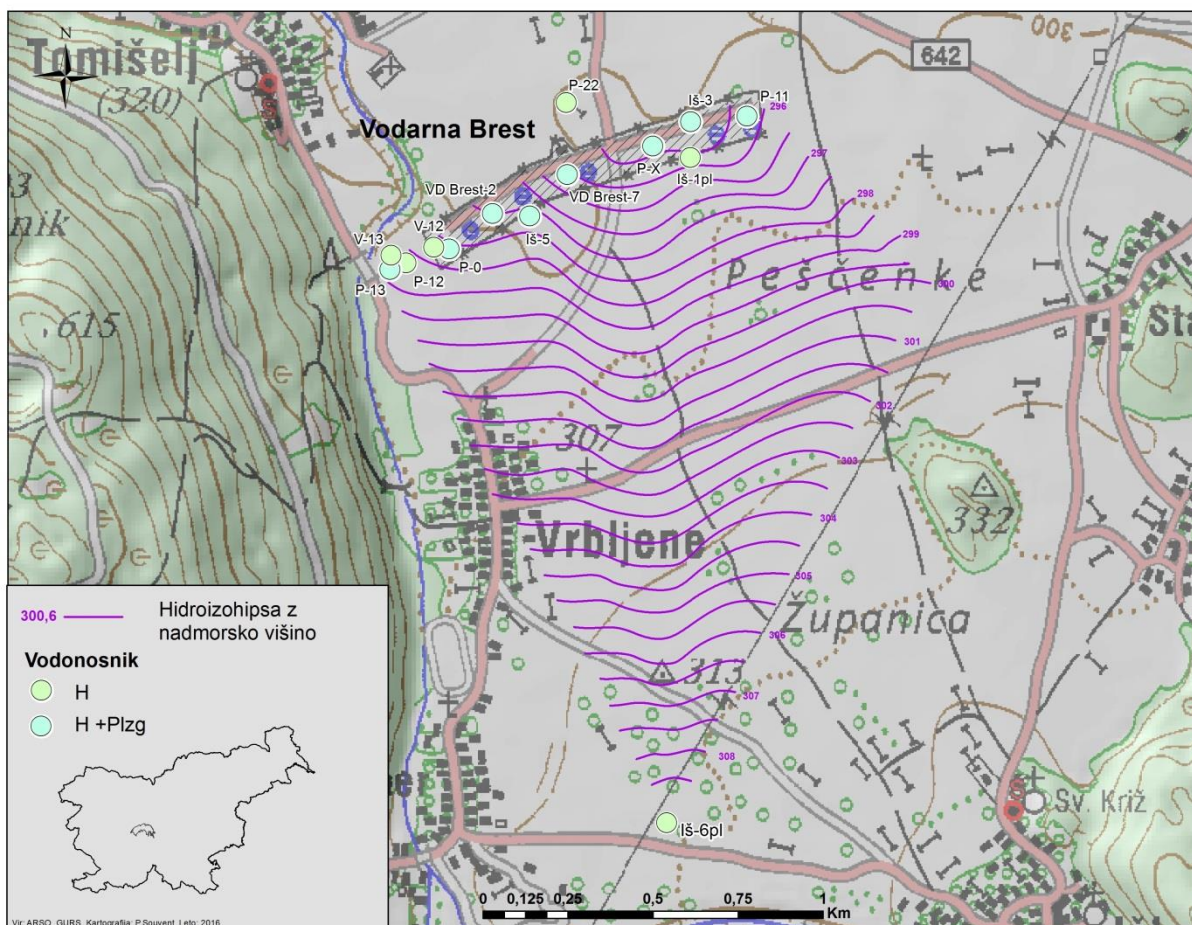
Zgornjih 10 m prodnega zasipa ima dobro hidravlično prevodnost, ki znaša od $1,69 \cdot 10^{-2}$ do $2 \cdot 10^{-3}$ m/s. V spodnjem delu vodonosnika je prod precej zaglinjen, kar vpliva na manjšo hidravlično prevodnost. Podzemna voda holocenskega vodonosnika se obnavlja s poniklo vodo reke Iške in s padavinami, ki padejo na območje prodnega vršaja.

Gladina podzemne vode v piezometrih, kjer so filtrske cevi v holocenskem vodonosniku (Iš-1pl, Iš-6pl, niha od 288,0 (min za obdobje 1984-2015 na Iš-1pl) do 310,34 m n.m (max za obdobje 1984-2015 na Iš-6pl).

Analiza meritev kaže, da so se nihanja gladine podzemne vode povečala po dogodkih v septembru 2010 (poplavljanje reke Iška, izginotje reke Iške v zgornjem toku in potres). Minimumi, ki jih je

dosegla podzemna voda, so na vseh objektih bistveno nižji v obdobju 2010-2015, kakor v predhodnem obdobju do leta 2010.

Vsi nizi meritev gladine podzemne vode na piezometrih v prispevnem območju ali v vodarni Brest, kažejo padajoč trend gladine podzemne vode. Odstopa pozitivni trend gibanja gladine podzemne vode na piezometru P- 22, ki se nahaja dolvodno od vodarne Brest.



Slika 5: Tok podzemne vode v holocenskem vodonosniku

Figure 5: The groundwater flow lines in the Holocene aquifer

Na Sliki 5 je prikazana karta hidroizohips le za holocenski vodonosnik, saj za globlje vodonosnike merilna mreža ni reprezentativna za prostorski prikaz. Lega hidroizohips kaže, da je glavno napajanje holocenskega vodonosnika Iškega vršaja iz smeri reke Iške na odseku med Iško vasjo in Strahomerom. Ta smer napajanja sledi geomorfologiji Iškega vršaja in stari strugi reke Iške (Geološki zavod Slovenije, 2014). Veliko manj, kakor bi pričakovali, prispeva k napajanju podzemne vode reka Iška na odseku od Strahomera do Tomišlja. Na temu odseku je v sušnih obdobjih struga suha.

3.2.2 Zgornji pleistocenski vodonosnik (PI_{zg})

Na območju vodarne Brest se začneja zgornji pleistocenski vodonosnik na globini med 25 in 30 m. Proti severu se zgornja meja vodonosnika spušča. Povprečna globina zgornjega pleistocenskega vodonosnika je okoli 30 m.

Zgornji pleistocenski vodonosnik je zelo neenoten, v južnem in osrednjem delu nastopajo glinasto-meljne plasti. Hidravlična prevodnost vodonosnika se giblje od $1 \cdot 10^{-2}$ m/s do $5 \cdot 10^{-6}$ m/s, odvisno od deleža glinenih in meljastih primesi.

Šest piezometrov (Iš-3, Iš-5, P-13, P-0, P-11 in P-X) ter dva plitva vodnjaka (VD Brest-2 in VD Brest-7) zajemajo s filtrskim odsekom ne le vodo zgornjega pleistocenskega vodonosnika, temveč delno tudi vodo holocenskega vodonosnika. V teh piezometrih niha gladina podzemne vode od 299,41 (max za obdobje 1990-2015 na piezometru P-13) do 286,84 m n.m. (min za obdobje 1984-2015 na piezometru Iš-5).

Podzemno vodo zgornjega pleistocenskega vodonosnika zajemajo piezometri OP-1, G-12 in PB-2 gl. Trend gibanja gladine podzemne vode je na piezometru OP-1 (obdobje 2000-2015) pozitiven, na piezometru G-12 (obdobje 1984-2015) rahlo negativen in na piezometru PB-2gl (obdobje 1987-2015) pozitiven. Gladina podzemne vode v piezometrih, kje so filtrske cevi v zgornjem pleistocenskem vodonosniku niha od 288,2 m n.m. do 290,76 m n.m.

Piezometri Iš-8, Iš-1gl in Pb-1gl imajo filtrske odseke tako v zgornjem, kakor v spodnjem pleistocenskem vodonosniku. Gladina podzemne vode v teh piezometrih niha od 286,45 m n.m. do 300,25 m n.m. v obdobju 1984 – 2015. Trend gibanja gladine podzemne vode je na vseh treh piezometrih pozitiven.

Vpliv močnih padavin in poplav v septembru 2010, ko je od 17.9 do 19.9.2010 padlo 245,8 mm dežja, se pozna le na piezometru PB-1gl, kjer je po padavinah gladina podzemne vode narasla za 7 m.

3.2.3 Spodnji pleistocenski vodonosnik (PI_{sp})

Razprostranjenost in debelina spodnjega prodnega vodonosnika je močno odvisna od morfologije predkvartarne podlage.

Na območju vodarne Brest se prične spodnji pleistocenski vodonosnik na globini med 60 in 65 m in sega do kamninske podlage, ki je globini ~ 108 m. V osrednjem delu Barja je največja ugotovljena globina do kamninske podlage v vrtini RJel-1/15s (Pregl, 2015) južno od Regijskega centra za ravnanje z odpadki Ljubljana, kjer je bil triasni dolomit navrtan na globini 169 m.

Hidravlična prevodnost spodnjega pleistocenskega vodonosnika izračunana na osnovi črpalnega poskusa na piezometru P-23/10 (Petauer, 2011) je od $1,2 \cdot 10^{-4}$ do $1,4 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Piezometri, kjer merimo gladino podzemne vode samo v spodnjem pleistocenskem vodonosniku so Iš-6gl, P-18 in P-19 ter vodnjak VD Brest 1a.

Piezometer Iš-6gl se nahaja v bližini reke Iške. Trend gibanja gladine podzemne vode je pozitiven, se je pa od septembra 2010 povečala amplituda nihanja gladine podzemne vode, predvsem v smeri minimalnih gladin. Gladina podzemne vode na temu piezometru niha od 297,99 m n.m. do 303,33 m n.m.

Tudi na piezometru P-18 je trend gibanja gladine podzemne vode pozitiven, gladina pa niha od 286,94 m n.m. do 291,25. Na grafikonu je viden vpliv ekstremnega dogodka v septembru 2010 in sicer kot skok v povišanju gladine.

Na grafikonu gibanj gladin podzemne vode na vodnjaku VD Brest 1a se lepo ločita obdobji, ki je bil vodnjak aktiven in je bil vključen v sistem oskrbe s pitno vodo in obdobje, ko je zaradi prekoračenih koncentracij DAT, izključen iz sistema (v obdobju 2005 – 2015). Trend gibanja gladine podzemne vode je pozitiven. Na grafikonu lahko opazimo skok gladine podzemne vode, kot odziv na ekstremne padavinske dogodke in poplave. Gladina podzemne vode na neaktivnem vodnjaku VD Brest 1a niha od 285,14 m n.m. do 292,02 m n.m. V obdobju 1987 -2004, ko je vodnjak bil aktiven, je bila gladina podzemne vode v povprečju 3 m nižji.

V pleistocenskem vodonosniku ni opaziti povečane amplitude v nihanju gladine podzemne vode po poplavih v letu 2010, kar lahko opazimo v holocenskem vodonosniku. Je pa tudi ta vodonosnik odreagiriral, z zamikom, na ekstremne dogodke in poplave z skokom gladine.

3.2.4 Karbonatni vodonosnik

Karbonatni kraško-rzopklinski vodonosnik nastopa v zakraselem apnencu in rzopkanem dolomitu, ki se nahajata v predkvartarni podlagi. Vodonosnik se napaja iz obširnega , večinoma kraškega hribovitega zaledja na južnem robu Barja.

Koeficient hidravlične prevodnosti je v karbonatnem kraško-rzopklinskem vodonosniku od $1 \cdot 10^{-6}$ m/s do $1 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Gibanje gladine podzemne vode v karbonatnem vodonosniku merimo na piezometrih Iš-7, P-20 in P-22.

Piezometer P-21 je izvrtan v karbonate. Minimalna gladina nikoli ne pada pod koto 294 m n.m. Podoben grafikon, ki prokazuje gibanje gladine podzemne vode dobimo tudi za piezometra Iš-7 in P-20, ki imata filtrske cevi delno vgrajene tudi v prodni vodonosnik, vendar prevladuje dotok iz karbonatnega vodonosnika.

3.2.5 Severno obrobje barja

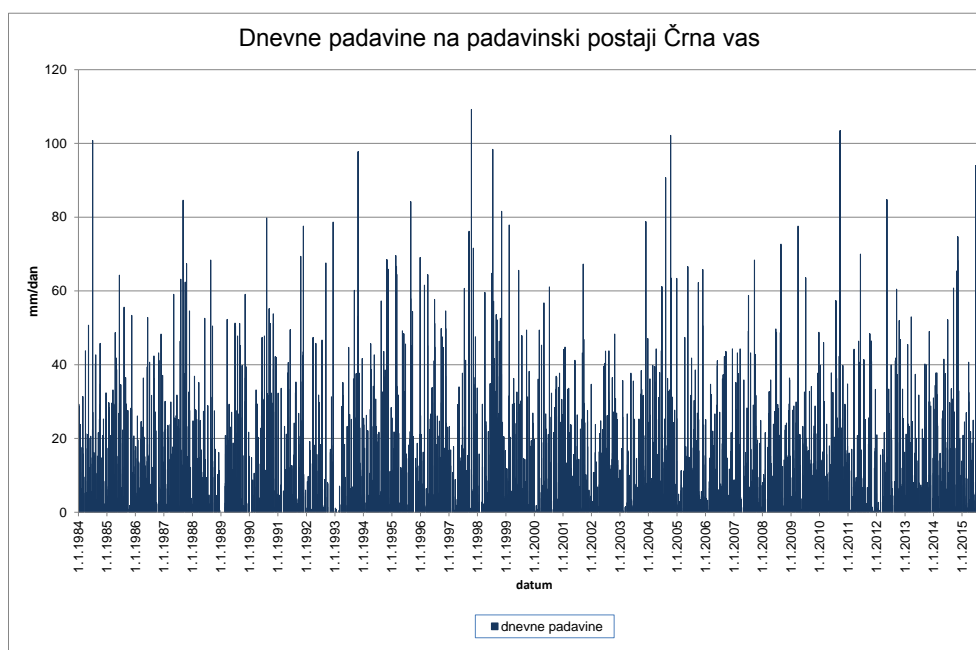
Pridobljeni in obdelani so podatki za piezometer H1 (Pb-4/89), ki se nahaja na prehodu Ljubljanskega barja, preko Ljubljanskih vrat, v smeri Ljubljanskega polja. Vrtina je bila izvrtana do globine 92 m. Litološki popis vrtine je sledeč: od 0-2 m je nasip, do 5,5 m sledi prod z rjavim meljem, od globine 5,5 do 8 m je siva mastna glina, nato sledi do globine 55 m prod z rjavim peskom in meljem. Od globine 55 do 60 m je bil navrtan grušč, prod in melj, od 60 do 62 m sledi konglomerat s prodom ter temu do globine 83 m prod z rjavim peskom in meljem. Na globini 83 m se nahaja sivo zelen peščenjak s kremenovimi žilicami.

Danes je vrtina prehodna le do globine 29,7 m. Ker ni poznan tehnični profil vrtine, ne vemo ali so vgrajene cevi le do te globine ali je vrtina zacevljena po celi globini, a je od globine 29,7 m naprej zasuta.

Grafikon meritev gladine podzemne vode na tej lokaciji je podan v prilogi 1. Tudi na tej lokaciji je opazen izrazit dvig gladine ob močnih padavinah in poplavih v septembru 2010, ter največji minimum v obdobju 2005-2015 v sušni pomladi 2011.

3.2.6 Hidrološke in hidrometeorološke razmere na območju Iškega vršaja in v osrednjem delu Ljubljanskega barja

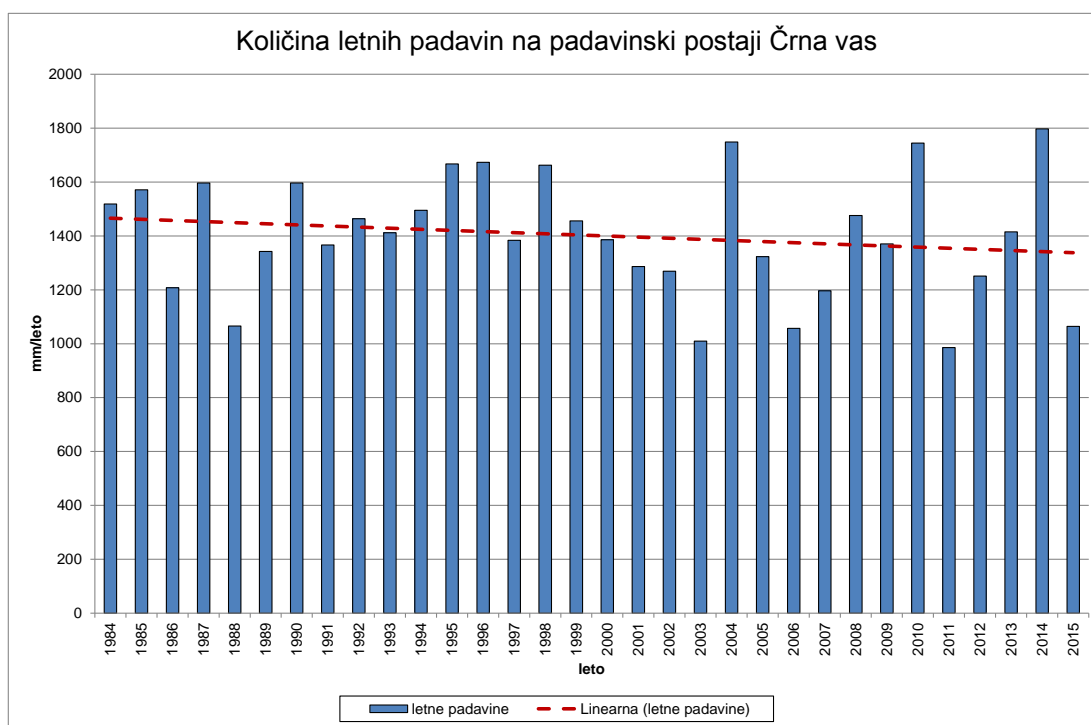
Holocenski vodonosnik se napaja iz padavin in iz reke Iške. Zato sem analizirala podatke o padavinah in sicer na najbližji padavinski postaji v Črni vasi in pretoke reke Iške za obdobje 1984-2015.



Grafikon 2: Dnevne padavine na padavinski postaji Črna vas v obdobju 1984 - 2015
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/>)

Graph 2: The daily precipitation at the rain gauge Črna vas between 1984-2015

Razpon v količini dnevnih padavin je zelo velik. Iz grafikona 2 je razvidno, da se vsakih nekaj let pojavijo ekstremne padavine, ki presegajo 100 mm/dan.



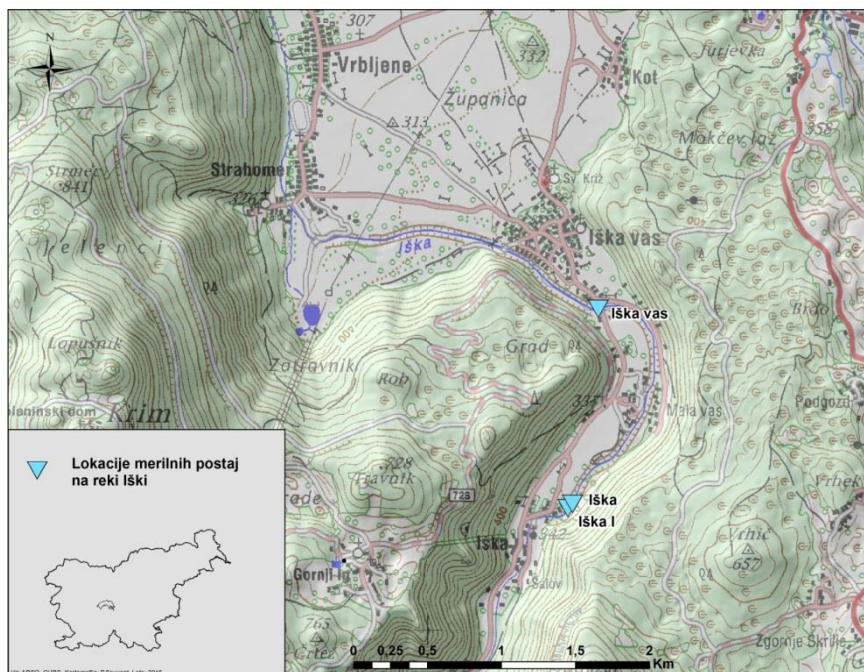
Grafikon 3: Letne padavine na padavinski postaji Črna vas
(vir: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/>)

Graph 3: The rain gauge Črna vas - yearly precipitation

V obdobju 2004 – 2015 se pojavijo zelo velika nihanja v letni količini padavin (grafikon 3), trend količine letnih padavin pa je padajoč.

Reka Iška je pomemben hidrodinamični element Iškega vršaja. Količinsko stanje in gladina podzemne vode holocenskega in zgornjega pleistocenskega vodonosnika zelo hitro odreagirata na hidrološko stanje reke.

Današnja struga reke Iške, je na odseku od Iške vasi pa vse do izliva v Ljubljano preoblikovana. (Melik, 1963). Regulacije struge, ki so se izvajale v zadnjih dvesto letih, nedvomno vplivajo na količine vode, ki se drenira iz reke Iške v podzemno vodo Iškega vršaja. V sušnih obdobjih je regulirana struga na odseku od Strahomera do Tomišlja suha.



Slika 6: Lokacije vodomernih postaj na reki Iški

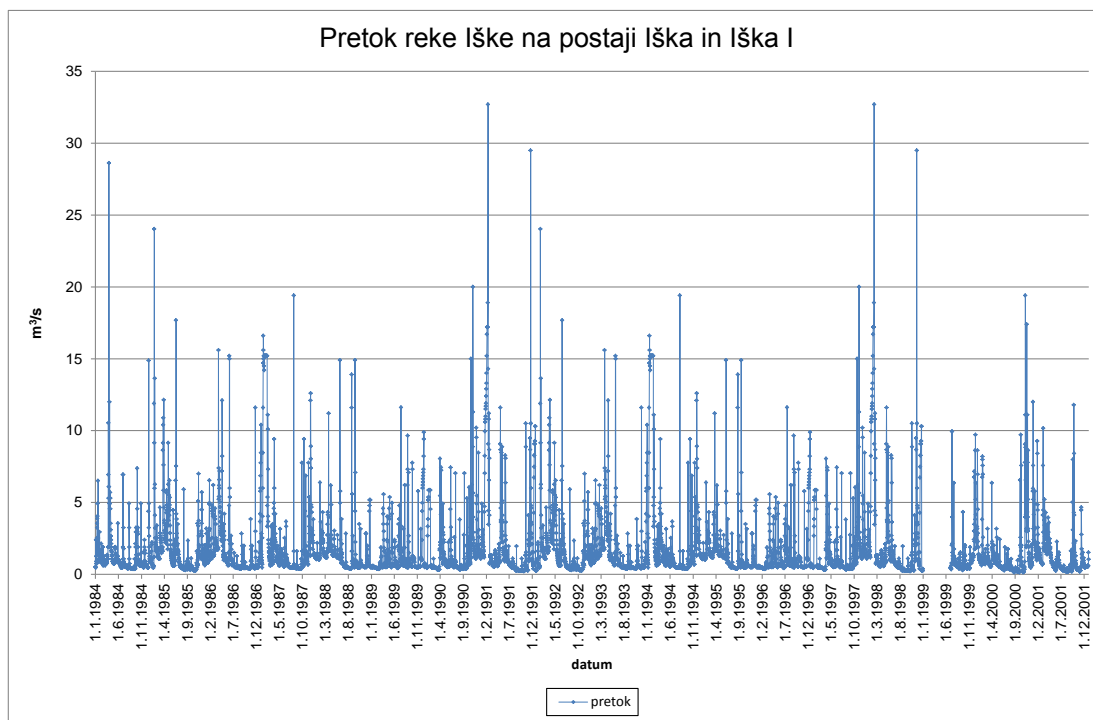
Figure 6: The gauging stations on the Iška river

Pretoki reke Iške se merijo na vodomerna postaja, ki je bila v obdobju od 1984 – 2015 na treh različnih lokacijah (Slika 3).

Na vodomerni postaji Iška in Iška I so se izvajale meritve pretokov reke Iške v obdobju 1984-2001, nato so se meritve začele izvajati na vodomerni postaji Iška vas.

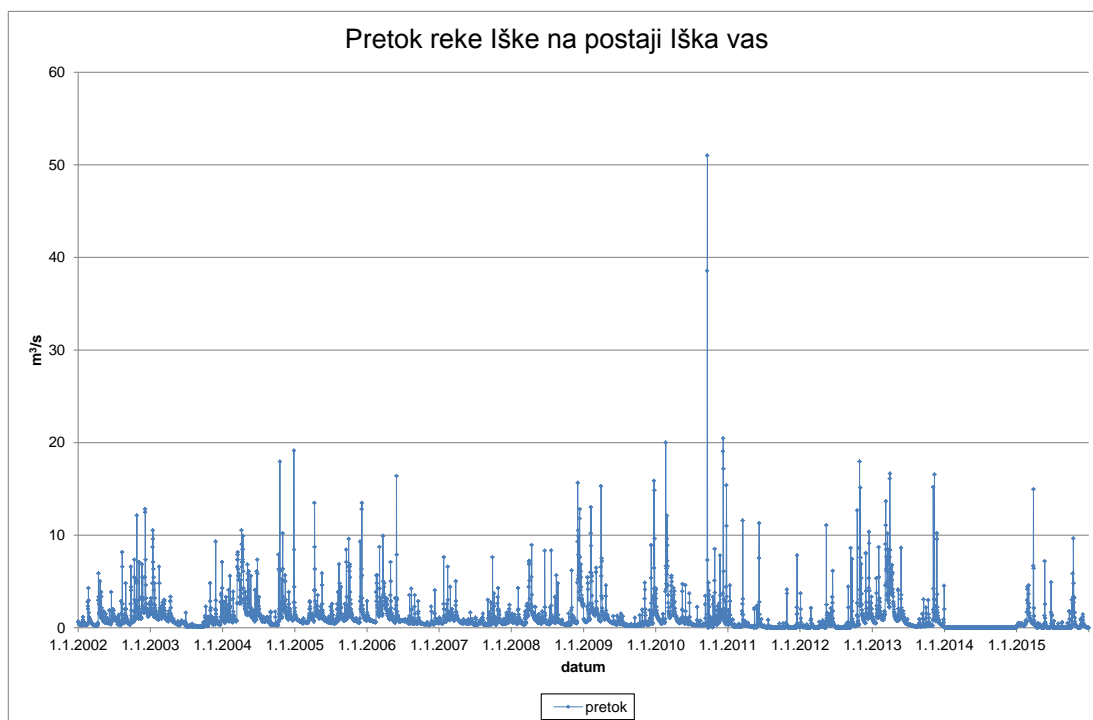
V noči z 17. na 18. september 2010 so bile v osrednjem delu Slovenije intenzivne padavine. Zaradi teh padavin je močno narasel pretok reke Iške, ki je v osrednjem in spodnjem delu svojega toka prestopila bregove in zalilo je velik del območja v okolici vasi Tomišelj in Brest, poplavljeni je bilo tudi območje vodarne Brest. Maksimalen pretok reke Iške $59,3 \text{ m}^3/\text{s}$ je bil zabeležen v noči z dne 19.9.2010 na 20.9.2010. Tem maksimalnim pretokom je sledilo upadanje, vse do 23.9.2010, ko je bila ob 16:30 zabeležena zadnja meritev $0,093 \text{ m}^3/\text{s}$, nato pa se je merski profil posušil. Naslednja meritev je bila zabeležena 25.9.2010 ob 10:00, ko se je Iška ponovno pojavila (Brenčič, 2011).

V obdobju izginjanja pretoka in ponovnega pojavljanja pretoka reke Iške sta bila zgodaj zjutraj 21.9.2010 zabeležena potresa z magnitudo 0,8 in 0,2. Žarišče potresa med Iško vasjo in zaselkom Iška v območju Mišjedolskega preloma je bilo zelo plitvo (Brenčič, 2011)



Grafikon 4: Pretoki reke Iške v obdobju 1984 – 2001

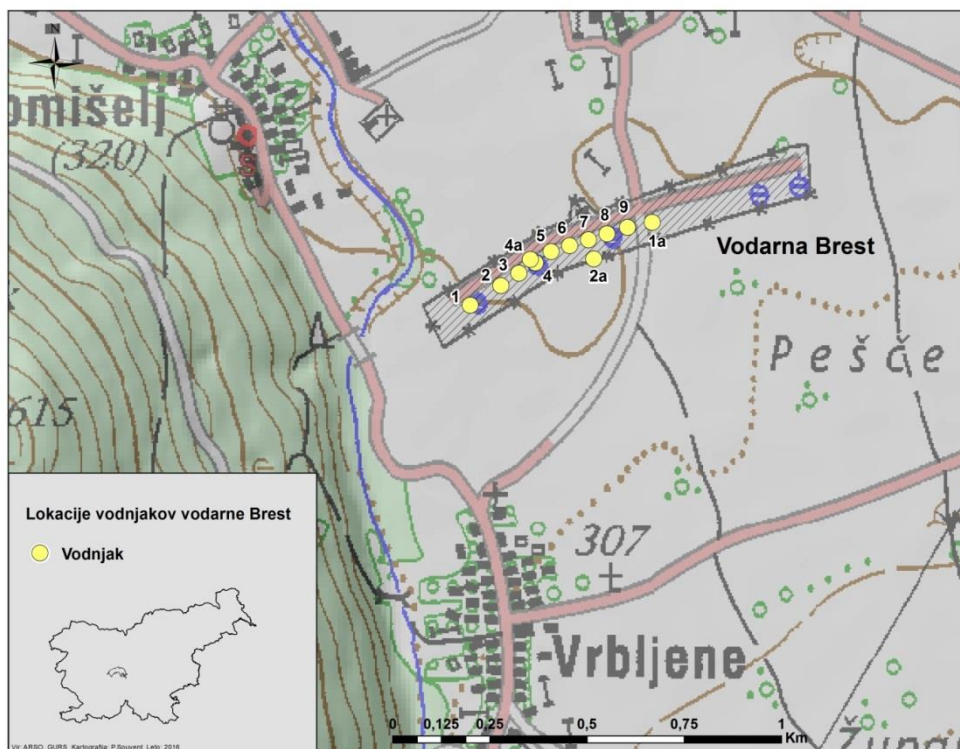
Graph 4: The Iška River discharge between 1984-2001



Grafikon 5: Pretoki reke Iške v obdobju 2002 – 2015

Graph 5: The Iška River discharge between 2002-2015

4 VODARNA BREST



Slika 7: Lokacije vodnjakov vodarne Brest

Figure 7. The locations of the water field Brest wells

Vodarna Brest je bila zasnovana leta 1975, vrtanje vodnjakov in gradnja vodarne pa se je izvajalo v letih 1979 in 1980 (Geološki zavod Ljubljana, 1981). V prvi fazi izvedbe vodarne je bila izdelana serija plitvih vodnjakov. Izdelanih je bilo 11 vodnjakov globine od 26 do 28 m, skupne izdatnosti 150 l/s. Vodnjaki zajemajo vodo holocenskega vodonosnika, ponekod pa zadnji metri filtrskih cevi segajo tudi v zgornji pleistocenski vodonosnik. Načrtovano je bilo, da se bo iz vodarne črpalo 15.000 m³/dan, vendar je v sušnih obdobjih padla izdatnost vodarne na vsega 40 l/s.

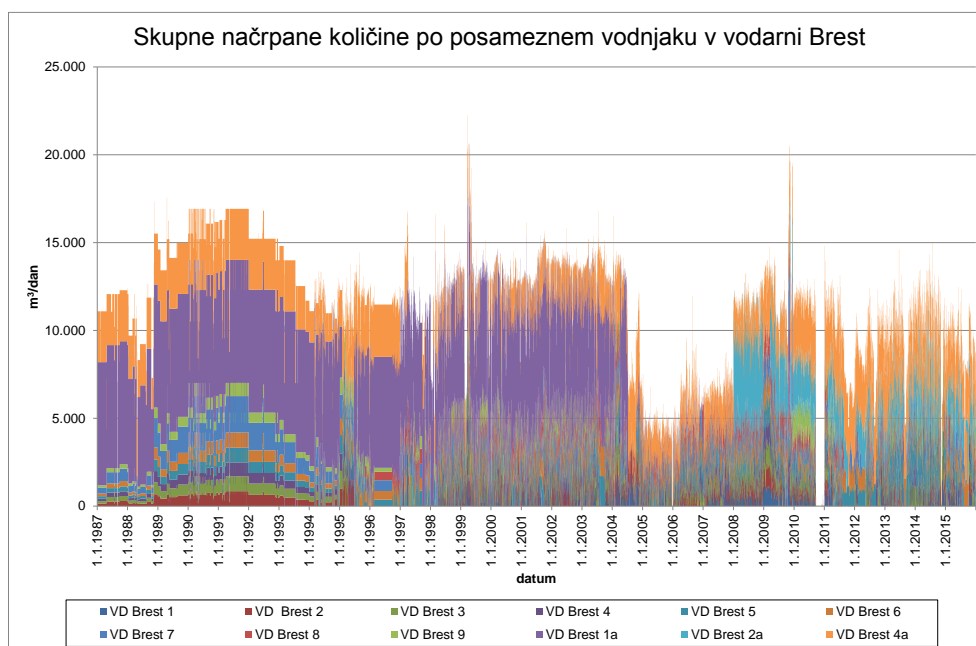
Druga faza izgradnje vodarne je vključevala zajem podzemne vode v pleistocenskem vodonosniku v skupnih količinah 80 l/s. V sistem oskrbe s pitno vodo se naj bi vključila že izdelana globoka vrtina IŠ-4gl (VD Brest 4a) in načrtovan novi globoki vodnjak A-1gl (VD Brest 1a) (Breznik, 1975). Vodnjaka sta globoka 106 m (VD Brest 4a) in 101m (VD Brest 1a).

Tretjo fazo izgradnje vodarne Brest pa predstavlja izdelava globokega vodnjaka A-2gl (VD Brest 2a) globine 101 m, ki je bil izvrtan leta 1993. Načrtovana izdatnost vodnjaka je bila 150 l/s, vendar je izveden črpalni poskus na globokih vodnjakih A-1gl (VD Brest 1a), A-2gl (VD Brest 2a) in IŠ-4gl (VD Brest 4a) pokazal, da je optimalna količina, ki se naj črpa iz vodnjaka A-2gl med 80 in 100 l/s (Prestor, 1998).

Obratovanje vodarne Brest je pogojeno z izhodnim tlakom. Do leta 2004 se je neprekinjeno črpalo iz vodnjaka VD Brest 1a in hkrati še iz treh plitvih vodnjakov. Izbira delujočih črpalk v plitvih vodnjakih je bila glede na mesečno število opravljenih delovnih ur vsake črpalke avtomatska (Adamič, 2004). Po potrebi se je vključeval tudi vodnjak VD Brest 4a.

4.1 Črpane količine

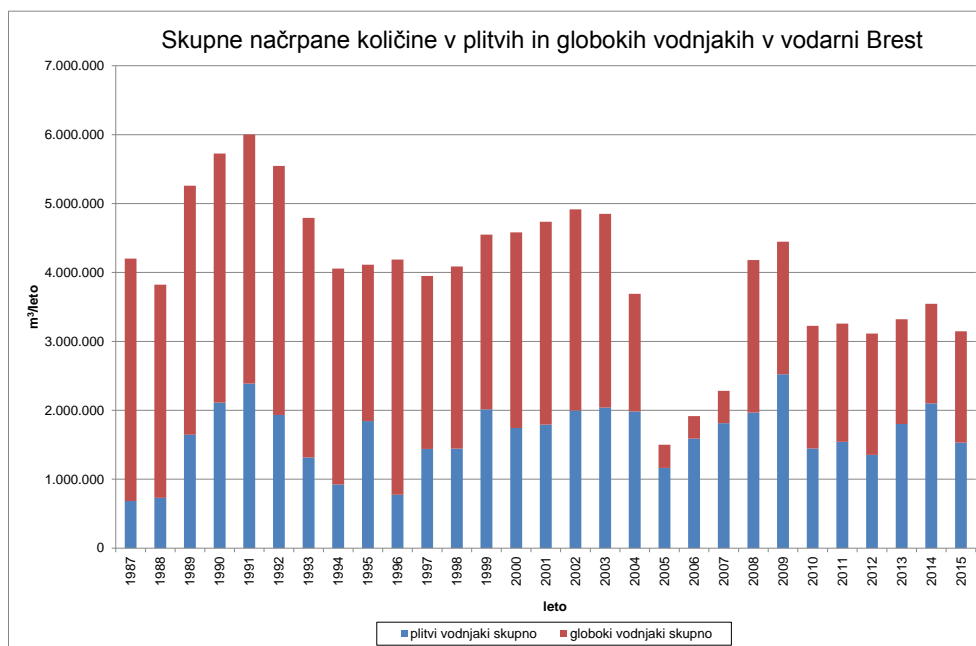
V Prilogi 2 so podane načrpane količine po posameznem vodnjaku.



Grafikon 6: Dnevne načrpane količine podzemne vode po posameznem vodnjaku (1987 – 2015)

Graph 6. The daily groundwater abstractions per well between 1987-2015

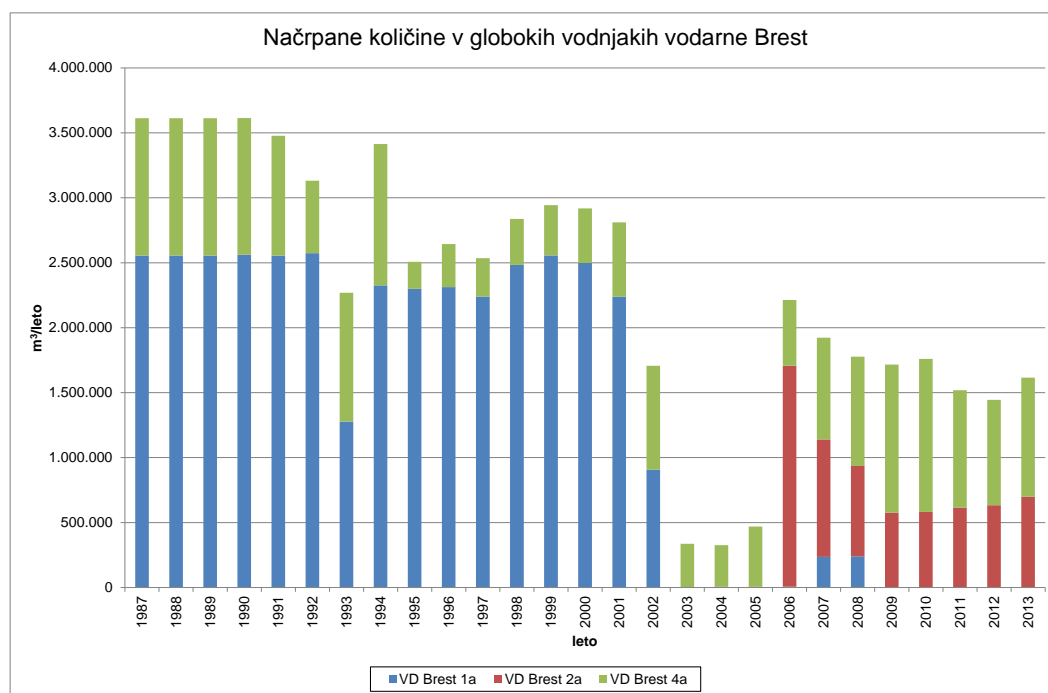
Iz grafikona 6 je razvidno, da je črpanje v obdobju 1987 – 1995 potekalo po nekem sistemu, ki po letu 1995 ni deloval več. L.1991 so bile v vodarni načrpane maksimalne količine, ki so sedaj v padanju. V letu 2015 se je načrpalo ~ 50% količin iz leta 1991.



Grafikon 7: Načrpane letne količine podzemne vode glede na globine vodnjakov

Graph 7. The yearly groundwater abstractions according to the depth of the wells

Iz grafikona 7 je razvidno, da je v obdobju 1987 – 2004 prevladovalo črpanje iz globokih vodnjakov in je predstavljalo od 60 -80 % načrpanih količin. V letu 2004 je bil iz sistema oskrbe s pitno vodo izključen vodnjak VD Brest 1a in načrpane količine v globokih vodnjakih so se zmanjšale na 30 do 50%.



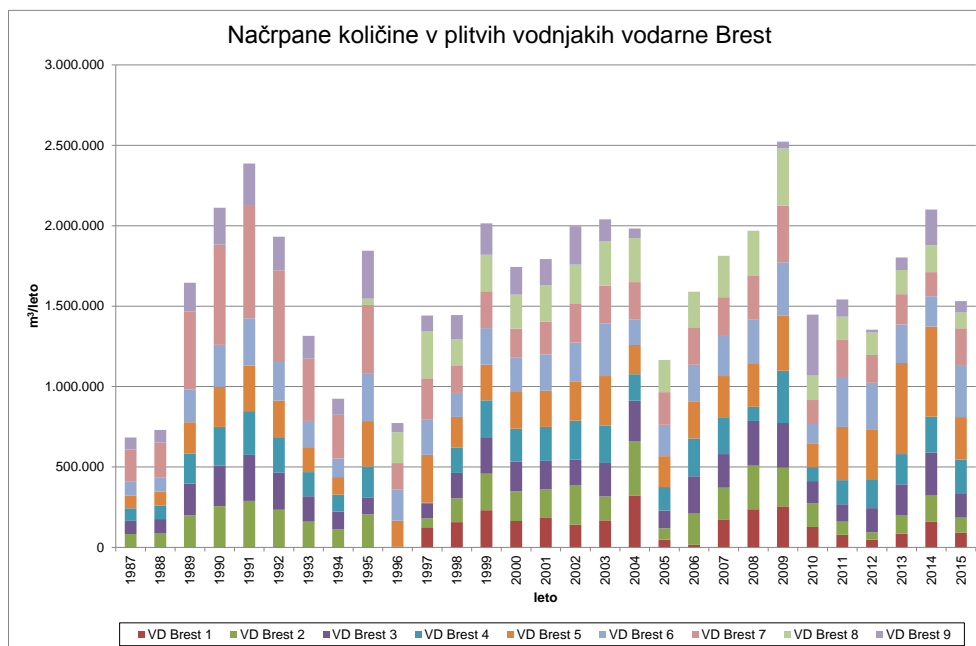
Grafikon 8: Načrpane letne količine podzemne vode na globokih vodnjakih

Graph 8: The yearly groundwater abstractions in the deep wells

Analiza načrpanih količin podzemne vode na globokih vodnjakih VD Brest 1a, VD Brest 2a in VD Brest 4a (grafikon 8) pokaže da je do l. 2001 slonela oskrba s pitno vodo iz vodarne Brest na črpanju iz vodnjaka VD Brest 1a. Ko so pričele koncentracije DAT v podzemni vodi naraščati, so se začele zmanjševati črpane količine, dokler v letu 2003 vodnjak ni bil izključen iz vodovodnega sistema. L. 2006 se je v vodovodni sistem vključil vodnjak VD Brest 2a in se istočasno nekoliko povečalo črpanje na VD Brest 4a.

V zadnjih letih prihaja v sušnih obdobjih do problemov z zagotavljanjem potrebnih količin pitne vode iz vodarne Brest. Zaradi prekoračenih koncentracij DAT v VD Brest 1a in trenda naraščanja koncentracij DAT v VD Brest 2a in VD Brest 4a, je črpanje iz globokih vodnjakov zelo omejeno. V plitvih vodnjakih zelo hitro po zagonu črpalke pade gladina podzemne vode pod koto, ki je potrebna za delovanje črpalke in takrat pride do izklopa črpalke.

Predvsem se to dogaja na plitvih vodnjakih, ki se nahajajo na zahodni strani vodarne Brest (VD Brest1, VD Brest 2, VD Brest 3 in VD Brest 4).



Grafikon 9: Načrpane letne količine podzemne vode v plitvih vodnjakih

Graph 9: The yearly groundwater abstractions in the shallow wells

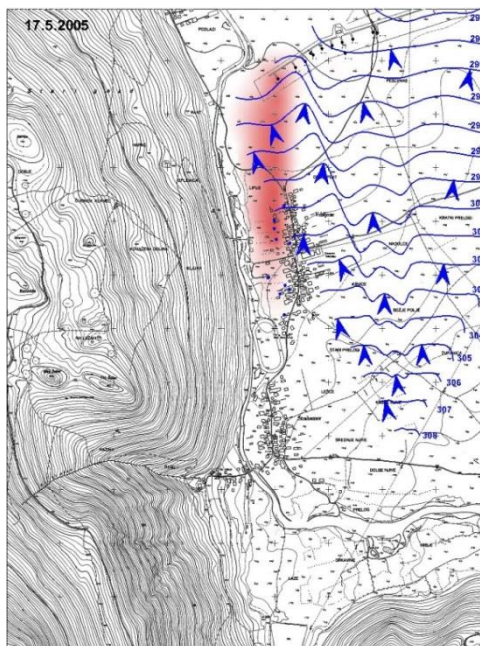
4.2 Obremenjenost podzemne vode

Vodarna Brest se nahaja na območju Iškega vršaja, kjer prihaja do prepleta številnih interesov. V preteklosti je bilo to območje, kjer je zaradi ugodnih naravnih pogojev prevladovala kmetijska raba prostora. Od 80 let prejšnjega stoletja, je bilo to območje prepoznano tudi kot potencialni vodni vir, tako za Ljubljano, kakor za občine Ig, Brezovica in Škofljica. V zadnjem desetletju, je zaradi bližine Ljubljane, opaziti pritisk urbanizacije, saj so okoli starih vaških jeder zgrajena številna nova naselja.

Junija 2004 so bile zaznane povišane koncentracije metolaklor v plitvih vodnjakih osrednjega dela vodarne Brest, VD Brest 4, VD Brest 5 in VD Brest 6. Najverjetnejši scenarij onesnaženja je bila raba visokega odmerka pripravka z aktivno snovjo metolaklor, ki je uporaben kot totalni herbicid.

Leta 2005 je bilo v plitvih vodnjakih vodarne Brest zaznано onesnaženje podzemne vode s TCE (trikloretilen). Oblak onesnaženja se je sledil na osnovi rezultatov fizikalno kemijskih analiz, ki so bile narejene na vzorcih podzemne vode odvzete iz zasebnih vodnjakov v vasi Vrbljene (Slika 5). Izvor onesnaženja ni bil potrjen, je pa onesnaženje izhajalo iz območja vasi Vrbljene in je primer neodgovornega ravnanja.

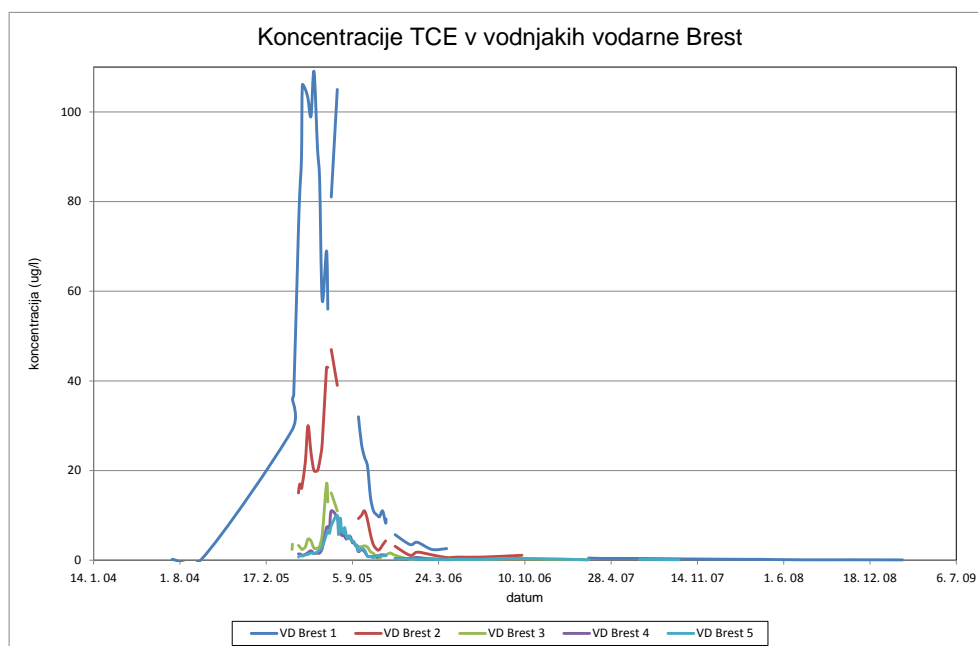
Smer potovanja oblaka onesnaženja je vzporedna s strugo reke Iške in ne kaže na neko izdatnejše napajanje podzemne vode iz reke.



Slika 8: Razširjenost oblaka onesnaženja s TCE

Figure 8: The TCE pollution cloud

Primer onesnaženja s TCE kaže, kako so plitvi vodnjaki vodarne Brest zelo ranljivi in kako hitro lahko pride do nenadnega vdora onesnaževal v pitno vodo. Plitvi vodnjaki zajemajo podzemno vodo holocenskega vodonosnika, ki se napaja iz padavin in reke Iške in ima hitro dinamiko pretakanja. Koncentracija TCE v podzemni vodi je naraščala do 200 $\mu\text{g/l}$, hkrati pa je onesnaženje potovalo v smeri delujočih plitvih vodnjakov. Do sredine leta 2008 je koncentracija TCE v podzemni vodi naraščala, nato pa je pričela padati in konec leta 2005 so bili prisotni le sledovi TCE (grafikon 10).



Grafikon 10: Gibanje koncentracij TCE v vodnjakih vodarne Brest

Graph 10: The TCE concentration inside the wells of water field Brest

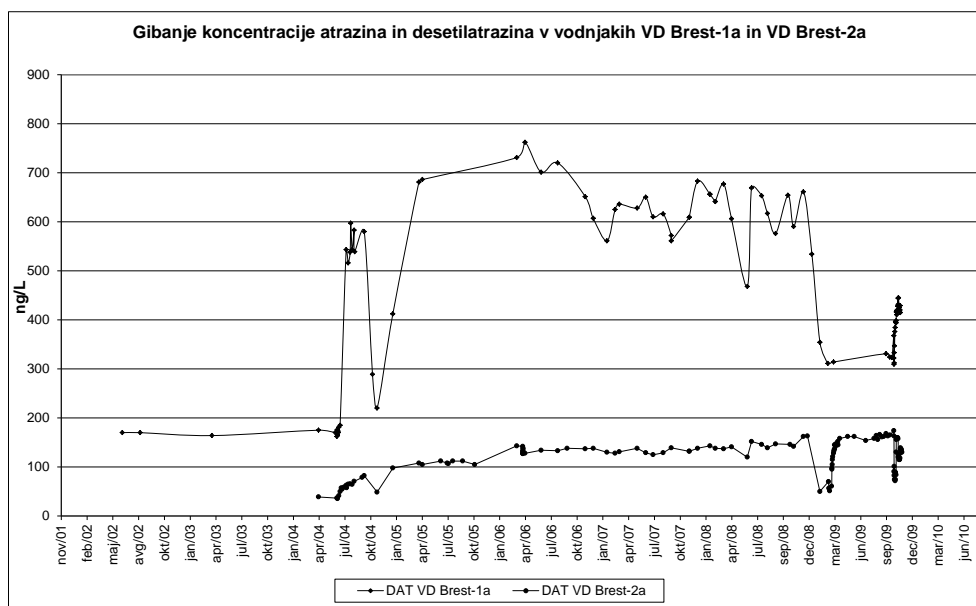
V času črpalnega poskusa, je bila opravljena identifikacija spojin z GC-MS v 11 vzorcih v dveh serijah odvzemov pred pričetkom poskusa (13.10. in 19.10.2009) ter po mesecu dni (2.11.2010). Prevladovale so spojine, ki imajo vir v rabi pesticidov, spojine, ki imajo vir v kemikalijah splošne rabe (kozmetika, arome, UV absorberji in zdravila), naftni derivati ter halogenirana topila.

Več spojin je bilo identificiranih v vrtnah v okolici vodarne Brest (odvzem 12 vzorcev v dveh serijah dne 29.9. in 4.11.2009). Tudi izven vodnjakov javne oskrbe prevladujejo pesticidi, spojine, ki imajo vir v kemikalijah splošne rabe (kozmetika, arome, UV absorberji in zdravila), naftni derivati ter halogenirana topila (Auersperger, 2010).

Če si lahko, glede na konceptualni model vodonosnikov Ljubljanskega barja (Mencej, 1990 a), razložimo veliko ranljivost holocenskega vodonosnika in zelo hiter odziv na posamezne dogodke (padavine, onesnaženje), je težje najti razlago in razložiti mehanizme pojava visokih koncentracij DAT v globokih vodnjakih.

Zaradi onesnaženja plitvih vodnjakov v letih 2004 in 2005 se je spremenil režim črpanja, saj so iz sistema oskrbe bili izločeni onesnaženi plitvi vodnjaki in se iz njih ni črpalo (Priloga 2).

V obdobju 1987-2015 koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi plitvih vodnjakov niso presegale dovoljenih maksimalnih koncentracij (Pravilnik o pitni vodi, Ur.l.RS št.19/04 35/34, 26/06, 92/06 in 74/15). Izjema je bil vodnjak VD Brest 9, kjer so koncentracije DAT bile presežene vse od leta 2006 in so maksimum dosegle v septembru 2009 (grafikon 13). V temu obdobju se iz vodnjaka ni črpalo.

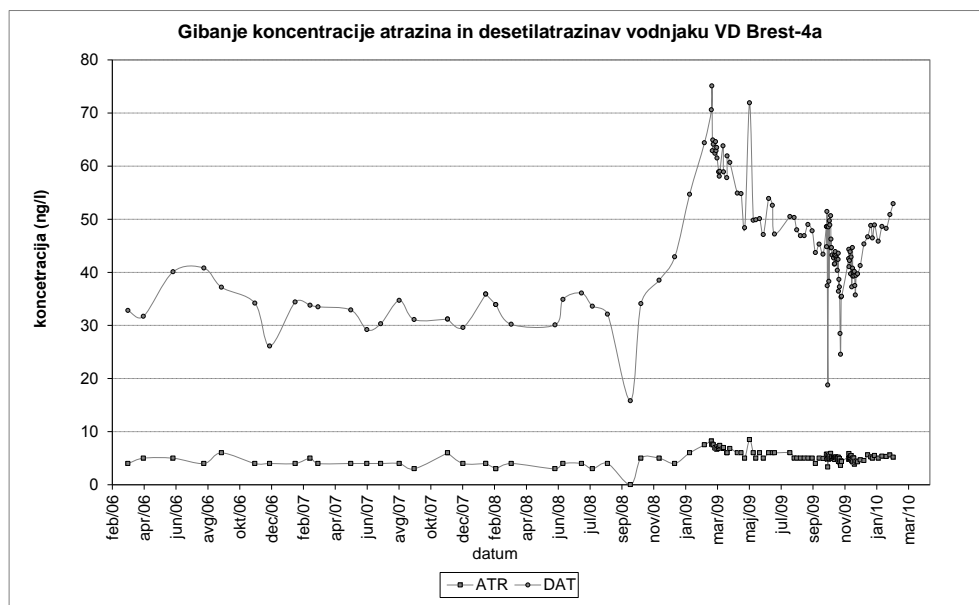


Grafikon 11: Gibanje koncentracij desetilatrazina (DAT) v globokih vodnjakih VD Brest 1a in VD Brest 2a

Graph 11: The DAT concentrations inside the deep wells VD Brest 1a and VD Brest 2a

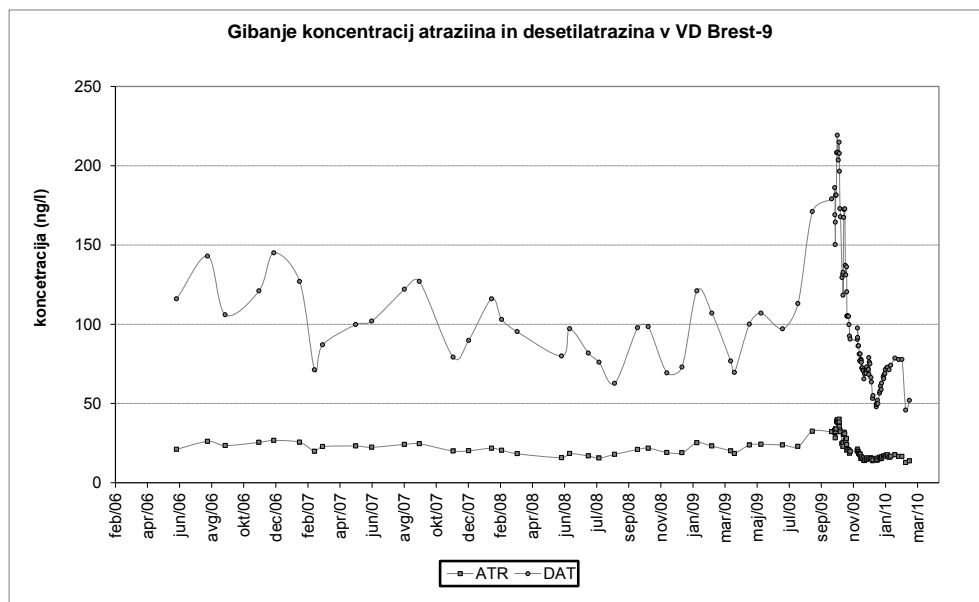
Koncentracije ATR in DAT v globokem vodnjaku VD Brest 1a se spremljajo od leta 2002. V juniju 2004 je koncentracija DAT narasla od 162 ng/l (24.6.2004) na 543 ng/l (26.7.2004) (Grafikon 11).

V vodnjaku VD Brest 4a so koncentracije DAT začele naraščati v l. 2008, ko se je začelo črpanje na vodnjaku VD Brest 2a in je bil vključen v vodovodni sistem.



Grafikon 12: Gibanje koncentracij atrazina(ATR) in desetilatrazina (DAT) v globokem vodnjaku VD Brest 4a

Graph 12: The ATR and DAT concentrations inside the deep well VD Brest 4a



Grafikon 13: Gibanje koncentracij atrazina (ATR) in desetilatrazina (DAT) v vodnjaku VD Brest 9

Graph 13: The ATR and DAT concentrations inside the well VD Brest 9

5 ČRPALNI POSKUS NA VODNJAKU VD BREST 1a V LETU 2009

Da bi dobili odgovore in razložili dinamiko, od kod in kako se je onesnažila podzemna voda spodnjega pleistocenskega vodonosnika s pesticidi, od katerih zaradi zelo visokih koncentracij odstopa DAT, je bil jeseni 2009 izveden tridesetdnevni črpalni poskus.

Mehanizmi prehoda onesnaževala v spodnji pleistocenski vodonosnik, ki se izkorišča za črpanje podzemne vode za oskrbo s pitno vodo, ni točno poznan, vendar imamo dve možni razlagi;

- Glede na geološke pogoje velja hipoteza, da so vodonosni sloji na Ljubljanskem barju med seboj hidravlično ločeni oz. da med gornjim holocensko-pleistocenskim prodnim vodonosnikom in pod njim ležečim starejšim pleistocenskim prodnim vodonosnikom ni hidravlične povezave. Če pa hidravlična povezava obstaja, je s tem omogočen prehod onesnaževalom.
- Tehnično neustrezno izvedeni vodnjaki, ki bi lahko med steno vrtine in zunanjim delom stene tehnične kolone omogočali hidravlično povezavo. To bi lahko bilo vzrok za onesnaženje v bližini vodnjakov, ne razloži pa onesnaženje, ki prihaja iz neke večje oddaljenosti.

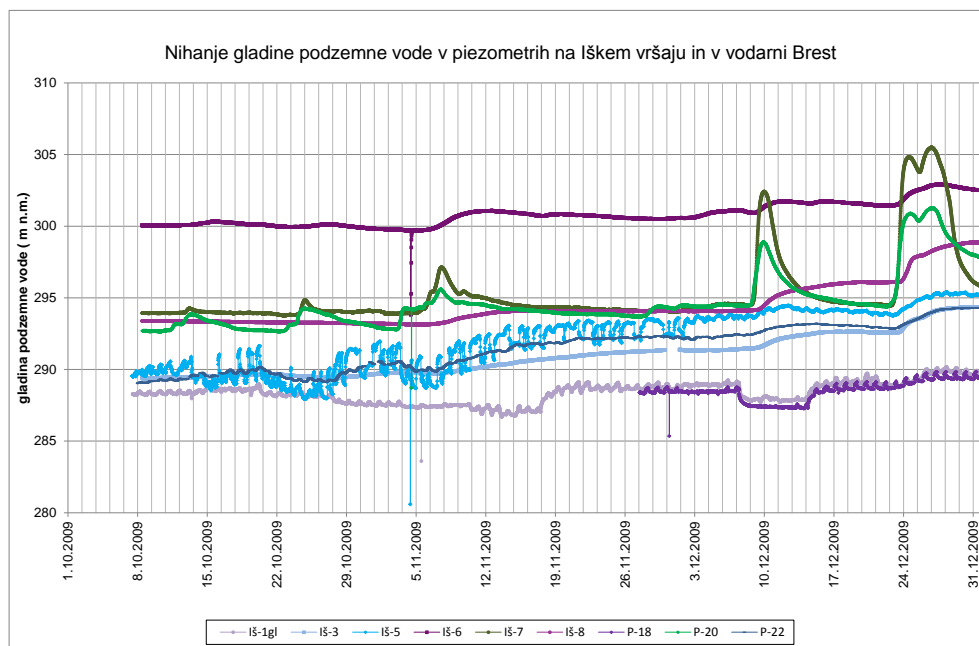
5.1 Zasnova črpalnega poskusa in njegov potek

Z različnimi kombinacijami črpanja in kontroliranimi količinami črpanja smo želeli ugotoviti medsebojne odvisnosti in hidravlične povezave med globokimi in plitvimi vodnjaki. Na osnovi hidrodinamičnih in fizikalno kemijskih meritev kakovosti podzemne vode se je definiralo ničelno stanje na vplivnem območju vodarne Brest pred pričetkom črpalnega poskusa. Vodnjake in piezometre na območju Iškega vršaja smo opremili z merilniki gladine, ki so izvajali meritve v koraku 15 min.

Črpalni poskus se je izvajal od 19.10 do 17.11.2009 na osnovi programa, ki je priložen v prilogi 3.

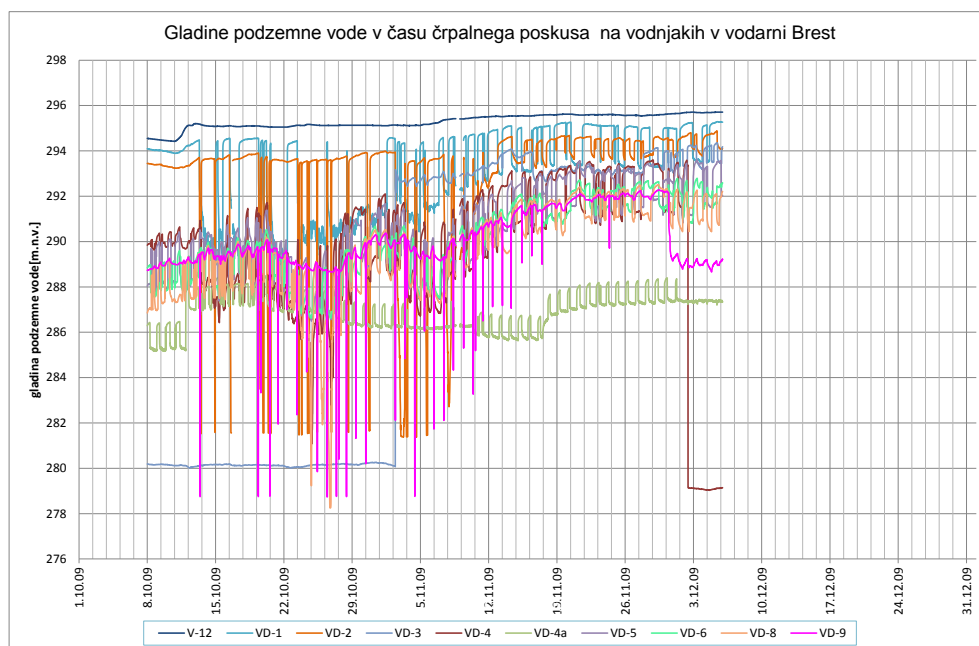
5.2 Rezultati črpalnega poskusa – dinamika podzemne vode v času črpalnega poskusa

Na grafikonu 14 je prikazano gibanje gladine podzemne vode v piezometrih, ki se nahajajo na območju vodarne in na Iškem vršaju. Na grafikonu 15 pa je prikazano gibanje gladine podzemne vode v vodnjakih vodarne Brest. Lega piezometrov in vodnjakov, kjer so se izvajale meritve v času črpalnega poskusa je podana na sliki 1.



Grafikon 14: Gibanje gladin podzemne vode v piezometrih v času črpalnega poskusa

Graph 14: The groundwater fluctuations inside piezometers during the pumping test

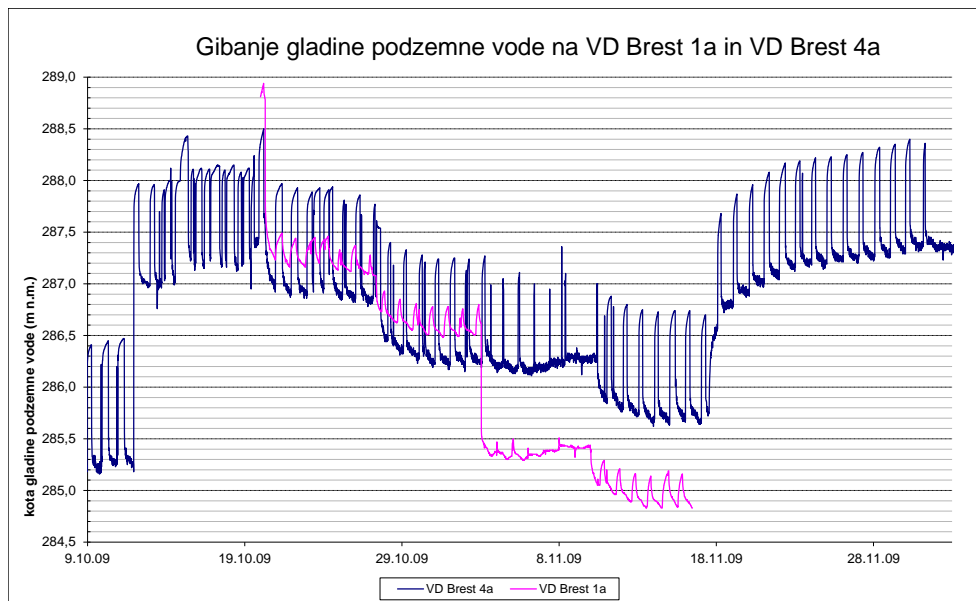


Grafikon 15: Gibanje gladin podzemne vode v vodnjakih vodarne Brest v času črpalnega poskusa

Graph 15: The groundwater fluctuations inside the wells during the pumping test

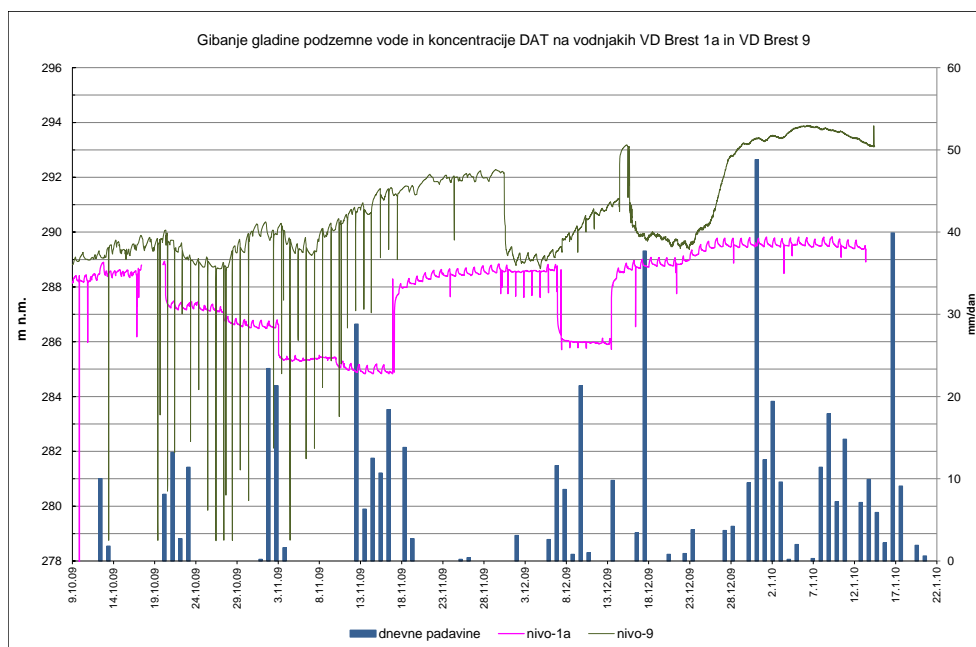
Posebej je izpostavljeno gibanje gladine podzemne vode na vodnjakih VD Brest 1a in VD Brest 4a (grafikon 16), saj oba vodnjaka zajemata, vsaj delno (VD Brest 4a), vodo spodnjega pleistocenskega vodonosnika. Ker je vodarna Brest v času črpalnega poskusa delovala normalno, se je vodnjak VD Brest 4a vklapljal in izklapljal, glede na algoritem delovanja vodarne, ves čas črpalnega poskusa. Vpliv črpanja iz VD Brest 4a na gibanje gladine podzemne vode v spodnjem pleistocenskem

vodonosniku je lepo viden na grafikonu 16. Žal zaradi tehničnih problemov nismo vgradili merilne sonde v vodnjak VD Brest 2a.



Grafikon 16: Gibanje gladin podzemne vode v vodnjakih VD Brest 4a in VD Brest 1a v času črpalnega poskusa

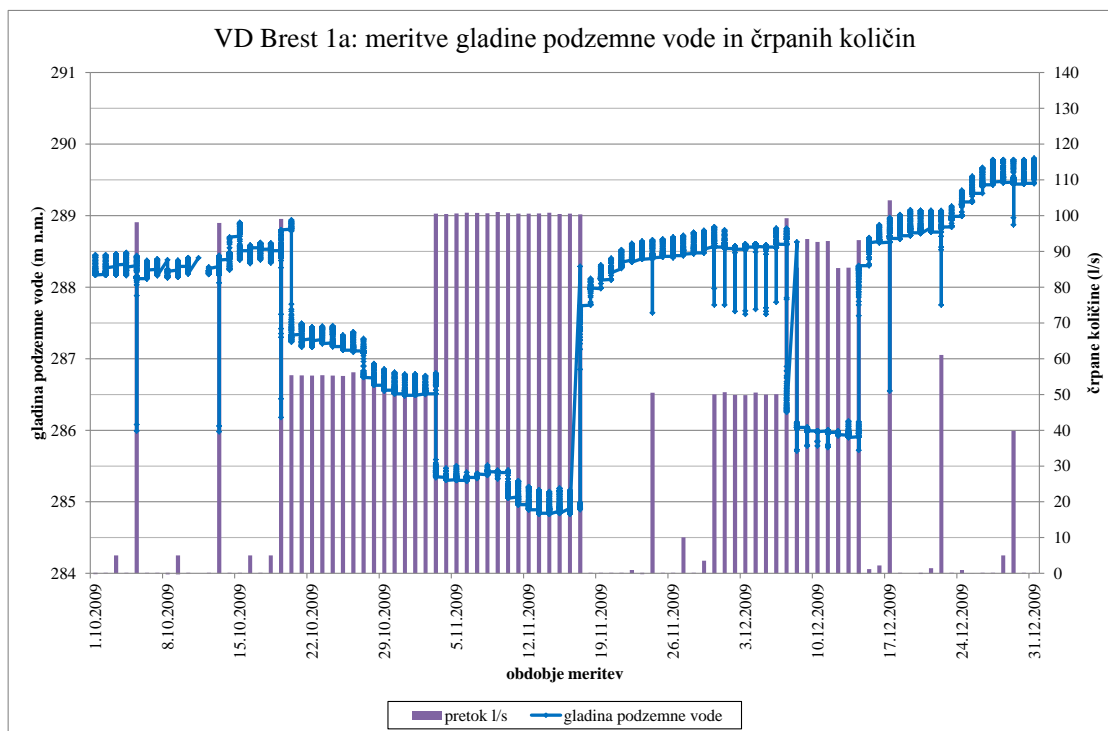
Graph 16: The groundwater fluctuations inside the wells VD Brest 4a and VD Brest 1a during the pumping test



Grafikon 17: Gibanje gladine podzemne vode na vodnjaku VD Brest 9 v času črpalnega poskusa

Graph 17: The groundwater fluctuations inside the well VD Brest 9 during the pumping test

V obdobju črpalnega poskusa so se sistematično zbirali podatki o gibanju gladine podzemne vode, o črpanih količinah in o kakovosti podzemne vode, zato sem lahko na osnovi zbranih podatkov določila parametre vodonosnika in vodnjaka VD Brest 1a.



Grafikon 18: Meritve gladine podzemne vode in pretoka na črpalki v VD Brest 1a

Graph 18: Groundwater levels and the water discharge at the pump in the well VD Brest 1a

Iz grafikona 17 je razviden padec gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 1a ob zagonu črpalke. Kljub temu, da je bil pretok na črpalki konstanten in sicer v prvem delu črpalnega poskusa ~55 l/s in v drugem delu ~ 100 l/s, lahko vidimo nihanja v gladini podzemne vode, ki so rezultat vpliva črpanja na globokih vodnjakih VD Brest 2a in VD Brest 4a.

Ker je v času črpalnega poskusa na VD Brest 1a vodarna Brest normalno delovala, ni bilo mogoče za daljši čas izključiti vodnjaka VD Brest 4a. V skladu z algoritmom delovanja vodarne Brest, se je vključevala črpalka v vodnjaku VD Brest 4a. Pretok na črpalki v VD Brest 4a je bil v času črpanja 37 l/s.

Iz sistema oskrbe s pitno vodo je lahko bil za daljše obdobje (sedem dni) izključen vodnjak VD Brest 2a in sicer črpalka ni delovala v obdobju od 19.10. do 27.10.2009 in od 3.11. do 10.11.2009. V obdobju od 27.10. do 3.11.2009 in od 10.11. do 17.11.2009 se je iz vodnjaka VD Brest 2a črpalo ~40 l/s.

5.2.1. Izračun vplivnega radija

Črpalni poskus na vodnjaku VD Brest 1 a lahko uvrstimo v nestacionarni poskus, saj črpanje povzroči znižanje v vodnjaku, ki se s časom širi v telo vodonosnika. Širitev motnje je hitrejša pri zaprtih vodonosnikih in počasnejša pri odprtih. Časovno obdobje, v katerem prihaja do širitve znižanja v obliki depresijskega lijaka, imenujemo nestacionarni režim tika (Vižintin, 2008).

V VD Brest 1a so filtrske cevi vgrajene na globini od 56 do 96 m., torej zajema podzemno vodo spodnjega pleistocenskega vodonosnika. Gladina podzemne vode je subarteška, vodonosnik pa je polodprt, saj se nad dobro prepustnimi plastmi nahajajo slabše prepustne leče in vložki.

Znižanje in vplivni radij pri nestacionarnem poskusu lahko izračunamo s Theisovo enačbo (Driscoll, 1997).

Poenostavljena oblika Theisove enačbe :

$$s = \frac{1}{4\pi} \frac{Q}{T} W(u), \text{ kjer je} \quad (\text{enačba 1})$$

s = znižanje gladine

Q = črana količina

T = transmisivnost

W (u) = funkcija vodnjaka

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t}, \text{ kjer je} \quad (\text{enačba 2})$$

r = razdalja od centra črpalnega vodnjaka do točke kjer merimo znižanje gladine podzemne vode

S = koeficient elastičnega uskladiščenja

T = transmisivnost

T = čas od začetka črpanja

Ob upoštevanju vhodnih podatkov:

Q = 100 l/s

k = $1,4 \cdot 10^{-4}$ m/s

d (debelina vodonosne plasti) = 45 m

s = 80 m

ter razvoju W (u) v vrsto (Vižintin, 2008),

je pri črpani količini 100 l/s ob koncu črpalnega poskusa bil vplivni radij vodnjaka VD Brest 1a 800 m, kar pa ni končna razdalja vpliva, saj analiza znižanja gladine podzemne vode kaže (grafikon 19), da v času črpalnega poskusa ni prišlo do stabilizacija nivoja.

5.2.2. Analiza znižanja gladine podzemne vode v vodnjaku in izračun izgub

Opazovano znižanje v vodnjaku ima različne vzroke, kamor sodijo (Vižintin, 2008):

a) Izgube v vodonosniku

Znižanje je posledica karakteristik vodonosnika, kamor prištevamo anizotropijo, meje, heterogenost itd. V vodonosnikih velikih razsežnosti z dolgotrajnim črpanjem je znižanje proporcionalno Q in ga lahko opišemo z enačbo

$$s = BQ \quad (\text{enačba 3})$$

b) Neveljavnost Darcyjevega zakona v bližini vodnjaka;

Te izgube so vezane na pojav turbulentnega toka v okolici vodnjaka. Če Re število preseže mejo laminarnega toka, se v okolici vodnjaka pojavi turbulenten režim toka. Izgube zaradi turbulentnega toka so pomembne predvsem v vodnjakih s kratkimi filtri, majhnim r_p in v razpoklinških vodonosnikih z majhnim premerom razpok.

c) Izgube vezane na vstopanje vode v vodnjak;

Ob vходу vodnih molekul skozi odprtine filtra, slednje izgubijo na hitrosti. Če je vhodna hitrost velika, je ta izguba proporcionalna Q^2 . V slabo izdelanih vodnjakih je učinek ob velikem znižanju zelo pomemben

d) Občasne izgube;

Občasne izgube so vezane predvsem na zelo dolge vodnjake z zelo majhnim r_p . V laminarnem toku je znižanje proporcionalno Q , v turbulentnem pa Q^2 . Te izgube nastanejo zaradi gibanja vode vzdolž dolžine filtrov do črpalke.

e) Izgube zaradi črpalke;

Izgube nastanejo pri vstopu v črpalko, zlasti če je črpalka obrnjena s sesalnim delom navzgor.

Po Jacob-su (Driscoll. 1997) lahko znižanje gladine podzemne vode v vodnjaku izrazimo kot vsoto komponente prvega reda (laminarna) in komponente drugega reda (turbulentna):

$$s = BQ + CQ^n \quad (\text{enačba 4})$$

B – koeficient izgub cirkulacije v vodonosniku in je odvisen od časa črpanja (linearne izgube vezane na laminarno naravo toka)

C – koeficient izgub cirkulacije v vodnjaku (nelinearne izgube vezane na turbulentno naravo toka)

n – eksponentna konstanta (1-3)

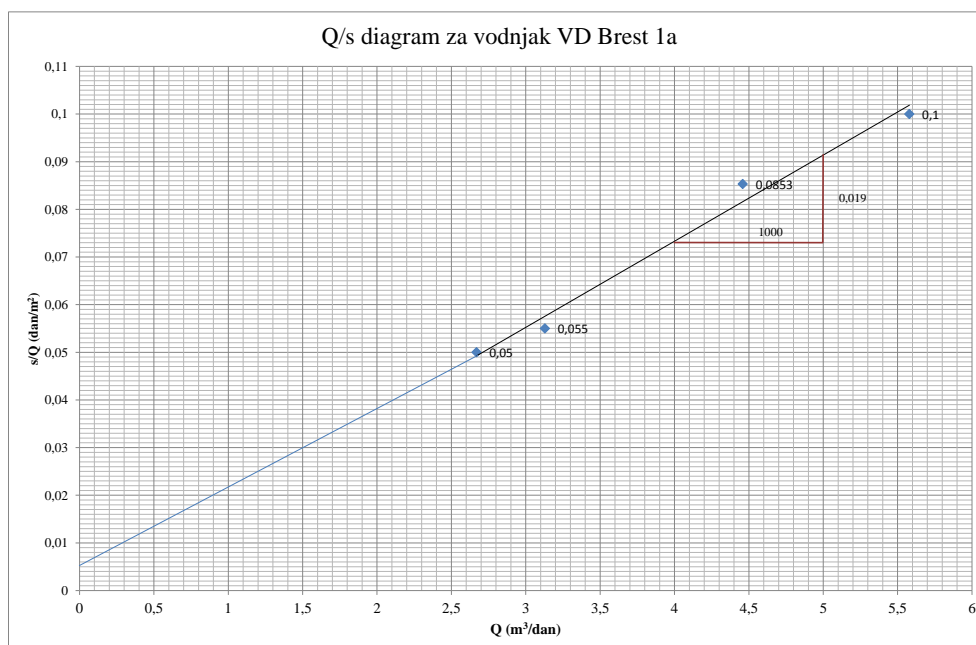
Za določitev B in C moramo poznati znižanje pri vsaj treh različnih Q . Ker je B odvisen od časa, moramo črpati vsaj eno uro.

datum	Q (l/s)	s (m)
24.10.2009	55	3,129
15.11.2009	100	5,579
07.12.2009	50	2,669
08.12.2009	85,3	4,459

Tabela 1 Znižanje gladine podzemne vode na vodnjaku VD Brest 1a pri različnih količinah črpanja

Table 1: Drawdown of groundwater level measurements in well VD Brest 1a at different abstraction

Ker je razmerje s/Q približno konstantno (56,8; 55,8; 53,4 in 52,3), je vrednost za $n=2$ in vrednosti B in C določimo z grafično metodo.



Grafikon 19: Diagram Q/s za vodnjak VD Brest 1a

Graph 19: Q/s diagram for well VD Brest 1a

Iz grafikona 18 lahko odčitamo vrednosti:

Izgube v vodonosniku – koeficient $B = 0,005 \text{ dan/m}^2$

Izgube na vodnjaku VD Brest 1a – koeficient $C = 0,18 \times 10^{-4} \text{ dan}^2/\text{m}^5$

Kadar sta nam poznana koeficienta B in C , lahko izračunamo razmerje med laminarnimi in skupnimi izgubami v vodnjaku, ki ga izrazimo kot odstotek, po enačbi (Driscoll, 1997, Ahmed&al., 2014):

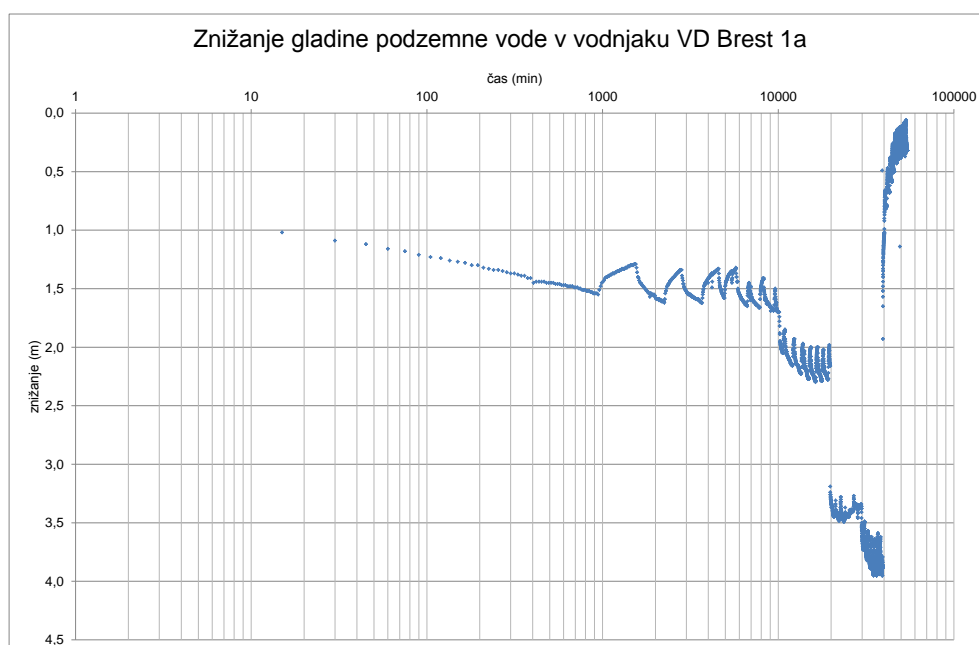
$$L_p = \frac{BQ}{BQ+CQ^2} * 100 \quad (\text{enačba 5})$$

Pri črpani količini $Q = 100$ l/s prispeva laminarni tok 3% znižanja gladine podzemne vode, pri $Q = 50$ l/s pa 6%, vse ostalo prispevajo izgube na vodnjaku.

5.2.3. Določanje lastnosti vodonosnika

Iz meritev izvedenih v obdobju črpalnega poskusa lahko pridobimo informacije o celotnem poroznem prostoru na območju vodnjaka in glede na čas črpanja tudi podatke z območja, do katerega je segel vpliv črpanja oziroma depresijski lijak.

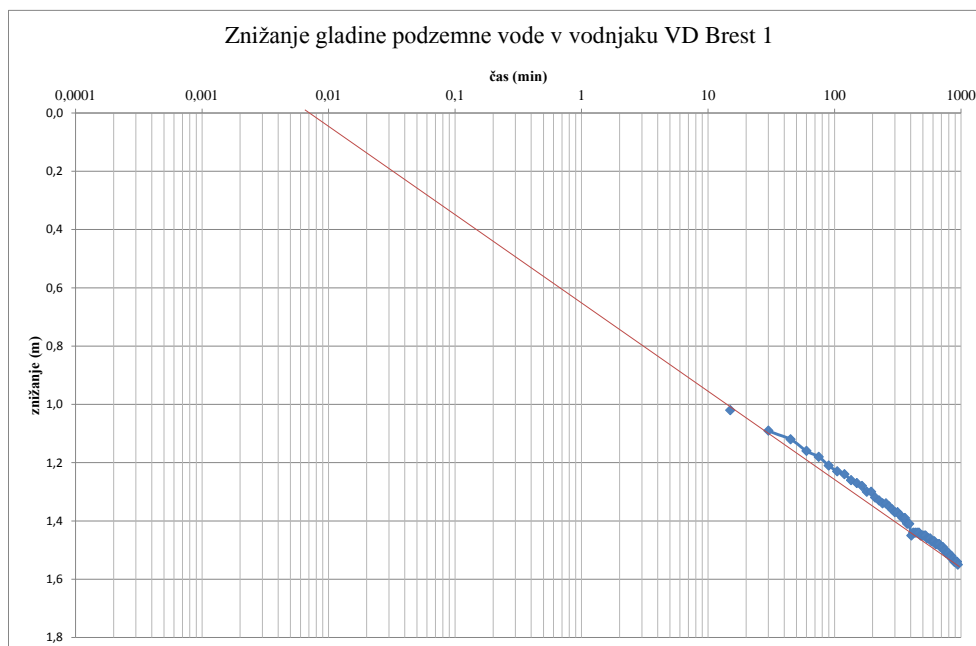
Na grafikonu 19 je prikazano zniževanje gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 1a po postopku s-log t (Pušić, 2012). Soodvisnost zniževanja gladine podzemne vode je prikazana s časom v logaritemskem merilu.



Grafikon 20: Znižanje gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 1a času črpalnega poskusa

Graph 20: The groundwater drawdown inside the well VD Brest 1a during the pumping test

V prvih 1000 minutah je soodvisnost oblikovala premico, zato sem izločila to obdobje in iz grafikona 20 izračunala transmisivnost in koeficient specifičnega uskladiščenja.



Grafikon 21: Znižanje gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 1a v prvih 1000 minutah
Graph 21: The groundwater drawdown inside the well VD Brest 1a in the first 1000 minutes

Po enačbi:

$$r_A = 1,5 \sqrt{\frac{Tt}{\epsilon}} \quad (\text{enačba 6})$$

je vplivni radij vodnjaka VD Brest 1a po 1000 minuti črpanja 107 m.

S kombinacijo in poenostavitvijo enačb dobi enačba za transmisivnost (T) obliko:

$$T = 0,183 \frac{Q_v}{(s_1 - s_2)} \quad (\text{enačba 7})$$

$$Q_v = 0,055 \text{ m}^3$$

$$(s_1 - s_2) = 031 \text{ m}$$

Izračunana T je 2805 m²/dan oziroma 0,0324 m²/s.

V predhodnih črpalnih poskusih (Prestor, 1998) je bila za spodnji pleistocenski vodonosnik izračunana vrednost za transmisivnost 0,0381 m²/dan, kar je primerljivo z vrednostjo dobljeno v črpalnem poskusu v l.2009.

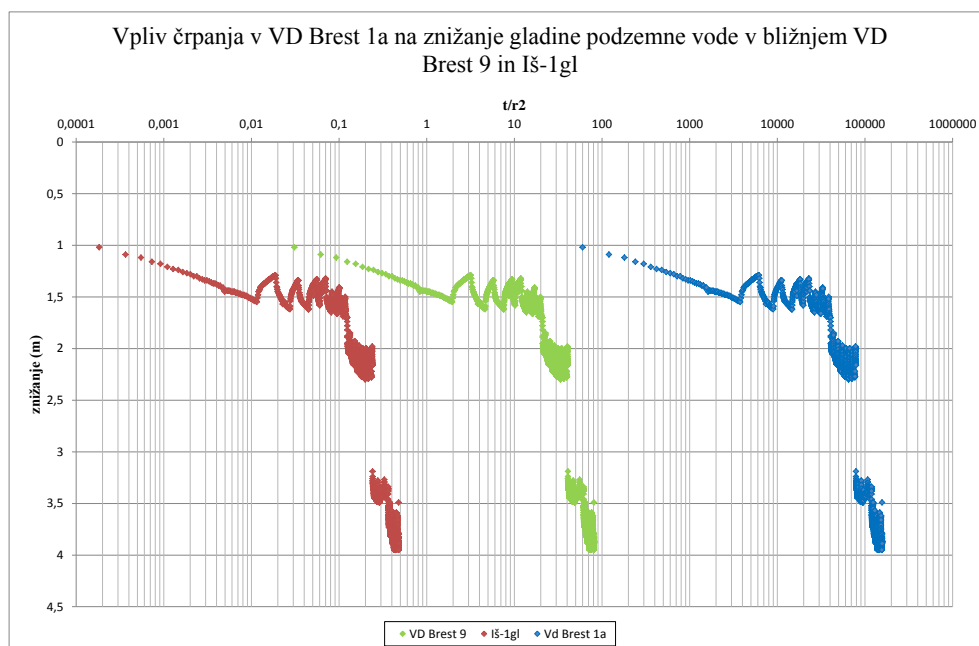
Po enačbi:

$$\epsilon = 2,24 \frac{T t_0}{r^2} \quad (\text{enačba 8})$$

sem izračunala koeficient elastičnega uskladiščenja, ki znaša 0,17.

V literaturi (Driscoll, 1995) se vrednost koeficienta elastičnega uskladiščenja za vodonosnike s prosto gladino podzemne vode (odprti vodonosnik) giblje med 0,01 in 0,3, ter za vodonosnike z gladino podzemne vode pod pritiskom (zaprti vodonosnik) od 10^{-5} do 10^{-3} .

Postopek s-log t/r^2 nam hkrati omogoča prikazovanje podatkov meritev črpalnega poskusa: vodnjaka in piezometrov (Pušić, 2012).

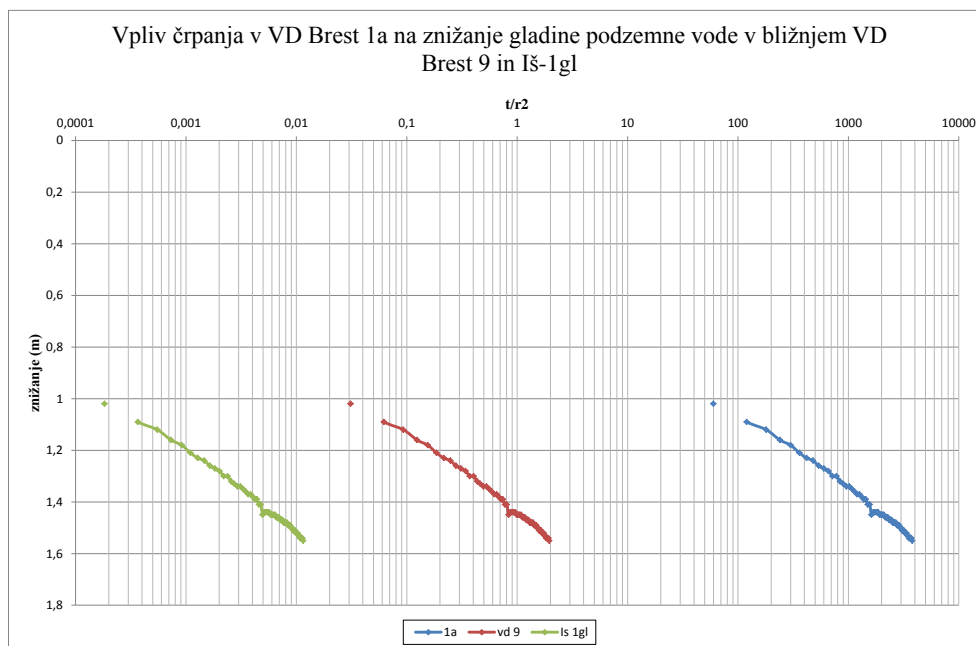


Grafikon 22: Znižanje gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 9 in piezometru Iš-1gl v času črpalnega poskusa

Graph 22: The groundwater drawdown inside the well VD Brest 9 and inside the piezometer Iš-1gl

Iz grafikona 22 lahko vidimo vpliv črpanja v vodnjaku VD Brest 1a na zniževanje gladine v dveh bližnjih objektih, v vodnjaku VD Brest 9, ki je oddaljen 22 m in zajema podzemno vodo do globine 28 m in v piezometru Iš-1gl, ki je oddaljen 286 m in zajema podzemno vodo na globini od 39,3 do 70,4 m.

Črpanje v vodnjaku VD Brest 1a vpliva na gibanje gladine podzemne vode tako v holocenskem in zgornjem pleistocenskem vodonosniku (VD Brest 9), kakor v spodnjem pleistocenskem vodonosniku (Iš-1gl). V obdobju črpalnega poskusa na VD Brest 1a ni bila dosežena stabilizacija nivoja.



Grafikon 23: Znižanje gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 9 in piezometru IŠ-1gl v prvih 1000 minutah

Graph 23: The drawdown inside the well VD Brest 9 and inside the piezometer IŠ-1gl in the first 1000 minutes

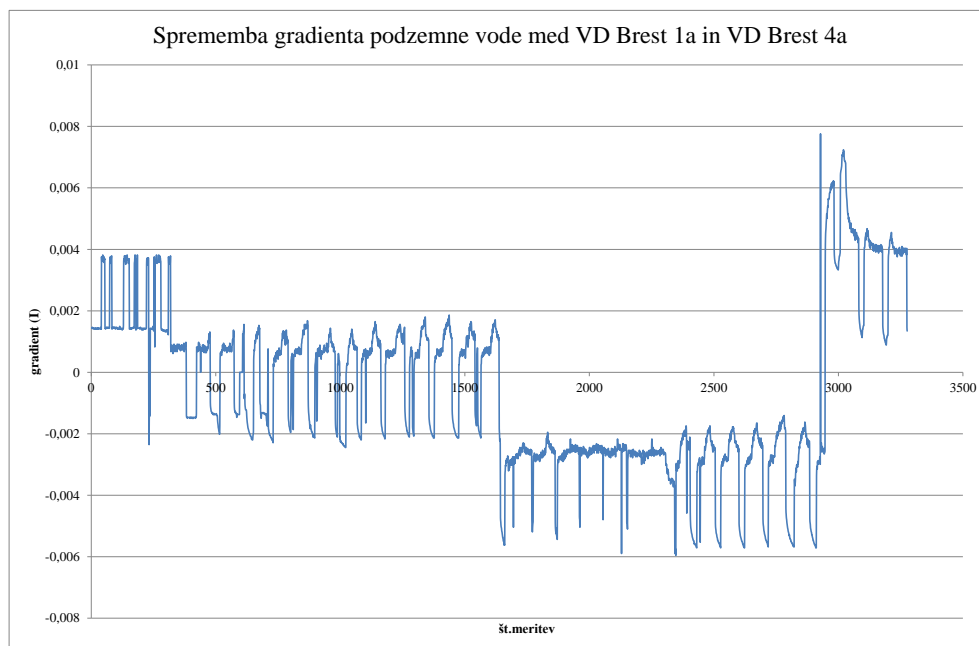
5.2.4. Vpliv črpanja na spremembo gradienta podzemne vode

Iz podatkov črpalnega poskusa sem izračunala, da je znašal vplivni radij vodnjaka VD Brest 1a pri črpani količini 100 l/s na koncu črpalnega poskusa 800 m, kar pomeni, da se celotna vodarna Brest nahaja v vplivnem radiju vodnjaka VD Brest 1a. Ker ni bila dosežena stabilizacija nivoja, lahko domnevamo, da je vplivni radij pri črpanju 100 l/s iz vodnjaka VD Brest 1a še veliko večji in sega izven meja vodarne.

Gradient je sprememba hidravličnega tlaka (h) merjenega na dveh točkah, ki sta med seboj oddaljeni na razdalji L .

$$I = \frac{h_1 - h_2}{L}$$

(enačba 9)



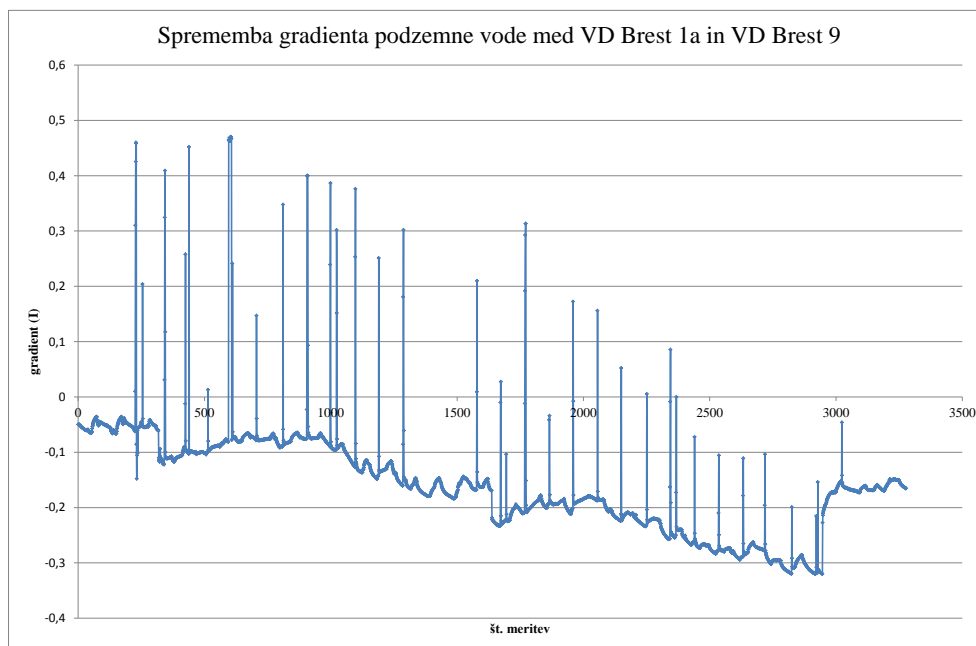
Grafikon 24: Sprememba gradienta podzemne vode med vodnjakoma VD Brest 1a in VD Brest 4a

Graph 24: The groundwater gradient difference between well VD Brest 1a and VD Brest 4a

VD Brest 4a ima filtrske cevi vgrajene od globine 30,30 m pa vse do 99 m, kar pomeni da zajema podzemno vodo zgornjega in spodnjega pleistocenskega vodonosnika. VD Brest 1a ima filtrske cevi vgrajene od globine 56 m do 96 m, torej zajema podzemno vodo spodnjega pleistocenskega vodonosnika.

Ko se iz VD Brest 1a ne črpa, je gradient podzemne vode usmerjen proti VD Brest 4a. Ko se prične črpanje v VD Brest 1a, se začne gradient spreminjati. Kadar je gradient pozitiven, je tok podzemne vode v smeri proti VD Brest 4a, pri negativnem gradientu, pa se tok podzemne vode usmeri proti VD Brest 1a. Pri povečani količini črpanja na VD Brest 1a se gradient poveča in s tem poveča dotok podzemne vode v smeri tega vodnjaka.

S spreminjanjem gradienta se spreminja tudi koncentracija DAT v VD Brest 1a in VD Brest 2a (grafikon 27). Takoj po zagonu črpalke v VD Brest 1a prične koncentracija DAT naraščati in trend naraščanja koncentracije je ves čas delovanja črpalke. To lahko razložimo s tem, da zaradi črpanja, preusmerimo tok obremenjene podzemne vode proti VD Brest 1a in v vodnjak prihaja nova podzemna voda obremenjena z DAT.



Grafikon 25: Sprememba gradienta podzemne vode med vodnjakoma VD Brest 1a in VD Brest 9

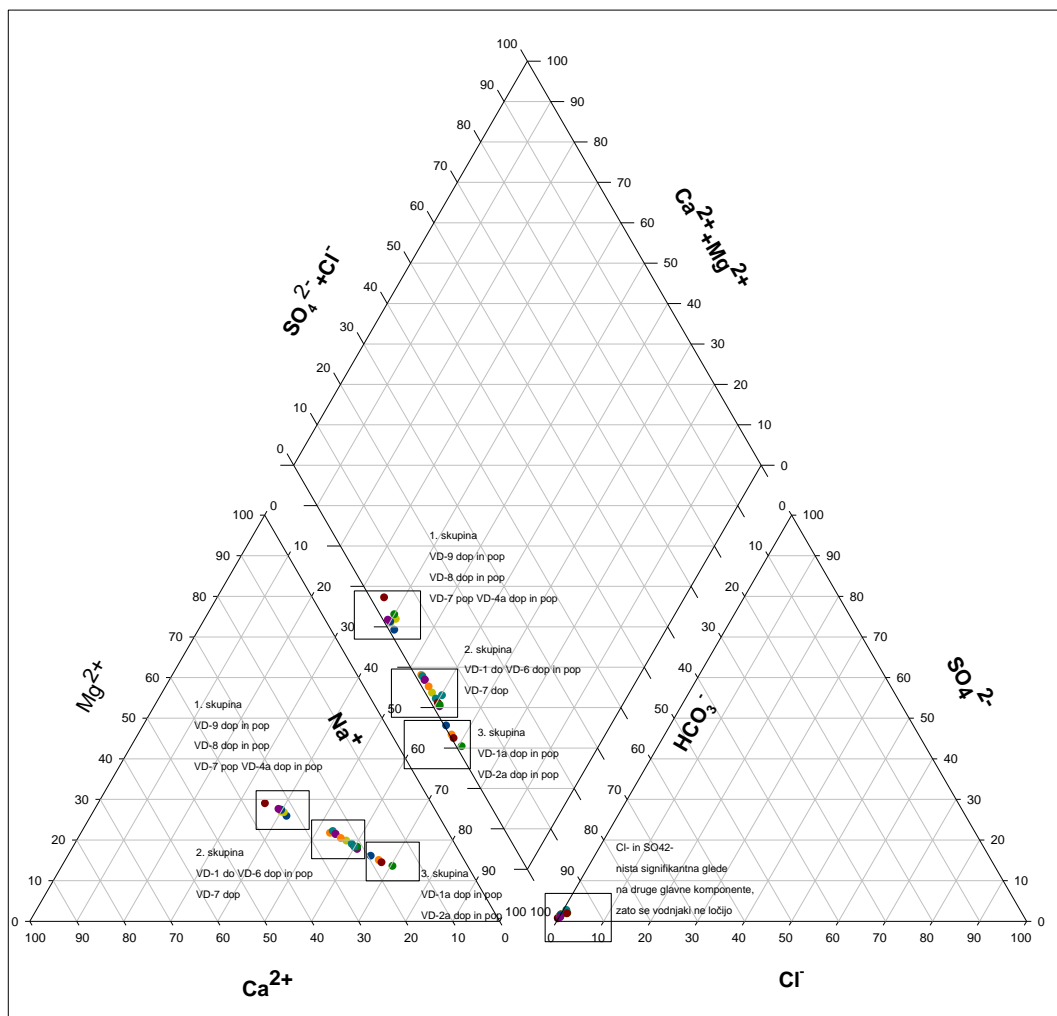
Graph 25: The groundwater gradient difference between well VD Brest 1a and VD Brest 9

Grafikon 25 prikazuje spremembo gradienta podzemne vode med vodnjakom VD Brest 9, ki zajema podzemno vodo holocenskega in delno zgornjega pleistocenskega vodonosnika (do globine 28 m) in vodnjakom VD Brest 1a, ki zajema podzemno vodo spodnjega pleistocenskega vodonosnika od globine 55 do 96 m.

Po zagonu črpalke v vodnjaku VD Brest 1a, se gradient povečuje v smeri VD Brest 1a.

Zanimivo je spreminjanje koncentracije DAT (grafikon 26) glede na spremembo gradienta in kombinacijo črpanja podzemne vode iz različnih vodnjakov. Po zagonu črpalke v VD Brest 1a je pričela koncentracija DAT v VD Brest 1a naraščati in je ta trend naraščanja koncentracije prisoten ves čas črpalnega poskusa. Ko se je črpalo iz plitvih vodnjakov in VD Brest 1a, je koncentracija DAT na VD Brest 9 naraščala, kar lahko razlagamo s tem, da je v vplivnem območju plitvih vodnjakov onesnaženje, ki ga v času črpanja le ti zajamejo. Ko se je vključil vodnjak VD Brest 2a, je koncentracija DAT v plitvih vodnjakih začela padati, a naraščati v VD Brest 2a, kar lahko razložimo s tem, da je v VD Brest 2a vsaj delno zajel tudi podzemna voda, iz holocenskega in zgornjega pleistocenskega vodonosnika, ki je obremenjena z DAT. Podoben padec koncentracije DAT na VD Brest 9 se nam ponovi tudi, ko smo iz VD Brest 1a črpali 100 l/s in iz VD Brest 2a 37 l/s.

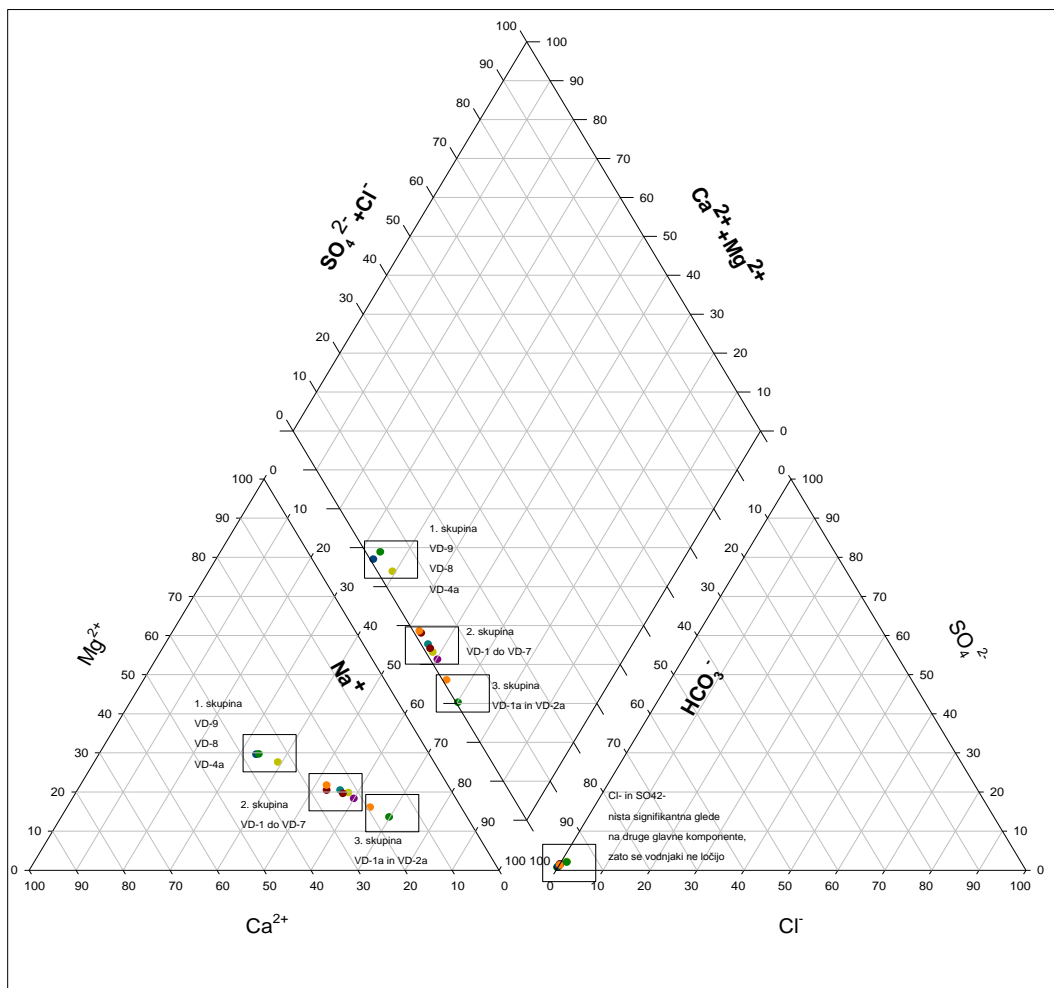
5.3 Rezultati črpalnega poskusa – spreminjanje anorganskih komponent



Slika 9: Piperjev diagram za ponazoritev anorganske sestave vodnjakov vodarne Brest pred pričetkom črpalnega poskusa. Odvzem 19.10.2009, dopoldne in popoldne (Auersperger, 2011)

Figure 9: The Piper diagram: The inorganic composition of groundwater in the wells of waterfield Brest before the pumping test. The sampling time: 19.10.2009, in the morning and in the afternoon (Auersperger, 2011)

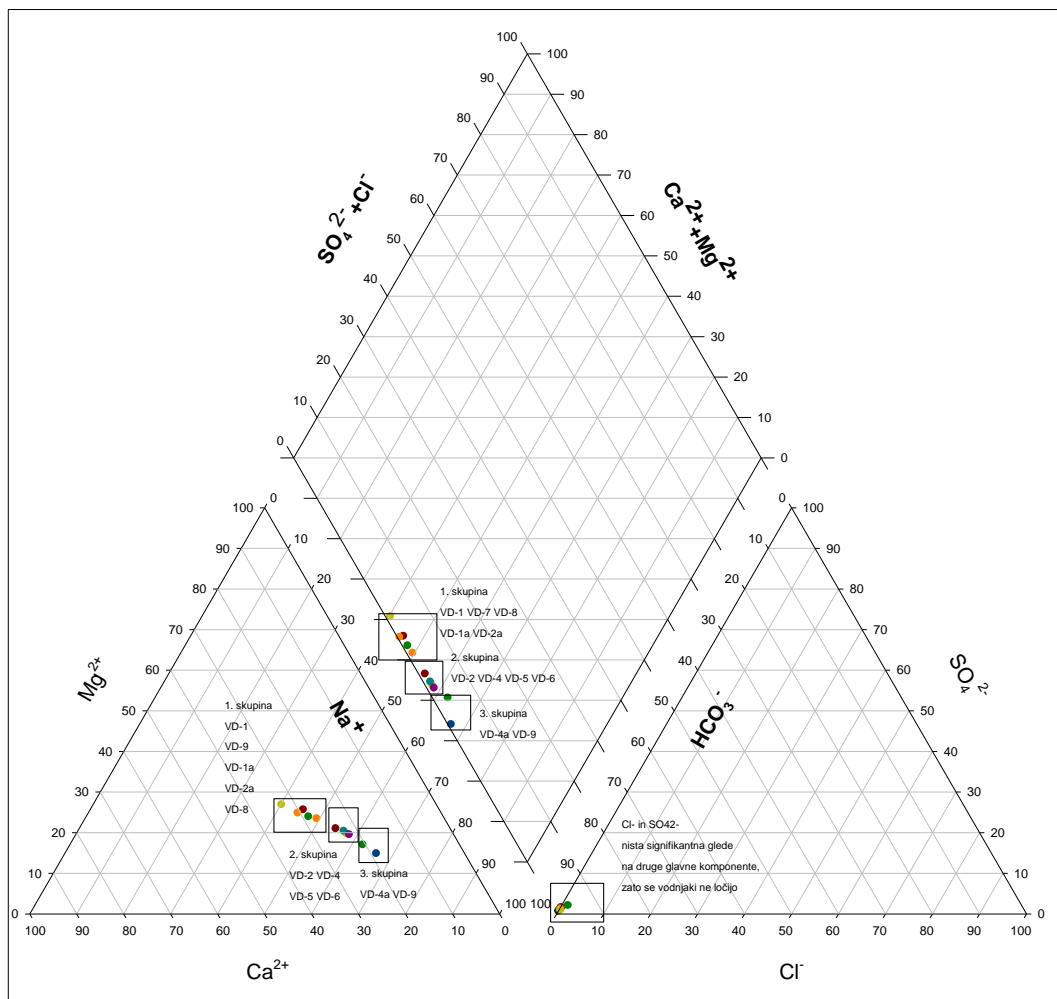
Rezultati kažejo značilno kalcij-magnezij-hidrogenkarbonatno sestavo podzemnih vod vodarne Brest. V globokih vodnjakih (VD Brest-1a in VD Brest-2a) je opazna nekoliko višja koncentracija magnezija v primerjavi s kalcijem, kar kaže na nekoliko večji vpliv dolomitnega zaledja. Vodnjaki vzhodnega roba vodarne (VD Brest-9, VD Brest-8 in VD Brest-7) imajo različno dinamiko v primerjavi z osrednjim delom vodarne, kjer teče glavina toka podzemne vode, kar se odraža v višji koncentraciji kalcija na vzhodnem območju. Koncentracija sulfata in klorida je v primerjavi s karbonatno komponento zanemarljiva, podrobni pregled pa pokaže tudi razlike med drugimi anorganskimi komponentami, katerih delež je v primerjavi s karbonatnim nižji (nitrat).



Slika 10: Piperjev diagram za ponazoritev anorganske sestave vodnjakov vodarne Brest po prvem tednu črpalnega poskusa s črpanjem 54 l/s iz VD Brest-1a. Odvzem 26.10.2009

Figure 10: The Piper diagram: The inorganic composition of groundwater in the wells of waterfield Brest after one week when the abstraction on VD Brest 1a was 54 l/s.. The sampling time: 26.10.2009

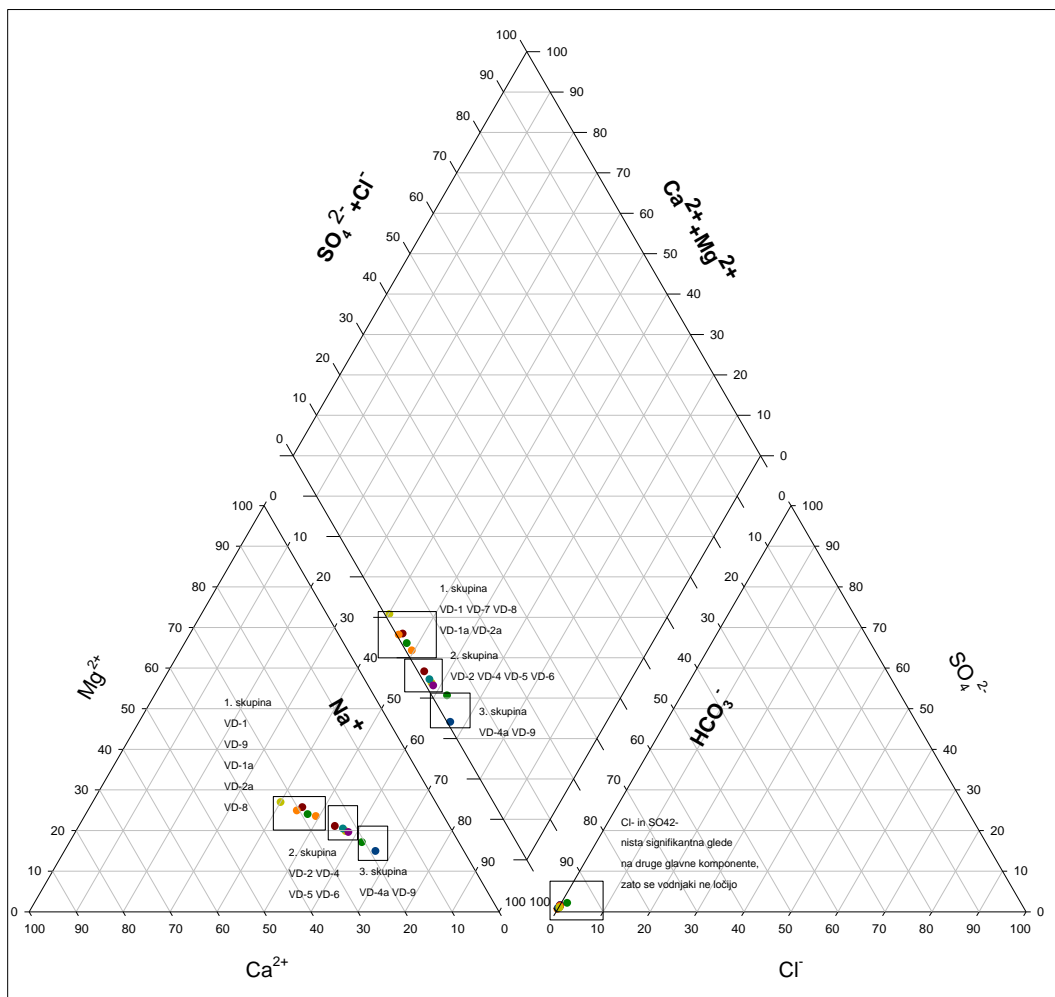
Pomembnejših sprememb v koncentraciji osnovnih kationov in anionov v času črpalnega poskusa ne opazimo, šele podrobnejši pogled pa pokaže razlike v koncentracijah, ki jih lahko pripišemo tudi spremenjeni dinamiki črpanja.



Slika 11: Piperjev diagram za ponazoritev anorganske sestave vodnjakov vodarne Brest med črpalnim poskusom. Črpanje VD Brest 1a 54 l/s in VD Brest 2a. Odvzem 2.11.2009

Figure 11: The Piper diagram: The inorganic composition of groundwater in the wells of waterfield Brest when abstraction on VD Brest 1a was 54 l/s and VD Brest 2a was in operation. The sampling time: 2.11.2009

Pomembna ugotovitev po vključitvi VD Brest-2a je, da se razmerje magnezija proti kalciju v obeh globokih vodnjakih (VD Brest-1a in VD Brest-2a) premakne v smeri večjega deleža kalcija, kar kaže na drugačno sestavo vod. Hkrati se razmerje v plitvem vodnjaku VD Brest-9, na območju katerega se pričakuje povezava, pomakne v drugi smeri, kar lahko povežemo tudi s padavinskimi dogodki v začetku novembra.

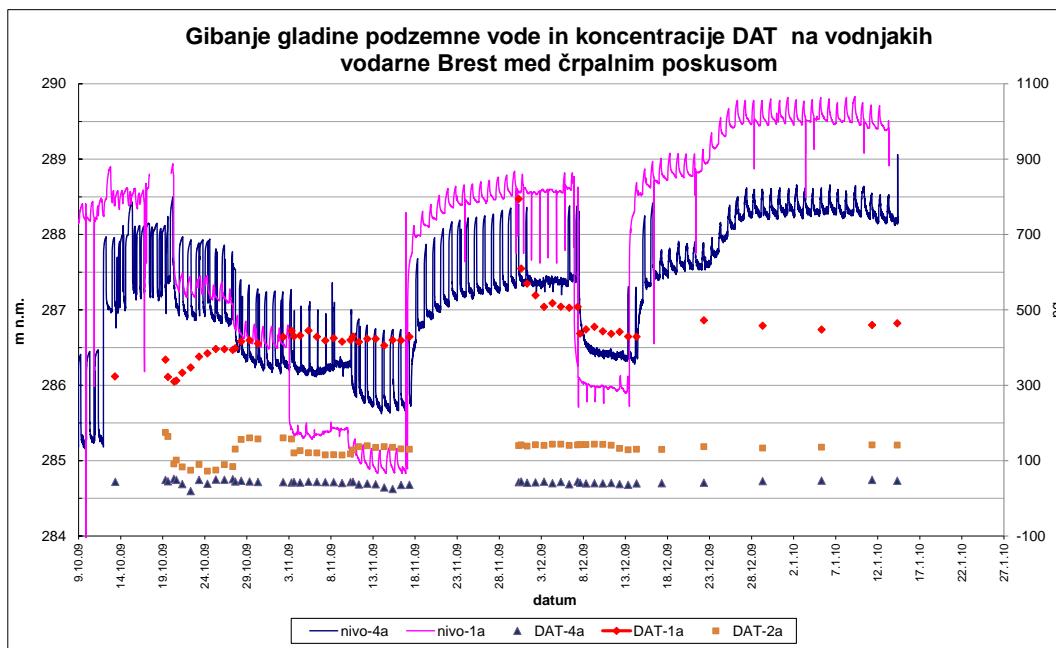


Slika 12: Piperjev diagram za ponazoritev anorganske sestave vodnjakov vodarne Brest med črpalnim poskusom. Črpanje VD Brest-1a 100 l/s in izklop VD Brest-2a. Odvzem 9.11.2009.

Figure 12: The Piper diagram: The inorganic composition of groundwater in the wells of waterfield Brest when abstraction on VD Brest 1a was 100 l/s and VD Brest 2a was out of operation. The sampling time: 9.11.2009

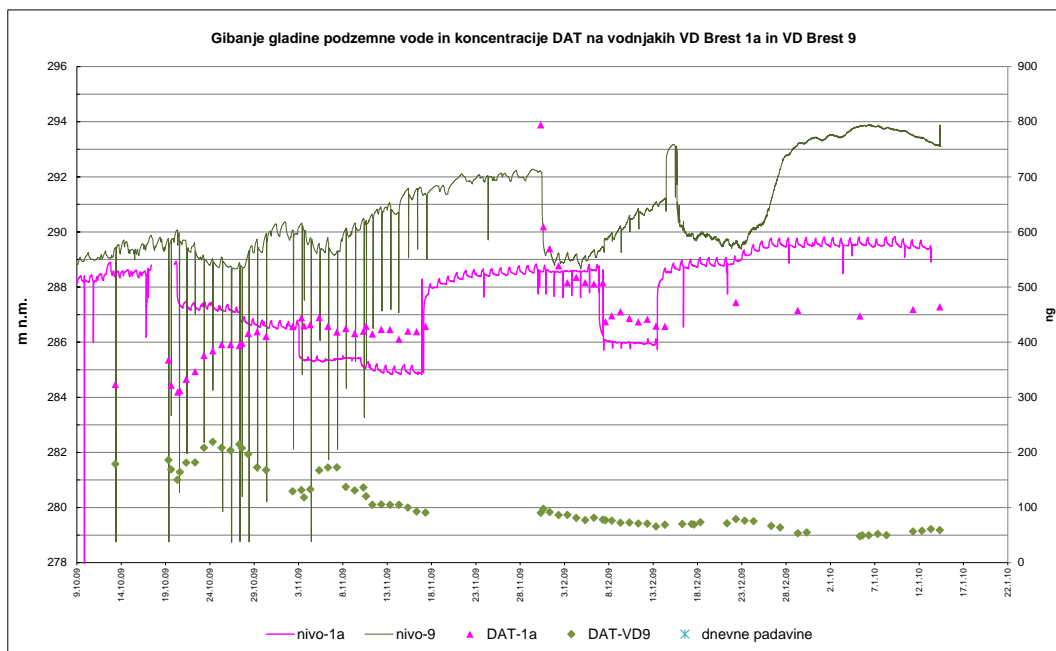
Zgoraj naveden diagram velja za obdobje po izključitvi VD Brest-2a in intenzivnejši vključitvi VD Brest-1a z 100 l/s. Sestava se ne razlikuje pomembno od ničelnega stanja. Pomembna ugotovitev je, da je podzemna voda globokih vodnjakov ponovno pridobila večji delež vode dolomitnega izvora. Sklepamo lahko, da so se razmere po več spremembah v črpalnem režimu in pri višji kapaciteti črpanja nekoliko ustalile. (Auersperger, 2011).

5. 3 Rezultati črpalnega poskusa – spreminjanje koncentracij atrazina in desetilatrazina



Grafikon 26: Spreminjanje koncentracij DAT pri različnih režimih črpanja iz vodnjakov VD Brest 1a in VD Brest 4a

Graph 26: The change of DAT concentrations at different abstraction regims on VD Brest 1a and VD Brest 4a



Grafikon 27: Padanje koncentracij ATR in DAT na VD Brest 9 v času črpalnega poskusa

Graph 27: The DAT concentration decline inside VD Brest 9 during the pumping test

5.4 Matematično modeliranje črpalnega poskusa

Z matematičnim modeliranjem smo želeli dobiti informacijo, od kod prihaja onesnaženje v VD Brest 1a (kje je vir onesnaženja in kakšna je dinamika potovanja onesnažene podzemne vode v smeri vodarne Brest).

5.4.1 Teoretična izhodišča

Uporabili smo model FeFlow 6.1, ki za reševanje diferencialne parcialne enačbe toka in transporta uporablja metodo končnih elementov (MKE). Metoda sloni na aproksimaciji enostavnih diferencialnih enačb, ki nadomestijo parcialno diferencialno enačbo. Model v verziji 6.1 omogoča izdelavo več plastovnih modelov, ki imajo enako gostoto mreže po vseh plasteh.

FeFlow tako za tok, transport snovi kot tudi toplote pozna naslednje pomembne robne pogoje:

- Dirichlet-ov robni pogoj (1) poznan tudi kot robni pogoj prvega reda (I. red). Zanj je značilno, da predstavlja konstantno nivojsko mejo na območju postavitve, kar ima lahko za posledico dotok ali iztok nenormalno velike količine vode v model oz. iz modela. Zaradi svoje »nesposobnosti«, da se prilagodi ga imenujemo tudi trda meja. Uporablja se tam kjer vemo, da ima reka dober stik s poroznim medijem ali na robovih kjer vemo, da je nivo podzemne vode praktično konstanten.

$$h(x_i, t) = h_1^R(t) \quad \in \quad G_1 \times t[0, \infty) \quad (\text{enačba 10})$$

- Neumann-ov robni pogoj (robni pogoj II. Reda, 2), ki določa dotoke in odtoke v ali iz modela na osnovi spremembe hidravličnega gradienta. Gre za mehko hidrodinamično mejo, ki dotoke prilagaja v odvisnosti od spremembe v hidravličnem gradientu. Ta pogoj je zelo primeren za uporabo simuliranja dotokov podzemne vode iz nagnjenega pobočja v telo vodonosnika. Slabost je lahko znatno podcenjena količina vode in hitrosti podzemne ga toka v ali iz modela.

$$q(x_i, t) = q_h^R(t) = -K_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} n_i \quad \in \quad G_2 \times t[0, \infty) \quad (\text{enačba 11})$$

- Cauchy-ev (3) robni pogoj (III. Reda), ki se uporablja za določanje vplivov površinskih vodotokov na podzemno vodo v vodonosniku. V primerih zelo prepustnih rečnih sedimentov je bolje uporabljati pogoj I. reda v katerega ta robni pogoj preide, če je vpliv kolmatacije zelo majhen. V FeFlow-u ta robni pogoj deluje le, če so podane vrednosti prenosa v ali iz vodonosnika

$$q(x_i, t) = -\Phi_h \frac{\partial h}{\partial x_j} (h_2^R - h) \quad \in \quad G_3 \times t[0, \infty) \quad (\text{enačba 12})$$

- Vodnjak (črpalni ali nalivalni) predstavlja robni pogoj IV reda. Uporablja se za ponazoritev črpanih in/ali injektiranih količin podzemne vode na točkovnih mestih.
- Površinsko napajanje se uporablja za ponazoritev infiltracije

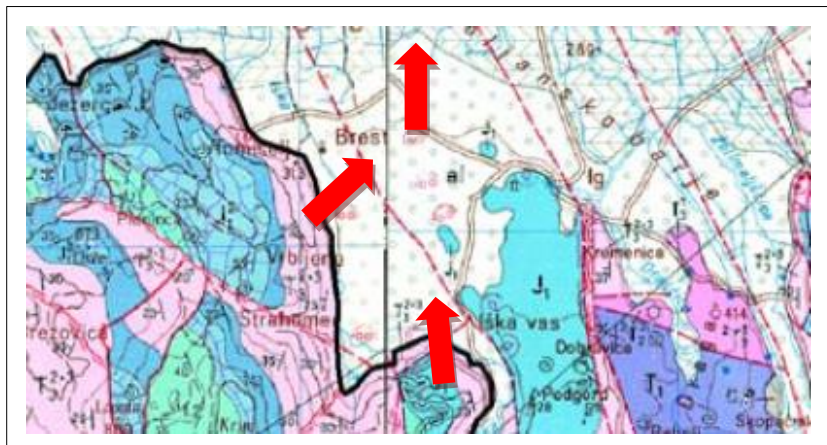
5.4.2 Konceptualni model in vhodni parametri

Konceptualni model vodonosnikov Iškega vršaja je zasnovana na osnovi poznavanja geološke in hidrološke situacije podzemnih in površinskih vod. Za postavitev koncepta so pomembne ugotovitve, da se pleistocenski in holocenski sedimenti nahajajo v karbonatni globeli, ki jo na zahodu in jugu gradijo triasni dolomiti, na vzhodu pa jurski apnenci. Krimsko hribovje predstavlja dober zbirnik padavin, ki padavinsko vodo zbira v svojih karbonatnih plasteh, ta pa odvisno od kraja in hidrološke situacije napaja kvartarne sedimente na področju Ljubljanskega Barja (Vižintin, 2010).

Drugi pomemben dejavnik, ki vpliva na količine podzemne vode na temu območju je reka Iška, ki ima hudourniški značaj. Sama reka Iška je v stiku s podzemno vodo zgoraj ležečih holocenskih sedimentov in ima pomembno vlogo pri zagotavljanju vode vodnjakom zahodnega dela vodarne Brest na Iškem vršaju v holocenskem delu.

Da razumemo dinamiko podzemne vode na Iškem vršaju, je predvsem pomembno vedeti ali z vrtalnimi deli odkrita glinena plast loči holocenski del vodonosnika od pleistocenskega ali ne?

Na območju Iškega vršaja imamo dva para piezometrov (Iš 1gl+Iš1 pl; Iš 6gl+Iš 6pl), kjer se gladina meri v holocenskem vodonosniku in v pleistocenskem vodonosniku. Primerjave grafikonov nam pokažejo, da je gladina podzemne vode v plitvih piezometrih višja kot v globokih piezometrih. Poleg razlike v nivojih lahko ugotovimo, da med njimi obstaja tudi razlika v razponu nihanja podzemne vode. Za matematični model je bila prevzeta hipotezo, da sta ti dve plasti ločeni z najmanj 2 m debelo glineno plastjo.

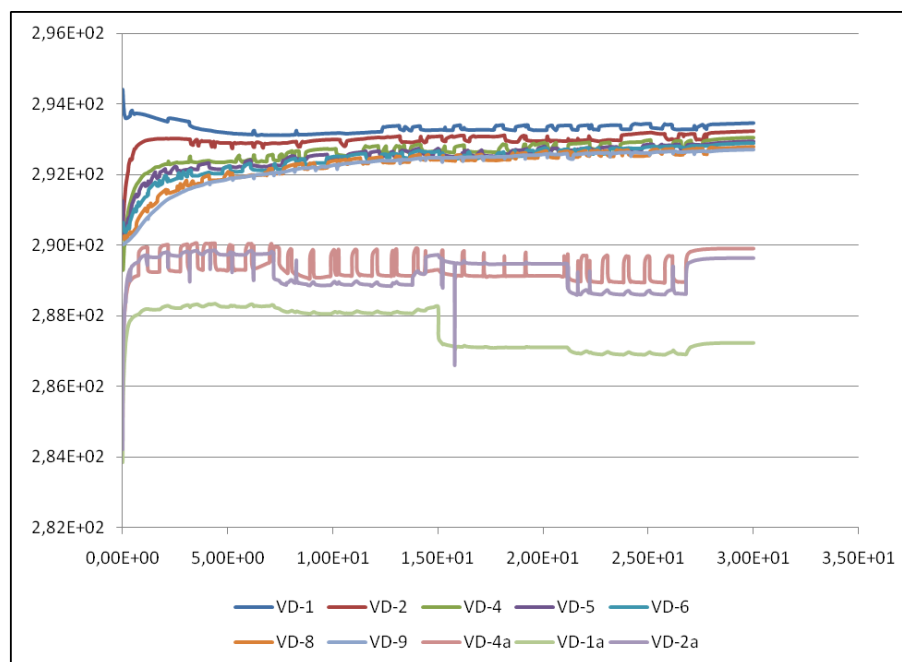


Slika 13: Prikaz generaliziranega konceptualnega modela vplivnega območja črpališča Brest za modelirano območje. Rdeče puščice kažejo generalno smer toka podzemne vode (Vižintin, 2010)

Figure 13: The generalised conceptual model for the modeled area of water field Brest. Red arrows show the direction of the groundwater flow

V modelu je upoštevana hidravlična prepustnost za zgornji pleistocenski vodonosnik 1×10^{-3} m/s in za spodnji pleistocenski vodonosnik 5×10^{-3} m/s. S temi vrednostmi se je doseglo najboljše ujemanje z izmerjenimi gladinami.

5.4.3 Rezultati modeliranja



Slika 14: Modelirane gladine podzemne vode (Vižintin, 2010)

Figure 14: Modeled groundwater levels (Vižintin, 2010)

Modelirane gladine ne ujamejo velikih znižanj merjene gladine podzemne vode na začetku črpanja (grafikon 13). Predvsem izstopata vodnjaka VD Brest 2 in VD Brest 9, kjer je ob vklopu črpalke gladine podzemne vode padla dobrih 10 m. Ta znižanja gladine so funkcija vodnjaka in sicer staranja in zmanjševanja njegove izdatnosti. S črpanjem in kombinacijo vključevanja in izključevanja črpalke, so se vodnjaki delno aktivirali. Žal, model tega pojava ne zna simulirati, zato se ujemanje z znižanji v danem primeru začne s časovnim zamikom, v fazi, ko se izdatnost vodnjakov izboljša zaradi delne aktivacije.

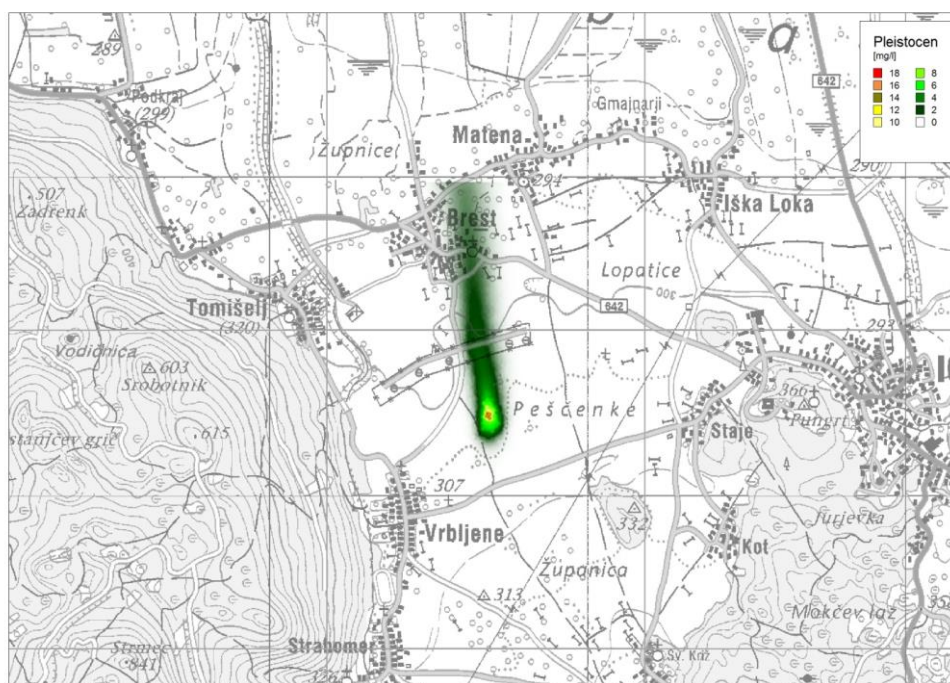
Za ponazoritev dotokov z juga in zahoda je za pleistocenski del vodonosnika izbrana pretočna meja (Neuman), ki je podana z Darcyjevo hitrostjo napajanja na dan, za holocenski del pa smo izbrali rečno mejo (Cauchy), ki ponazarja reko Iško. Vrednosti obeh mej so določene na osnovi tariranja modela, saj merjenih vrednosti na teh dveh mejah ni na razpolago. Za vrednosti črpanja iz vodnjakov, so v času tariranja modela uporabljene tiste, ki so bile določene s pomočjo daljšega črpanja, s ciljem, da se ugotovijo medsebojni hidrodinamični odnosi med posameznimi mejami na vplivnem območju Iškega vršaja.

V času umerjanja modela se je izkazalo, da se mora modelski plasti, ki je imela na začetku umerjanja modela vrednosti $k=10^{-9}$ m/s, le to dvigniti za 1000 krat, saj so v nasprotnem primeru prevelika odstopanja med izračunanimi in merjenimi nivoji podzemne vode. Pri umerjanju matematičnega modela, se je postavilo vprašanje ali je t.i. glinena plast sploh prisotna, saj se je zdelo, da je razlika v

nivojih bolj posledica razlik v koeficientu prepustnosti, kot pa vpliva neke zvezne glinaste plasti med holocenskimi in pleistocenskimi sedimenti. Po umeritvi modela na NRMS pod 5% je vrednosti prepustnosti za holocenske sedimente 5×10^{-3} m/s, za pleistocenske pa 1×10^{-3} m/s. Začetne vrednosti so bile tako za holocen kot pleistocen 1×10^{-2} m/s.

Ker je že vso obdobje, odkar so se v vodnjaku VD Brest 1a pojavile zelo visoke koncentracije DAT, prisotno vprašanje od kod prihaja to onesnaženje, je bil narejen tudi transportni model. Vrednost molekularne difuzije v transportnem modelu ima vrednost 1×10^{-9} m²/s. Za longitudinalno disperzijo so bile privzete vrednosti od 5 do 50, za transverzalno pa od 0,5 do 5.

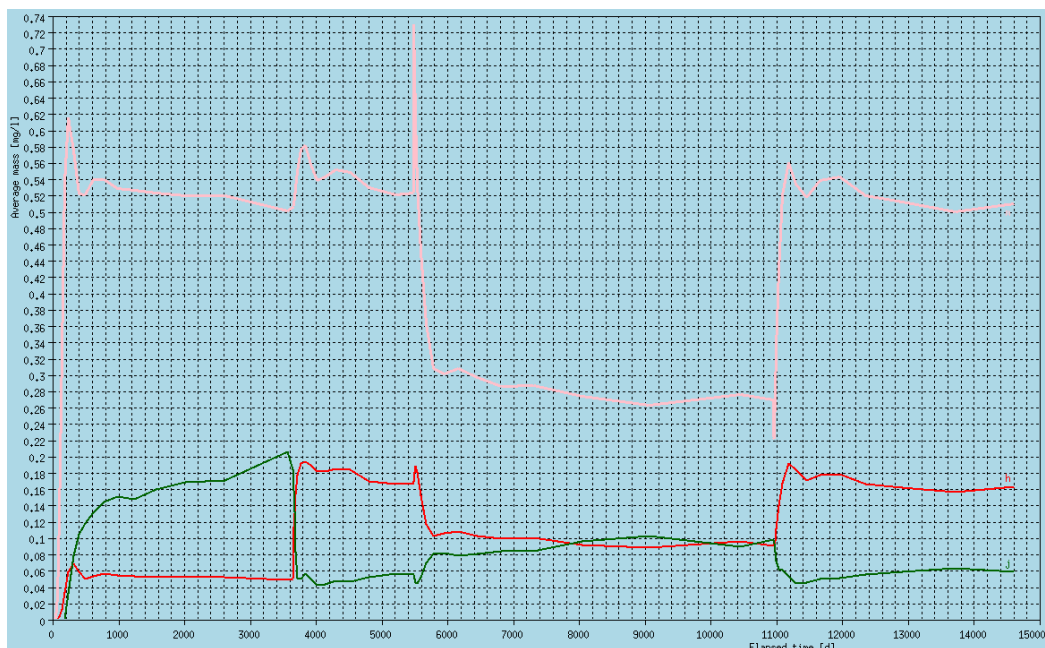
Izvedenih je bilo več simulacij različnih scenarijev, katerim je skupno to, da so bile za izhodišče onesnaženja prevzete lokacije, ki so prikazane na sliki 1. Prvotni scenariji so vsebovali aplikacijo onesnaženja po celotnem območju, kjer se je v preteklosti gojila koruza. V temu primeru so izračunane koncentracije DAT močno presegle izmerjene vrednosti v vodnjakih, pa tudi oblak onesnaženja je zajemal tudi tiste vodnjake, ki v realnosti niso bili prekomerno onesnaženi.



Slika 15: Prikaz izračuna koncentracij DAT za pleistocensko plast (Vižintin, 2010)

Figure 15: The DAT concentration simulation for the Pleistocene aquifer (Vižintin, 2010)

Najboljše rezultate je dala simulacija, kjer je območje aplikacije fitofarmaceutskih sredstev, ki vsebujejo aktivno snov atrazin, prostorsko omejeno in v bližini vodnjaka VD Brest 1a.



Slika 16: Izračunane koncentracije DAT (roza črta = VD Brest 1a, rdeča črta = VD Brest 9, zelena črta = VD Brest 2a) (Vižintin, 2010)

Figure 16: Calculated DAT concentration (pink line = VD Brest 1a, red line = VD Brest 9, green line = VD Brest 2a) (Vižintin, 2010)

Slika 16 prikazuje izračunane spremembe koncentracije DAT tekom črpalnega poskusa v globokih vodnjakih VD Brest 1a in VD Brest 2a ter v plitvem vodnjaku VD Brest 9. Iz grafikona je razvidno, da prihaja do medsebojnih vplivov med vodnjaki, saj se pri spreminjanju režima črpanja na vodnjaku VD Brest 1a spreminjajo koncentracije DAT na vodnjakih VD Brest 2a in VD Brest 9. Še posebej presenetljiv je vpliv črpanja na VD Brest 1a na padanje koncentracije DAT v VD Brest 9.

6 ZAKLJUČEK

Vodarna Brest je vključena v sistem javne oskrbe s pitno vodo od leta 1987. Zbrani in analizirani so podatki o načrpanih količinah za obdobje 1987-2015 (Priloga 2). Iz grafikonov je razvidno, da se sistem obratovanja vodarne in črpalne količine v obdobju 1987-1994 razlikujejo od tistega v kasnejšem obdobju (1995-2015). Osnovni parameter na katerem sloni delovanje vodarne je izhodni tlak in obratovalne ure črpalnik. Žal se nikoli do sedaj režim črpanja ni prilagajal hidrološkim razmeram, kar je nedvomno vplivalo tudi na kakovostno stanje podzemne vode.

Do l. 2004 se je neprekinjeno črpalo iz globokega vodnjaka VD Brest 1. Istočasno so delovali še trije plitvi vodnjaki, ki so se vključevali avtomatično po algoritmu obratovalnih ur. Zaradi onesnaženja plitvih vodnjakov (VD Brest 4, VD Brest 5 in VD Brest 6) z metolaklorom v l. 2004, se je spremenil režim črpanja, saj so ti vodnjaki bili izključeni od februarja do septembra 2004.

Poleti 2004 so v zelo kratkem obdobju narasle koncentracije DAT v VD Brest 1a in dosegle vrednost 543 ng/l. Črpanje iz vodnjaka se je prekinilo in bil je izključen iz vodovodnega sistema oskrbe s pitno vodo.

Leta 2005 je ponovno prišlo do sprememb v sistemu črpanja, saj so bili zaradi neodgovornega ravnanja onesnaženi s TCE plitvi vodnjaki VD Brest 1, VD Brest 2 in VD Brest 3.

Na zelo občutljiv vodonosni sistem Iškega vršaja, nas opozori tudi analiza meritev gladin podzemne vode. Po dogodkih v septembru 2010 (poplave, izginutje Iške, potres), sledimo večje amplitude nihanja podzemne vode. Sledimo večje maksimume in minimume, čeprav je količina padavin primerljiva s predhodnimi leti. V sami vodarni Brest pa se od leta 2010 v sušnih obdobjih pojavlja problem nizke gladine podzemne vode v plitvih vodnjakih v zahodnem delu vodarne (VD Brest 1, VD Brest 2, VD Brest 3 in VD Brest 4).

V letu 2009 je bil izveden enomesečni črpalni poskus na VD Brest 1a z namenom, da se ugotovi kako različni režimi črpanja vplivajo na koncentracije DAT v vodnjakih vodarne Brest. Črpalni poskus je potekal po programu (Priloga 3).

V prvi fazi se je črpalo iz vodnjaka VD Brest 1a 50 l/s ter iz plitvih vodnjakov. Koncentracija DAT je v vodnjaku VD Brest 1a naraščala, v VD Brest 2a se je zmanjševala ter na VD Brest 4a ostala približno enaka, kakor pred zagonom VD Brest 1a (grafikon 25).

V naslednjem koraku se je črpalo le iz globokih vodnjakov. Tudi pri tej kombinaciji je koncentracija DAT v VD Brest 1a naraščala, naraščati pa je začela tudi v VD Brest 2a, n VD Brest 4a pa je bila nespremenjena.

V drugi fazi se je črpalo iz vodnjaka VD Brest 1a 100 l/s. V kombinaciji s črpanjem na plitvih vodnjakih je koncentracija DAT na VD Brest 1a ostala enaka, nekoliko je padla na VD Brest 2a in bila konstantna na VD Brest 4a. Ko pa so bili ponovno aktivni vsi trije globoki vodnjaki, je bila koncentracija DAT na VD Brest 1a nespremenjen, nekoliko se je povečala na VD Brest 2a in še vedno ostala nespremenjena na VD Brest 4a.

Največje presenečenje je bilo padanje koncentracije DAT na plitvem vodnjaku VD Brest 9 (grafikon 26). Ta plitvi vodnjak je oddaljen od VD Brest 1a 22 m in se nahaja v vplivnem radiju VD Brest 1a. V kombinaciji črpanja 50 l/s iz VD Brest 1a s črpanjem iz plitvih vodnjakov, je koncentracija DAT nekoliko narasla, nato pa v kombinaciji črpanja samo iz globokih vodnjakov padla. Enak vzorec se je ponovil, ko se je iz VD Brest 1a črpalo 100 l/s. V kombinaciji s črpanjem iz plitvih vodnjakov je koncentracija DAT v VD Brest 9 nekoliko narasla, nato pa v kombinaciji, ko se je črpalo le iz globokih vodnjakov, pričela padati in je padala tudi v kombinaciji, ko se je VD Brest 1a ustavil. Koncentracije DAT v vodnjaku VD Brest 9 so v času črpalnega poskusa padle do te mere, da se je vodnjak, po skoraj šestih letih mirovanja, vključil v vodovodni sistem.

Vrednost koeficienta elastičnega uskladiščenja kaže, da v spodnjem pleistocenskem vodonosniku gladina podzemne vode ni pod pritiskom. Dobra izdatnost vodnjaka VD Brest 1a kaže na napajanje iz zgornjega vodonosnika.

Padec koncentracij DAT v VD Brest 9 lahko razložimo s spremembo gradientov v času črpalnega poskusa. Med vodnjakoma VD Brest 9 in VD Brest 1a je gradient v smeri VD Brest 1a, kar pomeni da je v VD Brest 1a pritekala onesnažena voda iz VD Brest 9, v tega pa manj obremenjena voda, zato so koncentracije DAT padle.

Nedvomno vpliv črpanja podzemne vode iz VD Brest 1a na spremembe koncentracij DAT v VD Brest 9 kaže na hidrodinamično povezavo med pleistocenskim in holocenskim vodonosnikom ter tako zavrača konceptualni model vodonosnikov Ljubljanskega barja (Mencej, 1990 a).

To so potrdili tudi rezultati matematičnega modela. Ko je bila v model vnesena neprepustna plast gline med zgornjim in spodnjim pleistocenskim vodonosnikom, so modelirane gladine podzemne vode preveč odstopale od merjenih. Ko pa je neprepustna plast postala slabo prepustna, so se modelirane gladine podzemne vode ujele z merjenimi (Slika 13).

Ta dinamičen model je bil osnova za izdelava transportnega modela, ki je dal zelo dobre rezultate, saj so modelirane koncentracije bile v velikosti izmerjenih.

Rezultat meritev, analiz in raziskav po letu 2009, je izdelava geološkega profila na območju Iškega vršaja (Priloga 5). Na območju Iškega vršaja ni potrjena zvezna glinast, ki bi ločevala zgornji pleistocenski vodonosnik od spodnjega. Pojavljajo se večje leče gline, melja in peska, s manjšo hidravlično prevodnostjo. Tak geološki model nam delno pojasni mehanizme širjenja onesnaženje z DAT v spodnje vodonosno plasti. Še vedno pa ostaja odprto vprašanje, kje natančno je vir onesnaženja in kako velik je.

7 SUMMARY

Water field Brest has been a part of public water supply since 1981. The master's thesis contains gathered and analysed abstraction data for the period between 1987-2015 (Appendix 2). It can be seen from the graphs that operation technique of water field Brest in the period between 1987-1994 differs from operation during the period 1995-2015. The operating technique of water field Brest is based on the pressure and on the number of pump operating hours. Unfortunately the abstraction regime was never adapted to the groundwater hydrological conditions and this potentially influenced the groundwater quality.

Until 2004 the well VD Brest 1a was continuously in operation. At the same time three shallow wells were automatically included in the system by algorithm based on the operating hours. In 2004 the groundwater pollution with metolachlor was detected in the shallow wells (VD Brest 4, VD Brest 5 and VD Brest 6) and the operating technique of water field changed.

In the summer 2004 the DAT concentrations rose in a very short period of time inside the well VD Brest 1a and they reached the value of 543 ng/l. The groundwater abstraction from the well stopped in the well was excluded from the public water supply system until September 2004.

In 2005 there was a regime change again as the groundwater in shallow wells VD Brest 1, VD Brest 2 and VD Brest 3 was polluted with TCE.

The sensitivity of the aquifers of Iška fan is evident also from groundwater level fluctuation analysis. After the events in September 2010 (floods, disappearance of river Iška, earthquake) we can see greater amplitude in groundwater level fluctuation. There are higher maximum and lower minimum values despite the yearly amount of precipitation being very similar to those from the previous years. From 2010, during dry periods, we can observe very low groundwater level in the shallow wells in the western part of water field Brest (VD Brest 1, VD Brest 2, VD Brest 3 and VD Brest 4).

In 2009 a pumping test was performed. Groundwater was pumped for one month with the aim to define how the combination of different pumping regimes from shallow and deep wells have influence on DAT concentration in groundwater inside particular well (Appendix 3).

During the first phase of the pumping test 50 l/s of water was pumped from VD Brest 1a and the shallow wells. The DAT concentration in deep well VD Brest 1a was increasing in the VD Brest 2a decreasing and inside the VD Brest 4a remained unchanged (Graph 25).

During the next step of the pumping test water was abstracted from the deep wells. With this particular combination of abstraction the DAT concentration in VD Brest 1a and VD Brest 2a was increasing but concentration of DAT in VD Brest 4a remained unchanged.

In the second phase of the pumping test 100 l/s of water was abstracted from VD Brest 1a. In combination with abstraction from the shallow wells the DAT concentration in well VD Brest 1a remained unchanged, concentration decrease inside the well VD Brest 2a and was constant inside VD Brest 4a. When abstraction took place from all three deep wells, the DAT concentration inside the well VD Brest 1a remained unchanged, but we could observe a small increase inside the well VD Brest 2a and the concentration remained unchanged inside VD Brest 4a.

The surprise was decreasing DAT concentration inside shallow well VD Brest 9 (Graph 26). This shallow well is 22 m away from well VD Brest 1a and lies inside a depression cone. When 50 l/s was abstracted from the deep well VD Brest 1a in combination with abstractions from the shallow wells we observed a slight increase of the DAT concentration. During the abstraction only from the deep wells the concentration of DAT decreased. The same pattern occurred when 100 l/s was abstracted from VD Brest 1a.

During the abstraction from the shallow wells the DAT concentration slightly increased in the VD Brest 9 but in the combination of abstraction only from the deep wells the DAT concentration started to decrease. The concentration was also decreasing when abstraction from VD Brest 1a stopped. The DAT concentration inside the well VD Brest 9 dropped below the maximum allowed concentration and the well put into production after six years.

A drop in the DAT concentration inside the well VD Brest 9 can be explained with the gradient change during the pumping test. Between the wells VD Brest 9 and VD Brest 1a the gradient dips towards the well VD Brest 1a. This means that polluted groundwater entered VD Brest 1a from VD Brest 9.

The groundwater abstracted from well VD Brest 1a has an effect on DAT concentration changes in well VD Brest 9 and suggests the hydraulic connection between Pleistocene and Holocene aquifer and rejects the existing conceptual model (Mencej, 1990a).

This connection was confirmed also with the mathematical model. When the model was updated with impermeable clay layer between upper and lower Pleistocene aquifer, there was to big discrepancy between measured and modelled groundwater level. When the impermeable layer was changed to lower permeable layer, the modelled groundwater levels matched the measured one (Figure 13).

The dynamical mathematical model was the basis for the transport model, which gave good results, because the modelled concentrations where the same values as measured.

The dynamic of the measurements, chemical analysis and hydrogeological researches after year 2009 have produced a new geological profile across the water field Brest. In the area of Iška fan the impermeable clay layer, that was supposed to separate the upper and lower Pleistocene aquifer, was

not confirmed. The lenses of clay, silt and sand with lower hydraulic conductivity are detected. Such a geological model partially explains the mechanism of spreading DAT pollution into deeper layers of the aquifer. However a question still remains where the pollution is coming from and how big the source of pollution is itself.

VIRI

ARSO, Arhiv meteoroloških podatkov. URL:

<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydIJWblR3LwVnaz9SYtVmYh9iclFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZulWYnwCchJXYtVGdlJnOn0UQQdSf;>

Ahmed N., Taylor S.W., Sheng Z. 2014. Hydraulics of Wells, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No.127. Reston, Virginia: 491 str

Auersperger, P., Kalšek, I., Kozjek, M., Lah, K., Predanič, M., Ščavničar, M., Vidic, B., Virant, J. 2010. Rezultati fizikalno-kemijskih preskušanj v času črpalnega poskusa v vodarni Brest (2009). Ljubljana, JP VODOVOD-KANALIZACIJA d.o.o.. 69 str

Bračič Železnik, B. 2005. Analiza nivojev podzemne vode v osrednjem delu Ljubljanskega barja. Ljubljana, JP VODOVOD-KANALIZACIJA d.o.o. 23 str., 3 pril.

Brenčič M. 2011. Zakaj je izginila reka Iška. Ljubljana, Slovenski vodar. Letn. 23-24: str. 80-83

Breznik, M. 1975. Podtalnica Iškega vršaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 24 str

Breznik, M. 1975. Vodarna Brest v podtalnici Iškega vršaja. Ljubljana, Mestni vodovod Ljubljana, Razvojno-projektivni sektor:15 str., 10 tab., 14 slik, 1 pril.

Breznik, M.1983. Zmogljivost črpališča Brest v sušni dobi. Predhodna analiza. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 22 str

Breznik, M. 1984. Zmogljivost črpališča Brest v sušni dobi II del. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 57 str

Breznik, M.1986. Poročilo o stanju del pri izgradnji globokega vodnjaka na Brestu, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 3 str

Brilly, M. 1985. Matematični model vodonosnika Ljubljanskega barja III. Faza, Priprava podatkov – analiza poizkusnih črpanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo. 10str., 5 pril.

Brilly, M. 1985. Analiza poskusnega črpanja izvršenega na vrtini IŠ-4 od 31.7.1984 do 4.8.1984. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 5 str.

Cesar, A. 2008. Postopki čiščenja podtalnice onesnažene z atrazinom in njegovimi metaboliti. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Cesar): 90 str., 17 pregl., 43 sl., 20 en.

Driscoll, F.G. 1997: Groundwater and Wells, Second Edition, Published by U.S. Filter/Johnson Screens, St.Paul, MN 55112: p. 205-267

Horvat, A., Brenčič, M., Skaberne, D. & Bračič Železnik, B. 2013. Ocena hitrosti pogrezanja Ljubljanskega barja na območju Iškega vršaja v mlajšem pleistocenu, Geološki zbornik 2, 21. Posvetovanje slovenskih geologov, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo. 4: 43-46

Kristensen, M., Andersson, U., Sørensen, H.R., Refsgaard, A. & Gustavsson, L.G. 2000. Water resources management model for Ljubljansko polje and Ljubljansko barje. Final report. Hørsholm, Danish hydraulic Institut v sodelovanju z GeoZS, Hidroinženiring d.d. in Hydroconsulting d.o.o., Kopenhagen: 66 p, tab.12, fig. 40, app. 8

Lapajne, A., Meglič, P., Mali, N., Jež, J., Novak M., Jamšek Rupnik P., Atanackov, J., Celarc, B. 2016. Izdelava metodologije in pilotnega vnosa hidrogeološke karte M 1:25000. Tolmač hidrogeološke karte pilotnega območja Iškega vršaja. Zvezek 4. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije: 49 str

Melik, A. 1963. Ob dvestoletnici prvih osuševalnih del na Barju. Ljubljana. Acta Geographica, letnik 8: 5-64

Mencej, Z. 1989. Hidrogeološke raziskave za rezervne vodne vire za Ljubljano. Vrtina T-1/89 v Tomišlju. Geološki zavod Ljubljana: 3 str., 4 pril.

Mencej, Z. 1989. Raziskave podtalne vode na Ljubljanskem barju- Ljubljana, Geološki zavod Ljubljana : 36 str.

Mencej Z 1990a . Prodni zasipi pod jezerskimi sedimenti Ljubljanskega barja. Ljubljana. Geologija 31/32: 517-553

Mencej, Z. 1990b. Raziskave zgornjega prodnega vodonosnika Iške zahodno od vodarne Brest. Ljubljana, Geološki zavod Ljubljana: 19 str., 14 pril.

Nosan, A. 1959. Poročilo o hidroloških raziskovalnih delih pri Tomišlju. Ljubljana, Geološki zavod Ljubljana: 4 str., 2 pril.

Osnovna geološka karta M 1:100 000, list Postojna L 33-77, Beograd 1970

Osnovna geološka karta M 1:100 000, list Ribnica L 33-76, Beograd 1974

Pravilnik o pitni vodi. Uradni list.RS št.19/2004: 2155, 35/2004: 4137, 26/20006: 2751, 92/2006:3356 in 74/2015:8112

Petauer, D., Železnik, B., Štucin, P. 2010. Vodarna Brest. Analiza stanja plitvih vodnjakov. Ljubljana, GEORAZ d.o.o., Hidroinženiring d.o.o. 28 str., 32 pril.

Prestor J., Strojan, M., Hoetzl, M., Herič, J., Medić, M., Lapajne, A., Kranjc, S. 1998. Raziskave za nadomestitev vodarne Hrastje. Raziskave na Ljubljanskem barju I.faza. Črpalni poskus na globokih vodnjakih »Brest 97«. Izračun hidrogeoloških parametrov vodonosnika. Ljubljana, Geološki zavod Ljubljana: 11 str., 74 pril.

Pušić M. 2012. Hidraulika bunara. Beograd, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki fakultet, Beograd: 340 str.

Vižintin G. 2008. Hidravlika kaptažnih objektov podzemne vode in črpalnih poskusov v geoinženirstvu in geotehnologiji. Kamnine z medzrnsko poroznostjo I.del. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geotehnologijo in rudarstvo, Katedra za rudarska merjenja in geofizikalno raziskovanje: 113 str.

Vižintin G. 2010. Hidrodinamični in transportni model vodonosnikov Iškega vršaja na območju vodarne Brest na osnovi črpalnega poskusa. Ljubljana, HGEM: 35 str.

Žlebnik, L. 1985. Raziskave podtalne vode na Ljubljanskem barju III.faza. Letno poročilo. Ljubljana, Geološki zavod Ljubljana: 8 str

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: GLADINE PODZEMNE VODE NA OBMOČJU IŠKEGA VRŠAJA IN ŠIRŠEGA OBMOČJA VODARNE BREST	A1 - A9
PRILOGA B: NAČRPANE DNEVNE KOLIČINE PO VODNJAKIH	B1 – B8
PRILOGA C: PROGRAM ČRPALNEGA POSKUSA	C1 – C2
PRILOGA D: GIBANJE KONCENTRACIJ ATR IN DAT V VODNJAKIH VODARNE BREST MED ČRPALNIM POSKUSOM	D1 – D8
PRILOGA E: GEOLOŠKI PROFIL ČEZ VODARNO BREST	E1

LIST OF APPENDIXS

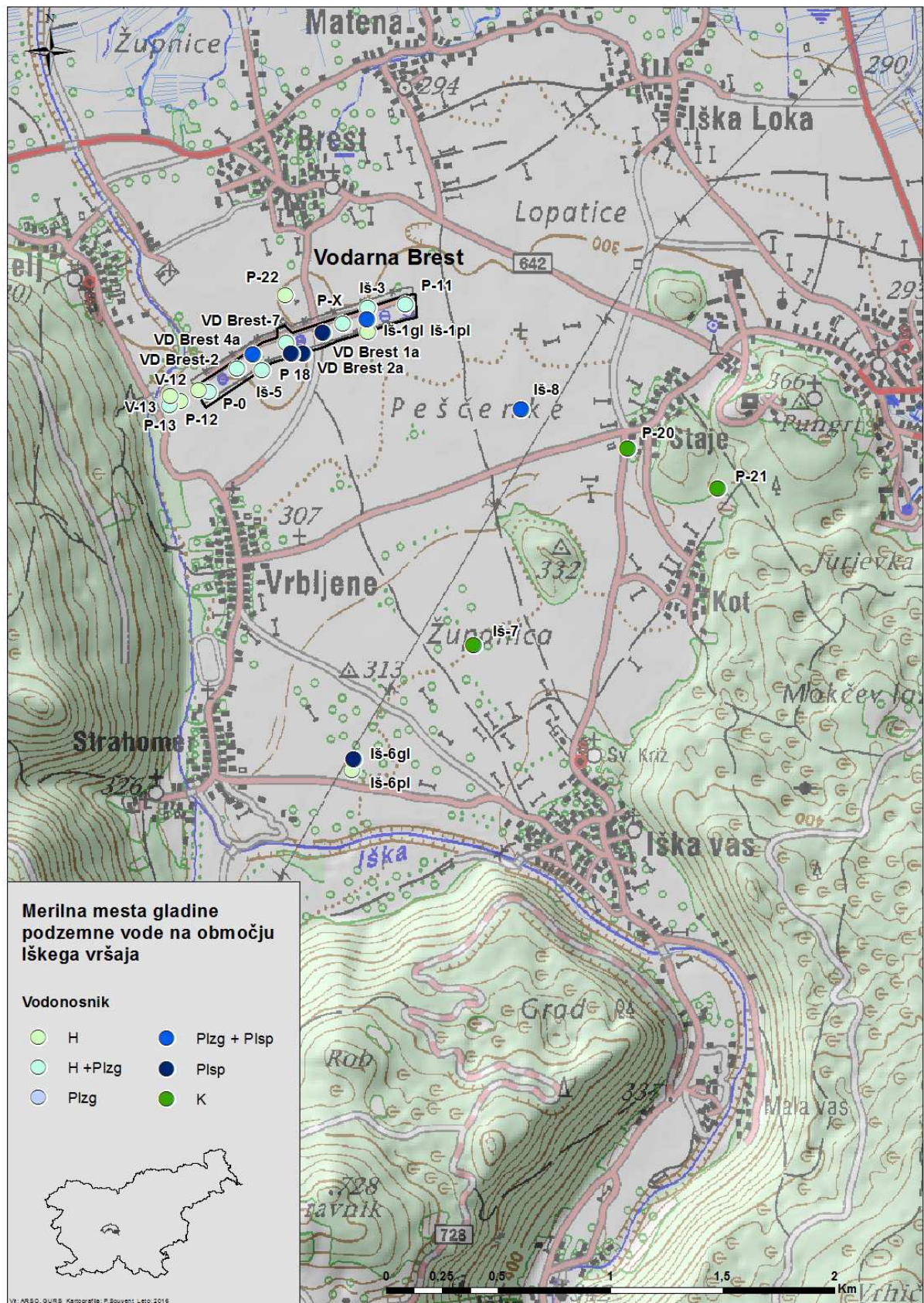
<i>APPENDIX A: THE GROUNDWATER LEVEL FLUCTUATION AT IŠKA FAN AREA</i>	<i>A1 – A9</i>
<i>APPENDIX B: THE AMOUNT OF ABSTRACTED WATER INSIDE INDIVIDUAL WELL</i>	<i>B1 – B8</i>
<i>APPENDIX C: PLAN OF PUMPING TEST</i>	<i>C1 – C2</i>
<i>APPENDIX D: ATR AND DAT CONCENTRATION AT WATER FIELD BREST DURING THE PUMPING TEST IN AUTUMN 2009</i>	<i>D1 – D8</i>
<i>APPENDIX E: THE GEOLOGICAL PROFILE ACROSS THE WATER FIELD BREST</i>	<i>E1</i>

PRILOGA A: GLADINE PODZEMNE VODE NA OBMOČJU IŠKEGA VRŠAJA IN ŠIRŠEGA OBMOČJA VODARNE BREST

Slika A 1: Merilna mesta gladine podzemne vode na območju Iškega vršaja	3
Slika A 2: Merilna mesta gladine podzemne vode na širšem vplivnem območju vodarne Brest	4
VODONOSNIK: 1 HOLOCEN	5
VODONOSNIK: 2 HOLOCEN IN ZGORNJI PLEISTOCEN	8
VODONOSNIK: 3 ZGORNJI PLEISTOCEN.....	12
VODONOSNIK: 4 ZGORNJE IN SPODNJE PLEISTOCENSKI.....	14
VODONOSNIK: 5 SPODNJI PLEISTOCEN	16
VODONOSNIK: 6 KARBONATNI.....	18
VODONOSNIK: 7 SEVERNO OBROBJE.....	19
Grafikon A 1: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš 1pl	5
Grafikon A 2: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš 6pl	5
Grafikon A 3: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P-12	6
Grafikon A 4: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P-22	6
Grafikon A 5: Gibanje gladine podzemne vode v vodnjaku V-12	7
Grafikon A 6: Gibanje gladine podzemne vode v vodnjaku V-13	7
Grafikon A 7: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš-3.....	8
Grafikon A 8: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš 5	8
Grafikon A 9: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P-13	9
Grafikon A 10: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P-0	9
Grafikon A 11: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P-11	10
Grafikon A 12: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P-X.....	10
Grafikon A 13: Gibanje gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 2.....	11
Grafikon A 14: Gibanje gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 7.....	11
Grafikon A 15: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru G-12.....	12
Grafikon A 16: Gibanje gladine podzemne vode na piezometru OP -1	12
Grafikon A 17: Gibanje gladine podzemne vode na piezometru Pb 2gl.....	13
Grafikon A 18: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš 8	14
Grafikon A 19: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš 1gl	14
Grafikon A 20: Gibanje gladine podzemne vode v piezometri PB 1gl.....	15
Grafikon A 21: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš 6gl.....	16
Grafikon A 22: Gibanje gladine podzemne vode piezometru P 18.....	16
Grafikon A 23: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P 19.....	17
Grafikon A 24: Gibanje gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 1a	17
Grafikon A 25: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš 7	18
Grafikon A 26: Gibanje gladine podzemne vode na piezometru P 20.....	18
Grafikon A 27: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P 21	19
Grafikon A 28: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru H1 (Pb-4/89).....	19

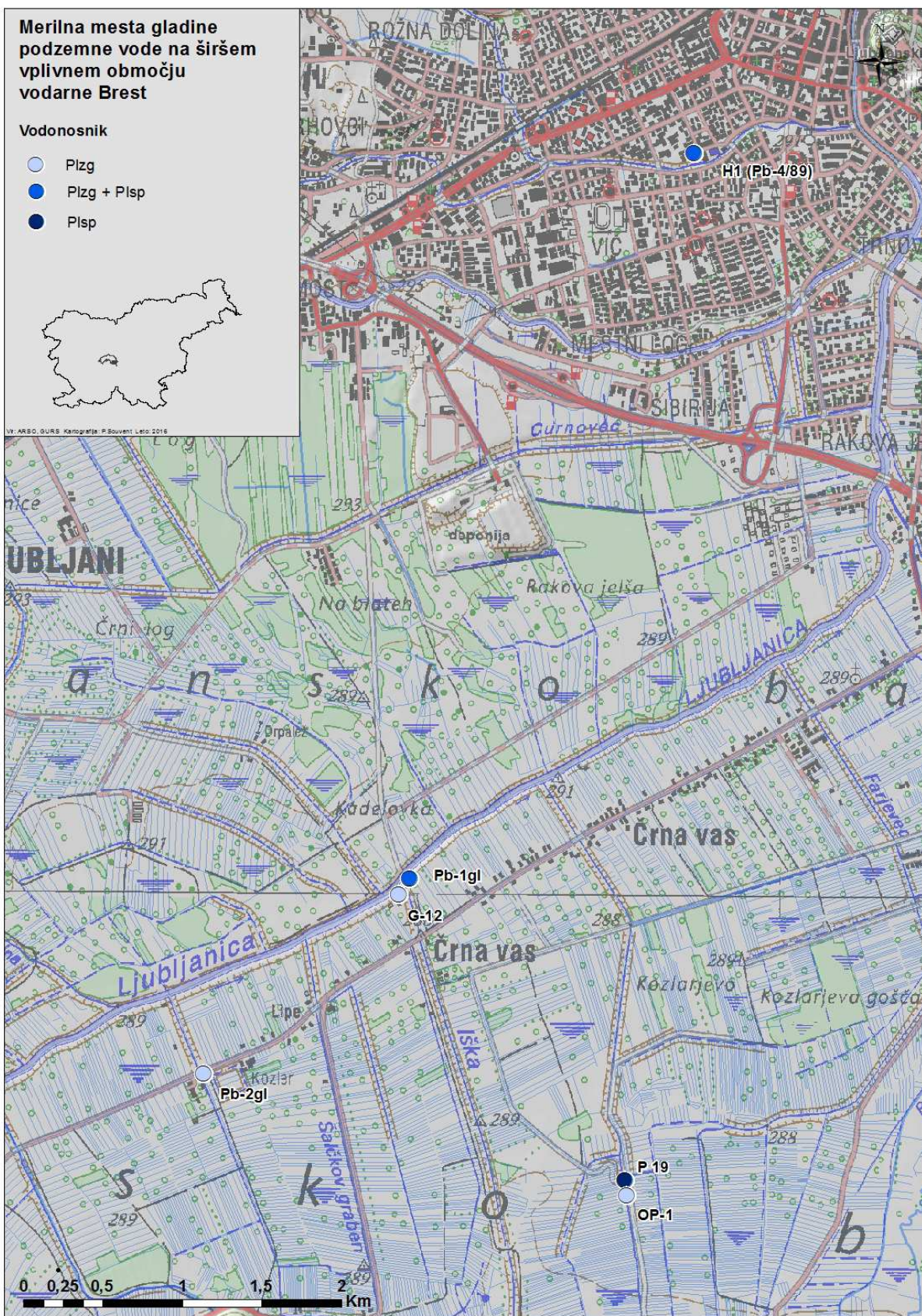
APPENDIX A: THE GROUNDWATER LEVEL FLUCTUATION AT IŠKA FAN AREA

<i>Figure A 1: The groundwater level monitoring locations at Iška fan</i>	3
<i>Figure A 2: The groundwater level monitoring locations on water field Brest recharge area</i>	4
AQUIFER: 1 HOLOCENE	5
AQUIFER: 2 HOLOCENE AND UPPER PLEISTOCENE	8
AQUIFER: 3 UPPER PLEISTOCENE	12
AQUIFER: 4 UPPER AND LOWER PLEISTOCENE	14
AQUIFER: 5 LOWER PLEISTOCENE	16
AQUIFER: 6 CARBONATES	18
AQUIFER: 7 THE NORTHERN OUTSKIRTS OF LJUBLJANA BARJE	19
<i>Graph A 1: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-1pl</i>	5
<i>Graph A 2: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš 6pl</i>	5
<i>Graph A 3: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-12</i>	6
<i>Graph A 4: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-22</i>	6
<i>Graph A 5: The groundwater level fluctuation inside the well V-12</i>	7
<i>Graph A 6: The groundwater level fluctuation inside the well V-13</i>	7
<i>Graph A 7: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-3l</i>	8
<i>Graph A 8: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-5</i>	8
<i>Graph A 9: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-13</i>	9
<i>Graph A 10: The groundwater level fluctuation in the piezometer Iš-1pl</i>	9
<i>Graph A 11: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-11</i>	10
<i>Graph A 12: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-1pl</i>	10
<i>Graph A 13: The groundwater level fluctuation inside the well VD Brest 2</i>	11
<i>Graph A 14: The groundwater level fluctuation inside the well VD Brest 7</i>	11
<i>Graph A 15: The groundwater level fluctuation inside the piezometer G-12</i>	12
<i>Graph A 16: The groundwater level fluctuation inside the piezometer OP-1</i>	12
<i>Graph A 17: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Pb-2gl</i>	13
<i>Graph A 18: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-1pl</i>	14
<i>Graph A 19: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-1gl</i>	14
<i>Graph A 20: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-1pl</i>	15
<i>Graph A 21: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-6 gl</i>	16
<i>Graph A 22: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-18</i>	16
<i>Graph A 23: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-19</i>	17
<i>Graph A 24: The groundwater level fluctuation inside the well VD Brest 10</i>	17
<i>Graph A 25: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-7</i>	18
<i>Graph A 26: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-20</i>	18
<i>Graph A 27: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-21</i>	19
<i>Graph A 28: The groundwater level fluctuation inside the piezometer H1 (Pb-4/89)</i>	19



Slika A 1: Merilna mesta gladine podzemne vode na območju Iškega vršaja

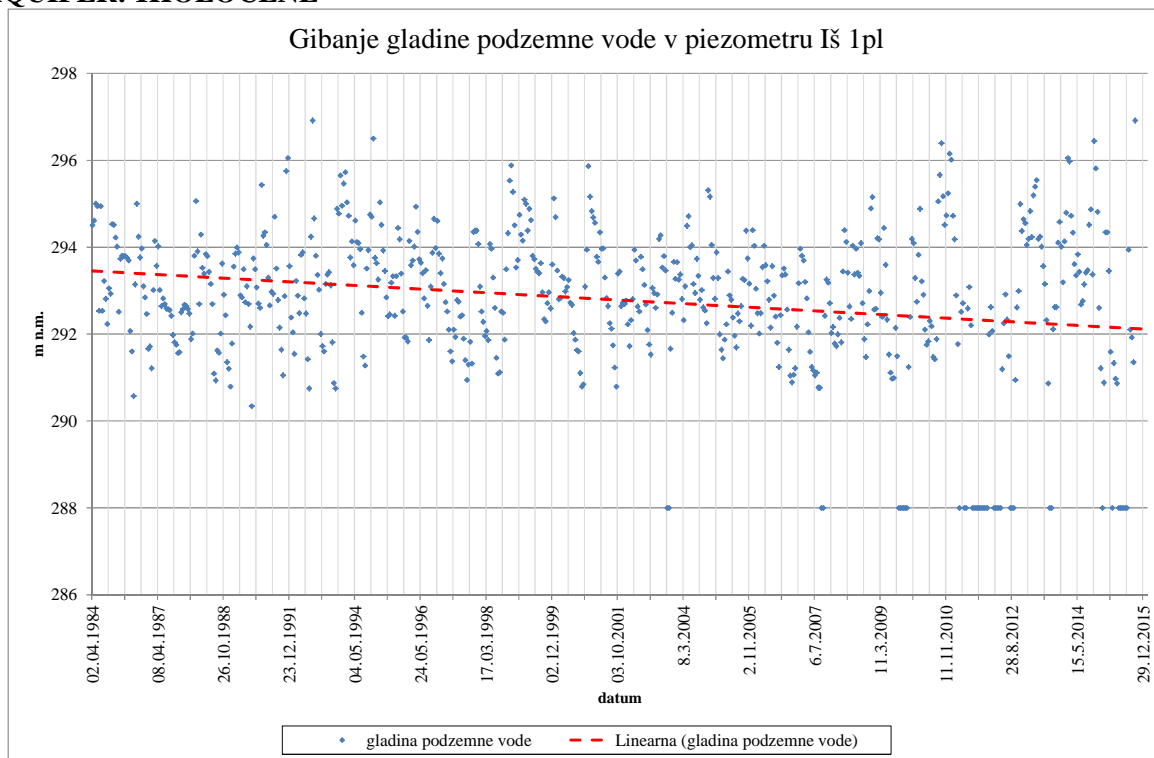
Figure A 1: The groundwater level monitoring locations at Iška fan



Slika A 2: Merilna mesta gladine podzemne vode na širšem vplivnem območju vodarne Brest

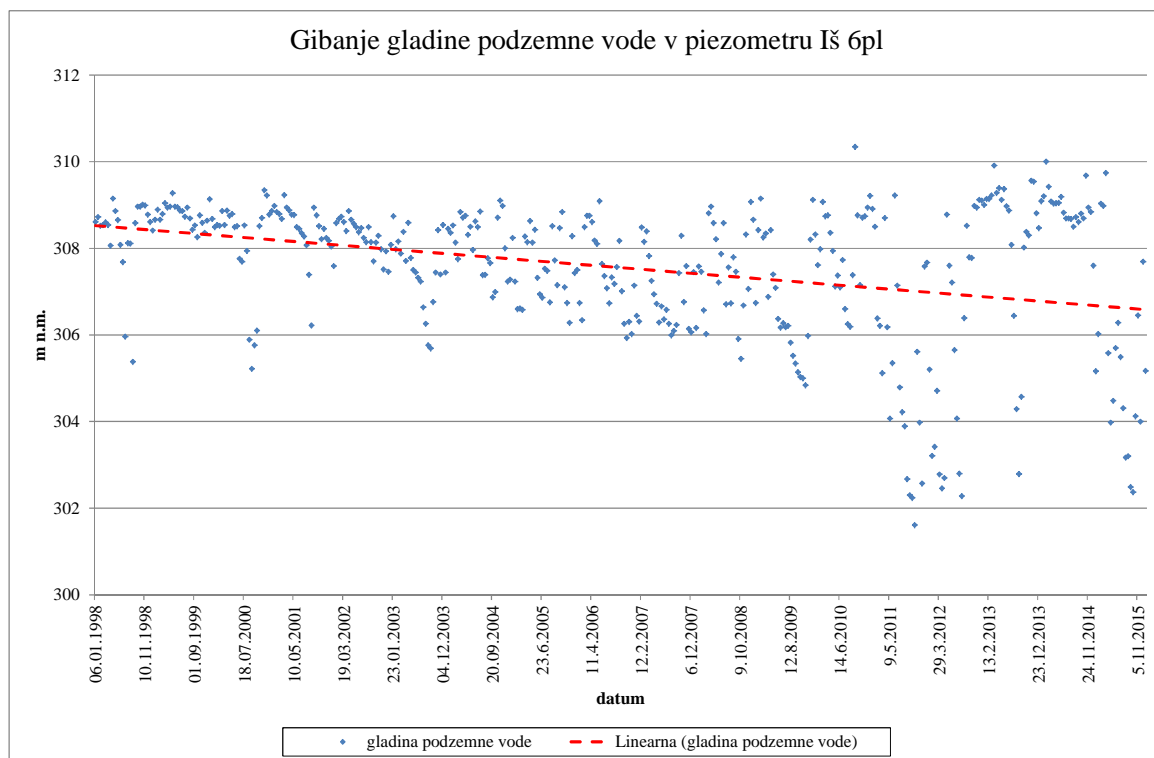
Figure A 2: The groundwater level monitoring locations on water field Brest recharge area

VODONOSNIK: 1 HOLOCEN
AQUIFER: 1HOLOCENE



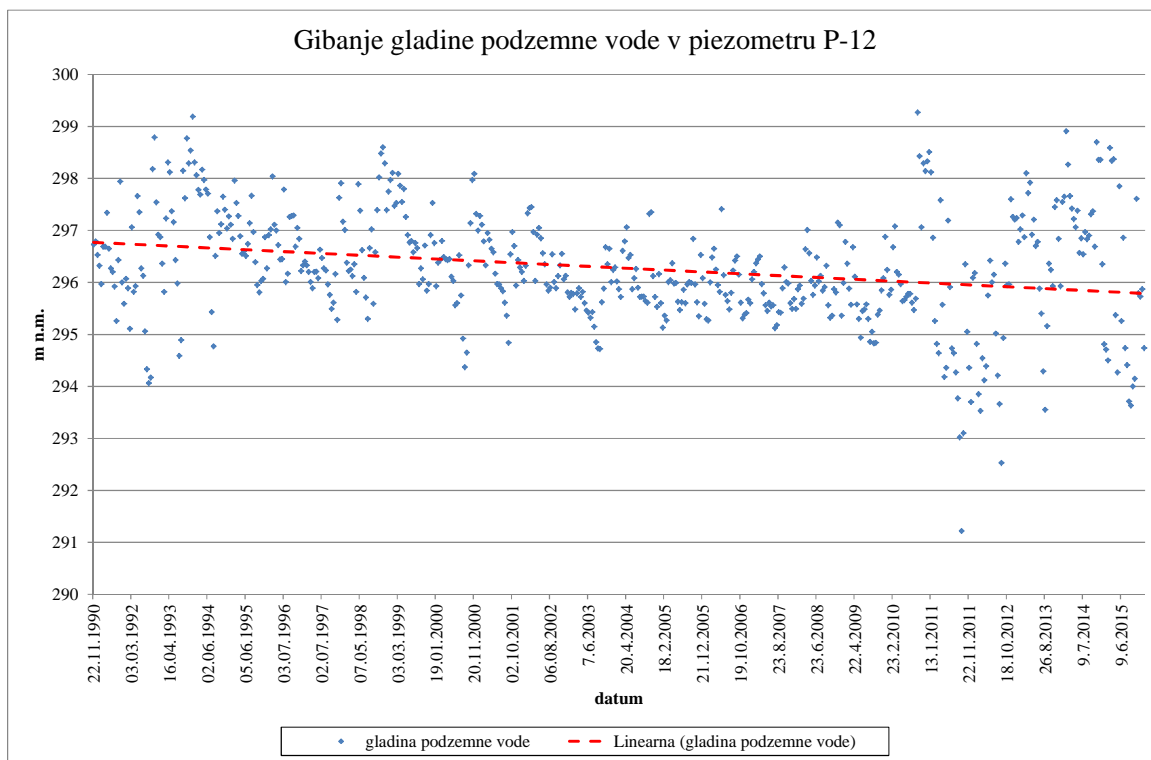
Grafikon A 1: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš 1pl

Graph A 1: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-1pl



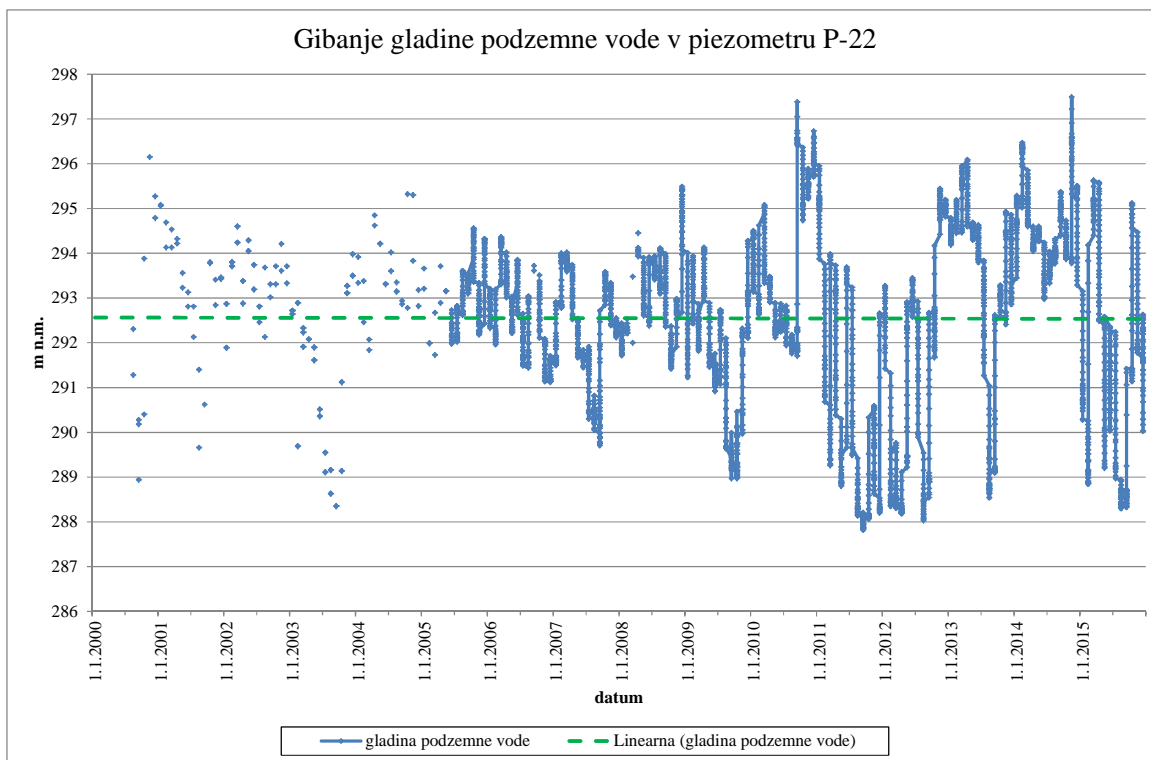
Grafikon A 2: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš 6pl

Graph A 2: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš 6pl



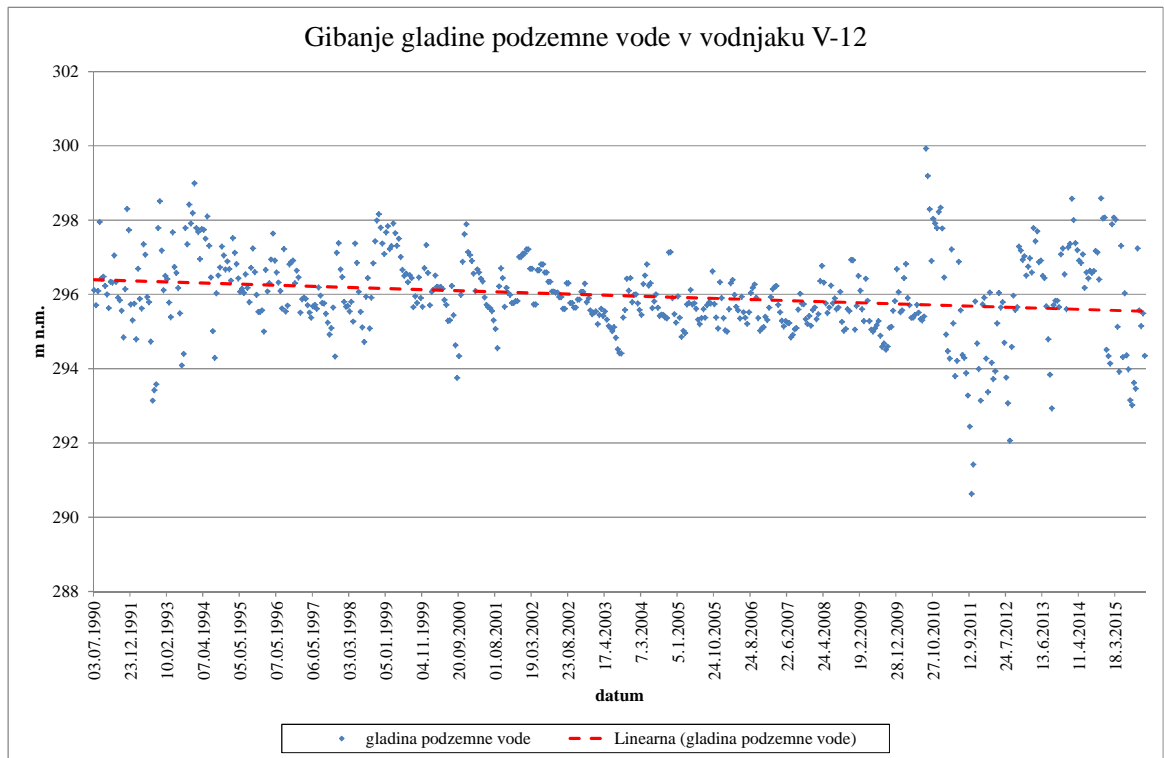
Grafikon A 3: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P-12

Graph A 3: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-12



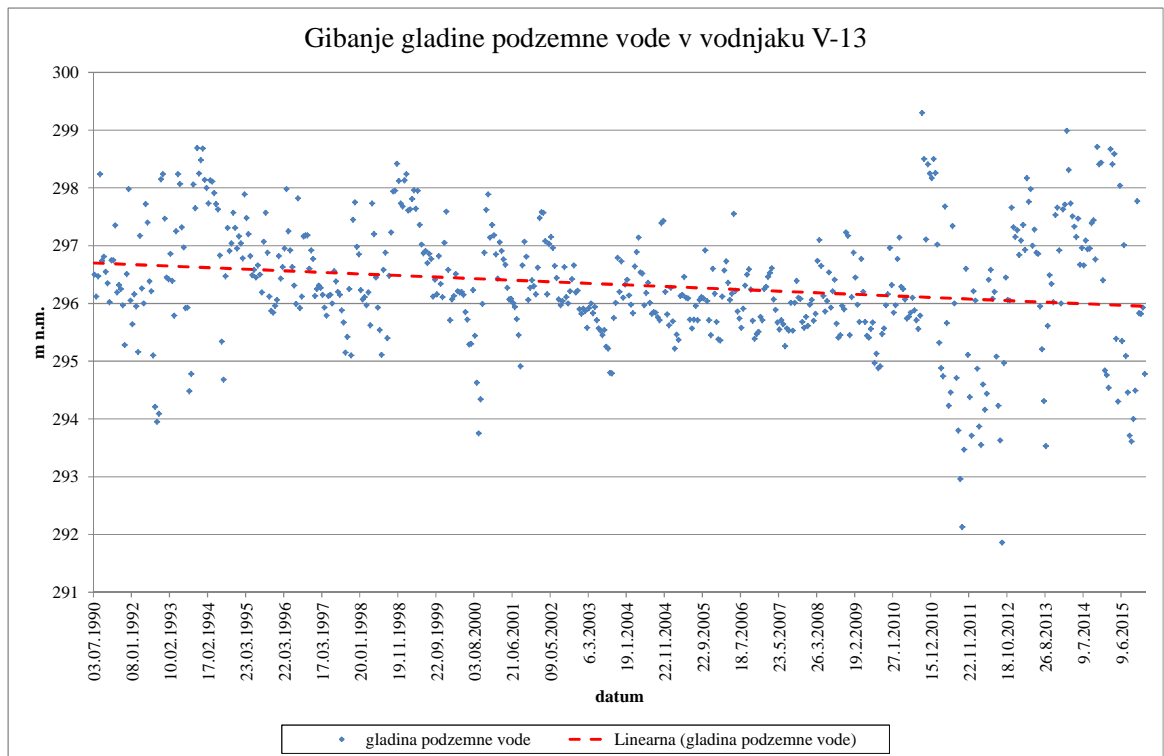
Grafikon A 4: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P-22

Graph A 4: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-22



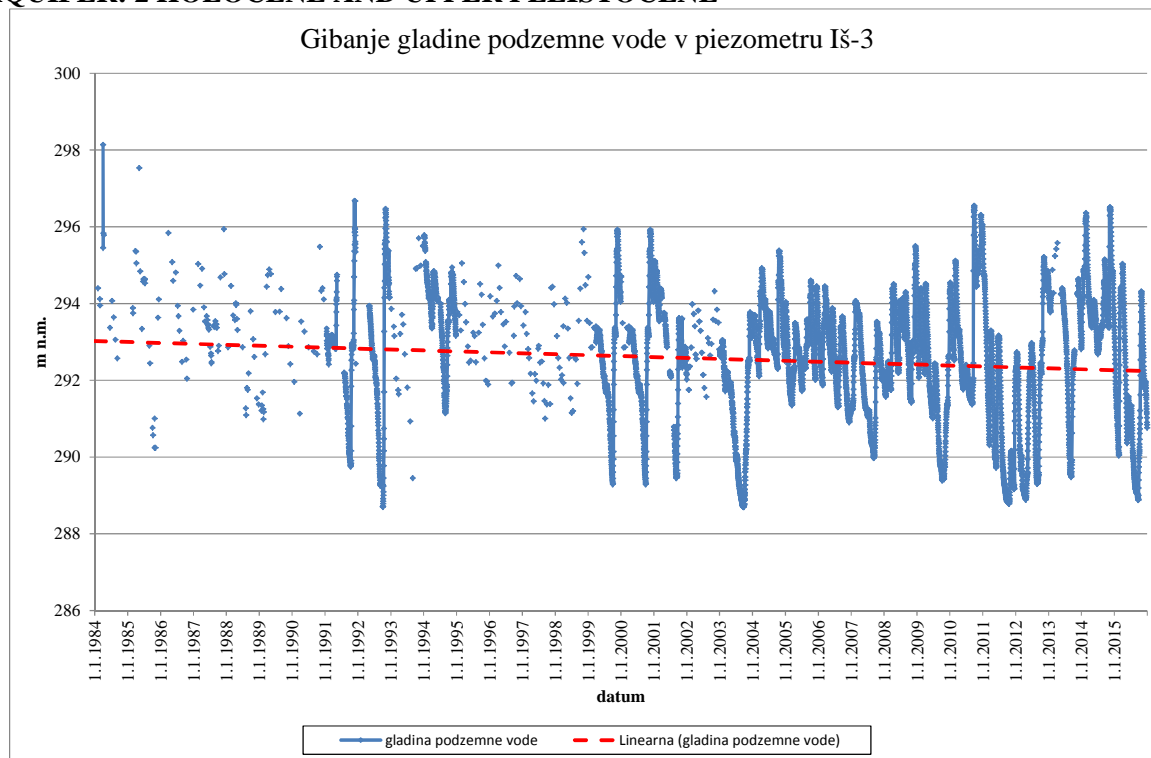
Grafikon A 5: Gibanje gladine podzemne vode v vodnjaku V-12

Graph A 5: The groundwater level fluctuation inside the well V-12



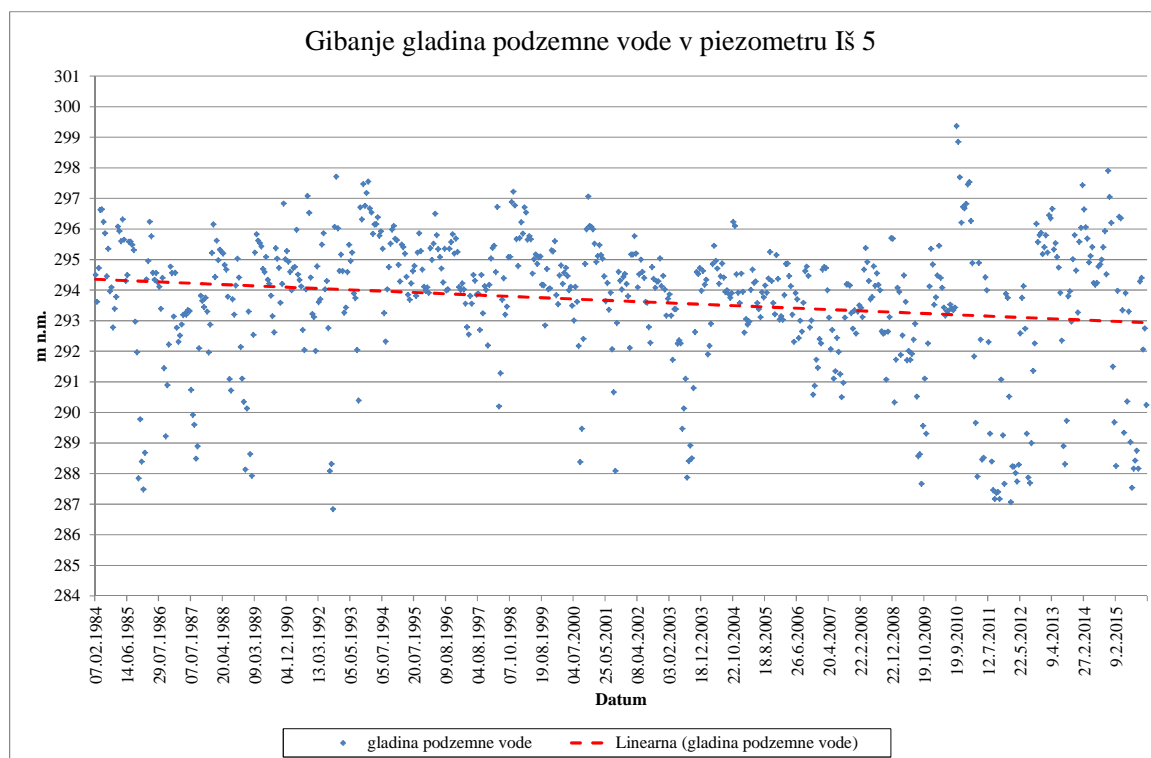
Grafikon A 6: Gibanje gladine podzemne vode v vodnjaku V-13

Graph A 6: The groundwater level fluctuation inside the well V-13

VODONOSNIK: 2 HOLOCEN IN ZGORNJI PLEISTOCEN**AQUIFER: 2 HOLOCENE AND UPPER PLEISTOCENE**

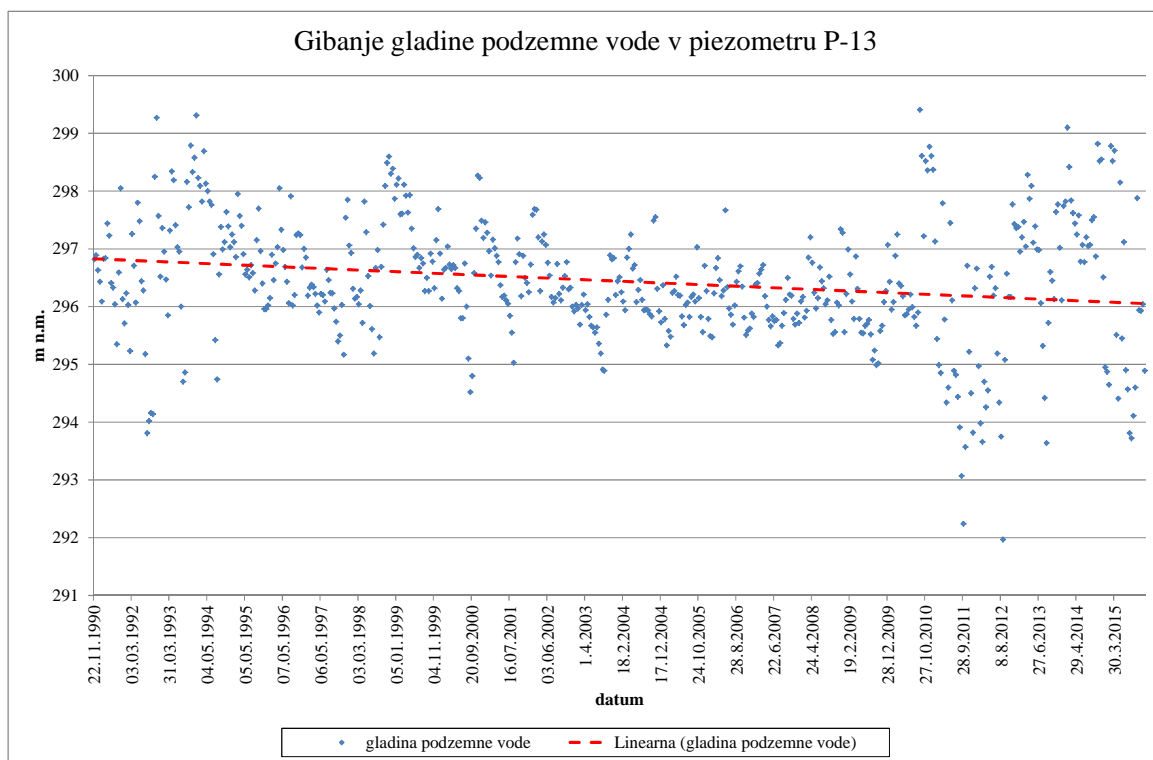
Grafikon A 7: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš-3

Graph A 7: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-3l



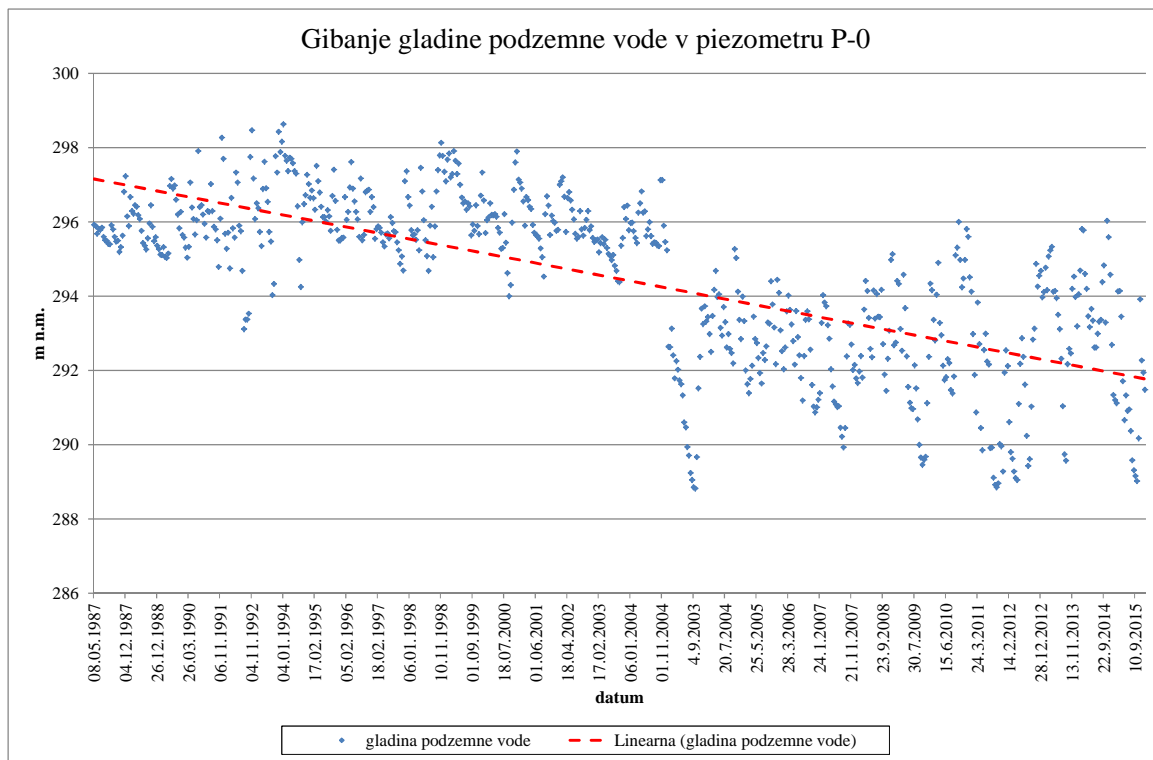
Grafikon A 8: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš 5

Graph A 8: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-5



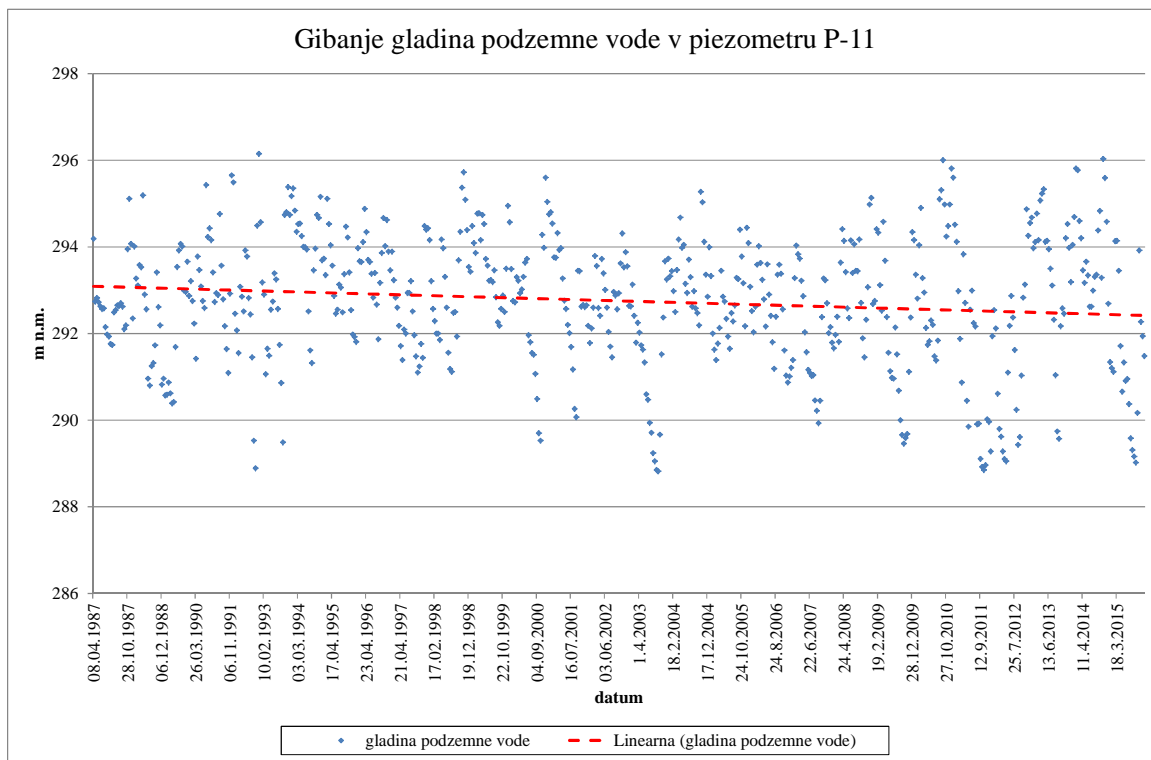
Grafikon A 9: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P-13

Graph A 9: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-13



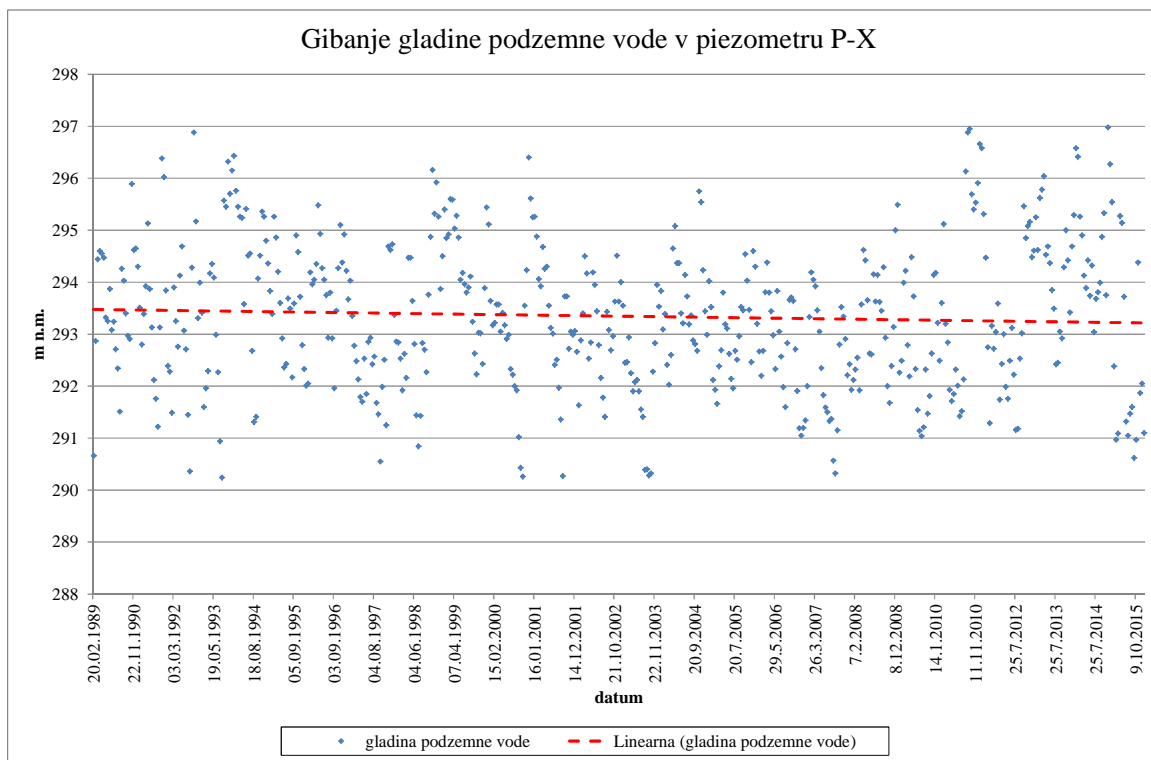
Grafikon A 10: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P-0

Graph A 10: The groundwater level fluctuation in the piezometer Iš-1pl



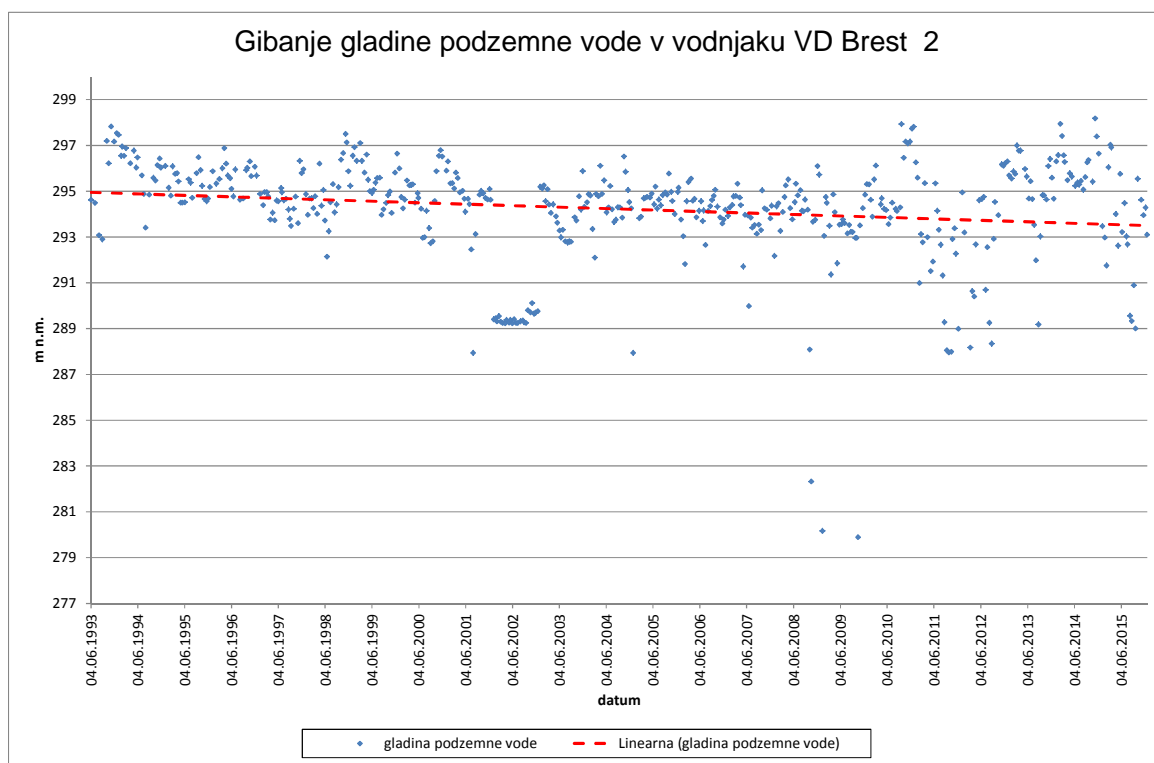
Grafikon A 11: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P-11

Graph A 11: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-11



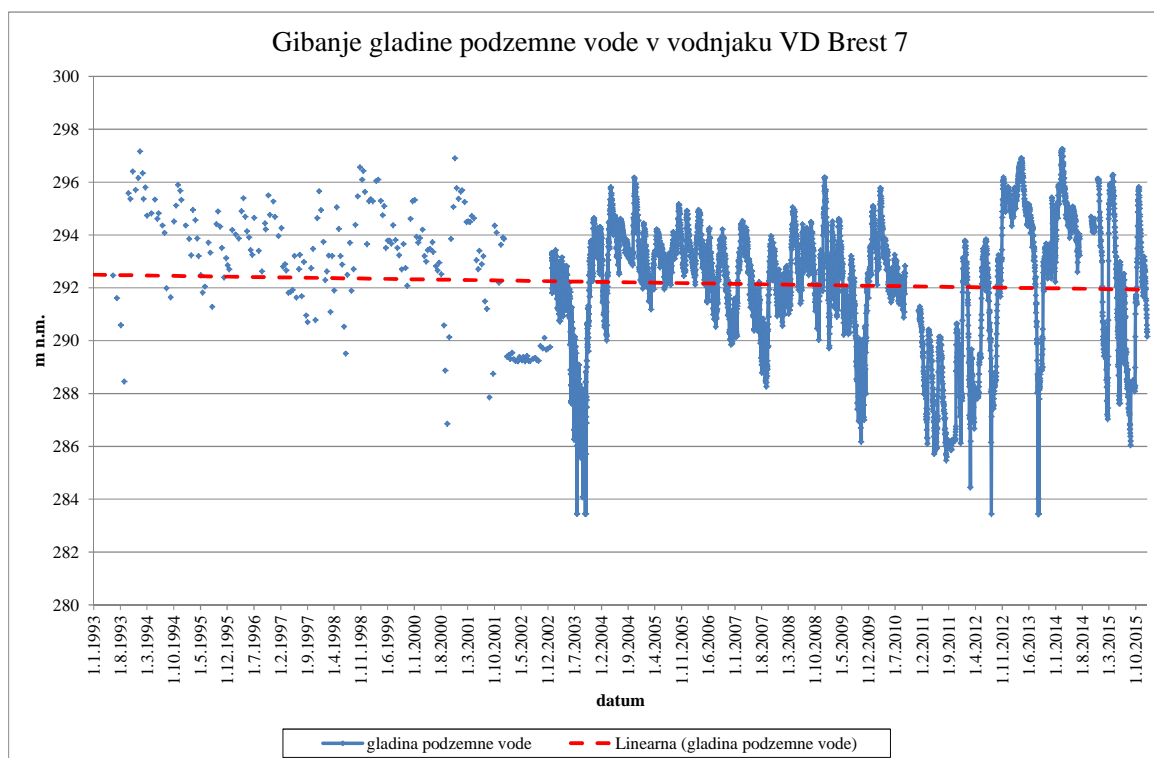
Grafikon A 12: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P-X

Graph A 12: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-1pl



Grafikon A 13: Gibanje gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 2

Graph A 13: The groundwater level fluctuation inside the well VD Brest 2

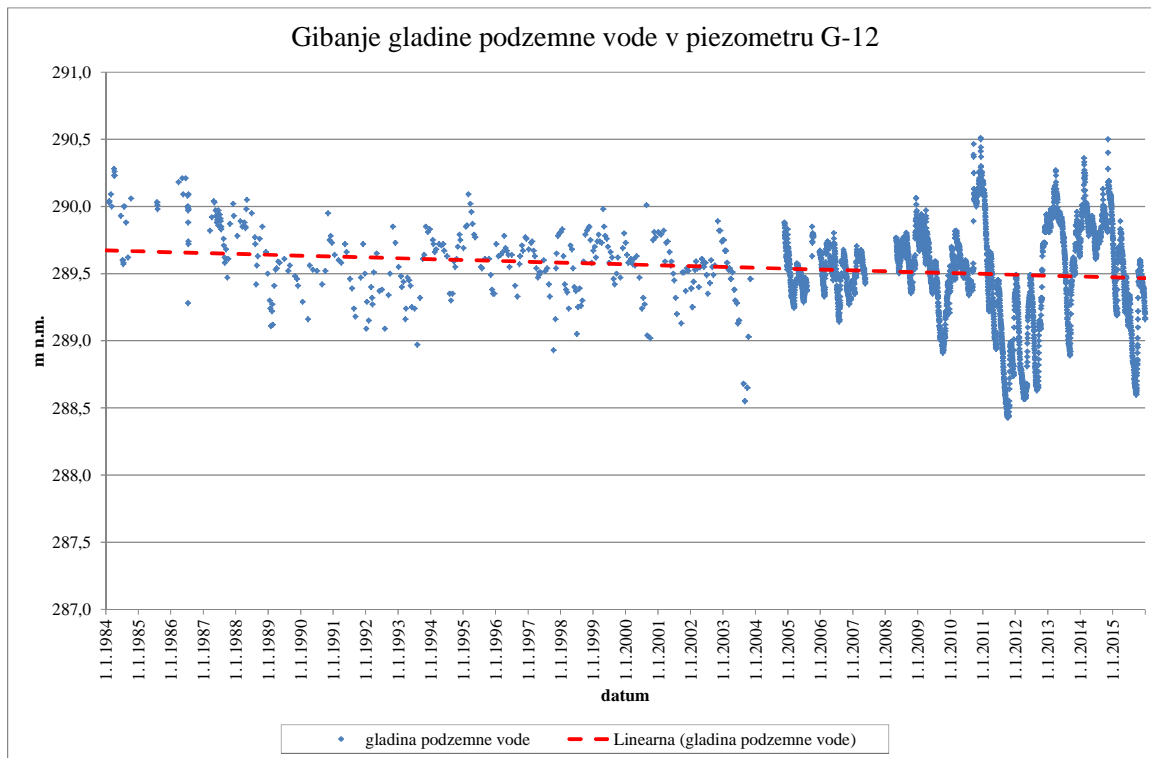


Grafikon A 14: Gibanje gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 7

Graph A 14: The groundwater level fluctuation inside the well VD Brest 7

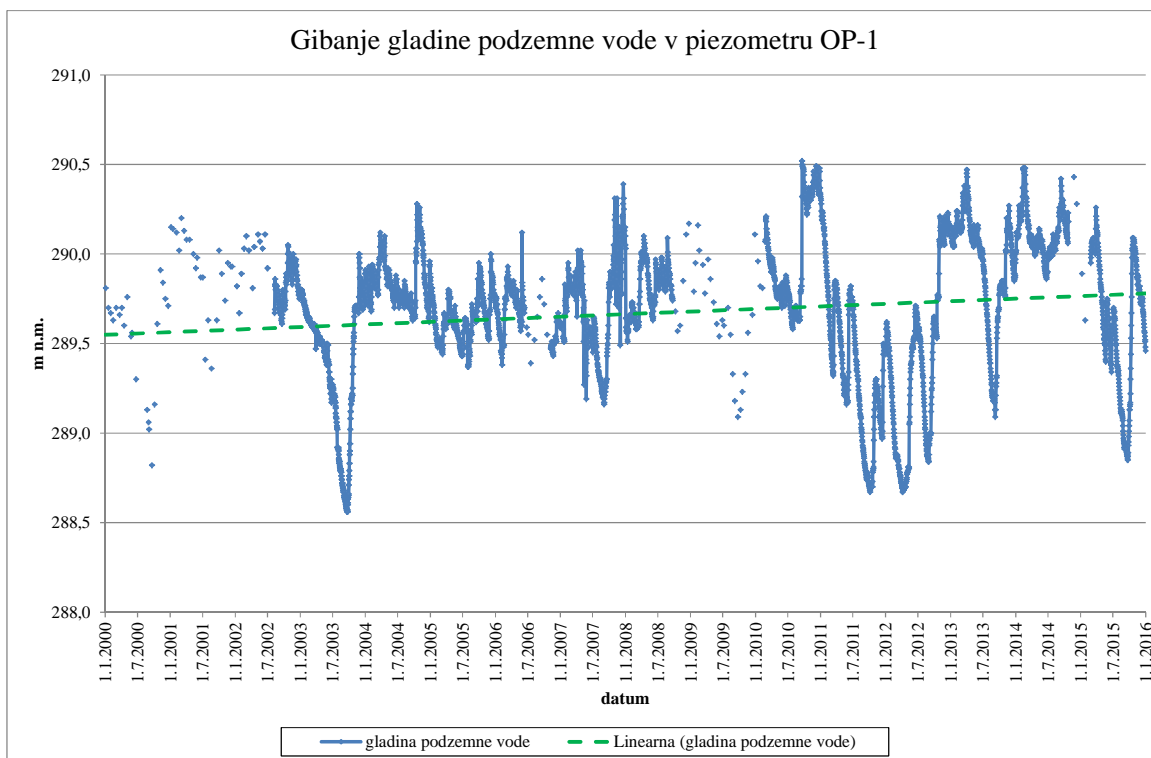
VODONOSNIK: 3 ZGORNJI PLEISTOCEN

AQUIFER: 3 UPPER PLEISTOCENE



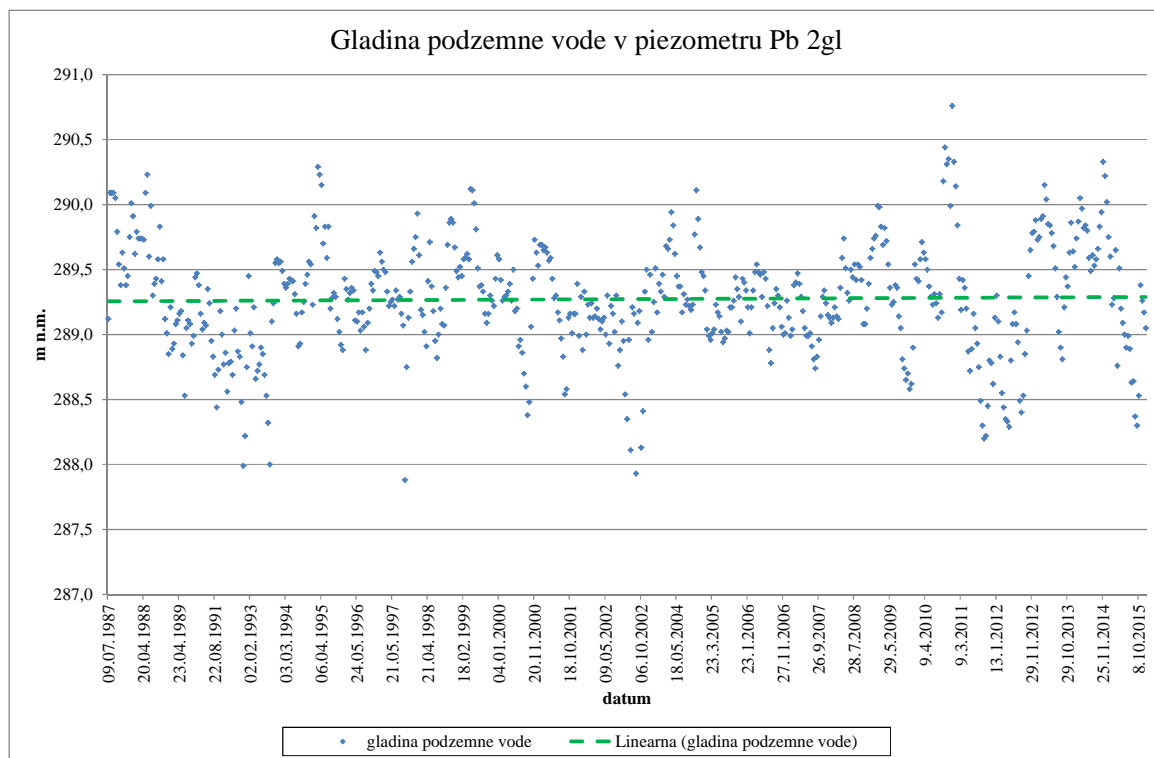
Grafikon A 15: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru G-12

Graph A 15: The groundwater level fluctuation inside the piezometer G-12



Grafikon A 16: Gibanje gladine podzemne vode na piezometru OP -1

Graph A 16: The groundwater level fluctuation inside the piezometer OP-1

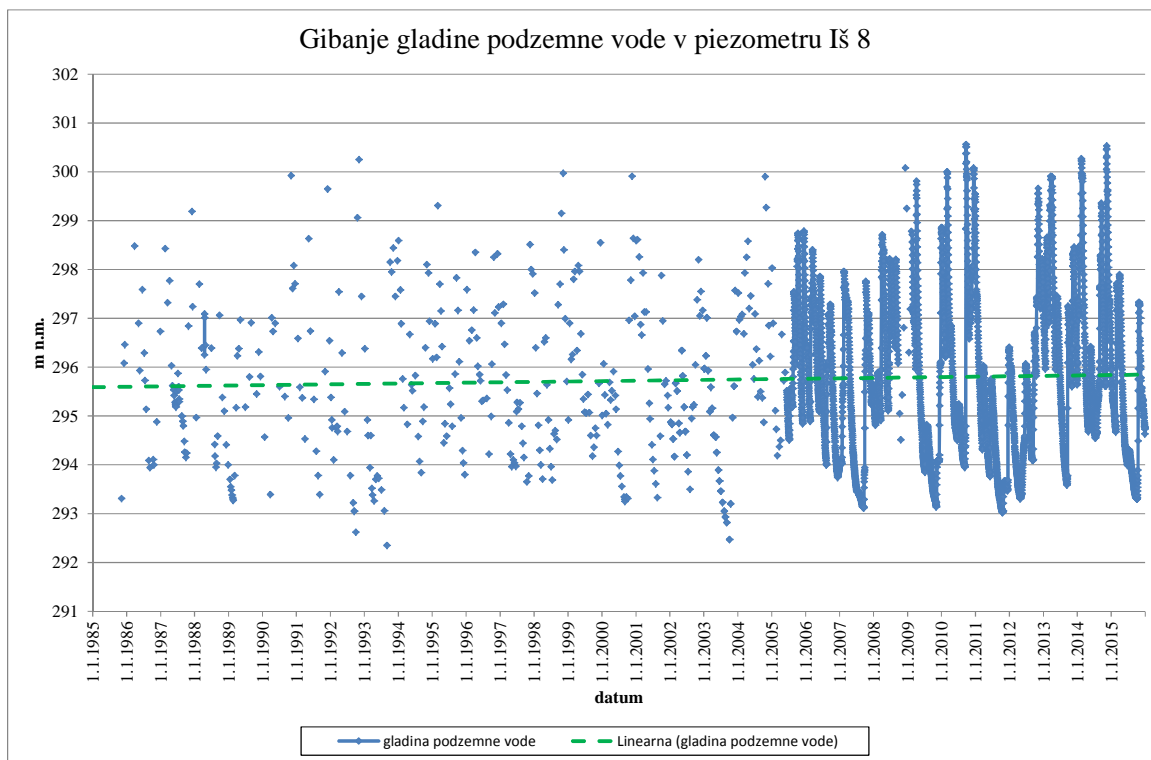


Grafikon A 17: Gibanje gladine podzemne vode na piezometru Pb 2gl

Graph A 17: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Pb-2gl

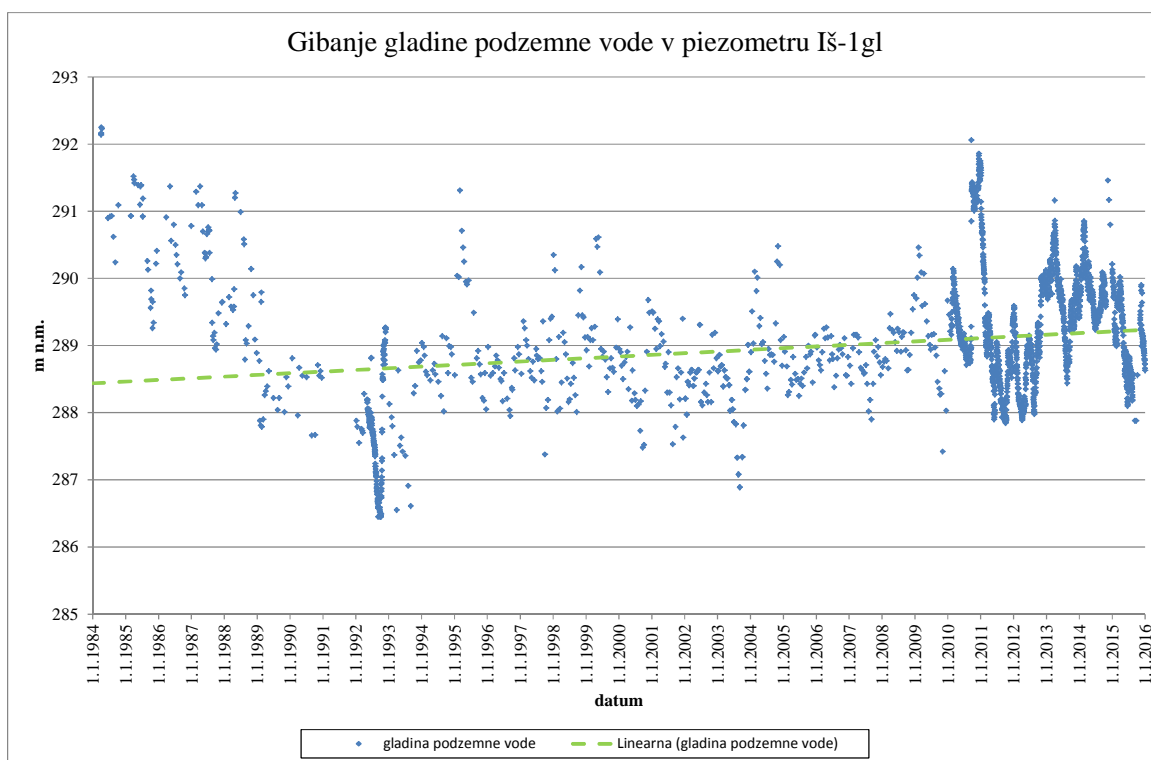
VODONOSNIK: 4 ZGORNJE IN SPODNJE PLEISTOCENSKI

AQUIFER: 4 UPPER AND LOWER PLEISTOCENE



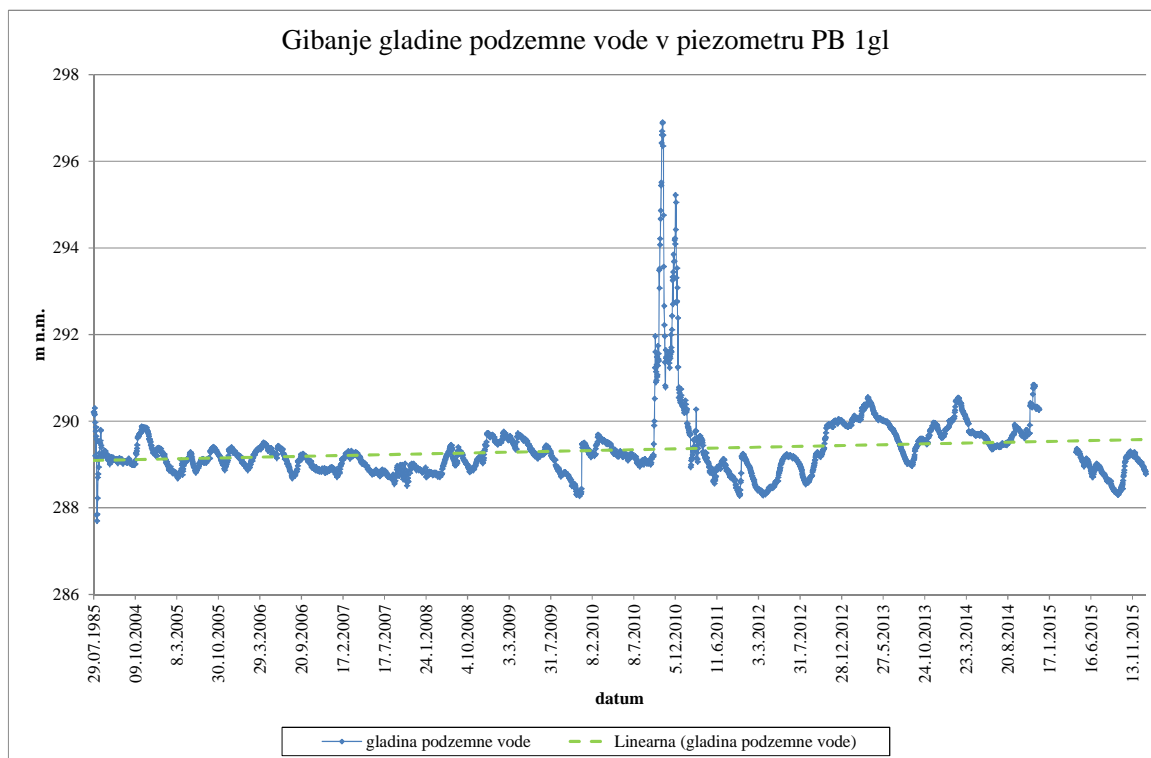
Grafikon A 18: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš 8

Graph A 18: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-1pl



Grafikon A 19: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš 1gl

Graph A 19: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-1gl

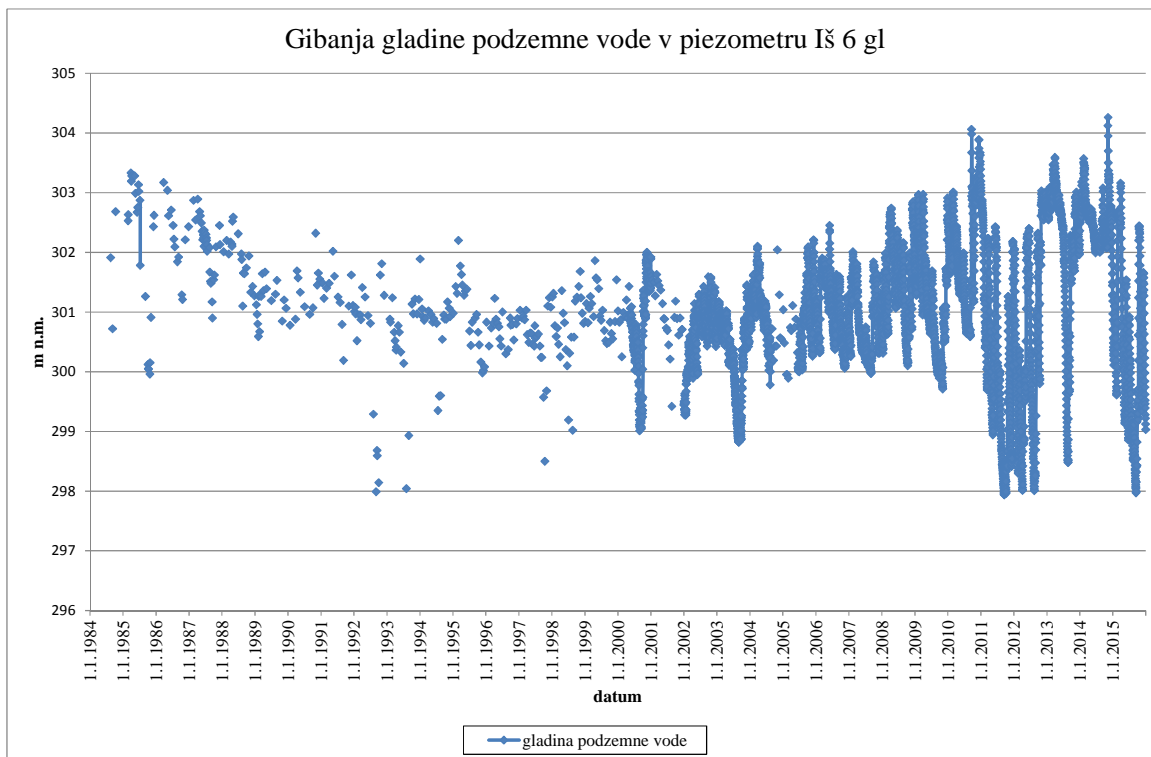


Grafikon A 20: Gibanje gladine podzemne vode v piezometri PB 1gl

Graph A 20: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-1pl

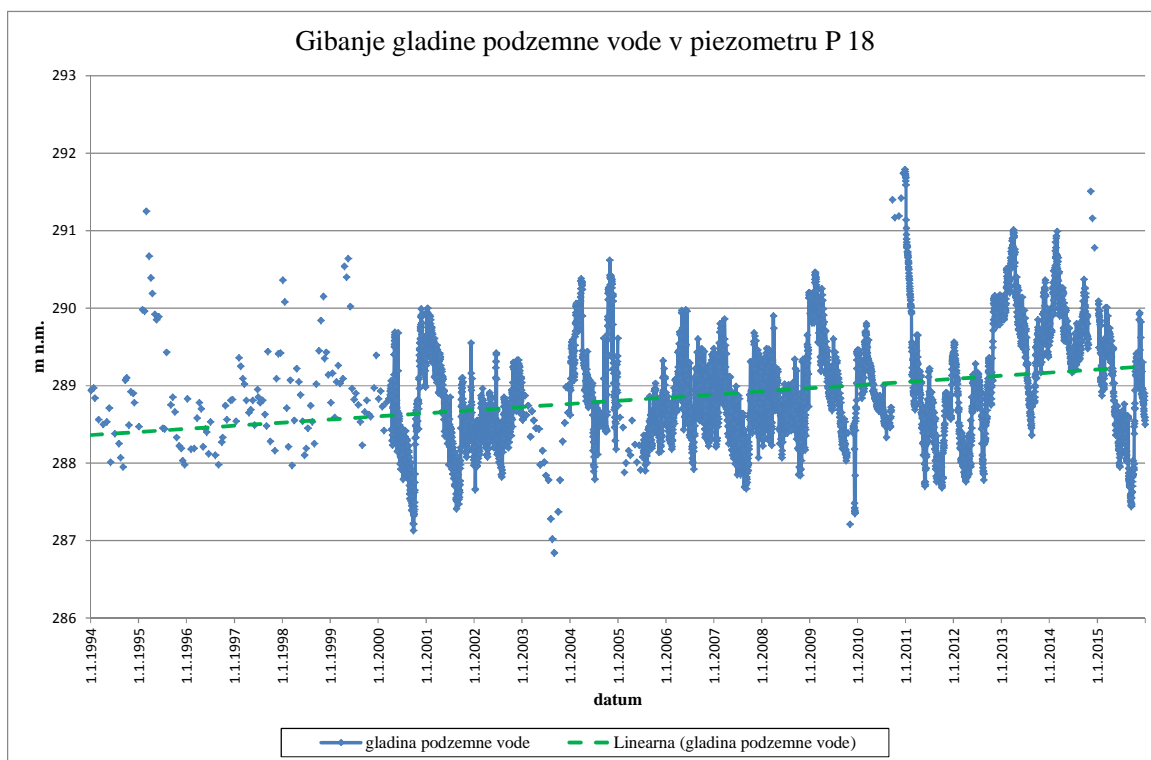
VODONOSNIK: 5 SPODNJI PLEISTOCEN

AQUIFER: 5 LOWER PLEISTOCENE



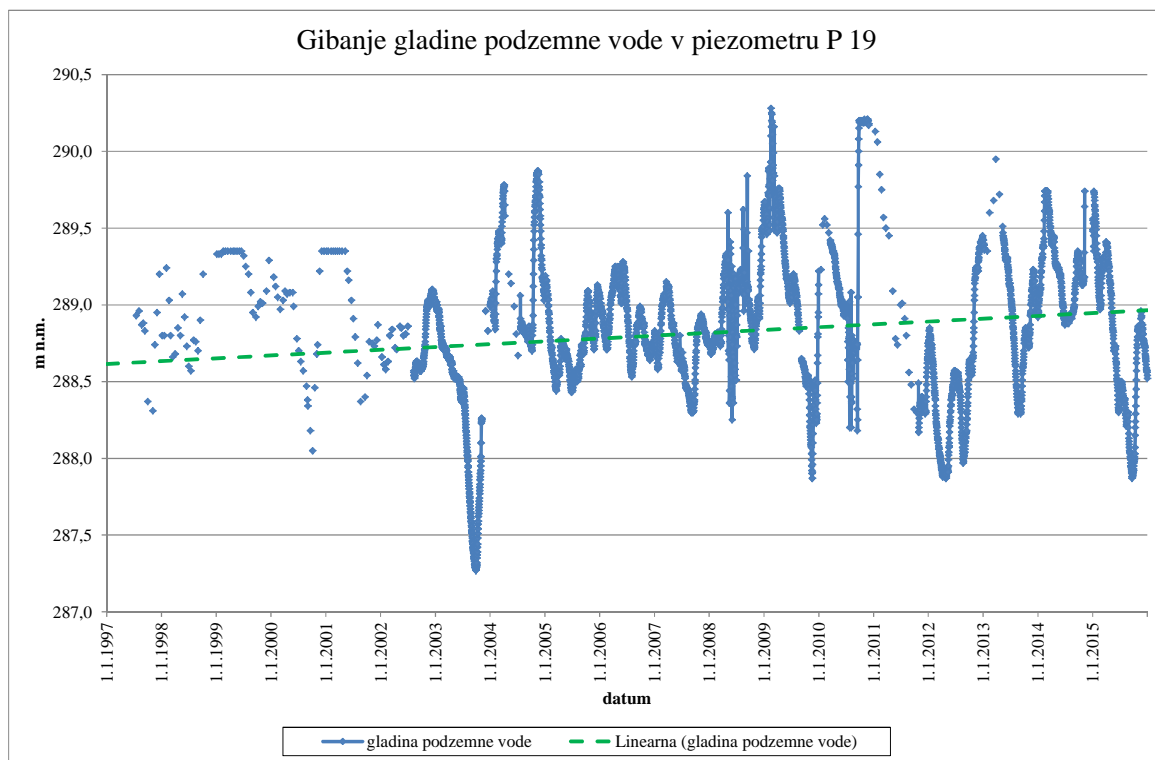
Grafikon A 21: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš 6gl

Graph A 21: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-6 gl



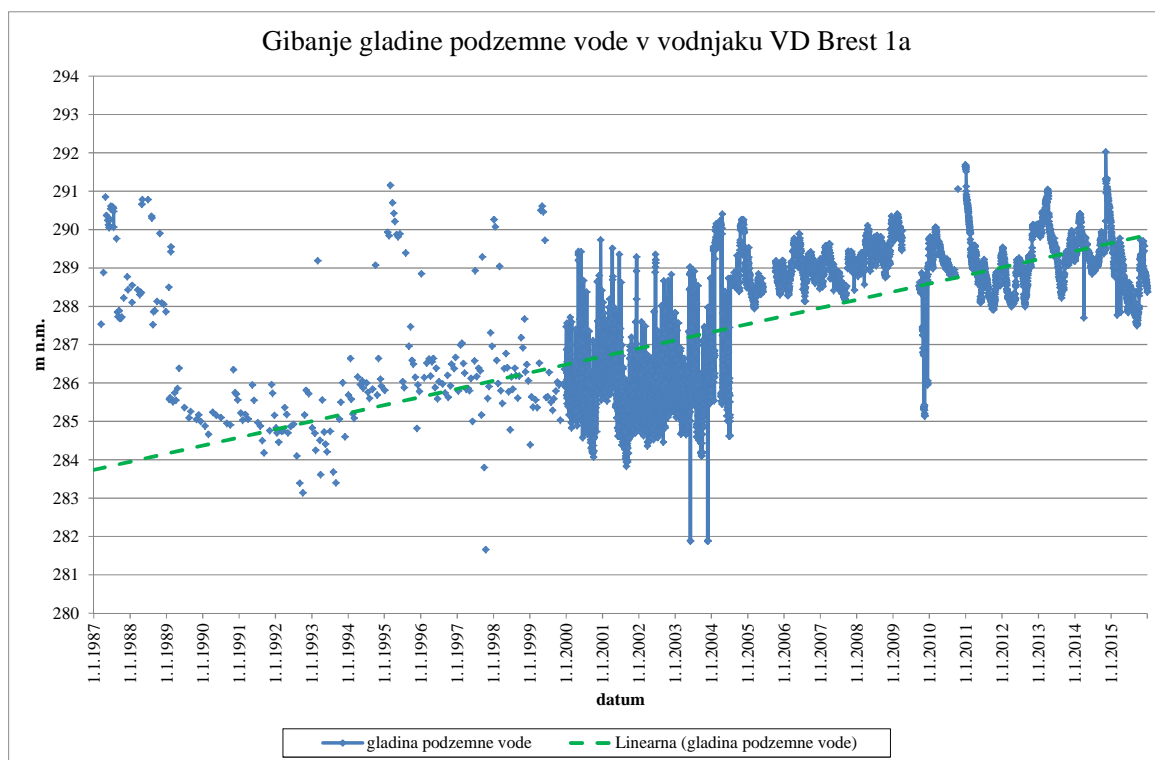
Grafikon A 22: Gibanje gladine podzemne vode piezometru P 18

Graph A 22: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-18



Grafikon A 23: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P 19

Graph A 23: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-19

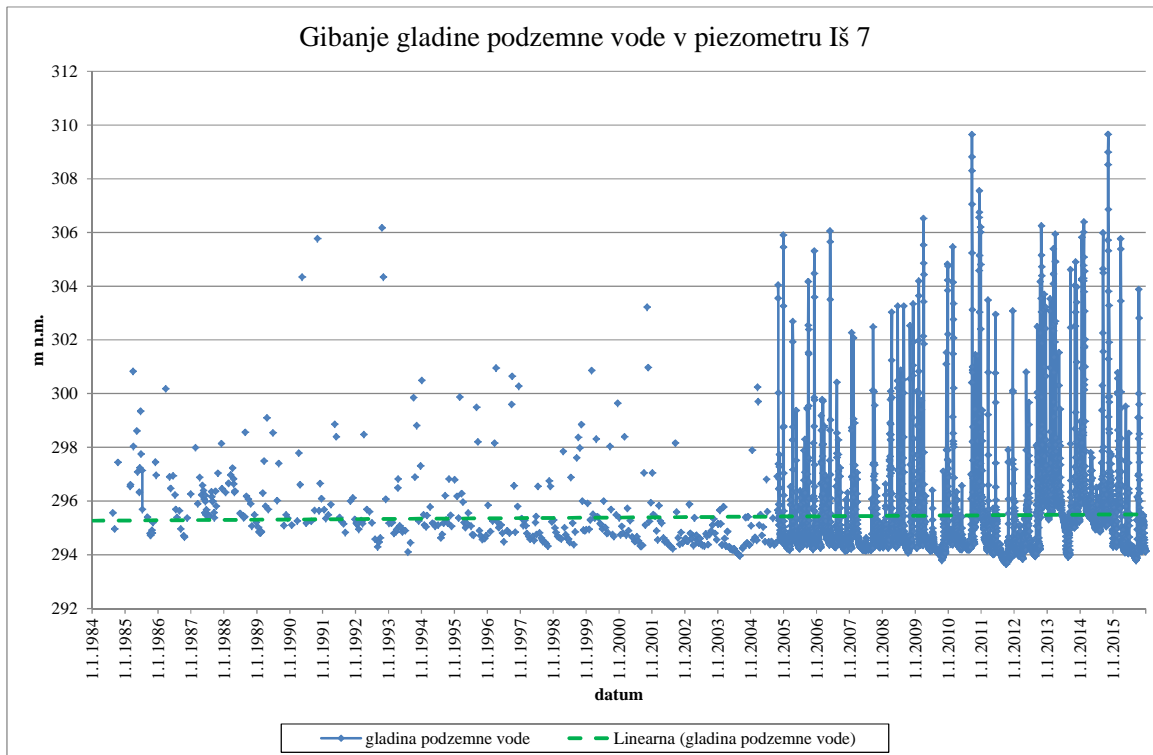


Grafikon A 24: Gibanje gladine podzemne vode v vodnjaku VD Brest 1a

Graph A 24: The groundwater level fluctuation inside the well VD Brest 10

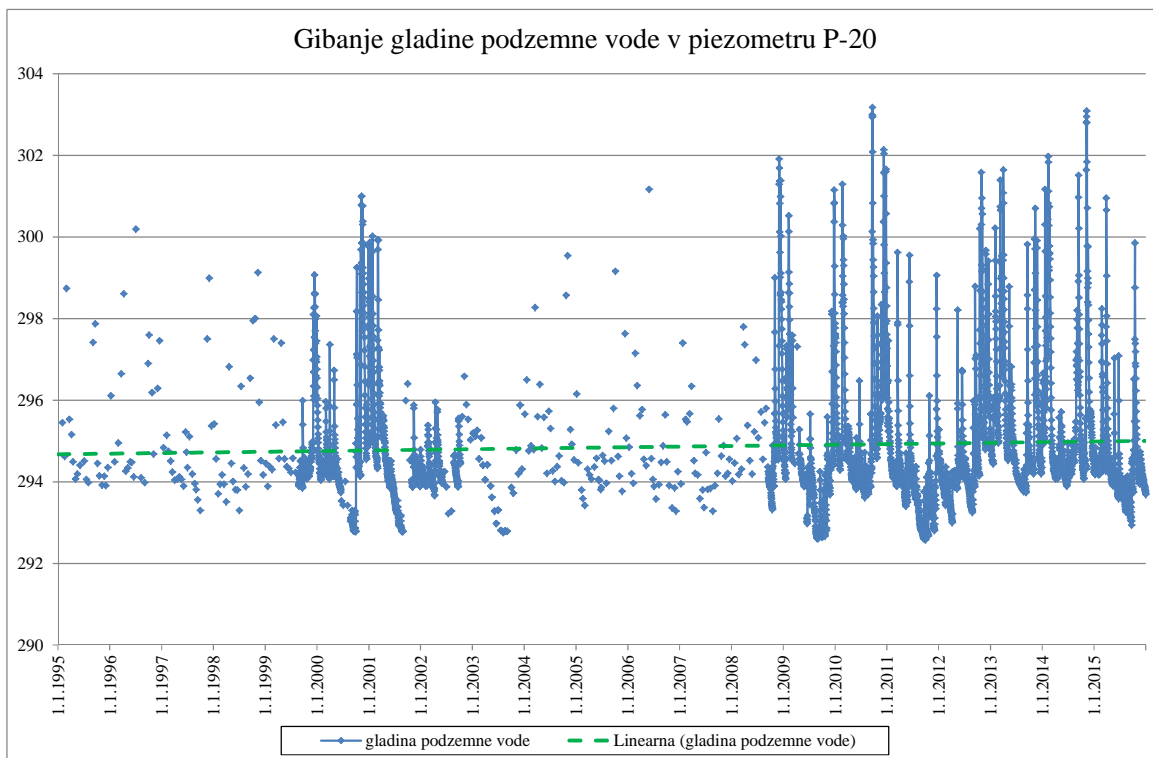
VODONOSNIK: 6 KARBONATNI

AQUIFER: 6 CARBONATES



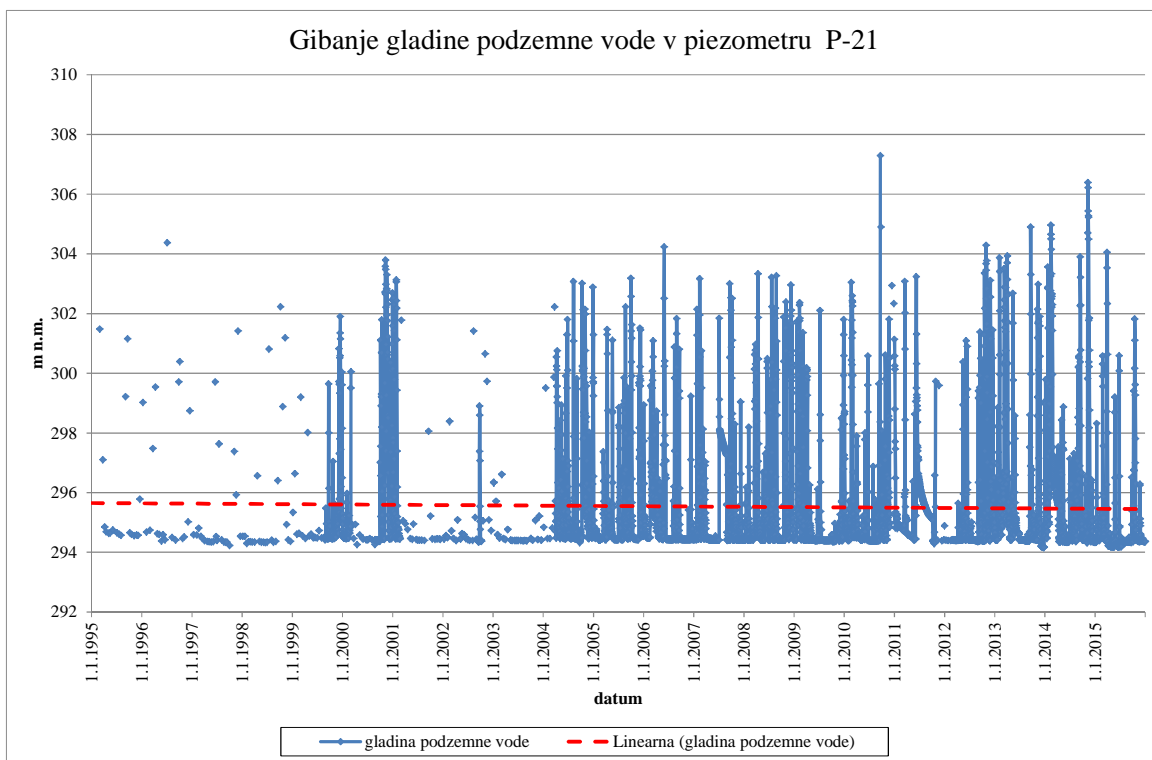
Grafikon A 25: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru Iš 7

Graph A 25: The groundwater level fluctuation inside the piezometer Iš-7



Grafikon A 26: Gibanje gladine podzemne vode na piezometru P 20

Graph A 26: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-20

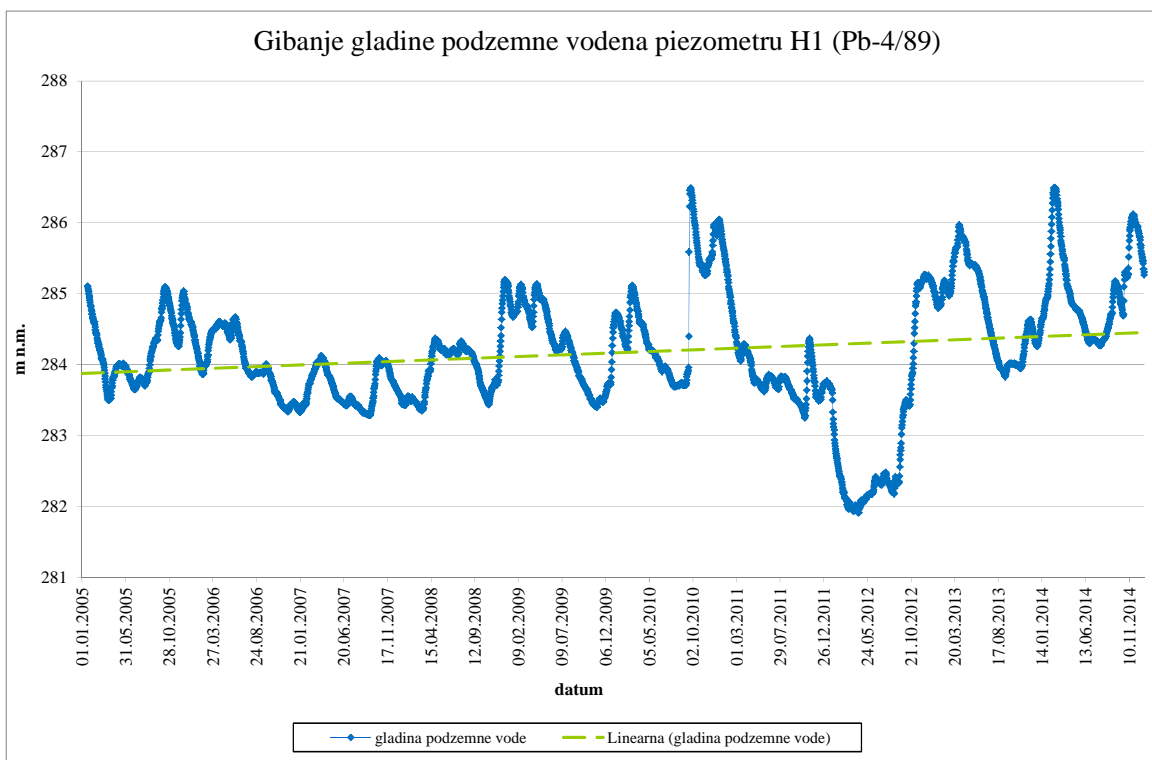


Grafikon A 27: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru P 21

Graph A 27: The groundwater level fluctuation inside the piezometer P-21

VODONOSNIK: 7 SEVERNO OBROBJE

AQUIFER: 7 THE NORTHERN OUTSKIRTS OF LJUBLJANA BARJE



Grafikon A 28: Gibanje gladine podzemne vode v piezometru H1 (Pb-4/89)

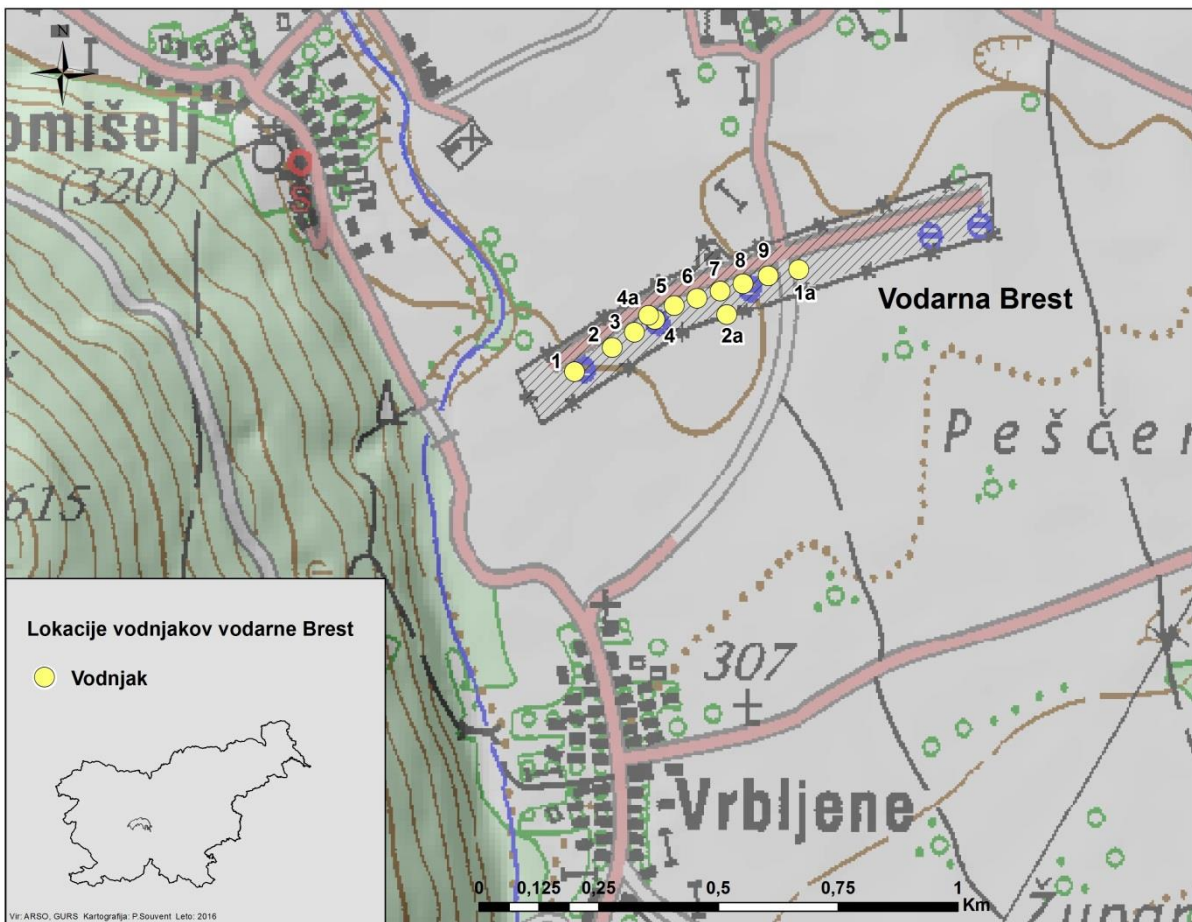
Graph A 28: The groundwater level fluctuation inside the piezometer H1 (Pb-4/89)

PRILOGA B NAČRPANE DNEVNE KOLIČINE PO VODNJAKIH

Slika B 1: Lokacije vodnjakov v vodarni Brest	2
Grafikon B 1: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 1 v obdobju 1987-2015	3
Grafikon B 2: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 2 v obdobju 1987-2015	3
Grafikon B 3: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 3 v obdobju 1987-2015	4
Grafikon B 4: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 4 v obdobju 1987-2015	4
Grafikon B 5: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 5 v obdobju 1987-2015	5
Grafikon B 6: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 6 v obdobju 1987-2015	5
Grafikon B 7: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 7 v obdobju 1987-2015	6
Grafikon B 8: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 8 v obdobju 1987-2015	6
Grafikon B 9: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 9 v obdobju 1987 -2015	7
Grafikon B 10: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 1a v obdobju 1987-2015	7
Grafikon B 11: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 2a v obdobju 2008-2015	8
Grafikon B 12: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 4a v obdobju 1987-2015	8

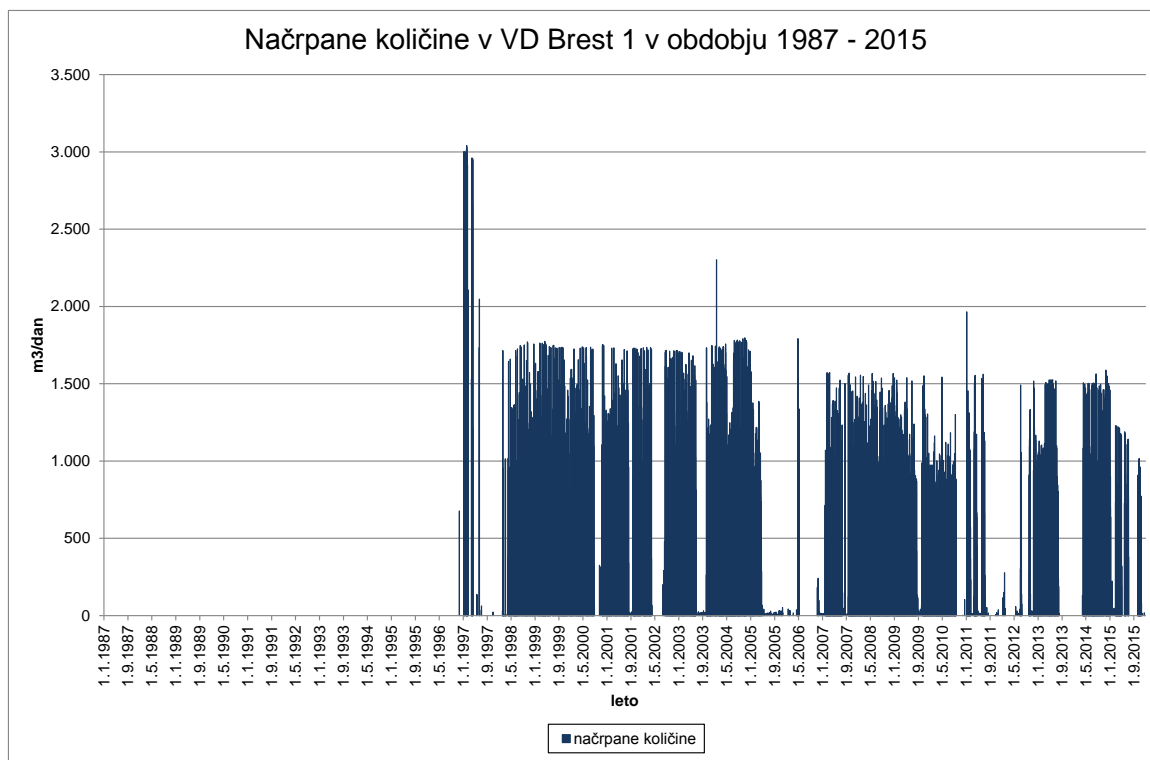
APPENDIX B: THE AMOUNT OF ABSTRACTED WATER INSIDE INDIVIDUAL WELL

<i>Figure B 1: The locations of the wells at waterfield Brest.....</i>	<i>2</i>
<i>Graph B 1: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 1 between 1987-2015</i>	<i>3</i>
<i>Graph B 2: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 2 between 1987-2015</i>	<i>3</i>
<i>Graph B 3: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 3 between 1987-2015</i>	<i>4</i>
<i>Graph B 4: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 4 between 1987-2015</i>	<i>4</i>
<i>Graph B 5: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 5 between 1987-2015</i>	<i>5</i>
<i>Graph B 6: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 6 between 1987-2015</i>	<i>5</i>
<i>Graph B 7: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 7 between 1987-2015</i>	<i>6</i>
<i>Graph B 8: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 8 between 1987-2015</i>	<i>6</i>
<i>Graph B 9: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 9 between 1987-2015</i>	<i>7</i>
<i>Graph B 10: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 1a between 1987-2015</i>	<i>7</i>
<i>Graph B 11: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 2a between 2008-2015</i>	<i>8</i>
<i>Graph B 12: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 4a between 1987-2015</i>	<i>8</i>



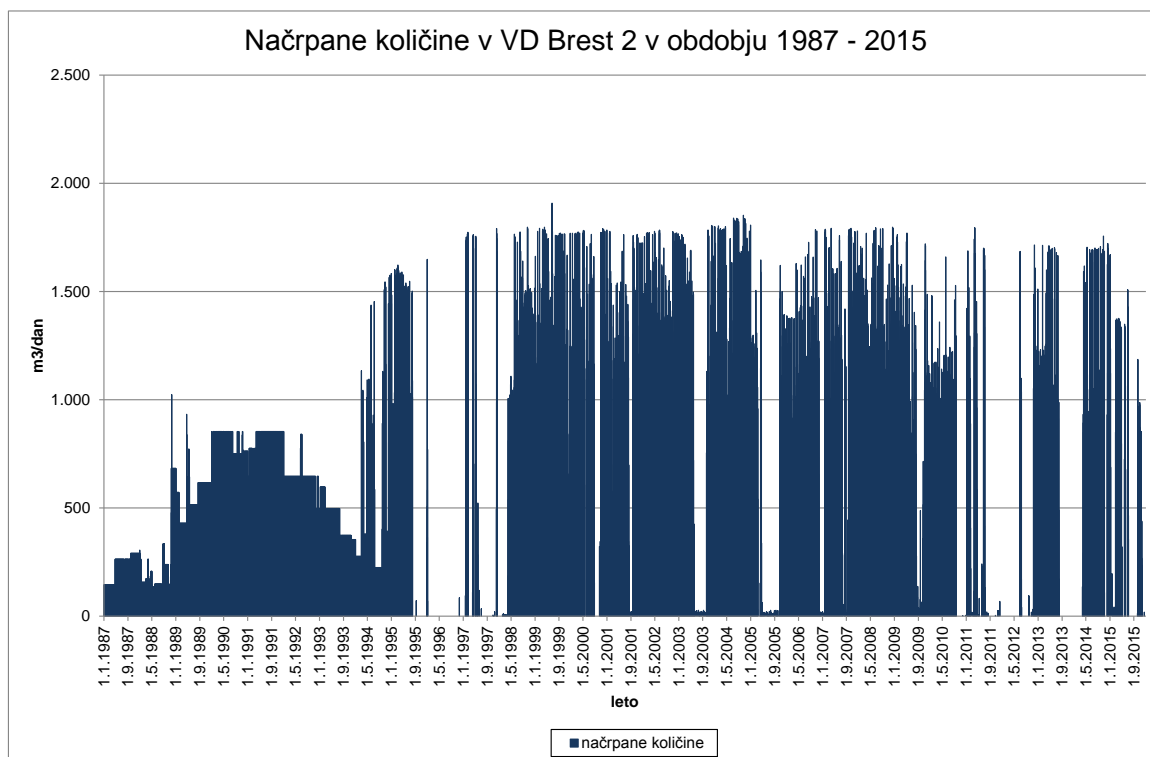
Slika B 1: Lokacije vodnjakov v vodarni Brest

Figure B 1: The locations of the wells at waterfield Brest



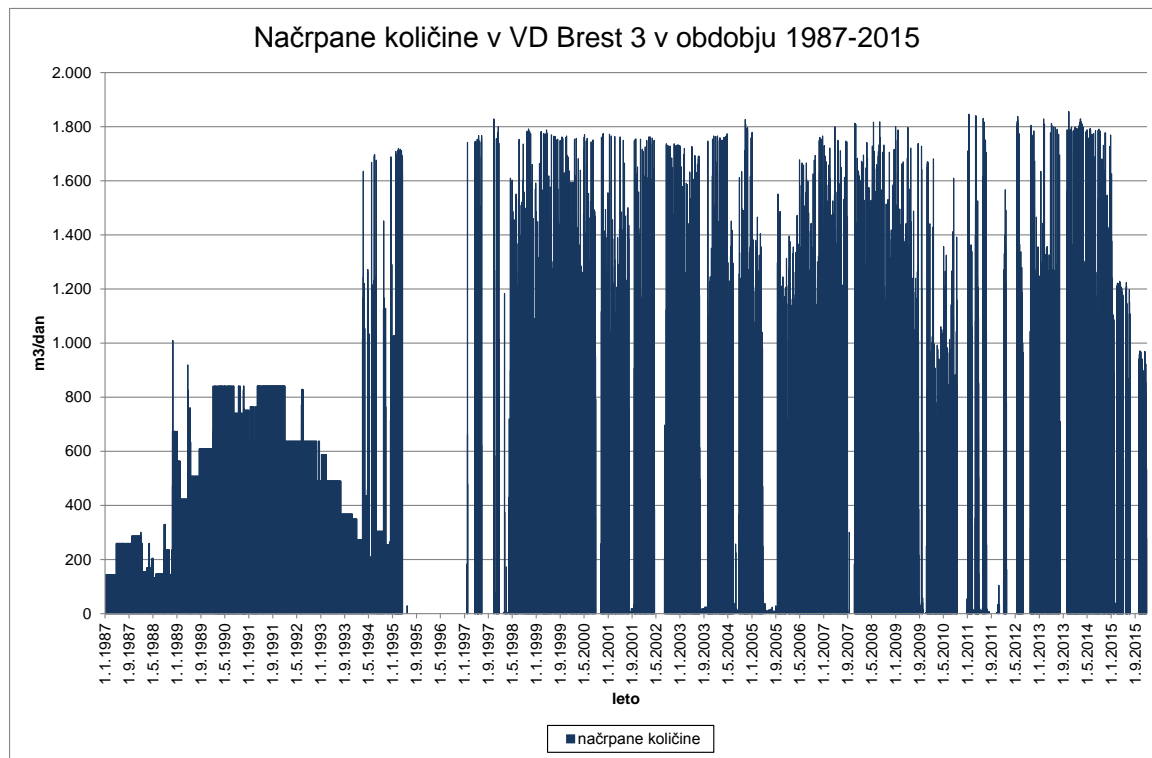
Grafikon B 1: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 1 v obdobju 1987-2015

Graph B 1: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 1 between 1987-2015



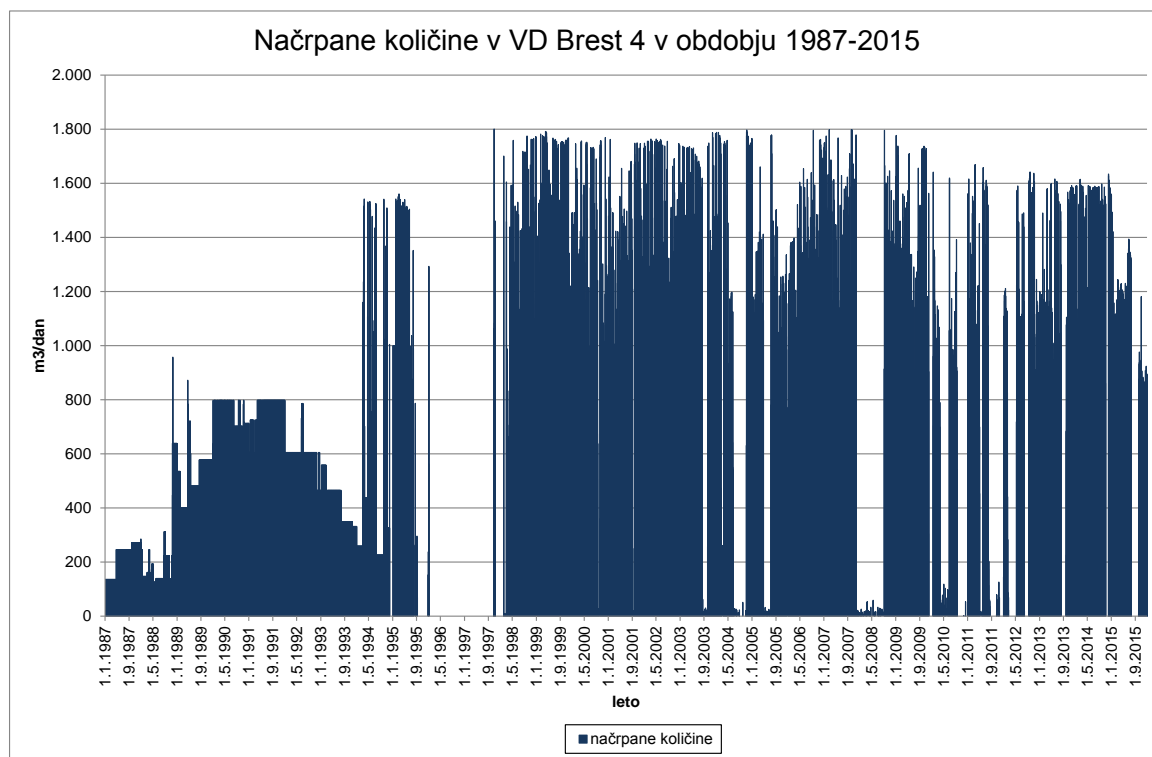
Grafikon B 2: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 2 v obdobju 1987-2015

Graph B 2: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 2 between 1987-2015



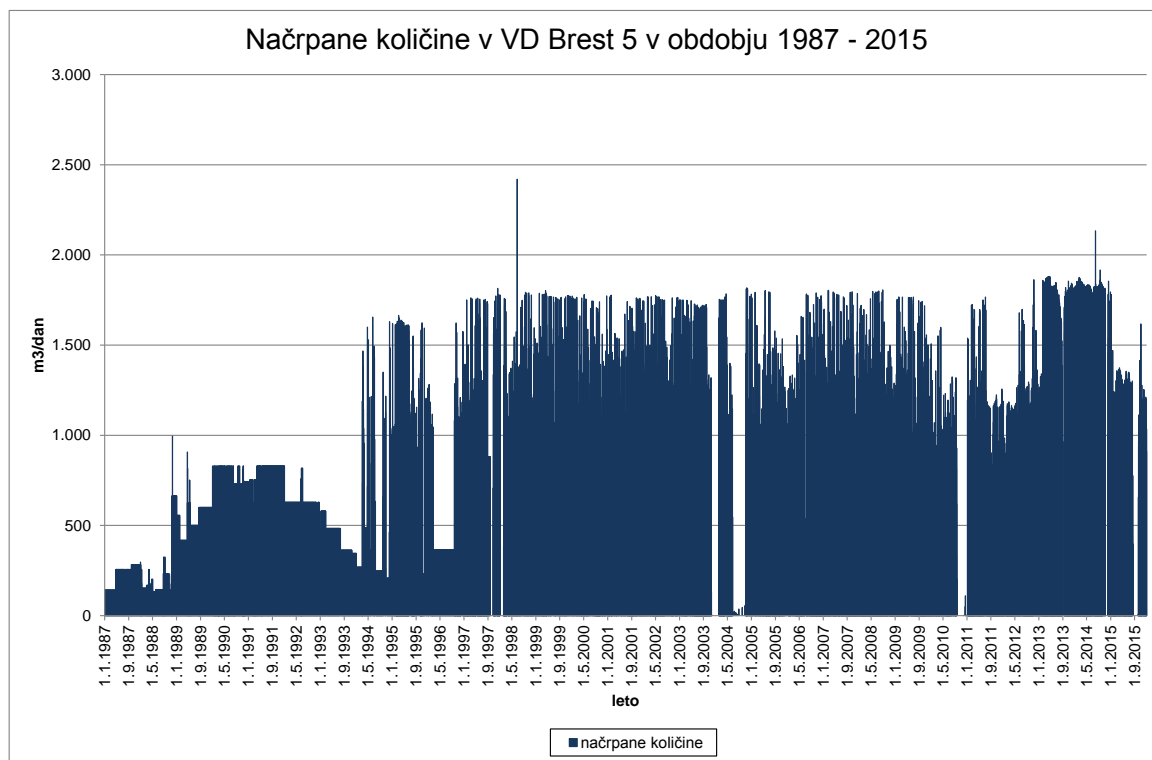
Grafikon B 3: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 3 v obdobju 1987-2015

Graph B 3: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 3 between 1987-2015



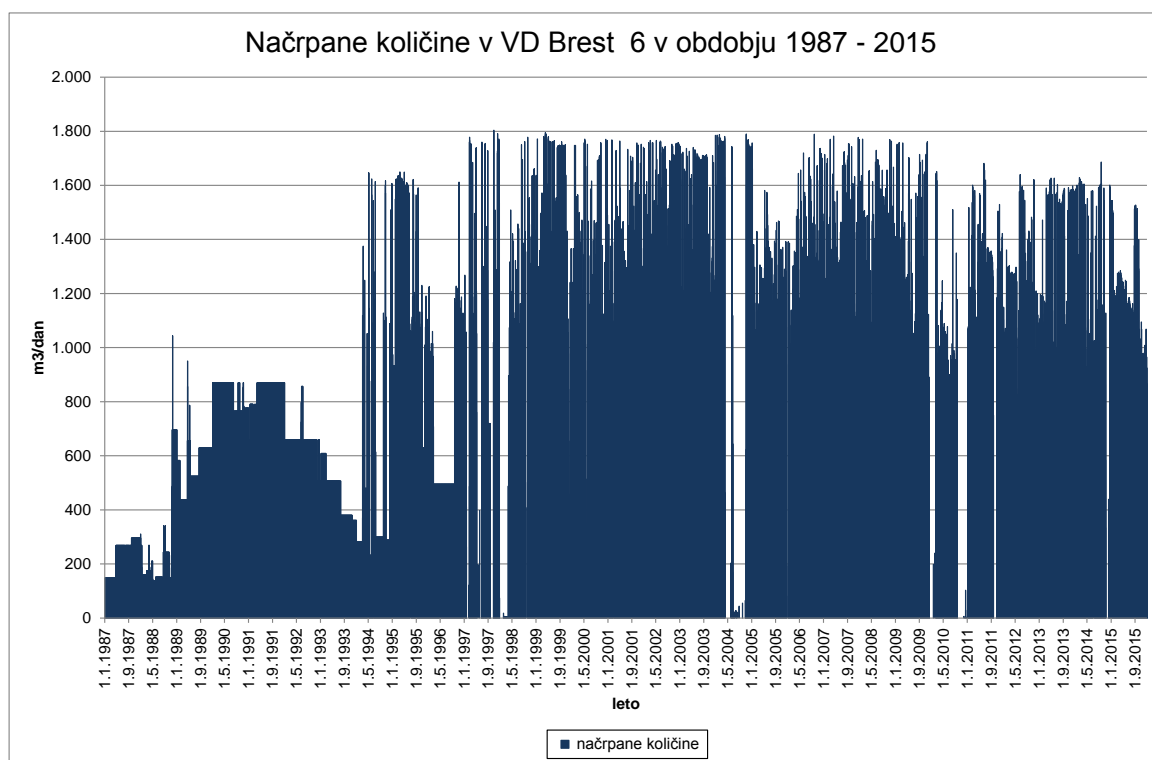
Grafikon B 4: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 4 v obdobju 1987-2015

Graph B 4: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 4 between 1987-2015



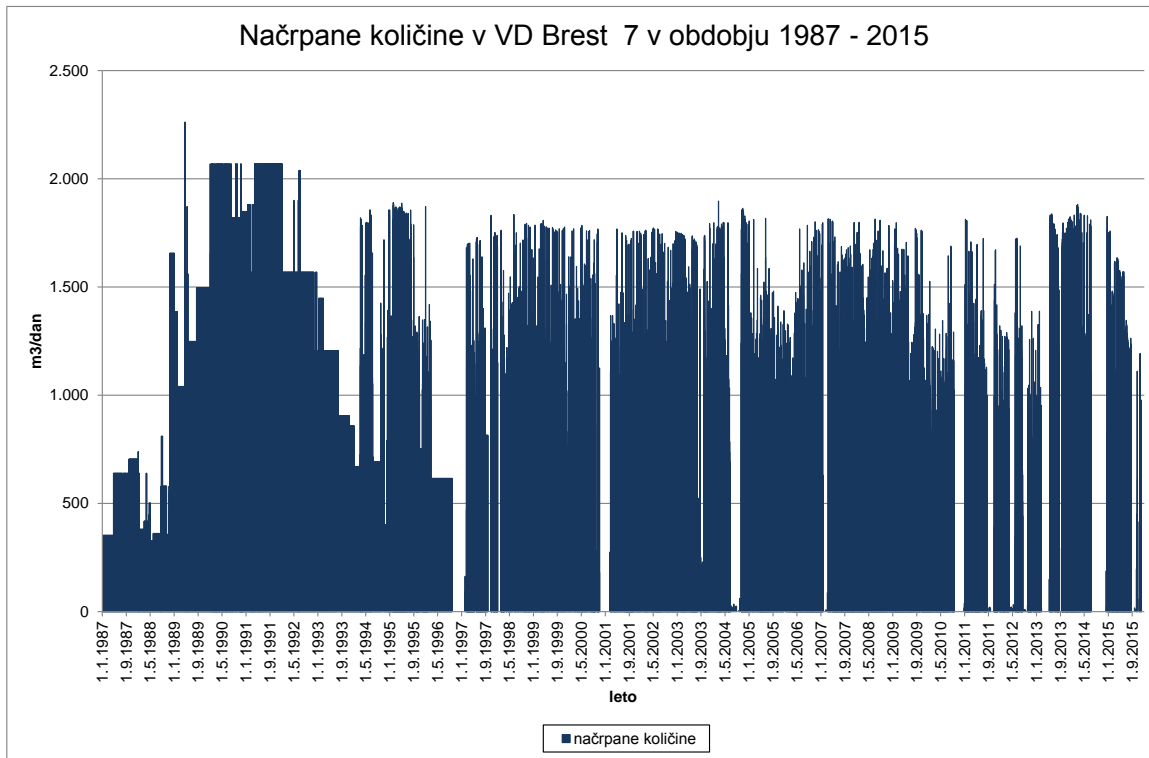
Grafikon B 5: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 5 v obdobju 1987-2015

Graph B 5: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 5 between 1987-2015



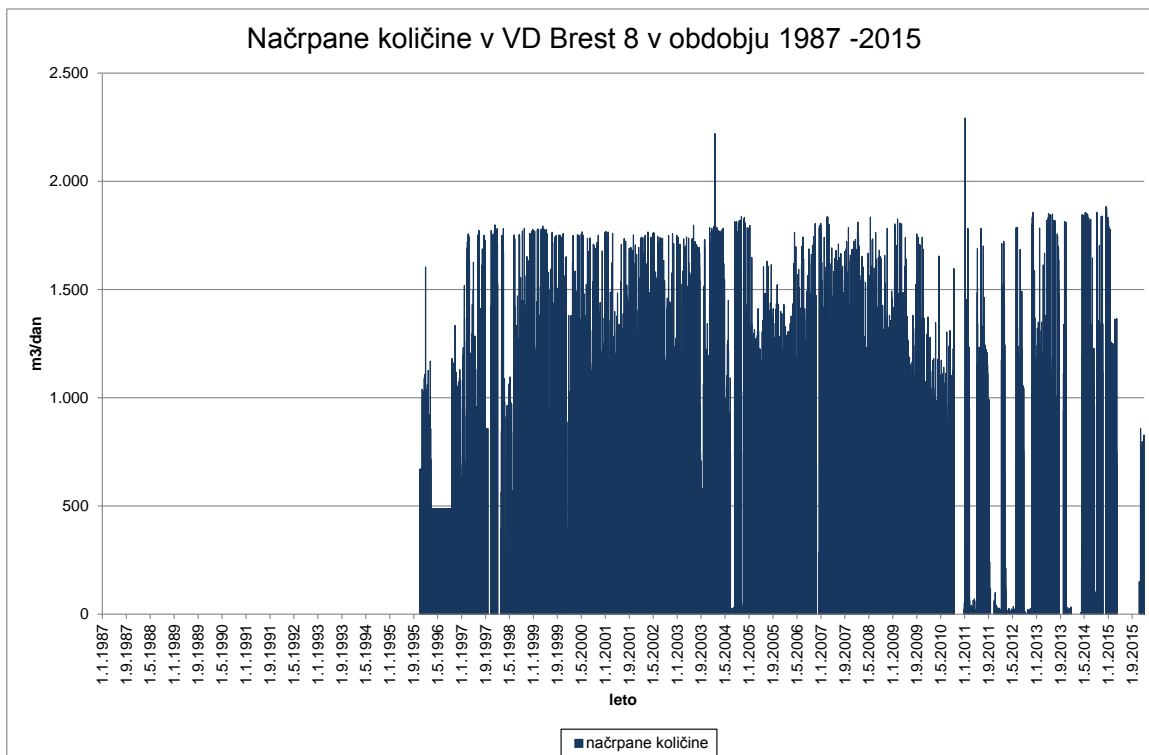
Grafikon B 6: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 6 v obdobju 1987-2015

Graph B 6: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 6 between 1987-2015



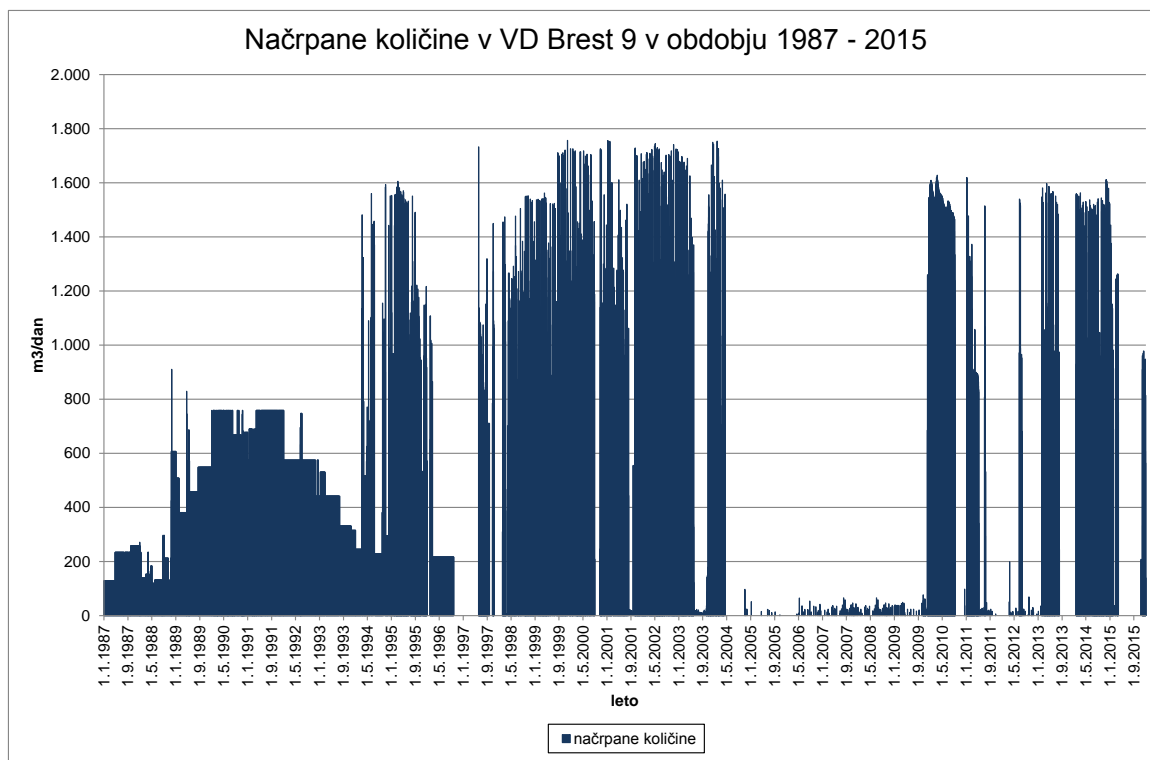
Grafikon B 7: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 7 v obdobju 1987-2015

Graph B 7: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 7 between 1987-2015



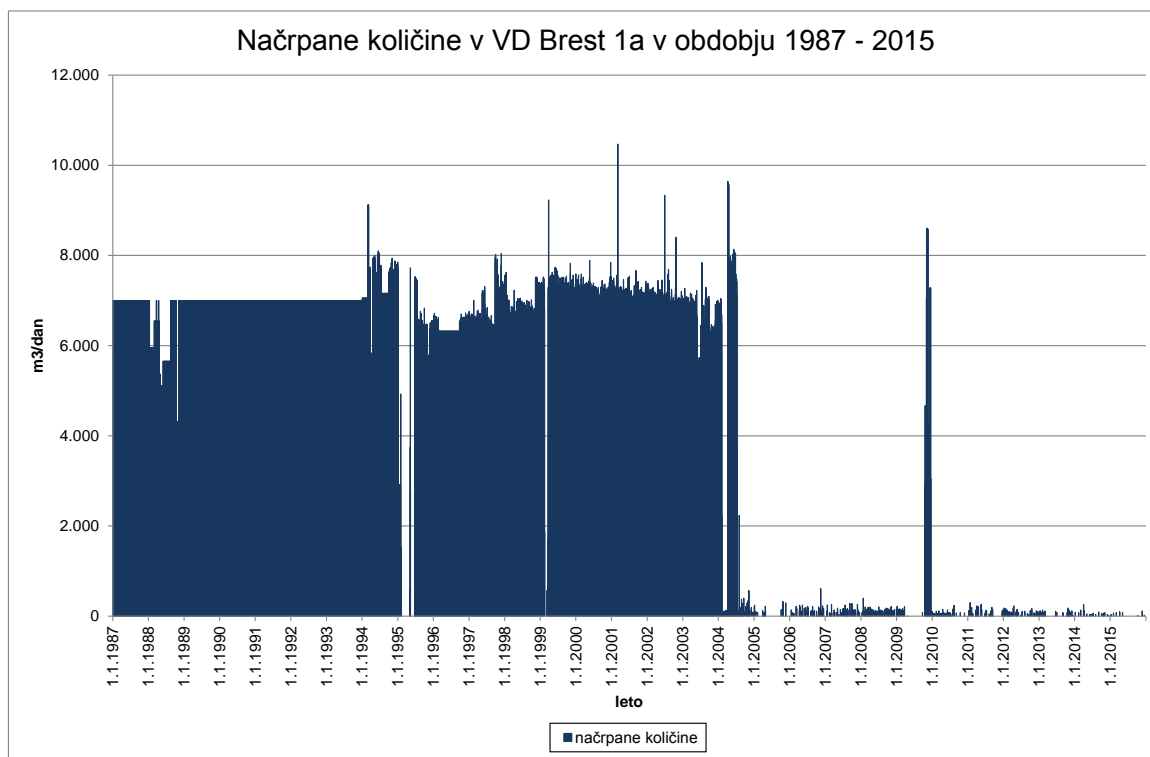
Grafikon B 8: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 8 v obdobju 1987-2015

Graph B 8: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 8 between 1987-2015



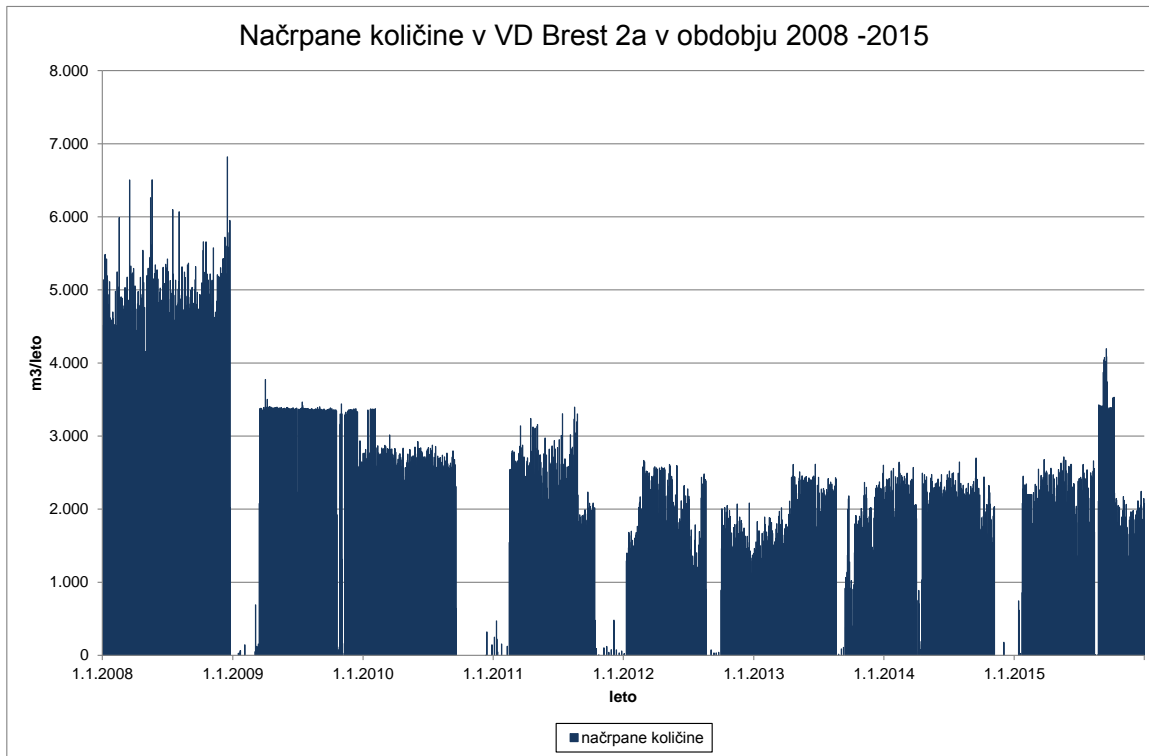
Grafikon B 9: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 9 v obdobju 1987 -2015

Graph B 9: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 9 between 1987-2015



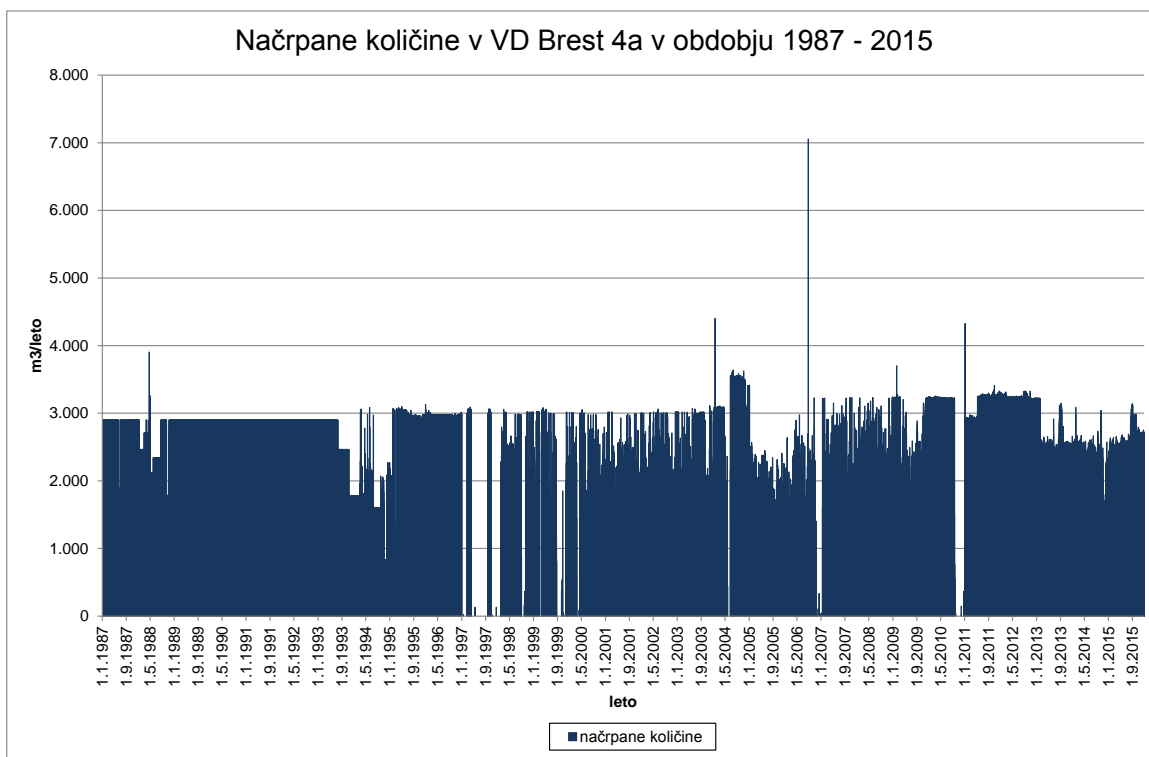
Grafikon B 10: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 1a v obdobju 1987-2015

Graph B 10: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 1a between 1987-2015



Grafikon B 11: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 2a v obdobju 2008-2015

Graph B 11: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 2a between 2008-2015



Grafikon B 12: Načrpane količine v vodnjaku VD Brest 4a v obdobju 1987-2015

Graph B 12: The amount of abstracted groundwater inside the well VD Brest 4a between 1987-2015

PRILOGA C PROGRAM ČRPALNEGA POSKUSA **APPENDIX C: PLAN OF PUMPING TEST**

I.FAZA- Iz vodnjaka VD Brest-1a se je črpalo 50 l/s iz

1. KORAK:

- a. Vgradnja črpalke v vodnjak VD Brest-1a.
- b. Odvzem vzorcev za fizikalno kemijske analize v obsegu: pesticidi, anioni in kationi na sledečih mestih:
 - vsi vodnjaki vodarne Brest: VD Brest-1, VD Brest-1a, VD Brest-2, VD Brest-2a, VD Brest-3, VD Brest-4, VD Brest-4a, VD Brest-5, VD Brest-6, VD Brest-7, VD Brest-8, VD Brest-9, (12 vzorcev)
 - vzorec reke Iške (pri mostu čez Iško) (1 vzorec)
 - piezometri: IŠ-5, IŠ-1(Φ 2"), IŠ-6 (Φ 2"), V-12, V-13, P-22, IŠ-7 (Φ 50/60mm), IŠ-8 (Φ 50/60 mm), P-20 (9 vzorcev)
- c. Vgradnja sond za meritev nivo podzemne vode v objekte: V-12, VD Brest-1a, VD Brest 8, VD Brest 6, VD Brest 5, VD Brest 4, VD Brest-9, VD Brest-2, VD Brest-3, VD Brest-1, VD Brest-4a, IŠ-5.
Sonde so že vgrajene v objekte: VD Brest 7, IŠ-6, IŠ-7, IŠ-8, P-20, P-21, IŠ-3, P-18, P-22, VD Brest-2a (vgradnja 12 sond, vgrajenih 10 sond)
- d. Ustavitev vseh vodnjakov vodarne Brest vsaj 8 ur pred zagonom črpalke v vodnjaku VD Brest-1a (od 22 ure zvečer do 6 ure zjutraj)

2. KORAK:

- a. Zagon črpalke v vodnjaku VD Brest-1a. in črpanje 50 l/s, istočasno delujejo plitvi vodnjaki – črpanje iz samo plitvih vodnjakov vsaj 2-3 dni.
- b. pred vključitvijo globokih vodnjakov (VD Brest-2a in VD Brest-4a) se ponovi vzorčenje na objektih: VD Brest-1, VD Brest-1a, VD Brest-2, VD Brest-2a, VD Brest-3, VD Brest-4, VD Brest-4a, VD Brest-5, VD Brest-6, VD Brest-7, VD Brest-8, VD Brest-9, IŠ-1, IŠ-5, V-12, V-13, P-22 in Iška (18 vzorcev).

3. KORAK:

- a. Črpamo iz globokih vodnjakov VD Brest-4a in VD Brest-2a v največji možni kapaciteti, plitvi vodnjaki delujejo po potrebi. Tak sistem črpanja izvajamo od 5-7 dni.
- b. po 48 urah črpanja se odvzamejo vzorci podzemne vode na: VD Brest-1, VD Brest-1a, VD Brest-2, VD Brest-2a, VD Brest-3, VD Brest-4, VD Brest-4a, VD Brest-5, VD Brest-6, VD Brest-7, VD Brest-8, VD Brest-9, IŠ-1, IŠ-5, V-12, V-13, P-22 in Iška (18 vzorcev).
- c. pred spremembo količin črpanja, po 5-7 dneh, se odvzamejo vzorci podzemne vode na: VD Brest-1, VD Brest-1a, VD Brest-2, VD Brest-2a, VD Brest-3, VD Brest-4, VD Brest-4a, VD Brest-5, VD Brest-6, VD Brest-7, VD Brest-8, VD Brest-9, IŠ-1, IŠ-5, V-12, V-13, P-22, Iška, IŠ-6, IŠ-7 in IŠ-8 (21 vzorcev).

II.FAZA- črpanje 100 l/s iz VD Brest-1a***I.KORAK:***

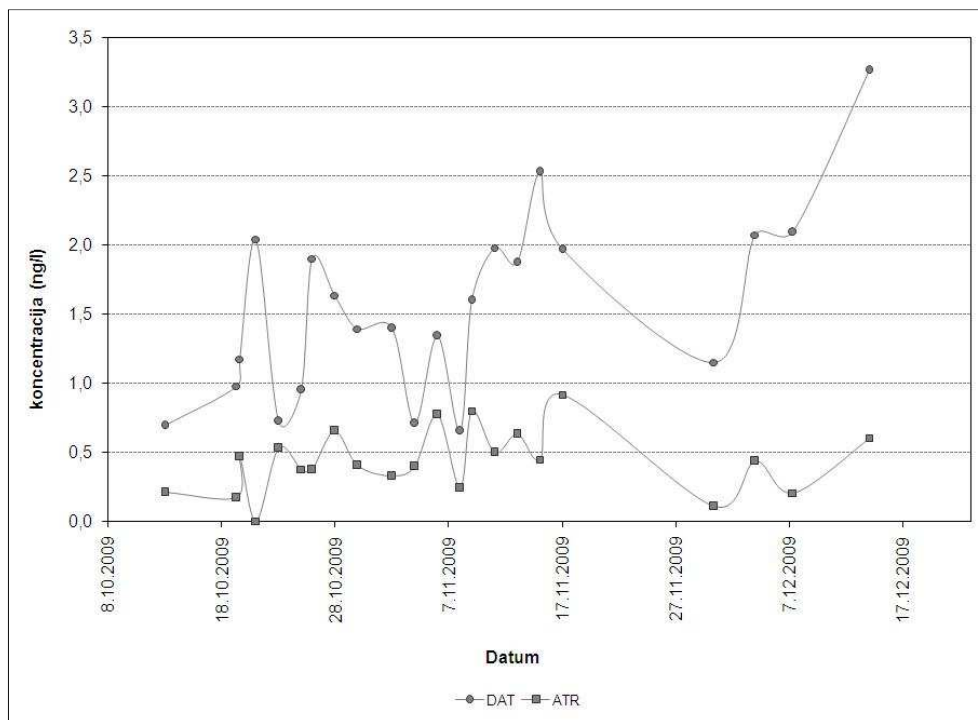
- a. Na vodnjaku VD Brest-1a povečamo količine črpanja na 100 l/s. Istočasno se črpajo maksimalne količine na globokih vodnjakih VD Brest-1a in VD Brest-2a, po potrebi se vključujejo plitvi vodnjaki (14 dni).
- b. po 7 dneh črpanja, v predlaganem režimu, se odvzamejo vzorci podzemne vode na: VD Brest-1, VD Brest-1a, VD Brest-2, VD Brest-2a, VD Brest-3, VD Brest-4, VD Brest-4a, VD Brest-5, VD Brest-6, VD Brest-7, VD Brest-8, VD Brest-9, Iš-1, Iš-5, V-12, V-13, P-22 in Iška (18vzorcev)
- c. Pred ustavitvijo vodnjaka VD Brest-1a, po 14 dneh črpanja v predlaganem režimu, se odvzamejo vzorci podzemne vode na: VD Brest-1, VD Brest-1a, VD Brest-2, VD Brest-2a, VD Brest-3, VD Brest-4, VD Brest-4a, VD Brest-5, VD Brest-6, VD Brest-7, VD Brest-8, VD Brest-9, Iš-1, Iš-5, V-12, V-13, P-22 in Iška (18vzorcev)

PRILOGA D: GIBANJE KONCENTRACIJ ATR IN DAT V VODNJAKIH VODARNE BREST MED ČRPALNIM POSKUSOM V JESENI 2009

Grafikon D 1: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-1 v času črpalnega poskusa.....	3
Grafikon D 2: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-2 v času črpalnega poskusa.....	3
Grafikon D 3: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-3 v času črpalnega poskusa. V začetku črpalnega poskusa je so na vodnjaku potekala vzdrževalna dela.	4
Grafikon D 4: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-4 v času črpalnega poskusa.....	4
Grafikon D 5: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-5 v času črpalnega poskusa.....	5
Grafikon D 6: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-6 v času črpalnega poskusa.....	5
Grafikon D 7: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-7 v času črpalnega poskusa.....	6
Grafikon D 8: Spremljanje koncentracije nitrata v podzemni vodi VD Brest-8 v času črpalnega poskusa.....	6
Grafikon D 9: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-9 v času črpalnega poskusa.....	7
Grafikon D 10: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-1a v času črpalnega poskusa.	7
Grafikon D 11: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-2a v času črpalnega poskusa.	8
Grafikon D 12: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-4a v času črpalnega poskusa	8

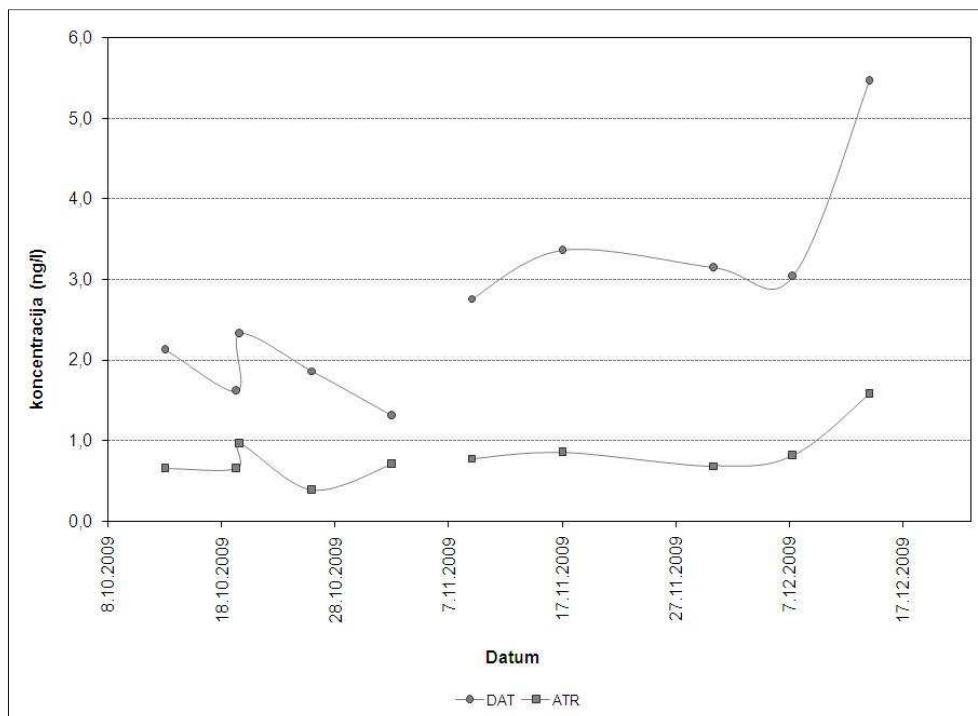
APPENDIX D: ATR AND DAT CONCENTRATION AT WATER FIELD BREST DURING THE PUMPING TEST IN AUTUMN 2009

<i>Graph D 1: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 1 during the pumping test.....</i>	<i>3</i>
<i>Graph D 2: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 2 during the pumping test.....</i>	<i>3</i>
<i>Graph D 3: ATR and DAT concentration s in the groundwater inside the well VD Brest 3 during the pumping test. At the beginning of the pumping test maintenance works were carried out.</i>	<i>4</i>
<i>Graph D 4: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 4 during the pumping test.....</i>	<i>4</i>
<i>Graph D 5: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 5 during the pumping test.....</i>	<i>5</i>
<i>Graph D 6. ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 6 during the pumping test.....</i>	<i>5</i>
<i>Graph D 7: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 7 during the pumping test.....</i>	<i>6</i>
<i>Graph D 8: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 8 during the pumping test.....</i>	<i>6</i>
<i>Graph D 9: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 9 during the pumping test.....</i>	<i>7</i>
<i>Graph D 10: ATR and DAT concentratioesn in the groundwater inside the well VD Brest 1a iduring the pumping test.....</i>	<i>7</i>
<i>Graph D 11: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 2a during the pumping test.....</i>	<i>8</i>
<i>Graph D 12: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 4a during the pumping test.....</i>	<i>8</i>



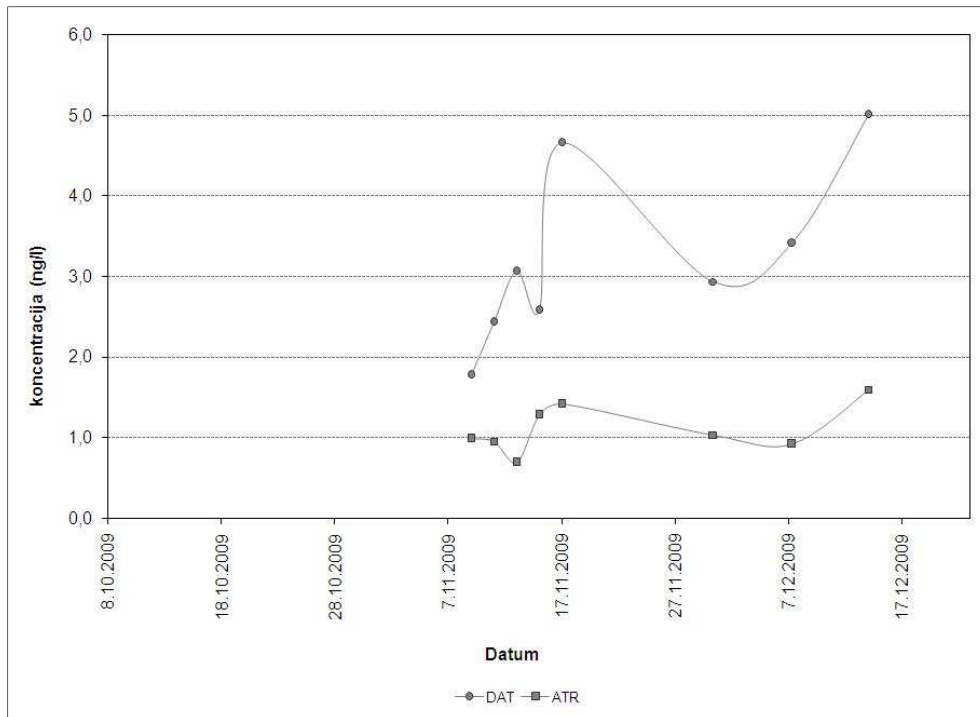
Grafikon D 1: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-1 v času črpalnega poskusa.

Graph D 1: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 1 during the pumping test.



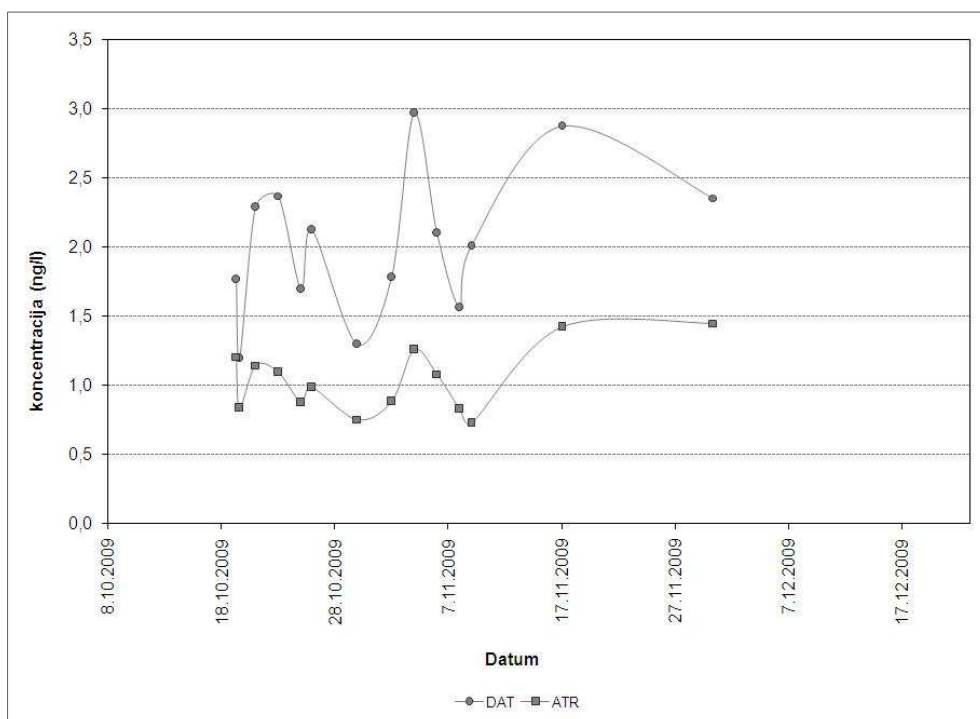
Grafikon D 2: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-2 v času črpalnega poskusa.

Graph D 2: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 2 during the pumping test.



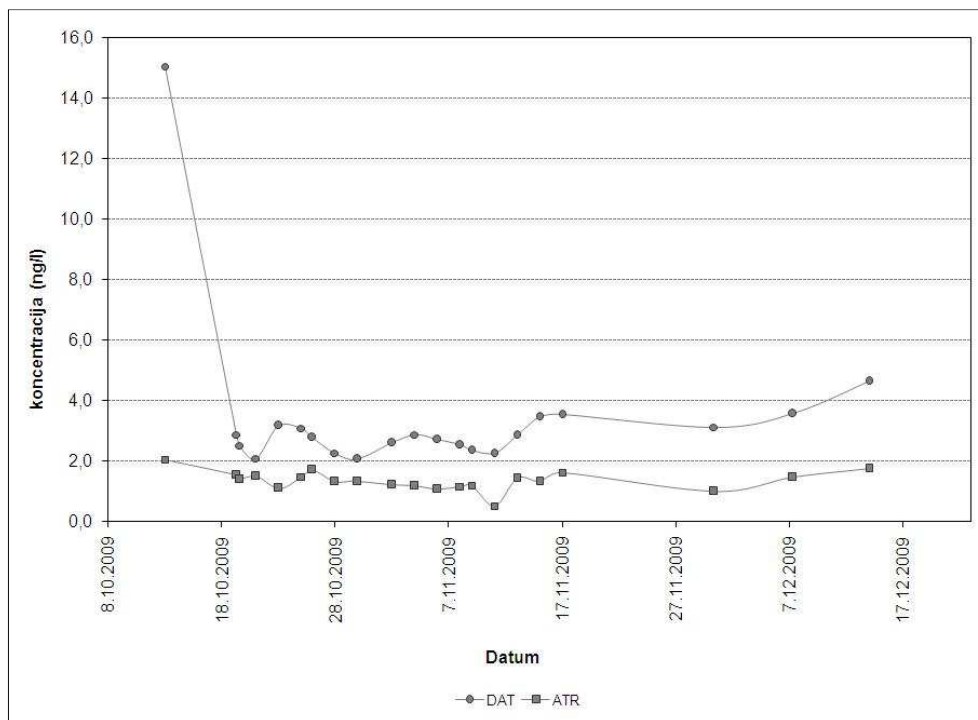
Grafikon D 3: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-3 v času črpalnega poskusa. V začetku črpalnega poskusa je so na vodnjaku potekala vzdrževalna dela.

Graph D 3: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 3 during the pumping test. At the beginning of the pumping test maintenance works were carried out.



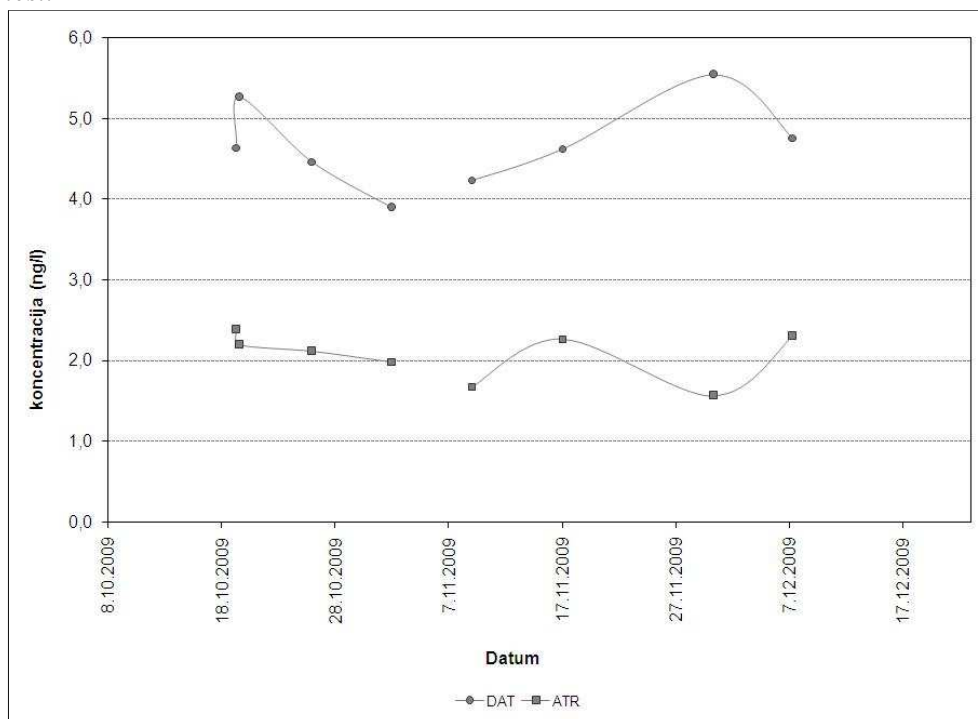
Grafikon D 4: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-4 v času črpalnega poskusa.

Graph D 4: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 4 during the pumping test.



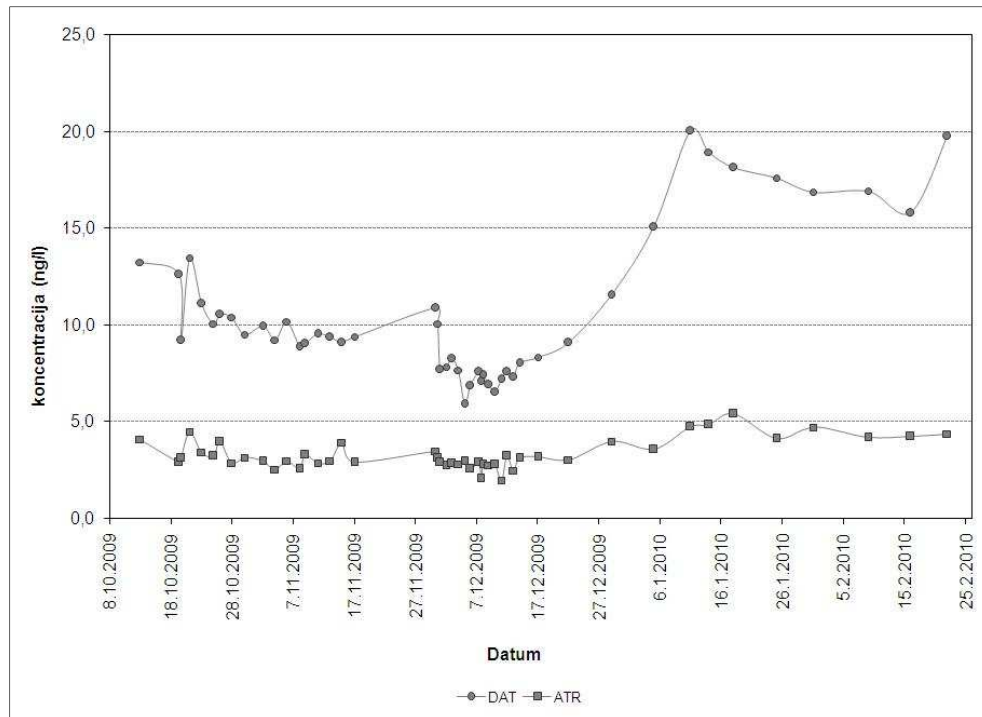
Grafikon D 5: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-5 v času črpalnega poskusa.

Graph D 5: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 5 during the pumping test.



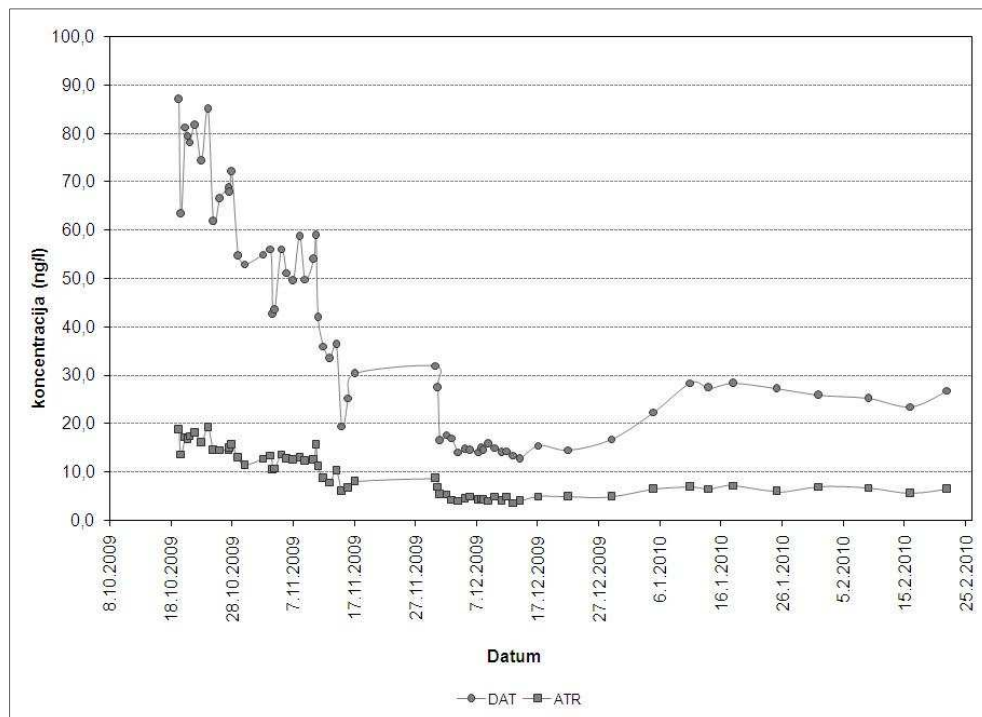
Grafikon D 6: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-6 v času črpalnega poskusa.

Graph D 6: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 6 during the pumping test.



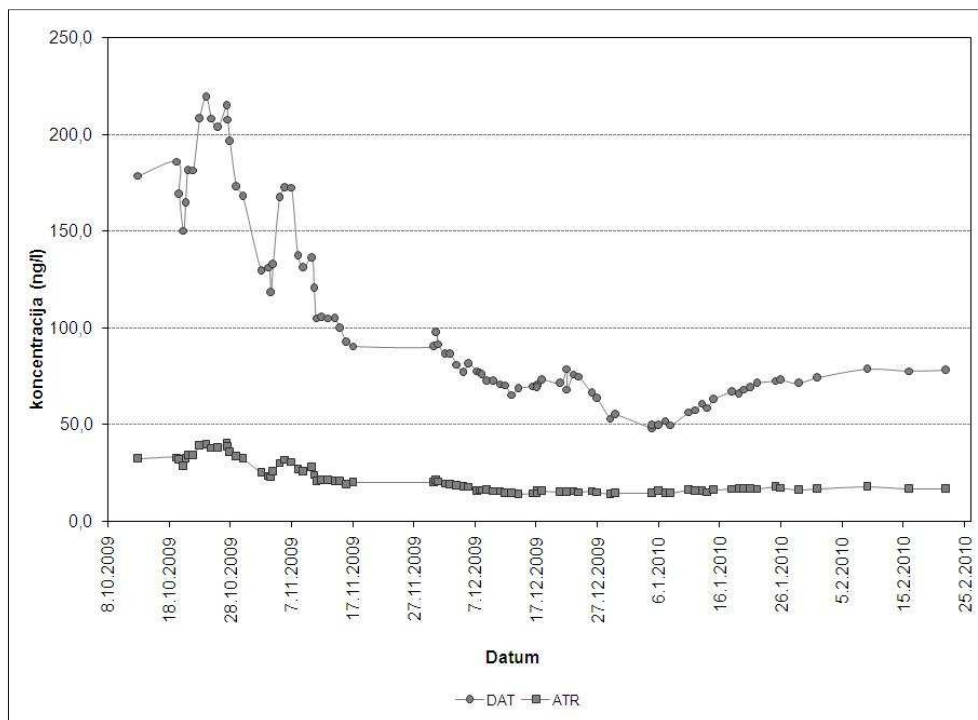
Grafikon D 7: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-7 v času črpalnega poskusa.

Graph D 7: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 7 during the pumping test.



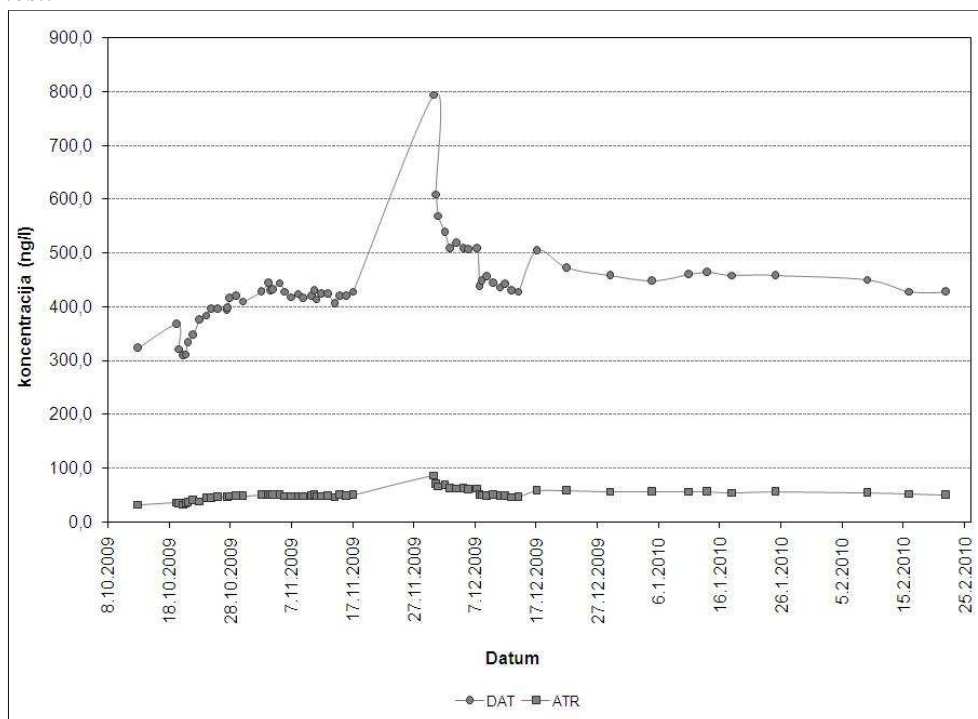
Grafikon D 8: Spremljanje koncentracije nitrata v podzemni vodi VD Brest-8 v času črpalnega poskusa.

Graph D 8: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 8 during the pumping test.



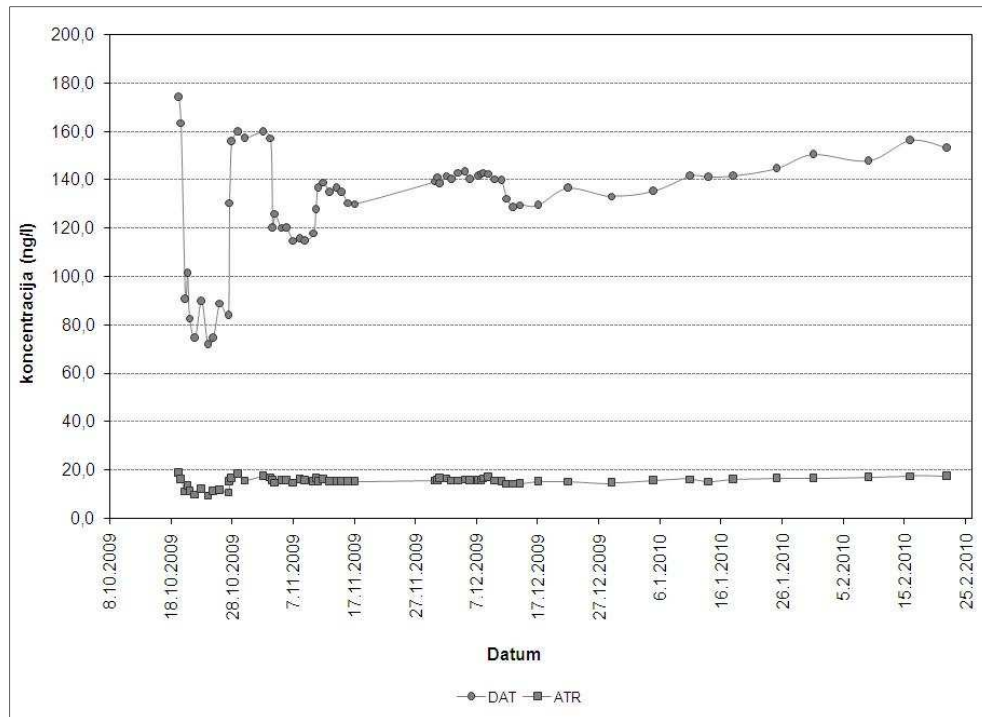
Grafikon D 9: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-9 v času črpalnega poskusa

Graph D 9: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 9 during the pumping test.



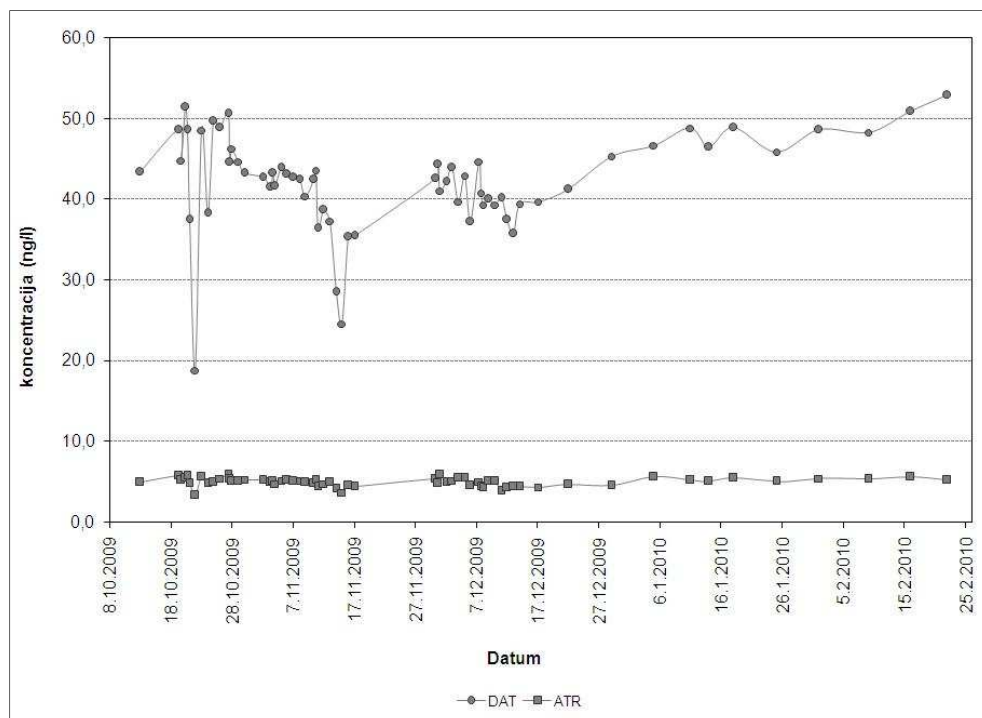
Grafikon D 10: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-1a v času črpalnega poskusa.

Graph D 10: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 1a during the pumping test.



Grafikon D 11: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-2a v času črpalnega poskusa.

Graph D 11: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 2a during the pumping test.



Grafikon D 12: Spremljanje koncentracije ATR in DAT v podzemni vodi VD Brest-4a v času črpalnega poskusa

Graph D 12: ATR and DAT concentrations in the groundwater inside the well VD Brest 4a during the pumping test.

PRILOGA E : GEOLOŠKI PROFIL ČEZ VODARNO BREST

APPENDIX E: THE GEOLOGICAL PROFILE ACROSS THE WATER FIELD BREST

