

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

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



Visokošolski program Gradbeništvo,  
Hidrotehniška smer

Kandidat:

**Vlado Savić**

**Analiza podatkov opazovanj in optimizacija  
opazovalne mreže glede na različne potrebe  
izkoriščanja voda**

**Diplomska naloga št.: 328**

**Mentor:**  
prof. dr. Mitja Brilly

Ljubljana, 26. 1. 2009

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

<b>Stran z napako</b>	<b>Vrstica z napako</b>	<b>Namesto</b>	<b>Naj bo</b>
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

**Podpisani Vlado Savić izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:**

**»Analiza podatkov opazovanj in optimizacija opazovalne mreže glede na različne potrebe izkoriščanja«**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, \_\_\_\_\_2009

---

## **IZJAVA O PREGLEDU NALOGE**

Nalogo so si ogledali predavatelji Fakultete za gradbeništvo in geodezijo-hidrotehnična smer:



## **BIBLIOGRAFIKONSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>UDK: 556.3.04(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Vlado Savič</b>
<b>Mentor:</b>	<b>prof.dr. Mitja Brilly</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Analiza podatkov opazovanj in optimizacija merilne mreže glede na različne potrebe izkoriščanja voda.</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>115 str., 10 pregl., 65 Grafikon.,34 sl., 4 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>opazovanje podzemne vode, konceptualni model, odvisnost površinske in podzemne vode, podzemne vode na urbanih območjih, optimizacija merilne mreže</b>

### **Izvleček**

Podzemna voda v vodonosniku Ljubljanskega polja predstavlja bogat vir pitne vode za prestolnico Slovenije, zato jo je treba varovati in ohranjati. Glede na različne potrebe izkoriščanja virov vode, so ključnega pomena stalne meritve osnovnih fizikalno kemijskih parametrov podzemne vode, ki omogočajo zanesljivo ocenjevanje njenega količinskega in kemijskega stanja. V diplomski nalogi so analizirani podatki dosedanjih meritev in raziskav, ter je podan predlog optimizacije merilne mreže na Ljubljanskem polju. Upoštevani so zgodovinski razvoj urbanizacije mesta, geografske, geološke in hidrogeološke značilnosti območja s posebnim poudarkom na analizi vplivov naravnih in antropogenih dejavnikov na režim podzemnih voda. Vsak od vplivov je podrobno opisan in procesiran z znanimi podatki in meritvami, ter izdelanimi študijami. Optimizacija merilne mreže postaj na podzemnih in površinskih vodah območja Ljubljanskega polja sloni na analizi dosedanje mreže in vplivnih območij, kar je omogočilo določitev gostote opazovanj in razporeditev nove merilne mreže skladno s potrebami rabe vode ter izpolnjevanja zahtev evropske in slovenske zakonodaje na tem področju..

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

<b>UDC:</b>	<b>UDK: 556.3.04(043.2)</b>
<b>Author:</b>	<b>Vlado Savić</b>
<b>Supervisor:</b>	<b>prof.dr.M.Brilly</b>
<b>Title:</b>	<b>Monitoring Data Analysis and Monitoring Network Optimization According to the Various Needs of Water Use</b>
<b>Notes:</b>	<b>115 p., 10 tab., 65 grap., 34 fig., 4 att.</b>
<b>Key words:</b>	<b>groundwater monitoring, conceptual model, groundwater/ surface-water relations, urban groundwater, monitoring network optimization</b>

### **Abstract**

There is a need to protect groundwater of Ljubljansko polje aquifer as an abundant resource of drinking water for Ljubljana – the capital of Slovenia. Due to various water resources exploitation it is of utmost importance to continuously monitor basic physical and chemical parameters of groundwater, which enable reliable assessment of groundwater quantitative and chemical status. In this diploma project are analysed data of so far monitoring and research results, followed by the proposal of monitoring network optimization at Ljubljansko polje. Into account are taken historical urbanization of Ljubljana, geographical, geological and hydrogeological characteristics of the area, with strong emphasis on analysis of natural and anthropogenic pressures influencing groundwater regime. Every of influencing factors is described in detail according to data of monitoring and the results of available studies. Optimization of the network of groundwater and surface water stations at Ljubljansko polje is based on analysis of existing network and definition of the areas with prevailing influencing factor to groundwater regime. Result of optimization are network locations and monitoring frequency defined according to the needs of water use as well as meeting the requirements of European and Slovenian legislation in the water sector.

## **1 UVOD**

<b>1.1 Splošno</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Namen naloge</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Zgodovina razvoja mesta in rabe vode</b>	<b>2</b>

## **2 ZNAČILNOSTI LJUBLJANSKEGA POLJA**

<b>2.1 Geografske značilnosti</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1 Površinske vode na Ljubljanskem polju</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2 Izviri na Ljubljanskem polju</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Geološke značilnosti</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Hidrogeološke lastnosti vodonosnika</b>	<b>10</b>
<b>2.3.1 Osnovne značilnosti</b>	<b>10</b>
<b>2.3.2 Hidrogeološka zgradba vodonosnih plasti</b>	<b>11</b>
<b>2.3.3 Prepustnost vodonosnih plasti</b>	<b>12</b>
<b>2.3.4 Položaj podzemnih voda</b>	<b>13</b>

## **3 DEJAVNIKI VPLIVA NA REŽIM PODZEMNIH VODA**

<b>3.1 Splošno</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Antropogeni vplivi</b>	<b>16</b>
<b>3.2.1 Urbanizacija</b>	<b>16</b>
<b>3.2.2 Kmetijstvo in vrtničkarstvo</b>	<b>17</b>
<b>3.2.3 Industrija</b>	<b>18</b>
<b>3.2.4 Prometna infrastruktura</b>	<b>19</b>
<b>3.2.5 Komunalna infrastruktura</b>	<b>19</b>
<b>3.2.6 Odlagališča odpadkov in gramoznice</b>	<b>20</b>
<b>3.2.7 Energetski objekti</b>	<b>21</b>
<b>3.3 Naravni vplivi</b>	<b>21</b>
<b>3.3.1 Površinski vodotoki</b>	<b>21</b>

<b>3.3.2 Podnebje</b>	<b>30</b>
<b>3.3.3 Vplivi zaledja</b>	<b>40</b>
<b>3.3.4 Vpliv viseče podtalnice</b>	<b>42</b>

#### **4 ANALIZA HIDROGEOLOŠKEGA SISTEMA**

<b>4.1 Splošno</b>	<b>46</b>
<b>4.2 Vplivno območje reke Save</b>	<b>48</b>
<b>4.3 Vplivna območja zaledij in viseče podtalnice</b>	<b>54</b>
<b>4.3 .1 Podzemne vode na območju Ljubljanskih vrat</b>	<b>54</b>
<b>4.3 .2 Podzemne vode na območju pivovarne Union</b>	<b>56</b>
<b>4.3. 3 Podzemne vode na območju Dravelj</b>	<b>58</b>
<b>4.4 Osrednji del vodonosnika</b>	<b>59</b>
<b>4.5 Črpanje podzemne vode</b>	<b>67</b>
<b>4.6 Smeri in gradienti toka podzemne vode</b>	<b>68</b>
<b>4.7 Vodovarstvena območja Ljubljanskega polja</b>	<b>75</b>

#### **5 OPTIMIZACIJA MERILNE MREŽE**

<b>5.1 Razlogi za optimizacijo merilne mreže za spremljanje režima podzemne vode</b>	<b>77</b>
<b>5.2 Pregled obstoječe mreže</b>	<b>77</b>
<b>5.2.1 Površinske vode</b>	<b>77</b>
<b>5.2.1 1 Reka Sava</b>	<b>78</b>
<b>5.2.1.2 Reka Ljubljanica</b>	<b>78</b>
<b>5.2.2 Podzemne vode</b>	<b>79</b>
<b>5.3 Analiza podatkov sedanje merilne mreže</b>	<b>80</b>
<b>5.3.1 Splošno</b>	<b>80</b>
<b>5.3.1.1 Osnovna statistična analiza hidroloških podatkov</b>	<b>80</b>
<b>5.3.1.2 Korelacija gladin</b>	<b>82</b>
<b>5.3.1.3 Faktorska analiza gladin</b>	<b>85</b>
<b>5.3.1.4 Pregled amplitud in tendenc sredine ter položajev merilnih mest</b>	<b>86</b>

<b>5.3.1.5 Klusterska analiza gladin</b>	<b>86</b>
<b>5.4 Predlog nove merilne mreže</b>	<b>88</b>
<b>5.4.1 Določitev vplivnih con</b>	<b>88</b>
<b>5.4.2 Gostota opazovanj</b>	<b>88</b>
<b>5.4.3 Položaj nove merilne mreže</b>	<b>92</b>
<b>6 ZAKLJUČKI</b>	<b>95</b>
<b>VIRI</b>	<b>96</b>
<b>PRILOGE</b>	<b>100</b>

## **OKRAJŠAVE IN SIMBOLI**

<b>ARSO</b>	Agencija Republike Slovenije za okolje
<b>CČN</b>	Centralna čistilna naprava
<b>IRGO</b>	Inštitut za rudarstvo, geotehnologijo in okolje
<b>JP VO-KA</b>	Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija
<b>GeoZS</b>	Geološki zavod Slovenije
<b>HMZ</b>	Hidrometeorološki zavod
<b>PodV</b>	Podzemna voda

## KAZALO PREGLEDNIC

<b>Preglednica 1:</b> Karakteristične mesečne in obdobjne vrednosti padavin in temperatur zraka za meteorološko postajo v Ljubljani (Vir:ARSO)	33
<b>Preglednica 2:</b> Količina in delež načrpane vode na črpališčih za pitno vodo JP VO-KA v letu 2007 (Vir podatkov: JP VO-KA)	67
<b>Preglednica 3:</b> Podatki meritev gladin podzemne vode v profilu Roje-Kleče iz leta 1948 (Vir podatkov: arhiv HMZ)	74
<b>Preglednica 4:</b> Osnovne karakteristične vrednosti gladin podzemne vode Ljubljanskega polja	81
<b>Preglednica 5:</b> Medsebojni korelacijski faktorji obravnavanih postaj Ljubljanskega polja	83
<b>Preglednica 6:</b> Tabela rezultatov faktorske analize gladin na postajah za PodV	85
<b>Preglednica 7:</b> Tabelarni pregled rezultatov analize vseh izmerjenih gladin na postaji LP Roje v obdobju meritev 1988-2007 (Vir podatkov: JP VO-KA).	89
<b>Preglednica 8:</b> Vpliv pogostosti opazovanja na kvaliteto podatkov na postaji LJ-Bratislavka od 1.8-31.10.2007(Vir podatkov: ARSO)	90
<b>Preglednica 9:</b> Vpliv pogostosti opazovanja na kvaliteto podatkov na postaji Roje od 1.8-31.10.2007(Vir podatkov: ARSO)	92
<b>Preglednica 10:</b> Tabelarni prikaz položaja novih merilnih mest postaj za spremljanje režima podzemnih voda Ljubljanskega polja	94

## KAZALO GRAFIKONIKONOV

<b>Grafikon 1:</b> Karakteristični vodostaji na Savi pri Šentjakobu v letih od 1960-2007 (Vir podatkov: ARSO).	6
<b>Grafikon 2:</b> Prikaz nihanja gladin podzemne vode na starem vodnjaku v Klečah III v obdobju od 1892-2007 (Vir: VOKA, 2008)	15
<b>Grafikon 3:</b> Letne količine načrpane in prodane vode v obdobju 1952-2007. (Vir: VOKA 2008)	20
<b>Grafikon 4:</b> Dnevno gibanje gladin podzemne vode v vplivnem območju depresijskega lijaka črpališča Kleče (Vir podatkov: JP VO-KA).	20
<b>Grafikon 5:</b> Poglobljanje korita reke Save na profilu od Tacna do Črnuč v obdobju od 1891-1948 leta (Vir podatkov: ARSO).	22
<b>Grafikon 6:</b> Znižanje gladin reke Save v izmerjenih profilih med Tacnom in Črnučami v letih 1891-1948 (Vir podatkov: arhiv ARSO)	23
<b>Grafikon 7:</b> Kote dna reke Save na podolžnem profilu v obdobju 1978-2006 (Vir podatkov: ARSO, FGG)	24
<b>Grafikon 8:</b> Kote gladin reke Save na podolžnem profilu merjeni pri nizkih in visokih vodah ter preračunane gladine 100 letnih voda. (Vir podatkov: arhiv ARSO)	25
<b>Grafikon 9:</b> Karakteristične letne vrednosti vodostajev na merilni postaji Sava Medno v letih 1969-2007 (Vir podatkov: ARSO)	26
<b>Grafikon 10:</b> Karakteristične letne vrednosti vodostajev na merilni postaji Sava Šentjakob v letih 1960-2007 (Vir podatkov: ARSO)	26
<b>Grafikon 11:</b> Korelacija vodostajev na vodomernih postajah Sava Šentjakob in Sava Medno (Vir podatkov: ARSO)	27
<b>Grafikon 12:</b> Položaj kote dna v primerjavi z karakterističnimi vrednostmi izmerjenimi na postaji Sava Tacen v letih 1895-1959 (Vir podatkov: arhiv ARSO)	28
<b>Grafikon 13:</b> Odklon letnih karakterističnih vrednosti na postaji Sava-Šentjakob od povprečja za obdobja 1960-2007 (Vir podatkov: ARSO)	28
<b>Grafikon 14:</b> Srednje mesečne padavine in temperature zraka dveh različnih obdobj (Vir podatkov: ARSO).	33



<b>Grafikon 15:</b> Povprečne dnevne vrednosti padavin in temperature zraka z 30 dnevni drsečim povprečjem na postaji LJ-Bežigrad v letih 2006-2007. (Vir podatkov: ARSO)	34
<b>Grafikon 16:</b> Srednje letne količine padavin in temperatur zraka za Ljubljano med leti 1863 in 2007 (Vir podatkov: ARSO)	34
<b>Grafikon 17:</b> Padavine na meteorološki postaji LJ-Bežigrad 1963-2007 z 10 letnim drsečim povprečjem (Vir podatkov: ARSO)	35
<b>Grafikon 18:</b> Padavine na meteorološki postaji LJ-Bežigrad 1948-2007 z 10 letnim drsečim povprečjem (Vir podatkov: ARSO)	36
<b>Grafikon 19:</b> Efektivne padavine na meteorološki postaji LJ-Bežigrad 1948-2007 z 10 letnim drsečim povprečjem (Vir podatkov: ARSO)	36
<b>Grafikon 20:</b> Odklon letnih količin padavin od povprečja obdobja 1860-2007 ter 10 letno drseče povprečje (Vir podatkov: ARSO)	37
<b>Grafikon 21:</b> Odklon srednjih letnih količin padavin od povprečja obdobja 1948-2007 ter 10 letno drseče povprečje (Vir podatkov: ARSO)	37
<b>Grafikon 22:</b> Srednje letne temperature zraka na meteorološki postaji LJ-Bežigrad in deset letno drseče povprečje v obdobju 1863-2007 (Vir podatkov: ARSO)	38
<b>Grafikon 23:</b> Srednje letne temperature zraka na meteorološki postaji LJ-Bežigrad in deset letno drseče povprečje v obdobju 1848-2007 (Vir podatkov: ARSO)	39
<b>Grafikon 24:</b> Odklon srednjih letnih temperatur zraka na meteorološki postaji LJ-Bežigrad od povprečja obdobja 1860-2007 ter 10 letno drseče povprečje (Vir podatkov: ARSO)	39
<b>Grafikon 25:</b> Odklon srednjih letnih temperatur zraka na meteorološki postaji LJ-Bežigrad od povprečja obdobja 1948-2007 ter 10 letno drseče trendno povprečje (Vir:ARSO)	40
<b>Grafikon 26:</b> Vodnjak na Sojerjevi zaradi vpliva viseče podtalnice samo ob nizkem vodostaju kaže režim spodnjega vodonosnika (Vir podatkov: ARSO)	41
<b>Grafikon 27:</b> Gladine podzemne vode na postajah na območju Ljubljanskih vrat 26.8.-10.11.2008 (Vir podatkov: GeoZS)	42
<b>Grafikon 28:</b> Globina in temperatura podzemne vode na postaji Sojerjeva v Zg.Šiški v času od 22.10-21.12.2008 (Vir podatkov: ARSO)	43

<b>Grafikon 29:</b> Globina in temperatura podzemne vode na 0630 Bravničarjevi v obdobju od 22.8-21.12.2008 (Vir podatkov: ARSO)	44
<b>Grafikon 30:</b> Globina in temperatura podzemne vode na merilni postaji Delo v času od 22.10-21.12.2008 (Vir podatkov: ARSO)	44
<b>Grafikon 31:</b> Urni vpliv viseče podtalnice na podzemno vodo z linijo enournih trendov (debelejša črta) na postaji DELO dne 23.10.2008 (Vir podatkov: ARSO)	45
<b>Grafikon 32:</b> Padavine, temperatura, gladina podzemne vode in vodostaji Save v letu 1900-1902 (Vir podatkov: arhiv HMZ)	48
<b>Grafikon 33:</b> Padavine, temperatura, gladina podzemne vode in vodostaji Save v letu 1933-1935 (Vir podatkov: arhiv HMZ)	49
<b>Grafikon 34:</b> Odvisnost gladin podzemne vode in vodostajev Save z 15 dnevним drsečim povprečjem (Vir: arhiv HMZ)	49
<b>Grafikon 35:</b> Vpliv reke Save na gladine podzemne vode na območju Mednega leta 1968 (Vir podatkov: HMZ)	50
<b>Grafikon 36:</b> Odvisnost srednjih mesečnih vrednosti parametrov na postaji Kleče in gladin reke Save za obdobje maj 2003-julij 2007 (Vir podatkov: ARSO)	51
<b>Grafikon 37:</b> Odvisnost srednjih mesečnih vrednosti parametrov v Klečah v obdobju nastopa visoke vode reke Save leta 2000 (Vir podatkov: ARSO).	52
<b>Grafikon 38:</b> Vpliv padavin in vodostajev reke Save na gladine podzemne vode v Rojah v letu 2006 (Vir podatkov: ARSO)	53
<b>Grafikon 39:</b> Medsebojna odvisnost vodostaja reke Save, količine padavin in gladine podzemne vode v Rojah v letu 2007 (Vir podatkov: ARSO)	53
<b>Grafikon 40:</b> Gladina podzemne vode in temperatura podzemne vode z umetnim vplivom zaradi okvare toplovoda (Vir podatkov: ARSO)	54
<b>Grafikon 41:</b> Medsebojna primerjava globin in temperatur vode na postajah Delo in RTV (Vir podatkov: ARSO)	55
<b>Grafikon 42:</b> Nivoji podzemne vode na postajah na območju Ljubljanski vrat 26.8.-10.11.2008 (Vir podatkov: GeoZS)	56
<b>Grafikon 43:</b> Gladine na piezometrih na območju Uniona v obdobju od 1.8-1.10-2008 (Vir:IRGO)	57

<b>Grafikon 44:</b> Odvisnost vodostajev na postajah Union za čas od 1.8-1.10-2008 (Vir:IRGO)	57
<b>Grafikon 45:</b> Globina viseče podtalnice in temperatura na postajah Bravničarjeva in Sojerjeva v obdobju 22.10-21.12.2008 (Vir podatkov: ARSO)	58
<b>Grafikon 46:</b> Gladina in temperatura podzemne vode na postaji BSC-1/03 v letu 2007 (Vir podatkov: JP VO-KA)	59
<b>Grafikon 47:</b> Gladine podzemne vode so pred večjimi odvzemi dušeni (Hrastje AMP), izven območja črpališč pa se akumulirajo Zalog, Bežigrad (Vir podatkov: ARSO)	60
<b>Grafikon 48:</b> Prikaz vpliva padavin na gladine podzemne vode v Rojah leta 2007, oddaljeni 85 m od reke Save (Vir podatkov: ARSO).	61
<b>Grafikon 49:</b> Prikaz vpliva padavin na vodostaje podzemne vode na postaji AMP Hrastje leta 2007, oddaljeni 840 m od reke Save (Vir podatkov: ARSO).	61
<b>Grafikon 50:</b> Minimalne in maksimalne gladine podzemne vode na postaji Kleče III (Vir: JP VO-KA)	62
<b>Grafikon 51:</b> Amplituda nihanja podzemne vode v Klečah III, srednja vrednost amplitude in 10 letno drseče povprečje amplitud v obdobju 1892-2007 (Vir podatkov: JP VO-KA)	63
<b>Grafikon 52:</b> Odklon letne amplitude od povprečne amplitude obdobja 1892-2007 in 10 letno drseče povprečje (Vir podatkov: JP VO-KA)	64
<b>Grafikon 53:</b> Odklon karakterističnih vodostajev od povprečja obdobja 1892-1968 (Vir: JP VO-KA)	64
<b>Grafikon 54:</b> Karakteristični gladine in deset letni drseči trendi podzemne vode na postaji 0541 Kleče od leta 1974-2004 (Vir podatkov: ARSO)	65
<b>Grafikon 55:</b> Deleži načrpanih količin podzemnih voda na črpališčih v posameznih vodarnah na Ljubljanskem polju v obdobju 1995-2007 (Vir: VOKA 2008).	67
<b>Grafikon 56:</b> Histogrami na postajah na reki Savi ter na postajah za podzemne vode Ljubljanskega polja	82
<b>Grafikon 57:</b> Primerjava opazovanih vrednosti gladin PodV na postajah Ljubljanskega polja	84

<b>Grafikon 58:</b> Diagram lastnih vrednosti faktorске analize gladin na postajah za PodV	85
<b>Grafikon 59:</b> Škatlasti diagram ki nam pokaže položaj izmerjenih karakterističnih vrednosti gladin na postajah Ljubljanskega polja.	86
<b>Grafikon 60:</b> Dendrogram klusterske analize gladin podzemne vode in reke Save na območju Ljubljanskega polja	87
<b>Grafikon 61:</b> Karakteristične vrednosti gladin na postaji LP Roje v obdobju 1988-2007 (Vir podatkov: JP VO-KA)	89
<b>Grafikon 62:</b> Različne pogostosti opazovanj na postaji LJ-Bratislavška v letu 2007 (Vir podatkov: ARSO)	90
<b>Grafikon 63:</b> Vpliv pogostosti opazovanja na kvaliteto podatkov na postaji LJ-Bratislavška od 1.8-31.10.2007(Vir podatkov: ARSO)	91
<b>Grafikon 64:</b> Različne pogostosti opazovanj na postaji Roje v letu 2007(Vir podatkov: ARSO)	91
<b>Grafikon 65:</b> Vpliv pogostosti opazovanja na kvaliteto podatkov na postaji Roje od 1.8-31.10.2007(Vir podatkov: ARSO)	92

## KAZALO SLIK

<b>Slika 1:</b> Razvoj urbanizacije in črpališč podzemne vode na Ljubljanskem polju (Vir: Mikulič, Savić 1997)	3
<b>Slika 2:</b> Ljubljansko polje ( Frantar v Rejec Brancelj in sod., 2005)	4
<b>Slika 3:</b> Pogled na otoček na Savi pri Tomačevem ki je nastal kot posledica zmanjšane erozije in preusmeritve toka v sami strugi ter ostanki nekoč zgrajenega praga . (Foto: Savić, 2008)	5
<b>Slika 4:</b> Struga reke Save ob koncu 19. in 20. stoletja (Mikulič,Savić 1997)	6
<b>Slika 5:</b> Izvir podzemne vode ob Ljubljanici v Slapah (foto:Savić, 2005)	7
<b>Slika 6:</b> Geološka karta Ljubljanskega polja. Izsek iz OGK Kranj (Grad in sod., 1974) in OGK Ljubljana (Premru in sod., 1982)	8
<b>Slika 7:</b> Podlaga v strugi Save pri Črnučah ter konglomeratna plast v strugi reke Save pri Tomačevem (foto: Savić,2008)	9
<b>Slika 8:</b> Plast gline na gradbišču ob občinski stavbi v Mostah (foto: Savić,2008)	10
<b>Slika 9:</b> Globina do neprepustne podlage Ljubljanskega polja (Vir podatkov: JP VO-KA)	11
<b>Slika 10:</b> Vzdolžni hidrogeološki prerez Ljubljanskega polja od Mednega do sotočja rek Save in Ljubljanice (VODA, št. 29, 2001)	12
<b>Slika 11:</b> Prečni hidrogeološki prerez na območju Uniona (Vir:IRGO 2005)	13
<b>Slika 12:</b> Karta hidroizohips, iz obdobja raziskav za izgradnjo črpališča Kleče leta 1887 (Vir podatkov: arhiv, ARSO)	14
<b>Slika 13:</b> Pregledna karta urbaniziranih površin (Smrekar v Rejec Brancelj in sod.,2005)	17
<b>Slika 14:</b> Karta rabe prostora na Ljubljanskem polju iz leta 2000 (P.Frantar v Rejec Brancelj in sod., 2005)	18

<b>Slika 15:</b> Odpadki v vodnjaku v vojaškem skladišču v Rojah in v gramozni jami nedaleč stran. Črpališče Šentvid je slab kilometer dolvodno (Foto: Savič sep.08).	21
<b>Slika 16:</b> Primer slabega vzdrževanja struge in objektov kot je temelj avtocestnega mostu v Tacnu. (Foto: Savič sep.08)	24
<b>Slika 17:</b> Posledica bočne erozije v strugi reke Save, koristna za povečanje infiltracijske površine (Foto: Savič sep.08).	29
<b>Slika 18:</b> Regulirana struga reke Ljubljanice v Mostah je neprepustna in zablatena (foto: Savič, sep.2008)	30
<b>Slika 19:</b> Padavinska karta za območje Ljubljanskega polja v obdobju 1971-2000 (Vir: ARSO)	32
<b>Slika 20:</b> Konceptualni model Ljubljanskega polja	46
<b>Slika 21:</b> Karta podlage Ljubljanskega polja (Vir podatkov: JP VO-KA)	47
<b>Slika 22:</b> Deleži reke Save na črpalnih vodnjakih Ljubljanskega polja na podlagi izotopske sestave kisika v vodi (Urbanc in Jamnik, 1999)	66
<b>Slika 23:</b> Hidrološka karta z dne 30.9.-2.10.1887 (Vir podatkov: arhiv HMZ)	69
<b>Slika 24:</b> Hidrološka karta z dne 25-27.8.1896 (Vir podatkov: arhiv HMZ)	70
<b>Slika 25:</b> Hidrološka karta z dne september 1918 (Vir podatkov: arhiv HMZ)	70
<b>Slika 26:</b> Hidrološka karta z dne 25-26.10.1948 (Vir podatkov: arhiv HMZ)	71
<b>Slika 27:</b> Hidrološka karta z dne 6-8.2.1967 (Vir podatkov: arhiv HMZ)	71
<b>Slika 28:</b> Hidrološka karta z dne 21-24.9.1992 (Vir podatkov: HMZ, ARSO)	72
<b>Slika 29:</b> Hidrološka karta z dne 2.9.2008 (Vir podatkov: ARSO, JP VO-KA, GeoZS, IRGO)	73
<b>Slika 30:</b> Hidrogeološki prečni profil na reko Savo v Rojah v smeri k črpališču Kleče (Vir podatkov: HMZ)	74
<b>Slika 31:</b> Vodovarstvena območja na Ljubljanskem polju po uredbi iz l. 2004 (Rejec Brancelj in sod., 2005)	75
<b>Slika 32:</b> Karta naravne ranljivosti podzemne vode Ljubljanskega polja (Vir: Janža, Prestor, 2002)	76

**Slika 33:** Vplivna območja večjih odvzemov (črpališč) in merilna mesta na Ljubljanskem polju. (bolj pregledna karta v prilogi A) 88

**Slika 34:** Predlog položaja nove merilne mreže na podzemnih in površinskih vodah (bolj pregledna karta v prilogi D) 94





## 1 UVOD

### 1.1 Splošno

Voda je edina snov na Zemlji ki jo v naravi najdemo v vseh treh agregatnih stanjih. Nahaja se v zraku, na kopnem, in pod površjem. V krvi jo imamo okoli 90 %, zato z razlogom rečemo da je »vir življenja«. Voda je prav tako gonilo razvoja družbe saj ni gospodarske panoge ki bi lahko obstala brez vode.

Podzemne vode Ljubljanskega polja pa imajo še posebno vlogo, saj so glavni in skoraj edini vir pitne vode prestolnice Slovenije. Zato na območju Ljubljanskega polja kot največjem rezervatu čiste pitne vode v Sloveniji potekajo številne raziskave na področju ugotavljanja stanja zalog in kvalitete podzemne vode, kakor tudi obremenjevanja zaradi vpliva naravnih in antropogenih faktorjev okolja. Glavni razlog teh raziskav je zavedanje, da raba podzemne vode ni neomejena, ter da je njeno porabo potrebno gospodarno in skrbno načrtovati in racionalno izkoriščati.

Glavni vzrok zmanjševanja zalog pitne vode v preteklosti je bilo močno poglobljanje dna struge reke Save, posledice česar je nenehno zniževanje gladin podzemne vode. To je razlog načrtovanja merilnih postaj, na katerih bi v profilih največjega zatekanja reke Save v vodonosnik, sledili vplivom tudi po izgradnji načrtovanih hidroenergetskih objektov na Savi, ki lahko povzročijo drugačno stanje podzemnih voda kot je sedanje.

Drugi večji razlog možnega pomanjkanja pitne vode je, da zaradi povečane urbanizacije, intenzivnega kmetijstva, industrijskih odvzemov in izpustov ali drugih antropogenih vplivov, pride do onesnaženja vodonosnika tako, da voda postane neuporabna za pitje. Ta razlog in ugotovitve dogajanj na nekaterih postajah v urbaniziranem okolju, narekujejo postavitev merilne mreže na območjih, ki bi služile kot kontrolne točke spremljanja teh obremenitev na osnovni horizont podzemne vode.

Zaloge vode se sedaj zaradi zmanjšane črpanja povečujejo, toda to nas ne sme zavajati. Potrebe so v prihodnosti lahko bistveno večje kot sedaj, na kar je potrebno biti pripravljen. V ta namen je potrebno zagotoviti ustrezen monitoring podzemnih voda in nadaljevati z raziskavami vodonosnika Ljubljanskega polja.

Meritve parametrov na optimalno postavljeni in tehnično primerni mreži bodo dobra podlaga za napovedovanje in poročanje o stanju režima podzemnih voda kot glavnega vira pitne vode za Ljubljano.

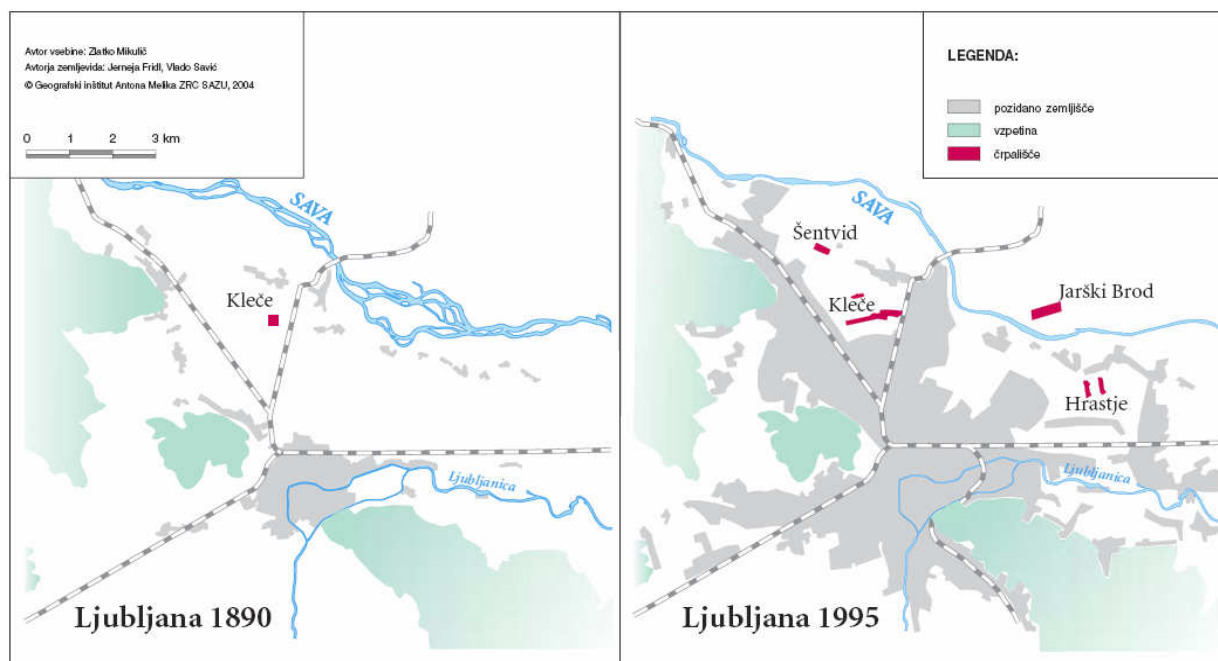
## **1.2 Namen naloge**

Namen diplomske naloge je na primeru Ljubljanskega polja, opredeliti vplive okolja, analizirati podatke meritev v preteklosti, podati oceno o primernosti položaja merilnih mest monitoringov na podzemnih vodah glede na različne uporabnike ter podati predlog optimizacije merilne mreže na podzemnih in površinskih vodah. Optimizirana mreža bo dolgoročno služila za spremljanje vplivov okolja na količinsko in kakovostno stanje podzemnih voda Ljubljanskega polja glede na različne uporabnike.

## **1.3 Zgodovina razvoja mesta in rabe vode**

Že prebivalci antične rimske Emone so zajemali vodo višje ležečih izvirov ter jo dovajali do uporabnikov. Tako so vodo iz izvira izpod Golovca po kanalih dovajali proti Mestnemu trgu, izvir Zlatek pa je oskrboval območje vasi Dravljje, Koseze in Šiška. Sicer pa so se vsa večja mesta, pa tudi Ljubljana, razvila na območju kjer so bili večji vodotoki in kjer so bile možnosti zajema pitne vode, bodisi iz izvirov ali s kopanjem vodnjakov do podzemne vode v plitvih horizontih. Tako so se razvile vasi okoli Ljubljane na višjih terasah ob reki Savi in Ljubljanici, dovolj visoko da so bile varne pred poplavami ter dovolj blizu, da so bile preskrbljene s potrebno vodo za pitje ali kmetijstvo. Tudi na samem robu mesta in v samem središču so plasti viseče podzemne vode, ki so bile dovolj plitvo za kopanje vodnjakov in primerne za tedanje rabo. Z razvojem mesta ter urbanizacijo in industrializacijo, je bil vse večji problem odvajanja odpadne vode, ki je vodne vire podzemne vode vedno bolj onesnaževala. Zato so se leta 1881 mestni svetniki dogovorili o gradnji »splošnega vodovoda«. Pozneje so sledile številne raziskave in iskanja možnih lokacij zajema pitne vode, ki so privedle do tega da je bilo že maja 1890 zgrajeno in še danes uporabno črpališče Kleče, kar kaže na dober strokovni in gospodarski pristop. Zmogljivost črpališča je bila pogojena z zmogljivostjo batne črpalke 5000 m<sup>3</sup>/dan, poraba vode pa je bila samo 1145 m<sup>3</sup> /dan. Od

takrat pa sta industrijski razvoj in stalna rast prebivalstva zahtevala oskrbo z več kakovostne pitne vode in širitev črpališč na druga območja. Tako je v 90-ih letih dvajsetega stoletja količina načrpane vode znašala 160.000 m<sup>3</sup>/dan. Danes so potrebe nekoliko nižje in je črpanja za oskrbo prebivalcev manj, pojavljajo pa se drugi uporabniki kot so dodatni industrijski zajemi tehnološke vode, kopališča, prehrambena industrija, toplotne črpalke. Zaradi teh potreb skrb za zadostno količinsko in kakovostno stanje podzemne vode še vedno ostaja med prioriteta razvoja mesta.

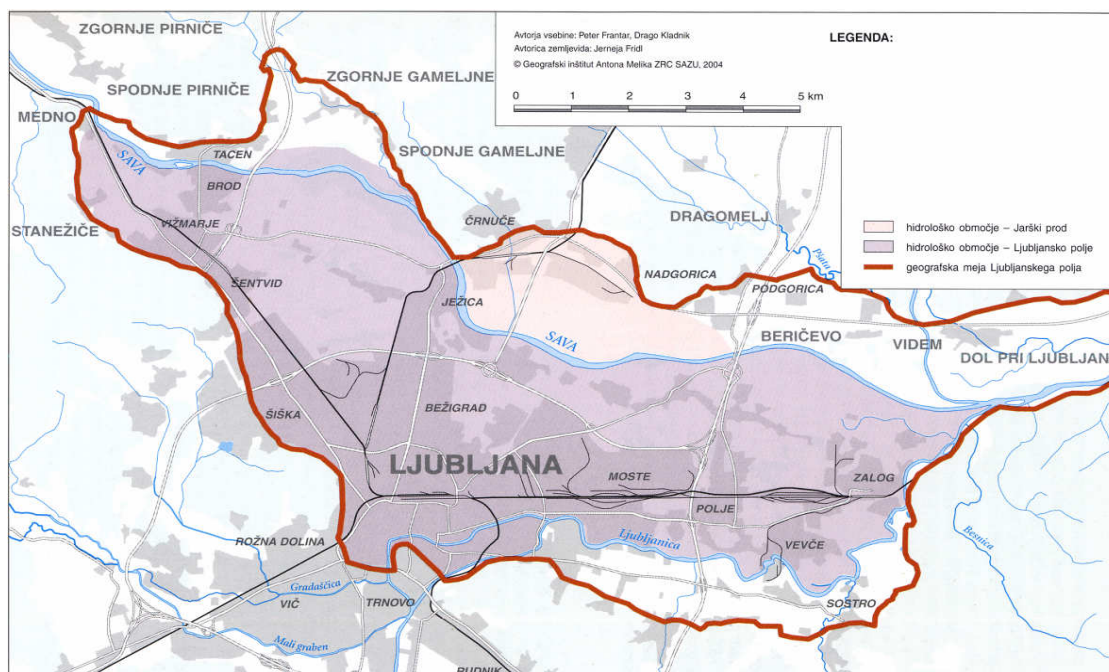


**Slika 1:** Razvoj urbanizacije in črpališč podzemne vode na Ljubljanskem polju (Vir: Mikulič, Savić 1997)

## 2 ZNAČILNOSTI LJUBLJANSKEGA POLJA

### 2.1 Geografske značilnosti

Ljubljansko polje je največje vodooskrbno območje v Sloveniji, čeprav po svoji velikosti sodi med manjša polja. Leži na vzhodnem robu Ljubljanske kotline. To je podolgovata, približno 18 km dolga in 4 km široka ravnina s površino 63 km<sup>2</sup>. Na severu je omejena z reko Savo, na zahodu z nizkim hribovjem, dvigajočim se nad naselji Stanežiče, Šentvid in Dravljje, na jugu z območjem med Šišenskim hribom, Rožnikom in Ljubljanskim gradom ter Golovcem, na vzhodu pa s sotočjem rek Save in Ljubljanice. Površje Ljubljanskega polja je v generalni smeri nagnjeno proti vzhodu. Na severnem in južnem delu polja potekajo terase ob rekah Savi in Ljubljanici. Višine teh teras so različne: tako so v Vižmarjah visoke okoli 10 metrov po toku reke Save se znižujejo, ter na sotočju z Ljubljanico izginejo. Nadmorske višine terena na zahodnem delu polja so med 324 m (Stanežiče) in 298 m (stavba Metalke v mestnem središču), na spodnji terasi pa med 306 (Medno) in 285 (Ježica) m in na vzhodu okrog 270 m (Zalog).



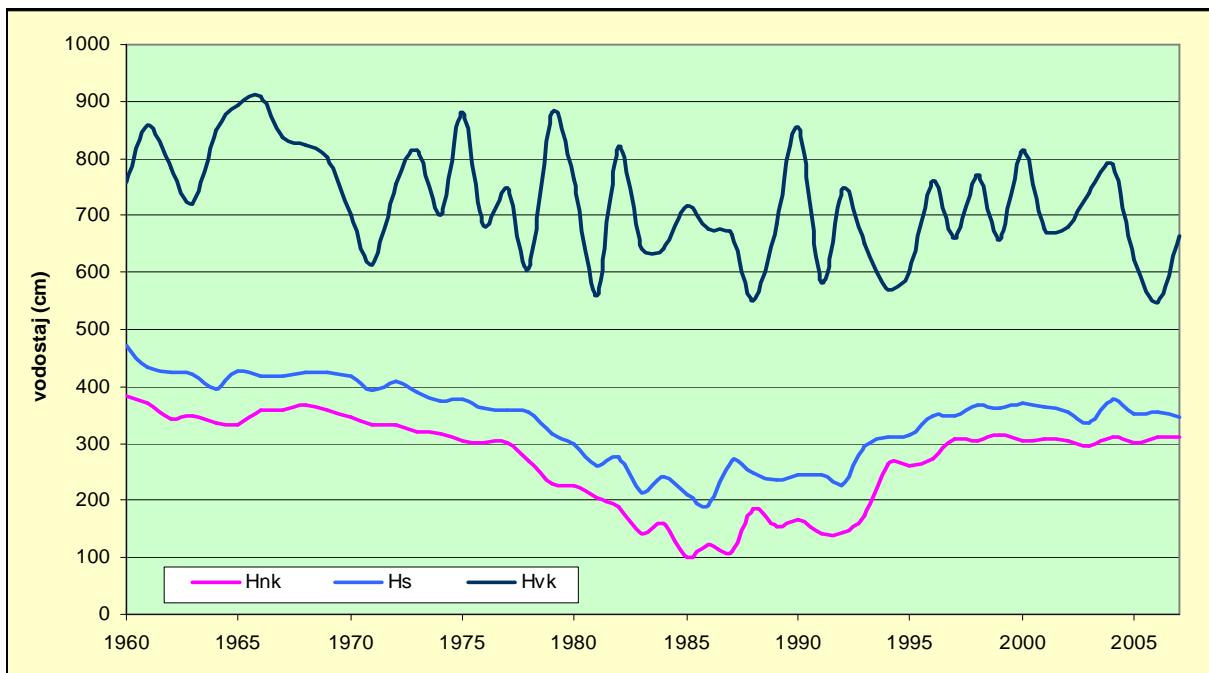
Slika 2: Ljubljansko polje ( Frantar v Rejec Brancelj in sod., 2005)

### 2.1.1 Površinske vode na Ljubljanskem polju

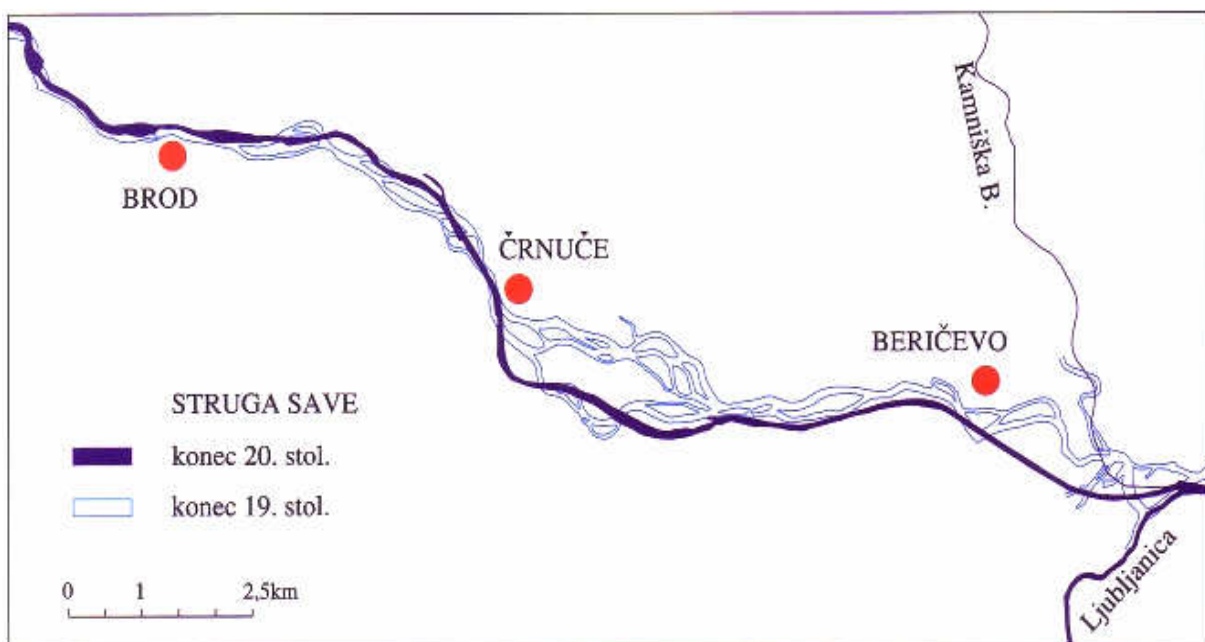
Gostota rečne mreže Ljubljanskega polja je majhna, saj razen rek Save in Ljubljanice ni nobenega površinskega vodotoka ki bi v večji meri vplival na območje polja. Potoki ki so nekoč ponikovali v območje Ljubljanskega polja Gunceljski potok, Stanežiški potok in Pržanec so kanalizirani in nimajo več skoraj nobenega vpliva na podzemno vodo. Izjema je odtok iz separacije v Stanežičah, kjer so vodo načrpano za tehnološke namene kar nekaj desetletij ponikovali nazaj v podtalnico na spodnji terasi pod gorenjsko železnico. Reka Sava je neposredno hidraulično povezana s podzemno vodo Ljubljanskega polja, saj se je vsak poseg ali naravni dogodek v rečni strugi v preteklosti, močno odrazil na stanje podzemnih voda Ljubljanskega polja. Večji del črpališč črpa podzemno vodo čigar je večji delež reka Sava v manjši meri pa padavinskega izvora (Urbanc, Jamnik, 1999). Na reki Ljubljanici so se z regulacijami v prejšnjem stoletju, z izgradnjo jezua na Fužinah ter zaradi kraške narave vodotoka, ter toka čez Ljubljansko barje ki nima proda in malega podolžnega padca, rečno dno in brežine zamuljile. To je razlog da je na odseku do jezua v Fužinah Ljubljanica postala neprepustna, dolvodno od jezua na Fužinah pa je že toliko nizka, da služi kot recipient podzemne vode (Fužinske toplice) vse do sotočja z reko Savo.



**Slika 3:** Pogled na otoček na Savi pri Tomačevem ki je nastal kot posledica zmanjšane erozije in preusmeritve toka v sami strugi ter ostanki nekoč zgrajenega praga . (Foto: Savić, 2008)



**Graf 1:** Karakteristični vodostaji na Savi pri Šentjakobu v letih od 1960-2007 (Vir podatkov: ARSO).



**Slika 4:** Struga reke Save ob koncu 19. in 20. stoletja (Mikulič,Savič 1997)

Spremembe v sami strugi so spreminjale ne samo vodni režim reke Save, temveč tudi okolje ki se je moralo temu prilagajati in upirati.



### 2.1.2 Izviri na Ljubljanskem polju

Izviri so pomemben hidrodinamičen element, s katerim lahko spremljamo količinsko in kakovostno stanje podzemne vode v vodonosniku ali vodonosnem sistemu. Izviri ali studenčice se na Ljubljanskem polju pojavljajo kot izdanki podzemne vode na prevojih prodnih teras, in sicer v spodnjem delu vodonosnika med Fužinami in sotočjem rek Ljubljanice in Save (Bračič-Železnik in Prestor, 2002). Izviri so vse manj vidni kar pomeni, da se njihova izdatnost manjša kar kaže na zniževanje gladin na celotnem polju. Znani so izviri Fužinske toplice, Bajer v Kašlju in Studenčnica v Zalogu. Studenčnica Graben ki je tekla iz Sneberij se še kdaj pojavi v spodnjem toku ob zelo visokem vodnem stanju podzemne vode.



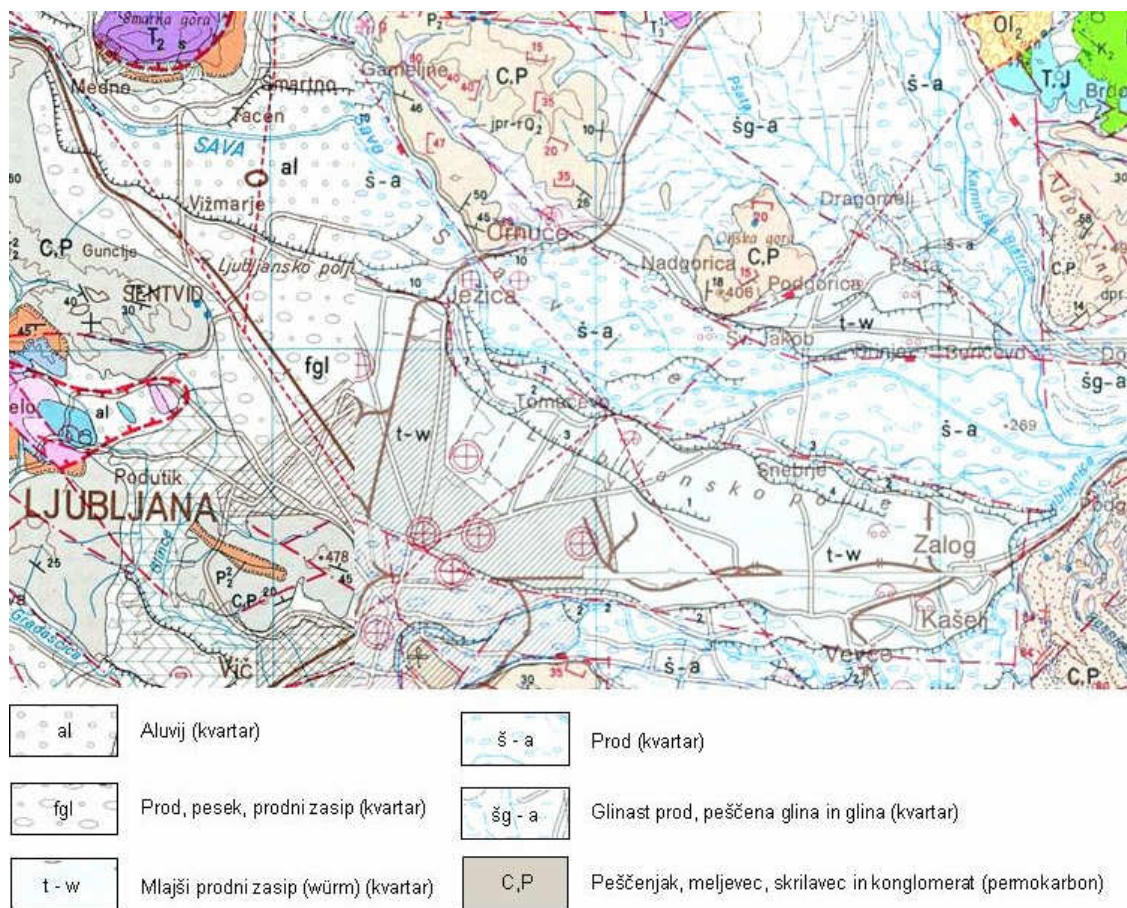
**Slika 5:** Izvir podzemne vode ob Ljubljanici v Slapah (foto:Savić, 2005)

## 2.2 GEOLOŠKE ZNAČILNOSTI

Ljubljansko polje je udorina podolgovate kotanjaste oblike, ki je nastala v pliokvartarju zaradi tektonskega ugrezanja, ki se je dogajalo v več fazah. Naplavine Ljubljanskega polja prekrivajo pomembne geološke strukture kot sta ljubljanski in savski prelom. (Rejec Brancelj

in sod., 2005). Največji del teh naplavin je prispevala reka Sava ki je prodni material prinašala iz višje ležečih območij in jih odložila tudi južno od Rožnika, kar kaže, da je v preteklosti tekla po draveljski dolini ter skozi Ljubljanska vrata nazaj na Ljubljansko polje.

Morfološko zasledimo visoko pleistocensko teraso, ki se razprostira po večjem delu Ljubljanskega polja, ter holocensko rečno teraso na poplavni ravnici ob reki Savi. Debelina holocenskega zasipa niha med 2 do 16 m, v povprečju je ta plast debela okoli 6-8 m. Najdebelejša je peščeno prodna plast, od 10 do 16 m, v pasu vzdolž severnega roba visoke terase od Stanežič prek Vižmarij, Ježice, Stožic, Obrij do Zadobrove (Rejec Brancelj in sod., 2005).



**Slika 6:** Geološka karta Ljubljanskega polja. Izsek iz OGK Kranj (Grad in sod., 1974) in OGK Ljubljana (Premru in sod., 1982)

Skupna debelina holocenskih in pleistocenskih prodnih in konglomeratnih plasti je zelo različna. Na zahodnem delu polja pri Mednem so te plasti debele le okoli 2 do 10 m. V



osrednjem delu od Sp.Gameljn preko Kleč do Dravelj so peščeno prodne in konglomeratne plasti debele med 70 in 105 m. Druga poglobljena in široka kotanja je med Jarškim Prodom, Šentjakobom ter vodarno Hrastje in Žalami, kjer so prodne plasti debele od 70 do 80 m. Na območju med Zadobrovo in Studencem je permokarbonska podlaga visoko dvignjena tako, da so tukaj naplavine debele od 8 do 20 m. Potem se proti sotočju Save in Ljubljanice permokarbonska podlaga spusti in so debeline prodno-konglomeratnih plasti med 20 in 40 m., (Drobne 1997).



**Slika 7:** Podlaga v strugi Save pri Črnučah ter konglomeratna plast v strugi reke Save pri Tomačevem (foto: Savić, 2008)

Zgornja terasa Ljubljanskega polja na svojem zahodnem in južnem delu pod tenko plastjo humusa in 6 do 8 m. debele plasti proda skriva izredno pomembno plast gline ki je ponekod tudi v več plasteh. Debelina te gline je okoli 1m, in je izredno pomembna zaporna plast proti pronicanju onesnaženja s površja na območjih kjer se nahaja. Konglomeratne plasti so zelo razprostranjene po celem polju, nekaj jih je v strugi Save, več pa na območju reke Ljubljanice.



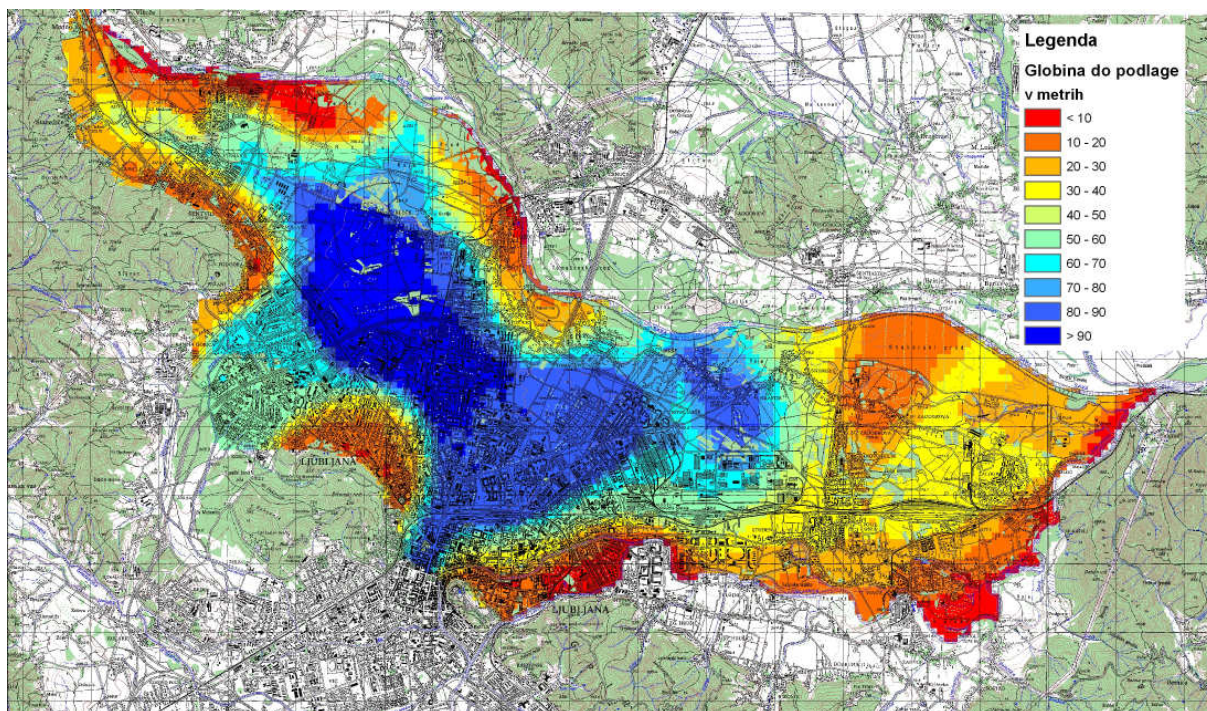
**Slika 8:** Plast gline na gradbišču ob občinski stavbi v Mostah (foto: Savić,2008)

## **2.3 HIDROGEOLOŠKE LASTNOSTI VODONOSNIKA**

### **2.3.1 Osnovne značilnosti**

Vodonosnik Ljubljanskega polja ki se razteza na osrednjem območju polja s površino 63 km<sup>2</sup> je aluvialni vodonosnik z medzrnsko poroznostjo. Vodonosnik ima prsto vodno gladino in dobro hidravlično prevodnost (Bračič-Železnik, 2002a). V vodonosniku so velike količine dinamičnih vodnih zalog podzemne vode (cca 100 milijonov m<sup>3</sup> vode), ki ga uvrščajo v enega največjih rezervoarjev podzemne vode v Sloveniji (Smrekar, 2006). Debelina vodonosnika na Ljubljanskem polju je nad 30 m (Brečko, 1996): na območju vodarne Kleče okrog 80 m, Jarškem produ 65 m, vodarni Hrastje 58 m in Novem polju 25 m (Bračič-Železnik, 2002a).





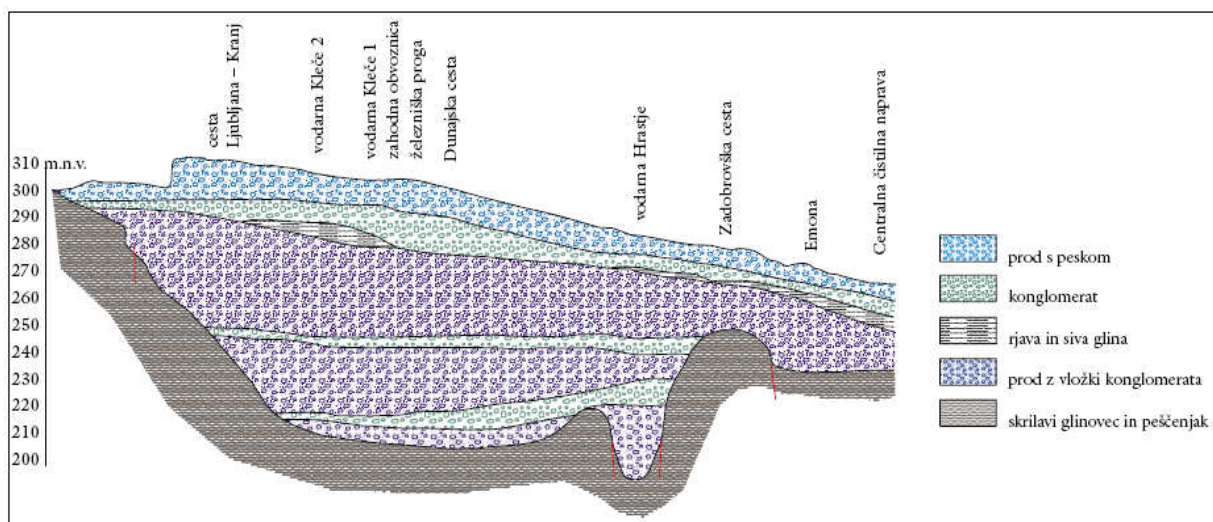
**Slika 9:** Globina do neprepustne podlage Ljubljanskega polja (Vir podatkov: JP VO-KA)

### 2.3.2 Hidrogeološka zgradba vodonosnih plasti

V vodonosnih prodnih in peščenih ter konglomeratnih plasteh, ki zapolnjujejo udorino Ljubljanskega polja, so velike količine podzemne vode, ki je glavni vir čiste pitne vode za prestolnico Slovenije.

Vodonosnik je heterogen predvsem v navpični in nekoliko manj v vodoravni smeri. Spodaj ležeče starejše plasti proda so bile izpostavljene več zaporednim obdobjem sprijemanja (medledene dobe) in spiranja s podzemnimi vodami (ledene dobe) in imajo zato drugačne hidrogeološke lastnosti (poroznost, prepustnost) kot višje ležeče mlajše plasti (Žlebnik, 1990). V vodonosniku Ljubljanskega polja se nahaja osnovni horizont podzemne vode, ki nastopa v prodno peščenih plasteh ter prodno peščenih zasipih z vložki konglomerata in blatnega proda ki se izmenjujejo vse do podlage. V konglomeratih, predvsem v zgornjem delu, se zasledi zakraselost in pojave kavern, ki so nastale zaradi raztapljanja karbonatne komponente v konglomeratu. Zakrasele konglomeratne plasti predstavljajo medij z možno večjo horizontalno hidraulično prevodnostjo (Bračič-Železnik in sod., 2005). Kompaktni konglomerati pa predstavljajo neprepustne bariere in deloma varujejo nižje ležeče vodonosne

plasti pred onesnaženjem. Voda v takih plasteh se giblje bolj ali manj v horizontalni smeri (Rejec Brancelj in sod., 2005).



**Slika 10:** Vzdolžni hidrogeološki prerez Ljubljanskega polja od Mednega do sotočja rek Save in Ljubljanice (VODA, št. 29, 2001)

Plasti gline ki se pojavljajo na zahodnem delu polja od Vižmarij pa vse do sotočja Save in Ljubljanice, predstavljajo vodoneprepusten sediment, zaradi česar je podzemna voda osnovnega horizonta delno in časovno zaščitena pred onesnaženjem. Ker se ponekod pojavljajo nanosi slabše prepustnih ali neprepustnih glinastih in zaglinjenih plasti, se vodonosnik ponekod lokalno uvršča v polodprt, polzaprt ali zaprt vodonosnik (Rejec Brancelj in sod., 2005).

### 2.3.3 Prepustnost vodonosnih plasti

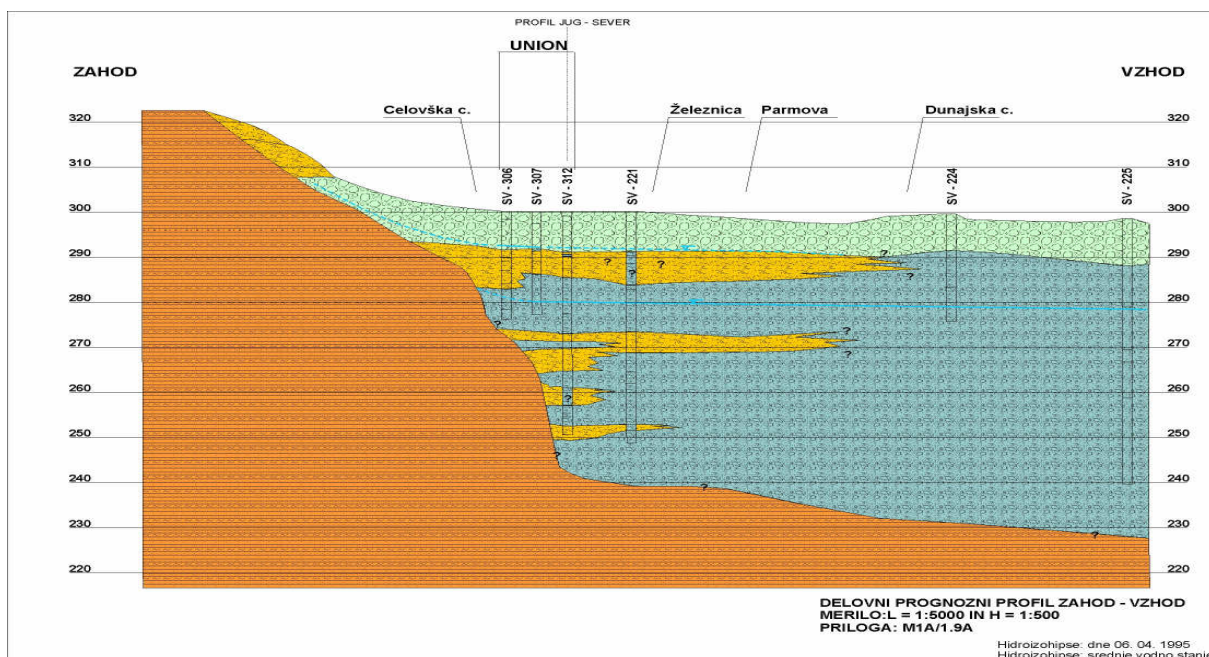
Prepustnost je sposobnost kamnine ali zemljine, da prevaja vodo in je odvisna od fluida, poroznega medija in od medsebojne interakcije med medijem in fluidom (Veselič, 1984).

Koeficient hidraulične prevodnosti »k« plasti Ljubljanskega polja je v splošnem  $10^{-2}$  m/s, kjer pa se pojavljajo leče konglomerata in gline pa je koeficient »k« manjši v razponu od  $3 \times 10^{-3}$  m/s do  $5 \times 10^{-4}$  m/s (Bračič-Železnik in sod., 2005). Ponekod so te vrednosti še višje, predvsem na mestih kjer se pojavljajo zakraseli konglomerati in na območjih depresijskih lijakov črpališč.



### 2.3.4 Položaj podzemnih voda

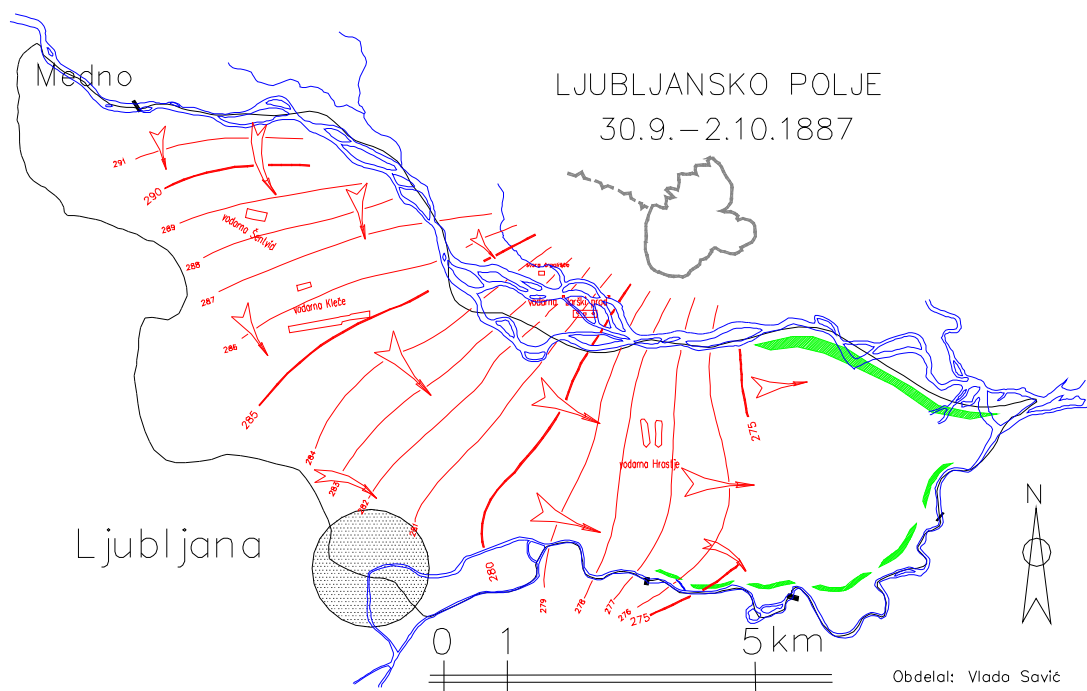
Na območju Ljubljanskega polja zasledimo več horizontov podzemnih voda. Tako se več stoletij uporabljajo vodnjaki na območju Vižmarij kjer se tako imenovana viseča podtalnica nahaja na 3 do 8 metrov od površja, globina do vode se potem na območju železniške postaje Šentvid poveča na 24 m, kot posledica izklinjanja viseče podtalnice proti sredini polja, kar so pokazale meritve v preteklosti (Meden in sodelavci,1985). Viseča podtalnica se nepretrgoma pojavlja na območju zahodno od gorenjske železniške proge. Na območju Zg.Šiške se viseča podtalnica nahaja v treh horizontih kar je ugotovljeno z meritvami na večjih lokacijah. Ti horizonti so med sabo povezani tako da se med njimi med in po deževju vrši pretakanje vode na pretrganih območjih zapornih plasti. Teh pretrgov je zaradi globokega temeljenja zgradb na tem območju vedno več. Skupna značilnost vseh teh horizontov, je da se velika količina vode iz teh horizontov navsezadnje prelije v osnovni horizont podzemne vode ki je nekaj metrov pod njimi. Visečo podtalnico zasledimo tudi na območju Sp.Šiške, pivovarne Union, pa tudi v središču mesta Ljubljane med gradom in Rožnikom (slika 11).



**Slika 11:** Prečni hidrogeološki prerez na območju Uniona (Vir: IRGO 2005)

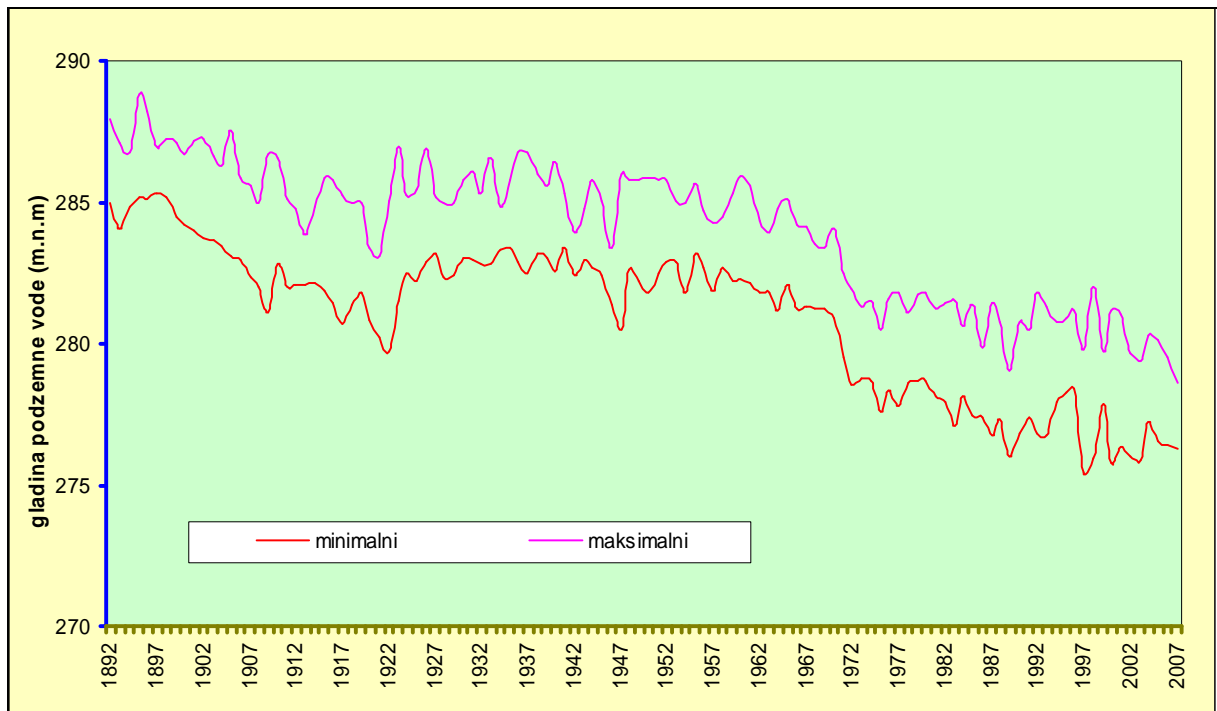
Pod visečo podtalnico ter na osrednjem delu Ljubljanskega polja se nahaja osnovni horizont podzemne vode, ki služi za oskrbo prebivalcev Ljubljane s pitno vodo. Vodarna Kleče kot osrednje ljubljansko črpališče nepretrgoma obratuje od maja 1890 in v omrežje tako kot pred

118 leti pošilja dobro in kvalitetno vodo brez predhodne obdelave, kar je redkost v svetovnem merilu.



**Slika 12:** Karta hidroizohips, iz obdobja raziskav za izgradnjo črpališča Kleče leta 1887 (Vir podatkov: arhiv, ARSO)

Globina do podzemne vode je odvisna od vodnega stanja in položaja na Ljubljanskem polju. Na območju Mednega in Broda, ter ob sami reki Savi je globina med 5 in 10 m. Podobne globine se pojavljajo na območjih iztoka iz vodonosnika v Zadobrovi, Zalogu, Vevčah in Polju. Na območju zgornje pleistocenske terase je podzemna voda najbolj plitvo na območju črpališča Hrastje okoli 15 m, nato pa se globina do vode povečuje proti zahodu, tako da je za Bežigradom globina okoli 20 m., na območju Žal okoli 25 m. ter na širšem območju črpališča Kleče med 30 in 35 m pod površjem. Tukaj je podzemna voda najbolj globoko, istočasno pa, zaradi izredno dobro prepustne zgornje nezasičene cone, pa najbolj izpostavljena vplivom vertikalnega pronicanja. Gradienti gladin podzemne vode so zelo različni. Ti so zelo visoki na vhodnem delu v polje ob Savi in znašajo okoli 1,5%, proti Klečam pa se postopoma zmanjšujejo, da bi na območju črpališč znašali samo še okoli 1,3%. Na območju črpališča Hrastje je strmec samo 0,9% ki se potem proti iztoku podzemne vode proti Ljubljani in Savi poveča na 2,3-3%.



**Graf 2.** Prikaz nihanja gladin podzemne vode na starem vodnjaku v Klečah III v obdobju od 1892-2007 (Vir: VOKA, 2008)

Po podatkih merskih postaj ki so na razpolago, so amplitude podzemne vode so zelo različne in odvisne od položaja merilnega mesta. Postaje ob Savi kažejo amplitude, ki so zelo podobne amplitudam reke Save, okoli 6-8 m, na območju Kleč so 3,2 m, na zahodnih robnih delih polja pa zaradi vpliva padavin nekoliko višje, okoli 4-11 m, ter proti iztoku iz polja okoli 3m. Zaradi poglobljanja dna reke Save in nižanja njenega nivoja, zaradi izkoriščanja voda iz rečne in črpanja podzemne vode ter zaradi antropogenih sprememb okolja je na območju Kleč prišlo do upada gladine podzemne vode za več metrov (graf 2). Ne ve se zagotovo koliko je znižanju gladine prispeval vsaki od navedenih glavnih vzrokov, so pa še gotovo drugi dejavniki ki so prispevali k temu procesu.

### **3 DEJAVNIKI VPLIVA NA REŽIM PODZEMNIH VODA**

#### **3.1 Splošno**

Režim podzemnih voda je prostorsko in časovno spreminjanje osnovnih fizikalno-kemijskih parametrov: gladine, temperature in snovi v vodi. Režim podzemnih voda predstavlja dinamičen proces pogojen z naravnimi in umetnimi procesi. Dejavniki ki vplivajo na režim podzemnih voda je izredno veliko, saj bi lahko skoraj vsak pojav v naravi ali v okolju povezali z vodo. Vsaka aktivnost človeka je povezana posredno z vodo in navsezadnje je voda kot osnovni vir življenja in razvoja del nas. Zato dejavnike vpliva na podzemne vode razdelimo na dve osnovni skupini in sicer: antropogene vplive in naravne vplive.

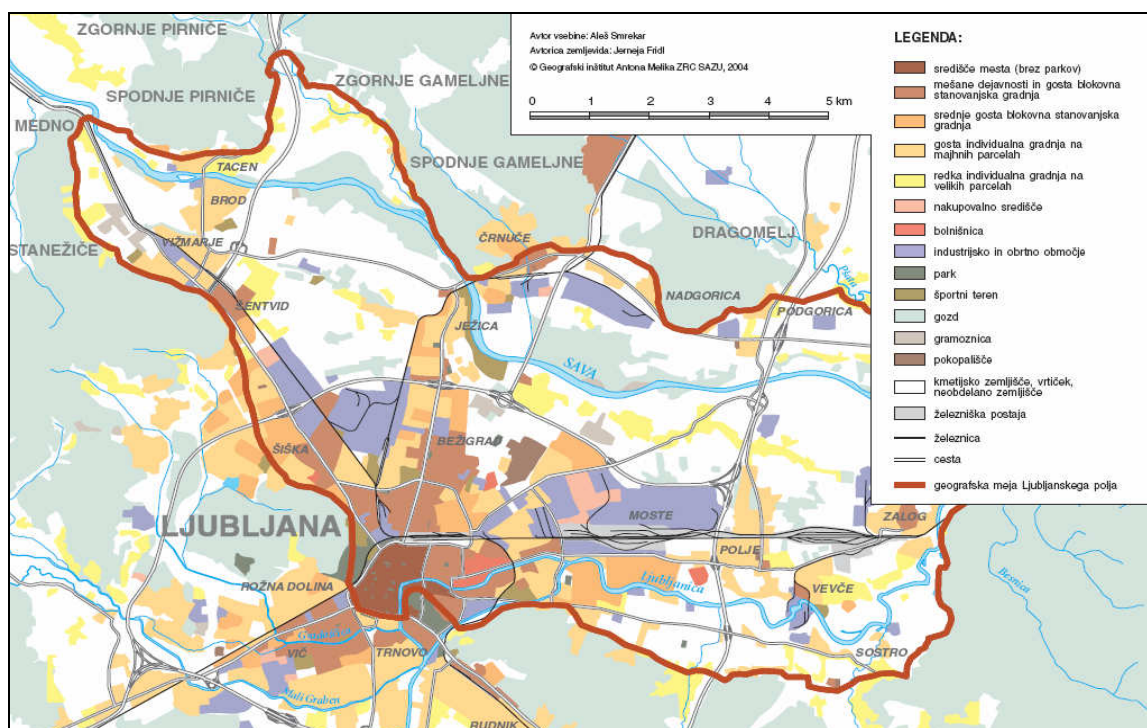
#### **3.2 Antropogeni vplivi**

Antropogeni vplivi so vplivi ki izvirajo iz dejavnosti človeka pri rabi prostora. Te dejavnosti modificirajo celotno območje in izrazito vplivajo na vodno bilanco, količino napajanja, vplivajo na značilnosti toka podzemne vode in spreminjajo časovno spremenljivost, razpoložljivost in obnovljivost vodnega vira. Od antropogenih vplivov je treba izpostaviti: urbanizacijo, kmetijstvo, industrijo, prometno infrastrukturo, komunalno infrastrukturo, odlagališča odpadkov, hidroenergetske objekte in mnoge druge. Vse te aktivnosti pa vplivajo v negativnem ali pozitivnem smislu na režim podzemnih voda v kakovostnem ali v količinskem delu.

##### **3.2.1 Urbanizacija**

Med spremembami rabe tal najbolj prevladuje urbanizacija ki pomeni 53% celotnega Ljubljanskega polja. Urbanizirana površina je iz 2% leta 1825 narasla na 53% leta 1999, danes je ta delež še nekoliko večji. To za podzemne vode pomeni toliko manj infiltracijskih površin in toliko več odvajanja površinskega nekontroliranega odtoka ki je v veliki večini speljan v kanalizacijski sistem in odveden na CCN ali direktno v Ljubljano in Savo.

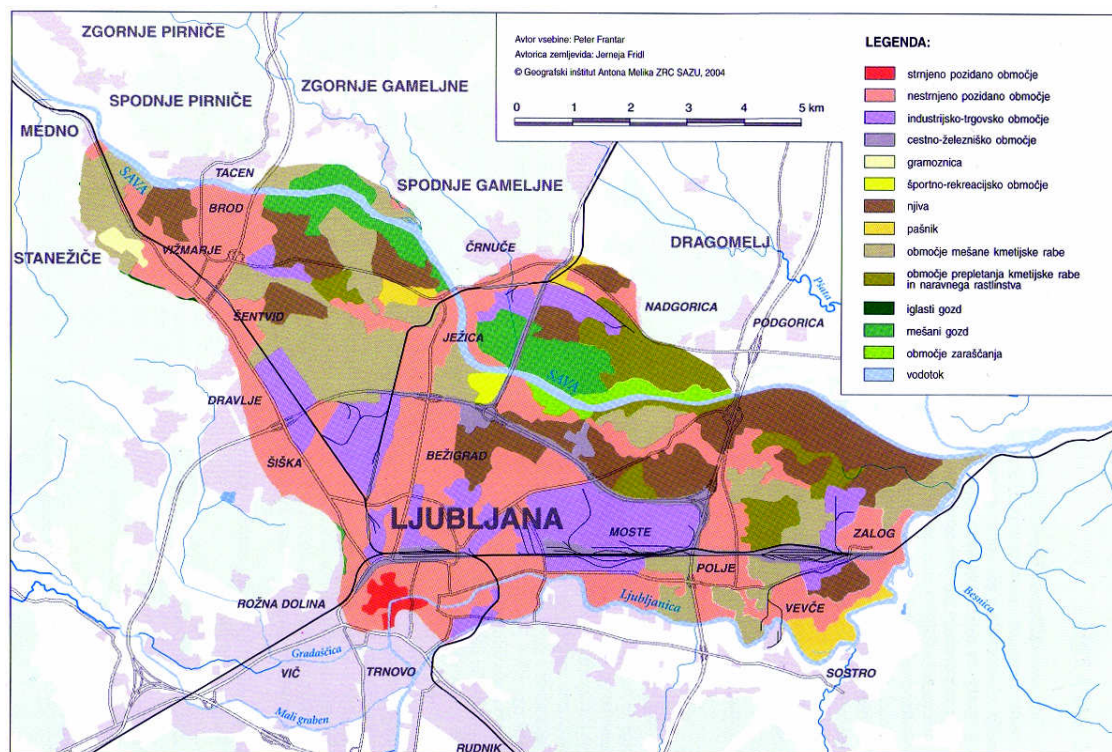




Slika 13: Pregledna karta urbaniziranih površin (Smrekar v Rejec Brancelj in sod.,2005)

### 3.2.2 Kmetijstvo in vrtičkarstvo

Med glavnimi onesnaževalci podzemnih voda Ljubljanskega polja je intenzivno kmetijstvo, kjer zaradi pospešitve rasti pridelkov uporabljajo organska in mineralna gnojila ter s tem ogrožajo kakovost podzemne vode. Z izpiranjem neizrabljenega dušika v podzemlje zaradi presežka gnojil ali časovno neustreznega gnojenja se večja koncentracija nitratov in nitritov v vodi, organsko gnojenje pa je tudi vir bakteriološkega onesnaženja (Brečko 1996). Pomemben obremenjevalec podzemne vode je vrtičkarstvo, prezreti pa ne smemo niti vloge zasebnih vrtov ter intenzivnih gnojenj rastlinjakov. (Kladnik, Rejec Brancelj, Smrekar, 2003). Kmetijske dejavnosti obremenjujejo podzemno vodo tudi z rabo pesticidov-strupenih pripravkov za zatiranje škodljivcev. Varstveni pasovi črpališč so še vedno v intenzivni kmetijski rabi, vsa opozorila in prepovedi uporabe nedovoljenih sredstev pa se premalo upoštevajo.



**Slika 14:** Karta rabe prostora na Ljubljanskem polju iz leta 2000 (P.Frantar v Rejec Brancelj in sod., 2005)

### 3.2.3 Industrija

Industrija je skupaj z obrtno dejavnostjo pomemben dejavnik preobrazbe pa tudi degradacije okolja na Ljubljanskem polju. Je vir plinastih emisij, prahu, odplak, odpadkov in hrupa ter tako prispeva k onesnaženju zlasti zraka in vode. Je pomemben porabnik vode, energije in prostora nad podzemno vodo Ljubljanskega polja. Danes sta na tem območju dve večji industrijski coni, in sicer ena v Mostah in druga v Dravljah med gorenjsko in kamniško progo (Rejec Brancelj in sod., 2005). Kljub recesiji je najbolj razvita kovinska industrija, sledijo ji pa živilska in elektroindustrija ter kemična, tekstilna in grafična dejavnost. Industrija v okolje prispeva točkovne vire oziroma izpuste iz proizvodnih obratov. Industrija porabi za približno 1/5 porabljene vode v Ljubljani, tako da pomembno prispeva k onesnaževanju vode, ki se praviloma odvaja v centralno čistilno napravo (CČN) v Zalogu.

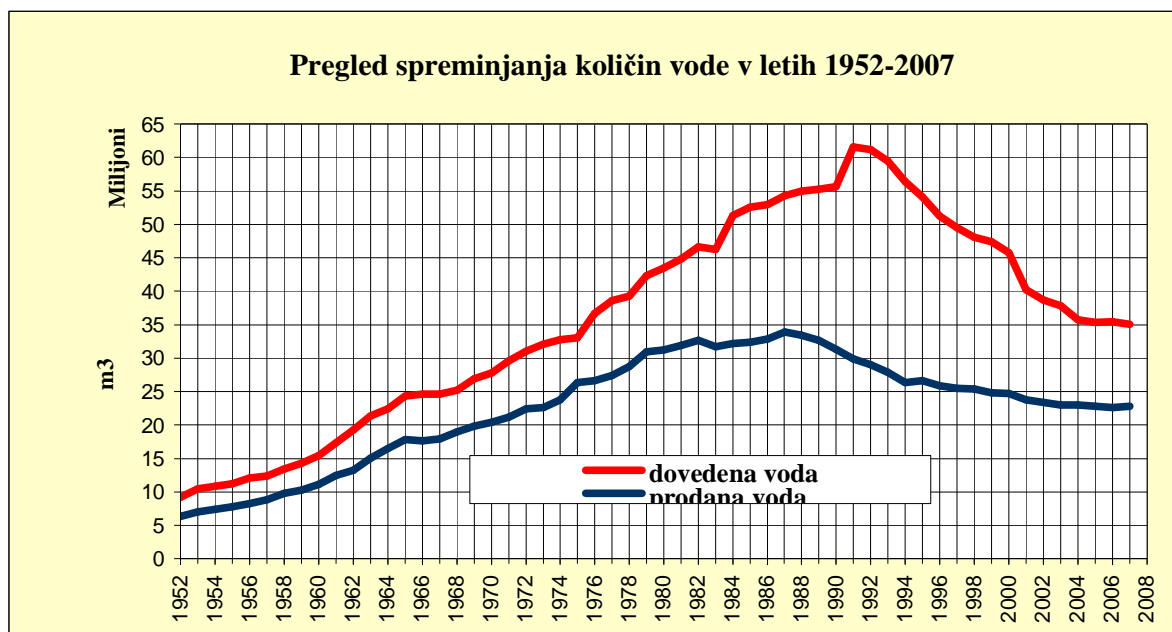
### **3.2.4 Prometna infrastruktura**

Promet vedno bolj vpliva na stanje okolja, saj gre za obsežne gradbene posege v prostor, ki trajno spremenijo pokrajino ne le z estetskega vidika, ampak tudi ogrožajo pokrajnotvorne sestavine, pri čemer voda ni izjema (Rejec Brancelj in sod., 2005). Prometnice tok površinske vode preusmerjajo, padavinski pa ne omogočajo razpršenega vertikalnega pronicanja v podzemno vodo. Z vkopi prometnic so pogosto presekanе zaščitne neprepustne plasti in je omogočen lažji in hitrejši dostop onesnaževal do podzemne vode. Prav tako pa se s cestišč izpirajo izpusti iz motornih vozil (goriva in maziva), saje in svinec, ostanki avtomobilskih gum, soli in še kaj.

Tudi železniški promet je speljan čez varovana območja Ljubljanskega polja. Treba je reči da problem zaradi železnice niso samo izlitja nevarnih snovi, ampak tudi zatiranje plevela s herbicidi in zaščita lesenih tirnih pragov s premazi. Ostanki prepovedanih herbicidov se več desetletij zadržijo v podzemni vodi.

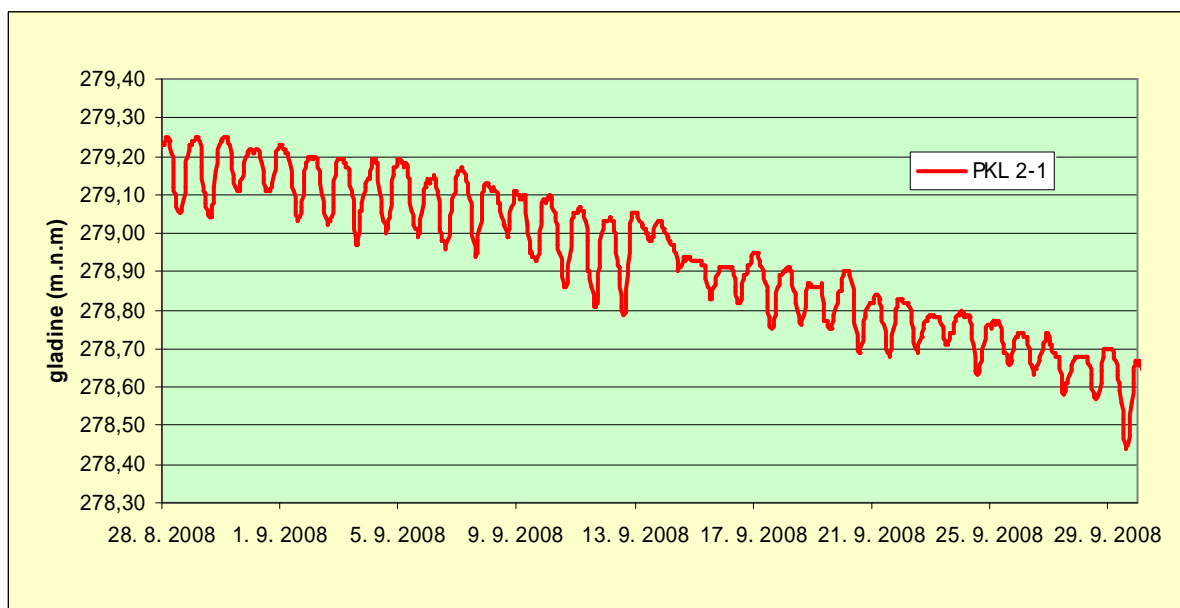
### **3.2.5 Komunalna infrastruktura**

Problem komunalne infrastrukture na Ljubljanskem polju je predvsem zastarelost kanalizacijskega sistema, ter njegova posodobitev in kontrole izpustov, z zagotovitvijo maksimalne predelave odplak na čistilnih napravah. Velik problem je obstoj greznic na vodovarstvenih območjih (okoli 10%), 1/3 vseh objektov na območju Ljubljanskega polja pa ni priključenih na kanalizacijsko omrežje. Največji antropogeni vpliv na količino podzemne vode so vsekakor črpališča vodovoda. Na teh črpališčih so v začetku 90-ih letih prejšnjega stoletja črpali okoli 60 milijonov m<sup>3</sup> vode na leto, izgube na omrežju pa so bile več kot 50% načrpane vode (graf 3). Črpanja in izgube so se v zadnjih letih, zaradi zmanjšanja dejavnosti industrije in vojske, pa tudi verjetno boljšega vodovodnega omrežja ter višje cene energije in vode, zmanjšale. Danes se črpa okoli 35 milijonov m<sup>3</sup> porabi pa okoli 23 milijonov m<sup>3</sup> na leto. Za vodovodno omrežje je treba poskrbeti, da se čimprej zmanjšajo izgube na omrežju, ki sedaj znašajo okoli 35% vseh načrpanih količin.



**Graf 3:** Letne količine načrpane in prodane vode v obdobju 1952-2007 (Vir: JP VO-KA)

S tem ukrepom, bi bile potrebe po večjih količinah črpane vode in iskanje novih virov pitne vode za nekaj časa nepotrebne.



**Graf 4:** Dnevno gibanje gladin podzemne vode v vplivnem območju depresijskega lijaka črpališča Kleče (Vir podatkov: JP VO-KA).

### 3.2.6 Odlagališča odpadkov in gramoznice

Na vso srečo na Ljubljanskem polju ni velikih črnih ali legalnih odlagališč odpadkov in gramoznic ki bi ogrožali podzemne vode. Žal je še vedno nekaj manjših črnih odlagališč in



gramoznih jam in jih verjetno nekaj bo tudi v prihodnosti. Treba je okrepiti inšpekcijsko službo ter usposobiti interventno službo, ki bi sproti ukrepale in preprečevale nedovoljene posege v okolje.



**Slika 15:** Odpadki v vodnjaku v vojaškem skladišču v Rojah in v gramozni jami nedaleč stran. Črpališče Šentvid je slab kilometer dolvodno (Foto: Savić sep.08).

### 3.2.7 Energetski objekti

Od energetskih objektov na stanje okolja in podzemne vode Ljubljanskega polja najbolj vpliva toplotna Moste z emisijami ogljikovega dioksida, žveplovega dioksida, dušikovih oksidov in prašnih delcev, ki se spirajo v podzemno vodo.

Hydroenergetski objekti imajo lahko tako pozitivne kot negativne posledice na režim podzemne vode. Če se pravilno in strokovno pristopi k izgradnji ter presodi njihova upravičenost in ovrednoti vplive na okolje se lahko doseže več pozitivnih učinkov. V tem smislu je treba pristopiti gradnji predvidenih hidroenergetskih objektov na Savi, da bodo tudi v funkciji izboljšanja okolja in ne le energetske rabe.

## 3.3 Naravni vplivi

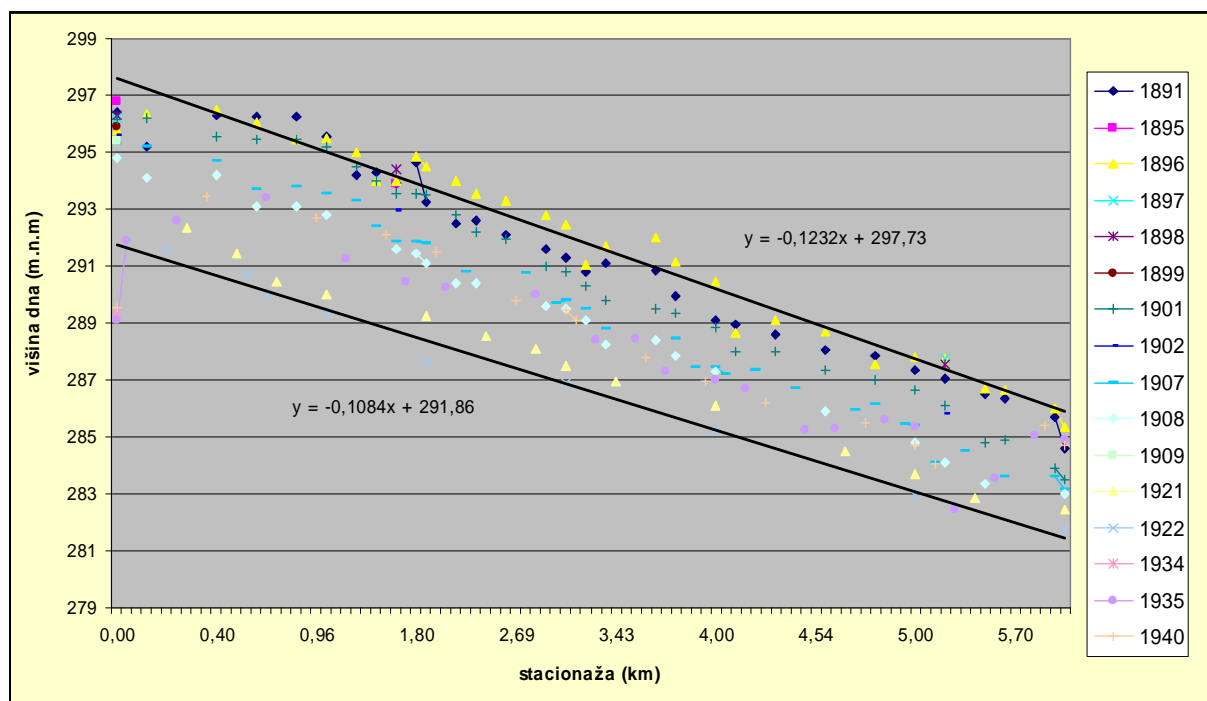
### 3.3.1 Površinski vodotoki

Režim reke **Save** se iz površne alpske reke z alpsko snežno - dežni režimom, v srednjem toku na Ljubljanskem polju spremeni v alpsko dežno – snežni režim, ki se ga beleži na vodomerni postaji pri Šentjakobu (Frantar in Hrvatina, 2005). Karakteristični letni maksimalni vodostaji so v spomladanskih in jesenskih mesecih, minimalni pa v poletnih in zimskih mesecih.

Velik vpliv na režim pretokov imajo poleg padavin še: temperaturni režim, spreminjanje intenzivnosti izhlapevanja, geološka zgradba, relief, prst pa tudi človek, ki z regulacijami, melioracijami, s spreminjanjem rabe tal vpliva na okolje (Bat, 1996).

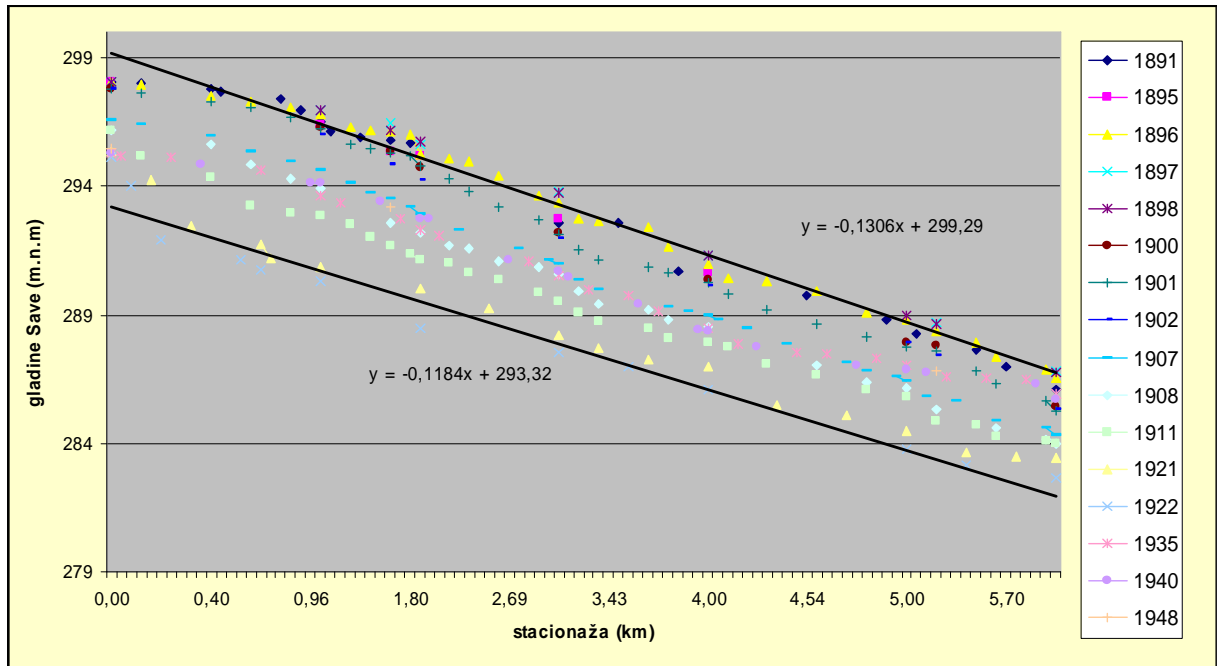
Reka Sava je pred letom 1895 imela na območju Ljubljanskega polja široko strugo z veliko meandri, mrtvimi rokavi, območji intenzivne erozije in drugod odlaganja sedimentov (Plut, 2002). Z obsežnimi regulacijskimi posegi, kot so gradnja hidrotehničnih objektov, odvzem proda iz rečnega korita, so spremenili njeno rečno strugo, ter zmanjšali infiltracijsko območje (stična površina med reko in podzemno vodo) in prodonosnost (Bračič-Železnik, 2002a). S tem pa so se reki Savi povečali njen strmec, erozijska, transportna in samočistilna zmogljivost. Poglobljanje struge reke Save vpliva na zniževanje gladine podzemne vode na Ljubljanskem polju, ter zmanjšuje količino pretoka podzemne vode skozi polje.

Na območju med hidrološko postajo Tacen in hidrološko postajo Črnuče so bile v letih 1891-1948 izvršene posamične meritve gladin in dna struge reke Save. Na podlagi podatkov teh meritev (Rupnik, 1948), je bilo ugotovljeno nenehno spreminjanje dna struge in sicer znižanje za 6-7 metrov odvisno od stacionarne razdalje (graf 5).



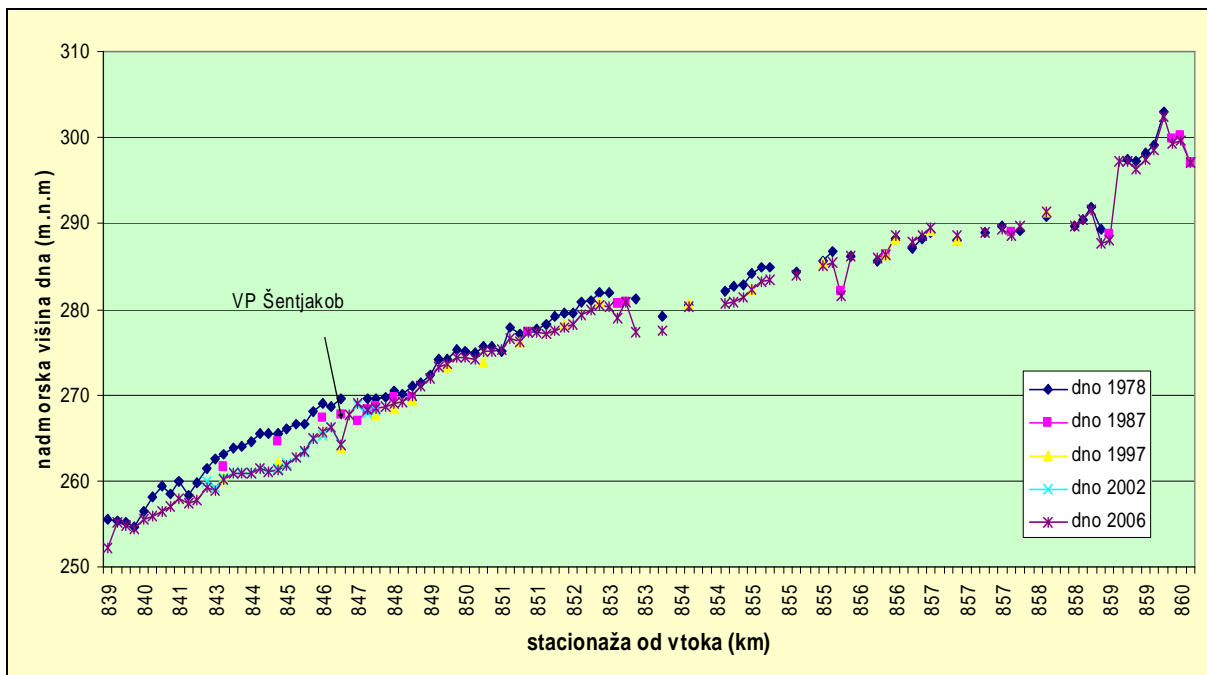
**Graf 5:** Poglobljanje korita reke Save na profilu od Tacna do Črnuč v obdobju od 1891-1948 leta (Vir podatkov: arhiv ARSO).

Posledice erozije dna struge (graf 5) se odražajo na znižanje nadmorske višine gladine reke Save (graf 6), posledica česar je znižanje gladin podzemne vode Ljubljanskega polja. Poglobljanje je bilo odvisno od regulacij, ki so bile narejene, ter posledic povodnji Save leta 1923, 1933 in 1940, ko so bili objekti regulacij poškodovani ali porušeni.



**Graf 6:** Znižanje gladin reke Save v izmerjenih profilih med Tacnom in Črnučami v letih 1891-1948 (Vir podatkov: arhiv ARSO)

Struga se je po povodnji 1923 začela zasipavati (grafa 5). Tako meritve iz leta 1935 kažejo podobno višino dna reke kot je bila leta 1908, meritve iz leta 1940 pa kažejo še bolj ugodno sliko, ko je korito bilo še višje kot leta 1907. Torej je visoka voda leta 1923, s tem ko je podrla vse do tedaj zgrajene pragove, povzročila novo ravnovesno bolj naravno stanje v koritu, ga delno zasula in omogočila dvig podzemnih voda na Ljubljanskem polju kot kažejo meritve na postaji za podzemne vode v Klečah (graf 2). To stanje je trajalo vse do leta 1952, ko se je po nekaj letih suše, po izgradnji HE Medvode, erozija po nekoliko višji vodi spet povečala. Povečana erozija se je nadaljevala kar se vidi iz analize nizkih vodostajev in s primerjanjem z nizkimi pretoki. Na povečano erozijo je vplivala prekinitev transporta proda zaradi jezov hidroelektrarn na Savi, gorvodno od Ljubljane. V zadnjih letih se je povečana erozija na zgornjem delu toka Save na Ljubljanskem polju umirila, na spodnjem delu od Šentjakoba proti sotočju z Ljubljanico, pa se je še nadaljevala (graf 7).



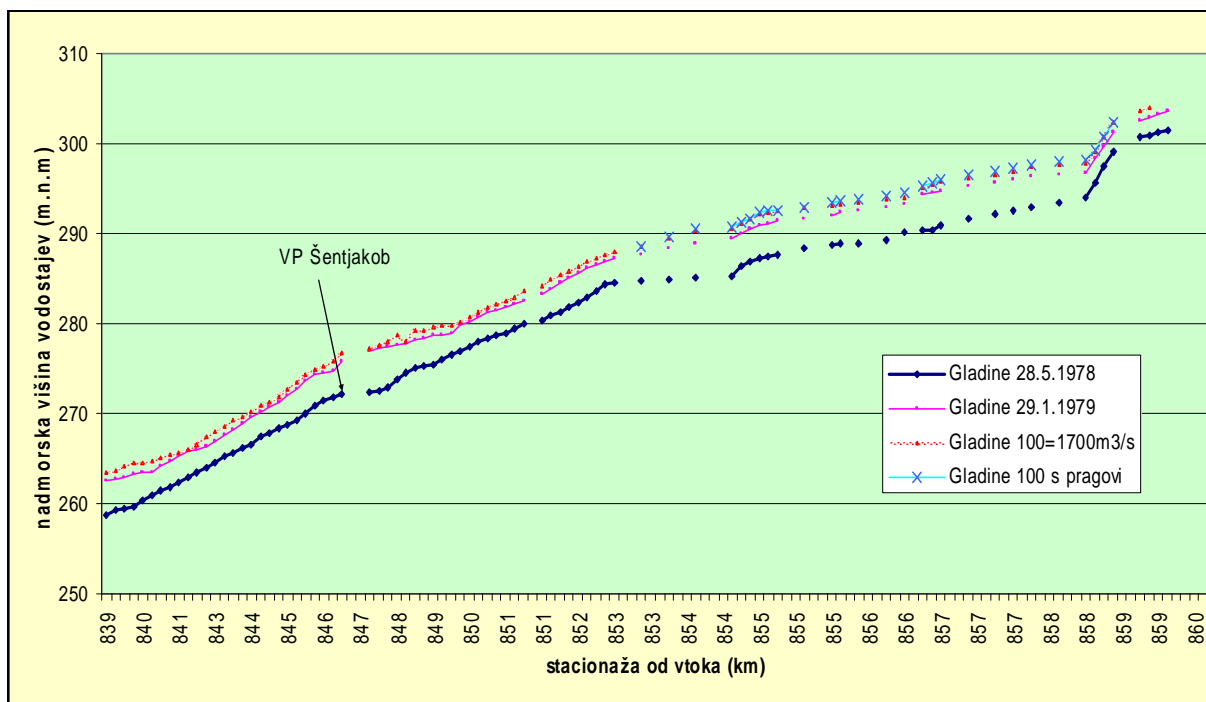
**Graf 7:** Kote dna reke Save na podolžnem profilu v obdobju 1978-2006 (Vir podatkov: ARSO, FGG)



**Slika 16:** Primer slabega vzdrževanja struge in objektov kot je temelj avtocestnega mostu v Tacnu. (Foto: Savič sep.08)

Zaradi erozije se je rečna struga poglobila in so ogroženi objekti ob reki in na reki kot so temelji mostov, obrambni nasipi, pragovi.

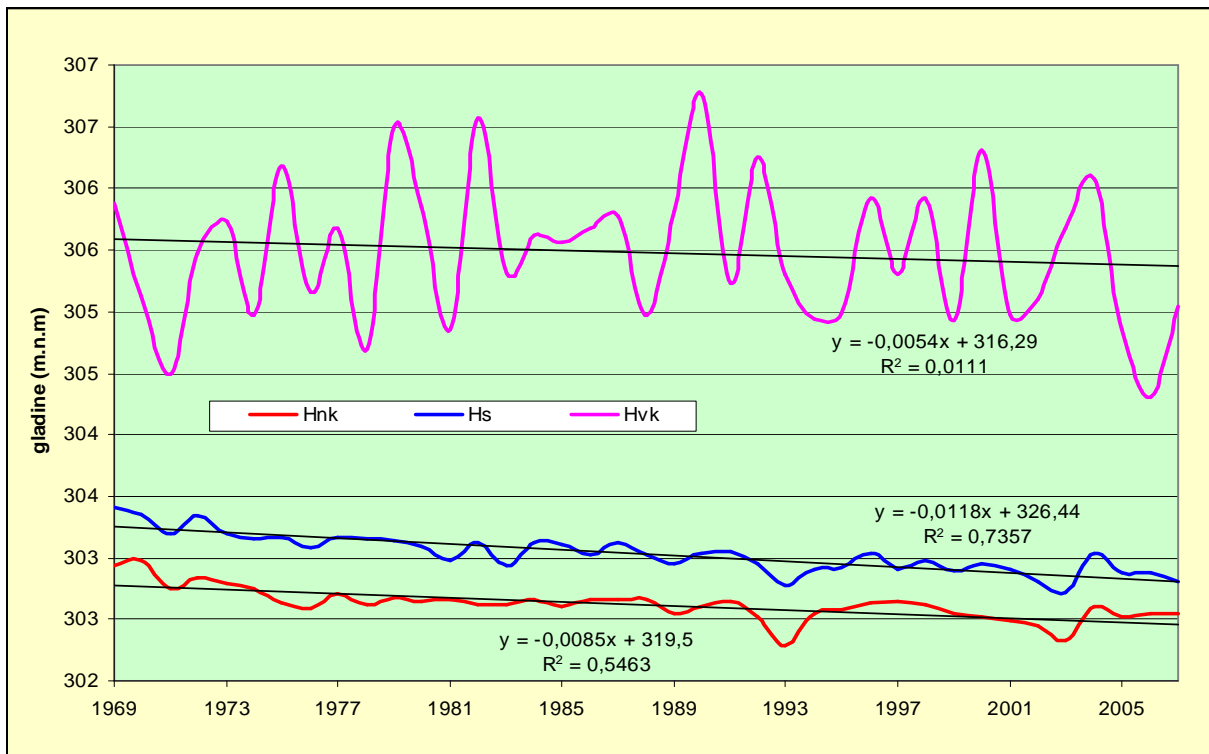




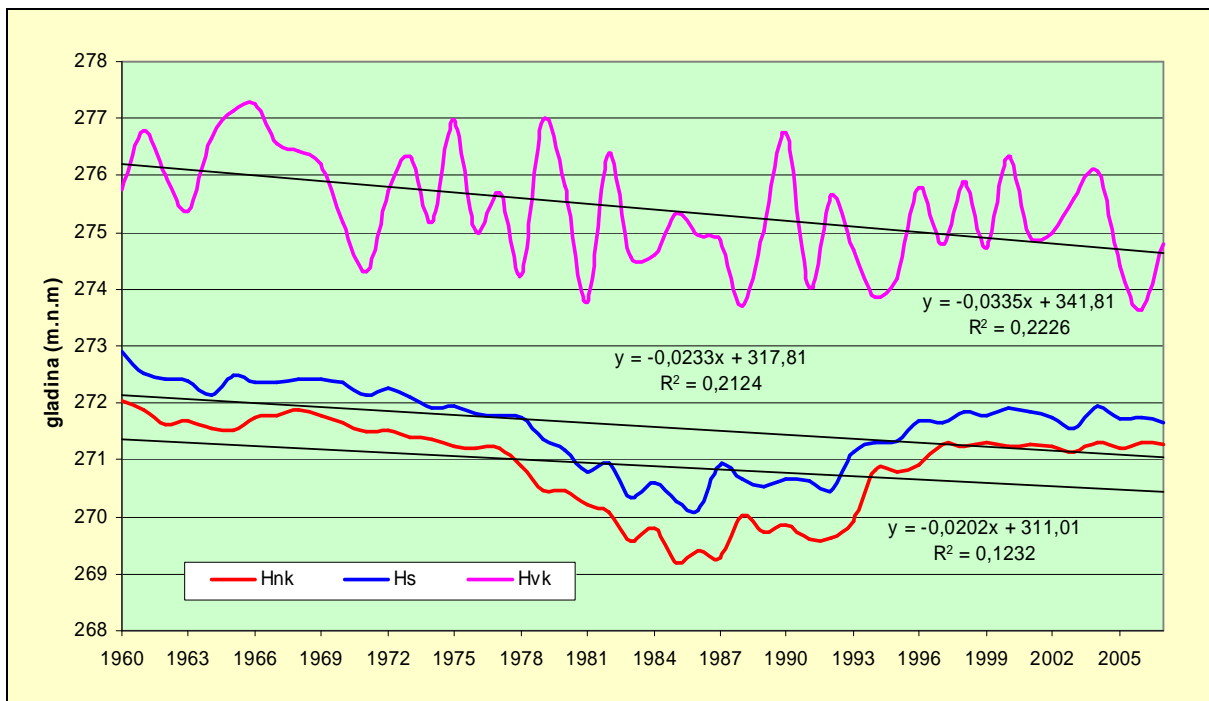
**Graf 8:** Kote gladin reke Save na podolžnem profilu merjeni pri nizkih in visokih vodah ter preračunane gladine 100 letnih voda. (Vir podatkov: arhivARSO)

Režim **reke Save** je pogojen s padavinami in s taljenjem snega v visokogorju, na hitrost pretoka pa vpliva tudi geomorfologija dna, ki je bila v zadnjih nekaj desetletjih spremenjena z mnogimi regulacijskimi posegi v rečno strugo. Skozi nezablateno dno rečne struge, reka Sava med Mednem in Zalogom, napaja vodonosnik Ljubljanskega polja in sicer na naslednjih odsekih: na celotnem levem in desnem bregu toka skozi polje ob visokem vodnem stanju, pri nizkih in srednjih vodostajih od Mednega do Šentjakoba, na levem bregu pa Sava ob nizkem in srednjem vodnem stanju napaja podzemno vodo na območjih med Šmartnim in Gameljnamo ter na odseku med Ježico in Šentjakobom. Reka Sava kot najpomembnejši površinski tok vode na Ljubljanskem polju predstavlja hidrodinamsko mejo v aluvialnem vodonosniku.

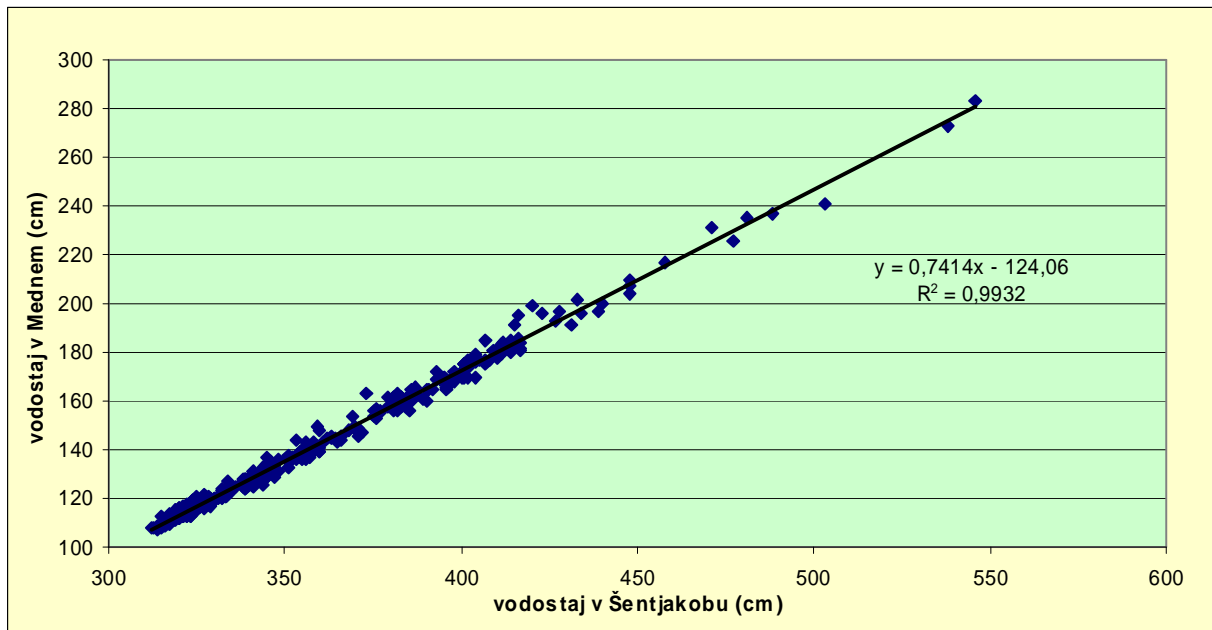
Na trenutno delujočih vodomernih postajah na Savi je na razpolago niz podatkov vodostajev od leta 1960 za Šentjakob (graf 10) in od leta 1968 za postajo v Mednem (graf 9). Starejših podatkov za vodostaje ni, zato so uporabljeni podatki s postaje Tacen, ki so prepisani iz starih zapiskov in študij. Prav tako so bili vsi stari podatki o spremembi rečnega dna pridobljeni na podoben način in potem obdelani.



**Graf 9:** Karakteristične letne vrednosti vodostajev na merilni postaji Sava Medno v letih 1969-2007 (Vir podatkov:ARSO)



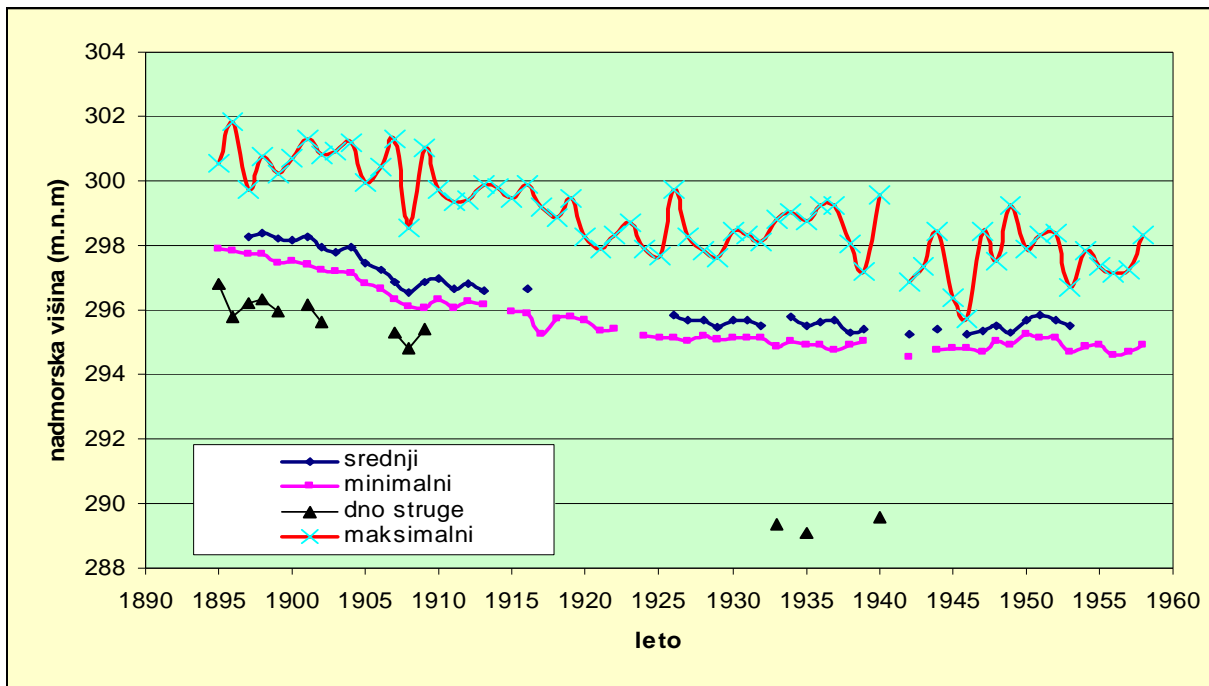
**Graf 10:** Karakteristične letne vrednosti vodostajev na merilni postaji Sava Šentjakob v letih 1960-2007 (Vir podatkov:ARSO)



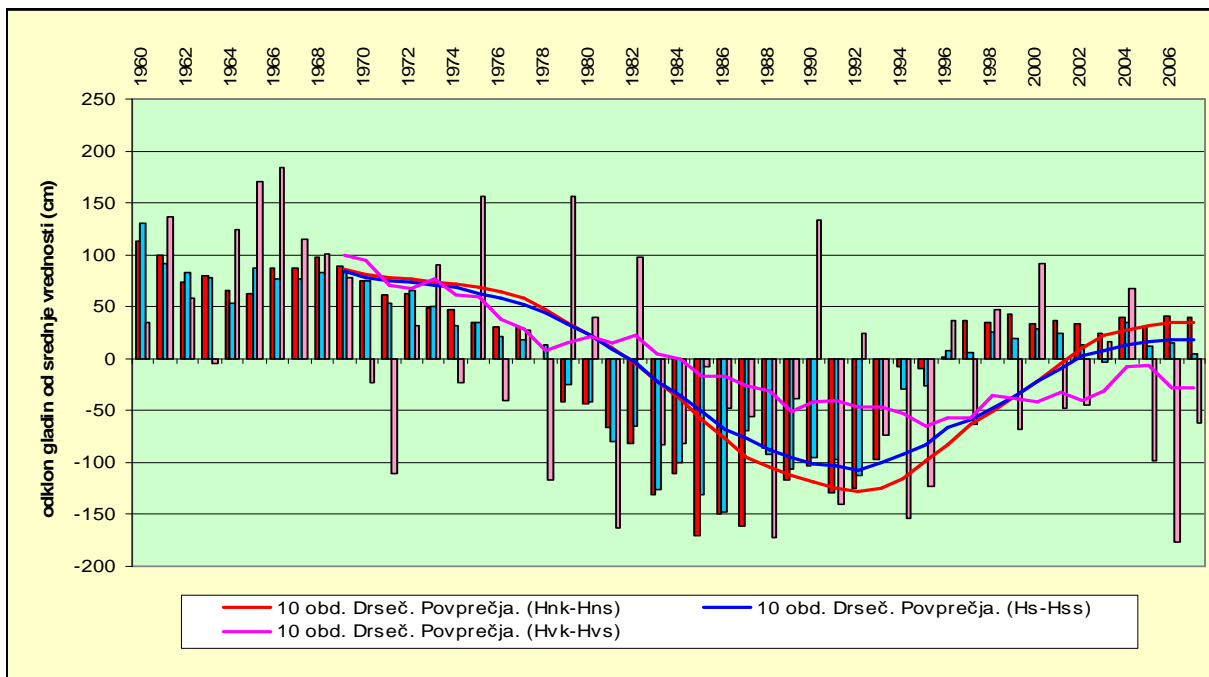
**Graf 11:** Korelacija vodostajev na vodomernih postajah Sava Šentjakob in Sava Medno (Vir podatkov: ARSO)

Delujoči vodomerni postaji (VP Medno in VP Šentjakob) zaradi svojega položaja in urejenega rečnega korita prepuščajo vse vode skozi svojo strugo, zato je korelacija med njimi zelo dobra (graf.11).

Na stari postaji v Tacnu so trendi vodostajev upadajoči, pa ne zaradi manjše količine vode ampak zaradi poglobljanja dna struge reke Save (graf 11). Dno je na nekaterih odsekih bilo zaradi delovanja erozije večkrat poglobljeno ter potem spet zasuto. Minimalni vodostaji so se po visoki vodi leta 1923 ustalili na koti 295, kar kaže na stabilizacijo erozije ali urezano korito v neprepustno podlago. Leta 1940 je visoka voda reke Save porušila v letu 1923 in 1933 poškodovani most v Šentjakobu, ter uničila vodomerno postajo.



**Graf 12:** Položaj kote dna v primerjavi z karakterističnimi vrednostmi gladinami na postaji Sava Tacen v letih 1895-1959 (Vir podatkov: arhivARSO)



**Graf 13:** Odklon letnih karakterističnih vrednosti na postaji Sava-Šentjakob od povprečja obdobja 1960-2007 (Vir podatkov: ARSO)

Visoki vodostaji v Šentjakobu so že nepretrgoma od leta 1983 pod povprečjem, srednji in nizki vodostaji pa so v zadnjih letih nekoliko nad povprečjem obdobja 1960-2007, kar gotovo

kaže na zadrževanje voda in umetni vpliv (graf 13). Trendi gladin podzemnih voda kažejo podobno sliko kot trendi gibanja vodostajev Save na postaji Šentjakob, kar kaže na odvisnost podzemne vode od reke in medsebojno povezanost.



**Slika 17:** Posledice bočne erozije v strugi reke Save, koristna za povečanje infiltracijske površine (Foto: Savić sep.08).

**Reka Ljubljanica** je drugi največji površinski vodotok na Ljubljanskem polju. V zgornjem delu struge reke Ljubljanice do Fužin, podzemna voda Ljubljanskega polja in reka Ljubljanica delujeta kot dva hidrodinamično ločena sistema. Reka Ljubljanica izvira kot kraška reka in ima na toku čez Ljubljansko barje povprečni padec samo 1%, zato ni prodonosna. Njena struga je zaradi regulacije in pregrad močno zablatena (slika 17), zato Ljubljanica na toku do Fužin nima bistvenega vpliva na gladino podzemne vode Ljubljanskega polja (Brilly, 1981). V Ljubljanico se, pod hidroelektrarno v Fužinah do izliva v reko Savo, zaradi nižje lege gladine Ljubljanice direktno drenira del toka podzemne vode. Na levem bregu struge se pojavljajo izviri podzemne vode, kjer voda izteka v Ljubljanico (Brilly, 1981).





**Slika 18:** Regulirana struga reke Ljubljanice v Mostah je neprepustna in zablatena (foto: Savić, sep. 2008)

### 3.3.2 Podnebje

Za obravnavano območje so med parametri podnebja najbolj pomembne padavine, predvsem njihova prostorska in časovna razporeditev. Za količine podzemnih voda je bolj pomembno da so padavine prostorsko enakomerno razporejene, ter da so srednje vrednosti višje. Pojavi ekstremnih padavin in visokih voda so pomembni za procese erozije na površju ter v rečnem koritu in prispevajo k čiščenju dna struge in s tem pripomorejo k večji infiltraciji reke Save v podzemno vodo.

#### **Padavine, temperatura in evapotranspiracija**

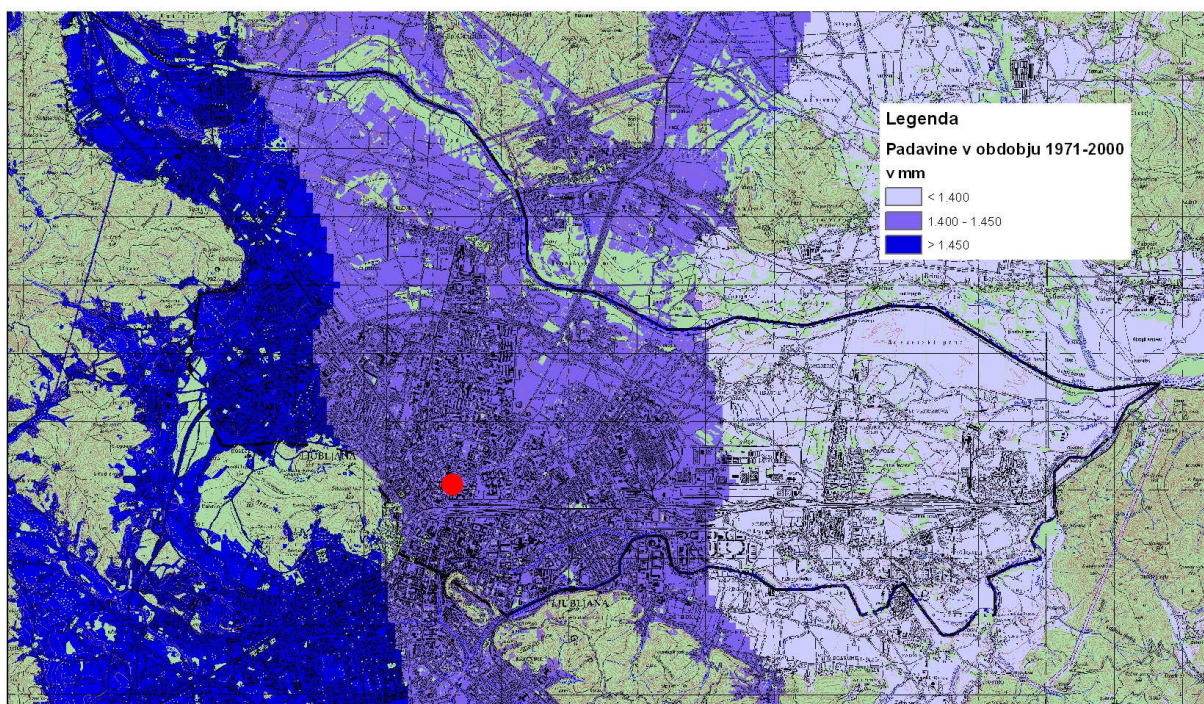
Napajanje vodonosnika je odvisno od količine in razporeditve padavin. Srednja vrednost količine letnih padavin v obdobju 1961-1990 znašala 1450 mm (Kolbezen in Pristov, 1998), podatki za obdobje 1948-2007 pa kažejo, da je povprečje znašalo 1336 mm. Največ padavin pade v mesecu juniju, 126 mm, najmanj pa februarju, 71 mm (preglednica 1, graf 14). Povprečno v Ljubljani mesečno pade 111 litrov padavin na m<sup>2</sup> površine. To se nanaša na

celotno obdobje meritev ne upošteva, da je bila postaja na treh različnih lokacijah v okolici, zato se podatki logično razlikujejo. Primerjava dveh obdobj opazovanj, celotnega (1860-2007), in obdobja delovanja meteorološke postaje za Bežigradom (1948-2007), kaže na odstopanje mesečnih vrednosti padavin navzdol, temperatur pa navzgor. To je znak da se količina padavin manjša, temperatura zraka pa povečuje, kar ni samo posledica globalnega segrevanja ampak tudi položaja merilne postaje, ki je v vse bolj urbaniziranem okolju sedaj praktično v mestnem jedru.

Skozi infiltracijsko površino se površinska voda preceja v tla (v sediment ali kamnino) in napaja vodonosnik (Veselič, 1984). Infiltracija označuje del učinkovitih padavin, ki po hidrogeološkem sistemu odtečejo podzemsko. Infiltrirana voda lahko odteče iz opazovanega sistema podzemno, priteče na površje skozi izvire, ali jo črpamo iz vodnjakov.

Podzemna voda v vodonosniku se bogati z infiltracijo padavin, padlih na območju polja in dotokom padavin s padavinskega območja na obrobju (Mikulič, 1992)

Količina padavinske vode, ki ploskovno pade neposredno na Ljubljansko polje in se infiltrira, bi bila brez antropogenega vpliva  $1,72 \text{ m}^3/\text{s}$  (Rejec Brancelj in sod., 2005). S posegi na območje prepustne prodne zemljine, z gradnjo neprepustnih cestnih ali stavbnih površin, se poveča specifičen površinski odtok in se zmanjša infiltracija padavin oz. naravno bogatenje podzemne vode (Kompore, 2002). Kar  $16,4 \text{ km}^2$  vseh vodovarstvenih pasov je prekritih s pozidanimi površinami, kar je 26 % celotne površine polja in s tem zmanjšuje ponikanje padavinske vode v podzemno vodo Ljubljanskega polja (Smrekar, 2006). Tako ob upoštevanju (odštetju) meteornegega odtoka iz urbaniziranih površin, ki se ne infiltrira v podzemno vodo, znaša infiltracija  $1,44 \text{ m}^3/\text{s}$  ploskovnega dotoka iz padavin na Ljubljanskem polju (Rejec Brancelj in sod.,2005).



**Slika 19:** Padavinska karta za območje Ljubljanskega polja v obdobju 1971-2000  
(Vir:ARSO)

**Evapotranspiracija** (ETR) je odvisna od temperature in vsebnosti vlage v zraku, razpoložljivosti vode na površju in plitvem horizontu tal (Fitts, 2002).

Ker pa vode v tleh ni vedno dovolj, se potencialna ETR razlikuje od dejanske (Pristov, 1994). Potencialna ETR je definirana kot vsota vode, ki bi izhlapela iz površja vode, če bi bilo vode v neomejenih količinah. Dejanska ETR pa je tista vrednost, ki jo dobimo eksperimentalno ali jo izračunamo.

Največja ETR na Ljubljanskem polju je od meseca maja do avgusta, ko je glavno vegetacijsko obdobje. Najmanj padavin je v januarju, februarju in marcu. V povprečju je vrednost ETR od 650 – 771 mm/leto (Kolbezen in Pristov, 1998). Povprečno je v posameznih mesecih več padavin kot izhlapele vode, razen v mesecu juliju, ko je ETR v povprečju večja kot količina padavin (Rejec Brancelj in sod., 2005). Količina učinkovitih padavin, upada in sicer 3,19 mm letno, kar je posledica manjše količine padavin in segrevanja okolja (graf 19).

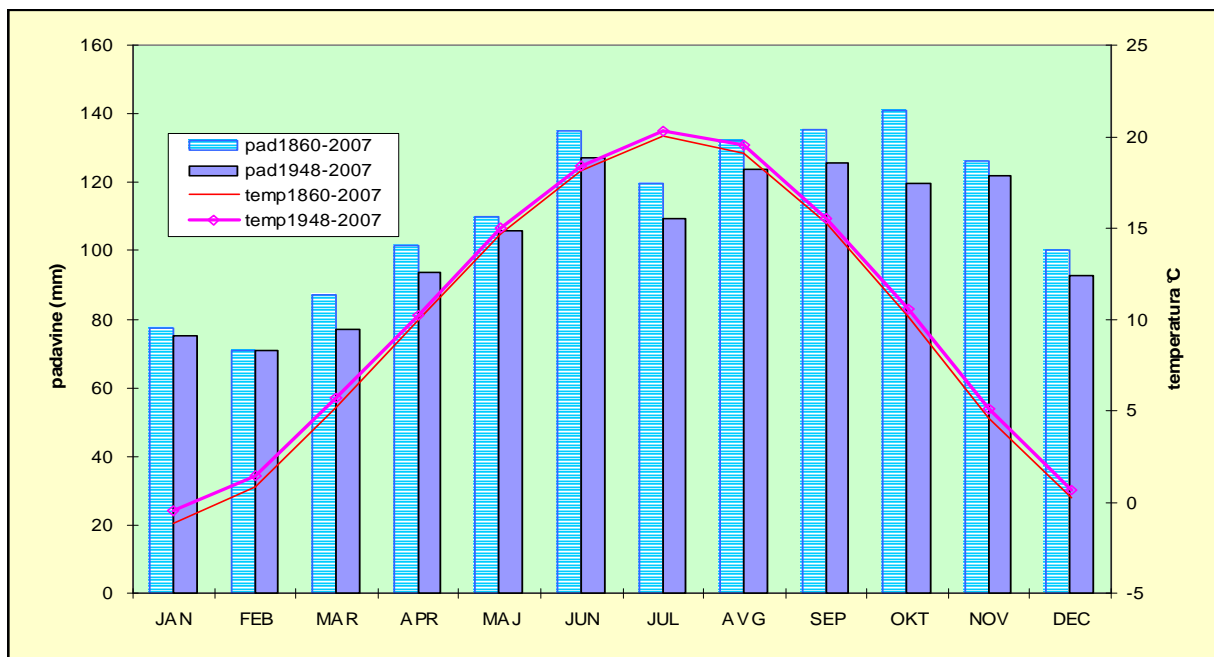
Posamična leta prispevajo zelo malo količino padavin (graf 19) kot potenciala za napajanje vodonosnika in kot vira pitne vode, zato je treba skrbno spremljati dogajanja na drugih virih, ki vplivajo na napajanje vodonosnika, kajti na padavine in evapotranspiracijo ne moremo



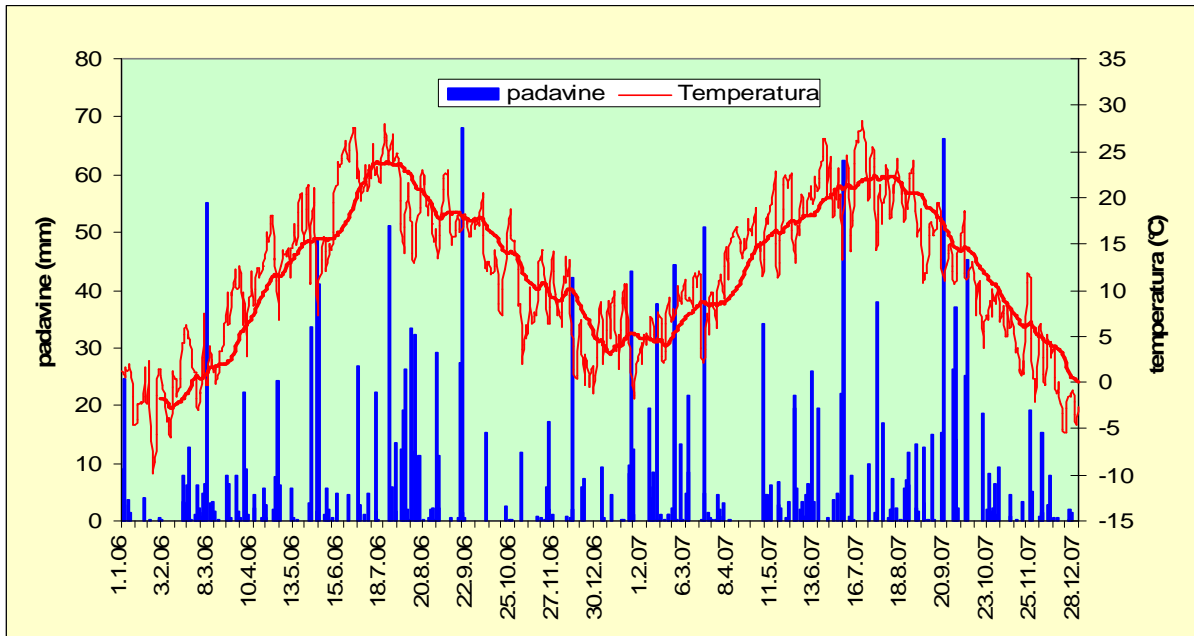
vplivati. Vplivamo lahko na področju rabe prostora, predvsem urbanizacije, ki že sedaj pokriva 53% Ljubljanskega polja in na področju hidroenergetskih posegov na reki Savi, ki so že predvideni.

**Preglednica 1:** Karakteristične mesečne in obdobje vrednosti padavin in temperatur zraka za meteorološko postajo v Ljubljani (Vir:ARSO)

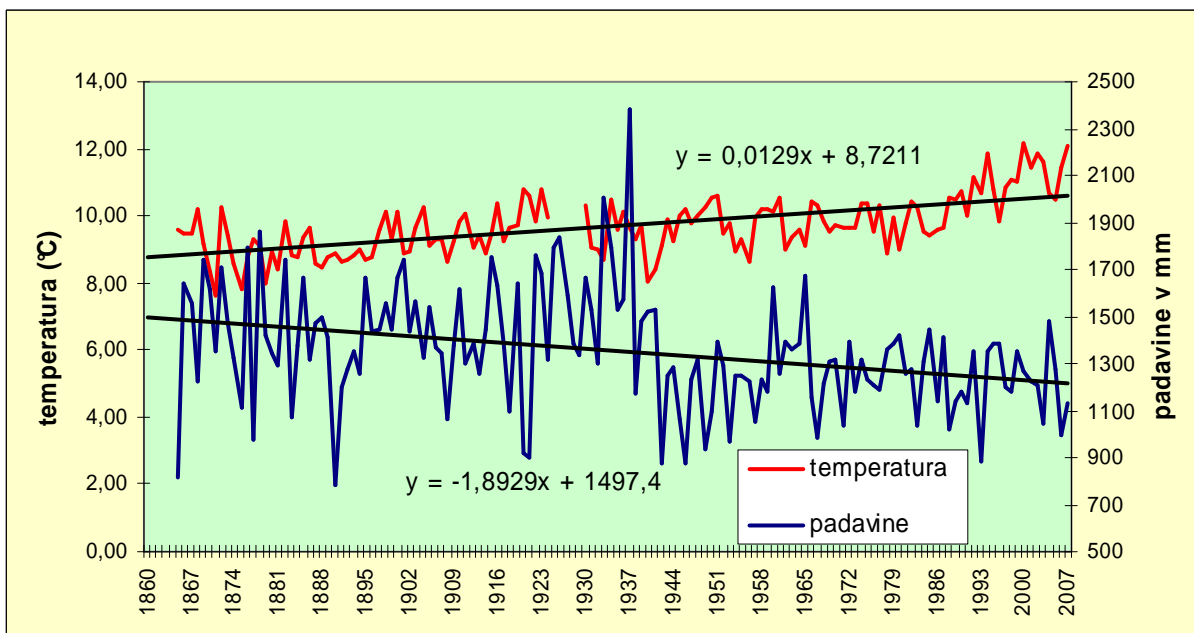
	povprečje 1860-2007		povprečje 1948-2007	
	Padavine(mm)	T(°C)	Padavine(mm)	T(°C)
JAN	77	-1,2	75	-0,5
FEB	71	0,8	71	1,4
MAR	87	5,2	77	5,7
APR	101	9,9	94	10,2
MAJ	110	14,6	106	15,0
JUN	135	18,1	127	18,4
JUL	120	20,0	109	20,3
AVG	132	19,1	124	19,5
SEP	135	15,2	126	15,5
OKT	141	10,2	119	10,6
NOV	126	4,6	122	5,1
DEC	100	0,2	93	0,6
LETNI	111	9,7	104	10,2



**Graf 14:** Srednje mesečne padavine in temperature zraka dveh različnih obdobj (Vir podatkov: ARSO).

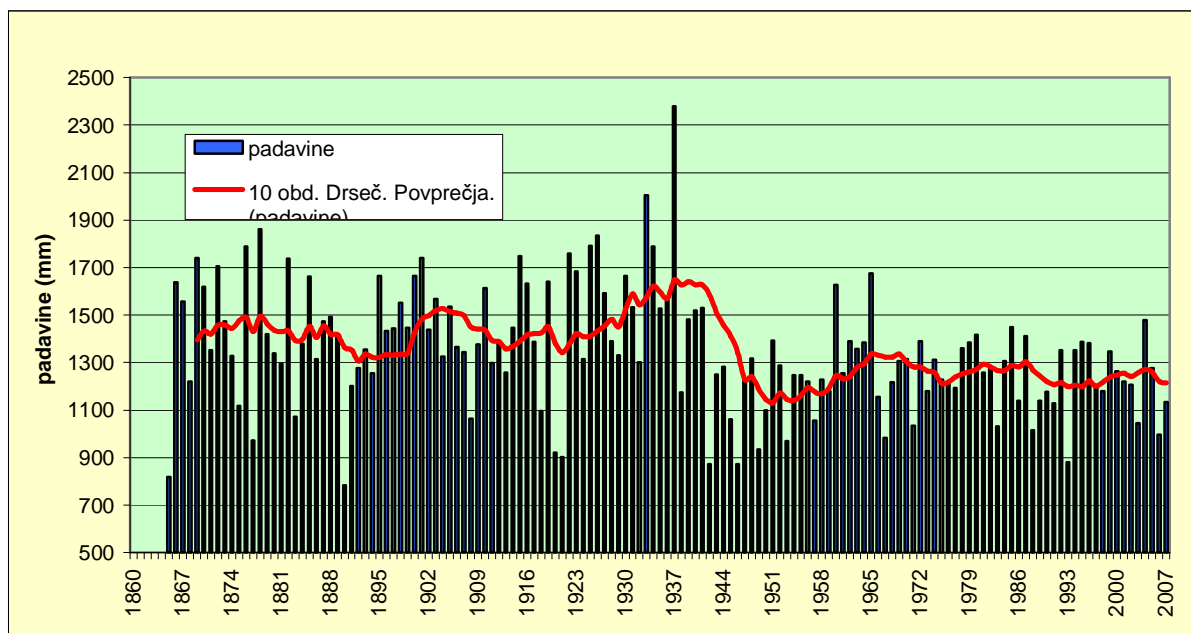


**Graf 15:** Povprečne dnevne vrednosti padavin in temperature zraka z 30 dnevnim drsečim povprečjem na postaji LJ-Bežigrad v letih 2006-2007. (Vir podatkov: ARSO)



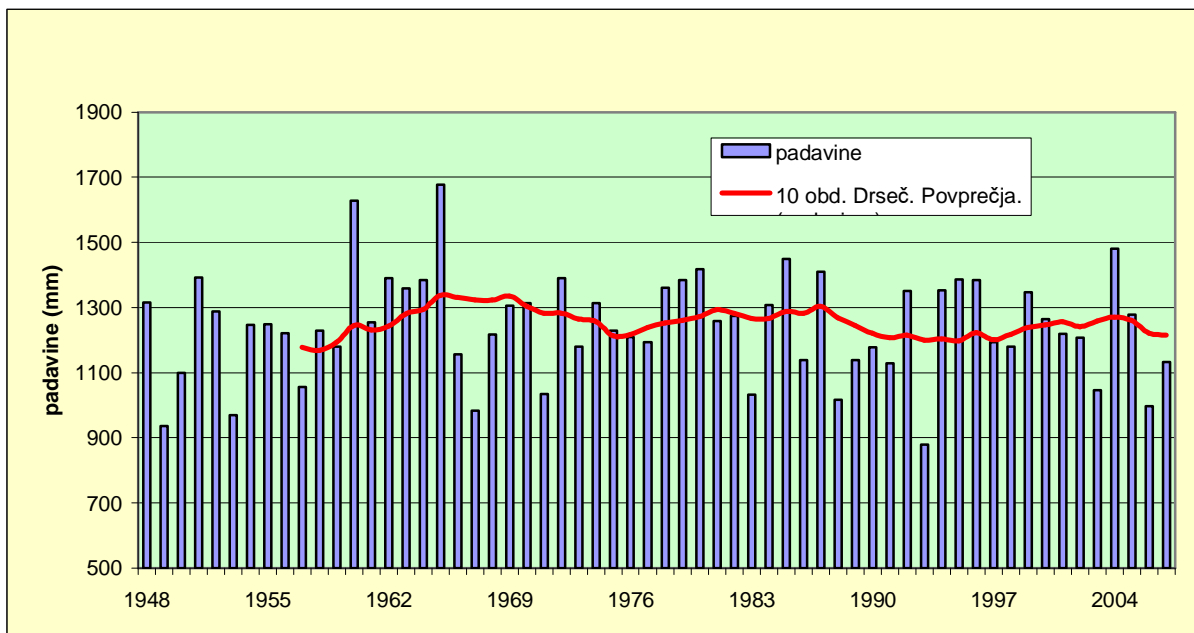
**Graf 16:** Srednje letne količine padavin in temperatur zraka za Ljubljano med leti 1863 in 2007 (Vir podatkov: ARSO)

Meteorološka opazovanja so potekala na različnih lokacijah: od 1850-1853 na železniški postaji, 1853-1896 v Prečni ulici, 1897-1924 v poslopju Realke na Vegovi ulici, 1921-1949 v poslopje Univerze(Dvorec), na Geografskem inštitutu, ter od l.1948 dalje na sedanji lokaciji za Bežigradom.

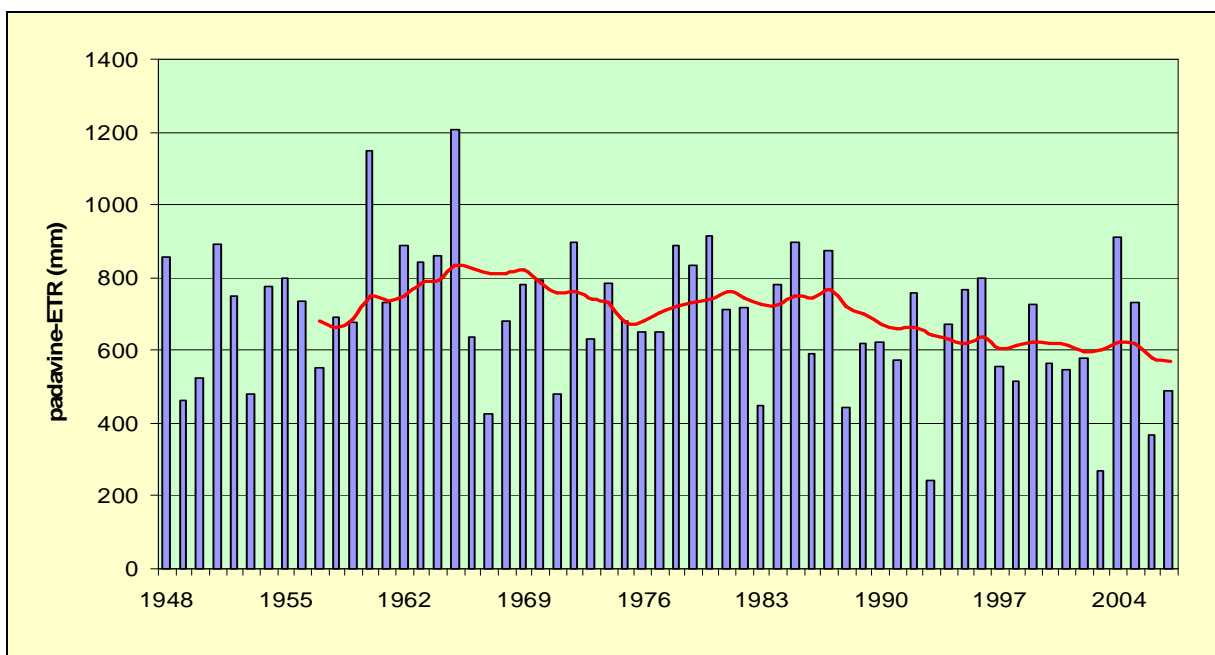


**Graf 17:** Padavine na meteorološki postaji LJ-Bežigrad 1963-2007 z 10 letnim drsečim povprečjem (Vir podatkov: ARSO)

Dolgoletni niz podatkov kaže spremembo količin padavin po drugi svetovni vojni in sicer zaradi spremembe v načinu meritev in zaradi spremembe lokacije na sedanjo lokacijo postaje Ljubljana Bežigrad (graf 18). Zato smo v nadaljevanju upoštevali samo obdobje meritev po letu 1948 na meteorološki postaji Ljubljana Bežigrad.



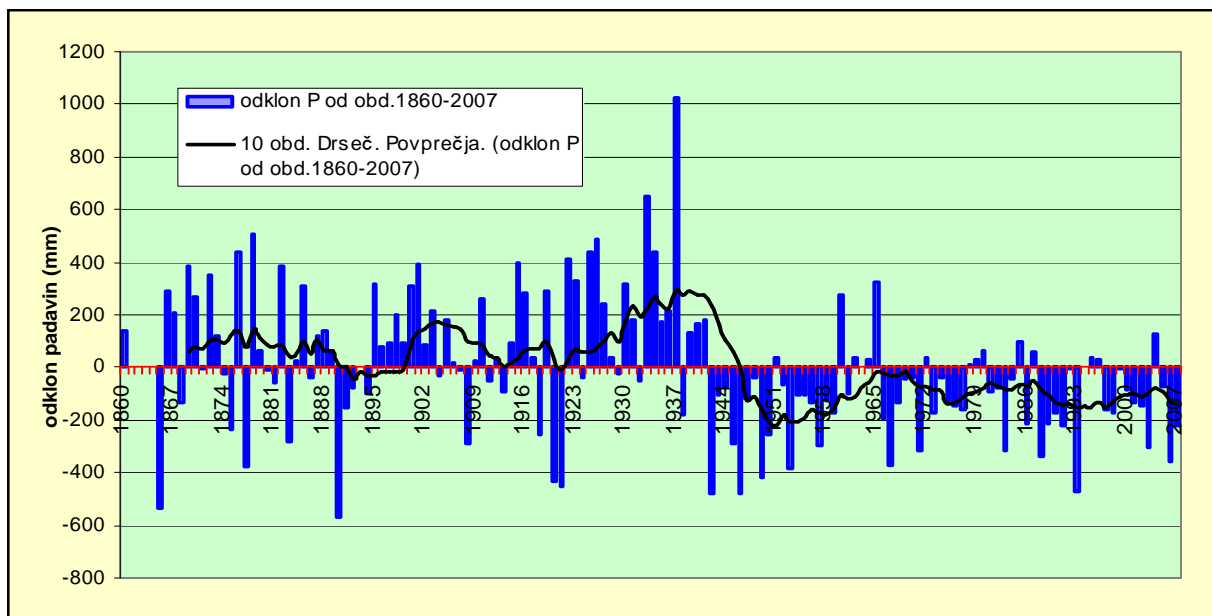
**Graf 18:** Padavine na meteorološki postaji LJ-Bežigrad 1948-2007 z 10 letnim drsečim povprečjem (Vir podatkov: ARSO)



**Graf 19:** Efektivne padavine na meteorološki postaji LJ-Bežigrad 1948-2007 z 10 letnim drsečim povprečjem (Vir podatkov: ARSO)

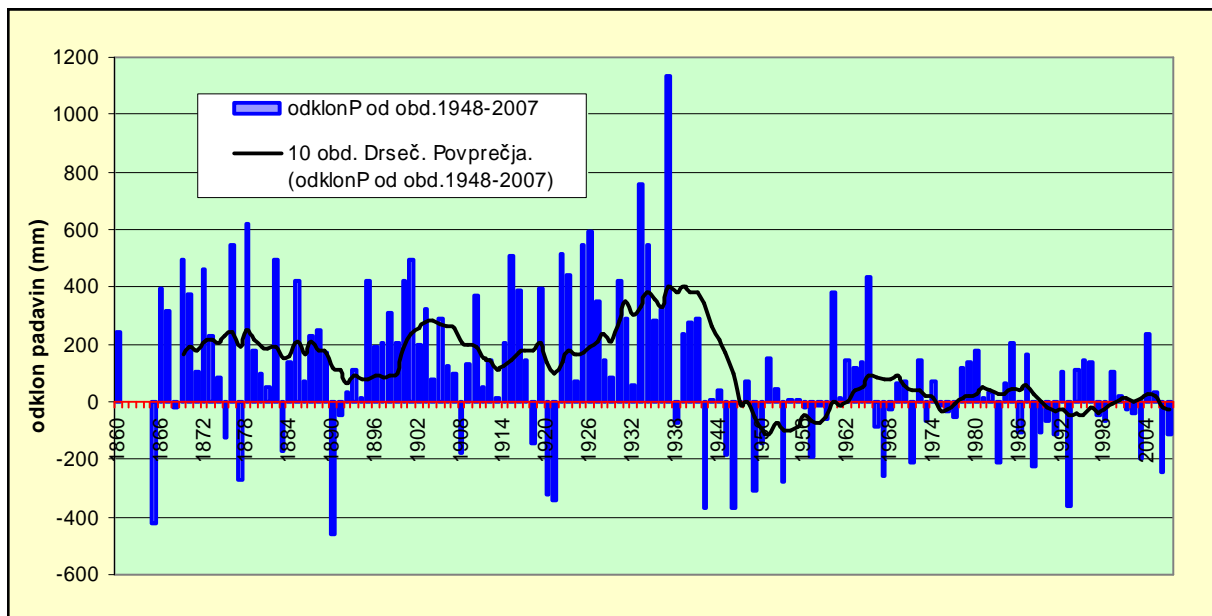
Iz analiz padavin in evapotranspiracije izhaja, da na Ljubljansko polje pade povprečno 1243 mm padavin, ter da je evapotranspiracija v povprečju 553 mm. Ugotovljeni trend upadanja

efektivnih padavin obdobja 1948-2007 (povprečje 690 mm) kaže na zmanjševanje količin padavin ki napajajo vodonosnik (graf 20).



**Graf 20:** Odklon letnih količin padavin od povprečja obdobja 1860-2007 ter 10 letno drseče povprečje (Vir podatkov: ARSO)

Celotno obdobje meritev 1948-2007 značilno odstopa od povprečja celotnega niza 1860-2007, kar je znak in dokaz razlik v merilni tehniki in vplivu nove lokacije meritev.

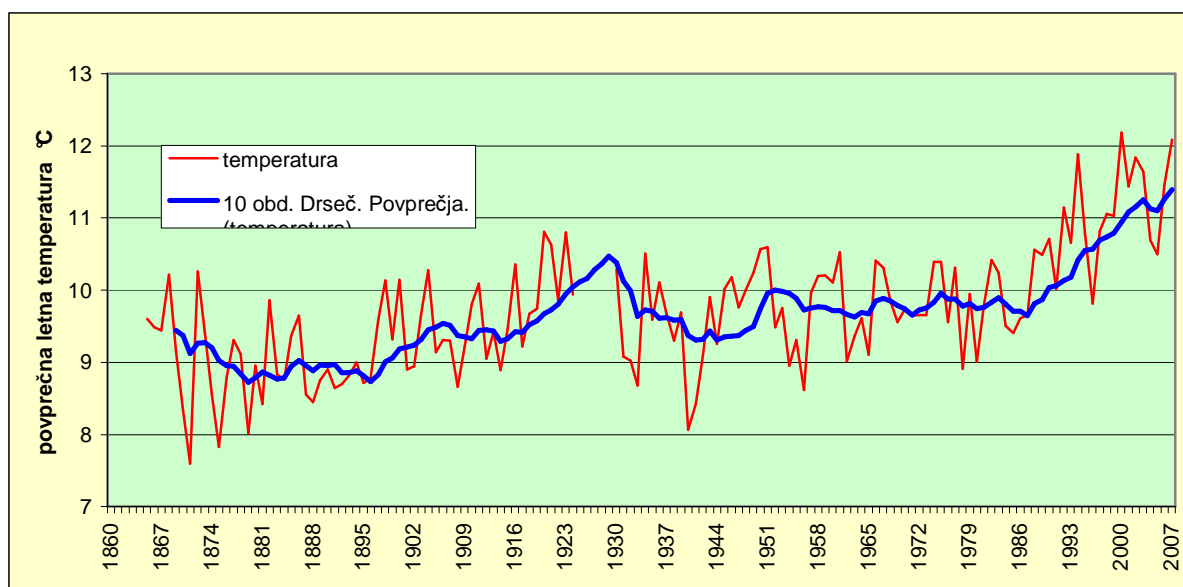


**Graf 21:** Odklon srednjih letnih količin padavin od povprečja obdobja 1948-2007 ter 10 letno drseče povprečje (Vir podatkov: ARSO)

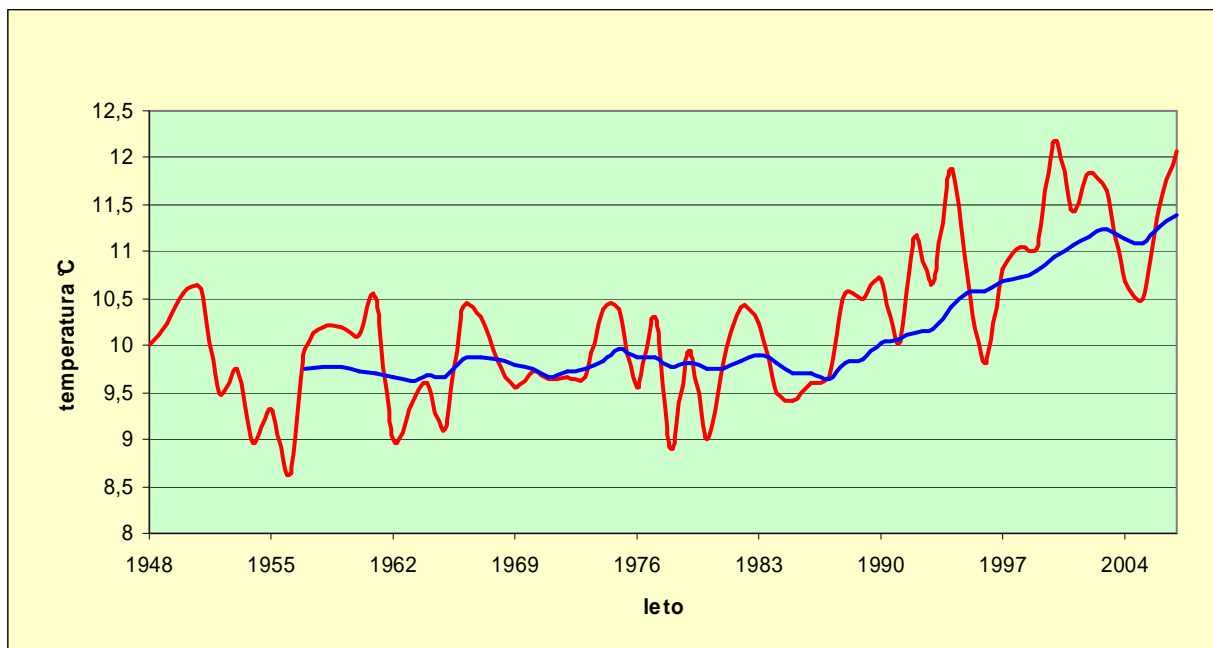
Odklon količin padavin posameznega leta od povprečja obdobja 1948-2007 je stalen in ne kaže trenda upadanja ali naraščanja, kar je dober pokazatelj stabilnosti padavin v tem obdobju (graf 22).

### Temperatura zraka

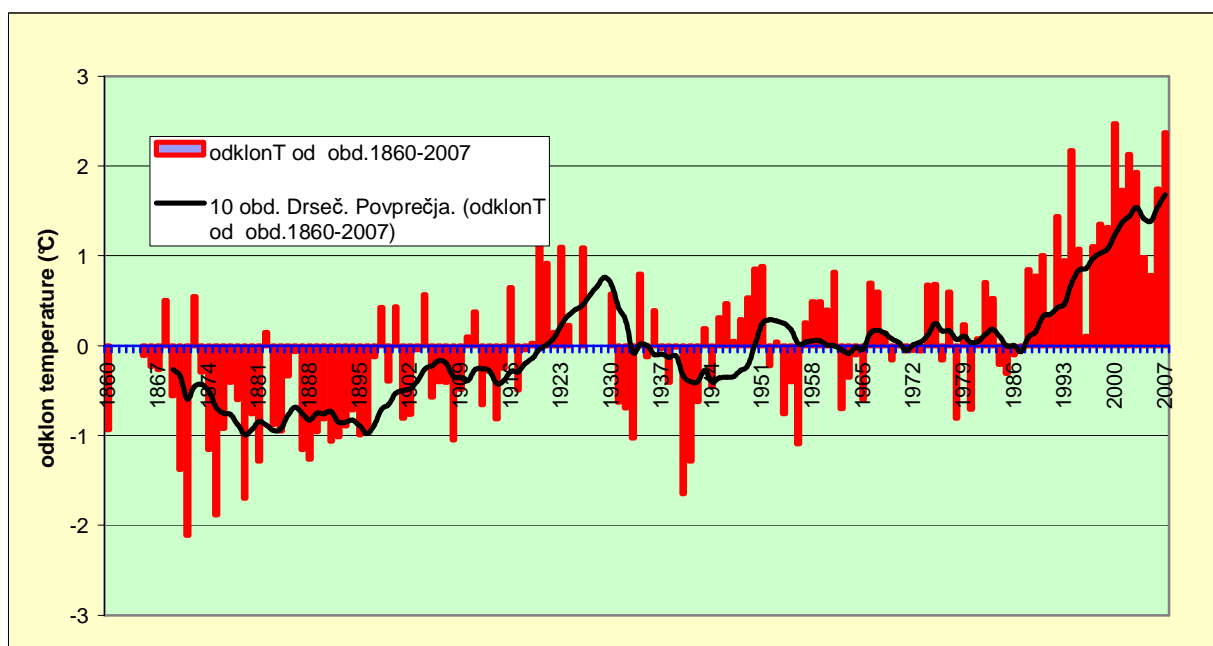
Temperatura zraka je izredno pomemben naravni faktor za kroženje vode v naravi in njeni porazdelitvi v času in prostoru. V hidrologiji podzemnih voda je pomembna, ker je od temperature zraka odvisna količina učinkovitih padavin, ter stanje tal od vlažnosti do zaraščenosti in temperature tal. Če je temperatura zraka visoka je relativna vlažnost nizka, zemlja se izsuši in poka tako, da so ob nalivih izredno veliki vdori vode in zraka v podzemlje kar zaradi možnosti onesnaženja za podzemne vode ni dobro. Voda s seboj vedno prinaša tudi nezaželeno snovi, ki se na svoji poti do podzemne vode ne prečistijo v pričakovanem obsegu. Najnižja temperatura zraka izmerjena v Ljubljani je bila leta 1942,  $-25,4^{\circ}\text{C}$ , najvišja pa  $+38,8^{\circ}\text{C}$  v letu 1950. Povprečna temperatura v obdobju meritev (1860-2007) je  $9,71^{\circ}\text{C}$ , do leta 1948 je bilo povprečje  $9,31^{\circ}\text{C}$ , po letu 1948 za meteorološko postajo Bežigrad znaša  $10,2^{\circ}\text{C}$ . Temperatura je ciklični pojav, na dnevni ravni, prav tako na letni in nekateri menimo da je tudi na daljši rok ciklični pojav in da se bo trend višanja, čez nekaj let z našimi ukrepi zmanjševanja emisij, obrnil navzdol.



**Graf 22:** Srednje letne temperature zraka na meteorološki postaji LJ-Bežigrad in deset letno drseče povprečje v obdobju 1863-2007 (Vir podatkov: ARSO)

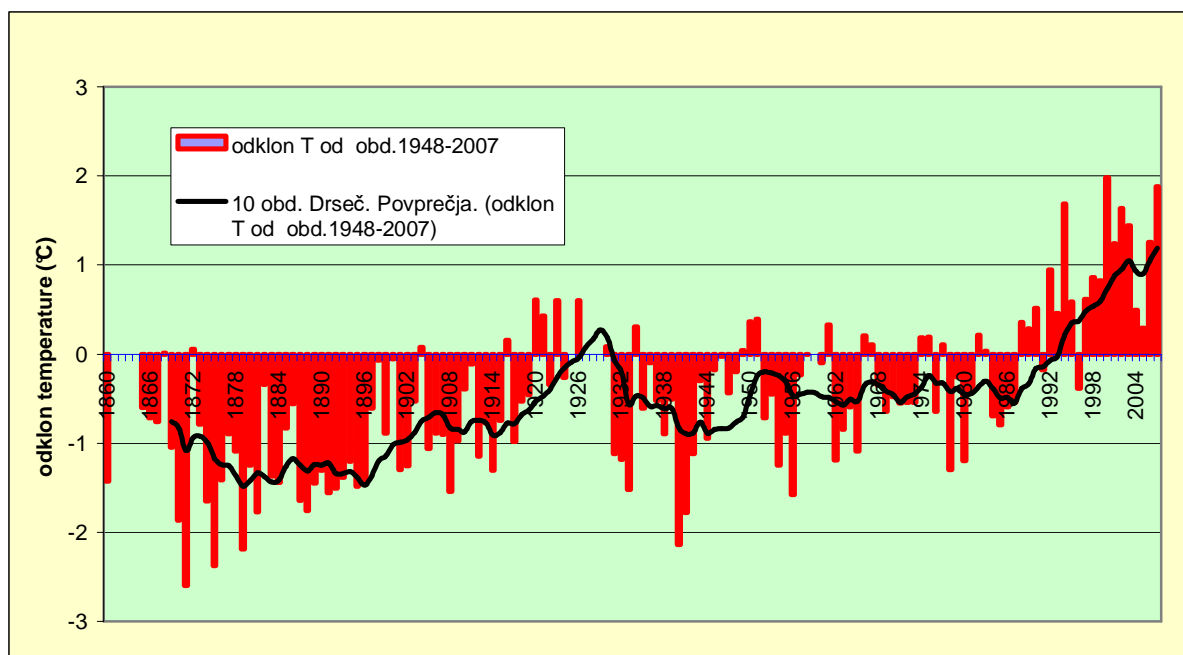


**Graf 23:** Srednje letne temperature zraka na meteorološki postaji LJ-Bežigrad in deset letno drseče povprečje v obdobju 1848-2007 (Vir podatkov: ARSO)



**Graf 24:** Odklon srednjih letnih temperatur zraka na meteorološki postaji LJ-Bežigrad od povprečja obdobja 1860-2007 ter 10 letno drseče povprečje (Vir podatkov: ARSO)





**Graf 25:** Odklon srednjih letnih temperatur zraka na meteorološki postaji LJ-Bežigrad od povprečja obdobja 1948-2007 ter 10 letno drseče trendno povprečje (Vir: ARSO)

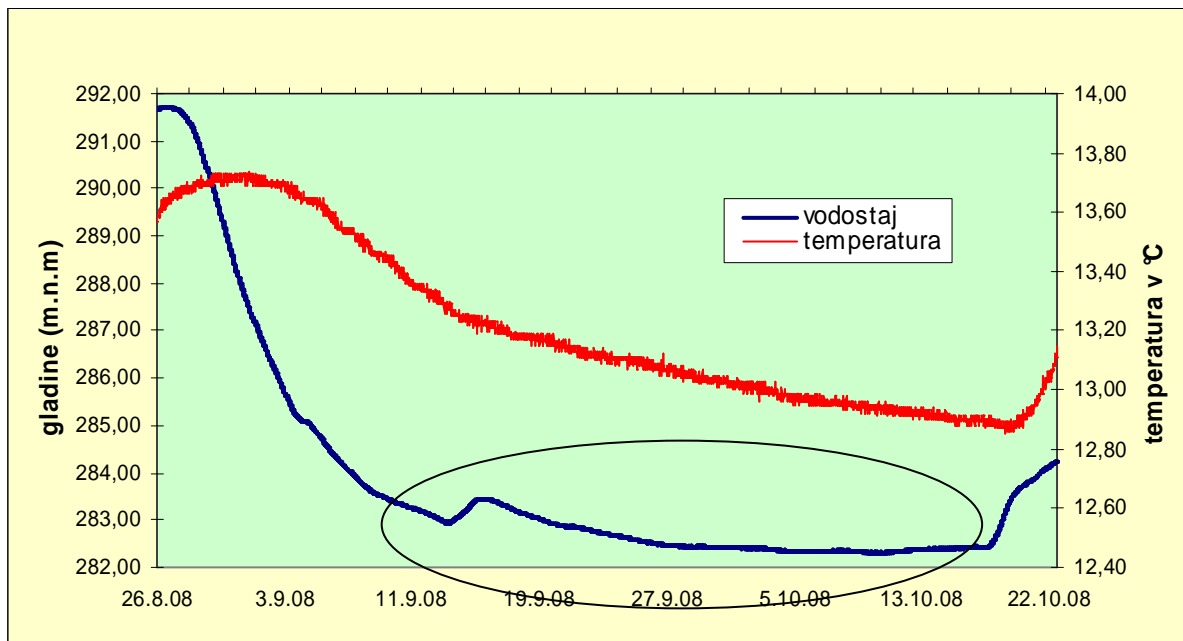
### 3.3.3 Vplivi zaledja

Pod vplive zaledja štejemo: padavinska območja obrobja polja, podzemni dotok skozi Ljubljanska vrata in podzemni dotok skozi Dravljje.

Padavinsko območje je zelo majhno saj obsega samo del Šišenskega hriba ter območje Šentviškega hriba. Padavine v zaledju ( $6,4\text{km}^2$ ) doprinesejo k napajanju vodonosnika pri povprečnih padavinah 1243 mm obdobja 1948-2007, povprečno  $0,14\text{ m}^3/\text{s}$ . Na podlagi več raziskav podzemne vode na Ljubljanskem polju so podane ocene o pretakanju in količinah dotoka vode iz smeri Ljubljanskega barja. Povzeli smo oceno da je pretok skozi Ljubljanska vrata okoli 100 l/s, na območju Dravelj se pretaka okoli 40 l/s (Bračič-Železnik, 2002). Seveda, to so samo ocene, stvarne količine pa so neznanka in naloga bodočih raziskovalcev.

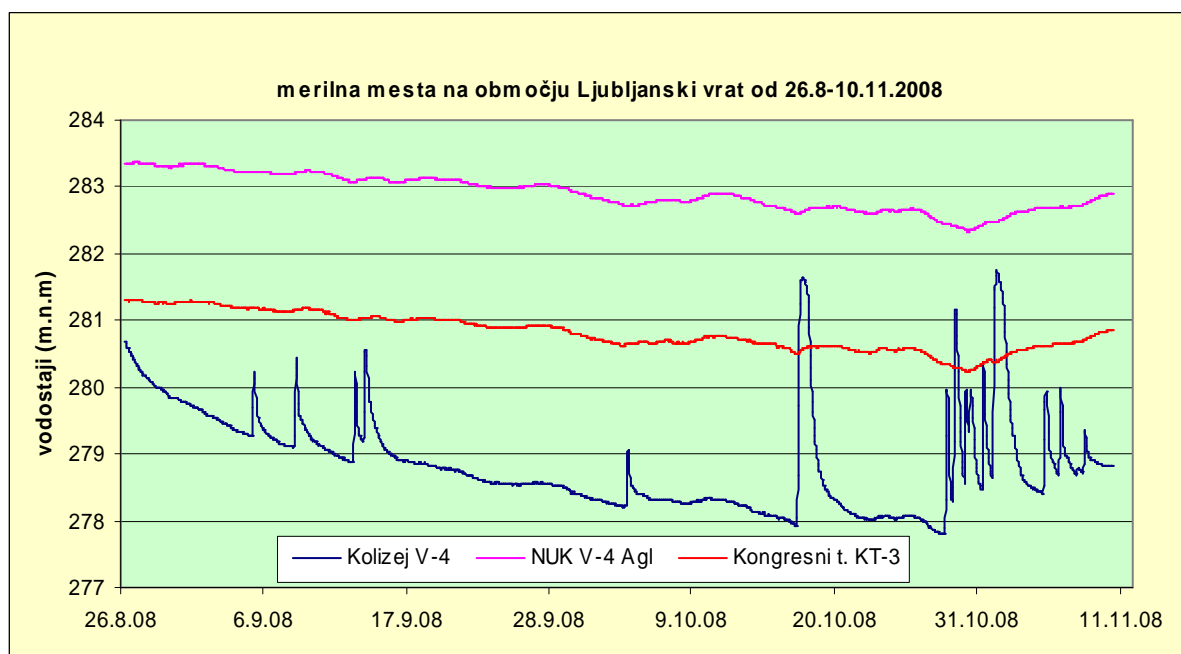
Prav za to diplomsko nalogo so na teh območjih bile postavljena štiri merilna mesta: na Sojerjevi in Bravničarjevi v Dravljah, ter pri Delu in RTV v središču mesta. Geološki zavod je za potrebe ene druge naloge postavil še tri merilne naprave na istem območju (Kolezija, NUK, Kongresni trg) v cilju sledenja režima podzemnih voda in dobiti čim boljše sliko dogajanja v vodonosniku.

Že po dveh mesecih opazovanja in obdelavi ter analizi podatkov so se potrdila nekatera predpostavljena dognanja. Na podlagi teh meritev smo prišli tudi do nekaterih novih spoznanj in sicer, da na območjih dotokov v Dravljah in območju Ljubljanskih vrat, viseča podtalnica vpliva na režim podzemne vode, ki doteka iz smeri Ljubljanskega barja.



**Graf 26:** Vodnjak na Sojerjevi zaradi vpliva viseče podtalnice samo ob nizkem vodostaju kaže režim spodnjega vodonosnika (Vir podatkov: ARSO)

Vodnjak na Sojerjevi je globok 27,96 m in je izkopen do globine osnovnega horizonta podzemne vode ter ima stalno vodo. Vodnjak se napaja tudi iz zgornjih horizontov viseče podtalnice, ki se stekajo v vodnjak na globini 5 in več metrov pod površjem in jih je mogoče celo videti. Meritve v tem vodnjaku ob nizkem vodnem stanju pokažejo karakteristike nihanja osnovnega horizonta podzemne vode, ob padavinah se v njega zlivajo viški viseče podtalnice tako da so nihanja v vodnjaku izredno velika in znašajo okoli 17 metrov.



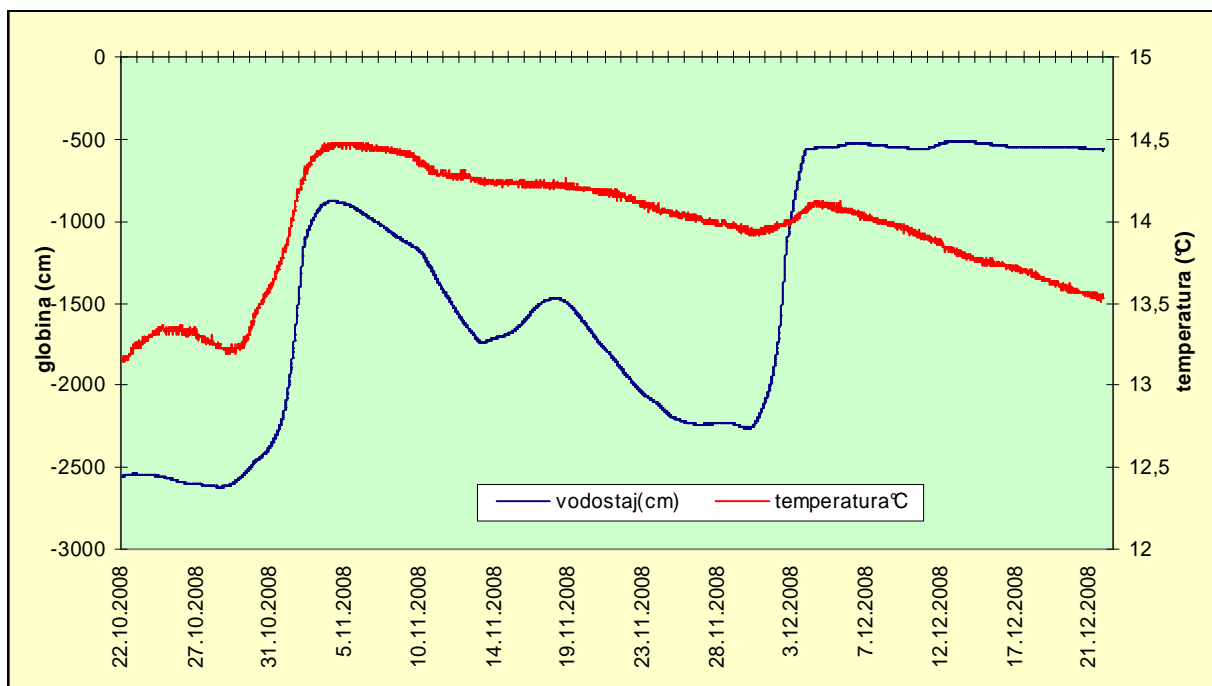
**Graf 27:** Gladine podzemne vode na postajah na območju Ljubljanskih vrat 26.8.-10.11.2008 (Vir podatkov: GeoZS)

Na podlagi meritev na piezometrih na območju dotoka podzemne vode iz Ljubljanskega barja skozi Ljubljanska vrata je možno ugotoviti, da se na piezometru Kolizej V-4 občutno pozna vpliv dotokov iz viseče podtalnice. Na drugih dveh postajah teh vplivov ni, čeprav je viseča podtalnica na tem območju prav tako prisotna. Ali gre za vdor viseče podtalnice na samem objektu, zaradi slabe izvedbe filterskih območij ali tesnjenja vrtine ali gre za širši pojav težko rečemo, saj ni podatkov o tehnični izvedbi vrtine. Lahko se pa z gotovostjo trdi, da v kolikor teh vplivov ne bi bilo, bi bila nihanja podzemne vode tudi na tem območju podobna kot na drugih dveh postajah (slika 27).

### 3.3.4 Vpliv viseče podtalnice

Kot že rečeno v poglavju 2.3.4 se na območju Šentvida, Dravelj, Zg.in Sp.Šiške do gorenjske železniške proge, ter na območju starega dela mesta okoli Uniona in širše, nahajajo plasti tako imenovane viseče podtalnice. Viseča podtalnica se nahaja in zadržuje na glinastih plasteh na več nivojih. Napaja se izključno s padavinsko vodo, vodo iz zaledja hribov in z izgubami iz vodovodnega omrežja. Zasedili smo tri različne nivoje te podtalnice na območju Zg. Šiške. V ta namen sta bili montirani dve merilni napravi, z namenom ugotoviti, kaj se dogaja v tem delu vodonosnika za katerega smo imeli le nekaj posamičnih meritev iz preteklosti. To se je

pokazalo kot zelo koristno, meritve in analize tega kratkega obdobja pa kažejo na zanimivo in nadvse pestro dogajanje znotraj vodonosnika.

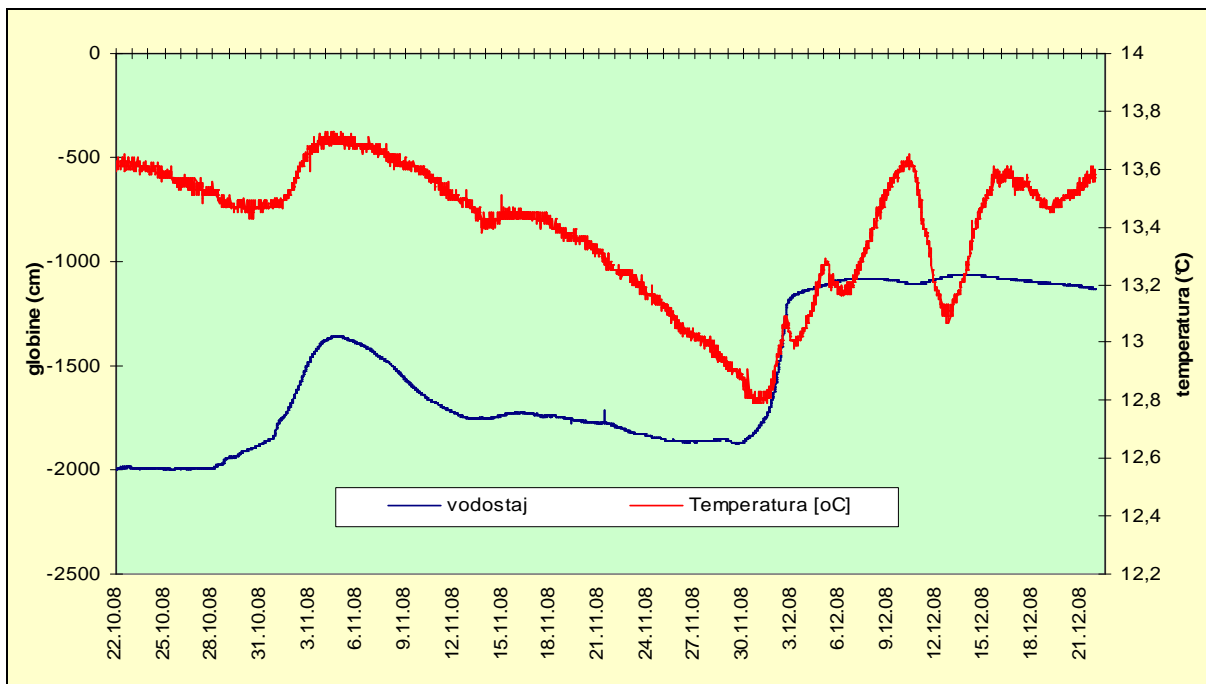


**Graf 28:** Globina in temperatura podzemne vode na postaji Sojerjeva v Zg.Šiški v času od 22.10-21.12.2008 (Vir podatkov: ARSO)

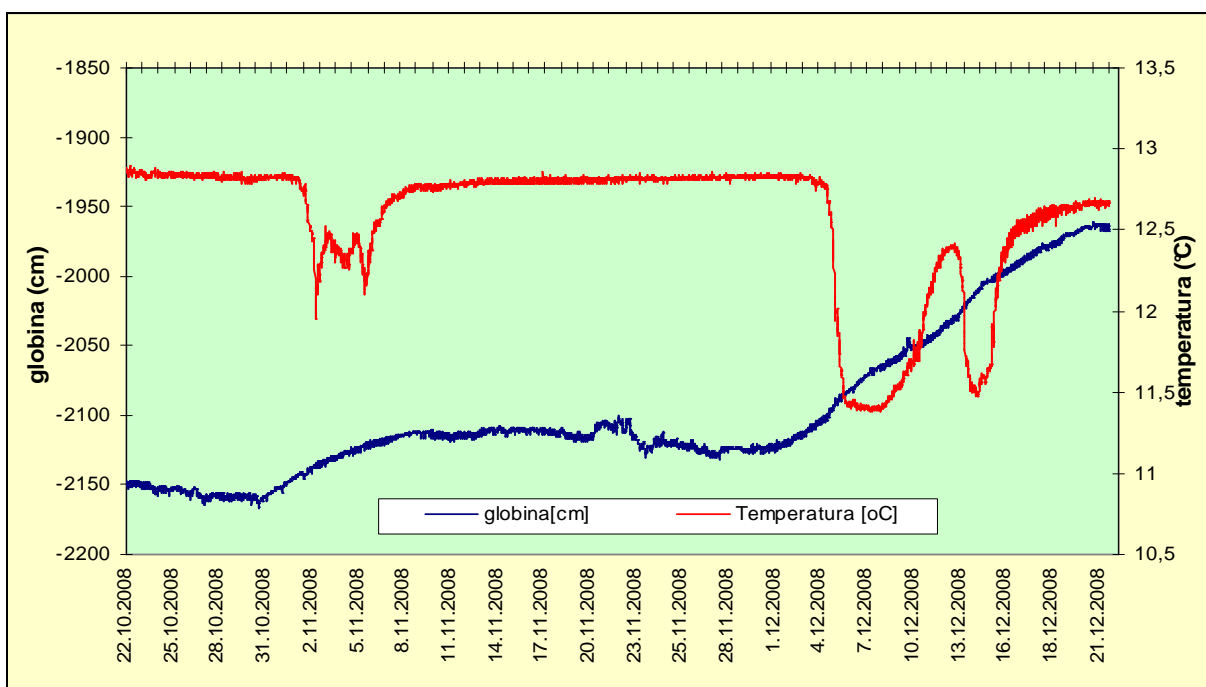
Kot smo že povedali v poglavju 3.2.2 je vodnjak na Sojerjevi skopan do nivoja osnovnega horizonta in se v njega iztekajo višje ležeči horizonti viseče podtalnice. Amplituda nihanja vodostajev v vodnjaku Sojerjeva v deževnih mesecih november in december 2008 je izredno velika. Pri prvem valu se je gladina v vodnjaku zaradi vpliva viseče podtalnice v petih dneh zvišala za 17 m, pri drugem valu pa prav tako za 17 m. Pri tem je zanimivo to, da se je globina do vode, zaradi nenehnega dotoka iz višjih horizontov, ustalila na okoli 5,50 metra. To je dokaz da so horizonti povezani in, da je zgornji horizont zelo prepusten, spodnji pa manj, saj ni sposoben odvajati vode ki priteče iz zgornjega horizonta, tako, da potem ko gladina doseže nivo zgornje podtalnice odteka voda v teh plasteh naprej proti osrednjem delu vodonosnika (slika 28). Ugotavljamo, da se pretakanja dogajajo tudi ko ni dolgotrajnega deževja, verjetno pa ne v obdobju z dalj časa trajajočo sušo.

Spremembe temperatur podzemne vode zaradi vpliva zgornjih horizontov so očitne tudi na postaji Bravničarjeva (graf 29). Oktobra pa tudi novembra, ko je temperatura dežja in tal na površju bila višja je razlog, da so se ob dvigu vodostaja temperature vode zvišale. Prav nasprotno je bilo v prvi polovici decembra, ko se je okolje ohladilo in se je temperatura vode

v zgornjih horizontih znižala ter je pri dotoku v spodnji horizont ta hladnejša voda iz vrhnjih horizontov znižala temperaturo toplejšega spodnjega horizonta podzemne vode.

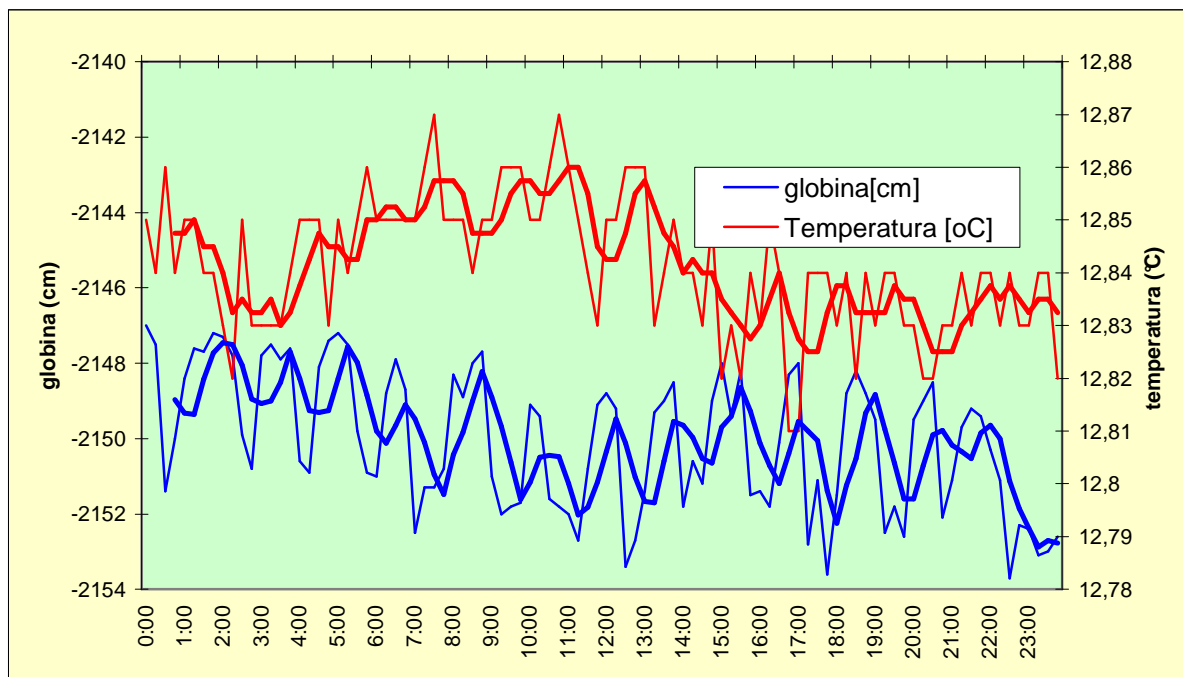


**Graf 29:** Globina in temperatura podzemne vode na 0630 Bravničarjevi v obdobju od 22.8-21.12.2008 (Vir podatkov: ARSO)



**Graf 30:** Globina in temperatura podzemne vode na merilni postaji Delo v času od 22.10-21.12.2008 (Vir podatkov: ARSO)

Na postaji »Delo« so opazni umetni vplivi, ki segajo od črpališča »Union«. Dotoki podtalnice iz smeri Šišenskega hriba so opazni kot vdori hladnejše vode (graf 30). Očitno se ti vplivi dogajajo hitreje kot se misli, saj se ob dvigu podzemne vode temperatura zniža v nekaj dneh (3-5 dni odvisno od višine spremembe) po začetku naraščanja vodostajev. Mešanje oziroma izmenjava toplote poteka nekoliko bolj počasi, pa tudi to traja samo nekaj dni. Ta pojav je zanimiv za neko bodočo bolj podrobno raziskavo. Zanimiva je tudi dnevna oscilacija vodostaja (zaradi vpliva črpališča Union) in obratne sorazmernosti gibanja temperature vode, sicer zelo majhne toda očitne in merljive (graf 31).

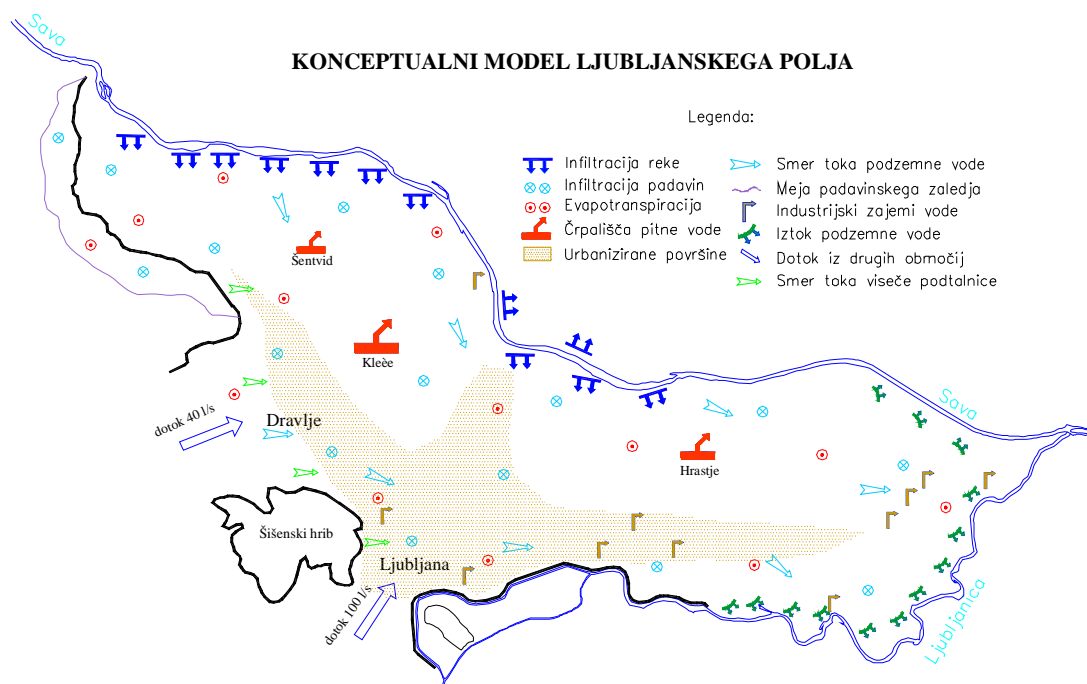


**Graf 31:** Urni vpliv višje podtalnice na podzemno vodo z linijo enournih trendov (debelejša črta) na postaji DELO dne 23.10.2008 (Vir podatkov: ARSO)

## 4 ANALIZA HIDROGEOLOŠKEGA SISTEMA

### 4.1 Splošno

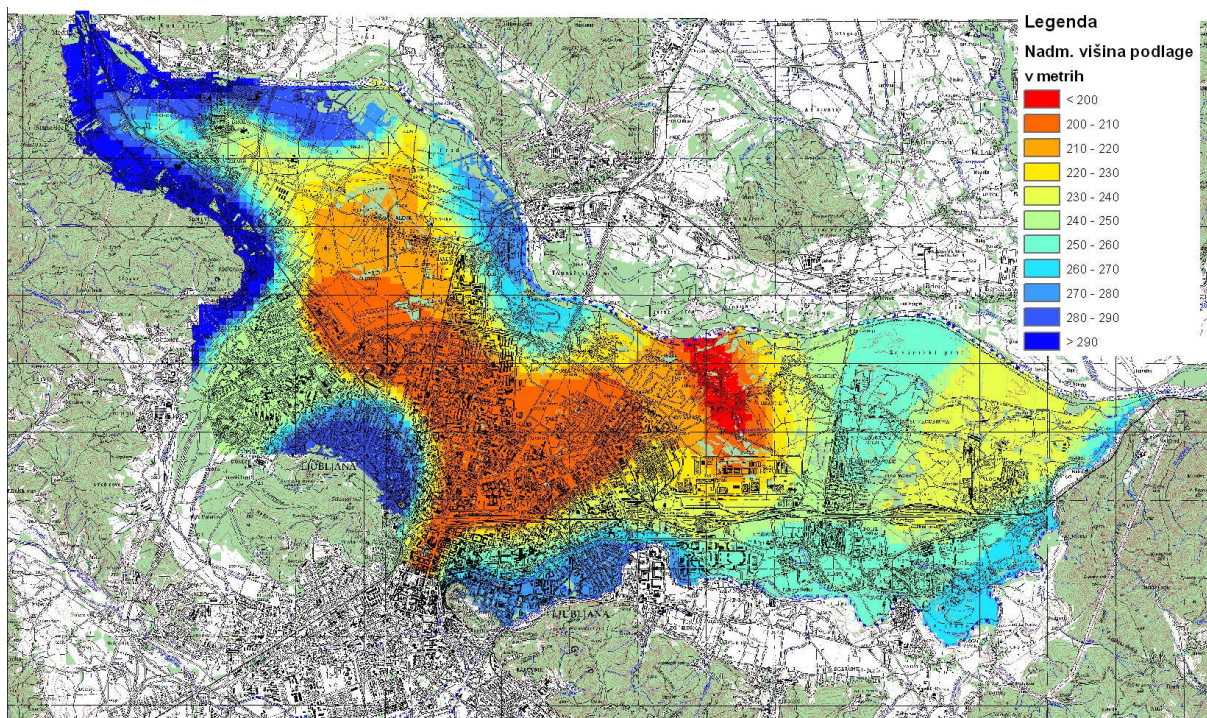
Obdelano gradivo in analize podatkov so podlaga za širši vpogled v dogajanja znotraj vodonosnika ter so osnova za izdelavo konceptualnega modela Ljubljanskega polja. Konceptualni model Ljubljanskega polja (slika 20) ponazarja vse vplive na količinsko in kakovostno stanje podzemne vode, kot vira pitne vode in vode za industrijsko predelavo in uporabo. V količinskem delu na vodonosnik Ljubljansko polje najbolj vplivajo dotoki in odtoki, v kakovostnem delu pa obremenitve izven in znotraj hidrogeološkega sistema. V vodonosniku vsi vplivi delujejo kot celota in vsak od njih prispeva svoj delež k količinskemu ali kakovostnemu stanju podzemne vode.



**Slika 20:** Konceptualni model Ljubljanskega polja

Konceptualni model je opredeljen z robnimi pogoji ki so pogojeni predvsem z geografskim položajem, z geološko obliko udorine neprepustne podlage (slika 21) ter z hidrogeološkimi lastnostmi holocenskih in pleistocenskih zasipov vodonosnika. Tako je na severu in severovzhodu, robni pogoj reka Sava ki na svojem delu do Šentjakoba napaja vodonosnik, na delu dolvodno od Šentjakoba pa je recipient podzemne vode tako kot reka Ljubljanica na odseku južno od Fužin do sotočja z reko Savo.





**Slika 21:** Karta podlage Ljubljanskega polja (Vir podatkov: JP VO-KA)

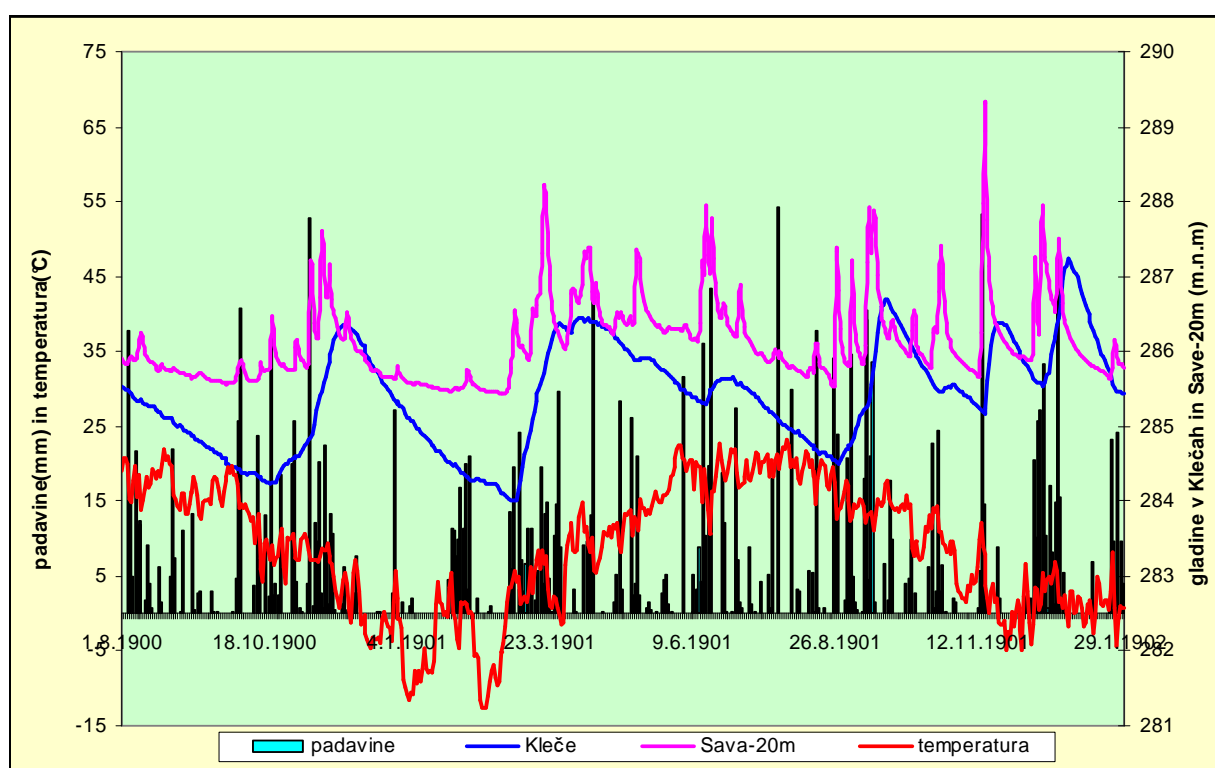
Reka Ljubljanica je na svojem južnem delu do hidroelektrarne v Fužinah, zaradi skoraj neprepustne struge, hidrodinamska meja vodonosnika. Na zahodnem delu Ljubljanskega polja so robni pogoji opredeljeni s padavinskim območjem Šišenskega in Šentviškega hriba, tokom podzemne vode iz Ljubljanskega barja skozi Draveljsko ožino in Ljubljanska vrata ter visečo podtalnico ki je prisotna na teh območjih. Celotno Ljubljansko polje je dokaj enakomerno porazdeljeno s količinami padavin, manj pa z učinkovnimi padavinami saj so te na območju urbanizacije bistveno manjše kot na osrednjem delu polja. Iz tega razloga brez večjih napak lahko za celotno ljubljansko polje povzamemo količino padavin meteorološke postaje LJ-Bežigrad. Ljubljansko polje je zelo obremenjeno z odvzemi vode za oskrbo saj se na črpališčih v Klečah in Šentvidu načrpa 25% dinamičnih zalog podzemne vode Ljubljanskega polja. Industrijski odvzemi podzemne vode na območju Ljubljanskega polja so v večini prostorsko razporejeni na južnem delu vodonosnika in načrpajo okoli 3% zalog podzemne vode.

Analize podatkov in konceptualni model nam nakažejo, da lahko hidrogeološki sistem Ljubljanskega polja prostorsko razdelimo iz vidika vpliva reke Save, vpliva toka iz

Ljubljanskega barja, padavinskega zaledja hribovja na obrobju in viseče podtalnice ter iz vidika antropogenih vplivov, predvsem vpliva odvzemov vode.

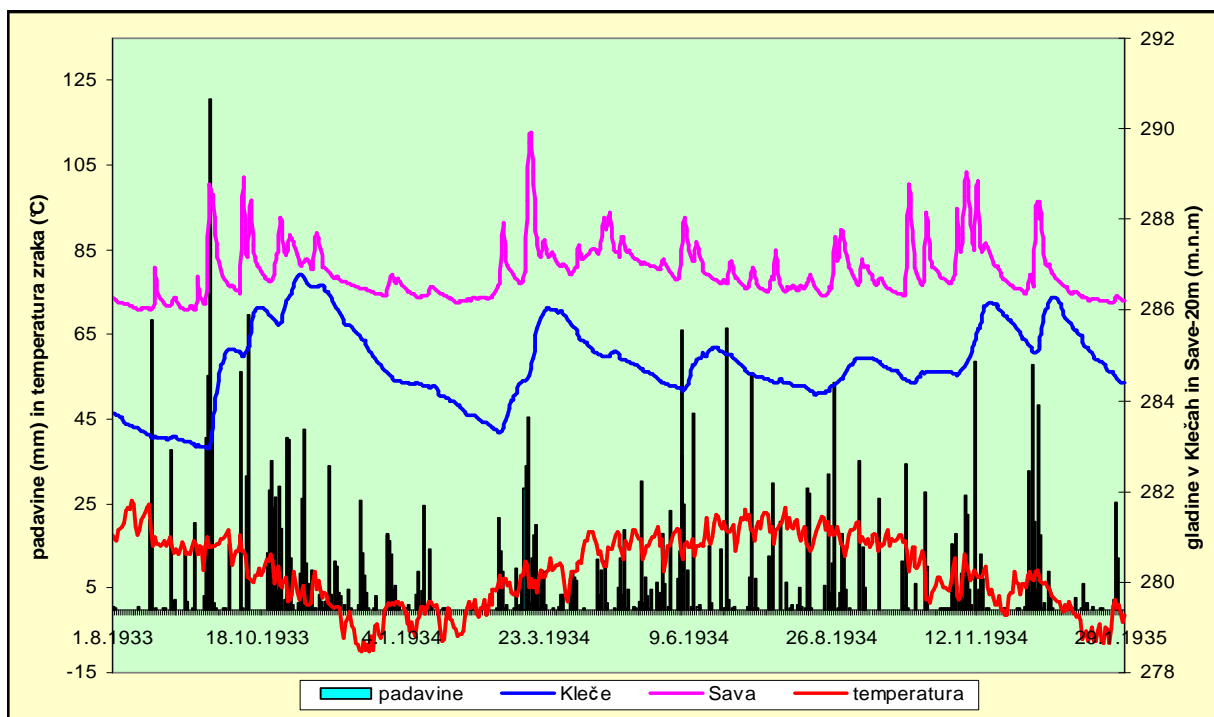
## 4.2 Vplivno območje reke Save

Analiza odvisnosti gladin podzemne vode od padavin, gladin reke Save in temperature zraka za obdobje 1900-1902 in 1933-1935 nudi vpogled v značilnosti režima podzemne vode, ko je le ta bil bolj naraven, z manj antropogenih vplivov kot danes (graf 32 in graf 33).

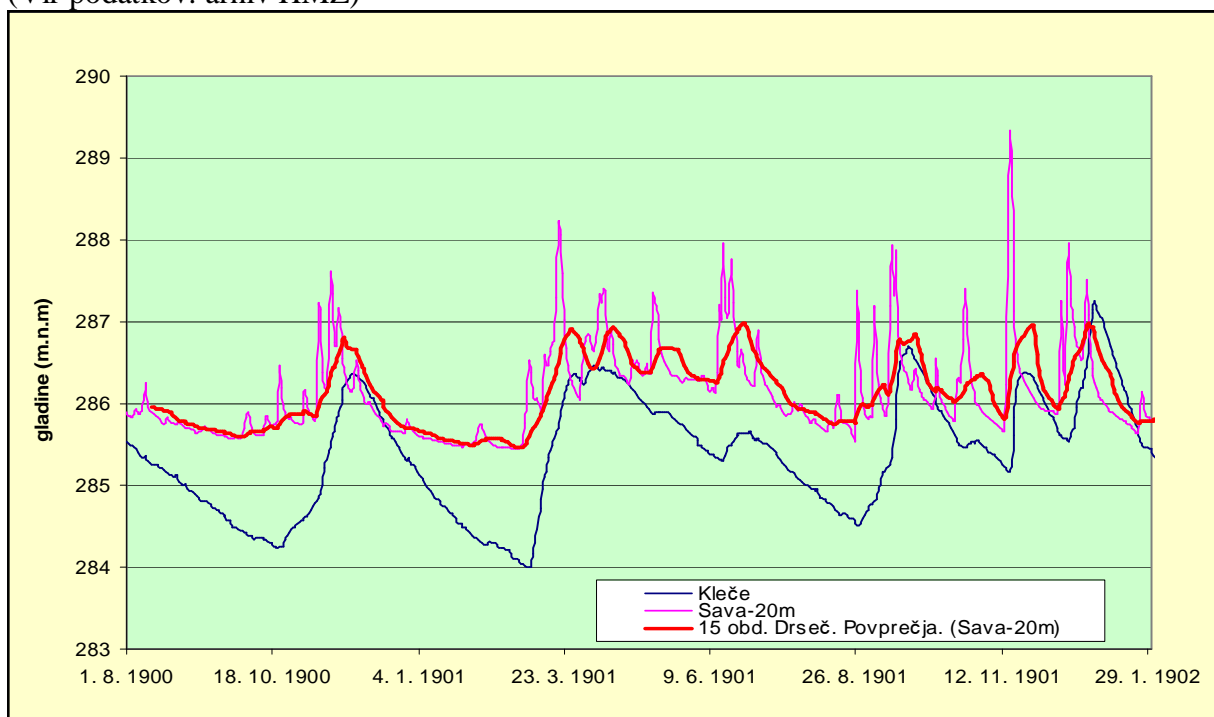


**Graf 32:** Padavine, temperatura, gladina podzemne vode in vodostaji Save v letu 1900-1902  
(Vir podatkov: arhiv HMZ)

Koliko so gladine podzemne vode bile v korelaciji z gladinami reke Save pa kaže primer iz obdobja 1900-1902 ko je reka Sava tekla dokaj v naravnem koritu, nam pokaže 15 dnevno drseče povprečje merjenih vodostajev na Savi (graf 34).



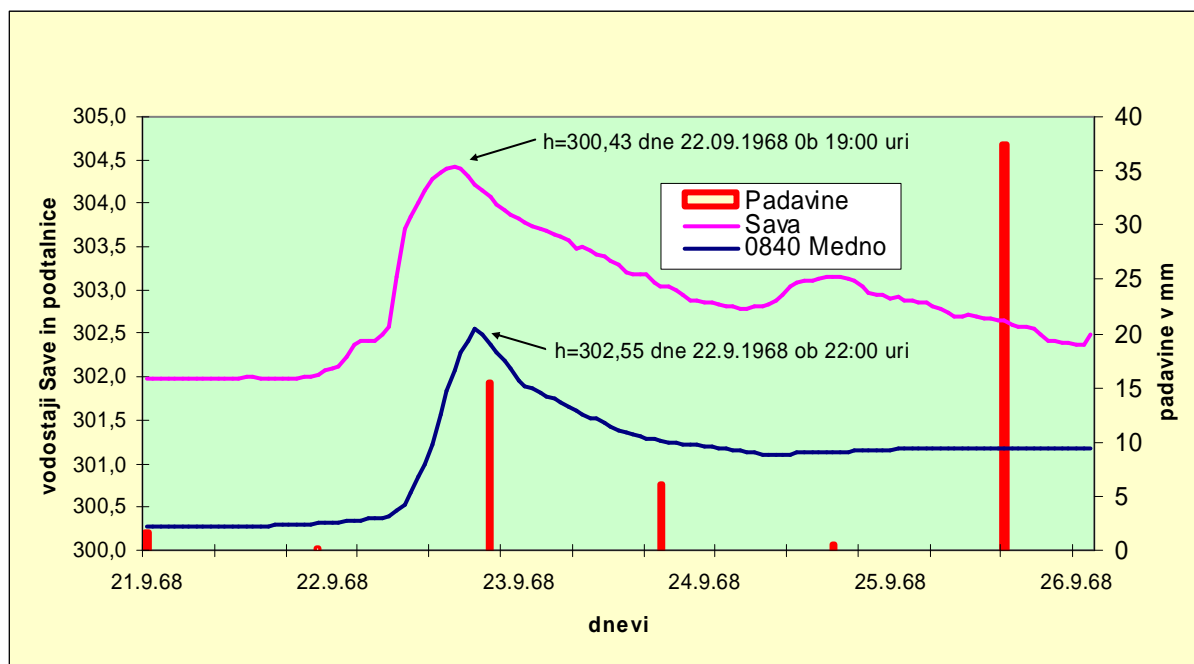
**Graf 33:** Padavine, temperatura, gladina podzemne vode in vodostaji Save v letu 1933-1935  
(Vir podatkov: arhiv HMZ)



**Graf 34:** Odvisnost gladin podzemne vode in vodostajev Save z 15 dnevним drsečim povprečjem (Vir: arhiv HMZ)

Podzemna voda Ljubljanskega polja ima tako kot reka Sava v tem delu dežno-snežni vodni režim z dvema viškoma (spomladanski in jesenski) in dvema nižkoma (konec poletja in konec

zime). Zelo pogosto so najnižji vodostaji podzemne vode ko so nizke in visoke temperature zraka kar ni slučajno, saj sta od temperature odvisna tudi glavna vpliva, padavine in pretoki reke Save. Snežne padavine pri nizkih temperaturah ne dvigujejo nivojev podzemne vode takoj, ker se zadržujejo na tleh in odvisno od temperature tal se počasi talijo in pronicajo ali pa hlapijo v ozračje tako da so zelo časovno prerazporejene. Snežne padavine so zelo koristne kot zaloga vode, ki vstopa v hidrogeološki sistem z zakasnitvijo v spomladanskem času ko je manj padavin. Prav tako visoke temperature vplivajo na režim podzemnih voda, saj je v poletnih mesecih včasih evapotranspiracija večja od padavin, pa tudi zaradi poletnih nalivov velika količina padavin površinsko odteče v kanale in kanalizacijo ter v Savo ali Ljubljano. Najbolj učinkovite so dolgotrajne padavine manjše intenzitete v spomladanskem in jesenskem obdobju, ko tudi vegetacija ne porabi veliko vode. Zanimivo je, da se prvi višek ki se pojavi konec marca, v obdobju z meseci ki imajo najmanj padavin (januar 77 mm, februar 71mm in marec 87 mm). K temu zagotovo pripomore snežna odeja na polju kakor tudi v zaledju vodonosnika s časovno prerazporeditvijo pronicanja v vodonosnik direktno ali preko reke Save ki v teh mesecih ima srednje vodostaje. Za napajanje vodonosnika je zelo važno trajanje visokega vodostaja reke Save ali več višjih strnjjenih valov ter intenziteta in časovna razporejenost padavin.

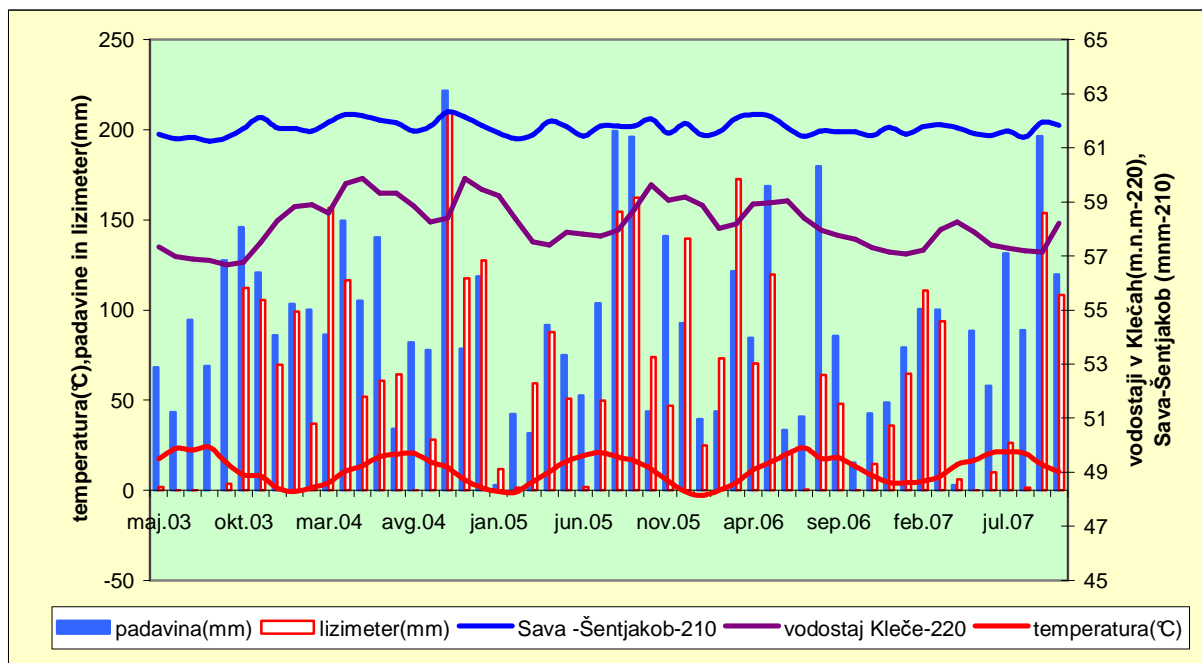


**Graf 35:** Vpliv reke Save na gladine podzemne vode na območju Mednega leta 1968 (Vir podatkov: HMZ)



Meritve na območju Mednega iz leta od 21.9-26.9.1968 nam pokažejo, da so odzivi podzemne vode na spremembe v koritu reke Save, že na samem začetku Ljubljanskega polja hitri in učinkoviti. Omeniti je treba, da je opazovani vodnjak oddaljen od reke Save 80 metrov ter da v začetku sprememb gladin reke Save na območju ni bilo padavin ki bi vplivale na začetek dviga podzemne vode (graf 35).

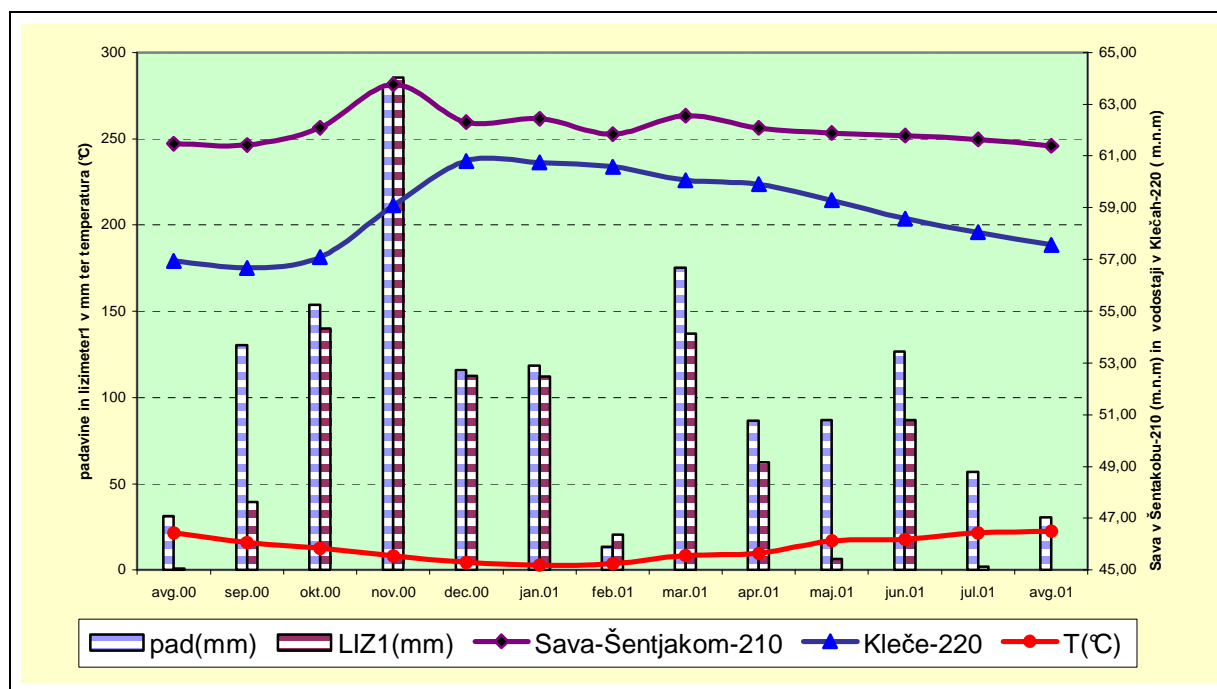
Meritve parametrov na lizimetru v Klečah smo obdelali za obdobje od maja 2003 do julija 2007, iz razloga slabega delovanja postaje, ter ugotavljali količine efektivnih padavin (graf 36). Obravnavano obdobje je majhno in ni reprezentativno za natančna sklepanja, nam pa pokaže da približno 68 % vseh padavin pride do dna lizimetra. Ob predpostavki, da je napaka meritev lahko do 15% pridemo do ugotovitve da je podatek od 60% dokaj realen in uporaben.



**Graf 36:** Odvisnost srednjih mesečnih vrednosti parametrov na postaji Kleče in gladin reke Save za obdobje maj 2003-julij 2007 (Vir podatkov: ARSO)

Obdelani podatki za obdobje pred in po visoki vodi leta 2000 (graf 37), nam pokažejo, da je vpliv padavin in visokih gladin reke Save na dvig podzemne vode v oktobru in novembru 2000 izjemno velik, da pa kljub visokim padavinam v marcu 2001 in podobnim temperaturam zraka kot novembra 2000 padavine niso učinkovale, saj se gladina podzemne vode ni spremenila, samo trend vpadanja gladin se je za nekaj časa ustavil. Podoben učinek je zabeležen junija 2001 ko je padlo sorazmerno veliko padavin (127mm), pa tudi lizimeter je

zabeležil da je nekaj padavin poniklo do dna lizimetra (87 mm) pa na gladinah reke Save niti na gladinah podzemnih voda ni bilo sprememb. Ta pojav samo potrjuje da so najbolj učinkovite padavine ki napajajo podzemno vodo, tiste iz spomladanskih in jesenskih mesecev.



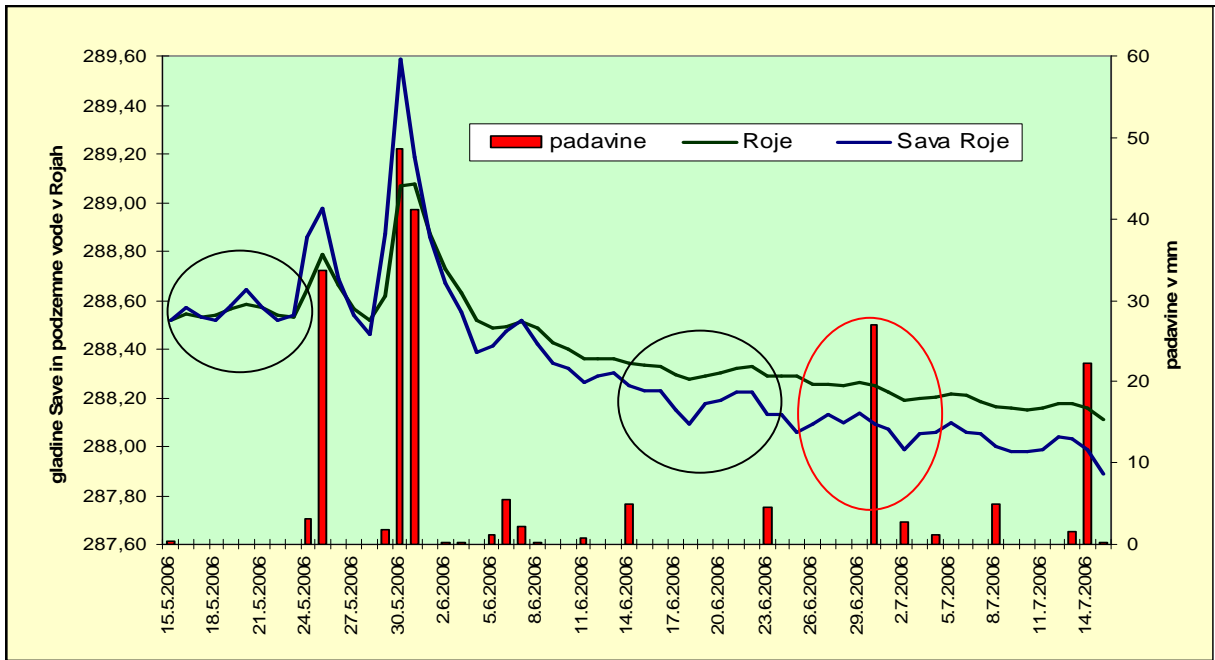
**Graf 37:** Odvisnost srednjih mesečnih vrednosti parametrov v Klečah v obdobju nastopa visoke vode reke Save leta 2000 (Vir podatkov: ARSO).

Na postaji za podzemne vode Roje ki je od reke Save oddaljena 85 m, smo z meritvami 19.5.2006 in 18.6.2006 ugotovili dvig gladine podzemne vode in vodostaja reke Save, kljub temu da ni bilo padavin na območju, kar lahko razumemo kot vpliv padavin v povodju reke Save in neposreden vpliv reke Save na podzemne vode.

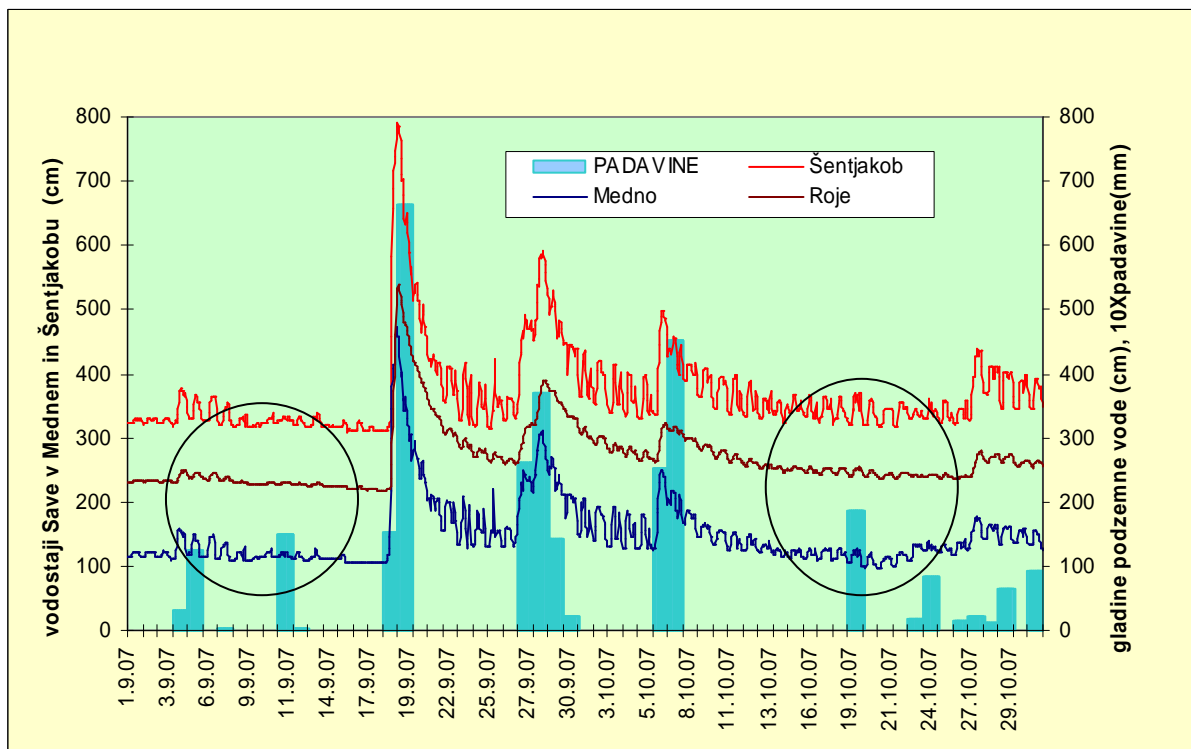
Istega leta 30 junija, je ugotovljeno upadanje reke Save in gladin podzemne vode nesorazmerno trendom pred tem in kljub padavinam, kar spet lahko pripišemo k neposrednemu vplivu reke Save na podzemne vode v obdobju z visoko vegetacijo in izhlapevanjem (graf 38).

Na podlagi urnih meritev na postaji Roje smo analizirali vpliv padavin ob nastopu visoke vode septembra meseca z ciljem ali so mogoče v vodonosniku nastale nekakšne spremembe v smislu vpliva napajanja podzemne vode iz reke Save, ter ugotovili da sprememb v režimu vplivov ni.(graf 39).





**Graf 38:** Vpliv padavin in vodostajev reke Save na gladine podzemne vode v Rojah v letu 2006 (Vir podatkov: ARSO)



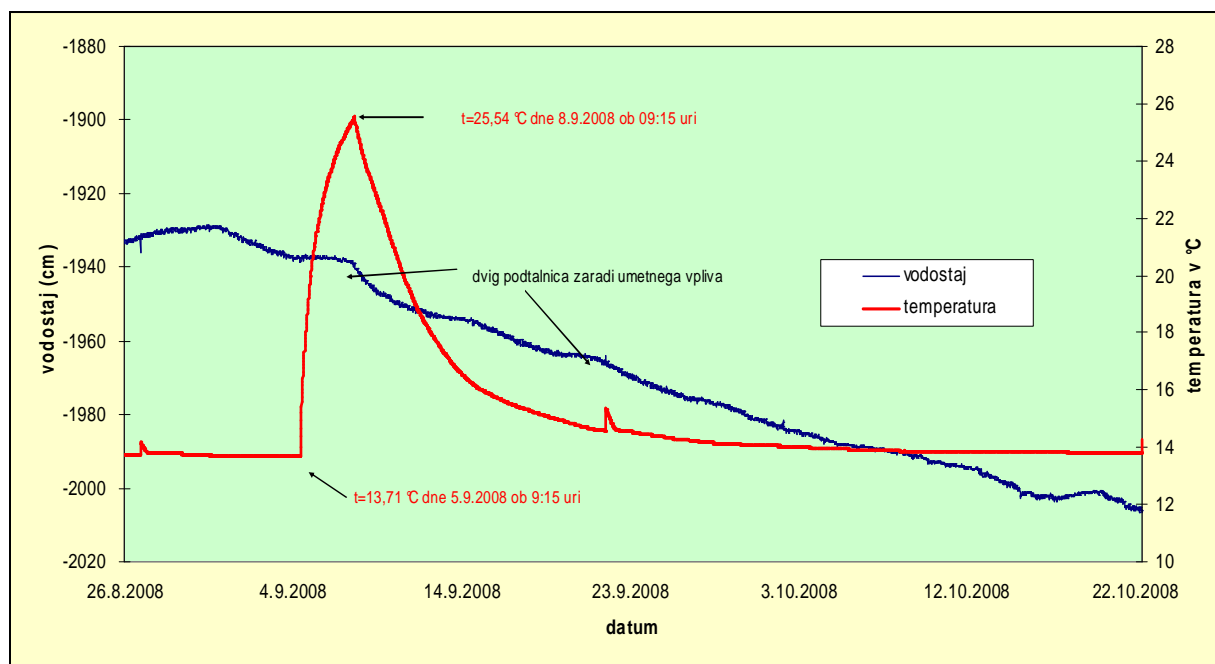
**Graf 39:** Medsebojna odvisnost vodostaja reke Save, količine padavin in gladine podzemne vode v Rojah v letu 2007 (Vir podatkov: ARSO)

Iz navedenega je sklepati, da padavine na dele vodonosnika ki so v bližini rečne struge nimajo niti približno toliko vpliva kot sama reka Sava, oziroma, da reka Sava v ožjem območju ob Savi bistveno več prispeva k napajanju vodonosnika kot padavine.

### 4.3 Vplivna območja zaledij in viseče podtalnice

#### 4.3.1 Podzemne vode na območju Ljubljanskih vrat

Analizirali smo podatke meritev na dveh izredno pomembnih vodnjakih ki sta bila narejena v 70-ih letih prejšnjega stoletja z namenom oskrbe Ljubljane z pitno vodo v primeru vojne ali elementarne nesreče. Vodnjake so in še vedno uporabljajo Delo in RTV za tehnološko vodo. Časopisno podjetje Delo je v letošnjem letu popolnoma opustilo črpanje iz vodnjaka, tako da smo meritve lahko izvajali brez umetnega vpliva črpanja na postaji. Da je režim podzemnih voda zelo zapleten proces smo nakazali že v uvodnem delu konceptualnega modela ko smo rekli da vplivi na podzemne vode učinkujejo skupaj in nikoli ločeno.



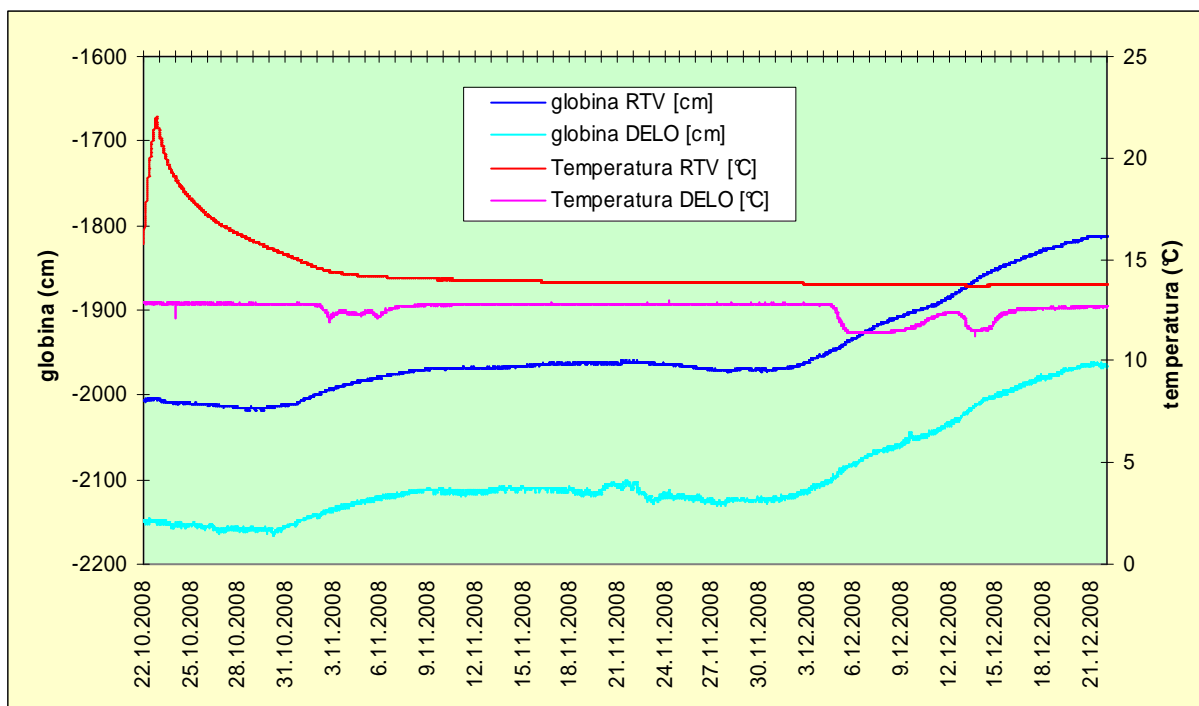
**Graf 40:** Gladina podzemne vode in temperatura podzemne vode z umetnim vplivom zaradi okvare toplovoda (Vir podatkov: ARSO)

Meritve na teh vodnjakih smo organizirali prav za to diplomsko nalogo, in že ob obdelavi prvih pridobljenih podatkov smo v vodnjaku RTV, ki je v velikem jašku skozi katerega potekajo inštalacijske cevi, ugotovili da je prišlo do iztoka tople vode v vodnjak in sicer

zaradi okvare enega od ventilov industrijskega toplovoda. Do iztoka vode je prišlo 5.9.2008 ob 9,15 uri napaka je odpravljena 8.9.2008 ob 9,15 uri. V tem času se je podzemna voda iz 13,71 °C segrela na 25,54 °C. Podzemna voda se je do 23.9.2008 ohladila na 14,58 °C pa je spet umetni vpliv povzročil dvig temperature vode na 15,36°C. En dan je bil potreben, da se za 0,78 °C segreta voda ohladi na prvotno temperaturo. Zanimivo je, da se je ob teh temperaturnih vplivih povišala tudi gladina podzemne vode za nekaj centimetrov, ki bi jo ob meritvah samo gladin pripisali lokalnemu vplivu padavin ali viseče podtalnice (graf 40).

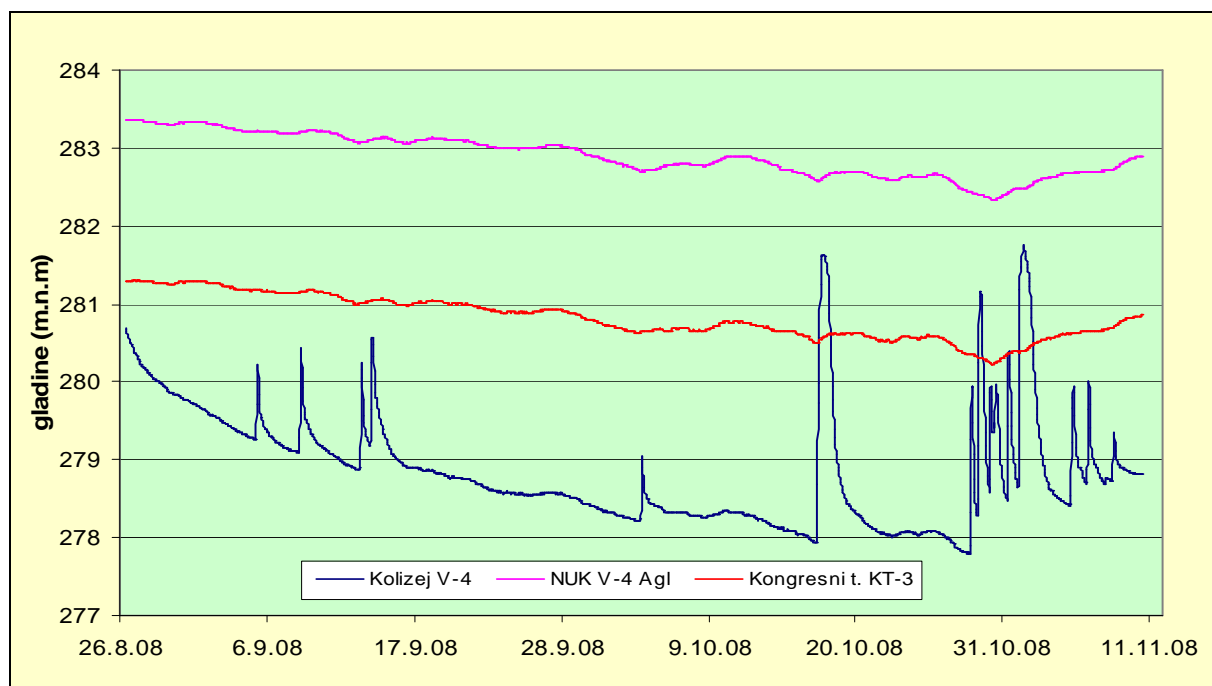
Ponovno je 22.10.2008 prišlo od okvare ventila na toplovodu in je topla voda tekla v vodnjak. To je trajalo do 23.10.2008 ko so napako odpravili, segreta voda se ni ohladila v naslednjih 14 dni. (graf 41).

Na podlagi takih antropogenih dogodkov se pokaže potreba po meritvah na industrijskih vodnjakih ali v njihovi bližini in ne samo gladin podzemne vode temveč tudi drugih parametrov z bolj gosto frekvenco opazovanj. Vodnjak Delo smo podrobno obravnavali v poglavju 3.3.4 ko smo ugotovili prisotnost viseče podtalnice v osnovnem horizontu podzemne vode, vodnjak RTV pa je narejen zelo dobro, saj ni videti da bi se v njega iztekala viseča podtalnica ki je na tem delu vodonosnika prav tako prisotna.



**Graf 41:** Medsebojna primerjava globlin in temperatur vode na postajah Delo in RTV (Vir podatkov: ARSO)

Medsebojna povezanost gladin na postajah Delo in RTV je očitna ob upoštevanju umetnih vplivov črpanja in temperaturnih sprememb na postaji Delo zaradi vpliva zaledja.



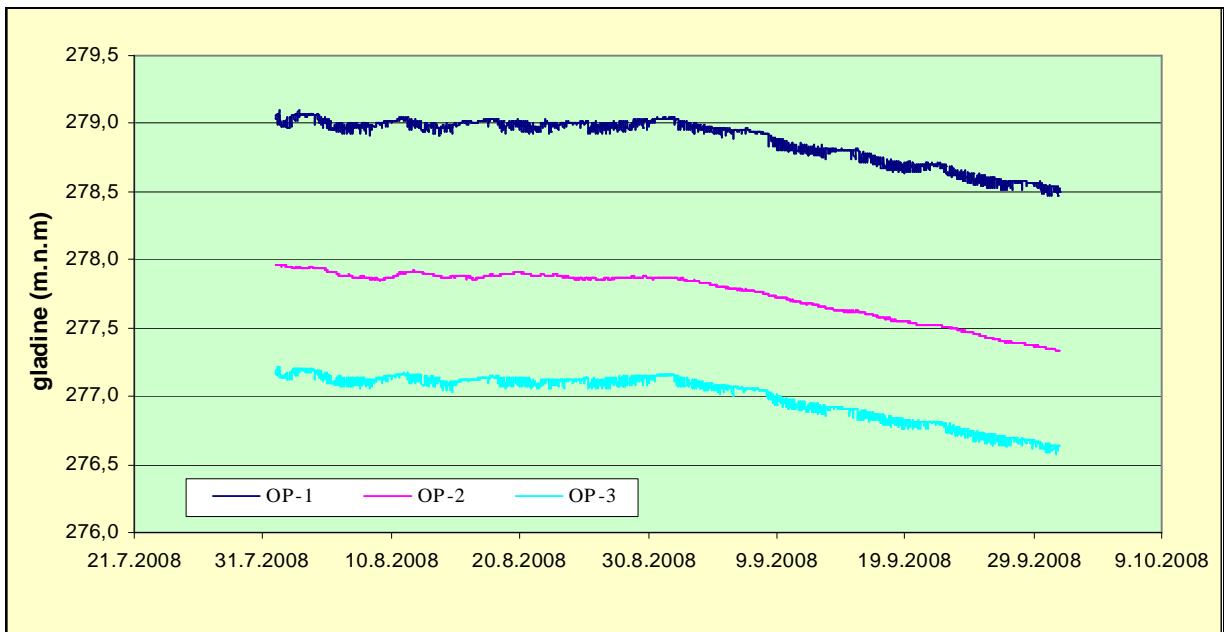
**Graf 42:** Nivoji podzemne vode na postajah na območju Ljubljanski vrat 26.8.-10.11.2008 (Vir podatkov: GeoZS)

Analiza meritev na piezometrih na območju dotoka podzemne vode iz Ljubljanskega barja skozi Ljubljanska vrata (opravil GeoZS) pokaže da so na piezometru Kolizej V-4 podatki zaradi vpliva viseče podtalnice uporabni samo ob dalj časa trajajočem sušnem obdobju pa še takrat ob dobri analizi in presoji. Vplivi viseče podtalnice na osnovni horizont so prepogosti in dolgotrajni tako da uporaba podatkov brez upoštevanja in analize ni priporočljiva. Postaja Nuk V-4Ag in Kongresni trg kaže na režim toka podzemne vode iz smeri Ljubljanskega barja skozi Ljubljanska vrata ki je ocenjen na okoli 100 l/s.

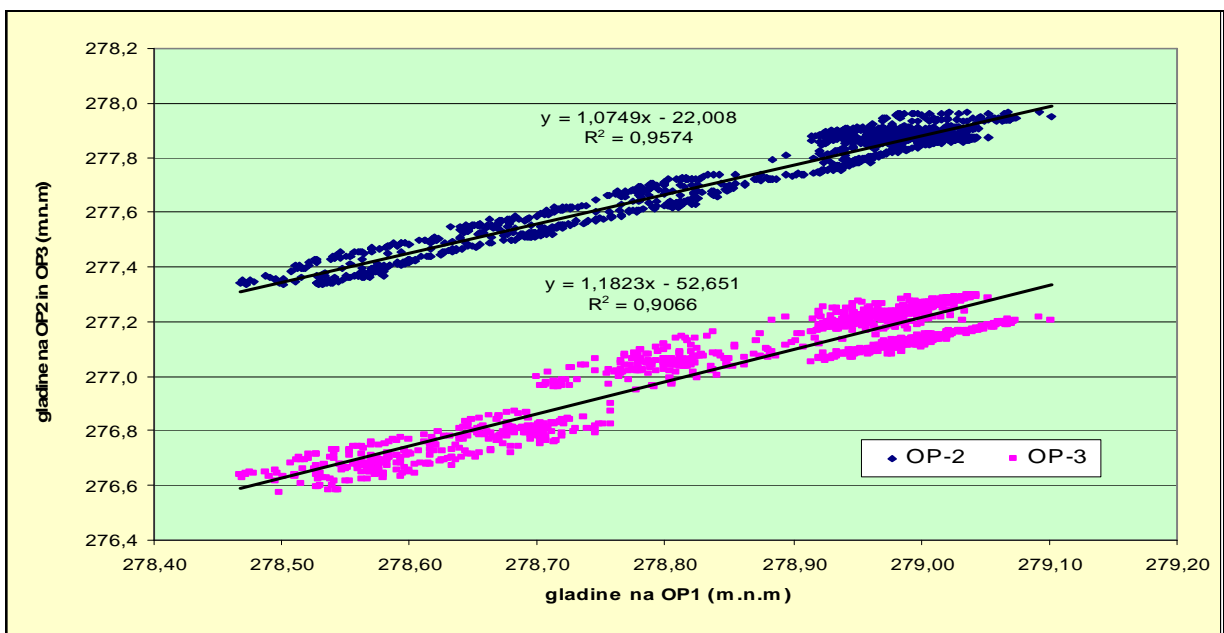
#### 4.3.2 Podzemne vode na območju pivovarne Union

Na podlagi obdelav podatkov ki smo jih pridobili za potrebe diplomske naloge (od avgusta do oktobra 2008, IRGO) na območju pivovarne Union in v istem času opazovanih drugih piezometrov je ugotovljno do so vsi trije opazovani piezometri stacionirani v osnovnem vodonosniku Ljubljanskega polja ter da so piezometri dobro izolirani od zgornjega vodonosnika oziroma viseče podtalnice ki je nad njim. Z analizo nihanja so bile ugotovljene

skupne značilnosti gibanja podzemne vode in vpliv toka skozi Ljubljanska vrata in dotoka iz območja Dravelj. To nam prav tako nakazuje izdelana hidrološka karta iz septembra 2008. Na vseh treh piezometrih je zlahka slediti vpliv črpanja na črpalnih vodnjakih pivovarne Union. Vpliv črpališča Union lahko zasledimo tudi na 630 m vzhodno oddaljeni postaji Delo, kar kaže na zelo velik depresijski lijak črpališča.



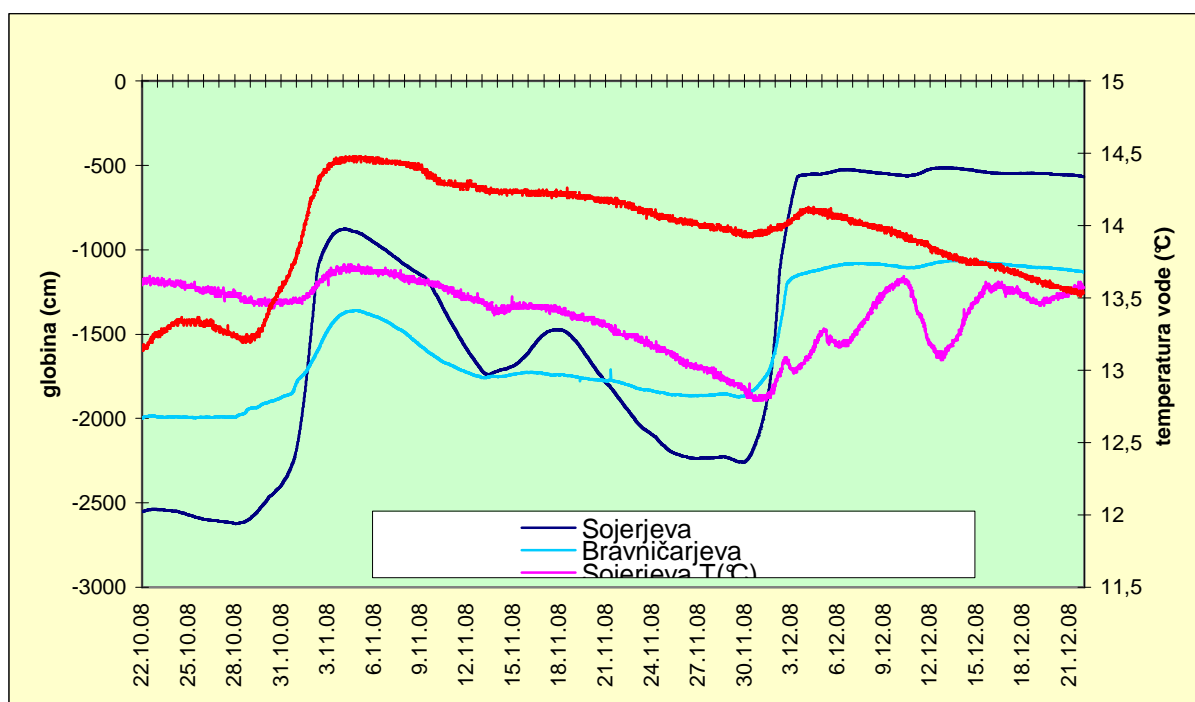
**Graf 43:** Gladine na piezometrih na območju Uniona v obdobju od 1.8-1.10-2008 (Vir: IRGO)



**Graf 44:** Odvisnost vodostajev na postajah Union za čas od 1.8-1.10-2008 (Vir:IRGO)

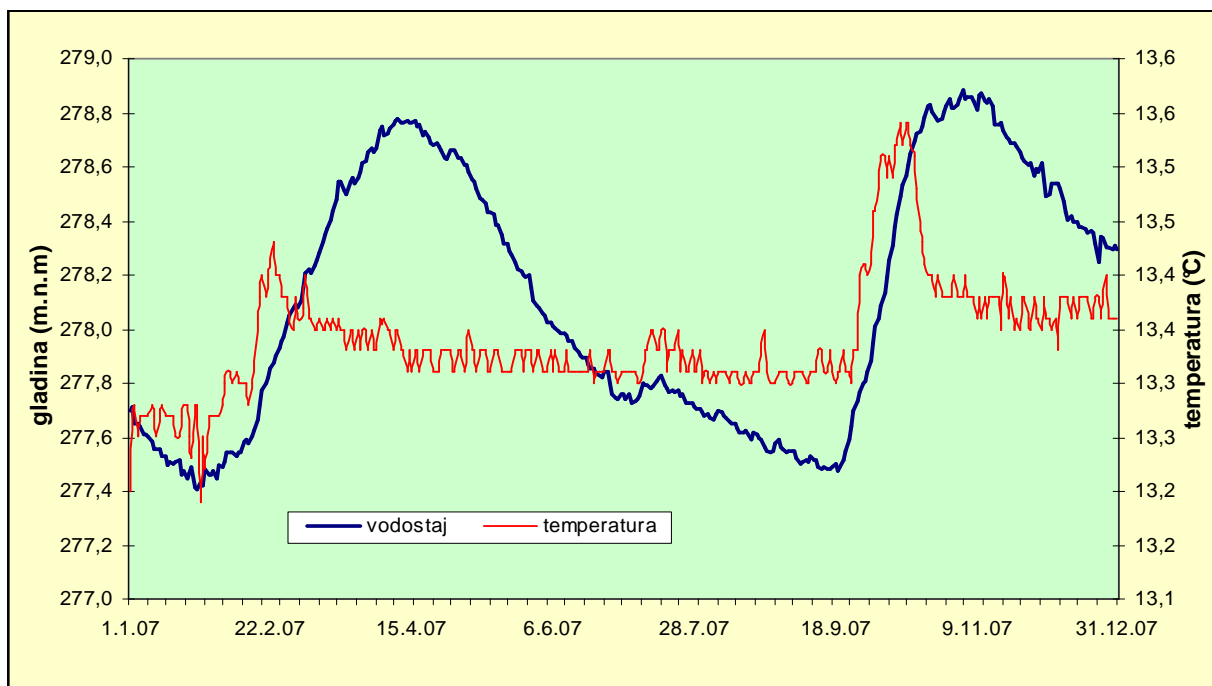
### 4.3.3 Podzemne vode na območju Dravelj

Obstoj viseče podtalnice na območju Dravelj smo potrdili z meritvami na dveh postajah, ki smo ju za to diplomsko nalogo postavili, Sojerjevo in Bravničarjevo. Pretakanje viseče podtalnice v nižje ležeče horizonte in osnovni horizont podzemne vode se vrši zelo intenzivno. Vodnjak na Bravničarjevi ni skopan do osnovnega horizonta podzemne vode tako kot je vodnjak na Sojerjevi, ima pa stalno vodo kar govori da je slabih 3 metre nad osnovnim horizontom še ena neprepustna plast gline preden se viseča podtalnica prelije v osnovni horizont podzemne vode. Tako kot na Sojerjevi se tudi na tem vodnjaku višje ležeči horizonti pretakajo v nižje ležeče, nato pa v osnovni horizont. Da obstaja več vodonosnih plasti pa kažejo iztoki iz vodnjakov, na Sojerjevi je to na globini 5,5 metrom, na Bravničarjevi pa na globini okoli 10,80 m od terena, pri višinski razliki vodnjakov od 72 cm (graf 46). Zapleten sistem viseče podtalnice na tem območju zahteva posebno pozornost in narekuje podrobno raziskavo. Na območju Dravelj je ocenjen dotok iz smeri Ljubljanskega barja na okoli 40 l/s. Na podlagi meritev v tem kratkem obdobju od septembra do decembra 2008 bi lahko sklepali da ta pretok (40 l/s) ni previsok če se upošteva vplive viseče podtalnice na tem območju.



**Graf 45:** Globina viseče podtalnice in temperatura na postajah Bravničarjeva in Sojerjeva v obdobju 22.10-21.12.2008 (Vir podatkov: ARSO)





**Graf 46:** Gladina in temperatura podzemne vode na postaji BSC-1/03 v letu 2007 (Vir podatkov: JP VO-KA)

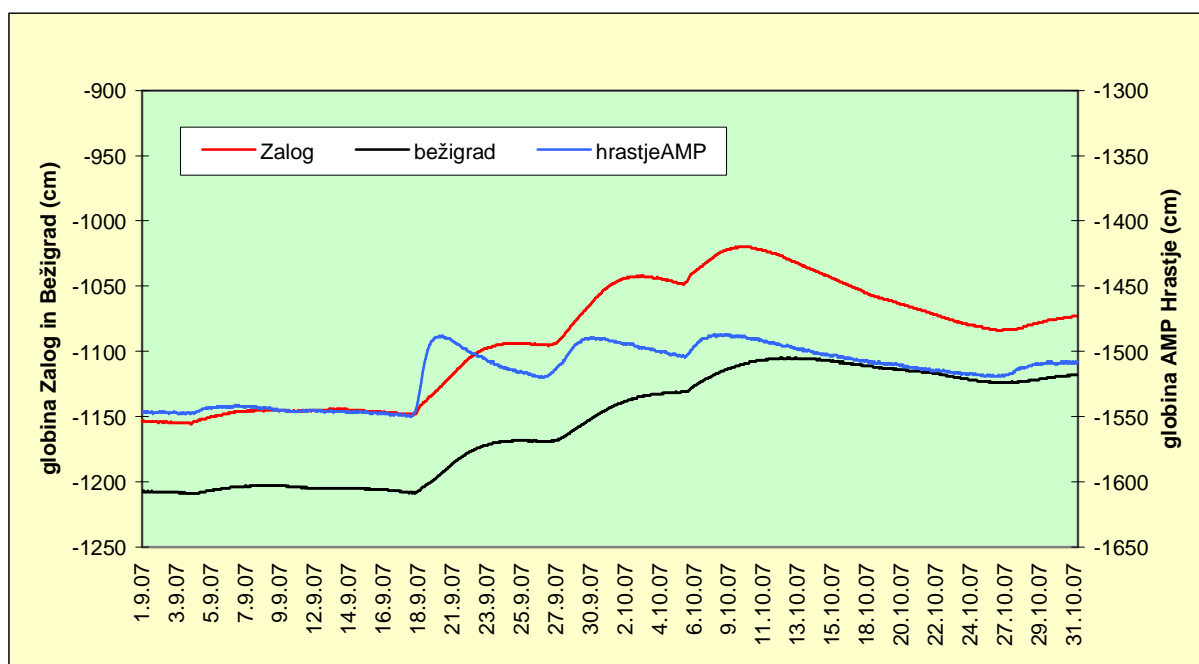
Vplivi segajo tudi na objekte v širšem okolju kar potrjuje tudi primer postaje BS-1/03.

Vpliv viseče podtalnice na lokaciji BS-1/03 na podlagi opazovanja gladin ne moremo slediti, zaradi intenzivnosti vpliva (majhen) in prepustnosti vodonosnika (dober). Zato je dober indikator temperatura vode, ki kaže ta vpliv kot povišanje ali upadanje temperature vodonosnika ob spremembi gladin podzemne vode (graf 46). Takšen pojav je tudi kazalec slabo izdelane vrtine ki dopušča pretakanje horizontov podzemne vode med sabo, kar ni dobro, saj v količinskem tako tudi pri meritvah kakovosti dobimo rezultate ki jih ne moremo interpretirati. Prav tako kot je ta lokacija ko je objekt lociran ob bencinskem servisu se lahko kaj kmalu zgodi da iz površja steče kakšna nezaželena snov skoraj direktno v vodonosnik. Tudi v tem primeru kot na primeru merilnega mesta Kolezija, ne moremo trditi da je vrtina slabo izdelana saj nimamo podatkov o tehnični izvedbi, lahko pa je na mikro lokaciji pretrgana neprepustna plast zgornjih horizontov in prihaja do mešanja vode.

#### 4.4 Osrednji del vodonosnika

Podzemna voda ima ponekod na polju večje amplitude nihanja kot reka Sava. To je predvsem na vplivnih območjih zaledja pa tudi na samem polju ob reki zaradi velikega vhodnega

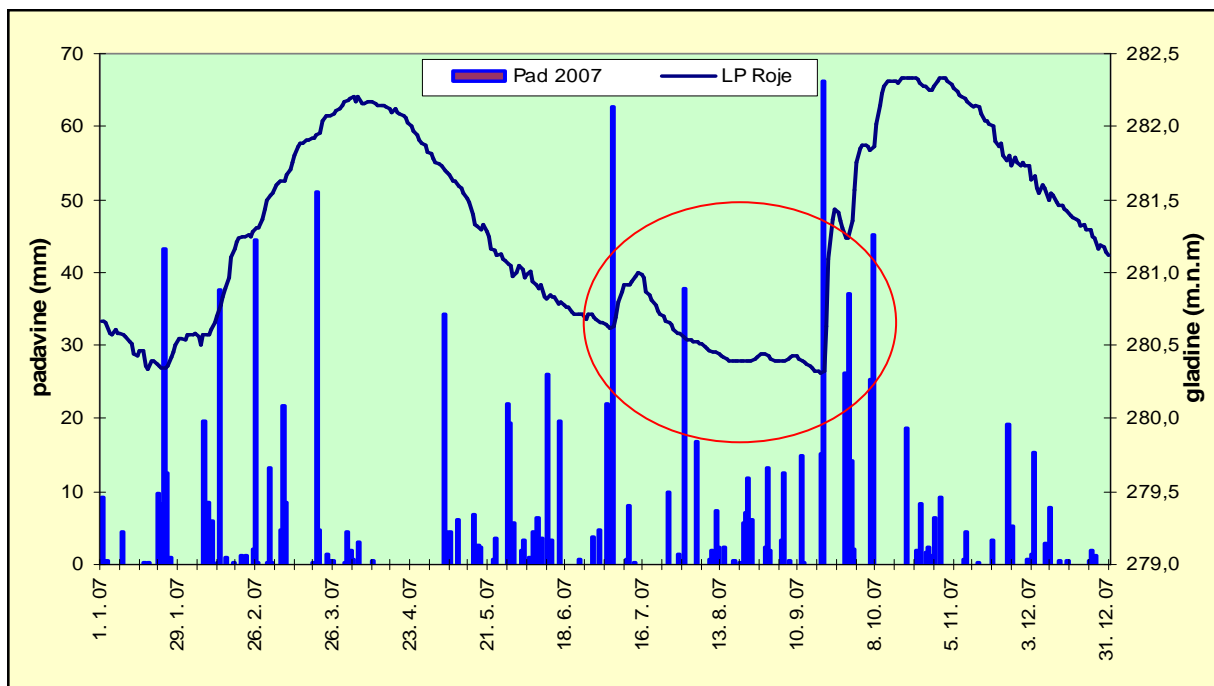
gradienta, v sredini polja pa zaradi akumuliranja vode zaradi počasnega toka. Na primeru (graf 47) vidimo da se akumulacija vode ne dogaja gorvodno od črpališč, (AMP Hrastje se nahaja pred črpališčem Hrastje)), saj črpališče pobere vodo ki bi se akumulirala kot na postajah dolvodno in v območjih brez umetnega vpliva črpanja.



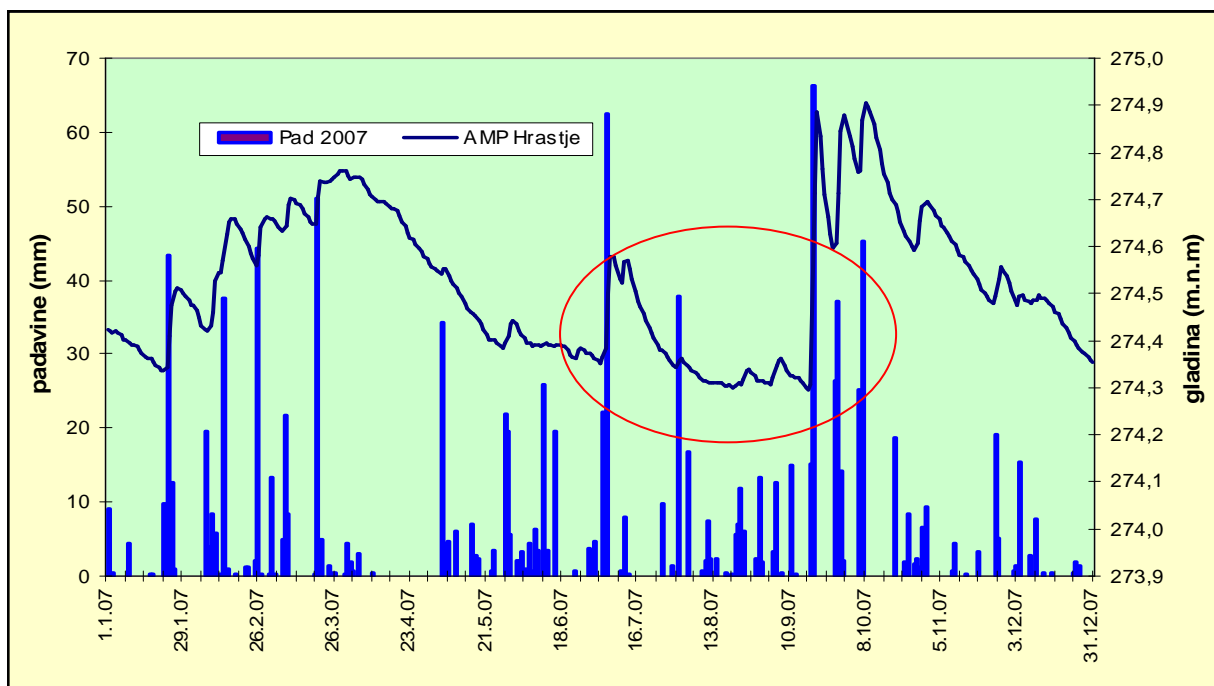
**Graf 47:** Gladine podzemne vode so pred večjimi odvzemi dušene (HrastjeAMP), izven območja črpališč pa se akumulirajo Zalog, Bežigrad (Vir podatkov: ARSO)

Hitrost podtalnice je na območju polja zelo različna in se giblje od 5-10 m/dan na zahodu in 10-20 m/dan na vzhodnem delu polja. Na nekaterih delih polja so lokalne hitrosti bistveno večje, prav tako se te hitrosti znotraj polja spreminjajo glede na vodno stanje v vodonosniku. Prav tako je vodonosnik lokalno zelo občutljiv na spremembe tako so odzivi na spremembe ponekod celo hitrejši na bolj oddaljenih merilnih mestih kar gre pripisati lokalnim lastnostim prepustnosti vodonosnika.. Primer odzivov na dveh isto oddaljenih merilnih mestih od reke Save je prikazan na postaji Roje ki je od reke Save oddaljena 850 m (graf 48) ter na postaji AMP Hrastje ki je od reke Save oddaljena 840 m (graf 49). Pri postaji Roje bi v primeru vpliva padavin pričakovali hitrejši odziv saj je globina do vode 7 m in manj, v primerjavi z AMP Hrastje kjer je globina do vode okoli 15 metrov. Hitrejši odziv v Hrastju lahko

pripišemo tudi, bližini gramozne jame Obrje in sicer zaradi globokega vkopa in hitrejšega vstopa padavinske vode ali hitrejšemu toku podzemne vode na tem območju.

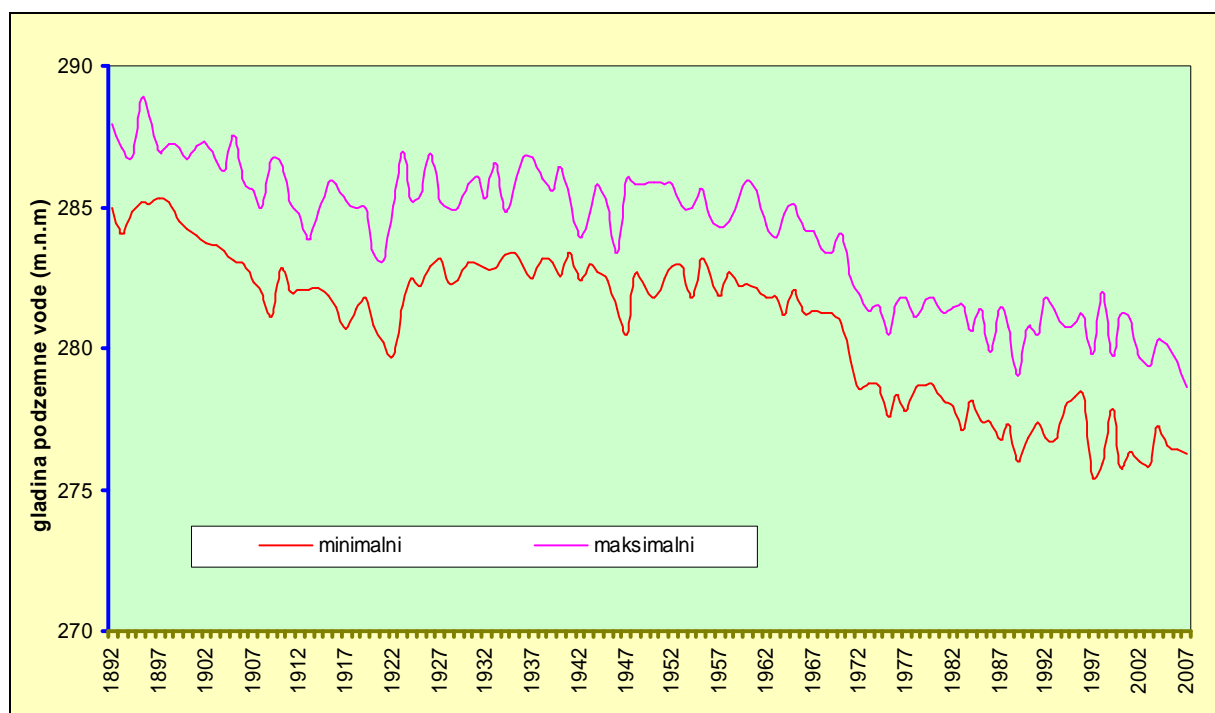


**Graf 48:** Prikaz vpliva padavin na gladine podzemne vode v Rojahn leta 2007, oddaljeni 850 m od reke Save (Vir podatkov: ARSO).



**Graf 49:** Prikaz vpliva padavin na vodostaje podzemne vode na postaji AMP Hrastje leta 2007, oddaljeni 840 m od reke Save (Vir podatkov: ARSO).

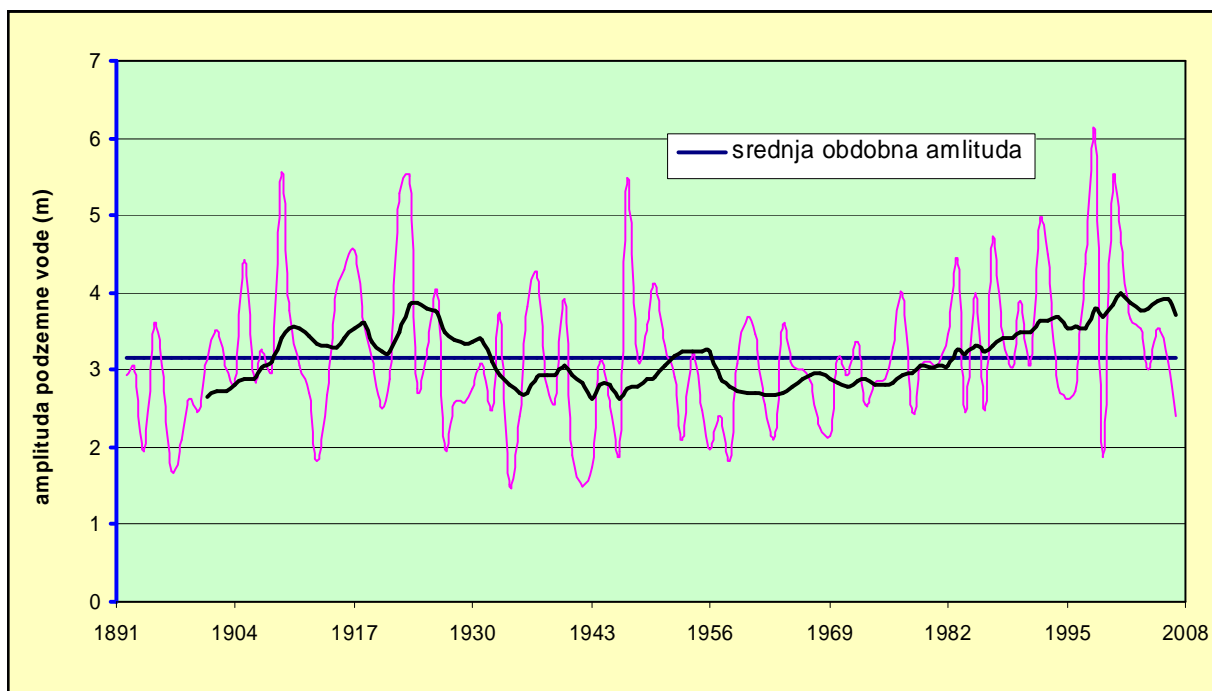
Na podlagi raziskav v preteklosti lahko zagotovo trdimo, da je odločitev o gradnji črpališča vodovoda na desnem bregu Save in ne zajem izvirov pri Skaručni, bila odločitev za več stoletij vnaprej. Vodovod Kleče je in bo še dolgo časa centralno črpališče za Ljubljano, zato pač tudi tolika skrb in trud za vse raziskave in ukrepe v smislu zaščite virov pitne vode tega dela vodonosnika in Ljubljanskega polja kot celote. Na vodnjaku Kleče III ki obratuje od samega obstoja črpališča (1891) se od prvih dneh opravlja monitoring gladin podzemne vode. Podatki izmerjenih gladin imajo zgodovinsko in strokovno tehniško vrednost saj predstavljajo žal edini vir podatkov o stanju in režimu podzemne vode Ljubljanskega polja. Žal pa, kot pri kakšni drugi pomembni stvari je tudi pri tem problem, da v tem trenutku še nimamo dostopnih podatkov o dnevni vrednosti gladin. Graf minimalnih in maksimalnih gladin vsi objavljajo in citirajo tokrat v tej diplomski nalogi se pojavlja še izračunana srednja vrednost za obdobje 1892-1968 ki smo ga našli v arhivi HMZ ki nam bo saj delno podala tudi vpogled tudi na realnost srednjih vrednosti gladin na območju Kleč.



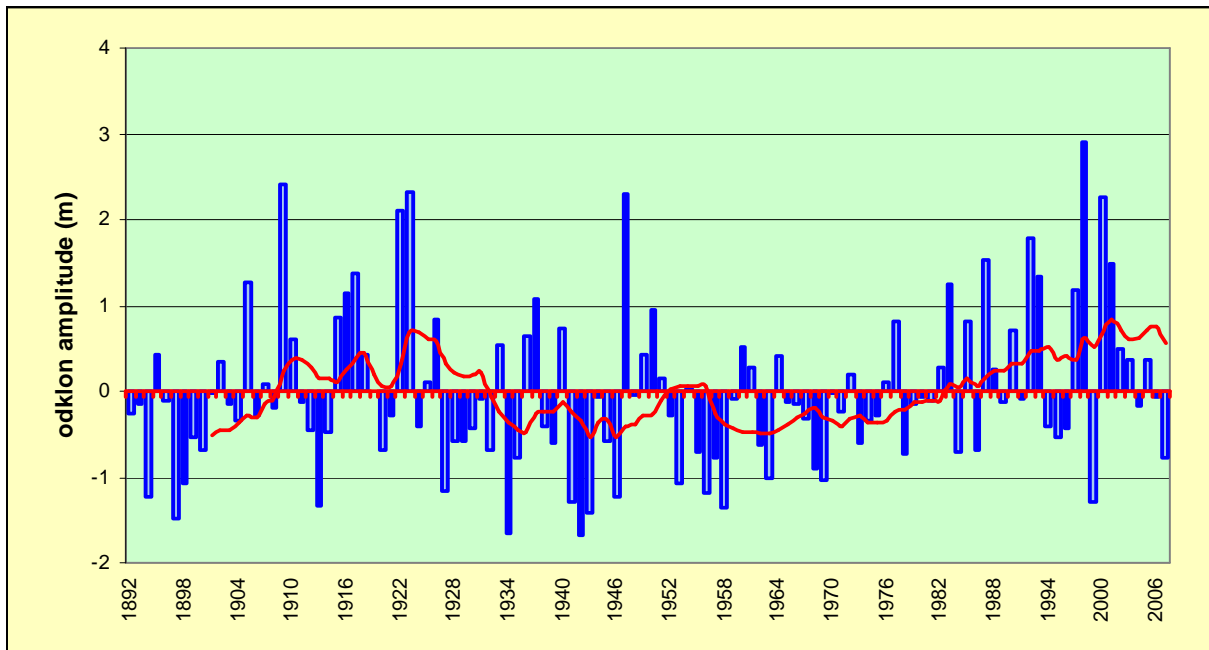
**Graf 50:** Minimalne in maksimalne gladine podzemne vode na postaji Kleče III (Vir:VOKA)

Interpretacija nihanja gladin podzemne vode je izredno težka in zapletena naloga če ne poznaš vodonosnika in sistema napajanja. Danes je interpretacija gibanja gladin v Klečah dosti lažja

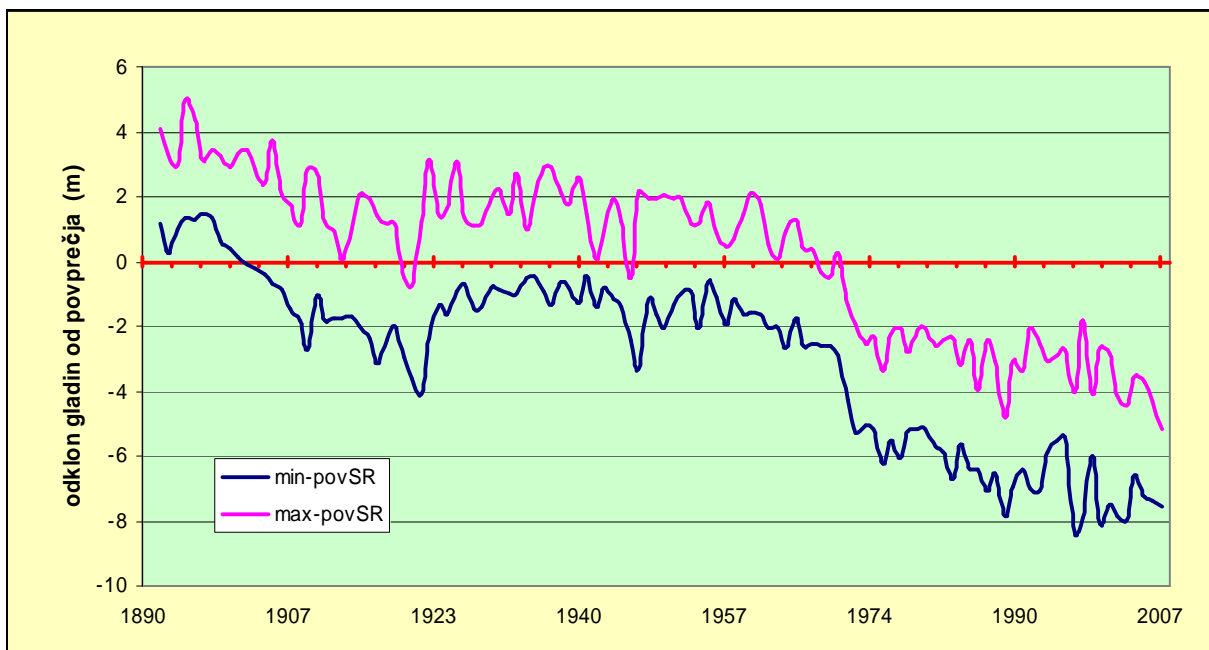
kot v času nastajanja ker poznamo vire napajanja, na razpolago pa imamo še veliko drugih pomembnih podatkov, kot so črpanja, regulacijski posegi v strugi in nihanje gladin reke Save ter količin padavin za obdobje. Na podlagi teh podatkov lahko pojasnimo dva ekstremna pojavi iz obdobja načrtovanja in regulacije reke Save. Najvišji zabeležena gladina podzemne vode na Klečah je bila 7.4.1895 (graf 50) in sicer v času ko je Sava tekla v naravni strugi. V letu 1894 načrtovana regulacija se je začela šele leta 1896 ko je bilo reguliranih 2,67 km odseka od Tacna proti Šentjakobu, toda zaradi pomanjkljivosti gradnje, ozka in plitva struga se je poglobljanje struge šele začelo in zato tudi takšen trend upadanja gladin (graf 12). Ta trend se je nadaljeval vse do leta 1923 ko je visoka voda reke Save porušila vse nasipe in vzpostavila neko novo bolj naravno stanje vodotoka z več meandri in višjo zasipano strugo, tako so se gladine podzemnih voda v Klečah zvišale v povprečju za 2,5 m. Tako ugodno stanje je bilo do leta 1960, potem pa so trendi gladin podzemne vode spet začeli padati, da bi se leta 1970 ekstremno obrnili navzdol in upadanje podzemne vode beležimo vse do leta 1989. Obdobje med letom 1960 in 1989 še ni pojasnjeno, menimo pa da je eden od vzrokov upadanja gladin, prekomerna raba podzemne vode vodonosnika Ljubljanskega polja in intenzivno nenadzorovano črpanje voda v strugi reke Save.



**Graf 51:** Amplituda nihanja podzemne vode v Klečah III, srednja vrednost amplitude in 10 letno drseče povprečje amplitud v obdobju 1892-2007 (Vir podatkov: JP VO-KA)



**Graf 52:** Odklon letne amplitude od povprečne amplitude obdobja 1892-2007 in 10 letno drseče povprečje (Vir podatkov: JP VO-KA)



**Graf 53:** Odklon karakterističnih vodostajev od povprečja obdobja 1892-1968 (Vir: JP VO-KA)

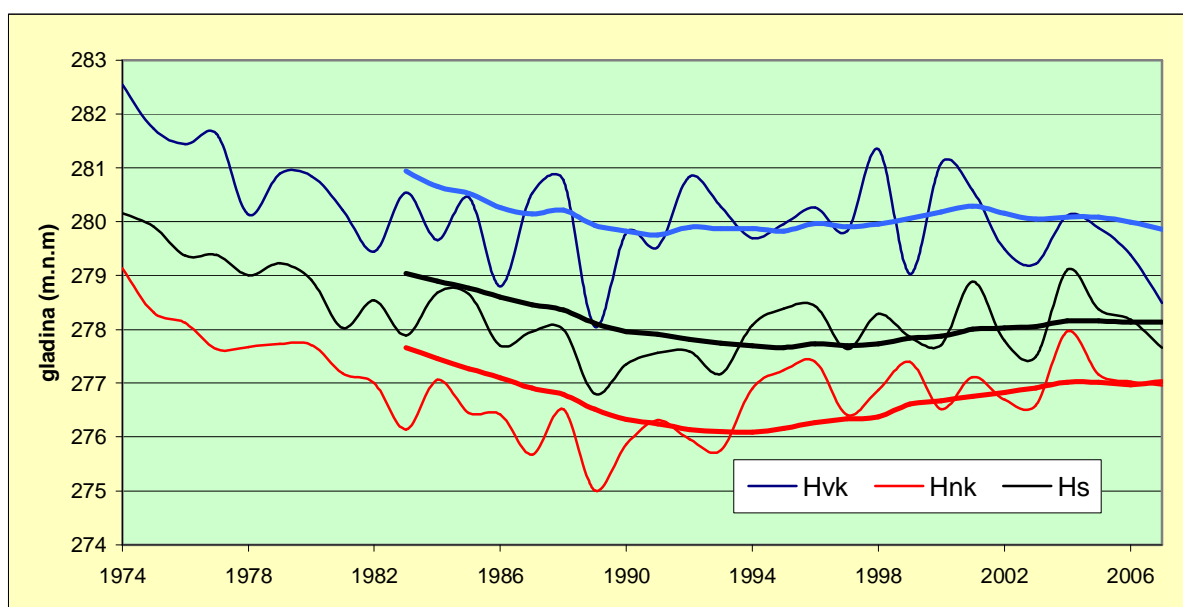
Na podlagi podatkov opazovanj in analize teh podatkov lahko ugotovimo, da je srednja vrednost amplitude gladin na postaji Kleče III 3,17 m. Amplitude gladin podzemne vode



najbolj odstopajo ob nastopih sušnih ali zelo mokrih obdobjih kar je logično in so zelo razpršene v času, kar pomeni, da so dogajanja v vodonosniku odvisna od naravnih faktorjev v času nastanka.

Na grafu odklona gladin od povprečja (imeli smo na razpolago povprečje 1892-1968) je razvidno da so največji odkloni nizkih vodostajev in sicer za 7,6 m. in visokih za okoli 5,0 m. v zadnjem letu meritev v letu 2007, kar je tudi logično zaradi vsega kar se je v preteklem obdobju dogajalo in glede na primerjalno obdobje.

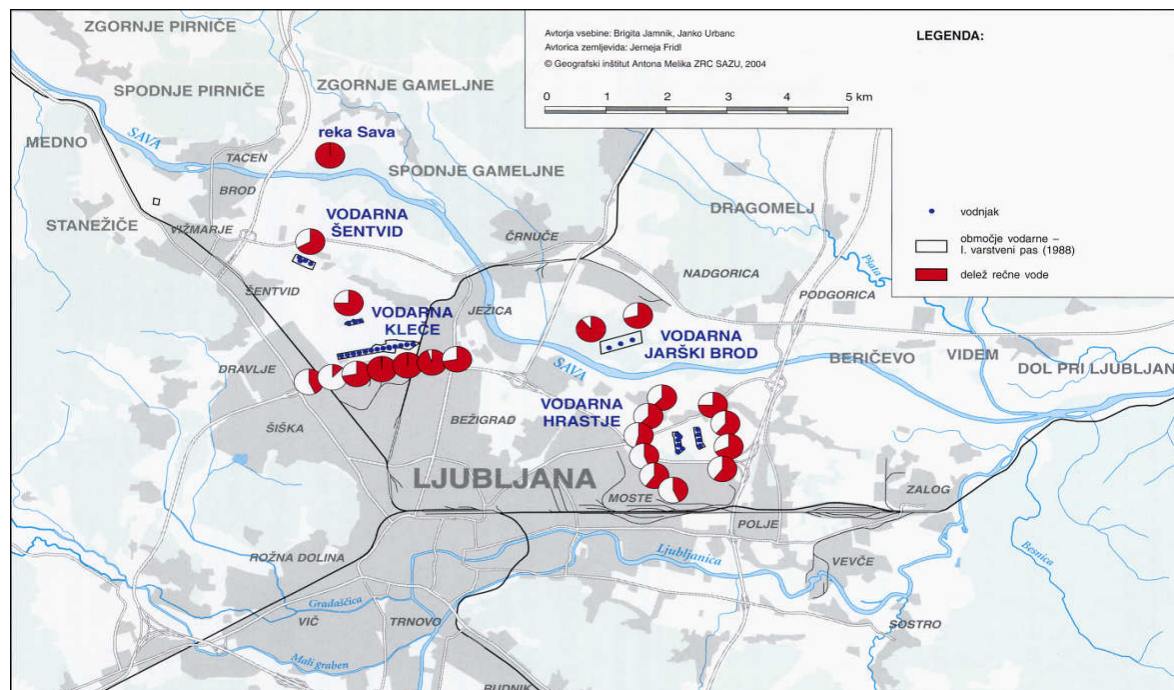
Kot smo povedali v poglavju 1.2, so se potrebe po pitni vodi v Ljubljani zmanjšale v začetku devetdesetih letih prejšnjega stoletja. To je razlog da se na postajah za podzemne vode Ljubljanskega polja od leta 1989 beležijo trendi zviševanja nizkih in srednjih gladin(graf 54).



**Graf 54:** Karakteristični gladine in desetletni drseči trendi gladin podzemne vode na postaji 0541 Kleče od leta 1974-2004 (Vir podatkov: ARSO)

Desetletno drseče povprečje pa nam pokaže, da se ta trend počasi umirja, ter da se trend visokih gladin po nekaj letih mirovanja počasi obrača navzdol, kar je mogoče posledica večjega zadrževanja visokih voda reke Save na pregradah gorvodnih hidroelektrarn. Če govorimo o trendu od leta 1989 do 2007 je treba poudariti, da je leto 1989 bilo izredno sušno ter da je posledično v vodonosniku prevladovalo nizko vodno stanje. Z razpadom industrije so se potrebe in črpanja postopoma zmanjševala, trendi gladin podzemne vode razen visokih gladin pa povišala.

Študija o sestavi podzemne vode na Ljubljanskem polju s pomočjo stabilnega izotopa  $^{18}\text{O}$  je pokazala kakšen je delež posameznih virov napajanja podzemne vode na Ljubljanskem polju.

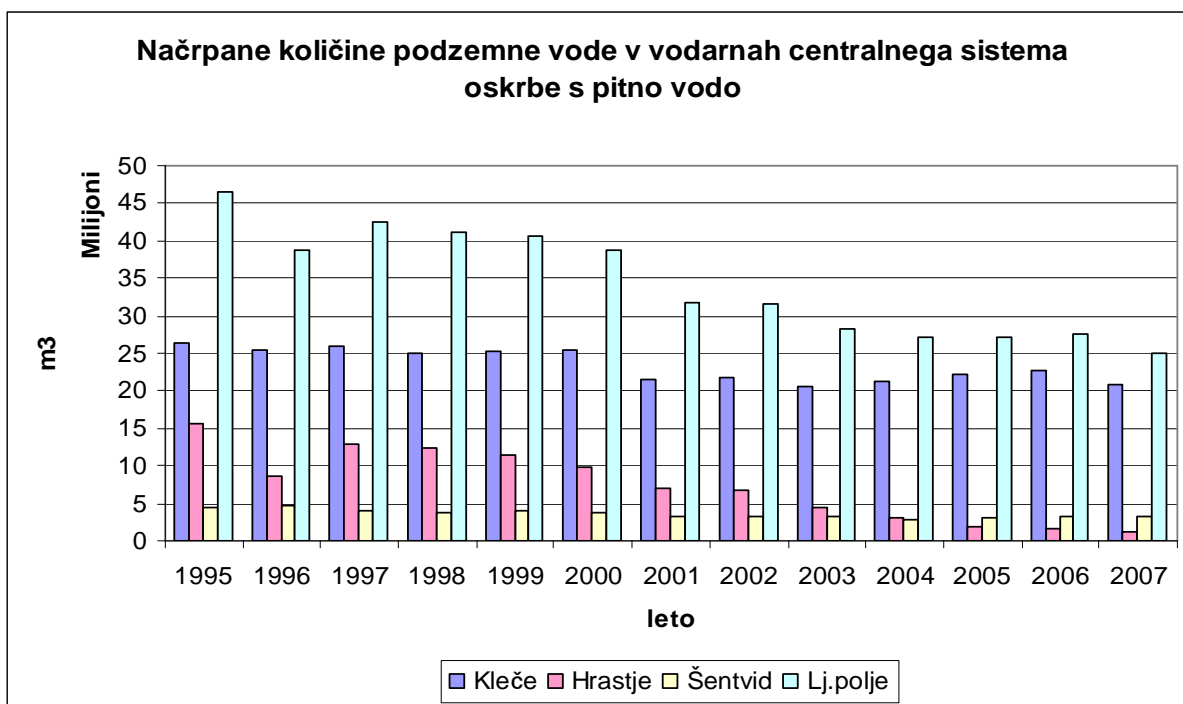


**Slika 22:** Deleži reke Save na črpalnih vodnjakih Ljubljanskega polja na podlagi izotopske sestave kisika v vodi (Urbanc in Jamnik, 1999)

Raziskava je bila izvedena na podlagi izotopske sestave dveh vhodnih komponent: reke Save in padavinske vode na območju Ljubljanskega polja. Analiza je pokazala, da je v nekaterih vodnjakih razmerje med komponentama enakovredno, v nekaterih vodnjakih prevladuje delež padavinske vode, ki se infiltrira na območju samega Ljubljanskega polja, spet v drugih vodnjakih prevladuje delež komponente reke Save. Na območju vodarne Kleče na vodnjakih proti zahodu prevladuje voda, ki izvira iz lokalno infiltriranih padavin in na njenem osrednjem delu pa voda z visokim odstotkom rečne komponente. Na vodnjakih vodarne Hrastje prav tako na eni strani prevladuje večji delež reke Save, na drugi pa delež lokalne infiltracije padavin. V vodarni Jarški prod črpajo skoraj 100% savski obrežni filtrat, saj vodarna stoji v neposredni bližini reke Save, prav tako pa je vodarna locirana praktično v sami stari strugi reke Save iz leta 1895 (slika 23). Majhen delež pripada tudi lokalnim padavinam, ki prav tako napajajo vodonosnik z severa prispevnega območja. (Urbanc in Jamnik, 1999).

#### 4.5 Črpanje podzemne vode

Analiza črpanja obdobja 1995-2007 nam pokaže, da se načrpane količine podzemne vode za potrebe preskrbe z pitno zmanjšujejo (graf...), kar povečuje zaloge pitne vode v vodonosniku in prispeva k zmanjšanju trendov upadanja gladin.



**Graf 55:** Deleži načrpanih količin podzemnih voda na črpališčih v posameznih vodarnah na Ljubljanskem polju v obdobju 1995-2007 (Vir: VOKA 2008).

**Preglednica 2:** Količina in delež načrpane vode na črpališčih za pitno vodo JP VO-KA v letu 2007 (Vir podatkov: JP VO-KA)

Lokacija črpališča	Količina načrpane vode (m <sup>3</sup> )	Količina vode (l/s)	Delež (%)
Kleče	18608784	590,08	53,59
Hrastje	1076163	34,12	3,09
Šentvid	3245661	102,91	9,34
Jarški prod	5051469	160,18	14,54

Skupaj na <b>Ljubljanskem polju</b>	27982077	887,30	80,59
Črpanje na <b>desnem</b> bregu Save	22930608	727,12	66,04
Črpanje na <b>levem</b> bregu Save	5051469	160,18	14,54
Črpanje na območju JP VO-KA	34720309	1100,97	100

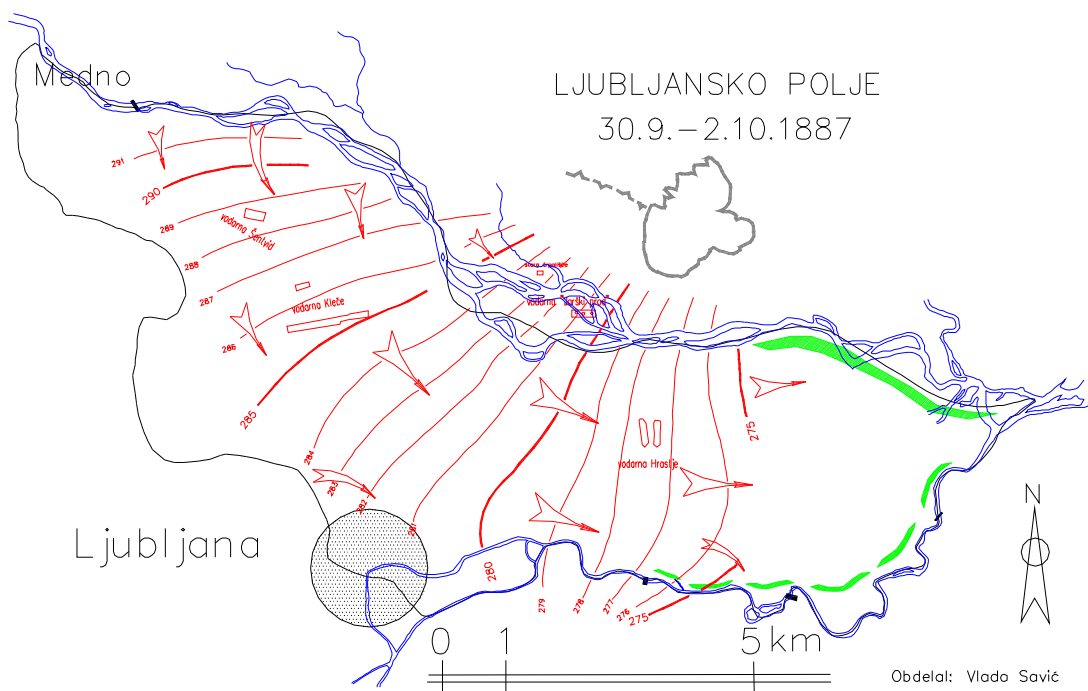
Ugotavljamo da se je delež načrpane vode na območju Ljubljanskega polja zmanjšal na okoli 80%, še pred nekaj leti je bil okoli 90%. Na desnem bregu reke Save je ta delež 66 %, na levem bregu reke Save na črpališču Jarški prod črpanja se iz leta v leto povečujejo in trenutno znaša 160 l/s oziroma 14,55 % načrpane vode. Na črpališču Hrastje je črpanja vse manj, verjetni zaradi problemov onesnaženja, tako da je delež tega črpališča samo še 3,1 % načrpane vode JP VOKA. Vpliv industrijskih vodnjakov postaja vse bolj pomemben pa ne samo zaradi obremenitve okolja zaradi izpustov, temveč zaradi povečanih potreb po količinah industrijske vode. V letu 2007, se je po podatkih za napoved vodnih povračil na desnem bregu reke Save načrpalo okoli 75 l/s, vemo pa, da je črpanja več, tako da to predstavlja problem iz razloga slabe kontrole rabe vodonosnika.

#### 4.6 Smeri in gradienti toka podzemne vode

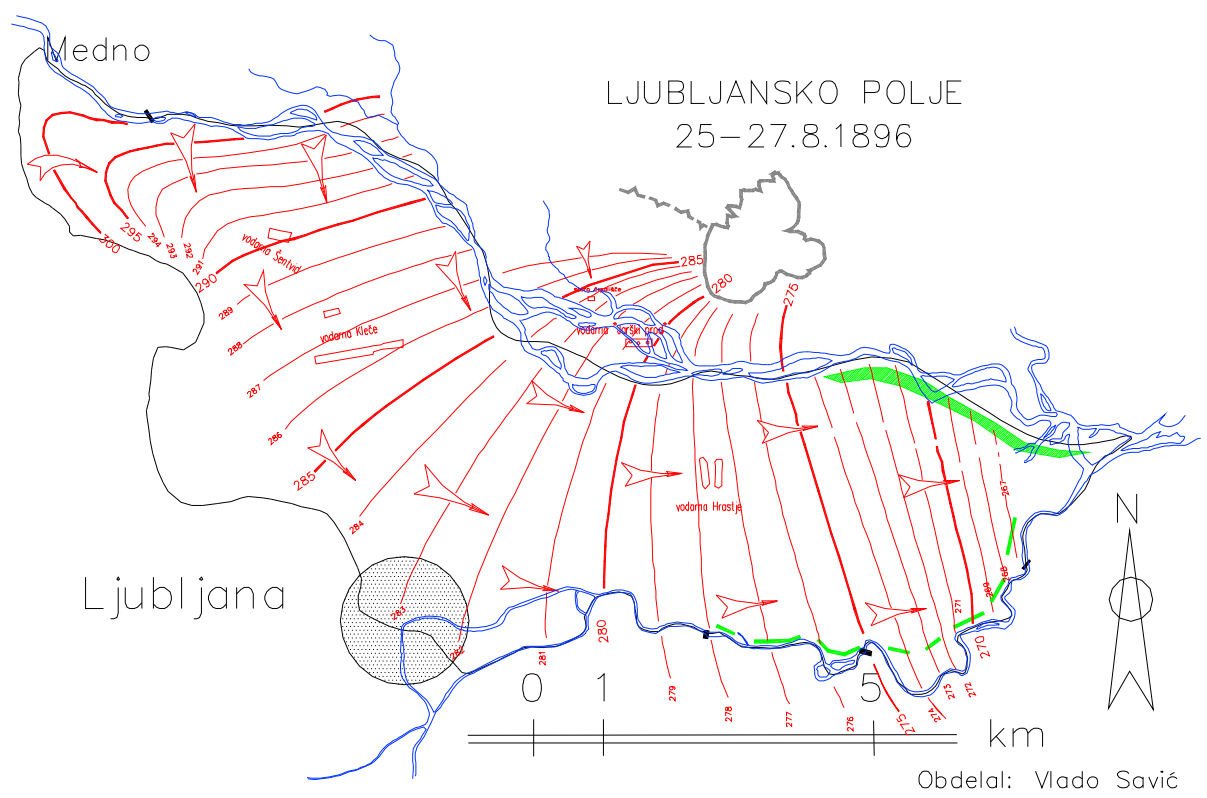
Da bi čimbolj razumeli kaj se je dogajalo v vodonosniku je potrebno preučiti merjenja podzemnih voda v preteklih obdobjih in njihove karakteristike pogledati tudi prostorsko na celotnem območju Ljubljanskega polja. Na podlagi podatkov ki so bile na razpolago, je bilo v ta namen za celotno obdobje opazovanja izdelanih sedem hidroloških kart stanja podzemnih voda. Prva karta je iz leta 1887 in sega v obdobje načrtovanja črpališča Kleče. Narejena je na podlagi izmerjenih gladin na 52 takrat obstoječih vodnjakov in dveh vodomernih postaj na reki Savi.

Bili so to predvsem vodnjaki po okoliških vaseh in ob železniških tirih obstoječe železnice. Zadnja karta je iz septembra leta 2008 in kaže najbolj realno sliko vodonosnika danes. Karte se med seboj zelo razlikujejo saj segajo v obdobja naravnega toka reke in podzemne vode brez antropogenega vpliva črpanja iz vodonosnika (1887), druga karta je iz leta 1896 leta ko je struga reke Save bila še brez regulacijskih posegov, črpališče Kleče pa je že

obratovalo. Tretja karta je iz leta 1918 ki nam pokaže delno meritev na osrednjem delu Ljubljanskega polja. Naslednjo meritev so izvršili leta 1948 po suši ki je prizadela Slovenijo in Ljubljano ki ji je pomanjkovalo pitne vode. Tega leta je izvršena obsežna študija podzemne vode Ljubljanskega polja (Rupnik) in prvič dokazan vpliv reke Save na podzemno vodo. Peta karta je iz leta 1967 ko so prav tako na HMZ opravili več meritev in izdelali študijo režima podzemne vode (Žibrik, 1969). Šesta hidrološka karta sega v obdobje osamosvojitve 1992 ko so meritve bile izvršene v sušnem obdobju, da bi ugotovili kakšne so zaloge pitne vode Ljubljanskega polja. Zadnja hidrološka karta je bila izvršena 2.9.2008 z namenom in z vsebino diplomske naloge določitve stanja in optimizacije merilne mreže monitoringov podzemnih voda.

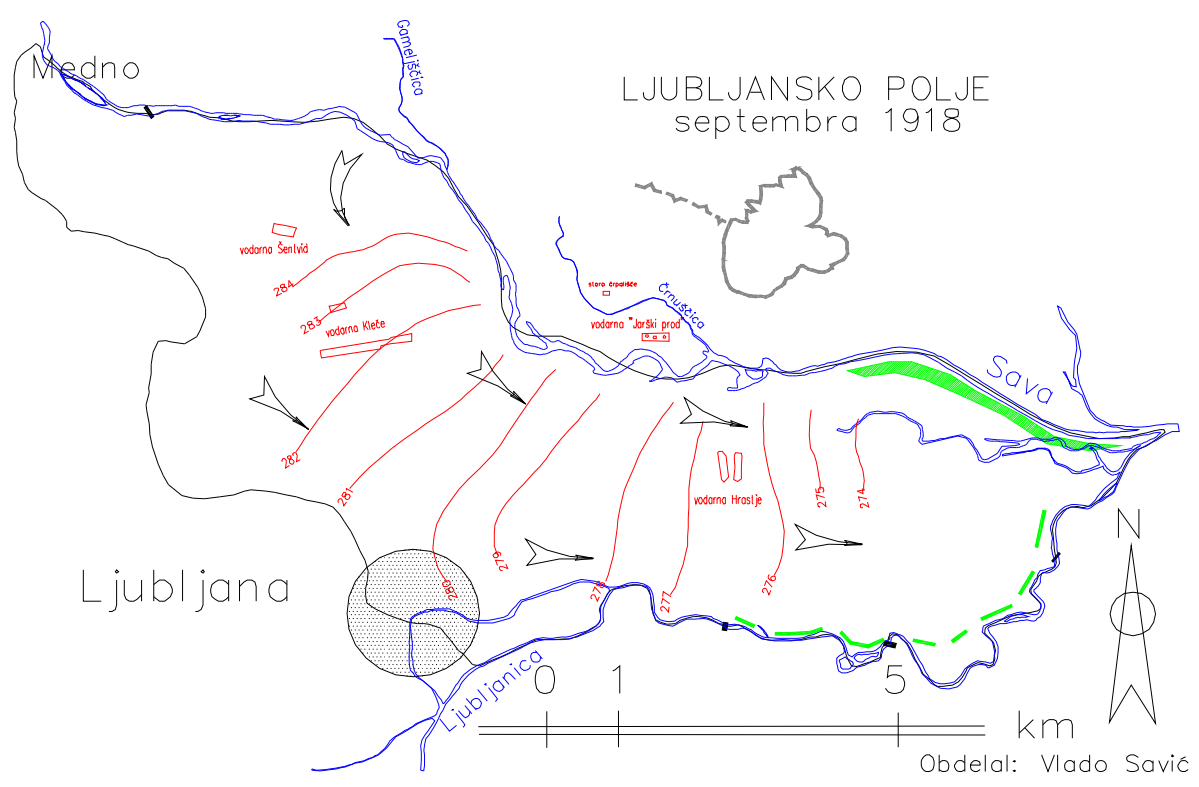


**Slika 23:** Hidrološka karta z dne 30.9.-2.10.1887 (Vir podatkov: arhiv HMZ)



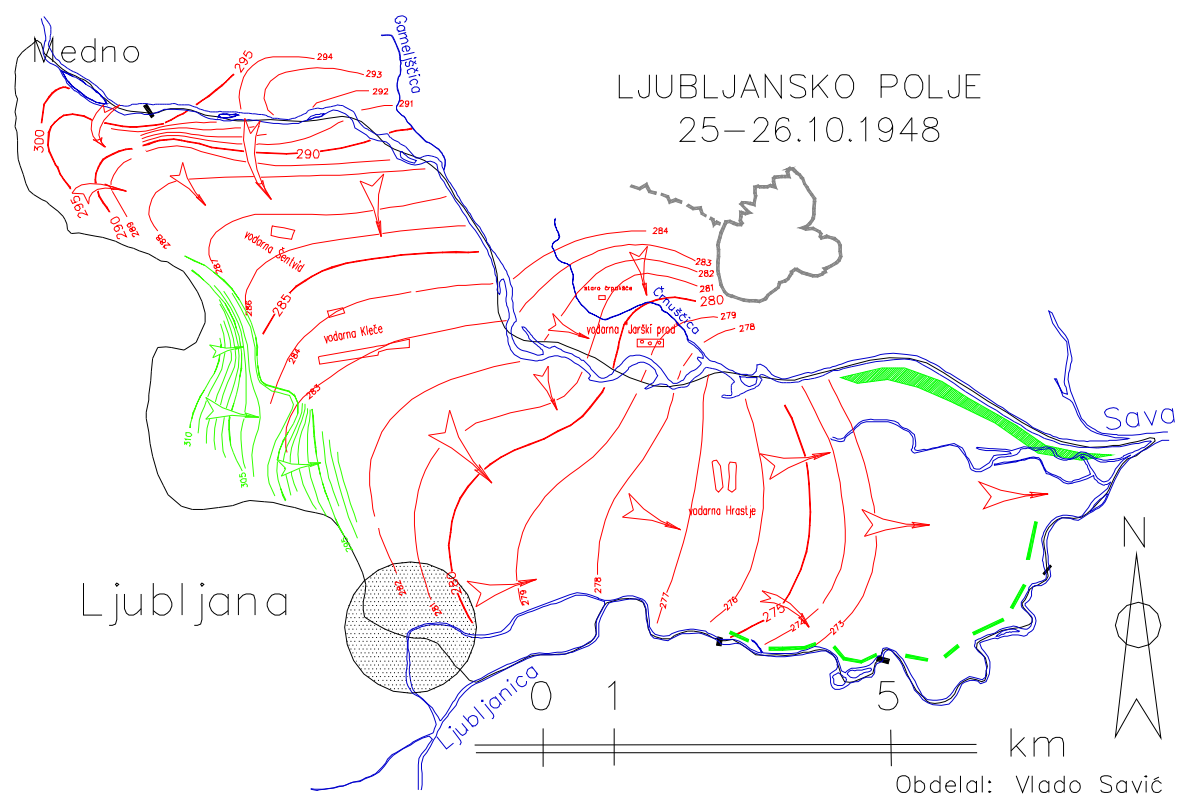
Obdelal: Vlado Savič

**Slika 24:** Hidrološka karta z dne 25-27.8.1896 (Vir podatkov: arhiv HMZ)

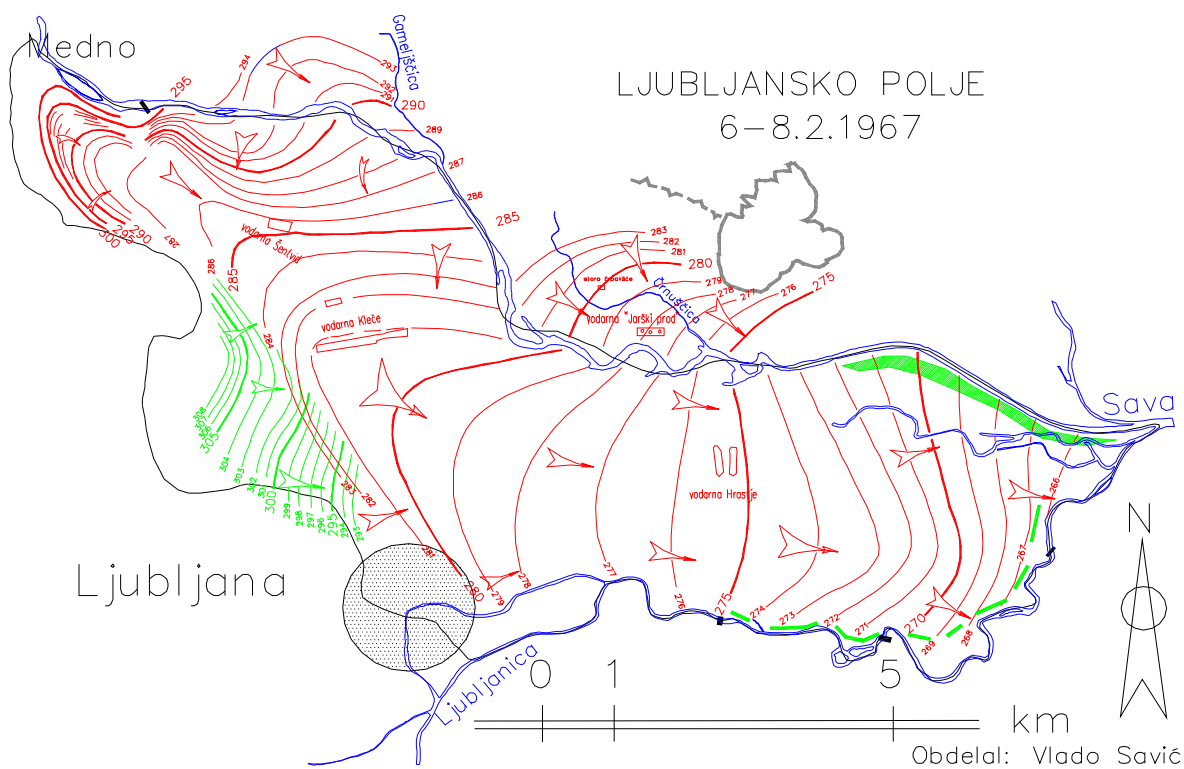


Obdelal: Vlado Savič

**Slika 25:** Hidrološka karta z dne september 1918 (Vir podatkov: arhiv HMZ)

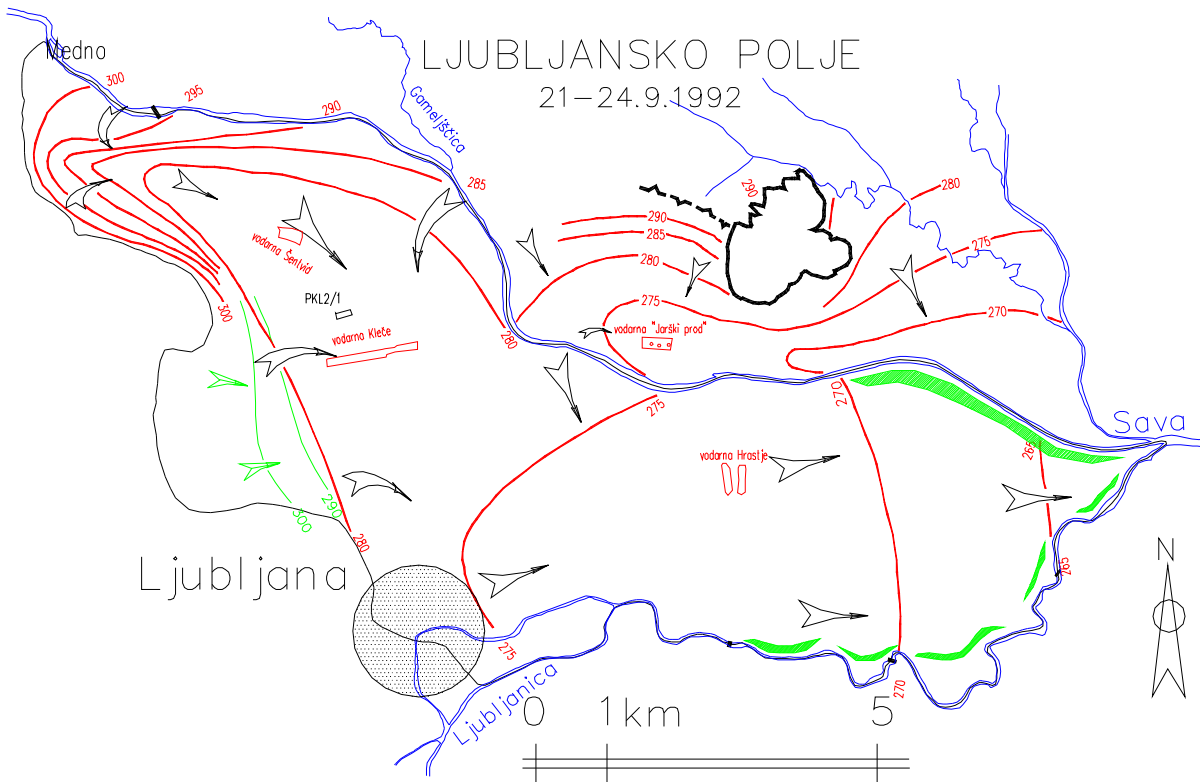


**Slika 26:** Hidrološka karta z dne 25-26.10.1948 (Vir podatkov: arhiv HMZ)

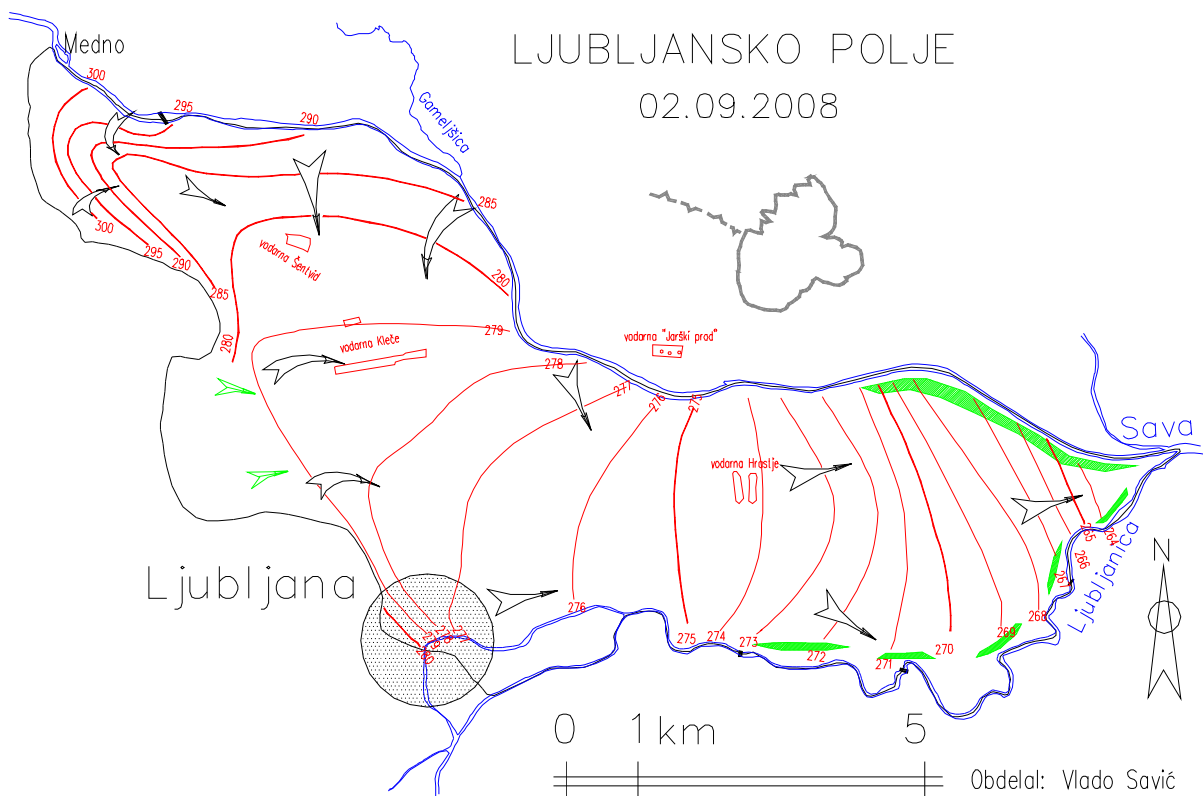


**Slika 27:** Hidrološka karta z dne 6-8.2.1967 (Vir podatkov: arhiv HMZ)





**Slika 28:** Hidrološka karta z dne 21-24.9.1992 (Vir podatkov: HMZ, ARSO)



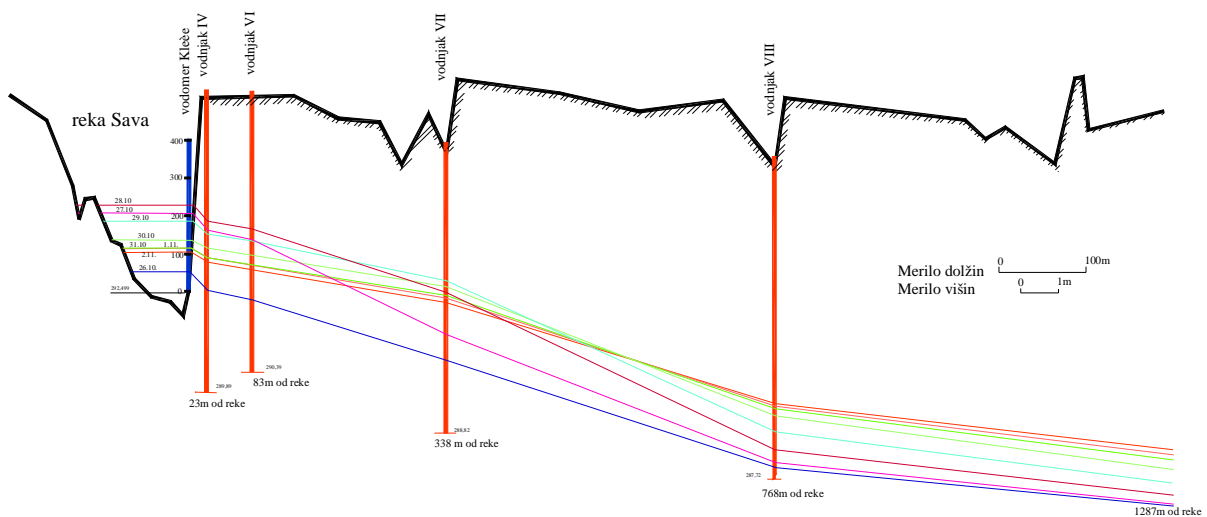
**Slika 29:** Hidrološka karta z dne 2.9.2008 (Vir podatkov: ARSO, JP VO-KA, GeoZS, IRGO)

Hidrološke karte nam prostorsko ponazorijo položaj, gradiente in smeri gibanja podzemnih voda Ljubljanskega polja. Na nekaterih bolj detajlnih kartah so bile izmerjene še gladine viseče podtalnice tako da so tudi vidne smeri gibanja in gradienti ter položaj viseče podtalnice v prostoru.

Imeti profil prečno na vodotok ki napaja vodonosnik je zelo pomembno. Že direktno z meritvami na terenu ali na daljavo bi lahko na takem profilu spremljali vhodne parametre in ocenili njihov količinski in kakovostni vpliv na režim podzemnih voda Ljubljanskega polja. Podatki iz leta 1948 (Preglednica 3 in slika 30) kažejo na to, da so se že takrat zavedali pomembnosti takega profila ki nam pove kako hiter je odziv vodonosnika na dogajanja v časi in prostoru. Žal takega profila na Ljubljanskem polju ki bi nam služil za spremljanje vhodnih količinskih in kakovostnih parametrov podzemnih voda, danes nimamo.

**Preglednica 3:** Podatki meritev gladin podzemne vode v profilu Roje-Kleče iz leta 1948 (Vir podatkov: arhiv HMZ)

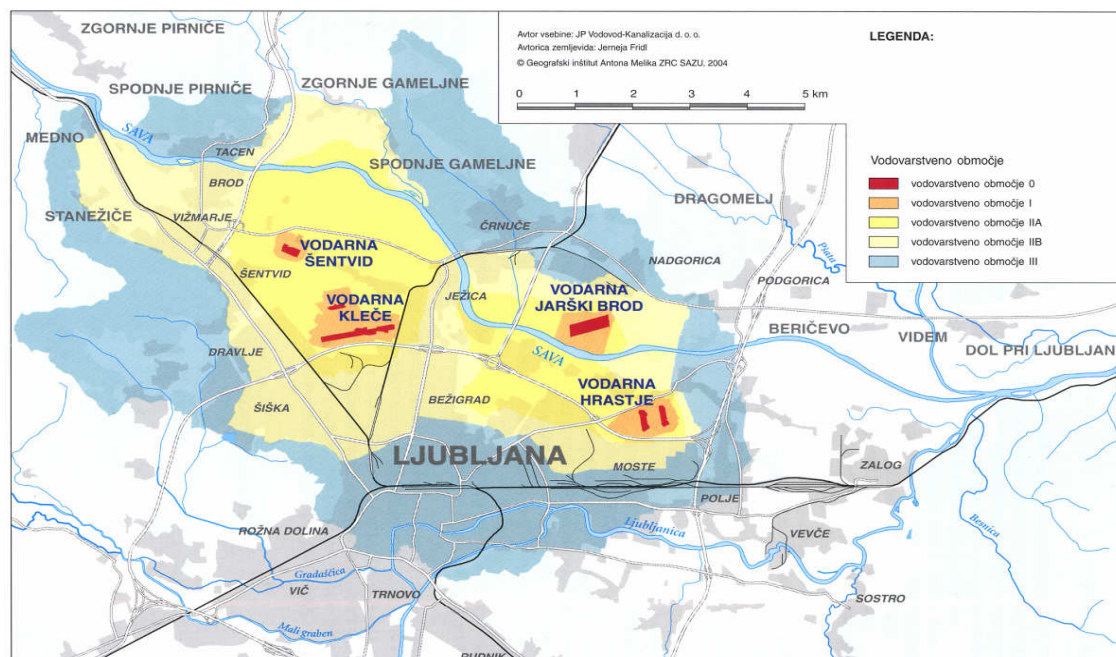
datum/profil	Sava	IV	VI	VII	VIII	0530 Kleče
26.10.1948	293,01	292,53	292,26	290,71	287,89	286,4
27.10.1948	294,53	294,12	293,85	291,35	288,01	286,43
28.10.1948	294,76	294,36	294,11	292,47	288,34	286,61
29.10.1948	294,34	294	293,8	292,78	288,82	286,84
30.10.1948	293,83	293,64	293,44	292,62	289,22	287,14
31.10.1948	293,62	293,36	293,2	292,39	289,4	287,45
1.11.1948	293,61	293,34	293,16	292,31	289,48	287,64
2.11.1948	293,5	293,24	293,04	292,2	289,55	287,78
<b>oddaljenost od reke(m)</b>	<b>0</b>	<b>23</b>	<b>83</b>	<b>338</b>	<b>768</b>	<b>1542</b>
<b>sprememba vodostaja(m)</b>	1,75	1,83	1,85	2,07	1,66	1,38



**Slika 30:** Hidrogeološki prečni profil na reko Savo v Rojah v smeri k črpališču Kleče (Vir podatkov: HMZ)

#### 4.7 Vodovarstvena območja Ljubljanskega polja

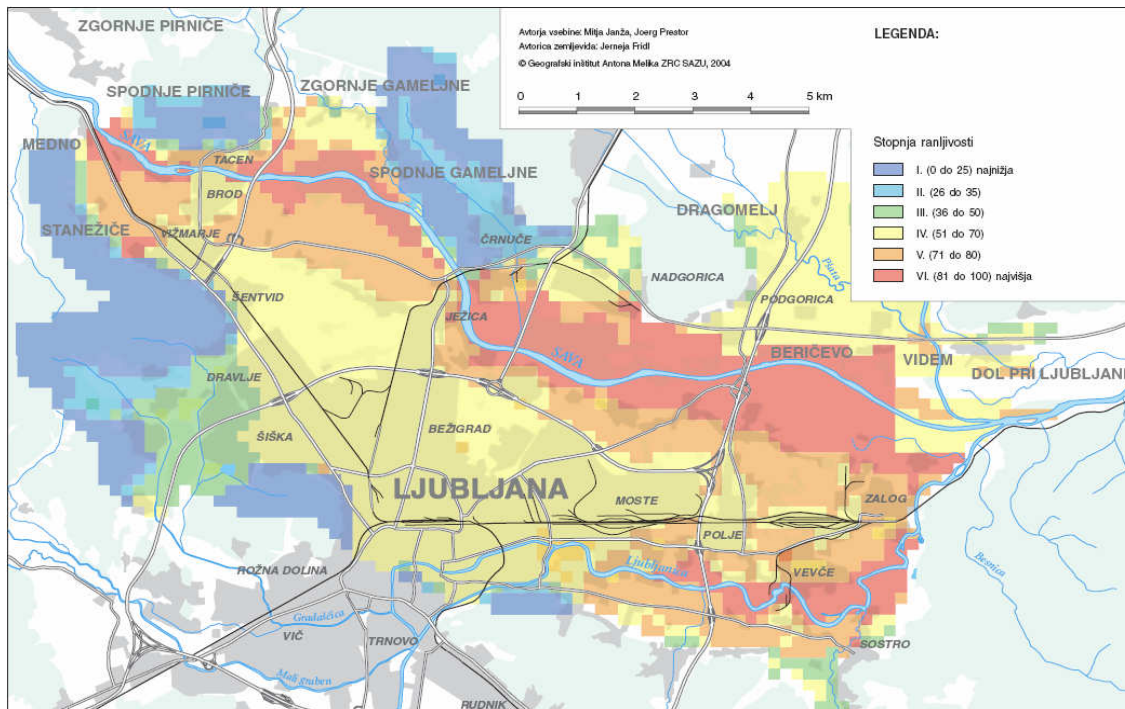
Vodovarstvena območja predstavljajo del hidrogeološkega sistema v cilju varovanja vira pitne vode, zato postavitve vodovarstvenih pasov predstavlja poznavanje vseh elementov režima in vplivov na režim podzemne vode Ljubljanskega polja.



**Slika 31:** Vodovarstvena območja na Ljubljanskem polju po uredbi iz l. 2004 (Rejec Brancelj in sod., 2005)

Vodovarstveni pasovi so območja okrog mesta izkoriščanja vodnega vira, na katerih veljajo določeni predpisi in stopnje omejitve rabe prostora. Ker vodovarstveni pasovi segajo do reke Save je potreba urejanja in skrbi za širši pas okoli Save še večji, iz razlogov možnega onesnaževanja kot je odlaganje smeti ali nekontrolirano kmetijstvo, saj je pokrovnost podtalnice ob reki najmanjša in koeficienti hidraulične prevodnosti v nezasičeni coni so na tem območju največji.

Na karti ranljivosti (Janža-Prestor) je razvidno, da je prav to, da je območje ob reki Savi z najvišjo stopnjo naravne ranljivosti.



**Slika 32:** Karta naravne ranljivosti podzemne vode Ljubljanskega polja (Vir: Janža, Prestor, 2002)

## **5 OPTIMIZACIJA MERILNE MREŽE**

### **5.1 Razlogi za optimizacijo merilne mreže za spremljanje režima podzemne vode**

Zavedanje o izrazitih vplivih podnebnih sprememb, antropogenih vplivih okolja na problematiko onesnaževanja okolja ter skrbi za bodoči razvoj v preskrbi prebivalcev Ljubljane s pitno vodo je razlog za postavitev take merilne mreže ki bo optimalno pokrila naše vedenje o delu vodnega telesa ki ga obravnavamo.

Tudi zakonodaja na državni in evropski ravni (Zakon o vodah, Okvirna Vodna direktiva) od nas zahteva celovit vpogled v količinsko in kakovostno stanje podzemnih kakor tudi površinskih voda. Površinske in podzemne vode na Ljubljanskem polju so v neposredni povezavi, zato jih je nemogoče obravnavati ločeno. Reka Sava, na enem svojem delu toka napaja vodonosnik Ljubljanskega polja z potrebnimi količinami vode ki se na svoji poti do črpališč prečisti, lahko bi ga tudi onesnažila. Na drugem svojem delu toka pa v reko Savo se stekajo preostanki toka podzemne vode iz Ljubljanskega polja in bi jo tudi, če bi vodonosnik bil tako onesnažen, kakovostno poslabšala. Torej je treba merilno mrežo optimirati tako, da zajamemo vse vplive, ki bi kot končni rezultat podala možnost poročanja o stanju v vodonosniku in vodotoku. Poročanje o stanju podzemnih voda vsebuje oba faktorja stanja, torej količinsko in kakovostno kar se ne sme ločeno obravnavati.

Razlogov da smo pristopili k analizi merilne mreže monitoringov podzemne in površinske vode na območju Ljubljanskega polja je več, eden pa še posebej, vedno večji antropogeni vplivi na robne pogoje napajanja vodonosnika ki je glavni vir preskrbe Ljubljane s pitno vodo.

### **5.2 Pregled obstoječe mreže**

#### **5.2.1 Površinske vode**

Na območju Ljubljanskega polja imamo dva velika vodotoka, Savo in reko Ljubljanico. Reka Sava na večjem svojem delu toka skozi Ljubljansko polje napaja vodonosnik, na krajšem delu svojega toka pa se podzemne vode drenirajo nazaj v Savo. Reka Ljubljanica pa na svojem delu do Fužin, zaradi zablatene struge, nima zadostne prepustnosti da bi v večji meri napajala



vodonosnik. Korito Ljubljanice na tem delu toka lahko rečemo da je neprepustno, saj razen ob zelo visokem in dolgotrajnem vodostaju ne vpliva na nivoje podzemne vode v okolici. Na spodnjem delu svojega toka od Fužin do sotočja z reko Savo pa se v Ljubljanico iztekajo preostanki dinamičnih zalog podzemne vode kot vidni izviri in dotoki neposredno v strugo.

### **5.2.1.2 Reka Sava**

Na reki Savi trenutno obratujejo tri merilna mesta s kontinuiranim merjenjem in sicer : vodomerna postaja (v nadaljevanju VP) VP Šentjakob, VP Črnuče in VP Medno.

Najdaljši niz podatkov ima VP Šentjakob od leta 1908 s prekinitvami, VP Medno od leta 1968 in VP Črnuče od leta 2001, čeprav je ta postaja že prej obratovala na spremenjeni lokaciji in s prekinitvami. Vsaka od teh postaj je imela več več sprememb mikrolokacij, ki so bile minimalne, ter bistveno ne vplivajo na korelacijo med njimi, kaj šele v odnosu na razmerje s podzemno vodo.

V hidroloških bazah podatkov za vodostaje Save pred letom 1960 ni , zato smo za analize uporabili podatke drugih merilnih postaj iz elaboratov ali zapiskov ki smo jih našli v arhivu ARSO.

Analize so pokazale da se je poglobljanje dna struge reke Save od vhoda v Ljubljansko polje pri Mednem do VP Šentjakob, oziroma do 847 km, umirilo (graf 7). To je prav gotovo posledica izgradnje pragov na reki in že urezanega korita do same podlage na območju Tacna in Črnuč, kontrolirane rabe proda iz struge reke Save ter izgradnje HE Mavčiče ki z zapornicami zadržuje visoke vode s tem pa zmanjša njeno erozijsko moč.

### **5.2.1.3 Reka Ljubljana**

Na reki Ljubljanici deluje ena vodomerna postaja in sicer VP Moste. Tudi ona je preživela nekoliko prestavitvev. Spremembe režima na tej postaji ne vplivajo na režim podzemnih voda, saj je postaja locirana na območju toka Ljubljanice do Fužin ki je v neprepustnem koritu, ter na podzemne vode nima vpliva..

### 5.2.2 Podzemne vode

Na podzemnih vodah se poleg državnega monitoringa izvajajo še monitoringi za potrebe velikih odjemalcev vode kot so: Javno podjetje Vodovod –Kanalizacija (JP VO-KA) in pivovarne Union (slika 32).

Državni monitoring se izvaja na 9-ih postajah ki so v precejšnji meri vezani na nenamenske, nestandardizirane in netestirane objekte ki so v različni lasti. Samo dva objekta in sicer AMP Hrastje in AMP Mercator sta namenska objekta, ki dejansko že služijo z namenom, kontinuiranega spremljanja količinskega in kakovostnega stanja podzemnih voda. Tudi objekt Bratislavka je primeren za spremljanje stanja podzemnih voda, saj je narejen po vseh normativih in standardih, razen da bi premer objekta ( $\varnothing 100$ ) moral biti nekoliko večji ( $\varnothing 120$ ) da bi lahko na tem objektu glede na izdatnost vodonosnika izvršili kakovosten črpalni preizkus. Ostali objekti pa niso primerni za opravljanje zahtevnejših in kakovostnih monitoringov iz razlogov tehniških pomanjkljivosti, lastništva, poznavanja objekta, slabe mikrolokacije. Za merilna mesta je v splošnem značilno pomanjkanje izredno pomembnih podatkov o izgradnji, vgrajenih materialih, položaju vgrajenih filtrov, geološki zgradbi tal ter o hidrogeoloških karakteristikah mikrolokacije.

Na Ljubljanskem polju monitoringe izvaja tudi JP VO-KA in sicer na vplivnem območju odvzemov za pitno vodo. Meritve opravljajo na več kot 50-ih postajah z različno frekvenco od urnih do meritev 1x na mesec. Meritve potekajo prav tako na objektih ki so v večini zgrajeni kot raziskovalni in ne kot objekti ki so narejeni za izvajanje kvalitetnih monitoringov količin in kakovosti,

Tudi pivovarna Union opravlja meritve v okviru zaščite virov pitne vode in sicer na območju odvzema za potrebe proizvodnje brezalkoholnih pijač. Meritve opravljajo na treh piezometrih. Tudi nekaj drugih zavezancev plačila vodnega povračila izvajajo monitoring na črpalnih objektih. Meritve ki jih opravljajo niso uporabne ker se na teh objektih ne izvajajo kontrolne izmere parametrov podtalnice od strani pooblaščenih institucij, pa tudi o samem objektu ni podatkov o tehnični izvedbi ki bi služila za interpretacijo meritev.

## **5.3 Analiza podatkov sedanje merilne mreže**

### **5.3.1 Splošno**

Podatki pridobljeni na ARSO, JP VO-KA, IRGO, GeoZS so bili pregledali in obdelali v prejšnjih poglavjih. Sedaj smo pristopili k statistični obdelavi določenega števila postaj z dnevnimi meritvami in daljšimi nizi, da bi ugotovili ali so ti podatki primerljivi med sabo in koliko imajo skupnih značilnosti z vplivi ki so prisotni na Ljubljanskem polju. Iz prejšnjih poglavjih smo ugotovili, da so vplivi naravni in antropogeni, ter da imajo skupno lastnost, da se proces ki ga sprožijo, dogaja od stičnega momenta z podzemno vodo ter da se spreminja in giblje v istih smereh kot potujejo delci vode v vodonosniku z določeno disperzijo fluida. Zato je največja skrb in najbolj zahtevna naloga hidrogeologov določiti smer gibanja delcev vode in fluida v vodi. V ta namen so in še potekajo številne modelske raziskave v cilju čimboljšega razumevanja dogajanja v vodonosniku. Podatkov je veliko, toda za tako kompleksno in hidrogeološko heterogeno območje še vedno premalo da bi z gotovostjo rekli da smo blizu cilja, oziroma da o vodonosniku vemo toliko da lahko napovemo scenarij kaj bo če se na določeni lokaciji ali robnem pogoju nekaj zgodi.

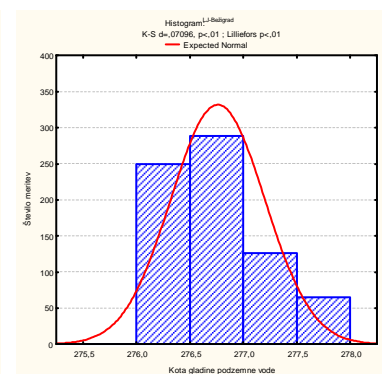
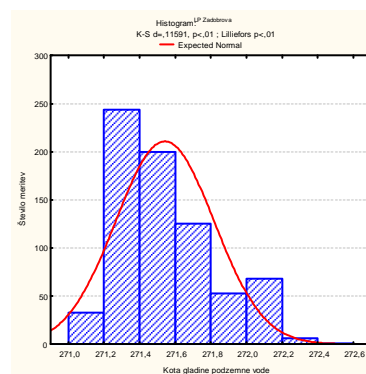
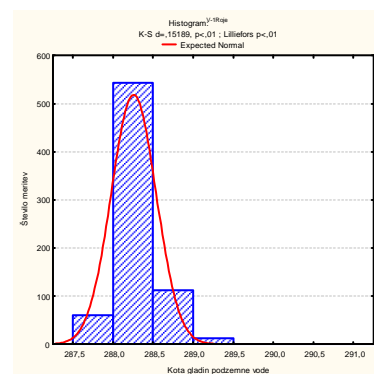
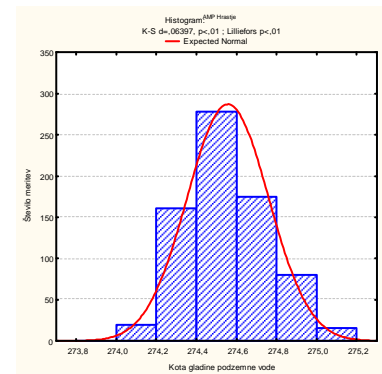
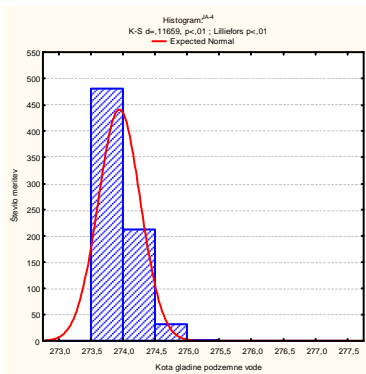
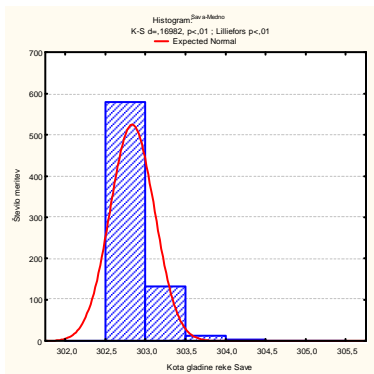
V ta namen smo se pri optimizaciji merilne mreže osredotočili v analizo podatkov zadnjih let, zavedajoč se in upoštevajoč rezultate analiz in znanja preteklega obdobja. To pa iz tega razloga ker se je število kvalitetnih podatkov v zadnjih letih podvojilo, analize pa kažejo da se okolje in vplivi spreminjajo in je vprašanje če je vsak podatek iz preteklosti realen za obravnavo v sedanjem.

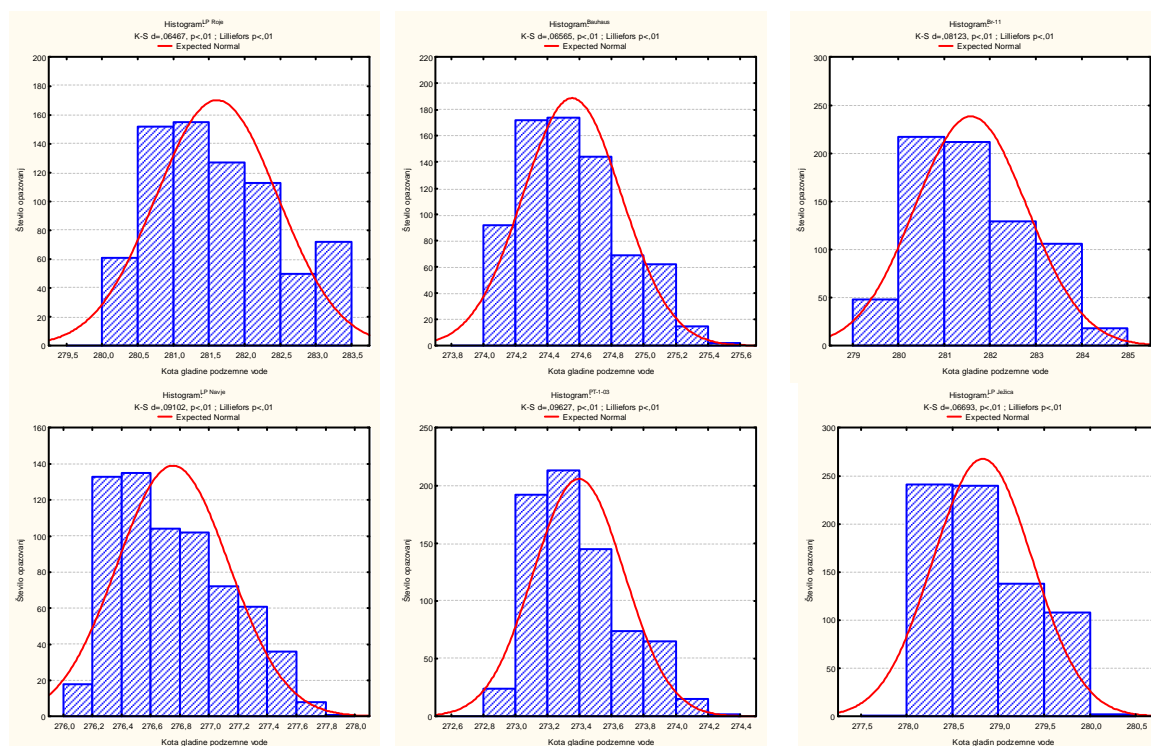
#### **5.3.1.1 Osnovna statistična analiza hidroloških podatkov**

Pri tej analizi je ugotovljeno, da so na vseh postajah gladine normalno porazdeljene, ter da je največ odstopanja pri postajah ki so locirane ob sami reki Savi in so pod njenim vplivom. Analiza izračunane statistike nam nakazuje (preglednica 4) normalno porazdelitev na podlagi primerjave podobnosti podatkov mediane, srednje vrednosti, geometrijske sredine. Prav tako lahko v tabeli zlahka ugotovimo kakšna je sploščenost ali asimetričnost spremenljivk in vidimo da so odstopanja najbolj izrazita na postajah ki so pod vplivom reke Save. Najbolj velik je standardni odklon in varianca podatkov na postajah Br-11 in Br-12 ki so pod vplivom padavin in podtalnice iz zaledja .

**Preglednica 4: Osnovne karakteristične vrednosti gladin podzemne vode Ljubljanskega polja**

Variable	Descriptive Statistics (postaje Lj-polje)										Range	Variance	Std.Dev.	Skewness	Kurtosis
	Mean	Confidence -95,000%	Confidence +95,000%	Geometric Mean	Median	Mode	Frequency of Mode	Minimum	Maximum	Sort					
Petrol	278,2784	278,2319	278,3249	278,2777	278,2300	277,5500	11	277,3200	279,6800	2,360000	0,409157	0,639654	0,363183	-0,88185	
BSCD103	278,4055	278,3591	278,4520	278,4048	278,3670	Multiple		277,4050	279,8230	2,418000	0,408861	0,639423	0,341073	-0,89582	
OP-12	278,5264	278,4795	278,5732	278,5256	278,5100	Multiple		277,4400	280,0300	2,590000	0,415615	0,644682	0,345220	-0,87884	
LP Vodovodna	278,2658	278,2232	278,3085	278,2652	278,2200	278,1800	15	277,3800	279,5500	2,170000	0,344717	0,587126	0,363263	-0,88207	
LP Roje	281,6107	281,5485	281,6728	281,6094	281,4850	280,4000	13	280,3100	283,4300	3,120000	0,731656	0,855369	0,410534	-0,83556	
PH-3	274,1850	274,1640	274,2060	274,1849	274,1600	Multiple		273,7100	275,0000	1,290000	0,083476	0,288921	0,509572	-0,55451	
Br-12	282,7041	282,6116	282,7967	282,7013	282,4300	280,9400	11	280,8800	285,3300	4,450000	1,621857	1,273521	0,460514	-0,88567	
Br-11	281,5838	281,4950	281,6725	281,5811	281,3650	Multiple		279,8600	284,1600	4,300000	1,491589	1,221306	0,484469	-0,83830	
LP Stožice	277,6533	277,6166	277,6899	277,6528	277,6150	277,9500	15	276,8800	278,6600	1,780000	0,254706	0,504684	0,387815	-0,83169	
LP Ježica	278,8303	278,7907	278,8698	278,8297	278,7600	278,1300	16	278,0000	280,0200	2,020000	0,296110	0,544160	0,518145	-0,67936	
PT-1-03	273,3952	273,3746	273,4157	273,3950	273,3350	273,1200	20	272,8600	274,2300	1,370000	0,080150	0,283108	0,651749	-0,31900	
LP Navje	276,7532	276,7240	276,7824	276,7529	276,6900	Multiple		276,1700	277,8100	1,640000	0,147781	0,384424	0,471493	-0,71797	
IMP	278,6168	278,5651	278,6686	278,6159	278,5500	278,5400	11	277,5500	280,2000	2,650000	0,507146	0,712142	0,378329	-0,87771	
Bauhaus	274,5536	274,5311	274,5760	274,5534	274,5300	274,6700	15	274,0600	275,4200	1,360000	0,092455	0,308532	0,522536	-0,47102	
PKL 2-1	278,5360	278,4857	278,5863	278,5351	278,4700	278,4500	11	277,4500	280,1300	2,680000	0,478546	0,691770	0,397516	-0,83927	
Dekorativna	278,9667	278,8971	279,0363	278,9659	278,8404	279,8300	4	277,7454	280,1500	2,404583	0,457099	0,676091	-0,065016	-1,26357	
V-1 Zalog	269,0529	269,0264	269,0794	269,0527	268,9760	268,6600	4	268,4500	269,9900	1,540000	0,133366	0,365193	0,487251	-0,73022	
V-1 Roje	288,2570	288,2366	288,2774	288,2569	288,1687	Multiple		287,8100	290,5979	2,787917	0,078716	0,280565	2,052929	8,48853	
LJ-Bežigrad	276,7618	276,7299	276,7937	276,7614	276,7296	Multiple		276,0925	277,8100	1,717500	0,192455	0,438696	0,492863	-0,62003	
LJ-Flajšmanova	275,9846	275,9584	276,0108	275,9844	275,9496	Multiple		275,3921	276,9187	1,526617	0,129910	0,380430	0,452369	-0,55615	
0341 Hrastje	273,8630	273,8427	273,8834	273,8629	273,8200	273,6000	19	273,4000	274,6100	1,210000	0,078513	0,280202	0,492701	-0,67026	
0541 Klačje	277,9217	277,8757	277,9676	277,9210	277,8700	277,2400	13	276,9600	279,3900	2,430000	0,400095	0,632531	0,338898	-0,95071	
AMP Hrastje	274,5566	274,5419	274,5713	274,5565	274,5379	Multiple		274,0200	275,1700	1,150000	0,041108	0,202751	0,423607	0,05748	
LJ-Bratislavska	274,7091	274,6868	274,7315	274,7090	274,6794	Multiple		273,9996	275,5700	1,570417	0,094403	0,307251	0,513072	-0,45952	
Sava-Št. Jakob	271,6934	271,6664	271,7205	271,6932	271,5750	271,4150	23	271,2850	274,8050	3,520000	0,138557	0,372232	2,366931	9,97356	
Sava-Medno	302,8356	302,8155	302,8558	302,8355	302,7480	302,6530	30	302,5430	305,0430	2,500000	0,076822	0,277169	2,347735	9,16551	
JNA-4	273,9421	273,9182	273,9661	273,9419	273,8550	Multiple		273,5200	277,2600	3,740000	0,108691	0,329683	2,320436	14,65631	
LP Zadobrova	271,5415	271,5215	271,5616	271,5414	271,4700	271,2700	40	271,1600	272,4300	1,270000	0,076272	0,276174	0,741351	-0,38392	





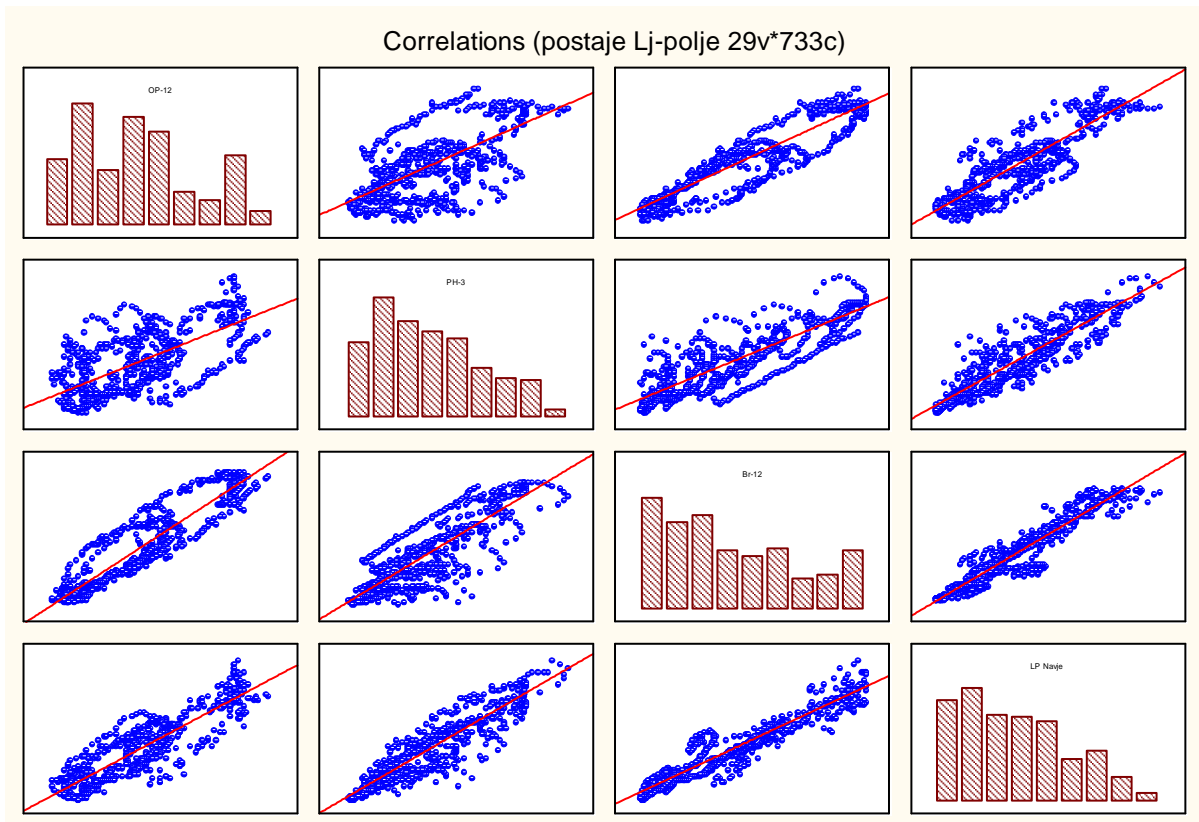
**Graf 56:** Histogrami na postajah na reki Savi ter na postajah za podzemne vode Ljubljanskega polja

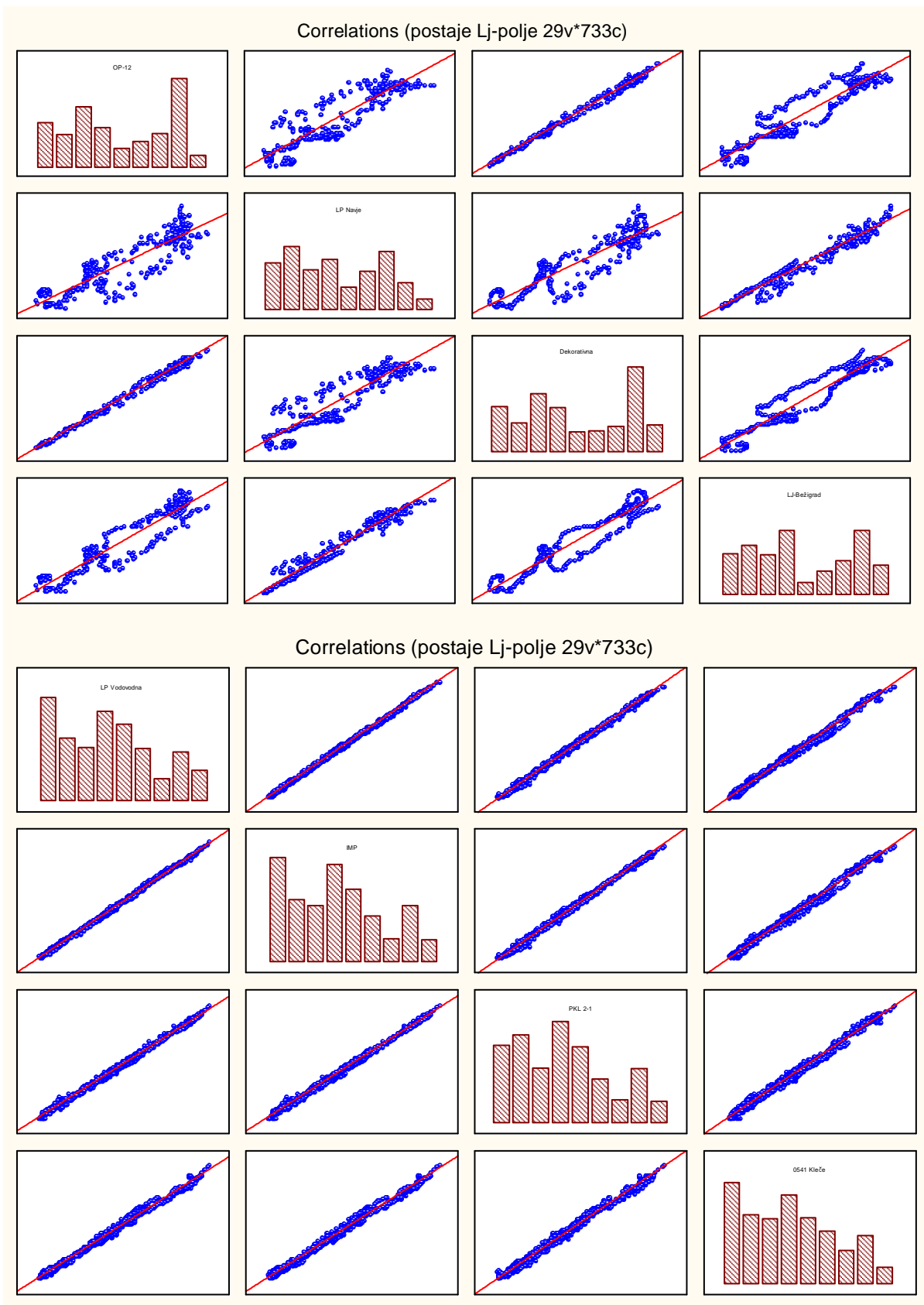
### 5.3.1.2 Korelacija gladin

Z to metodo smo ugotavljali medsebojne korelacijske odnose med posameznimi postajami. Ugotovljeno je da posamezne postaje imajo skoraj linearni odnos in da so paralelne meritve na teh postajah nepotrebne. Nekatere postaje zaradi vpliva črpanje in variacije črpanja imajo bolj zapleten korelacijski odnos od pričakovanega. Na nekaterih drugih postajah pa so vidni vplivi različnega dotoka vode kot je primerjava postaj na območju dotoka iz Dravelj z postajami na osrednjem delu polja (OP-12 in PH-3), ali primerjava postaj na območju toka skozi Ljubljanska vrata in postajami na območju Dravelj (LP Navje in OP-12). Korelacijski odnosi med posameznimi postajami (preglednice 5) kažejo na visok ali nizek korelacijski odnos med postajami, tako da je po teh podatkih možno sklepati o smiselnosti opazovanja na posamični lokaciji ter njihovem obsegu ali frekvenci. Razlago teh pojavov najdemo na podlagi analiz izmerjenih parametrov v poglavju 2 i 3 diplomske naloge.

**Preglednica 5: Medsebojni korelacijski faktorji obravnavanih postaj Ljubljanskega polja**

Correlations (postaje Lj-polje)		Marked correlations are significant at $p < .05000$																									
N=305 (Casewise deletion of missing data)																											
Variable	OP-12	Vodovod	LP Roje	PH-3	Br-12	Br-11	LP Stozice	LP Ježica	PT-1-03	LP Navje	IMP	Bauhaus	PKL 2-1	Iekorativn	V-1 Zalog	V-1 Roje	LI-Bežigrad	Flajšmanov	041 Hrastje	0541 Kšebe	AMP Hrastje	Bratislavs	Sava-St. Jakob	Sava-Medno	JJA-4	P Zadobrov	
Petrol	0,99	1,00	0,97	0,76	0,96	0,98	0,99	0,97	0,77	0,92	1,00	0,79	1,00	1,00	0,74	0,38	0,96	0,90	0,75	1,00	0,58	0,80	0,28	0,29	0,52	0,64	
BSC0103	1,00	1,00	0,97	0,75	0,96	0,98	0,99	0,97	0,76	0,91	1,00	0,79	1,00	1,00	0,74	0,38	0,96	0,90	0,74	1,00	0,57	0,79	0,29	0,30	0,52	0,63	
OP-12	1,00	0,99	0,95	0,71	0,94	0,96	0,98	0,95	0,72	0,89	0,99	0,74	0,99	1,00	0,70	0,34	0,94	0,87	0,69	0,99	0,51	0,75	0,26	0,27	0,48	0,59	
LP Vodovodna	0,99	1,00	0,98	0,77	0,96	0,98	1,00	0,98	0,78	0,93	1,00	0,81	1,00	1,00	0,76	0,40	0,97	0,91	0,76	1,00	0,60	0,81	0,30	0,31	0,54	0,66	
LP Roje	0,95	0,98	1,00	0,87	0,98	0,99	0,99	1,00	0,88	0,95	0,98	0,89	0,98	0,97	0,86	0,52	0,99	0,96	0,86	0,97	0,73	0,90	0,39	0,39	0,66	0,78	
PH-3	0,71	0,77	0,87	1,00	0,85	0,83	0,82	0,88	0,98	0,91	0,77	1,00	0,78	1,00	0,74	0,37	0,89	0,96	0,89	0,96	0,77	0,94	0,99	0,58	0,57	0,86	0,96
Br-12	0,94	0,96	0,98	0,85	1,00	1,00	0,97	0,98	0,86	0,92	0,97	0,87	0,97	0,96	0,87	0,51	0,97	0,94	0,85	0,96	0,69	0,87	0,39	0,39	0,64	0,77	
Br-11	0,96	0,98	0,99	0,83	1,00	1,00	0,98	0,99	0,84	0,93	0,98	0,85	0,98	0,97	0,83	0,48	0,97	0,93	0,82	0,98	0,66	0,85	0,37	0,37	0,61	0,73	
LP Stozice	0,98	1,00	0,99	0,82	0,97	0,98	1,00	0,99	0,83	0,95	0,99	0,86	0,99	0,99	0,81	0,46	0,98	0,94	0,81	0,99	0,66	0,86	0,35	0,35	0,60	0,72	
LP Ježica	0,95	0,98	1,00	0,88	0,98	0,99	0,99	1,00	0,88	0,96	0,98	0,90	0,98	0,97	0,86	0,56	0,99	0,97	0,87	0,97	0,74	0,91	0,43	0,43	0,69	0,79	
PT-1-03	0,72	0,78	0,88	1,00	0,86	0,84	0,83	0,88	1,00	0,92	0,78	0,98	0,79	1,00	0,75	0,37	0,89	0,95	0,98	0,78	0,91	0,98	0,54	0,52	0,81	0,94	
LP Navje	0,89	0,93	0,95	0,91	0,92	0,93	0,95	0,96	0,92	1,00	0,92	0,93	0,93	0,91	0,88	0,53	0,98	0,98	0,90	0,92	0,80	0,94	0,39	0,39	0,66	0,79	
IMP	0,99	1,00	0,98	0,77	0,97	0,98	0,99	0,98	0,78	0,92	1,00	0,81	1,00	1,00	0,77	0,40	0,97	0,91	0,76	1,00	0,59	0,81	0,30	0,31	0,54	0,66	
Bauhaus	0,74	0,81	0,89	1,00	0,87	0,85	0,86	0,90	0,98	0,93	0,81	1,00	0,81	1,00	0,78	0,37	0,92	0,97	0,99	0,80	0,93	1,00	0,55	0,53	0,83	0,94	
PKL 2-1	0,99	1,00	0,98	0,78	0,97	0,98	0,99	0,98	0,79	0,93	1,00	0,81	1,00	1,00	0,77	0,41	0,97	0,91	0,76	1,00	0,60	0,81	0,31	0,32	0,54	0,66	
Dekorativna	1,00	1,00	0,97	0,74	0,96	0,97	0,99	0,97	0,75	0,91	1,00	0,78	1,00	1,00	0,74	0,37	0,96	0,89	0,73	1,00	0,56	0,78	0,28	0,29	0,51	0,62	
V-1 Zalog	0,70	0,76	0,86	0,97	0,87	0,83	0,81	0,86	0,97	0,88	0,77	0,97	0,77	1,00	0,68	0,88	0,88	0,94	0,97	0,76	0,88	0,97	0,52	0,50	0,80	0,94	
V-1 Roje	0,34	0,40	0,52	0,75	0,51	0,48	0,46	0,56	0,89	0,53	0,40	0,71	0,41	0,37	0,68	1,00	0,51	0,61	0,75	0,39	0,80	0,71	0,95	0,93	0,95	0,81	
LI-Bežigrad	0,94	0,97	0,99	0,89	0,97	0,97	0,98	0,99	0,89	0,98	0,97	0,92	0,97	0,96	0,88	0,51	1,00	0,98	0,88	0,97	0,75	0,92	0,38	0,38	0,65	0,79	
LI-Flajšmanova	0,87	0,91	0,96	0,86	0,94	0,93	0,94	0,97	0,95	0,98	0,91	0,97	0,91	0,89	0,94	0,61	0,98	1,00	0,95	0,91	0,85	0,98	0,46	0,46	0,74	0,87	
041 Hrastje	0,69	0,76	0,86	1,00	0,85	0,82	0,81	0,87	0,98	0,90	0,76	0,98	0,76	0,73	0,97	0,75	0,88	0,95	1,00	0,75	0,94	0,99	0,59	0,59	0,86	0,96	
0541 Kšebe	0,99	1,00	0,97	0,77	0,96	0,98	0,99	0,97	0,78	0,92	1,00	0,80	1,00	1,00	0,76	0,39	0,97	0,91	0,75	1,00	0,59	0,80	0,29	0,30	0,53	0,65	
AMP Hrastje	0,51	0,60	0,73	0,94	0,69	0,66	0,66	0,74	0,91	0,80	0,59	0,93	0,80	0,56	0,88	0,80	0,75	0,85	0,94	0,59	1,00	0,93	0,63	0,61	0,86	0,92	
LI-Bratislavska	0,75	0,81	0,90	0,99	0,87	0,85	0,86	0,91	0,98	0,94	0,81	1,00	0,81	0,78	0,97	0,71	0,92	0,98	0,99	0,80	0,93	1,00	0,54	0,53	0,83	0,94	
Sava-St. Jakob	0,26	0,30	0,39	0,58	0,39	0,37	0,35	0,43	0,54	0,39	0,30	0,55	0,31	0,28	0,52	0,95	0,38	0,46	0,59	0,29	0,63	0,54	1,00	1,00	0,83	0,64	
Sava-Medno	0,27	0,31	0,39	0,57	0,39	0,37	0,35	0,43	0,52	0,39	0,31	0,53	0,32	0,29	0,50	0,93	0,38	0,45	0,57	0,30	0,61	0,53	1,00	1,00	0,81	0,62	
JJA-4	0,48	0,54	0,66	0,86	0,64	0,61	0,60	0,69	0,81	0,66	0,54	0,83	0,54	0,51	0,80	0,95	0,65	0,74	0,86	0,53	0,86	0,83	0,83	0,81	1,00	0,91	
LP Zadobrova	0,59	0,66	0,78	0,96	0,77	0,73	0,72	0,79	0,94	0,79	0,66	0,94	0,66	0,62	0,94	0,81	0,79	0,87	0,96	0,65	0,92	0,94	0,64	0,62	0,91	1,00	



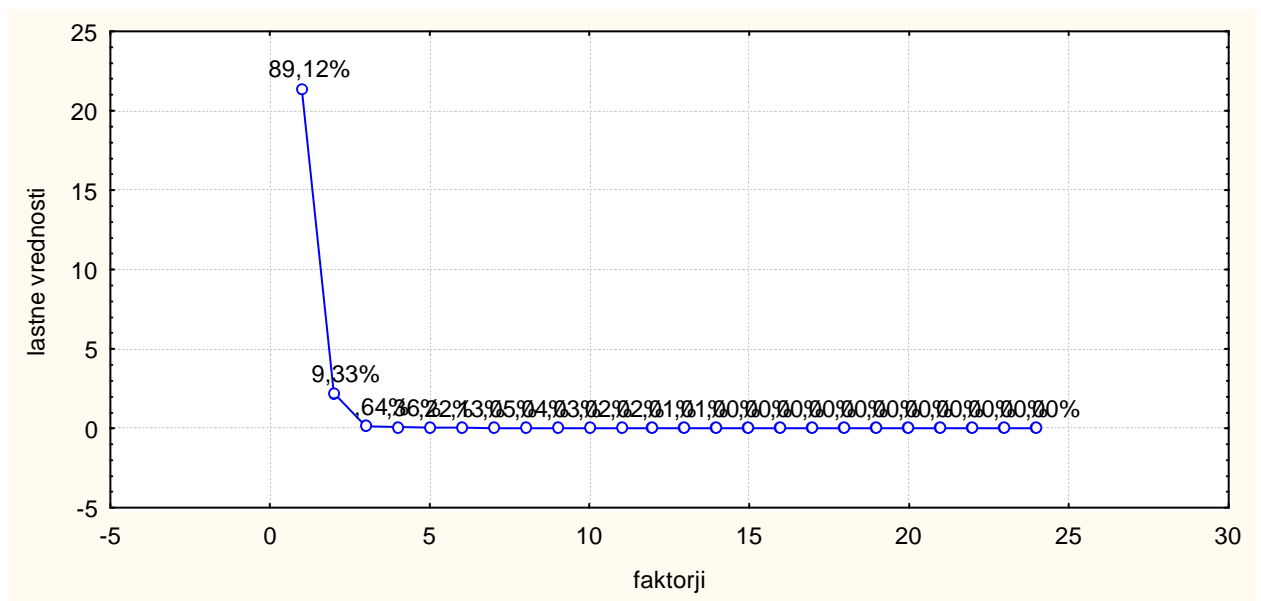


**Graf 57:** Primerjava opazovanih vrednosti gladin PodV na postajah Ljubljanskega polja



### 5.3.1.3 Faktorska analiza gladin

Z faktorsko analizo smo skušali ugotoviti in razmejiti vplivna območja posameznih postaj, toda kljub temu da smo z metodo izločanja in logaritmiranja podatkov poskušali dobiti vsaj dva razreda nam to ni uspelo. V prvi faktor se je uvrstilo 89,12% postaj kar kaže na homogenost ali enakovrednost vpliva na gladine na postajah za podzemne vode.



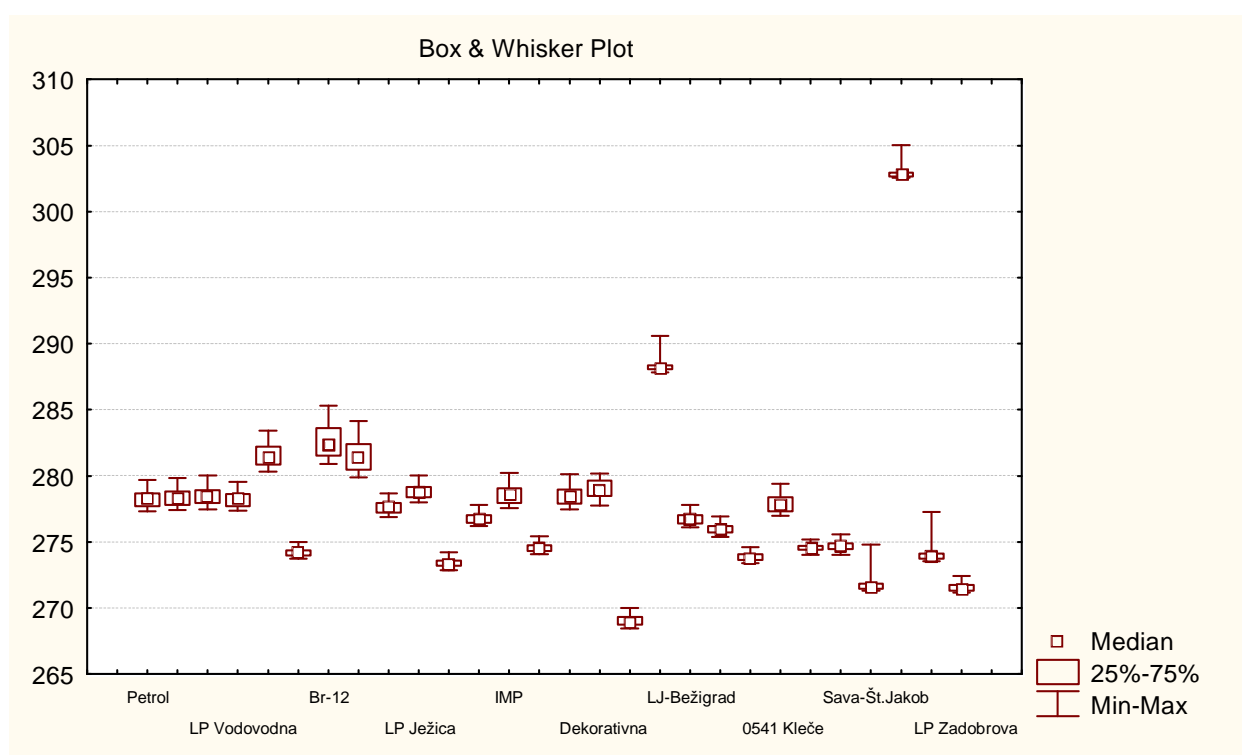
Graf 58: Diagram lastnih vrednosti faktorjske analize gladin na postajah za PodV

Preglednica 6: Tabela rezultatov faktorjske analize gladin na postajah za PodV

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9
Petrol	-0,951540	0,304947	-0,027628	-0,016576	-0,009099	0,000112	0,009472	0,006917	0,0
BSC0103	-0,949007	0,313025	-0,010936	-0,018624	-0,019846	-0,000812	0,007718	0,013691	0,0
OP-12	-0,923962	0,373984	-0,005200	-0,004744	-0,049483	-0,019546	-0,012284	0,045421	-0,0
LP Vedvodna	-0,959425	0,279791	-0,019893	-0,011840	-0,014448	0,001991	0,012832	0,002345	0,0
LP Roje	-0,990931	0,098401	0,032360	-0,045019	0,033965	-0,006526	-0,003305	-0,041294	-0,0
PH-3	-0,919569	-0,397674	-0,001556	0,002950	-0,031420	0,018327	-0,000787	-0,015529	-0,0
Br-12	-0,975301	0,112183	0,158644	0,014628	0,100490	0,021383	-0,015866	-0,006272	0,0
Br-11	-0,974083	0,171179	0,112814	-0,010911	0,091233	0,011108	-0,007718	-0,011060	-0,0
LP Stožice	-0,978296	0,196016	-0,027650	-0,035548	-0,026082	0,005724	0,013753	-0,014040	0,0
LP Ježica	-0,993621	0,062919	0,019036	-0,062567	0,003112	-0,002890	0,005323	-0,015144	0,0
PT-1-03	-0,920274	-0,352959	0,009477	0,076281	0,036144	-0,135626	0,050652	-0,000694	0,0
LP Navje	-0,974808	-0,035250	-0,170618	0,100607	0,027133	-0,040376	-0,081790	-0,009039	0,0
IMP	-0,958939	0,282907	0,007413	-0,008529	0,004107	0,002449	0,007139	0,005480	-0,0
Bauhaus	-0,939292	-0,335628	-0,050411	0,012894	-0,026017	0,027834	0,013031	-0,011090	0,0
PKL 2-1	-0,960098	0,276712	-0,008863	-0,004343	0,011153	-0,017914	-0,010520	0,014809	-0,0
Bakoravna	-0,945455	0,324370	-0,005525	-0,008952	-0,019432	-0,000148	0,008878	0,012474	-0,0
V-1 Zalog	-0,905388	-0,364054	0,139804	0,153109	0,007928	0,051722	0,009861	0,035922	0,0
LJ-Bežigrad	-0,994430	0,054748	-0,054371	0,047871	-0,023596	0,034471	0,006972	-0,010633	0,0
LJ-Flajšmanova	-0,987295	-0,122799	-0,061652	0,046794	-0,047246	0,052963	0,016272	-0,005033	0,0
D341 Hrastje	-0,912196	-0,401956	0,014187	0,005257	-0,017325	0,011770	-0,005616	-0,006003	-0,0
D541 Rabe	-0,954809	0,291473	-0,008132	-0,007340	-0,012953	-0,004897	0,004705	-0,008541	-0,0
akP Hrastje	-0,787156	-0,569173	-0,151236	-0,139345	0,108378	0,021572	0,008016	0,037708	0,0
LJ-Bratislavška	-0,940671	-0,330511	-0,053014	0,003118	-0,030423	0,027093	0,009625	-0,015462	0,0
LP Zadobrova	-0,831161	-0,502894	0,167311	-0,120881	-0,096810	-0,044436	-0,040406	0,007704	0,0

### 5.3.1.4 Pregled amplitud in tendenc sredine ter položajev merilnih mest

Z škatlastim diagramom smo ugotovili, da se srednje vrednosti, mediane in percentili večine postaj, nahajajo v spodnjem delu razpona minimuma in maksimuma kar kaže na hitrost odziva vodonosnika na vpliv visokih voda. Ugotovili smo tudi, da je položaj večine obravnavanih postaj kljub temu da smo jih izbrali tudi glede na lokacijo, stacioniran na območju srednjih merjenj med 274 in 279 hidroizohipso, kar je v naravi na območju črpališč. To kaže na preveliko koncentracijo merilnih mest na teh območju in premalo merilnih mest na drugih vplivnih območjih črpališč.

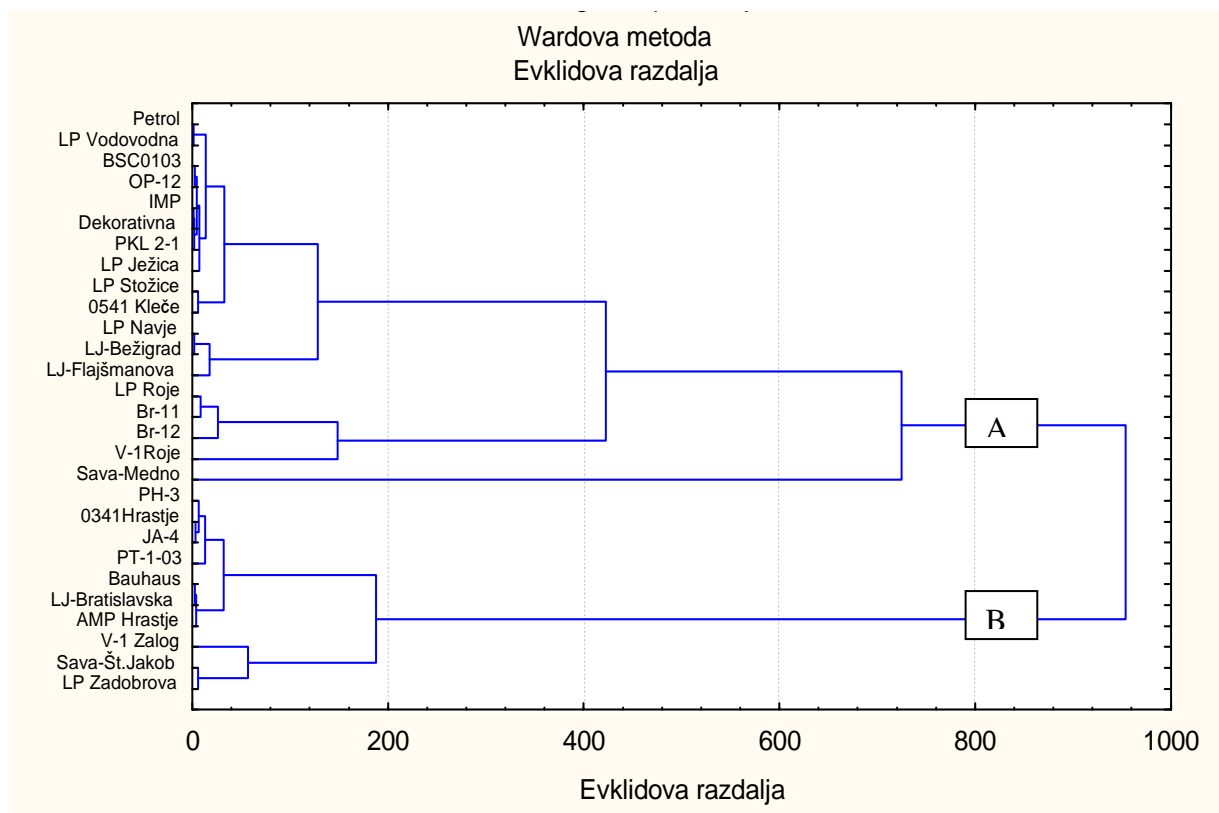


**Graf 59:** Škatlasti diagram ki nam pokaže položaj izmerjenih karakterističnih vrednosti gladin na postajah Ljubljanskega polja.

### 5.3.1.5 Klusterska analiza gladin

S klustersko analizo ki omogoča organizacijo podatkovne baze v smiselne strukture smo z upoštevanjem Wardove metode in Evklidove razdalje dobili dendrogram gladin (graf 60). Postaje so razvrščene v dve skupini. Prva skupina (A) predstavlja postaje, ki so povezane na zgornji del vodonosnika, s postajo na reki Savi VP Medno in postajami na podzemnih vodah v Klečah. Drugo skupino (B) tvorijo postaje VP Šentjakob na reki Savi ter skupina postaj na

spodnjem delu vodonosnika okoli črpališča Hrastje. V prvi skupini sta dve podskupini, ena ki zajema vplive ki prihajajo iz območja ki je pod vplivom reke Save in padavin (V-1 Roje, LP Roje, Br-11 in Br-12) ter druga podskupina ki jo lahko razdelimo na dva dela in sicer na vplivno območje ki prihaja iz smeri Ljubljanskih vrat (Navje, Bežigrad in Flajšmanova) ter na dve podobmočji vpliva iz Draveljske smeri in osrednji del postaj stacioniranih okoli črpališča Kleče. V drugi skupini so prav tako dve podskupini. Ena podskupina je pokazatelj postaj na iztočnem delu polja ki ni več pod vplivom črpališč, druga pa je locirana okoli črpališč Hrastje in Jarški prod. Ta analiza je jasno pokazala razlike in razvrstila postaje v nekaj karakterističnih in specifičnih vplivnih con.

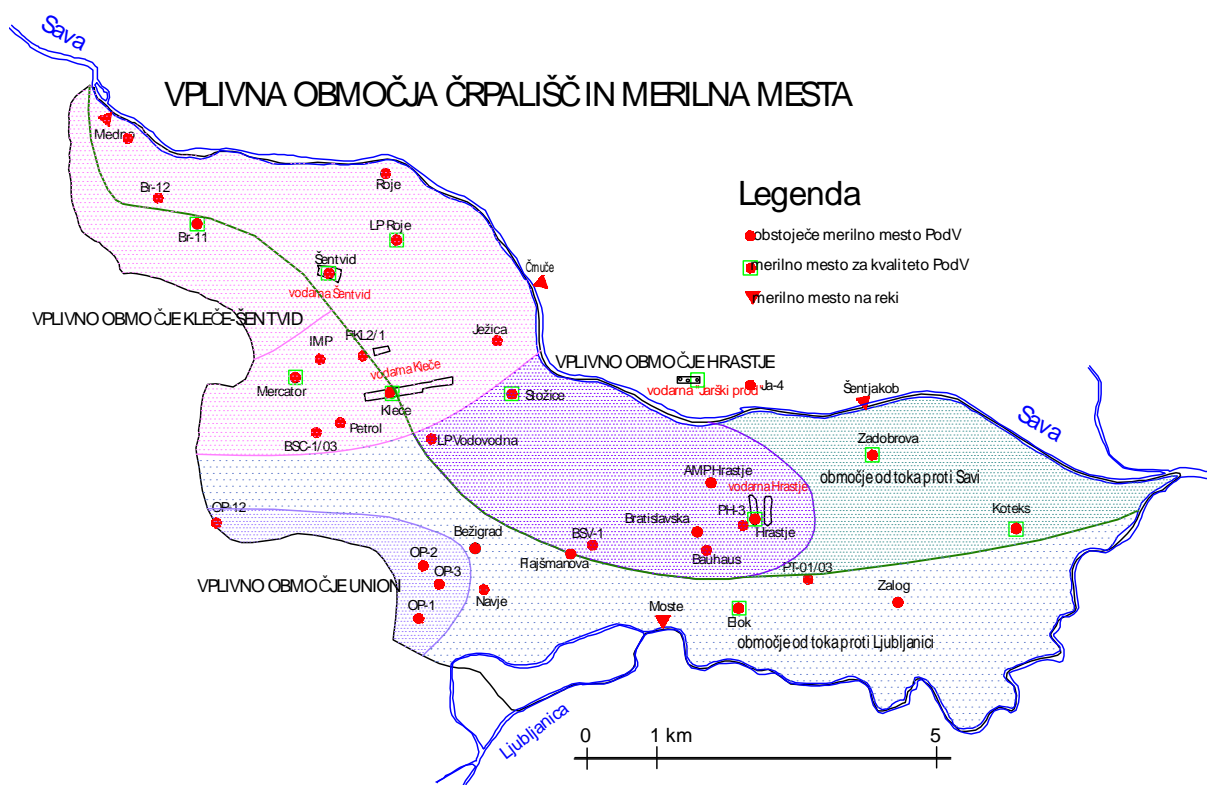


**Graf 60:** Dendrogram klusterske analize gladin podzemne vode in reke Save na območju Ljubljanskega polja

## 5.4 Predlog nove merilne mreže

### 5.4.1 Določitev vplivnih con

Na podlagi analiz meritev in položaja merilnih mest, hidroloških kart od leta 1887 do 2008, stanja merilne mreže ter na podlagi dosedanjih raziskav smo območje Ljubljanskega polja razdelili na vplivna območja večjih odjemalcev podzemne vode. Ugotovljena je koncentracija merilnih postaj na območjih lokalnih odjemalcev vode, na drugih območjih ki so prav tako zelo pomembna za določitev stanja podzemne vode, pa manjkajo merilna mesta (slika 33).

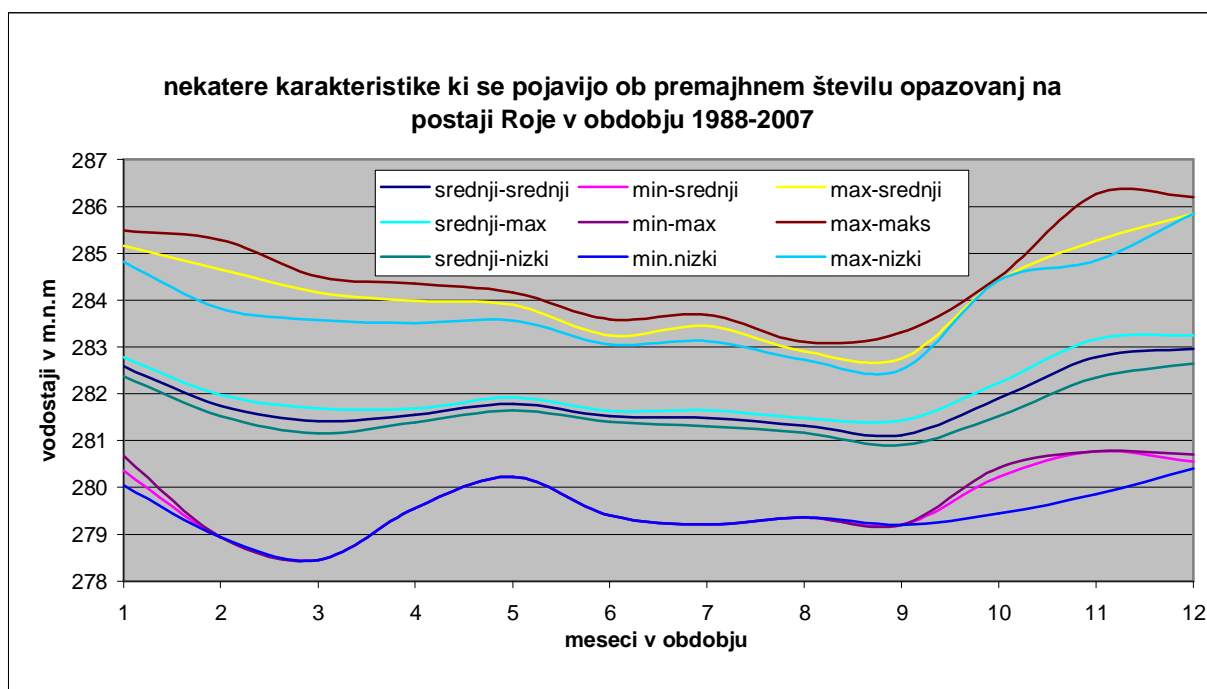


**Slika 33:** Vplivna območja večjih odvzemov (črpališč) in merilna mesta na Ljubljanskem polju. (bolj pregledna karta v prilogi A)

### 5.4.2. Gostota opazovanj

Pogostost meritev na merilni mreži je zelo pomembna iz dveh razlogov: da ne merimo nepotrebno in prepogosto ter s tem dobimo ogromno podatkov s katerimi nebi imeli kaj početi in drugi razlog je, da ne merimo premalo pogosto in bi nam pojavi v vodonosniku ostali nezabeleženi v času nastanka kar je najbolj nevarno. Zato smo pogostost meritev obdelali tako, da smo izbrali eno od postaj ki ima dvajset letni niz z različno frekvenco meritev ter skušali dobiti karakteristične vrednosti mesečnih povprečij. Dobili smo nerealno sliko stanja

nizkih vodostajev na postaji, saj so nam se vse nizke karakteristike vodostajev v določenih mesecih prekrile in sicer iz preprostega razloga ker so se v kritičnih mesecih trajanja nizkih vodostajev meritve opravljale samo 1x na mesec (graf 61 in preglednica 7).



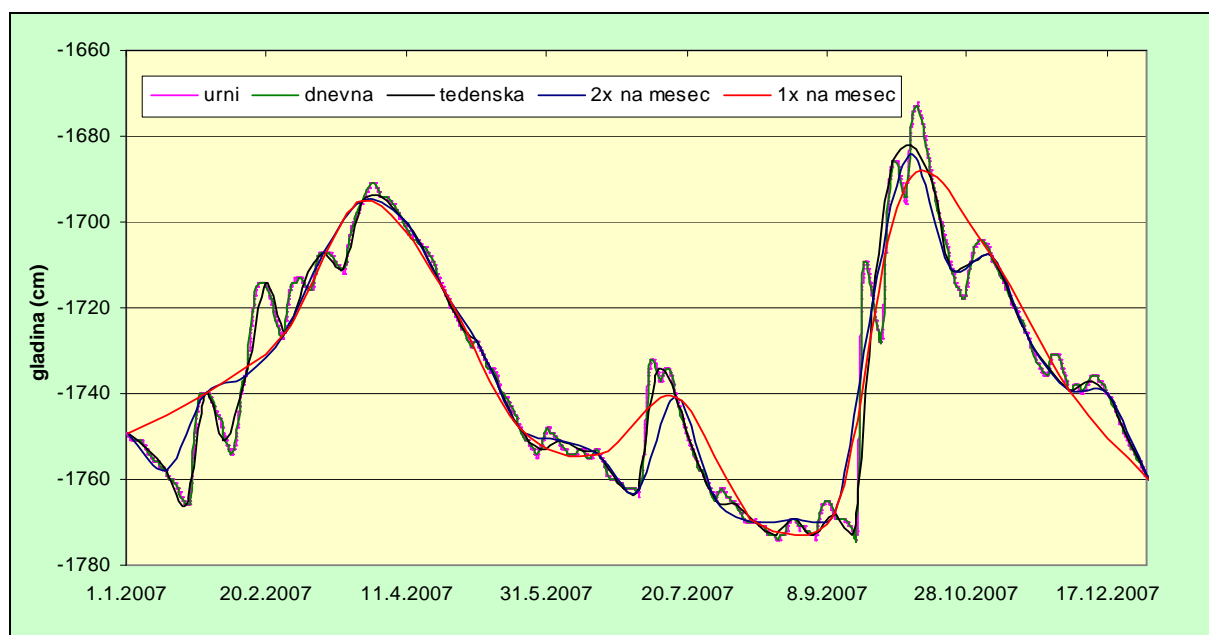
**Graf 61:** Karakteristične vrednosti gladin na postaji LP Roje v obdobju 1988-2007 (Vir podatkov: JP VO-KA)

**Preglednica 7:** Tabelačni pregled rezultatov analize vseh izmerjenih gladin na postaji LP Roje v obdobju meritev 1988-2007 (Vir podatkov: JP VO-KA).

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC
srednji-srednji	282,58	281,74	281,42	281,55	281,79	281,52	281,49	281,31	281,12	281,90	282,78	282,96
min-srednji	280,36	278,94	278,45	279,56	280,23	279,40	279,21	279,36	279,20	280,23	280,77	280,55
max-srednji	285,16	284,66	284,16	283,98	283,90	283,25	283,45	282,91	282,76	284,42	285,27	285,85
srednji-max	282,77	281,97	281,69	281,69	281,92	281,64	281,65	281,48	281,43	282,23	283,17	283,25
min-max	280,67	278,94	278,45	279,56	280,23	279,40	279,21	279,36	279,20	280,42	280,77	280,70
max-maks	285,48	285,29	284,50	284,35	284,16	283,59	283,69	283,11	283,31	284,49	286,26	286,20
srednji-nizki	282,37	281,52	281,15	281,39	281,64	281,40	281,30	281,16	280,90	281,53	282,34	282,64
min.nizki	280,04	278,94	278,45	279,56	280,23	279,40	279,21	279,36	279,20	279,44	279,86	280,40
max-nizki	284,81	283,82	283,58	283,51	283,56	283,06	283,13	282,72	282,52	284,42	284,84	285,85

Za določitev optimalne pogostosti meritev smo analizirali podatke meritev na dveh postajah: Roje ki je ob reki Savi in postajo Bratislavska ki je na osrednjem delu vodonosnika. Na obeh postajah so obstajale urne meritve gladin, tako da je to bilo naše izhodišče. Kot najbolj pogoste meritve smo izbrali meritve ki se danes opravljajo na različnih monitoringih: urne,

dnevne, 1x na teden, 2x na mesec in 1x na mesec. Rezultat analize (manj pogoste meritve smo izbirali naključno) je bil, da so odstopanja največja ob nastopu visoke vode na postaji ob reki Savi pri dnevni meritvi -63 cm in pri meritvah 1x na mesec -258 cm, manjša pa na postaji v notranjosti polja pri dnevni meritvi -1cm in 1x na mesec -19cm (grafa 63 in 64 in preglednice 8 in 9). Rezultat analize je razlog, da lahko rečemo, da so meritve gladin in temperatur podzemnih voda z enourno pogostostjo, zadostne za interpretacijo gibanja podzemne vode v vodonosniku .

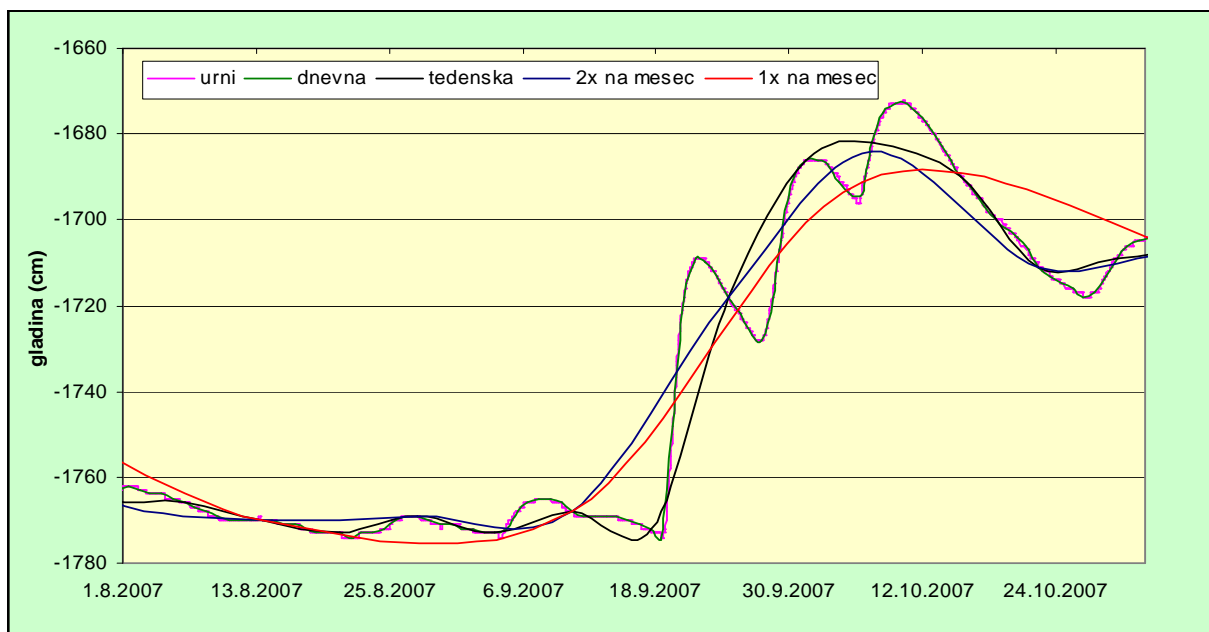


**Graf 62:** Različne pogostosti opazovanj na postaji LJ-Bratislavka v letu 2007 (Vir podatkov: ARSO)

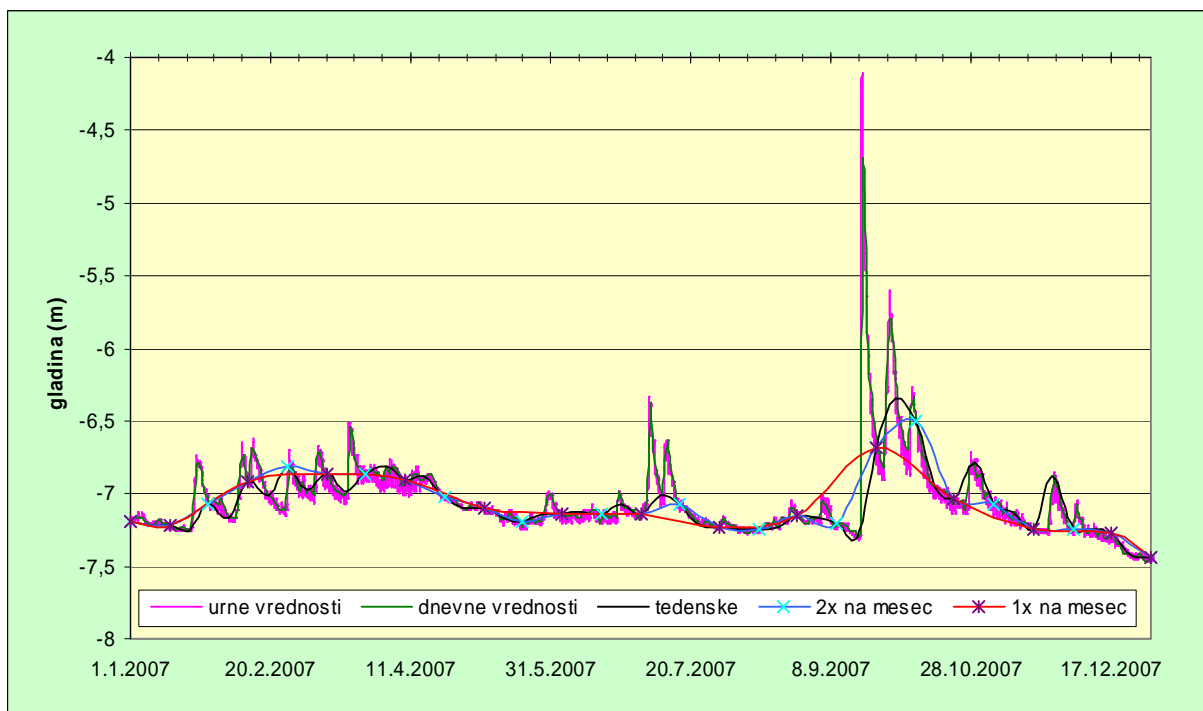
**Preglednica 8:** Vpliv pogostosti opazovanja na kvaliteto podatkov na postaji LJ-Bratislavka od 1.8-31.10.2007(Vir podatkov: ARSO)

Tabela vplivov frekvence meritev na kvaliteto pridobljenih podatkov						
frekvenca meritev	vodostaji					
	karakteristični vodostaji in odstopanje od urnih vrednosti v (cm)					
	H nizki	$\Delta H$	H srednji	$\Delta H$	H visoki	$\Delta H$
meritve na 1 uro	1774	0	1735	0	1672	0
meritve 1x na dan	1774	0	1735	0	1673	(-)1
meritve 1x tedensko	1773	(+)1	1736	(-)1	1682	(-)10
meritve 2x mesečno	1770	(+)4	1735	0	1684	(-)12
meritve 1x mesečno	1770	(+)4	1735	0	1691	(-)19

\*pri  $\Delta H$  pomeni (+) višjo (-) pa nižjo vrednost od primerjalne



**Graf 63:** Vpliv pogostosti opazovanja na kvaliteto podatkov na postaji LJ-Bratislavska od 1.8-31.10.2007(Vir podatkov: ARSO)



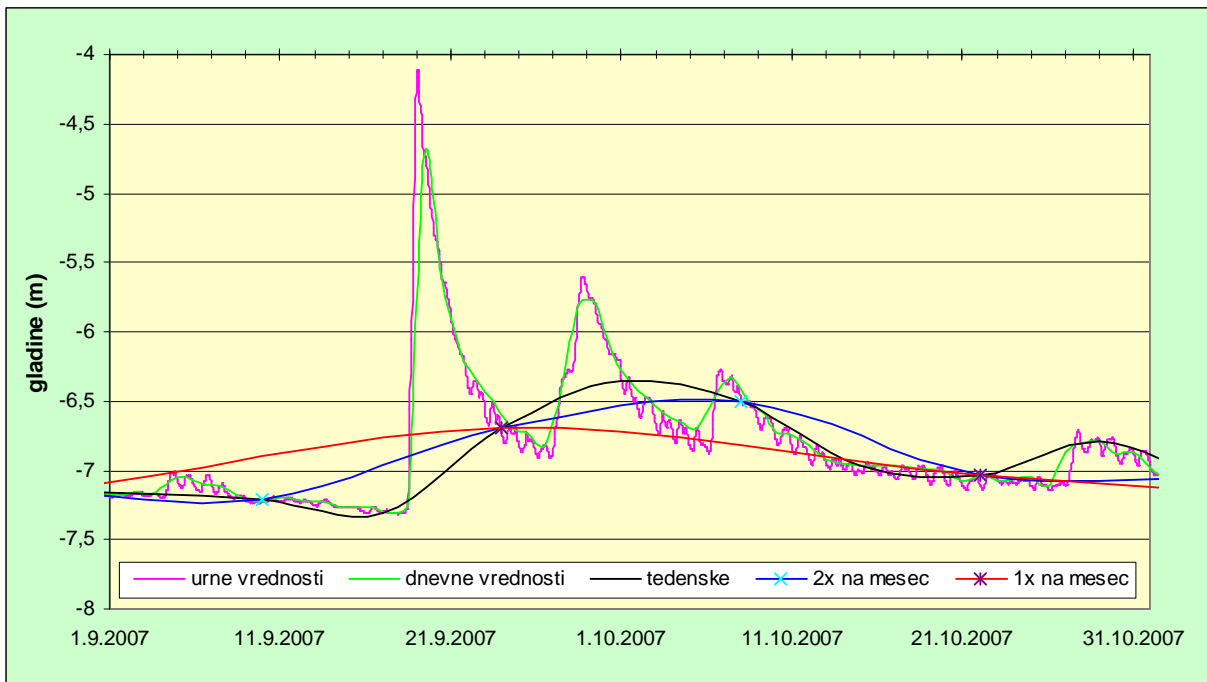
**Graf 64:** Različne pogostosti opazovanj na postaji Roje v letu 2007(Vir podatkov: ARSO)



**Preglednica 9:** Vpliv pogostosti opazovanja na kvaliteto podatkov na postaji Roje od 1.8-31.10.2007(Vir podatkov: ARSO)

Tabela vplivov frekvence meritev na kvaliteto pridobljenih podatkov						
frekvenca meritev	v vodostaji					
	H nizki	$\Delta H$	H srednji	$\Delta H$	H visoki	$\Delta H$
meritve na 1 uro	747	0	705	0	411	0
meritve 1x na dan	746	(+)1	704	(+)1	474	(-)63
meritve 1x tedensko	744	(+)3	707	(-)2	635	(-)224
meritve 2x mesečno	744	(+)3	708	(-)3	650	(-)239
meritve 1x mesečno	744	(+)3	710	(-)5	669	(-)258

\*pri  $\Delta H$  pomeni (+) višjo (-) pa nižjo vrednost od primerjalne



**Graf 65:** Vpliv pogostosti opazovanja na kvaliteto podatkov na postaji Roje od 1.8-31.10.2007(Vir podatkov: ARSO)

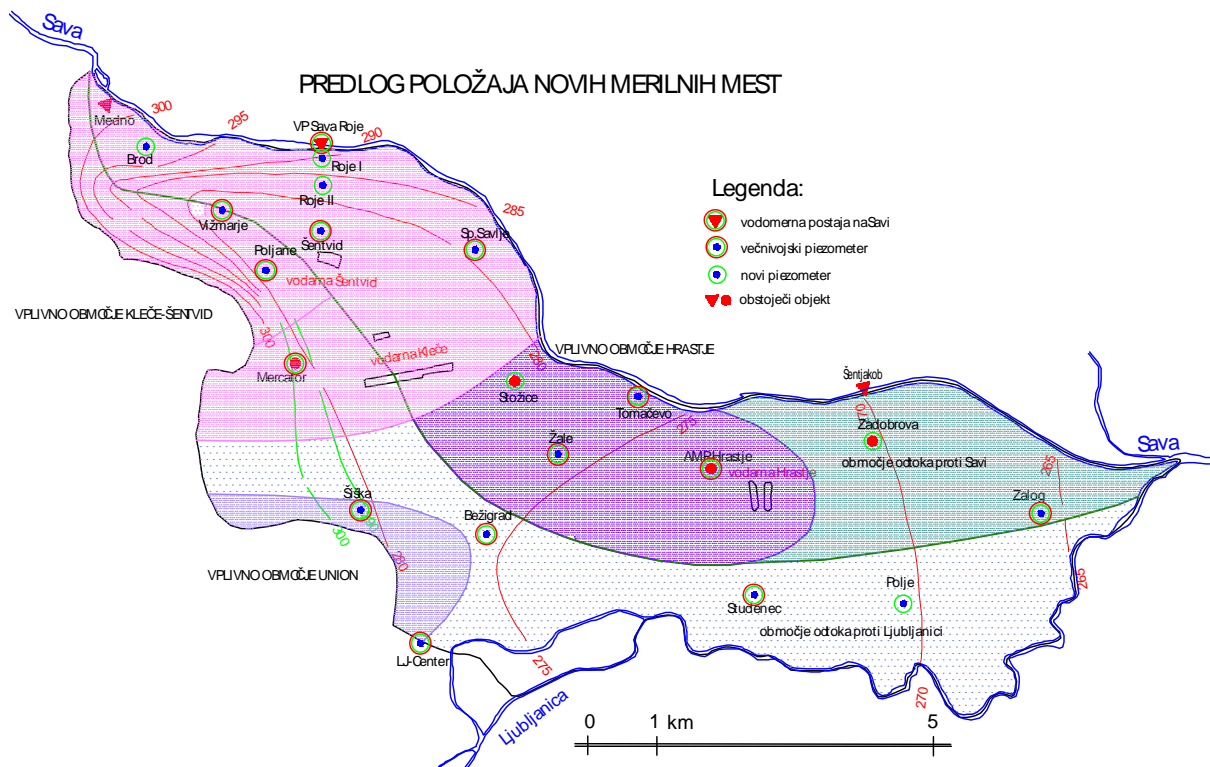
### 5.4.3 Položaj nove merilne mreže

Nova merilna mreža izhaja iz potreb po celovitem in kakovostnem ugotavljanju stanja podzemne vode na območju zajema pitne vode za prestolnico Slovenije. Pritiski na vodonosnik so veliki, zato predlagamo tako merilno mrežo, da bi s pridobljenimi podatki s teh

postaj, generalno in ne lokalno podala pregled količinskega in kakovostnega stanje podzemnih voda na Ljubljanskem polju.

Položaj novih merilnih mest so določeni na podlagi potreb ki smo jih ugotovili pri analizi in interpretaciji podatkov na obstoječi merilni mreži. Določili smo jo tako, da smo upoštevali: pritiske na vodonosnik, smeri gibanja podzemne vode osnovnega horizonta, vplive zaledja in drugih dotokov, odvzemov črpališč pitne vode in industrijskih črpališč ter antropogenih vplivov kmetijstva, industrije, urbanizacije. Pri določitvi mreže smo prav tako upoštevali potrebe po spremljanju in določitvi vplivov bodočih hidroenergetskih objektov na Savi. Pri določitvi položaja merilnih mest smo ponekod izbrali trikotno, drugje kvadratno mrežo pa tudi potrebo po profilni mreži, ki smo jo predvideli na območju največjega zatekanja reke Save v vodonosnik v Rojah, ter profil na osrednjem delu polja s katerim bi bilo možno spremljati količine toka skozi Ljubljansko polje.

Predlog merilne mreže postaj za spremljanje režima podzemnih voda Ljubljanskega polja vsebuje: Postajo na reki Savi v Rojah, 11 večnivojskih piezometrov na lokacijah Vižmarje, Poljane, Šentvid, Šiška, Sp.Savlje, Tomačevo, Žale, Bežigrad, Studenec, Zalog in LJ-Center, ter 4- enonivojske piezometre na lokacijah Brod, Roje I, Roje II in Polje (slika 34). Vrtine morajo biti izdelane po standardih in predpisih, da se lahko uporabljajo v namen določitve režima, količinskega in kakovostnega stanja podzemnih voda. Predhodno je za vsako predlagano lokacijo potrebno določiti mikrolokacijo, pridobiti zemljišče, izdelati rudarski projekt, ter pridobiti vsa potrebna dovoljenja. V primeru pomanjkanja finančnih sredstev bi na lokacijah Zalog in Poljane namesto večnivojskih piezometrov izvedli enonivojska piezometra. Obstoječa piezometra na postajah Zadobrova in Stožice obnoviti, ali če se ugotovi da nista tehnično primerna jih nadomestiti z novima na istih lokacijah. Večino obstoječe mreže vodnjakov in piezometrov bi obdržali v sekundarni mreži lokalnega spremljanja režima podzemne vode Ljubljanskega polja, nekatere postaje pa bi lahko opustili in uporabljali samo ob simultanih izmerah vodonosnika.



**Slika 34:** Predlog položaja nove merilne mreže na podzemnih in površinskih vodah (bolj pregledna karta v prilogi D)

**Preglednica 10:** Tabelečni prikaz položaja novih merilnih mest postaj za spremljanje režima podzemnih voda Ljubljanskega polja

Zap.št.	Ime postaje	Izvedba	Koordinate		Zap.št.	Ime postaje	Izvedba	Koordinate	
			x	y				x	y
1	Sava Roje	VP	460240	108054	9	Bežigrad	VN	462640	102510
2	Vižmarje	VN	458799	107190	10	Studenec	VN	466492	101635
3	Poljane	VN	459435	106323	11	Zalog	VN	470636	102809
4	Šentvid	VN	460223	106895	12	LJ-Center	VN	461667	100933
5	Šiška	VN	460800	102858	13	Brod	N	457698	108112
6	Sp. Savlje	VN	462456	106622	14	Roje I	N	460245	107940
7	Tomačevo	VN	464810	104502	15	Roje II	N	460250	107550
8	Žale	VN	463652	103667	16	Polje	N	468648	101507

**Legenda:** VP- vodomerna postaja, VN- večnivojski piezometri, N- nivojski piezometer do podlage

## 6 ZAKLJUČEK

Analiza podatkov in meritev ter narejene študijske raziskave v preteklosti so nam omogočili razumeti problematiko dogajanja v vodonosniku zaradi naravnih in antropogenih vplivov. Reka Sava napaja vodonosnik Ljubljanskega polja na odsekih s prepustno in nezablateno strugo ter tako prispeva okoli 70 % dinamičnih zalog podzemne vode. Infiltracija iz reke zelo vpliva na napajanje vodonosnika, zato je treba poleg skrbi za preprečitev poglabljanje dna struge, posvetiti več pozornosti ohranjanju visokih pretokov, ki očistijo brežine in močno zatekajo v vodonosnik ter ga bogatijo z novimi zalogami vode. Trendi visokih vodostajev na Savi in na podzemnih vodah so namreč v zadnjih letih upadajoči. Padavine v spomladanskem in jesenskem obdobju učinkujejo bolj na režim podzemnih voda Ljubljanskega polja, kot pa padavine v fazi velike vegetacije in v poletnih mesecih.

Z meritvami smo ugotovili, da na podzemne vode močno vplivajo dotoki viseče podtalnice na zahodnem delu vodonosnika, tako količinsko kakor tudi kakovostno. Zato je za ta del vodonosnika potrebno zagotoviti dodatne lokalne meritve in raziskave.

Glede na ugotovljene vplive bi bilo smotrno cono I vodovarstvenega pasu v Klečah razširiti na zahod proti industrijski coni, v Jarškem Produ pa prav tako zahodno od črpališča proti avtocesti.

Predlog optimizirane mreže bo zadostil potrebam določitve količinskega in kakovostnega stanja podzemne vode. Za lokalne zahteve poznavanja vodonosnika je potrebno izvršiti popis vseh odjemalcev vode na območju Ljubljanskega polja, se dogovoriti o načinu, obsegu in obliki meritev, predvsem pa naj se vsi izmerjeni podatki zbirajo na enem mestu, v primerni obliki in naj so dostopni vsem uporabnikom. V ta namen bi bilo potrebno poenotiti merilno mrežo, nepotrebne postaje opustiti, na mestih kjer so potrebne pa zgraditi nove.

Podzemna voda Ljubljanskega polja je sedaj kakovostno dobra, in količinsko jo je dovolj za vse uporabnike, skrb za njeno dobro količinsko in kakovostno stanje pa ostaja stalna naloga.

Z analizami in obdelavami podatkov ter razlagami dogodkov iz preteklosti, smo evidentirali probleme, ki nas čakajo v prihodnosti.

## VIRI

Agencija Republike Slovenije za okolje, 2008, Ministrstvo za okolje in prostor, arhivsko gradivo, Ljubljana.

Bat, M. 1996. Rečni režim: Enciklopedija Slovenije: 10, Pt – Savn. Ljubljana: Mladinska knjiga, str. 132.

Bračič-Železnik, B. 2002a. Kje so meje rabe prostora in izkoriščanja podtalnice vodonosnika Ljubljanskega polja in barja. Zaščita vodnih virov in vizija oskrbe s pitno vodo v Ljubljani: Zbornik. Ljubljana. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko in Javno podjetje Vodovod-kanalizacija, str: 117-127.

Bračič-Železnik, B. 2002b. 110 let javne oskrbe s pitno vodo–izkoriščanje in zaščita podtalnice Ljubljanskega polja. Zaščita vodnih virov in vizija oskrbe s pitno vodo v Ljubljani: Zbornik. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko in Javno podjetje Vodovod-kanalizacija, str: 175-187.

Bračič-Železnik, B. in Prestor, J. 2002. Izviri Ljubljanskega polja in Barja, pomembni za količinsko in kakovostno stanje telesa podzemne vode. Ljubljana, Geologija 45/2, str: 319-324.

Brečko, V. 1996. Podtalnica Ljubljanskega polja. Ljubljana, Geografski vestnik 68, str: 203-212,

Brečko, V. 1998a. Pokrajinske značilnosti območij virov pitne vode v jugovzhodni Ljubljanski kotlini. Ljubljana, Geografski vestnik 70 str: 27-43

Brečko, V. 1998b. Ogroženost virov pitne vode za oskrbo Ljubljane. Ujma, 12. Uprava RS za zaščito in reševanje, Ministrstvo za obrambo, Ljubljana, str: 88-91.

Brenčič, M., Kranjc, S., Prestor, J. 2005, Pitna voda v Sloveniji - možnosti pridobivanja novih količin. Ljubljana

Breznik, M. 1990. Ogroženost podtalnice. Ljubljana, Republiški štab za civilno zaščito in Republiški sekretariat za ljudsko obrambo. Ujma 4, str: 111-116.

Breznik, M. 1969. Podtalnica Ljubljanskega polja in možnosti njenega povečanega izkoriščanja. Ground water of the Ljubljana polje and possibilities of increasing its exploitation. Geologija 12, str: 165-184

Breznik, M. 1976. Gospodarjenje s podtalnico Ljubljanskega polja. Ljubljana:RSS

Brilly, M. 2002. Varnost vodnih virov za oskrbo z vodo mesta Ljubljane. Zaščita vodnih virov in vizija oskrbe s pitno vodo v Ljubljani: zbornik. Ljubljana : Fakulteta za gradbeništvo in

geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko in Javno podjetje Vodovod-kanalizacija, str: 127-137.

Brilly, M., Jamnik, B. 2002. Zaščita podtalnice Ljubljanskega polja. Zaščita vodnih virov in vizija oskrbe s pitno vodo v Ljubljani: zbornik. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, in Javno podjetje Vodovod-kanalizacija, str: 163-174.

Brnot, M. 2000. Odvisnost kakovosti podtalnice od njene dinamične izdatnosti in globine. Ljubljana, Geografski vestnik 72- 2. Zveza geografskih društev Slovenije str: 23-31.

Frantar, P., Hrvatin, M. 2005. Pretočni režimi v Sloveniji med letoma 1971 in 2000. Geografski vestnik, 77-2. Zveza geografskih društev Slovenije. Ljubljana, str. 115-127.

Gams, I. 1992. Ljubljanska kotlina. Enciklopedija Slovenije, 6, Krek – Marij. Ljubljana: Mladinska knjiga, str: 255-256 in str. 266.

Gams, I. 1995. Pokrajina. Enciklopedija Slovenije, 9, Plo – Ps. Ljubljana: Mladinska knjiga, str. 57.

Geodetska uprava Republike Slovenije (GURS). 2007. Državna topografska karta (DTK) v merilu 1: 25000. Ljubljana.

Jamnik, B. in Urbanc, J. 2000. Izvor in kakovost podzemne vode Ljubljanskega polja - Origin and quality of groundwater from Ljubljansko polje. RMZ - Materials and geoenvironment, 47-2. Ljubljana, str: 167-178.

Jamnik, B. 2002a. Oskrba s pitno vodo v Ljubljani – kako naprej?. Zaščita vodnih virov in vizija oskrbe s pitno vodo v Ljubljani: zbornik. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko in Javno podjetje Vodovod-kanalizacija, Ljubljana, str: 139-150.

Jamnik, B. 2002b. Javna oskrba mesta Ljubljane s pitno vodo včeraj, danes in jutri. Zaščita vodnih virov in vizija oskrbe s pitno vodo v Ljubljani: zbornik. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko in Javno podjetje Vodovod-kanalizacija, Ljubljana, str: 189-196.

Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija. 2008. Podatki o vodostajih in temperaturah za leti 2006 in 2007. Ljubljana.

Javno podjetje Vodovod-Kanalizacija. 2008. Ljubljana, arhivsko gradivo.

Kranjc, M. in Kolenc, A. 2002. Kemijsko stanje in ogroženost podtalnice Ljubljanskega polja. Zaščita vodnih virov in vizija oskrbe s pitno vodo v Ljubljani: zbornik. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko, in Javno podjetje Vodovod-kanalizacija, str: 51-57

Geološki zavod Ljubljana. 1966.Ljubljansko polje, Geoelektrično sondiranje, Ljubljana, str.25

Mikoš, M. Izrazje na področju erozijskih pojavov, Gradbeni vestnik, Ljubljana 49 znanstveni članek UDK 551.311.2.(038)

Mikoš, M. 1995. Soodvisnost erozijskih pojavov v prostoru, Gozdarski vestnik 53,

Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., in sod.2003. Hidrološko izrazje=Terminology in hydrology. Acta hydrotechnica 20, 32. [http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/acta/\(15.4.2004\)](http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/acta/(15.4.2004)).

Mikulič, Z. 1992. Hidrološki vidiki varovanja kakovosti podtalnic na slovenskem. Ujma, 6, Ministrstvo za obrambo, Republiški štab za civilno zaščito in Republiška uprava za zaščito in reševanje Ministrstva za obrambo. Ljubljana, str: 133-140.

Mikulič, Z.1997. Falling groundwater levels of Ljubljana aquifer, Groundwater in the urban Environment: Proceses and Management, Balkema, str: 345-348. Rotterdam.

Pristov, J. 1994. Namočenosť in evapotranspiracija v Sloveniji. Ujma, 8. Republiška uprava za zaščito in reševanje pri ministrstvu za obrambo. Ljubljana, str: 169-173.

Radinja, D. 1951. Sava na Ljubljanskem polju. Geografski vestnik, 23, Ljubljana, str: 67-84,

Rupnik, V. 1948. Hidrološka raziskava podtalnice Ljubljanskega polja.Uprava hidrometeorološke službe pri vladi LRS , Ljubljana,

Rejec Brancelj, I., Smrekar, A., Kladnik, D. in sod. 2004. Podtalnica Ljubljanskega polja. Geografija Slovenije 10. Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU. Ljubljana, str.251.

Rismal, M. 2002. Pitna voda Ljubljane potrebuje pred onesnaževanjem varnejšo zaščito. Zaščita vodnih virov in vizija oskrbe s pitno vodo v Ljubljani: zbornik. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko in Javno podjetje Vodovod-kanalizacija. Ljubljana, str: 37-50.

Sketelj, J. 1974. Razvojna pot Ljubljanskega vodovoda in statistični podatki 1890-1971. Univerza v Ljubljani-FAGG, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko, Ljubljana.

Smrekar, A. 2004. Reduced permeation of precipitation water into groundwater on Ljubljansko polje - Zmanjšano prenikanje padavinske vode v podtalnico na Ljubljanskem polju. Acta geographica Slovenica, 44/2, Ljubljana, str: 35-52,

Souvent, P., Gale, U., Mikulič, Z. in sod. 2007. Strokovna izhodišča za izpopolnitev merilne mreže za spremljanje količin podzemne vode. Agencija Republike Slovenije za okolje, 35 str.

Souvent, P., Čenčur, B., Vižintin, G., Moon, B.2005. AISUWRS work package 4; Field Investigations;Ljubljana case-study. IRGO, Ljubljana, 74 str.



Steiman, F., Mikoš, M. 1993. Zadrževanje voda v Sloveniji. Gospodarjenje z vodo, vodna bilanca in zagotavljanje vode, Mišičev vodarski dan

Trontelj, M. 2000. 150 let meteorološke službe na Slovenskem. Ljubljana, 51str.

Uhan, J., Kranjc M. 2003. Podzemna voda. Vodno bogastvo Slovenije. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ministrstvo za okolje in prostor. Ljubljana, str: 55-67.

Urbanc, J. in Jamnik, B. 1999. Izotopska sestava podzemne vode Ljubljanskega polja. Ljubljana, Geologija 41. Geološki zavod Slovenije, str: 355-364.

Žibrik, K.1969. Hidrološke razmere obstoječega režima podtalne vode Ljubljanskega polja. Ljubljana, Hidrometeorološki zavod SRS,.

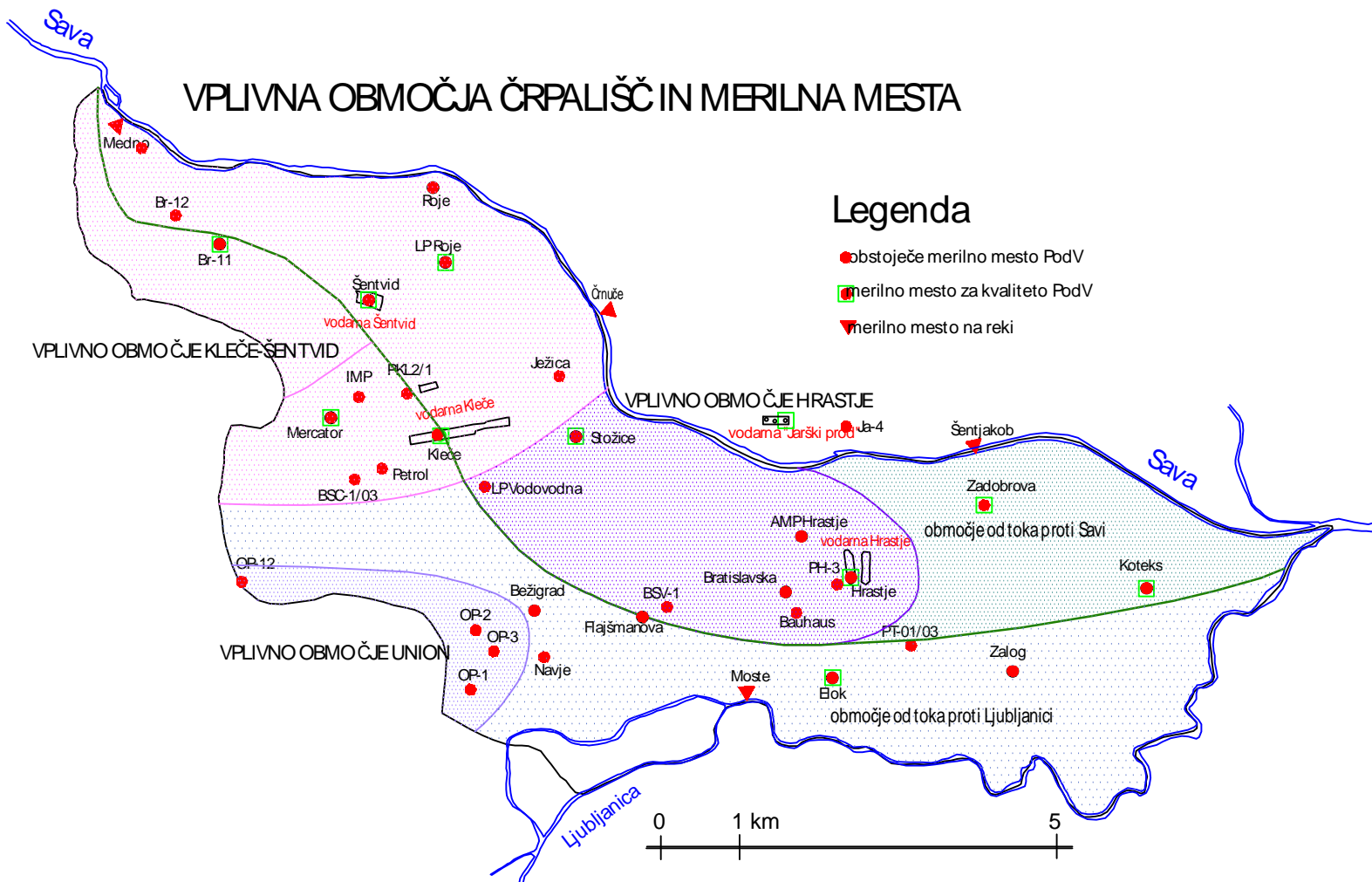
Žlebnik, L. 1971. Pleistocen Kranjskega, Sorškega in Ljubljanskega polja. Ljubljana Geologija, 14, str: 5-51,

Žlebnik, L. 1990. Vpliv geoloških dogajanj v pleistocenu na površinske in podzemne vode. Ljubljana, Geologija 33, str: 289-298

Katedra za splošno hidrotehniko [online]. Študijsko gradivo za podzemne vode na spletnih straneh KSH . <[ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/students/podz\\_vode/podz\\_vode.zip](ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/students/podz_vode/podz_vode.zip)>(oktober 2008)

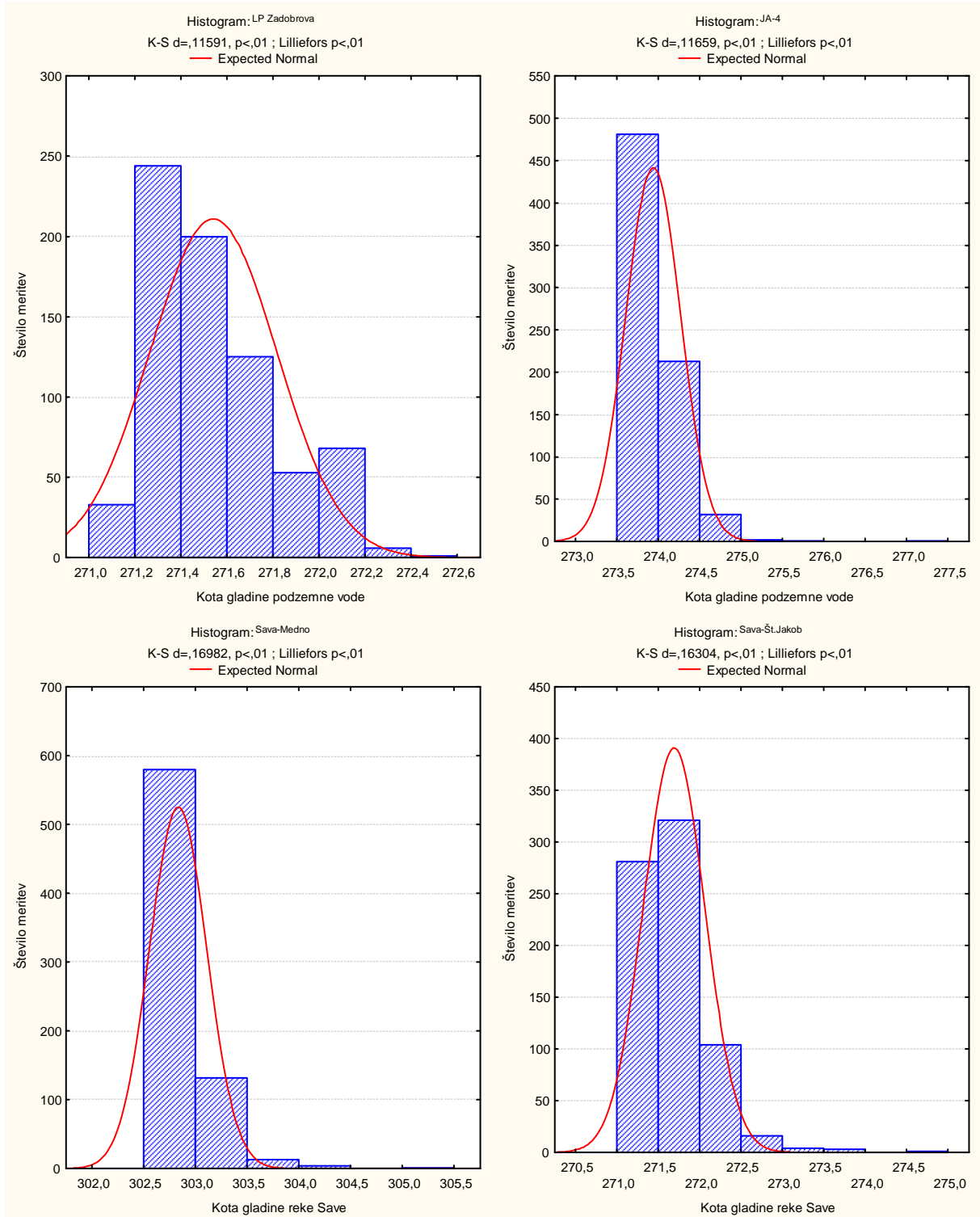
## PRILOGA A

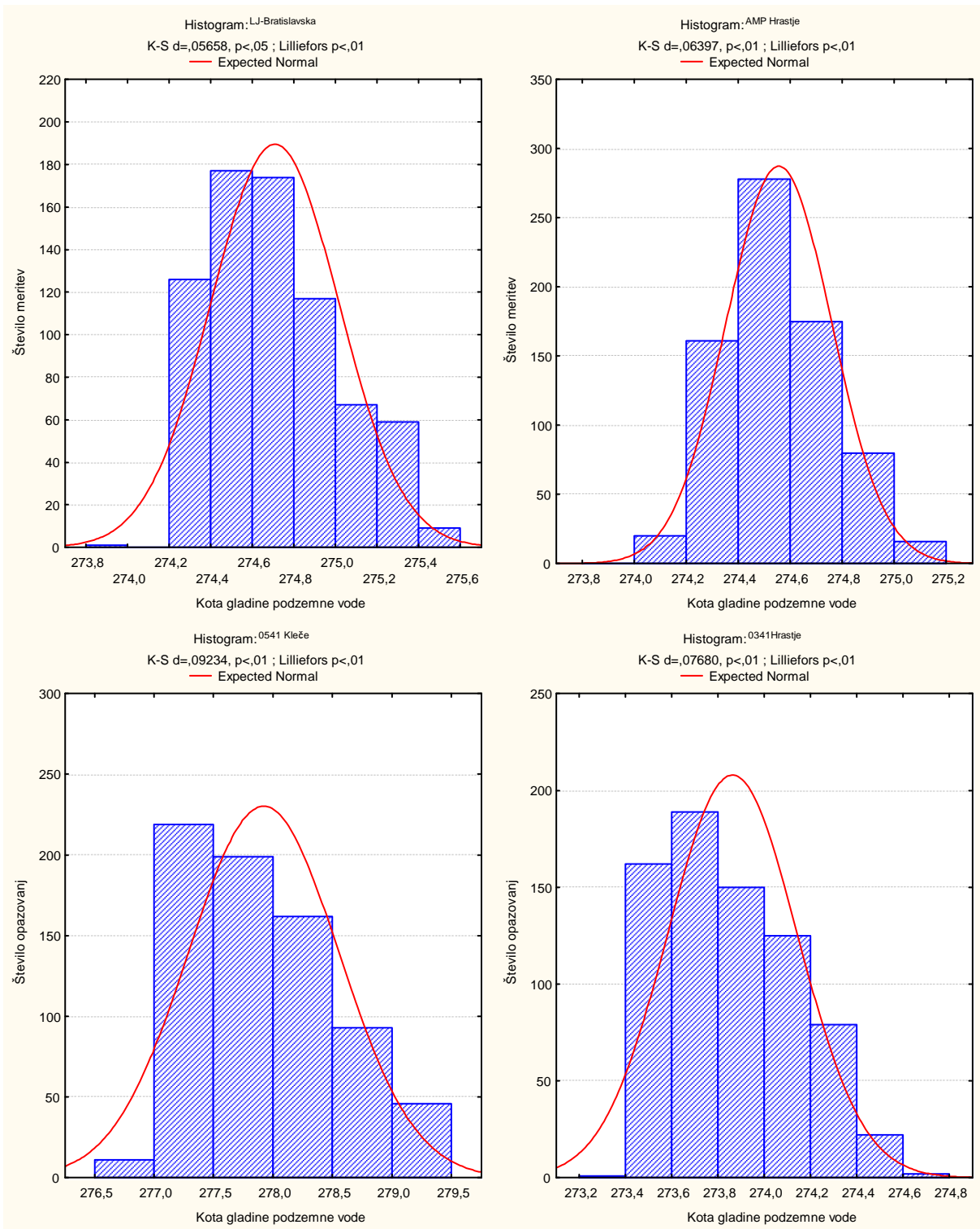
Vplivna območja in položaji obstoječe merilne mreže na Ljubljanskem polju

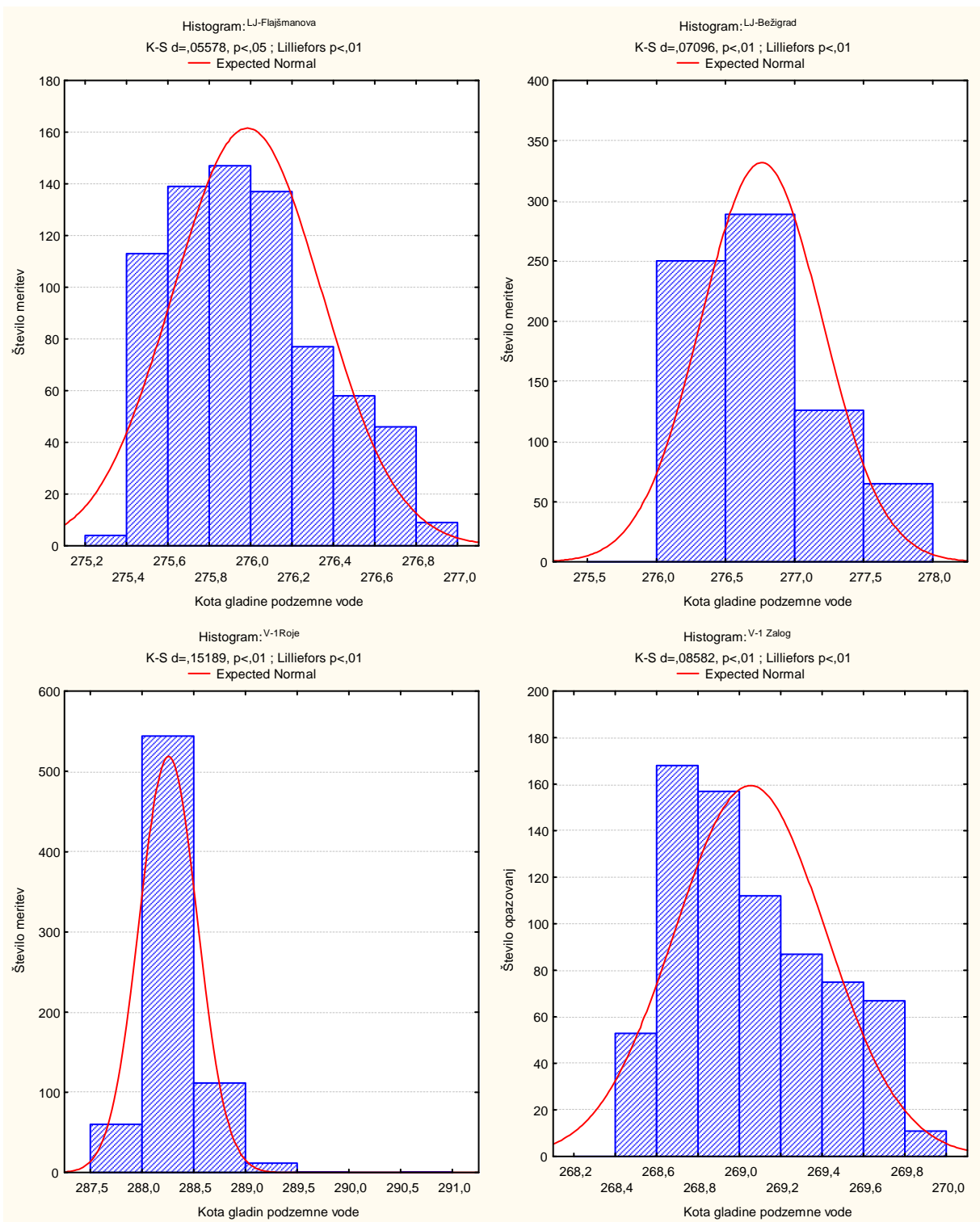


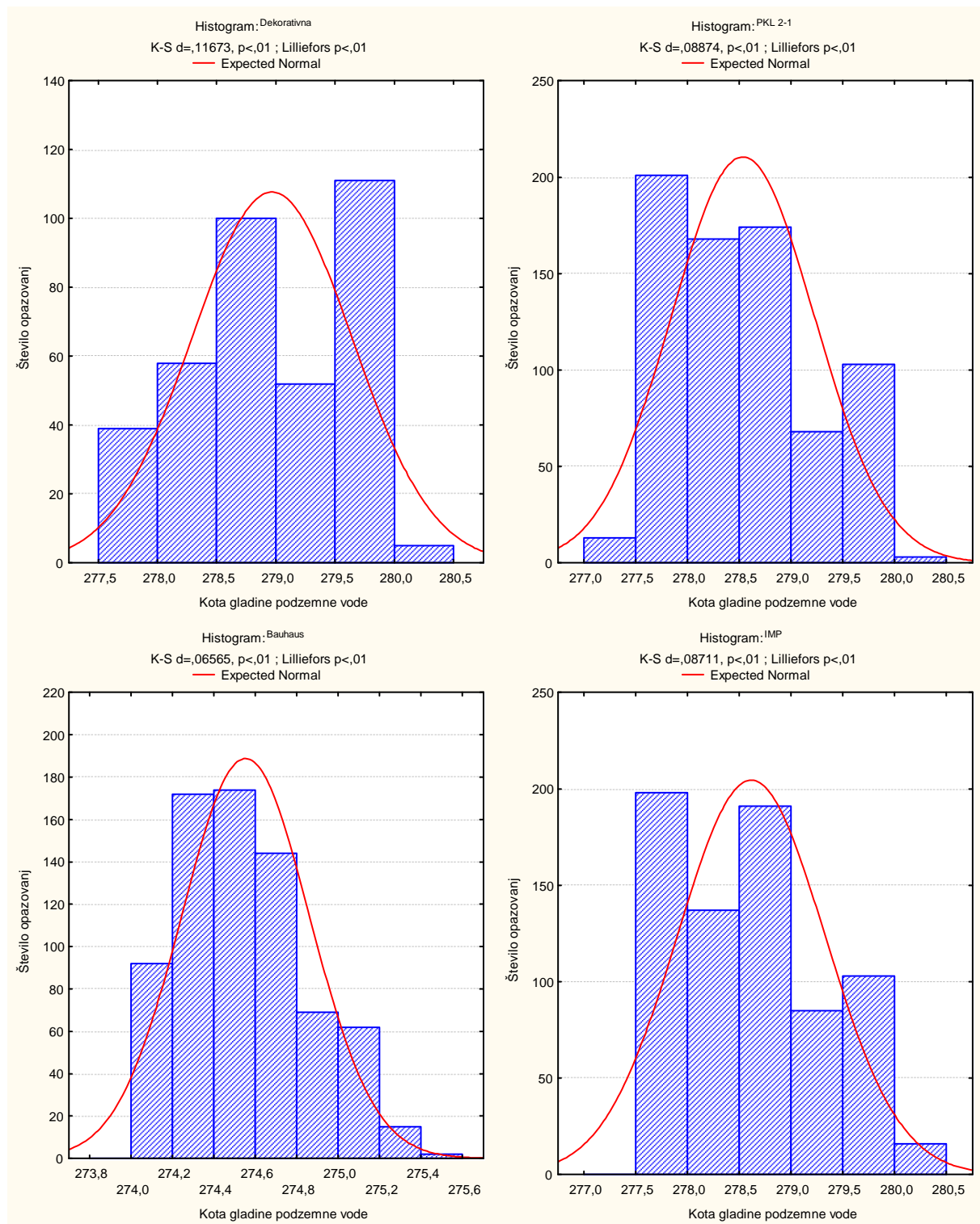
## PRILOGA B

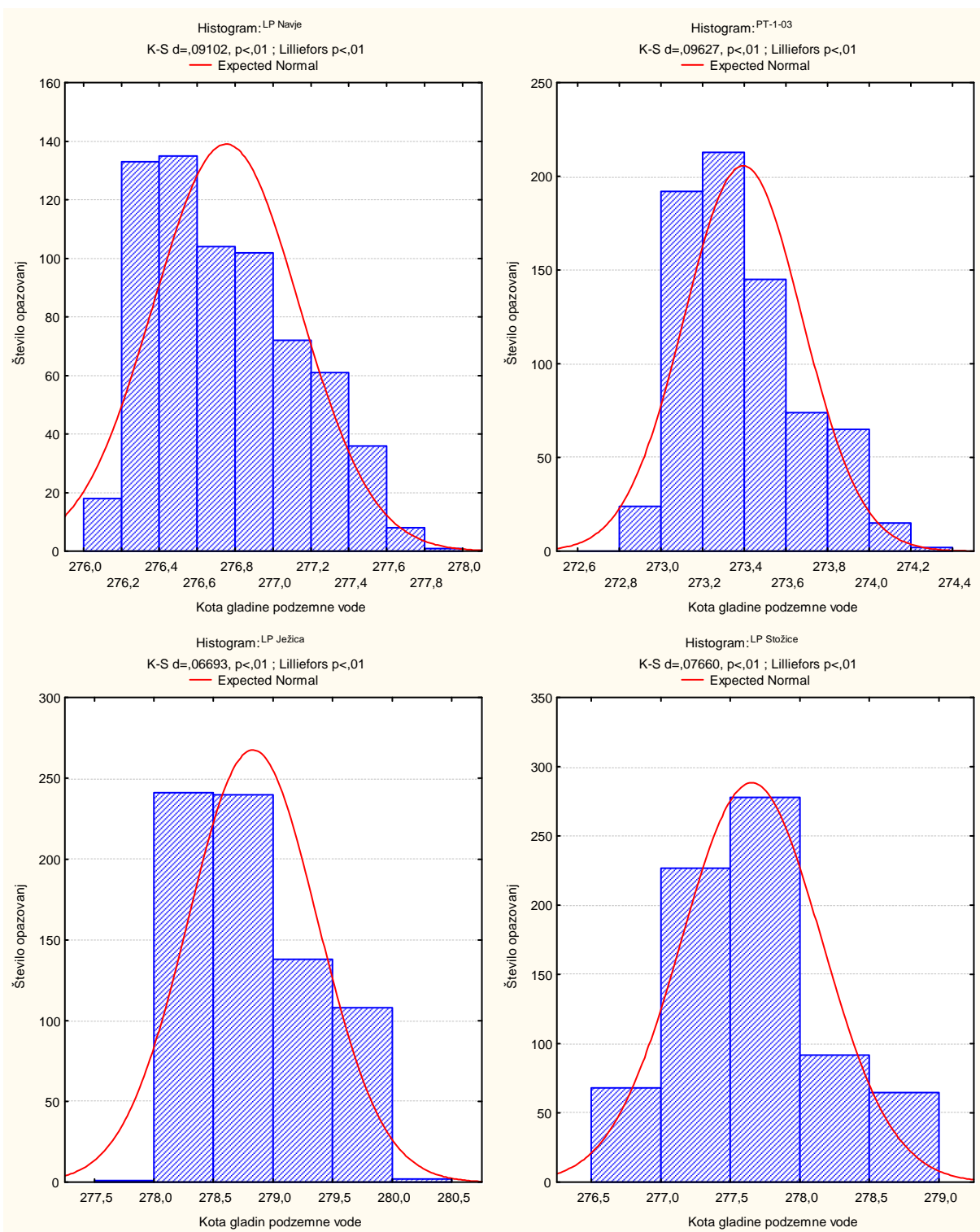
### Histogrami na postajah Ljubljanskega polja



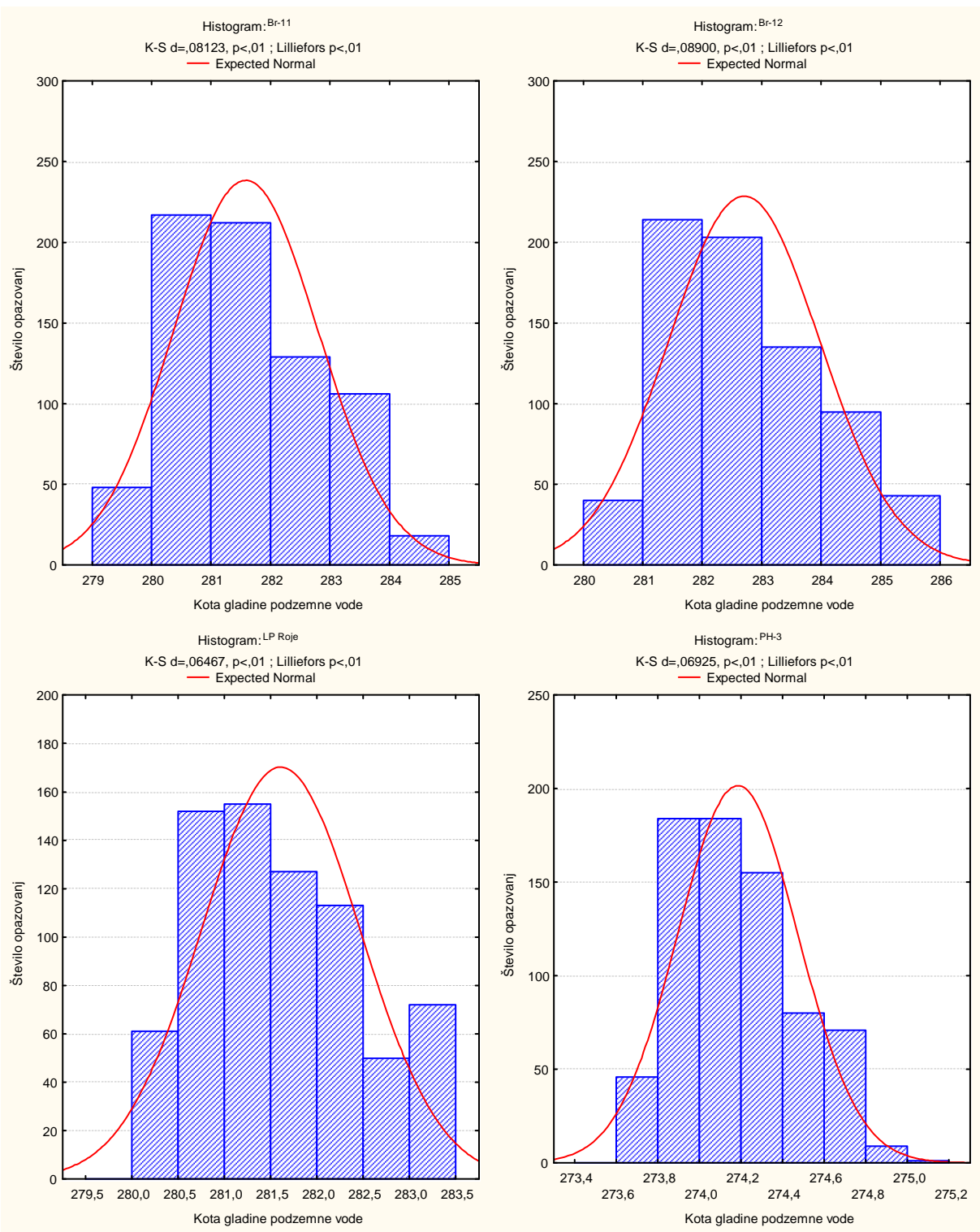






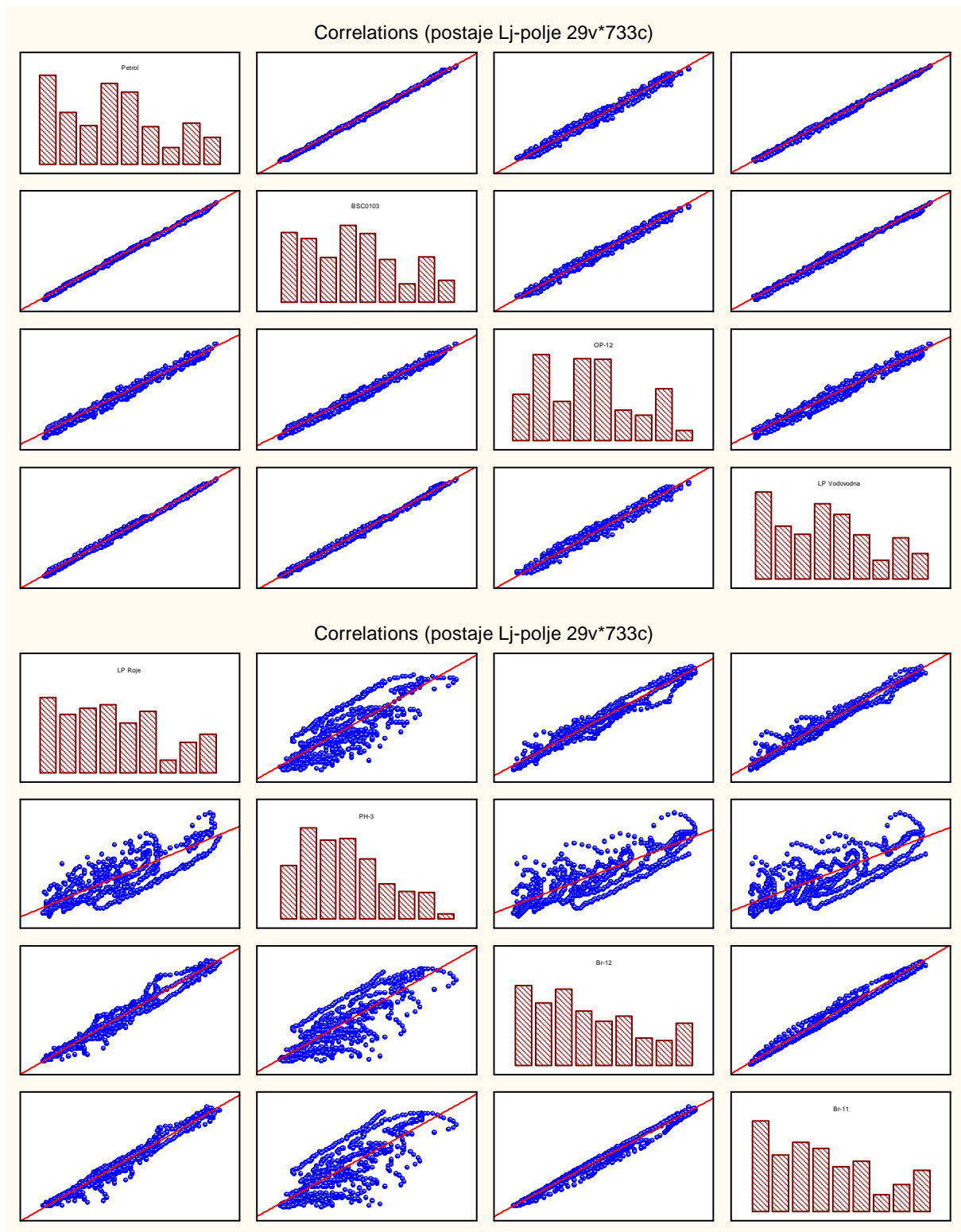




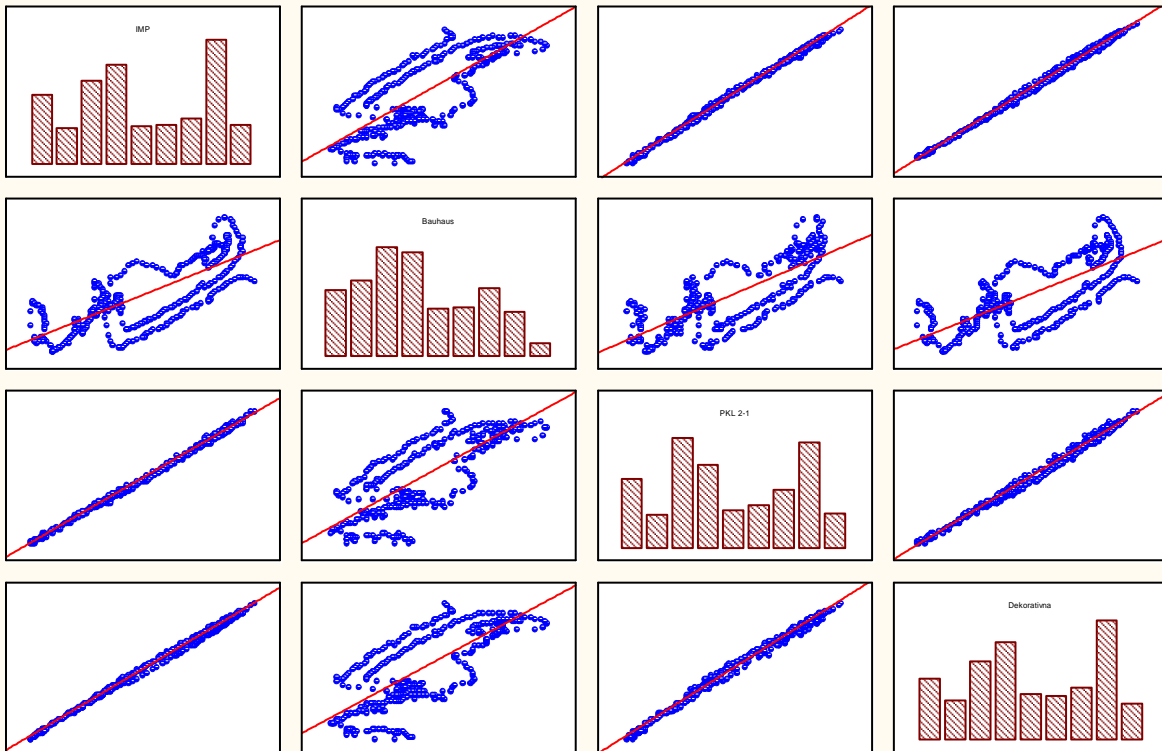


## PRILOGA C

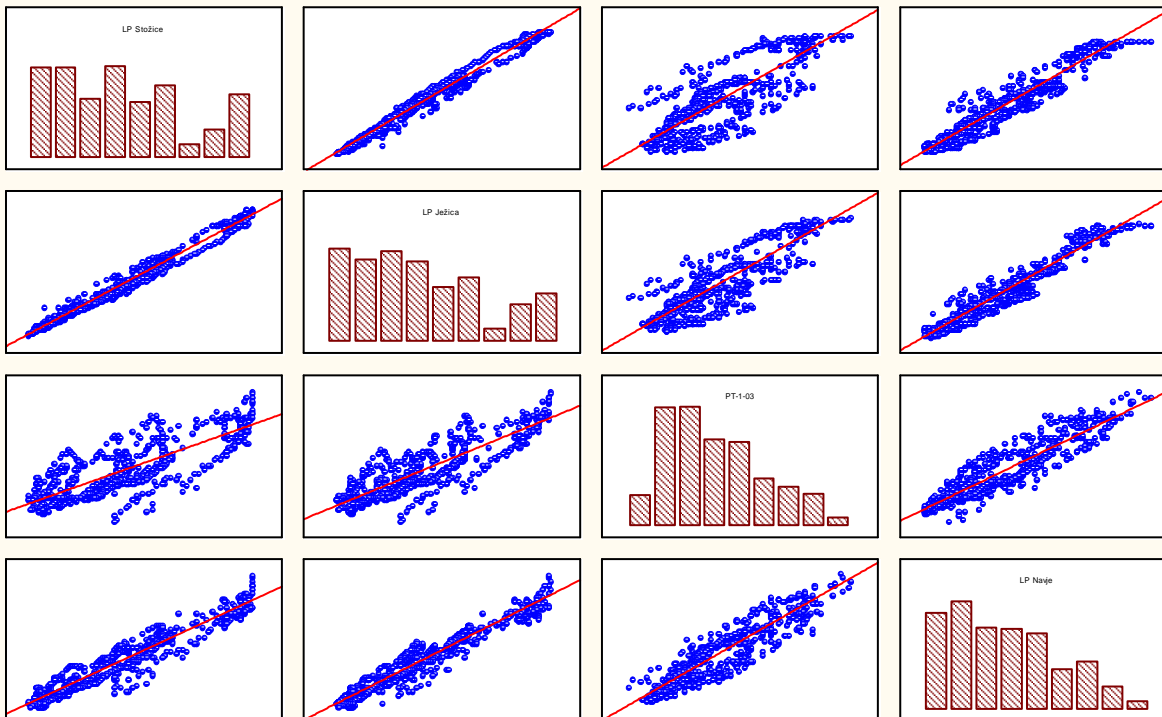
Diagrami primerjalnih vrednosti na postajah Ljubljanskega polja



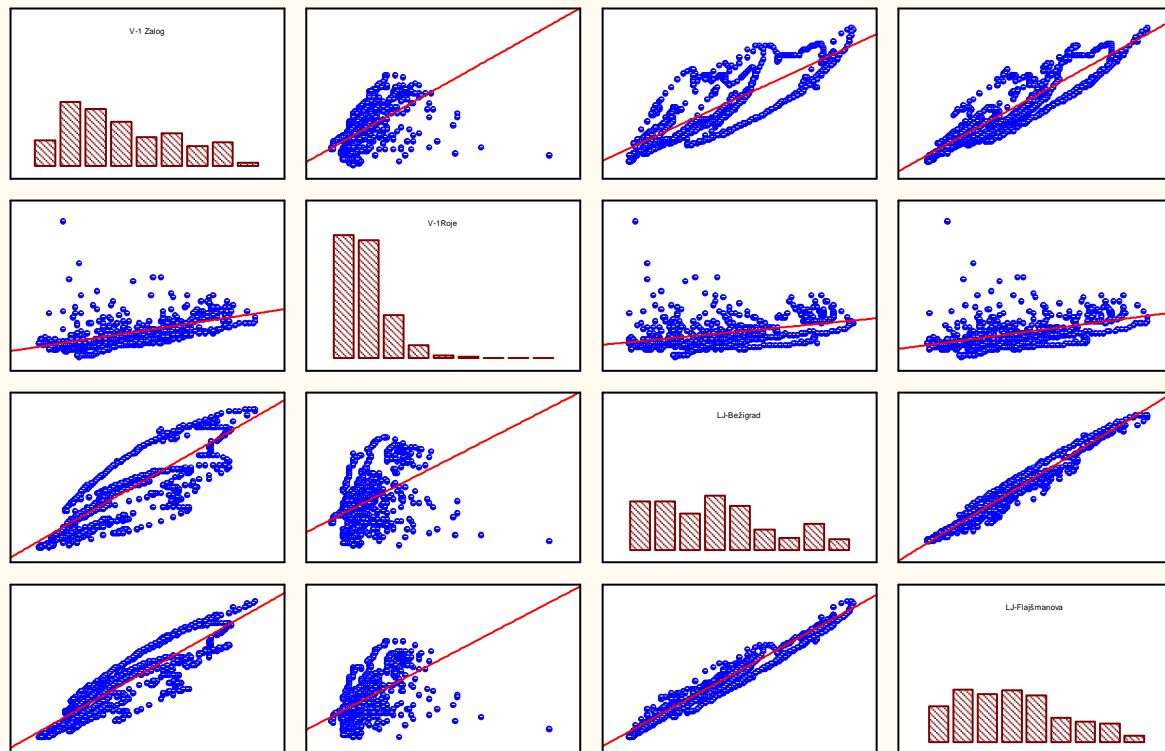
Correlations (postaje Lj-polje 29v\*733c)



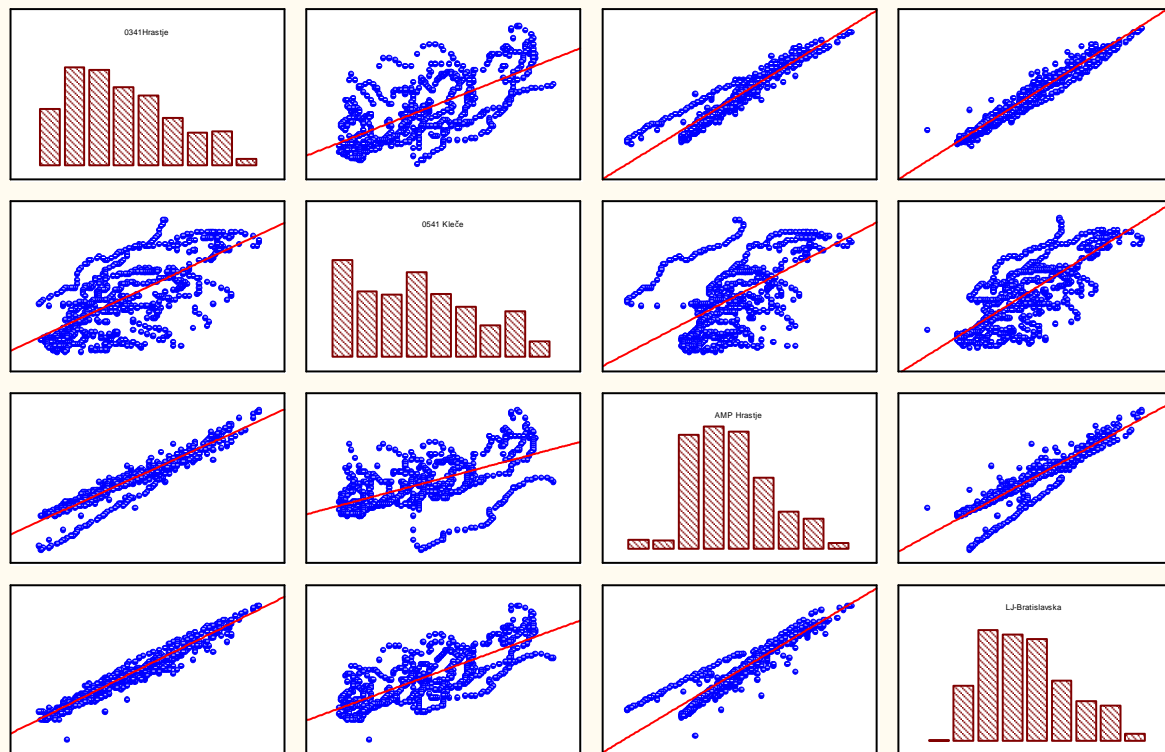
Correlations (postaje Lj-polje 29v\*733c)



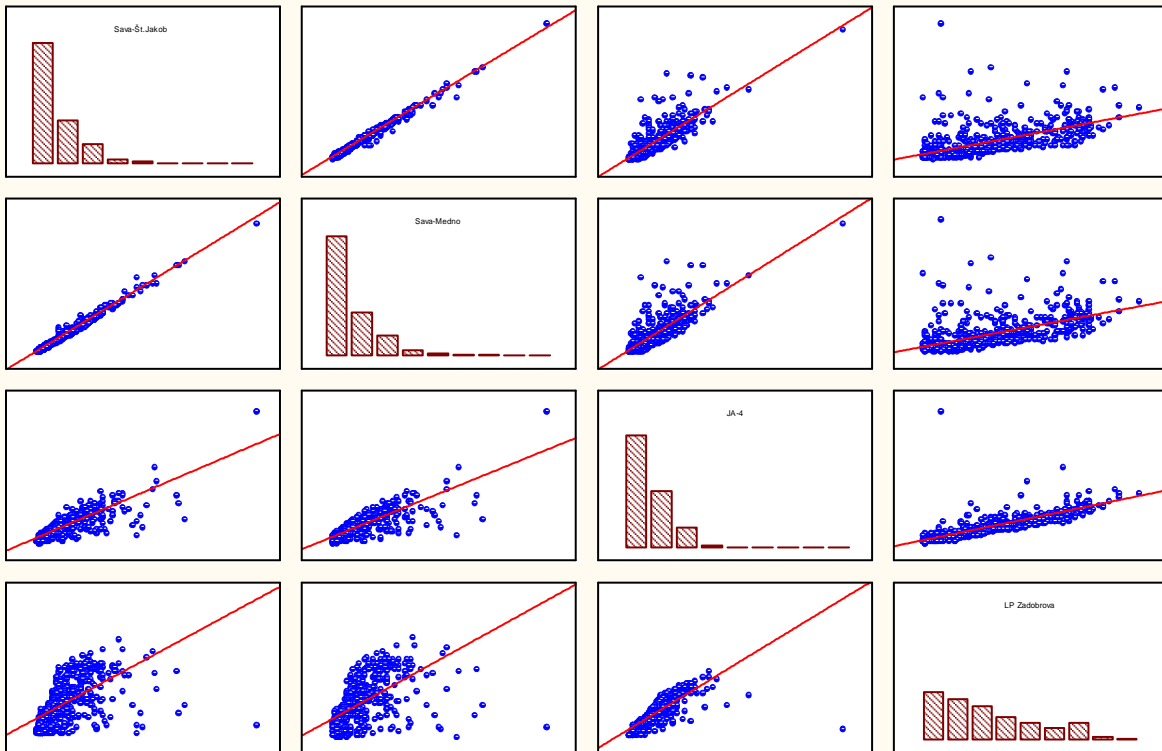
Correlations (postaje Lj-polje 29v\*733c)



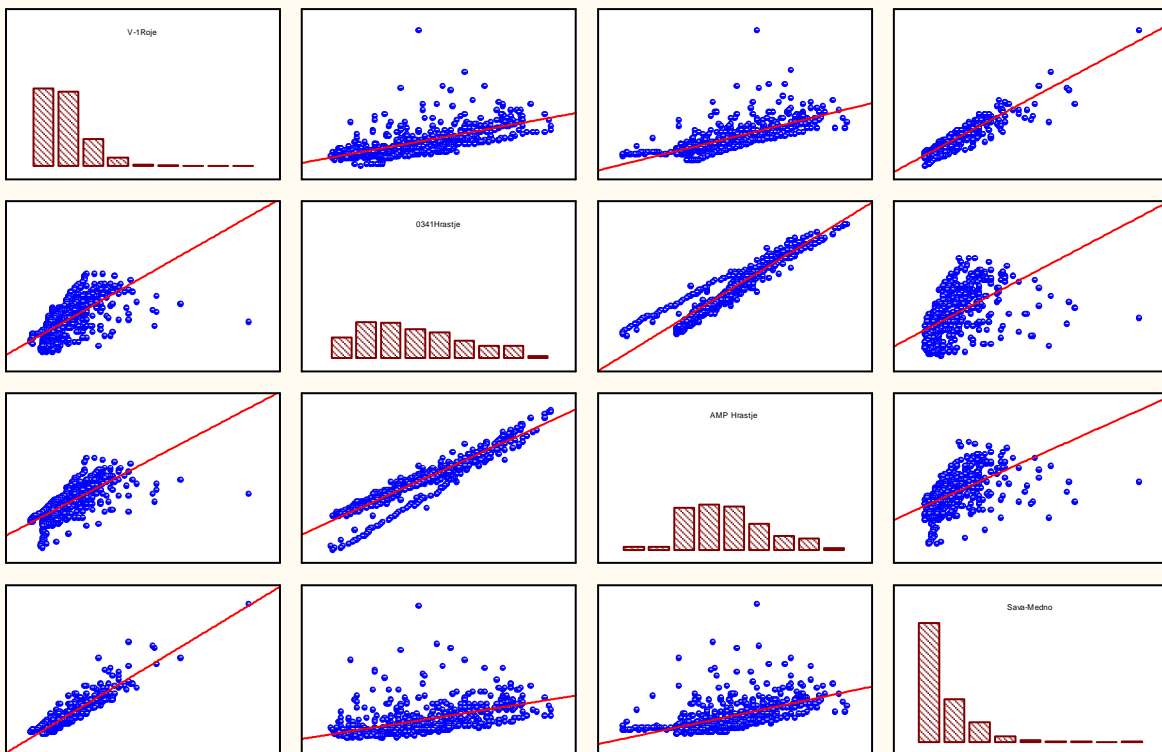
Correlations (postaje Lj-polje 29v\*733c)



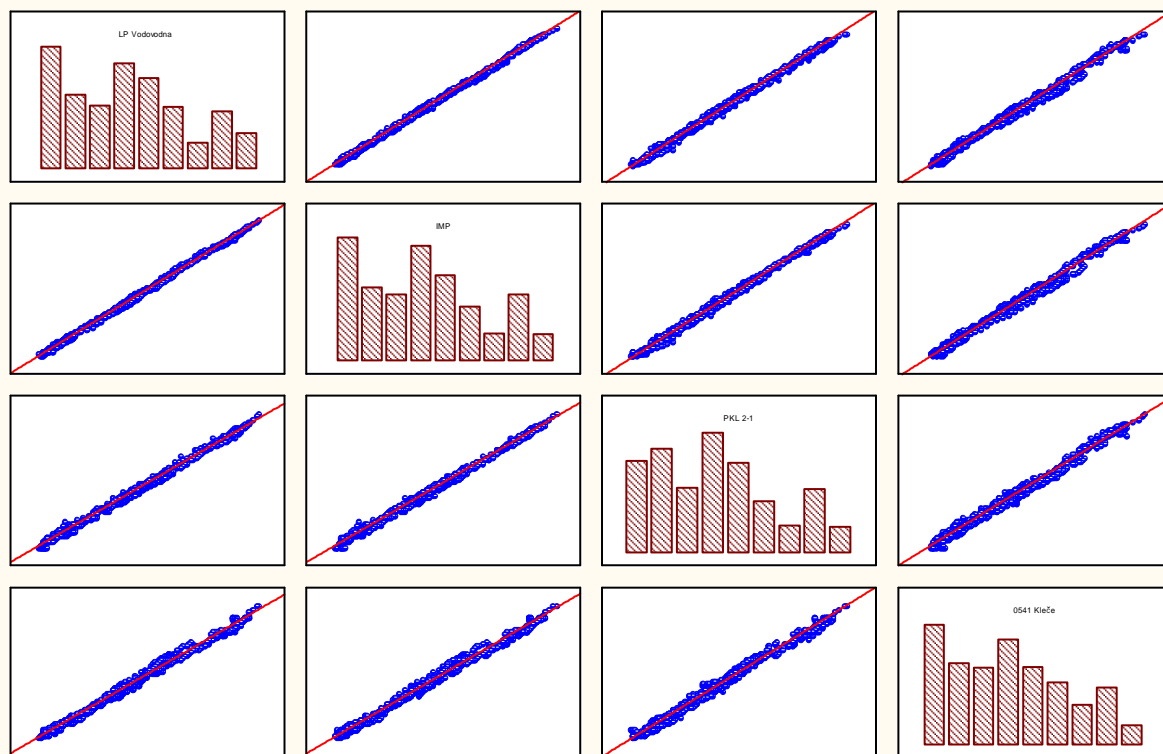
Correlations (postaje Lj-polje 29v\*733c)



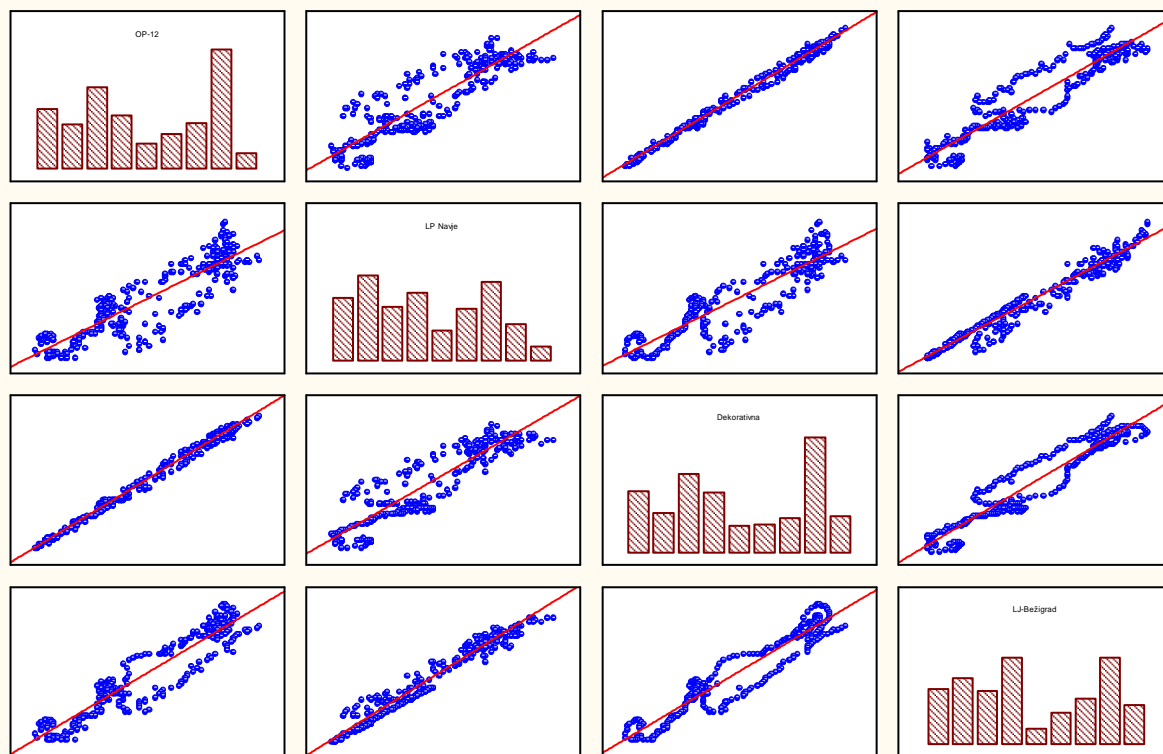
Correlations (postaje Lj-polje 29v\*733c)



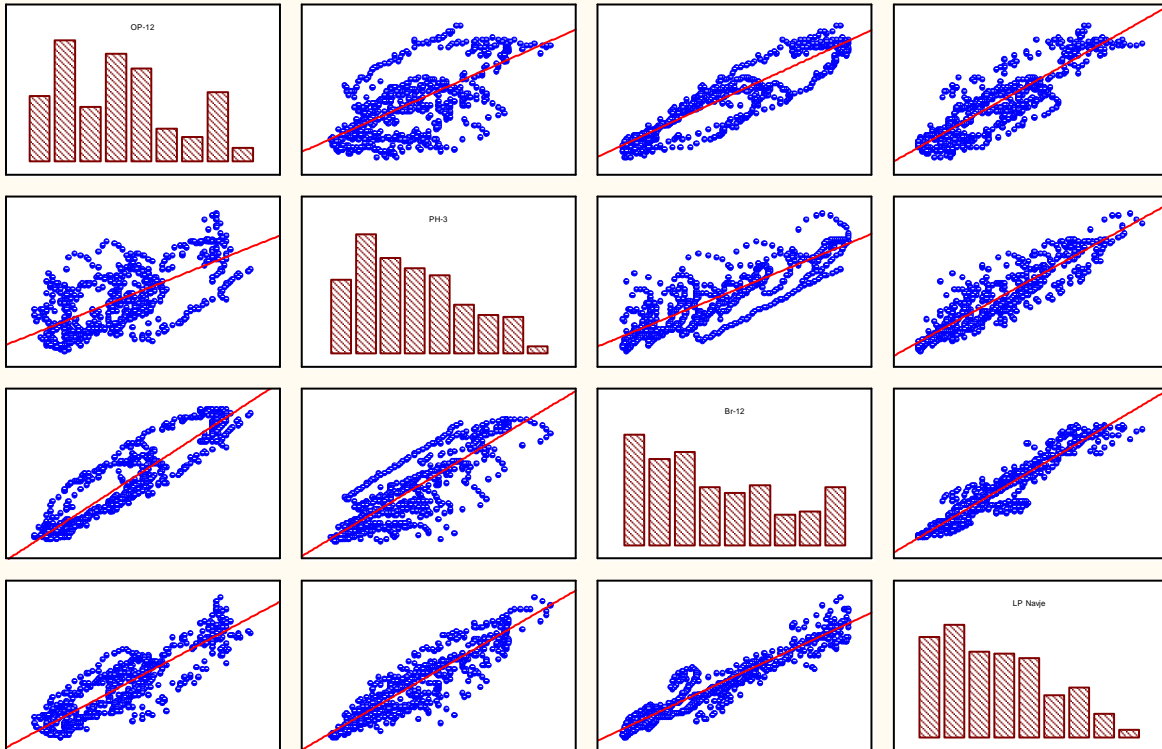
Correlations (postaje Lj-polje 29v\*733c)



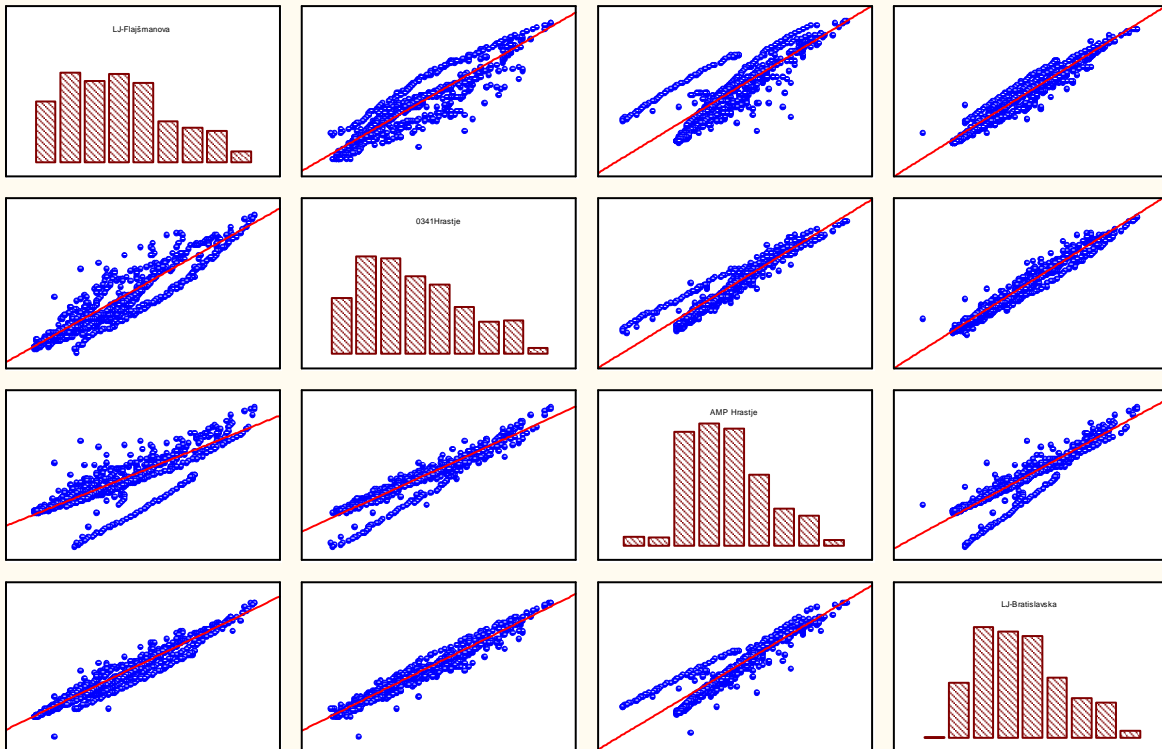
Correlations (postaje Lj-polje 29v\*733c)



Correlations (postaje Lj-polje 29v\*733c)

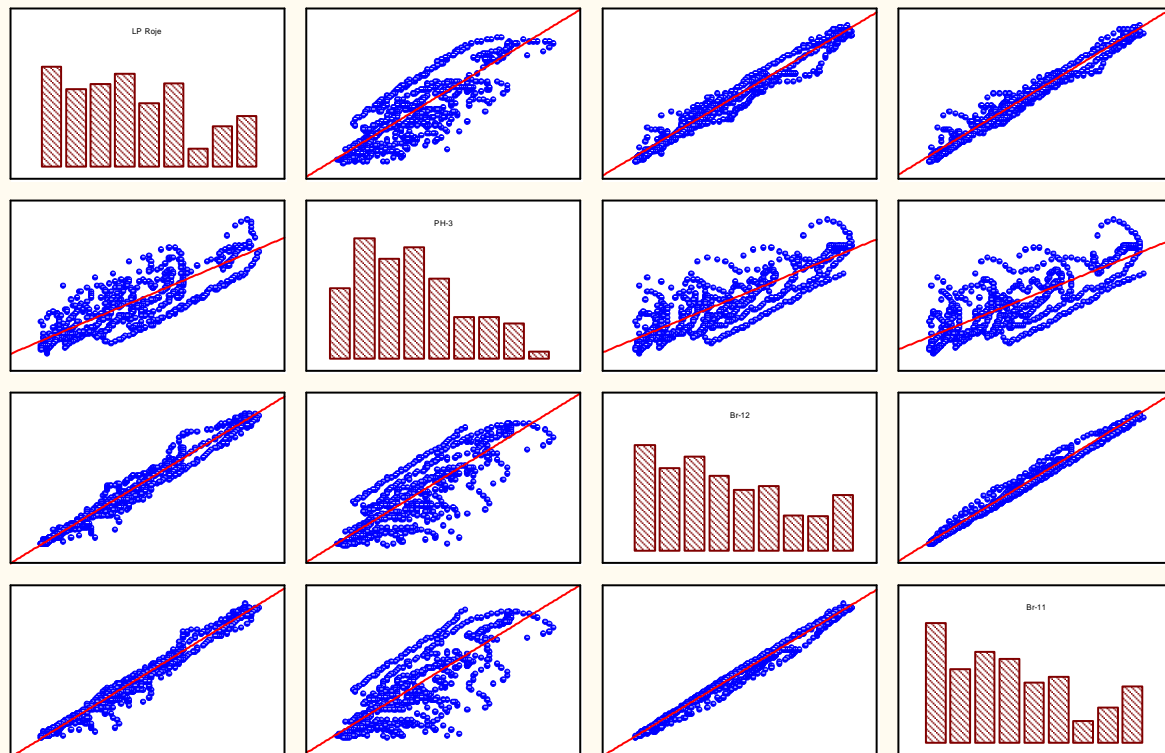


Correlations (postaje Lj-polje 29v\*733c)

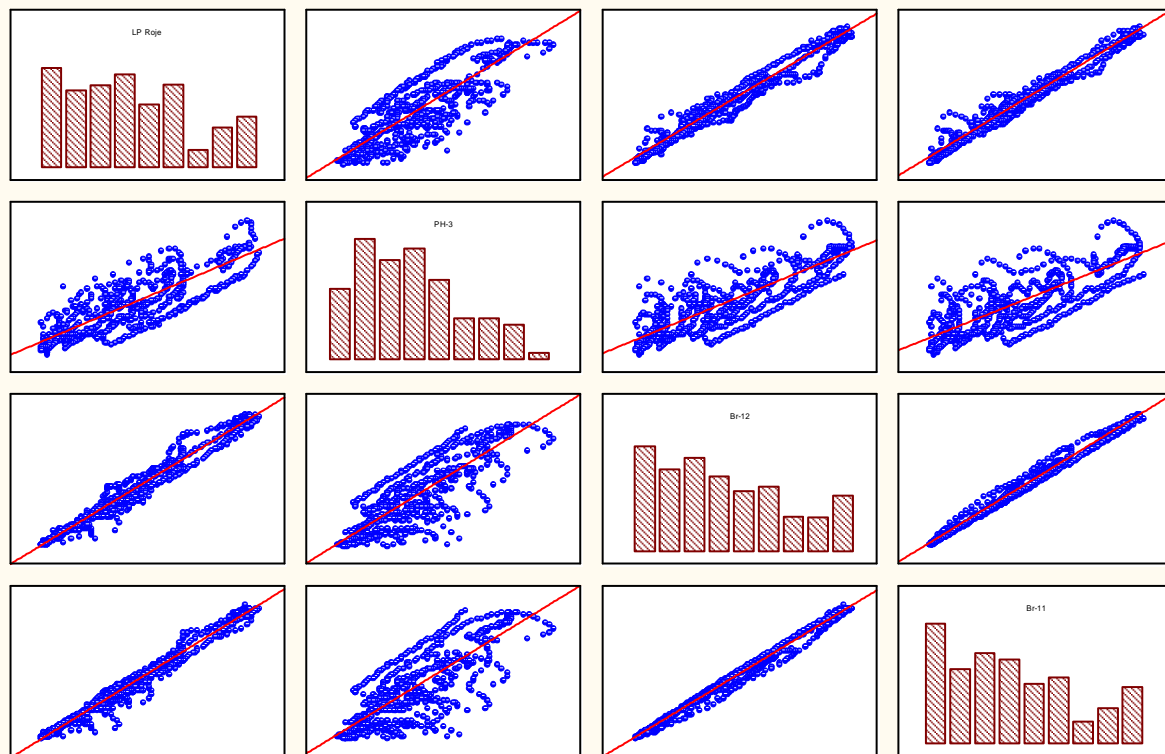




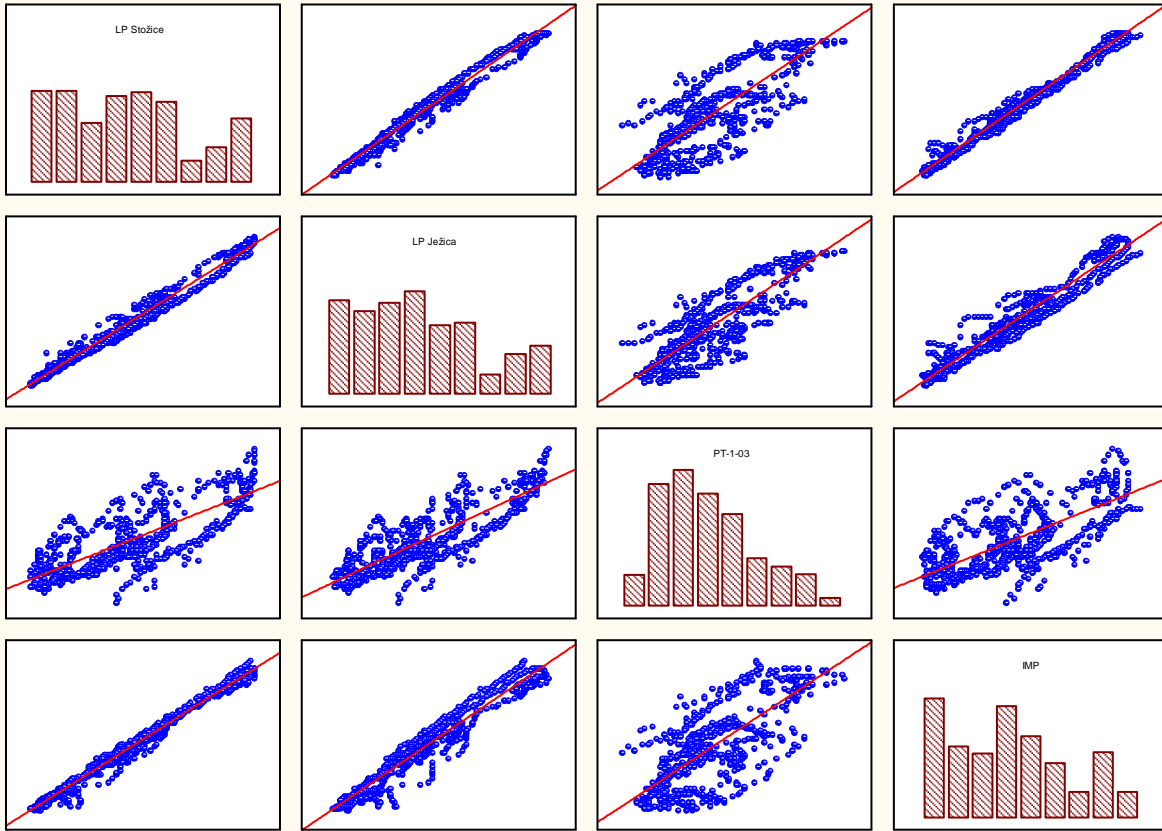
Correlations (log10postaje Lj-polje.sta 27v\*733c)



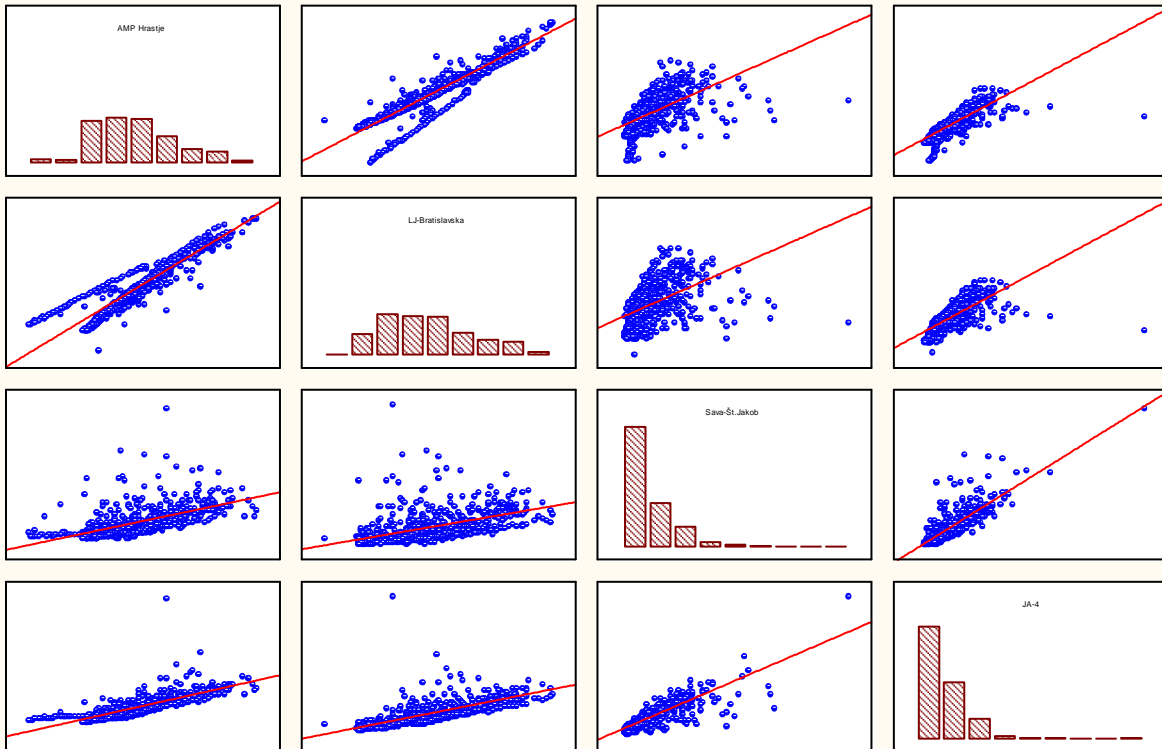
Correlations (log10postaje Lj-polje.sta 27v\*733c)



Correlations (log10postaje Lj-polje.sta 27v\*733c)



Correlations (log10postaje Lj-polje.sta 27v\*733c)



## PRILOGA D

Predlog položaja novih merilnih mest postaj za spremljanje režima podzemnih voda

