



LIFE10 NAT/SI/142

**POREČJE LJUBLJANICE, LJUBLJANSKO BARJE IN PRVI
REZULTATI HIDRAVLICNEGA MODELIRANJA**

Akcija: A2

Datum: december 2013

KAZALO

1	POREČJE LJUBLJANICE, LJUBLJANSKO BARJE IN PRVI REZULTATI HIDRAVLIČNEGA MODELIRANJA.....	3
1.1	Opis območja.....	3
	Slika 1: Položaj porečja Ljubljanice in Ljubljanskega Barja.....	4
1.2	Problematika območja	4
	Slika 2: Položaj padavinskih postaj na Ljubljanskem barju in njegovem zaledju	6
2	RAZISKAVA VODNIH VIROV, PODATKI IN METODA DELA	7
2.1	Porečje reke Ljubljanice in meritve padavin	7
2.2	Hidrološke meritve površinskih voda	7
2.3	Hidrogeološke meritve.....	8
	Slika 3: Ljubljansko barje in lokacije monitoringa	9
	Slika 4: Lokacije meritev vodostajev in pretokov na Iški, območje Iškega vršaja, lokacija Vodarne Brest, lokacija dveh piezometrov na Barju pod Iškim vršajem, lokacija piezometra IŠ-6 na Iškem vršaju in pozicija hidrogeološkega profila (slika 5).....	10
	Slika 5: Lokacije meritev nivojev podzemne vode na Iškem vršaju, vodarni Brest in na Barju pod Iškim vršajem	11
	Slika 6: Hidrogeološki profil ob Iški (pozicija na sliki 4). Hidrogeološka enota št. 1 predstavlja prod s peskom in muljem v Iškem vršaju, št. 2 predstavlja meljasto ilovico (polžarica); št. 3 predstavlja prod z muljem in peskom.....	12
2.4	Modeliranje vodnega režima Ljubljanice in Iške	13
	Slika 7: Mokriščni habitati, prikazani s šrafura poševnih črt. Temno zelena barva prikazuje mokrotne travnike Mollinium, Phragmitium in Magnocaricium (CKFF, 2004). S svetlo zeleno barvo je označen rob Ljubljanskega barja.....	14
	Slika 8: Obseg poplav leta 2010 na vzhodnem delu Barju (Globevnik in Vidmar, 2010).....	15
	Slika 9: Lokacije spodnjih osmih prečnih profilov na Iški (pred vtokom v Ljubljanico).....	15
3	REZULTATI RAZISKAVE SEDANJEGA STANJA VODNIH VIROV	17
3.1	Model padavine – odtok	17
3.2	Hidravlični model Iške in Ljubljanice	17
	Slika 11: Dnevna vsota padavin na porečju Iške, merjeni hidrogram dnevnih pretokov reke Iške v Iški vasi in modelirani dnevni pretoki, leto 2010 (uporabljen model HBV Light)	18
	Slika 12: Lokacije preliivanja visoke vode (začetek poplav) na reki Iški pri pretoku 97 m ³ /s	19
	Slika 13: Vzdolžni profil reke Iške in kote vode pri pretoku 97 m ³ /s. Lokacije preliivanja se prikazane na sliki 12	20
4	VIRI	21

1 POREČJE LJUBLJANICE, LJUBLJANSKO BARJE IN PRVI REZULTATI HIDRAVLICNEGA MODELIRANJA

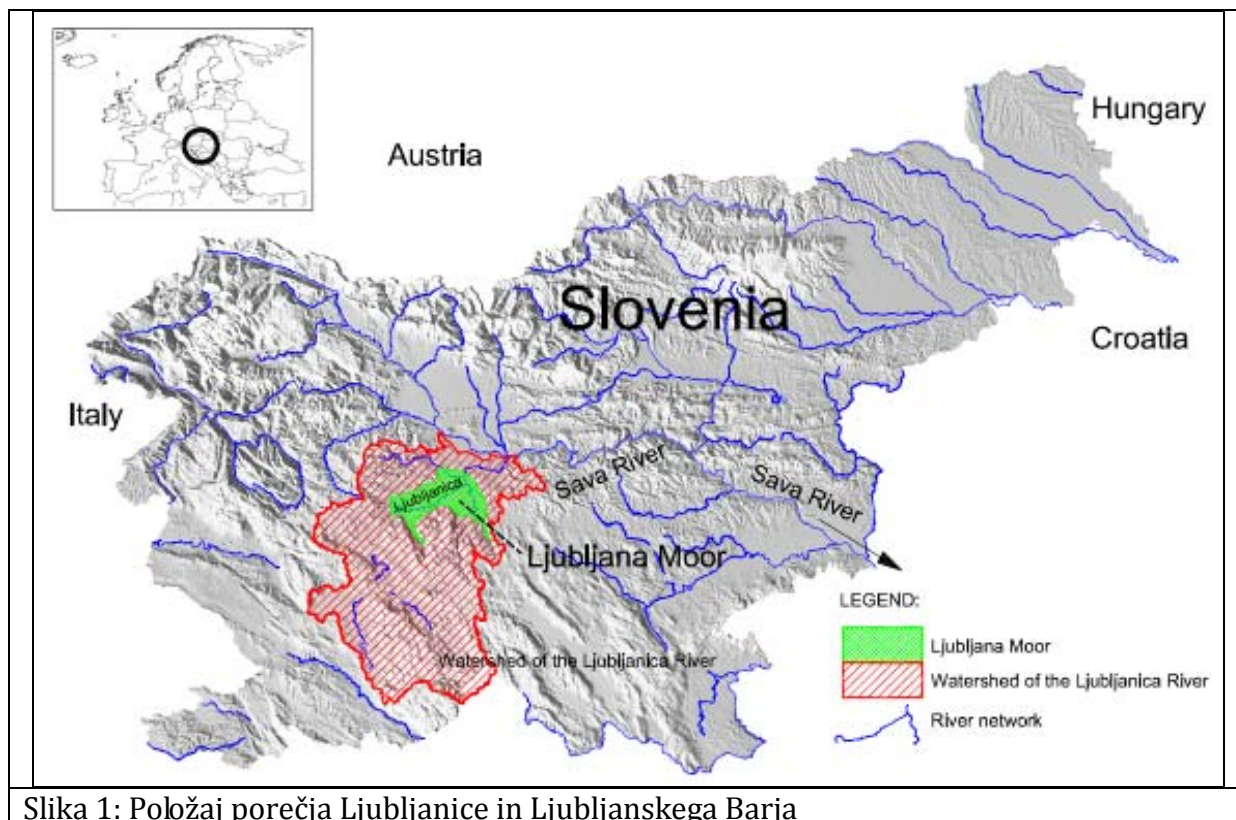
1.1 Opis območja

Ljubljansko barje leži v osrednjem delu Slovenije. Na severo-vzhodu se razteza v smeri Ljubljane, glavnega mesta Slovenije, ki se nahaja ob reki Ljubljanici. Povprečna nadmorska višina območja je med 288 in 300 metrov. Barje je nastalo pred približno 4000 leti kot ostanek jezera. Zaradi naravne sukcesije se je spremenilo v visoko barje in močvirje. Jezerski in rečni sedimenti, delno ločeni z neprepustnimi plastmi gline in peščenih sedimentov iz gorskega zaledja segajo do 160 metrov v globino.

Ob koncu 18. stoletja se je začelo z melioracijskimi deli po vzoru nizozemske šole. Dela so se okrepila v 20. stoletju. Zemljišča so ostala pretežno kmetijska. Zaradi izsuševanj in rezanja zgornje plasti šote, se je močvirski značaj območja začel zmanjševati. Danes je na barju preko 700 km glavnih jarkov in več kot 20.000 km malih kanalov za odvodnjavanje njiv in travnikov. Zaradi naravne sukcesije, drenaže in naseljevanja se površina tudi nenehno pogreza.

Zaradi rednega poplavljanja in slabo prepustne površine barja, se je ohranilo še veliko mokrih habitatov. Ljubljansko barje še vedno predstavlja pomemben naravovarstveno območja mokrišč in izredno pomemben vodni vir. Na južnem in zahodnem robu barja obstajajo številni kraški izviri, pod površino so bogate zaloge podzemne vode. Podzemna voda stalno polni površinske tokove - Ljubljanico in njene pritoke, Iška, Iščica, Borovniščica. Najnižje deli območja so poplavljeni večkrat na leto.

Peščeno – gramozni sedimenti Iške so pomemben vodonosnik za vodni vir pri Brestu. Območje je pomemben vir pitne vode za celo Ljubljano in ni bil nikoli intenzivno izkoriščen. Črpališče pitne vode je bilo zgrajeno v začetku 80. let 20. stoletja. V prvi fazi je bilo izvrtanih enajst vrtin v holocenski vodonosnik s skupno kapaciteto 150 l/s. V drugi fazi sta bili izvrtani dve globoki vrtini do 100 m, v katere se steka voda iz zgornjega in spodnjega pleistocenskega vodonosnika. V tretji fazi je bil izvrtana globok vodnjak, v katerega se steka voda samo iz spodnjega pleistocena vodonosnika.



Slika 1: Položaj porečja Ljubljanice in Ljubljanskega Barja

1.2 Problematika območja

Vodni viri območja so pod velikim pritiskom. Lastniki oziroma uporabniki kmetijskih zemljišč redno vzdržujejo melioracijske jarke in kanale in s tem ohranjajo bolj ugoden (sušni) režim talne vode. Hkrati seveda pričakujejo, da upravljavci vodnega režima reke Ljubljanice in njenih pritokov vzdržujejo ustrezno nizko oziroma stalno gladino vode v rekah. Gladino reke Ljubljanice in njenih pritokov se tako že desetletja upravlja z zapornicami na Ambroževem trgu in na Gruberjevem prekopu v Ljubljani. Kota vodne gladine je ob nižjih pretokih vedno 285.6 m n.v. Vsaj tak vodni režim ustreza tudi doseženi poplavni varnosti na Barju.

Mnoga kmetijska zemljišča in komercialno manj produktivna območja (močvirja) se počasi in nezadržno spreminjajo v urbana območjih. Zgrajene so bile mnoge ceste, utrjene stare poti. Krajina in njeni vodni viri se tako nenehno spreminjajo. Nastaja več okoljskih problemov. Ne le da prihaja do onesnaževanja voda, povečano povpraševanje po pitni vodi, poplave in suše ter manjše vodo-zadrževalne sposobnosti povzročajo velike pritiske na vode in celo večje pogrezanje terena in zniževanje ravni podzemne vode. Posledica tega je, da se močvirni ekosistemi »sušijo« in s tem izgubljajo bistvene značilnosti.

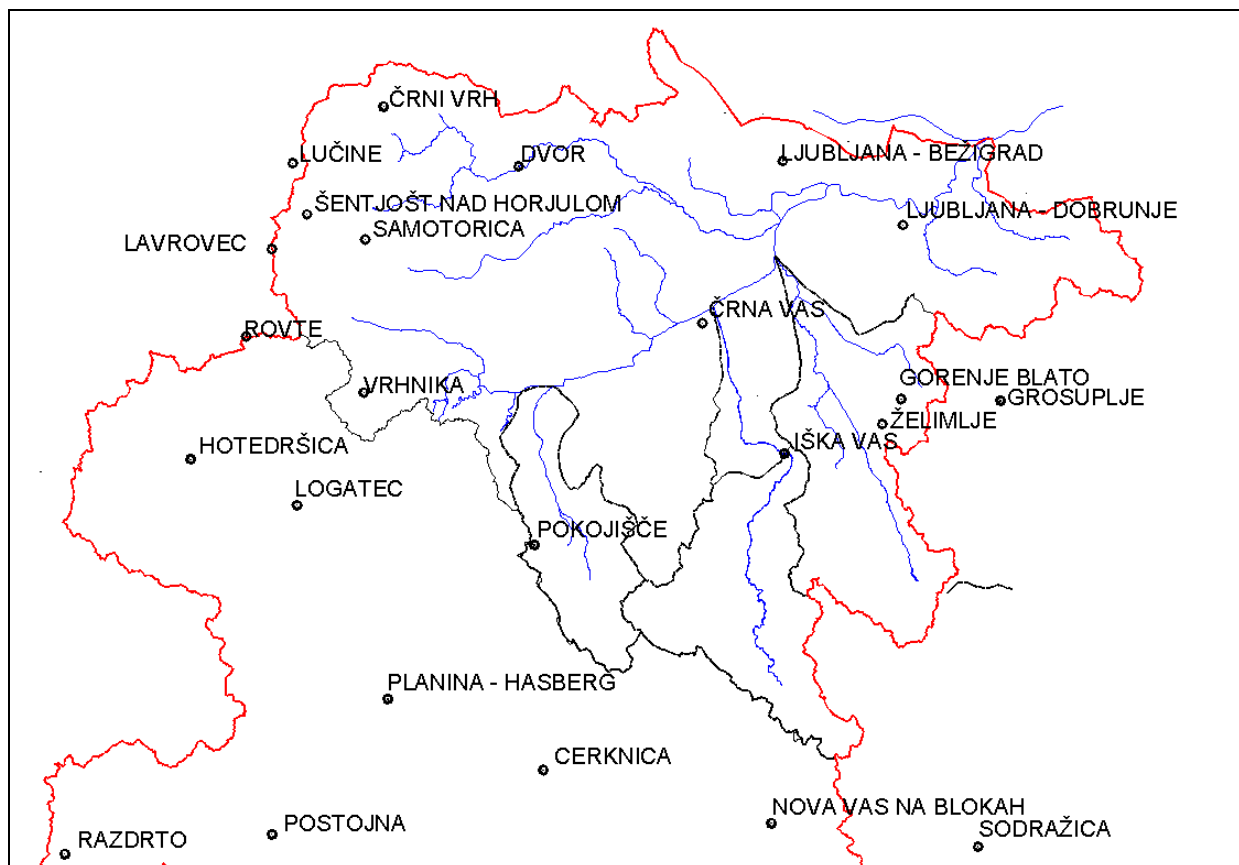
Zato je treba iskati odgovore in predloge za trajnostne ukrepe pri upravljanju voda in drugih naravnih virov ter pri varstvu ekosistemov mokrišč.

Za ta namen se razvija celostno modeliranje vodnih virov. Kot prvi korak smo zbrali vse razpoložljive informacije o površinskih in podzemnih voda ter vključili druge časovne in prostorske komponente. V drugem koraku smo postavili in preizkušali hidrološko hidravlične modele, s katerimi analiziramo vodne bilance in interakcije površinske in podzemne vode na močvirnih območjih Ljubljanskega barja.

Vodni režim je poleg padavinskega režima na porečju Ljubljanice odvisen od dveh glavnih dejavnikov, splošne hidravlike Ljubljanskega barja in toka reke Ljubljanice. Reka je dolga 30 km in ima 1930 km² veliko porečje. Na Barje priteka voda iz jugozahodnega dela kraškega območja Slovenije (Postojna, zaledje Cerkniskega jezera in Planinskega polja). Ljubljanica je pritok reke Save (slika 1) in pripada povodju reke Donave. Na zahodnem in južnem robu ima veliko kraških izvirov. Povprečni letni pretok Ljubljanice na Vrhniki je 24,5 m³/s , v Ljubljani pa 55,4 m³ s (ARSO , 2012). Vodostaj reke Ljubljanice je reguliran oziroma nadzorovan z jezom in zapornicami na Ambroževem trgu v Ljubljani. Protokol je, da je nivo vode na jezu nastavljen na stalno višino 285,6 m nadmorske višine kot je pretok nižji od 120 m³/s. Ko se pretoki začnejo večati, se zapornice na jezu odprejo, nivo vode v Ljubljani pade. S tem protokolom se povečajo pretočne zmogljivosti celotne struge. V zadnjih letih se je zaradi vedno pogostejših poplav stalen nivo vode spustil na 285,6 m n.v., nivoji vode v reki pa se pogosteje spuščajo in ostajajo nizki vedno dlje.

Zaradi stalne in višje od naravne gladine vode reke Ljubljanice je tudi nivo podzemne vode v površinskem sloju Barja ustrezno visok. Podzemna voda se stalno obnavlja iz padavin in pritokov.

Iška je eden od glavnih pritokov Ljubljanice in teče od juga proti severu. Reka je dolga 25 km, od tega 5 km leži na območju Ljubljanskega barja (slika 2). Velikost porečja pri vasi Iška vas (lokacija 5425 na sliki 2) je 74,5 km² . Ko zapusti pri Iški vasi ozko dolino reka Iška teče po svojem vršaju (nanosih). Že nad vasjo Iška začne ponikati v vršaj, po Iški vasi pa lahko v obdobjih brez padavin popolnoma ponikne. Na dan pride spet pod cesto med vasjo Brest in Tomišelj. Na območju Iškega vršaja ima torej korito reke močno povezavo s podzemno vodo.



Slika 2: Položaj padavinskih postaj na Ljubljanskem barju in njegovem zaledju

2 RAZISKAVA VODNIH VIROV, PODATKI IN METODA DELA

2.1 Porečje reke Ljubljanice in meritve padavin

Ena postaja nacionalne mreže spremljanja padavin leži na porečju Iške, Iška vas. V njeni okolici so postaje Nova vas, Sodražica, Želumlje in Črna vas (slika 8). V preteklosti sta delovali tudi postaji Sveti Vid in Rob, obe na hribovitem območju Krma in Mokrc in postaja v Tomišlju. Njihove višine so: Črna vas 289 m nadmorske višine, Tomišelj 299 m nadmorske višine, Sveti Vid 846 m mv in Rob na 540 m a.s.l. Najbližja klimatološka postaja je v Ljubljani (Ljubljana - Bežigrad, 299 m nadmorske višine). Razdalja med to postajo in Iško je 8 km.

Poleg nacionalnega sistema spremljanja padavin obstajajo tudi druge sistemi meteorološkega spremljanje in obveščanje kot n.pr. ZEVS (ZEVS, 2011). V tej mreži je tudi postaja na Rakitni (787 m nadmorske višine, Krimsko pogorje). Zelo blizu je tudi Rakek (592 m nadmorske višine). Povprečna letna količina padavin na porečju Iške je 1700 mm, giblje pa se v razponu med 850 mm/leto in 2300 mm/leto (VGI, 1984).

2.2 Hidrološke meritve površinskih voda

Hidrološki monitoring gladin (pretokov) in temperatur površinske vode Barja se izvaja v okviru rednega nacionalnega monitoringa Agencije za okolje (ARSO). Na Ljubljanici so tri aktivne hidrološke postaje (slika 3):

- Moste v Ljubljani (od leta 1952),
- Kamin (od leta 1954) in
- Vrhnika (od leta 1961).

Redni hidrološki monitoring se izvaja tudi na pritokih Ljubljanice:

- Borovniščica (Borovnica od leta 1954),
- Ljubija (Vrhnika od leta 1952) in
- Iška v Iški vasi (od leta 2001).

V preteklosti se je monitoring izvajal tudi na:

- Iški v Iškem Vintgarju (od leta 1948) in
- Iški v Iški (1967 - 2001).

Dolžina niza podatkov Iške v Iški vasi je 12 let (2001 - 2012). Za potrebe modeliranja se razširi serijo s podatki iz gorvodne lokacije v vasi Iška.

Na reki Ljubljanici so nekdanje delovale tudi naslednje postaje:

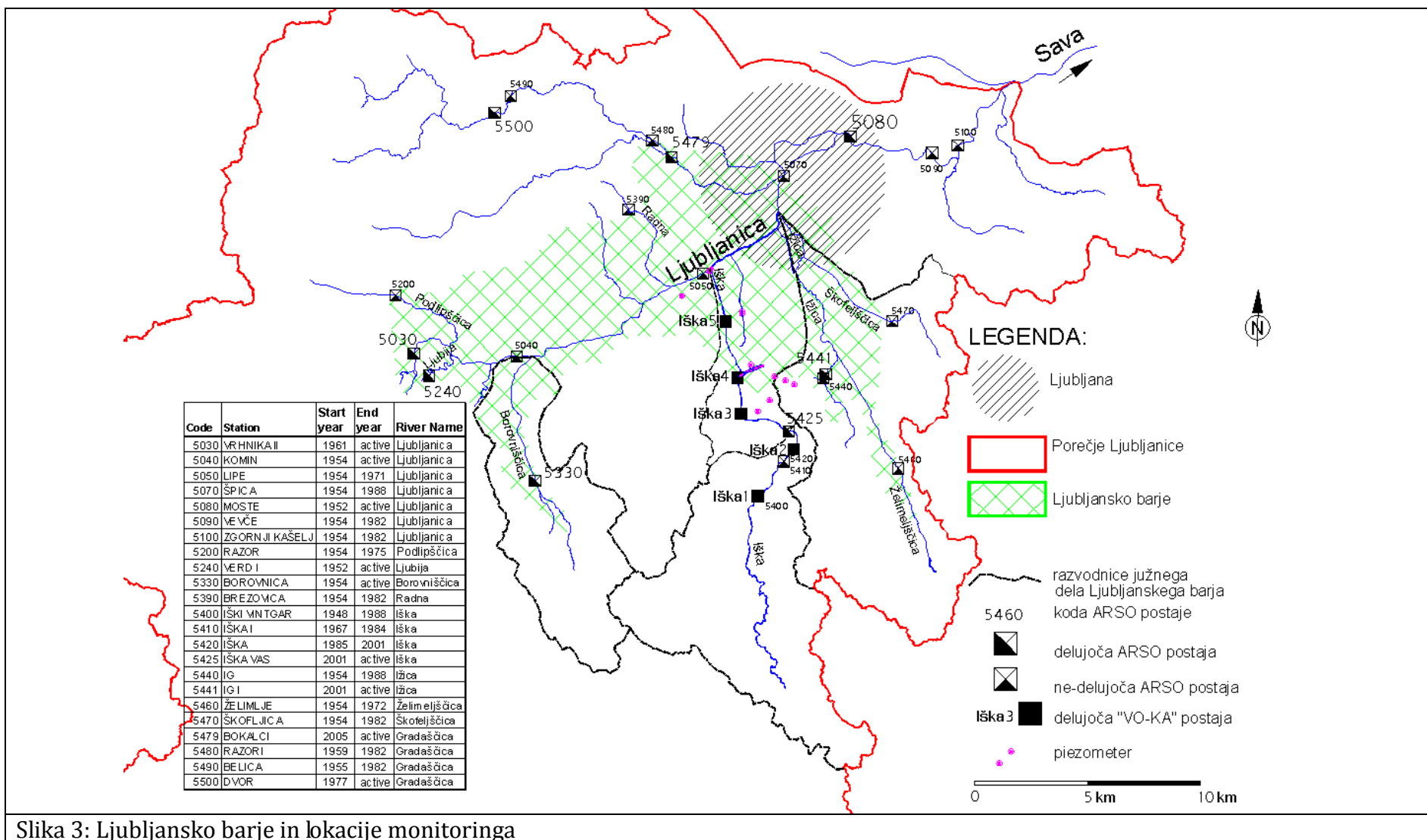
- Lipe (1954 - 1971),
- Špica (1954 - 1988) in
- Vevče (1954 - 1982)

V letu 2010 je bilo vzdolž Iške pet lokacij z meritvami pretokov (slika 4), ena v upravljanju ARSO, druge del monitoringa vodnih virov za Vodarno Brest (JP Vodovod – Kanalizacija Ljubljana).

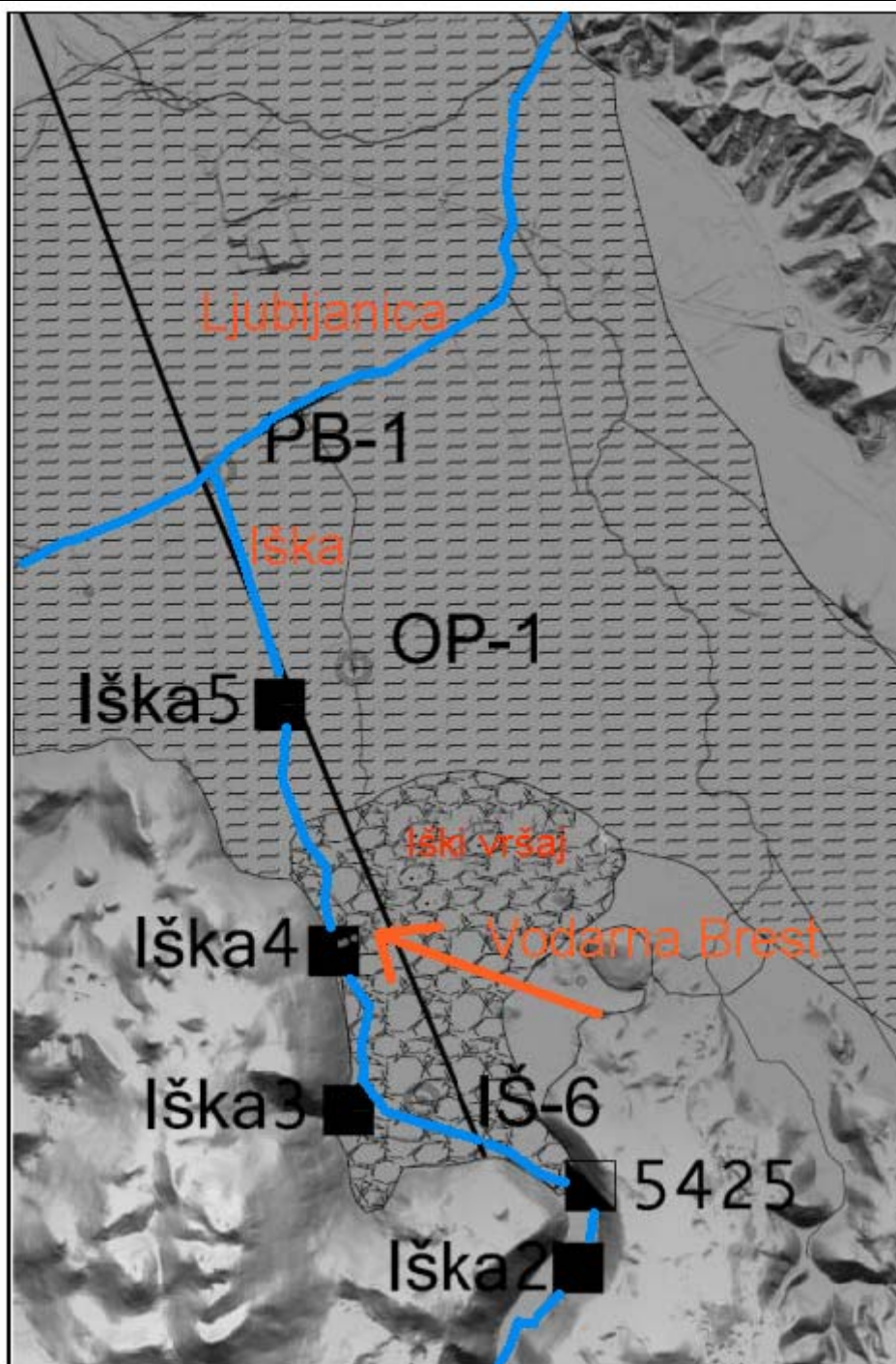
2.3 Hidrogeološke meritve

Lokacije monitoringa podzemne vode reke Iške prikazujeta slika 3 v večjem merilu, slika 5 pa v manjšem merilu. Na desetih lokacijah se gladino podzemne vode ročno spremlja vsakih 14 dni, pri drugih se izvaja avtomatsko vzorčenje z različnimi sondami. Za modeliranje smo pridobili podatke dnevnih nivojev voda za leti 2010 in 2011.

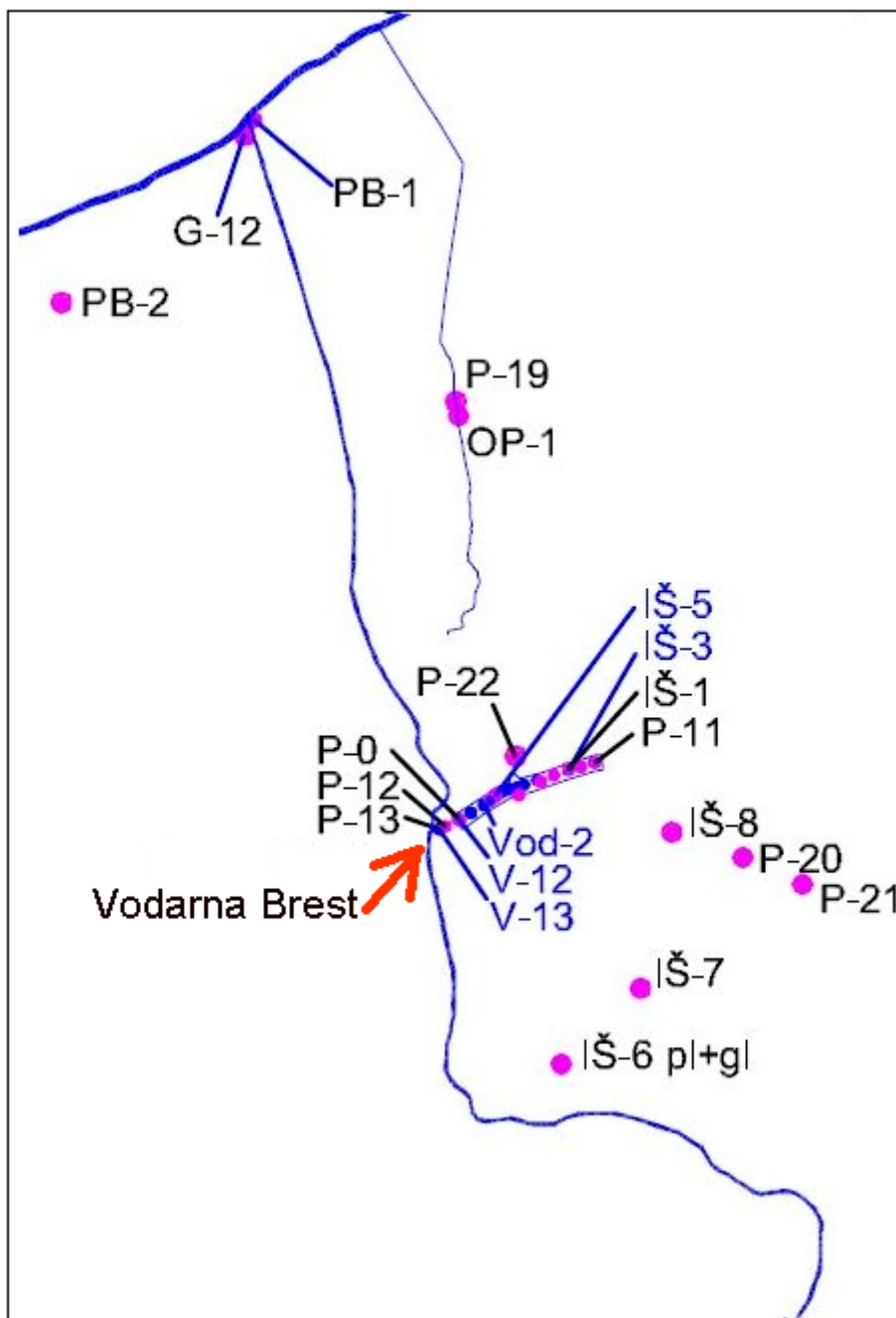
Ljubljansko barje ima kamnito kamninsko podlago, ki je sestavljena v južnem delu iz triasnega dolomita in apnenca, v severnem delu pa iz permokarbonskih škrilavcev. Kotlina je napolnjena z jezerskimi, močvirskimi in rečnimi sedimenti. Zgornja plast, ki je debele do 20 m je sestavljena iz šote in blata meljaste ilovice (polžarica). Hidrogeološki profil je prikazan na sliki 6. Spodnjo plast sestavlja pesek z muljem. Rob Ljubljanskega barja na jugu pri Iški oblikuje hudourniški vršaj. Ta se razširja proti ploski površini Ljubljanskega barja. Nadmorska višina te površine je 290 m n.v. Hribovje nad Iško je sestavljeno iz dolomita zgornjega triasa. Najvišja nadmorska višina je hribovja je 1107 m (Krim).



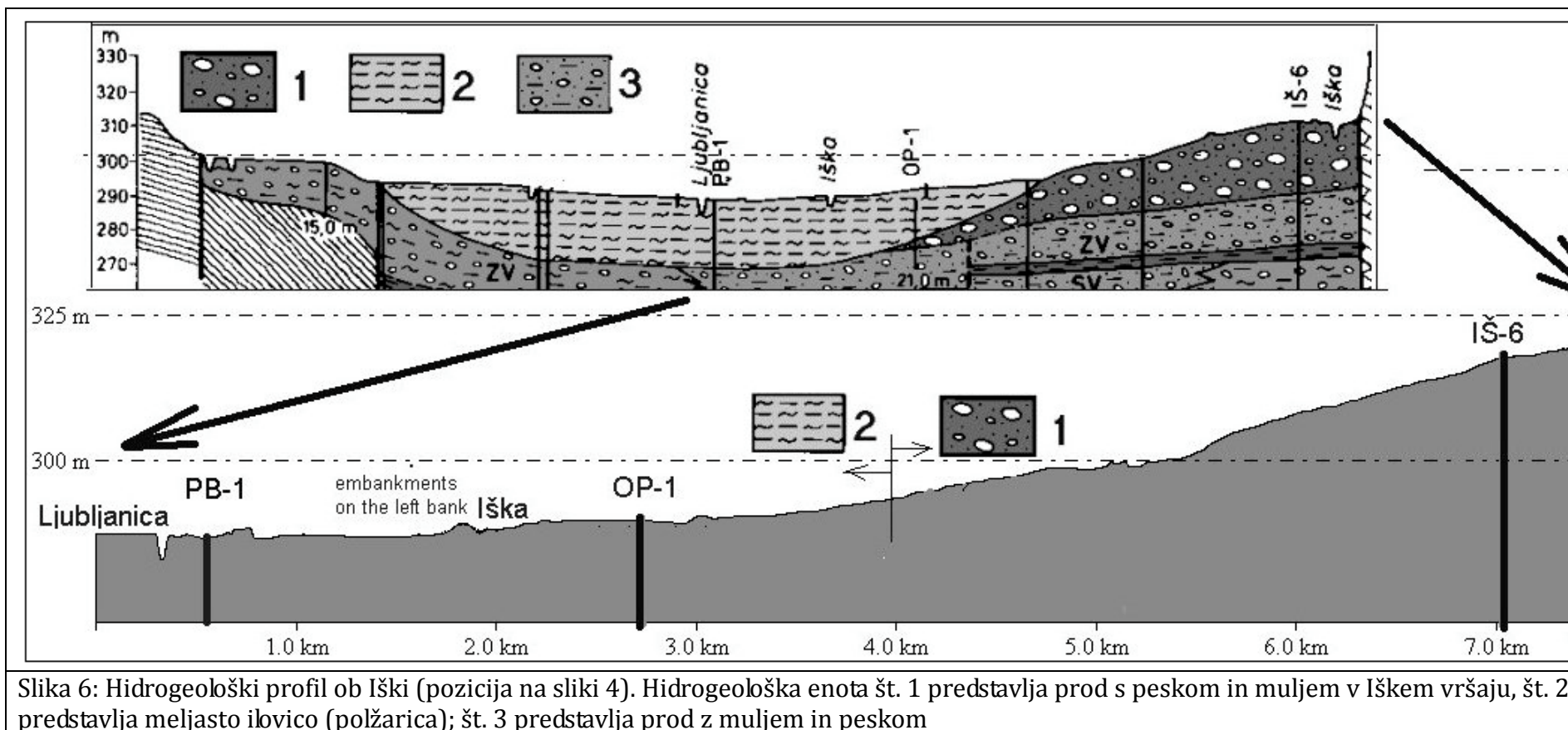
Slika 3: Ljubljansko barje in lokacije monitoringa



Slika 4: Lokacije meritev vodostajev in pretokov na Iški, območje Iškega vršaja, lokacija Vodarne Brest, lokacija dveh piezometrov na Barju pod Iškim vršajem, lokacija piezometra IŠ-6 na Iškem vršaju in pozicija hidrogeološkega profila (slika 5)



Slika 5: Lokacije meritev nivojev podzemne vode na Iškem vršaju, vodarni Brest in na Barju pod Iškim vršajem



Slika 6: Hidrogeološki profil ob Iški (pozicija na sliki 4). Hidrogeološka enota št. 1 predstavlja prod s peskom in muljem v Iškem vršaju, št. 2 predstavlja meljasto ilovico (polžarica); št. 3 predstavlja prod z muljem in peskom

2.4 Modeliranje vodnega režima Ljubljanice in Iške

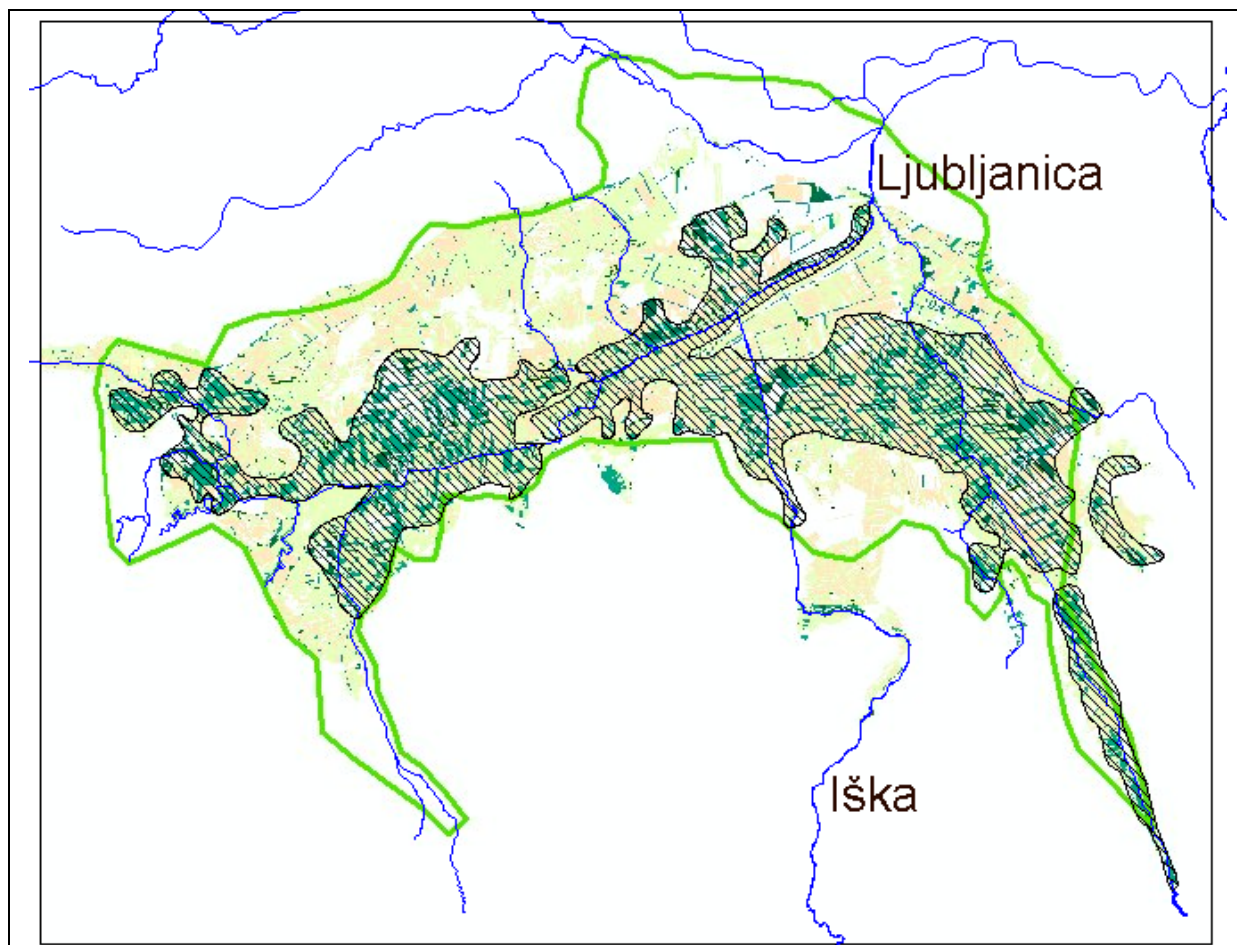
Modelira se je vodni režim Iškega vršaja in vodni režim vodonosnika pod mokriščnimi habitati proti Ljubljanici (slika 7). Za Ljubljansko barje so značilni mokrotni travniki, *Mollinimum*, *Phragmitium*, *Magnocaricium* (CKFF, 2004).

Vodni režim območja se je modeliral v treh stopnjah. V prvi se je pripravil model odtoka padavin s porečja. Kontrolna postaja je bila lokacija na reki Iški v Iški vasi. Uporabil se je hidrološki model HBV Light.

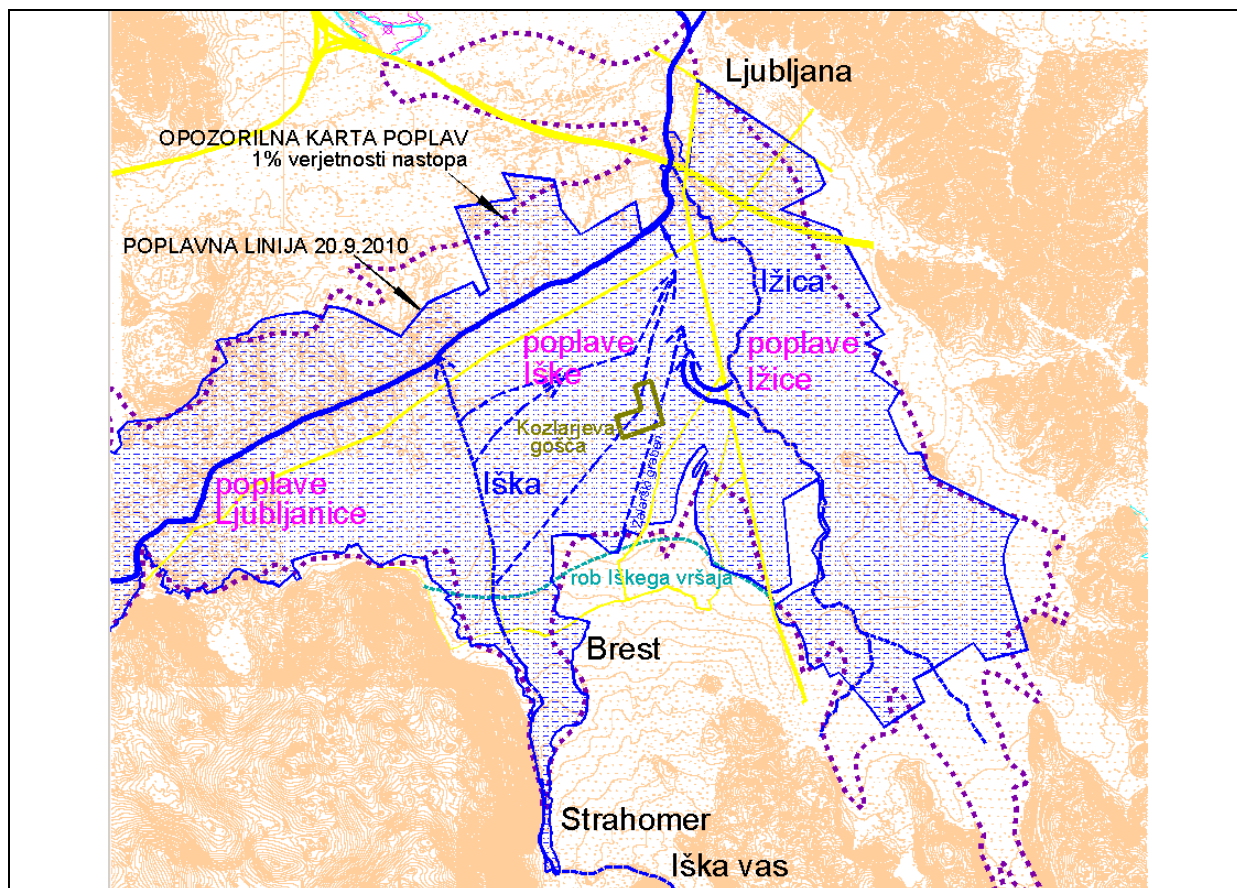
V drugi se je modelirala hidravlika reke Ljubljanice in Iške. Uporabil se je model MIKE 11 in MIKE FLOOD. Prečne profile reke Ljubljanice in Iške smo pridobili od Inštituta za vode Republike Slovenije (IzVRS, 2011). Na Iški smo uporabili podatke za 68 prečnih profilov. Model MIKE 11 (eno-dimenzionalni hidravlični model DHI) je bil umerjen na visoke vode leta 2010 in 1972. Kontrolni profili za visoke vode so bili profil Ljubljanice pri Špici, Prulskem mostu, Livadi in profil Ljubljanice pri Kaminu. Visoke vode in kote so opisane v poročilu IzVRS (2012). Slika 9 prikazuje lokacije spodnjih osmih prečnih profilov na Iški (pred vtokom v Ljubljanico), slika 10 pa v MIKE 11 vnesen profil št. 1. Podatke za teren, ki so potrebni pri modeliranju poplav smo pridobili od Občine Ig (OPN, 2011) in MKO (2012). Teren je bil posnet z LiDAR tehniko v natančnosti 30 cm * 30 cm. Za naše potrebe smo te podatke agregirali v model terena natančnosti 20*20 m.

V tretji stopnji smo modelirali interakcijo površinskih in podzemnih voda. Uporabili smo model MIKE SHE. Z modeloma MIKE SHE in MIKE FLOOD so se tako proučile interakcije površinskih in podzemnih tokov v času poplav in v času sušnih pretokov. Območja poplav leta 2010 prikazuje slika 8.

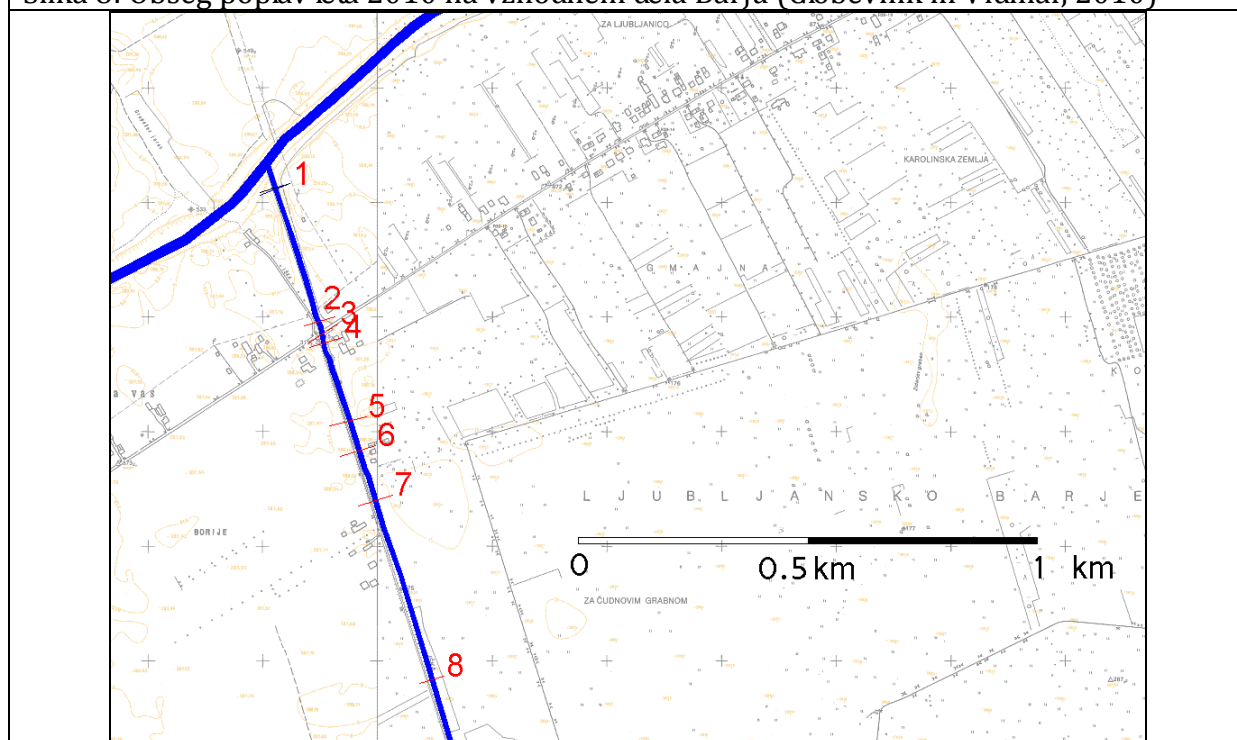
Na osnovi teh rezultatov in sedanjih hidroloških karakteristik porečja se je vrednotilo sedanjo vodno bilanco.



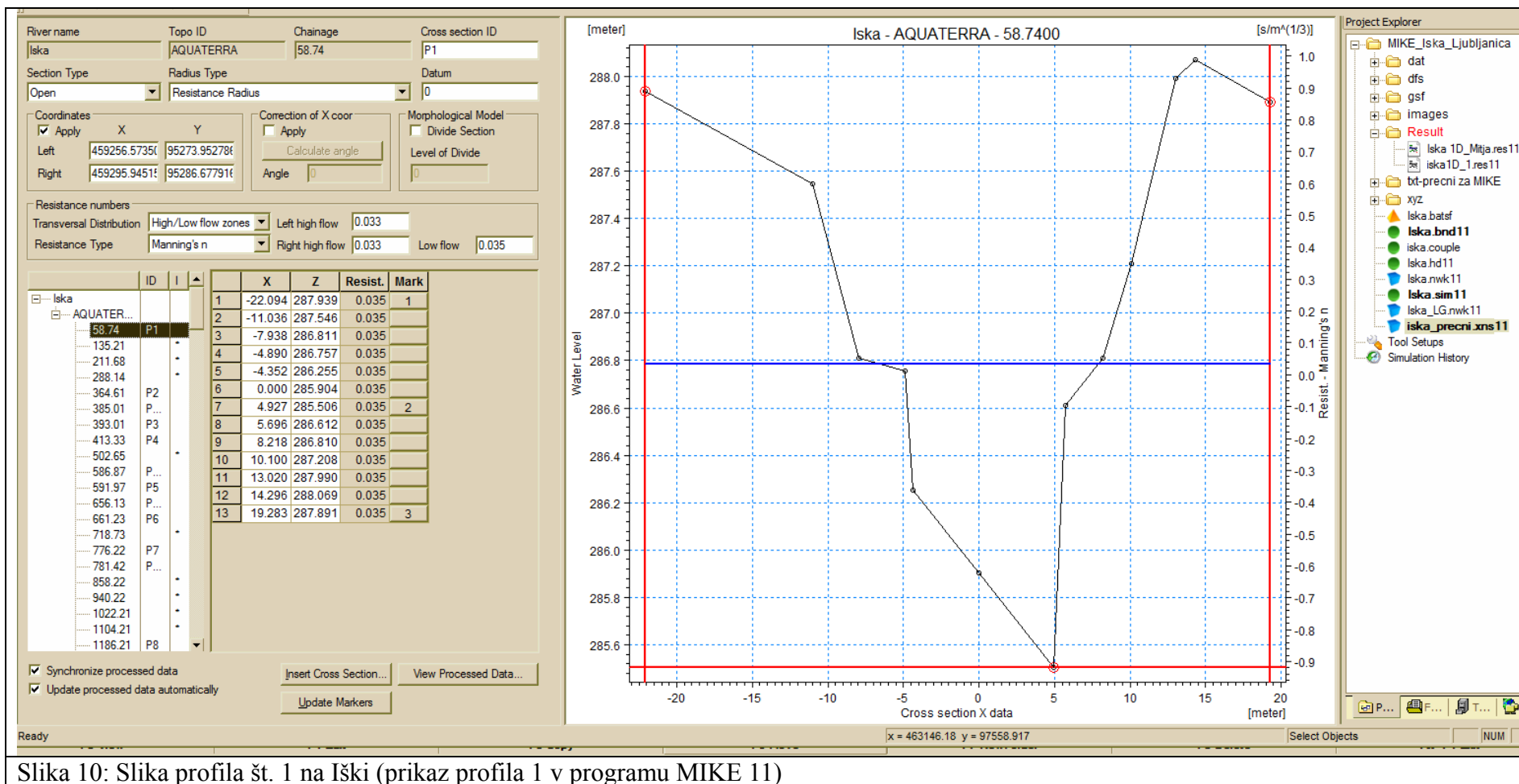
Slika 7: Mokriščni habitati, prikazani s šrafura poševnih črt. Temno zelena barva prikazuje mokrotne travnike Mollinium, Phragmitium in Magnocaricium (CKFF, 2004). S svetlo zeleno barvo je označen rob Ljubljanskega barja



Slika 8: Obseg poplav leta 2010 na vzhodnem delu Barju (Globevnik in Vidmar, 2010)



Slika 9: Lokacije spodnjih osmih prečnih profilov na Iški (pred vtokom v Ljubljanico)



Slika 10: Slika profila št. 1 na Iški (prikaz profila 1 v programu MIKE 11)

3 REZULTATI RAZISKAVE SEDANJEGA STANJA VODNIH VIROV

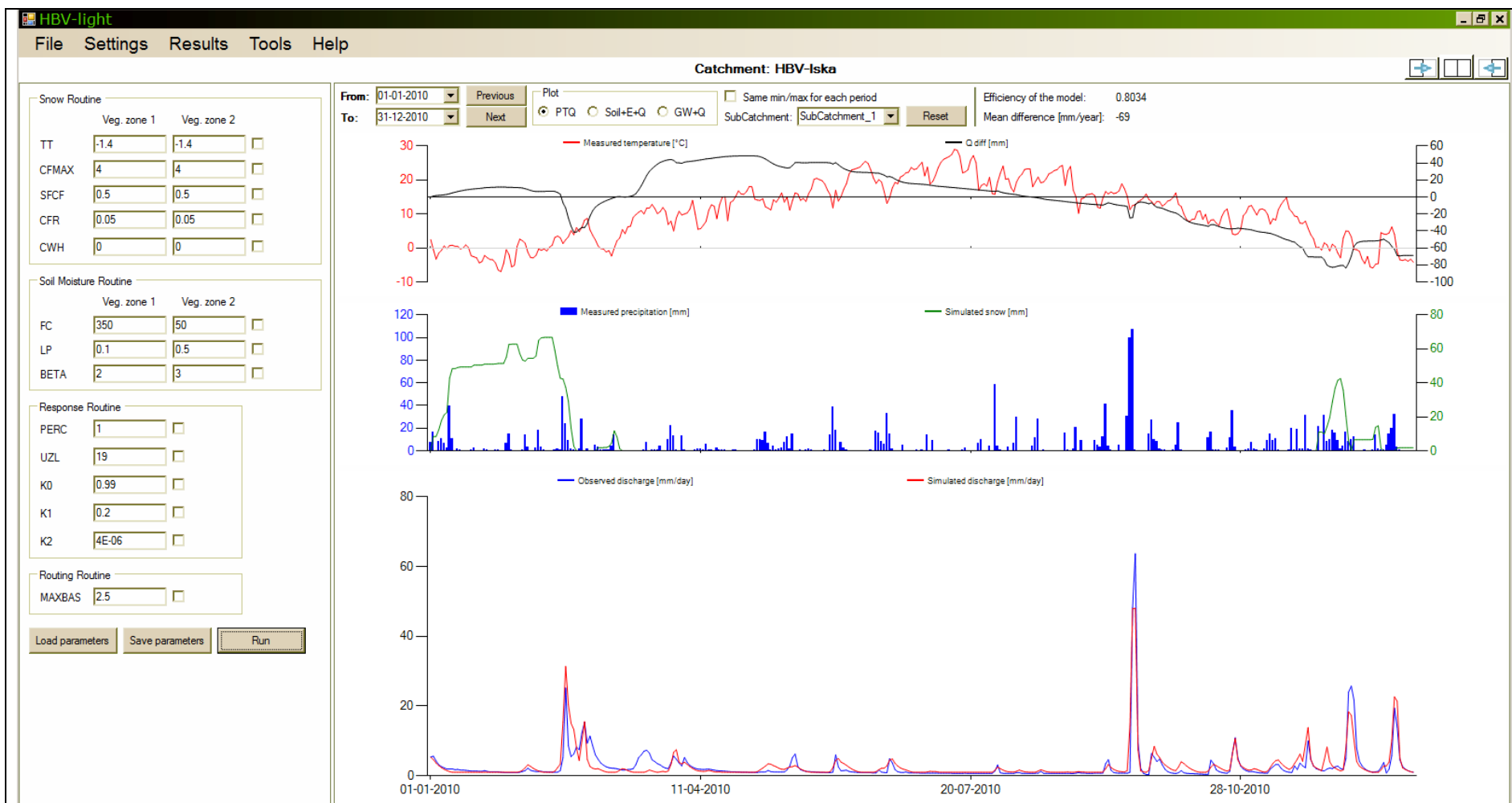
3.1 Model padavine – odtok

Dnevne vrednosti padavin porečja Iške, ki so služile za umirjanje modela HBV-light so pridobljene z metodo Thiessen-ovih poligonov. Upoštevane so postaje Pokojišče, Želimlje, Črna vas, Sodražica in Cerknica. Umirjanje modela se izvedlo s podatki za obdobje 2001 - 2011. Vse postaje se nahajajo izven porečja Iške pri Iški vasi. Najnižja korelacija, 0.87 obstaja med postajama Želimlje (307 m n.v.) In Pokojišče (737 m n.v.). Korelacija med Želimljami in Črno vasjo je 0.90.

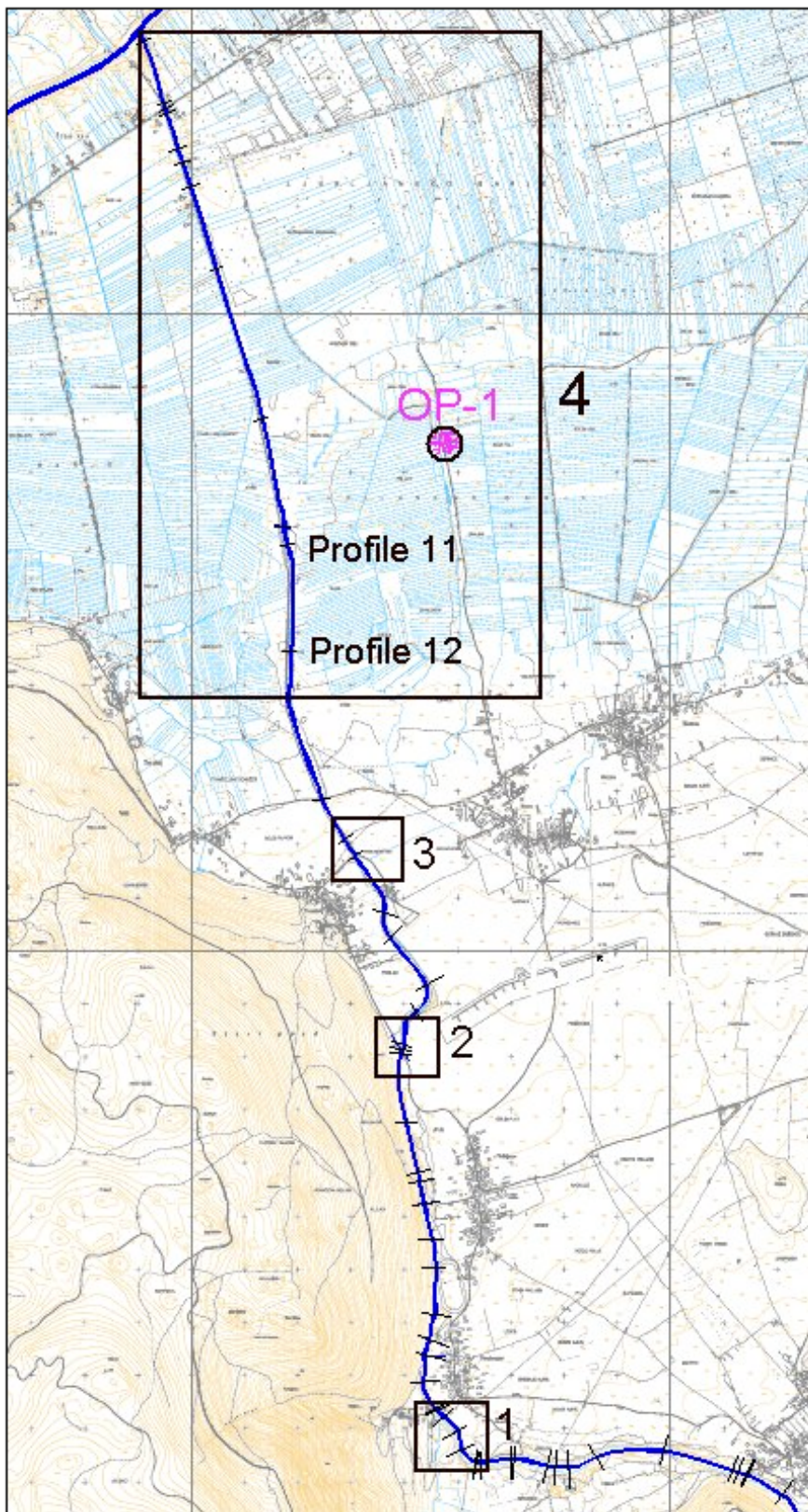
Slika 11 prikazuje rezultate računa »padavine – odtok«, ki jih da umirjen model HBV za leto 2010. Padavine so prikazana v zgornjem delu, v spodnjem delu pa podatki o pretokih. Koeficient učinkovitosti modela je 0.80, kar je sprejemljiva raven uspešnosti modela.

3.2 Hidravlični model Iške in Ljublanice

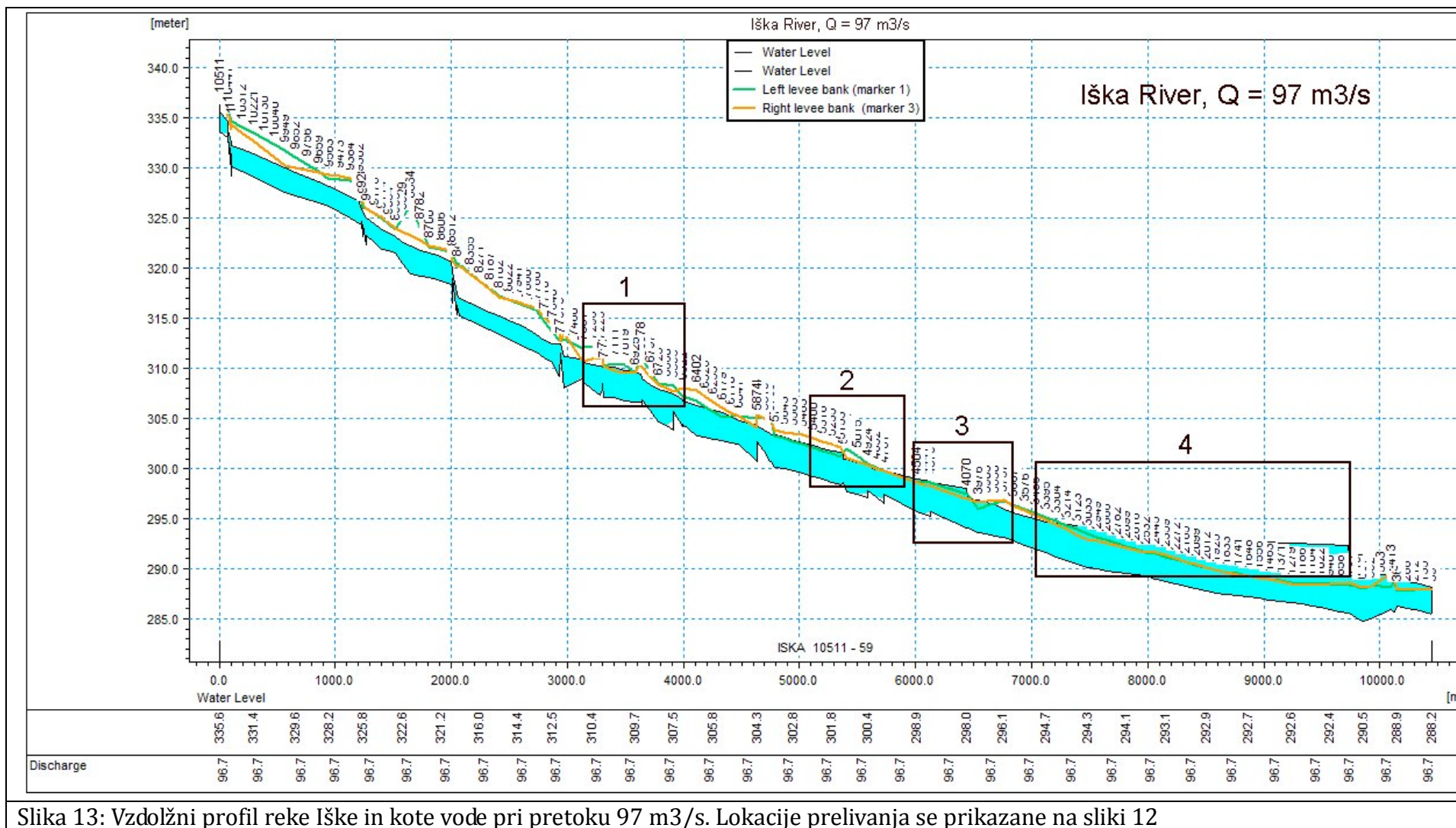
Reka Iška začne poplavljati pri pretoku 60 m³/s na spodnjem odseku (območje lokacije 4, slika 12). Nad Strahomerom (lokacija 1 na sliki 12), nad vodarno Brest (lokacija 2) in pri mostu ceste Brest – Tomišelj (lokacija 3) prelije brežino pri pretoku 90 m³/s. Slika 13 prikazuje vzdolžni profil reke Iške in izračunan nivo poplavne vode.



Slika 11: Dnevna vsota padavin na porečju Iške, merjeni hidrogram dnevnih pretokov reke Iške v Iški vasi in modelirani dnevni pretoki, leto 2010 (uporabljen model HBV Light)



Slika 12: Lokacije preliivanja visoke vode (začetek poplav) na reki Iški pri pretoku 97 m³/s



Slika 13: Vzdolžni profil reke Iške in kote vode pri pretoku 97 m³/s. Lokacije prelivanja se prikazuje na sliki 12

4 VIRI

ARSO, Arhiv hidroloških podatkov: http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php

ARSO, Arhiv meteoroloških podatkov <http://www.meteo.si/met/sl/archive>

Breznik, M. (1975) Podtalnica Iškega Vršaja. *Geologija* 18, 289–309

Globevnik, L. in Vidmar, A., (2010) Poplave na Ljubljanskem barju September 2010 (Flood on Ljubljana Moor September 2010). Mišičev vodarski dan 2010, 22–26. Maribor

Globevnik, L. & Železnik, B. (2011). Drinking water extraction facilities at risk of flooding from rivers and groundwater – flood impact assessment for water extraction facilities in Ljubljana area. *Risk in Water Resources Management*. IAHS Publ. 347, 2011

GURS. Arhiv podatkov digitalnega modela reliefa 5 m*5 m

MKO. Arhiv podatkov digitalnega modela reliefa 1m*1 m

zVRS, 2012. Inštitut za vode Republike Slovenije. Analiza poplavnih dogodkov v septembru 2010 v Sloveniji. Poročilo o delu Inštituta za Vode Republike Slovenije za leto 2011. PROGRAMSKI SKLOP: II/2 Priprava strokovnih stališč, podlag, dokumentov, študij in zasnov ureditev. Naloga 2: Strokovna mnenja, preverbe, analize in usmeritve za potrebe urejanja voda. Ljubljana. Januar 2012

IzVRS, 2013. Inštitut za vode Republike Slovenije. Arhiv geodetskih podatkov prečnih profilov reke Ljubljanice in Iške

Mencej, Z. (1976) Hidrogeološke razmere na zahodnem obrobju Ljubljanskega barja, GeoZS, Ljubljana, Slovenija

Mencej, Z. (1989) The gravel fill beneath the lacustrine sediments of the Ljubljansko barje. *Geologija* 31–32, 517–553. (1988/1998)

Novak, D. (1977) Meritve pretokov izvirov Iškega vršaja. GeoZS, Ljubljana, Slovenija

Seibert, J.; Vis, M.; Käser, D. HBV light - A user-friendly catchment-runoff-model software. EGU General Assembly 2012, held 22-27 April, 2012 in Vienna, Austria., p.12203

VGI (1984) Vodnogospodarski inštitut. Ljubljansko barje. Hidrologija in analiza poplavnosti. Zvezek 1. C-350. Ljubljana

ZEVS, 2011. Statistika vremenskih podatkov. [<http://statistika.zevs.si>]