

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*



Univerzitetni program Vodarstvo in
komunalno inženirstvo

Kandidatka:

Anja Horvat

Vpliv izgradnje hidroenergetskih objektov na vodni režim

Diplomska naloga št.: 59

Mentor:
prof. dr. Mitja Brilly

Somentor:
doc. dr. Andrej Kryžanowski

Ljubljana, 23. 6. 2006

IZJAVA O AVTORSTVU

**Podpisana Anja HORVAT izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:
» Vpliv izgradnje hidroenergetskih objektov na vodni režim ».**

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

Ljubljana, 23. junij 2006

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:

Avtor:	Anja Horvat
Mentor:	prof. dr. Mitja Brilly
Somentor:	mag. Andrej Kryžanowski
Naslov:	Vpliv izgradnje hidroenergetskih objektov na vodni režim
Obseg in oprema:	87 str., 3 pregl., 18 sl., 28 graf., 10 pril.
Ključne besede:	vplivi pregrad, Modflow, podtalnica, vodna bilanca, sedimentacija, injekcijska zavesa

Izvleček

Namen diplomske naloge je predstaviti vplive izgradnje pregrade v Mavčičah in pregrade v Medvodah na vodni režim. Predstavila sem obe pregradi, njun pomen za oskrbo z energijo ter problematiko, ki se pojavlja zaradi izgradnje.

V nalogi sem obravnavala spremembe režima podzemnih in površinskih voda, ki so nastale z izgradnjo obeh pregrad. V ta namen sem izdelala model podzemne vode Kranjsko – Sorškega polja s programom Modflow in s pomočjo umerjenega modela ugotovila tok podtalnice ter vodno bilanco Kranjsko – Sorškega polja. Tako sem ugotovila vpliv reke Save in ostalih vodotokov na podtalnico ter koeficiente prepustnosti dna.

Za ugotavljanje vplivov na rečni tok sem izdelala rečno bilanco Save iz podatkov srednjih mesečnih dotokov za dobo 17 let, od leta 1988 do leta 2000, na HE Mavčiče in HE Medvode. Ugotovila sem večji dotok na pregrado Medvode, ki je posledica izcejanja podtalnice pod pregrado Mavčiče in dotokov podtalnice s Kranjskega polja.

Z obravnavo razlik v volumnih obeh akumulacijskih jezer v obdobju od leta 1986 do leta 1998 za Trbojsko jezero in od leta 1988 do leta 2000 za Zbiljsko jezero sem ugotovila vpliv oviranja naravnega pretoka sedimentov.

Izvedba injekcijske zavesa na pregradi Mavčiče je bila zaradi visoke prepustnosti terena zelo zahtevna in nezadostna. Opisala sem problematiko prepustnosti injekcijske zavesa pregrade Mavčiče, negativne posledice ter prikazala spremembe v gladinah podtalnice na pregradi in ob njej.

V zaključku sem povezala vse opisane vplive pregrade in jih ovrednotila.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:

Author: Anja Horvat

Supervisor: prof. dr. Mitja Brilly

Co – Supervisor: mag. Andrej Kryžanowski

Title: The impact of construction of hydropower plant on water regime

Notes: 87 p., 3 tab., 18 fig., 28 graphs, 10 add.

Key words: impacts of hydropower plants, Modflow, underground water, sedimentation, injection curtain

Abstract

The purpose of this degree dissertation is to present the impacts of the hydropower plants Mavčiče and Medvode located on the Sava River on the water regime. I have presented both hydropower plants, their role in the power supply and the consequences of the construction.

In the dissertation I have discussed the changes of the underground and surface flow, which began after the construction of both hydropower plants. For this purpose I have made a model of the underground water of Kranjsko–Sorško polje by using the Modflow program and established the underground water flow and water balance of Kranjsko – Sorško polje with the help of the moderated model.

I have prepared a river balance for the Sava River, which helped me to state the impacts. I used average monthly flow data for 17 years on the hydropower plants Mavčiče and Medvode. I have ascertained that the flow on the Medvode hydropower plant is greater than the flow on the Mavčiče hydropower plant. That is the consequence of the inflow of the underground water, which comes out beneath the Mavčiče hydropower plant, and of the inflow from Kranjsko polje.

By studying the differences in volumes for water storage reservoirs in the period of 12 years I have determined the influence of the obstruction on natural sediments flow.

Because of a very conductive ground the construction of the injection curtain on the Mavčiče river dam was very demanding and insufficient. I have described this problem and the negative consequences.

To conclude, I have linked all the impacts and assessed them.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem svojim mentorjema, ki sta mi pomagala pri strokovnih vprašanjih in svojim staršem, ki so potrpežljivo dočakali moj zaključek študija.

Hvala tudi mojemu fantu, ki me je ves čas razumel in spodbujal.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	PREGRADI MAVČIČE IN MEDVODE	3
2.1	Geografski položaj pregrade Mavčiče	5
2.1.1	Opis pregrade in akumulacije Mavčiče	5
2.1.2	Raziskave opravljene med gradnjo	10
2.2	Geografski položaj pregrade Medvode	12
2.2.1	Opis pregrade in akumulacije Medvode	13
2.2.2	Sanacija akumulacije Medvode – Zbiljskega jezera	17
2.2.2.1	Opis	17
2.2.2.2	Problematika	17
2.2.2.3	Možne rešitve	19
2.2.2.3.1	Uporaba sedimentov v kmetijstvu	19
2.2.2.3.2	Ureditev deponije na območju obstoječih gramoznic in izkopov	20
2.2.2.3.3	Ureditev deponije v sosednjih dolinah	20
2.2.2.3.4	Ureditev deponije na območju zajezenega prostora	20
2.2.4	Sanacija	20
2.2.5	Sedanje stanje	23
2.3	Geološki opis območja	23
2.4	Hidrogeološke značilnosti	25
2.5	Pomen pregrad Mavčiče in Medvode za oskrbo z elektriko	27
2.6	Problematika pregrad in nadaljnja obdelava podatkov	28
3	SPREMEMBE REŽIMA ZARADI IZGRADNJE PREGRAD	30
3.1	Dvig podtalnice zaradi vpliva HE Mavčiče	30
3.1.1	Stanje leta 1987	30
3.1.2	Model podtalnice Kranjsko – Sorškega polja	31
3.1.2.1	Območje	31

3.1.2.2	Kote terena in kote neprepustne podlage	32
3.1.2.3	Časovni parametri	33
3.1.2.4	Začetne gladine podtalnice	34
3.1.2.5	Vrtine in meritve opazovanj	34
3.1.2.6	Horizontalna hidravlična prepustnost, transimisivnost in efektivna poroznost	36
3.1.2.7	Napajanje podtalnice	37
3.1.2.8	Reke, ki vplivajo na podtalnico	38
3.1.2.9	Rezultati in ugotovitve	39
3.1.2.9.1	Tok podtalnice	39
3.1.2.9.2	Vodna bilanca	42
3.2	Rečna bilanca	45
3.2.1	Dotoki na pregradi	45
3.2.2	Letna rečna bilanca Save	48
3.2.3	Ugotovitve	49
3.2.3.1	Zablatenje akumulacije Mavčiče	51
3.3	Transport sedimentov	53
3.3.1	Razlike v volumnih bazenov za HE Mavčiče in HE Medvode	54
3.3.1.1	Volumen bazena HE Mavčiče	54
3.3.1.1.1	Primerjava površine prečnih profilov	55
3.3.1.1.2	Volumen bazena v odvisnosti od kote zajezbe za stanje dna bazena v letu 1998	58
3.3.1.1.3	Sprememba delnega koristnega volumna med profili od leta 1986 do leta 1998	58
3.3.1.2	Volumen bazena HE Medvode	59
3.3.1.2.1	Spremembe površine posameznih profilov od leta 1988 do leta 2000	60
3.3.1.2.2	Volumen jezera v odvisnosti od kote zajezbe	63
3.3.1.2.3	Sprememba delnega koristnega volumna odsekov med profili	63
3.3.2	Zaključki in možne rešitve	65

3.3.2.1	Akumulacija Mavčiče	65
3.3.2.2	Akumulacija Medvode	65
3.3.2.3	Možne rešitve	66
4	TEHNIŠKI UKREPI ZA UREJANJE BAZENA HE MAVČIČE	68
4.1	Izvedba injekcijske zavese	68
4.2	Prepustnost injekcijske zavese	69
4.3	Sanacijski ukrep na injekcijski zavesi	72
4.4	Posledice slabega tesnenja injekcijske zavese	77
4.5	Ugotovitve	79
5	ZAKLJUČEK	82

VIRI 84

PRILOGE

Priloga A: Geološki presek Godešič-Mavčiče-Klanec

Priloga B1: Lokacija profilov na akumulaciji Mavčiče

Priloga B2: Lokacija profilov na akumulaciji Mavčiče

Priloga C: Geološki profil vrtine na HE Mavčiče

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vodna bilanca za celotno območje vodotokov.

Preglednica 2: Oštevilčenje prečnih profilov v akumulacijskem bazenu HE Mavčiče, njihova oddaljenost od pregrade in razdalja.

Preglednica 3: Oštevilčenje profilov v akumulacijskem jezeru HE Medvode, njihova oddaljenost od pregrade ter razdalja. Zadnji trije odebeljeno zapisani profili so izračunani samo leta 2000 in ne tudi leta 1988.

KAZALO SLIK

Slika 1: Kranjsko – Sorško polje, ki ga na sredini deli reka Sava, pomembnejši pritoki reke Save, večja mesta in naselja ob Savi s prometnicami ter hribovja na obrobju polja. Na reki Savi sta vidna Trbojsko in Zbiljsko jezero.

Slika 2: Območje Kranjsko – Sorškega polja v modelu. Na severu je zajet severni rob mesta Kranj, na jugu spodnje Pirniče, na zahodu do Škofje loke in na vzhodu do Mengša.

Slika 3: Prikaz plastnic terena z nadmorsko višino, ki so izrisane na podlagi interpolacije 20-ih vnešenih kot.

Slika 4: Prikaz hidroizohips, ki določajo začetne gladine podzemne vode na osnovi interpolacije srednjih januarskih vodostajev podzemne vode.

Slika 5: Prikaz lege opazovalnih vrtin Kranjsko – Sorškega polja v modelu.

Slika 6: Območja različnih horizontalnih prepustnosti in transmisivnosti. Zgornja številka je horizontalna prepustnost, spodnja pa transmisivnost sloja.

Slika 7: Prikaz bogatenja na severovzhodnem robu območja je velikosti $3 \cdot 10^{-7}$ m/s na eno celico, drugje pa $4,873 \cdot 10^{-8}$ m/s na celico.

Slika 8: Izrisane hidroizohipse Kranjsko – Sorškega polja s koto podtalnice za leto 2001.

Slika 9: Tokovnice podtalne vode na Kranjsko – Sorškem polju za leto 2001. Odseki med puščicami predstavljajo dolžino potovanja podtalnice v enem letu.

Slika 10: Območja vodne bilance.

Slika 11: Prikaz tokovnic na območju pregrad Mavčiče in Medvode leta 2001.

Slika 12: Prikaz lokacije postaj V-3 in Pz-10. (Podlaga: Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, DOF5, 1:15 000; 2000, <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)

Slika 13: Prikaz situacije injekcijske zavese. (Podlaga: Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, DOF5, 1:25 000; 2000, <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)

Slika 14: Lokacija Pz-7 in Pz-8 ter injekcijske zavese pred njima. (Podlaga: Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, DOF5, 1:25 000; 2000, <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)

Slika 15: Lokacije S vrtin, vrtine V-3 in injekcijske zavese. (Podlaga: Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, DOF5, 1:25 000; 2000, <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)

Slika 16: Prikaz lokacije merilnih mest diletacije D-11 in D-12. (Podlaga: Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, DOF5, 1:25 000; 2000, <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)

Slika 17: Hidroizohipse v letu 2000 na Kranjsko – Sorškem polju.

Slika 18: Hidroizohipse v letu 2001 na Kranjsko – Sorškem polju.

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Primerjava dotokov na pregradi Mavčiče in Medvode v letu 2000, ko je bil povprečni letni dotok največji v 16. letih.

Graf 2: Primerjava dotokov na pregradi Mavčiče in Medvode v letu 2003, ko je bil povprečni letni dotok najmanjši v 16. letih.

Graf 3: Stolpična primerjava povprečnih letnih dotokov na HE Mavčiče in na HE Medvode.

Graf 4: Razlika v srednjih letnih dotokih na pregradi od leta 1988 do leta 2005.

Graf 5: Razlike v dotokih na obe pregradi za mesec maj.

Graf 6: Razlike v dotokih na obe pregradi za mesec februar.

Graf 7: Prikaz meritev podzemnih vod v osemnajstih piezometrih na Kranjsko-Sorškem polju od leta 1990 do 2005.

Graf 8: Grafični prikaz nižanja srednjega letnega nivoja podtalnice ob pregradi Mavčiče od leta 1990 in 2005.

Graf 9: Prikaz primerjave površin prečnih profilov v letih 1986 in 1998.

Graf 10: Prikaz spremembe volumna posameznih odsekov med letoma 1986 in 1998.

Graf 11: Prikaz odvisnosti volumna bazena od kote zajezbe.

Graf 12: Prikaz sprememb delnega koristnega volumna med profili.

Graf 13: Prikaz primerjave površine profilov med leti 1988 in 2000 od HE Medvode do HE Mavčiče.

Graf 14: Prikaz sprememb delnega volumna posameznih odsekov med letoma 1988 in 2000.

Graf 15: Prikaz odvisnosti volumna bazena od kote zajezbe.

Graf 16: Prikaz primerjave koristnih površin profilov nad koto 352,2 za leti 1988 in 2000.

Graf 17: Prikaz sprememb delnega koristnega volumna odsekov med leti 1988 in 2000.

Graf 18: Primerjava vodostaja v Pz-10 in v V-3 z začetnimi podatki o zgornji vodi na pregradi.

Graf 19: Prikaz razlik v vodostajih na postaji V-3 in Pz-10 v obdobje od marca 1986 do junija 2000 s trend linijo.

Graf 20: Prikaz razlik v vodostajih na postaji V-3 in Pz-10 v obdobje od junija 2000 do oktobra 2005 s trend linijo.

Graf 21: Razlike v kotah v obdobju od marca 2001 do maja 2005 so skoraj stacionarne.

Graf 22: Prikaz nihanja gladin v Pz-7 in Pz-8.

Graf 23: Prikaz razlik v kotah podtalnice v Pz-7 in Pz-8.

Graf 24: Prikaz razlik v kotah Pz-7 in Pz-8 od 7.2003, ko se je stanje začelo ponovno občutno slabšati.

Graf 25: Primerjava kot gladine podtalnice v S vrtnah in v V-3 piezometru v obdobju pred in po sanaciji.

Graf 26: Pomiki razpok v obdobju pred sanacijo injekcijske zavese. Pred sanacijo je bila diletacija merjena samo na merilnem mestu D12.

Graf 27: Pomiki razpok v obdobju po sanaciji injekcijske zavese.

Graf 28: Primerjava gladin podtalnice v letih 2000 in 2001.

1 UVOD

Izgradnja pregrad je ukrep, ki ga izvajamo za oblikovanje zbiralnika vode za različne potrebe. Med razloge za gradnjo spada predvsem pridobivanje energije s pomočjo obnovljivega energetskega vira – vode, ki ima v primerjavi z ostalimi metodami pridobivanja energije, kot so kurjenje fosilnih goriv ali jedrska energija, še vedno manj negativnih posledic. Akumulacijsko jezero, ki nastane za pregrado pa je lahko tudi pomembna stalna zaloga vode za številne druge razne namene, kot sta možnost plovbe in rekreacija.

Pregrade v Sloveniji so zgrajene z razlogom pridobivanja energije. Med njih spadata tudi pregradi Mavčiče in Medvode, katerima je posvečena osrednja tematika diplomske naloge. Ker ima vsak koristen vpliv tudi stranske učinke, brez katerih pri nobenem "zdravilu" za kakršnekoli težave ne gre, imata tudi ti dve pregradi negativne vplive. Te negativne vplive bom predstavila v nalogi in jih ovrednotila.

Pri razlaganju vplivov pregrad Mavčiče in Medvode si bom pomagala z modelom podtalnice Kranjsko – Sorškega polja v programom Modflow, ki simulira tok podtalnice. Najbolj neposreden in neizbežen vpliv obeh pregrad je bil namreč dvig gladine podtalnice, ki obsega širše območje Kranjsko – Sorškega polja. Ugotavljala bom torej vpliv pregrad na tok podtalnice, spremembe v rečnem režimu reke Save in vpliv Save na podtalnico ter potek vpliva od začetka obratovanja.

Izgradnja pregrad je povzročila spremenjeni rečni režim, saj se s postavitvijo pregrade tok vode zadržuje za pregrado in ustvari se akumulacija vode, ki pomeni spremembo rečnega režima v jezernega. Bližnji prebivalci pregrad so bili tako fizično prizadeti ob nastanku akumulacije zaradi poplavljanja površinske vode in podtalnice, ki je poplavela mnoge kleti. Obenem pa je prisotno tudi odlaganje sedimentov v bazenu za pregrado, kar bom ovrednotila s pomočjo meritev volumnov obeh bazenov v razmaku 12-ih let.

Pri pregradi Mavčiče se še vedno srečujejo z vplivom zelo prepustne podlage in globoke neprepustne podlage. Injekcijska zavesa pregrade na nekaterih mestih namreč slabo tesni in

prihaja do večjih izgub vode iz akumulacijskega bazena. Zaradi slabo prepustne pregrade in dna akumulacije Mavčiče prihaja pod pregrado do povečanega dreniranja podtalnice, ki ga bom prikazala s pomočjo modela. Slabo tesnenje injekcijske zavese pa bom prikazala s primerjavo kot gladin podtalnice v piezometrih ob pregradi.

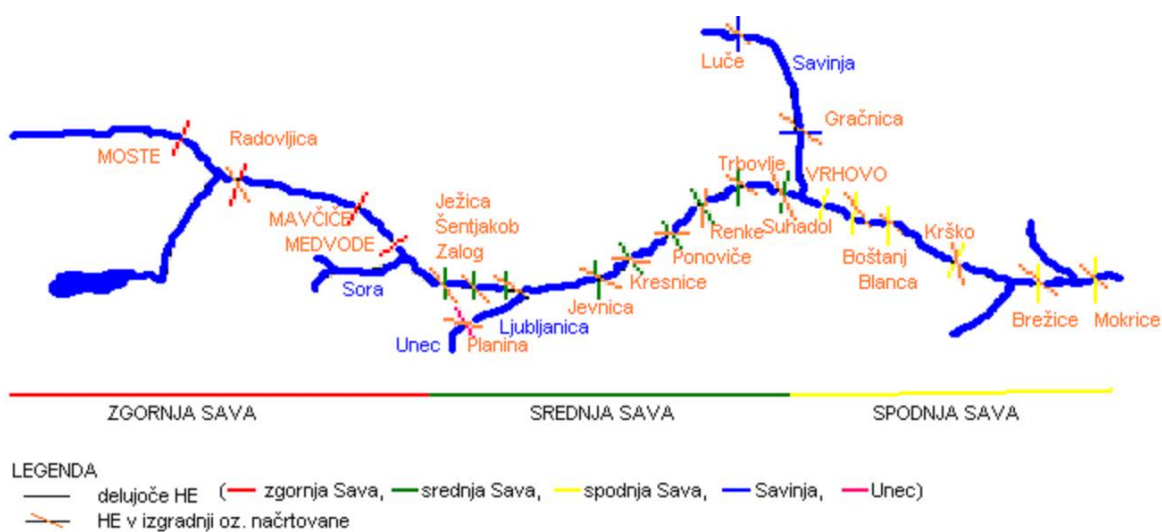
Vplive pregrad na okolje sem podrobneje opisala že v svoji seminarski nalogi z naslovom Vpliv izgradnje hidroenergetskih objektov na vodni režim (Horvat A., 2005. Vpliv izgradnje hidroenergetskih objektov na vodni režim. FGG, VKI: 150 f.), kjer sem obravnavala tudi napovedovanje vplivov, ocenjevanje ter metode blaženja, poudarila pa sem vplive na ribe. V diplomski nalogi pa bom obravnavala vplive na dejanskih primerih HE Medvode in HE Mavčiče, ki se kot vse druge pregrade tudi srečujeta z nepredvidenimi vplivi in potrebnimi sanacijskimi ukrepi. Osredotočila se bom na predhodno omenjene vplive, ki so nastali zaradi izgradnje, spremenjeni režim, dvig podtalnice po izgradnji HE Mavčiče, opisala bom sanacijo Zbiljskega jezera leta 1995 z odstranjevanjem sedimentov ter problematiko prepustnosti injekcijske zavese na HE Mavčiče. Vsi vplivi so soodvisni drug od drugega, kar bom poskušala čim bolj prikazati s pomočjo modela podtalnice in vodne bilance Kranjsko – Sorškega polja.

2 PREGRADI MAVČIČE IN MEDVODE

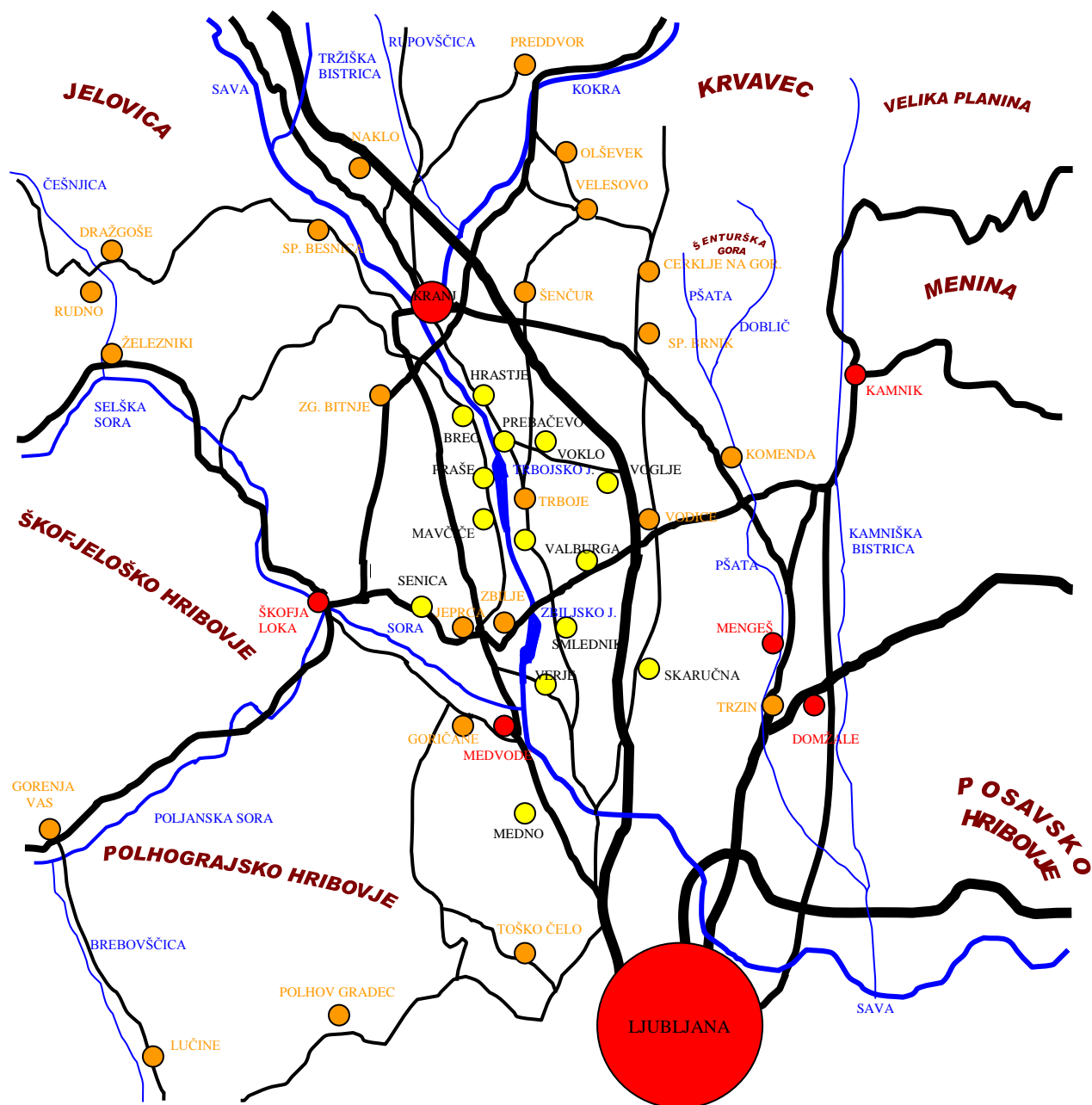
Voda je naravni vir, ki ga ima Slovenija v izobilju, zato ideja o verigi pregrad na reki Savi sega še v čase Avstro-ogrske, ko so pripravili že prve osnutke za izgradnjo. V tem času je bila zgrajena tudi prva elektrarna na slovenskem Završnica (1915) za namen javne elektrifikacije. Med drugo svetovno vojno so s projektom nadaljevali Nemci, ki so opravili tudi nekatere osnovne raziskave o geološki strukturi tal na spodnji Savi, za pregrade Vrhovo, Boštanj, Blanca in Krško. Po drugi svetovni vojni sta bili zgrajeni pregradi Moste (1952) in Medvode (1953), nato pa je bil projekt iz različnih razlogov prekinjen za 30 let, ko sta bili zgrajeni pregradi Mavčiče (1986) in Vrhovo (1994).

Na 221 kilometrih, ki jih Sava preteče po Sloveniji stoji pet elektrarn, od katerih je najstarejša elektrarna Završnica (1915) spremenjena v spomenik tehniške kulture. Štirim elektrarnam, ki so v obratovanju na Savi se bo po naslednjem zaporedju kmalu pridružilo še pet novih, ki so HE Boštanj, HE Blanca, HE Krško, HE Brežice in HE Mokrice.

Vsega skupaj je na reki Savi planiranih 15 pretočnih pregrad (slika spodaj) od Medvod do državne meje s Hrvaško. Vlogo čelnega bazena bosta prevzeli akumulaciji Mavčiče in Medvode, vlogo kompenzacijskega bazena pa pregradi Brežice in Mokrice.



Vse delujoče in načrtovane pregrade na reki Savi in njenih pritokih. (SEL, 1994, str. 2-3)



Legenda:

- mesta,
- večja naselja,
- manjša naselja.

Slika 1: Kranjsko – Sorško polje, ki ga na sredini deli reka Sava, pomembnejši pritoki reke Save, večja mesta in naselja ob Savi s prometnicami ter hribovja na obrobju polja. Na reki Savi sta vidna Trbojsko in Zbiljsko jezero.

2.1 Geografski položaj pregrade Mavčiče

Pregrada Mavčiče in njeno akumulacijsko jezero ležita 7,5 km zračne razdalje nizvodno od mesta Kranj pod naseljem Mavčiče na Kranjsko – Sorškem polju v soteski Save.

Akumulacijsko jezero je zalilo ozko sotesko Save in sega malo višje gorvodno od mostu pri tovarni Planika. To mesto velja tudi za začetek akumulacije Mavčiče. Od tega mesta dalje si naselja ob akumulacijskem jezeru proti pregradi sledijo v naslednjem vrstnem redu: Drulovka, Breg, Praše, Mavčiče na desnem bregu reke in na levem bregu: Hrastje, Prebačevo, Žerjavka, Trboje in Moše. Dovoz do pregrade je iz Mavčič, torej iz desnega brega Save, medtem ko so na levem bregu Moše.

Pokrovnost tal območja od Kranja do pregrade predstavljajo večinoma nesklenjene urbane površine, kmetijske površine drobnoposestniške strukture, manj kmetijskih površin z večjimi območji vegetacije in mešani gozd.



Tok reke Save v času pred zajezitvijo s pregrado Mavčiče.

(Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, TK50, 1:50 000; 1978-1987,
<http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)

2.1.1 Opis pregrade in akumulacije Mavčiče (SEL, 2005, www.savske-el.si/)

Hidroelektrarna Mavčiče je rečna elektrarna, pri kateri so strojnica, pretočni polji ter levoobrežna priključna pregrada ključni objekti, ki pregrajujejo reko Savo in ustvarjajo

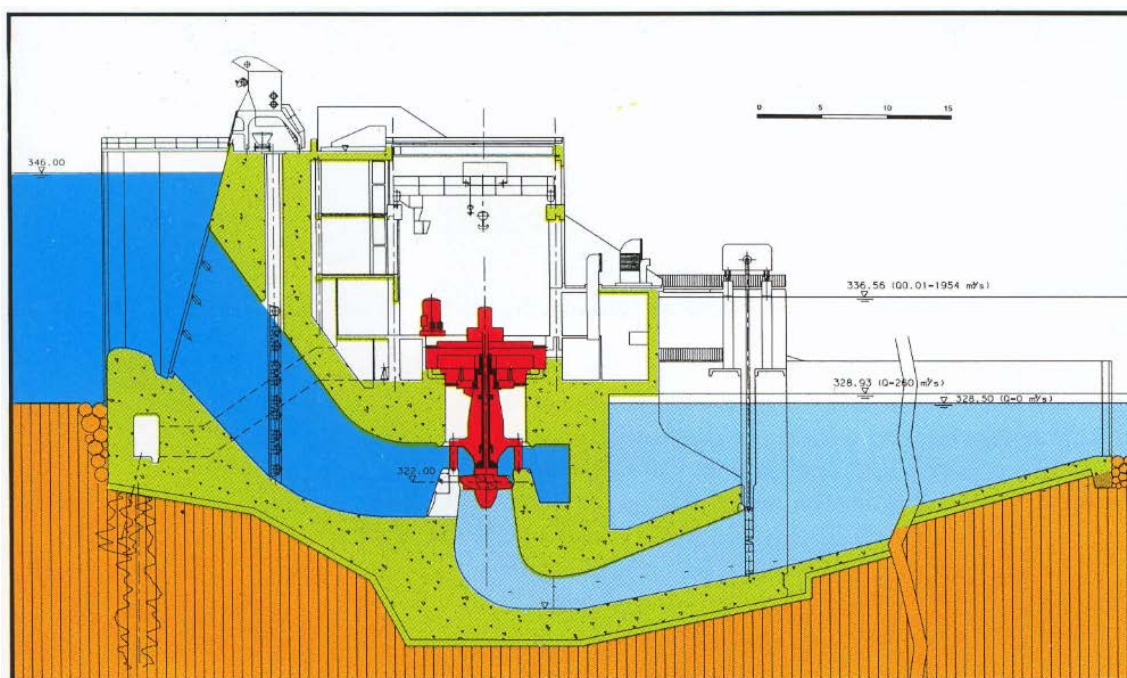
potrebno zajezitev in akumulacijo vode. Hidroelektrarna je pretočnega tipa z jezovno zgradbo betonsko – težnostnega tipa. Jezovno zgradbo sestavljajo strojnica, prelivni polji in težnostna zemeljska pregrada. Konstrukcijska višina je 40 m. V strojnici sta nameščena dva agregata (kaplanovi turbini) s skupno požiralnostjo $260 \text{ m}^3/\text{s}$. V konicah proizvodnje dajeta 38 MW moči, pri srednji letni proizvodnji 61 GWh.

Prelivni objekt sestavljata dve pretočni polji, ki sta opremljeni s segmentnima zapornicama z nasajeno zaklopko. Zajezitvena višina je 19,5 m. Prevodnost enega pretočnega polja je $1600 \text{ m}^3/\text{s}$ (100-letna voda).



Pregrada Mavčiče od spodaj. Levo spodaj je vidno drstišče za ribe, ki je v času drstenja tako prepolno rib, da jih morajo ribiči "varovati" pred raznimi plenilci. Na levem delu pregrade je strojnica, desno pa sta dve prelivni polji, vsako široko 12 m. Pod strojnico, ki je širine 60 m, sta dve kaplanovi turbini. Za pregrado je vidno Trbojsko jezero.

(SEL, 2002, www.savske-el.si/)



Vzdolžni prerez strojnice HE Mavčiče. Na sliki je horizontalna kaplanova turbina, katere lopatice so na koti 322 m. Pred vtokom v turbinsko nišo so glavne zapornice, pred katerimi so rešetke, ki varujejo turbino pred poškodbami zaradi naplavin. Pred rešetkami so zopet zapornice, ki ustavijo vodo pred rešetkami in služijo za popravila glavnih zapornic. Pri zapornicah je prag, ki zadržuje sedimente pred vtokom v turbino. Na iztoku vode iz turbine pa je zopet zapornica. Kota spodnje vode pri $Q=0 \text{ m}^3/\text{s}$ je 328,50, pri pretoku tisočletne visoke vode $Q=1954 \text{ m}^3/\text{s}$ pa je kota spodnje vode 336,56 m. (SEL, 1994, Hydro Power Plants, str.7)

Elektrarna je opremljena z dvema sinhronskima generatorjema nazivne moči 25 MVA in napetosti 10,5 kV. Generatorja sta vsak s svojim transformatorjem povezana s 110 kV mrežo prek elektrarniškega 110 kV stikališča. Elektrarna je daljinsko vodena iz centra vodenja Savskih elektrarn Ljubljana, ki je v Medvodah.



Satelitski posnetek pregrade Mavčiče. Levo od pregrade je RTP postaja.

(Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, DOF5, 1:15 000; 2000,
<http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)

Akumulacijsko jezero, ki je nastalo za pregrado, je dolgo 10 km, njegov vpliv pa sega do malo nad mostom pri tovarni Planika. Največja globina jezera je pri pregradi, 20 m. Voda je zalila ozko sotesko Save, ki ima tudi do 30 m visoke stene in se razširi le pri Drulovki, Prebačevem in Trbojah do 400 m, drugače pa je široka 30 do 50 m. Gladina vode se je po izgradnji pregrade dvignila za največ 16 m ob pregradi, proti Kranju pa je dvig gladine vse manjši. Dvig gladine Save je povzročil tudi dvig gladine podtalnice, zato so bile potrebne tudi sanacije stanovanjskih in industrijskih objektov.

V okviru gradnje je bila soinvestirana tudi gradnja čistilne naprave odpadnih vod v Kranju, na kateri se v bližnji prihodnosti načrtuje prenova. Pod elektrarno je bilo urejeno ribje drstišče z namenom, da se v akumulacijskem bazenu HE Medvode obdržijo obstoječe vrste rib. Na dovodu vode do drstišča je bila zgrajena mala elektrarna.

Hidrološki podatki

- velikost povodja: 1480 km²,
- srednja voda: 54,5 m³/s,
- stoletna visoka voda: 1583 m³/s,
- tisočletna visoka voda: 1954 m³/s.

Hidravlični podatki

- instalirani pretok elektrarne: $2 \times 130 \text{ m}^3/\text{s}$,
- maksimalni pretok elektrarne: $270 \text{ m}^3/\text{s}$,
- pretok zgornje zapornice: $120 \text{ m}^3/\text{s}$,
- pretok spodnje zapornice: $1500 \text{ m}^3/\text{s}$,
- pretok pretočnega polja: $1500 \text{ m}^3/\text{s}$,
- skupni pretok zapornic: $3000 \text{ m}^3/\text{s}$,
- število zapornic: 2.

Bazen

- površina: 1 km^2 ,
- maksimalni volumen: $10,7 \text{ hm}^3$,
- koristni volumen: $1,7 \text{ hm}^3$,
- nominalna kota zgornje vode: 346,
- nominalna kota spodnje vode: 328,5,
- relativno dovoljeni najvišji nivo zgornje vode: 0,
- relativno dovoljeni najnižji nivo spodnje vode: - 170 cm,
- dovoljena hitrost zniževanja gladine vode: 60 cm/uro.

Padec

- statični padec: 17,5 m,
- maksimalni neto padec: 17 m,
- nazivni neto padec: 16,9 m.

Operativni podatki

- leto izgradnje: 1986,
- število agregatov: 2 kaplanova,
- instalirana moč: $2 \times 25 \text{ MVA}$,
- moč na pragu: 38 MW,
- nazivni $\cos \phi$: $2 \times 0,8$,
- srednja letna proizvodnja: 60 GWh.

2.1.2 Raziskave opravljene med gradnjo (UNI, Laboratorij za mehaniko tekočin, Opazovanja v letu 1985, Vpliv akumulacije Mavčiče na okolje)

V okviru gradnje HE Mavčiče so bila izvedena obsežna dela na zavarovanju brežin akumulacijskega bazena. V Laboratoriju za mehaniko tekočin na FGG v Ljubljani je bila narejena raziskava o povzročitvi valov z odlomom bloka iz stene soteske v bližini pregrade. V strugi Save je namreč več odlomljenih kosov velikih nekaj 100 m^3 in po oceni geologov bi se, predvsem zaradi potresa ali zaradi zmanjšane stabilnosti pri razmočenju, lahko odlomili bloki velikosti od 5600 m^3 pri Mošah do 36000 m^3 pri Drulovki. Ugotovljeno je bilo, da bi padec takega bloka povzročil val visok 3 do 6,5 m in največ 8,5 m pri Drulovki na nasprotnem bregu. V jezeru pod Trbojami bi bil najvišji val visok 3,5 m. Valovi na poti navzgor in navzdol po strugi se močno zmanjšujejo in ne ogrožajo niti pregrade niti industrijske cone v Kranju. Ob pregradi bi bili visoki le 0,75 m in v Kranju 0,5 m.

Opravljanje so bile tudi meritve gladin podtalnice na Kranjsko Sorškem polju. Predviden je bil dvig gladine Save po zajezitvi, ki bo povzročil dvig gladine podtalnice na vsem Sorškem polju in na zahodnem delu Kranjskega polja. Dvig gladine Save je namreč močno povečal napajanje podtalnice iz Save in s tem tudi pretok izvirov. Povečano napajanje podtalnice je bilo predvideno zelo visoko v prvih letih, pozneje pa se je zaradi delne zablatitve bregov zmanjšalo. Zaradi dvignjene gladine podtalnice je bila potrebna sanacija ogroženih stanovanjskih in industrijskih objektov. Zaradi dviga podtalnice na območju tovarne Planika in vdora v klet je hidroelektrarna določeno obdobje obratovala z nižjo gladino. Prvotno je bila tudi predvidena zatesnitev kleti v tovarni Planika z neprepustnim ometom, ki pa ni bila izvršena, zato je bila dovoljena zajezitev HE Mavčiče samo na koto 345 m, po delnem zablatenju pa na koto 345,6 m.

Nizvodno od pregrade je bil predviden povečan iztok podtalnice v Savo. Zaradi strujnega pritiska ali razmočenja glinastih slojev so bila pričakovana celo poslabšanja stabilnost bregov Save v zgornjem delu bazena HE Medvode. Približno 30 m globoke konglomeratne in prodne plasti so zahtevale obsežna injekcijska tesnilna dela, tako za zatesnitev gradbene jame, kot izvedbo injekcijske zavese objekta.

Zavod za socialno medicino in higieno Gorenjske, Kranj, je opravil meritve kvalitete podtalnice na Kranjsko – Sorškem polju. Opravljeni so bili terenski odvzemi vzorcev na 13. lokacijah in fizikalno – kemijske ter bakteriološke analize. Pri fizikalno – kemijskih analizah je bila ugotovljena opazno manjša elektroprevodnost Save pri HE Mavčiče od elektroprevodnosti podtalnice Sorškega polja. Obratno je bilo s trdoto vode, ki je v podtalnici občutno višja v primerjavi z reko Savo. Visoko nad dovoljeno koncentracijo v Savi so nitriti, medtem ko so v podtalnici pod dovoljeno mejo ali pa jih sploh ni. Nitrati so v podtalnici veliko bolj stalno prisotni kot v Savi in v manjših količinah, kar je najverjetneje posledica vnosa v podtalnico. V normalnih razmerah so sulfidi in kloridi pokazatelj stalnosti kvalitete podtalnice, spremembe njihovih koncentracij pa kažejo na določene spremembe napajanja podtalnice, oziroma vnos vode z drugačno sestavo. Presojanje vpliva sulfatov na podtalnico je bilo nezanesljivo zaradi industrijske uporabe žveplene kisline, zato pa je bilo zanesljivo sklepano na vpliv Save pri vnosu kloridov v podtalnico.

Bakteriološke analize so pokazale ustreznost 90,4 % vzorcev vod podtalnice. Dva vzorca od 52 sta kazala na možnost vpliva onesnaževanja z odplakami v industrijski coni. Vsi analizirani vzorci vod Save pa so pokazali močno onesnaženje fekalnega izvora, pri čemer je bilo sklepano na večkratno onesnaževanje reke Save s komunalnimi odplakami.

Zaradi povečane infiltracije Save je bilo pričakovano poslabšanje kvalitete podtalnice ker je v njej več savske vode, ker je pretok hitrejši in s tem čistilni čas krajši.

Geološki zavod Ljubljana je opravil raziskave o gladinah podtalne vode v tovarni Planika, v Mavčičah, Mošah, Dragočajni in na gradbišču elektrarne. Opazovali so tudi stabilnost bregov bodoče akumulacije. Primerjave nihanja količin padavin, gladine Save in gladine podtalnice so pokazale, da ima največji vpliv na gladino podtalnice na desnem bregu Save nihanje rečne gladine, le v manjši meri količina padavin. Na visok vodostaj v največji meri vpliva visoka gladina Save, posebno, če si sledijo v kratkih časovnih presledkih visoki valovi Save, ki jih povzročajo močne, čeprav kratkotrajne padavine. Stabilnost bregov so opazovali s pomočjo osmih reperjev, ki so bili vgrajeni leta 1980 med raziskovalnimi deli v okviru glavnega projekta HE Mavčiče. Reperji so bili postavljeni na robovih kanjona Save ne mestih, kjer bi eventuelno premikanje bregov po zaježitvi Save lahko ogrozilo posamezne objekte. Meritve

vertikalnih in horizontalnih premikov reperjev so pokazale, da zaenkrat ni bilo premikov. Premiki bi lahko nastali po zaprtju pregrade in injekcijske zavese na levem in desnem bregu v zgornjem toku Save.

Na Biotehniški fakulteti, v Oddelku za agronomijo so izdelali oceno kvalitete pogojev travnikov na območju zadnje terase med reko Soro in vasmi Ladja pri Medvodah, Zgornja Senica, Reteče, Godešič in Lipica do potoka Žabnica. Opazovali so floristične posnetke travne ruše in ovrednotili krmno vrednost, ocenili proizvodnjo vrednost travne ruše in travno deteljnih mešanic, opravljene so bile meritve trenutne vrednosti vlage, meritve fizikalnih lastnosti tal, prikaz vrednostnih razredov proizvodnje sposobnosti zemljišč po talnih enotah, izdelava desorpcijskih karakteristik in ovrednotenje vodne bilance za najpomembnejše razrede in za karakteristične poljščine. Namen naloge je bil oceniti tedanje stanje za lažjo oceno vpliva HE Mavčiče v prihodnosti.

Hidrometeorološki zavod Slovenije je izdelal poročilo o opravljenih meritvah in obdelavi podatkov gladin podtalnice, gladin reke Save, padavin in kvalitete voda na Sorško – Kranjsko – Vodiškem polju.

2.2 Geografski položaj pregrade Medvode

Pregrada Medvode leži nad sotočjem reke Save in Sore v občini Medvode 11,8 km zračne razdalje od mesta Kranj in 4,8 km od pregrade Mavčiče. Za pregrado je nastalo Zbiljsko jezero, imenovano po naselju Zbilje ob akumulacijskim jezerom, ki sega malo nad smledniški most. Jezero se je pretežno formiralo v mejah stare rečne struge in delno s potopitvijo nizkih obrežnih teras. Na najožjem delu je široko 40 m, na najširšem delu pred elektrarno pa 250 m. Na najglobljem delu, pred pregrado, znaša globina 20 m.

Ob akumulacijskem jezeru ležijo tri naselja in sicer na levem bregu na začetku akumulacije Smlednik in Verje, na desnem pa Zbilje (slika na naslednji strani). Pregrada leži na začetku Medvod, dostop do objektov pa je iz desnega brega reke Save.



Geografski položaj HE Medvode.

(Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, TK50, 1:50 000; 1978-1987,
<http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)

Pri pokrovnosti tal na desnem bregu prevladuje iglasti gozd, nekaj je nesklenjenih urbanih površin, medtem ko na levem bregu prevladujejo kmetijske površine drobnoposestniške strukture, mešani in iglasti gozd ter urbanizirane površine pa so v manjšini.

2.2.1 Opis pregrade in akumulacije Medvode (SEL, 2005, www.savske-el.si/)

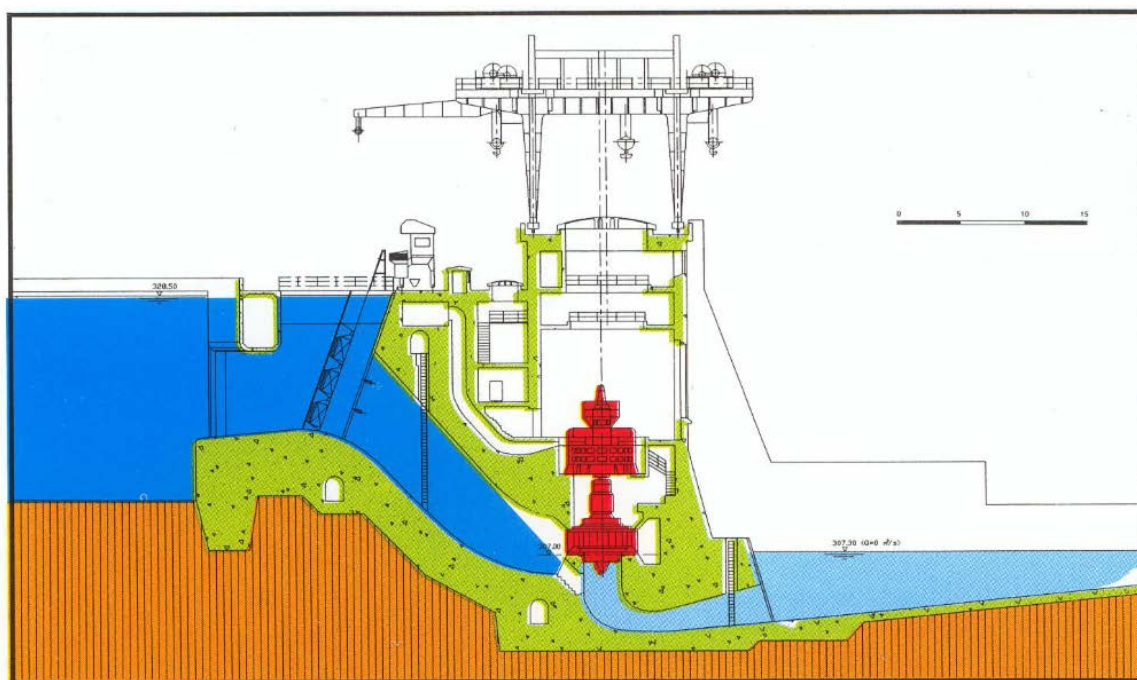
Pregrada Medvode je rečna pregrada, ki zajezuje reko Savo 4,8 km dolvodno od pregrade Mavčiče. Graditi so jo začeli leta 1948, agregat 2 je pričel obratovati leta 1953, agregat 1 pa 1954. Leta 1964 so dvignili koto zgornje vode za 1 m. Od let 2003 – 2006 poteka izvedba obnove HE.

Pregrada Medvode je betonsko težnostnega tipa z dnevno akumulacijo Zbiljsko jezero. Jezovna zgradba je kombinirano steberskega-obrežnega tipa. V smeri matice toka sta dve pretočni polji, ki sta opremljeni z dvojnima tablastima zapornicama kljukaste izvedbe, z zaježitveno višino 17,5 m. Prevodnost pretočnih polj je 2400 m³/s. Leta 1964 so bile zapornice zvišane za 1 m, pri čemer se je povečala moč na turbinah za 11 %. V turbinskih stebrih, ob obrežju sta nameščena dva agregata (kaplanovi turbini) s skupno požiralnostjo 142 m³/s, ki dajeta v konici proizvodnje 20 MW moči, pri srednji letni proizvodnji 77 GWh.



HE Medvode od spodaj. Na sredini vidimo dve pretočni polji, ki imata zaježitveno višino 17,5 m, na levi in desni strani pa sta ob obrežju nameščeni kaplanovi turbini. Širina vsake zapornice je 15 m, skupaj z obema turbinskima stebroma meri širina 70 m. Pred pregrado je akumulacija od 150 do 200 m široka, potem pa se razširi do 300 m.

(SEL, 2002, www.savske-el.si/)



Vzdolžni prerez strojnice HE Medvode. HE Medvode ima dve horizontalni kaplanovi turbini na koti 307,0 m. Pred turbinama so glavne zapornice pred katerimi so rešetke, ki ščitijo pred dotokom naplavin. Pred rešetkami so zopet zapornice, ki zaustavijo dotok vode in se

uporabljajo pri popravilih glavnih zapornic. Pred zapornicami je prag, ki zadržuje sedimente, da ne vtekajo v turbinski jašek. Na iztoku vode iz turbine je za komolcem zopet zapornica. Kot spodnje vode pri pretoku $Q=0 \text{ m}^3/\text{s}$ je 307,3 m. (SEL, 1994, Hydro Power Plants, str.9)

Elektrarna je opremljena z dvema sinhronskima generatorjema nazivne moči 13,5 MVA in napetosti 6,3 kV, ki sta bila obnovljena v letih 1994 in 1995. Generatorja sta z zveznimi vodi priključena na 6/35 kV stikališče od koder se električna energija transformira na 10, 35 in 110 kV mrežo. Na lokaciji elektrarne sta tudi center vodenja za vse hidroelektrarne na reki Savi in vzdrževalni center za verigo hidroelektrarn na zgornji in srednji Savi.



Satelitski posnetek HE Medvode. Levo od pregrade je vidna RTP postaja.

(Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, DOF5, 1:15 000; 2001,

<http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)

Akumulacija vode za pregrado sega do malo nad smledniški most. Imenuje se Zbiljsko jezero, po naselju Zbilje in je dolgo približno 3 km. Na začetku je jezero široko le dobrih 100 metrov, pri naselju Zbilje pa se razširi na več kot 300 m. Njegova površina meri $0,72 \text{ km}^2$, maksimalni volumen pa 7 hm kar pomeni, da je manjši od bazena HE Mavčiče, ki ima volumen 10,7 hm. Kota zajezitve je 328,5, kar je obenem tudi kota spodnje vode na HE Mavčiče.

Hidrološki podatki

- velikost povodja: 1513 km^2 ,
- srednja voda: $65,2 \text{ m}^3/\text{s}$,

- stoletna visoka voda: $1670 \text{ m}^3/\text{s}$,
- tisočletna visoka voda: $1954 \text{ m}^3/\text{s}$.

Hidravlični podatki

- instalirani pretok elektrarne: $2 \times 71 \text{ m}^3/\text{s}$,
- maksimalni pretok elektrarne: $160 \text{ m}^3/\text{s}$,
- pretok zgornje zapornice: $300 \text{ m}^3/\text{s}$,
- pretok spodnje zapornice: $1000 \text{ m}^3/\text{s}$,
- pretok pretočnega polja: $1000 \text{ m}^3/\text{s}$,
- skupni pretok zapornic: $2000 \text{ m}^3/\text{s}$,
- število zapornic: 2.

Bazen

- površina: $0,72 \text{ km}^2$,
- maksimalni volumen: 7 hm^3 ,
- koristni volumen: $1,1 \text{ hm}^3$,
- nominalna kota zgornje vode: 328,5,
- nominalna kota spodnje vode: 307,3,
- relativno dovoljeni najvišji nivo zgornje vode: 0,
- relativno dovoljeni najnižji nivo spodnje vode: - 170 cm,
- dovoljena hitrost zniževanja gladine vode: 60 cm/uro.

Padec

- statični padec: 21,2 m,
- maksimalni neto padec: 20,5 m,
- nazivni neto padec: 18,5 m.

Operativni podatki

- leto izgradnje: 1953,
- število agregatov: 2 kaplanova,
- instalirana moč: $2 \times 13,5 \text{ MVA}$,
- moč na pragu: 20 MW,

- nazivni cos fi: 2x0,8,
- srednja letna proizvodnja: 77 GWh.

2.2.2 Sanacija akumulacije Medvode – Zbiljskega jezera

2.2.2.1 Opis

Zbiljsko jezero leži za pregrado Medvode nad mestom Medvode. Nastalo je za HE Medvode, ki je bila zgrajena 18.junija 1953 in je zaustavila tisočletni tok reke Save. V dveh dneh po zajezitvi je Sava napolnila dolino med Zbiljami in Brezovcem. Jezero je poplavlilo polja, travnike, sadovnjake okoliških prebivalcev. Nastalo je umetno akumulacijsko jezero, ki je povzročilo vrsto sprememb v okolici.



Lokacija Zbiljskega jezera na reki Savi nad mestom Medvode. (Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, TK50, 1:50 000; 1978-1987, <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)

2.2.2.2 Problematika

Zbiljsko jezero predstavlja naravni usedalnik za prod, pesek in mulj, ki ne more preiti pregrade. Na podlagi večletni meritev je bilo ugotovljeno, da je Sava v času obratovanja HE Medvode do izgradnje HE Mavčiče odložila v Zbiljskem jezeru do 100.000 m³ sedimentov na leto. Do izgradnje HE Mavčiče so se v bazenu nabirale frakcije od gramoznega materiala do manjših sedimentov. Po izgradnji HE Mavčiče pa so začele prihajati v glavnem same drobne

frakcije, ki se usedajo na različnih mestih v bazenu v odvisnosti od hitrosti vode in teže le – teh. Povprečna letna količina usedlin se je zmanjšala, na kar so vplivali tudi spremenjeni hidravlični pogoji usedanja v bazenu.

Leta 1994 je bilo ocenjeno, da je bilo zasute približno 40 % celotne akumulacije, kar znaša 2,6 hm³. Pri normalnih pogojih in normalni denivelaciji za 1.7m je izgubljene 10 – 15 % koristne akumulacije, medtem, ko je pri izjemnih pogojih obratovanja in denivelaciji 3.4m izgubljeno 20- 25 % koristne akumulacije.

Z leti je prišlo do odlaganja tudi na področju, ki je bilo namenjeno prosti rekreacijski dejavnosti. V osrednjem delu, ki je za turistične in rekreativne aktivnosti najprimernejše, so bile usedline mulja na veliki površini komaj še pokrite z vodo. Ob obratovanju elektrarne in zniževanju gladine vsled obratovanja so se na nekaterih mestih sediment že pojavili iz vode. Iz vode so pogledale velike površine blatnega dna jezera, kar je popolnoma onemogočalo vsakršno dejavnost na jezeru. Prišlo je tudi do gnitja organskih snovi, kar je povzročalo smrad, ki se je širil po bližnji okolici. Da bi odstranili ta smrad, kar je bila zahteva inšpekcijskih služb, je bilo izdelanih več variant sanacije, od katerih je bila izbrana varianta s črpanjem in odcejevanjem mulja pri zaježitveni koti HE Medvode. (IBE, 1994. Predinvesticijska študija, Sanacija Zbiljskega jezera.)



Na satelitskem posnetku so vidne nasute plitvine v Zbiljskem jezeru. (Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, DOF5, 1:15 000, 2001, <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)

2.2.2.3 Možne rešitve (SEL, Kryžanowski, 1996, Načrtovani ekološki projekti na Savi)

S povečevanjem stopnje zamuljenosti Zbiljskega jezera je v začetku 80. let postala vprašljiva realizacija planov lokalne skupnosti in turističnega društva za nadaljnji razvoj turizma na jezeru. V sodelovanju z lokalno skupnostjo so se na pobudo investitorja Savskih Elektrarn po letu 1983 začele aktivnosti v zvezi s problematiko sedimentacije. Opravljene so bile meritve stanja usedlin v strugi, izdelane so bile analize kakovosti sedimentov, študije možnosti izrabe mulja v kmetijstvu ter podan okvirni predlog za sanacijo. V letu 1989 je bila imenovana posebna strokovna komisija za sanacijo Zbiljskega jezera, ki je opredelila in potrdila naslednje prednostne naloge: opredeliti količine usedlin in lokacije v jezeru, kjer je finančno in tehnično opravičljivo izvesti sanacijo, določiti fizikalne in kemične lastnosti usedlin, izdelati možnosti uporaba v kmetijstvu, določiti lokacije za deponije, opredeliti tehnične pogoje za izvedbo sanacije jezera ter izdelati oceno vplivov sanacije na okolje. Izdelanih je bilo več možnosti za odstranitev oziroma uporabo usedlega blata, ki so opisane v naslednjih podpoglavjih. Osnovni cilj vseh idej je bila rešitev problema s koristno uporabo usedlega blata.

2.2.2.3.1 Uporaba sedimentov v kmetijstvu

Posebej detajlno je bila izdelana možnost uporabe mulja v kmetijstvu z namenom uporabe blata kot nadomestnega gnojila ali za izboljšanje poplavnih območij ob Savi. Na osnovi opravljenih analiz sedimentov in testnih preskusov ni bilo zadržkov za uporabo mulja v kmetijstvu, pri tem pa so ostali problemi predvsem logistične narave: transport mulja na polja in izsuševanje. Zaradi zahtevnega transporta bi bil možen samo transport na bližnje kmetijske površine, ki pa se večji del nahajajo na vodozbornih območjih obstoječih in potencialnih vodnih virov. Zaradi majhne vsebnosti organskih snovi v blatu bi bilo potrebno dodatno gnojenje in v tem primeru bi lahko izcedki iz blata predstavljali potencialno nevarnost za vodne vire.

2.2.2.3.2 Ureditev deponij na območjih obstoječih gramoznic in izkopov

V širši okolici jezera so opuščene gramoznice, kjer bi bilo možno urediti deponijski prostor. V tem primeru bi bil problem v ureditvi ustreznega načina transporta blata in varovanje podtalnice pred izcedki blata, saj ležijo gramoznice pretežno v varstvenih območjih varovanja podtalnice Kranjsko-Sorškega polja. Zato je bila raziskana druga možnost ureditve deponije z izkopom jame v aluvialnih naplavinah višje obrečne terase, neposredno ob jezeru. Čeprav bi bila ta rešitev najbolj ekonomična, zaradi pretanke plasti aluvialnih sedimentov v načrtovanem obsegu ni izvedljiva.

2.2.2.3.3 Ureditev deponij v sosednjih dolinah

V bližnji okolici jezera je nekaj grap, kjer bi bilo možno urediti deponije. Na osnovi ogleda terena in geoloških ocen so bile označene možne lokacije. Pri realizaciji bi se pojavili problemi tehnične narave (transport mulja, odvodnjavanje deponij) in okoljevarstvene narave (obremenitev naravnega okolja s sedimenti).

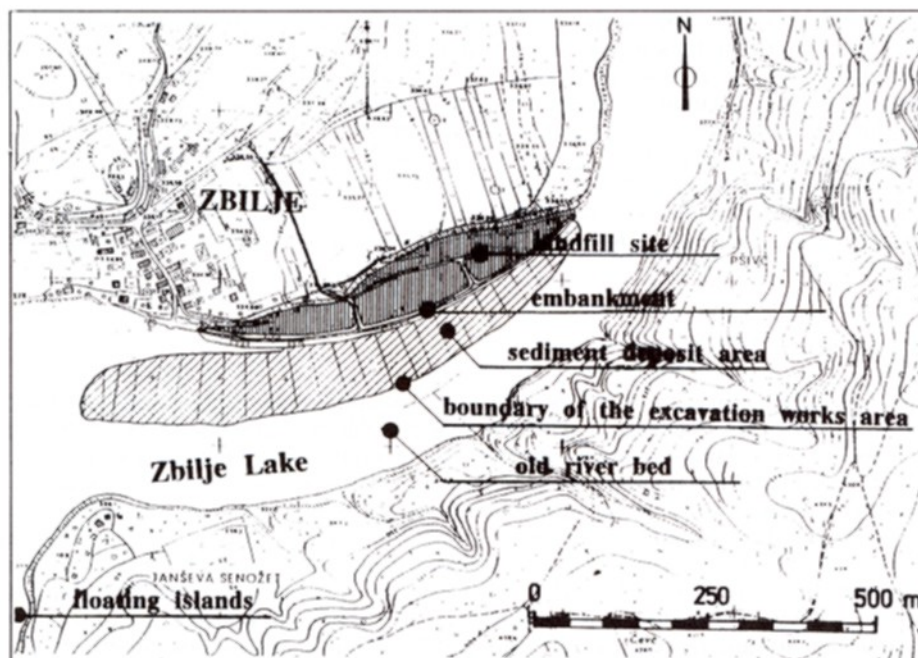
2.2.2.3.4 Ureditev deponije na območju zajezenega prostora

Obstajale so številne rešitve odstranitve mulja, obstajala pa je tudi vrsta zadržkov, predvsem tehnične in okoljevarstvene narave. Glede na vse to je bila kot najustreznejša možnost predlagana, da se rešitev deponije mulja poišče v območju jezera. Izbrati je bilo potrebno tako tehnologijo izkopa in deponije mulja, da je bil vpliv na okolico in živelj v jezeru čim manjši. Podana rešitev na območju zajezenega prostora trajno delno zmanjšuje koristno prostornino jezera, zato pa hkrati zmanjšuje količino blata, ki ga je potrebno odstraniti. Manjše je tudi območje jezera, na katerem se bo usedanje blata nadaljevalo in ga bo potrebno po določenem času ponovno odstranjevati.

2.2.2.4 Sanacija

Zasip izkopanega blata je bil v sklopu sanacije v oz. ob samem akumulacijskem bazenu HE Medvode (slika na naslednji strani). V zasipu se je nahajal del blata, ki bi ga pri ostalih

variantah sanacije morali odstraniti. Zasip je lociran gorvodno od Zbilj in vključuje tudi že obstoječo obsavsko teraso, ki leži na koti 329 do 330 m.



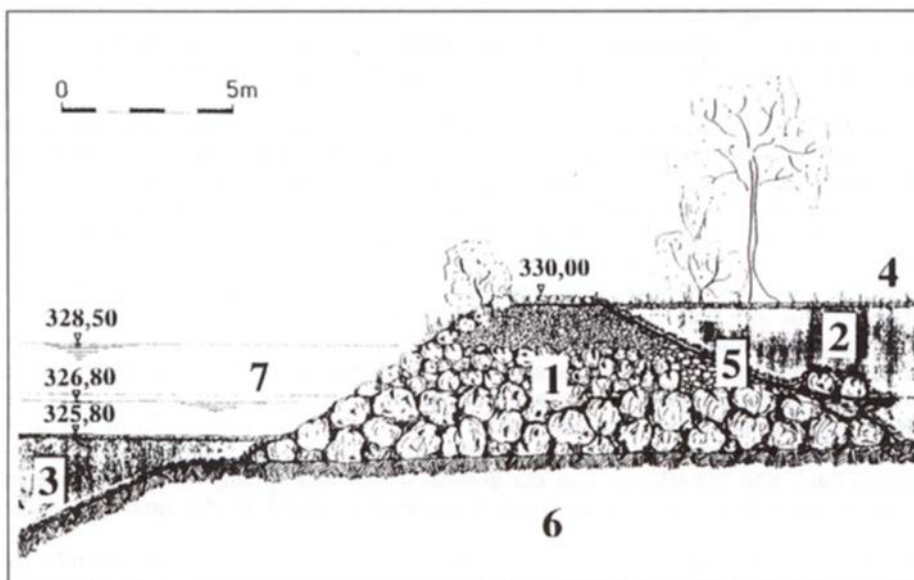
Območje sanacije in odlagališča izkopanega materiala. (Kryžanowski, 1995, Reservoirs in River Basin Development)

Zgornja kota zajeze HE Medvode je 328,50 m, normalna denivelacija pa znaša 1,70 m. Za izvedbo sanacije je bila izbrana kota do katere se je bagralo blato 1,00m pod normalno denivelacijo akumulacijskega jezera, t.j. 325,80 m.

Na podlagi podatkov merjenih prečnih profilov in dodatno izvršenih geodetskih meritev izhaja, da je bilo potrebno odstraniti cca. 88 000 m³ blata.

Zgrajen je bil zaščitni zasip dolžine 500 m iz lomljenca granulacije od 0 do 100 cm in odpadnega lomljenca granulacije od 0 do 20 cm ob deniveliranem akumulacijskem bazenu na koti 326,80 m, ki je ustvaril zasipni prostor ustreznega volumna (slika na naslednji strani). Ta znaša pri koti krone zaščitnega nasipa 329,0 m in koti zasipa blata 331,0 m 95 000 m³, kar je zadostovalo za predviden obseg izkopa. Do kote zasipa 333,0 m, ki je služila kot rezervni prostor za zasipanje blata ob kasnejših vzdrževalnih delih, pa je na razpolago 45 000 m³

volumna, ki naj bi bil izkoriščen postopoma glede na kasnejša usedanja blata v bazenu. Ker je proces odlaganja blata že upočasnen bo potrebno odstranjevanje blata šele, ko bo višina blata na večji površini dosegla koto 326,50 m.



Zaščitni nasip za katerega je bil odložen material iz dna jezera. (Kryžanowski, 1995, Reservoirs in River Basin Development)

Zaščitni zasip je zgrajen iz kamnitih materialov, lice nasipa pa je posajeno z obvodnim grmičevjem, enakim kot raste v okolici. Celotne površina nasipa, približno 31 000 m², je zatravljena in posajena s skupinami grmičevja in drevoja kot so bela vrba, beli topol in jelša. Urejena je tudi pristopna pot s parkiriščem ter steza širine 3 m na površini zasipa, ki omogoča pristop do obrežnega nasipa in do površin za rekreacijo in oddih.

Za funkcionalno ureditev površin sta bili predlagani dve varianti, prva je ureditev rekreacijskih površin na celotnem območju deponije mulja, druga pa na delu območja, medtem ko bi ostala deponija bila zatravljena ter zasajena s skupinami grmičevja in dreves avtohtonega izvora. Izbrana je bila druga varianta, zaradi visokih stroškov prve variante, ki bi jih prineslo potrebno izboljšanje nosilnosti območja. Tako so bila izvedena peščena igrišča, otroško igrišče in prostor za piknike.

2.2.2.5 Sedanje stanje

Izvedena sanacija ima negativno posledico trajno izgubo cca. 40 000 m³ koristne akumulacije vode. Ta izguba je pomembna zlasti za obratovanje v prihodnosti, ko bo zgrajena veriga HE na Savi, za katero predstavljata akumulacijska bazena HE Mavčiče in HE Medvode čelno akumulacijo. Vendar bi bilo mogoče to izgubo z odstranitvijo usedlega proda pod HE Mavčiče v celoti nadomestiti.

Druga negativna posledica sanacije je uničenje novih biotopov za vodne in kopenske živali, ki so se ustvarili na področju usedlin tekom časa. Z načrtovano sanacijo je bil del le – teh uničen, čemur se ni bilo mogoče izogniti. Predvsem je bil uničen del ribjih drstišč, ki so nastala s časom, glede na višino usedlin. Ta škoda je bila z odškodnino poplačana ribiški družini.

V splošnem je sanacija bila uspešna in nima večjih negativnih posledic. Novonastala površina, velikosti 4 ha in poimenovana Zbiljska dobrava pomeni novo kvaliteto zbiljskega turizma. Na tem prostoru se sedaj odvija večina turističnih prireditev ob Zbiljskem jezeru. Zbiljsko jezero je s sanacijo ponovno postalo priljubljena izletniška točka.

2.3 Geološki opis območja

Kranjsko – Sorško polje je enotna tektonska udorina zasuta s tektonskimi sedimenti, ki so debeli do 115 m. Polje je nastalo tako, da se je neprepustna terciarna podlaga v osrednjem delu postopoma pogrezala, reke, predvsem Sava, pa so sedimentirale prod. Pogrezanje je bilo največje predvsem v osrednjem delu polja, kjer so zato kvartarni sedimenti najdebelejši. Na obrobju polja je bilo pogrezanje manjše, bile pa so tudi posamezne faze dviganja in zato so v zahodnem delu Sorškega polja, v pretežnem delu južnega obrobja Sorškega in Kranjskega polja ter v pretežnem delu območja Vodice – Brnik neprepustni terciarni sedimenti na površini ali tik pod njo. Na severnem obrobju Kranjskega polja so ali terciarni laporji ali triadni apnenci obronkov Krvavca. (Žlebnik, 1971)

Na Kranjskem – Sorškem polju ter na območju severozahodno od Kranja so poleg mlajšega zasipa razviti še trije starejši, konglomeratni rečni zasipi. V mlajših konglomeratnih zasipih so

zaobljeni kosi in bloki konglomerata starejših zasipov. V površju terciarne podlage je opazen izrazit skok pod ježami teras, ki potrjuje, da so reke med akumulacijo posameznih konglomeratnih zasipov močno erodirale in se skozi lastne nasipe zarezale še globoko v terciarno podlago. V ježah nekaterih konglomeratnih teras so v spodnjem delu razgaljene terciarne plasti, kar kaže, da zasipanje, ki je sledilo eroziji, ni več doseglo nivoja terciarne talnine starejšega zasipa. (Žlebnik, 1971)

V osrednjem delu Kranjskega in Sorškega polja leže zasipi drug na drugem, s tem, da je povečini na vrhu prodni zasip, ki večinoma ne presega 10 metrov, le v ozkem pasu med Drulovko, Jeprco in Senico, kjer poteka po sredini Sorškega polja stara zasuta savska struga, je prodni zasip debel 35 do 45 metrov. Pod njim leži nekaj metrov debela plast rjave glin s preperelimi prodniki ter nato konglomerat in zbit prod mlajšega konglomeratnega zasipa. Sledita oba starejša konglomeratna zasipa. Plast rjave glin s prodniki, ki predstavlja nekdanje preperelo površje zasipov, je povečini odstranila erozija, ki je sledila zasipanju. (Breznik, 1987)

Prodniki in bloki starejšega konglomerata v mlajših konglomeratnih zasipih in v prodnem zasipu kažejo, da je bil vsak starejši zasip že pred pričetkom mlajšega sprijet. Prod se je cementiral v fazah erozije, ko se je gladina podtalne vode zaradi vrezovanja rek znižala in je bil omogočen dostop zraka v porozni prodni zasip. Sprijemanje proda je dolgotrajen proces, ki ga pospešuje višja temperatura. Oba pogoja sta bila izpolnjena v interglacialih, ko je bila temperatura višja, razen tega pa so bili interglaciali mnogo daljši kot glaciali. (Breznik, 1987)

V ledenih dobah so reke nanašale, v medledenih pa so se vrezale v že prej sprijet prod starega zasipa in še globlje v terciarno podlago. V dobi akumulacije so zasule svoje stare struge. Na obrobju Kranjskega in Sorškega polja, kjer se je ozemlje v erozijski fazi dvignilo in nagnilo proti osrednjem delu polja, mlajši zasip ni več dosegel starejšega, zato so se izoblikovale terase. V osrednjem delu polja, kjer se je ozemlje pogreznilo, so reke najprej zasule svoje stare struge do vrha, nato pa so se razlile po polju in pokrile starejše zasipe. (Breznik, 1987)

Na Kranjsko – Sorškem polju si je Sava vrezala svojo strugo ponekod tudi do 30 metrov globoko v v kvartarju nastali konglomerat pod katerim leži nepropustna plast iz terciarja na

globini 120 metrov. V profilu pregrade Mavčiče je širina prepustnih pleistocenskih sedimentov 12 km in globina do neprepustnih terciarnih sedimentov 30 metrov pod dnom struge. Nastala je globoka soteska s strmimi stenami, kamor se je po zajezitvi Save v Mavčičah umaknila voda, ki se le pri Trbojah, na Prebačevem in nad Drulovko razširi na 300 do 400 metrov.

2.4 Hidrogeološke značilnosti

Kranjsko – Sorško polje je enotna udorina, kjer je neprepustna terciarna podlaga v osrednjem delu v globini 50 – 100 m. Terciarna podlaga se na pretežnem delu dvigne na površino. Na zahodu gričevje med Stražiščem in Škofjo Loko zapira kadunjo, na jugu terciarna podlaga na severni strani Sore in med Smlednikom in Vodiciami ter vzhodno od Pšate prav tako terciarna podlaga. Na severu so triadni sedimenti vznožja Kravca. Kotlina je odprta na severozahodu proti Radovljiški kotlini in na severovzhodu proti Kamniško – Mengeškemu polju. Na jugozahodu sta ozka prehoda pri Mednem in pri Skaručni. Udorina je zasuta pretežno s pleistocenskim prodom in konglomeratom z redkimi plastmi gline. Holocenski prod na površju je debel okrog 5m in je debelejši samo na Sorškem polju, v zasuti strugi Save. V teh kvartarnih sedimentih je pomemben vodonosnik, kateri je dobro poznan na osnovi raziskav v letih 1964-68 in 1974-75. (Breznik, 1983)

Reka Sava je pomemben vir bogatenja podtalnice na Sorškem polju, ki je potencialna zaloga pitne vode za osrednjo Slovenijo, saj vsebuje 60% vseh zalog podtalnice Slovenije.

Fluvioglacialni prodni nanosi ob Savi so zaradi velike poroznosti naravni rezervoarji znatnih količin padavinske in savske vode. Debele plasti proda in peska delujejo kot naravni filter, zato ima voda v njih veliko samočistilno sposobnost. Podtalnica je v debelih prodnih zasipih razmeroma dobro zaščiten pred naravnim in antropogenim onesnaževanjem, tako mehanskim kot organskim, vendar le za naravno razgradljive snovi.

V osrednjem delu Kranjskega polja je podtalnica na globini 45 do 25 m in v iztočnem delu v globini okrog 10 m. Vodonosnik je debel od 50 do 25 m in okrog 10 m v iztočnem delu. Debelina vodonosnika na Sorškem polju je odvisna od srednje kote podtalnice, globine neprepustne podlage in od kratkotrajnih nihanj gladine. Na širšem področju Šenčurja je v

globini do 10 m 1 do 2 metra debel še zgornji vodonosnik. Podobne razmere so na zahodnem obrobju Sorškega polja med Stražiščem in Dorfarji. V obeh zgornjih vodonosnikih so stari plitvi ročno izkopani vodnjaki, ki so bili v uporabi pred napeljavo vodovoda. Zgornja podtalnica se preliva v spodnjo tam, kjer se izklini glinasta plast, ki vzdržuje zgornjo visečo podtalnico. Ta glinasta plast je na kranjskem polju važna zaščita spodnje podtalnice. Po podatkih raziskav iz let 1963 – 1967 sega glinasta plast na Kranjskem polju proti jugu do Voklega in Vogelj, na obrobju Sorškega polja pa proti vzhodu približno do linije Labore – Trata. (Breznik, 1983)

Podtalnica Kranjskega polja se napaja na vzhodu iz Kokre, ponikanja potokov Olševice in Ragušnice, ki pritečeta izpod Štefanje gore pri Olševku in Velesovem in ponikanja padavin. Najpomembnejše je ponikanje iz Kokre med Preddvorom in Kranjem, kjer ponikne do $2 \text{ m}^3/\text{s}$, iz padavin okrog $1 \text{ m}^3/\text{s}$ in okrog $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ iz potokov. (Breznik, 1983)

Podtalnica Sorškega polja je pri Drulovki na globini 40 m, na Meji 35 m, na Jeprci 20 m in v Goričanah 3 m. Vodonosnik na Drulovki je debel 77 m, na Meji 57 m, na Jeprci 15 m in v Goričanah 4 m. V severozahodnem delu polja je, kot sem že omenila, med Stražiščem in Žabnico tudi zgornji vodonosnik z globino podtalnice 5 – 10 m. (Breznik, 1983)

Podtalnica Sorškega polja se napaja iz podtalnice Kranjskega polja in Save na področju med Kranjem in Prašami, iz padavin in iz obrobne gričevja na zahodu. (Breznik, 1983)

Po hidrogeološki karti Slovenije v merilu 1:200 000 spada območje soteske reke Save med obsežnejše medzrnske vodonosnike z višjo izdatnostjo (slika na naslednji strani).



- Legenda:
- obsežnejši medzrnski vodonosniki z višjo izdatnostjo
 - manjši medzrnski vodonosniki z nižjo izdatnostjo
 - razpoklinski vodonosniki z višjo izdatnostjo
 - kraško – razpoklinski vodonosniki v močno zakraselih kamninah
 - manjši vodonosniki z lokalnimi in omejenimi viri podzemnih voda.

Hidrogeološka karta območja.

(Interaktivni naravovarstveni atlas, Agencija RS za okolje, 2002,

<http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)

Podtalnica Kranjsko – Sorškega polja teče proti izvirov in črpališčem ob Sori ter izvirov ob Savi med Mavčičami in smledniškim mostom. Glavna značilnost toka podtalnice je njen pretok pod gladino Save in sedaj pod akumulacijskim bazenom s Kranjskega na Sorško polje. (Breznik, 1987)

2.5 Pomen pregrad Mavčiče in Medvode za oskrbo z elektriko

Akumulacijski bazen hidroelektrarne Mavčiče omogoča dnevno akumulacijo vode za pokrivanja konic potrošnje električne energije, medtem ko akumulacija hidroelektrarne Medvode rabi kot kompenzacijski bazen pri vršnem obratovanju gorvodno ležeče HE Mavčiče. Elektrarna Medvode tako obratuje v dnevno-pretočnem režimu in vršno v verigi s HE Mavčiče v konicah potrošnje električne energije.

Današnje trgovanje z energijo na borzah prilagaja cene glede na povpraševanje, zato je vloga savskih elektrarn pomembna predvsem zato, ker pokrivajo povečane potrebe po električni energiji ob urah, ko je poraba največja – takrat namreč elektrika na mednarodnem trgu dosega najvišjo ceno. Elektriko, ki jo v času največje porabe ustvarijo savske elektrarne, bi morali sicer uvažati in plačevati po ceni, ki bi bila tudi do dvajsetkrat višja. Savske elektrarne skrbijo za nemoteno preskrbo z elektriko tudi takrat, kadar morajo druge slovenske elektrarne začasno ustaviti proizvodnjo zaradi vzdrževalnih del ali okvar.

Z izgradnjo verige Savskih elektrarn bo akumulacija Mavčiče prevzela vlogo čelnega bazena na reki.

2.6 Problematika pregrad in nadaljnja obdelava podatkov

Pomembnejši vpliv, ki se je pojavil z izgradnjo pregrade Mavčiče, je bil dvig gladine podtalnice. Dvig podtalnice je povzročil precej neprijetnosti pri prebivalcih na območju akumulacije vse do mostu pri tovarni Planika, ki še spada pod vplivno območje. Območje tovarne Planika je bilo zelo problematično zaradi nepredvidenega dviga gladine podtalnice, ki teče pod reko Savo, zato je HE Mavčiče nekaj časa obratovala celo z 1 m nižjo najvišjo dopustno zajezbo in sicer namesto 346m, 345m.

Gladine podtalnice so bile izmerjene že pred zapolnitvijo akumulacijskega bazena v Mavčičah, da se je zabeležilo t.i. "ničelo" stanje gladin. Narejen je bil matematični model podtalnice Sorškega polja in izdelani karti hidroizohips in smeri pretokov na osnovi gladin v 35 piezometrih za meritve gladin 14.11.1986. Dvig gladin podtalnice se je močno povečal zaradi dviga gladin Save, s tem pa so se povečali tudi pretoki izvirov. Ob pregradi Mavčiče so se gladine podtalnice dvignile tudi za 6 m. Glavne smeri toka podtalnice se niso spremenile, največja sprememba je premik drenažnega vpliva Save 1,5 km nizvodno in infiltracija Save v podtalnico. Z leti se je vpliv infiltracije omilil zaradi delne zablatitve bregov, še vedno pa se gladina podtalnice opazuje v 24 piezometrih in vodnjakih na Kranjsko - Soršem polju. Zabeležijo se tudi nivoji zgornje, spodnje vode in dotok na pregrado v času meritev gladine podtalnice.

Med pomembnejše vplive, ki so nastali s pregraditvijo reke Save spada zaprojevanje oziroma zamuljevanje jezera. Sava ima v zgornjem toku izrazito hudourniški značaj z značilno prodonosnostjo. Novonastali jezeri sta postali naravni usedalnik za rečne naplavine, ki so lahko zaradi vsebnosti škodljivih snovi pomemben ekološki problem.

Zaradi propustne podlage, ki sega pod HE Mavčiče do globine 120 m, prihaja do velikih izgub vode iz akumulacije in bogatenja podtalnice, lahko tudi s škodljivimi snovmi, ki se usedajo na dnu. Do izgub vode prihaja tudi pod pregrado, zato je bilo potrebno pod pregrado Mavčiče narediti injekcijsko zaveso, ki bi preprečevala te izgube in ki sega na bokih do globine 200 m. Na HE Medvode je neprepustna podlaga iz skrilavcev in peščencev na globini 27 do 45 m, zato injekcijska zavesa ne sega tako globoko in tudi izgube niso tako velike. (Breznik, 1989)

To, v grobem opisano problematiko pregrad Mavčiče in Medvode, bom podrobneje predstavila v nadaljnjih poglavjih tudi z dejanskimi meritvami in raziskavami za teme dvig podtalnice, procesa zaprojevanja akumulacije in vodne izgube pod pregrado Mavčiče. Podrobneje bom obdelala podatke o gladinah podtalnice na Kranjsko – Sorškem polju in ob pregradi Mavčiče, podatke o dotokih Save na obe pregradi ter podatke o volumnu obeh akumulacijskih bazenov.

3 SPREMEMBE REŽIMA ZARADI IZGRADNJE PREGRAD

Izgradnja pregrade vpliva na številnih področjih, kot so vplivi na naravo, floro in favno, na ljudi, klimo, najbolj neposreden pa je vpliv na rečni režim. Vpliv izgradnje pregrad na rečni režim bo osrednja tema tega poglavja, kjer bom poskušala kar najbolje opisati vplive pregrade Mavčiče in pregrade Medvode na vodni režim, torej vplive na podtalnico, rečno bilanco in sedimentacijo. Vplive izgradnje pregrad sem že opisala v svojem seminarju z naslovom Vpliv izgradnje hidrotehničnih objektov na vodni režim, 2005.

3.2 Dvig podtalnice zaradi vpliva HE Mavčiče

3.1.1 Stanje leta 1987 (Planika)

V letih 1984 – 1985 so merili "ničelno" stanje gladin pred dvigom gladine v HE Mavčiče v karakterističnih vodnjakih na Kranjskem, Sorškem in Skaručnem polju. Prvi manjši dvig gladine Save nad HE Mavčiče je bil 9.1.1986, ko so zabetonirali prag preliva. Postopen dvig gladine jezera se je pričel 16.4.1986 in končal z gladino 344,5 m v sredini maja. Do konca leta je bila potem gladina povprečno na tej koti. Ob preizkušnji strojev je bila gladina krajšo dobo na višini 346 m. V oktobru pa so jo spustili na koto 343 m zaradi gradnje črpališča v tovarni Planika. Trajna zajezeitev na končno višino 346 m leta 1987 še ni bila možna, ker bi bilo ob zelo visokih vodah ogroženo kletno skladišče v tovarni Planika, ki je na koti 346,67 m. Po zajezivitvi je namreč kota podtalnice narasla za 2 – 3 m in je dosegala 344,5 m. Prvotno je bila tudi predvidena zatesnitev z neprepustnim ometom, ki pa ni bila izvršena, zato je bila dovoljena zajezeitev HE Mavčiče samo na koto 345 m, po delnem zablatenju pa na koto 345,6 m.

Dvig gladine po izgradnji HE Mavčiče za okrog 16 m je povzročil splošen dvig podtalnice na Kranjsko – Sorškem polju. Zelo blizu jezera se je v Mošah in Bregu dvignila podtalnica za 9 m. V sredini Sorškega polja za 6 m, v južnem delu Sorškega polja za 4 m in v območju izvirov za 1,0 do 1,5 m. Najvišje gladine izmerjene do leta 1987 so bile dne 26. – 27. 6. 1986 po deževnem juniju. Pozneje so se zniževale, razen po deževnem avgustu, zaradi jesenske

suše, nekoliko nižje akumulacije in začetka zablatenja jezera. V deževni dobi in pri dvigu gladine na končno koto 346 m so se gladine zopet dvignile, pozneje pa je prišlo do zmanjševanja gladin zaradi zablatenja akumulacijskega jezera. Popolnega zablatenja jezera se, delno zaradi vertikalnih sten akumulacijskega bazena na katere se blato ne more vsesti, ne pričakuje.

3.1.2 Model podtalnice Kranjsko – Sorškega polja v programu Modflow (Nartnik M., 2004. Modeliranje toka podtalnice s programom Modflow, Seminarska naloga, Ljubljana, 328 f.)

Za pomoč pri ugotavljanju vpliva na gladine in tok podtalne vode sem izdelala model podtalnice Kranjsko – Sorškega polja s programom Moflow. Model temelji na matematičnem modelu podtalnice Sorškega polja iz leta 1982, ki ga je izdelal prof. dr. Mitja Brilly. Iz matematičnega modela je vzeta večina podatkov o Sorškem polju, o Kranjskem polju pa so podatki pridobljeni največ iz Hidrološkega letopisa RS 2001, Naravovarstvenega atlasa Slovenije, iz študij prof. dr. Breznika po prof. dr. Žlebniku ter iz posvetovanj z mentorjem prof. dr. Brillyjem.

3.1.2.1 Območje modela

Območje modela zajema Kranjsko – Sorško polje, kot je prikazano na sliki na naslednji strani. Podlaga v modelu je rastrska slika območja. Površina območja je približno 328 km², od tega meri aktivno območje 218 km². Velikost aktivnega območja definirajo robni pogoji, ki določajo aktivne celice v območju v katerih se nivo gladine spreminja, izven območja pa so neaktivne celice v katerih ni pretoka vode. Neaktivne celice so obarvane s sivo.



Slika 2: Območje Kranjsko – Sorškega polja v modelu. Na severu je zajet severni rob mesta Kranj, na jugu spodnje Pirniče, na zahodu do Škofje loke in na vzhodu do Mengša.

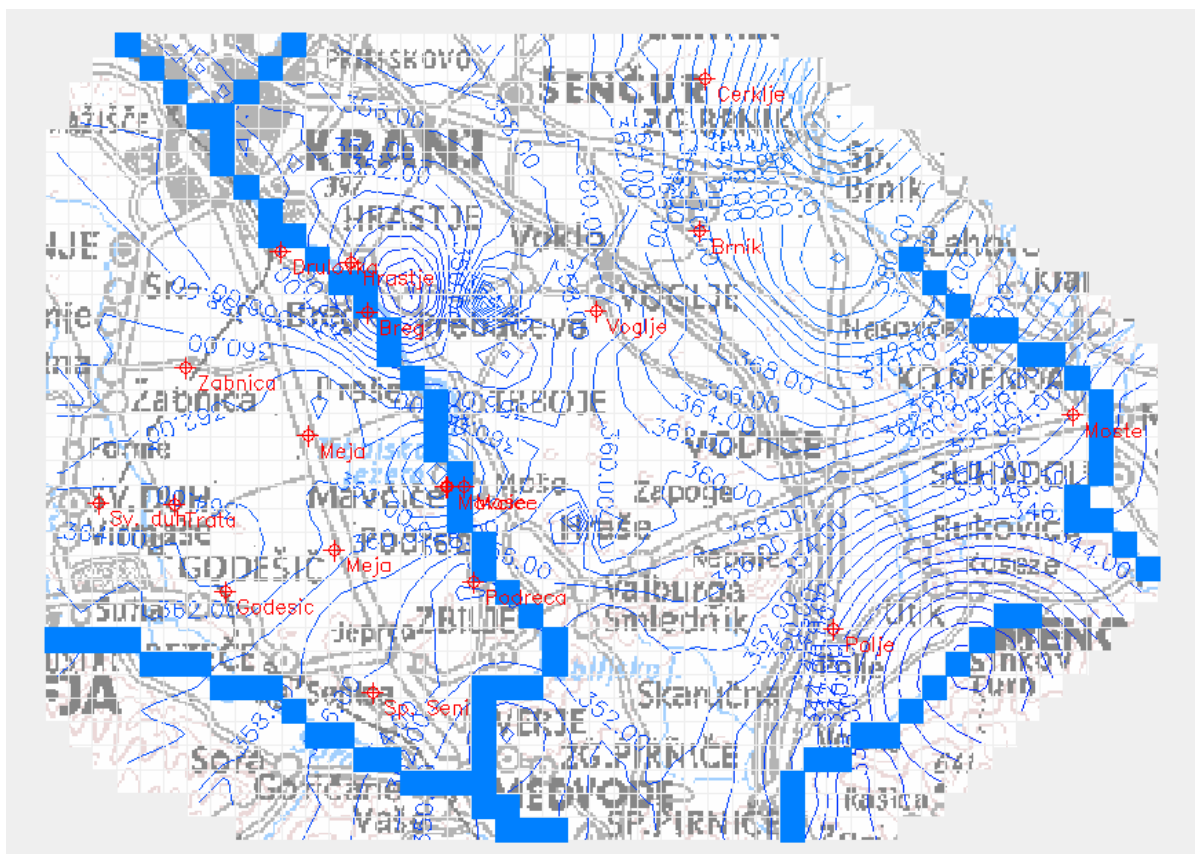
Območje je v programu razdeljeno na mrežo, ki jo sestavlja 36 vrstic in 58 stolpcev. Vsak kvadrat meri 400x400 m. Koordinatni sistem območja je v realnih koordinatah, ki se raztezajo levo spodaj od $x = 445800$ in $y = 109406$ do desno zgoraj $x = 468972$ in $y = 123775$.

Celotno območje ima en sloj, ki je tipa 1 in sicer gre za vodonosnik s prosto gladino. Pri izračunu se torej spreminja transmisivnost v celicah zaradi spreminjanja nivoja gladine podtalnice.

3.1.2.2 Kote terena in kote neprepustne podlage

Območju je potrebno določiti kote terena in pa kote dna, torej kote neprepustne podlage. Kote terena sem določila s pomočjo interpolacije med točkami za katere sem poznala nadmorsko

višino. To so točke v katerih se meri gladina podtalnice – uporabila sem kote terena pri piezometrih in vodnjakih iz Hidrološkega letopisa za leto 2001.



Slika 3: Prikaz plastnic terena z nadmorsko višino, ki so izrisane na podlagi interpolacije 20-ih vnešenih kot.

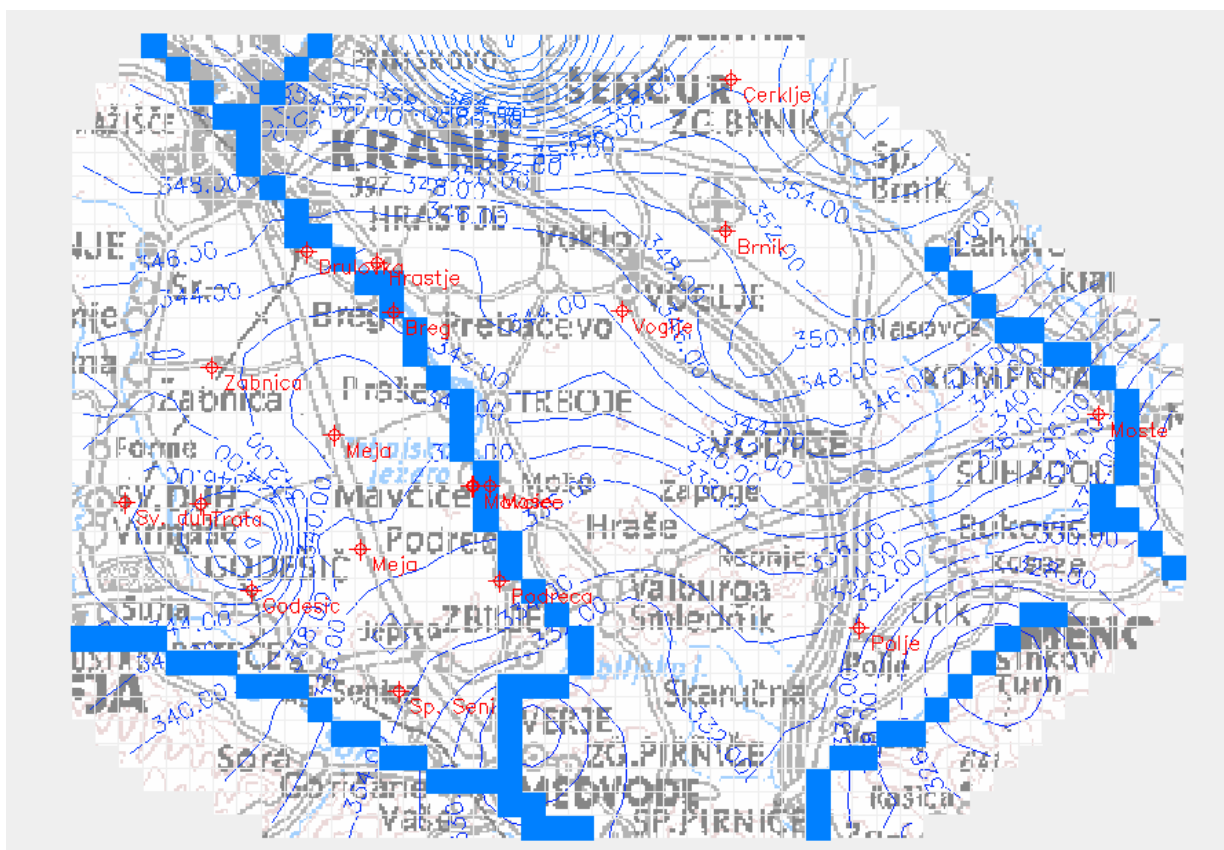
Kote dna sem določila s pomočjo geološkega prereza Godešič – Mavčiče - Klanec, ki je bil uporabljen že pri matematičnem modelu prof. dr. Brillyja (Priloga A). Določila sem osem območij, ki imajo različne kote neprepustne podlage.

3.1.2.3 Časovni parametri

Časovno obdobje simulacije je eno leto, torej 12 mesecev. To predstavlja 12 period z dolžino časovnega obdobja en mesec in številom časovnih korakov deset. Časovna enota simulacije je sekunda, torej celotno obdobje simulacije traja $3,14496 \times 10^7$ sekund.

3.1.2.4 Začetne gladine podtalnice

Za začetne gladine podtalnice v simulaciji sem vnesla srednje mesečne vrednosti gladin meseca januarja 2001, ki sem jih s pomočjo programa interpolirala za celotno območje.



Slika 4: Prikaz hidroizohips, ki določajo začetne gladine podzemne vode na osnovi interpolacije srednjih januarskih vodostajev podzemne vode.

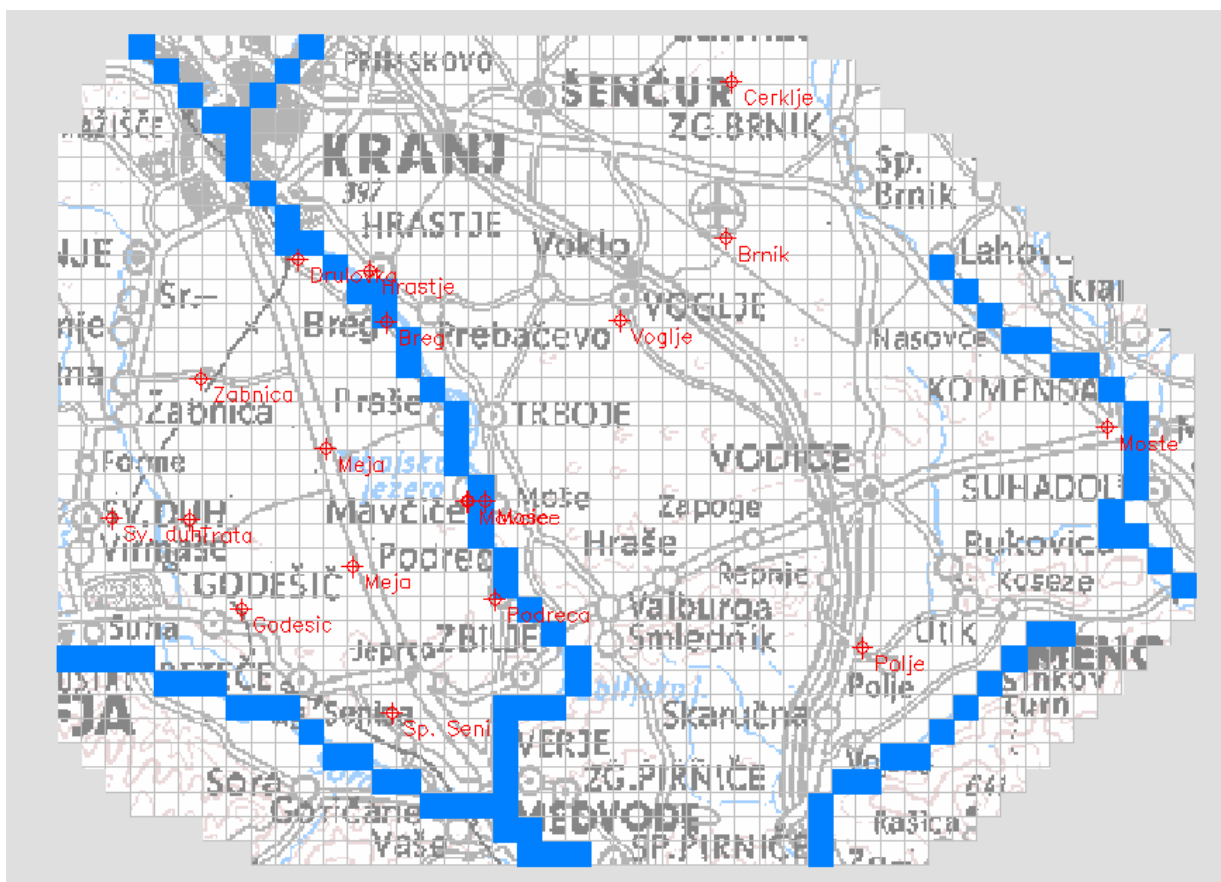
3.1.2.5 Vrtine in meritve opazovanj

V program sem vnesla podatke o lokaciji in meritvah v 20-ih piezometrih in vodnjakih, ki sem jih dobila v Hidrološkem letopisu za leto 2001 (zadnji izdani Hidrološki letopis v tiskani obliki). Lokacije piezometrov in vodnjakov sem vnesla v realnih koordinatah. Meritve opazovanj so srednje mesečne vrednosti za leto 2001.

Postaje za podzemne vode so naslednje:

- Kranjsko polje: S-3364 Britof,
0280 Cerklje,
0360 Brnik,
S-2764 Voglje,
0091 Hrastje,
V-2079 Moše,
0590 Moste;
- Vodiško polje: 0850 Polje pri Vodica;h;
- Sorško polje: S-3667 Drulovka,
S-3567 Breg,
0590 Žabnica,
0320 Meja,
0680 Sveti duh,
S-2064 Trata,
VČ-1779 Mavčiče,
V-1779 Mavčiče,
SOV-5374 Meja,
S-1864 Godešič,
0300 Podreča,
S-1364 Spodnja Senica.

Merilno mesto S-3364 Britof, ki je zajeto pri hidrološkem letopisu, v modelu ni vidno, ker se nahaja malo izven severnega roba območja.



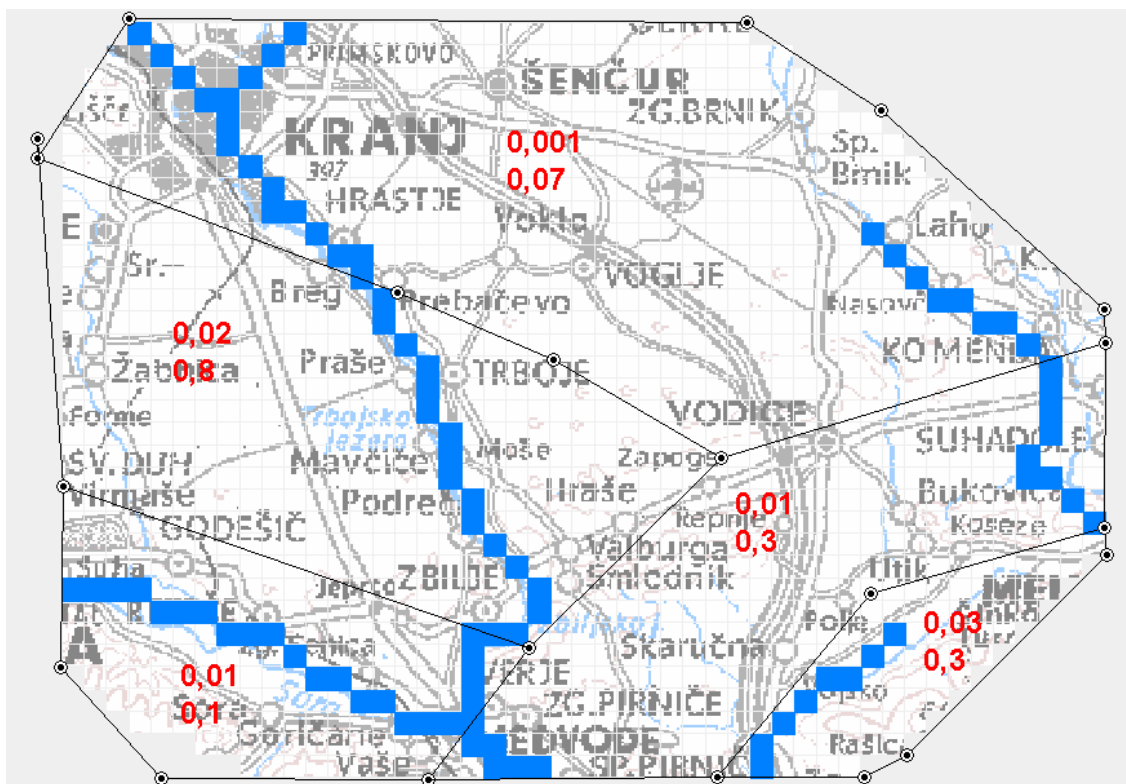
Slika 5: Prikaz lege opazovalnih vrtin Kranjsko – Sorškega polja v modelu.

Za zgoraj navedene opazovalne vrtine sem vnesla podatke srednjih mesečnih vodostajev za podzemne vode za leto 2001. Za vse vrtine so na voljo podatki za vseh 12 mesecev, razen za postajo 0850 Polje pri Vodica, so na voljo podatki le za prvi, drugi, tretji, četrti in deseti mesec. Ti podatki služijo za izračun v programu katerega rezultati se morajo nato čim bolj ujemati z izmerjenimi srednjimi letnimi vodostaji podzemnih vod.

3.1.2.6 Horizontalna hidravlična prepustnost, transmisivnost in efektivna poroznost

Horizontalna hidravlična prepustnost je izračunana kot produkt transmisivnosti in debeline sloja. S tema dvema parametroma se model umerjela in sicer tako, da se prilagaja vrednosti in meje območij različne horizontalne prepustnosti in transmisivnosti. Na začetku sem določila celotnemu območju enako horizontalno prepustnost, nato pa sem postopoma dodajala

območja z drugačnimi horizontalnimi prepustnostmi. Na sliki spodaj je končni izdelek območij.



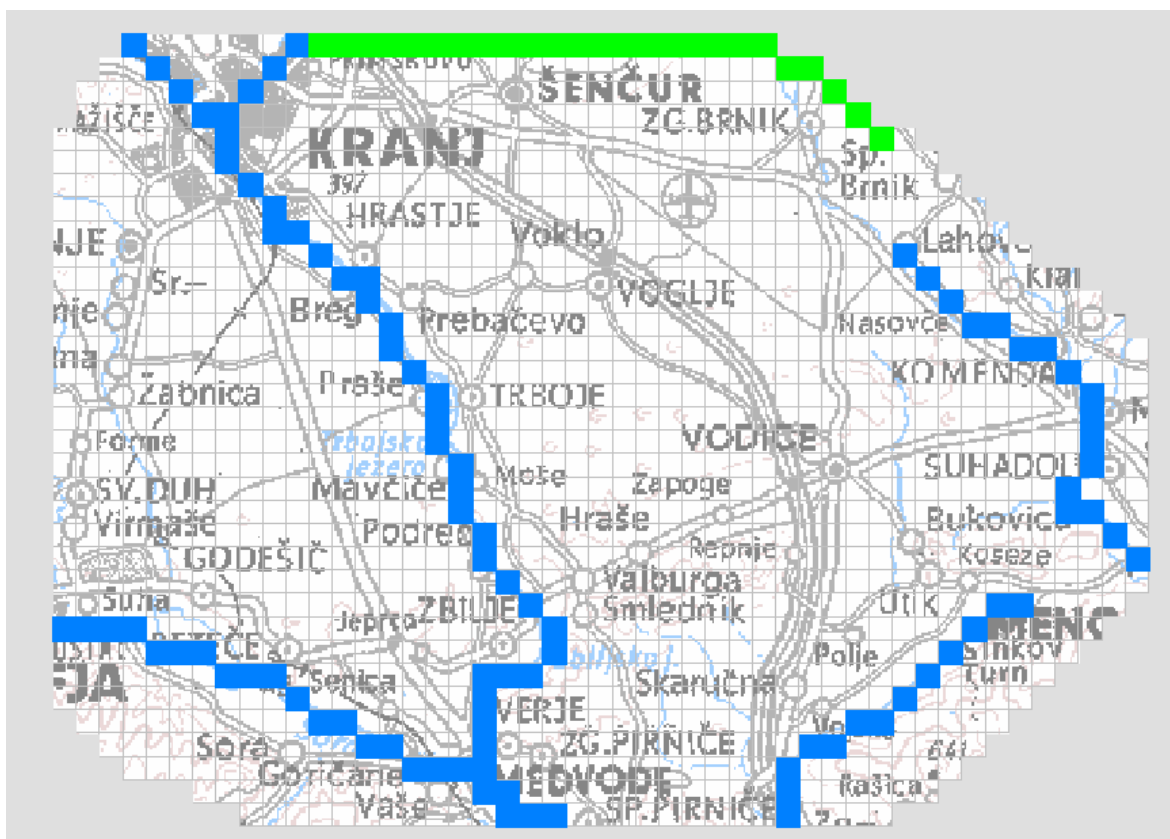
Slika 6: Območja različnih horizontalnih prepustnosti in transmisivnosti. Zgornja številka je horizontalna prepustnost, spodnja pa transmisivnost sloja.

Naslednji parameter, ki sem ga določila je efektivna poroznost, ki je 0,25 oziroma 25 %, enako po celotnem območju. Vrednost sem vzela iz matematičnega modela prof. dr. M. Brillyja.

3.1.2.7 Napajanje podtalnice

Podtalnica območja se napaja iz padavin, ki znašajo približno 1000 mm/leto. Vrednost parametra, ki sem ga vnesla za celotno območje, znaša torej $1000 \text{ mm}/356 \text{ dni} = 2,74 \text{ mm/dan}$, kar se preračuna v m/s in dobim $3,2 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$.

Dodala sem še napajanje na severovzhodnem robu območja, ki sem ga ocenila na podlagi vodotokov, ki niso zajeti v območje in so prisotni severno od območja, to je ponikanje Kokre in drugih potokov. Ta podatek sem ocenila iz študije prof.dr. M. Breznika (M.Breznik, Podtalnica Kranjsko – Sorškega polja, 1987) in znaša $5 \cdot 10^{-7}$ m/s.



Slika 7: Prikaz bogatenja na severovzhodnem robu območja je velikosti $5 \cdot 10^{-7}$ m/s na eno celico, drugje pa $3,2 \cdot 10^{-8}$ m/s na celico.

3.1.2.8 Reke, ki vplivajo na podtalnico (na sliki 7 zgoraj)

V modelu je zajetih pet vodotokov in sicer: Sava, levi pritok Save Kokra, desni pritok Save Sora, Pšata na vzhodnem delu območja in Dobrava na jugovzhodnem delu območja. Vsem vodotokom sem določila koto dna, koto gladine in prepustnost dna reke. Pri določanju kote reke Save sem si pomagala s podatki iz SEL-a, kote reke Kokre s podatki iz VGP-ja, kote ostalih treh vodotokov Sore, Pšate in Dobrave pa s podatki Naravovarstvenega atlasa Slovenije.

Pri vnosu podatkov o vodotokih sem se omejila na vodotoke, ki v večji meri vplivajo na podtalnico. Celotno območje je sicer prepredeno z manjšimi vodotoki, ki pa jih zaradi velikosti območja in mreže nisem upoštevala.

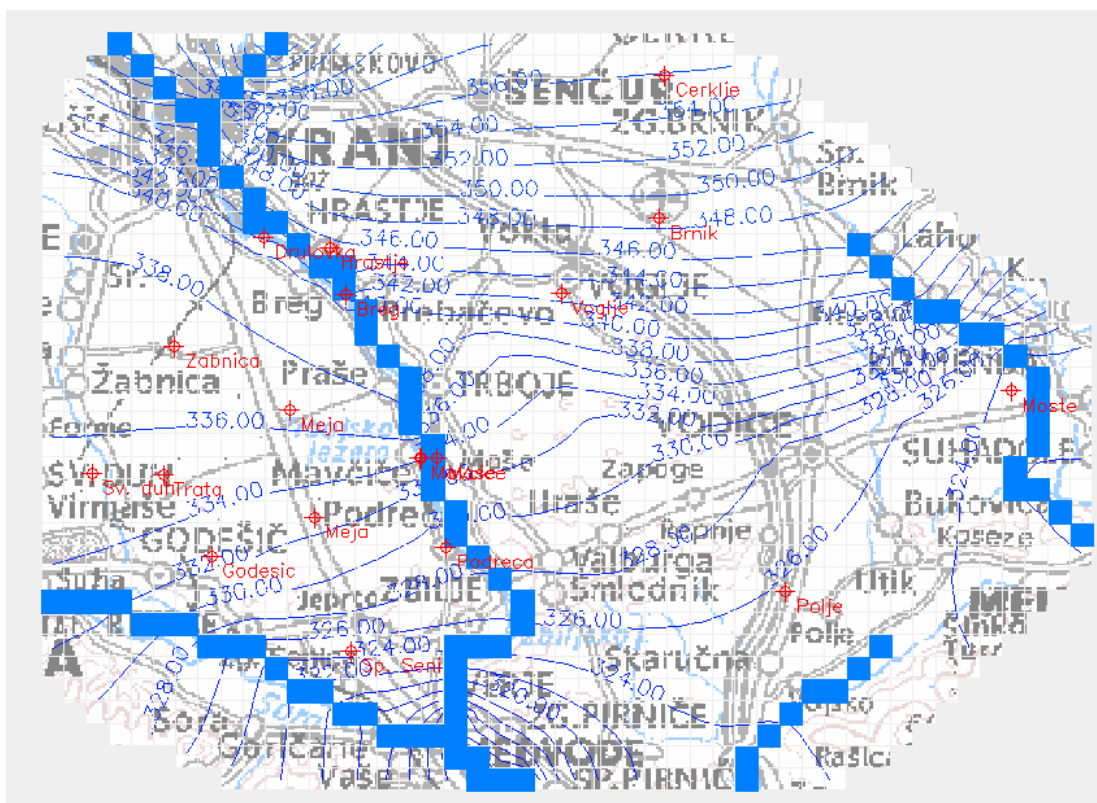
3.1.2.9 Rezultati in ugotovitve

Namen modela je bil določiti nivo podtalnice s pomočjo umerjanja parametrov, tako da se merjene vrednosti čim bolj ujemajo z izračunanimi. Končne razlike med meritvami in izračunom nivojev talne vode so v večini $\pm 50\text{cm}$, z nekaterimi izjemami. Upoštevani nista dve merilni mesti in sicer Sveti duh in Polje pri Vodica, kjer prihaja do prevelikih odstopanj zaradi vplivov, ki segajo izven območja in v območje niso zajeti.

Rezultate sem razdelila v dve podpoglavji in sicer Tok podtalnice, v katerem sem analizirala smeri toka podtalne vode na Kranjsko – Sorškem polju in Vodna bilanca, v katerem sem analizirala vodno bilanco vodotokov po osmih območjih.

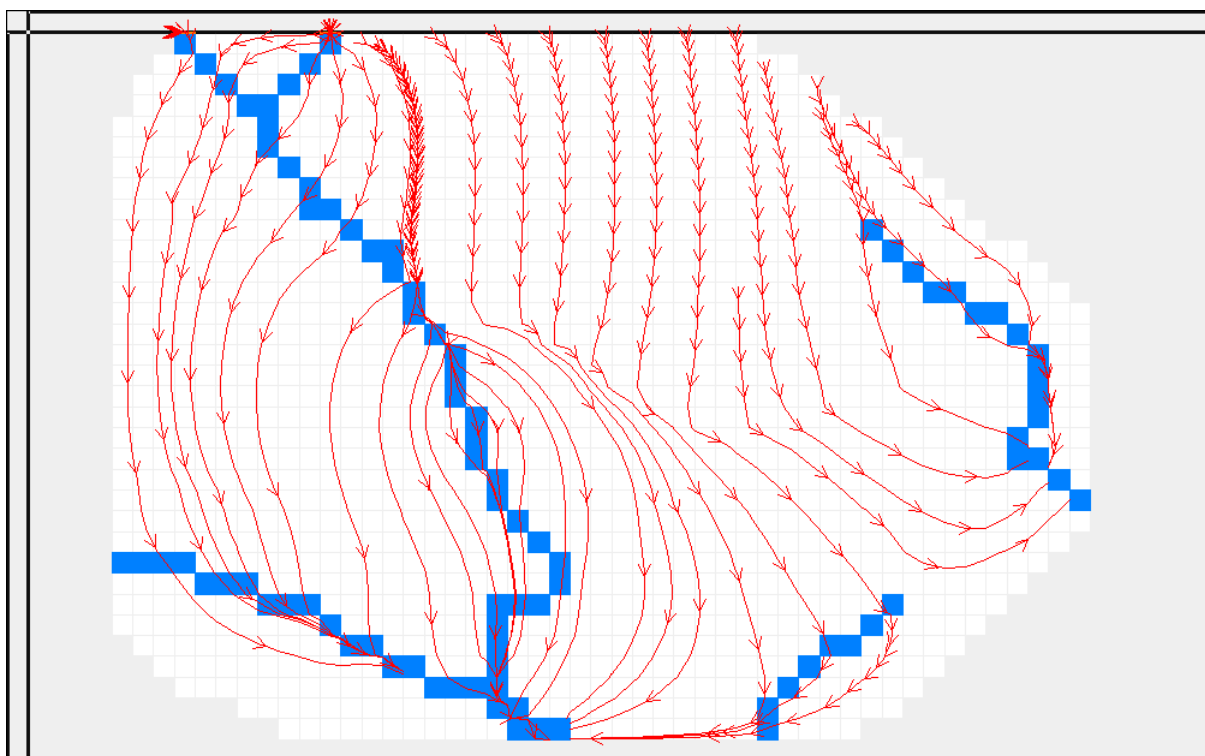
3.1.2.9.1 Tok podtalnice

Rezultat umerjanja modela je spodnji prikaz toka podtalnice s hidroizohipsami oziroma plastnicami, na katerih je napisana tudi kota podtalnice. Tokovnice padajo pravokotno na hidroizohipse.



Slika 8: Izrisane hidroizohipse Kranjsko – Sorškega polja s koto podtalnice za leto 2001.

Iz izrisanih hidroizohips lahko ugotovim, da podtalnica Kranjsko – Sorškega polja teče iz severa, severovzhoda proti jugu, torej iz Kranjskega polja na Sorško. Na Sorškem polju teče podtalnica proti zahodu, jugozahodu. Najvišje kote gladine podtalnice so na severnem robu območja, kjer je največje napajanje podtalnice. Izrazito visoke opazovane kote ima merilno mesto Sveti Duh na katerega ima velik vpliv podtalnica, ki se preceja skozi slabo prepustne strme sloje na zahodne obrobju, zato sem to merilno mesto izločila. Z izrazito nizkimi kotami podtalnice pa izstopa merilno mesto Polje pri Vodica, na katerega vpliva spodnji rob območja, ki ni zajet, zato sem tudi to postajo izločila.



Slika 9: Tokovnice podtalne vode na Kranjsko – Sorškem polju za leto 2001. Odseki med puščicami predstavljajo dolžino potovanja podtalnice v enem letu.

Podtalnica se večji del pretaka pod reko Savo iz Kranjskega v Sorško polje, kar lahko sklepam glede na debelino vodonosnika. Velik del podtalnice, ki teče po vzhodnem robu Kranjskega polja pa sploh ne pride v stik s Savo.

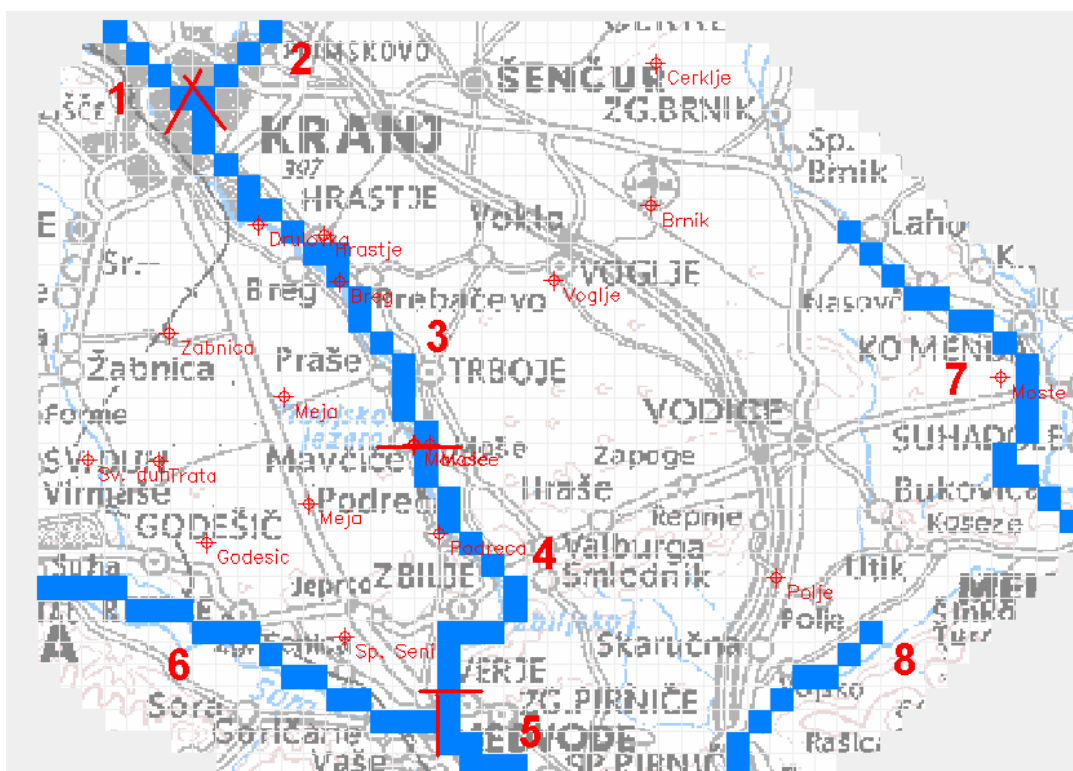
Dreniranje podtalnice je izrazito pod pregrado Medvode, medtem ko pod pregrado Mavčiče dreniranje ni tako izrazito. Nizvodno od smledniškega mostu so namreč prisotne neprepustne plasti, ki onemogočajo izcejanje oziroma napajanje podtalnice nizvodno proti pregradi Medvode. Gladina podtalnice, ki teče pod reko Savo, je vedno višja na levem bregu Save, na desnem pa lahko ob visokih vodah pride tudi do delnega dreniranja. Vedno je izražen tudi padec gladine podtalnice v smeri toka, torej proti Sori.

Podtalnica Sorškega polja se pretaka s približno enakomerno hitrostjo, zaradi bolj enakomernih koeficientov prepustnosti, kot so na Kranjskem polju. Na severnem in osrednjem delu se pretaka s hitrostjo 1,6 km/leto oziroma $5 \cdot 10^{-5}$ m/s, na južnem delu pa je hitrost malo večja in sicer $6 \cdot 10^{-5}$ m/s. Na Kranjskem polju je ta hitrost kot že rečeno bolj

raznolika in sicer je najmanjša na severnem delu od $3 \cdot 10^{-6}$ m/s do $1,2 \cdot 10^{-5}$ m/s in večja proti jugu in sicer do $6 \cdot 10^{-5}$ m/s.

3.1.2.9.2 Vodna bilanca

Vodna bilanca predstavlja delež vode, ki je izračunan kot razlika med količino vode, ki v območje vstopi in količino, ki iz območja izstopi. Program izračuna vodno bilanco za celotno območje, določila pa sem tudi osem območij in v vsakem območju izločila vodotok, ki po tem območju teče in tako izračunala njegovo vodno bilanco.



Slika 10: Območja vodne bilance.

Izračun vodne bilance mi bo povedal velikost vpliva Save na podtalnico, torej vpliv pregrad in koeficient zablatenja v akumulaciji Mavčiče, glede na količino vode, ki se izceja pod pregrado Mavčiče. V ta namen sem izdelala tri variante z različnimi koeficienti prepustnosti.

Preglednica 1: Vodna bilanca za celotno območje vodotokov.

	m ³ /s						
	Infiltracija padavin in bogatenja na severu	Prepuščanje v podtalnico skozi dno reke			Prepuščanje v reko skozi dno		
		I. 2001	1,3*10 ⁻⁴	8,3*10 ⁻⁵	3,3*10 ⁻⁵	1,3*10 ⁻⁴	8,3*10 ⁻⁵
1. območje: Sava do sotočja s Kokro (k=2,2*10 ⁻³)	0,020	0,493	0,515	0,574	0,342	0,333	0,320
2. območje: Kokra do sotočja s Savo (k=2,2*10 ⁻³)	0,020	3,026	3,047	3,110	0,594	0,612	0,644
3. območje: Sava od sotočja s Kokro do pregrade Mavčiče (k ₁ , k ₂ , k ₃)	0,087	23,758	19,941	12,564	0,694	0,536	0,278
4. območje: Sava med obema pregradama (k=2,2*10 ⁻³ in k=2,2*10 ⁻¹¹)	0,067	-	-	-	10,594	8,422	4,324
5. območje: Sava od pregrade Medvode do konca območja (k=4,4*10 ⁻³)	0,036	-	-	-	11,037	10,757	10,221
6. območje: Sora do izlitja v Savo (k=1,09*10 ⁻³)	0,092	1,169	1,376	2,038	10,488	9,681	8,263
7. območje: vodotok Pšata (k=2,2*10 ⁻⁵)	0,087	0,660	0,660	0,660	3,154	3,025	2,775
8. območje: vodotok Dobrava (k=2,2*10 ⁻⁶)	0,041	-	-	-	1,292	1,264	1,209
VODOTOKI SKUPAJ	0,451	29,106	25,539	18,946	38,195	34,630	28,034
Celotno območje Kranjsko - Sorškega polja	9,086	29,105	25,539	18,947	38,194	34,630	28,036

Iz analize vodne bilance sem ugotovila močan vpliv Save na tok podtalnice. Količina vode, ki jo reke, v največji meri Sava, drenirajo je 10 m³/s večja od količine vode, s katero reke napajajo podtalnico. S padavinami po celem območju in z napajanjem severnega roba pride v območje 9 m³/s.

Največji vpliv na tok podtalnice ima vsekakor Sava, ki je osrednja reka Kranjsko – Sorškega polja in, ki tekom toka v večji meri napaja podtalnico (odvisno od koeficienta prepustnosti dna v akumulaciji Mavčiče), drenira pa bolj opazno pod pregrado Medvode ($10 \text{ m}^3/\text{s}$). Na podtalnico imata vpliv tudi vodotoka Sora na jugu Sorškega polja in manjši vpliv Dobrava na jugu Kranjskega polja, ki drenirata podtalnico, ki priteče iz severa (Sora 8 do $10 \text{ m}^3/\text{s}$ v 6. območju in Dobrava $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ v 8. območju).

Pri pregledu vodne bilance prvega območja, ki obsega tok Save do sotočja s Kokro, sem ugotovila napajanje podtalnice ($0,6 \text{ m}^3/\text{s}$). Na to območje vpliva tudi vodotok Kokra, ki sem ga zajela v drugem območju vodne bilance in prav tako napaja podtalnico ($3 \text{ m}^3/\text{s}$), ki teče iz severnega roba pod Savo iz Kranjskega na Sorško polje (slika 9).

Tretje območje reke Save se prične nizvodno od sotočja s Kokro in traja do pregrade Mavčiče. Po njem teče najdaljši del vodotoka Sava. Iz vodne bilance tega območja lahko ugotovim, da je prisoten proces napajanja podtalnice, ki je odvisen od zablattenja akumulacijskega jezera Mavčiče. Če to združim s prikazom tokovnic podtalnice na sliki 9, lahko zaključim, da po na tem delu Save teče podtalnica pod strugo Save in pod akumulacijo Trboljsko jezero, kar lahko sklepam glede na debelino vodonosnika.

V območju 3 je prisoten proces zablattenja, ki sem ga poskušala ugotoviti s spreminjanjem koeficienta prepustnosti k . Koeficient prepustnosti za pregrado Mavčiče sem umerjala tako, da sem na pregradi Medvode, torej v območju 4, dobila želeno količino vode, ki pride večinoma z izcejanjem podtalnice. Izcejanje podtalnice je prisotno pod pregrado Mavčiče do smledniškega mostu, nizvodno pa se pojavijo neprepustne plasti, ki onemogočijo izcejanje nizvodno proti pregradi Medvode. Izdelala sem tri variante prepustnosti dna v akumulaciji Mavčiče; pri prvi pride z izcejanjem pod pregrado Mavčiče $10,6 \text{ m}^3/\text{s}$, pri drugi $8,4 \text{ m}^3/\text{s}$ in pri tretji $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$ vode. Od koeficienta prepustnosti sta torej najbolj odvisni količini napajanja podtalnice, ki teče pod Savo in izcejanja pod pregrado do smledniškega mostu. Razliko v dotokih na obeh pregradah bom pokazala še kot merjeno razliko v dotokih na pregradi Medvode v naslednjem poglavju 3.2.

Območje 5 je zadnje območje reke Save in obsega tok nizvodno od pregrade Medvode do konca območja modela. V tem območju je prisoten samo proces dreniranja podtalnice in sicer $10 \text{ m}^3/\text{s}$, ki je značilen za območje pod pregrado.

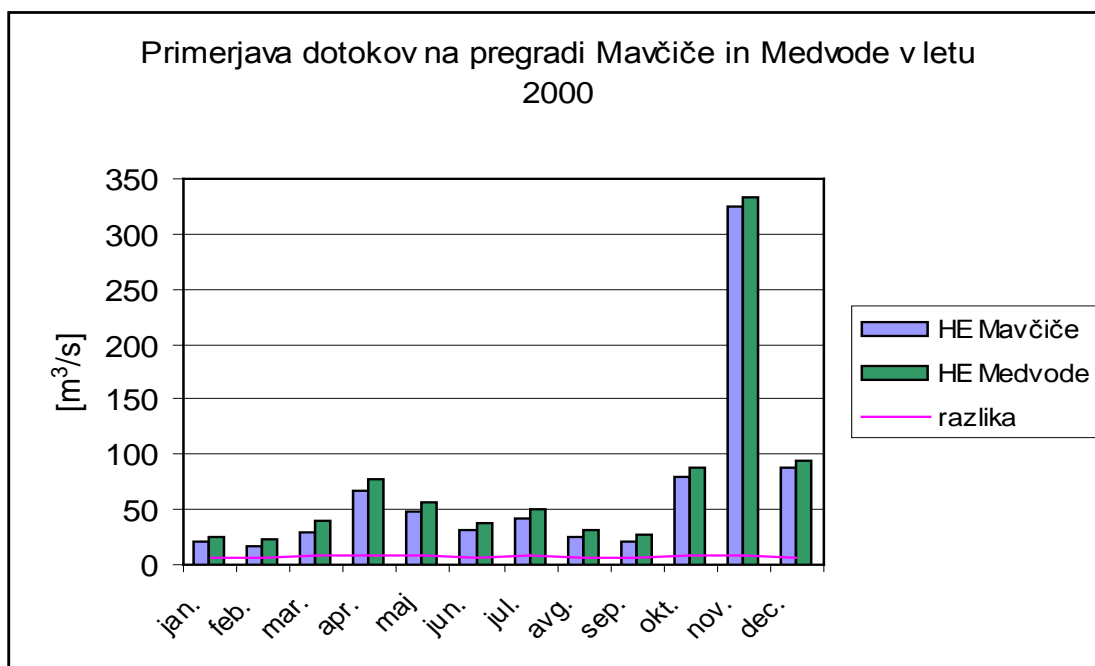
Vodna bilanca 7. območja zajema vodotok Pšato na vzhodnem delu območja modela, ki ne pride v neposredni stik z osrednjo reko Kranjsko – Sorškega polja, Savo. Vodna bilanca Pšate kaže na pretežno dreniranje podtalnice ($3 \text{ m}^3/\text{s}$) in nima večjega vpliva na tok podtalnice, sploh pa nima vpliva na reko Savo in podtalnico Sorškega polja, kar se vidi tudi v tem, da je količina vode skorajda neodvisna od koeficienta prepustnosti v reki Savi.

3.2 Rečna bilanca

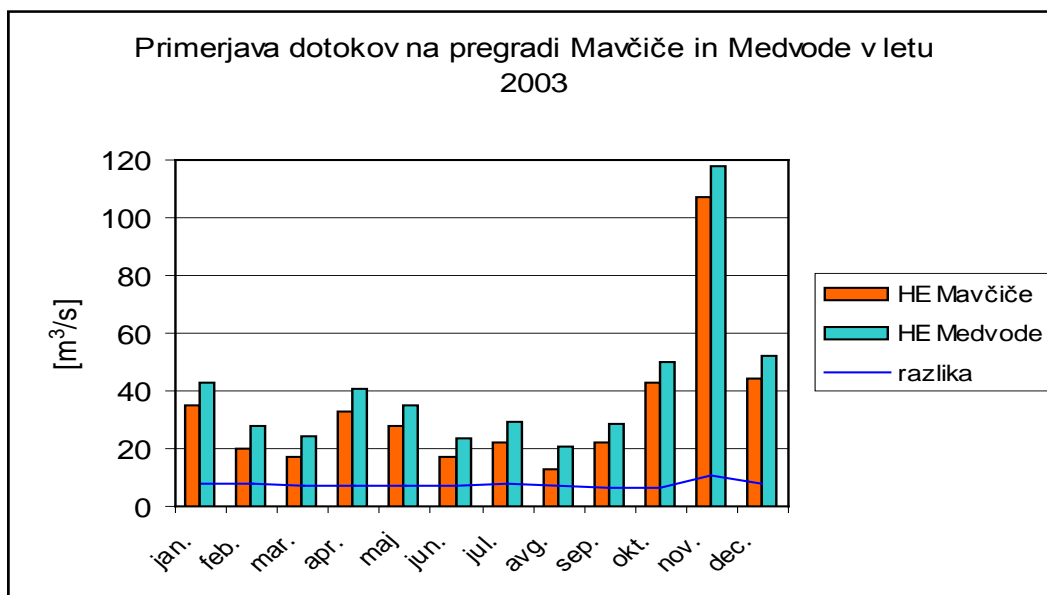
Vodotoki visokogorskega sveta Slovenije in njihovega neposrednega predgorja imajo snežno dežni rečni režim (Julijske Alpe, Karavanke, Kozjansko, Pohorje). Pri daljših vodotokih, ki imajo pomemben delež zaledja v visokogorju, se poteze snežno dežnega režima poznajo še daleč po toku navzdol. Na Savi do sotočja Ljubljaničice, na Soči do sotočja Idrijce in na Savinji do Nazarij. Pri dinamiki razporeditve odtoka sta značilna dva viška in dva nižka. Primarni višek nastopi v pozni pomladi, praviloma maja ali celo junija. Novembrski sekundarni porast ga kljub poudarjenosti ne doseže. Primarni nižek je pozimi in traja od decembra do marca s primernim nižkom januarja ali februarja, ki je nižji od poletne nizke vode. Za Savo, ki spada k temu režimu in ima te lastnosti, sem izdelala rečno bilanco na podlagi meritev o dotokih na pregradi Mavčiče in Medvode.

3.2.1. Dotoki na pregradi

Rečno bilanco reke Save je izdelana na podlagi podatkov o srednjih mesečnih dotokih na pregradi Mavčiče in Medvode od leta 1988 do leta 2004. Namen izdelave rečne bilanca površinskega toka je bilo ugotoviti razlike med dotokom na pregrado Mavčiče in dotokom na pregrado Medvode. Pri izdelavi rečne bilance sem izločila tiste podatke o pretokih, ki so presegali maksimalni pretok elektrarne, ki znaša za HE Mavčiče $270 \text{ m}^3/\text{s}$ in za HE Medvode $160 \text{ m}^3/\text{s}$ ter vse tiste, ki so več kot 100% večji od srednjega letnega pretoka, ki znaša $48,1 \text{ m}^3/\text{s}$ za HE Mavčiče in $49,8 \text{ m}^3/\text{s}$ za HE Medvode.



Graf 1: Primerjava dotokov na pregradi Mavčiče in Medvode v letu 2000, ko je bil povprečni letni dotok največji v 16. letih.

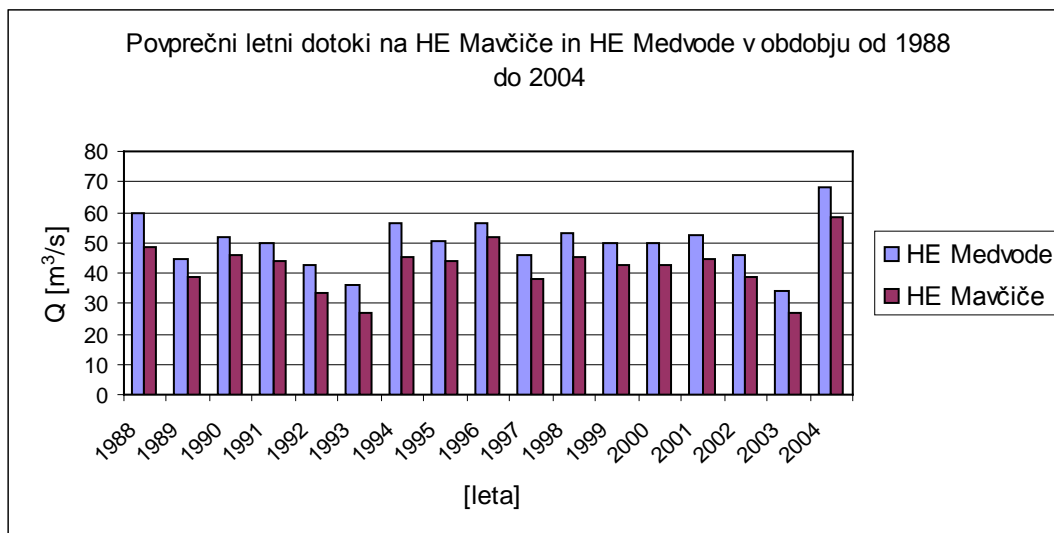


Graf 2: Primerjava dotokov na pregradi Mavčiče in Medvode v letu 2003, ko je bil povprečni letni dotok najmanjši v 16. letih.

Pri pregledu podatkov o dotokih na pregradi sem ugotovila, da je bil največji pretok novembra 2000, sledi pa mu pretok leta 1993 meseca oktobra, ki je za $125 \text{ m}^3/\text{s}$ nižji. Višji pretoki so še zabeleženi novembra 1990, oktobra 1998, oktobra 1992 ter marca 2001. Viški so izrazito večji v jesenskih mesecih kot v spomladanskih, nižki pa nastopajo pozimi z začetkom decembra pa do marca in v poletnih mesecih.

Večinoma dotok niha v območju od 20 do $100 \text{ m}^3/\text{s}$ v skladu s snežno dežnim režimom. Srednji letni dotok niha med 30 in $70 \text{ m}^3/\text{s}$. Najbolj suho leto je leto 2003, ko sta bila srednji letni dotok $33,4 \text{ m}^3/\text{s}$ na pregradi Mavčiče in $41,0 \text{ m}^3/\text{s}$ na pregradi Medvode, najbolj mokro leto pa je bilo leto 2000, ko je bil srednji letni dotok $66,2 \text{ m}^3/\text{s}$ na pregradi Mavčiče in $73,4 \text{ m}^3/\text{s}$ na pregradi Medvode. Povprečni srednji letni dotok v letih od 1988 do 2004 na pregradi Mavčiče je $48,1 \text{ m}^3/\text{s}$, na pregradi Medvode pa $58,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pri pregledu grafov dotokov na pregradi sem opazila razlike v dotokih in sicer so dotoki večji na pregradi Medvode, ki leži nizvodno od pregrade Mavčiče. Glede na zaporedje v katerem si sledita pregradi sem izdelala primerjavo povprečnih letnih dotokov na pregrado Mavčiče in pregrado Medvode.

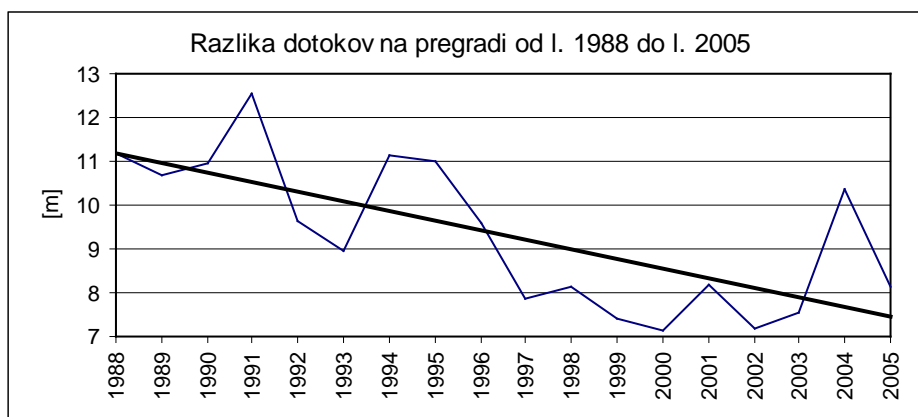


Graf 3: Stolpična primerjava povprečnih letnih dotokov na HE Mavčiče in na HE Medvode.

V grafični analizi srednjih letnih dotokov na obeh pregradah sem ugotovila razliko v količini dotoka vedno v korist dotoka na pregrado Medvode. Glede na lego pregrade Medvode, ki je nizvodno od pregrade Mavčiče, sklepam na dotoke zalednih vod v akumulacijo. To ugotovitev bom podrobneje analizirala ter razložila še s pomočjo z modela podtalnice, ki je opisan v prejšnjem poglavju, 3.1.

3.2.2 Letna rečna bilanca Save

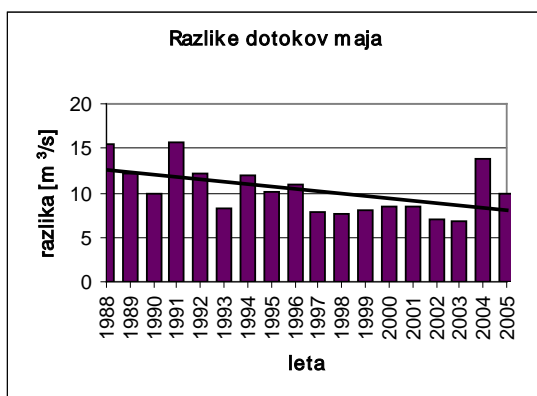
Za rečno bilanco Save sem uporabila podatke o dotokih na pregradi Mavčiče in Medvode od leta 1988 do septembra 2005. Najprej sem izrisala razliko med srednjimi letnimi dotoki, nato pa še med dvema srednjima mesečnima. Želela sem pokazati, da so dotoki na pregradi Medvode večji kot na višje ležeči pregradi Mavčiče, kar pomeni, da prihaja do dodatnega vtoka podtalnice pod pregrado Mavčiče.



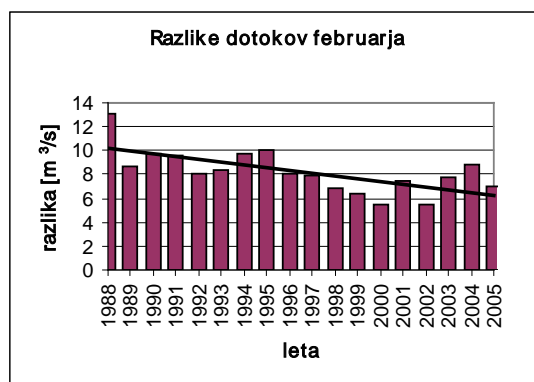
Graf 4: Razlika v srednjih letnih dotokih na pregradi od leta 1988 do leta 2005.

Na grafu razlik sem ugotovila upad razlik v dotokih na pregradi, kar pomeni proces umirjanja stanja in zamuljevanja akumulacije Mavčiče, glede na ugotovitve v poglavju 3.1.

Da bi kar najbolje prikazala velikosti razlik v dotokih na pregradi Mavčiče in Medvode in pa njihovo upadanje sem med seboj primerjala srednje mesečne vrednosti za vsak mesec posebej za privzeto obdobje. Prikazala bom le obdobje viška z mesecem majem in obdobje nižka z mesecem avgustom.



Graf 5: Razlike v dotokih na obe pregradi za mesec maj.



Graf 6: Razlike v dotokih na obe pregradi za mesec februar.

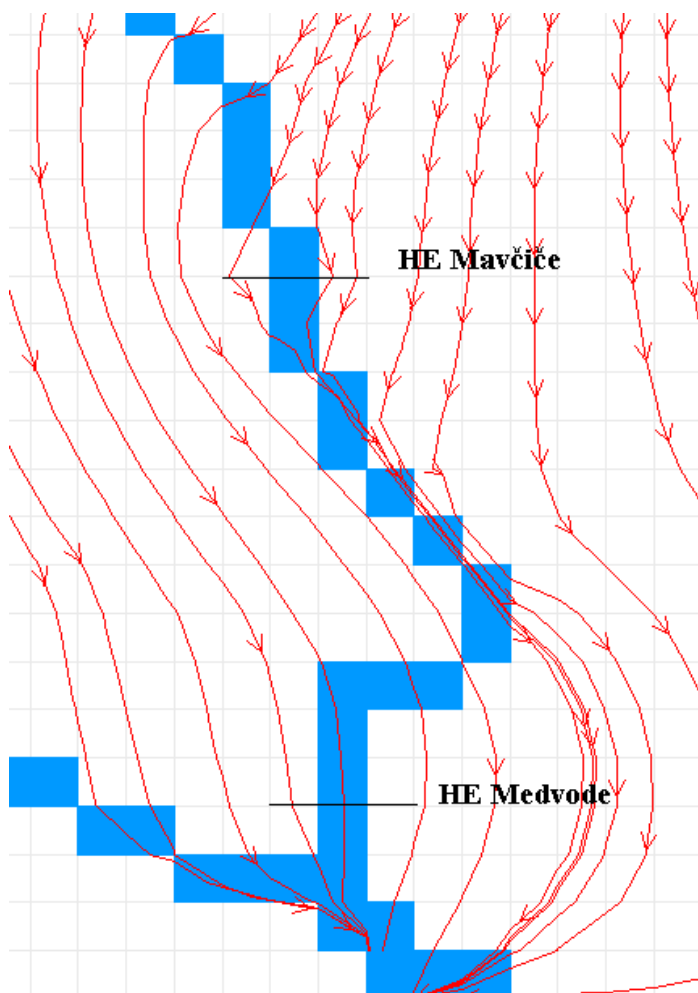
Grafa zgoraj prikazujeta razlike srednjih mesečnih dotokov na pregradi Mavčiče in Medvode od leta 1988 do septembra 2005. Na obeh grafih, torej v mesecih viška in nižka, je opazno upadanje razlik med dotoki na HE Mavčiče in HE Medvode. Največje povprečne razlike so v mesecu maju ($10,3 \text{ m}^3/\text{s}$), ko so dotoki največji, najmanjše pa v februarju ($8,3 \text{ m}^3/\text{s}$), ko je obdobje zimskega nižka. Največje razlike so torej v obdobjih viškov, večje v jesenskem kot spomladanskem, ko so dotoki na pregradi največji in takrat je največji tudi trend upadanja razlik. Povprečna letna razlika je $9,4 \text{ m}^3/\text{s}$, maksimalna letna razlika je $12,6 \text{ m}^3/\text{s}$ (leta 1991) in minimalna letna razlika je $7,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (leta 2000).

Na obeh grafih je opazno tudi povečanje razlik v pretokih v zadnjih letih, prvo večje povečanje v letu 2001, ki bi lahko bilo posledica sanacije injekcijske zavese izvedene v letu 2000, ki jo bom opisala v poglavju 4.

3.2.3 Ugotovitve

Kot sem že predvidevala glede na rezultate v poglavju 3.1, sem tudi tokrat ugotovila razlike med dotoki na HE Mavčiče in dotoki na HE Medvode. Te razlike so v korist dotokov na HE Medvode. S primerjavo mesečnih vrednosti sem ugotovila največje razlike v deževnih mesecih in mesecih, ki sledijo. Predvidevam, da so te razlike posledica vtoka podtalnice nizvodno od akumulacije Mavčiče. Z vstavitvijo trend linije za celotno obdobje sem ugotovila upad teh razlik, ki je prav tako največji v mesecih, kjer so tudi razlike največje.

Razlike med dotoki bom združila z rezultati modela podtalnice Kranjsko – Sorškega polja s katerim sem v poglavju 3.1.2.9 ugotovila tok podtalnice.



Slika 11: Prikaz tokovnic na območju pregrad Mavčiče in Medvode leta 2001.

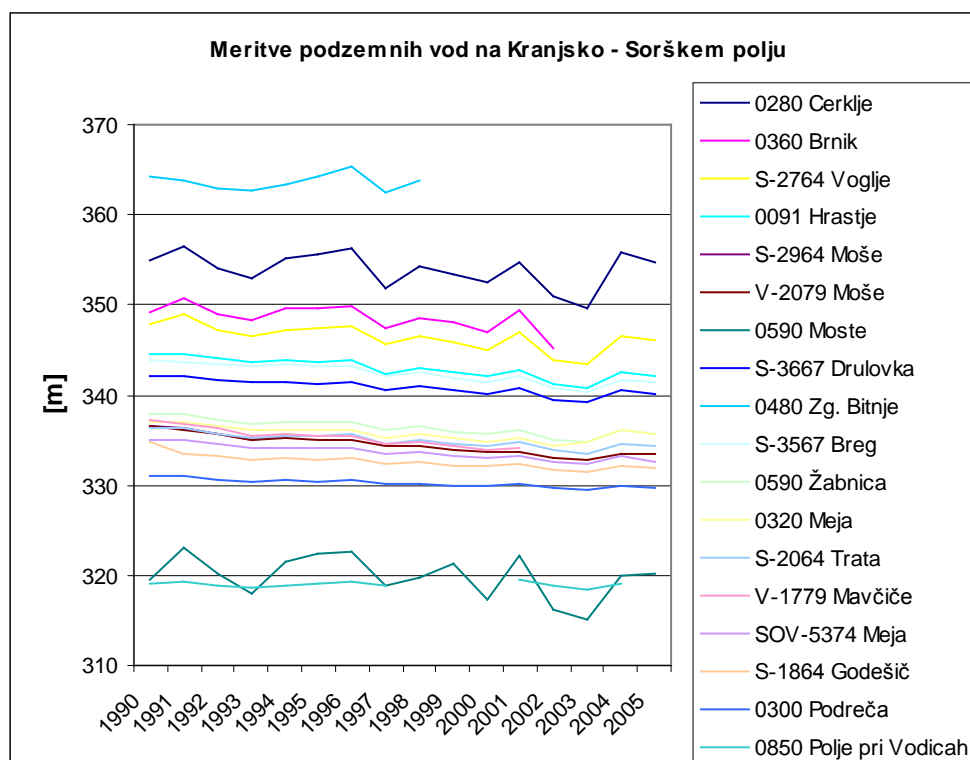
Iz poteka tokovnic na predpostavljjenem območju sem ugotovila, da se del podtalnice, ki teče pod reko Savo iz Kranjskega na Sorško polje, izceja pod pregrado Mavčiče do neprepustnih plasti nizvodno od Smledniškega mostu. Količina vode, ki se izceja pod pregrado Mavčiče je torej odvisna od količine vode, ki se infiltrira za pregrado Mavčiče in je odvisna od stopnje zablattenja dna.

Pozitivna razlika na HE Medvode je torej posledica v največji meri izcejanja podtalne vode, ki pronica v bazenu HE Mavčiče, napaja podtalnico, ki teče pod strugo in se vrača v reko pod

pregrado. Količina vode, ki se infiltrira za pregrado Mavčiče je odvisna od splošne količine vode v določenem obdobju. Povprečna letna količina vode, ki priteče na pregrado Medvode iz podtalja, Kranjskega polja ali iz akumulacije Mavčiče, je $9,3 \text{ m}^3/\text{s}$; v letu 2001, za katerega je izdelan model podtalnice je ta dotok enak $8,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Izračun vodne bilance za model pove, da v območje 4 letno pride z dreniranjem podtalnice $4,3 - 10 \text{ m}^3/\text{s}$ vode, odvisno od koeficienta prepustnosti rečnega dna. Dno v akumulaciji Mavčiče se je namreč z leti zablátilo in postaja bolj neprepustno. V letu 2001, za katerega je izdelan model, je povprečna letna razlika v dotokih $8,2 \text{ m}^3/\text{s}$, za kar sem ugotovila koeficient prepustnosti dna $8,3 \cdot 10^{-5}$, v začetku, ko je bila razlika v dotokih $10 \text{ m}^3/\text{s}$ je bil koeficient prepustnosti $1,3 \cdot 10^{-4}$. Glede na logaritmično funkcijo intenzivnosti procesa, lahko rečem, da bo razlika $4 \text{ m}^3/\text{s}$, prisotna pri koeficientu prepustnosti $3,3 \cdot 10^{-5}$, nastopila čez več kot 15 let. To pa je precej daljše obdobje od predvidevanega.

3.2.3.1 Zablátenje akumulacije Mavčiče

Na vsem polju so se gladine podtalnice z izgradnjo akumulacije Mavčiče dvignile in povečala se je infiltracija Save v podtalnico. Ob pregradi Mavčiče so se gladine dvignile za kar 6 m, ob obronkih Kranjsko – Sorškega polja, med drugim tudi ob Planiki, pa za 2 – 3 m. Kmalu se je začelo zablátenje akumulacije, ki vpliva na nivo gladin in količino vode, ki pronica skozi rečno dno. Do delnega znižanja gladin je prišlo že leta 1989-90 kar so pripisali delnemu zablátenju in sušnemu obdobju. Vpliv zablátenja je možno ugotoviti z zmanjševanjem izvirov nizvodno in nižjim nivojem podtalnice. Glede na podatke o nivojih podtalnice od leta 1990 in 2005 bom s primerjavo poskušala ugotoviti zablátenje bazena. Primerjala bom meritve gladin podtalnice za osemnajst piezometrov na Kranjsko - Sorškem polju.

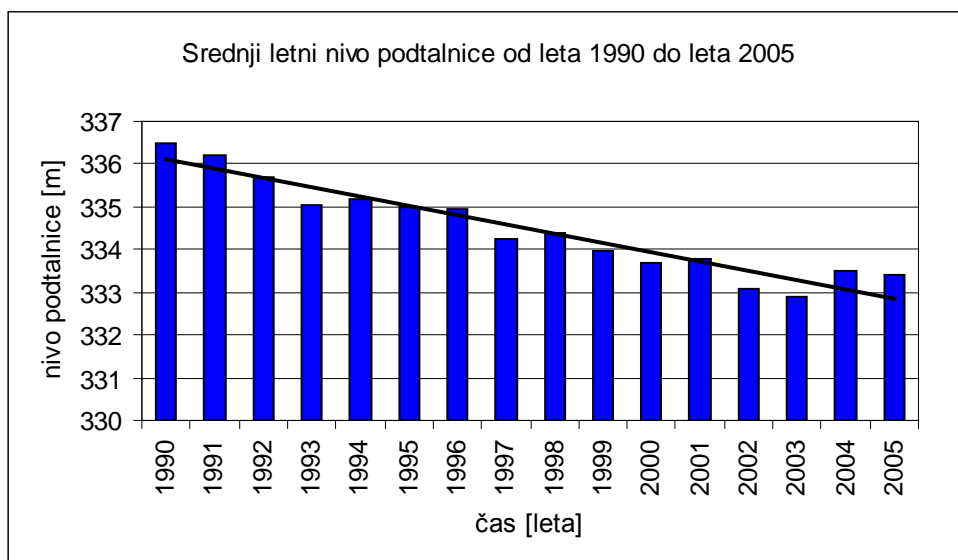


Graf 7: Prikaz meritev podzemnih vod v osemnajstih piezometrih na Kranjsko-Sorškem polju od leta 1990 do 2005.

Ugotovila sem trend upadanja gladin podtalnice na vseh piezometrih. Največji trend upadanja ima podtalnica na piezometrih Drulovka, Trata in Godešič, ki so locirani na Sorškem polju (slika 5). Opaznejše upadanje gladin je še v piezometrih Hrastje in Moše, ki pa sta locirana na Kranjskem polju. Upad gladin je reda velikosti 2 -3 m v vseh piezometrih, razen v Mostah, Zgornjih Bitnjah, Polju pri Vodicach in Cerkljah, ki so očitno izven ožjega vplivnega območja akumulacij.

Zaradi velikega vpliva sušnih in vlažnih obdobj je zablatenje težko ugotoviti in ga je potrebno ugotavljati na podlagi večletnih meritev. Najbolj primerno je primerjanje gladin v podobnih klimatskih razmerah. Primerjala sem srednje mesečne gladine podtalnice na merilni postaji V-1779 Mavčiče na pregradi Mavčiče v letih 1990 in 2001. Na primer junija, julija in avgusta leta 1990 so dotoki na pregrado Mavčiče zelo blizu dotokom v letu 2001 in v tem obdobju je razlika v vodostaju od 3 do skoraj 4 metre.

Za bolj nazoren prikaz upadanja gladine podtalnice sem izdelala grafično primerjavo srednjih letnih nivojev podtalnice na merilni postaji V-2079 Moše, ki leži ob pregradi Mavčiče za obdobje od leta 1990 do leta 2005 (ARSO, Hidrološki letopisi, 1990-2005).



Graf 8: Grafični prikaz nižanja srednjega letnega nivoja podtalnice ob pregradi Mavčiče od leta 1990 in 2005.

Na grafu 8 je viden trend upadanja gladine podtalnice kar je posledica pojava zablatenja dna akumulacije Mavčiče. Leta 1991 je prof.dr. M.Breznik napovedal stacionarno stanje čez pet do deset let pod pogojem takratne hitrosti zablatenja. Vendar pa proces zablatenja poteka po logaritmčni funkciji in ker se je koeficient prepustnosti v 16. letih zmanjšal za $5 \cdot 10^{-5}$ m/s, v naslednjih 15. letih ne moremo pričakovati iste stopnje zmanjšanja koeficienta, ampak manjšo. Vendar bodo tudi pri največji zablatitvi dna gladine podtalnice še vedno dvignjene zaradi prestavitve drenažnega območja dolvodno in s tem podaljšanja poti strujanja.

3.3 Transport sedimentov

Sedimentacija lahko povzroči številne negativne vplive, kot je zadušitev vodnih organizmov, ko zapolni prostore med kamenjem in prodom na rečnem dnu in posledično uničenje habitata insektov in drugih živih bitij v prehranjevalni verigi; če se iz sedimentov sproščajo nutrienti in nekatere toksične snovi, lahko le – te poslabšajo kvaliteto vode, pospešujejo rast alg in

škodujejo življenju v vodi, zmanjša se bistrost vode in atraktivnost vodnega okolja za plavanje in druge rekreativne in turistične namene.

Ti problemi so bili že zelo izraziti na Zbiljskem jezeru, kjer so nanešene blatne površine ob manjši denivelaciji segale nad gladino in onemogočale dejavnosti v jezeru, neprijetne vonjave, ki so spremljale razkrajanje organskih snovi v blatu, pa so moteče vplivale na prebivalce in obiskovalce. Zaradi naštetih problemov ob HE Medvode se je v začetku osemdesetih začel pripravljati program ekološke sanacije Zbiljskega jezera in bil izveden v letu 1995 (poglavje 2.2.2).

Proces sedimentacije oziroma zamuljevanja, pa je lahko, kot vsak vpliv, tudi ugoden. Pri velikih vodnih izgubah iz akumulacije se le – te s procesom zamuljevanja s časom zmanjšajo, če pa pride do popolnega zamuljevanja, se lahko izgube skoraj izničijo. Tak proces sem že opisala v poglavju 3.2.3.1 za primer akumulacije Mavčiče. Kljub zamuljevanju akumulacije pa v Mavčičah še vedno prihaja do prevelikih izgub vode, kar bom opisala v petem poglavju.

V tem poglavju bom na podlagi meritev Inštituta za hidravlične raziskave predstavila spremembe v volumnu jezer na podlagi meritev, ki so bile izvedene leta 1986 in 1998 za bazen HE Mavčiče in leta 1988 in 2000 za bazen HE Medvode. Meritve so bile izvedene po klasični metodi s pomočjo prečnih profilov, kasneje pa še s pomočjo digitalnega modela reliefa. Predvidevam zmanjšanje volumna obeh bazenov, manj v Zbiljskem jezeru, ki je bilo sanirano.

3.3.1 Razlike v volumnih bazenov za HE Mavčiče in HE Medvode

3.3.1.1 Volumen bazena HE Mavčiče

Za akumulacijski bazen HE Mavčiče je bil leta 1998 narejen izračun volumna za primerjavo z volumnom bazena v letu 1986, ko je HE Mavčiče začela obratovati. Leta 1986 je bil volumen izračunan s pomočjo prečnih profilov in njihovih medsebojnih razdalj, leta 1998 pa so za določitev volumna uporabili še digitalni model reliefa do kote zajezbe.

Volumen leta 1986 izračunan po prečnih profilih: 12.268.006 m³;
volumen izračunan leta 1998 po prečnih profilih: 11.738.298 m³
in s pomočjo digitalnega modela: 10.836.906 m³.

Razlika v korist volumna leta 1986 znaša 4,3 %, kar je 529.708 m³. To pomeni, da se je volumen bazena od prvega merjenja zmanjšal za 529.708 m³. Če vzamemo procent razlike med merjenjem volumna s pomočjo prečnih profilov in merjenja z digitalnim reliefom dna izvedenim leta 1998, ki je 7,7 % in ga apliciramo pri računu količin za leta 1986, dobimo zmanjšanje bazena za 489.032 m³, kar je malo manj kot pri prvem izračunu. Ker prvo merjenje ni bilo opravljeno z digitalnim modelom je rezultat manj zanesljiv, prav tako pa se tudi pri merjenju s pomočjo prečnih profilov pojavljajo napake. Kakorkoli lahko rečemo, da se je volumen bazena v 12-ih letih zmanjšal za približno 500.000 m³, oziroma približno za 4 %. Glede na to, da se največja količina sedimentov usede v letih po izgradnji pregrade, lahko v prihodnosti ne pričakujemo večjih količin sedimentov.

3.3.1.1.1 Primerjava površine prečnih profilov

Prečni profili so bili leta 1998 zaradi lažje primerljivosti prav tako izračunani tudi po klasični metodi. Bazen je bil enako kot leta 1986 razdeljen na 26 profilov. Profili se pričnejo šteti z 0, s pregrado in se nadaljujejo gorvodno po akumulacijskem bazenu proti Kranju. Profili ležijo na medsebojni razdalji od 8 m (prvi profil za pregrado) do 499,5 m (21. profil na 5,6 km gorvodne oddaljenosti od pregrade). Profili, njihova stacionaža in medsebojna razdalja so zapisani v preglednici 2.

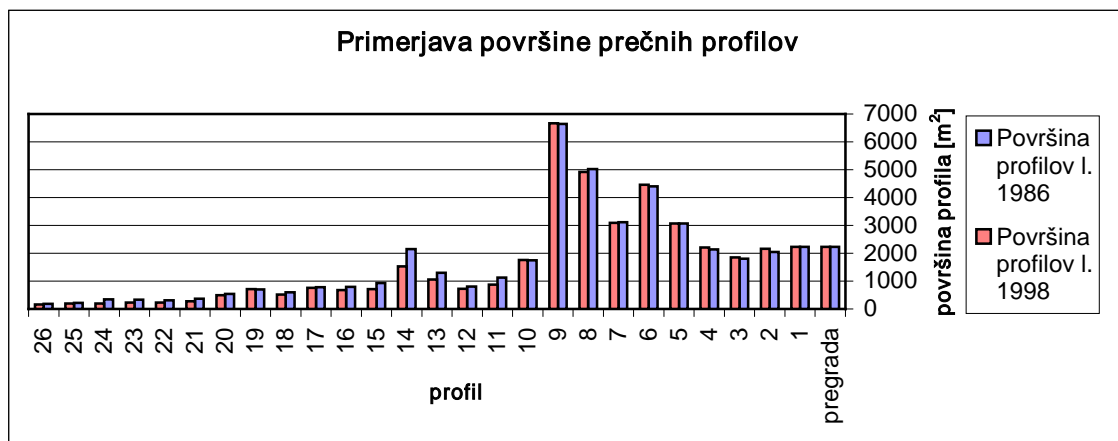
Preglednica 2: Oštevilčenje prečnih profilov v akumulacijskem bazenu HE Mavčiče, njihova oddaljenost od pregrade in razdalja.

Profil	Stacionaža	Razdalja
	m	m
pregrada	0.0	0.0
1	8.0	8.0
2	48.3	40.3
3	243.6	195.3
4	499.4	255.8
5	853.4	354.0
6	1251.1	397.7
7	1616.4	365.3
8	1827.6	211.2
9	2022.9	195.3
10	2376.8	353.9
11	2735.9	359.1
12	3081.7	345.8
13	3398.6	316.9
14	3527.3	128.7
15	3738.7	211.4
16	4076.0	337.3
17	4359.4	283.4
18	4685.0	325.6
19	4942.5	257.5
20	5149.6	207.1
21	5649.1	499.5
22	5889.3	240.2
23	6125.7	236.4
24	6408.0	282.3
25	6690.3	282.3
26	7003.3	313.0

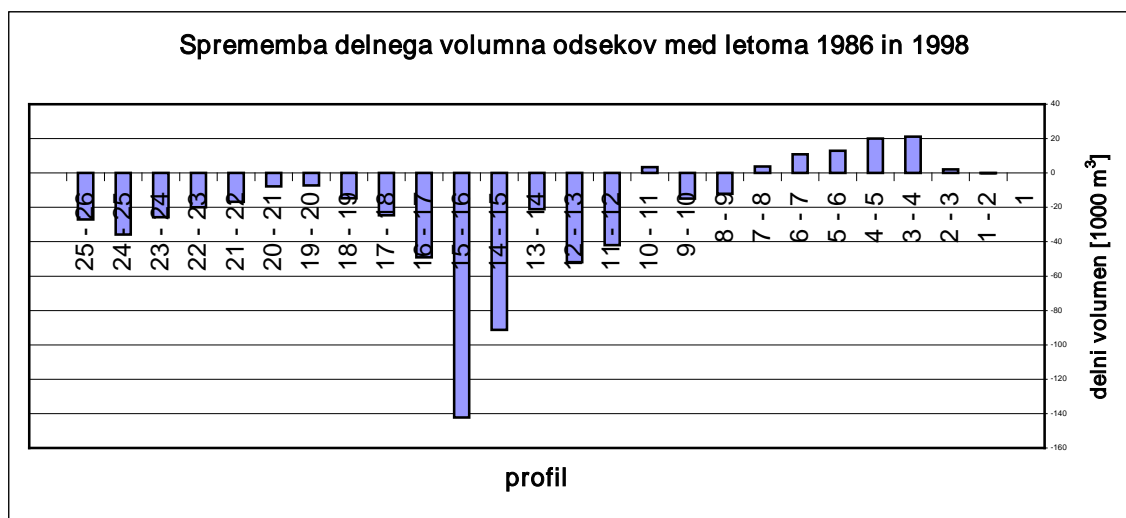
V prilogi B1 je prikaz lokacije 12-ih od 26-ih prečnih profilov na akumulaciji Mavčiče. Prva številka označuje zaporedno številko profila, druga pa stacionažo profila.

Na grafu 9 sledi prikaz primerjave površin prečnih profilov bazena leta 1986 in leta 1998. Največje negativne razlike so vidne gorvodno od sedmega profila, ki leži na stacionaži 1.616,4 km, kar pomeni, da so se na tem mestu najhitreje začela usedanja finega plavljivega materiala. Višje od pregrade je to še bolj vidno, predvsem pri profilih 13, 14 in 15 pa vse do zadnjega merjenega profila na stacionaži 7003,3 m. Ob pregradi so razlike v površini prečnih profilov zelo majhne, kar je verjetno posledica predhodne odstranitve humusa in izkopavanju

proda pred polnitvijo bazena. To pa je še bolj lepo vidno na naslednjem grafu 10, ki prikazuje spremembe delnega volumna odsekov med letoma 1986 in 1998.



Graf 9: Prikaz primerjave površin prečnih profilov v letih 1986 in 1998.

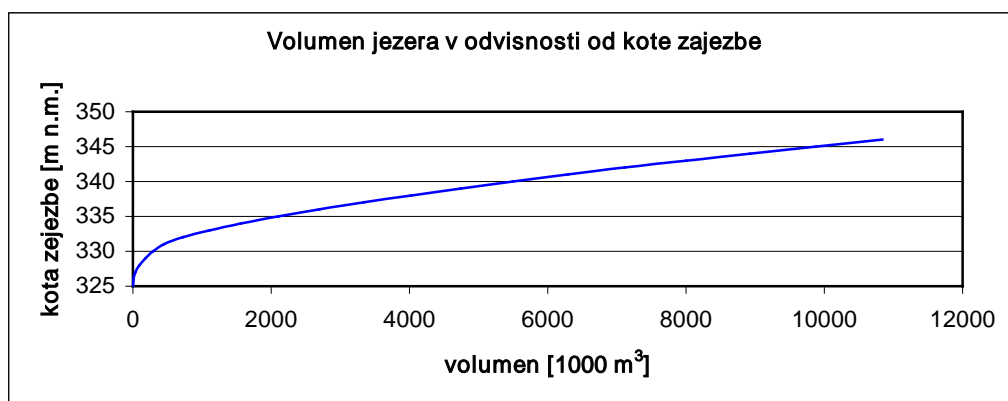


Graf 10: Prikaz spremembe volumna posameznih odsekov med letoma 1986 in 1998.

Graf sprememb delnega volumna odsekov prikazuje velikosti volumnov med posameznimi odseki izračunane leta 1986 in leta 1998. Največje spremembe so pri 15. profilu, kjer se je volumen procentualno najbolj zmanjšal. Na splošno pa se z osmim profilom začne dvig dna in se nadaljuje do zadnjega profila na oddaljenosti 7003,3 m.

3.3.1.1.2 Volumen bazena v odvisnosti od kote zajezbe za stanje dna bazena v letu 1998

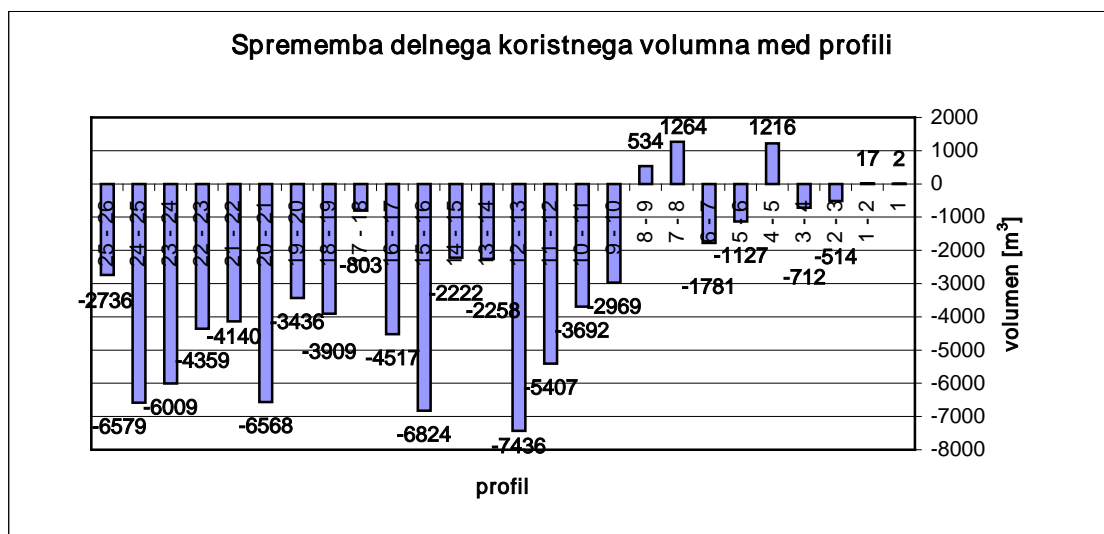
Na naslednjem grafu je prikazana odvisnost volumna bazena od kote zajezbe za stanje dna bazena leta 1998. Nominalna kota zgornje vode je 346m, spodnje pa 328,5 m. Volumen akumulacijskega bazena je izračunan v razponu od kote 324 do 346 m.



Graf 11: Prikaz odvisnosti volumna bazena Mavčiče od kote zajezbe.

3.3.1.1.3 Sprememba delnega koristnega volumna med profili od leta 1986 do leta 1998

Maksimalna dovoljena denivelacija med rednim obratovanjem HE Mavčiče znaša 3,30 m. Koristni volumen za stanje l. 1998, izračunan s pomočjo digitalnega modela reliefa dna, znaša 3.100.000 m³. Vrednosti sprememb delnega koristnega volumna so prikazane v naslednjem grafikonu 12, kjer so na osi x profili od pregrade, ki je označena z 0, do 26 profila, na osi y pa volumni med posameznimi profili.



Graf 12: Prikaz sprememb delnega koristnega volumna med profili.

Največje negativne razlike volumnov so vidne med profili 12-13, 15-16, 20-21 in 24-25, medtem ko so v profilih bližje pregradi 4-5, 7-8 in 8-9 razlike pozitivne, kar je posledica izkopov ob gradnji pregrade. Na grafu so zapisane tudi količine spremenjenega volumna bazena med posameznimi profili.

3.3.1.2 Volumen bazena HE Medvode

Na podlagi večletnih meritev je bilo ugotovljeno, da je Sava v času obratovanja HE Medvode do izgradnje HE Mavčiče odložila v Zbiljskem jezeru do 100.000 m³ sedimentov na leto. Ocenjeno je, da je zasute približno 40 % celotne akumulacije, kar znaša 2,6 hm³. Pri normalnih pogojih je izgubljen 10 – 15 % koristne akumulacije, medtem, ko je pri izjemni pogojih obratovanja izgubljeno 20 – 25 % koristne akumulacije. Obseg usedanja delcev po izgradnji pregrade v Mavčičah se je zmanjšal. (Kryžanowski, 1999)

Zaradi močnega zamuljevanja jezera se je velikokrat že ob manjši denivelaciji videlo dno jezera. Med sedimenti prevladuje prod v korenu zaježitve, v spodnjem delu pa pretežno mulj, pomešan z naplavinami. Najbolj je problematičen osrednji del jezera, kjer se struga Save najbolj razširi in se tok upočasni. Na tem delu, ki leži pod naseljem Zbilje, Sava najintenzivneje odlaga mulj, pomešan z naplavinami na potopljeno obrečno teraso. Tako je

nastala kakšne 4 ha velika plitvina, ki je ovirala obiskovalce pri izvajanju dejavnosti na jezeru. To plitvino so leta 1995 sanirali z izkopom, ki so ga nasuli na levem bregu in tako pridobili še rekreacijske površine (poglavje 2.2.2).

Za akumulacijski bazen je bil najprej leta 1988, nato pa še leta 2000 izračunan volumen. Leta 1988 so volumen izračunali s pomočjo površine prečnih profilov, leta 2000 pa še s pomočjo digitalnega modela bazena.

Volumen izračunan leta 1988 po prečnih profilih: 3.111.506 m³;
volumen izračunan leta 2000 po prečnih profilih: 3.134.552 m³
in s pomočjo digitalnega modela reliefa: 3.068.430 m³.

Pozitivna razlika v korist volumna bazena leta 2000 znaša 23.064 m³. Ta razlika je bila aplicirana na rezultat iz leta 1988 in dobljena je bila vrednost, ki naj bi bila primerljiva z vrednostmi, izračunanimi na podlagi digitalnega modela reliefa. Razlika, dobljena po tem izračunu, znaša manj in sicer 22.560 m³. Glede na napake pri obeh izračunih lahko rečemo, da se je volumen po 12-ih letih večji za približno 22.600 m³, kar je približno 0,7%. To razliko glede na visoko prodonosnost pred izgradnjo HE Mavčiče gre pripisati sanacijskim ukrepom v letu 1995.

3.3.1.2.1 Spremembe površine posameznih profilov od l. 1988 do l. 2000

Podatke izračunov prečnih profilov iz leta 1988 in leta 2000 so po meritvah med seboj primerjali in dobili precej različne podatke, kar so delno pripisali tudi napaki v meritvah leta 1988. Do te ugotovitve so prišli z neposrednimi meritvami po ustaljenih geodetskih metodah. Po primerjavi širine profilov iz leta 1988 in izmerjenih razdalj na terenu ter po analizi Poročila o izmeri poligonske mreže v območju Zbiljskega jezera (VGI, 1999) je bilo ugotovljeno, da se rezultati iz leta 1988 po nekaterih profilih, kjer ni nobenih sprememb brežin, razlikujejo tudi po več 10 m. (Inštitut za hidravlične raziskave, 2000)

Leta 1988 je bilo izračunanih 18 profilov od pregrade Medvode gorvodno proti pregradi Mavčiče, leta 2000 pa je bilo izračunanih 21 profilov, s tem da je niči profil obakrat pregrada

Medvode, 21. pa podslapje pregrade Mavčiče. Do 18. profila ležijo profili na enaki medsebojni razdalji v obeh letih izračunov, le da so leta 2000 dodani še trije profili. Profili so med seboj oddaljeni od 25 m (2. profil) do največ 387 m (14. profil). V preglednici 3 so zapisani profil, njihova stacionaža ter medsebojna oddaljenost.

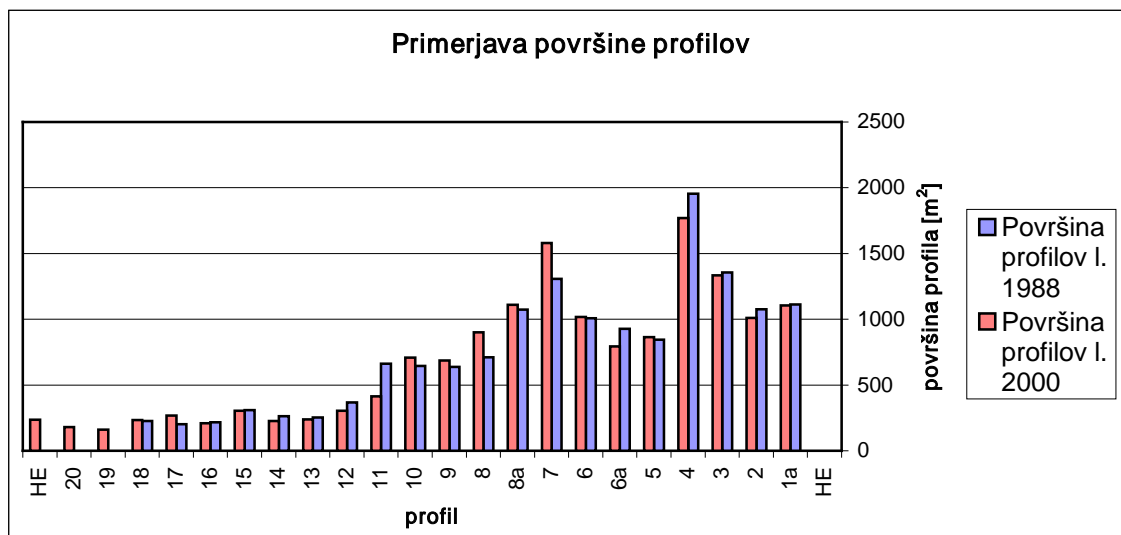
Preglednica 3: Oštevilčenje profilov v akumulacijskem jezeru HE Medvode, njihova oddaljenost od pregrade ter razdalja. Zadnji trije odebeljeno zapisani profili so izračunani samo leta 2000 in ne tudi leta 1988.

Profil	Stacionaža	Razdalja
	m	m
HE Medvode	0	0
1a	26	26
2	51	25
3	132	81
4	230	98
5	367	137
6a	646	279
6	835	189
7	1057	222
8a	1331	274
8	1710	379
9	1968	258
10	2352	384
11	2642	290
12	3010	368
13	3321	311
14	3708	387
15	3938	230
16	4263	325
17	4596	333
18	4835	239
19	5134	299
20	5305	171
HE Mavčiče		215

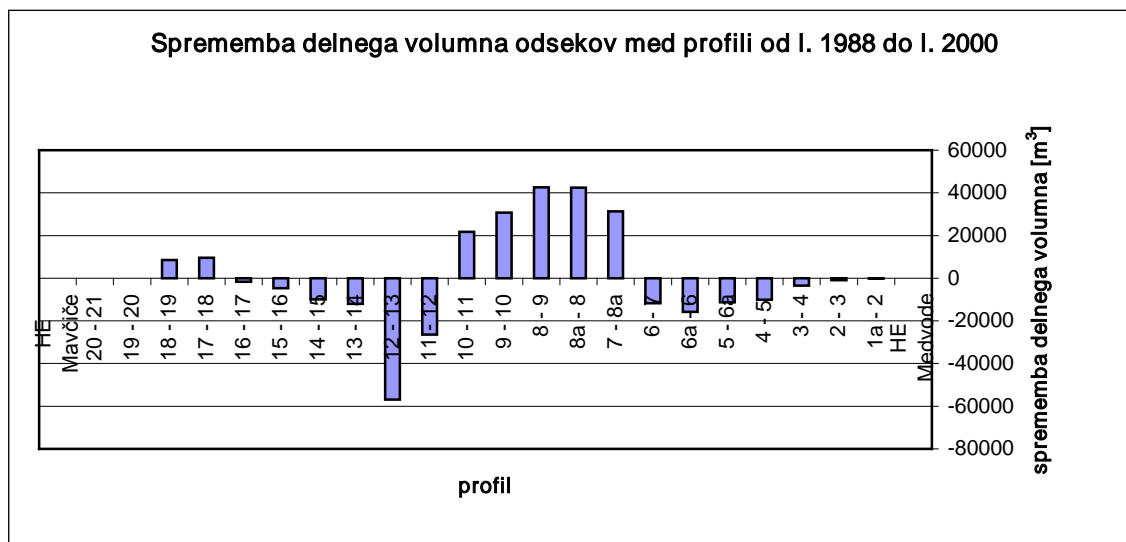
V prilogi B2 je prikaz lokacije 13-ih od 20-ih prečnih profilov na akumulaciji Medvode. Prva številka označuje zaporedno številko profila, druga pa stacionažo profila.

Na grafu 13 sledi prikaz razlik med površinami profilov med leti 1988 in 2000. Največje razlike med površinami profilov so med profiloma 6 in 10, kjer je opazno povečanje površine profilov in s tem volumna akumulacije, kar je posledica sanacijskih ukrepov v letu 1995. K

temu priča tudi opazen dvig dna na profilu 12 in z njim zmanjšanje omočene površine profila, ki vpliva na račun delnega volumna dolvodnega in gorvodnega odseka.



Graf 13: Prikaz primerjave površine profilov med leti 1988 in 2000 od HE Medvode do HE Mavčiče.



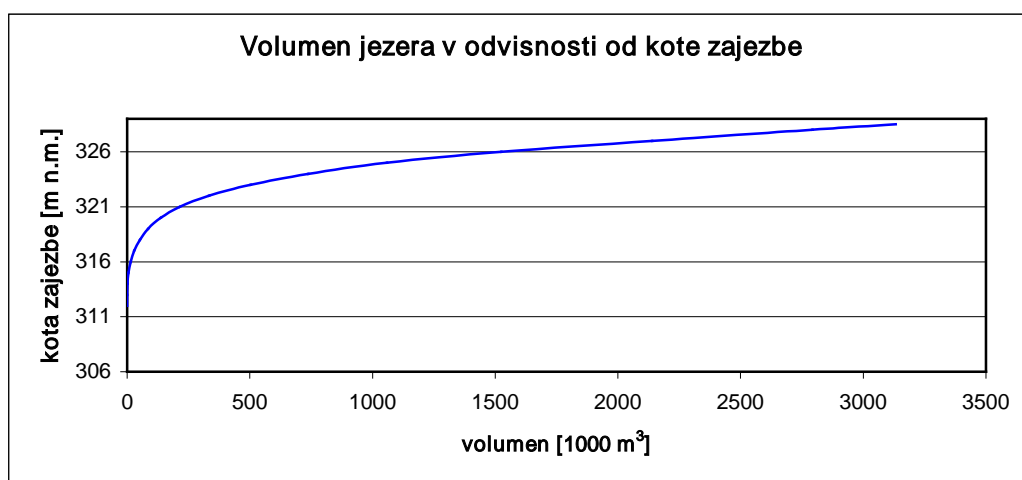
Graf 14: Prikaz sprememb delnega volumna posameznih odsekov med letoma 1988 in 2000.

Na grafu sprememb delnega koristnega volumna je opazno precejšnje nihanje količin volumna med posameznimi profili, kar lahko pripišemo sanaciji leta 1995, ki je vzrok za povečanje volumna med 7. in 11. profilom. Drugje je opazno zmanjšanje volumna, razen pri zadnjih

dveh primerjanih profilih od 17 – 19, kar pa je verjetno posledica erodiranja reke pod HE Mavčiče. Največje zmanjšanje volumna je med profiloma 12 in 13, ki leži na oddaljenosti 3010 m gorvodno od pregrade Medvode in je širok 311 m.

3.3.1.2.2 Volumen jezera v odvisnosti od kote zajezbe

Na naslednjem grafu je prikazana odvisnost volumna bazena od kote zajezbe za stanje dna bazena leta 2000. Nominalna kota zgornje vode je 328,5 m, kar je enako kot je nominalna kota spodnje vode na HE Mavčiče, nominalna kota spodnje vode na HE Medvode pa je 307,3 m. Volumen akumulacijskega bazena je izračunan v razponu od kote 312 do 328,5 m, pri čemer je zajet celoten obseg bazena, do podslapja HE Mavčiče.

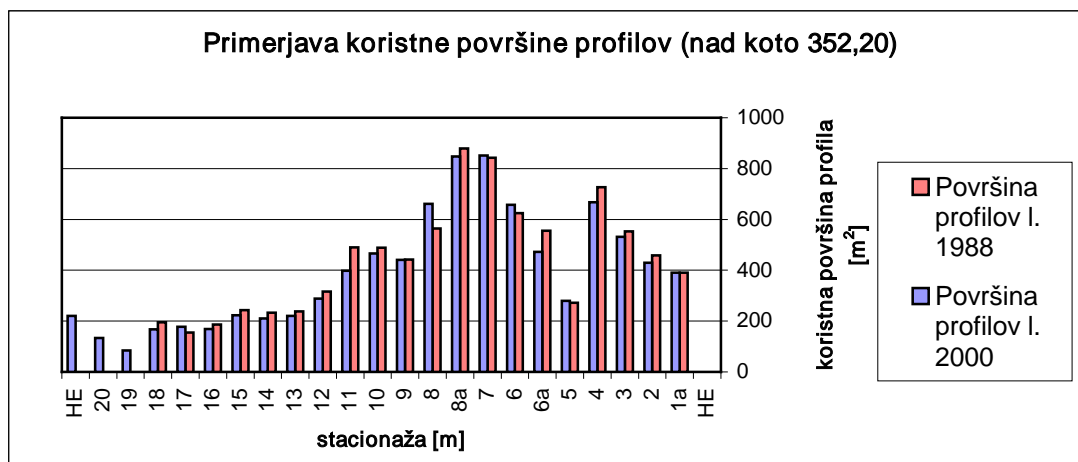


Graf 15: Prikaz odvisnosti volumna bazena Medvode od kote zajezbe.

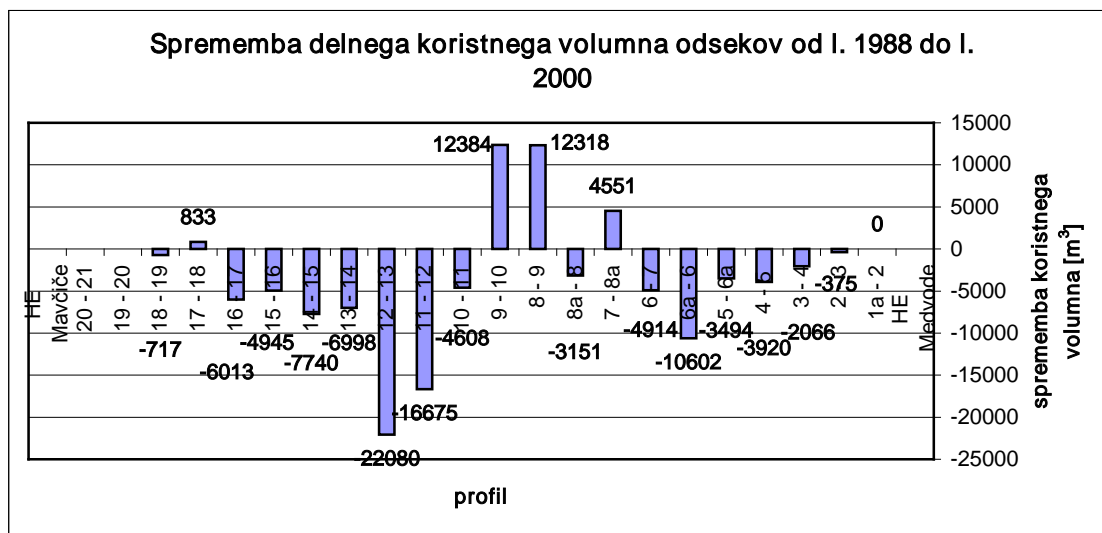
3.3.1.2.3 Sprememba delnega koristnega volumna odsekov med profili

Maksimalna denivelacija med rednim obratovanjem HE Medvode znaša 3,30 m. Koristni volumen za stanje leta 2000, izračunan s pomočjo digitalnega modela reliefa znaša zaokroženo 1.900.000 m³. Zaradi primerjave z izmero v letu 1988, je bil določen koristni volumen akumulacije do profila 18, do koder je segala tedanja izmera bazena.

Sledi primerjava koristne površine profilov, kjer je najbolj izrazito zmanjšanje koristne površine profilov 2, 3, 4, 6a, 8a, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 in 18. Pri profilu 17 je po vsej verjetnosti prišlo do napake v merjenju leta 1988. Najbolj izrazito povečanje koristne površine profila je v profilu 8, ki je posledica sanacijskih ukrepov v letu 1995. Za zadnje tri profile so na voljo le podatki iz leta 2000, zato površin ne moremo primerjati.



Graf 16: Prikaz primerjave koristnih površin profilov nad koto 352,2 za leti 1988 in 2000.



Graf 17: Prikaz sprememb delnega koristnega volumna odsekov med leti 1988 in 2000.

Izrazitejše zmanjšanje koristnega volumna, ki je vidno na grafu 16, je le med profiloma 5 in 6, kar je posledica zasute sekundarne struge Save, ki je bila leta 1988 med izmero vrezana v

nanos drobnega proda in mivke. Izrazito povečanje koristnega volumna med profili 8 in 10 pa je posledica sanacijskih del leta 1995. Zmanjšanje koristnega volumna med profili 10 in 13 pa je le navidezno, saj je rezultat predvsem posledica napake v dolžini profila 10 in 12, narejene med izmero leta 1988 in le delno v dejanskem dvigu dna. Za zadnje tri profile ni na voljo podatkov iz leta 1988 za primerjavo volumna.

3.3.2 Zaključki in možne rešitve problematike sedimentacije

3.3.2.1 Akumulacija Mavčiče

Volumen akumulacije Mavčiče se je v 12-ih letih od začetka obratovanja hidroelektrarne zmanjšal za 4% , kar je približno 500.000 m^3 . Pri primerjavi delnega volumna posameznih prečnih profilov je opazno celo povečanje začetnih profilov za pregradi, kar je najverjetneje posledica izkopavanja materialov v času gradnje. Največje spremembe zmanjšanja volumna pa so opazne pri 15. profilu na stacionaži 3.739 m. Na splošno se začne manjšati volumen pri osmem profilu na stacionaži 1.828 m, doseže višek pri 15. profilu in se padajoče nadaljuje do zadnjega profila na stacionaži 7.003 m.

Glede na to, da je proces sedimentacije najbolj aktiven takoj po pregraditvi poti transporta sedimentov in, da se s časom stanje umiri in v veliki meri prilagodi novim pogojem, mislim, da v prihodnje ni pričakovati večje izgube volumna akumulacije. Ker pa je od zadnjih meritev volumna preteklo že osem let, bi bilo potrebno opraviti nove meritve, da bi lahko z večjo verjetnostjo ugotovili stanje umirjanja procesa sedimentacije.

3.3.2.2 Akumulacija Medvode

Volumen akumulacije Medvode je po 12-ih letih in sicer od leta 1988, kar je 35 let po začetku obratovanja, pa do leta 2000 večji za približno 0,7%, kar je 23.000 m^3 . Ta vrednost je precej bolj ugodena od procenta zmanjšanja volumna akumulacije Mavčiče, kar gre delno pripisati zmanjšani sedimentaciji po začetku obratovanja HE Mavčiče, ki je zaprla pot sedimentom, delno pa izvedenim sanacijskim delom.

S primerjavo delnega volumna posameznih prečnih profilov sem ugotovila precej različne negativne in pozitivne spremembe v volumnih. Takoj za pregrado pa vse do sedmega profila je opazno manjše zmanjšanje volumna. Med sedmim profilom na stacionaži 1.057 m in 11. profilom na stacionaži 2.642 m je prišlo do povečanja volumna, kar lahko pripišem izvedeni sanaciji v obdobju med obema meritvama. Po 11. profilu se volumen zopet zmanjšuje in doseže največje zmanjšanje pri profilu 12 na stacionaži 3.010 m, ki mu sledijo manjša zmanjšanja volumnov profilov do profila 17 na stacionaži 4.596m. Od profila 17 do pregrade Mavčiče pa pride zopet do manjšega povečanja volumna, kar lahko pripišem posledicam erodiranja Save pod pregrado Mavčiče.

Akumulacija Medvode je bila v letih po začetku obratovanja zelo izpostavljena sedimentaciji različnih materialov, ki jih zdaj zadržuje pregrada Mavčiče. Izgradnja pregrade Mavčiče je torej v smislu sedimentacije pozitivno vplivala na akumulacijo Medvode.

3.3.2.3 Možne rešitve

Najbolj primerna možnost reševanja problematike sedimentacije se mi zdi izkop sedimentov iz dna akumulacije, seveda v kolikor bi bilo potrebno odstraniti sedimente tudi iz dna akumulacije Mavčiče. To je tudi najbolj pogosta možnost sanacijskih ukrepov pri prekomernem zaprojevanju in je bila uspešno uporabljena že na akumulaciji Medvode.

V osnovi sloni odzemanje sedimentov na določitvi viškov in mesta odzemanja. Pogosto je bolje odzemanje sedimentov v širokih pasovih prečno na vodni tok, kot pa kopati globoke prodne jame, v katere takoj ob prvi visoki vodi zaidejo vse naplavine.

Pri odzemanju sedimentov s pomočjo premičnih naprav je potrebno upoštevati še morfološke posebnosti vodotoka. Zaradi zanemarjanja le – teh namreč lahko pride do škodljivih posledic, na primer prestavitve matice struge vodotoka. Prav tako so morfološke lastnosti pomembne tudi glede dostopnosti lokacije odzema sedimentov in nadaljnega odlaganja.

Pred odvzemom sedimentov je potrebno določiti mesto odlaganja. Ker so sedimenti lahko kontaminirani je potrebno predčasno pregledati vzorce prisotnih snovi. Odlaganje sedimentov je zato velikokrat zelo problematično, saj se iz njih odceja voda, ki lahko vsebuje strupene snovi. To pa je predvsem prisotno v vodotokih ob katerih je bila oziroma je še težka industrija, katere odplake lahko zaidejo v vodotok.

Ko imamo določene možne lokacije odlagališča so potrebne številne raziskave za ugotavljanje primernosti. Odvzemajo se vzorci tal, določa se globina podtalne vode, opazuje se okolica lokacije. Na mestu odvzema pa moramo biti pozorni tudi na živalstvo, ki zaradi posega v vodotok ne sme biti preveč ogroženo.

4 TEHNIŠKI UKREPI ZA UREJANJE BAZENA HE MAVČIČE

4.1 Izvedba injekcijske zavese

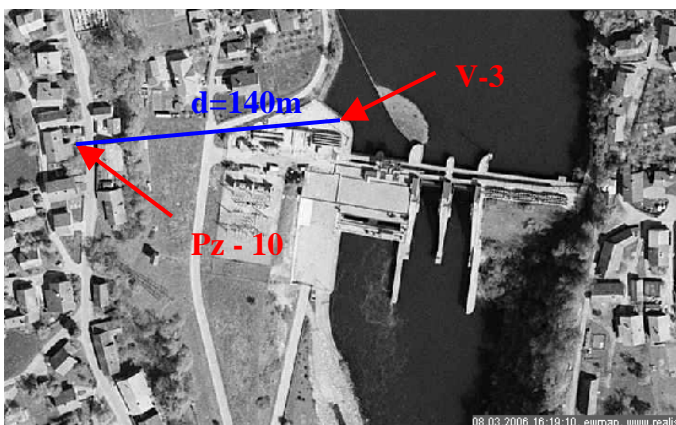
Pri zaježitvenih objektih HE Mavčiče je bilo potrebno vodoprepustnost hribin zmanjšati na dopustne stopnje, tako zaradi redukcije izgub vode, kot tudi zaradi stabilnosti objektov. Konglomeratno prodna cona je izredno vodoprepustna, zato je bila gradnja injekcijskega polja, kot metoda konsolidacije hribin, nujno potrebna za zavarovanje hidrotehničnih naprav HE Mavčiče. Kriterij dostopne vodoprepustnosti tesnilne zavese v prodno konglomeratni coni je zmanjšanje vodoprepustnosti do maksimalno $k=1 \cdot 10^{-5}$ cm/s. Vrednost koeficienta prepustnosti v konglomeratu je izredno velika in znaša od $3,9 \cdot 10^{-5}$ do $2,2 \cdot 10^{-4}$ cm/s. Vodoprepustnost terciarnih peščenjakov je dosti manjša in je maksimalno $6,5 \cdot 10^{-5}$ cm/s. (Geološki zavod Ljubljana, Projekt izvedbe poskusnega injekcijskega polja HE Mavčiče na Savi, 1980)

Za namen upravičenosti izvedbe injekcijske zavese je bilo izdelano poskusno injekcijsko polje. Ugotovljena je bila injektibilnost terena, optimalni razmak injekcijskih vrtin, postopek injeciranja, sestava injekcijske mase ter možni pritiski injektiranja. Na podlagi vseh omenjenih parametrov je bil določen tip zavese za izvajanje glavnih injekcijskih del. Poskusno polje je bilo izvedeno na desnem bregu Save v sklopu predpregrade in na mestu, kjer se terciarna podlaga nahaja na globini 36,4 m. V prilogi C je prikazan geološki profil vrtine V4, ki se nahaja na poskusnem injekcijskem polju, ki je ob desnem bregu Save.

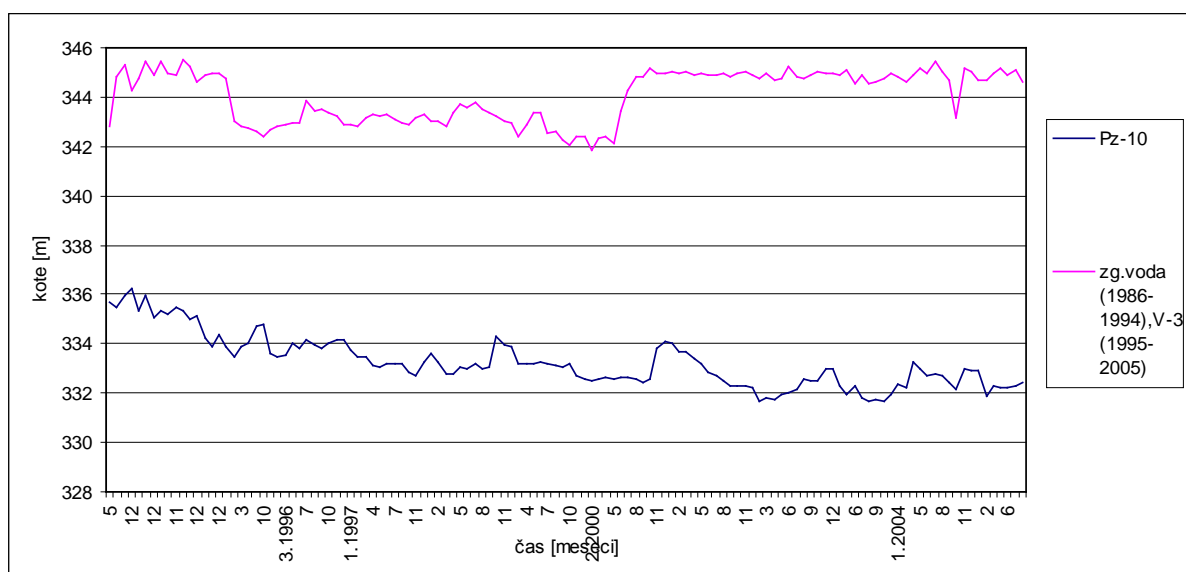
Že v dokumentaciji projekta izvedbe poskusnega injekcijskega polja je veljal projekt za problematičnega zaradi sestave prodno – konglomeratne cone. Posebno površinski sloj, do -15 m, je bil ocenjen kot problematičen glede učinkovitosti konsolidacijskih del z injektiranjem.

4.2 Prepustnost injekcijske zavese pregrade Mavčiče

Za ugotavljanje prepustnosti injekcijske zavese na pregradi Mavčiče sem med seboj primerjala meritve pritiska vode na bokih v dveh piezometrih, enem na pregradi na desnem boku in enem na desnem bregu, oddaljenem od prvega približno 140 m. Prvi nosi oznako V-3, drugi pa Pz-10. Ker so začetni podatki za V-3 primanjkovali za primerjavo s Pz-10 sem jih nadomestila s podatki o zgornji vodi na pregradi. Piezometer Pz-10 leži na nadmorski višini 359,813 m, V-3 pa na 348,00 m.



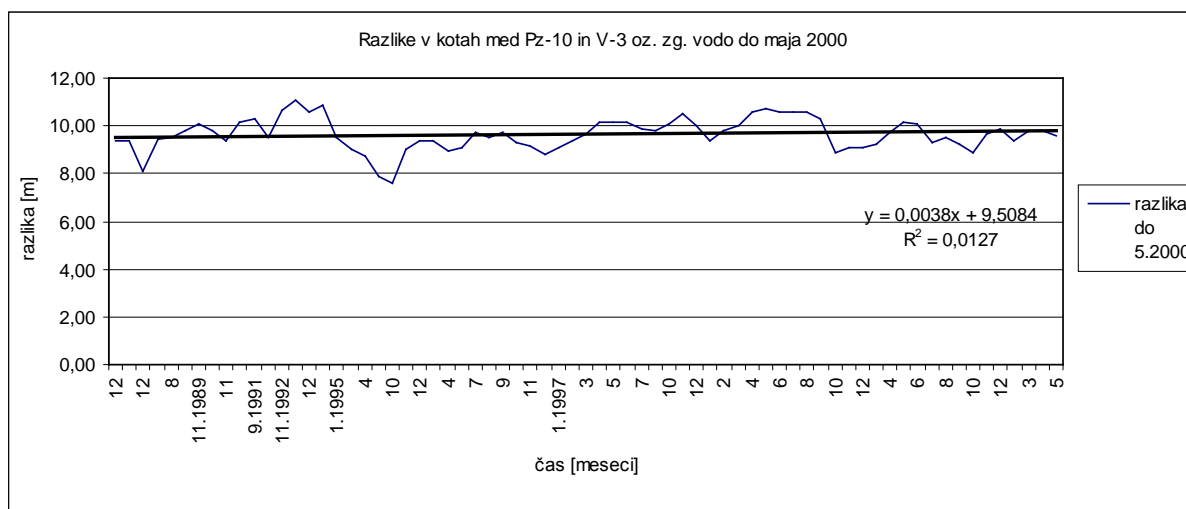
Slika 12: Prikaz lokacije postaj V-3 in Pz-10. (Podlaga: Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, DOF5, 1:15 000; 2000, <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)



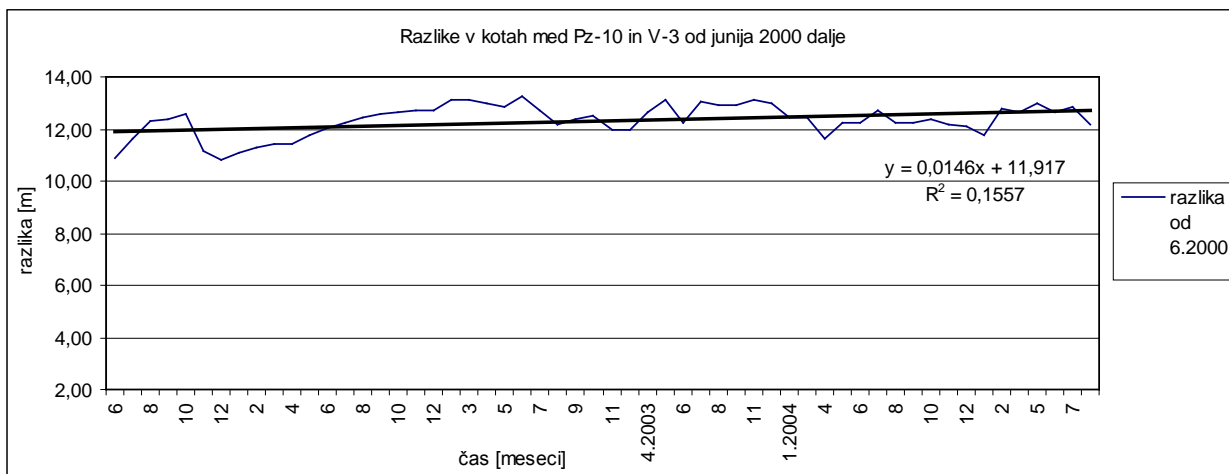
Graf 18 na predhodni strani: Primerjava vodostaja v Pz-10 in v V-3 z začetnimi podatki o zgornji vodi na pregradi.

Na grafu 18 je opazno naraščanje razlik v vodostajih, spodnja krivulja pada, zgornja pa raste. To pomeni, da se gladine na bokih pregrade nižajo. Zgornja krivulja ima v letu 2000 izrazit skok, za katerega predvidevam da je posledica sanacijskega ukrepa na injekcijski zavesi. Pred skokom je bila gladina vode precej nižja, kar pomeni večjo prepustnost, po skoku pa se je gladina zvišala.

Za potrditev trditvi o večanju razlik med vodostajema sem izrisala še graf razlik in sicer za dve obdobji, pred skokom in po skoku gladin vode.

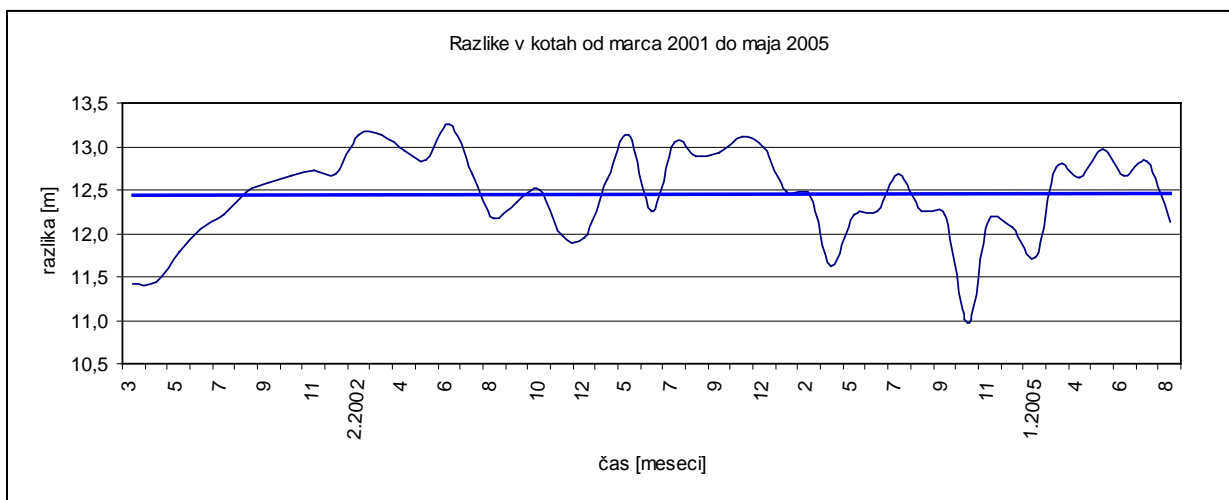


Graf 19: Prikaz razlik v vodostajih na postaji V-3 in Pz-10 v obdobje od marca 1986 do maja 2000 s trend linijo.



Graf 20: Prikaz razlik v vodostajih na postaji V-3 in Pz-10 v obdobje od junija 2000 do oktobra 2005 s trend linijo.

Med seboj sem primerjala trend liniji, ki v obeh primerih naraščata, v obdobju od začetka meritev do junija 2000 ima linija manjši naklon, kar pomeni da razlika počasneje narašča. Kasnejše hitrejše naraščanje razlik je posledica spremembe, ki je nastala s sanacijo injekcijske zavese pregrade.



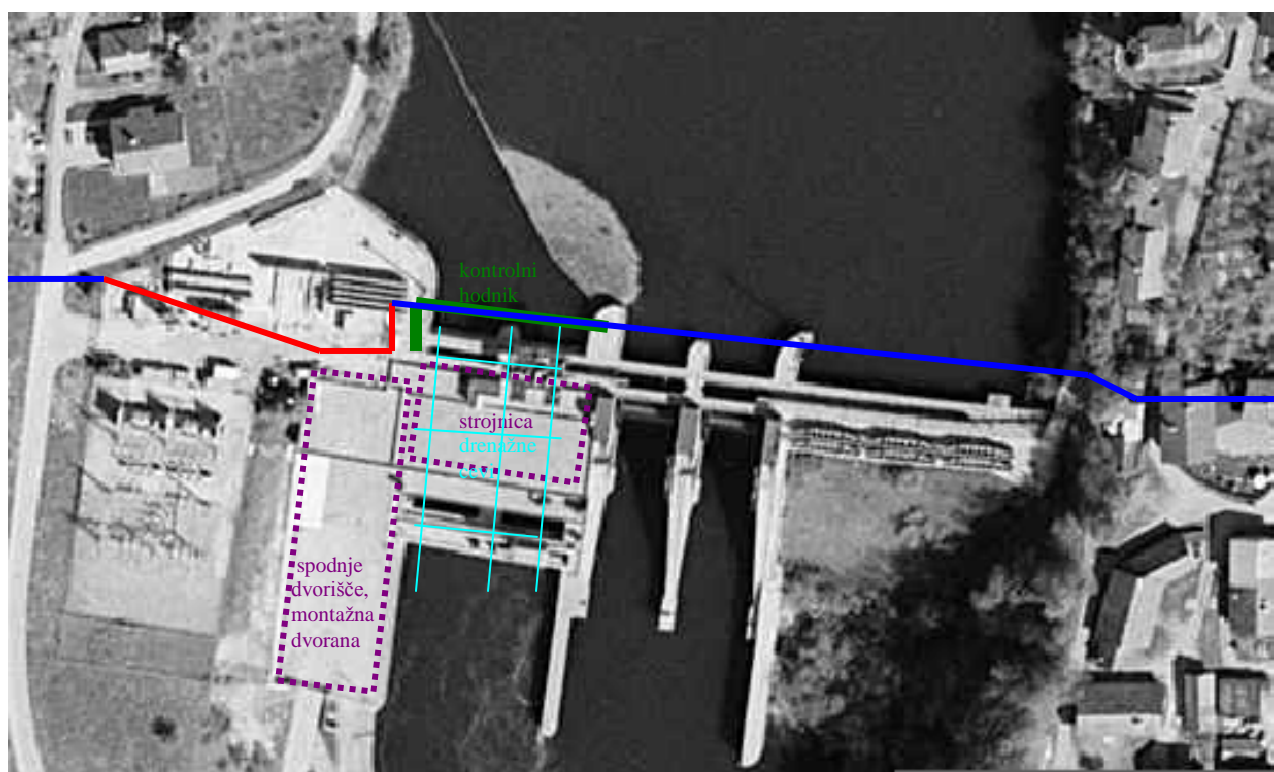
Graf 21: Razlike v kotah v obdobju od marca 2001 do maja 2005 so skoraj stacionarne.

Na zgornjem grafu je vidno stacionarno stanje, če uporabim za grafični prikaz samo meritve zadnjih štirih let. Vendar pa je to težko z gotovostjo trditi, saj bi bile potrebne meritve za

daljše obdobje, ki bi kazale na stacionarno stanje in ne le za obdobje štirih let in ne le za eno vodomerno postajo.

4.3 Sanacijski ukrep na injekcijski zavesi

Zaradi velike prepustnosti injekcijske zavese pod pregrado Mavčiče ob desnem bregu in odnašanja materiala pod montažno dvorano ter posledičnega posedanja tal, je bila leta 2000 izvedena sanacija injekcijske zavese, ki je bila končana v juliju 2000. To je vidno kot skok na grafu vodostaja V-3 v poglavju 5.2. Sanacija je bila izvedena na problematičnem območju z dodatnim injeciranjem v že obstoječo zaveso. Potekala je delno ob kontrolnem hodniku ter ob montažni dvorani.

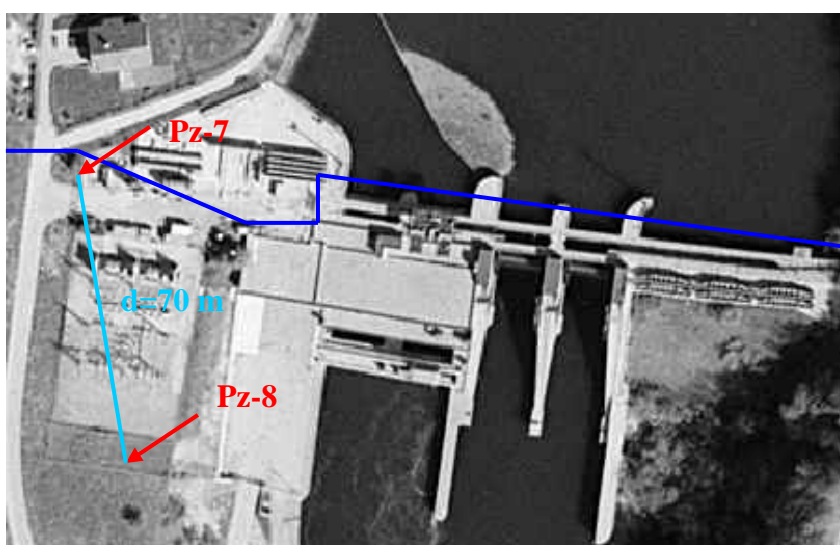


Slika 13: Prikaz situacije injekcijske zavese. (Podlaga: Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, DOF5, 1:25 000; 2000, <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)

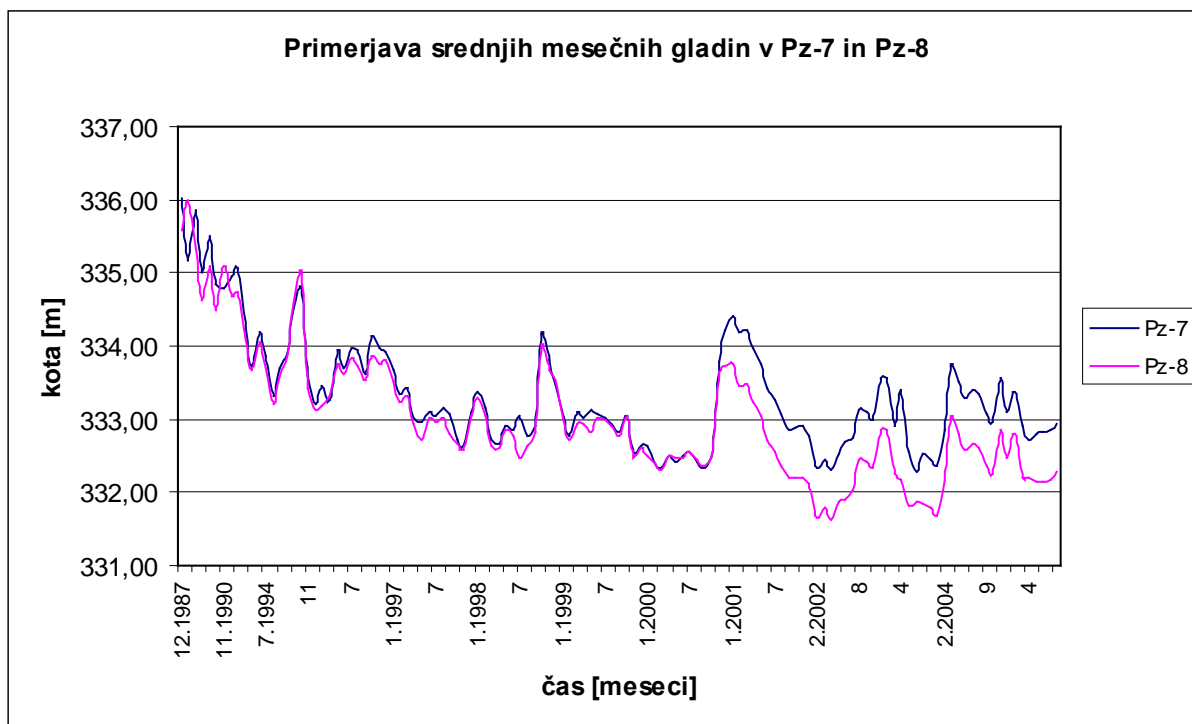
Na sliki 13 rdeča črta pomeni del, na katerem je bila izvedena sanacija, modra pa je ostali del injekcijske zavese. Z zeleno barvo je označen kontrolni hodnik, ki teče ob zavesi in, ki je

pomenil tudi mejo za območje sanacije, saj čezenj sanacija ni potekala. Vhod v kontrolni hodnik je skozi montažni jašek. Z vijolično črtkano črto je označeno spodnje dvorišče pod katerim sta montažna dvorana in strojnica. Pod strojnico ležijo drenažne cevi, ki so narisane s turkizno barvo. Drenažne cevi so dvojne, premera 150 mm.

Zaradi boljšega prikaza učinkovitosti sanacije sem izdelala še primerjavo med merilnima mestoma Pz-7 in Pz-8, ki ležita na pregradi ter ob injekcijski zavesi. Pz-7 leži bližje, takoj za injekcijsko zaveso na nadmorski višini 349,548 m, Pz-8 pa dlje za zaveso na 348,976 m. Merilni mesti sta med seboj oddaljeni približno 70m.

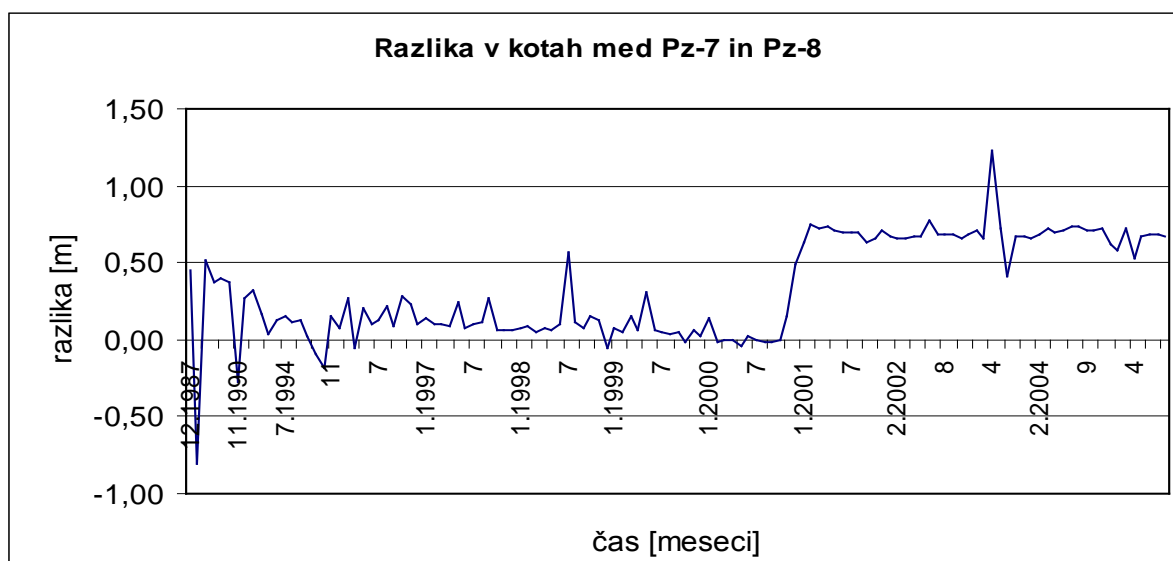


Slika 14: Lokacija Pz-7 in Pz-8 ter injekcijske zaveso pred njima. (Podlaga: Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, DOF5, 1:25 000; 2000, <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)



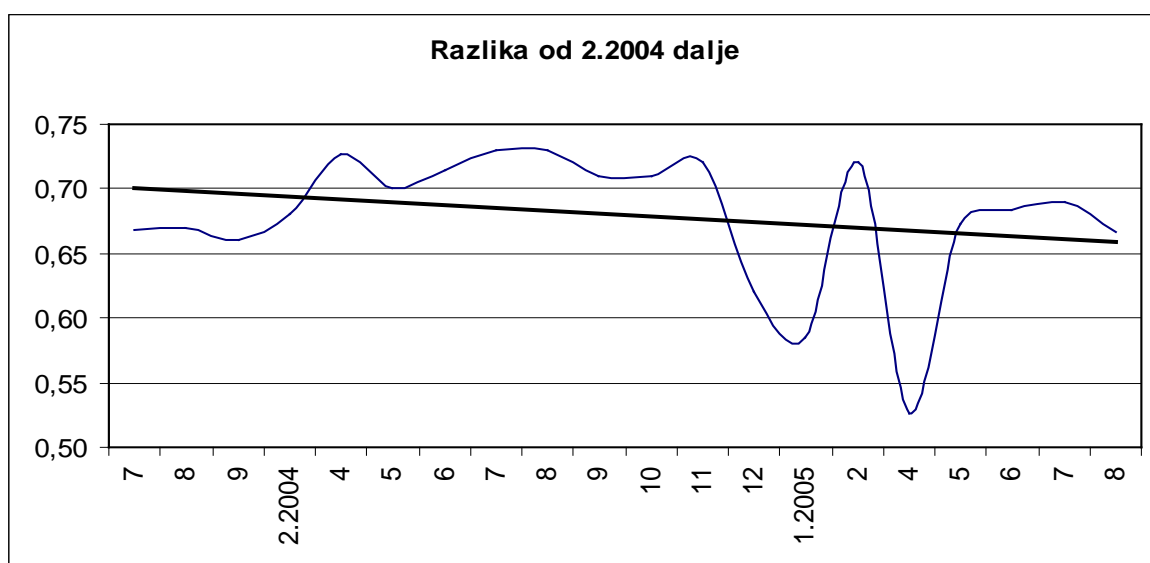
Graf 22: Prikaz nihanja gladin v Pz-7 in Pz-8. Velika nihanja krivulje na grafu so posledica nenadnih vdorov podtalnice pod pregrado.

Po sanaciji je bilo opaženo izboljšanje stanja, ki je še bolj vidno na grafu spodaj, kot skok gladin. To je bilo opazno tudi pri prejšnji primerjavi med V-3 in Pz-10. Pri Pz-8 izgleda večji učinek kot pri Pz-7, verjetno zato ker je Pz-8 tudi bolj oddaljen od pregrade.



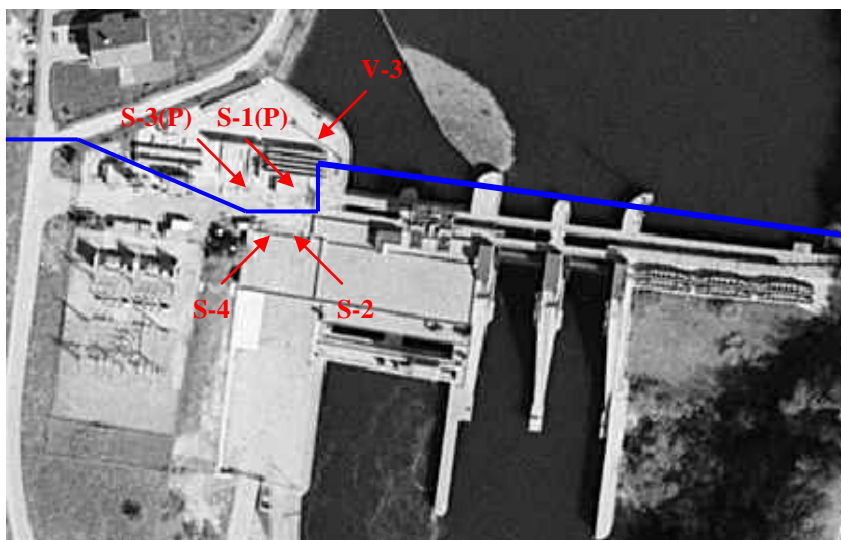
Graf 23 na predhodni strani: Prikaz razlik v kotah podtalnice v Pz-7 in Pz-8. Velika nihanja v razlikah so posledica nenadnih sprememb zaradi prepustnosti zaveso.

Tudi pri grafu razlik v kotah je opazno izboljšanje stanja v letu 2000. Kljub sanaciji pa se še vedno pojavljajo nihanja zaradi vdiranja podtalnice skozi zaveso. Pri podrobnejšem ogledu grafa pa je proti koncu zopet opazno slabšanje razmer. Na podrobnejšem prikazu spodaj se vidi ponovno upadanje razlik gladin v zadnjih letih. Trend upadanja je očiten.



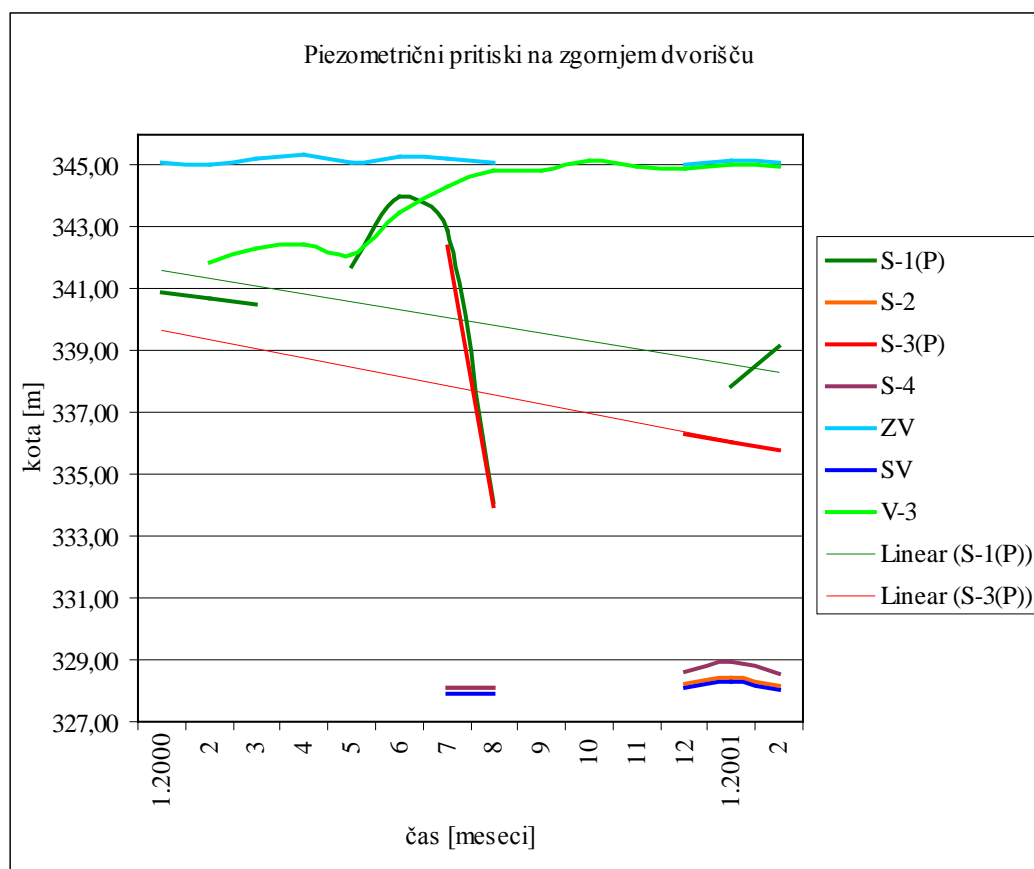
Graf 24: Prikaz razlik v kotah Pz-7 in Pz-8 od 7.2003, ko se je stanje začelo ponovno občutno slabšati.

Primerjala sem še avtomatske meritve v S vrtnah, ki ležijo ob injekcijski zavezi, pred in za zaveso. Uporabila sem podatke za štiri S vrtnice in za V-3 ter koto zgornje in spodnje vode. Vrtini S-1 in S-3 sta bili na novo izvrtani po sanaciji, ker sta bili med sanacijo uničeni, zato nosita oznako (P). Na razpolago sem imela podatke za leto 2000 do februarja 2001. Sanacijska dela pa so bila končana julija 2000.



Slika 15: Lokacije S vrtin, vrtine V-3 in injekcijske zavese. (Podlaga: Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, DOF5, 1:25 000; 2000,

<http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)

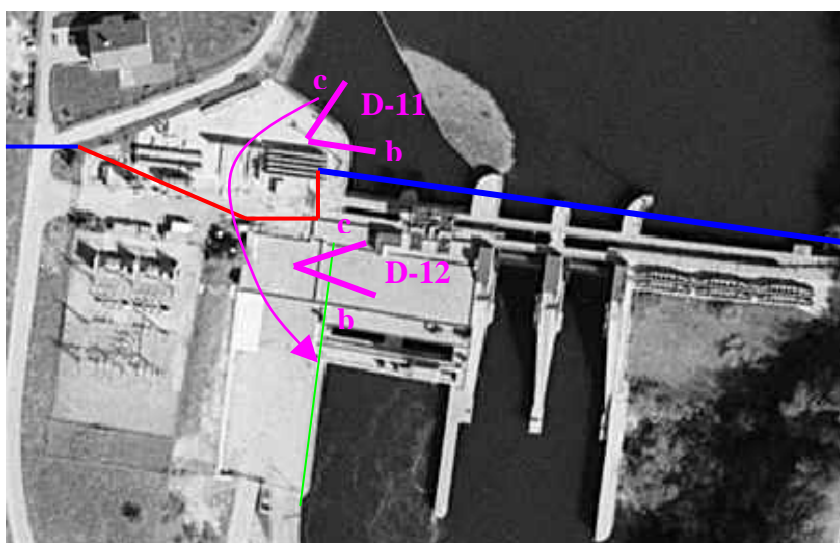


Graf 25 na predhodni strani: Primerjava kot gladine podtalnice v S vrtinah in v V-3 piezometru v obdobju pred in po sanaciji.

Iz grafa piezometričnih pritiskov na zgornjem dvorišču se da prebrati, da sanacija ni bila najbolj uspešna, saj je v kar dveh vrtinah gladina podtalnice opazno padla takoj po sanaciji. To sta S-3(P) in S-1(P), ki imata dodani trend liniji. Edini izrazito pozitiven učinek je opazen v vrtini V-3, kar sem že opisala v poglavju 5.2. Pri ostalih vrtinah ni tako opaznih razlik.

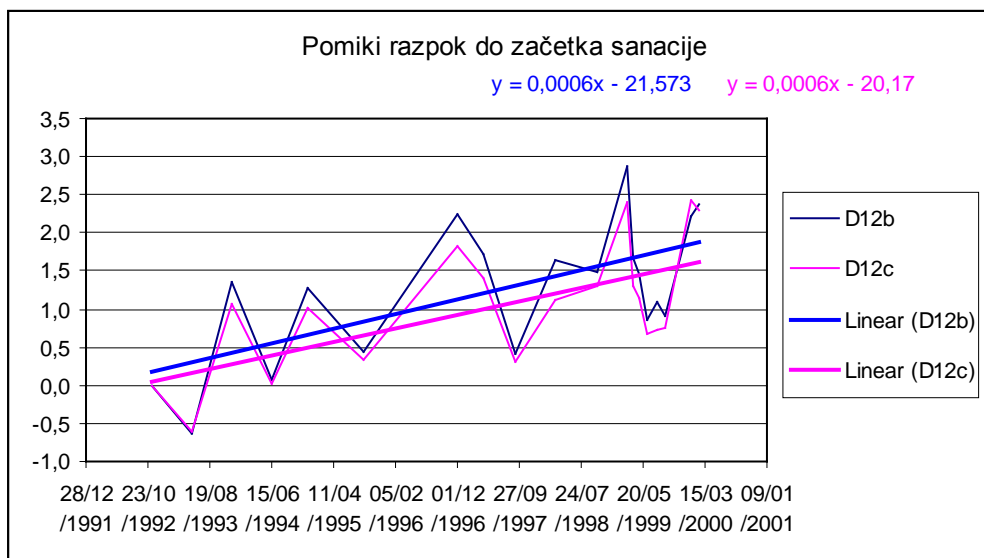
4.4 Posledice slabega tesnenja injekcijske zavese

Injekcijska zavesa ob desnem bregu (slika 16) prepušča znatne količine podtalne vode ter s seboj odnaša material, zaradi česar prihaja do posedkov območja pod montažno dvorano, ki povzročajo razpoke v vzdolžnem zidu (svetlo zelena na sliki 16). Prikazala bom pomike razpok na merilnih mestih D-11 in D-12 od leta 1991 do 2005.

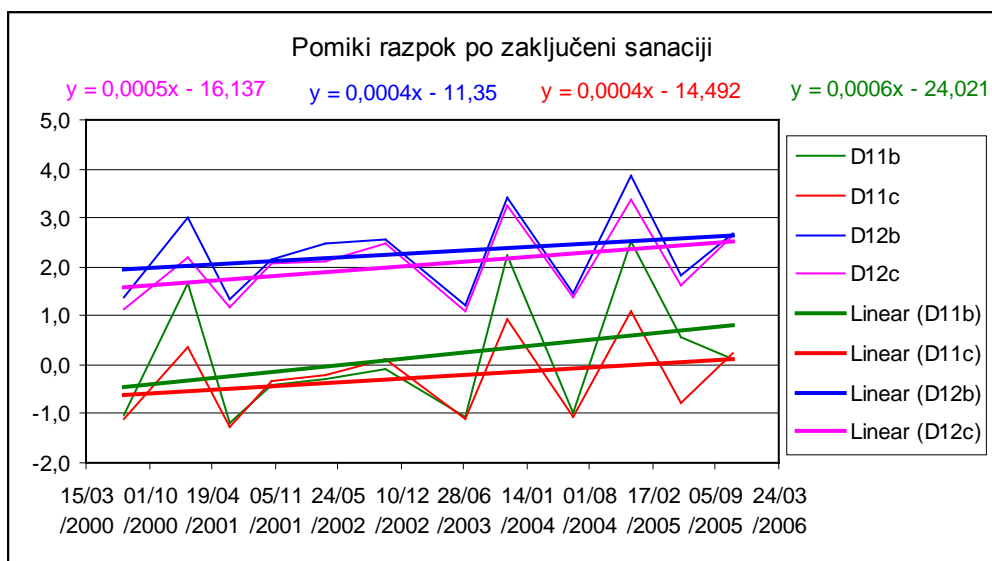


Slika 16: Prikaz lokacije merilnih mest diletacije D-11 in D-12. Vijolična puščica označuje tok podtalnice pod pregrado in območje posedkov. (Podlaga: Agencija RS za okolje, Interaktivni naravovarstveni atlas, DOF5, 1:25 000; 2000, <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas/ewmap.asp>)

Podrobneje bom primerjala še pomike razpok v obdobju pred sanacijo in po zaključeni sanaciji.



Graf 26: Pomiki razpok v obdobju pred sanacijo injekcijske zaves. Pred sanacijo je bila diletacija merjena samo na merilnem mestu D12.



Graf 27: Pomiki razpok v obdobju po sanaciji injekcijske zaves.

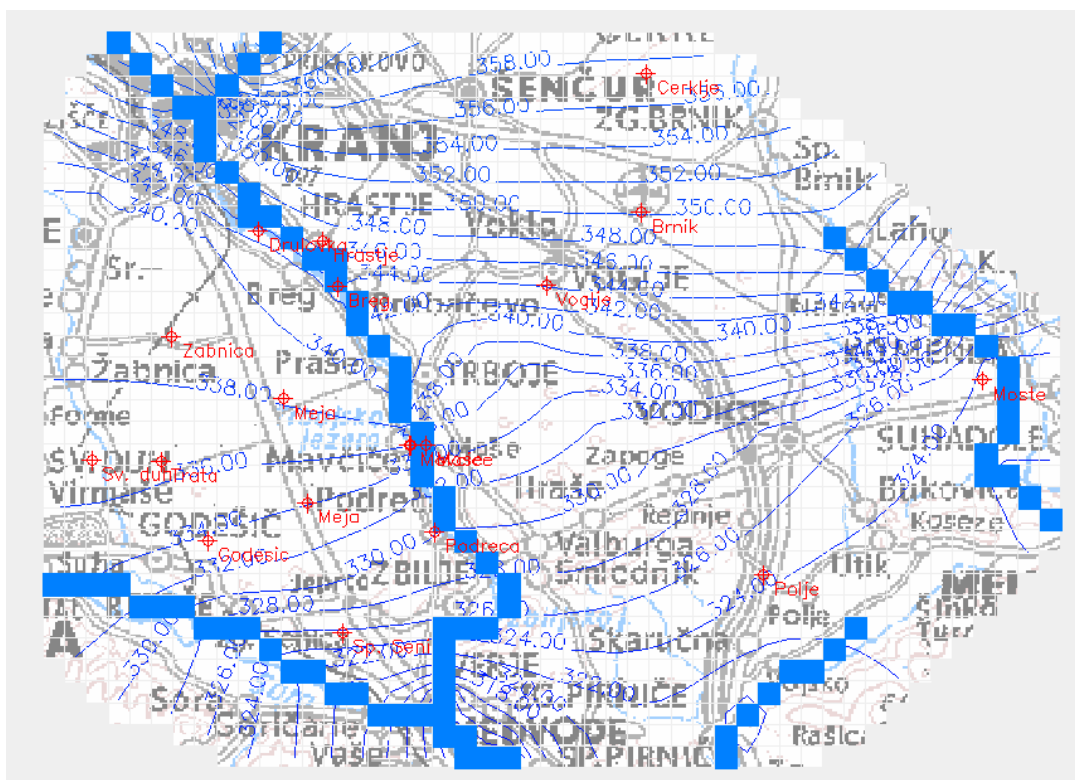
Na obeh grafih lahko ugotovim trend naraščanja razpok, tako v obdobju pred sanacijo, kot tudi po sanaciji.

4.5 Ugotovitve

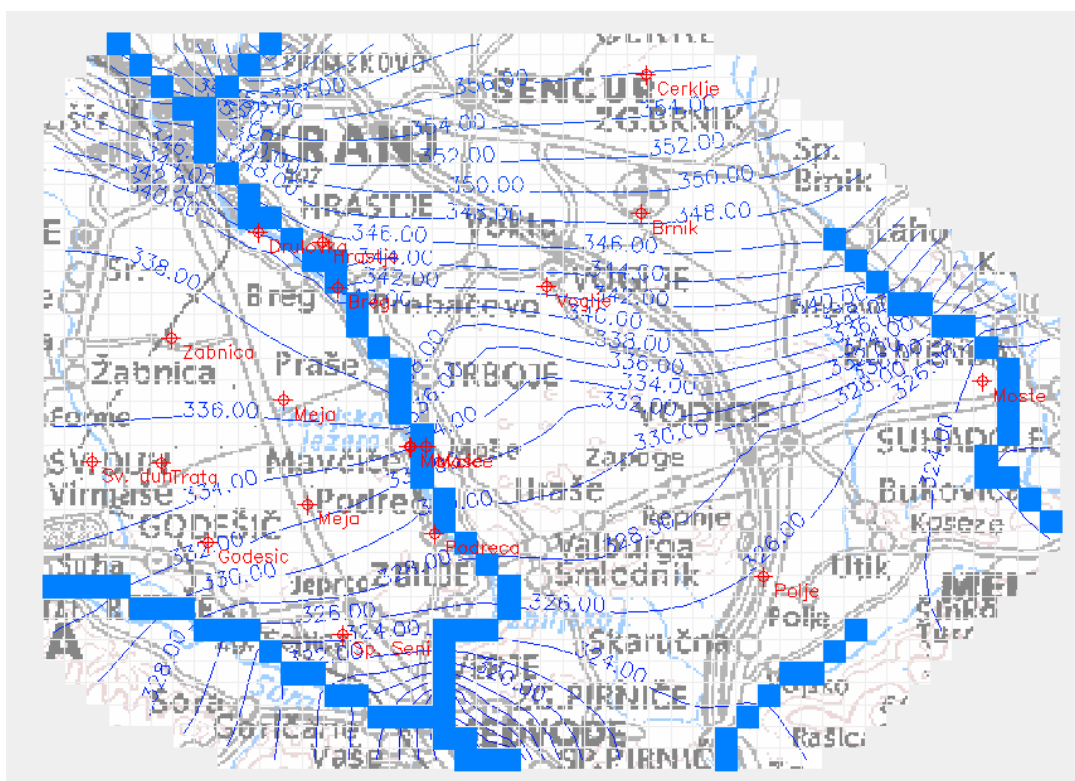
Iz primerjave kot gladin v piezometru Pz-10 in V-3 sem najprej ugotovila naraščanje razlik v gladinah podtalne vode. Glede na izrazit skok gladine v V-3 sem sklepala na uspešno izvedeno sanacijo, kar pa se je kasneje izkazalo za napačno. Ko sem namreč primerjala še gladini v piezometrih, ki ležita bližje ob injekcijski zavesi in sicer Pz-7 in Pz-8, se je izkazalo, da je na začetku pozitiven vpliv na obeh merilnih mestih v zadnjih dveh letih postal zopet negativen. Primerjala sem še avtomatske meritve v S vrtinah, ki ležijo ob zavesi, dve pred (S-1(P) in S-3(P)) in dve za njo (S-4, S-2) ter v V-3 (slika 15) in ugotovila, da je edino v V-3 vpliv sanacije izrazito pozitiven, drugje ga ali ni ali pa je celo negativen (graf 25). Izrazito negativen vpliv je bil v kar dveh od petih piezometrov, ki sem jih primerjala v obdobju sanacije v letu 2000 do februarja 2001 in sicer v S-1(P) in S-3(P).

S primerjavo grafov sem ugotovila, da je trend naraščanja razpok pri D12 manjši, kot pred sanacijo. Drugo merilno mesto pred sanacijo ni obstajalo, zato ga ne morem primerjati, lahko pa ugotovim, da ima D11b največji trend naraščanja, celo večji kot pred sanacijo D12. Najmanjši trend naraščanja ima D12b. V obdobju sanacije je trend naraščanja nekoliko bolj linearen, vendar v letu 2003 zopet začne naraščati.

Ugotovitve bom prenesla še na model podtalnice in primerjala stanje podtalnice v letih 2000 in 2001, torej v obdobju sanacije.



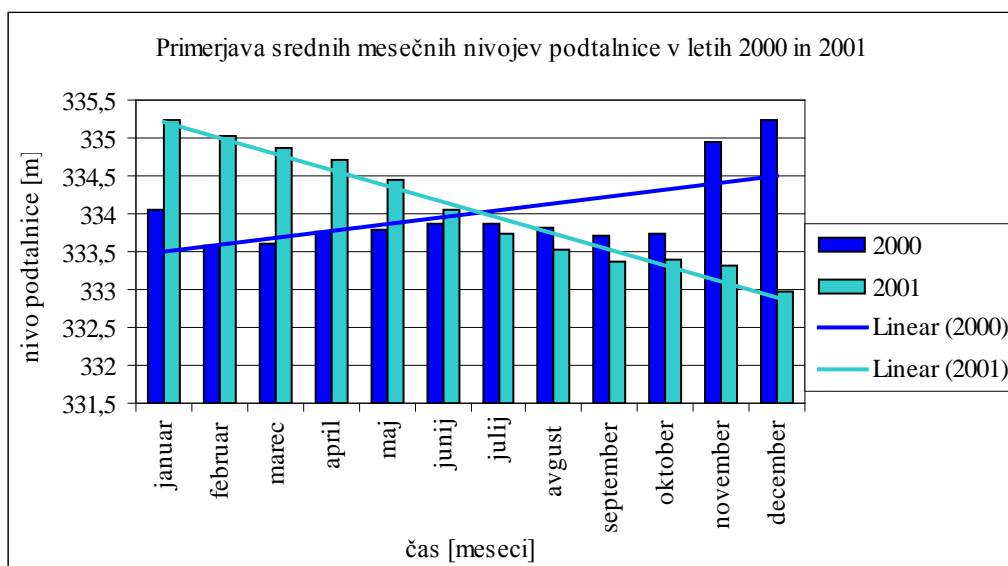
Slika 17: Hidroizohipse leta 2000.



Slika 18: Hidroizohipse leta 2001.

Če primerjam hidrizohipse lahko ugotovim, da so leta 2001 gladine podtalnice višje kot leta 2000. To je lahko delno posledica sanacije izvedene v letu 2001, lahko pa tudi klimatskih razmer v tem letu. Vendar, če pogledam še podatke o dotokih v obeh letih na obeh pregradi, vidim, da je povprečni letni dotok v letu 2000 $66 \text{ m}^3/\text{s}$ v letu 2001 pa $56 \text{ m}^3/\text{s}$. To pomeni, da so višje gladine posledica sanacije na injekcijski zavesi.

Primerjala bom še srednje mesečne vrednosti gladin podtalnice iz hidrološkega letopisa za leti 2000 in 2001 na merilnem mestu na pregradi Mavčiče s koto 352,93 m nadmorske višine.



Graf 28: Primerjava gladin podtalnice v letih 2000 in 2001.

Pri primerjavi srednjih mesečnih gladin podtalnice za leti 2000 in 2001 ugotovim, da se je gladina podtalnice dvignila že meseca novembra leta 2000. To je verjetno posledica sanacije in pa izredno velikega dotoka na pregrado Mavčiče, ki je presegel $300 \text{ m}^3/\text{s}$. Tudi v začetku leta 2001 je bil dotok na pregrado večji od povprečja $49,5 \text{ m}^3/\text{s}$, kar se odraža v višjih gladinah podtalnice. Splošno pa je bil srednji letni nivo podtalnice v letu 2000 nižji kot v letu 2001 za $0,06 \text{ m}$, srednji letni dotok pa višji za $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Konec meseca marca so se že začela nova sanacijska dela in sicer preskus blokade drenaže. Z zaprtjem drenažnih cevi se bo poskusilo, ali bi se lahko na ta način izpiranje materiala in posledično posedanja omililo.

5 ZAKLJUČEK

Z izgradnjo pregrade Mavčiče so se dvignile gladine podtalnice po celem Kranjsko – Sorškem polju, na severu do tovarne Planika, zahodu do obronkov hribovja, na jugu do iztokov podtalnice v Soro in Savo ter na vzhodu do vodotoka Pšata. Dvig gladin podtalnice se odraža tudi v povečanju pretoka podtalnice proti jugu Kranjsko – Sorškega polja, kjer vodotoki podtalnico drenirajo. Pregrada je namreč povzročila povečan vnos savske vode v podtalnico za pregrado in prestavitev drenažnega območja dolvodno od pregrade, vse do smledniškega mostu, kjer se pojavijo neprepustne plasti.

Podtalnica Kranjsko – Sorškega polja teče od severa proti jugu, večinoma se pretaka iz Kranjskega polja pod reko Savo na Sorško polje. Reki Sava in Kokra v zgornjem toku do pregrade Mavčiče napajata podtalnico. Podtalnica do pregrade Mavčiče teče pod strugo Save, ki jo napaja (13 do 24 m³/s, odvisno od prepustnosti dna), nizvodno od pregrade proti smledniškemu mostu se manj kot polovica te vode izceja v strugo (4 do 11 m³/s, odvisno od prepustnosti dna za pregrado), preostanek pa teče proti izvirov ob Sori (8 do 10 m³/s odvisno od prepustnosti dna za pregrado Mavčiče). Večje izcejanje podtalnice je prisotno še pod pregrado Medvode (10 do 11 m³/s).

Reka Sava ima tipičen snežno dežni režim z izrazitimi viški spomladi in jeseni ter nižki poleti in pozimi. Značilnosti režima so opazne tudi na dotokih na obe pregradi za katere sem analizirala podatke 16-letnih dotokov. Pri primerjavi količin dotokov v letu 2001 sem ugotovila manjši dotok na pregradi Mavčiče (56 m³/s), kot na pregradi Medvode (65 m³/s), ki leži dolvodno od pregrade Mavčiče. Največje razlike v dotokih so v mesecih, ko nastopajo viški (april, maj, november) ter manjše v mesecih, ko nastopajo nižki (februar, julij, avgust). Povprečna letna razlika je 9,3 m³/s, maksimalna mesečna razlika leta 2001 je 13,2 m³/s januarja in minimalna letna razlika je 6,1 m³/s decembra.

Količina vode, ki predstavlja večji dotok na pregradi Medvode, kot na pregradi Mavčiče in se izceja pod pregrado Mavčiče, je odvisna od viškov in nižkov pretoka in stopnje zablatenja oziroma koeficienta prepustnosti dna akumulacijskega bazena Mavčiče. Za leto 2001, ko je

razlika dotokov $8,2 \text{ m}^3/\text{s}$, sem s pomočjo modela dobila koeficient prepustnosti $8,3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$, medtem ko je v začetku obratovanja HE Mavčiče imel vrednost $1,3 \cdot 10^{-4}$. Glede na logaritmično funkcijo procesa, lahko ugotovim, da bo razlika $4 \text{ m}^3/\text{s}$, pri koeficientu prepustnosti $3,3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$, prisotna šele čez več kot 15 let. Zablatenje pa se odraža tudi v gladinah podtalnice v piezometrih po vsem Kranjsko-Sorškem polju, v katerih se gladine nižajo. Ampak tudi, če bi bilo možno popolno zablatenje, bi gladine ostale delno dvignjene zaradi prestavitve drenažnega območja.

Količina vode, ki doteka v akumulacijo Medvode, je odvisna tudi od prepustnosti injekcijske zavesa pregrade Mavčiče, ki je bila slabo izvedena in nezadostno tesni, kar povzroča poleg izgub vode tudi posedke objekta strojnice. Sanacija z injeciranjem izvedena leta 2000 je bila le delno uspešna, saj se je stanje le delno izboljšalo, v zadnjih dveh letih pa je zopet opaziti poslabšanje in zmanjšanje gladin na merilnih mestih pred injekcijsko zaveso v primerjavi s piezometri za injekcijsko zaveso. Glede na rezultate primerjav gladin podtalnice v piezometrih ob pregradi, bo v prihodnost potrebno injekcijsko zaveso ponovno sanirati.

V akumulaciji Medvode je prisotno skoraj popolno zablatenje zaradi dolgoletnega nanosa materialov in tudi manj prepustne podlage, kot v akumulaciji Mavčiče. V letih pred izgradnjo pregrade Mavčiče je bilo odloženo za kar 100.000 m^3 sedimentov letno, po izgradnji HE Mavčiče pa se je odlaganje nadaljevalo v manjši meri. Zaradi izgube koristnega volumna je bila leta 1995 izvedena sanacija Zbiljskega jezera, zaradi česar so meritve pokazale 0,7% večji volumna bazena Medvode v 12-ih letih, medtem ko je volumen bazena Mavčiče v 12-ih letih za 4,3% manjši.

VIRI

ARSO, 1990-2005. Hidrološki letopis Republike Slovenije. Seznam postaj za podzemne vode. Mesečni in srednji letni vodostaji s konicami. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor.

Bajželj B., 1994. Sezonske spremembe planktonskih združb v akumulaciji Mavčiče. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 101 f.

Breznik, M., Brilly, M., 1988. Vpliv zablattenja akumulacije Mavčiče na gladine in pretoke podtalnice Sorškega polja. Končno poročilo o meritvah v letu 1987. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Laboratorij za mehaniko tekočin: 39 f, 2 prilogi meritev.

Breznik, M., Brilly, M., 1991. Vpliv zablattenja akumulacije Mavčiče na gladine in pretoke podtalnice Sorškega polja. Končno poročilo o meritvah v letu 1990. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Laboratorij za mehaniko tekočin: 21 f.

Breznik, M., Pšeničnik, M., 1983. Vpliv akumulacije HE Mavčiče na okolje. Program opazovanja in raziskav. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Laboratorij za mehaniko tekočin: 12 f.

Breznik, M., Pšeničnik, M., 1985. HE Mavčiče. Potrebni sanacijski ukrepi zaradi povečanja izvirov in dviga gladin podtalnice. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Laboratorij za mehaniko tekočin: 5 f.

Breznik, M., Pšeničnik, M., 1985. Ocena vpliva HE Mavčiče na podtalnico ob Savi v Kranju. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Laboratorij za mehaniko tekočin: 16 f.

Breznik, M., Pšeničnik, M., 1985. Vpliv akumulacije HE Mavčiče na okolje. Program opazovanje in raziskav v času polnitve bazena in redni program za leto 1986. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Laboratorij za mehaniko tekočin:10 f.

Breznik, M., Pšeničnik, M., 1986. 6. poročilo o vplivu HE Mavčiče na okolje. Vpliv na gladine, izvire ter stabilnost. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Laboratorij za mehaniko tekočin:13 f.

Breznik, M., Pšeničnik, M., 1987. Podtalnica Kranjsko – Sorškega polja. Strokovne osnove za zavarovanje podtalnice Sorškega polja – Hidrologija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Laboratorij za mehaniko tekočin: 42 f.

Breznik, M., Pšeničnik, M., 1987. Vpliv zablatenja akumulacije Mavčiče na gladine in pretoke podtalnice Sorškega polja. Predhodno poročilo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Laboratorij za mehaniko tekočin:3 f.

Brilly, M., L.King, M., Pšeničnik, M., 1982. Matematični model podtalnice Sorškega polja. Raziskovalna naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Laboratorij za mehaniko tekočin: 29 f.

Brilly, M., Steinman, F., 1988. Vpliv akumulacije HE Mavčiče na okolje. Meritve izvirov podtalnice Sorškega in Kranjskega polja ter ponikanja Kokre. Meritve pretokov Save na odseku HE Mavčiče – Smledniški most (izcejanje podtalnice v Savo). Meritve v letu 1987. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Laboratorij za mehaniko tekočin:12 f, 1 grafična priloga.

Brilly, M., Steinman, F., 1990. Vpliv akumulacije HE Mavčiče na okolje. Meritve izvirov podtalnice Sorškega in Kranjskega polja ter meritve količine izcejanja podtalnice pod HE Mavčiče. Meritve v letu 1989. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Laboratorij za mehaniko tekočin:3 f.

Domplan Kranj, 1986. Ureditveni krajinski načrt. Posebna strokovna podlaga za KZ območja Sorškega polja z zajetjem HE Mavčiče. Kranj, Domplan Kranj: 20 f., 11 kart.

Elektrotehniška zveza Slovenije, Gospodarska zbornica Slovenije, Slovenski komite za visoke pregrade, 2004. Vodni zadrževalniki. Razvojna nuja ali nedopustni posegi v naravo. Zbornik referatov. Ljubljana, Elektrotehniška zveza Slovenije: 131 str.

Geosvet, geološko svetovanje in raziskave, 1996. Geološko – geomehansko poročilo o sestavi in nosilnosti tal. Akumulacija mulja – Zbiljsko jezero. Celje, Navor Celje d.o.o.: 4 f., 6 prilog.

IBE, Podjetje za projektiranje in inženiring p.o., 1994. HE Medvode. Sanacija Zbiljskega jezera. Predinvesticijska študija. Ljubljana, Savske elektrarne Ljubljana: 16 f., 3 grafične priloge.

IBE, Podjetje za projektiranje in inženiring, p.o., 1979. Vpliv HE Mavčiče na objekte v industrijskem področju Kranja ob Savi. Vpliv na objekte industrijskega kombinata. Idejna zasnova. Ljubljana, Savske elektrarne Ljubljana: 8 f., 3 karte.

Inštitut za hidravlične raziskave, 2000. Merjenje spremembe volumna bazena HE Medvode. Ljubljana, Savske elektrarne Ljubljana: 4 – 14 f.

Inštitut za hidravlične raziskave, 2000. Merjenje spremembe volumna bazena HE Mavčiče. Ljubljana, Savske elektrarne Ljubljana: 4 – 11 f.

Kryžanowski, A., 1995. Reservoirs in River Basin Development. Norveška, Oslo, Proceedings of ICOLD Symposium, ICOLD: 175 – 183 str.

Kryžanowski, A., 1996. Načrtovani ekološki projekti na reki Savi. Ljubljana, Savske elektrarne Ljubljana p.o., podjetje za proizvodnjo električne energije: 3 str.

Kryžanowski, A., 1996. Sanacija Zbiljskega jezera. Ljubljana, Savske elektrarne Ljubljana p.o., podjetje za proizvodnjo električne energije: 3 str, karta.

Linea, Projektiranje in inženiring d.o.o., 1996. Ureditev športno rekreacijskih površin ob Zbiljskem jezeru. Zasnovani projekt. Ljubljana, Savske elektrarne Ljubljana: 14 f., 7 grafičnih prilog.

Mosonyi, E., 1987. Water power development, volume one, Low – head power plants. Madžarska, Budimpešta, Akademia Kiado: 1074 str.

Pšeničnik, M., Steinman, F., 1987. Vpliv zablatenja akumulacije Mavčiče na gladine in pretoke podtalnice ter njene varnostne pasove – meritve pretoka Save na odseku HE Mavčiče – smledniški most. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Laboratorij za mehaniko tekočin: 7 f.

Tening, inženiring d.o.o, 1991. Sanacija Zbiljskega jezera (I. faza). Idejna zasnova. Ljubljana, Savske elektrarne Ljubljana, HE Medvode: 15 f., 7 grafičnih prilog.

Vodnogospodarski inštitut, Družba za gospodarjenje z vodami d.o.o., 2002. Spremljanje stanja okolja (ekološko monitoring) po sanaciji Zbiljskega jezera. Ljubljana, Savske elektrarne Ljubljana: 9 f.

Vpliv akumulacije HE Mavčiče na okolje, opazovanja v letu 1985, 1986. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Laboratorij za mehaniko tekočin: 7 poročil elaborata.

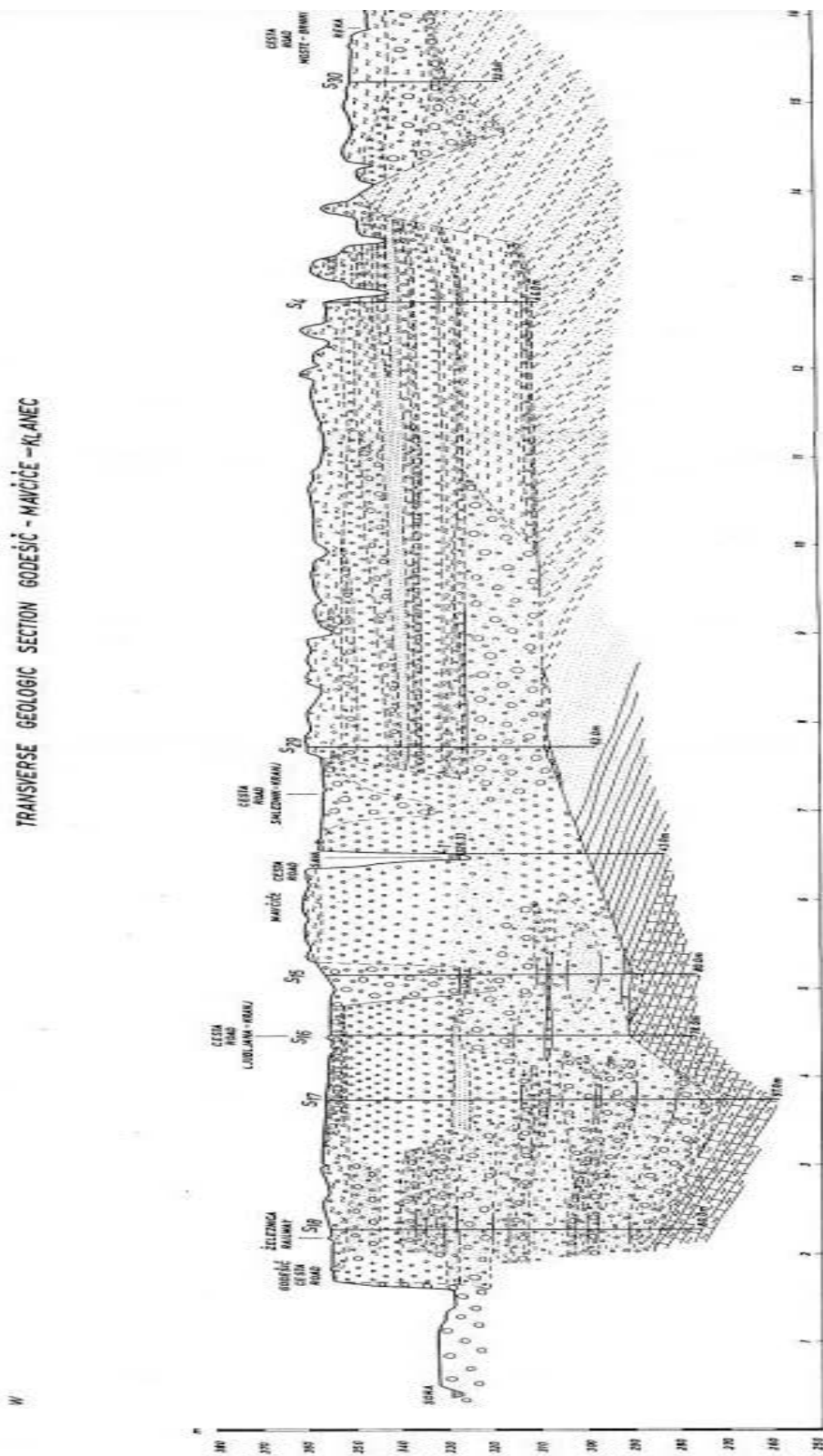
Zavod za zdravstveno varstvo Celje, 1995. Poročilo o kemičnih analizah vode iz Zbiljskega jezera v času od 4.10.1995 do 30.11.1995. Celje, Podjetje za urejanje voda Celje: 7 f.

Zavod za zdravstveno varstvo Celje, 1995. Poročilo o kemičnih analizah vode iz Zbiljskega jezera v času od 19.6.1995 do 27.9.1995. Celje, Podjetje za urejanje voda Celje: 7 f.

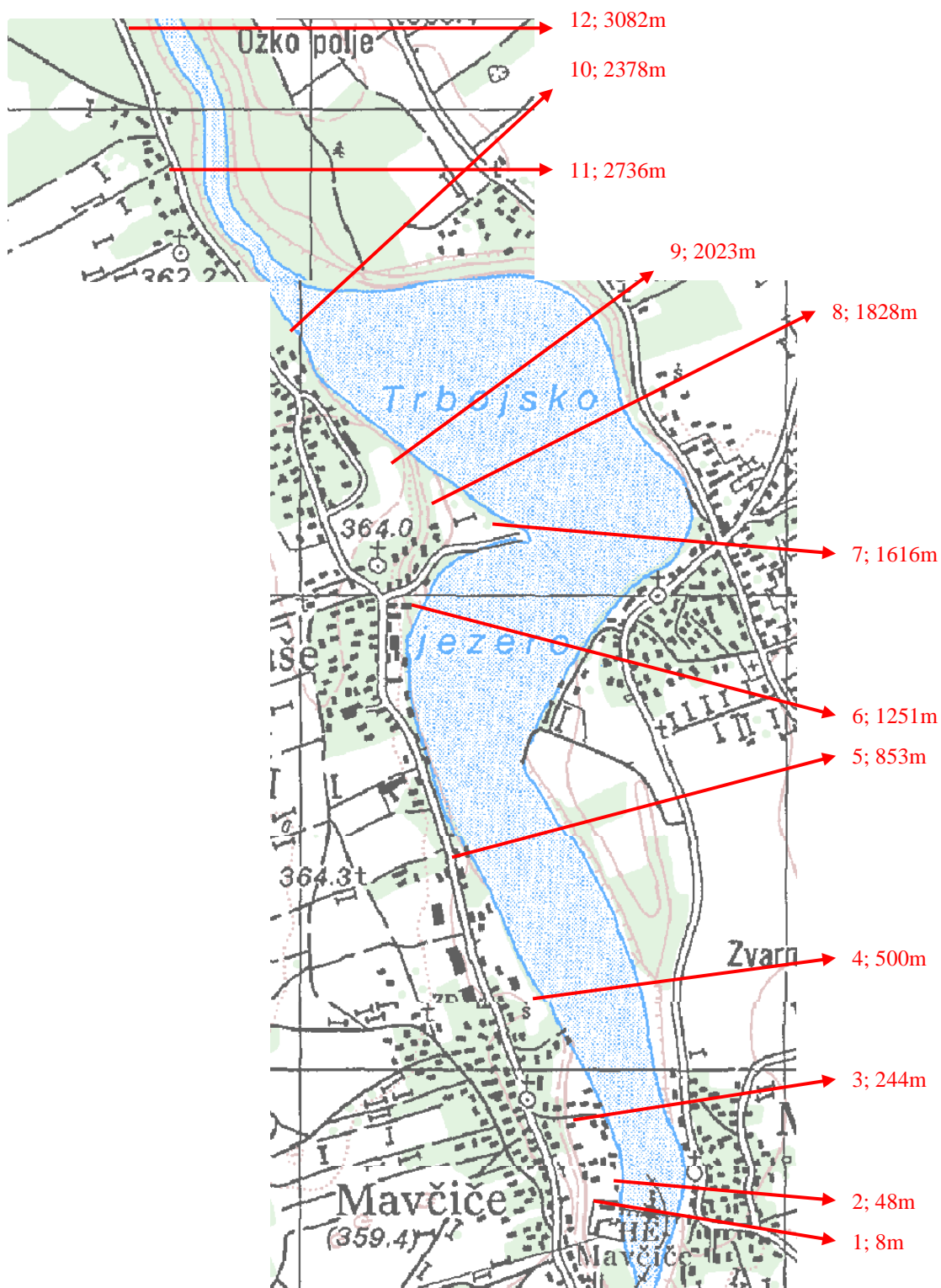
PRILOGE

PRILOGA A: Geološki presek Godešič-Mavčiče-Klanec

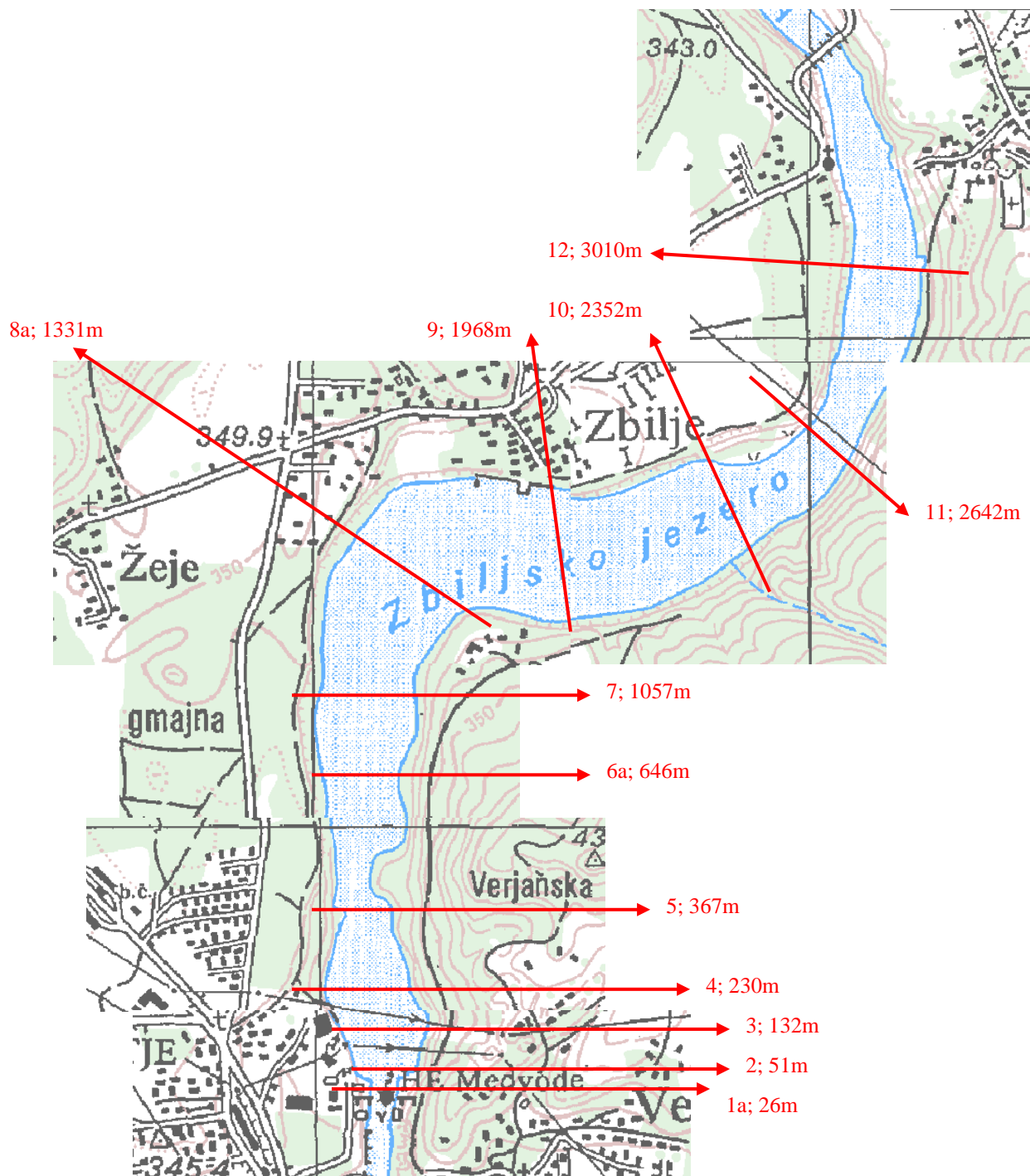
GEOLOŠKI PRESEK GODEŠIČ - MAVČIČE - KLANEC
TRANSVERSE GEOLOGIC SECTION GODEŠIČ - MAVČIČE - KLANEC



PRILOGA B1: Lokacija profilov na akumulaciji Mavčiče (TK25, 1:25000)



PRILOGA B2: Lokacija profilov na akumulaciji Mavčiče (TK25, 1:25000)



PRILOGA C: Geološki profil vrtine na HE Mavčiče

