

👤 Direktor: Davor Stipanić, mag. ing. aedif.

📍 Radmile Matejčić 10, 51000 Rijeka

✉ hidromodeling@gmail.com

☎ +385(0) 913 233 132

📠 +385(0) 51 265 999



Idejno rješenje

Analiza varijantnih rješenja za poboljšanja stanja vode u Vranskom jezeru i kanalu Prosika

INVESTITOR: Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb

LOKACIJA: Zadarska i Šibensko-Kninska županija

STRUKOVNA ODREDNICA: Građevinski projekt

INTERNA OZNAKA: 21.02.IR

OZNAKA MAPE: Mapa 1/1

VODITELJ: Davor Stipanić, mag. ing. aedif.

AUTORI:

HIDROMODELING d.o.o.

Davor Stipanić, mag. ing. aedif.

Luka Zaharija, mag. ing. aedif.

SVEUČILIŠTE U RIJECI, TEHNIČKI FAKULTET

prof. dr. sc. Siniša Družeta, dipl. ing. stroj.

DIREKTOR: Davor Stipanić, mag. ing. aedif.

Rijeka, Srpanj 2021.

A

Opći dio idejnog rješenja

A

Opći dio idejnog rješenja

Popis mapa i autora idejnog rješenja

Popis mapa i autora idejnog rješenja

U nastavku se navodi popis mapa predmetne dokumentacije s nazivom *Analiza varijantnih rješenja za poboljšanja stanja vode u Vranskom jezeru i kanalu Prosika* te se uz specifikaciju svake mape navodi i odgovorni voditelj idejnog rješenja. U svrhu razlikovanja mapa, uvodi se numeracija u kojoj se svakoj mapi pridjeljuju dva broja. Prvi broj označava redni broj mape, a drugi broj ukupni broj mapa. Osim navedenoga, za svaku mapu se u zagradama navodi specifikacija strukovne odrednice njenog sadržaja.

⇒ **mapa 1/1** (građevinski projekt)

Voditelj: **Davor Stipanić**, mag. ing. aedif.

Za predmetnu dokumentaciju u svojstvu voditelja i autora idejnog rješenja imenovan je **Davor Stipanić**, mag. ing. aedif. (davor.stipanic@hidromodeling.hr) koji je zaposlen u punom radnom vremenu u tvrtki Hidromodeling d.o.o. iz Rijeke (OIB: 60490813037) te je pri Hrvatskoj komori inženjera građevinarstva upisan u imenik ovlaštenih inženjera građevinarstva pod identifikacijskim brojem **G5780**.

Za predmetnu dokumentaciju u svojstvu autora studije imenovan je **Luka Zaharija**, mag. ing. aedif. (luka.zaharija@hidromodeling.hr) koji je zaposlen u punom radnom vremenu u tvrtki Hidromodeling d.o.o. iz Rijeke (OIB: 60490813037).

Za predmetnu dokumentaciju u svojstvu autora studije imenovan je prof. dr. sc. **Siniša Družeta**, dipl. ing. stroj. (sinisa.druzeta@riteh.hr) koji je zaposlen u punom radnom vremenu na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Rijeci (OIB: 46319717480).

A

Opći dio idejnog rješenja

Sadržaj mape 1/1

Sadržaj mape 1/1

stranica:

A) Opći dio idejnog rješenja

Naslovna strana idejnog rješenja	1
Popis mapa i autora studije	3
Sadržaj mape 1/1	4
Izvadak iz sudskog registra	9
Ugovor o imenovanju glavnog projektanta	13
Rješenje o upisu u Imenik ovlaštenih inženjera građevinarstva	15
Projektni zadatak	19

B) Tehnički dio idejnog rješenja

1 Tehnički opis	28
1.1 Opis postojećeg stanja	28
1.2 Pregled dostupne literature i dosadašnjih zahvata na Vranskom jezeru	36
1.3 Metodologija analize	53
1.4 Mjerodavni visinski sustav	54
2 Matematički model toka	57
2.1 Konceptualni model toka	57
2.2 Teorijska osnova matematičkog modela	60
2.2.1 Očuvanje mase za pukotinsku sredinu	60
2.2.2 Očuvanje mase za jezero	61
2.2.3 Modeliranje podzemnog toka	61
2.2.4 Modeliranje površinskog toka	63
2.2.5 Formiranje sustava jednadžbi	69
2.3 Numerički model razmjena masa	70
2.4 Metoda rješavanja nelinearnih jednadžbi	71
2.5 Definiranje početnih uvjeta	73

2.6	Implementacija numeričkog modela	74
2.7	Validacija numeričkog modela	84
2.8	Kalibracija	85
2.8.1	Izmjereni podaci	85
2.8.2	Zadani podaci	98
2.8.3	Kalibracijski podaci	98
2.8.4	Rezultat kalibracije	105
3	Analiza varijantnih rješenja	113
3.1	Vjerojatnost pojave karakterističnih godišnjih razina voda u jezeru	113
3.2	Varijanta zapornice	116
3.2.1	Zapornica prema glavnom projektu	116
3.2.2	Korigirana varijanta zapornice	127
3.3	Varijanta praga na kanalu Prosika	135
3.3.1	Inkrementalno povišenje praga	135
3.3.2	Dimenzioniranje kote krune praga u kontekstu porasta razina mora	139
3.3.3	Varijanta praga na poziciji postojećeg praga	141
3.3.4	Varijanta praga na poziciji uzvodno od mosta na cesti D8	156
3.4	Varijanta praga s jezerske strane	168
3.5	Varijanta akumulacije	180
3.6	Kombinirana varijanta zapornice i akumulacije	188
3.7	Retencijski prostor Jasen	196
3.8	Oblaganje kanala i efekt zaslađivanja grebena	198
3.9	Cjeloživotni troškovi	200
3.9.1	Zapornice i pragovi	201
3.9.2	Korita	208
3.9.3	Akumulacije	212
3.9.4	Ukupni investicijski i cjeloživotni troškovi	215
3.10	Višekriterijalna analiza	217
3.10.1	Kriteriji	217
3.10.2	Ocjene i rangiranje	218
3.10.3	Osjetljivost	222
4	Zaključci i preporuke	227
5	Grafički prikazi	233
5.1	Prikaz lokacija akumulacija Draga i Markovac	234
5.2	Prikaz lokacija za varijante pragova i zapornica	235
5.3	Karakteristični poprečni presjeci kanala Prosika za analizirane varijante	236



6	Popis korištenih podloga	238
----------	---------------------------------	------------



Opći dio idejnog rješenja

Izvadak iz sudskog registra



REPUBLIKA HRVATSKA
TRGOVAČKI SUD U RIJECI

Elektronički zapis
Datum: 23.08.2021

IZVADAK IZ SUDSKOG REGISTRA

SUBJEKT UPISA

MBS:

040379634

OIB:

60490813037

EUID:

HRSR.040379634

TVRTKA:

2 HIDROMODELING društvo s ograničenom odgovornošću za projektiranje i modeliranje hidrotehničkih sustava

1 HIDROMODELING d. o. o.

SJEDIŠTE/ADRESA:

3 Rijeka (Grad Rijeka)
Radmile Matejčić 10

ADRESA ELEKTRONIČKE POŠTE:

4 hidromodeling@gmail.com

PRAVNI OBLIK:

1 društvo s ograničenom odgovornošću

PREDMET POSLOVANJA:

- 1 * - projektiranje vodnih građevina, izrada projektne dokumentacije za vodnogospodarske građevine i vodne sustave
- 1 * - izrada studija, planova, idejnih rješenja i ekspertiza na području vodnog gospodarstva
- 1 * - projektiranje i građenje građevina, te stručni nadzor građenja
- 1 * - djelatnost upravljanja projektom gradnje
- 1 * - stručni poslovi prostornog uređenja
- 1 * - stručni poslovi zaštite okoliša
- 1 * - gospodarenje otpadom
- 1 * - djelatnost tehničkog ispitivanja i analize
- 1 * - računalno programiranje, izrada i prodaja softvera
- 1 * - računalno modeliranje i simulacije
- 1 * - savjetovanje u vezi s računalima, upravljanje računalnom opremom i sustavima
- 1 * - kupnja i prodaja robe
- 1 * - obavljanje trgovačkog posredovanja na domaćem i inozemnom tržištu
- 1 * - zastupanje stranih pravnih osoba u plasmanu njihovih proizvoda i usluga na domaćem i inozemnom tržištu
- 1 * - prijevoz za vlastite potrebe

Izrađeno: 2021-08-23 15:40:35
Podaci od: 2021-08-23

D004
Stranica: 1 od 3



REPUBLIKA HRVATSKA
TRGOVAČKI SUD U RIJECI

Elektronički zapis
Datum: 23.08.2021

IZVADAK IZ SUDSKOG REGISTRA

SUBJEKT UPISA

OSNIVAČI/ČLANOVI DRUŠTVA:

- 1 Vanja Travaš, OIB: 29993629582
Rijeka, Brdina 18
- 1 - član društva
- 1 Luka Zaharija, OIB: 60853036659
Zastenice, Zastenice 50
- 1 - član društva
- 1 DAVOR STIPANIĆ, OIB: 78792830119
Rijeka, Mrkopaljska 7
- 1 - član društva

OSOBE OVLAŠTENE ZA ZASTUPANJE:

- 1 DAVOR STIPANIĆ, OIB: 78792830119
Rijeka, Mrkopaljska 7
- 1 - član uprave
- 1 - zastupa društvo samostalno i pojedinačno, temeljem odluke od 21.rujna 2017.

TEMELJNI KAPITAL:

- 2 21.000,00 kuna

PRAVNI ODNOSI:

Osnivački akt:

- 1 Društveni ugovor o osnivanju društva zaključen je 21.rujna 2017.
- 2 Odlukom članova društva od 6. studenog 2018. Društveni ugovor izmijenjen je u čl. 2. (tvrtka društva), čl. 4. (temeljni kapital) i čl. 5. (poslovni udjeli). Potpuni tekst Ugovora dostavljen je u zbirku isprava.

Promjene temeljnog kapitala:

- 2 Odlukom članova društva od 6. studenog 2018. temeljni kapital društva povećan je uplatom u novcu sa iznosa od 20.000,00 kn za iznos od 1.000,00 kn na iznos od 21.000,00 kn.

FINANCIJSKA IZVJEŠĆA:

	Predano	God.	Za razdoblje	Vrsta izvještaja
eu	30.06.21	2020	01.01.20 - 31.12.20	GFI-POD izvještaj

Upise u glavnu knjigu proveli su:

RBU	Tt	Datum	Naziv suda
0001	Tt-17/6554-2	28.09.2017	Trgovački sud u Rijeci
0002	Tt-18/6547-2	13.11.2018	Trgovački sud u Rijeci

Izrađeno: 2021-08-23 15:40:35
Podaci od: 2021-08-23

D004
Stranica: 2 od 3



REPUBLIKA HRVATSKA
TRGOVAČKI SUD U RIJECI

Elektronički zapis
Datum: 23.08.2021

IZVADAK IZ SUDSKOG REGISTRA

SUBJEKT UPISA

Upise u glavnu knjigu proveli su:

RBU Tt	Datum	Naziv suda
0003 Tt-18/7085-2	06.12.2018	Trgovački sud u Rijeci
0004 Tt-20/8787-2	28.10.2020	Trgovački sud u Rijeci
eu /	30.06.2018	elektronički upis
eu /	28.06.2019	elektronički upis
eu /	30.06.2020	elektronički upis
eu /	30.06.2021	elektronički upis

Sudska pristojba po Tbr. 29. st. 1. Uredbe o tarifi sudskih pristojbi (NN br. 53/19), za izvadak iz sudskog registra u iznosu od 15.00 Kn naplaćena je elektroničkim putem.



Ova isprava je u digitalnom obliku elektronički potpisana certifikatom:
CN=sudreg, L=ZAGREB,
O=MINISTARSTVO PRAVOSUĐA I UPRAVE HR72910430276, C=HR

Broj zapisa: 00pW2-F9MLF-yzutY-vVF13-NjLiW
Kontrolni broj: TqrAN-QK3tz-lWnUd-nyU60

Skeniranjem ovog QR koda možete provjeriti točnost podataka.

Isto možete učiniti i na web stranici

http://sudreg.pravosudje.hr/registar/kontrola_izvornika/ unosom gore navedenog broja zapisa i kontrolnog broja dokumenta.

U oba slučaja sustav će prikazati izvornik ovog dokumenta. Ukoliko je ovaj dokument identičan prikazanom izvorniku u digitalnom obliku, Ministarstvo pravosuđa i uprave potvrđuje točnost isprave i stanje podataka u trenutku izrade izvotka.

Provjera točnosti podataka može se izvršiti u roku tri mjeseca od izdavanja isprave.

Izrađeno: 2021-08-23 15:40:35
Podaci od: 2021-08-23

D004
Stranica: 3 od 3

A

Opći dio idejnog rješenja

Rješenje o imenovanju
odgovornog projektanta

Tvrtka Hidromodeling d.o.o. donosi

Rješenje o imenovanju odgovornog projektanta

kojim se

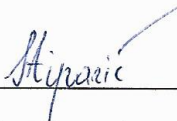
Davor Stipanić, mag. ing. aedif.

imenuje za odgovornog projektanta u sklopu projekta:

INVESTITOR: Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, 10000 Zagreb
NASLOV ZADATKA: Analiza varijantnih rješenja za poboljšanja stanja vode u Vranskom jezeru i kanalu Prosika
FAZA PROJEKTA: Idejno rješenje

Imenovani projektant upisan je u Imenik ovlaštenih inženjera građevinarstva Hrvatske komore inženjera građevinarstva pod brojem 5780.

Direktor



Davor Stipanić, mag. ing. aedif.

HIDROMODELING d.o.o.
za projektiranje i modeliranje
hidrotehničkih sustava
RIJEKA
OIB: 60490813037

A

Opći dio idejnog rješenja


Rješenje o upisu u imenik
ovlaštenih inženjera građevinarstva



REPUBLIKA HRVATSKA

HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA

10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 271

KLASA: UP/I-360-01/17-01/129
URBROJ: 500-03-17-
Zagreb, 15. svibnja 2017. godine

Hrvatska komora inženjera građevinarstva na temelju članka 26. stavka 5. i članka 27. Zakona o komori arhitekata i komorama inženjera u graditeljstvu i prostornom uređenju ("Narodne novine", broj 78/15.) odlučujući o zahtjevu koji je podnio **Davor Stipanić, Rijeka, Mrkopaljska 7**, donosi sljedeće

RJEŠENJE

1. U Imenik ovlaštenih inženjera građevinarstva upisuje se **Davor Stipanić, mag.ing.aedif., Rijeka, Mrkopaljska 7, OIB 78792830119**, pod rednim brojem **5780**, s danom upisa **15.05.2017.** godine.
2. Upisom u Imenik ovlaštenih inženjera građevinarstva **Davor Stipanić, mag.ing.aedif.**, stječe pravo na uporabu strukovnog naziva "**ovlašteni inženjer građevinarstva**" i pravo na obavljanje stručnih poslova temeljem članka 48., 50., 53. stavak 1. i 2., 55. Zakona o poslovima i djelatnostima prostornog uređenja i gradnje ("Narodne novine", broj 78/15.), te ostala prava i dužnosti sukladno ovom Zakonu, posebnim zakonima i propisima donesenim temeljem tih zakona, te općim aktima Komore.
3. Ovlaštenom inženjeru građevinarstva Hrvatska komora inženjera građevinarstva izdaje "**pečat i iskaznicu ovlaštenog inženjera građevinarstva**", koje su vlasništvo Komore.

Obrazloženje

Dana 03.05.2017. godine Davor Stipanić, mag.ing.aedif., podnio je zahtjev za upis u Imenik ovlaštenih inženjera građevinarstva.

U prilogu zahtjeva, podnositelj zahtjeva je podnio sljedeću dokumentaciju:

- presliku važećeg osobnog dokumenta,
- presliku diplome,
- presliku suplementa diplome,
- presliku Uvjerenja o položenom stručnom ispitu za obavljanje poslova prostornog uređenja i graditeljstva,
- dokaz o radnom stažu (Elektronički zapis o podacima evidentiranim u matičnoj evidenciji Hrvatskog zavoda za mirovinsko osiguranje),
- završno mišljenje mentora,

2

- popis poslova u struci ovjeren od ovlaštenog inženjera građevinarstva pod čijim je nadzorom obavljao poslove,
- dokaz o uplati upisnine u iznosu od 1.000,00 kn,
- 70,00 kn Upravne pristojbe (biljezi RH),
- jednu fotografiju veličine 35x45 mm.

Prema odredbi članka 27. Zakona o komori arhitekata i komorama inženjera u graditeljstvu i prostornom uređenju pravo na upis u imenik ovlaštenih arhitekata, ovlaštenih arhitekata urbanista, odnosno ovlaštenih inženjera Komore ima fizička osoba koja kumulativno ispunjava sljedeće uvjete:

1. da je završila odgovarajući preddiplomski i diplomski sveučilišni studij ili integrirani preddiplomski i diplomski sveučilišni studij i stekla akademski naziv magistar inženjer, ili da je završila
2. odgovarajući specijalistički diplomski stručni studij i stekla stručni naziv stručni specijalist inženjer ako je tijekom cijelog svog studija stekla najmanje 300 ECTS bodova, odnosno da je na drugi način propisan posebnim propisom stekla odgovarajući stupanj obrazovanja odgovarajuće struke,
3. da je po završetku odgovarajućeg diplomskog sveučilišnog studija ili po završetku odgovarajućeg specijalističkog diplomskog stručnog studija provela na odgovarajućim poslovima u struci najmanje dvije godine, da je po završetku odgovarajućeg diplomskog sveučilišnog studija ili odgovarajućeg specijalističkog diplomskog stručnog studija provela na odgovarajućim poslovima u struci najmanje jednu godinu, ako je uz navedeno iskustvo po završetku odgovarajućeg preddiplomskog sveučilišnog ili po završetku odgovarajućeg preddiplomskog stručnog studija stekla odgovarajuće iskustvo u struci u trajanju od najmanje tri godine, odnosno bila zaposlena na stručnim poslovima graditeljstva i/ili prostornoga uređenja u tijelima državne uprave ili jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave, te zavodima za prostorno uređenje županije, odnosno Grada Zagreba najmanje deset godina,
4. da je ispunila uvjete sukladno posebnim propisima kojima se propisuje polaganje stručnog ispita.

U postupku koji je prethodio donošenju ovog rješenja izvršen je uvid u priloženu dokumentaciju i utvrđeno je da je zahtjev podnositelja osnovan, te da podnositelj udovoljava kumulativno svim uvjetima za upis u Imenik ovlaštenih inženjera građevinarstva koji su propisani člankom 27. Zakona o komori arhitekata i komorama inženjera u graditeljstvu i prostornom uređenju.

Podnositelj zahtjeva stekao je pravo na uporabu strukovnog naziva „ovlaštenu inženjer građevinarstva“ i pravo na obavljanje stručnih poslova temeljem članka 48., 50., 53 stavak 1. i 2., 55. Zakona o poslovima i djelatnostima prostornog uređenja i gradnje, te ostala prava i dužnosti sukladno ovom Zakonu, posebnim zakonima i propisima donesenim temeljem tih zakona, te općim aktima Komore.

Ovlaštenu inženjer građevinarstva dužan je izvršavati navedene stručne poslove sukladno zakonu te temeljnim načelima i pravilima struke koje treba poštovati ovlaštenu inženjer građevinarstva.

Pravo na obavljanje navedenih stručnih poslova prestaje s prestankom članstva u Komori, u skladu s člankom 34. i 35. Zakona o komori arhitekata i komorama inženjera u graditeljstvu i prostornom uređenju.

Ovlaštenom inženjeru građevinarstva Hrvatska komora inženjera građevinarstva izdaje "pečat i iskaznicu ovlaštenog inženjera građevinarstva", sukladno članku 26. stavku 5. Zakona o komori arhitekata i komorama inženjera u graditeljstvu i prostornom uređenju.

Ovlaštenu inženjer građevinarstva dužan je plaćati Hrvatskoj komori inženjera građevinarstva članarinu i ostala davanja koja utvrde tijela Komore, osim u slučaju mirovanja članstva i privremenog prekida obavljanja djelatnosti, a pri prestanku članstva u Komori dužan je podmiriti sve dospjele financijske

obveze prema Komori, sve sukladno članku 13. stavku 1. točki 5. Statuta Hrvatske komore inženjera građevinarstva.

Ovlašteni inženjer građevinarstva dobiva putem Hrvatske komore inženjera građevinarstva Potvrdu o polici osiguranja od profesionalne odgovornosti kod odabranog osiguravatelja. Polica se izdaje na razdoblje od godine dana i obnavlja svake godine. Premija osiguranja plaća se sa članarinom, odnosno računava se u iznos članarine, sve u skladu s člankom 55. Stavcima 1. i 2. Zakona o komori arhitekata i komorama inženjera u graditeljstvu i prostornom uređenju.

Ovlašteni inženjer građevinarstva uplatio je za upis Hrvatskoj komori inženjera građevinarstva upisninu u iznosu od 1.000,00 kn sukladno članku 13. stavku 1. točki 4. Statuta Hrvatske komore inženjera građevinarstva.

Upravna pristojba plaćena je upravnim biljegom emisije Republike Hrvatske koji je zalijepljen na podnesak i poništen, u vrijednosti 20,00 kn (slovima: dvadeset kuna) prema Tar.br. 1 i u vrijednosti od 50,00 kn (slovima: pedeset kuna), prema Tar.br. 2. stavak 1. Uredbe o tarifi upravnih pristojbi („Narodne novine“, broj 8/2017).

Slijedom navedenog, na temelju članaka 26. i 27. Zakona o komori arhitekata i komorama inženjera u graditeljstvu i prostornom uređenju, odlučeno je kao u izreci.

Uputa o pravnom lijeku:

Protiv ovog rješenja dopuštena je žalba koja se podnosi Ministarstvu graditeljstva i prostornoga uređenja u roku 15 dana od dana dostave rješenja. Žalba se predaje neposredno ili šalje poštom u pisanom obliku, u tri primjerka, putem tijela koje je izdalo rješenje.

Na žalbu se plaća pristojba u iznosu od 35,00 kuna prema Tar.br. 3. stavak 1. Tarife upravnih pristojbi Uredbe o tarifi upravnih pristojbi.


Predsjednik
Hrvatske komore inženjera građevinarstva
Zvonimir Sever, dipl.ing.grad.


Dostaviti:

1. **Davor Stipanić**,
51000 Rijeka, Mrkopaljska 7
2. U Zbirku isprava Komore

A

Opći dio idejnog rješenja

Projektni zadatak

Prilog 2 – Projektni zadatak



HRVATSKE VODE
VODNOGOSPODARSKI ODJEL
ZA SLIVOVE JUŽNOG JADRANA
21000 Split, Vukovarska 35

Telefon: 021 / 309 400
Telefax: 021 / 309 491

KLASA: 325-01/20-10/000083
URBROJ: 374-24-1-20-3
Datum: 22.10.2020

PROJEKTNI ZADATAK

ZA IZRADU IDEJNOG RJEŠENJA - ANALIZA VARIJANTNIH RJEŠENJA ZA POBOLJŠANJE STANJA
VODE U VRANSKOM JEZERU I KANALU PROSIKA

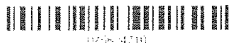
1. OPĆI DIO

Naručitelj:	HRVATSKE VODE
Naslov zadatka:	ANALIZA VARIJANTNIH RJEŠENJA ZA POBOLJŠANJE STANJA VODE U VRANSKOM JEZERU I KANALU PROSIKA
Faza projektne dokumentacije:	Idejno rješenje
Rok izrade:	4 mjeseca
Broj primjeraka projekta:	Šest (6) uvezanih i šest (6) na USB-u stick (PDF i izvorni format)

1. UVOD

Predmet ovog projektnog zadatka je izrada idejnog rješenja za poboljšanje vodnog režima Vranskog jezera radi smanjenja negativnih utjecaja na razvoj biocenoza jezerskog ekosustava. Idejnim rješenjem je potrebno sagledati i analizirati više varijantnih rješenja kojima je moguće povećati razinu jezerske vode u sušnom razdoblju ili smanjiti dotoke morske vode u Vransko jezero kontroliranim otjecanjem voda kroz kanal Prosiiku.

Naime, Vransko jezero je sa svim svojim hidrološkim, biološkim, krajobraznim i rekreativnim vrijednostima, tijekom recentnih dugotrajnih sušnih razdoblja, izravno ugroženo smanjenim dotokom slatke vode i posljedičnim prodorom morske vode u jezerski sustav pa je stoga u svrhu rješavanja ove problematike potrebna provedba niza različitih aktivnosti i mjera.



Kao interventna mjera kojom se željelo umanjiti zaslanjenje u sušnom razdoblju, 2009. godine je izveden preljevni prag u kanalu Prosika. Pokazalo se da prag ima ograničeno pozitivan učinak na smanjenje prodora mora u jezero tijekom sušnog razdoblja, odnosno da nije onemogućio cirkulaciju mora u jezerski sustav, ali ju je usporio.

Iz gore navedenih razloga se, a temeljem zaključaka okruglog stola održanog 2012. godine u Biogradu na moru (na temu upravljanja vodenim sustavom Vranskog jezera u Dalmaciji te prijedloga/zahtjeva upućenog od strane Javne ustanove Park prirode Vransko jezero kao korisnika i suupravljača Vranskog jezera), pristupilo izradi projektne dokumentacije za izgradnju zapornice na kanalu Prosika i osiguranje vododrživosti dna i bokova kanala Prosika.

Preliminarnom hidrološkom procjenom utjecaja izgradnje preljevnog praga ocijenjeno je da postoji mogućnost da se očekivani učinak usporavanja otjecanja voda iz Vranskog jezera dodatno poveća nadogradnjom pokretne zapornice iznad samog praga.

Iz rezultata provedenih hidrološko-hidrauličkih analiza i proračuna dostupnih podataka ustanovljeno/zaključeno je kako od 2009. godine, kada je izgrađen preljevni prag u kanalu Prosika, morska voda površinskim tokom više ne ulazi u Vransko jezero, ali se izgradnjom zapornice neće spriječiti prodor mora koji se dešava kroz podzemlje, odnosno ispod razine dna postojećeg kanala. Osim toga, zaključeno je da će učinak izgradnje predmetnog objekta biti gotovo neprimjetan za pojavu uzastopnih sušnih godina (kao 2011. i 2012.), a da će se izgradnjom zapornice s nepomičnim donjim djelom ustave za vrijeme velikih voda stvoriti nepoželjni uspor koji može rezultirati plavljenjem poljoprivrednih površina uz samo jezero. Također je pokazano da bi se održavanjem viših razina vode u Vranskom jezeru dodatno intenziviralo procjeđivanje kroz bokove iz razloga što je isto u funkciji razlike u vodostajima jezera i mora.

Obzirom na navedeno može se izvesti zaključak o upitnosti funkcije i ekonomske isplativosti izvedbe zapornice u smislu optimalnog ispunjenja postavljenog cilja. Stoga je potrebno sagledati više varijantnih rješenja zaštite Vranskog jezera od zaslanjivanja među kojima se obvezno mora nalaziti i rješenje s izgradnjom zapornice na kanalu Prosika.

2. POSTOJEĆE STANJE

Vransko jezero u Dalmaciji je specifičan vodni resurs. Radi se o površinom najvećem jezeru u Hrvatskoj (30 km²) smještenom u kriptodepresiji s najvećom dubinom oko 3m ispod morske razine. Od mora s kojim je u neposrednoj interakciji ga dijeli samo uski vapnenački greben širine mjestimično i manje od 1 km. Vransko jezero je biološki važno stanište mnogih akvatičnih vrsta, ornitološki je rezervat, dio je ekološke mreže Natura 2000, i međunarodno važno Ramsarsko područje, a unutar užeg sliva jezera je važno poljoprivredno područje. Sve ove specifičnosti čine Vransko jezero vodnim resursom vrlo velike bioraznolikosti ali i vrlo velike osjetljivosti. U uvjetima klimatskih promjena i antropogenih utjecaja stanje ekosustava je sve nepovoljnije i kao takvo posebno eskalira u razdobljima dugotrajnih suša.



Vransko jezero ima složeni sustav prihranjivanja putem više površinskih vodotoka koji protječu Vranskim poljem, a na kome ih prihranjuje i niz izvora. Osim površinskih vodotoka u mehanizmu prihranjivanja i otjecanja vrlo naglašenu ulogu ima i podzemni krški vodonosnik, a koji je pak u kontaktu s morem. Upravo je zbog prodiranja mora u jezero iz dubljih dijelova okruženog podzemlja, te kroz propusni krški greben uz morskou obalu voda Vranskog jezera bočata.

Kanal Prosika je prokopan sredinom 18. stoljeća na najužem i najnižem dijelu vapnenačkog grebena na jugoistočnoj strani Vranskog jezera. Tada je svrha prokopavanja kanala Prosika bila omogućiti nadzemno otjecanje iz jezera u more kako bi se smanjio intenzitet i trajanje visokih vodostaja i time ublažile negativne posljedice poplavnih voda u Vranskom polju, odnosno, smanjilo zamočvarenje Vranskog blata/polja, te osiguralo povećanje obradivih površina. Duljina kanala je oko 800 m, a dno je najprije bilo širine 4,0 m, a naknadno je prošireno na 8,0 m i produbljeno u dnu. Poprečni profil kanala je trapeznog oblika s gotovo vertikalnim pokosima.

Otjecanje kroz greben na dijelu kojega je izgrađen kanal Prosika se odvijalo u dva smjera. Jezerska voda istječe prema moru kada su vodostaji jezera viši od mora, dok je morska voda dotjecala u jezero ukoliko je nivo mora bio viši od nivoa vode u jezeru. Nadvišenje jezera nad morem je izraženije u hladnom dijelu godine, a ljeti ta razlika opada. Ponekad su tijekom ljeta i jeseni nivoi vode u jezeru niži od nivoa mora, pa tada dolazi do pojačanog zaslanjenja jezera uslijed prodiranja mora kroz pukotine u pojasnom grebenu. Razina vode u jezeru oscilira u rasponu od oko 0,03 i 2,25 m n.m. a srednja razina je 0,83 m n.m. (tijekom razdoblja 1948.-2010.godine)

Kota dna prokopa, odnosno niveleta kanala Prosika je do nedavno bila skoro horizontalna na cijeloj svojoj duljini s maksimalnom kotom dna na +0,35 m n.m. Kao što je već navedeno kao interventna mjera kojom se željelo utvrditi posljedice takvog zahvata na velike vode i zaslanjenje u sušnom razdoblju izveden je betonski preljevni prag.

Položaj, oblik i veličina praga su odabrani tako da ne utječu na istjecanje velikih voda iz Vranskog jezera. Betonski prag se nalazi na cijeloj širini kanala (u dužini od 8,40 m) oko 36 m uzvodno od starog mosta na napuštenoj trasi Jadranske magistrale. Kota krune praga je 0,41 (m.n.m) u središnjem dijelu na širini od 1 m, te do 0,50 m n.m. na krajnjem lijevom i desnom boku.

3. ZADATAK IDEJNOG RJEŠENJA

Temeljni zadatak idejnog rješenja je analiza i obrada varijantnih rješenja za poboljšanje stanja voda u Vranskom jezeru i kanalu Prosika. Pri tome projektant mora definirati minimalno 5 održivih (tehnički i ekonomski prihvatljivih) varijanti.

Jedna od predloženih varijanti treba biti izgradnja zapornice u kanala Prosika. Osnova za ovu varijantu je izradena projektna dokumentacija, koja u svrhu optimalizacije rješenja treba biti izmijenjena i dopunjena u dogovoru s ovlaštenim predstavnikom Naručitelja.



Obrađeni varijanti, kao i samog idejnog rješenja treba obuhvatiti sve relevantne tehničko-tehnoške i financijske elemente kako bi se nedvojbeno mogla ocijeniti pojedina varijanta.

Za izradu varijantnih rješenja u sklopu idejnog rješenja treba:

- 3.1. Analizirati postojeću projektnu dokumentaciju za slivno područje Vranskog jezera s ciljem utvrđivanja (preuzimanja) polaznih ulaznih parametara.
- 3.2. Provesti hidrološke i hidrauličke analize i proračune korištenjem dostupnih podataka o vodostajima i protokama s hidroloških stanica na slivnom području Vranskog jezera.

Tehno-ekonomska valorizacija varijantnih rješenja treba uključiti višekriterijalnu analizu. U sklopu valorizacije potrebno je analizirati monetarne pokazatelje poput troškova izgradnje, pogona i održavanja, te nemonetarne pokazatelje poput sigurnosti postavljenog rješenja, mogućnosti etapne izgradnje, mogućnosti osiguranja potrebnog prostora pogotovo u imovinsko-pravnom kontekstu, utjecaja na okoliš i sl. Nakon valorizacije varijantnih rješenja potrebno je predložiti jedno ili više rješenja s obrazloženjima.

Za predložena rješenja izvršiti analizu mogućih stanja koja se mogu dogoditi za ekstremne hidrološke uvjete i procijeniti uspješnost ostvarenja ciljeva navedenih u ovom projektnom zadatku, odnosno provesti modeliranje varijantnih rješenja.

4. RASPOLOŽIVE PODLOGE I PROJEKTNJA DOKUMENTACIJA

Projektantu će se dati na uvid sljedeća dokumentacija:

- „Ustava na kanalu Prosika“, Glavni projekt, Hidroprojekt, Projektno poduzeće, Zagreb, 1973. godina.
- „Mehanička zapornica – Brana na kanalu Prosika“, Idejno rješenje, Đuro Đaković Inženjering d.d. Slavonski brod – Hrvatska, 2008. godina.
- „Preljevni prag s ribljom stazom u kanalu Prosika“, Idejno rješenje, Hrvatske vode, 2009. godina.
- „Hidrološka istraživanja na području Parka prirode Vransko jezero u kontekstu procjene mogućnosti zaštite jezera od zaslanjivanja“, Građevinski fakultet u Rijeci, 2009. godina.
- „Smjernice za održavanje povoljnog vodostaja Vranskog jezera za faunu riba“, na temelju studije: Istraživanje učestalosti i ekologije autohtonih vrsta riba JU PP Vransko jezero, Hrvatsko društvo za biološka istraživanja, 2010. godina.
- „Stručna ornitološka studija za potrebe izgradnje zapornice“, Kralj Jelena, Zavod za ornitologiju HAZU, 2010. godina.
- „Vransko jezero kod Biograda – procjena utjecaja praga na zaštitu jezera od zaslanjivanja i ocjena ekološki prihvatljivog protoka površinskih pritoka“, Građevinski fakultet u Rijeci, 2011. godina.
- „Izgradnja zapornice sa ribljom stazom i uređenjem korita kanala Prosika te izgradnja upravljačke kućice – idejni projekt“, Institut za elektroprivredu i energetiku d.d. Zagreb, 2016. godina.



075634210



075626183

- „Geodetski projekt oznake VPB-TPP-14-0002“, Vodoprivredno-projektni biro d.d. Zagreb, 2015. godina.
- „Zapornica na kanalu Prosika na Vranskom jezeru – glavni projekt“, Institut IGH d.d. Zagreb, 2020. godina.

Projektant će dobiti podatke o vodostajima i protokama s postojećih hidroloških stanica na slivu Vranskog jezera.

Svu ostalu eventualno potrebnu dokumentaciju projektant je dužan prikupiti o svom trošku.

5. SADRŽAJ PROJEKTNE DOKUMENTACIJE

Sadržaj projektne dokumentacije može se mijenjati u dogovoru s ovlaštenim predstavnikom Naručitelja tijekom razrade projekta.

Opća dokumentacija:

- Sadržaj
- Registracija pravne osobe tvrtke (izvadak iz sudskog registra poduzeća)
- Projektni zadatak

Tekstualni dio:

- Tehnički opis
- Analiza varijantnih rješenja
- Hidrološki i hidraulički proračuni sa svim potrebnim grafičkim prikazima
- Višekriterijalna analiza, tehničko – ekonomsko vrednovanje varijanti
- Prijedlog izbora varijanti
- Okvirni predmjer radova
- Procjena troškova građenja

Grafički dio:

- Pregledne situacije u mjerilu 1:5000 (1:1000)
- Karakteristični poprečni presjeci i detalji u mjerilu 1:100 (1:50)
- Ostali nacrti i detalji objekata u odgovarajućem mjerilu

Projekt mora sadržavati i ostale priloge (tekstualne, proračune, nacрте i sl.) koji se tijekom izrade pokažu potrebni, a ovim projektnim zadatkom nisu uvjetovani ili posebno navedeni.



6. NAČIN PRAĆENJA IZRADA I ISPORUKE PROJEKTNE DOKUMENTACIJE

Prilikom izvršenja ugovornih obveza, izvršitelj je dužan surađivati sa odgovornom osobom iz Hrvatskih voda, odnosno ovlaštenikom za praćenje Ugovora. Izvršitelj je dužan ovlaštenoj osobi Hrvatskih voda dostavljati na uvid projektno rješenje u digitalnoj verziji i u papirnatom obliku sukladno dinamici izrade, te je najmanje jednom mjesečno pismenim putem izvještavati o tijeku ispunjavanja ugovorenih obveza. Izvršitelj je, na poziv ovlaštenog predstavnika Hrvatskih voda, dužan aktivno sudjelovati na sastancima na kojima će prezentirati izrađeno po ugovornoj obvezi.

Projekt spreman za verifikaciju od strane naručitelja predaje se u 1 primjerku u tiskanom obliku te u 1 primjerku na CD-u.

Rok izvršenja usluge je četiri (4) mjeseca od dana potpisivanja ugovora, od čega se tri (3) mjeseca odnose na izradu i predaju predmetnog idejnog rješenja, a četvrti na pregled, reviziju, verifikaciju i konačni završetak istog.

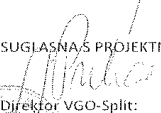
Konačnu usvojenu verziju Idejnog rješenja je potrebno isporučiti u 6 uvezanih primjeraka te 6 u digitalnom obliku. Otisnuta i uvezana dokumentacija i digitalna verzija moraju biti identične i trebaju omogućiti da se iz elektroničke verzije po potrebi mogu dobiti i dodatni primjerci u svemu jednaki kao i otisnuti primjerak. Digitalna verzija mora biti napravljena u PDF formatu. Osim PDF formata projektant će dostaviti Naručitelju i kompletnu dokumentaciju u izvornim formatima.

Po završetku projektant će izraditi Završni izvještaj o obavljenom poslu i dostaviti ga Naručitelju.

PROJEKTNI ZADATAK IZRADIO:

Ivica Jurčević, dipl. ing. grad.univ.spec.oec.

SUGLASNA S PROJEKTNIM ZADATKOM:


Direktor VGO-Split:

Brina Putica, dipl. ing. grad.



B

Tehnički dio idejnog rješenja

B

Tehnički dio idejnog rješenja

Tehnički opis

1 Tehnički opis

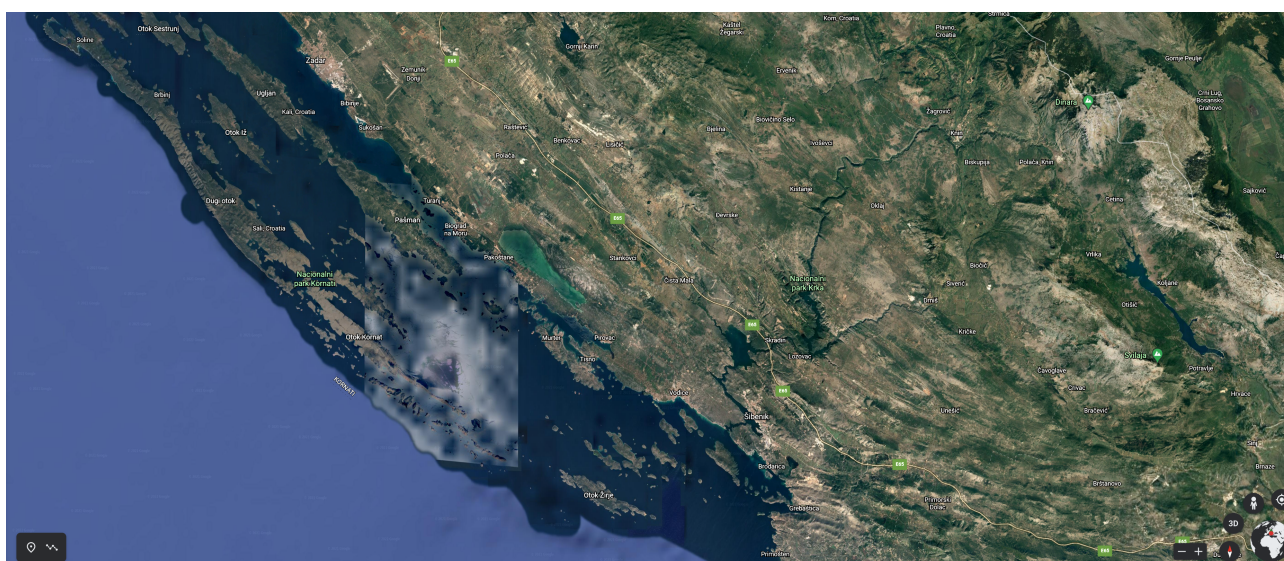
U nastavku se prilaže opis predmetne problematike, s pregledom dosadašnjih projektantskih aktivnosti te opisom usvojene metodologije za definiranje optimalnog rješenja zaštite vode Vranskog jezera uslijed nepovoljnog utjecaja mora.

1.1 Opis postojećeg stanja

U ovom poglavlju ukratko će se opisati važnost Vranskog jezera kod Biograda na Moru te njegove osnovne karakteristike.

U tom smislu vrijedi naglasiti kako sa svojom površinom od oko 30 km² predstavlja najveće slatkovodno jezero u Hrvatskoj. Već sama ta činjenica ukazuje na iznimnu važnost Vranskog jezera koju treba imati u vidu prije planiranja bilo kakvih zahvata unutar njegovog slivnog područja.

Jezero je smješteno u središnjem priobalnom dijelu istočne obale Jadrana, u neposrednoj blizini mora od kojeg ga dijeli uski vapnenački greben, koji je na pojedinim dijelovima uži od 1 km (slike 1). Na slici 2 prikazan je snimak s Google Earth-a lokacije Vranskog jezera, te je s lijeve strane vidljiva i lokacija Vranskog polja gdje prevladavaju obradive površine (između Kakme, Biograda na Moru i ulaza za posjetitelje na lokaciji Vransko jezero). Najveća dubina jezera nalazi se na oko 3 m ispod morske razine, dok razina jezera na postaji Prosika oscilira od suhog korita (razina ispod -0,51 m n.m.) do 1,84 m n.m. sa srednjom razinom od 0.37 m n.m. (za razdoblje od 1948. - 2016. godine), te ga navedene karakteristike čine kriptodepresijom. Korišteni koordinatni sustav u ovom projektu naveden je u poglavlju 1.4.

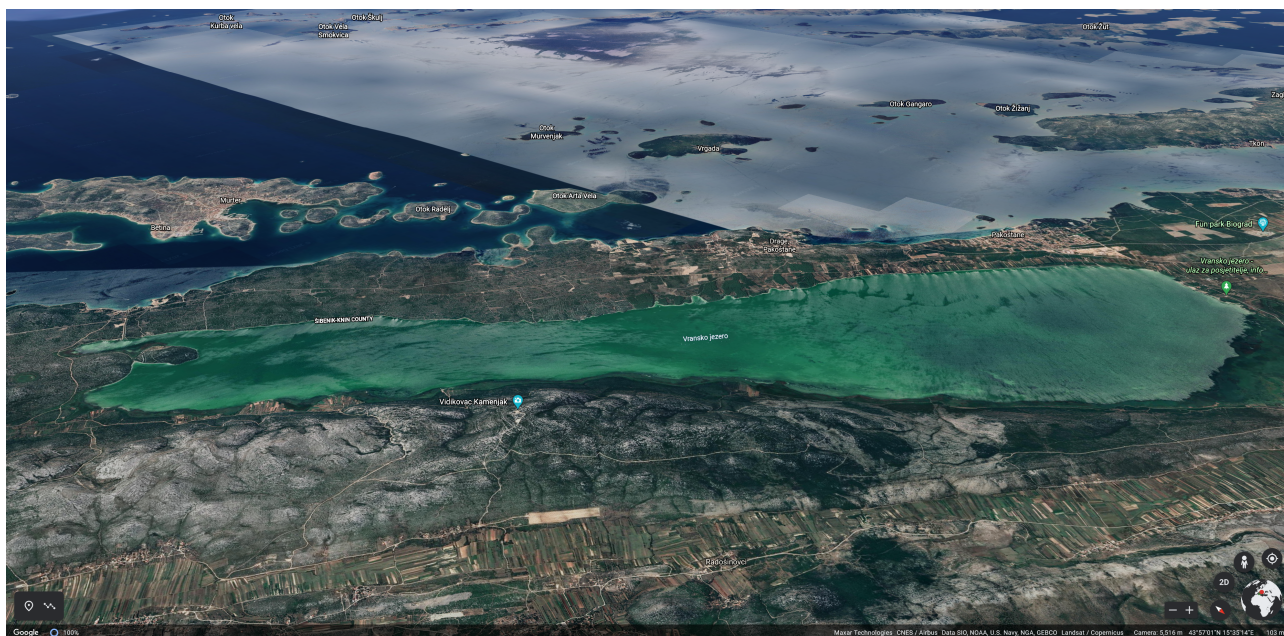


Slika 1: Lokacija Vranskog jezera (izvor: Google Earth)



Slika 2: Bliži pogled na lokaciju Vranskog jezera i Vransko polje (izvor: Google Earth)

Na slici 3 prikazan je snimak s Google Earth-a lokacije vidikovca Kamenjak u odnosu na lokaciju Vranskog jezera. Naime, terenskim obilaskom posjetio se je i navedeni lokalitet te se na slikama 4, 5 i 6 vidi pogled s vidikovca na jugoistočni, središnji i sjeverozapadni dio jezera.



Slika 3: Pogled na vidikovac Kamenjak (izvor: Google Earth)

Potrebno se je ukratko osvrnuti i na biološku važnost jezera. Naime, sjeverozapadni dio Vranskog jezera proglašen je Ornitološkim rezervatom još 1983. godine, a područje cijelog Vranskog jezera Europski važnim područjem za ptice. Ujedno je jezero važno stanište i brojnih akvatičnih vrsta,



Slika 4: Pogled sa vidikovca Kamenjak na jugoistočni dio jezera (izvor: Hidromodeling d.o.o. 17.2.2021.)

a svakako vrijedi naglasiti i da spada u ekološku mrežu Natura 2000, odnosno prepoznato je kao područje važno za očuvanje ugroženih vrsta i stanišnih tipova Europske unije. Od 2013. godine uvršteno je i na Popis vlažnih područja od međunarodnog značaja, odnosno Ramsarski popis (nazvan po iranskom gradu Ramsar, mjestu održavanja Ramsarske konvencije).

Vransko jezero gospodarski je dobilo na važnosti sredinom 18. stoljeća kada je radi melioriranja močvarnog i zaraslog Vranskog blata (sadašnjeg Vranskog polja) prokopan kanal Prosika (na slici 7 prikazana je lokacija kanala i Prosike i izvora Jugovir). Navedenim zahvatom, omogućilo se je nadzemno otjecanje iz jezera u more, te se je time smanjio intenzitet i trajanje visokih vodostaja što je za posljedicu imalo povećanje obradivih površina. Kanal je smješten na najužem i najnižem dijelu vapnenačkog grebena na jugoistočnoj strani Vranskog jezera. Terenskim izlaskom lokaliteta Vranskog jezera 17.2.2021. obišao se je i kanal Prosika koji je prikazan na slici 7.

O zahvatima koji su rađeni na kanalu kao i na Vranskom jezeru bit će više riječi u slijedećem poglavlju.



Slika 5: Pogled s vidikovca Kamenjak na središnji dio jezera (izvor: Hidromodeling d.o.o. 17.2.2021.)

Jedna od osnovnih karakteristika Vranskog jezera je obostrana komunikacija jezera i mora koja je ovisna o njihovim relativnim međusobnim razinama. Naime, u slučaju viših razina vode u jezeru u odnosu na morsku razinu, odvija se tečenje od jezera prema moru, dok u slučaju obrnutih međusobnih odnosa razina tečenje se odvija u suprotnom smjeru, odnosno od mora prema jezeru. Smjer tečenja obično korelira s godišnjim dobima, gdje je u pravilu nadvišenje jezera izraženije u hladnom dijelu godine, te se po ljeti njegova razina spušta. Upravo je ova karakteristika o obostranoj komunikaciji jezera od najveće važnosti prilikom izrade ovog idejnog rješenja budući da je osnovni zadatak poboljšanje vodnog režima u funkciji smanjenja zaslanjenja koje se događa upravo zbog prodora morske vode u samo jezero.

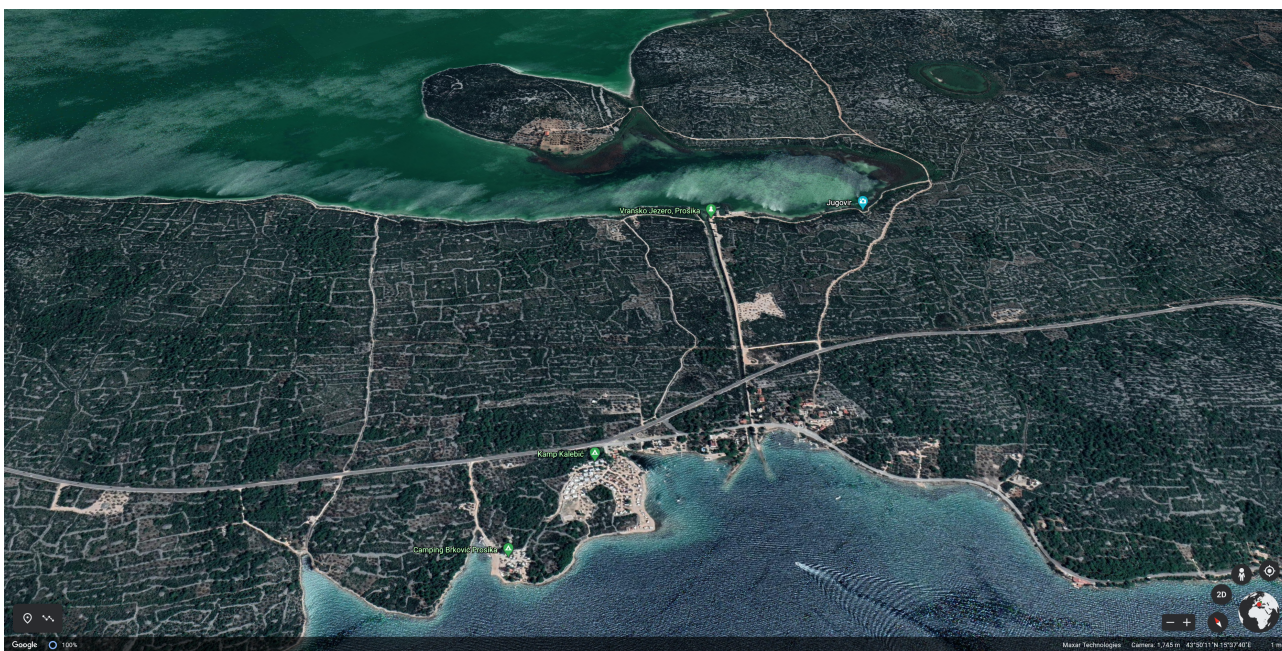
U prilog navedenim tvrdnjama o obostranoj komunikaciji jezera i mora svjedoči i izvor Jugovir, na kojem za vrijeme juga izvire more, po čemu je i dobio ime (slika 9). Na istom lokalitetu nalazi se i obnovljena Borellijeva ribarska kuća iz 18. stoljeća koja je nekoć bila u funkciji prenoćišta za ribare koji su kontrolirali izlov jegulje. Uz navedeno na putu između kanala Prosike i izvora Jugovir nalaze



Slika 6: Pogled s vidikovca Kamenjak na sjeverozapadni dio jezera (izvor: Hidromodeling d.o.o. 17.2.2021.)

se i nekolicina kamenih vrši (slika 10) koje su nekoć služile za ulov jegulja (danas obnovljene radi turističke atrakcije).

Pritom, važno je naglasiti da se je navedeni izvor i bliži lokalitet koristio za ulov jegulja i mnogo ranije no što je izveden prokop kanala Prosika. Navedeno ide u prilog tvrdnji da se zahvatom na kanalu Prosika kao što bi bila izgradnja zapornice ili osiguranja vododrživosti korita neće u potpunosti spriječiti prodor mora u Jezero, budući da se većina komunikacije jezera i mora odvija podzemnim putem. U tom smislu treba imati u vidu da je cilj ovog idejnog rješenja pronaći optimalno rješenje korištenjem višekriterijalne analize za poboljšanje vodnog režima, a ne i potpuno sprječavanje prodora mora u Vransko jezero.



Slika 7: Bliži pogled na lokaciju kanala Prosika i izvor Jugovir (izvor: Google Earth)



Slika 8: Kanal Prosika (izvor: Hidromodeling d.o.o. 17.2.2021.)



Slika 9: Izvor Jugovir (izvor: Hidromodeling d.o.o. 17.2.2021.)



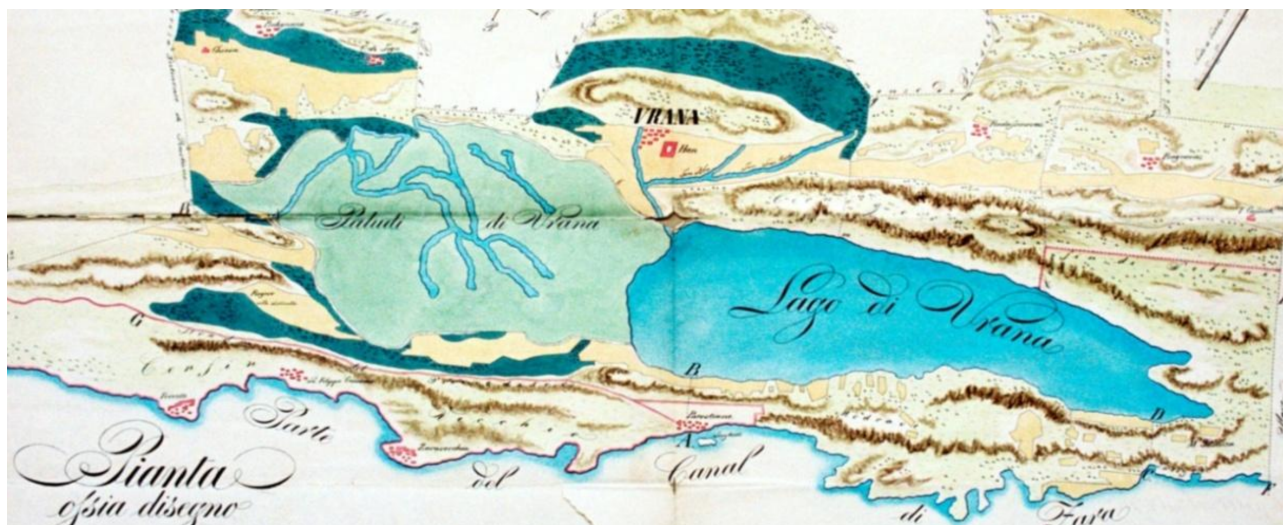
Slika 10: Kamena vrša na lokaciji u blizini izvora Jugovir (izvor: Hidromodeling d.o.o. 17.2.2021.)

1.2 Pregled dostupne literature i dosadašnjih zahvata na Vranskom jezeru

Primarni zadatak ovog idejnog rješenja je sagledati i analizirati više varijantnih rješenja kojima je moguće povećati razinu jezerske vode u sušnom razdoblju ili smanjiti dotoke morske vode u Vransko jezero otjecanjem voda kroz kanal Prosiku.

Navedena problematika prepoznata je i ranije, te će se u nastavku ovog poglavlja sagledati do sada razrađena dokumentacija, kao i izvedeni zahvati na području Vranskog jezera.

Pregled zahvata na Vranskom jezeru vrijedi započeti s prokopom kanala Prosika, koji ujedno predstavlja i najznačajniji zahvat na Vranskom jezeru. Naime, upravo je navedeni zahvat imao najveći utjecaj na izmjenu dotadašnjeg stanja jezera i okolnog područja, te kao prilog toj tvrdnji vrijedi sagledati stanje kakvo je bilo prije samog prokopa. Naime, područje sjeverozapadno od Vranskog jezera do izvora Kakma i Kutjin stan bilo je močvarno, te se je nazivala Vranska močvara ili Vransko blato (današnje Vransko polje). Površina navedenog močvarnog područja bila je slična površini Vranskog jezera te se može vidjeti na slici 11 pod talijanskim nazivom Paludi di Vrana.

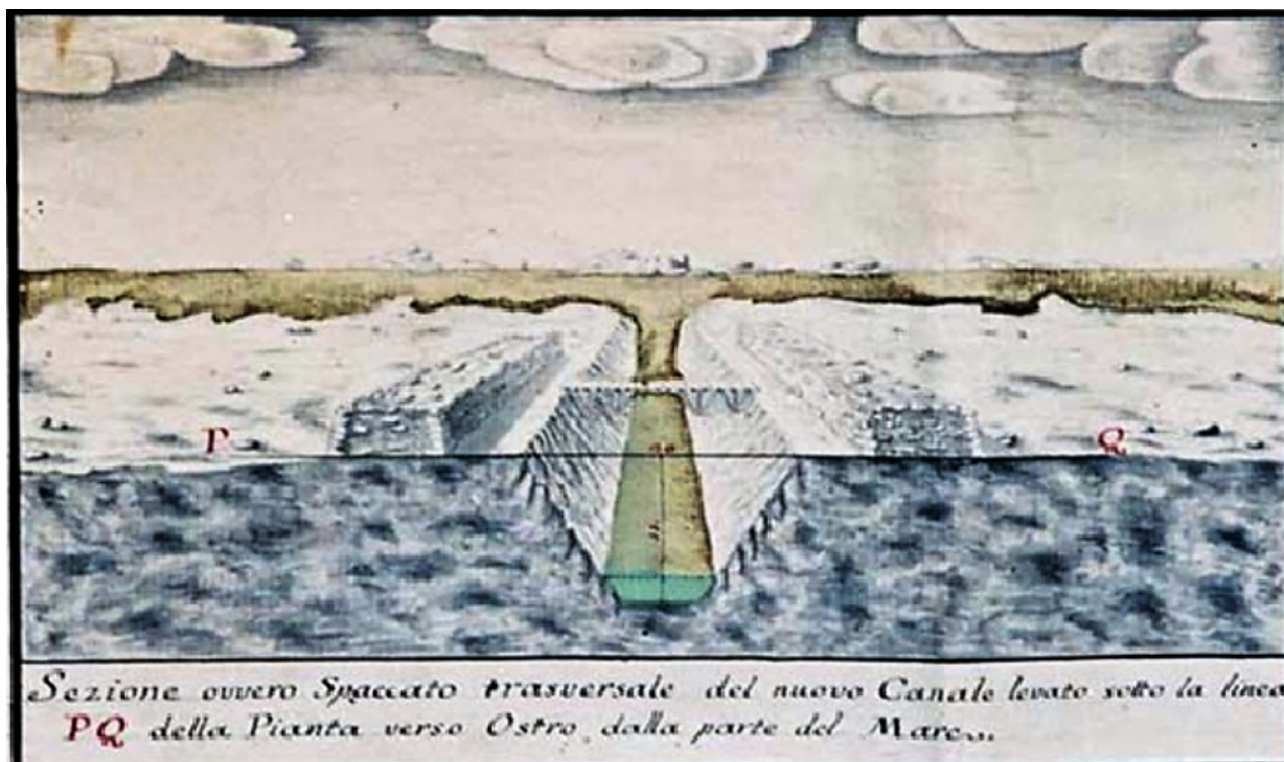


Slika 11: Vranska močvara oko 1760. godine (arhiva Borelli)

Navedeni projekt hidrotehničkog zahvata prokopa kanala započeo je conte Francesco Borelli koji je odlukom Senata Republike Venecije dobio u posjed Vranski feud. Navodno je zahvat rezultirao jednokratnim spuštanjem razine jezera za 3 m, te se je time isušilo veliko poplavno područje Vranskog polja. Takva tvrdnja o spuštanju razine cijelog jezera u iznosu od 3 m najvjerojatnije je pogrešna. Naime, kanal Prosika u to vrijeme bio je širine 4 m (presjek prvotno izvedenog kanala prikazan je na slici 12), s doduše nepoznatom kotom dna, no izvjesno je da je bila povišena u odnosu na sadašnje stanje. Samim time, vjerojatnije je da se je dogodilo snižavanje visokih razina voda u jezeru koje su dotada uzrokovale stalno zamočvarenje prostora Vranskog polja [15].

Vrijedno je spomenuti da je uz kanal Prosiku, odnosno tadašnji kanal Tatinje (prvotni naziv za kanal Prosiku), bio predviđen i drugi kanal kod Pakošтана, ali nije realiziran.

Kanal Prosika je krajem 19. stoljeća u manjem obujmu produbljen, a početkom 20. stoljeća obnovljen. Sredinom 20. stoljeća (od 1948. - 1953. godine) izvršeno je proširenje dna kanala na sadašnjih 8 m [8] i [9].

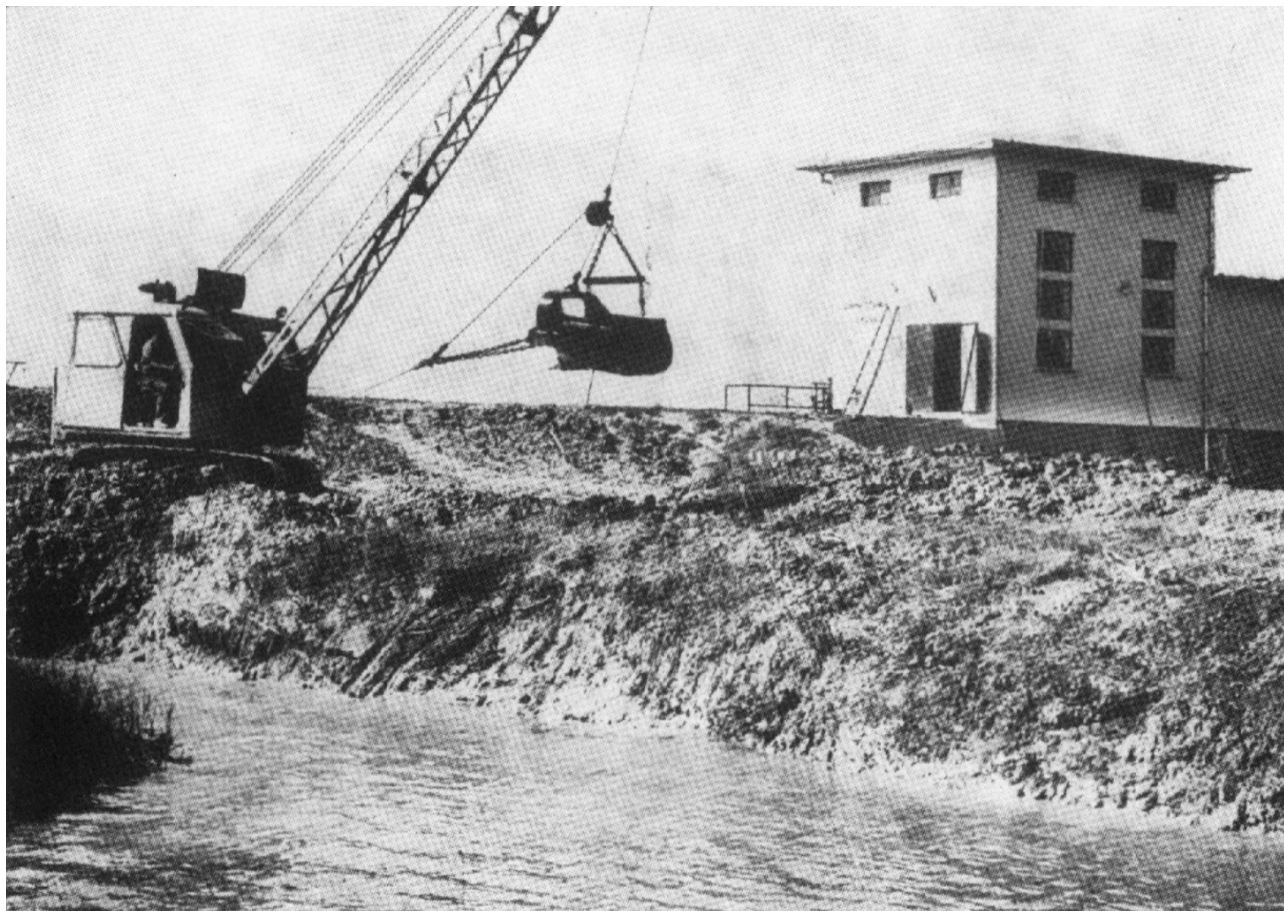


Slika 12: Poprečni profil kanala Prosika iz 18. stoljeća (arhiva Borelli)

Svakako vrijedi istaknuti kako se je još tijekom druge polovice 18. stoljeća, dakle neposredno po izgradnji samog kanala, započelo s izgradnjom odvodnih kanala, odnosno hidromelioracijskog sustava na području tadašnjeg Vranskog blata. Isprva su prokopana dva kanala naziva Borela i Koferčica, a zatim se sustav proširivao.

Godine 1967. podignut je obrambeni nasip uz cestu Vrana-Pakoštane, te je 1970. godine dovršena mreža odvodnih kanala i sagrađena Crpna stanica Jasen ukupnog kapaciteta $3 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2 \times 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$) [8]. Crpna stanica, čija je funkcija da održava razinu vode niže od visokih poplavnih voda Vranskog jezera i Glavnog kanala, smještena je uz cestu, na kontaktu glavnog kanala i obrambenog nasipa te je prikazana na slici 13 i 14, zabilježenoj u sklopu obilaska terena za potrebe ovog elaborata.

Godine 1973. napravljen je glavni projekt "Ustava na kanalu Prosika" [10], u kojem se navodi da je svrha predviđene ustave omogućiti regulaciju režima vodostaja u jezeru, odnosno održavanje vodostaja na željenoj visini. Tim projektom predviđeno je da se izgradnjom ustave omogući prikupljanje



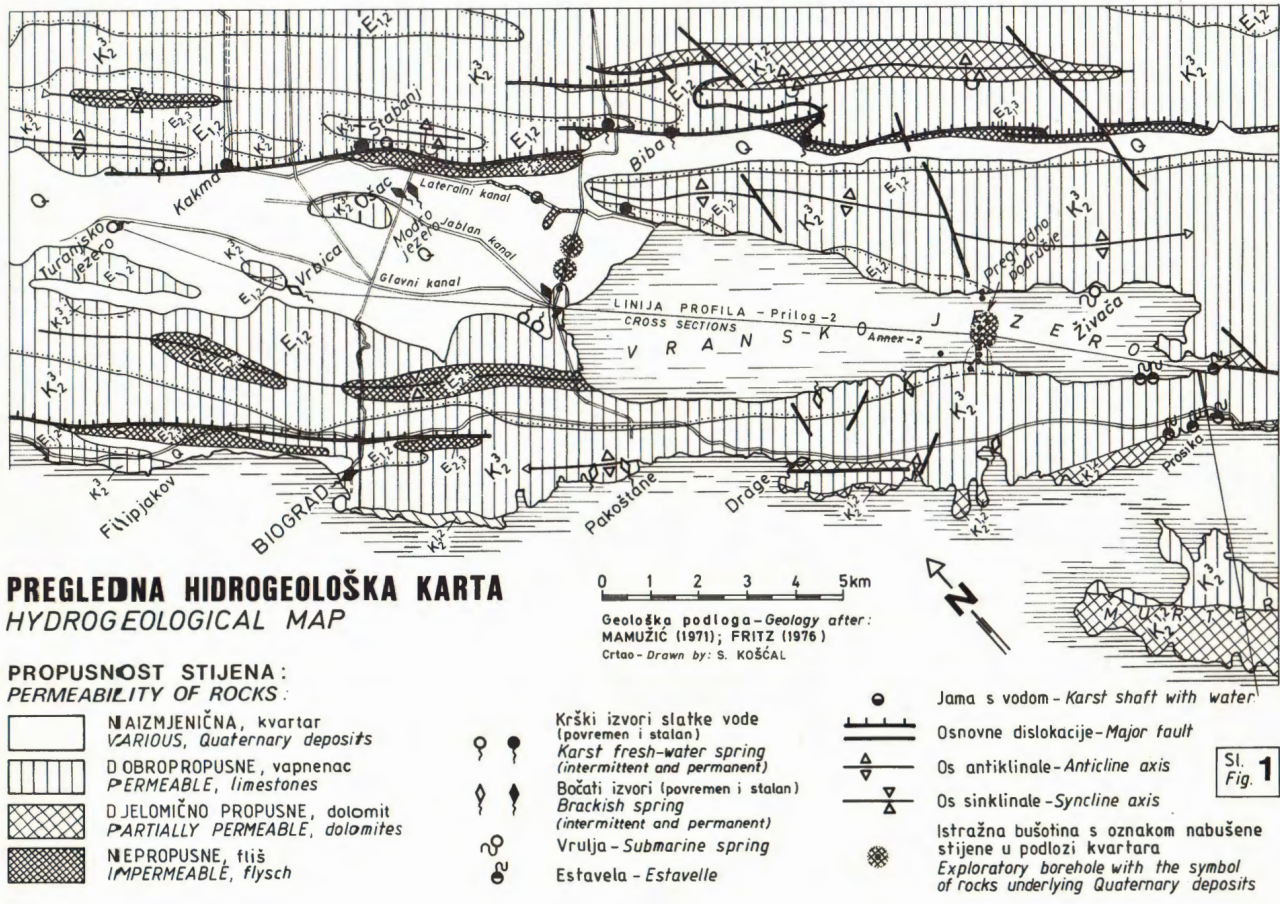
Slika 13: Izgradnja crpne stanice Jasen (izvor: [8])

većih količina nezaslanjene vode u samom jezeru, koja bi se onda mogla koristiti za navodnjavanje poljoprivrednih površina Vranskog polja, kao i za povoljniji razvoj ribarstva. Uz ustavu bila je predviđena i ribolovna naprava za ulov ribe i ribolovna staza koja je bila u sastavu objekta ustave. Lokacija ustave bila je predviđena na ulaznom dijelu kanala sa strane jezera što se može vidjeti na slici 15.

Svakako vrijedi istaknuti nerealiziranu ideju pregradnje Vranskog jezera, te akumulacije u dijelu Vranskog polja [19] koja je bila aktualna sredinom sedamdesetih i osamdesetih godina 20. stoljeća. Tim zahvatom bi se odvojila jugoistočna zona jezera koja je u izraženijem kontaktu s morem, od sjeverozapadne zone koja bi u tom slučaju preuzela funkciju zaliha slatke vode, te bi se u tom smislu mogla koristiti za potrebe navodnjavanja i vodoopskrbe. Studijom Elektroprojekta [3] duljina brane iznosila je 1522 m, s kotom krune na 4,5 m n.m. i 6 m širine.

U okviru hidrogeološke studije Vransko jezero kod Biograda (Geološki zavod, 1974) te hidrogeološke studije Ravni kotari - Bukovica (Geološki zavod, 1976) provedena su detaljna istraživanja geologije i hidrogeologije Vranskog jezera i okolnog područja. Na slici 16 dana je pregledna hidrogeološka karte objavljena u Geološkom vjesniku [6].

Fritz: Vransko jezero



Slika 16: Pregledna hidrogeološka karta (izvor: [6])

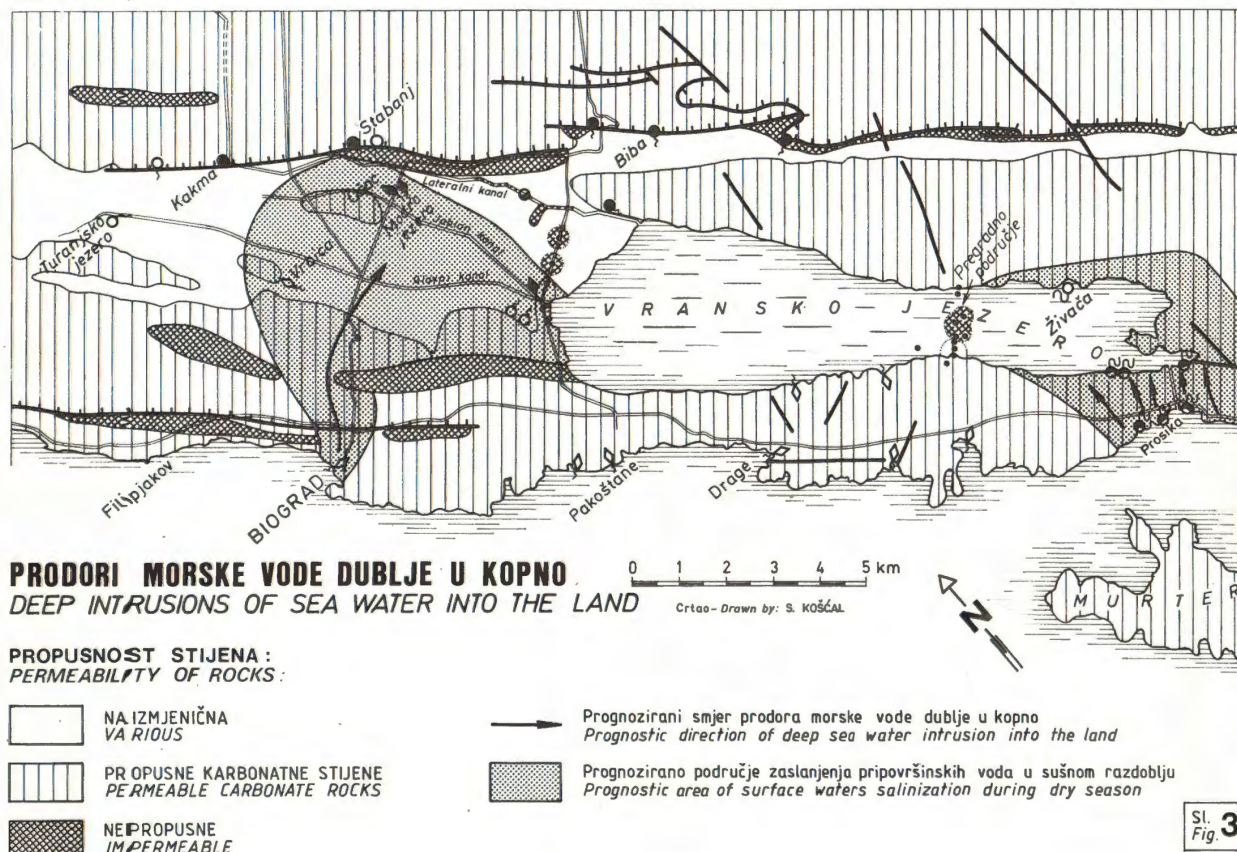
polju zaslanjuju iz područja Biograda, te da nadvišenje vode u dijelu Vranskog jezera neće utjecati na desalinizaciju bočatih izvora u Vranskom polju budući da je bilo predviđeno i tehničko rješenje otješnjenja jezera. Zaključeno je da se izgradnjom pregrade jezero više neće zaslanjivati budući da se prodor mora u kopno odvija izvan uplivnog područja projektirane akumulacije.

Na ovom mjestu se valja osvrnuti da su novija hidrogeološka istraživanja ipak izmijenila pretpostavke o nepropusnosti dna Vranskog jezera, te porijeklu, kao i mjestu prodora zaslanjenja. U tom smislu doticaj slane i slatke vode te njihovo miješanje se odvija u prostranoj zoni u podzemlju.

Nova faza u ostvarenju izgradnje brane bila je izvedba probnog polja čija je funkcija bila osigurati dodatne terenske podatke o mogućnosti temeljenja (Geoexpert, 1988). Rezultati tog probnog polja ukazali su da bi temeljenje za branu moralo biti značajno većih dubina od prvotno predviđenih, do otprilike 10 do 12 m ispod morske razine. Samim time radovi bi bili značajno skuplji od predviđenih, te je investicija ocijenjena kao nerentabilna.

Vrijedi spomenuti da se je ideja izgradnje brane ponovo aktualizirala za vrijeme Domovinskog rata,

Fritz: Vransko jezero



Slika 17: Kartografski prikaz prodora morske vode dublje u kopno (izvor: [6])

kada su bila okupirana brojna izvorišta vode u priobalju. U tom smislu vrijedi izdvojiti dokument "Prethodna studija utjecaja na okoliš akumuliranja vode Vranskog jezera" [14] u kojoj se razmatralo i o drugačijim načinima temeljenja. Jedna od razmatranih varijanti bila je izgradnja pregrade Babin škoj u duljini od 400 m kojom bi se zona najvećih prodora mora oko izvora Jugovir i Prosike odvojila od većine Vranskog jezera. Druga razmatrana varijanta bila je izgradnja ustave na početku kanala Prosika, što je bilo razmatrano dva desetljeća ranije [10].

Svakako valja napomenuti da se izgradnjom ustave ne bi mogla ostvariti slatkovodna akumulacija, već prvenstveno usporiti površinsko otjecanje voda kanalom Prosika [15]. Ideja izgradnje ustave na kanalu ponovo je aktualizirana na skupu "Hidrološka stabilizacija i očuvanje biološke raznolikosti slivnog područja Parka prirode Vransko jezero" održanog u organizaciji PP Vransko jezero 2003.

Godine 2008. napravljeno je idejno rješenje "Mehanička zapornica - Brana na kanalu Prosika" [16], koji je za cilj imao onemogućiti povrat slane vode iz mora u jezero te regulirati razinu vode u jezeru. U projektnom zadatku navodi se da je zbog jedinstvenosti ekosustava branu potrebno izvesti na način da ne remeti prirodno kretanje riba, jegulja i cipala, te se u tom smislu predvidjela riblja staza. Prvo moguće mjesto brane je u kanalu Prosika blizu ušća u more, na mjestu gdje se nalazi brana za

izlov ribe, 26 m nizvodno od cestovnog mosta prema moru. Za drugo moguće mjesto brane spominje se lokacija 100 m uzvodno od cestovnog mosta, jer je tamo kanal dublji te je moguće držati željeni nivo vode u jezeru i rezervnu visinu od 0,35 m za ispitivanje. Spominje se i da će se izgradnjom ustave omogućiti prikupljanje većih količina nezaslanjene vode koja se potom može koristiti u razne svrhe, kao što je navodnjavanje ili razvoj ribarstva. Investicija takve ustave procijenjena je na iznos od 1.375.000,00 kn.

Godine 2009. napravljeno je idejno rješenje "Preljevni prag s ribljom stazom u kanalu Prosika" [17] u kojem se navodi da je na zahtjev Javne ustanove "Park prirode Vransko jezero" u Biogradu na moru, potrebno u ljetnom razdoblju u što dužem vremenskom periodu omogućiti zadržavanja povišenih kota Vranskog jezera radi sprječavanja prenaplog spuštavanja nivoa vode u jezeru i njegovog prekomjernog zaslanjivanja.

Navodi se da je ranijim istraživanjima ustanovljeno da nivoi vode Vranskog jezera ovise o:

- dotjecanju u jezero koje se ostvaruje površinskim i podzemnim putem
- dotjecanju iz jezera koje odvija kanalom Prosika i podzemnim vezama mora i jezera
- gubicima vode uslijed isparavanja s površine jezera

Zaključuje se da se ulaženje mora u jezero kroz kanal Prosiku može zaustaviti izgradnjom preljevnog praga koji svojim položajem, oblikom i veličinom neće utjecati na istjecanje velikih voda iz jezera. S druge strane, ističe se da se izgradnjom praga ne može spriječiti zaslanjivanje jezerske vode kada je razina jezera niža od mora jer će more i dalje prodirati u jezero kroz propusni krški masiv zapadno od Prosike.

U dokumentu se navode sljedeći ciljevi koji bi bili postignuti izgradnjom praga:

- sprječavanje prodora mora prema jezeru
- omogućavanje istjecanje vode iz jezera bez pojave zavlačenja klina slane vode kanalom
- osiguravanje funkcioniranje preljevnog praga u ovisnosti o vodostajima i zadanim parametrima bez mogućnosti ručnog upravljanja
- uspostavljanje stalne vodene veze jezera i mora radi migracije riba u oba smjera

Predviđeno je da se betonski preljevni prag smjesti oko 36 m uzvodno od starog mosta na napuštenoj trasi Jadranske magistrale, te da se proteže u cijeloj širini kanala u dužini od 8,40 m. Širina praga

u kruni iznosi 0,25 m, a visina na središnjem dijelu u duljini od 1 m iznosi 0,8 m n.m., te postepeno raste na visinu od 0,95 m n.m. na krajnje lijevom i desnom dijelu praga.

Napomena

Koordinatni sustav korišten u dokumentu "Preljevni prag s ribljom stazom u kanalu Prosika" [17] i predmetnom projektu se razlikuju. Naime, kota krune praga u dokumentu "Preljevni prag s ribljom stazom u kanalu Prosika" iznosi 0,80 m n.m., dok u ovom projektu ta ista kota iznosi 0,41 m n.m., što je definirano geodetskim izmjerama Vodoprivredno-projektnog biroa d.d. iz 2014. godine preuzetih iz [2]. Više o visinskim sustavima navedeno je u poglavlju 1.4.

Na preljevni prag nastavlja se riblja staza koja se proteže sve do starog mosta s nagibom od 2,19 % od uzvodne kote 0,80 m n.m. (kota praga u sredini krune) do nizvodne kote 0,21 m n.m. Riblja staza je od betona C 16/20 s uronjenim kamenom koji ima funkciju usporavanja toka vode kako bi se stvorili povoljni uvjeti za migraciju ribe.

Opisano rješenje preljevnog praga i riblje staze je i izvedeno u istoj godini te je prikazano na slici 18 u suhom koritu Prosike, te slici 19 za vrijeme protoka vode kroz kanal Prosiku.

Iste godine rađena je i studija "Hidrološka istraživanja na području Parka prirode Vransko jezero u kontekstu procjene mogućnosti zaštite jezera od zaslanjivanja" [4], koja predstavlja sintezu tadašnjih saznanja o hidrološkom mehanizmu funkcioniranja Vranskog jezera i uz njega vezanom hidrotehničkom sustavu Vranskog polja. U dokumentu se navodi da je prokopavanjem kanala Prosika i melioracijom nekadašnjeg Vranskog polja došlo do velikih promjena priobalnih značajki tog područja, što u novije vrijeme donosi i sve više negativnih posljedica. Spominje se i da je Vransko jezero jedno od rijetkih lokaliteta gdje se zapažaju utjecaji klimatskih promjena gdje je zabilježen trend porasta razina vode unatoč prisutnom trendu opadanja protoka. U hidrološkom smislu kao početno rješenje spominje se podizanje praga na kanalu Prosika, poštujući pri tom ograničenja vezana za funkcionalnost melioracijskog sustava i njegove zaštite od velikih voda Vranskog polja. Drugim riječima, ovom studijom ukazalo se je da je izvedba preljevnog praga tek prvo u nizu rješenja kojima je cilj poboljšanje vodnog režima u funkciji smanjenja zaslanjenja.

Godine 2010. izdan je dokument "Smjernice za održavanje povoljnog vodostaja Vranskog jezera za faunu riba" [11] u kojem se navodi kako je vodostaj u jezeru potrebno održavati kako bi se osigurao što dulji period u godini kad voda ostaje prisutna u Zoni I. (koja obuhvaća priobalne šašave i jezersku padinu) jer to područje ribe koriste za mrijest i aktivno hranjenje. Povoljni režim bio bi ako bi se voda u Zoni I. zadržavala i kroz najsuše ljetne mjesece. Također, vodostaj u jezeru preporuča se održavati kako bi se osiguralo proljetno poplavljanje Zone I. i nižih dijelova oko jezera jer tu riba dolazi na mrijest (ožujak - travanj).



Slika 18: Preljevni prag s ribljom stazom na kanalu Prosika u suhom koritu (izvor: fotografija iz arhiva PP Vransko jezero)

U istoj godini napravljena je "Stručna ornitološka studija za potrebe izgradnje zapornice" [20] u kojoj se navodi da bi planirana zapornica na kanalu Prosika imala višestruk utjecaj na zajednicu ptica te bi:

- omogućila održavanje visokog vodostaja u sezoni gniježđenja i time osigurala uvjete za gniježđenje i hranjenje čaplji, vranaca, pataka i drugih vodenih ptica
- održavala stalnu razinu vode na poplavljenim travnjacima tijekom sezone gniježđenja i time osigurala uvjete za gniježđenje štijoki, kao i hranilište za vrste kao što su ibisi i čaplje
- spuštanje razine vode nakon sezone gniježđenja omogućilo pojavu sprudova i stvaranje zona s različitim dubinama vode koje bi omogućile hranjenje različitim vrstama vodenih ptica
- odgovarajuća dinamika vode pogodovala opstanku gustih trščaka, koji su važna skrovišta i hranilišta mnogim preletnicama i zimovalicama

Drugim riječima iz navedenih dokumenata proizlazi da bi se upravljanjem vodostajem Vranskog



Slika 19: Preljevni prag s ribljom stazom na kanalu Prosika za vrijeme protoka vode kroz kanal (izvor: Hidromodeling d.o.o. 17.2.2021.)

jezera moglo pozitivno utjecati na biljni i životinjski svijet.

U 2011. godini izrađena je studija "Vransko jezero kod Biograda - procjena utjecaja praga na zaštiti jezera od zaslanjivanja i ocjena ekološki prihvatljivog protoka površinskih pritoka" [5] u kojoj se navodi da nadvišenje kote dna kanala nije izazvalo probleme s evakuacijom površinskih voda iz hidromelioracijskog sustava Vranskog polja. Nadalje, ističe se da je provedeno nadvišenje imalo ograničen pozitivan učinak na smanjenje cirkulacije mora u vodni sustav Vranskog jezera te da su prvenstveno smanjeni neposredni prodori, ali da ostaje prisutna infiltracija mora kroz bokove i dno kanala. U studiji se predlaže da se prilikom planiranja izgradnje II. faze (opremanja praga pokretnom zapornicom) provede i razmatranje daljnjih mogućnosti smanjenja cirkulacije morske vode kanalom Prosika.

U pregledu literature svakako valja istaknuti i doktorski rad prof.dr. sc. Josipa Rubinića s naslovom *Vodni režim Vranskog jezera u Dalmaciji i klimatski utjecaji* [15], u kojem su analizirani vodni režim Vranskog jezera, trendovi oborina, vodna bilanca jezera, temperatura zraka, dotoci u jezero te

kolebanja razine jezera, mora i sadržaj klorida. U radu je utvrđeno da je Vransko jezero vodni resurs u kojem se već u sadašnjosti osjeća utjecaj klimatskih promjena. Napravljena je metodologija za ukupnu ocjenu dotoka u jezero i gubitaka vode iz jezera, koji se zbog krških značajki sliva i jezerskog prostora samo djelomično prate, te je izrađen model za ocjenu ukupnih godišnjih dotoka u jezerski sustav u uvjetima očekivanog nastavka klimatskih promjena do 2100. godine.

U 2016. godini napravljen je idejni projekt "Zapornica na kanalu Prosika na Vranskom jezeru" [18] na prijedlog Javne ustanove Park prirode Vransko jezero kao korisnika i suupravljača Vranskog jezera. Kao cilj navedenog zahvata u projektnom zadatku navodi se kontrola istjecanja vode iz Vranskog jezera, odnosno usporavanje opadanja nivoa vode u jezeru i kontrolirano upravljanje nivoom vode, sprječavanje direktnog prodora mora u jezero putem odvodnog kanala kao i kroz njegove stijenke, te nesmetana migracija riba između mora i jezera. S tim u cilju predviđeni su sljedeći zahvati:

- izgradnja zapornice
- rekonstrukcija korita kanala s ciljem osiguranja vododrživosti kanala (dna i obala)
- izgradnja riblje staze u sklopu zapornice

Za svaki od navedenih zahvata bilo je predviđeno da se napravi više varijantnih rješenja.

Zapornicom je trebalo osigurati režim upravljanja vodostajem kojim bi se postigao uspor istjecanja vode iz jezera u razdoblju kada je nivo vode visok, a da se pritom ne ugrozi postojeći hidrotehnički sustav na Vranskom polju.

Pregledom projektne dokumentacije ustanovljeno je da nije izrađen hidraulički model za potrebe simulacije vodnog lica za postojeće ni buduće stanje, kao niti varijantna rješenja ustave, rekonstrukcije korita kanala, te riblje staze. Isto je utvrđeno i prilikom izrade glavnog projekta zapornice.

U nastavku će se ukratko opisati odabrana ustava i rekonstrukcija korita, dok nam riblja staza nije od interesa, budući da se od nje u međuvremenu odustalo.

Odabrano tehničko rješenje ustave sastoji se od tri protočna polja i slapišta. U tom smislu konstruktivni dio ustave čine dva stupa sa žljebovima za smještaj 3 tablaste zapornice, obalnih krilnih zidova i poslužnog mosta. Ustava je tlocrtnih dimenzija $b / d = 11,65 / 10,40$ m, dok visina iznosi $h = 3,30$ m mjereno od kote vrha ploče slapišta do kote poslužnog mosta. Širina kanala na mjestu ustave proširena je na 8,90 m radi osiguranja dovoljne protočnosti kroz kanal.

Tehničkim rješenjem obloge kanala predvidjelo se da se kanal oblaže oblogom debljine $d = 40 - 60$ cm, od čega je debljina konstruktivnog betona 25 - 45 cm, a kamene obloge minimalno 15 cm.

Konstrukcija kanala predviđena je od vodonepropusnog betona klase C30/37 armiranog mrežastom armaturom. Vodrživost kanala predviđena je na cijeloj dužini kanala respektirajući minimalne i maksimalne vodostaje u kanalu.

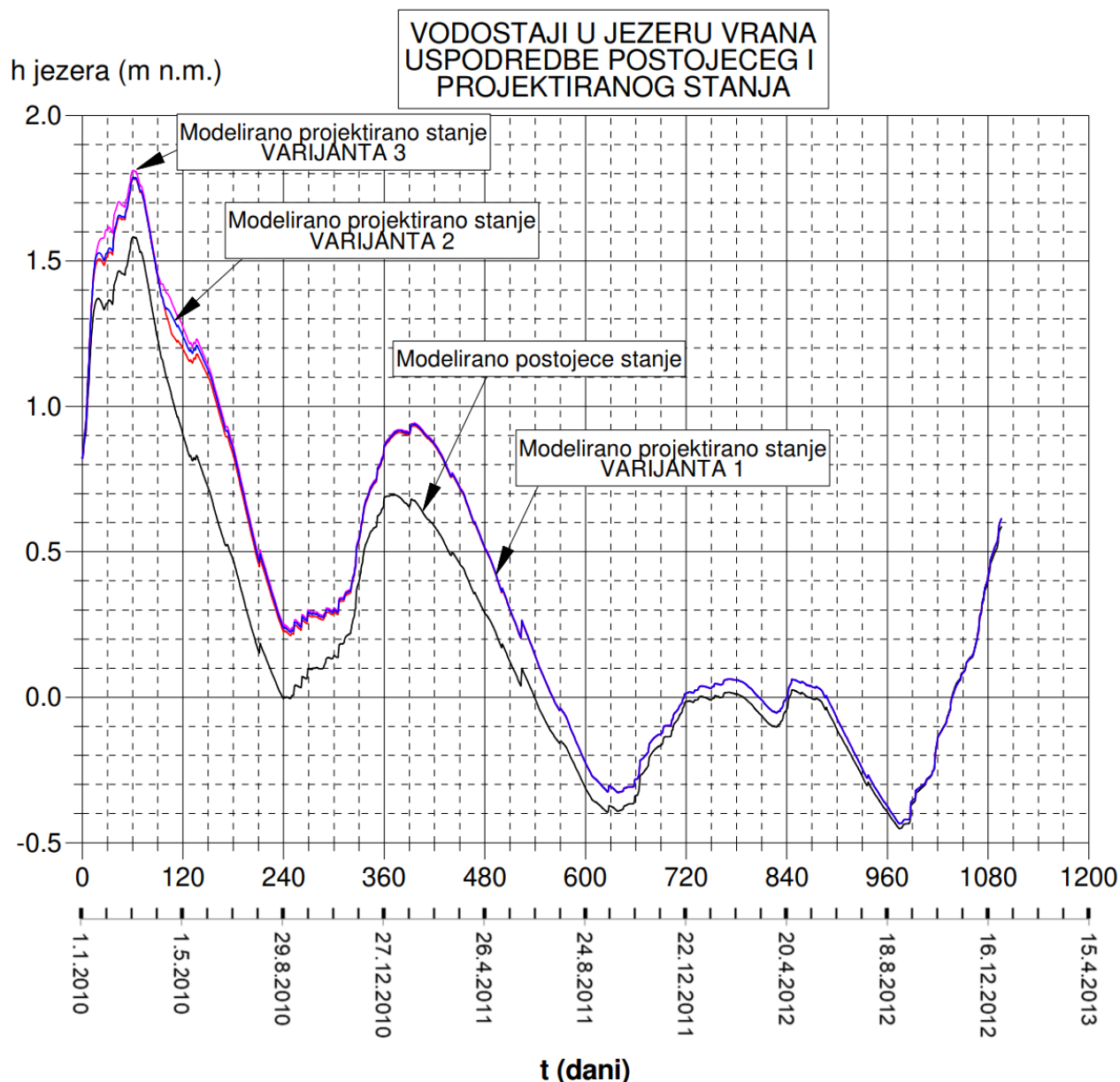
Po završetku idejnog projekta ishođena je lokacijska dozvola (Klasa: UP/I-350-05/15-01/000050, Ur. b. 2182/1-16-16-0011) od 16.12.2016., te se je na temelju njih pristupilo izradi glavnog projekta koji je i napravljen u 2019. godini [2].

U sklopu navedenog glavnog projekta izrađen je i hidraulički model za potrebe simulacije vodnih lica na Vranskom jezeru. Izrađivači glavnog projekta upućuju na određene manjkavosti idejnog projekta u pogledu usvojenih tehničkih rješenja. Između ostalog napominju da je provedenom analizom dostupnih podataka ustanovljeno da od kad je izgrađen prag u kanalu, more kroz predmetni kanal više ne ulazi površinskim putem u jezero te da se izgradnjom zapornice neće spriječiti prodor morske vode u jezero budući da se isti događa podzemnim putem. U tom smislu spominju da će učinak izgradnje zapornice biti neznatna pojava uzastopnih sušnih godina, a da će se istovremeno stvoriti i neželjeni uspor koji može rezultirati plavljenjem poljoprivrednih površina. Uz to navodi se da je analiza pokazala da će se u pokušaju održavanja viših razina vode u jezeru intenzivirati procjeđivanje kroz bokove, budući da je isto u funkciji razlike u vodostajima jezera i mora.

U sklopu analize utjecaja zapornice na stanje voda u jezeru napravljene su 3 varijante algoritma rada zapornice te je njihov utjecaj na razinu vode u odnosu na postojeće stanje prikazan na slici 20. Na slici je jasno vidljivo da značajnije razlike između varijanti koje su obrađivali nema. U zaključku poglavlja hidrauličkog proračuna navodi se da je osnovna ideja Idejnog projekta bila zadržavanje vode u Vranskom jezeru smanjenjem gubitka vode kroz dno i bokove kanala Prosika, te smanjivanje gubitaka vode istjecanjem kroz kanal u more. U kontekstu slike 20 navodi se da bi se u slučaju postojanja zapornice najveći efekti povećanja vodostaja postigli u 2010. godini koja je ionako bila relativno bogata oborinama, te bi voda u jezeru bila oko 20 cm viša u odnosu na postojeće stanje. Nadalje, za 2011. godinu to povišenje bi iznosilo oko 10 cm, dok bi za 2012. godinu iznosilo 2-3 cm.

Uz navedeno, u zaključku se navodi da bi se oblaganjem kanala betonom i kamenom smanjio poprečni presjek kanala i njegov kapacitet. U tom smislu prikazali su krivulje protoka iz kojih je vidljivo smanjenje kapaciteta kanala u projektiranom stanju u odnosu na postojeće stanje. Za pogonsku hidrauličku hrapavost postojećeg stanja usvojili su vrijednost od 40 mm, dok su za projektirano stanje usvojili vrijednost od 15 mm. Ustanovili su da se za istu protočnost vodostaji u kanalu podižu za 30 cm, odnosno za isti vodostaj smanjuje se protočnost kanala za oko 3.5 do 4 m³/s.

Ukupna vrijednost investicije izgradnje zapornice te oblaganja korita Prosika procijenjena je na 9.900.000,00 kn bez PDV-a, odnosno 12.375.000,00 kn s PDV-om.

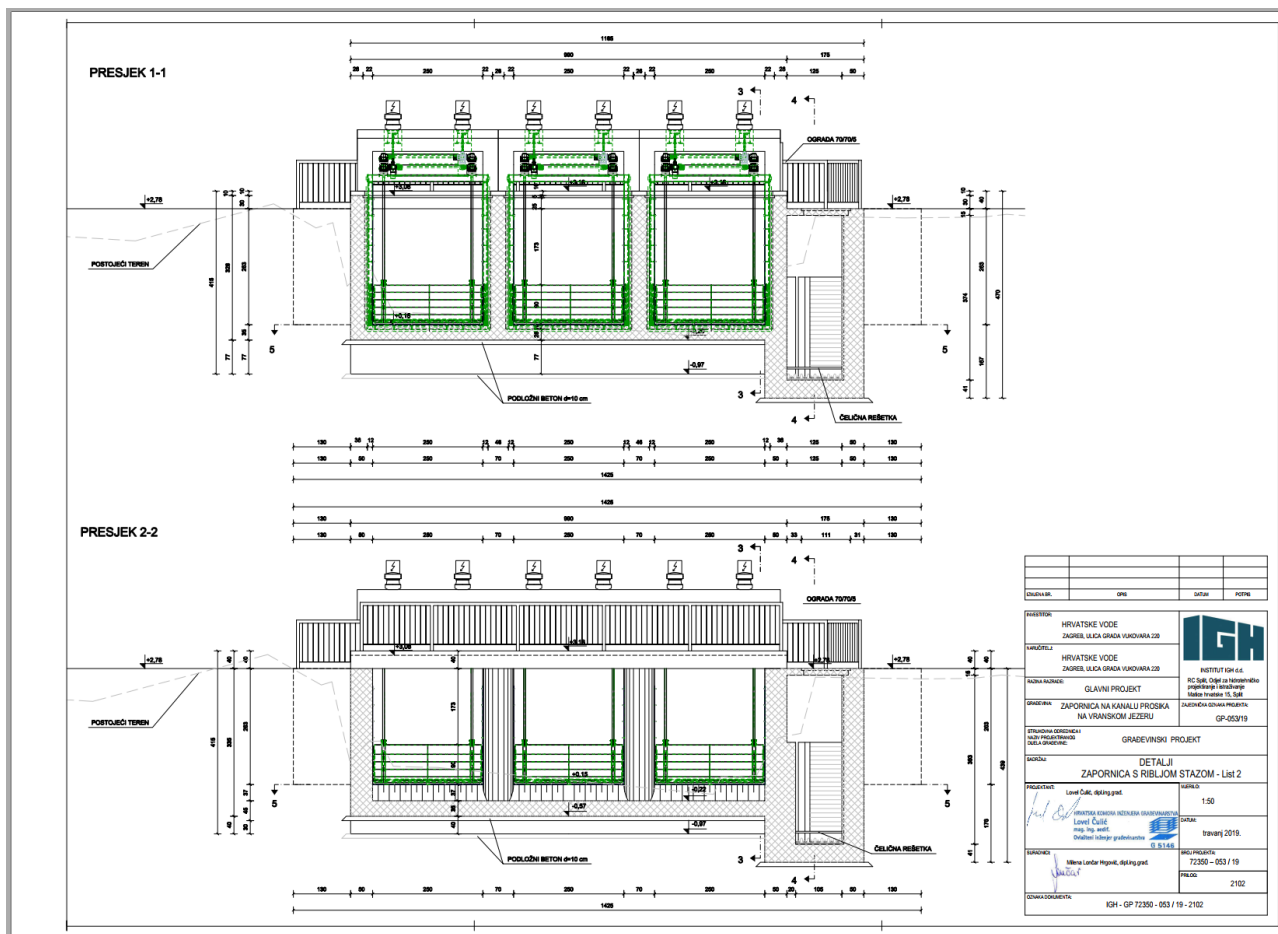


Slika 20: Rezultati modeliranja postojećeg i projektiranog stanja vodostaja u Vranskom jezeru [2]

Tehničko rješenje zapornice s ribljom stazom, odnosno prikaz presjeka prikazan je na nacrtima [21](#) i [22](#).

Nakon navedenog glavnog projekta zapornice kao idući iskorak napravio se projektni zadatak koji je ujedno i predmet ovog projekta. Pritom, potrebno je naglasiti da se je u međuvremenu odustalo od riblje staze, koja je u prethodnim tehničkim dokumentacijama bila preduvjet bilo kakvim tehničkim zahvatima na kanalu Prosika.

U tom smislu prilaže se mail korespondencija sa stručnom voditeljicom Javne ustanove Park prirode Vransko jezero Majom Čuže Denona, dipl. ing. biol. (slika [23](#)).



Slika 22: Prikaz poprečnog presjeka zapornice s ribljom stazom [2]

i Glavni kanal Kotarka) i njihovo utjecajno područje. Ujedno u dokumentu se navode pojedini elementi praćenja stanja kakvoće površinskih i podzemnih voda kako bi se mogao razmotriti utjecaj navodnjavanja na kakvoću površinskih i podzemnih voda.

Planirane su dvije tehnički nezavisne cjeline - podsustav Gorčine (915 ha) i Malo Blato (500 ha) koje zahvaćaju vodu za navodnjavanje iz Lateralnog i Glavnog kanala Kotarka te je dovode do pripadajućih akumulacija i distribuiraju po navodnjavanim poljoprivrednim površinama. Postojeće stanje obuhvaća četiri veća sustava navodnjavanja i to Jankolovica, Sokoluša, Tinj i PZ Nova Zora s oko 709 ha te nezavisne individualne sustave zahvata iz bunara po rubu polja, te zahvaćanjima voda s izvora koji se nalaze van vodoopskrbnog sustava te njihovim periodičnim transportiranjem do navodnjavanih površina putem traktorskih cisterni.

Na slici 24 je prikazan položaj planiranih akumulacija, navodnjavanih površina i granica PP Vransko jezero. Akumulacija Malo Blato planiranog volumena 2,08 milijuna m³ zahvaća vodu iz Glavnog kanala Kotarka, dok akumulacija Gorčine planiranog volumena 3,15 milijuna m³ zahvaća vodu iz Lateralnog kanala. Pritom planirano crpljenje iz navedenih kanala odvijalo bi se u ovisnosti o režimu

↩ Reply ↩ Reply All → Forward 📁 Archive 🗑 Junk 🗑 Delete More ▾

From Maja Čuže Denona | Park prirode Vransko jezero <maja.cuze.denona@pp-vransko-jezero.hr> ★

Subject **RE: Analiza varijantnih rješenja - Vransko jezero** 12/04/2021, 15:01

To 'Davor Stipanić' <davor.stipanic@hidromodeling.hr> ★

Cc 'Danijel Katičin | Park Prirode Vransko Jezero' <ravnatelj@pp-vransko-jezero.hr> ★

Poštovani,

osim zaključka iz zadnjeg pasusa zapisnika kojeg šaljem u prilogu nemamo nikakvu pismenu korespondenciju. Možda bi dovoljno bilo obrazloženje iz zapisnika i moja riječ da su konzultacije s navedenim predstavnicima obavljene (Aljoša Duplić – ravnatelj Zavoda za zaštitu okoliša i prirode, MINGOR i doc.dr.sc. Zoran Marčić - zoologijski zavod Biološkog odsjeka PMF-a Sveučilišta u Zagrebu). Srdačan pozdrav,

Maja Čuže Denona

From: Davor Stipanić <davor.stipanic@hidromodeling.hr>
Sent: Monday, April 12, 2021 2:18 PM
To: ravnatelj@pp-vransko-jezero.hr; Maja Čuže Denona <maja.cuze.denona@pp-vransko-jezero.hr>
Subject: Analiza varijantnih rješenja - Vransko jezero

Poštovani,

Vezano za odustajanje od riblje staze na kanalu Prosika, imate li kakav službeni dokument/korespondenciju sa ministarstvom, kako bismo isto mogli uključiti u projektnu dokumentaciju.

Unaprijed hvala!

Lp,

--

Davor Stipanić

Hidromodeling d.o.o.
Radmile Matejčić 10
51000 Rijeka
GSM: +385(0) 913 233 132

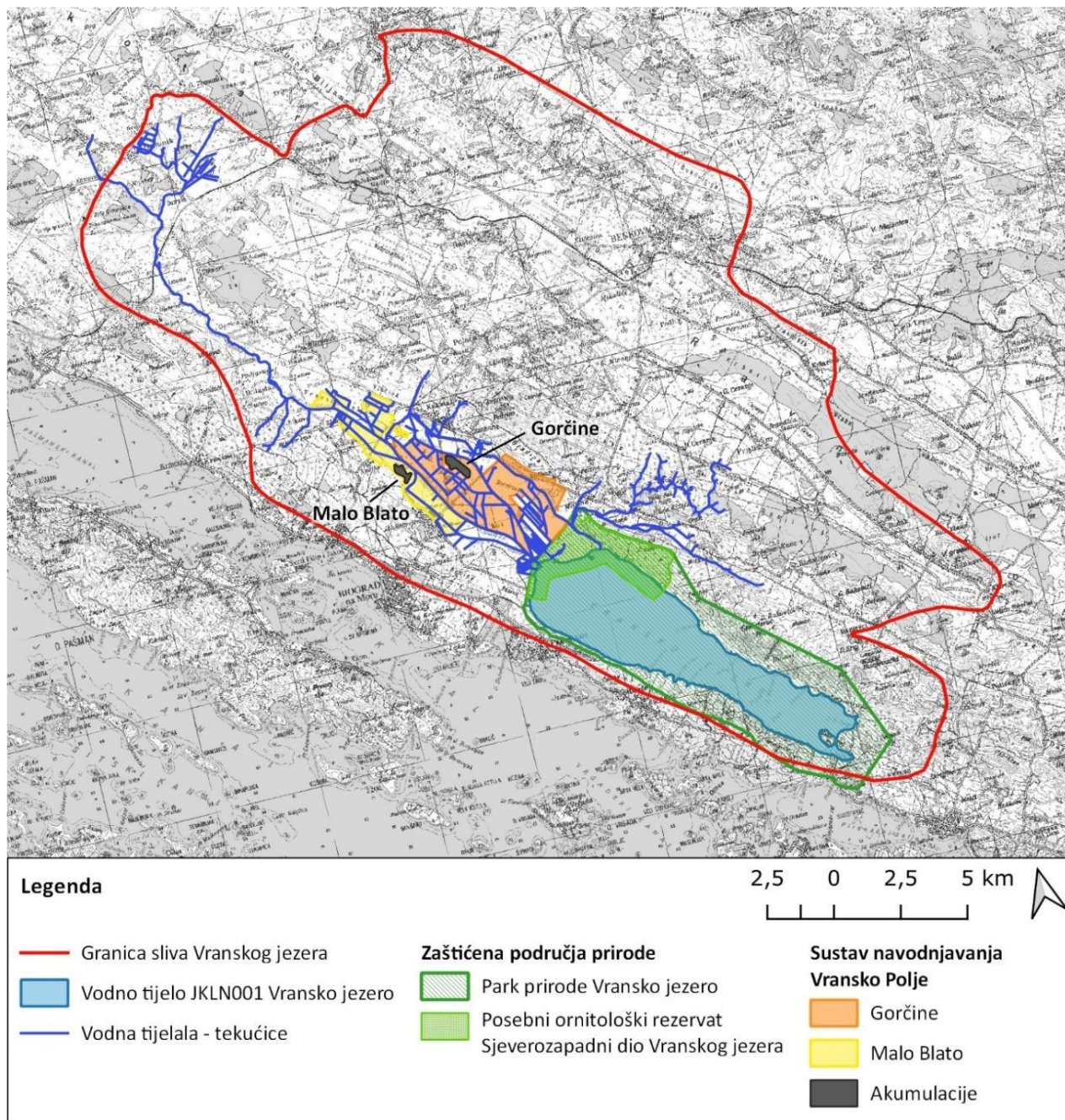
www.hidromodeling.hr

> 📎 1 attachment: Zapisnik 23012020 zapornica.docx 22,3 KB 📁 Save ▾

Slika 23: Mail korespondencija vezana za odustajanje od riblje staze

dotoka i stanju u akumulacijama, ali i o stanju u Vranskom jezeru, sukladno Mjerama zaštite okoliša i Mjerama ublažavanja utjecaja na ciljeve očuvanja i cjelovitosti ekološke mreže te Programu praćenja stanja okoliša i ekološke mreže.

U dokumentu se navodi i da je radi smanjenja rizika pojave situacije s nemogućnosti zahvaćanja voda nužno s planiranom izgradnjom sustava za navodnjavanje realizirati i zaštitne mjere na Vranskom jezeru izgradnjom zapornice i uređenja kanala Prosika, te da je potrebno osigurati njegovo djelomično



Slika 24: Pregledna situacija sliva Vranskog jezera i položaj planiranog Sustava navodnjavanja Vransko polje - I faza [7]

otješnjenje, kao i povećanje kapaciteta za evakuaciju velikih voda.

1.3 Metodologija analize

Razrada idejnog rješenja *Analiza varijantnih rješenja za poboljšanja stanja vode u Vranskom jezeru i kanalu Prosika* iziskuje formiranje matematičkog modela toka koji obuhvaća sve relevantne hidrauličke i hidrološke procese koji utječu na izmjenu mase vode u Vranskom jezeru. Drugim riječima, jedino adekvatnim numeričkom modelom toka vode unutar predmetnog područja se mogu blagovremeno ispitati različiti scenariji toka odnosno varijante zaštite od zaslanjenja koji se postižu različitim hidrauličkim karakteristikama sustava.

S obzirom na prethodno navedeno, numerički model toka mora uključivati parametre s kojima se definiraju različite geometrijske karakteristike toka u kanalu Prosika kako bi se osigurali preduvjeti za ispitivanja različitih varijantnih rješenja s kojima se štiti Vransko jezero od zaslanjivanja.

Napomena

U svrhu kompariranja i validiranja ispitanih varijantnih rješenja zaštite, dobro je istaknuti kako je slanost vode u Vranskom jezeru mjerodavna veličina za iskazivanje ocjene uspješnosti svakog ispitivanog varijantnog rješenja zaštite. Iako je predmetni hidrološko-hidraulički sustav okarakteriziran s više varijabli i parametara toka, slanost vode u jezeru se u konačnici koristi kao jedini indikator učinkovitosti zaštite varijantnog rješenja.

Sve prethodno navedeno podrazumijeva korištenje adekvatnog numeričkog modela koji uključuje sve relevantne procese na predmetnom području, ali koji je ujedno i validiran te potom kalibriran. U tu svrhu je neophodno da numerički model sadrži kalibracijske parametre putem kojih se modeliraju razmjene masa vode između jezera, mora i okolnog slivnog područja (kako površinskim tokom tako i podzemnim tokom). Kako bi se osigurali uvjeti za vjerodostojno modeliranje različitih varijantnih rješenja zaštite, te kvantificirao njihov učinak na promjenu razine vode u jezeru, neophodno je osigurati da su kalibracijski parametri odabrani na način da model može reproducirati vremensku promjenu razine jezera u vremenskom periodu unutar kojeg su poznate relevantne hidrauličke i hidrološke karakteristike predmetnog područja. Drugim riječima, prethodno korištenju numeričkog modela u prediktivne svrhe, potrebno je osigurati da isti može reproducirati izmjenu razine vode u jezeru koji su se desili u prošlosti.

S obzirom na prethodno navedeno, valja primijetiti kako je za kalibraciju numeričkog modela potrebno odabrati vremenski niz unutar kojeg će se kalibracijski parametri odrediti kako bi se reproducirala vremenska izmjena razine vode u jezeru. S obzirom da će se izrađeni numerički model koristiti za ispitivanje varijantnih rješenja zaštite, odnosno rješenja kod kojih se maksimizira razina vode u jezeru, najprikladniji izbor vremenskog perioda za kalibraciju modela je onaj u kojem se ostvarile najmanje razine vode u jezeru. Osim toga, u svrhu obrane od poplava potrebno je uključiti i razdoblja visokih

voda. Dakle, potrebno je koristiti sušni i vodni niz godina kako bi se provela kalibracija numeričkog modela. Numerički model koji može reproducirati vremensku varijaciju razine vode u sušnom i vodnom nizu godina se potom može koristiti kako bi se za isti niz godina te u istim hidrološkim i hidrauličkim uvjetima ispitala varijantna rješenja te njihov utjecaj na razinu vode u jezeru. Drugim riječima, predložena varijantna rješenja za isti vremenski niz moraju osigurati zadržavanje vode u jezeru te minimizirati opadanje razine vode uslijed izlivanja vode iz jezera, a u isto vrijeme spriječiti pogoršanje stanja u pogledu obrane od poplava.

S obzirom na važnost numeričkog modela, sve vezano za isti je detaljnije obrađeno u zasebnom poglavlju ovog elaborata. Završno, može se zaključiti da se metodologija izrade idejnog rješenja temelji na adekvatnom numeričkom modelu koji može vjerodostojno reproducirati vremensku varijaciju razine vode u jezeru za referentni vremenski period te na taj način osigurati preduvjete da se modeliraju različite varijante zaštite i kvantificira njihov učinak na izmjenu razine vode u jezeru. U tu svrhu je neophodno uvesti parametre numeričkog modela koji će se odnositi na različite aspekte predmetnog sustava, a koji se posebno odnose na rješenja zaštite jezera od zaslivanja. Izmjenom ovakvih parametra (visina i položaj praga/zapornice, geometrija kanala Prosika, dotok vode iz akumulacija, itd.) će se omogućiti provedba parametarske analize putem koje će se definirati adekvatno i najučinkovitije rješenje zaštite.

Razmatrana rješenja zaštite uspoređuju se provedbom višekriterijalne analize. Mjerodavni kriteriji za analizu su utjecaj varijante na smanjenje slanosti u jezeru, cjeloživotni troškovi (investicijski troškovi zajedno s diskontiranim troškovima održavanja i pogona), mogućnost upravljanja (za zapornice), vijek trajanja građevine, predradnje potrebne za realizaciju, te mogućnost oslađivanja podzemlja. S obzirom na dodijeljene ocjene i rezultate koji iz njih proizlaze provodi se rangiranje rješenja. Osim toga, u svrhu ispitivanja osjetljivosti rezultata na odabir težina provodi se analiza osjetljivosti.

1.4 Mjerodavni visinski sustav

Sve visine navedene u nastavku ovog rada odnose se na nadmorske visine prema sustavu HVRS71. Sukladno tome i na temelju geodetskih mjerenja provedenih od strane *Vodoprivredno-projektne biroa d.d.* preuzetih iz [2] definirane su sljedeće nadmorske visine:

- -0,51 m n.m. za kotu "0" na vodokaznoj letvi Prosika jezero
- 0,41 m n.m. za kotu postojećeg praga na kanalu Prosika
- -0,62 m n.m. za kotu "0" na vodokaznoj letvi Prosika more

Pritom, valja napomenuti da se navedena mjerenja razlikuju u odnosu na ranija mjerenja provedena

od strane *GEOdata d.o.o.* (preuzeta iz [2]) koja iznose:

- -0,42 m n.m. za kotu "0" na vodokaznoj letvi Prosika jezero
- 0,52 m n.m. za kotu postojećeg praga na kanalu Prosika
- -0,50 m n.m. za kotu "0" na vodokaznoj letvi Prosika more

Za daljnje obrade usvajaju se podaci Vodoprivredno-projektne biroa. Pretvorba nadmorskih visina iz prošlog visinskog sustava baziranog na podacima s mareografa u Trstu u novi sustav HVRS71 provodi se s centimetarskom preciznošću: $h_{HVRS71} = h_{Trst} - 0,34$ [m n.m.]. Podaci preuzeti iz doktorske disertacije [15] proračunavaju se kao $h_{HVRS71} = h_{c,2014} - 0,45$ [m n.m.] budući da je to razlika utvrđena usporedbom hidroloških podataka.

B

Tehnički dio idejnog rješenja

Matematički model toka

2 Matematički model toka

S obzirom da se izrada idejnog rješenja temelji na upotrebi numeričkog modela toka, za isti je potrebno izdvojiti zasebno poglavlje unutar kojeg će se dokumentirati sve relevantne karakteristike modela te hidrološki i hidraulički aspekti koji su uzeti u obzir za predmetno područje. Osim navedenoga, zasebno poglavlje za numerički model je neophodno s obzirom na kompleksnost predmetnog hidrološko-hidrauličkog sustava te njegove važnosti u okviru formiranja zaključaka i preporuka za zaštitu Vranskog jezera.

Osim gore navedenoga, prikladno je osigurati preduvjete za temeljitu reviziju provedenih modelarskih aktivnosti te će se tako u nastavku izložiti svi relevantni aspekti numeričkog modela pa će opisivanje istoga iziskivati nešto više prostora od uobičajenog (sve u svrhe evidentiranja postavka i pretpostavka na kojima se temelje kasniji zaključci).

2.1 Konceptualni model toka

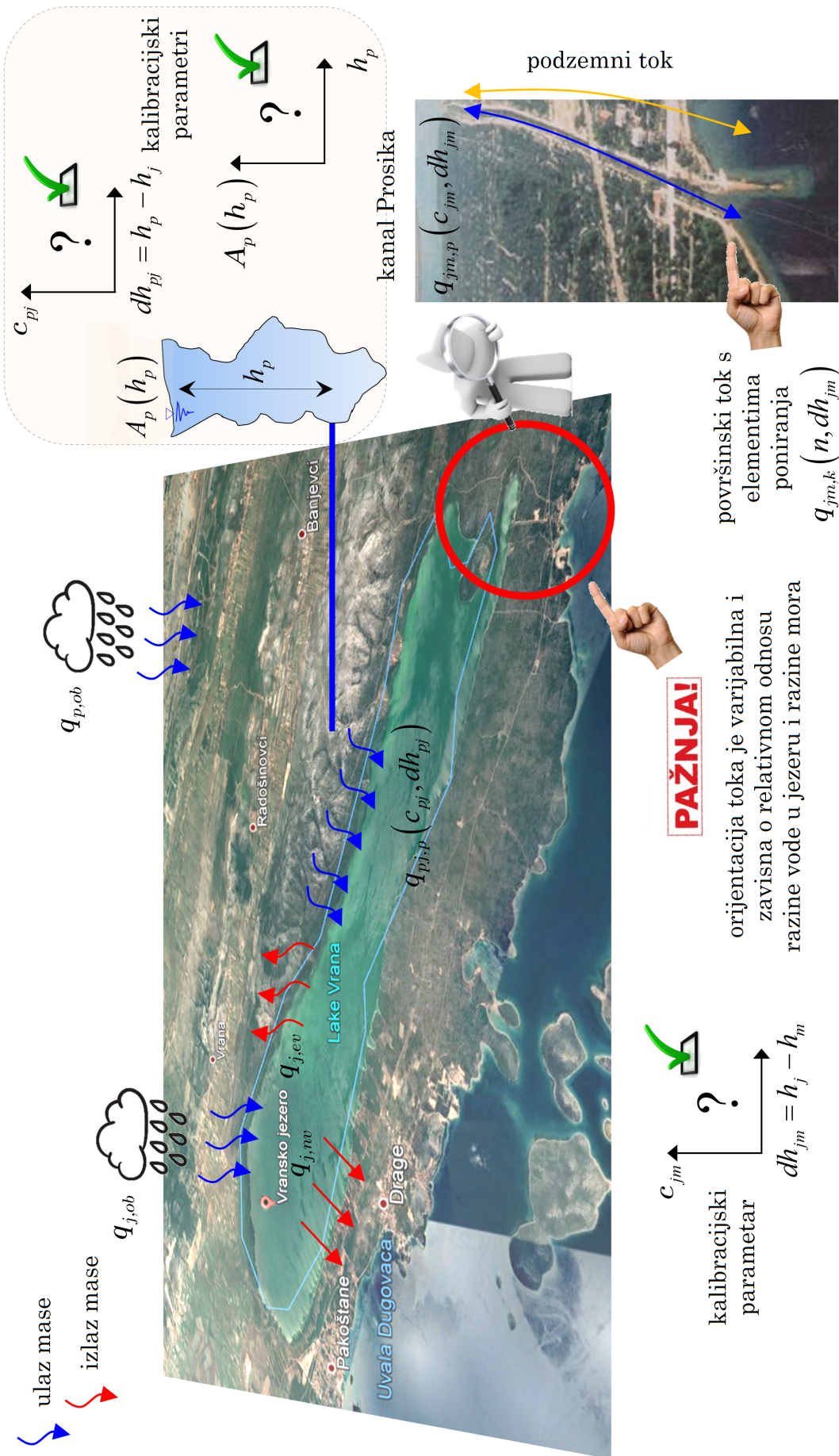
Prethodno razradi matematičkog modela potrebno je oformiti konceptualni model toka koji će relevantne fizikalne procese u predmetnom hidrološko-hidrauličkom sustavu dovesti u vezu s poznatim matematičkim obrascima s kojima kasnije provodi formiranje jednadžbi modela. U tu svrhu treba primijetiti kako je za predmetnu lokaciju od posebnog značaja princip očuvanja mase putem kojeg se može definirati razmjena mase vode u sustavu. S druge strane, valja i primijetiti da će modeliranje kanala Prosika zahtijevati i uvažavanje principa očuvanja količine gibanja radi utjecaja trenja na razinu vode odnosno na formiranje krivolinijskog vodnog lica, a time i utjecati na razine vode koje su od presudnog značaja.

S obzirom na prethodno navedeno (što je ujedno i prepoznato u nekim od ranije provedenih analiza kao npr. u glavnom projektu *Zapornica na kanalu Prosika na Vranskom jezeru* [2]), razmatrani hidrološko-hidraulički sustav će se u prvom redu sagledati kao sustav spojenih hidroloških sustava između kojih postoji razmjena vode. Na taj način će se definirati karakteristike: (i) bazena u pukotinskom sustavu sliva iz kojeg se voda podzemnim putem ispušta u jezero, (ii) jezera koji ispušta i prihvaća vodu uslijed različitih hidrauličkih i hidroloških procesa te (iii) more koje je definirano poznatom razinom. Između navedenih sustava postoji razmjena količina voda koja je zavisna o hidroloških uvjetima (poznatim za definirani vremenski period) i o hidrauličkim uvjetima koji su definirani razlikama razina vode.

Na slici 25 je ilustrirana usvojena konceptualizacija modela s naznačenim pravcima komunikacije između navedenih sustava. Kako je jezero Vrana u fokusu pažnje, važno je primijetiti da se ovakvim modelom uvodi i površinska i podzemna komunikacija s morem i okolnom pukotinskom sredinom sliva. Osim toga, definirane su količine vode koje pune ili prazne jezero uslijed atmosferskih utjecaja



(padalina i evaporacije) te uslijed korištenja vode iz jezera za vodoopskrbu ili navodnjavanje.



Slika 25: Ilustracija usvojenog konceptualnog modela Vranskog jezera s pripadajućim razmjernama vodenih masa. Konceptualni model ima 3 sastavna dijela i to: (i) model jezera, (ii) model pukotinske sredine okolnog sliva te (iii) model toka kroz korito Pro­sika. Model se temelji na principu očuvanja mase te uzima u obzir i princip očuvanja količine gibanja na potezu kanala Pro­sika. Model sadrži 3 kalibracijske varijable koje se određuju na temelju poznatih podataka dobivenim terenskim mjerenjima.

Dobro je primijetiti kako konceptualni model koristi 3 kalibracijska parametra s kojima se definiraju karakteristike razmjene količina vode između sudjelujućih elementa modela. Osim navedenoga, valja primijetiti kako je za komunikaciju razmjene vode između pukotinskog sustava sliva i jezera neophodno definirati propusnu moć uvodeći varijablu razine vode u pukotinskom sustavu i protočne površine pukotinskog sustava koja će zavisiti o razini vode u istome. Naime, u sustav povezanih krških pukotina se slijevaju oborinske vode koje onda krškim provodnicima prihranjuju jezero preko izvora na slivu i podzemnim dotjecajem u jezero.

2.2 Teorijska osnova matematičkog modela

Prethodno izloženi konceptualni model toka se može matematički opisati primjenom dviju jednadžbi očuvanja mase za nestacionarne uvjete toka. Jedna jednadžba će definirati promjenu razine vode u krškom pukotinskom sustavu povezanih provodnika slivnog područja dok će druga definirati promjenu razine vode u Vranskom jezeru. S obzirom da između sliva i jezera postoji interakcija, navedeno će rezultirati sustavom običnih, nelinearnih, nehomogenih diferencijalnih jednadžbi prvog reda.

2.2.1 Očuvanje mase za pukotinsku sredinu

Količine vode u sustavu povezanih krških pukotina (provodnika) će u okviru konceptualnog modela biti definirane razinom h_p , koja nema direktnu fizikalnu interpretaciju i površinom pukotinskog sustava definirane funkcijom $A_p(h_s)$. Na taj način će vremenska promjena razine vode u pukotinskoj sredini h_p biti definirana jednadžbom

$$A_p(h_p) \frac{dh_p}{dt} = q_{p,ob} - q_{pj,p} \quad (1)$$

u kojoj je:

⇒ $A_p(h_p)$ funkcija promjene površine pukotinskog sustava s obzirom na razinu vode h_p ,

⇒ $q_{p,ob}$ protok definiran količinom palih oborina na pukotinski sustav,

⇒ $q_{pj,p}$ protok ostvaren podzemnim tokom između jezera i sliva kroz pukotinsku sredinu sliva.

Napomena

U prethodnoj jednadžbi valja primijetiti da je funkciju $A_p(h_p)$ potrebno odrediti u procesu kalibracije numeričkog modela putem sukcesivnih izmjena i prilagodbama site sve dok se ne postigne zadovoljavajuća korespondencija između predviđenih varijacija razine vode u jezeru i izmjerenim varijacijama za poznate hidrološke i hidrauličke uvjete toka.

2.2.2 Očuvanje mase za jezero

Analogno prethodnom, vremenska promjena razine vode h_j u Vranskom jezeru se može definirati primjenom principa očuvanja mase koji je u tom slučaju definiran jednadžbom

$$A_j(h_j) \frac{dh_j}{dt} = q_{pj,p} + q_{j,ob} + q_{j,po} + q_{j,do} - q_{j,nv} - q_{j,ev} - q_{km,z} - q_{km,p} - q_{jm,p} \quad (2)$$

u kojoj je:

- ⇒ $A_j(h_j)$ funkcija promjene površine Vranskog jezera s obzirom na razinu vode u jezeru h_j ,
- ⇒ $q_{sj,p}$ protok ostvaren podzemnim tokom između jezera i sliva kroz pukotinsku sredinu sliva,
- ⇒ $q_{j,ob}$ protok definiran količinom palih oborina na površinu jezera,
- ⇒ $q_{j,po}$ protok definiran površinskim dotokom u jezero,
- ⇒ $q_{j,do}$ protok definiran vanjskim unosom vode iz akumulacija ili drugog tehničkog rješenja,
- ⇒ $q_{j,nv}$ protok definiran korištenjem vode iz jezera za potrebe navodnjavanja i vodoopskrbe,
- ⇒ $q_{j,ev}$ protok s površine jezera koji se ostvaruje uslijed evaporacije,
- ⇒ $q_{km,z}$ protok prelijevanja preko praga/zapornice,
- ⇒ $q_{km,p}$ protok poniranja u kanalu Prosika,
- ⇒ $q_{jm,p}$ podzemni protok koji se ostvaruje između jezera i mora.

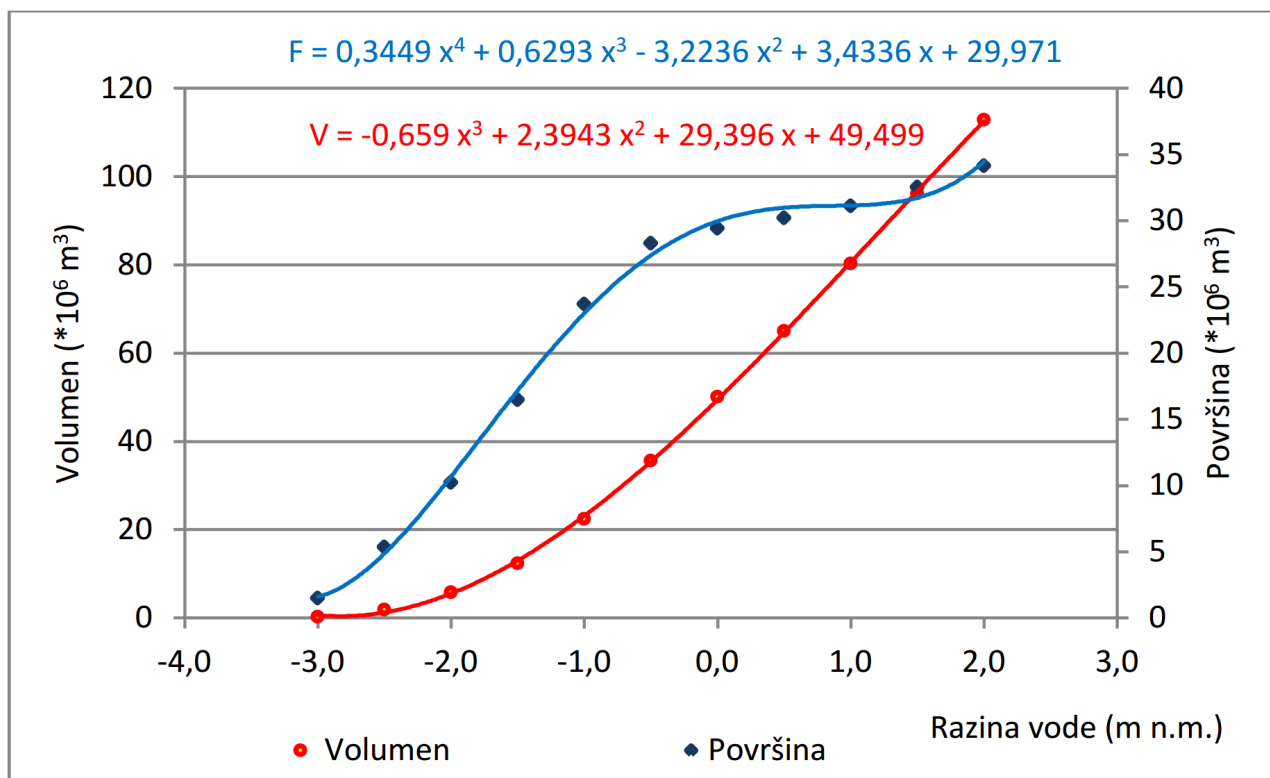
Za razliku od prethodne jednadžbe, u ovoj jednadžbi je poznata funkcija $A_j(h_j)$ koja je za potrebe ove analize preuzeta iz disertacije prof.dr.sc. J. Rubinića [15]. Funkcija $A_j(h_j)$, kao i funkcija promjene volumena Vranskog jezera s obzirom na razinu vode u jezeru $V_j(h_j)$ prikazane su na slici 26 uz napomenu da je za implementaciju navedenih funkcija u model bilo potrebno uvažiti razlike između visinskog sustava korištenog u ovom radu i visinskog sustava korištenog u disertaciji, na način kako je definirano u poglavlju 1.4.

2.2.3 Modeliranje podzemnog toka

U prethodnim jednadžbama očuvanja mase (jed. 1 i 2) treba primijetiti da pojedini članovi desne strane kvantificiraju protok ostvaren podzemnom komunikacijom između sudjelujućih elementa konceptualnog modela. Ovi članovi su označeni indeksom \dots, p te imaju ulogu uvođenja razmjene količine vode na interakciji pukotine-jezero te jezero-more. S obzirom da su ovi protoci uvjetovani razlikom razina vode koja se ostvaruje na dodirnim granicama pojedinih elemenata konceptualnog modela, isti će se definirati osnovnim modelom toka pod tlakom.

Za općeniti slučaj toka pod tlakom je protok q proporcionalan gradijentu tlaka dh/dx gdje je dh razlika visinskog tlaka te dx razdaljina između mjernih točaka tlaka. Za generički slučaj toka pod tlakom između točaka A i B će navedeno rezultirati jednadžbom

$$q_{AB} = \pm c_{AB} \sqrt{h_A - h_B} \quad (3)$$



Slika 26: Grafički prikaz funkcija $A_j(h_j)$ i $V_j(h_j)$ preuzet iz [15].

u kojoj je:

- ⇒ q_{AB} protok između točke A i točke B ,
- ⇒ c_{AB} koeficijent provodljivosti (ili samo provodljivost) a dionici AB ,
- ⇒ h_A razina u točki A te
- ⇒ h_B razina u točki B .

Valja primijetiti da numerički model mora omogućiti modeliranje toka vode između pukotina i jezera te između jezera i mora u oba smjera. U tu svrhu je prethodni model toka 3 potrebno modificirati kako bi se izbjeglo korjenovanje negativnog broja. U tu svrhu će se koristiti model toka

$$q_{AB} = c_{AB} \underbrace{\frac{h_A - h_B}{|h_A - h_B|}}_{\pm} \sqrt{|h_A - h_B|} \quad (4)$$

odnosno

$$q_{AB} = c_{AB} \frac{h_A - h_B}{\sqrt{|h_A - h_B|}} \quad (5)$$

koji omogućuje modeliranje dvosmjernog strujanja zavisno o predznaku razlike razina h_A i h_B .

Napomena

Uvedeni koeficijent proporcionalnosti c_{AB} ima dimenziju $m^{5/2}/s$ i objedinjava utjecaj protočne površine A , koeficijenta trenja λ , te geometrijskih karakteristika podzemnog provodnika. Iz toga razloga je ovaj koeficijent potrebno odrediti u postupku kalibracije koristeći raspoložive podatke terenskih mjerenja. Uvedeni koeficijent definira provodljivost pukotinske porozne sredine.

Napomena

Potrebno je i napomenuti kako razlika u gustoći slatke i slane vode mora biti uključena u jednadžbe za opisivanje razmijene vode između jezera i mora. Naime, na istu razinu vode u jezeru i moru se uspostavlja tok uslijed razlika u gustoći fluida koja onda uzrokuje različite tlakove na istim dubinama vode.

S obzirom na prethodno navedeno, u analizu je potrebno uključiti vremensku promjenu gustoće mora te prethodnu jednadžbu za protok definirati u obliku

$$q_{AB} = c_{AB} \frac{h_A - r_\rho h_B}{\sqrt{|h_A - r_\rho h_B|}} \quad (6)$$

gdje je

$$r_\rho = \frac{\rho_m}{\rho_j} \quad (7)$$

gdje su:

⇒ ρ_m gustoća mora (pod pretpostavkom da je more u točki B),

⇒ ρ_j gustoća jezera (pod pretpostavkom da je more u točki A).

2.2.4 Modeliranje površinskog toka

Modeliranje toka vode u kanalu Prosika iziskuje definiranje jednadžbi za tok u otvorenom koritu te jednadžbi za tok preko preljevog praga ili zapornice. Naime, potreba modeliranja toka u otvorenom koritu Prosike je važno u svrhu definiranja preljevne visine vode ispred praga ili zapornice koja nije jednaka visini vode u jezeru. U tu svrhu će se koristiti metoda standardnog koraka.

Metoda standardnog koraka se najčešće koristi za neprizmatična korita odnosno korita proizvoljnog poprečnog presjeka. Ista se temelji na prostornoj diskretizaciji korita u kojoj su proračunski profili ekvidistantni udaljeni za prostorni korak Δx .

Za neprizmatično korito brzina toka neće biti samo ovisna o dubini vode već i o položaju x poprečnog profila korita jer se sama geometrija korita na prevaljenom putu može mijenjati. Kao posljedica navedenog, i nagib linije energije će biti ovisan o dubini vode i stacionaže x . Drugim riječima, sve

hidrauličke karakteristike toka će biti funkcije dubine toka h i stacionaže x . Metoda standardnog koraka se temelji na principu očuvanja mehaničke energije između dva susjedna profila korita 1 i 2 koji su međusobno udaljeni za prostorni korak Δx . Tako se u profilu 1 može napisati ukupna mehanička energija u visinskom obliku

$$E_1 = \underbrace{z_1 + h_1}_{H_1} + \frac{\alpha \bar{v}^2}{2g} \quad (8)$$

te za profil 2

$$E_2 = \underbrace{z_2 + h_2}_{H_2} + \frac{\alpha \bar{v}^2}{2g} \quad (9)$$

Izbor prostornog koraka Δx mora biti takav da je između razmatranih profila pad dna korita S_0 konstantan čime se može uspostaviti geometrijskih odnos između visinskih koordinata z_1 i z_2 putem jednakosti

$$z_1 = z_2 + S_0 \Delta x \quad (10)$$

pa iz navedenog slijedi da je piezometarska kota u profilu 1 jednaka

$$H_1 = z_2 + S_0 \Delta x + h_1 \quad (11)$$

Kako bi se uspostavila energetska ravnoteža između navedenih profila, potrebno je uključiti gubitak energije odnosno visinski član energije koja je transformirana na duljini Δx u druge nereverzibilne oblike energije. Energetski gubitak je definiran razlikom mehaničkih energija danih u visinskom obliku

$$\Delta E = E_2 - E_1 \quad (12)$$

i uključuje (i) gubitak energije uslijed savladavanja otpora trenja na dodiru vode s čvrstom granicom toka te dodatno (ii) energije utrošene na generiranje turbulencije u samom toku što je za slučaj neprizmatičnih korita prikladno uvažiti jer se vrtlozi turbulentnog toka generiraju uslijed primjena u geometriji korita. Gubitak energije u visinskom obliku se može definirati iz geometrijskih odnosa čime isti poprima vrijednost

$$\Delta h_l = \bar{S}_e \Delta x \quad (13)$$

gdje je \bar{S}_e srednja vrijednost pada linije energije između promatranih profila odnosno

$$\bar{S}_e = \frac{1}{2} (S_{1e} + S_{2e}) \quad (14)$$

gdje se pad linije energije može kvantificirati Manningovom jednadžbom (ili nekom drugom konstitutivnom jednadžbom). Energija u visinskom obliku koja predstavlja gubitak energije nastao uslijed generiranja turbulentnog toka će se definirati modelom

$$\Delta h_t = \xi_t \frac{|\alpha_2 \bar{v}_2 - \alpha_1 \bar{v}_1|}{2g} \quad (15)$$

gdje je ξ_t faktor turbulencije koji se dovodi u vezu s razlikom brzine nizvodnog i uzvodnog profila jer ista oslikava karakter izmjena u geometriji toka odnosno potencijala za ostvarivanje turbulencije.

Modeliranje toka u koritu Prosika će se sada provesti koristeći energetska ravnotežu između dva susjedna profila 1 i 2 međusobno udaljena za prostorni korak Δx pa se tako može pisati

$$E_1 = E_2 + \Delta E_l + \Delta E_t \quad (16)$$

odnosno

$$H_1 + \frac{\alpha \bar{v}_1^2}{2g} = H_2 + \frac{\alpha \bar{v}_2^2}{2g} + \Delta E_l + \Delta E_t \quad (17)$$

što se koristeći poznate geometrijske odnose može napisati u obliku

$$h_1 + z_1 + \frac{\alpha \bar{v}_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{\alpha \bar{v}_2^2}{2g} + \frac{1}{2} (S_{1e} + S_{2e}) + \xi_t \frac{|\alpha_2 \bar{v}_2 - \alpha_1 \bar{v}_1|}{2g} \quad (18)$$

Prethodna jednadžba se može napisati u oblik

$$z_2 + S_0 \Delta x + h_1 + \frac{\alpha \bar{v}_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{\alpha \bar{v}_2^2}{2g} + \frac{1}{2} (S_{1e} + S_{2e}) + \xi_t \frac{|\alpha_2 \bar{v}_2 - \alpha_1 \bar{v}_1|}{2g} \quad (19)$$

iz koje se član z_2 može izostaviti odnosno pokratiti. Za definiranje numeričkog algoritma potrebno je definirati rubni uvjet modela te će se u tu svrhu pretpostaviti da su veličine u presjeku 1 poznate te da dubinu i brzinu toka u profilu 2 treba odrediti. Na taj način se iz prethodne jednadžbe može provesti grupiranje članova

$$h_2 + \frac{\alpha_2 \bar{v}_2^2}{2g} \pm \xi_t \frac{\alpha_2 \bar{v}_2^2}{2g} + \frac{1}{2} S_{2e} \Delta x - \left(h_1 + S_0 \Delta x + \xi_t \frac{\alpha_1 \bar{v}_1^2}{2g} - \frac{1}{2} S_{e1} \Delta x \pm \xi_t \frac{\alpha_1 \bar{v}_1^2}{2g} \right) = 0 \quad (20)$$

te s obzirom da je sada h_2 nepoznata veličina prethodna jednadžba se može napisati u obliku

$$F(h_2) = 0 \quad (21)$$

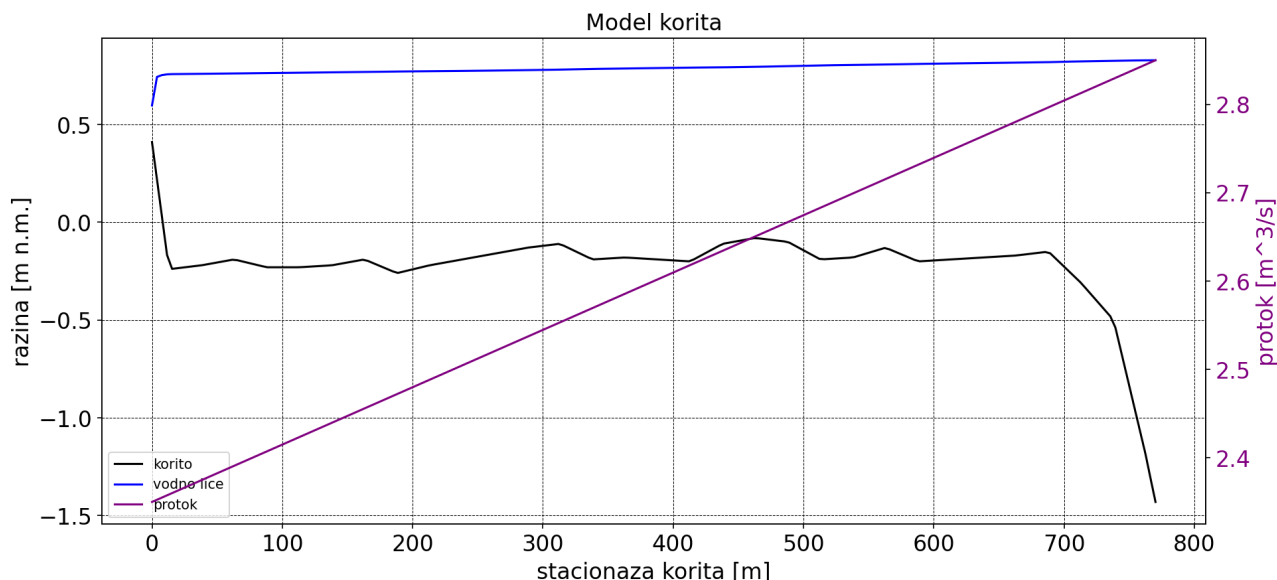
gdje je funkcija F definirana prethodnim izrazom (jer je brzina v_2 poznata ako je poznata i dubina h_2). Definiranje nultočka funkcije $F(h_2)$ se može odrediti iterativnim postupkom za slučaj da je poznata dubina vode h_1 koja je poznata iz rubnog uvjeta (ili iz prethodno određenih dubina vode u drugim proračunskim profilima).

Rješavanje ovakvih nelinearnih algebarskih jednadžbi se efikasno provodi Newtonovom iterativnom metodom u kojoj se za dvije susjedne iteracije $k + 1$ i k može napisati jednakost

$$h_2^{(k+1)} = h_2^{(k)} - \frac{F(h_2^{(k)})}{F'(h_2^{(k)})} \quad (22)$$

gdje je F' derivacija funkcije F . Za definiranje derivacije ove funkcije je prikladno prethodnu jednadžbu napisati u obliku

$$F(h_2) = h_2 + \frac{\alpha_2 \bar{v}_2^2}{2g} \pm \xi_t \frac{\alpha_2 \bar{v}_2^2}{2g} + \frac{1}{2} S_{2e} \Delta x - \underbrace{\left(h_1 + S_0 \Delta x + \xi_t \frac{\alpha_1 \bar{v}_1^2}{2g} - \frac{1}{2} S_{e1} \Delta x \pm \xi_t \frac{\alpha_1 \bar{v}_1^2}{2g} \right)}_{\text{konstante obzirom na } h_2} \quad (23)$$



Slika 27: Uzdužni presjek postojećeg stanja korita Prosike te raspored protoka u koritu za slučaj prelijevanja preko praga.

iz čega slijedi da je derivacija funkcije

$$F'(h_2) = 1 + \alpha_2 \frac{\bar{v}_2}{g} \frac{d\bar{v}_2}{dh_2} \pm \xi_t \alpha_2 \frac{\bar{v}_2}{g} \frac{d\bar{v}_2}{dh_2} + \frac{1}{2} \frac{dS_e}{dh_2} \Delta x - (0) \quad (24)$$

Za izračun dubine h_2 koja je od poznate dubine h_1 udaljena za Δx se sada provodi iteracijski postupak definiran jednačinom 22 te se nakon svake iteracije provodi ažuriranje veličina $h_2^{(k)} \leftarrow h_2^{(k+1)}$ sve dok se ne dosegne kriterij konvergencije

$$\left| \frac{h_2^{(k+1)} - h_2^{(k)}}{h_2^{(k)}} \right| < \epsilon \quad (25)$$

gdje je ϵ unaprijed zadana veličina s kojom se u svakoj iteraciji ispituje konvergencija iteracijskog postupka (koja za Newtonovu metodu mora biti kvadratna). Jednom kada je definirana dubina vode h_2 , proračun se ponavlja za susjedni proračunski profil u kojem sada poznata dubina h_1 ima vrijednost prethodno izračunate dubine h_2 .

Posebno je važno primijetiti kako je protok u koritu Prosike varijabilan odnosno da se duž korita mijenja uslijed protoka poniranja iz korita (za postojeće stanje). Tako je protok na ulazu u koritu $Q_{ul} = q_{km,p} + q_{km,z}$. U tu svrhu će se pretpostaviti da je protok poniranja linearno raspoređen uzduž korita kako je ilustrirano slikom 27. Prethodnim proračunom je za zadane podatke razine vode u jezeru h_j , razine mora h_m te protok poniranja $q_{km,p}$ moguće definirati razinu vode u koritu Prosike h_k te protok prelijevanja.

S druge strane, jednom kada je razina vode $h_p(t)$ ispred praga ili zapornice definirana, potrebno je dobro razlučiti sve varijante toka koje se mogu ostvariti. Naime, u profilu praga/zapornice je moguće

prepoznati više uvjeta toka.

U prvom redu valja primijetiti da se s obzirom na relativnu razliku vode u jezeru $h_j(t)$ i moru $h_m(t)$ može uspostaviti tok u oba smjera (gdje smjer iz mora u jezero nije poželjan i mora se spriječiti). Svi scenariji toka će se u nastavku opisati za dva osnovna slučaja i to su: (i) razina jezera veća od razine mora ($h_j(t) > h_m(t)$) te (ii) razina mora veća od razine jezera ($h_m(t) < h_j(t)$).

- $h_j(t) > h_m(t)$

Slučaj u kojem je razina jezera veća od razine mora je onaj kojim mora težiti tehničko rješenje zaštite jezera. U ovoj varijanti se može prepoznati da ako je $h_j(t) \leq h_p$, gdje je h_p razina krune praga/zapornice, nema prelijevanja vode iz jezera u more. S druge strane, odnosno za slučaj da je $h_j(t) > h_p$ postoji prelijevanje preko praga/zapornice. Pritom, i u ovom slučaju se mogu prepoznati dva različita scenarija: (i) nepotopljeno prelijevanje i (ii) potopljeno prelijevanje. Za slučaj da je $h_m(t) \leq h_p$, prelijevanje je nepotopljeno i definirano je jednadžbom

$$Q = \underbrace{\frac{2}{3} c_p b \sqrt{2gh}^{\frac{3}{2}}}_{\text{preljev pravokutnika}} + \underbrace{\frac{8}{15} c_p \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^{\frac{5}{2}}}_{\text{bočnih trokuta pravokutnika}} \quad (26)$$

gdje je:

- ⇒ b širina dna korita Prosike,
- ⇒ g ubrzanje sile teže,
- ⇒ h visina preljevnog mlaza (razlika razine vode ispred preljeva i razine praga preljeva),
- ⇒ θ kut između pokosa korita i vertikale definiran nagibom pokosa m ,
- ⇒ c_p koeficijent istjecanja koji je definiran Bazinovom formulom

$$c_p = 0.602 + 0.0083 \frac{h}{h_p} \quad (27)$$

gdje je $h = h_j(t) - h_p$. S druge strane, odnosno za slučaj da je razina mora $h_m(t)$ veća od razine krune praga h_p , preljevni mlaz je potopljen i iznos prelijevanja je manji. Isti se pritom može definirati jednadžbom

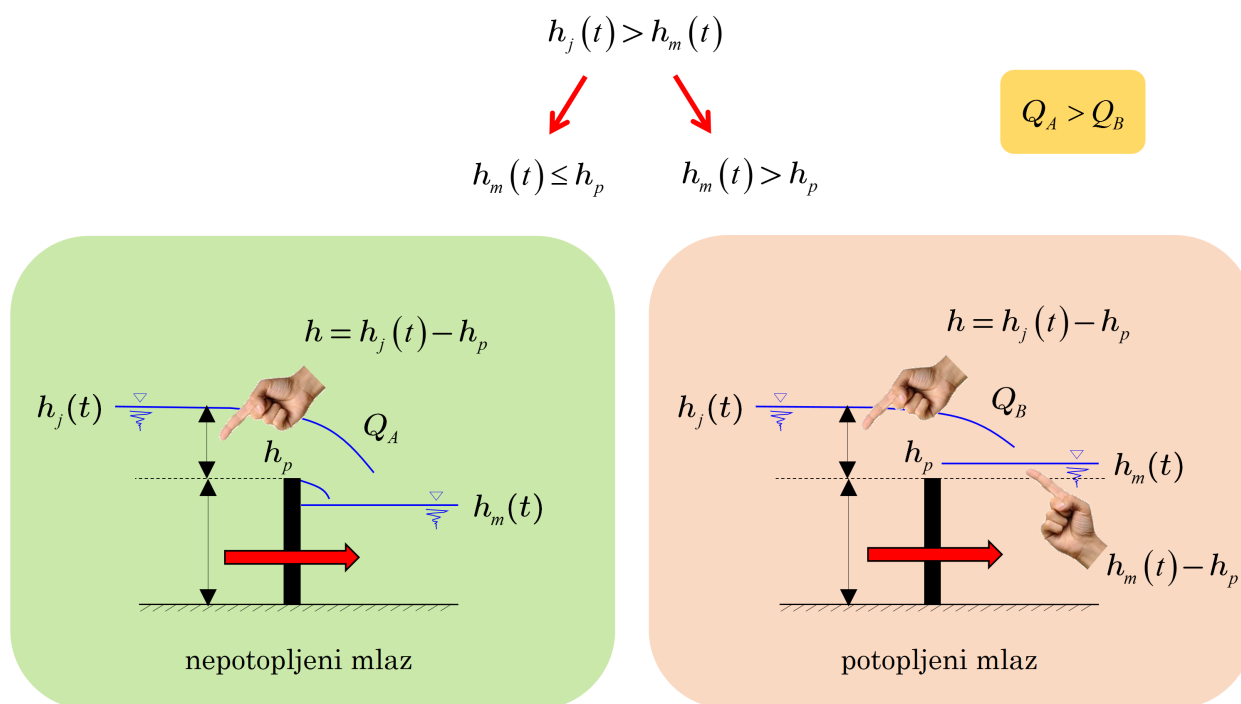
$$Q_p = Q \left(1 - \left(\frac{h_m - h_p}{h} \right)^{1.5} \right)^{0.385} \quad (28)$$

gdje je:

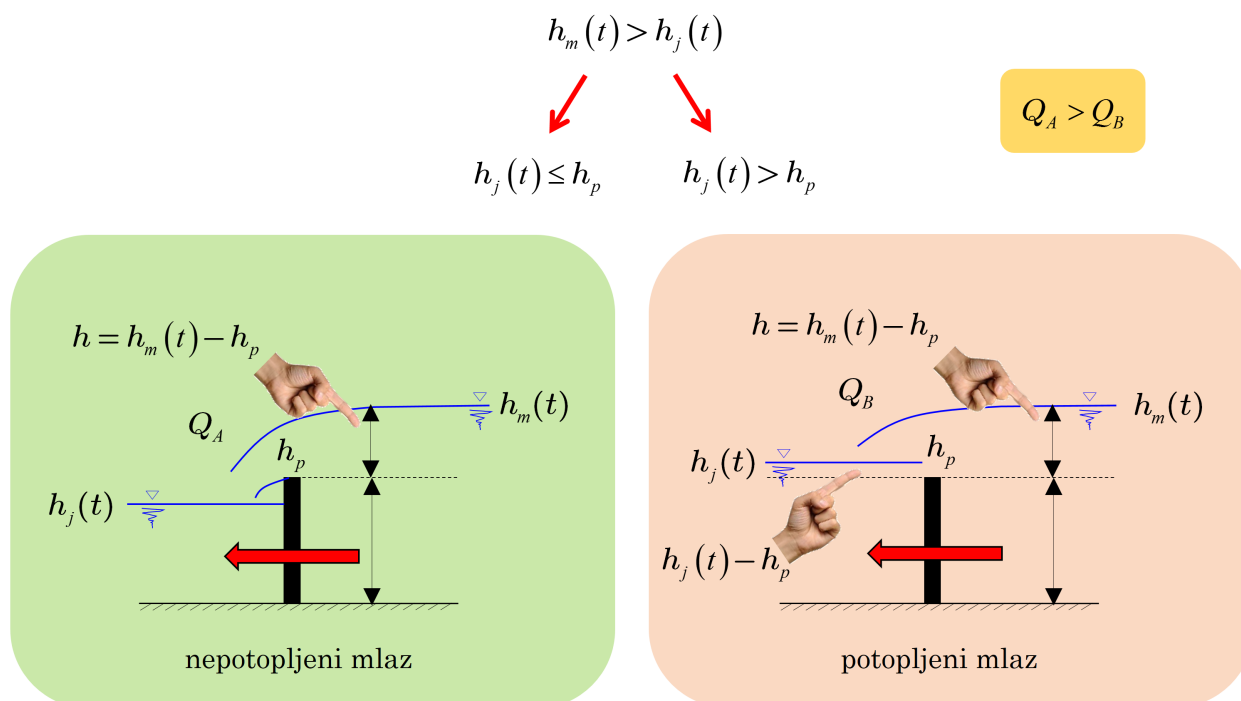
- ⇒ Q prethodno definiran protok za nepotopljeni mlaz,
- ⇒ h kao i ranije razlika $h_j(t) - h_p$. Član u zagradama je manji od 1 čime se uvažava utjecaj uspora mora na konačan ishod preljevnih količina. Navedeni scenariji toka su ilustrirani na slici 28.

- $h_m(t) > h_j(t)$

U svrhu pronalaska adekvatnog tehničkog rješenja zaštite jezera od zaslanjivanja, valja primijetiti



Slika 28: Ilustracija različitih scenarija toka preko preljevnog praga iz smjera jezero-more (varijante nepotopljenog i potopljenog preljevnog mlaza).



Slika 29: Ilustracija različitih scenarija toka preko preljevnog praga iz smjera more-jezero (varijante nepotopljenog i potopljenog preljevnog mlaza).

da model razmjene mase u jezeru mora uvažiti i dotok vode iz mora preko preljevnog praga. U tom slučaju vrijedi da je $h_m(t) > h_j(t)$ te se kao i u prethodnom slučaju mogu prepoznati dvije varijante prelijevanja: (i) nepotopljeni preljev i (ii) potopljeni preljev. Izračun preljevnih količina se pritom provodi koristeći analognu primjenu prethodno izloženog proračunskog postupka te se u tu svrhu mijenjaju pojedini članovi navedenih jednadžbi. U svrhu ilustracije navedenog slučaja, prilaže se slika 29.

Napomena

Za slučaj ispitivanja varijante uređenja korita Prosike (npr. izmjena poprečnog profila), kut θ mijenja svoji iznos te se tako mijenja i preljevni protok (za slučaj $\theta = 0$ jednadžba prelijevanja se reducira i opisuje preljevni mlaz u pravokutnom poprečnom presjeku.)

2.2.5 Formiranje sustava jednadžbi

Sve prethodno navedeno omogućuje formiranje sustava običnih diferencijalnih jednadžbi prvog reda u kojem su nepoznate veličine funkcija $h_p(t)$ te funkcija $h_j(t)$. Koristeći model podzemnog toka pod tlakom 5 pojedini članovi desne strane se mogu definirati u vidu nepoznatih funkcija čime se definira sustav

$$\begin{aligned}
 A_p(h_p) \frac{dh_p}{dt} &= q_{p,ob} - \underbrace{c_{pj} \frac{h_p - h_j}{\sqrt{|h_p - h_j|}}}_{q_{pj,p}} \\
 A_j(h_j) \frac{dh_j}{dt} &= \underbrace{c_{pj} \frac{h_p - h_j}{\sqrt{|h_p - h_j|}}}_{q_{pj,p}} + \underbrace{q_{j,ob} + q_{j,po} + q_{j,do} - q_{j,nv} - q_{j,ev} - q_{km,z}}_{q_{j,vn}} + \dots \\
 &\dots - c_{km} \frac{h_k - r_\rho h_m}{\sqrt{|h_k - r_\rho h_m|}} \frac{L_{pot}}{L_{tot}} - \underbrace{c_{jm} \frac{h_j - r_\rho h_m}{\sqrt{|h_j - r_\rho h_m|}}}_{q_{jm,p}}
 \end{aligned} \tag{29}$$

u kojem valja istaknuti kalibracijske funkcije:

- $\Rightarrow c_{pj}(h_p(t) - h_j(t))$ funkciju provodljivosti između pukotinskog sustava sliva i jezera,
- $\Rightarrow c_{jm}(h_j(t) - h_m(t))$ funkciju provodljivosti između jezera i mora,
- $\Rightarrow c_{km}(h_k(t) - h_m(t))$ funkciju provodljivosti između korita Prosike i mora,
- $\Rightarrow A_p(h_p)$ funkcija promjene površine pukotinskog sustava sliva s promjenom razine vode u pukotinama,

te se uz ove kalibracije funkcije moraju poznavati i veličine

- $\Rightarrow L_{tot}$ ukupna dužina korita Prosike,
- $\Rightarrow L_{pot}(h_j(t))$ potopljena dionica korita Prosike koja se mora definirati funkcijom koja će za zadanu razinu vode u jezeru $h_j(t)$ definirati dužinu potopljene dionice korita Prosike L_{pot} obzirom na zadani

profil dna korita (koji je za postojeće stanje preuzet iz dostupne projektne dokumentacije). Naime, poniranje vode u koritu Prosike zavisi o razini vode u koritu i o dužini potopljene dionice.

Napomena

Dobro je napomenuti kako će se prethodno navedene funkcije morati kalibrirati koristeći dostupne podatke terenskih mjerenja te kako ovaj zadatak nije nimalo jednostavan jer se ne radi o konstantnim veličinama već o funkcijama.

Prethodno naveden sustav od dvije obične diferencijalne jednačbe s varijabilnim koeficijentima, se uz poznavanje kalibracijskih funkcija može riješiti uz poznavanje početnih uvjeta odnosno veličina $h_p(t = 0)$ i $h_j(t = 0)$. Pritom, valja primijetiti kako početni uvjeti moraju definirati fizikalno stanje razmatranog sustava te je stoga neophodno iste definirati koristeći dostupne podatke provedenih terenskih i drugih mjerenja.

2.3 Numerički model razmjena masa

Kako za prethodni sustav diferencijalnih jednačbi nije moguće definirati analitičko rješenje, iste je potrebno riješiti nekom od metoda numeričke aproksimacije rješenja. U tu svrhu će se koristiti metoda konačnih razlika.

Valja i primijetiti kako će za potrebe kalibracije numeričkog modela biti potrebno modelirati izmjene razine vode u jezeru za relativno dugi vremenski period (više godina). Iz tog razloga je neophodno koristiti diskretizacijsku shemu koja će ujedno biti i bezuvjetno stabilna obzirom na odabrani vremenski korak s kojim će se koračati unutar vremenske domene. Obzirom na navedeno, eksplicitni algoritam integracije nije poželjan (iako je jednostavni i brži), već je neophodno koristiti implicitnu diskretizacijsku shemu.

Diskretizacija dobivenih jednačbi će se provesti Eulerovom metodom integracije unazad koja se u općem slučaju može definirati sa

$$\frac{dh}{dt} \approx \frac{h^{(n+1)} - h^{(n)}}{\Delta t} \quad (30)$$

gdje je:

⇒ Δt vremenski korak,

⇒ $h^{(n+1)}$ razina vode na kraju vremenskog koraka,

⇒ $h^{(n)}$ razina vode na početku vremenskog koraka.

Koristeći Eulerovu metodu aproksimacija derivacija prethodnih jednačbi, te uvedenu indeksaciju za vrijednost varijabli unutar diskretizirane vremenske domene, prethodne jednačbe se mogu aproksi-

mirati konačnim razlikama u obliku

$$\begin{aligned}
 A_p(h_p^{(n+1)}) \frac{h_p^{(n+1)} - h_p^{(n)}}{\Delta t} &= q_{p,ob}^{(n+1)} - c_{pj}^{(n+1)} \frac{h_p^{(n+1)} - h_j^{(n+1)}}{\sqrt{|h_p^{(n+1)} - h_j^{(n+1)}|}} \\
 A_j(h_j^{(n+1)}) \frac{h_j^{(n+1)} - h_j^{(n)}}{\Delta t} &= c_{pj}^{(n+1)} \frac{h_p^{(n+1)} - h_j^{(n+1)}}{\sqrt{|h_p^{(n+1)} - h_j^{(n+1)}|}} + \dots \\
 &\dots + q_{j,ob}^{(n+1)} + q_{j,po}^{(n+1)} + q_{j,do}^{(n+1)} - q_{j,nv}^{(n+1)} - q_{j,ev}^{(n+1)} - q_{km,z}^{(n+1)} + \dots \\
 &\dots - c_{km}^{(n+1)} \frac{h_k^{(n+1)} - r_\rho h_m^{(n+1)}}{\sqrt{|h_k^{(n+1)} - r_\rho h_m^{(n+1)}|}} \frac{L_{pot}}{L_{tot}} - c_{jm}^{(n+1)} \frac{h_j^{(n+1)} - r_\rho h_m^{(n+1)}}{\sqrt{|h_j^{(n+1)} - r_\rho h_m^{(n+1)}|}}
 \end{aligned} \tag{31}$$

gdje su na desnoj strani varijable h_p i h_j definirane na kraju vremenskog intervala $n + 1$ te je time definiran sustav nelinearnih algebarskih jednadžbi. Na taj način je uvedena bezuvjetna numerička stabilnost modela što će omogućiti modeliranje vremenske promjene razine vode u jezeru $h_j(t)$ u velikim vremenskim domenama. Ovakav oblik diskretizacije jednadžbi očuvanja mase je bio neophodan kako bi se osigurali preduvjeti za modeliranje razmjene vode u jezeru u vremenskom intervalu koji se može protezati i kroz više godina. Usvojena vremenska domena, odnosno vrijeme unutar kojeg se prati izmjena volumena vode u jezeru će se tako podijeliti na konačan broj vremenskih koraka Δt te će se od početnih uvjeta definiranih na početku prvog vremenskog koraka u trenutku n definirati stanje sustava u trenutku $n + 1$. Isti postupak se ponavlja i u narednom vremenskom koraku sve dok se ne dosegne kraj odabrane vremenske domene.

Napomena

Posebno je važno napomenuti da su se protoci poniranja koji se odnose na jezero i kanal Prosika definirali za satne razine mora radi relativno velikih oscilacija mora unutar jednog dana. Tako se unutar prikazanog numeričkog algoritma protoci $q_{jm,p}$ i $q_{km,p}$ definiraju u petlji koja usvaja pretpostavku konstantne razine vode u jezeru unutar jednog dana pa se za istu određuju navedeni protoci kao srednje vrijednosti ostvarenih protoka u svakom satu uzimajući u obzir satne promjene razine mora.

2.4 Metoda rješavanja nelinearnih jednadžbi

S obzirom da je numeričkom diskretizacijom jednadžbi očuvanja mase konceptualnog modela toka generiran sustav od dvije nelinearne algebarske jednadžbe, iste je potrebno riješiti iterativno. U tu svrhu će se koristiti Newtonova iteracijska shema koja se za sustav od dvije jednadžbe u iteracijskom

ciklusu k svodi na matrični sustav

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\partial f_p(h_p^{(k)}, h_j^{(k)})}{\partial h_p} & \frac{\partial f_p(h_p^{(k)}, h_j^{(k)})}{\partial h_j} \\ \frac{\partial f_j(h_p^{(k)}, h_j^{(k)})}{\partial h_p} & \frac{\partial f_j(h_p^{(k)}, h_j^{(k)})}{\partial h_j} \end{bmatrix}}_{\mathbf{J}} \underbrace{\begin{Bmatrix} \delta h_p \\ \delta h_j \end{Bmatrix}}_{\delta \mathbf{h}} = - \underbrace{\begin{Bmatrix} f_p(h_p^{(k)}, h_j^{(k)}) \\ f_j(h_p^{(k)}, h_j^{(k)}) \end{Bmatrix}}_{\mathbf{r}} \quad (32)$$

u kojem je:

⇒ \mathbf{J} Jakobijana sustava koja sadrži parcijalne derivacije funkcija očuvanja masa za pukotinsku sredinu i jezero,

⇒ $\delta \mathbf{h}$ vektor inkremenata korekcije rješenja razina vode u pukotinskom sustavu i jezeru te

⇒ \mathbf{r} vektor reziduala matričnog sustava odnosno pogreška koja se mora reducirati u narednom iteracijskom ciklusu $k + 1$.

Za trenutni vremenski korak Δt , sustav algebarskih jednadžbi se rješava u iterativnom ciklusu počevši od poznatih početnih uvjeta $h_p^{(n)}$ i $h_j^{(n)}$ odnosno rješenja sustava na početku vremenskog koraka. Vrijednosti ovih veličina na kraju vremenskog koraka odnosno u trenutku $n + 1$ slijede iz iterativnog postupka

$$\begin{aligned} h_p^{(n+1),(k+1)} &= h_p^{(n+1),(k)} + \delta h_p \\ h_j^{(n+1),(k+1)} &= h_j^{(n+1),(k)} + \delta h_j \end{aligned} \quad (33)$$

gdje su inkrementi korekcija rješenja za svaku iteraciju k dobivaju rješavanjem sustava 32 što iziskuje invertiranje Jakobijane sustava

$$\delta \mathbf{h} = \mathbf{J}^{-1} \mathbf{r} \quad (34)$$

Postupak iziskuje definiranje početne pretpostavke rješenja sustava te se u tu svrhu koristili prethodno poznata vrijednost varijabli h_p i h_j na početku vremenskog koraka n . Iteracijski postupak se ponavlja sve dok razlika između dvije susjedne iteracijske korekcije razina vode ne postane manja od neke unaprijed definirane tolerancije (za predmetni slučaj je odabrana tolerancija od 10^{-7} m). Desna strana sustava definirana je jednadžbama očuvanja mase za pukotinsku sredinu

$$f_p(h_p, h_j) = A_p(h_p^{(n+1)}) \frac{h_p^{(n+1)} - h_p^{(n)}}{\Delta t} - q_{p,ob}^{(n+1)} + c_{pj}^{(n+1)} \frac{h_p^{(n+1)} - h_j^{(n+1)}}{\sqrt{|h_p^{(n+1)} - h_j^{(n+1)}|}} \quad (35)$$

te jednadžbom očuvanja mase za jezero

$$\begin{aligned}
 f_j(h_p, h_j) = & A_j(h_j^{(n+1)}) \frac{h_j^{(n+1)} - h_j^{(n)}}{\Delta t} - c_{pj}^{(n+1)} \frac{h_p^{(n+1)} - h_j^{(n+1)}}{\sqrt{|h_p^{(n+1)} - h_j^{(n+1)}|}} + \dots \\
 & \dots - q_{j,ob}^{(n+1)} - q_{j,po}^{(n+1)} - q_{j,do}^{(n+1)} + q_{j,nv}^{(n+1)} + q_{j,ev}^{(n+1)} + q_{km,z}^{(n+1)} + \dots \\
 & \dots + c_{km}^{(n+1)} \frac{h_k^{(n+1)} - r_\rho h_m^{(n+1)}}{\sqrt{|h_k^{(n+1)} - r_\rho h_m^{(n+1)}|}} \frac{L_{pot}}{L_{tot}} + c_{jm}^{(n+1)} \frac{h_j^{(n+1)} - r_\rho h_m^{(n+1)}}{\sqrt{|h_j^{(n+1)} - r_\rho h_m^{(n+1)}|}}
 \end{aligned} \tag{36}$$

Članovi Jakobijane su definirani parcijalnim derivacijama ovih funkcija te se navode u nastavku.

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial f_p(h_p, h_j)}{\partial h_p} &= 1 + \frac{\Delta t}{A_p(h_p)} \left(\frac{c_{pj}}{\sqrt{|dh_{pj}|}} + \frac{c_{pj} \langle dh_{pj} \rangle dh_{jp}}{2(|dh_{pj}|)^{3/2}} \right) \\
 \frac{\partial f_p(h_p, h_j)}{\partial h_j} &= -\frac{\Delta t}{A_p(h_p)} \left(\frac{c_{pj}}{\sqrt{|dh_{pj}|}} + \frac{c_{pj} \langle dh_{pj} \rangle dh_{jp}}{2(|dh_{pj}|)^{3/2}} \right) \\
 \frac{\partial f_j(h_p, h_j)}{\partial h_p} &= -\frac{\Delta t}{A_j(h_j)} \left(\frac{c_{pj}}{\sqrt{|dh_{pj}|}} + \frac{c_{pj} \langle dh_{pj} \rangle dh_{jp}}{2(|dh_{pj}|)^{3/2}} \right) \\
 \frac{\partial f_j(h_p, h_j)}{\partial h_j} &= 1 + \frac{\Delta t}{A_j(h_j)} (Y)
 \end{aligned} \tag{37}$$

gdje je :

$$\Rightarrow dh_{pj} = h_p - h_j,$$

$$\Rightarrow dh_{jp} = h_j - h_p,$$

$$\Rightarrow dh_{km} = h_k - h_m,$$

$$\Rightarrow dh_{jp} = h_j - h_p \text{ te}$$

$$\Rightarrow \langle x \rangle \text{ Macaulaynove zagrade definirane s } \langle x \rangle = \max(x, 0)$$

i

$$\begin{aligned}
 Y = & \frac{c_{pj}}{\sqrt{|dh_{pj}|}} + \frac{c_{jm}}{\sqrt{|dh_{jm}|}} + \frac{L_{pot} c_{km}}{L_{tot} \sqrt{|dh_{jm}|}} + \frac{c_{pj} \langle dh_{pj} \rangle dh_{jp}}{2(|dh_{pj}|)^{3/2}} + \dots \\
 & \dots - \frac{c_{jm} \langle dh_{jm} \rangle dh_{jm}}{2(|dh_{jm}|)^{3/2}} - \frac{L_{pot} c_{km} \langle dh_{km} \rangle dh_{km}}{2L_{tot} (|dh_{km}|)^{3/2}}
 \end{aligned} \tag{38}$$

2.5 Definiranje početnih uvjeta

Numerička simulacija vremenske promjene razina $h_p(t)$ i $h_j(t)$ mora započeti od stanja u kojem su poznate sve relevantne fizikalne veličine. Dakle, vrijednosti $h_p(t)$ i $h_j(t)$ definirane na početku vremenske domene u trenutku $t = 0$ moraju imati fizikalni značaj i ne mogu biti odabrane proizvoljno. U tu svrhu će se pretpostaviti da se u vremenu prije početka numeričke analize odvijalo stacionarno strujanje u sustavu u kojem nije bilo promjene razina h_p i h_j . Na taj način diskretni oblik jednadžbe

očuvanja za pukotinski sustav u trenutku n na početku vremenske domene poprima oblik

$$c_p(c_{pj}) = q_{p,ob}^{(n)} - c_{pj}^{(n)} \frac{h_p^{(n)} - h_j^{(n)}}{\sqrt{|h_p^{(n)} - h_j^{(n)}|}} = 0 \quad (39)$$

dok jednadžba očuvanja mase za jezero poprima oblik

$$c_j(c_{pj}, c_{jm}) = c_{pj}^{(n)} \frac{h_p^{(n)} - h_j^{(n)}}{\sqrt{|h_p^{(n)} - h_j^{(n)}|}} + q_{j,ob}^{(n)} + q_{j,po}^{(n)} - q_{j,nv}^{(n)} - q_{j,ev}^{(n)} - q_{km,z}^{(n)} - q_{km,p}^{(n)} - c_{jm}^{(n)} \frac{h_j^{(n)} - h_m^{(n)}}{\sqrt{|h_j^{(n)} - h_m^{(n)}|}} = 0 \quad (40)$$

Za odabranu razinu vode u jezeru $h_j^{(n)}$ i razinu $h_p^{(n)}$, prethodne jednadžbe definiraju potrebne vrijednosti provodljivosti $c_{pj}^{(n)}$ i $c_{jm}^{(n)}$ odnosno provodljivosti koje su neophodne da bi se stacionarni uvjeti toka postigli. U tu svrhu valja primijetiti da se prva od navedenih jednadžbi može eksplicitno riješiti te se dobiveno rješenje može potom koristiti u drugoj jednadžbi za definiranje provodljivosti c_{jm} . Valja primijetiti da se ovdje radi samo o početnim vrijednostima te da funkcije provodljivosti moraju biti pažljivo odabrane za preostali dio vremenske domene te će se u tu svrhu provesti postupak kalibracije. Naime, navedeni problem je mnogo kompleksniji od uobičajenih postupka kalibracije u kojima je potrebno odrediti parametre (konstantne) koji nisu ovisni o rješenju sustava.

2.6 Implementacija numeričkog modela

Rezultirajući numerički model se implementirao u računalni algoritam koristeći besplatni programski jezik Python. U nastavku je izložena osnovna struktura programa gdje se na samom početku (u preambuli) mogu prepoznati funkcije definirane izvan programa potrebne za provedbu svih ranije navedenih proračunskih koraka. S obzirom da je u konačnici napisani program rezultirao s više od 1000 redova programskog koda, njegovo cjelovito prikazivanje nije prikladno (radi prostora koji bi zauzeo) pa je stoga ranije provedena detaljna razrada matematičkog i numeričkog modela koja se može koristiti za implementaciju proračunskog postupa u neki drugi programski jezik.

```

1
2 #####
3 # MODEL JEZERA VRANA #####
4 #####
5 import time
6
7 import numpy as np
8
9 from JOMp import JOMp # jednadzba ocuvanje mase u pukotinama
10 from JOMj import JOMj # jednadzba ocuvanje mase u jezeru
11
12 from JOM11 import J11 # clan 11 Jakobijane
13 from JOM12 import J12 # clan 12 Jakobijane
14 from JOM21 import J21 # clan 11 Jakobijane
15 from JOM22 import J22 # clan 12 Jakobijane

```



```

16
17 from fun_inv2x2 import inv2x2 # inverz Jakobijane
18
19 from fun_cpj import funcpj # funkcija provodljivosti pukotine-jezero
20 from fun_cjm import funcjm # funkcija provodljivosti jezero-more
21 from fun_ckm import funcckm # funkcija provodljivosti kanal-more
22
23 from fun_Ap import funAp # funkcija površine pukotina Ap(hp)
24 from fun_Aj import funAj # funkcija površine jezera Aj(hj)
25
26 from fun_Lpot import funLpot # funkcija za dužinu potopljenog dijela korita
27 from fun_Lpon import funLpon # funkcija za dužinu dijela korita koji ponire
28 from fun_qkmz import funqkmz # funkcija prelijevanja preko praga/zapornice
29
30 from fun_qkmp_satno import qkmps # srednja vrijednost satnih protoka poniranja kanal-more
31 from fun_qjmp_satno import qjmps # srednja vrijednost satnih protoka poniranja jezero-more
32
33 from data_zadano_nv import podaci_nv # zadani protok novodnjavanja i vodoopskrbe
34 from data_zadano_do import podaci_do # zadani dodatni protok u jezero
35 from data_zadano_rm import podaci_rm # zadana gustoca mora
36 from data_zadano_xyk import podaci_xyk # zadane koordinate nivelete korita
37 from data_zadano_obk import podaci_obk # zadana obloga korita
38 from data_zadano_hpz import podaci_hpz # zadane koordinate praga/zapornice u vremenu
39 from data_zadano_cot import podaci_cot # koeficijent otjecanja
40
41 from data_mjereno_hj import podaci_hj # izmjerena razina jezera
42 from data_mjereno_hm import podaci_hm # izmjerena razina mora
43 from data_mjereno_hm_satno import podaci_hmsat # satna razina mora
44 from data_mjereno_ob import podaci_ob # izmjerene oborine
45 from data_mjereno_ev import podaci_ev # izmjerena evaporacija
46 from data_mjereno_po import podaci_po # izmjereni površinski protok u jezero
47
48 from data_kalibrirano_Asp import podaci_Asp # površina pukotinskog sustava
49 from data_kalibrirano_cpj import podaci_cpj # provodljivost pukotina-jezero
50 from data_kalibrirano_cjm import podaci_cjm # provodljivost jezero-more
51 from data_kalibrirano_ckm import podaci_ckm # provodljivost kanal-more
52
53 tm0 = time.time()
54
55 # ~~~~~
56 # PARAMETRI MODELA ~~~~~
57 # ~~~~~
58
59 # pocetni datum u sekundama
60 # ~~~~~
61 DT=1262300400.0
62
63 # za pocetak vremenske domene s 01/01/2010 DT=1262300400.0
64 # za pocetak vremenske domene s 01/01/2011 DT=1293836400.0
65 # za pocetak vremenske domene s 01/01/2013 DT=1325372400.0
66 # za pocetak vremenske domene s 01/01/2014 DT=1388530800.0
67 # za pocetak vremenske domene s 01/01/2015 DT=1420066800.0
68 # za pocetak vremenske domene s 01/01/2016 DT=1451602800.0
69 # za pocetak vremenske domene s 01/01/2017 DT=1483225200.0
70 # za pocetak vremenske domene s 01/01/2018 DT=1514761200.0
71
72 # u '01/01/2010' upisati datum pocetka analize i onda broj koji se ispise u DT

```



```

73 # -----
74 print('sifra za polazni datum',time.mktime(time.strptime('01/01/2010',"%d/%m/%Y")))
75
76 # površina sliva
77 # -----
78 As=485000000.0
79
80 # tolerancija za konvergenciju
81 # -----
82 tolerancija=10**(-3.0)
83
84 # konverzija jedinica vremena
85 # -----
86 faktor=1.0/(1000.0*86400.0)
87
88 # -----
89 # VREMENSKA DOMENA -----
90 # -----
91
92 # parametri vremenske domene
93 # -----
94 dt=86400 # vremenski korak [s] => 1 sat
95 ndt=1095 # broj vremenskih koraka => 3 godine
96
97 # vremenska domena u sekundama
98 # -----
99 t_sec=np.zeros(ndt+1)
100 t_sec[0]=0.0
101 for n in range(1,ndt+1):
102     t_sec[n]=t_sec[n-1]+dt
103
104 # vremenska domena u danima
105 # -----
106 t_dan=np.zeros(ndt+1)
107 t_dan[0]=0.0
108 for n in range(1,ndt+1):
109     t_dan[n]=t_sec[n]/86400.0
110
111 # definiraj datume za analizu
112 # -----
113 from _plt_datumi import fundatum ; datum=fundatum(t_dan,DT)
114
115 # -----
116 # UCITAJ KALIBRIRANE PODATKE ANALIZE -----
117 # -----
118 Asp=podaci_Asp()           # površina pukotina
119 cpj=podaci_cpj()           # provodljivost pukotina-jezero
120 cjm=podaci_cjm()           # provodljivost jezero-more
121 ckm=podaci_ckm()           # provodljivost kanal-more
122
123 # -----
124 # UCITAJ IZMJERENE PODATKE ANALIZE -----
125 # -----
126 hj=podaci_hj(dt,ndt)       # razina jezera
127 hm=podaci_hm(dt,ndt)       # razina mora
128 ob=podaci_ob(dt,ndt)       # oborine
129 ev=podaci_ev(dt,ndt)       # evaporacija

```



```

130 po=podaci_po(dt,ndt)          # površinski dotok
131
132 # satne razine mora
133 # ~~~~~
134 more=podaci_hmsat()
135
136 nrow=len(more)
137 hmsat=np.zeros(nrow)
138 tmsat=np.zeros(nrow)
139
140 for i in range(0,nrow):
141     tmsat[i]=more[i][0] # vektor sekunda satnih promjena
142     hmsat[i]=more[i][1] # satna razina mora
143
144 # ~~~~~
145 # IZRACUNAJ PAD DNA KORITA ~~~~~
146 # ~~~~~
147
148 # duzina kanala Prosika [m]
149 # ~~~~~
150 Ltot=770.16
151
152 # diskretizacija korita
153 # ~~~~~
154 ndx=20
155
156 # protosni korak
157 # ~~~~~
158 dx=Ltot/ndx
159
160 # pad dna korita
161 # ~~~~~
162 from korito_S0 import pad ; data=pad(ndx,dx,0.41)
163
164 SO=data[0] # pad dna korita
165 yu=data[1] # uzvodna dubina korita (izlaz iz jezera)
166
167 # ~~~~~
168 # ISPIS ODABRANIH PODATAKA U KONZOLI ZA PRACENJE IZRACUNA ~~~~~
169 # ~~~~~
170 print('')
171 print('vremenska domena:',round(dt*ndt/86400.0,2),'dana')
172 print('vremenski korak:',round(dt/86400.0,2),'dana')
173 print('broj komponenti MJERENJA hj:',hj.size)
174 print('broj komponenti MJERENJA hm:',hm.size)
175 print('broj komponenti MJERENJA ob:',ob.size)
176 print('broj komponenti MJERENJA ev:',ev.size)
177 print('')
178 print('max razina hj:',round(np.max(hj),3))
179 print('min razina hj:',round(np.min(hj),3))
180 print('max razina hm:',round(np.max(hm),3))
181 print('min razina hm:',round(np.min(hm),3))
182
183 # #####
184 # DEFINIRATI VELICINU ZA PARAMETARSKU ANALIZU #####
185 # #####
186

```

```

187 # broj inkrementa povecanja/redukcije
188 # ~~~~~
189 nP=1 # ako je 1 je jedan proracun
190
191 # naslov analize npr...
192 # ~~~~~
193 naslov='Razina jezera unutar vremenske domene za inkrementalno prosirenje kanala'
194
195 # y os
196 # ~~~~
197 yos='razina jezera [m n.m.]'
198
199 # broj komponenti po jednom proracunu
200 # ~~~~~
201 ncomponenti=t_dan.size
202
203 # otvori memorijski prostor za spemanje rezultata
204 # ~~~~~
205 monitoring=np.zeros([ncomponenti,nP+1])
206
207 # otvori memorijski prostor za spemanje min/max rezultata
208 # ~~~~~
209 monitoring_max=np.zeros([nP])
210 monitoring_min=np.zeros([nP])
211
212 # #####
213 # PARAMETARSKA ANALIZA      U NASTAVKU DEFINIRATI ONO STO SE MIJENJA S "v"
214 # #####
215 for v in range(0,nP):
216
217     # print indikator
218     # ~~~~~
219     print('')
220     print('> #####')
221     print('> pokrenut proracun varijante',v)
222     print('> #####')
223     print('')
224
225     # sirina dna kanala Prosike
226     # ~~~~~
227     b=8.34
228
229     # nagib pokosa kanala Prosike
230     # ~~~~~
231     m=0.33
232
233     # Manningov koeficjent korita
234     # ~~~~~
235     n=0.027 # https://www.physicsforums.com/threads/mannings-coeff-to-absolute-roughness.276288/
236
237     # ~~~~~
238     # UCITAJ ZADANE PODATKE ANALIZE ~~~~~
239     # ~~~~~
240
241     nv=podaci_nv(dt,ndt)      # protok iz navodnjavanja i vodoopskrbe
242     do=podaci_do(dt,ndt)     # dodani protok iz akumulacije
243     rm=podaci_rm(dt,ndt)     # gustoca mora

```

```

244     xyk=podaci_xyk()           # koordinate dna korita
245     obk=podaci_obk()          # obloga korita da/ne
246     hpz=podaci_hpz(dt,ndt)    # visina zapornice
247     cot=podaci_cot(dt,ndt)    # koeficijent otjecanja
248     xyk[len(xyk)-1][1]=hpz[0] # zadnja koordinata je prag/zapornica
249
250 # ~~~~~
251 # DEFINIRANJE ČPOETNIH UVJETA ~~~~~
252 # ~~~~~
253
254 # razine vode u pukotinama i jezeru
255 # ~~~~~
256     Hp=np.zeros(ndt+1) ; Hp[0]=5.0
257     Hj=np.zeros(ndt+1) ; Hj[0]=hj[0]
258
259     dhpj=np.zeros(ndt+1) ; dhpj[0]=Hp[0]-hj[0]
260     dhjm=np.zeros(ndt+1) ; dhjm[0]=Hj[0]-hm[0]
261
262 # poznati vanjski protoci jezera i pukotinskog sustava
263 # ~~~~~
264     Qpob=np.zeros(ndt+1) ; Qpob[0]=As*ob[0]*cot[0]*faktor
265     Qjob=np.zeros(ndt+1) ; Qjob[0]=funAj(Hj[0])*ob[0]*faktor
266     Qjpo=np.zeros(ndt+1) ; Qjpo[0]=po[0]
267     Qjdo=np.zeros(ndt+1) ; Qjdo[0]=do[0]
268     Qjnv=np.zeros(ndt+1) ; Qjnv[0]=nv[0]
269     Qjev=np.zeros(ndt+1) ; Qjev[0]=funAj(Hj[0])*ev[0]*faktor
270
271 # ukupni vanjski protok jezera
272 # ~~~~~
273     Qjvn=np.zeros(ndt+1) ; Qjvn[0]=Qjob[0]+Qjdo[0]-Qjev[0]-Qjnv[0]
274
275 # definiranje podzemnih protoka na pocetku vremenske domene
276 # ~~~~~
277     dHpj=Hp[0]-Hj[0]
278     dHjm=Hj[0]-hm[0]
279
280 # podzemni protok pukutine-jezero
281 # ~~~~~
282     Cpj=funcpj(dHpj,cpj)
283     Qpjp=np.zeros(ndt+1)
284     brojnik=Cpj*dHpj
285     nazivnik=np.sqrt(abs(dHpj))
286     Qpjp[0]=brojnik/nazivnik
287
288 # podzemni protok jezero-more
289 # ~~~~~
290     Qjmp=np.zeros(ndt+1)
291     Qjmp[0]=qjmps(tmsat,hmsat,0.0,dt,Hj[0],rm[0]/1000.0,cjm)
292
293 # podzemni protok kanal-more
294 # ~~~~~
295     Qkmp=np.zeros(ndt+1)
296     Lpot=funLpot(Hj[0],xyk)
297     Lpon=funLpon(Lpot,obk)
298     Qkmp[0]=qkmps(tmsat,hmsat,0.0,dt,Hj[0],rm[0]/1000.0,Lpon,Ltot,ckm)
299
300 # protok preko praga/zapornice

```

```

301 # -----
302 Qkmz=np.zeros(ndt+1) ; Qkmz[0]=funqkmz(Hj[0],hm[0],hpz[0],b,m,n,Qkmp[0],ndx,dx,S0,yu)
303
304 # -----
305 # MONITORING MIN/MAX KALIBRACIJSKIH PARAMETARA -----
306 # -----
307 min_dHpj= 10.0**10.0 ; max_dHpj=-10.0**10.0
308 min_dHjm= 10.0**10.0 ; max_dHjm=-10.0**10.0
309 min_cpj = 10.0**10.0 ; max_cpj =-10.0**10.0
310 min_cjm = 10.0**10.0 ; max_cjm =-10.0**10.0
311 min_Asp = 10.0**10.0 ; max_Asp =-10.0**10.0
312 min_hp  = 10.0**10.0 ; max_hp   =-10.0**10.0
313
314 # -----
315 # NUMERICKI ALGORITAM -----
316 # -----
317
318 for t in range(1,ndt+1):
319
320 #     ispis vremenskog koraka
321 #     -----
322     print('vremenski korak',t)
323
324 #     azuriraj zadnju koordinatu korita (prag/zapornica)
325 #     -----
326     xyk[len(xyk)-1][1]=hpz[t]
327
328 #     postavi proteklo vrijeme
329 #     -----
330     vrijeme=t*dt
331
332 #     pocetno stanje (prethodni vremenski korak)
333 #     -----
334     Hp0=Hp[t-1]
335     Hj0=Hj[t-1]
336
337 #     poznati ulaz/izlaz mase za pukotine i jezero
338 #     -----
339     Qpob[t]=As*ob[t]*cot[t]*faktor      # oborine na pukotinski sustav
340     Qjob[t]=funAj(Hj[t])*ob[t]*faktor    # oborin na jezero
341     Qjpo[t]=po[t]                        # površinski dotok u jezero
342     Qjdo[t]=do[t]                        # dodani protok iz akumulacije
343     Qjnv[t]=nv[t]                        # protok navodnjavanja i vodoopskrbe
344     Qjev[t]=funAj(Hj[t])*ev[t]*faktor    # evaporacija s površine jezera
345
346 #     ukupni ulaz/izlaz mase za jezero
347 #     -----
348     Qjvn[t]=Qjob[t]+Qjpo[t]+Qjdo[t]-Qjnv[t]-Qjev[t]
349
350 #     omjer gustoće slane i slatke vode
351 #     -----
352     rro=rm[t]/1000.0
353
354 #     pretpostavke rješenja
355 #     -----
356     Hpn=Hp0
357     Hjn=Hj0

```



```

358
359 #       iteriraj nelinearni sustav
360 #       ~~~~~
361 rezidual=1.0
362
363 #       redni broj iteracije
364 #       ~~~~~
365 iteracija=0
366
367 while rezidual>tolerancija:
368
369 #       površina pukotinskog sustava i jezera
370 #       ~~~~~
371 Ap=funAp(Hpn, Asp)
372 Aj=funAj(Hjn)
373
374 #       razlike razina
375 #       ~~~~~
376 dHpj=Hpn-Hjn
377 dHjm=Hjn-hm[t]
378
379 #       potopljeni dio korita Prosike
380 #       ~~~~~
381 Lpot=funLpot(Hjn,xyk) # potopljeni dio dionice
382 Lpon=funLpon(Lpot,obk) # dio dionice na kojem voda ponire
383
384 #       poniranje u jezeru (satno)
385 #       ~~~~~
386 qjmp_satno=qjmps(tmsat,hmsat,vrijeme,dt,Hjn,rro,cjm)
387
388 #       poniranje u koritu (satno)
389 #       ~~~~~
390 qkmp_satno=qkmps(tmsat,hmsat,vrijeme,dt,Hjn,rro,Lpon,Ltot,ckm)
391
392 #       protok preko praga/zapornice
393 #       ~~~~~
394 Qkmz[t]=funqkmz(Hjn,hm[t],hpz[t],b,m,n,qkmp_satno,ndx,dx,S0,yu)
395
396 #       koeficijenti provodljivosti
397 #       ~~~~~
398 Cpj=funcpj(dHpj,cpj)
399 Cjm=funcjm(dHjm,cjm)
400 Ckm=funckm(dHjm,ckm)
401
402 #       izracunaj Jakobijanu
403 #       ~~~~~
404 mtx11=J11(Hpn,Hjn,Cpj,Ap,dt)
405 mtx12=J12(Hpn,Hjn,Cpj,Ap,dt)
406 mtx21=J21(Hpn,Hjn,Cpj,Aj,dt)
407 mtx22=J22(Hpn,Hjn,hm[t],Cpj,Ckm,Cjm,Aj,Lpon,Ltot,rro,dt)
408
409 #       invertiraj Jakobijanu
410 #       ~~~~~
411 inv11, inv12, inv21, inv22 = inv2x2(mtx11,mtx12,mtx21,mtx22)
412
413 #       izracunaj rezidual funkcija
414 #       ~~~~~

```

```

415     fp=JOMp(Hpn,Hp0,Hjn,Cpj,Qpob[t],Ap,dt)
416     fj=JOMj(Hjn,Hj0,Hpn,hm[t],Cpj,Ckm,Cjm,Qjvn[t],Qkmz[t],qjmp_satno,qkmp_satno,Aj,Lpon,
         Ltot,rro,dt)
417
418 #     izracunaj inkremente korekcije
419 #     ~~~~~
420     dHp=-fp*inv11-fj*inv12
421     dHj=-fp*inv21-fj*inv22
422
423 #     izracunaj nove vrijednosti
424 #     ~~~~~
425     Hpn=Hpn+dHp
426     Hjn=Hjn+dHj
427
428 #     izracunaj normu vektora reziduala
429 #     ~~~~~
430     rezidual=(dHp**2.0+dHj**2.0)**0.5
431
432 #     forsiraj konvergenciju
433 #     ~~~~~
434     iteracija=iteracija+1
435     if(iteracija>30):
436         rezidual=0.0
437
438 #     postavi rjesenja sustava
439 #     ~~~~~
440     Hp[t]=Hpn
441     Hj[t]=Hjn
442
443 #     monitoring min/max kalibracijskih parametara
444 #     ~~~~~
445     if(min_dHpj>dHpj):
446         min_dHpj=dHpj
447     if(max_dHpj<dHpj):
448         max_dHpj=dHpj
449     if(min_dHjm>dHjm):
450         min_dHjm=dHjm
451     if(max_dHjm<dHjm):
452         max_dHjm=dHjm
453     if(min_cpj>Cpj):
454         min_cpj=Cpj
455     if(max_cpj<Cpj):
456         max_cpj=Cpj
457     if(min_cjm>Cjm):
458         min_cjm=Cjm
459     if(max_cjm<Cjm):
460         max_cjm=Cjm
461     if(min_Asp>Ap):
462         min_Asp=Ap
463     if(max_Asp<Ap):
464         max_Asp=Ap
465     if(min_hp>Hpn):
466         min_hp=Hpn
467     if(max_hp<Hpn):
468         max_hp=Hpn
469
470 #     podzemni protoci pukotine-jezero i jezero-more

```

```

471 # -----
472 Qpjp[t]=(Cpj*dHpj)/np.sqrt(abs(dHpj))
473 Qkmp[t]=qkmp_satno
474 Qjmp[t]=qjmp_satno
475
476 # razlike razina
477 # -----
478 dhpj[t]=dHpj
479 dhjm[t]=dHjm
480
481 # ispis monitoringa min/max kalibracijskih parametara
482 # -----
483 print('min_Asp', round(min_Asp,2), 'max_Asp', round(max_Asp,2))
484 print('min_hp', round(min_hp,2), 'max_hp', round(max_hp,2))
485 print('min_dHpj', round(min_dHpj,2), 'max_dHpj', round(max_dHpj,2))
486 print('min_cpj', round(min_cpj,2), 'max_cpj', round(max_cpj,2))
487 print('min_dHjm', round(min_dHjm,2), 'max_dHjm', round(max_dHjm,2))
488 print('min_cjm', round(min_cjm,2), 'max_cjm', round(max_cjm,2))
489
490 # #####
491 # DEFINIRATI VELICINU ZA PARAMETARSKU ANALIZU #####
492 # #####
493
494 velicina_koji_se_prati=Hj # <--- tu definirati sto se prati (npr. razina jezera)
495 # -----
496
497 # postavi rjesenje u matricu
498 # -----
499 for i in range(0,ncomponenti):
500     monitoring[i,v]=velicina_koji_se_prati[i]
501
502 # postavi dosegnute max/min rezultate
503 # -----
504 monitoring_max[v]=max(velicina_koji_se_prati)
505 monitoring_min[v]=min(velicina_koji_se_prati)
506
507 # -----
508 # PRIKAZ REZULTATA -----
509 # -----
510
511 from _plt_rezultat_hj import prikazi ; prikazi(t_dan,Hj,v,datum)
512 from _plt_rezultat_qj import prikazi ; prikazi(t_dan,Qpjp,Qjob,Qjpo,Qjdo,Qjnv,Qjev,
    Qkmz,Qkmp,Qjmp,v,datum)
513 from _plt_rezultat_hj_hm import prikazi ; prikazi(t_dan,Hj,hm,v,datum)
514 from _plt_rezultat_hj_hm_qjmp import prikazi ; prikazi(t_dan,Hj,hm,Qjmp,v,datum)
515 from _plt_rezultat_hj_hm_qkmp import prikazi ; prikazi(t_dan,Hj,hm,Qkmp,v,datum)
516 from _plt_rezultat_hj_hm_qkmz_hp import prikazi ; prikazi(t_dan,Hj,hm,hpz,Qkmz,v,datum)
517 from _plt_rezultat_hj_hj import prikazi ; prikazi(t_dan,Hj,hj,v,datum)
518 from _plt_rezultat_qz_hz import prikazi ; prikazi(t_dan,Qkmz,hpz,v,datum)
519 from _plt_rezultat_dV import prikazi ; prikazi(t_dan,Hj,hm,v,datum)
520 from _plt_rezultat_Vj_Vsln import prikazi ; prikazi(t_dan,Hj,Qkmz,Qkmp,Qjmp,dt,v,datum)
521 from _plt_rezultat_Vj_dekom import prikazi ; prikazi(t_dan,Hj,Qpjp,Qjob,Qjpo,Qjdo,Qjnv,
    Qjev,Qkmz,Qkmp,Qjmp,dt,DT,v)
522 from _plt_rezultat_qkmp_mjsr import prikazi ; prikazi(t_dan,Hj,hm,Qkmp,dt,DT,v)
523
524
525 # prikaz podataka za pomoc pri kalibraciji (gdje fali / gdje je vise)

```

```

526 # -----
527 from _plt_kalibracija_hj_hj_hm_hp import prikazi ; prikazi(t_dan,Hp,Hj,hj,hm,v,datum)
528 from _plt_kalibracija_hj_hj_dhpj import prikazi ; prikazi(t_dan,Hj,hj,dhpj,Hp,v,datum)
529 from _plt_kalibracija_hj_hj_dhjm import prikazi ; prikazi(t_dan,Hj,hj,dhjm,v,datum)
530 from _plt_kalibracija_dhj_dhj import prikazi ; prikazi(t_dan,Hj,hj,hm,v,datum)
531
532 # -----
533 # PRIKAZI REZULTATE KOJI SE ODOSE NA PARAMETARSKU ANALIZU -----
534 # -----
535 #from _plt_monitoring import prikazi ; prikazi(t_dan,monitoring,nP,datum,naslov,yos)
536 #from _plt_monitoring_maxmin import prikazi ; prikazi(monitoring_min,monitoring_max,nP,naslov,yos)
537
538 # -----
539 # PRIKAZI DIJAGRAME ZADANIH PODATAKA -----
540 # -----
541 from _plt_zadano_nv import prikazi ; prikazi(t_dan,nv,DT)
542 from _plt_zadano_do import prikazi ; prikazi(t_dan,do,DT)
543 from _plt_zadano_rm import prikazi ; prikazi(t_dan,rm,DT)
544 from _plt_zadano_cot import prikazi ; prikazi(t_dan,cot,DT)
545
546 # -----
547 # PRIKAZI DIJAGRAME MJERENIH PODATAKA -----
548 # -----
549 from _plt_mjereno_Aj import prikazi ; prikazi()
550 from _plt_mjereno_Vj import prikazi ; prikazi()
551 from _plt_mjereno_hj import prikazi ; prikazi(t_dan,hj,DT)
552 from _plt_mjereno_hm import prikazi ; prikazi(t_dan,hm,DT)
553 from _plt_mjereno_ob import prikazi ; prikazi(t_dan,ob,DT)
554 from _plt_mjereno_ev import prikazi ; prikazi(t_dan,ev,DT)
555 from _plt_mjereno_po import prikazi ; prikazi(t_dan,po,DT)
556
557 # -----
558 # PRIKAZI DIJAGRAME KALIBRIRANIH PODATAKA -----
559 # -----
560 from _plt_kalibrirano_Ap import prikazi ; prikazi(Asp)
561 from _plt_kalibrirano_cpj import prikazi ; prikazi(cpj)
562 from _plt_kalibrirano_cjm import prikazi ; prikazi(cjm)
563 from _plt_kalibrirano_ckm import prikazi ; prikazi(ckm)
564
565 tm1 = time.time()
566 print("vrijeme proracuna",(tm1-tm0)/60.0,"min")

```

2.7 Validacija numeričkog modela

Kako bi se isključile pogreške koje su mogle nastati u vrijeme implementacije dobivenog numeričkog algoritma u programski algoritam, isti je prethodnu postupku kalibracije bilo potrebno validirati. U tu svrhu je proveden postupak validacije tako da se dobivenim računalnim algoritmom provela simulacija izmjene razina vode u sustavu s dva serijski spojena bazena s vanjskim dotocima za koje je rješenje unaprijed poznato. Postupkom validacije, koji je proveden za različite varijante dotoka i karakteristika provodnika između bazena, utvrđeno je da je implementacija numeričkog algoritma ispravno provedena.

2.8 Kalibracija

Kalibracija numeričkog modela je od ključne važnosti za izradu parametarskih analiza odnosno komparaciju varijantnih tehničkih rješenja te potom odabira najpovoljnijeg rješenja. U tu svrhu ista mora biti provedena na temelju poznatih podataka terenskih mjerenja razine jezera i to u vremenskom periodu unutar kojeg su poznati svi vanjski čimbenici koji su utjecali na vremensku promjenu razine vode u jezeru.

S obzirom na prethodno navedeno, iz opsežne dokumentacije provedenih terenskih mjerenja su izdvojene godine 2010.-2015. unutar kojih je prepoznato sušno razdoblje koje je rezultiralo isušivanjem jezera u 2012. godini. Navedeni vremenski period je odabran kao mjerodavan iz razloga niske razine jezera, vrlo izražene dinamike promjene razine jezera unutar spomenute vremenske domene te ujedno iz razloga jer za isti postoje dokumentirani iznosi svih relevantnih vanjskih utjecaja koji su utjecali na promjenu razine vode u jezeru Vrana.

2.8.1 Izmjereni podaci

Za navedeni vremenski period je vremenska izmjerena izmjena razine vode u jezeru prikazana na slici 30. U istom vremenskom periodu izmjerena je razina mora prikazana na slici 31. Od ostalih vanjskih utjecaja moraju se uključiti oborine na okolni sliv i one koje direktno padaju na površinu jezera. Protok koji se ostvaruje na račun oborina i koji ulazi u pukotinski sustav okolnog sliva je definiran jednadžbom

$$q_{p,ob} = A_s c_o P(t) \frac{1}{1000 \cdot 86400} \quad (41)$$

gdje je:

⇒ A_s površina sliva definirana s $485.000.000 \text{ m}^2$,

⇒ c_o koeficijent otjecanja,

⇒ $P(t)$ količina dnevnih padalina u mm,

⇒ $\frac{1}{1000 \cdot 86400}$ konverzija u m^3/s .

S druge strane, za iste dnevne padaline, protok koji se ostvaruje direktnim unosom vode na površinu jezera je uslijed oborina definiran s

$$q_{j,ob} = A_j(h_j) P(t) \frac{1}{1000 \cdot 86400} \quad (42)$$

gdje je:

⇒ $A_j(h_j)$ površina jezera koja zavisi o trenutnoj razini vode u jezeru,

⇒ $P(t)$ količina dnevnih padalina u mm,

⇒ $\frac{1}{1000 \cdot 86400}$ konverzija u m^3/s .

Za kvantifikaciju navedenih iznosa protoka vode je neophodno definirati dnevne padaline u razma-

tranom vremenskom periodu te su u tu svrhu korišteni podaci prikazani na slici 32.

Isto tako, potrebno je uvažiti i protok $q_{j,ev}$ koji reducira razinu vode u jezeru, a nastaje kao posljedica evaporacije s površine vode u jezeru. Dijagram protoka vode ostvaren uslijed isparavanja je prikazan na slici 33. Vrijednosti iz dijagrama su definirane za zadane srednje mjesečne temperature i srednje mjesečne vlažnosti zraka te koristeći modificiranu formulu po Ivanovu

$$E = 0.000805(25 + T)^{2.29}(100 - U) \quad (43)$$

gdje je:

⇒ E mjesečna suma isparavanja sa slobodne površine [mm/mjesec/ m^2],

⇒ E srednja mjesečna temperatura zraka [C°],

⇒ U srednja mjesečna vlažnost zraka [%].

Iznos evaporacije s površine jezera prikazan je u tablicama 1, 2 i 3

Tablica 1: Mjesečne vrijednosti evaporacije sa slobodne površine proračunate prema modificiranoj formuli Ivanova za 2010. i 2011. godinu.

Godina	Mj.	Srednja mjesečna temperatura zraka	Srednja mjesečna relativna vlažnost zraka	Evaporacija	
		[°C]	[%]	[mm/mj./m ²]	[mm/dan/m ²]
2010.	1	5,5	71	58,5	1,89
	2	7,2	73	61,7	2,20
	3	9,4	69	82,4	2,66
	4	13,8	66	119,0	3,97
	5	17,5	70	129,4	4,17
	6	22,3	57	237,0	7,90
	7	25,8	52	311,5	10,05
	8	23,9	60	237,9	7,67
	9	19,1	70	140,8	4,69
	10	14,4	66	123,3	3,98
	11	13	82	60,1	2,00
	12	7	71	65,3	2,11
2011.	1	6,5	73	58,7	1,89
	2	7	63	83,3	2,98
	3	10	63	102,3	3,30
	4	15,2	54	174,7	5,82
	5	19,2	50	235,9	7,61
	6	23,6	55	263,9	8,80
	7	24,3	55	272,7	8,80
	8	25,5	51	313,7	10,12
	9	23,2	60	230,2	7,67
	10	15,4	64	138,3	4,46
	11	10,8	73	78,6	2,62
	12	9,7	72	75,9	2,45

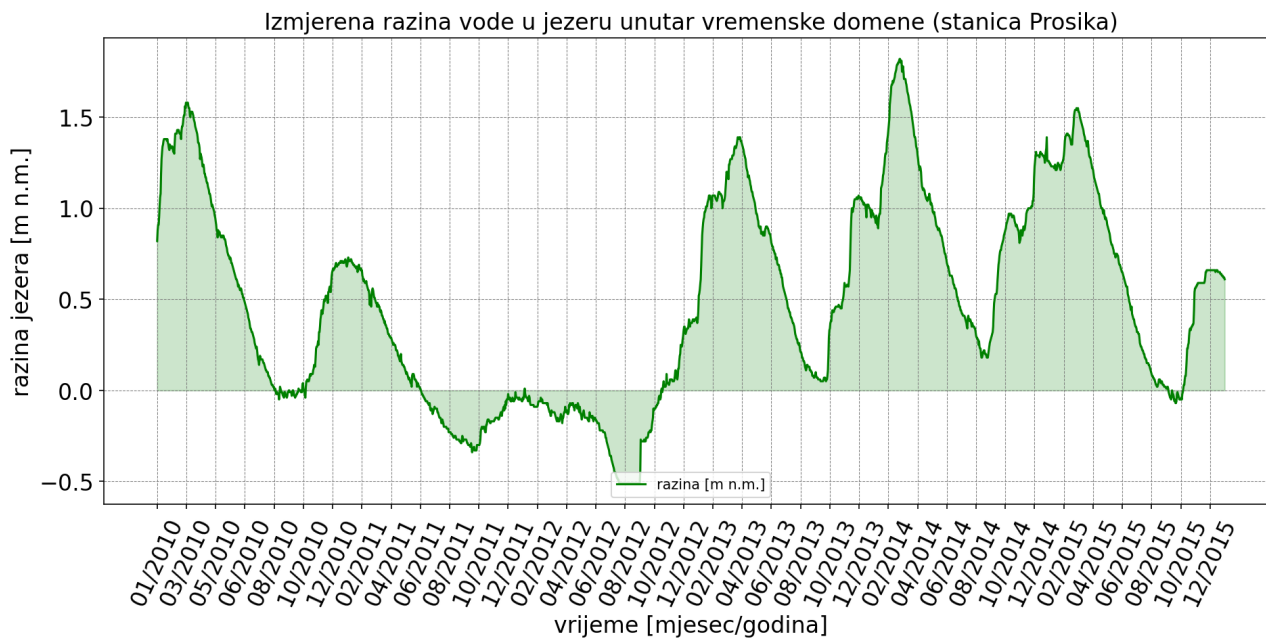
Tablica 2: Mjesečne vrijednosti evaporacije sa slobodne površine proračunate prema modificiranoj formuli Ivanova za 2012. i 2013. godinu.

Godina	Mj.	Srednja mjesečna temperatura zraka	Srednja mjesečna relativna vlažnost zraka	Evaporacija	
		[°C]	[%]	[mm/mj./m ²]	[mm/dan/m ²]
2012.	1	6,2	73	57,4	1,85
	2	3,1	70	50,2	1,73
	3	12,2	68	101,7	3,28
	4	13,4	65	119,7	3,99
	5	17,6	70	130,1	4,20
	6	24,1	60	240,1	8,00
	7	27	57	294,4	9,50
	8	26,2	59	270,9	8,74
	9	21	72	144,8	4,83
	10	16,4	65	142,2	4,59
	11	14,3	74	93,7	3,12
	12	7,2	73	61,7	1,99
2013.	1	7,7	79	49,7	1,60
	2	6,8	77	51,1	1,82
	3	9,8	78	60,0	1,94
	4	14,6	76	88,0	2,93
	5	17,4	72	120,1	3,87
	6	21,7	65	187,3	6,24
	7	26	55	294,7	9,51
	8	25,2	55	284,2	9,17
	9	20,2	67	163,9	5,46
	10	16,7	77	95,0	3,06
	11	12,3	71	92,8	3,09
	12	9,2	71	76,1	2,45

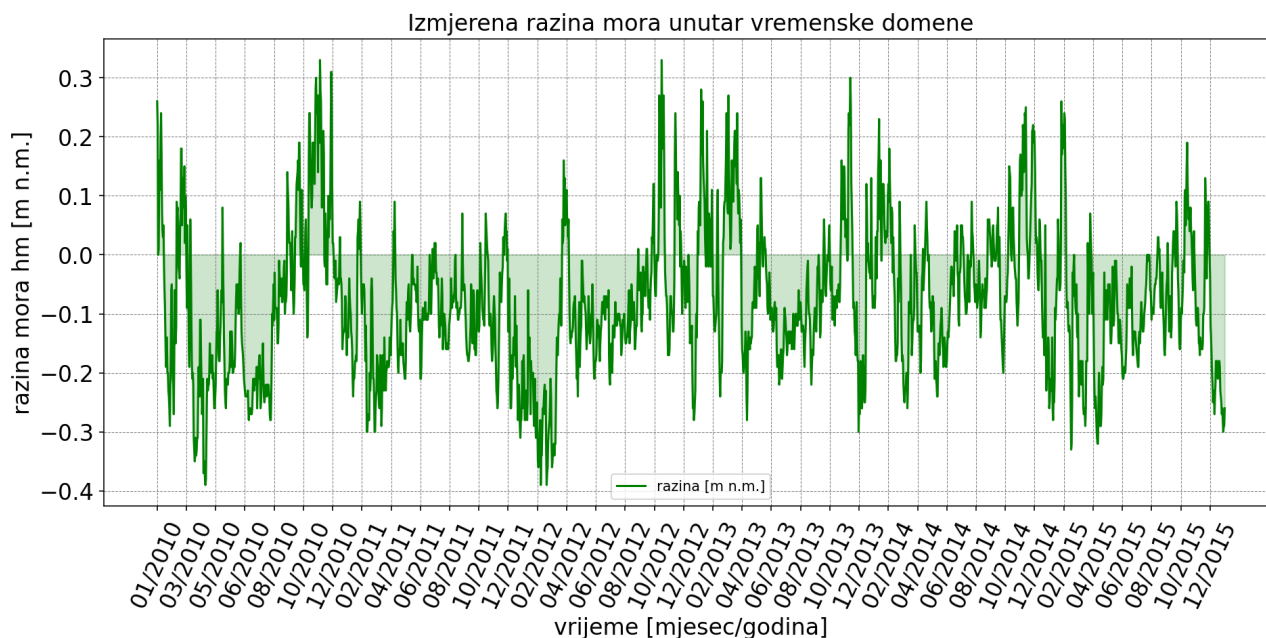
Tablica 3: Mjesečne vrijednosti evaporacije sa slobodne površine proračunate prema modificiranoj formuli Ivanova za 2014. i 2015. godinu.

Godina	Mj.	Srednja mjesečna temperatura zraka	Srednja mjesečna relativna vlažnost zraka	Evaporacija	
		[°C]	[%]	[mm/mj./m ²]	[mm/dan/m ²]
2014.	1	10,3	79	59,2	1,91
	2	11,1	76	71,2	2,54
	3	11,7	68	98,6	3,18
	4	14,9	70	112,0	3,73
	5	17,2	65	148,5	4,79
	6	22,3	62	209,4	6,98
	7	23,6	67	193,5	6,24
	8	23,6	67	193,5	6,24
	9	19,4	72	133,5	4,45
	10	16,9	70	125,3	4,04
	11	14,4	82	65,3	2,18
	12	8,8	72	71,5	2,31
2015.	1	7,9	72	67,2	2,17
	2	7,6	66	79,9	2,85
	3	10,6	61	112,1	3,62
	4	13,2	61	131,8	4,39
	5	18,9	64	167,2	5,39
	6	23,3	57	248,6	8,29
	7	27,4	55	313,5	10,11
	8	25,7	63	239,0	7,71
	9	21,1	59	213,0	7,10
	10	15,9	74	102,7	3,31
	11	11,1	79	62,3	2,08
	12	9,2	80	52,5	1,69

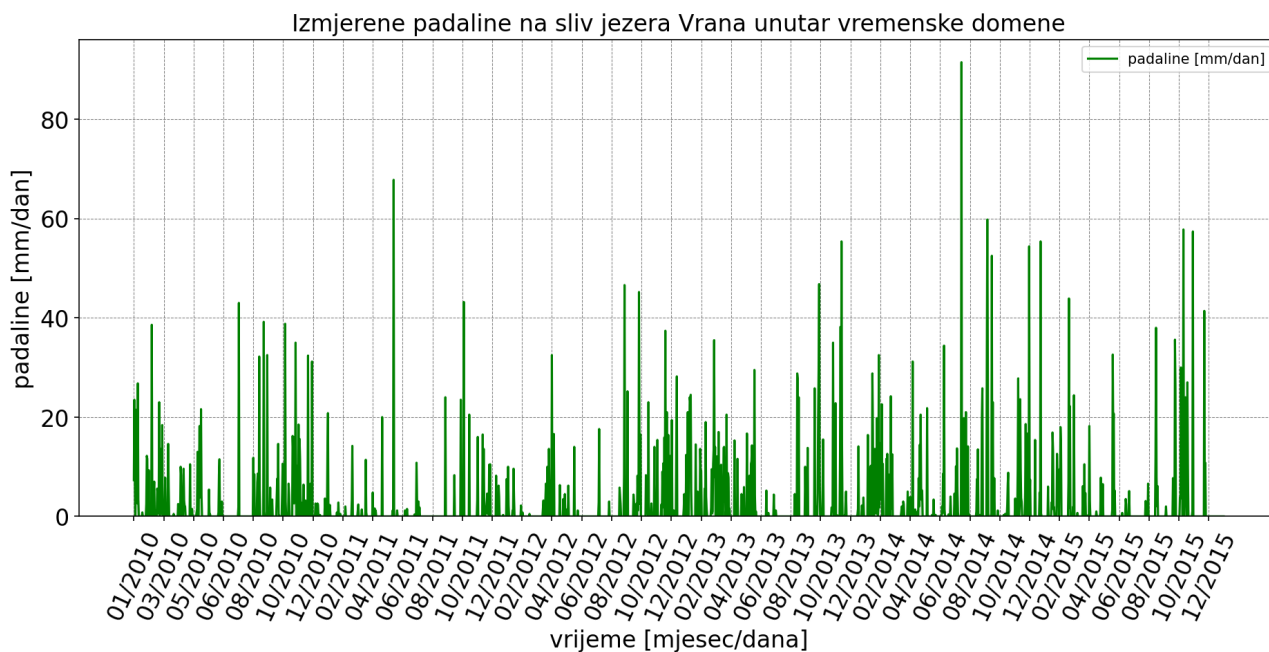
Osim prethodno navedenoga, razina vode u jezeru je uvjetovana korištenjem iste te je tako za potrebe kalibriranja modela zadana vremenska promjena protoka koji izlazi iz jezera uslijed potreba za navodnjavanjem i vodoopskrbe. Dijagram vremenske promjene protoka $q_{j,nv}$ je prikazan na slici 34.



Slika 30: Izmjerena vremenska promjena razine jezera u godinama 2010.-2015.



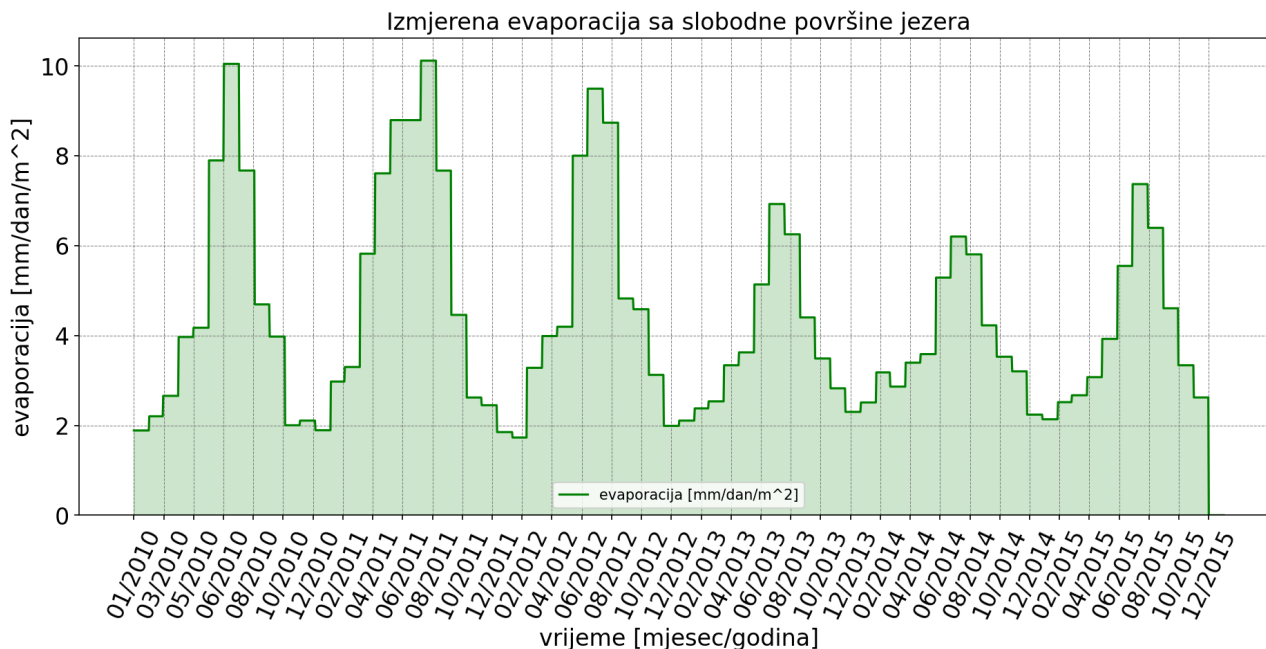
Slika 31: Izmjerena vremenska promjena razine mora u godinama 2010.-2015.



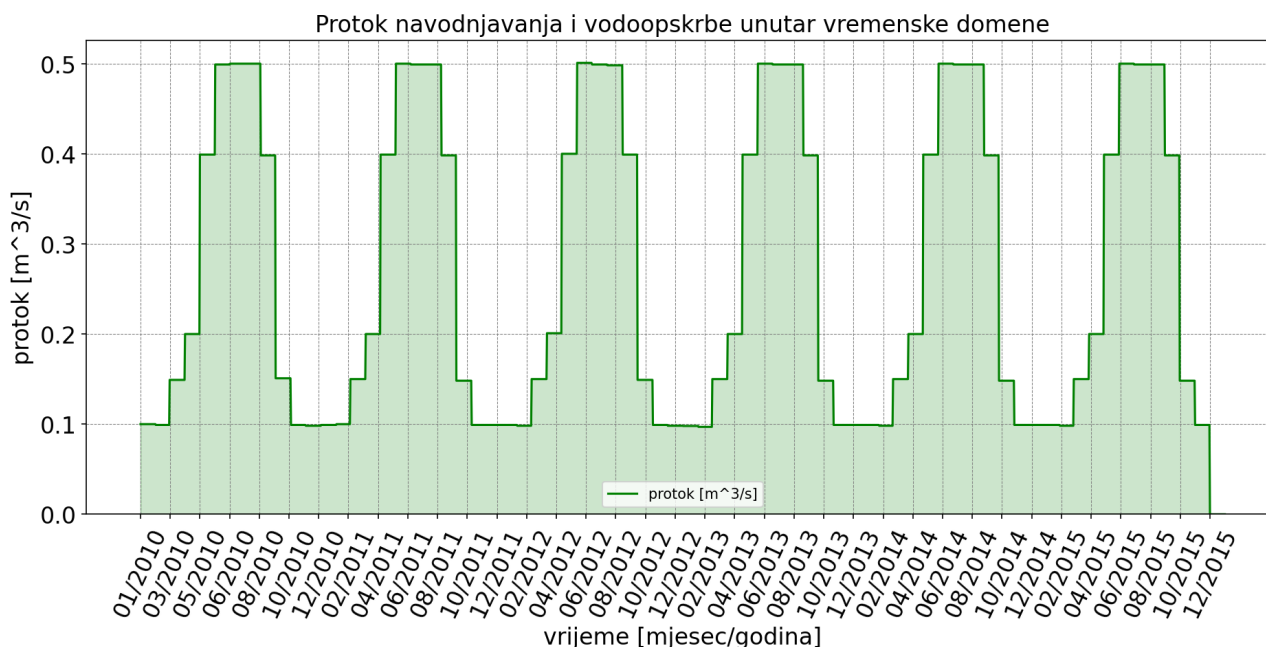
Slika 32: Izmjerene dnevne padaline na postaji Biograd na moru u godinama 2010.-2015.

Za definiranje površinskih dotoka u jezero prikazanih na slici 35 korišteni su podaci o dnevnim protocima i vodostajima sa sljedećih hidroloških postaja:

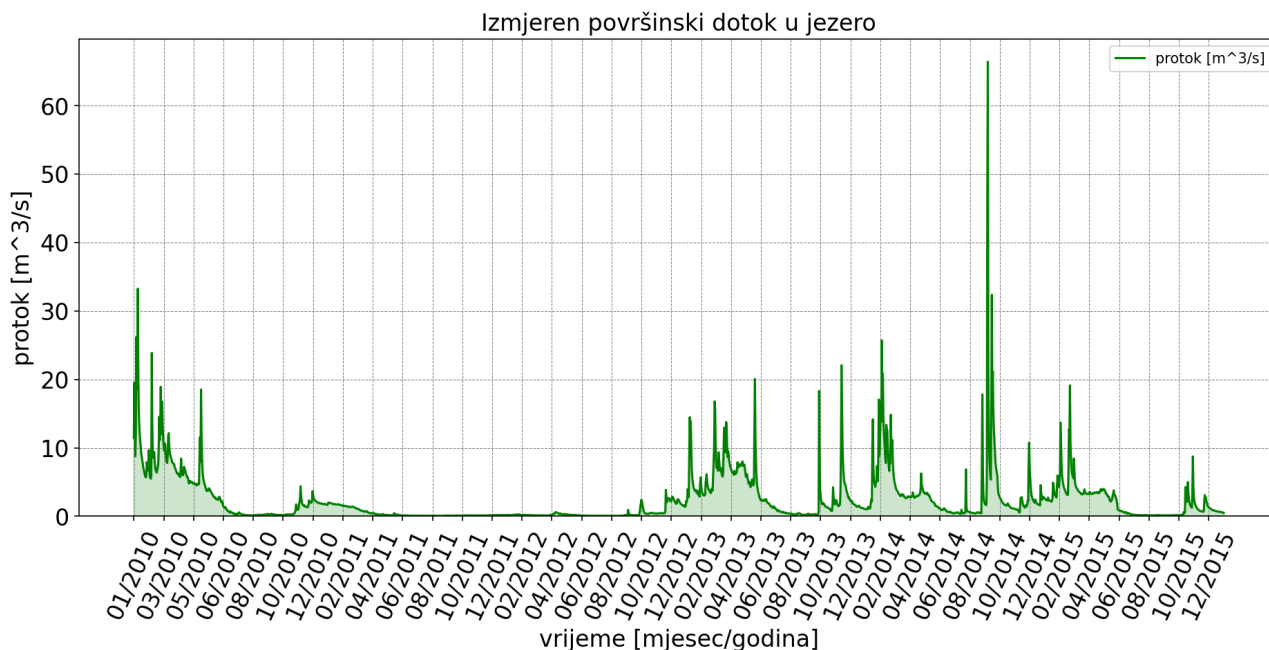
- Jankolovica (šifra 7274)
- Burski most (šifra 7277)
- Vrana - Lateralni kanal (šifra 7372)
- Oporičev most nizv. (šifra 7374)
- Vrana - Škorobić (šifra 7376)



Slika 33: Protok vode isparavanja sa površine jezera u godinama 2010.-2015.

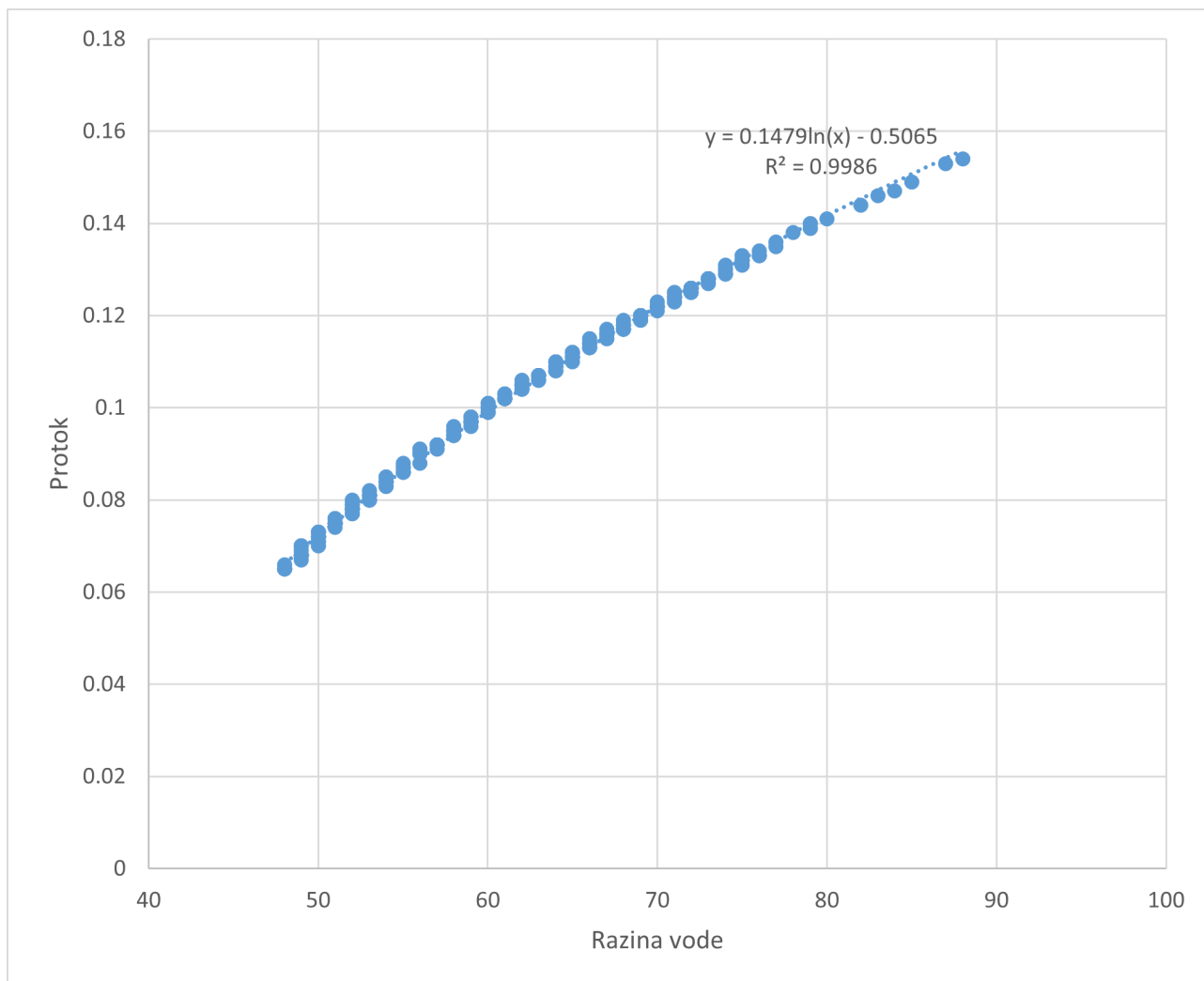


Slika 34: Protok za potrebe vodoopskrbe i navodnjavanja u godinama 2010.-2015.



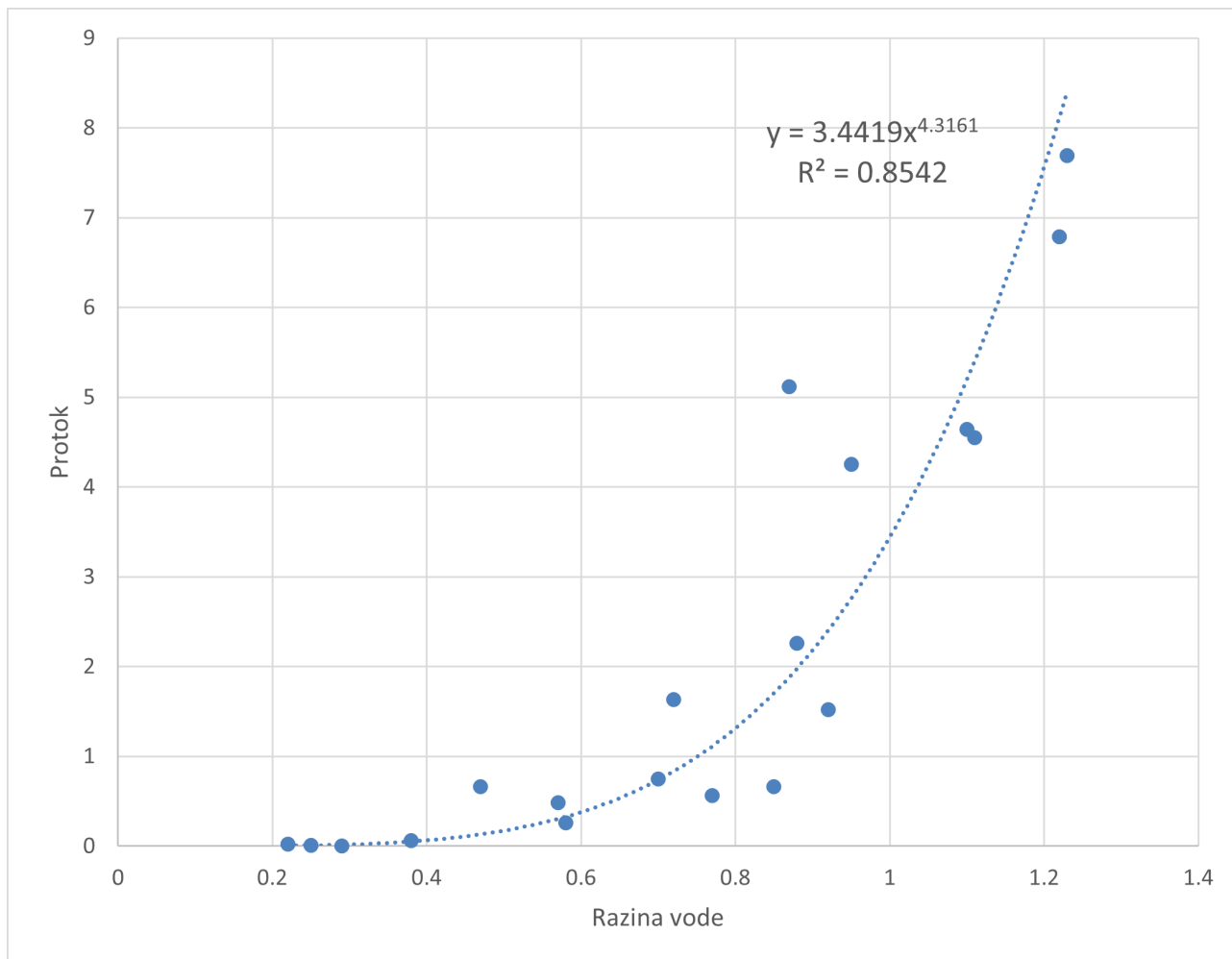
Slika 35: Ukupni mjereni površinski dotoci u jezero za modelirano razdoblje.

Za postaje Vrana - Lateralni kanal, Oporičev most nizv. i Vrana - Škorobić korišteni su dostupni podaci o protocima u razdoblju od 2010. do 2015. godine. Za Burski most bili su dostupni podaci o protocima zaključno do 2013.g., dok su za 2014. i 2015. bili dostupni samo vodostaji. Slijedom toga za proračun protoka u posljednje dvije godine korištena je konsumpcijska krivulja definirana prema podacima iz 2013.g., prikazana na slici 36.



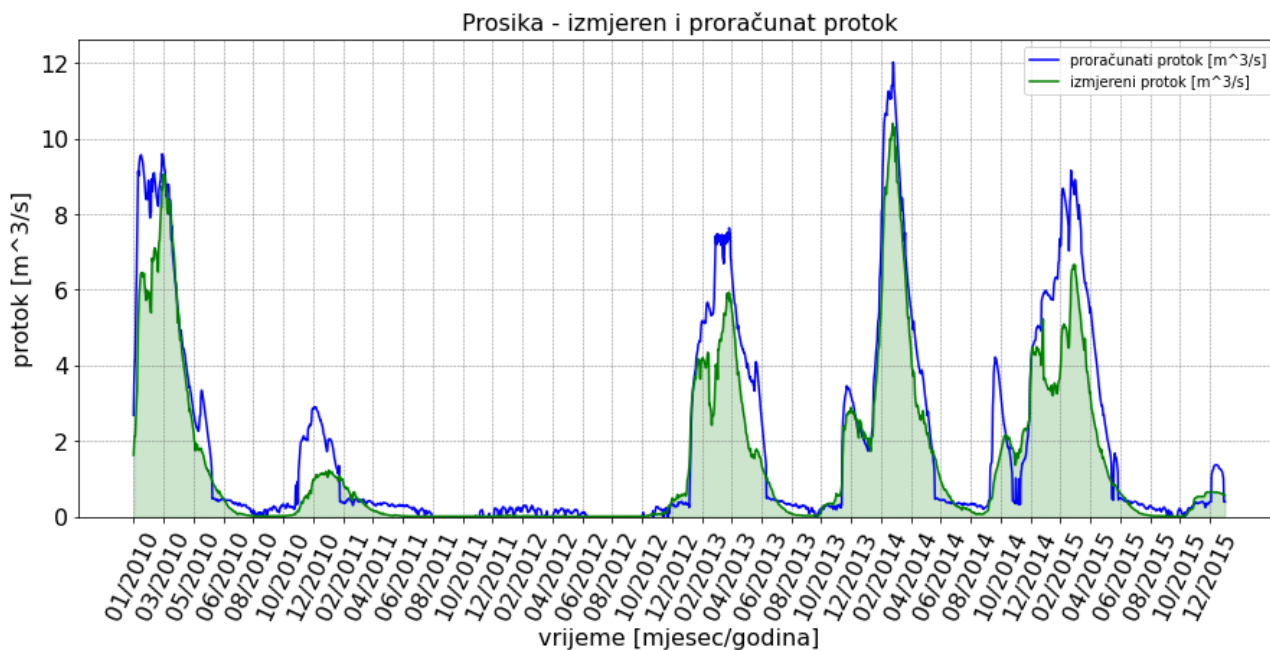
Slika 36: Prikaz odnosa razine vode i protoka na postaji Burski most u 2013.g. s prikazom konsumpcijske krivulje.

Za postaju Jankolovica bili su dostupni samo vodostaji, no kako su se kroz modelirano razdoblje provodila vodomjerenja na mjestu navedene postaje ista su korištena za definiranje protoka. Konsumpcijska krivulja temeljena na vodomjerenjima od 2010. do 2015. prikazana je na slici 37.

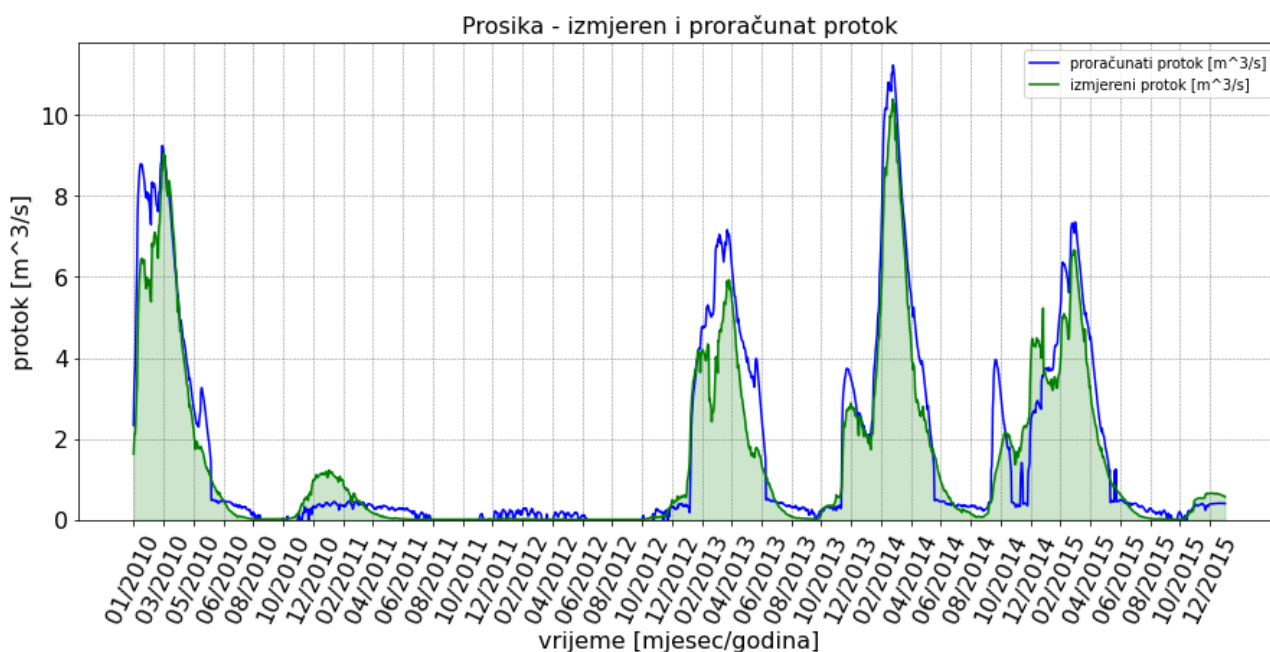


Slika 37: Prikaz protoka za različite razine vode izmjerene u okviru vodomjerenja provedenih u razdoblju 2010.-2015.g. zajedno s rezultirajućom konsumpcijskom krivuljom.

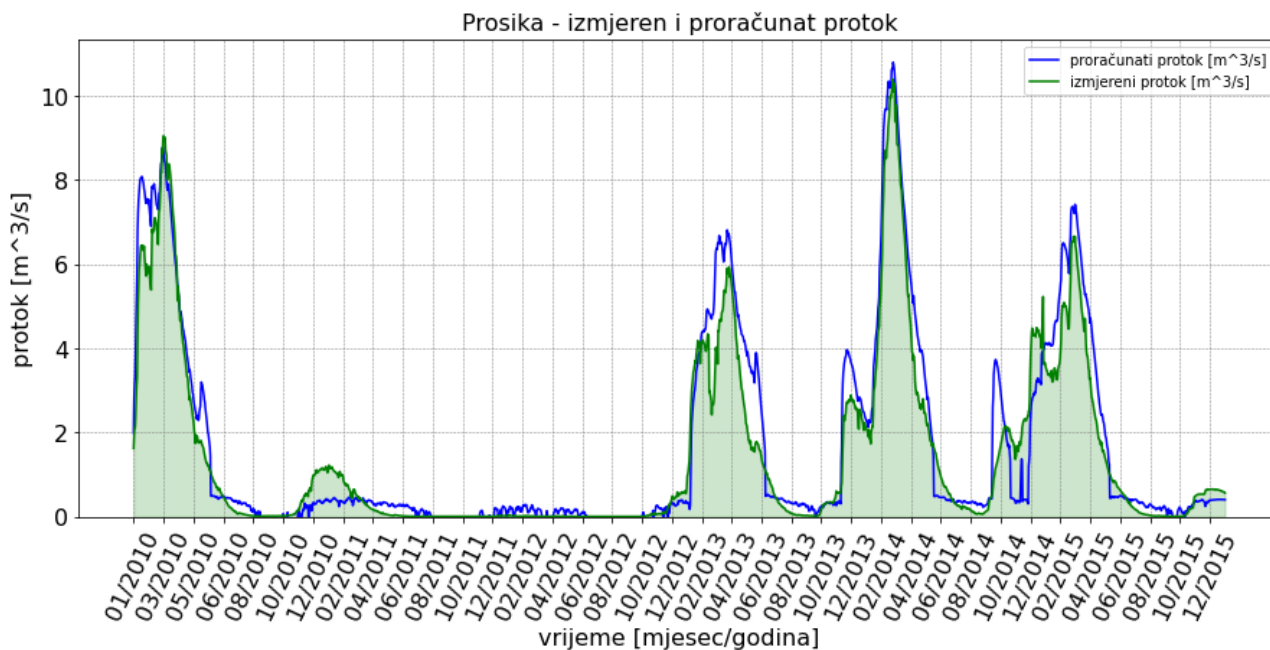
Za definiranje Manningovog koeficijenta hrapavosti n za kanal Prosiku provedeni su proračuni s vrijednostima koeficijenta u rasponu od 0.025 do 0.04 te su uspoređeni rezultirajući protoci s protocima mjerenim na postaji Prosika. Usporedba proračunatih i mjerenih protoka prikazana je na slikama [38](#), [39](#), [40](#), [41](#) i [42](#). Kako rezultati za $n = 0.04$ najbolje odgovaraju izmjerenim vrijednostima ta je vrijednost odabrana za daljnje proračune.



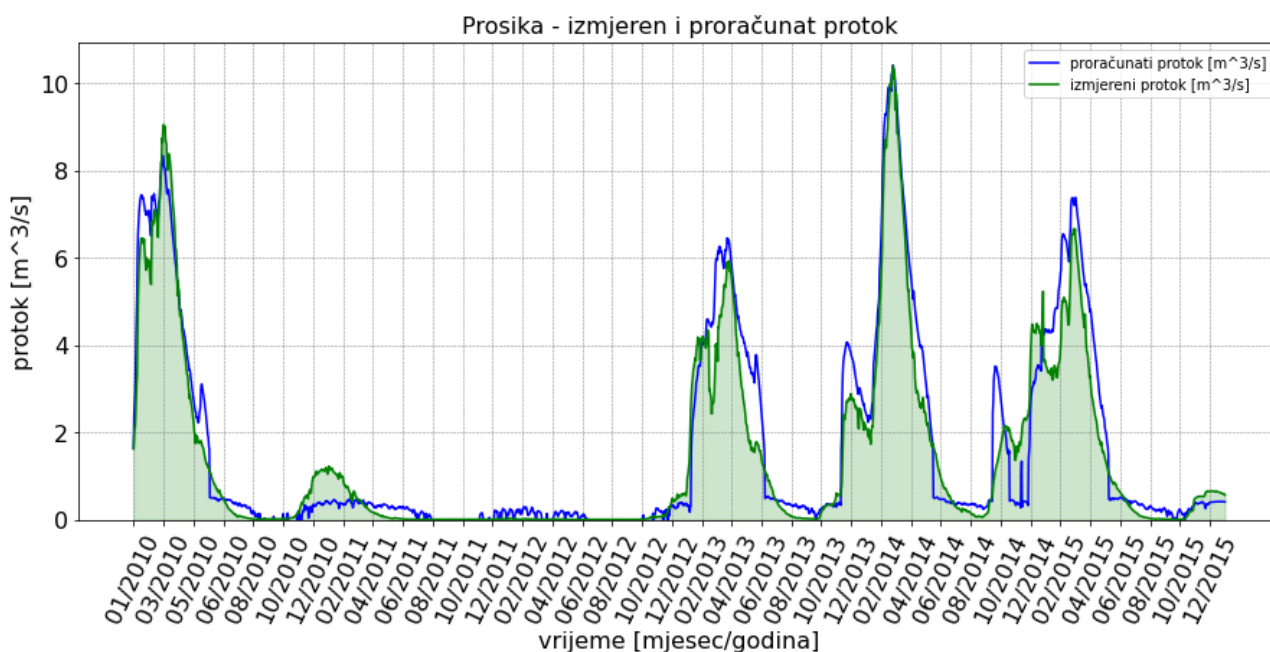
Slika 38: Izmjereni i proračunati protoci kroz kanal Prosiku za Manningov koeficijent hrapavosti $n = 0.02$.



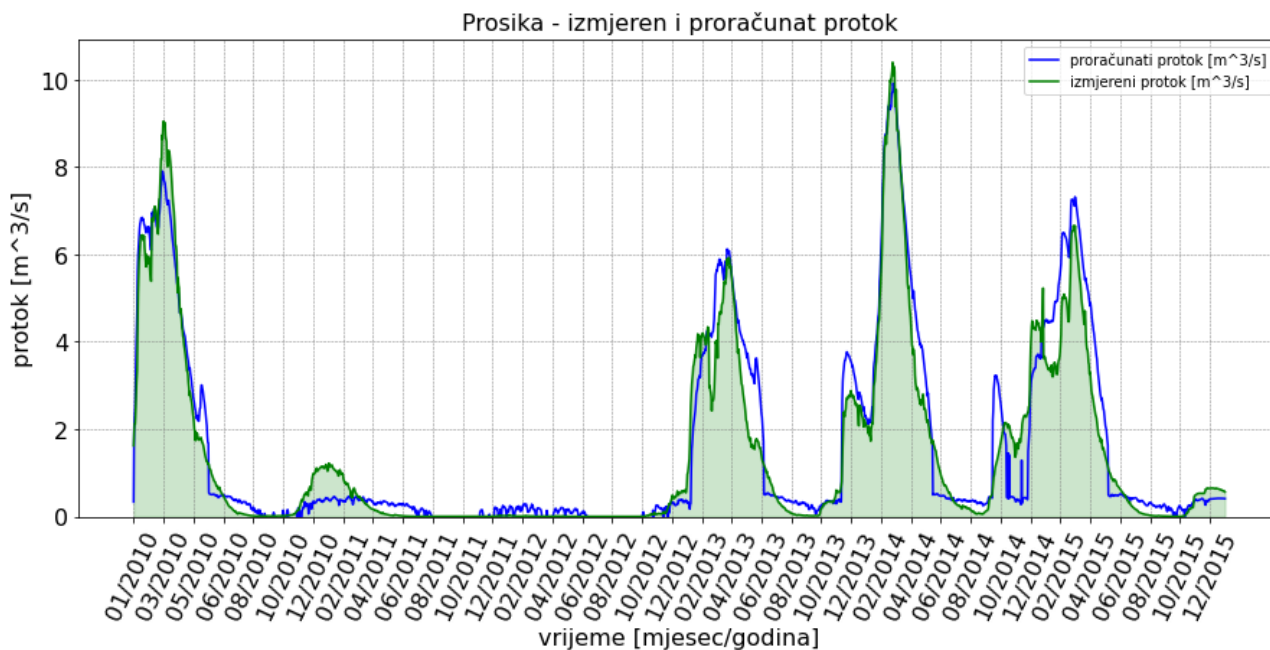
Slika 39: Izmjereni i proračunati protoci kroz kanal Prosiku za Manningov koeficijent hrapavosti $n = 0.025$.



Slika 40: Izmjereni i proračunati protoci kroz kanal Prosiku za Manningov koeficijent hrapavosti $n = 0.03$.



Slika 41: Izmjereni i proračunati protoci kroz kanal Prosiku za Manningov koeficijent hrapavosti $n = 0.035$.



Slika 42: Izmjereni i proračunati protoci kroz kanal Prosiku za Manningov koeficijent hrapavosti $n = 0.04$.

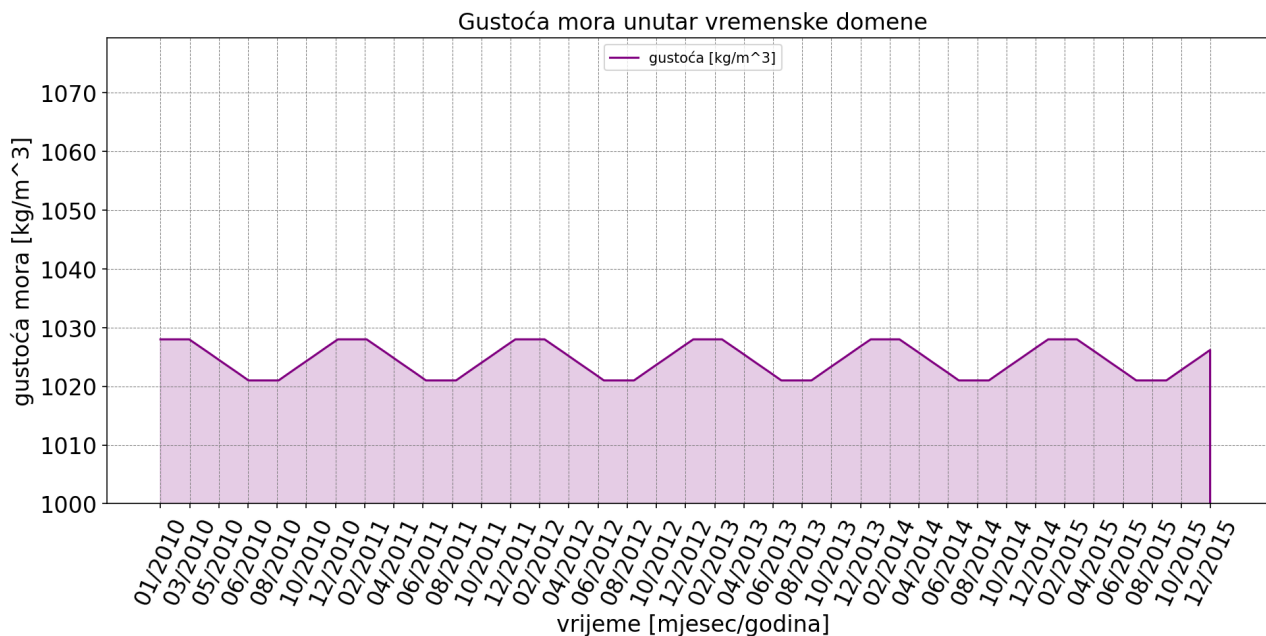
2.8.2 Zadani podaci

U nastavku su navedeni podaci za koje nisu unaprijed provedena terenska mjerenja a potrebno ih je bilo definirati. Pritom, njihove vrijednosti su definirane na temelju pregleda dostavljene projektne dokumentacije vodeći brigu da moraju biti fizikalno utemeljeni. Tako je u prvom redu bilo potrebno definirati izmjenu gustoće mora u razmatranom vremenskom periodu. U tu svrhu se usvojila karakteristična izmjena gustoće površinskog sloja mora u godišnjim dobima koja je prikazana na slici 43.

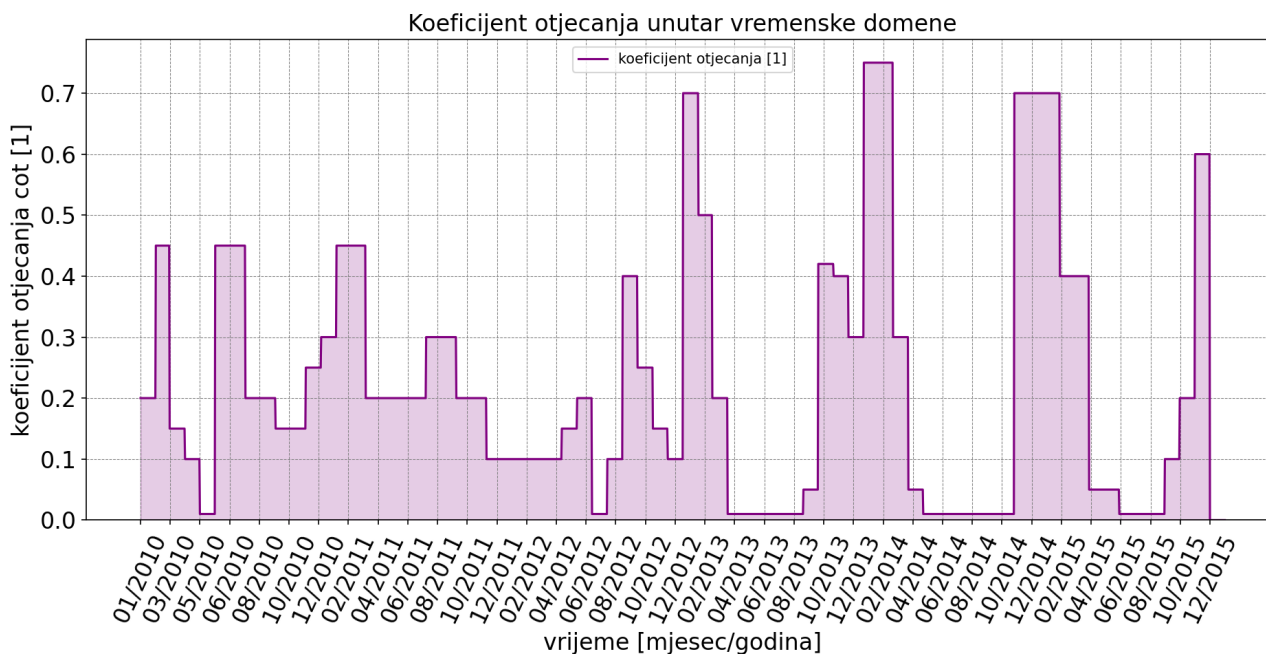
Osim gustoće mora, potrebno je zadati i vremensku izmjenu koeficijenta otjecanja za područje sliva te su se u tu svrhu koristili podaci dobiveni u okviru prethodno provedenih analiza (slika 44). Valja primijetiti kako se koeficijent otjecanja u stanovitoj mjeri može tumačiti kao kalibracijski faktor modela.

2.8.3 Kalibracijski podaci

Svi prethodni izloženi ulazni podaci su se koristili u svrhu kalibracije numeričkog modela odnosno definiranja funkcija $c_{pj}(h_p - h_j)$, $c_{jm}(h_j - h_m)$, $c_{km}(h_k - h_m)$ te funkcije promjene poprečnog presjeka pukotina koje sadrže vodu u slivu s promjenom razine vode u pukotinskom sustavu sliva $h_p(t)$. U tu svrhu valja primijetiti da je domena funkcija $c_{jm}(h_j - h_m)$ i $c_{km}(h_k - h_m)$ unaprijed poznata jer su poznate ostvarene maksimalne i minimalne razine vode u jezeru i mora. Isto tako valja izdvojiti



Slika 43: Karakteristična promjena gustoće mora unutar perioda vremenske domene.



Slika 44: Vremenska varijacija koeficijenta otjecanja u godinama 2010.-2015.

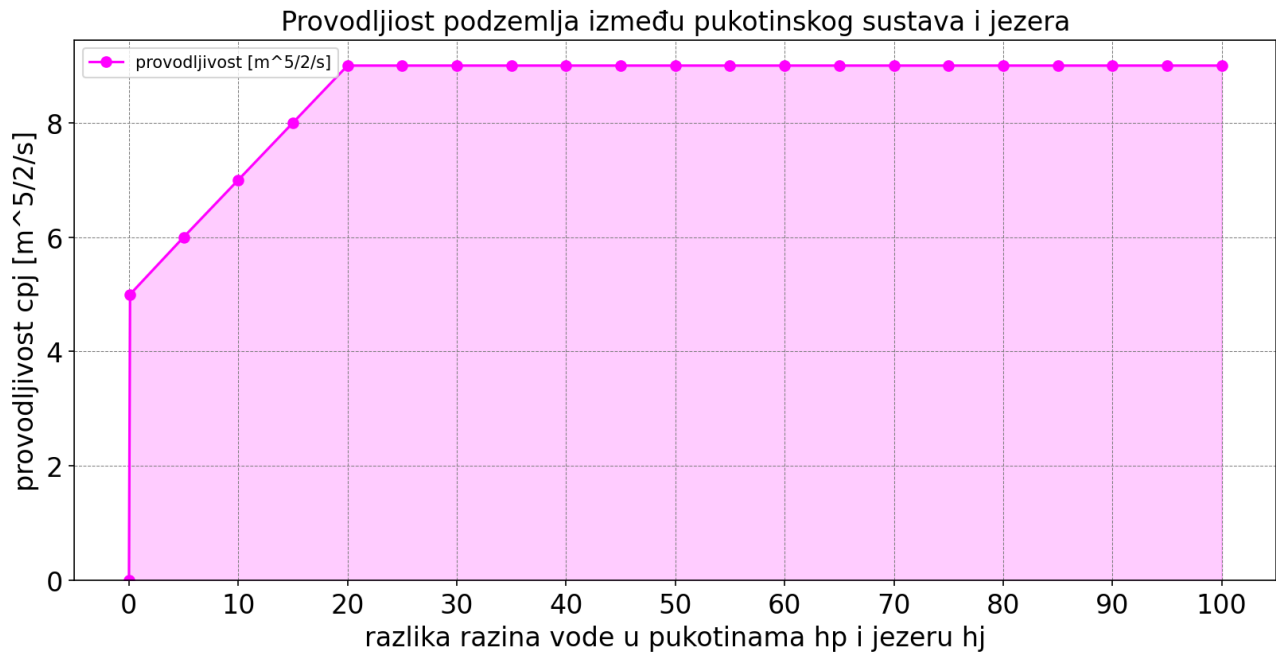
da su prema terenskim mjerenjima poznati i podaci funkcije $c_{km}(h_k - h_m)$. Naime, 2. srpnja 2009. godine su od strane djelatnika Građevinskog fakulteta u Rijeci provedena terenska mjerenja kojima se na početku kanala izmjerio protok od $0,502 \text{ m}^3/\text{s}$ dok je na samom kraju kanala izmjeren protok od $0,055 \text{ m}^3/\text{s}$ čime je definiran gubitak vode u iznosu od $0,477 \text{ m}^3/\text{s}$. U to vrijeme je razlika razina vode u jezeru i moru iznosila 0.8 m čime se može ustanoviti da je provodljivost dna korita jednaka $0.49976 \text{ m}^{5/2}/\text{s}$. Za definiranje funkcija provodljivosti se pritom koristila i argumentacija da se porastom razlike razina provodljivost nelinearno mijenja.

Kalibracijskim postupkom je bilo potrebno odrediti funkciju $A_p(h_p)$ te se u tu svrhu koristila argumentacija da se porastom razine vode h_p površina pukotinskog sustava smanjuje radi prisustva kaverni i drugih retencijskih objekata unutar slivnog područja.

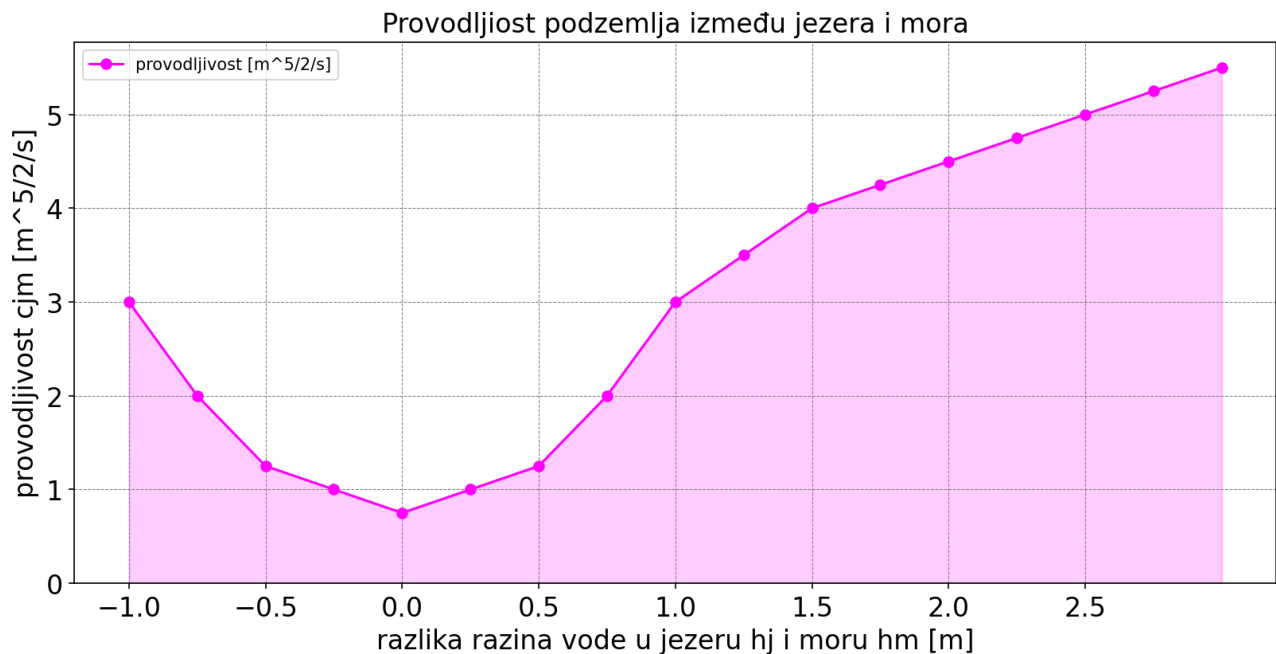
Napomena

Sveukupni postupak kalibriranja numeričkog modela nije prikladno izložiti radi opsega provedenih aktivnosti, ali i radi nerelevantnosti istog s obzirom na projektni zadatak. Naime, treba primijetiti da je kalibracija modela u kojem koeficijenti diferencijalnih jednadžbi nisu konstantne izrazito kompliciran postupak. Provedenim postupkom kalibracije, koji se temeljio na više optimizacijskih algoritma je rezultirao kalibracijskim krivuljama prikazanim na slikama [45](#), [46](#), [47](#) i [48](#).

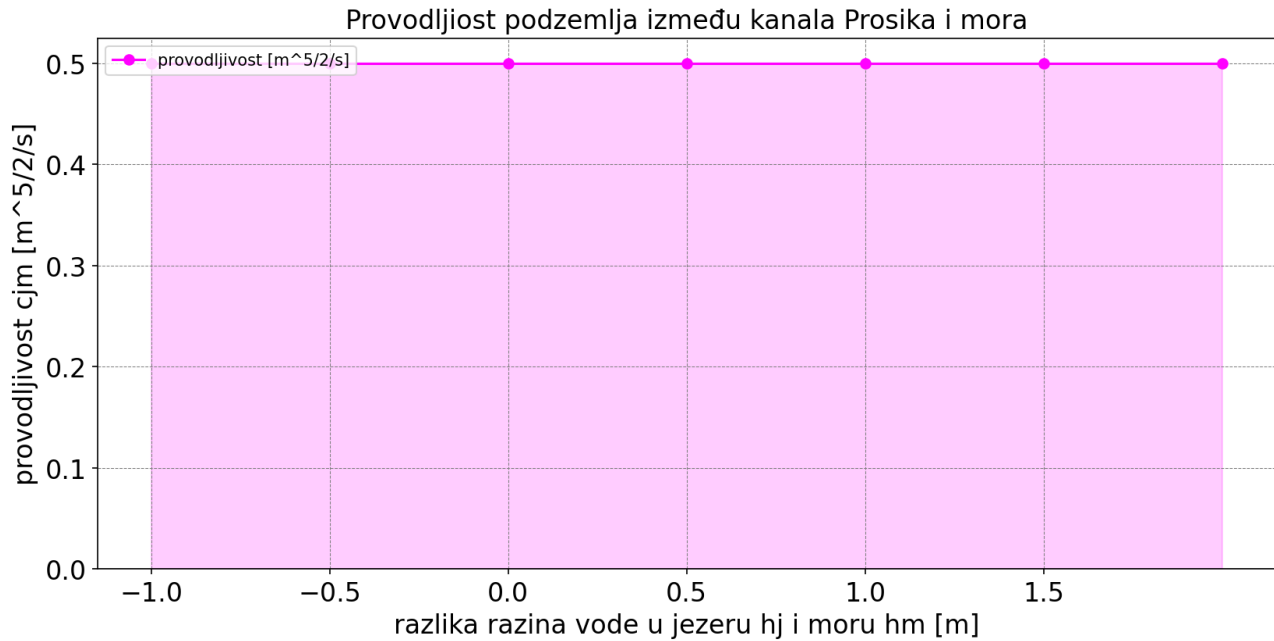
Kalibrirane vrijednosti koeficijenta otjecanja uspoređene su s regresijskom funkcijom ovisnosti srednjih godišnjih vrijednosti koeficijenata otjecanja o srednjim godišnjim količinama palih oborina, preuzetom iz [\[15\]](#), koja je prikazana na slici [49](#). Usporedba vrijednosti prikazana je na slici [50](#) i [51](#).



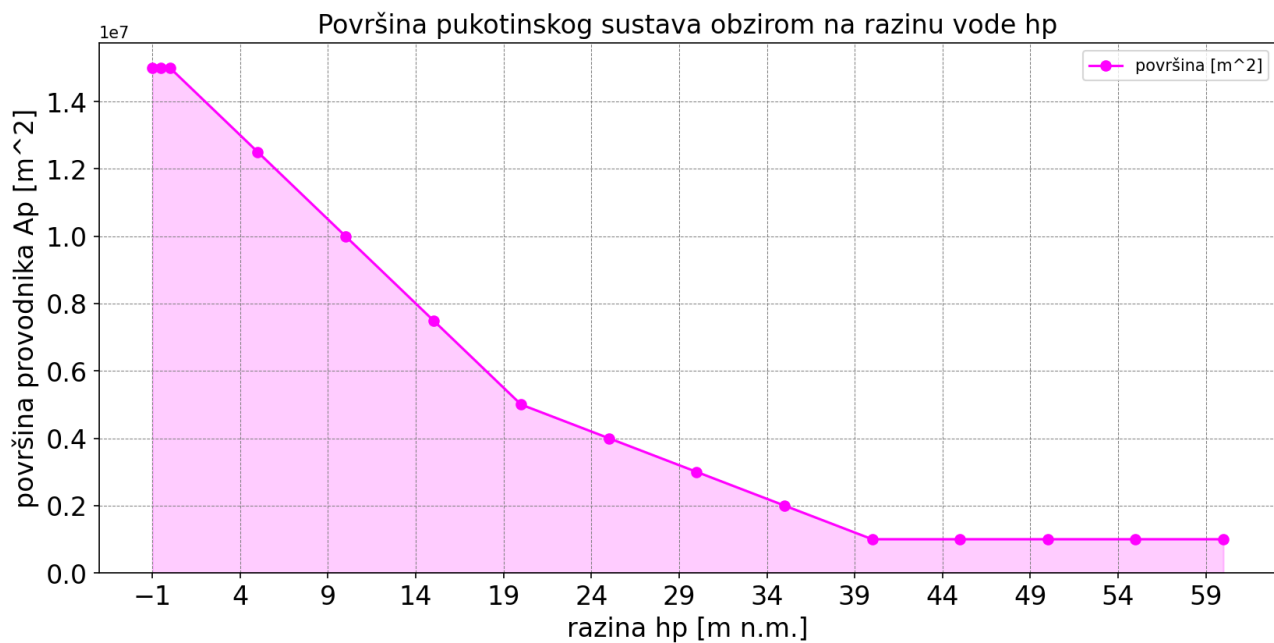
Slika 45: Kalibrirana funkcija $c_{pj}(h_p(t) - h_j(t))$.



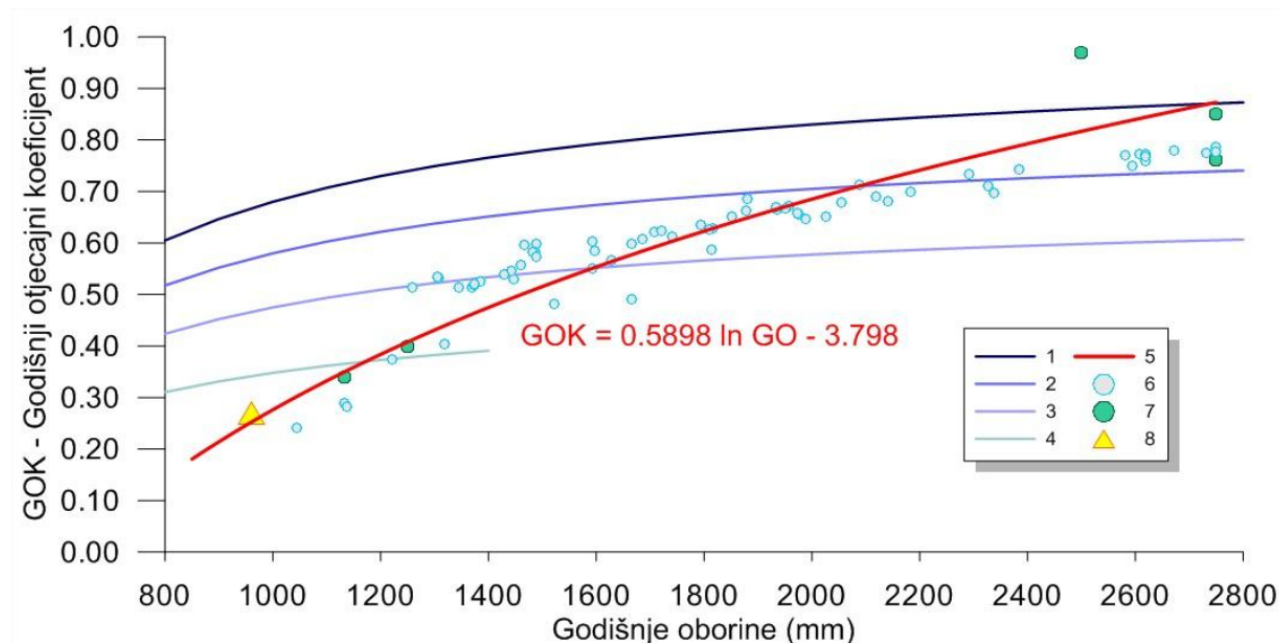
Slika 46: Kalibrirana funkcija $c_{jm}(h_j(t) - h_m(t))$.



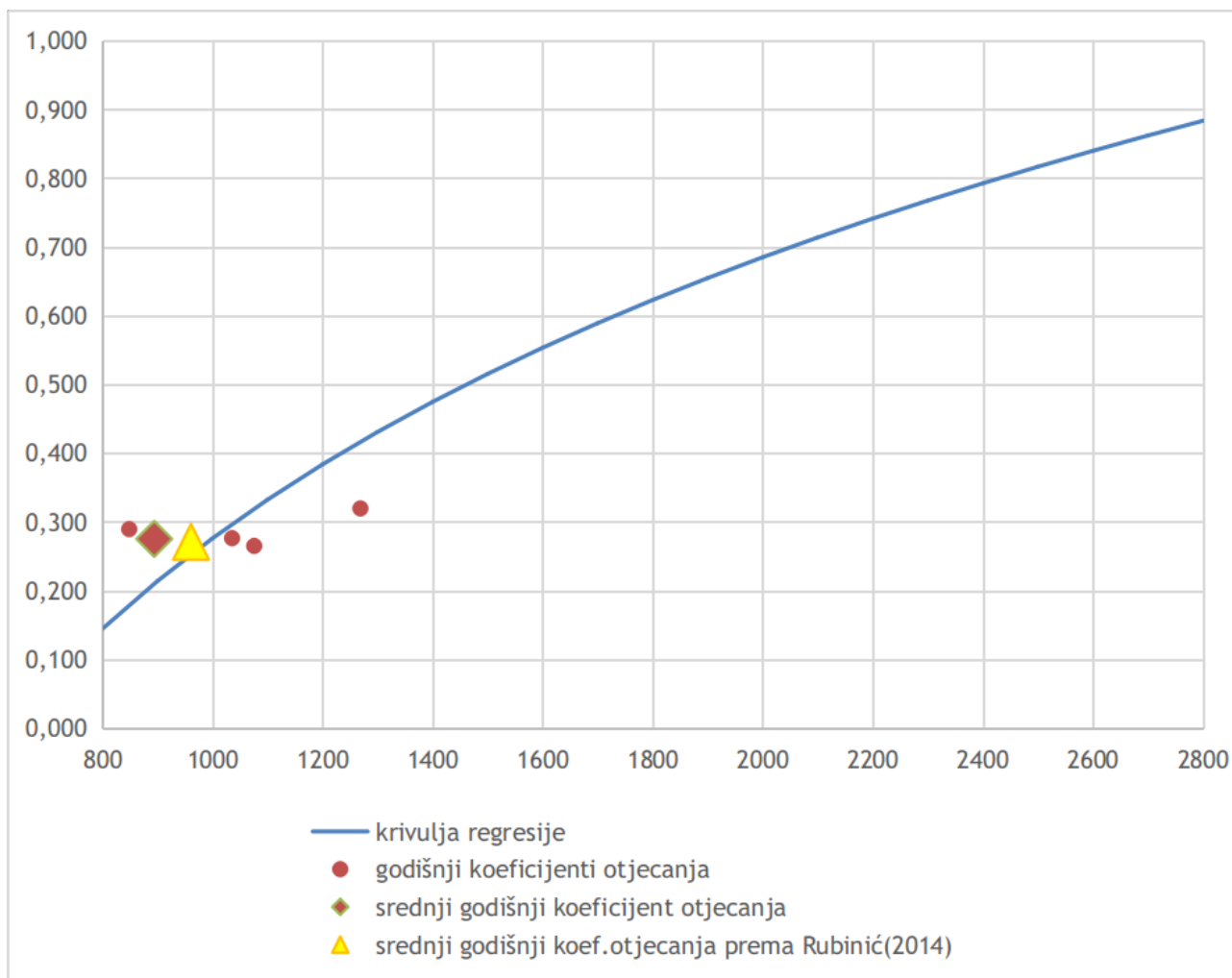
Slika 47: Kalibrirana funkcija $c_{km}(h_j(t) - h_m(t))$.



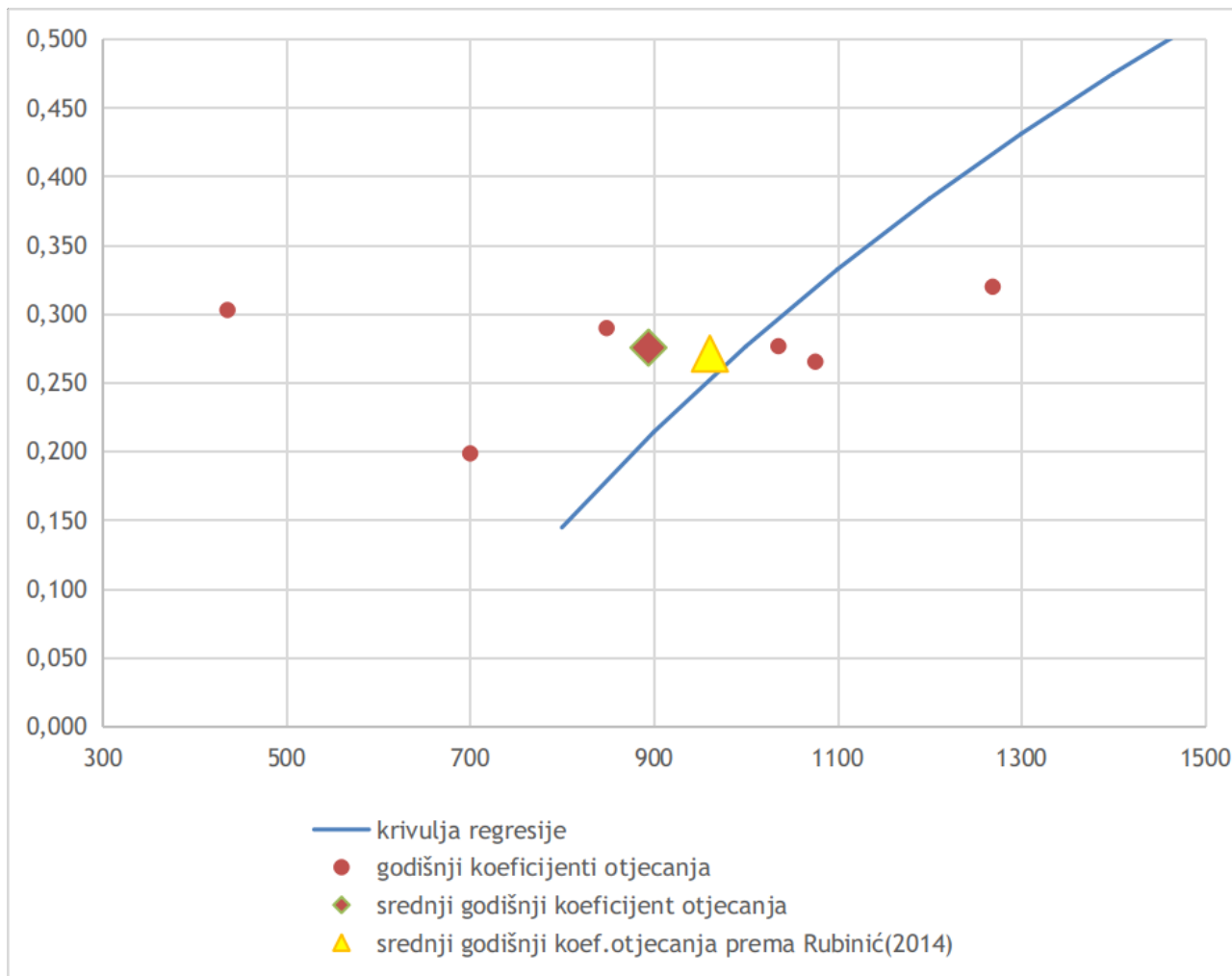
Slika 48: Kalibrirana funkcija $A_p(h_p)$.



Slika 49: Regionalne značajke ovisnosti srednjih godišnjih koeficijenata otjecanja o palim oborinama na krškom području Hrvatske [15]: (1) Gornja granica po Žugaju (1995), (2) Srednja krivulja po Žugaju (1995), (3) Donja granica po Žugaju (1995), (4) Procjena za Helenski krš (Žugaj, 1995), (5) Krivulja dobivena prema rezultatima s testnih slivova (Horvat i Rubinić, 2005) za koju je dana i regresijska funkcija ovisnosti srednjih godišnjih vrijednosti koeficijenata otjecanja (GKO) o srednjim godišnjim količinama palih oborina (H), (6) Rezultati za slivove Dinarskoga krša s područja Hrvatske po Langbeinovoj metodi (Horvat i Rubinić, 2006), (7) Pojedinačni rezultati s testnih slivova Dinarskog krša (Horvat i Rubinić, 2006), (8) Vrijednost srednjega godišnjeg koeficijenta otjecanja za analizirani sliv Vranskoga jezera



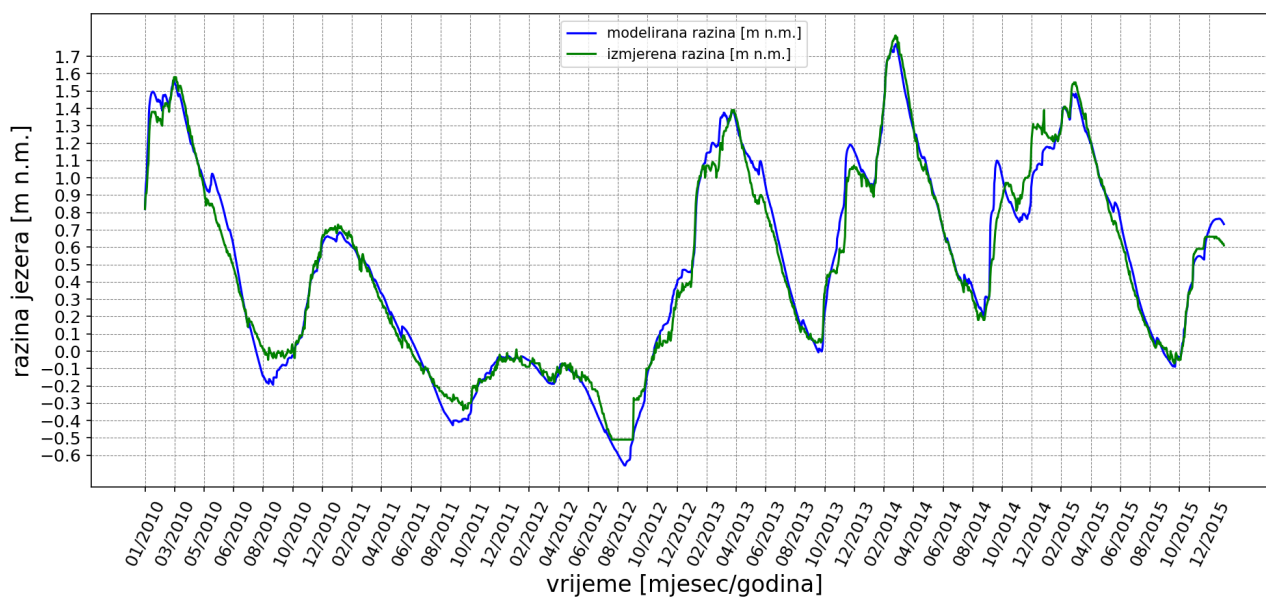
Slika 50: Prikaz godišnjih koeficijenata otjecanja dobivenih iz kalibriranih mjesečnih vrijednosti korištenih u modelu te srednjeg godišnjeg koeficijenta otjecanja 2010.-2015., koeficijenta obrađenog u [15] te njihov položaj u odnosu na krivulju regresije.



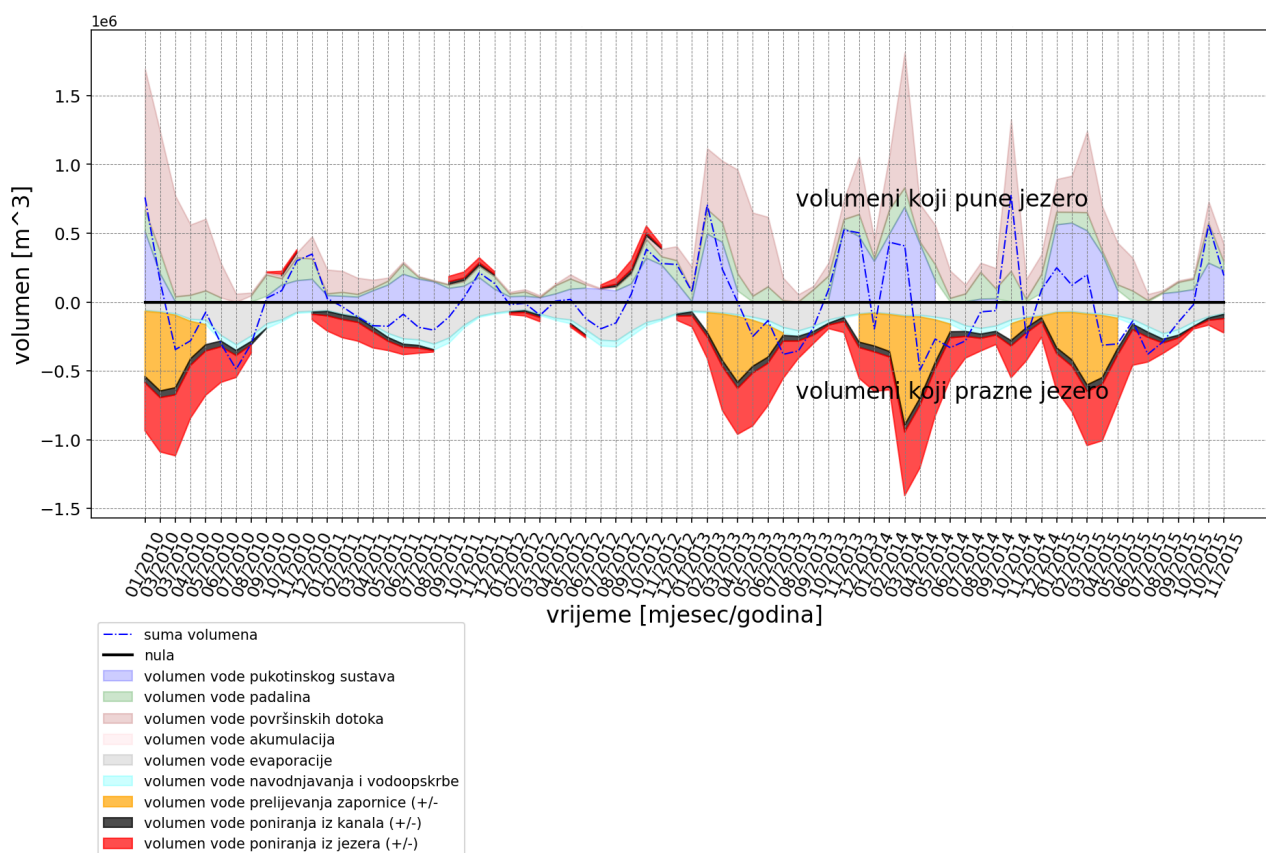
Slika 51: Uvećani prikaz godišnjih koeficijenata otjecanja te njihovog položaja u odnosu na krivulju regresije.

2.8.4 Rezultat kalibracije

Prethodno definiranim kalibracijskim funkcijama se objektivno postiglo dobro podudaranje između prognoziranih razina vode u jezeru i onih izmjerenih. Komparacija izmjerenih i modeliranih razina voda je prikazana na slici 52. Isto tako, valja prepoznati da se izrađenim numeričkim modelom mogu zasebno sagledati komponente protoka koje pune ili prazne jezerom slatkom ili slanom vodom te je tako za predmetni vremenski period na slici 53 prikazan srednji mjesečni volumeni vode koji pune ili prazne jezero s naznakom porijekla vode (negativni volumeni ukazuju na izlivanje vode iz jezera).

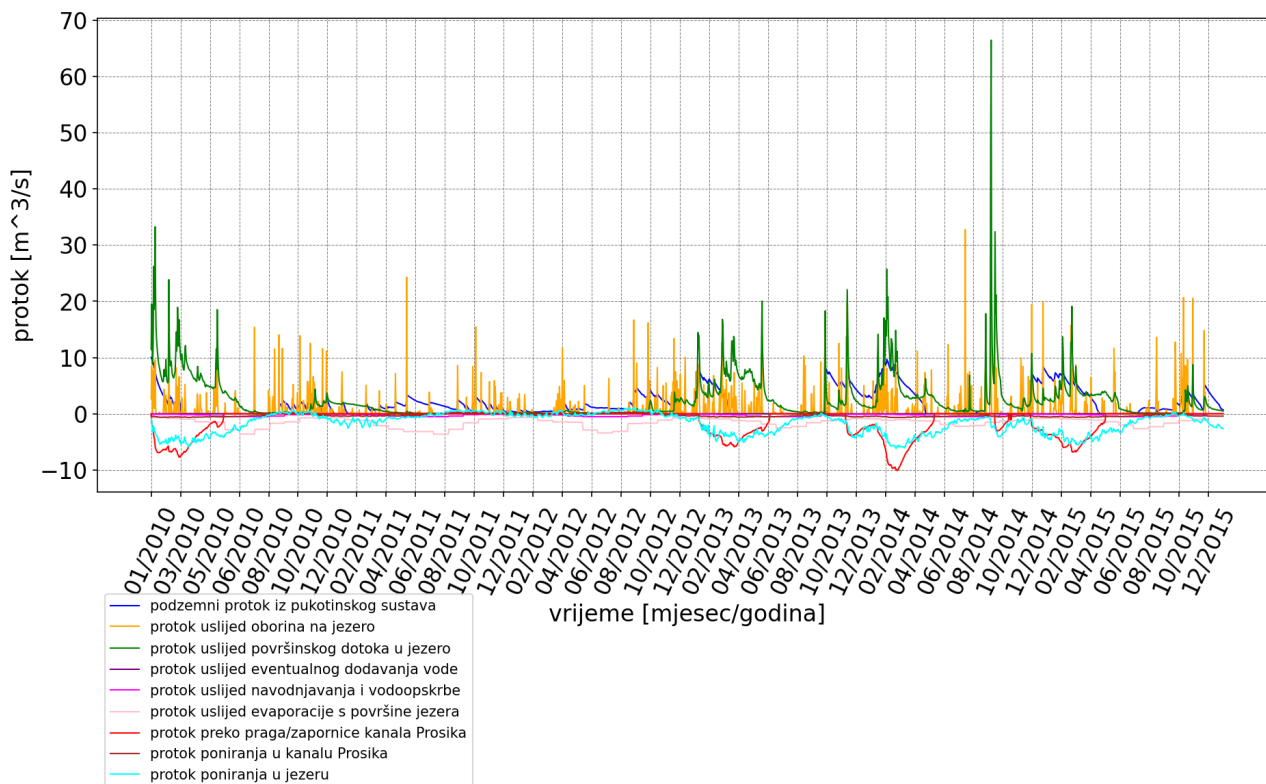


Slika 52: Usporedba izmjerenih i modeliranih razina vode u jezeru unutar odabrane vremenske domene (2010.-2015. godina.).

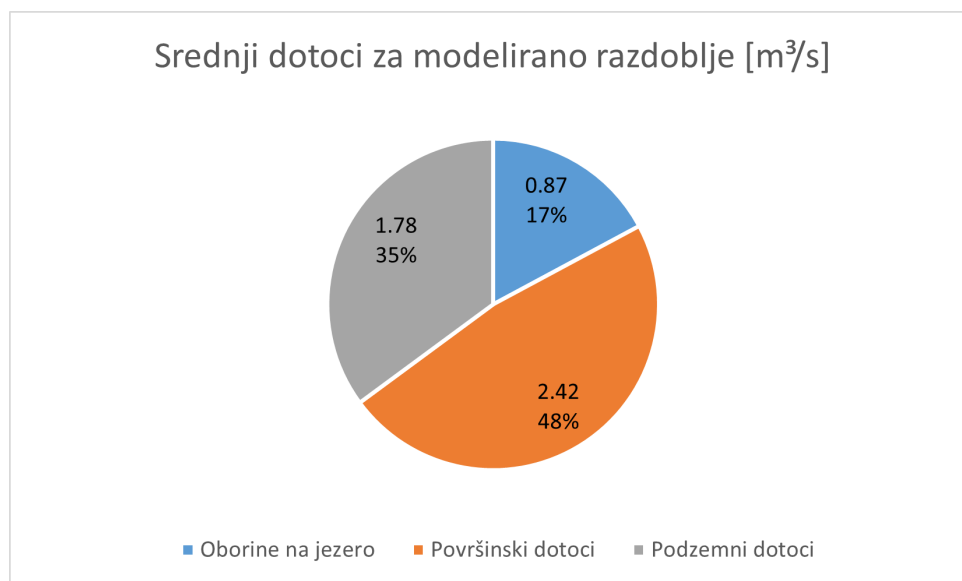


Slika 53: Dekompozicija srednjih mjesečnih volumena vode koji pune i prazne jezero unutar odabrane vremenske domene (2010.-2015. godina.).

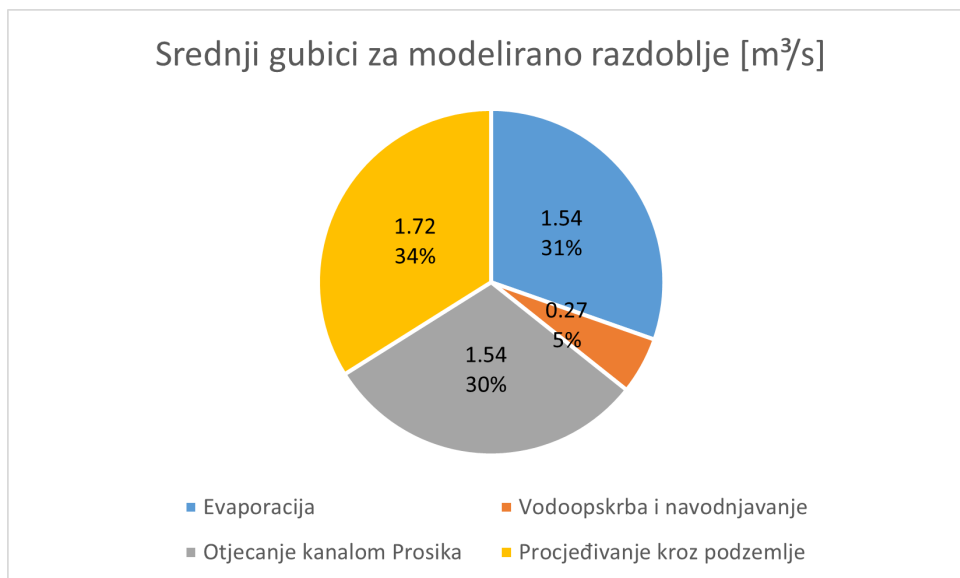
Svi dotoci u jezero i iz njega prikazani su na slici 54, dok su srednje vrijednosti dotoka i gubitaka za modelirano razdoblje prikazane na slikama 55 i 56.



Slika 54: Dekompozicija svih protoka kroz modelirano razdoblje.



Slika 55: Srednje vrijednosti dotoka u jezero za modelirano razdoblje.



Slika 56: Srednje vrijednosti gubitaka u jezeru za modelirano razdoblje.

Srednje vrijednosti dotoka i gubitaka u jezeru uspoređene su s rezultatima analiza provedenih u okviru [15] i [2] što je prikazano u tablici 4. Srednje vrijednosti dotoka na godišnjoj razini prikazane su u tablici 5. Veće vrijednosti dotoka za model u usporedbi s prijašnjim analizama mogu se objasniti relativno kratkim nizom od 6 godina s 4 vodne godine, iako su obuhvaćene i izrazito sušna 2011. i sušna 2012. godina. Za očekivati je da bi se s povećanjem niza srednji dotok približio vrijednostima iz prethodnih analiza, budući da koeficijenti otjecanja za model odgovaraju regresijskoj krivulji podataka s testnih slivova, kako je prikazano na slikama 50 i 51.

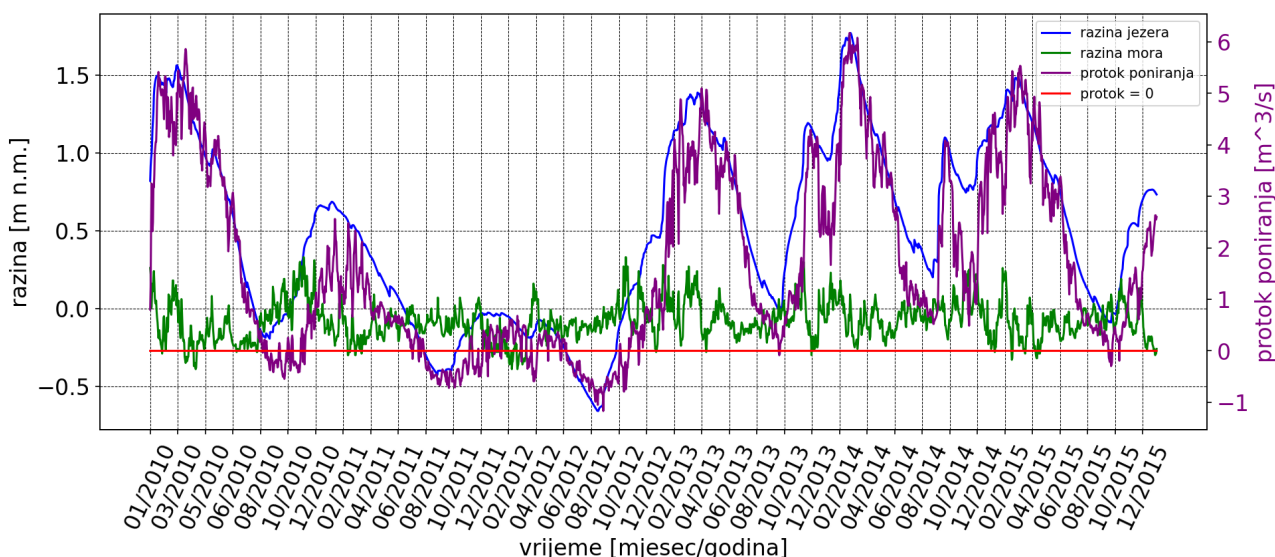
Tablica 4: Usporedba srednjih dotoka i gubitaka modela s prethodnim analizama.

	Rubinić (2014.) [15]		GP zapornice (2019.) [2]		Rezultat modela za 2010.-2015.	
	[m^3/s]	[%]	[m^3/s]	[%]	[m^3/s]	[%]
dotoci	4,3	100	4,32	100	5,07	100
gubici	4,3	100	4,32	100	5,07	100
isparavanje	1,5	35	1,26	29	1,54	31
vodoopskrba i navodnjavanje	0,4	9	0,3	7	0,27	5
istjecanje kroz kanal Prosika	1,5	35	1,14	26	1,54	30
poniranje	0,9	21	1,62	38	1,72	34

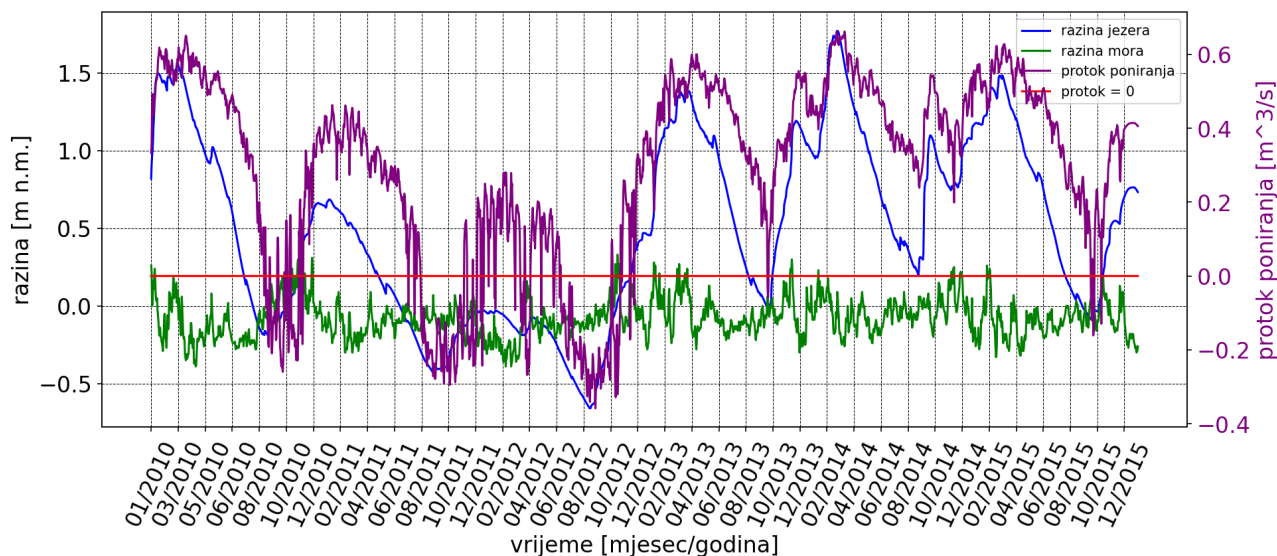
Tablica 5: Srednji godišnji dotoci u jezero.

godina	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.
srednji godišnji dotok [m ³ /s]	6,2	2,2	2,4	6,75	7,45	5,47

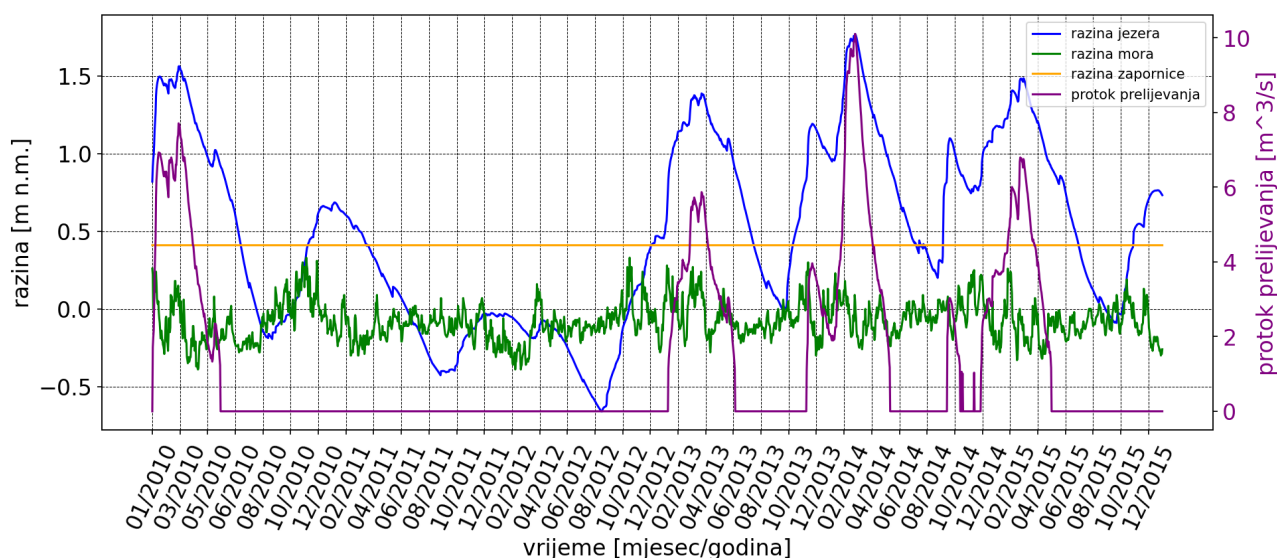
Protoci poniranja u jezeru i kanalu su, zbog unutardnevne varijabilnosti razine mora o kojoj navedeni protoci ovise, proračunati na satnoj bazi. Protok poniranja jezera kroz krški greben i kanal Prosika te protok prelijevanja preko praga kao i njihova zavisnost o razini jezera i mora prikazani su na slikama 57, 58 i 59.



Slika 57: Razine jezera i mora te protok poniranja jezero-more.

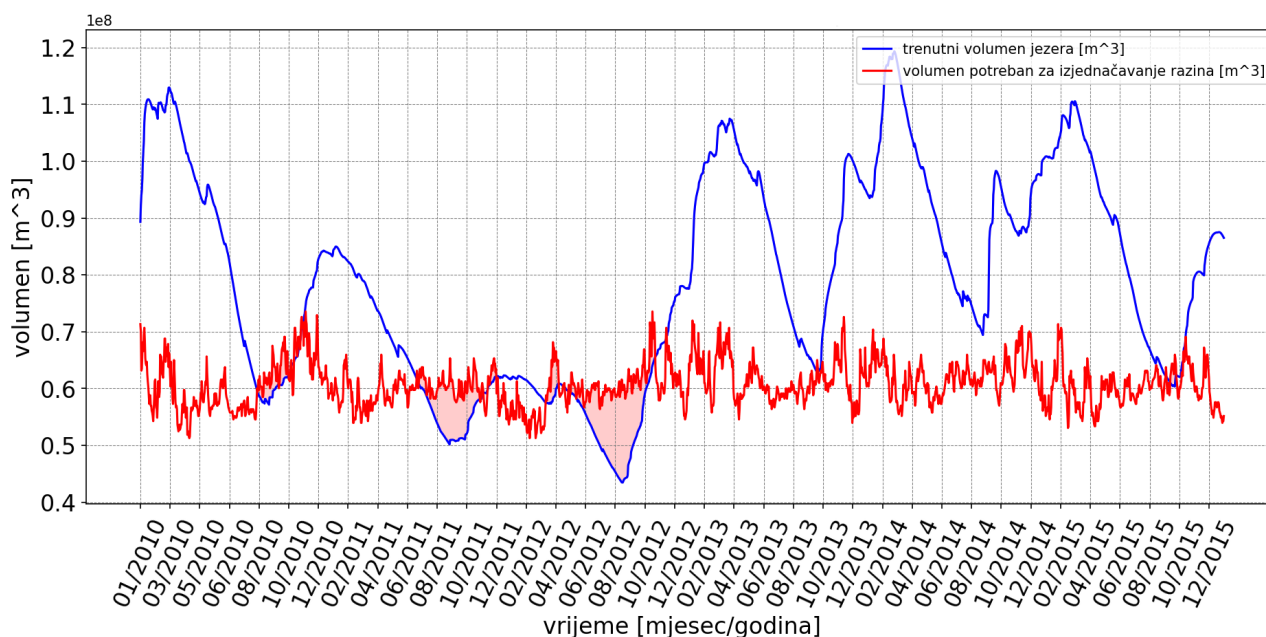


Slika 58: Razine jezera i mora te protok poniranja kanal-more.

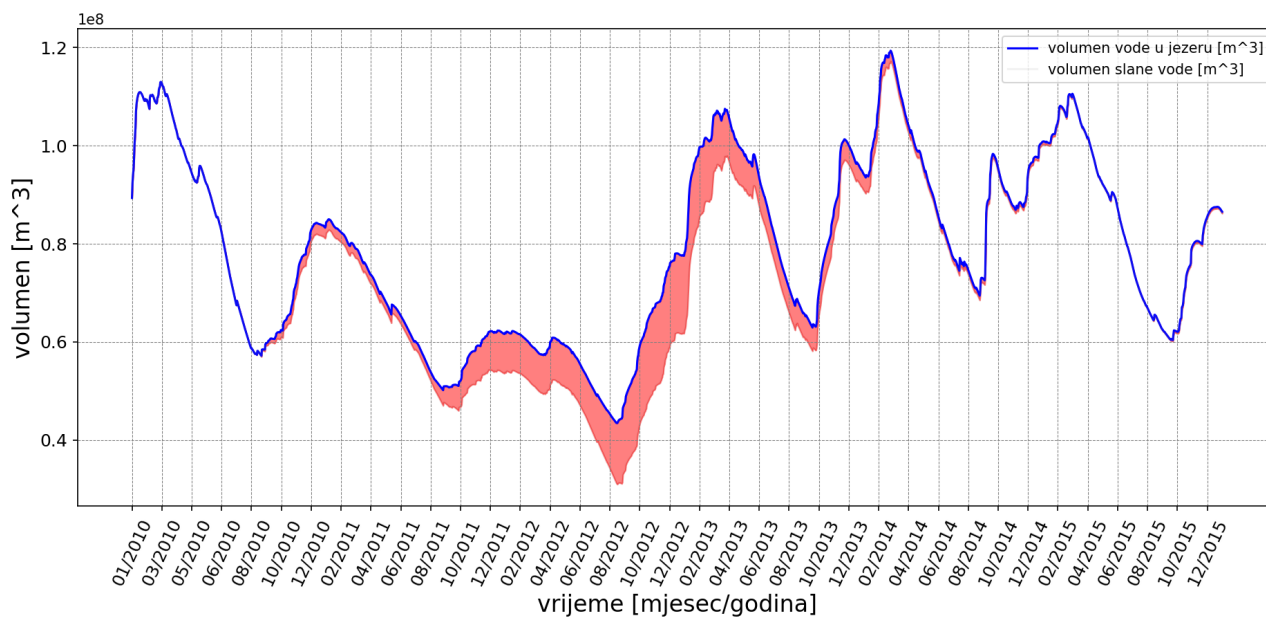


Slika 59: Razine jezera i mora te protok prelijevanja preko praga.

Vezano za prodor slane vode u jezero, korisno je prikazati koji volumeni vode u jezeru nedostaju da bi se razina jezera izjednačila s razinom mora i time postigla ravnoteža, kako je to učinjeno na slici 60. Isto tako, volumen slane vode koja je iz mora prodrla u jezero prikazan je na slici 61.



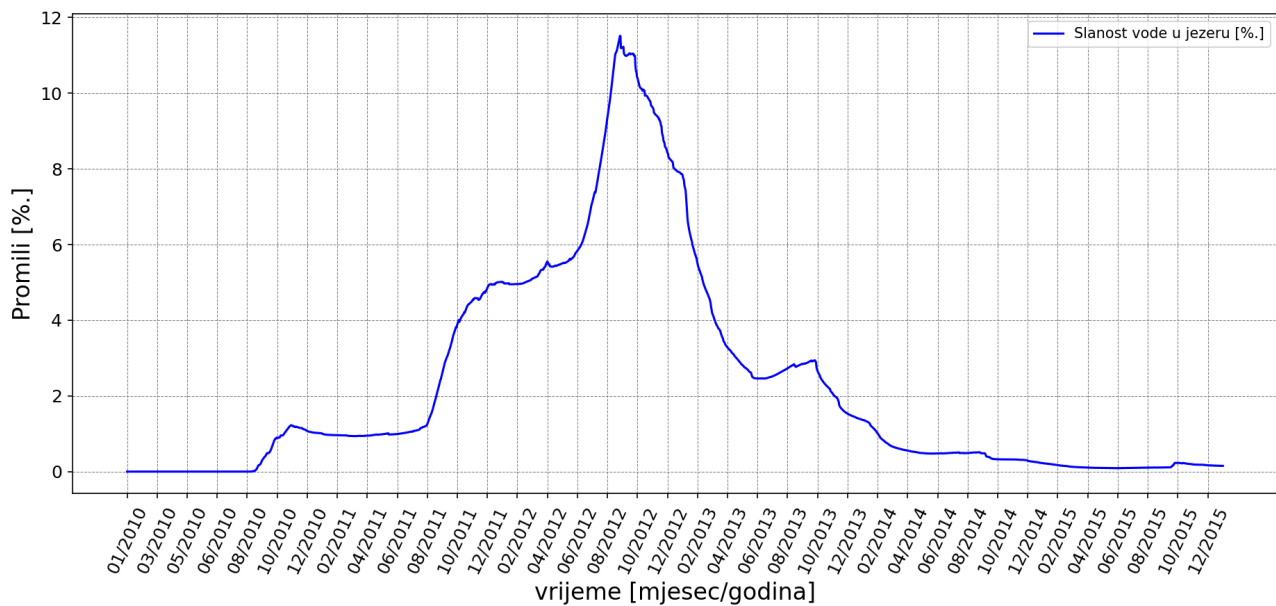
Slika 60: Volumen vode u jezeru i volumen vode potreban za izjednačavanje razina jezera i mora.



Slika 61: Volumen jezera i volumen slane vode u jezeru.

Kao indikator stanja u jezeru proračunata je slanost vode na način da dotoci iz sliva, uključujući i površinske vodotoke, označavaju dotok slatke vode, dok je prodor mora dotok slane vode u jezero. Slanost slatke vode je 0‰, morske vode 38.5‰, a za jezero se pretpostavlja da je potpuno izmiješano. Kako se mjerenjima elektroprovodljivosti vode uzorkovane na različitim mjestima u jezeru pokazalo da se slanost ovisno o mjestu uzorkovanja bitno razlikuje, ove modelirane vrijednosti su okvirnog

karaktera, no mogu se koristiti za relativnu usporedbu varijanti. Slanost vode kroz vrijeme prikazana je na slici 62.



Slika 62: Slanost jezera kroz modelirano razdoblje.

3 Analiza varijantnih rješenja

U kontekstu poboljšanja stanja voda na Vranskom jezeru razmatrale su se varijante koje se prema principu djelovanja mogu podijeliti u dvije skupine. Prva skupina su zahvati na koritu Prosika koji u prvom redu djeluju tako da usporavaju istjecanje voda iz jezera u more, te ujedno sprječavaju direktni prodor mora preko korita površinskim i podzemnim putem. U tom smislu varijante koje su u nastavku obrađene odnose se na varijante zapornice i praga.

Druga skupina predstavlja zahvate koji djeluju tako da prihranjuju jezero u trenutku malih voda te tako doprinose poboljšanju stanja voda. U tom smislu varijanta koja je razmatrana odnosi se na prihranjivanje jezera iz akumulacija.

Uz navedeno razmatrana je i kombinacija tih dviju principa, odnosno utjecaj kombinacije zapornice i akumulacije.

Analizirane varijante koje će se u nastavku razmatrati i za iste provesti višekriterijalna analiza su:

- Zapornica prema glavnom projektu
- Korigirana varijanta zapornice
- Varijanta praga na nizvodnoj strani kanala Prosika
- Varijanta praga s jezerske strane
- Varijanta akumulacije
- Kombinirana varijanta zapornice i akumulacije

3.1 Vjerojatnost pojave karakterističnih godišnjih razina voda u jezeru

Za sve varijante obrađen je u utjecaj zahvata na jezero za razdoblje od 2010. do 2015. godine. U tom smislu vrijedno je sagledati kojim povratnim periodima odgovaraju maksimumi i minimumi pojedinih godina unutar promatranog razdoblja. Na tablici 6 su prikazane vrijednosti iz dokumenta "Vodni režim Vranskog jezera u Dalmaciji i klimatski utjecaji" [15], koje su svedene u kote korištene u analizi varijantnih rješenja.

Tablica 6: Vjerojatnosti pojavljivanja ekstremnih razina vode Vranskog jezera na postaji Prosika na osnovi podataka iz razdoblja 1948.-2012. [15]

Povratni period	Godišnji maksimumi [m n. m.]	Godišnji minimumi [m n. m.]
100	2,04	-0,54
50	1,92	-0,49
20	1,73	-0,43
10	1,57	-0,37
5	1,36	-0,31
2	0,97	-0,18
Odabrana raspodjela	Pearson 3	Log Pearson 3
SK-test	98,84%	83,56%

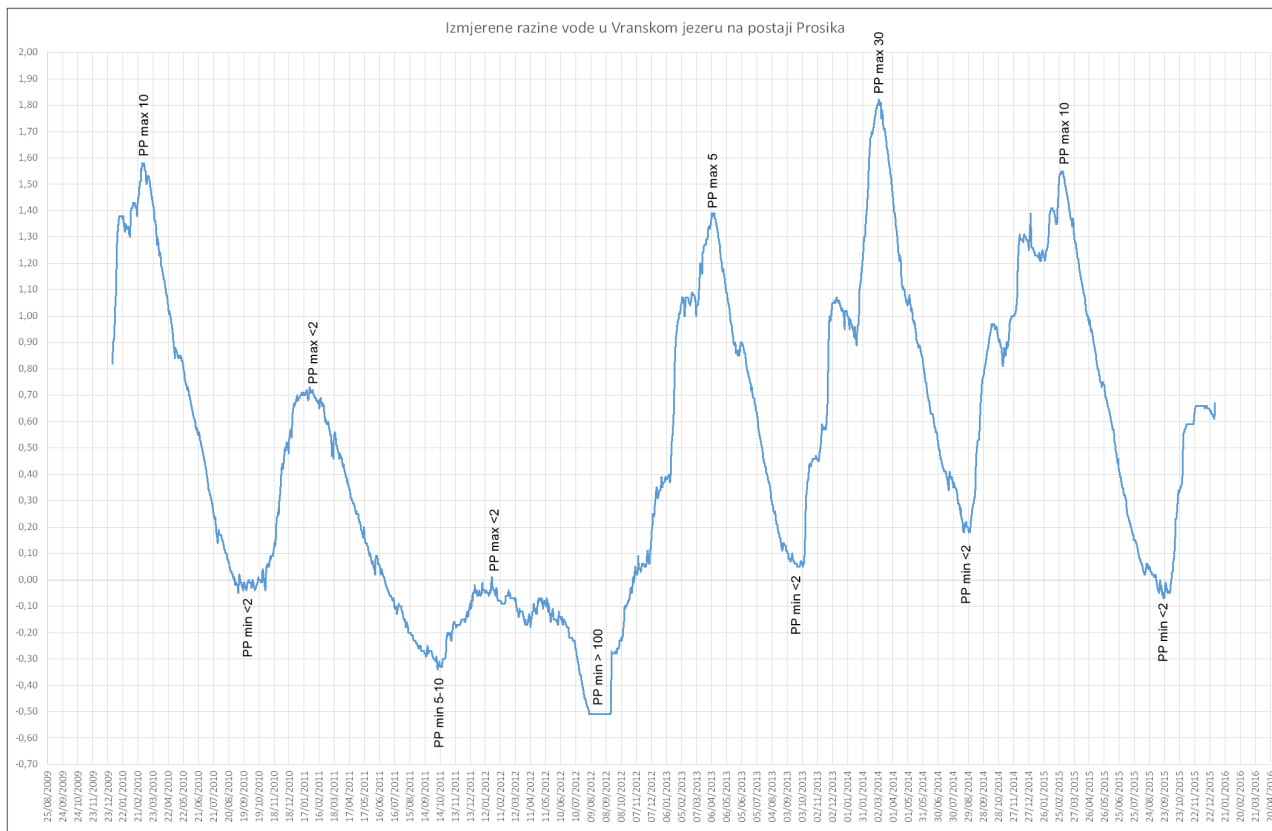
Koristeći se vrijednostima iz tablice 6 definirali su se povratni periodi koji bi odgovarali maksimalnim i minimalnim vrijednostima izmjerenih razina voda u jezeru za razdoblje od 2010. do 2015. godine. Na taj način može se primijetiti da 2010. godina ima maksimum koji odgovara cca deset godišnjem povratnom periodu, te minimum koji je manji od dvogodišnjeg povratnog perioda. Godina 2011. ima maksimum koji je manji od dvogodišnjeg povratnog perioda, te minimum koji se nalazi između pet do deset godišnjeg povratnog perioda. Godina 2012. ima izrazito mali maksimum, koji je značajno manji od dvogodišnjeg povratnog perioda, te ujedno doseže minimum koji je veći od 100 godišnjeg povratnog perioda [15]. Od analiziranog niza godina korištenih u numeričkom modelu, vrijedi istaknuti da je 2014. godina relevantna za maksimalne razine vode u jezeru kada je dosegnuta razina koja odgovara otprilike trideset godišnjem povratnom periodu. Ujedno je navedene godine prema podacima DHMZ-a dosegnut maksimum na postaji Prosika. Pritom, potrebno je napomenuti kako je 2018. godina gotovo sigurno premašila navedene razina, međutim na postaji Prosika - Vransko jezero, dostupni su podaci tek od 5. mjeseca 2018. godine kada su vodostaji već bili značajno niži. S obzirom na nedostatak podataka u toj godini, odabrana je 2014. godina kao mjerodavna za analizu visokih vodostaja. Pritom, potrebno je istaknuti da predložena varijantna rješenja moraju biti takva da se njihovom izvedbom ne pogorša stanje visokih voda za analizirano razdoblje. Drugim riječima, projektnim rješenjima osigurat će se da razina vode u jezeru za vodni val koji odgovara trideset godišnjem ili većim, neće izazvati nepovoljnije stanje u odnosu na postojeće.

Uz navedeno, vrijedi primijetiti da se u godinama kada su dosegnuti maksimumi koji odgovaraju nešto većim povratnim periodima ujedno dosežu minimumi koji odgovaraju manjim povratnim periodima, te vrijedi i obrnuto. Drugim riječima, u godinama kada su zabilježeni mali maksimumi dosegnuti

su minimumi koji odgovaraju većim povratnim periodima. Navedeno upućuje da postoji veza maksimuma i minimuma unutar barem jedne godine, te ukazuje na to da se povećanjem maksimalnih vodostaja u jezeru može utjecati i na minimalne razine unutar iste godine.

Napomena

Povratni period ukazuje na vjerojatnost pojave određenog događaja. Prilikom izračunavanja povratnog perioda pretpostavlja se da vjerojatnost da će se događaj dogoditi ne varira tijekom vremena i neovisna je o prošlim događajima. Navedena pretpostavka u stvarnosti nije ispunjena. Naime, porast razine mora utječe na procjene povećanjem razine srednje razine mora, što čini "ekstremnu" razinu mora prema sadašnjim standardima češćom pojavom u budućnosti, odnosno smanjenje povratnog razdoblja. Drugim riječima, na primjeru razine mora možemo istaknuti da današnja povratna razdoblja, odnosno vjerojatnosti pojave određenog događaja neće biti iste kao vjerojatnosti izračunate deset godina kasnije, ili više desetljeća u budućnosti. Navedeno je potrebno napomenuti i u kontekstu Vranskog jezera. Naime, Vransko jezero ima izrazitu komunikaciju sa morem, te se može očekivati da će se i povratni periodi njegovih razina biti skloni promjenama. Porast razine mora utjecat će i na porast razine jezera. Time što se eventualna razina jezera u budućnosti poveća ne znači da se je stanje u jezeru poboljšalo. Naime, stanje u jezeru ovisi o salinitetu koji će ovisiti o razmjeni mase između jezera i mora, odnosno razlici potencijala, odnosno njihovih razina. Uz navedeni trend porasta razine mora postojeći trendovi smanjenja palih oborina i povećanja prosječne temperature zraka utjecati će na smanjenje dotoka u jezero, te povećanje insolacije. Stoga se može očekivati pogoršanje stanja jezera u budućnosti, te promjene trenutnih povratnih perioda, odnosno vjerojatnosti pojave određenog događaja. Isto je potrebno napomenuti, jer u praksi često postoji pogrešno uvjerenje da primjerice 100 godišnji povratni period znači da će se takav događaj događati jednom u 100 godina.



Slika 63: Povratni periodi maksimalnih i minimalnih izmjerenih vrijednosti razina voda u jezeru za razdoblje 2010. do 2015. godine

3.2 Varijanta zapornice

Analiza utjecaja tehničkog rješenja izgradnje zapornice na stanje vode u Vranskom jezeru započeta je tako da se je numeričkim modelom provjerio utjecaj izgradnje zapornice i uređenja korita Prosika prema glavnom projektu [2] na razine malih te velikih voda, kao i moguću slanost jezera. Po završetku analiza utjecaja zapornice na poboljšanje stanja voda prema tehničkom rješenju glavnog projekta [2] izvršena je korekcija zapornice u svrhu optimizacije evakuacije velikih voda te za istu provedena sukladna analiza.

3.2.1 Zapornica prema glavnom projektu

Osnovno polazište za provedbu analiza varijantnih rješenja u kontekstu poboljšanja stanja voda na Vranskom jezeru bilo je tehničko rješenje zapornice prema glavnom projektu IGH [2], budući da je navedeno definirano projektnim zadatkom, te ujedno predstavlja posljednje tehničko rješenje koje se je razmatralo upravo s ciljem poboljšanja stanja voda na Vranskom jezeru. Projektanti glavnog projekta došli su do zaključaka da će predloženo tehničko rješenje predstavljati neznatčan doprinos poboljšanju stanja voda u kontekstu malih voda, dok će s druge strane zbog suženja korita Prosika

predstavljati pogoršanje stanja voda za razdoblja velikih voda. Kao mjerodavan kriterij poboljšanja stanja vode projektanti su se vodili razinama vode u jezeru u 2012. godini sa i bez zapornice.

Prije prikaza samih rezultata utjecaja zapornice u odnosu na postojeće stanje, važno je istaknuti sve promjene u odnosu na postojeće stanje s kojima se je ušlo u analizu. U tom smislu mogu se razlikovati dvije vrste izmjena, jedna se odnosi na samo korito Prosika, te drugo na uklanjanje postojećeg praga te izvedbu zapornice na istoj poziciji.

Niveleta korita Prosika za postojeće stanje prikazana je na slici [64](#) dok je na slici [65](#) prikazana niveleta korita prema glavnom projektu zapornice. Iz navedenih uzdužnih prikaza, uočljiva je razlika u kotama nivelete. Naime, na udaljenostima od jezera za 82 m do 757, prema postojećem stanju prosječna dubina nivelete iznosi -0,18 m n.m., dok je za projektirano stanje usvojena prosječna kota nivelete od +0,37 m n.m. Navedeno predstavlja prosječno povišenje korita u iznosu od 55 cm u odnosu na postojeće stanje. Uz navedeno projektom je predviđeno oblaganje bokova korita u debljini od 40 cm u odnosu na postojeće stanje. Time je za prosječnu vrijednost širine korita za postojeće stanje usvojena širina od 8,34 m, dok je za projektirano stanje usvojena širina od 7,86 m (vidi: [Karakteristični poprečni presjeci kanala Prosika za analizirane varijante](#)).

U ovom poglavlju obrađena je varijanta:

- Zapornica na koti 1,05 m n.m.
- Bez proširenja korita

Lokacija predviđena za zapornicu prikazana je na nacrtu [Prikaz lokacija za varijante pragova i zapornica](#) (Lokacija 1).

Korito je za postojeće i projektirano stanje usvojeno kao trapezno s nagibom bočnih stranica u omjeru 3:1. Za Manningov koeficijent hrapavosti za postojeće stanje usvojena je vrijednost 0,04, dok je za projektirano stanje usvojena vrijednost 0,023 (vrijednost usvojena prema glavnom projektu). U glavnom projektu za postojeće stanje usvojena je vrijednost Manningovog koeficijenta 0,027, međutim uvid u stanje korita te provedena kalibracija upućuje da je stvarna vrijednost veća.

Usvojen je algoritam rada zapornice prema varijanti 1 glavnog projekta. Otvaranje i zatvaranje zapornice definirano je gornjom i donjom razinom vode, gdje je vrijednost gornje razine vode 1,40 m n.m., te donje razine vode 1,25 m n.m. Zapornica je spuštена za sve vrijednosti ispod 1,25 m n.m., dok je podignuta za sve vrijednosti iznad 1,40 m n.m. Za vrijednosti između 1,25 i 1,40 zapornica je ili podignuta ili spuštена, ovisno o tome je li prethodno bila razina vode iznad 1,40 m n.m. ili ispod 1,25 m n.m. (da li je razina vode u porastu ili u snižavanju). Ako je razina jezera ispod razine 1,25 m n.m. zapornica će se podići tek kad dosegne razinu vode veću od 1,4 m n.m., s druge strane ako

je razina jezera iznad 1,4 zapornica će se spustiti tek kada razina jezera dosegne razinu ispod 1,25 m n.m.

Za postojeće stanje usvojilo se je da je duljina na kojoj se odvija poniranje duž kanala jednaka ukupnoj potopljenoj duljini korita, dok je za projektirano stanje usvojeno da je duljina poniranja jednaka nuli, odnosno da nema poniranja duž kanala korita Prosika budući da je predviđeno oblaganje korita upravo s ciljem smanjivanja propusnosti korita.

Za postojeće stanje prelijevanje se odvija preko praga na koti 0,41 m n.m., usvojene širine kao i za kanal, te istih pokosa (trapezni prag), dok je za prelijevanje preko zapornice uzeta duljina 7,50 m (3 noža zapornice duljine od 2,5 m) okomitih stranica, dna kanala na 0,15 m n.m. koji je mjerodavan za podignutu zapornicu, dok je kota 1,05 m n.m. mjerodavna u slučaju spuštene zapornice.

Na slici 67 prikazana je usporedba razina vode u jezeru za postojeće i projektirano stanje te je ujedno prikazan i rad zapornice, odnosno njena pozicija u svakom pojedinom trenutku. Na slici 68 prikazani su minimumi i maksimumi razina jezera za postojeće stanje (varijanta 1) te projektirano stanje (varijanta 2). Za minimume se može primijetiti da su malo podignuti (malo preko centimetra), dok su maksimalne razine značajnije podignute (oko 14 cm). Navedeni rezultati slični su sa zaključkom iz glavnog projekta da se predviđenim tehničkim rješenjem narušava mogućnost obrana od velikih voda.

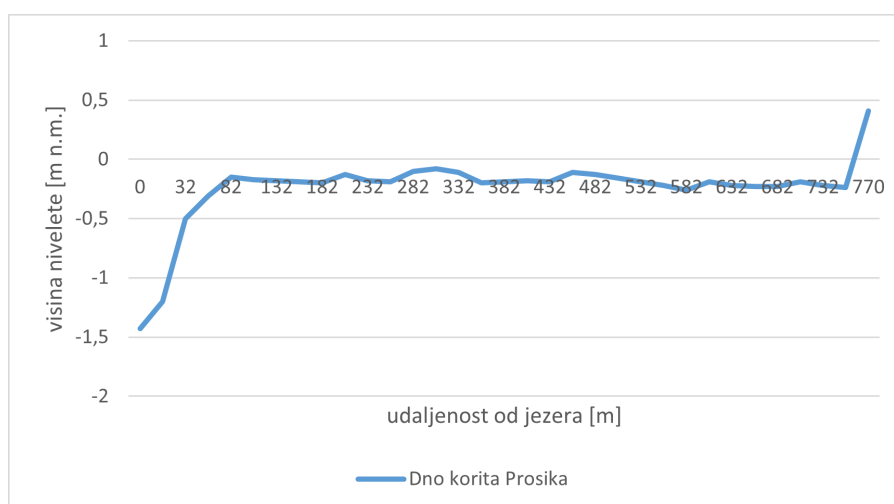
Navedeno je uočljivo i uvidom u dobivene konsumpcijske krivulje za varijantu zapornice za podignuto i spuštено stanje (slika 66). Iz istih je vidljivo da je mogućnost evakuacija velikih voda narušena čak i za slučaj stalno podignute zapornice. Drugim riječima, kada se zapornica ne bi ni izvela nego samo obložilo korito na način predviđen glavnim projektom mogućnost obrane od velikih voda bila bi smanjena u odnosu na postojeće stanje. To se iz konsumpcijskih krivulja može očitati na način da se usporede konsumpcijske krivulje za postojeće stanje (narančasta krivulja) i projektirano stanje podignute zapornice (plava krivulja). Pritom, uspoređujući za iste kote jezera uočava se da je plava krivulja pozicionirana lijevo u odnosu na narančastu (postojeće stanje), odnosno ima manju protočnu moć za istu razinu vodostaja. Dodatkom zapornice, odnosno u stanju kada je zapornica u spuštenom položaju (siva krivulja) ta protočnost se još značajnije smanjuje.

Za konsumpcijsku krivulju postojećeg stanja vrijedi izdvojiti da je zadana razina mora na koti 0,41 m n.m., te je na grafičkom prikazu (narančasta krivulja) vidljivo da se za razine jezera ispod 0,41 m n.m. javljaju negativni protoci. Isto se događa zato što za postojeće stanje postoji prodor mora u korito podzemnim putem, budući da je postojeće korito propusno i neobloženo. Negativne vrijednosti protoka ukazuju na smjer kretanja mora u jezero, za razliku od pozitivnih koje predstavljaju smjer kretanja iz jezera prema moru. Za projektirana stanja ove, ali i ostalih varijanti obrađenih u nastavku, može se primijetiti da protoci konsumpcijskih krivulja za vrijednosti kota jezera ispod kota

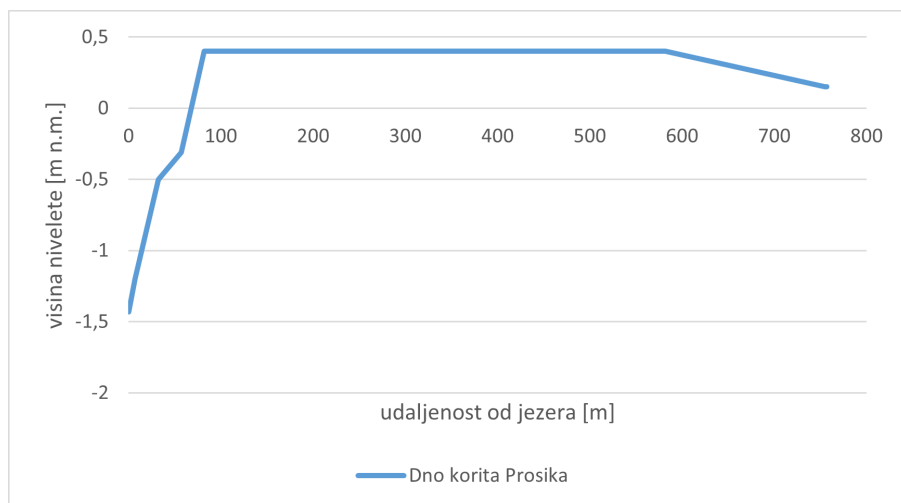
praga/zapornice dosežu vrijednost nula. To je zato što je korito obloženo i nema komunikacije između mora i jezera preko korita kanala Prosika unatoč razlici potencijala jezera i mora. Drugim riječima, sav protok koji se odvija u projektiranim varijantama, odvija se preko kote krune praga/zapornice.

S druge strane za kvantifikaciju utjecaja na poboljšanje stanja jezera uveden je drugi kriterij u odnosu na razmatrani u glavnom projektu gdje je to bilo povećanje minimalne razine vode. U tom smislu uveden je indikator slanosti dobiven iz udjela volumena slane vode u jezeru. Na slici 69 može se primijetiti smanjenje u salinitetu premda su minimalne razine vode neznatno povišene. Iz navedene krivulje slanosti izvedena je krivulja trajanja slanosti prikazana na slici 70. Dobiveni rezultati u tom kontekstu upućuju na poboljšanje stanja voda u kontekstu zaštite od prekomjernog zaslanjivanja. Punjenje i pražnjenje slane vode u volumenu jezera prikazano je na slici 76.

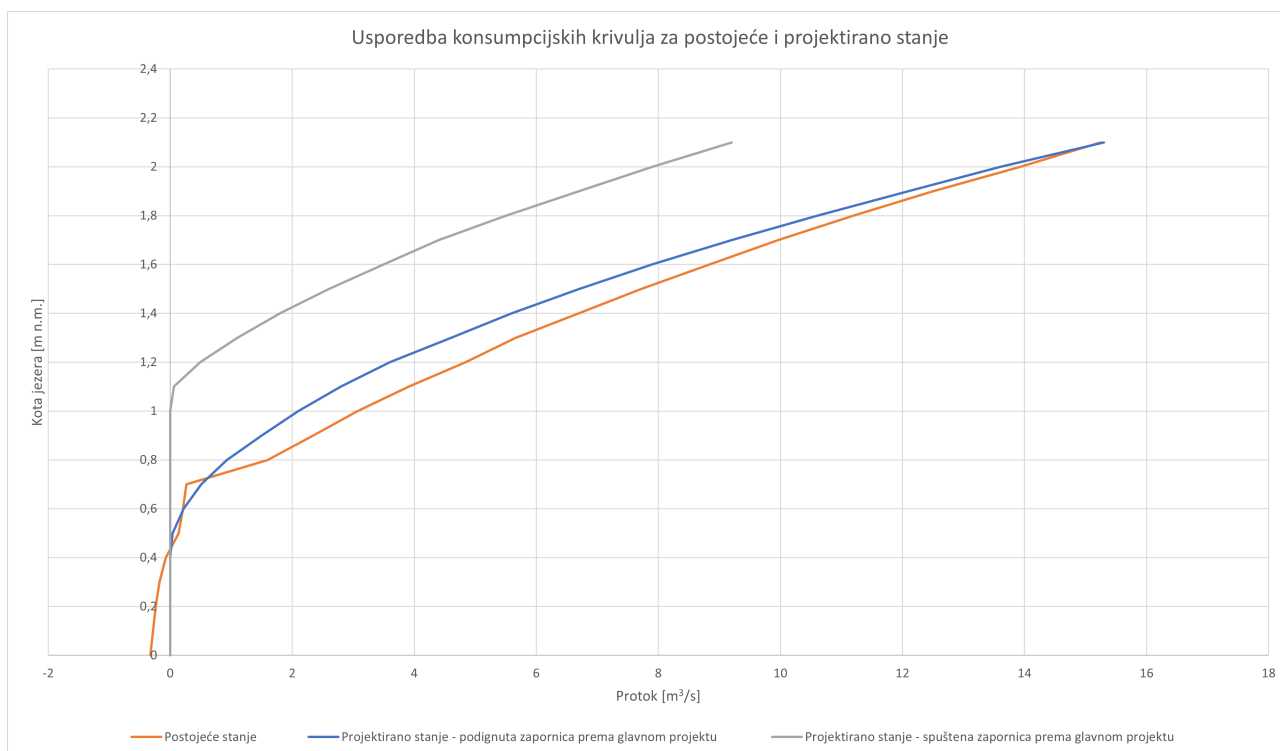
Na slici 71 prikazana je dekompozicija volumena za projektirano stanje, na slici 72 dekompozicija protoka, na slici 73 protok poniranja u jezero, na slici 74 protok poniranja u kanalu, te na slici 75 protok prelijevanja preko praga.



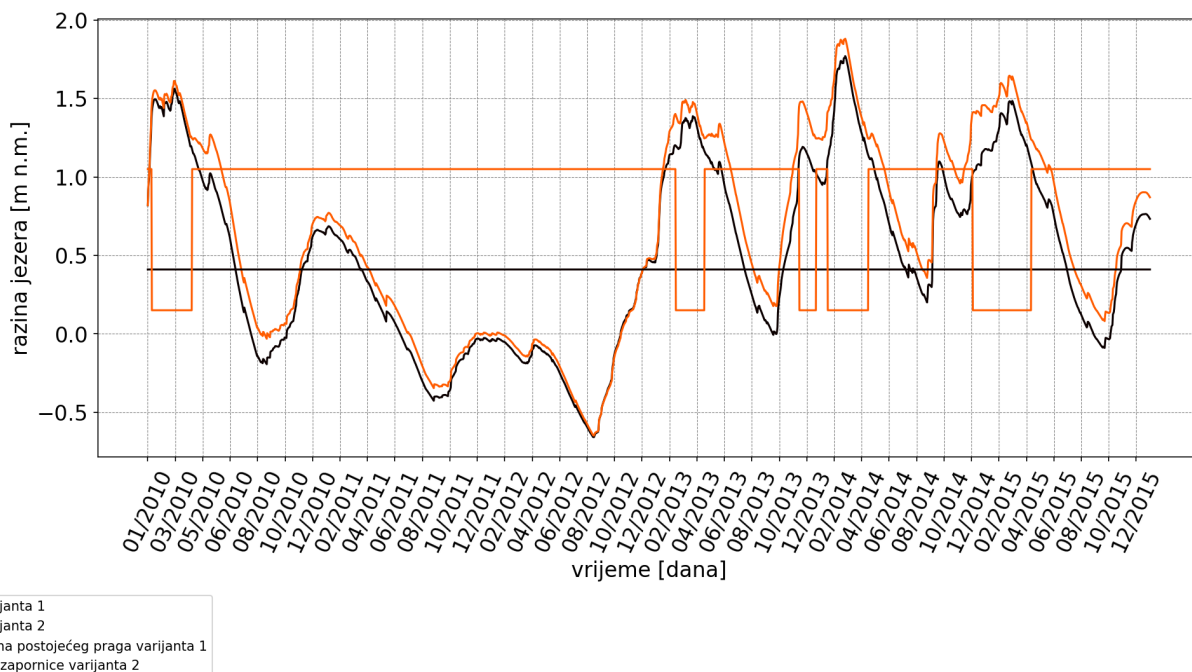
Slika 64: Niveleta korita Prosika za postojeće stanje



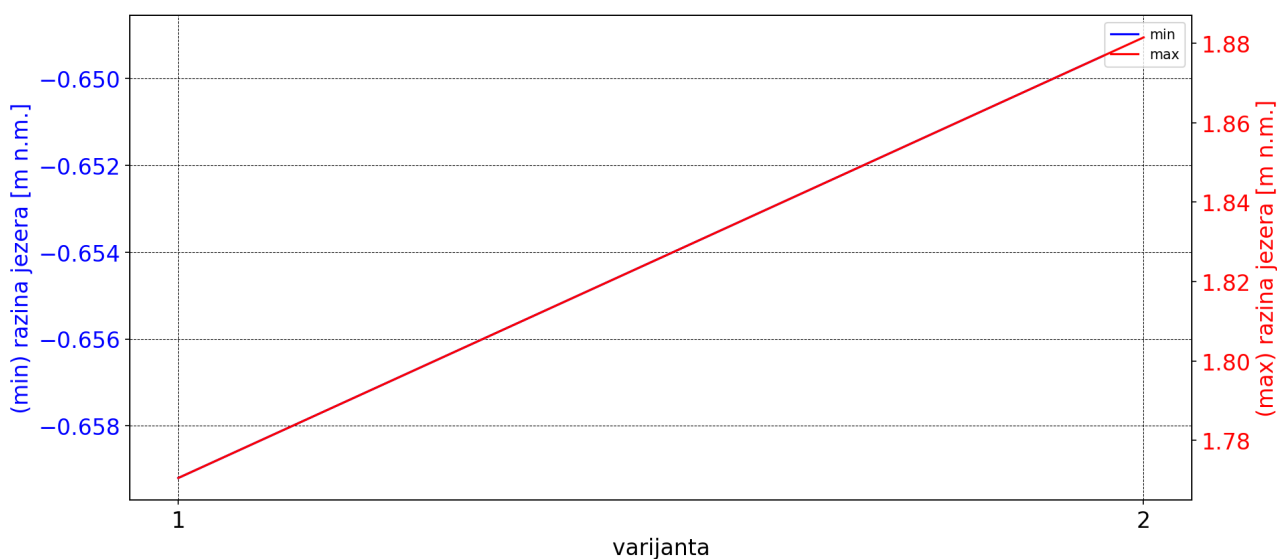
Slika 65: Niveleta korita Prosika za projektirano stanje prema glavnom projektu zapornice [2]



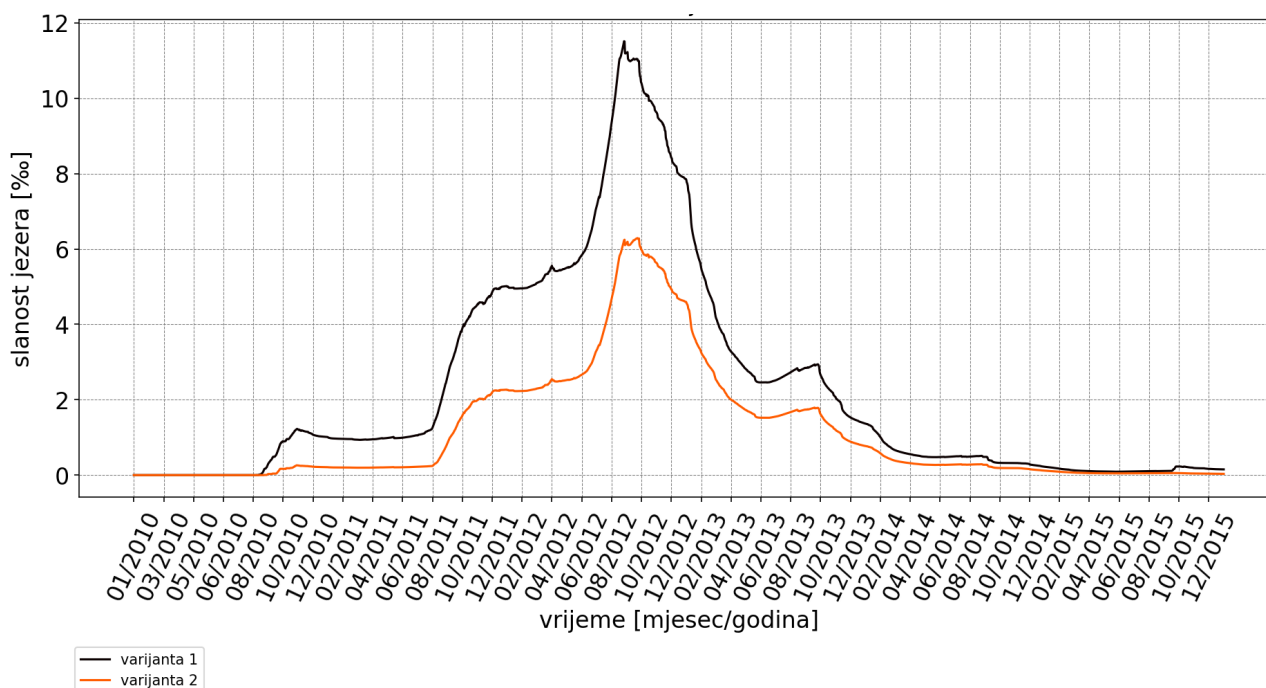
Slika 66: Usporedba konsumpcijske krivulje za varijantu zapornice prema glavnom projektu za slučaj podignute i spuštene zapornice s konsumpcijskom krivuljom za postojeće stanje



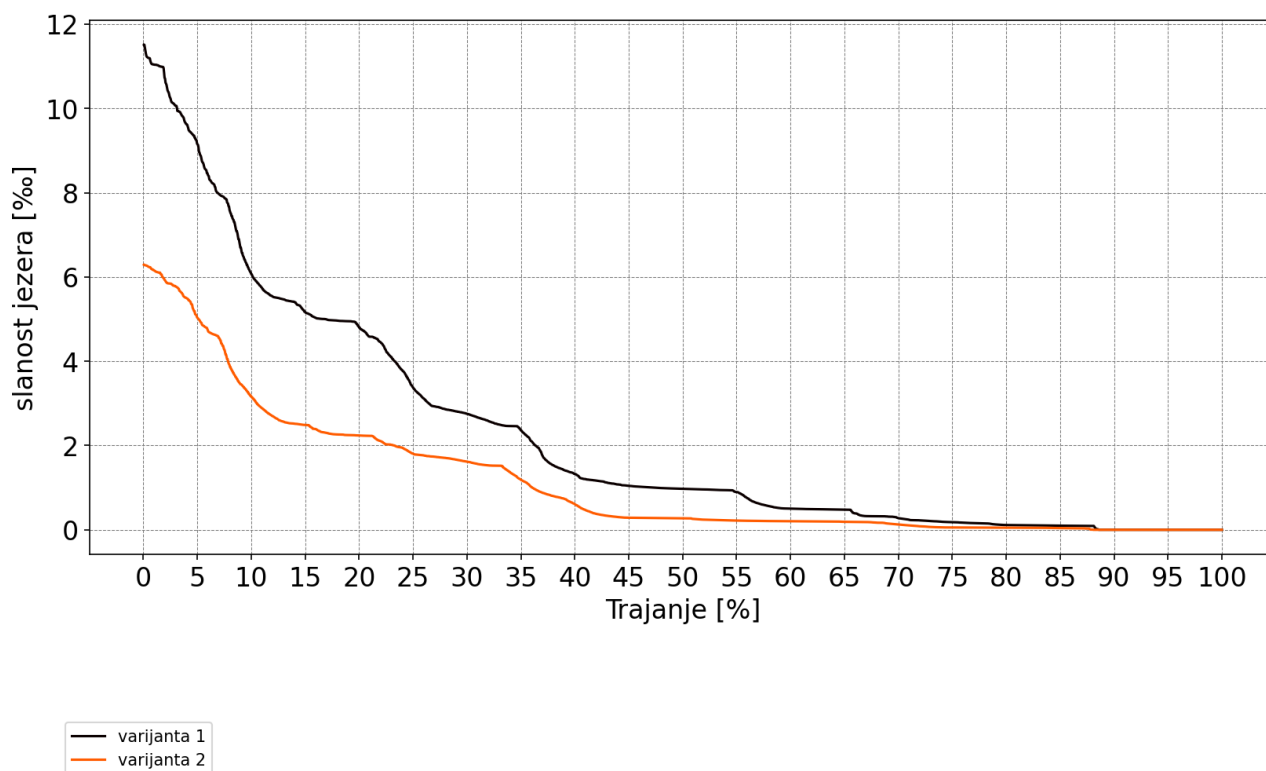
Slika 67: Usporedba razina jezera za varijantu zapornice prema glavnom projektu u odnosu na postojeće stanje s prikazom rada zapornice



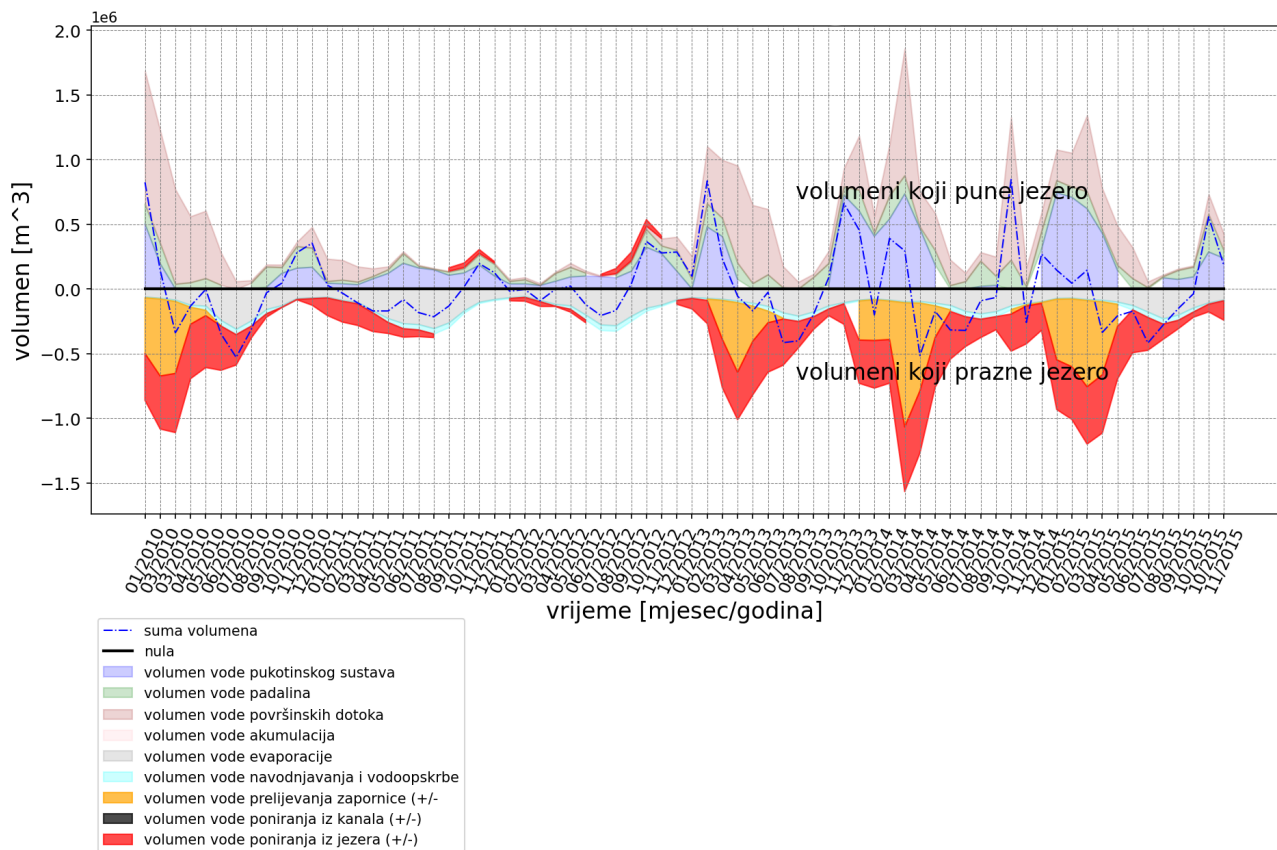
Slika 68: Usporedba minimalnih i maksimalnih razina jezera za varijantu zapornice prema glavnom projektu u odnosu na postojeće stanje



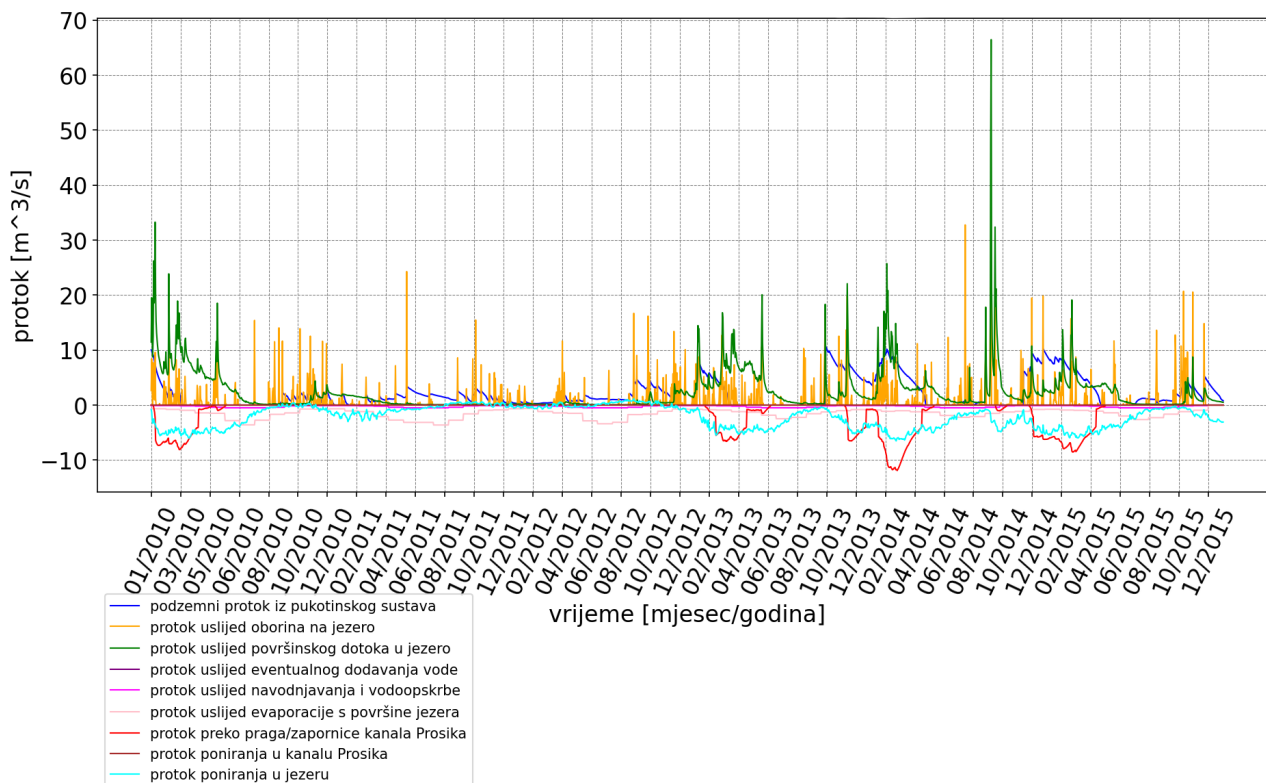
Slika 69: Usporedba slanosti jezera za varijantu zapornice prema glavnom projektu u odnosu na postojeće stanje



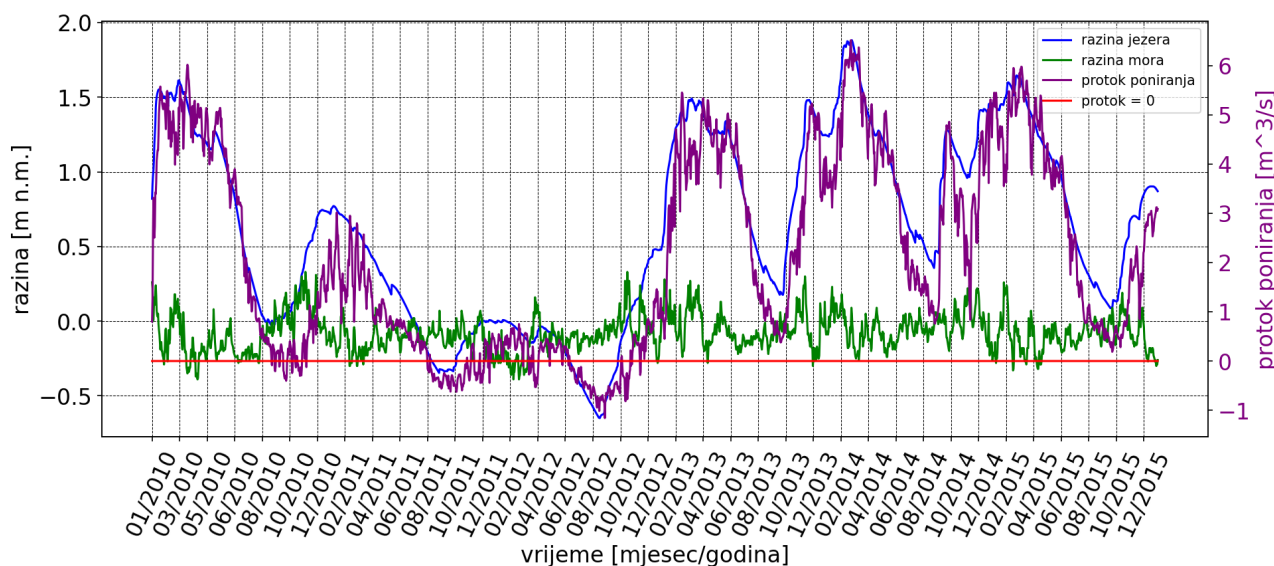
Slika 70: Usporedba trajanja slanosti jezera za varijantu zapornice prema glavnom projektu u odnosu na postojeće stanje



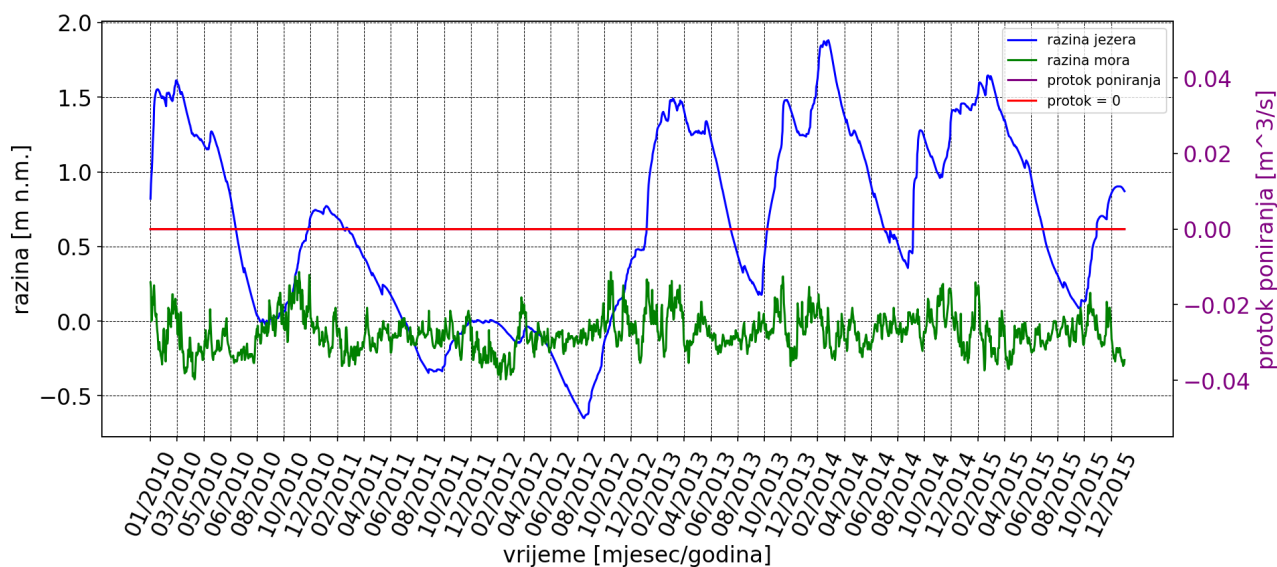
Slika 71: Dekompozicija volumena koji pune i prazne jezero za varijantu zapornice s oblaganjem korita



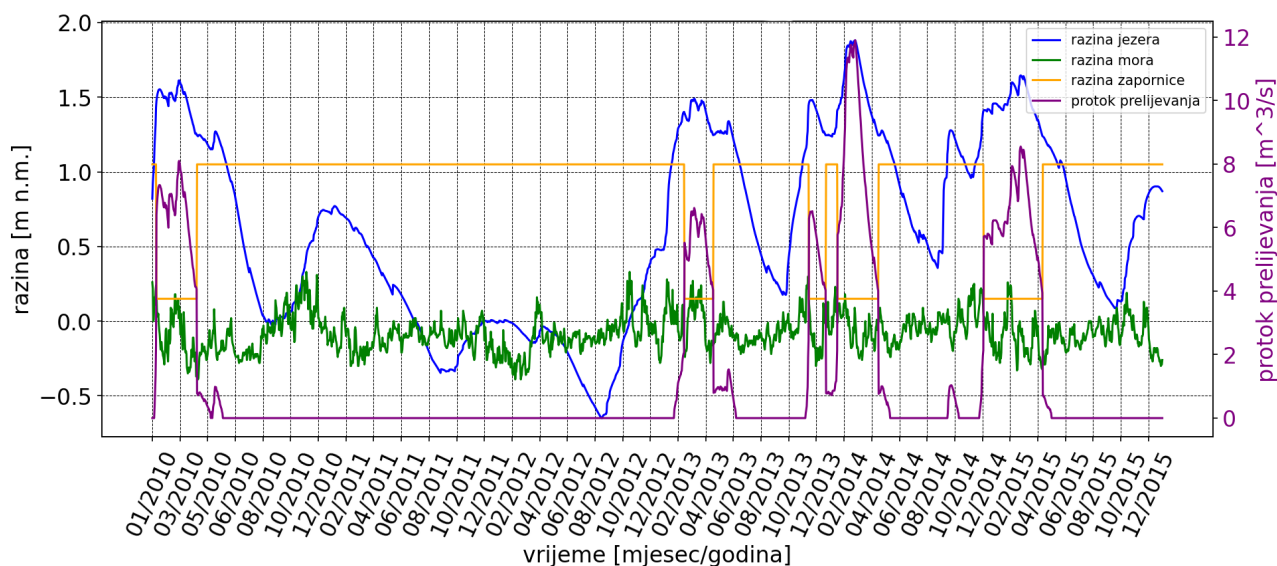
Slika 72: Dekompozicija protoka za varijantu zapornice s oblaganjem korita



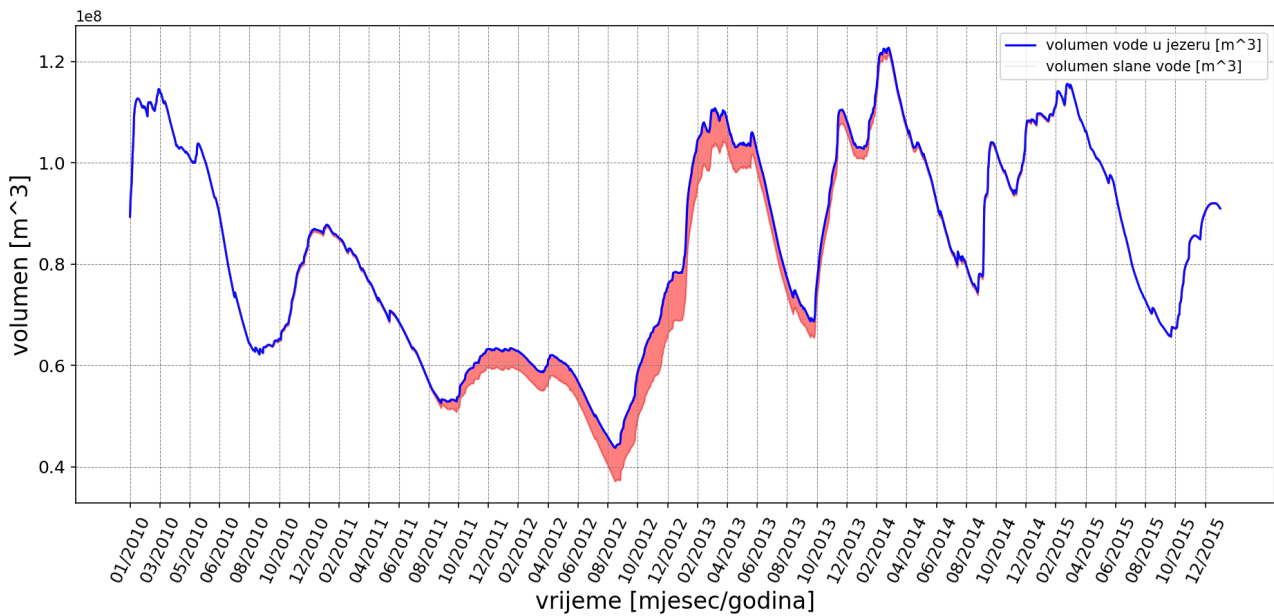
Slika 73: Razine jezera i mora te protok poniranja u jezero za varijantu zapornice s oblaganjem korita



Slika 74: Razine jezera i mora te protok poniranja u kanalu za varijantu zapornice s oblaganjem korita



Slika 75: Razine jezera, mora i praga te protok prelijevanja preko praga za varijantu zapornice s oblaganjem korita



Slika 76: Udio slane vode za varijantu zapornice s oblaganjem korita

3.2.2 Korigirana varijanta zapornice

Unatoč pozitivnom utjecaju zapornice iz glavnog projekta [2] na poboljšanje stanja voda u kontekstu saliniteta jezera, takvo tehničko rješenje nije prihvatljivo, prvenstveno zbog negativnog utjecaja na velike vode, te je potrebno provesti određene korekcije. U tom smislu valja istaknuti da je glavni uzrok negativnog utjecaja na velike vode smanjenje protočnog profila kanala, budući da je podignuta niveleta za u prosjeku 55 cm, te su sa svake strane bokovi suženi za 40 cm u odnosu na postojeće stanje korita. Unatoč povoljnijem Manningovom koeficijentu, analize protočnih krivulja upućuju na to da bi i bez izvedbe zapornice s tako izvedenim koritom mogućnost evakuacije velikih voda bila smanjena. Stoga je preduvjet bilo kakvog tehničkog zahvata na koritu Prosika da isto omogući evakuaciju velikih voda, odnosno da barem zadrži trenutnu protočnost.

U tom smislu definirana je nova niveleta korita Prosika prikazana na slici 77, te je definirana minimalna širina korita koja zadovoljava uvjet protočnosti. Profil korita za koji je proveden proračun prikazan je na nacrtu [Karakteristični poprečni presjeci kanala Prosika za analizirane varijante](#).

U ovom poglavlju obrađena je varijanta:

- Zapornica na koti 1,05 m n.m.
- Proširenje korita - 60 cm (vrijednost korištena u proračunu)
- Preporuča se da usvojeno proširenje u eventualnim budućim projektima iznosi barem koliko i obloga

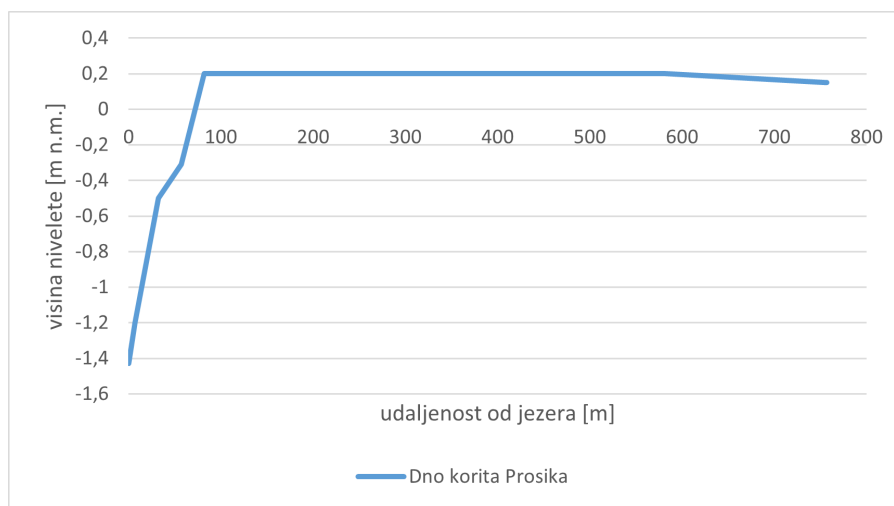
Lokacija predviđena za zapornicu prikazana je na nacrtu [Prikaz lokacija za varijante pragova i zapornica](#) (Lokacija 1).

Dimenzije zapornice zadržane su kao u glavnom projektu, te je izmijenjen algoritam rada zapornice gdje je vrijednost gornje razine vode 1,30 m n.m., te donje razine vode 1,15 m n.m. Navedene izmjene korita i algoritma rada predstavljaju minimalno potrebne protočne površine uz rad zapornice, odnosno zadržavaju postojeće stanje za velike vode, što se može vidjeti na slikama 79 i 80.

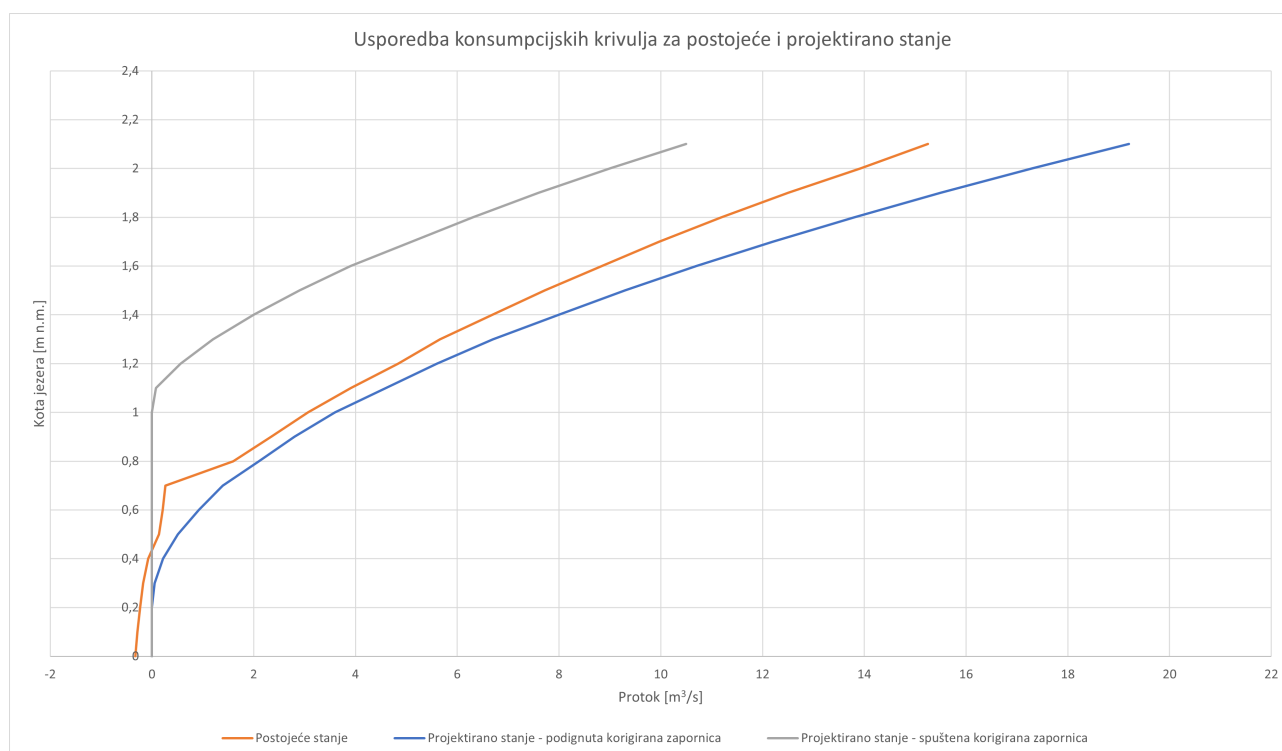
Na slici 78 dane su konsumpcijske krivulje za podignutu i spuštenu zapornicu te njihova usporedba s postojećim stanjem. Uvidom u iste može se primijetiti kako se je u odnosu na prethodnu varijantu zapornice prema glavnom projektu, plava krivulja za projektirano stanje podignute zapornice pomakla u grafu na desnu stranu, odnosno za iste vodostaje ima veću protočnu moć u odnosu na korito postojećeg stanja. Navedena veća protočna moć za podignutu zapornicu u odnosu na postojeće stanje potrebna je kako bi se kompenzirala smanjena protočna moć prilikom spuštenog stanja zapornice (siva krivulja).

Punjenje i pražnjenje slane vode u volumenu jezera prikazan je na slici 88.

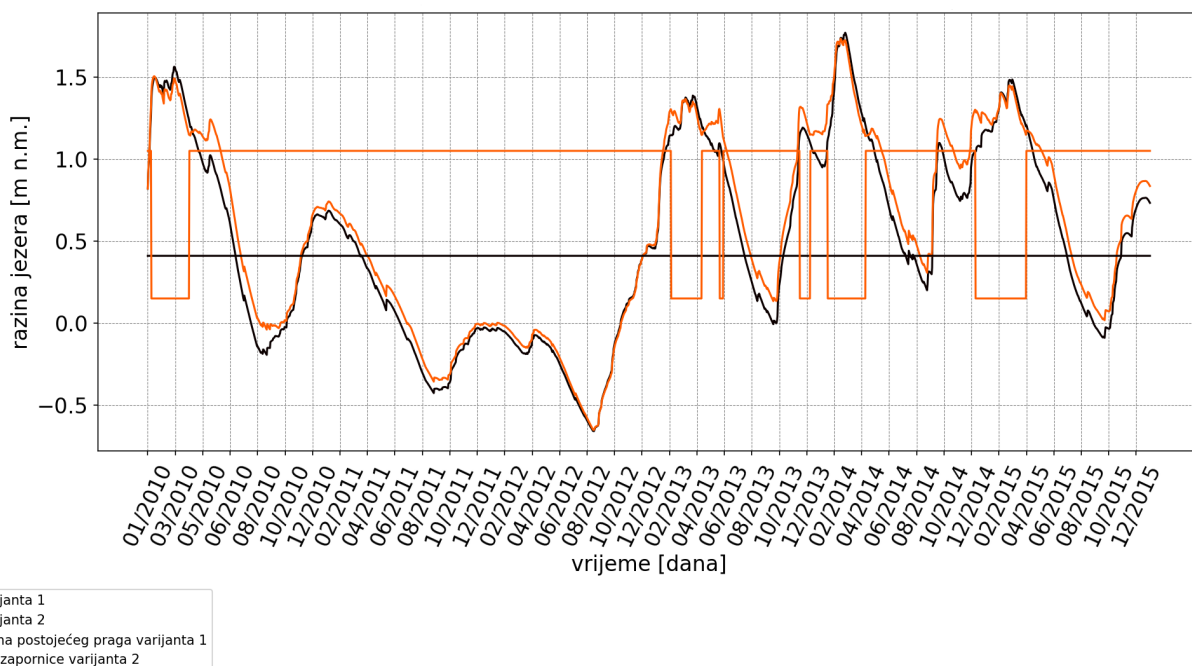
Na slici 83 prikazana je dekompozicija volumena za projektirano stanje, na slici 84 dekompozicija protoka, na slici 85 protok poniranja u jezero, na slici 86 protok poniranja u kanalu, te na slici 87 protok prelijevanja preko praga.



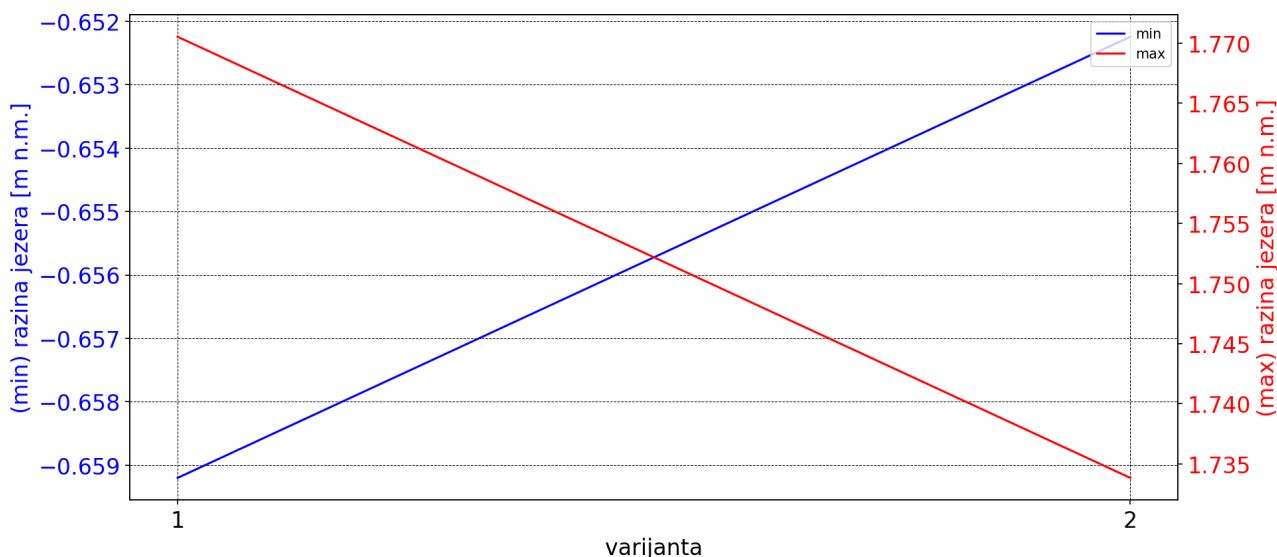
Slika 77: Niveleta korita Prosika za korigiranu varijantu zapornice i za prag



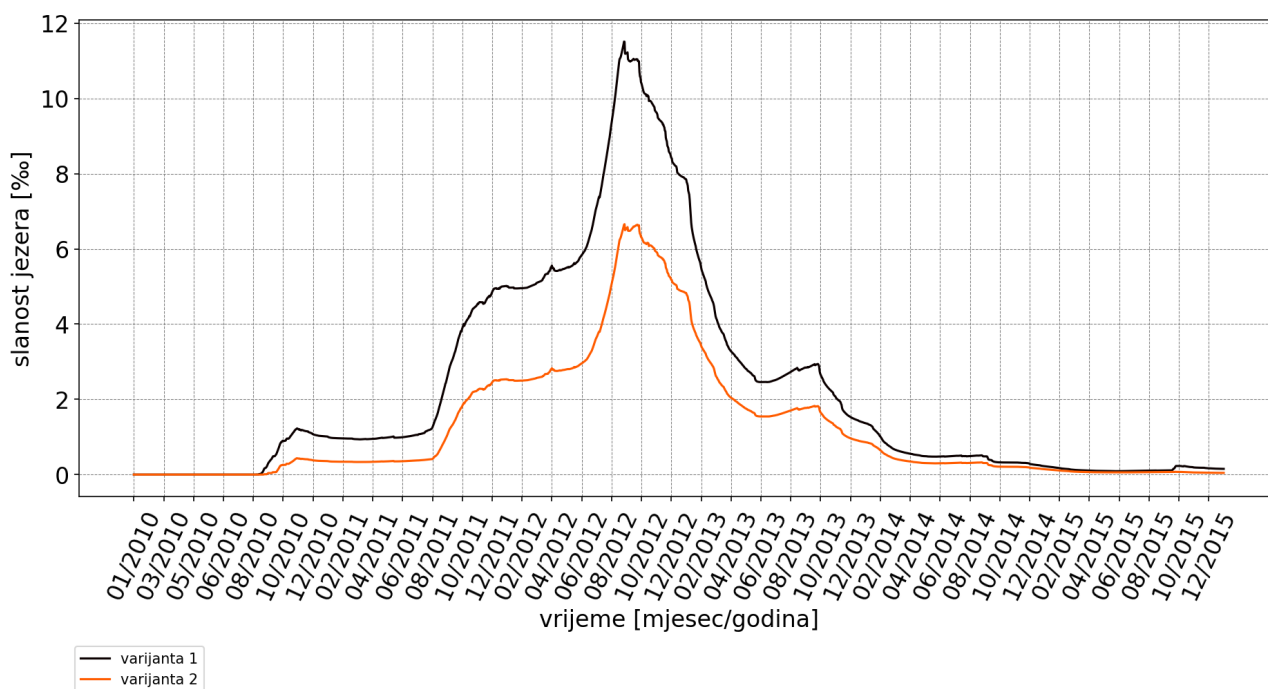
Slika 78: Usporedba konsumpcijske krivulje za korigiranu varijantu zapornice za slučaj podignute i spuštene zapornice s konsumpcijskom krivuljom za postojeće stanje



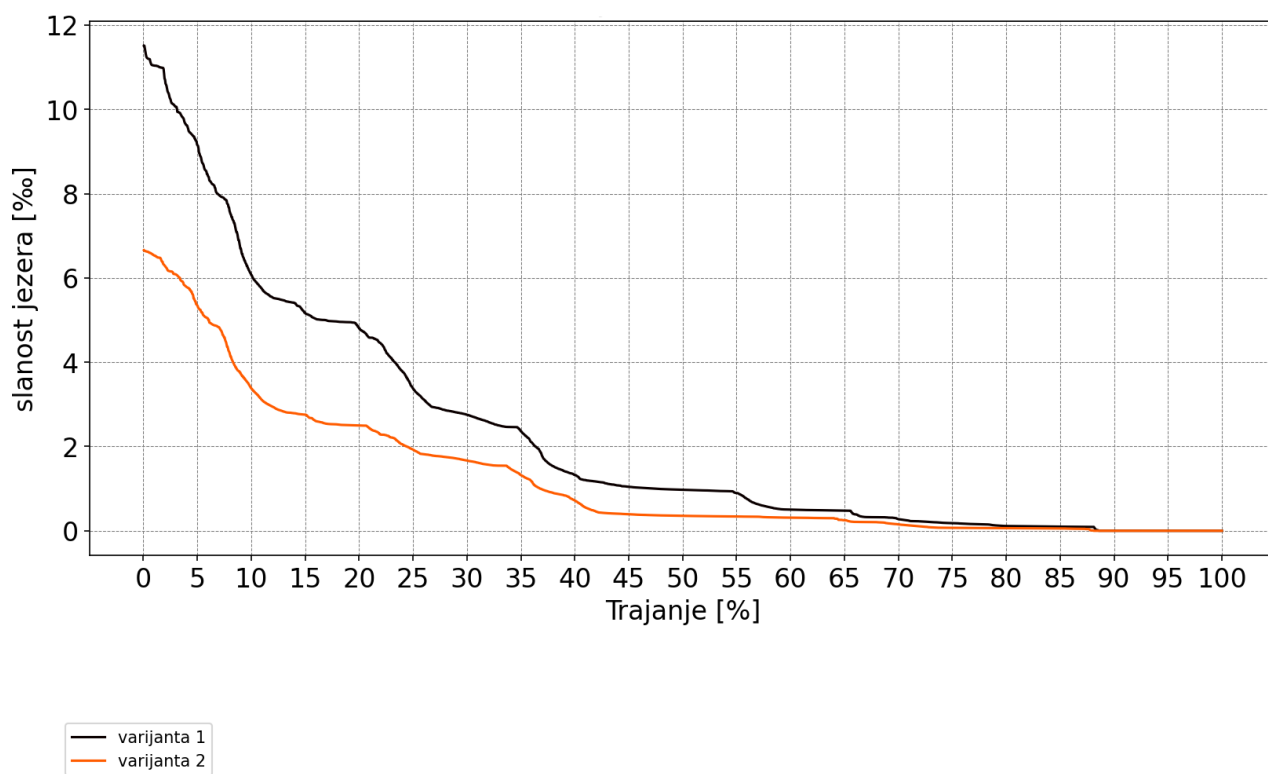
Slika 79: Usporedba razina jezera za korigiranu varijantu zapornice u odnosu na postojeće stanje s prikazom rada zapornice



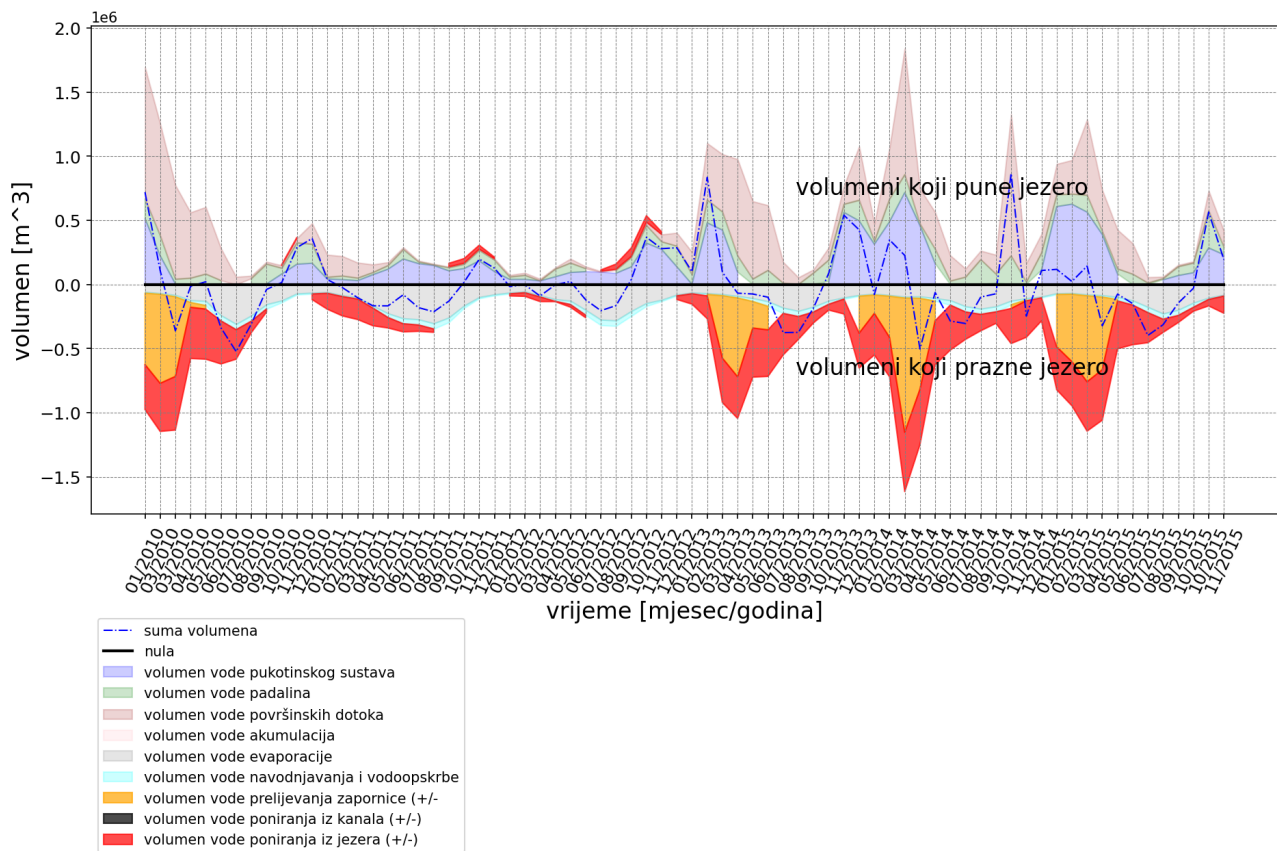
Slika 80: Usporedba minimalnih i maksimalnih razina jezera za korigiranu varijantu zapornice u odnosu na postojeće stanje



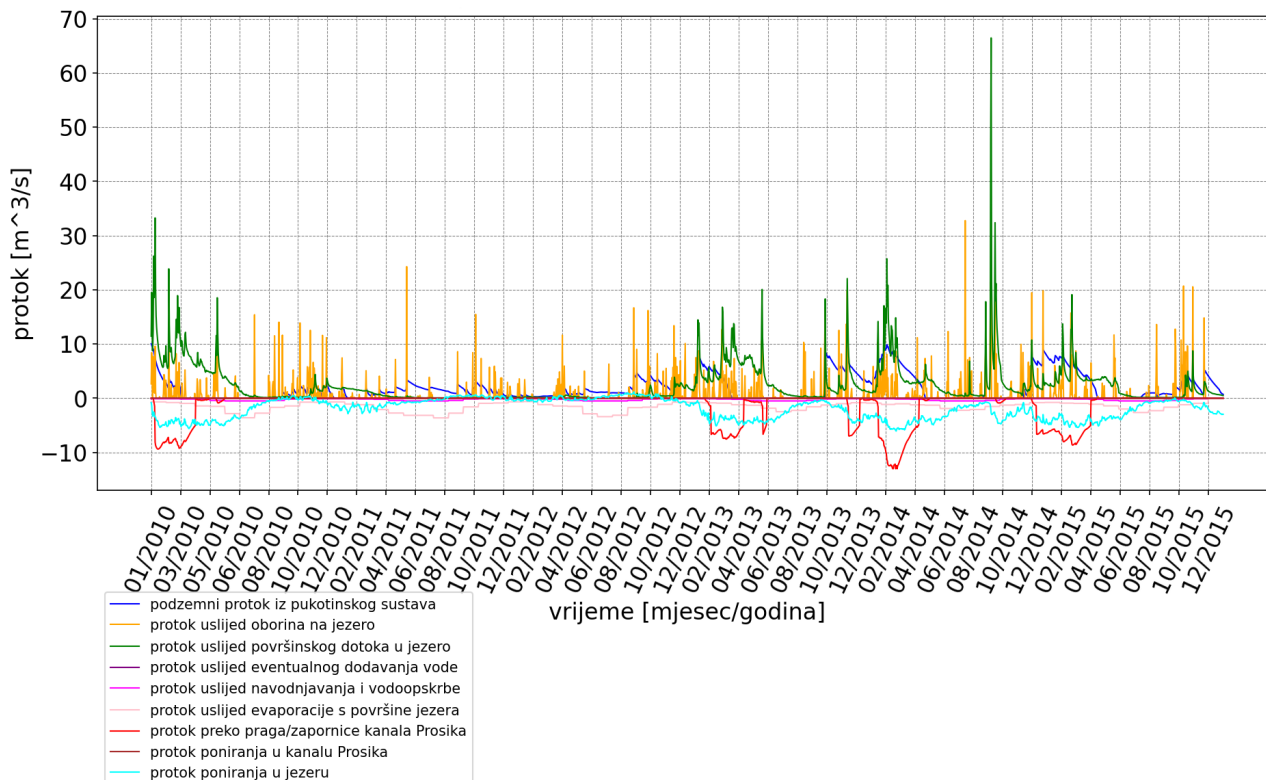
Slika 81: Usporedba slanosti jezera za korigiranu varijantu zapornice u odnosu na postojeće stanje



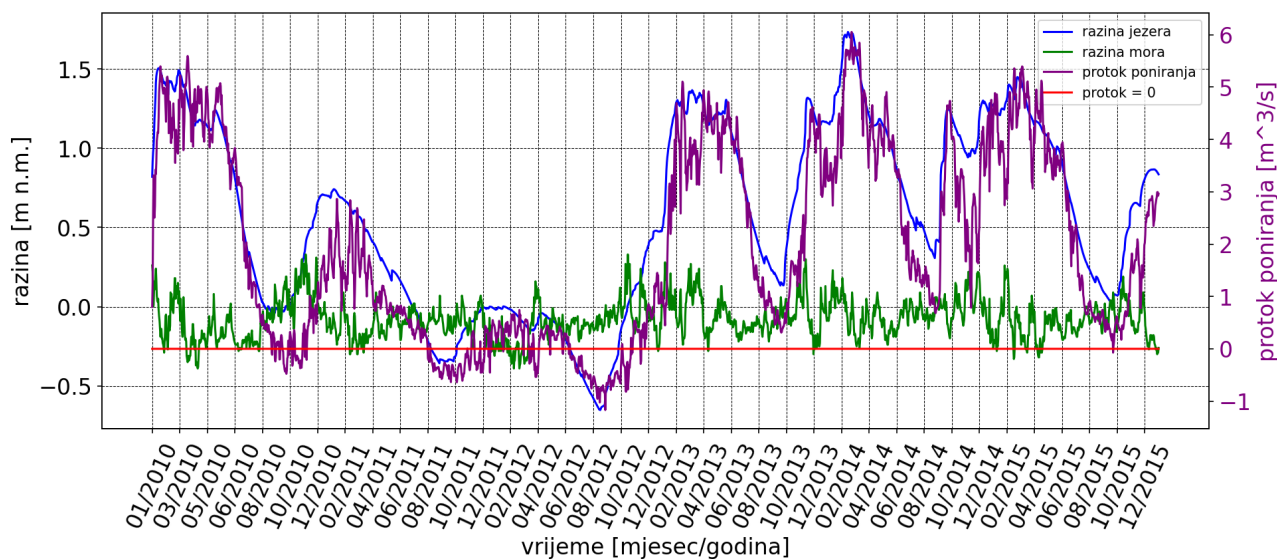
Slika 82: Usporedba trajanja slanosti jezera za korigiranu varijantu zapornice u odnosu na postojeće stanje



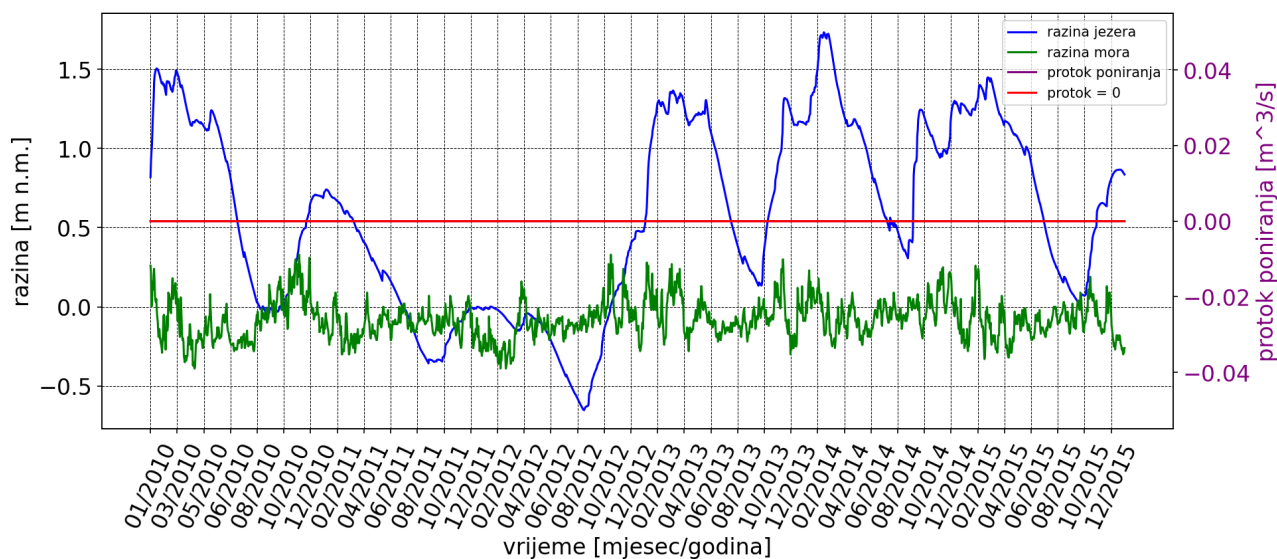
Slika 83: Dekompozicija volumena koji pune i prazne jezero za korigiranu varijantu zapornice



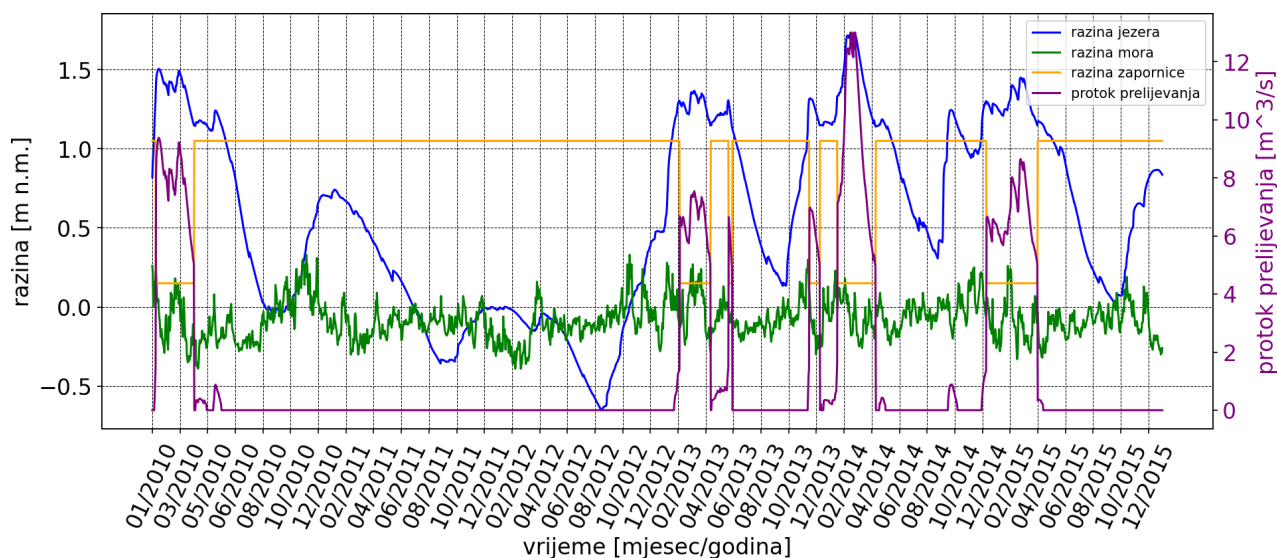
Slika 84: Dekompozicija protoka za korigiranu varijantu zapornice



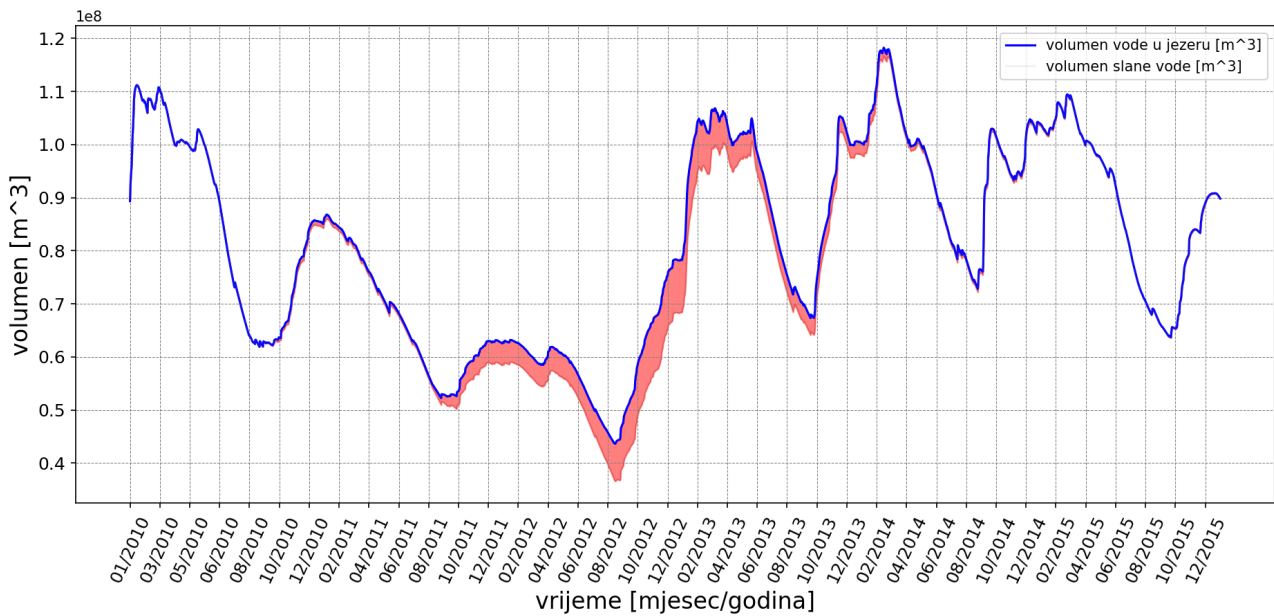
Slika 85: Razine jezera i mora te protok poniranja u jezero za korigiranu varijantu zapornice



Slika 86: Razine jezera i mora te protok poniranja u kanalu za korigiranu varijantu zapornice



Slika 87: Razine jezera, mora i praga te protok prelijevanja preko praga za korigiranu varijantu zapornice



Slika 88: Udio slane vode za korigiranu varijantu zapornice

3.3 Varijanta praga na kanalu Prosika

Budući da zapornica predstavlja tehničko rješenje koje zahtjeva upravljanje i utrošak električne energije, potrebno je razmotriti varijantu praga, te potrebno proširenje korita Prosika kako bi se izvedbom istoga mogla zadržati potrebna protočnost, odnosno mogućnost evakuacije velikih voda. U nastavku će se sagledati utjecaj kote krune praga na mogućnost evakuacije velikih voda, potrebnih proširenja korita kanala Prosika, kao i na utjecaj smanjenja zaslanižavanja jezera. Varijante praga razmatrat će se na dvije pozicije, nizvodno u koritu kanala Prosika neposredno uzvodno od mosta na Državnoj cesti D8, te uzvodno na samom početku korita kanala Prosika na jezerskoj strani.

3.3.1 Inkrementalno povišenje praga

U prvom redu analizirao se je utjecaj povišenja praga na stanje u jezeru za korito ekvivalentno prethodnoj razmatranoj varijanti korigirane zapornice (slika 77 i [Karakteristični poprečni presjeci kanala Prosika za analizirane varijante](#)). Modelirana varijanta inkrementalnog povišenja praga konceptualno je ekvivalentna zapornici koja bi bila konstantno spuštena. Pritom, oblik praga je definiran koritom, odnosno za razliku od prethodno razmatrane varijante zapornice okomitih poprečnih presjeka, prag ima trapezne stranice pokosa 3:1 čime se i preljevni profil povećava s visinom praga.

Na slici 89 prikazane su razine jezera za povećanje razine praga u inkrementu od 20 cm s ucrtanim razinama pragova za svaku pojedinu varijantu. Postojeće stanje, odnosno varijanta 1 predstavlja prag od 41 cm, te neobloženo korito, dok varijanta 2 predstavlja prag na visini 65 cm, te se inkrementalno povećava do varijante 6 koja predstavlja prag na visini 145 cm. Pritom varijante od 2 do 6 su obrađene za obloženo korito u kojima je protok poniranja jednak nuli.

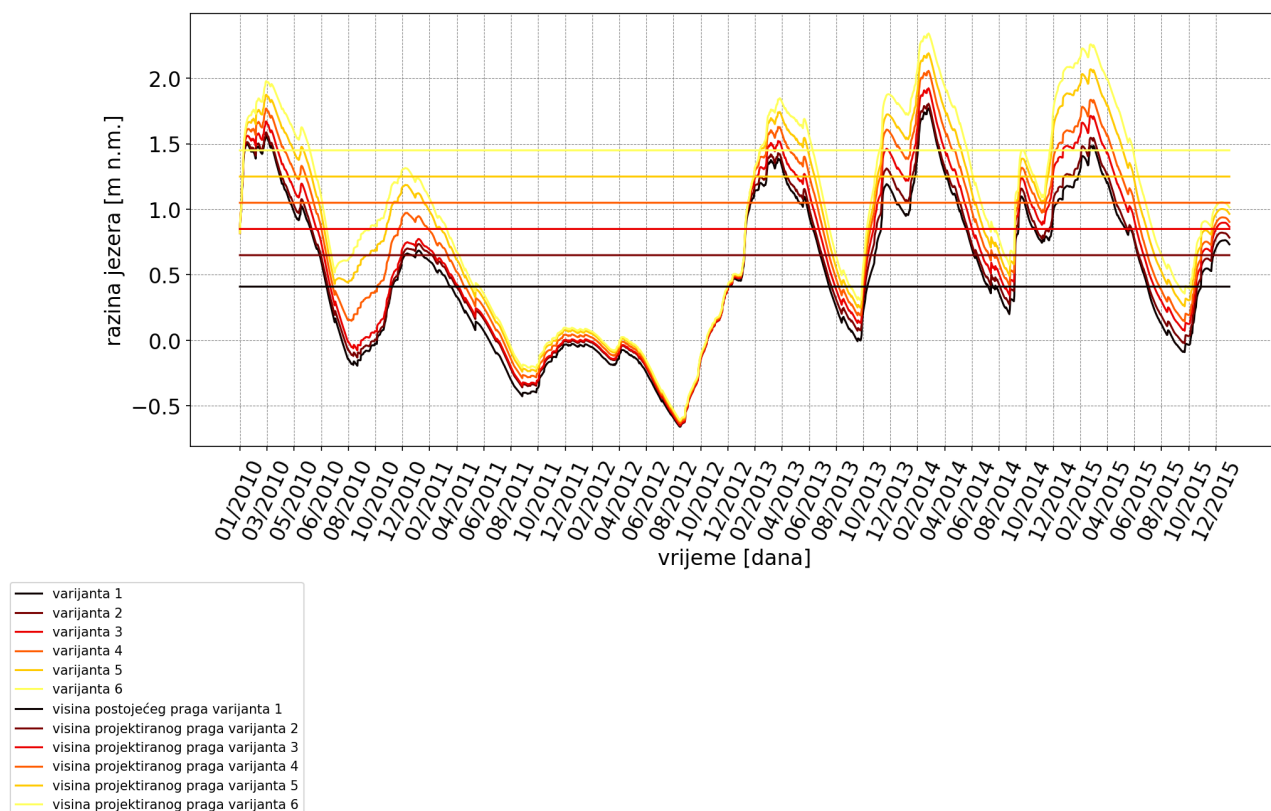
U ovom poglavlju obrađena je varijanta:

- Pragovi na kotama 0,65, 0,85, 1,05, 1,25, 1,45 m n.m.
- Proširenje korita - 60 cm

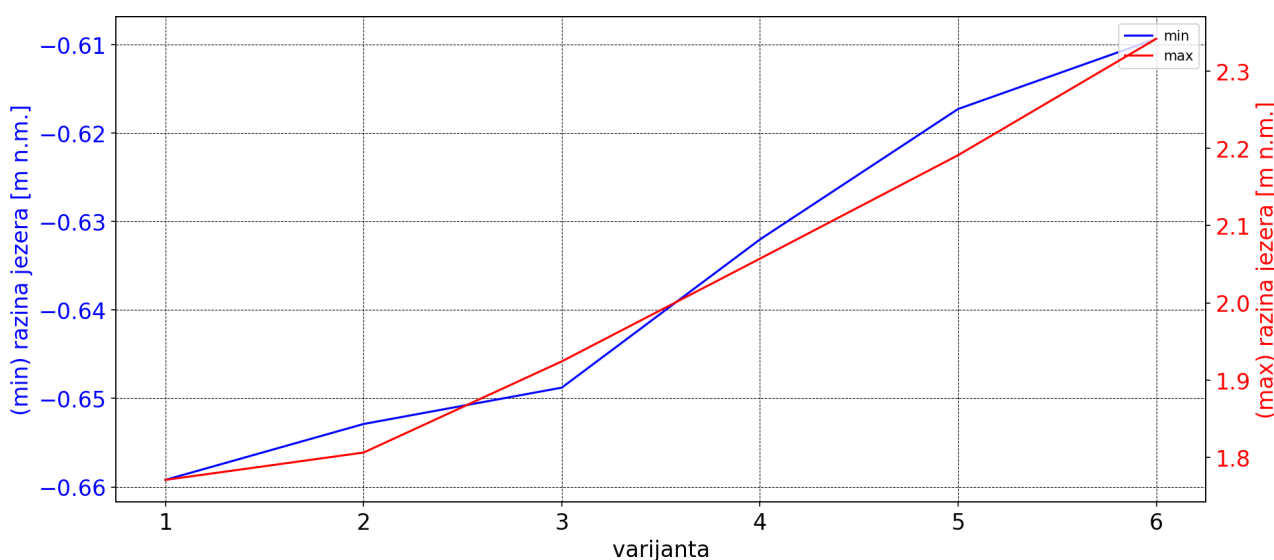
Vrijedi istaknuti da se minimalne razine jezera neznatno povećavaju (slika 90), dok suprotno vrijedi za maksimalne razine. Pritom krivulje slanosti upućuju da povećanje minimalne razine vode u jezeru ne treba biti mjerodavan kriterij za odlučivanje poboljšanja stanja voda budući da se prema istima pokazalo da se unatoč neznatnom povećanju minimalnih razina voda u jezeru, vršna slanost, kao i trajanje slanosti smanjilo u odnosu na postojeće stanje (slika 91 i 92).

Potrebno je istaknuti da se vrhovi vodnih valova mogu spustiti isključivo povećanjem protočnosti. U varijanti zapornice isto se postiže podizanjem zapornice kad razina vode dosegne gornju vodu definiranu algoritmom rada, dok za varijantu praga ta mogućnost ne postoji. Stoga je povećanje

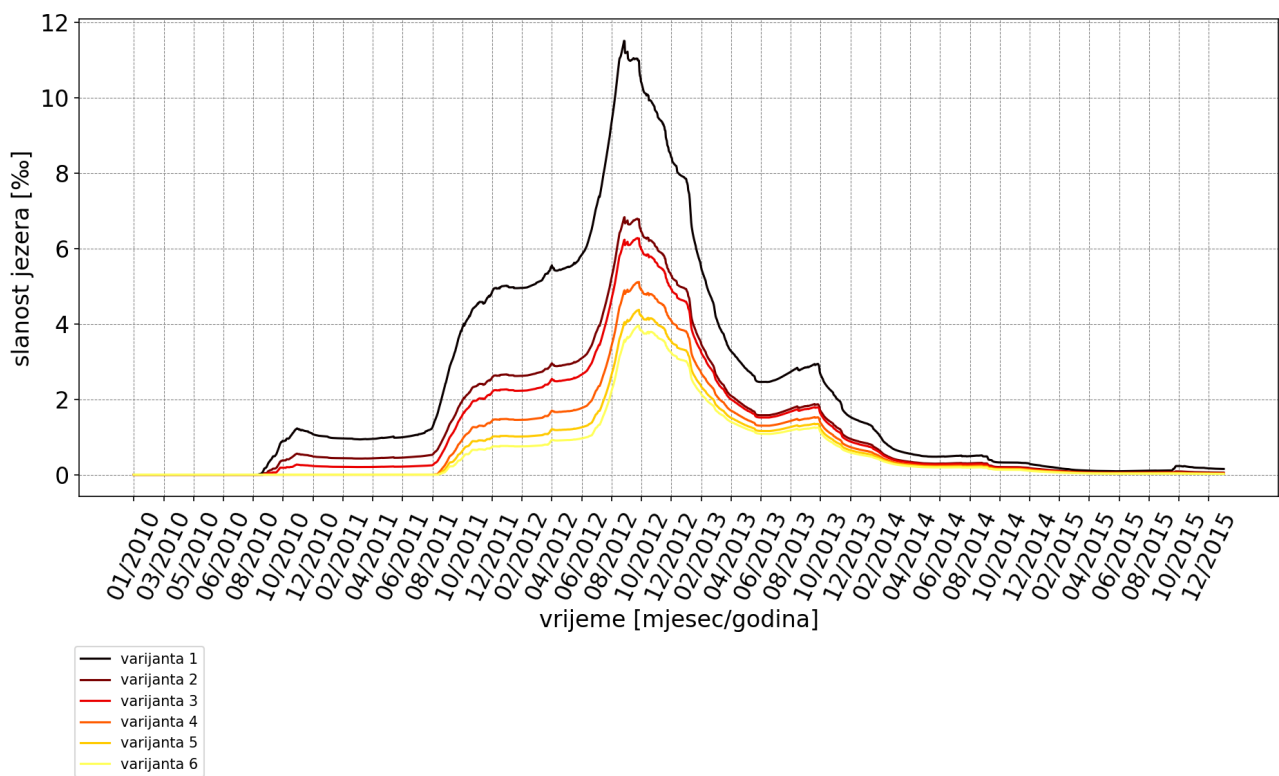
protočnosti u varijanti fiksnog praga potrebno postići proširivanjem kanala.



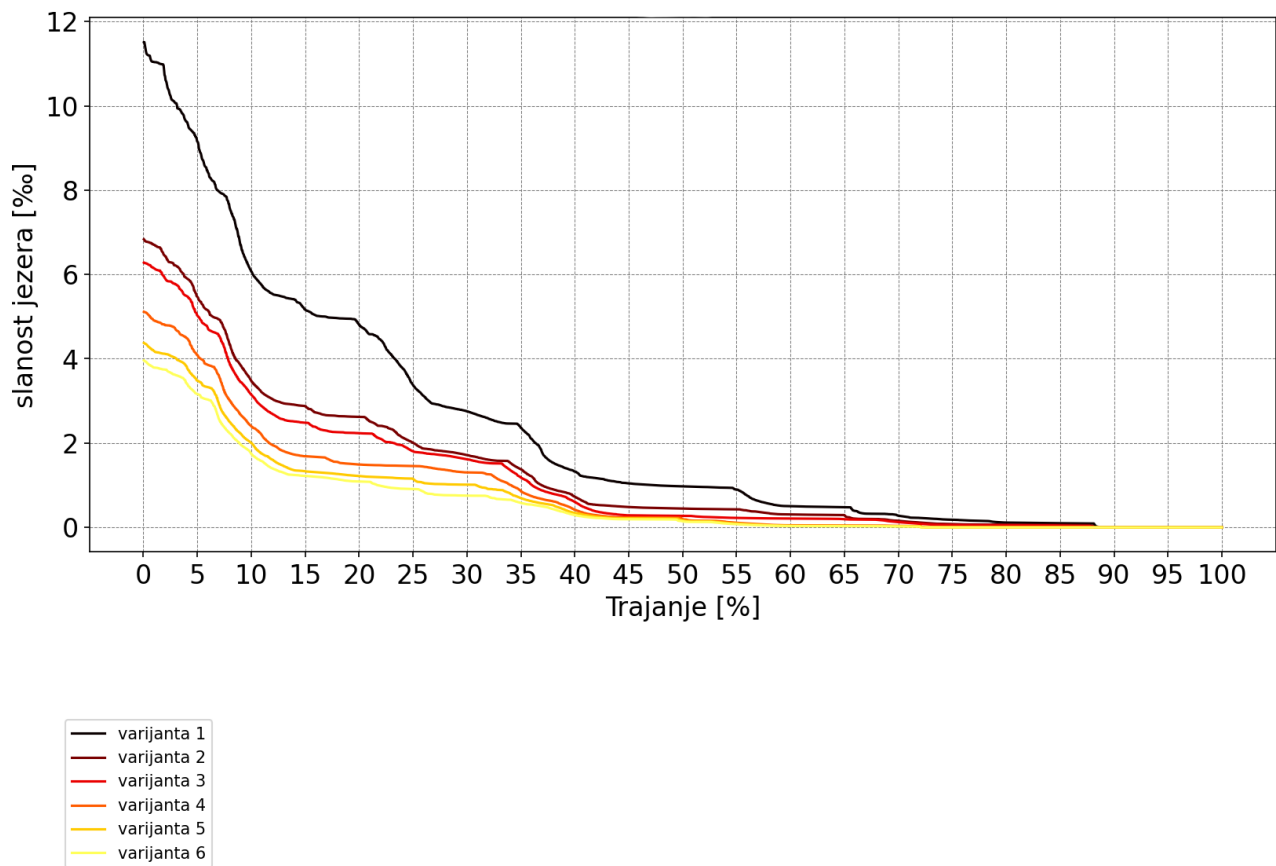
Slika 89: Usporedba razina jezera za inkrementalno povišenje praga u odnosu na postojeće stanje s prikazom rada zapornice



Slika 90: Usporedba minimalnih i maksimalnih razina jezera za inkrementalno povišenje praga u odnosu na postojeće stanje



Slika 91: Usporedba slanosti jezera za inkrementalno povišenje praga u odnosu na postojeće stanje



Slika 92: Usporedba trajanja slanosti jezera za inkrementalno povišenje praga u odnosu na postojeće stanje

3.3.2 Dimenzioniranje kote krune praga u kontekstu porasta razina mora

Prag u funkciji smanjivanja zaslanjivanja Vranskog jezera ima dvojaku namjenu. Jedna od funkcija je zadržavanje viših razina vode u jezeru, čime se smanjuju ukupni prodori mora u jezero, dok je druga funkcija sprječavanje direktnog prodora mora preko kote praga te utjecanje u kanal čime bi i površinski more dotjecalo u jezero. Valja naglasiti da u kanal more prodire podzemnim putem u pojedinim slučajevima kada je razina mora ispod kote praga, te je u tom smislu potrebno oblaganje kanala Prosika i osiguranje vododrživosti.

Kao prvotni prijedlog definiranja minimalne potrebne kote krune praga bio je da se sagleda maksimalno zabilježena satna razina mora na Postaji Prosika, te uveća za očekivani porast razine mora u projektiranom vijeku građevine koji iznosi 50 godina.

Stoga je u svrhu definiranja minimalne potrebne kote krune praga u funkciji sprječavanja direktnog utjecanja mora preko praga potrebno sagledati zabilježene razine mora od kad postoje mjerenja, kao i trend porasta mora.

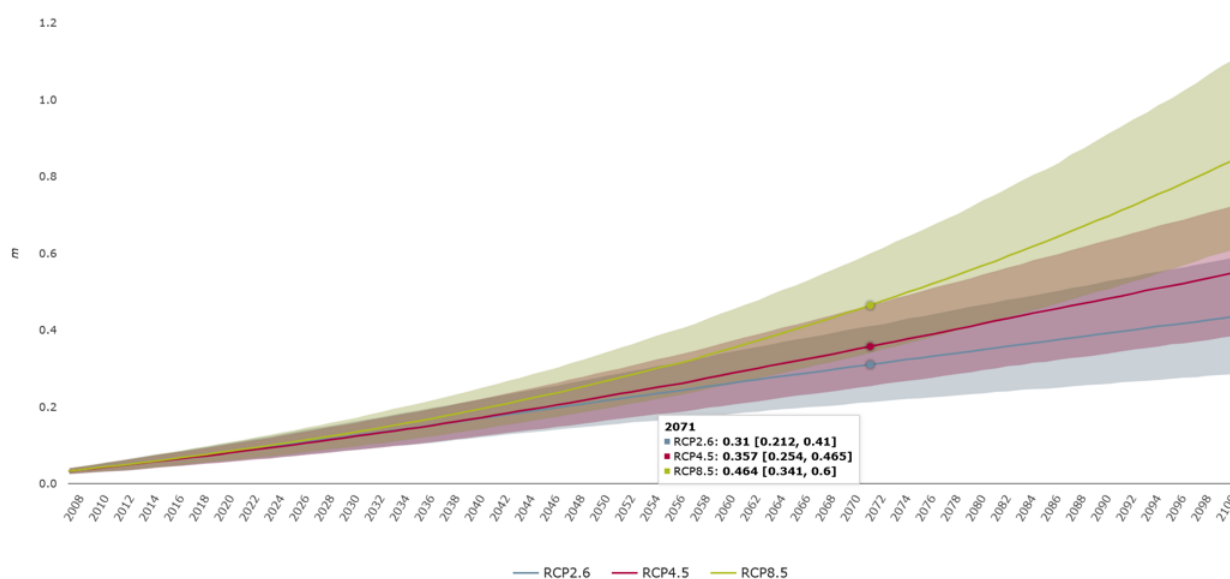
Kota krune prema toj metodi odredila se je na sljedeći način.

Maksimalno zabilježena satna razina mora na postaji Prosika - Jadransko more u razdoblju od 1986. do 2019. godine prema mjerenjima DHMZ-a iznosila je 137 cm, što u referentnom sustavu korištenom u sklopu ove projektne dokumentacije iznosi 0,746 m n.m. (sustav gdje je kota postojećeg praga na 0,41 m n.m., sukladno kotama prema glavnom projektu zapornice i mjerenjima VPB-a). Potom je bilo potrebno uračunati maksimalnu kotu mora za razdoblje od 2021. do 2071. (50 godina vijek trajanja građevine, uz optimističnu pretpostavku brze realizacije zahvata).

U te svrhe koristili su se podaci IPCC-a (Intergovernmental Panel on Climate Change), publicirani 14.11.2019. godine u "Special Report on the Ocean and Cryosphere in Changing Climate" [12]. U tom dokumentu definirano je projicirano povećanje razine mora od 2007. do 2100. godine za tri mjerodavna kretanja koncentracije stakleničkih plinova (RCP 2.6, RCP 4.5 i RCP 8.5). Pritom RCP 2.6 scenarij predstavlja optimistični scenarij gdje se emisije CO₂ smanjuju od 2020. godine te se spuštaju na nulu u 2100. godini, metan se spušta na polovicu vrijednosti koju je imao u 2020. godini te slično i za ostale stakleničke plinove. Pri tom scenariju predviđen je porast globalne temperature ispod 2 °C do 2100. godine. Scenarij RCP 4.5 predstavlja srednji scenarij gdje emisije stakleničkih plinova dosežu maksimalne vrijednosti u 2040. godini nakon čega se spuštaju. Pritom je porast globalne temperature između 2 °C i 3 °C. Scenarij RCP 8.5 predstavlja nastavak porasta ispuštanja stakleničkih plinova kroz 21. stoljeće, te se kao takvo usvaja kao pesimistični scenarij. Porast globalne temperature je iznad 3 °C.

Za 2071. godinu prosječno povećanje razine mora za srednju varijantu (RCP 4.5) iznosi 36 cm

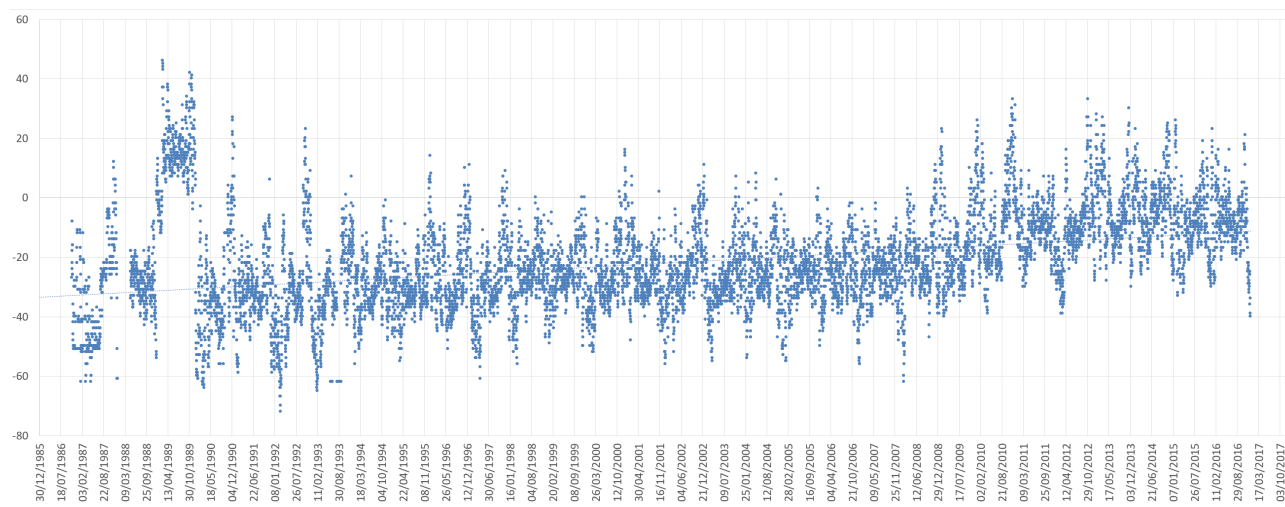
(slika 93) u odnosu na prosječnu razinu mora u 2000. godini. Sukladno navedenom projektirana kota zapornice bi tako iznosila $0,75 + 0,36 = 1,11$ m n.m.. Pritom, važno je napomenuti da korišteni podaci IPCC-a predstavljaju prosječni porast globalne razine mora, te je u tom smislu bilo potrebno provjeriti koliko bi mogao iznositi porast Jadranskog mora. Stoga se je pregledala dostupna literatura odnosno "Sedmo nacionalno izvješće i treće dvogodišnje izvješće Republike Hrvatske prema okvirnoj konvenciji ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC)" [13]. U navedenom dokumentu procijenjeni rast razine Jadranskog mora do kraja stoljeća iznosi između 32 i 65 cm, te se predlaže da se usvaja RCP 4.5 kod izrade Strategije prilagodbe. Procjene porasta razine Jadranskog mora slične su kao i procjene porasta globalne razine mora, stoga se je za potrebe izrade varijantnih rješenja procjena globalne razine mora usvojila kao relevantna.



Slika 93: Projekcije porasta razine mora (special Report on the Ocean and Cryosphere in Changing Climate, 2019.)

S obzirom da maksimalno zabilježena satna vrijednost predstavlja iznimno rijedak događaj sagledalo se je i povećanje kote krune praga u odnosu na maksimalne dnevne razine mora. Analizirani su dnevni podaci stanice Prosika - Jadransko more za godine od kada postoje mjerenja 1986. do 2016. godine, te je detektirana maksimalna dnevna razina mora 1,08 m n.m., što u sustavu korištenom u sklopu ovog projekta iznosi 0,46 m n.m. (sustav gdje je kota postojećeg praga na 0,41 m n.m.). Grafički prikaz srednjih dnevnih vrijednosti razine mora na postaji Prosika - Jadransko more, prikazan je na slici 94. Vrijedi istaknuti da podaci u 1989. godini odstupaju od prethodnih, kao i narednih godina, te je vrlo izgledno da se radi o određenoj pogrešci. Ako se kao relevantni uzmu podaci od 1990. godine, najveća maksimalna dnevna razina mora u sustavu korištenom u sklopu ovog projekta iznosi 0,33 m n.m.. Sukladno navedenom projektirana kota zapornice bi tako iznosila $0,33 + 0,36$

= 0,69 m n.m..



Slika 94: Srednje dnevne vrijednosti razina mora na postaji Prosika - Jadransko more prema podacima DHMZ-a

Jednako tako vrijedi istaknuti da ako se usvoje prethodno rađene analize u sklopu glavnog projekta zapornice da postojeće stanje u pogledu sprječavanja direktnog utjecanja mora preko praga zadovoljava, onda bi u kontekstu zadržavanja barem jednako vrijednog stanja unutar projektnog vijeka građevine bilo potrebno istu kotu podignuti za očekivani porast mora. U tom smislu kota krune praga iznosila bi 0,77 m n.m. ($0,41 + 0,36$) ako se računa porast razine mora u odnosu na 2000. godinu.

U nastavku će se ispitati varijante praga na visinama 0,41 m n.m., 0,5 m n.m., 0,6 m n.m., 0,8 m n.m. i 1,05 m n.m.

3.3.3 Varijanta praga na poziciji postojećeg praga

Kako bi se kvantificirao utjecaj oblaganja kanala provedla se je analiza oblaganja kanala za varijantu minimalno potrebnog proširenja i uređenja korita koje dozvoljava buduću izgradnju zapornice (korito uređeno sukladno korigiranoj varijanti zapornice) te su se pritom analizirale razine praga na koti 0,41 m n.m. (postojeći prag), 0,5 m n.m. i 0,6 m n.m. Drugim riječima provedbom analize za varijantu praga na koti 0,41 m n.m. s obloženim i uređenim koritom kanala Prosika kvantificirao se je utjecaj same obloge na smanjenje slanosti jezera. Po izvršenoj analizi ispitao se je utjecaj mogućih povišenja praga za tako uređeno korito na smanjenje slanosti jezera i to za kote 0,5 i 0,6 m n.m.

Razine jezera za varijantu praga na koti 0,41 m n.m. za postojeće (varijanta 1) i projektirano (varijanta 2) stanje prikazane su na slici 95, a na istoj slici prikazane su i kote pragova za svaku od varijanti.

U ovom poglavlju obrađena je varijanta:

- Prag na koti 0,41 m n.m.
- Proširenje korita - 60 cm (vrijednost korištena u proračunu)
- Preporuča se da usvojeno proširenje u eventualnim budućim projektima iznosi barem koliko i obloga

Lokacija predviđena za prag prema ovoj varijanti prikazana je na nacrtu [Prikaz lokacija za varijante pragova i zapornica](#) (Lokacija 1).

Minimalne razine jezera su praktički nepromijenjene (5 mm razlika), dok su maksimumi smanjeni za cca 7 cm (slika [96](#)). S druge strane slanost jezera za projektirano stanje znatno je smanjena (slike [97](#) i [98](#)). Navedeno upućuje da već samo oblaganje kanala Prosika ima značajan efekt u smanjenju kako vršne (vršna slanost smanjena s cca 11,5 na 8 ‰), tako i trajanja slanosti u jezeru. Interesantno je primijetiti da je analiza pokazala da bi za oblaganje kanala Prosika razina vode u jezeru bila neznatno izmijenjena (čak će biti malo niža od postojeće), međutim slanost će se znatno smanjiti. Upravo navedeno još jednom ukazuje da za utjecaj na slanost jezera ne treba isključivo gledati razine vode u jezeru već izmjenu masa vode na relaciji mora i jezera.

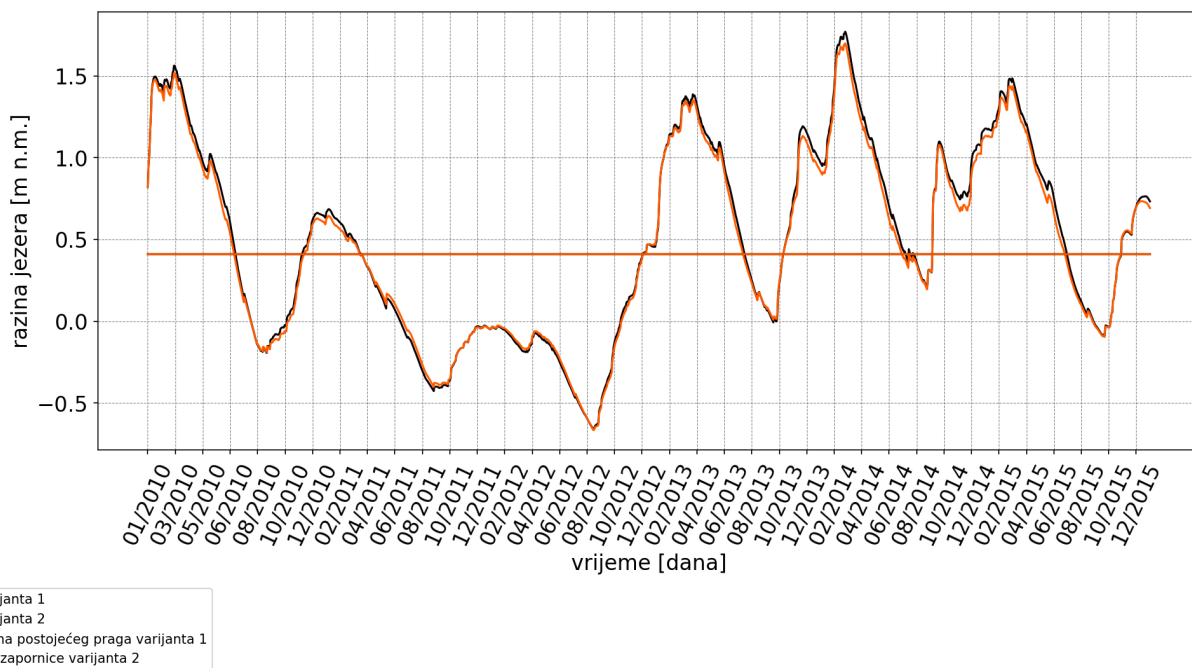
Provedba utjecaja samog oblaganja na smanjenje slanosti interesantna je i u kontekstu usporedbe s analizama za varijante pragova/zapornica na višim kotama, budući da se tako može kvantificirati utjecaj nadvišenja praga ili zapornice na smanjenje slanosti.

Punjenje i pražnjenje slane vode u volumenu jezera za varijantu praga na koti 0,41 m n.m. prikazano je na slici [104](#). Na slici [99](#) prikazana je dekompozicija volumena za projektirano stanje prema varijanti praga na koti 0,41 m n.m., na slici [100](#) dekompozicija protoka, na slici [101](#) protok poniranja u jezero, na slici [102](#) protok poniranja u kanalu, te na slici [103](#) protok prelijevanja preko praga.

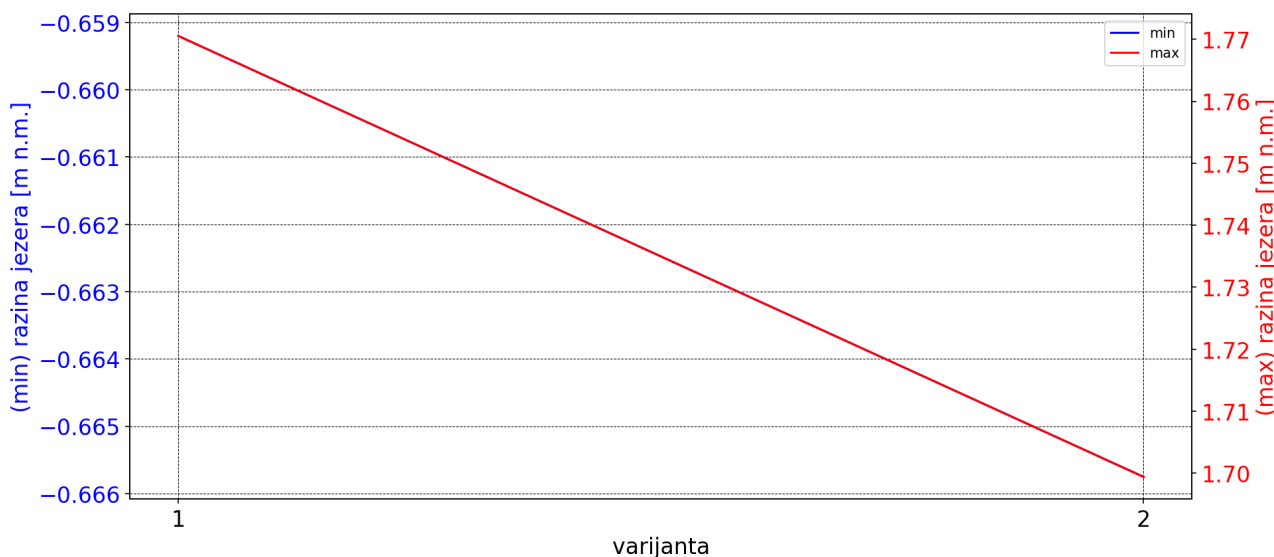
Razine jezera za varijantu praga na koti 0,50 m n.m. (varijanta 2) i 0,60 m n.m. (varijanta 3) u odnosu na postojeće stanje (varijanta 1) prikazane su na slici [105](#), a na istoj slici prikazane su i kote pragova za svaku od varijanti.

U ovom poglavlju obrađena je varijanta:

- Prag na koti 0,50 (varijanta 2)
- Prag na koti 0,60 (varijanta 3)

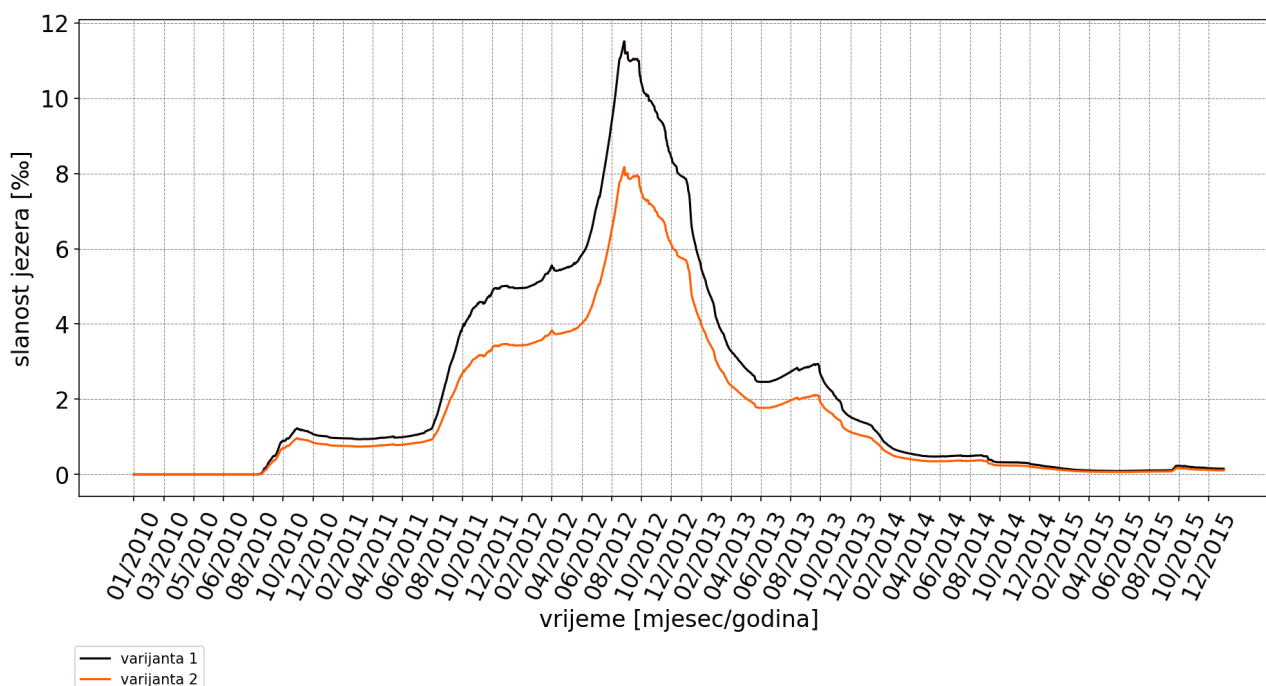


Slika 95: Usporedba razina jezera za varijantu praga na koti 0,41 m n.m. s postojećim stanjem s prikazom kota praga



Slika 96: Usporedba minimalnih i maksimalnih razina jezera za varijantu praga na koti 0,41 m n.m. u odnosu na postojeće stanje

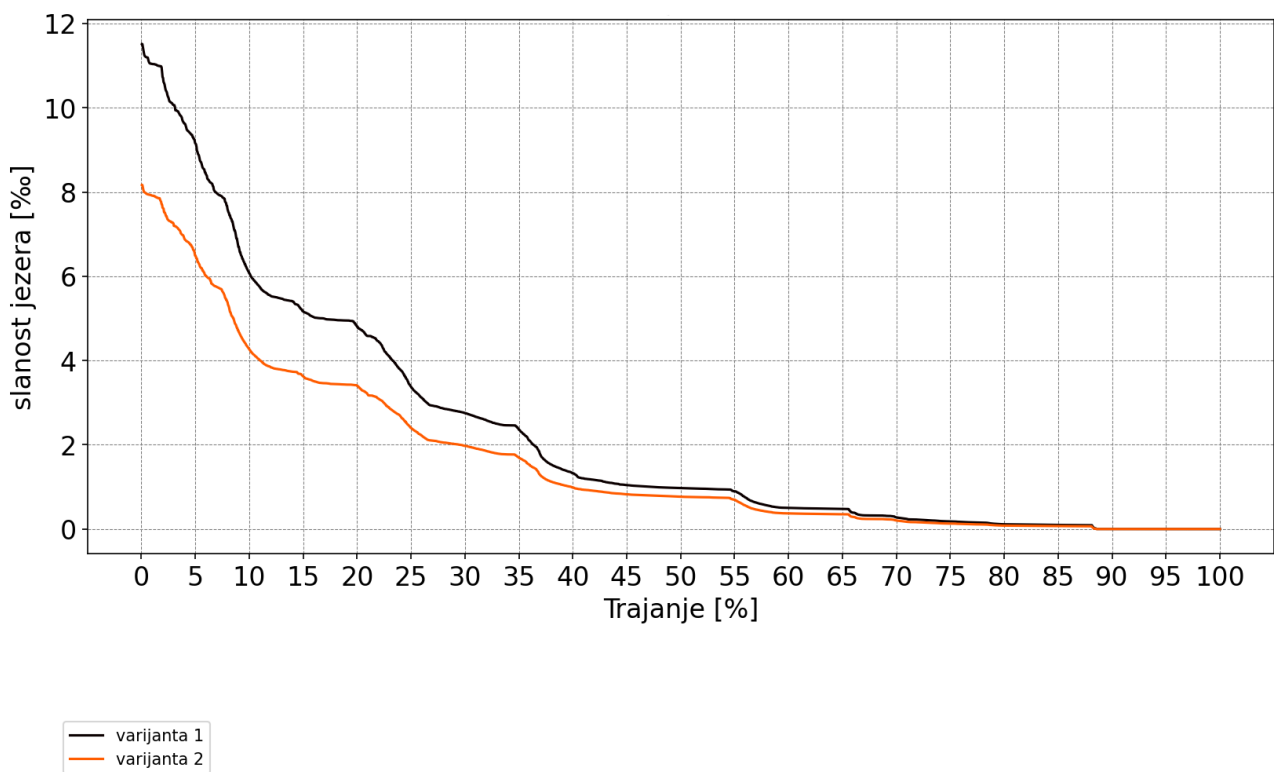
- Proširenje korita - 60 cm (vrijednost korištena u proračunu)
- Preporuča se da usvojeno proširenje u eventualnim budućim projektima iznosi barem koliko i obloga



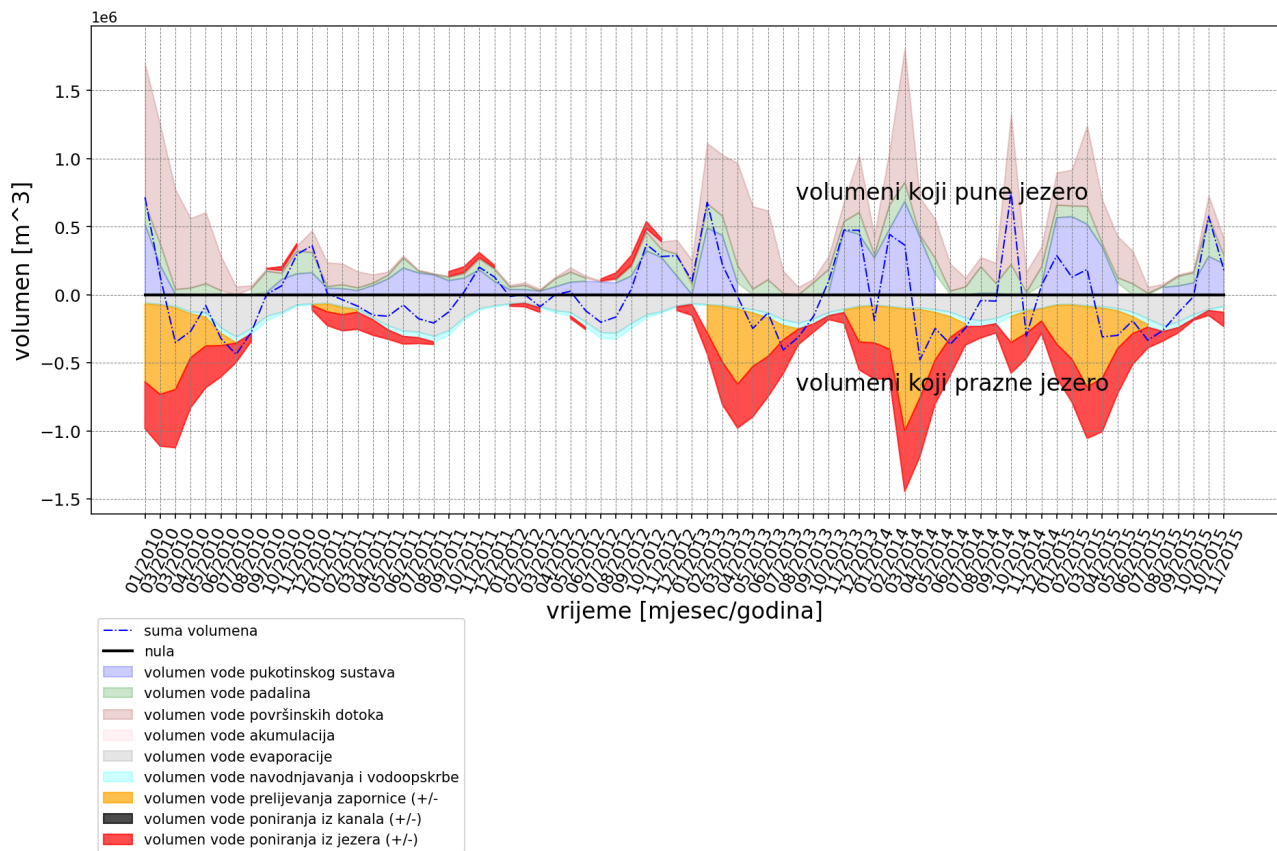
Slika 97: Usporedba slanosti jezera za varijantu praga na koti 0,41 m n.m. u odnosu na postojeće stanje

Minimalne razine jezera neznatno su izmijenjene, dok su maksimumi za varijantu 2 smanjeni za cca 3 cm, dok su za varijantu 3 povišeni za cca 1 cm (slika 106). S druge strane slanosti jezera za projektirana stanja znatno su smanjena (slike 107 i 108). U odnosu na samo oblaganje kanala i postojeći prag na koti od 0,41 m n.m. za varijantu 2 vršna slanost smanjuje se za nešto preko pola ‰, dok za varijantu 3 oko 1 ‰.

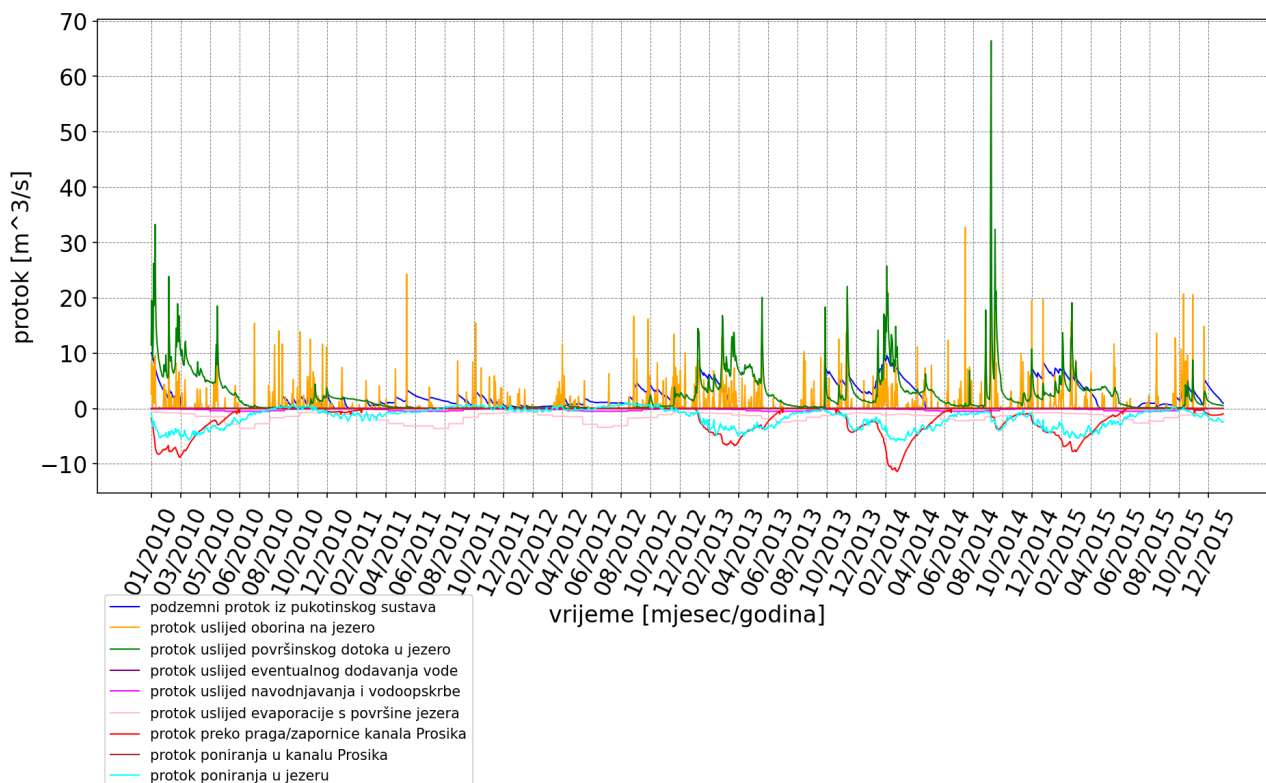
S obzirom da prag na koti 0,60 m n.m. ne zadovoljava uvjet obrane od poplave (maksimumi su povećani za cca 1 cm) u nastavku se prikazuju grafički prikazi za varijantu praga na koti 0,50 m n.m. koja taj uvjet zadovoljava. Na taj način punjenje i pražnjenje slane vode u volumenu jezera za varijantu praga na koti 0,50 m n.m. prikazano je na slici 114. Na slici 109 prikazana je dekompozicija volumena za projektirano stanje prema varijanti praga na koti 0,50 m n.m., na slici 110 dekompozicija protoka, na slici 111 protok poniranja u jezero, na slici 112 protok poniranja u kanalu, te na slici 113 protok prelijevanja preko praga.



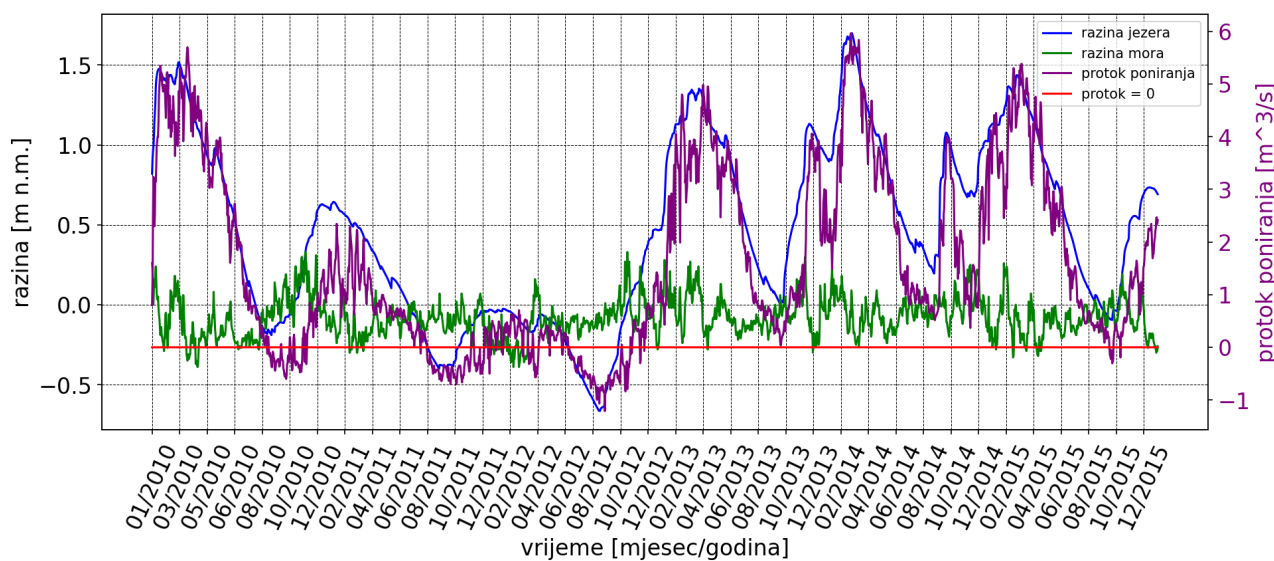
Slika 98: Usporedba trajanja slanosti jezera za varijantu praga na koti 0,41 m n.m. u odnosu na postojeće stanje



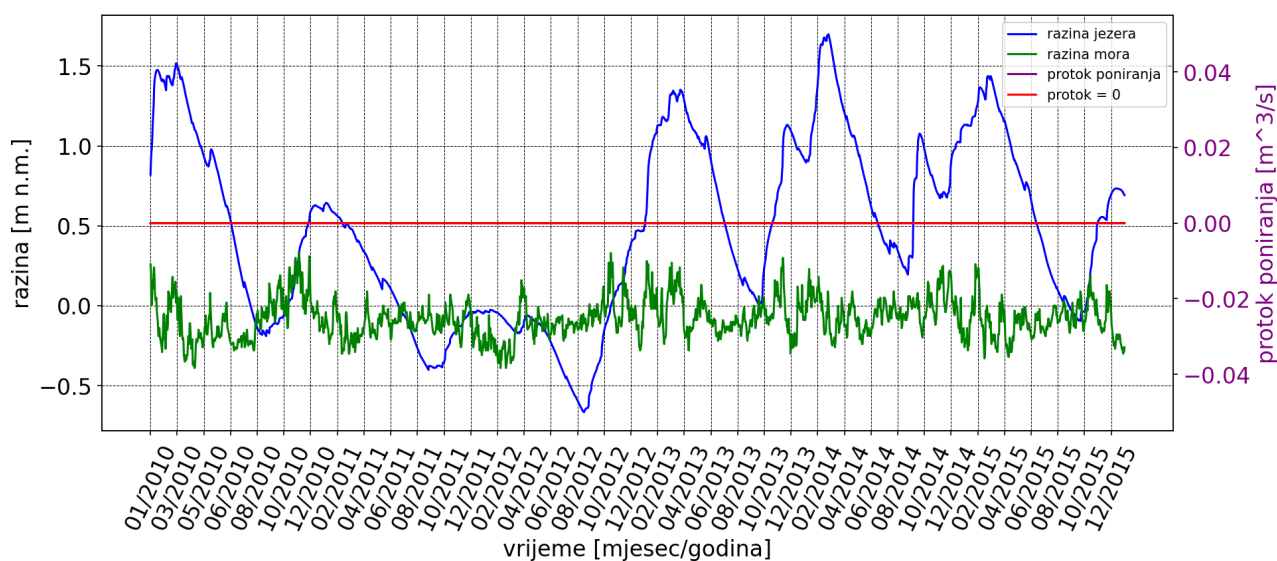
Slika 99: Dekompozicija volumena koji pune i prazne jezero za varijantu praga na koti 0,41 m n.m.



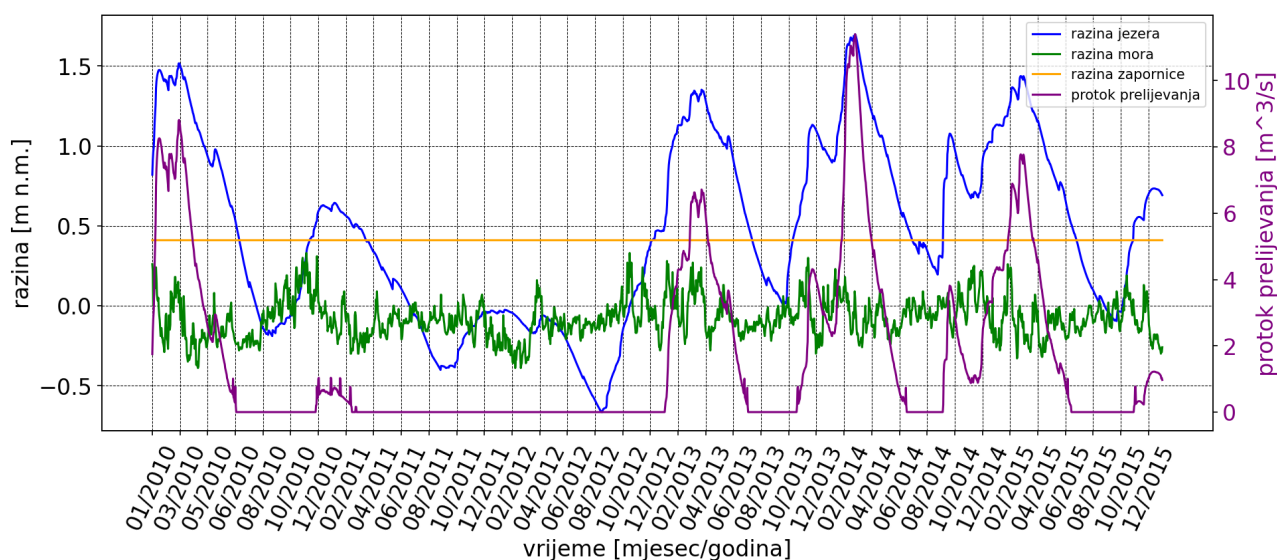
Slika 100: Dekompozicija protoka za varijantu praga na koti 0,41 m n.m.



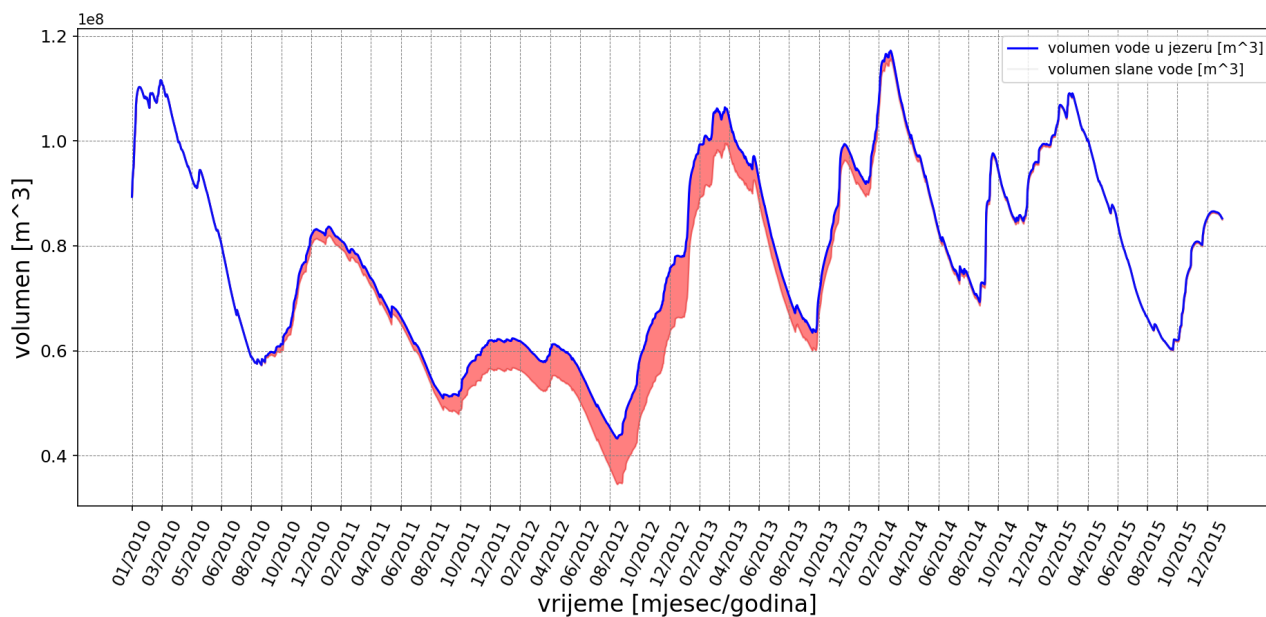
Slika 101: Razine jezera i mora te protok poniranja u jezero za varijantu praga na koti 0,41 m n.m.



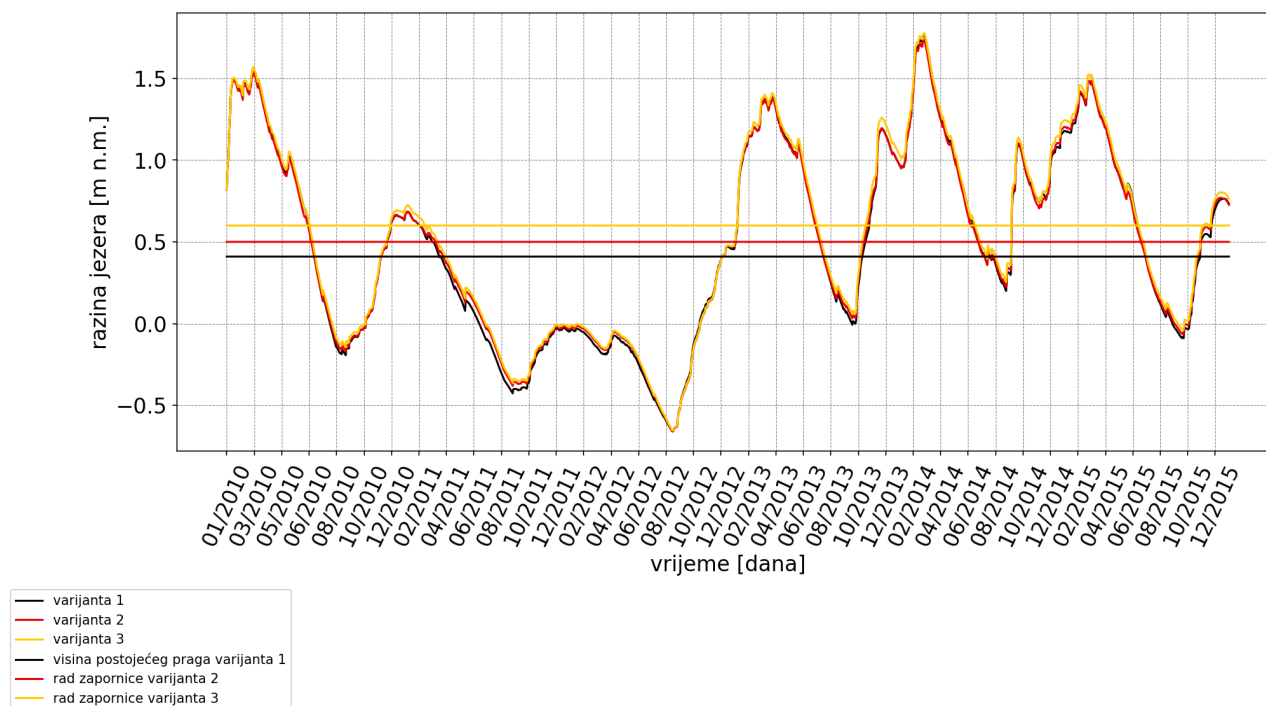
Slika 102: Razine jezera i mora te protok poniranja u kanalu za varijantu praga na koti 0,41 m n.m.



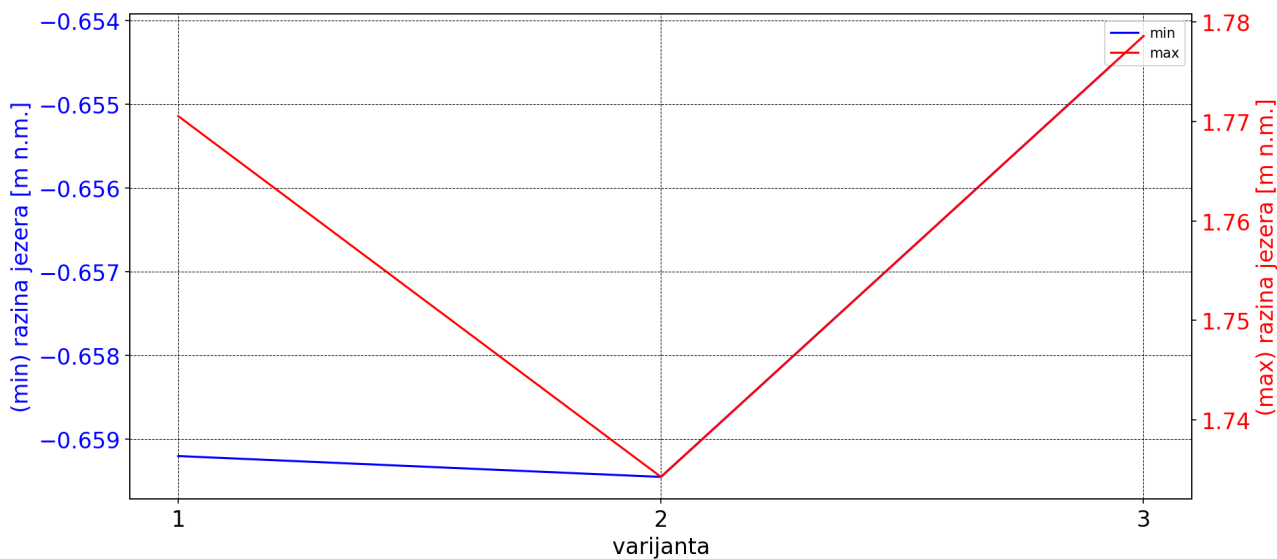
Slika 103: Razine jezera, mora i praga te protok prelijevanja preko praga za varijantu praga na koti 0,41 m n.m.



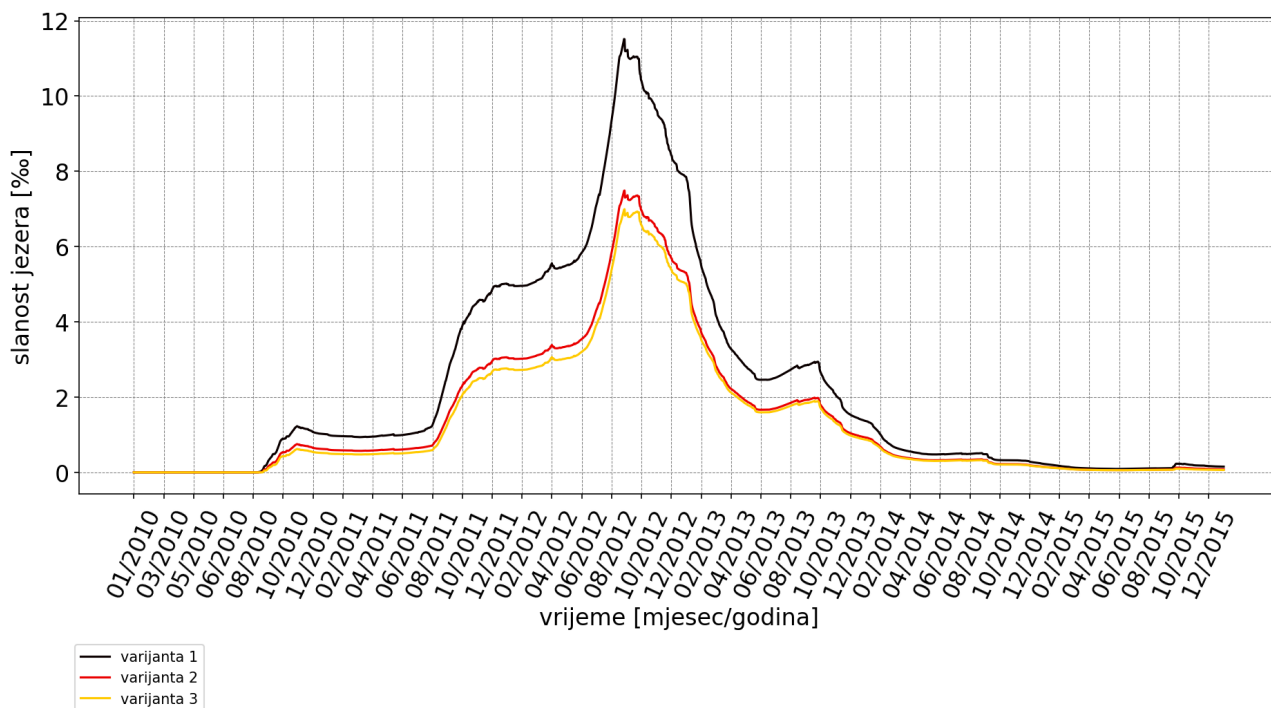
Slika 104: Udio slane vode za varijantu praga na koti 0,41 m n.m.



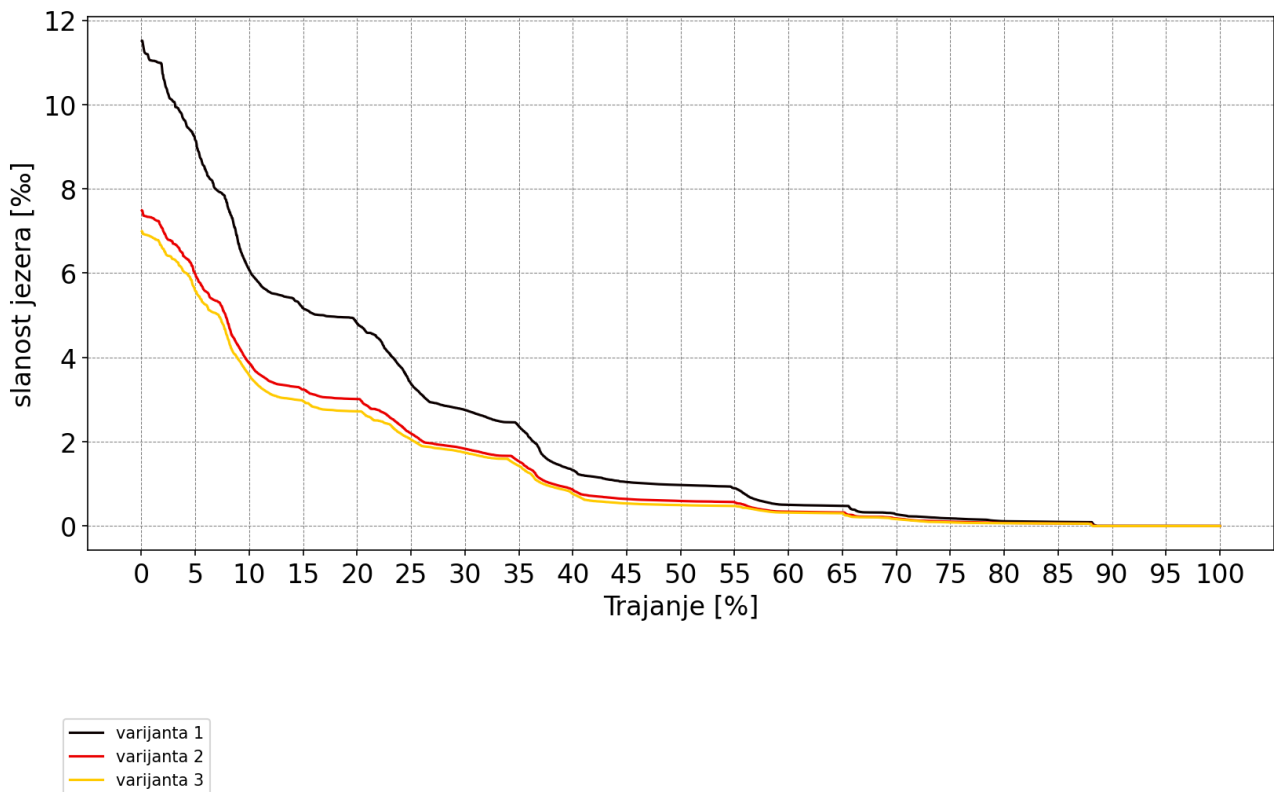
Slika 105: Usporedba razina jezera za varijante pragova na kotama 0,50 m n.m. i 0,60 m n.m. sa postojećim stanjem s prikazom kota praga



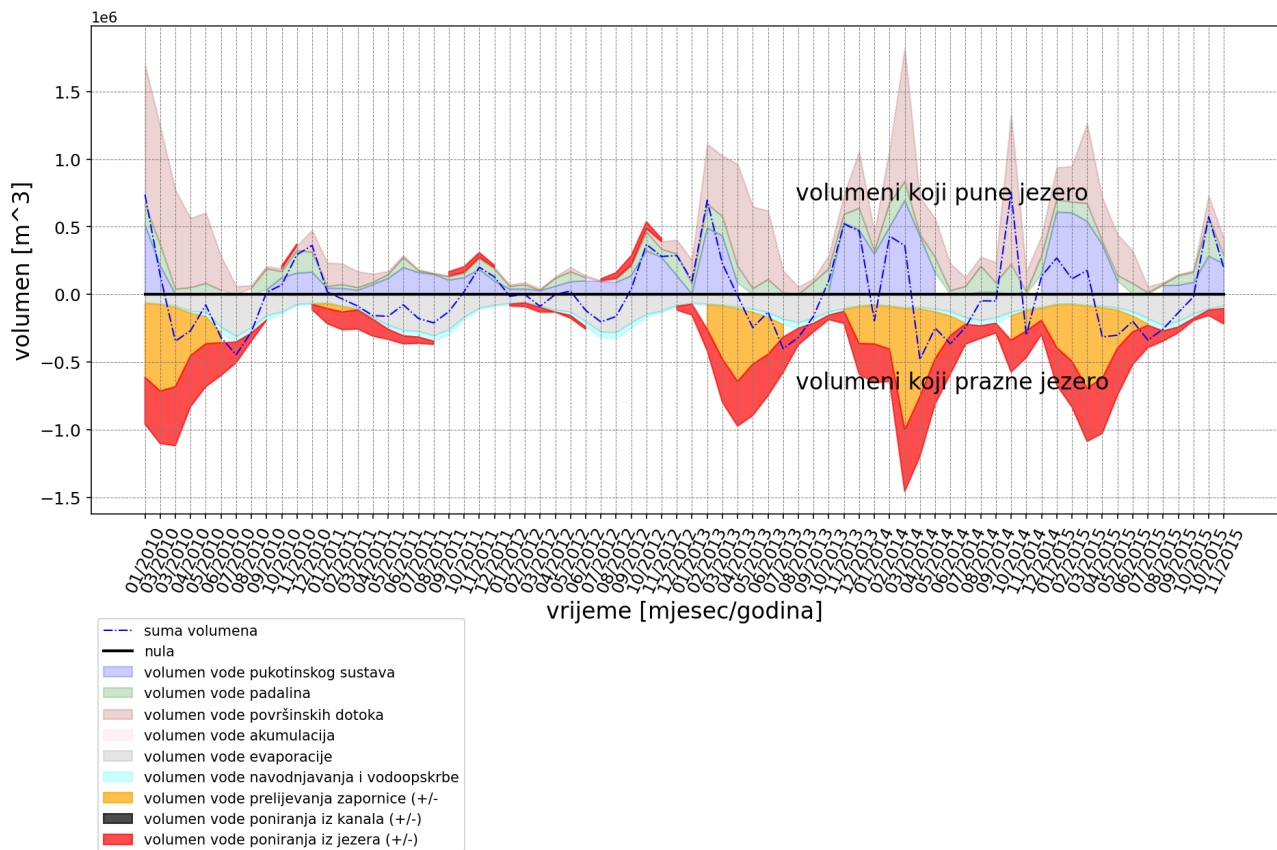
Slika 106: Usporedba minimalnih i maksimalnih razina jezera za varijante pragova na kotama 0,50 m n.m. i 0,60 m n.m. u odnosu na postojeće stanje



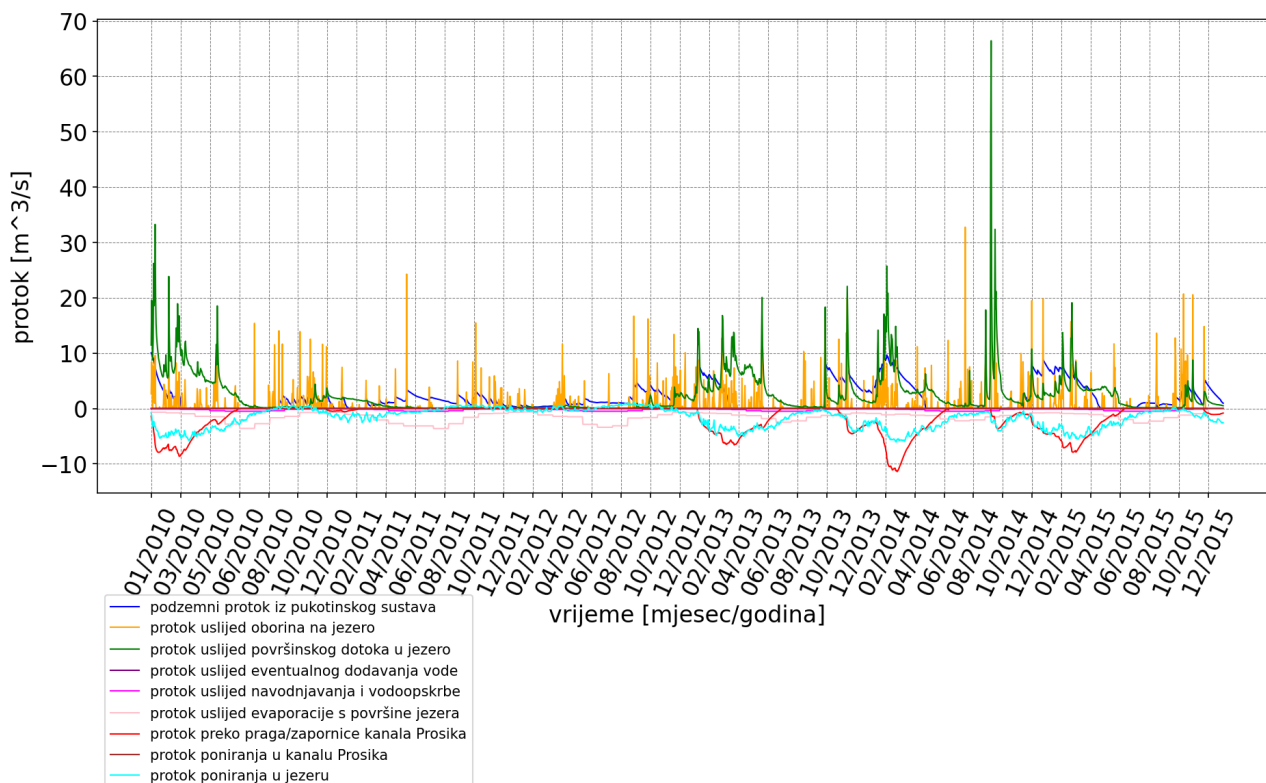
Slika 107: Usporedba slanosti jezera za varijante pragova na kotama 0,50 m n.m. i 0,60 m n.m. u odnosu na postojeće stanje



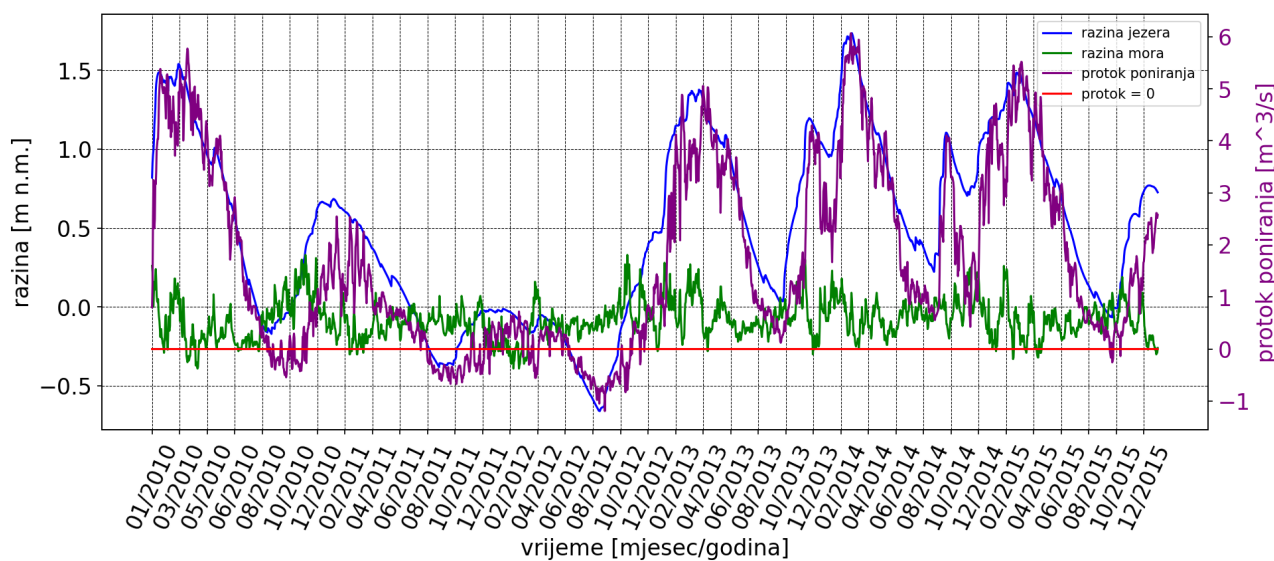
Slika 108: Usporedba trajanja slanosti jezera za varijante pragova na kotama 0,50 m n.m. i 0,60 m n.m. u odnosu na postojeće stanje



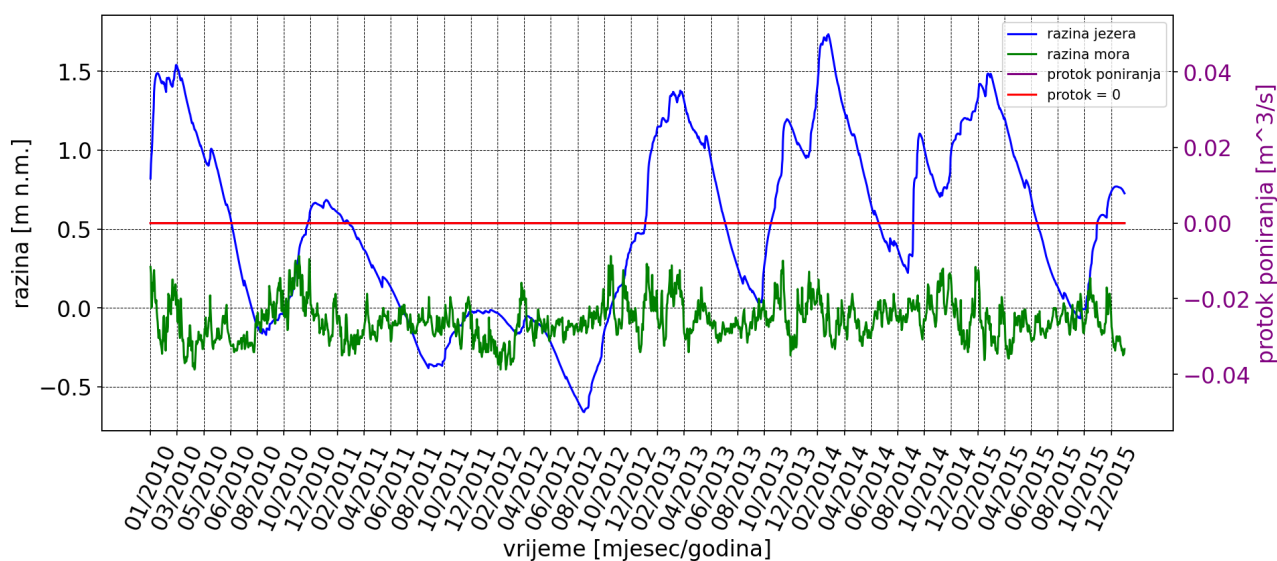
Slika 109: Dekompozicija volumena koji pune i prazne jezero za varijantu praga na koti 0,50 m n.m.



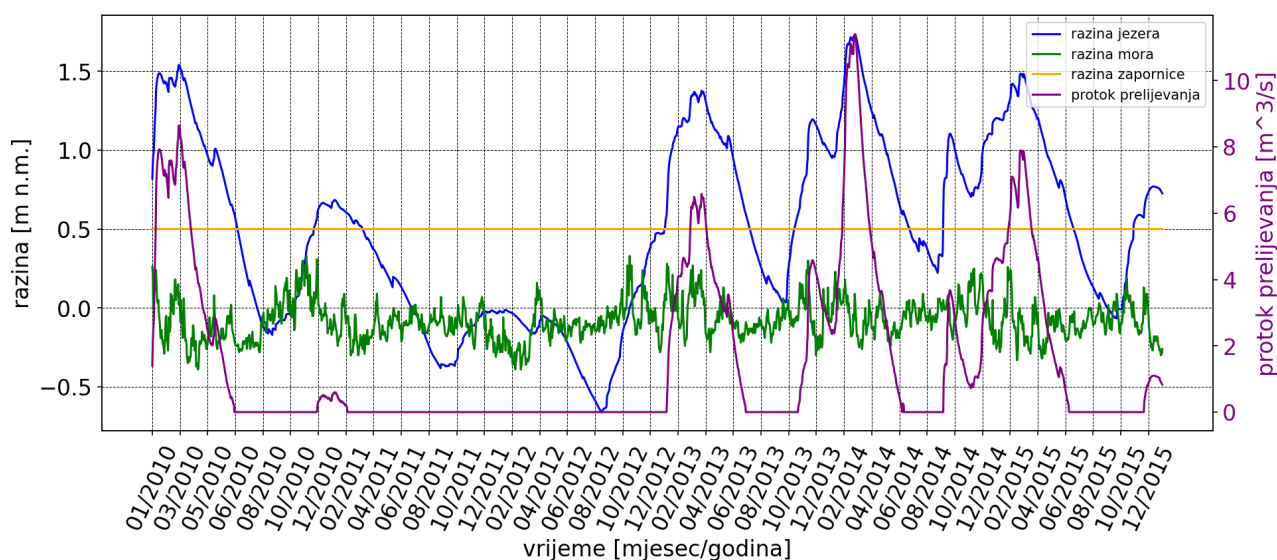
Slika 110: Dekompozicija protoka za varijantu praga na koti 0,50 m n.m.



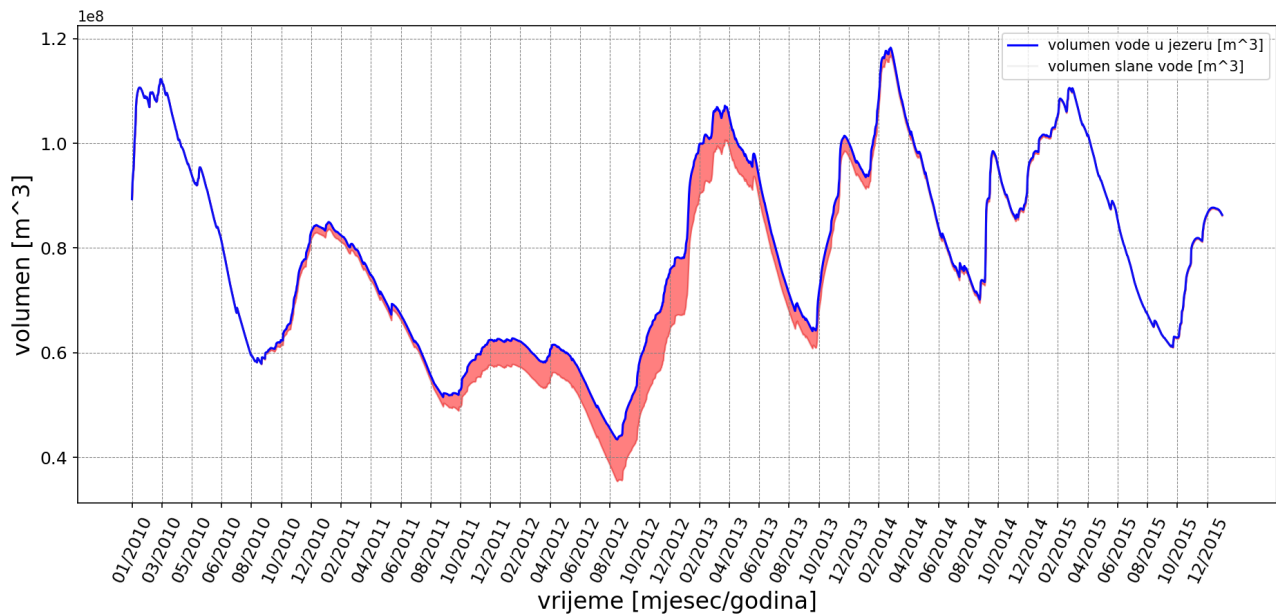
Slika 111: Razine jezera i mora te protok poniranja u jezero za varijantu praga na koti 0,50 m n.m.



Slika 112: Razine jezera i mora te protok poniranja u kanalu za varijantu praga na koti 0,50 m n.m.



Slika 113: Razine jezera, mora i praga te protok prelijevanja preko praga za varijantu praga na koti 0,50 m n.m.



Slika 114: Udio slane vode za varijantu praga na koti 0,50 m n.m.

3.3.4 Varijanta praga na poziciji uzvodno od mosta na cesti D8

U skladu s prethodno definiranim mjerodavnim kotama praga napravila se je analiza utjecaja na slanost kao i mogućnost evakuacije velikih voda. Naime, premda su navedene kote prethodno definirane u kontekstu obrane od direktnog prodora mora prelijevanjem preko istih, može se unaprijed reći da je za očekivati da će veća kota praga ujedno imati pozitivniji efekt po pitanju zaštite od zaslanjivanja, budući da će veća kota praga generalno utjecati pozitivno na povišenje vode u jezeru. Naime, zbog porasta razlike potencijala na relaciji jezero-more istiskivat će se više vode iz jezera prema moru u slučaju kada je jezero više od razine mora, odnosno u obrnutom slučaju odnosa mora i jezera, bit će manji prodor mora u jezero. U nastavku će se kvantificirati koliki je utjecaj između dviju promatranih varijanti na razine vode u jezeru, te posljedično na slanosti, kao i definirati potrebna proširenja kanala za obje varijante. Time će se u višekriterijalnoj analizi napraviti usporedba po kriterijima koji između ostalog uključuju i poboljšanje stanja voda u jezeru, ali i ekonomske kriterije i mogućnosti izvedbe pojedinih rješenja.

Za obje varijante definirana su potrebna proširenja korita uzvodno i nizvodno od pozicije praga. Uzvodno od praga potrebno je veće proširenje, budući da je isto u funkciji potrebne širine praga koji omogućuje evakuaciju velikih voda. S druge strane korito nizvodno definirano je tako da ima veću protočnu moć od protočne moći na poziciji praga do barem 30 godišnje razine vode u jezeru kako bi omogućio da se konsumpcijska krivulja cijelog korita ponaša u skladu s konsumpcijskom krivuljom praga, dok je za više razine jezera mjerodavna protočna moć nizvodnog korita.

Na taj način širina korita za varijantu praga na koti 0,80 m n.m. uzvodno i nizvodno od pozicije praga koja zadovoljava uvjete zaštite od štetnog djelovanja velikih voda prikazane su na nacrtu [Karakteristični poprečni presjeci kanala Prosika za analizirane varijante](#). Na istom nacrtu prikazano je potrebno korito uzvodno i nizvodno od pozicije praga za varijantu praga na koti 1,05 m n.m.

U ovom poglavlju obrađena je varijanta:

- Prag na koti 0,80 m n.m.
- Proširenje korita uzvodno od praga - 380 cm
- Proširenje korita nizvodno od praga - 60 cm

i varijanta:

- Prag na koti 1,05 m n.m.
- Proširenje korita uzvodno od praga - 1210 cm

- Proširenje korita nizvodno od praga - 326 cm

Lokacija predviđena za prag prema ovoj varijanti prikazana je na nacrtu [Prikaz lokacija za varijante pragova i zapornica](#) (Lokacija 2).

Razine jezera za varijantu praga na koti 0,80 m n.m. (varijanta 2) i varijantu praga na koti 1,05 m n.m. (varijanta 3) u odnosu na postojeće stanje (varijanta 1) prikazane su na slici [117](#), a na istoj slici prikazane su i kote pragova za svaku od varijanti (rad zapornice varijanta 1, 2 i 3).

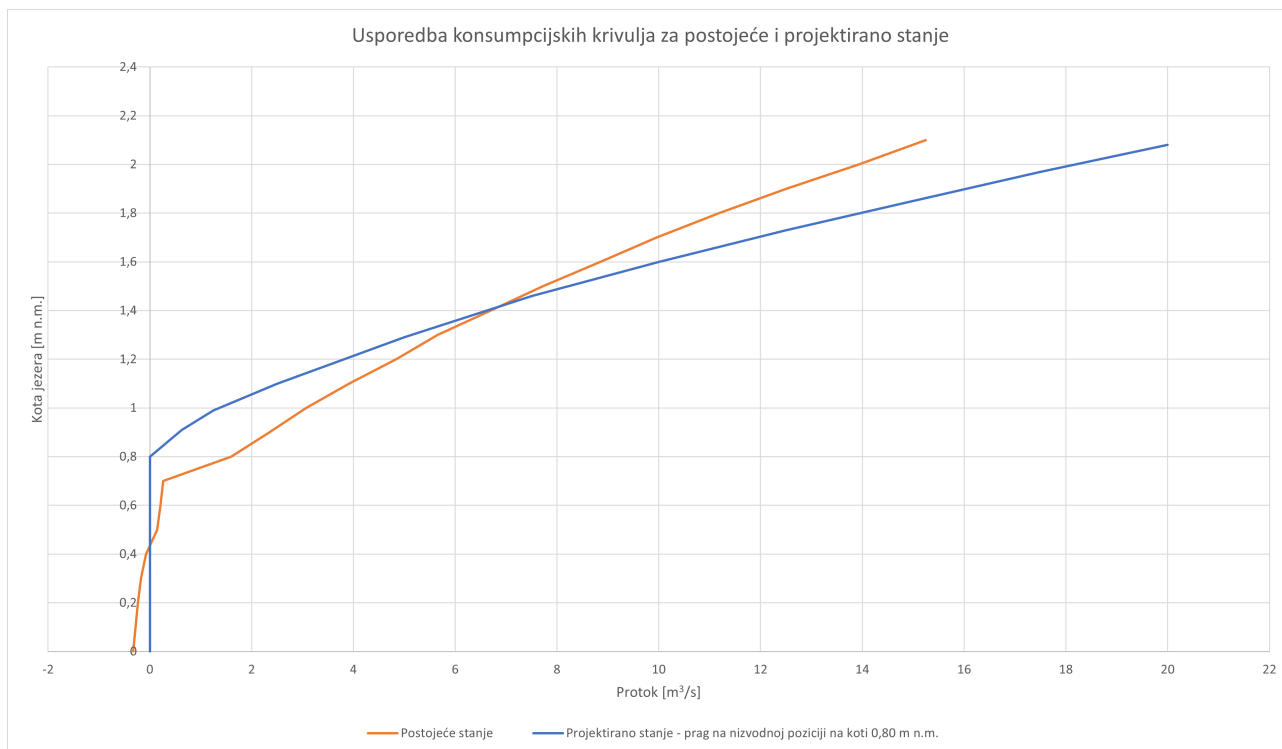
Kao i za varijantu zapornice minimumi su neznatno povećani (slika [118](#)), dok je slanost jezera za projektirano stanje znatno smanjena (slike [119](#) i [120](#)). Pritom razlike u slanosti za varijantu praga na koti 0,80 i 1,05 m n.m. nisu velike, te model upućuje da najznačajniju ulogu u smanjenju slanosti ima oblaganje kanala Prosika, te sprječavanje direktnog prodora mora u kanal podzemnim putem, kao i gubitka vode iz kanala podzemnim putem.

Punjenje i pražnjenje slane vode u volumenu jezera za varijantu praga na koti 0,80 m n.m. prikazano je na slici [126](#). Na slici [121](#) prikazana je dekompozicija volumena za projektirano stanje prema varijanti praga na koti 0,80 m n.m., na slici [122](#) dekompozicija protoka, na slici [123](#) protok poniranja u jezero, na slici [124](#) protok poniranja u kanalu, te na slici [125](#) protok prelijevanja preko praga.

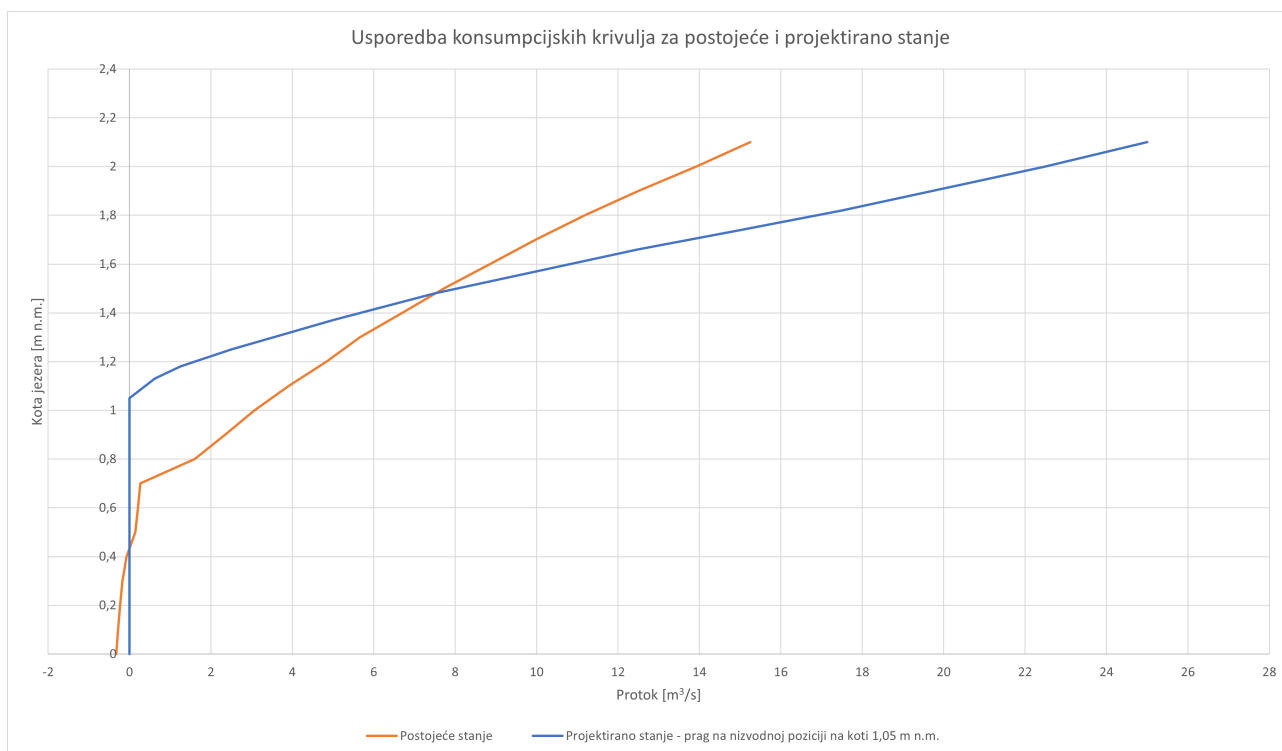
Na slici [115](#) prikazana je usporedba konsumpcijske krivulje za prag na nizvodnoj poziciji kanala Prosika na koti 0,80 m n.m. s konsumpcijskom krivuljom za postojeće stanje. Narančasta krivulja prikazuje postojeće stanje, dok plava projektirano. Vrijedi primijetiti kako je za razine vode ispod 1,4 m n.m. protočna moć za projektirano stanje smanjena u odnosu na postojeće stanje, dok je za veće razine povećana. Upravo je to i efekt koji se želi postići kako bi se povećale minimalne razine jezera, a istodobno omogućila evakuacija velikih voda. Po istom principu konstruirane su i konsumpcijske krivulje za sve ostale varijante.

Punjenje i pražnjenje slane vode u volumenu jezera za varijantu praga na koti 1,05 m n.m. prikazano je na slici [132](#). Na slici [127](#) prikazana je dekompozicija volumena za projektirano stanje, na slici [128](#) dekompozicija protoka, na slici [129](#) protok poniranja u jezero, na slici [130](#) protok poniranja u kanalu, te na slici [131](#) protok prelijevanja preko praga.

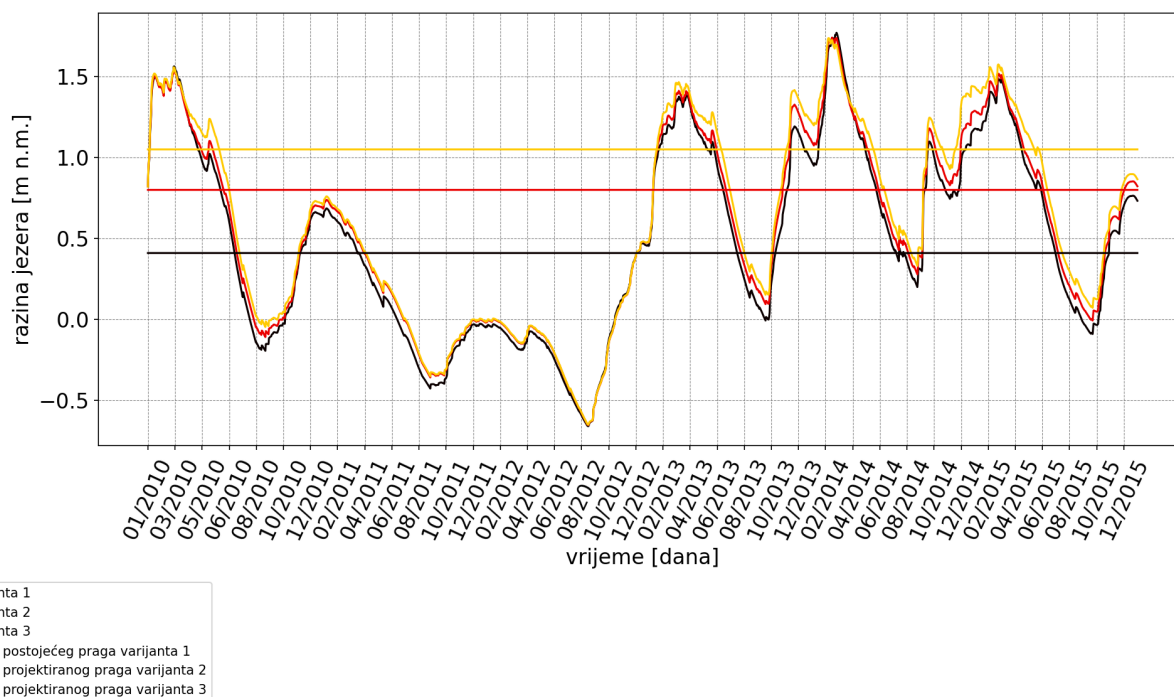
Na slici [116](#) prikazana je usporedba konsumpcijske krivulje za prag na nizvodnoj poziciji kanala Prosika na koti 1,05 m n.m. s konsumpcijskom krivuljom za postojeće stanje. Premda je nizvodno korito potrebno proširiti u skladu s prikazanim poprečnim profilom, analize su pokazale da bi protočna moć mostova za ovu varijantu bila dovoljna, odnosno nije potrebno ići u njihovu rekonstrukciju.



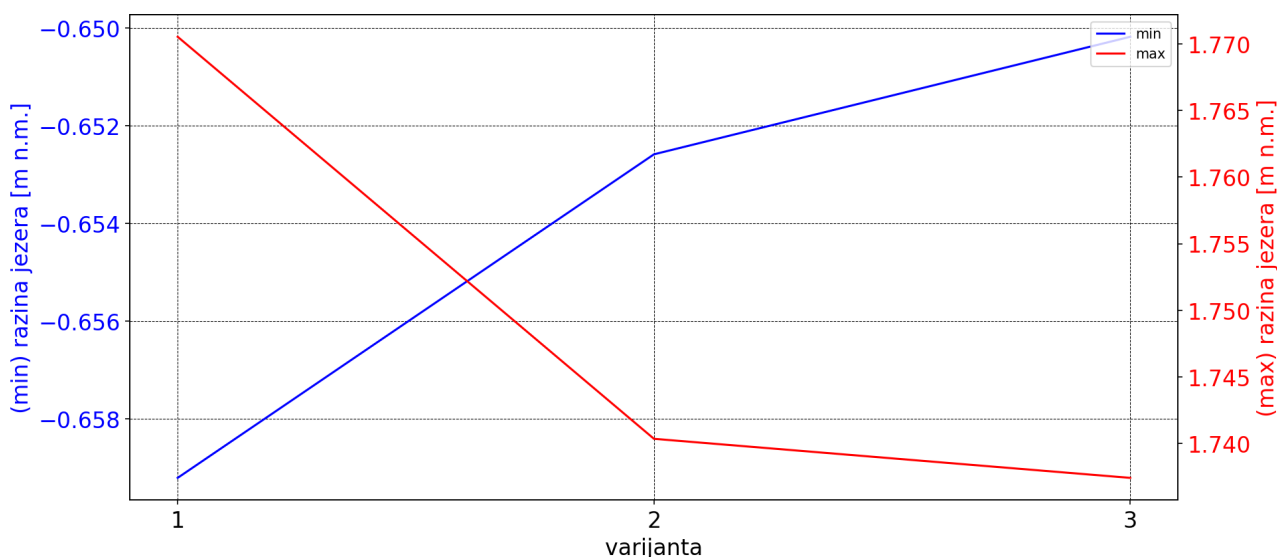
Slika 115: Usporedba konsumpcijske krivulje za varijantu praga na nizvodnoj poziciji kanala Prosika na koti 0,80 m n.m. s konsumpcijskom krivuljom za postojeće stanje



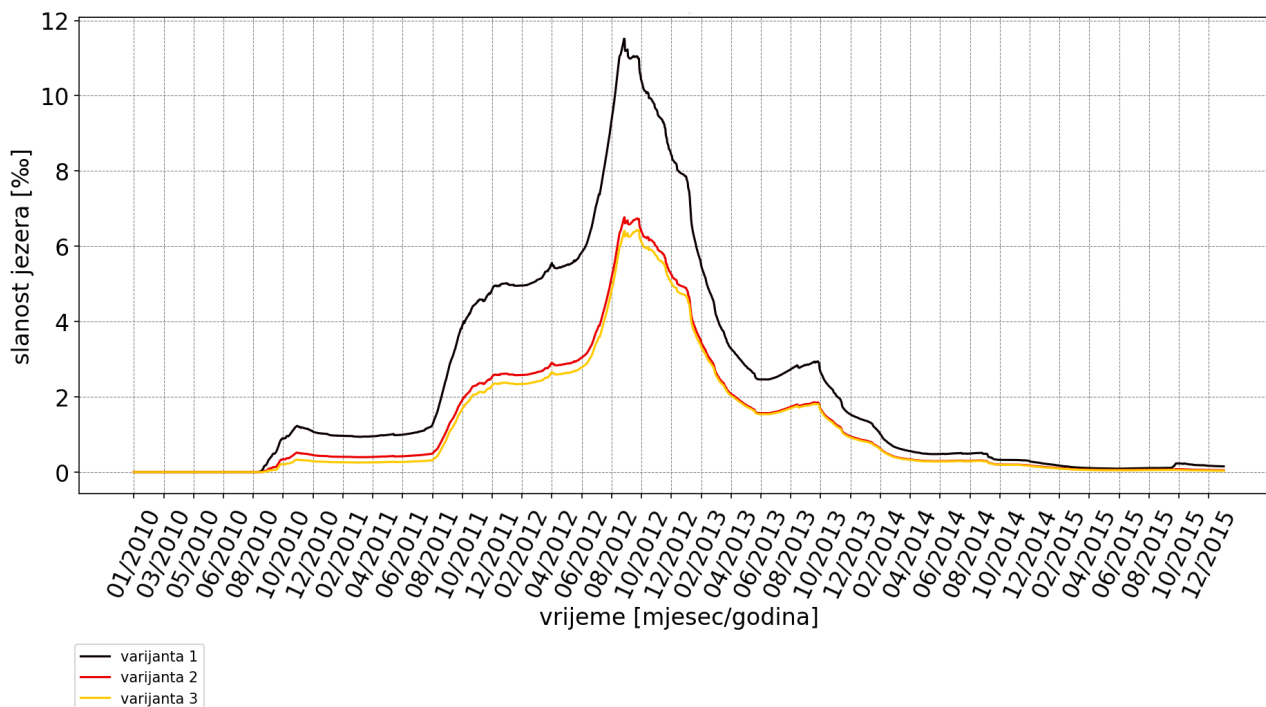
Slika 116: Usporedba konsumpcijske krivulje za varijantu praga na nizvodnoj poziciji kanala Prosika na koti 1,05 m n.m. s konsumpcijskom krivuljom za postojeće stanje



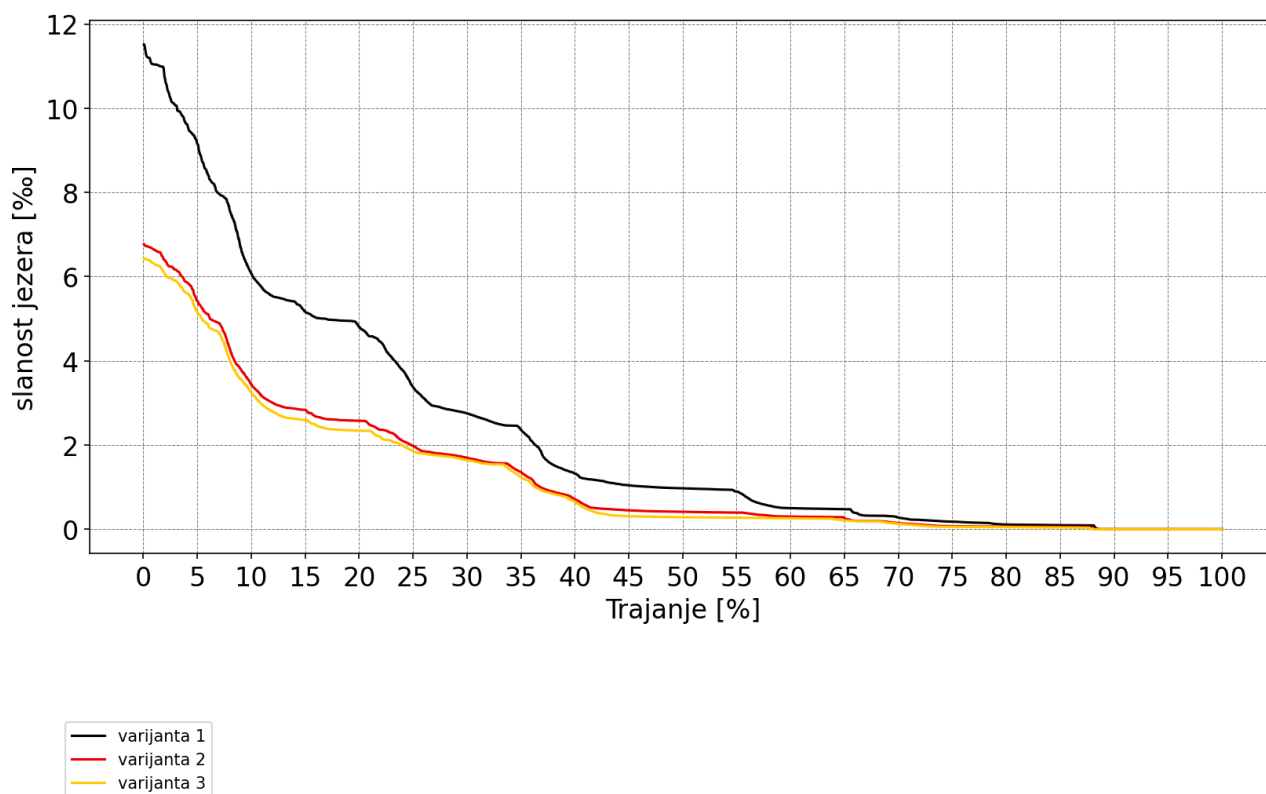
Slika 117: Usporedba razina jezera za varijantu praga na kotama 0,80 i 1,05 m n.m. s postojećim stanjem s prikazom kota praga



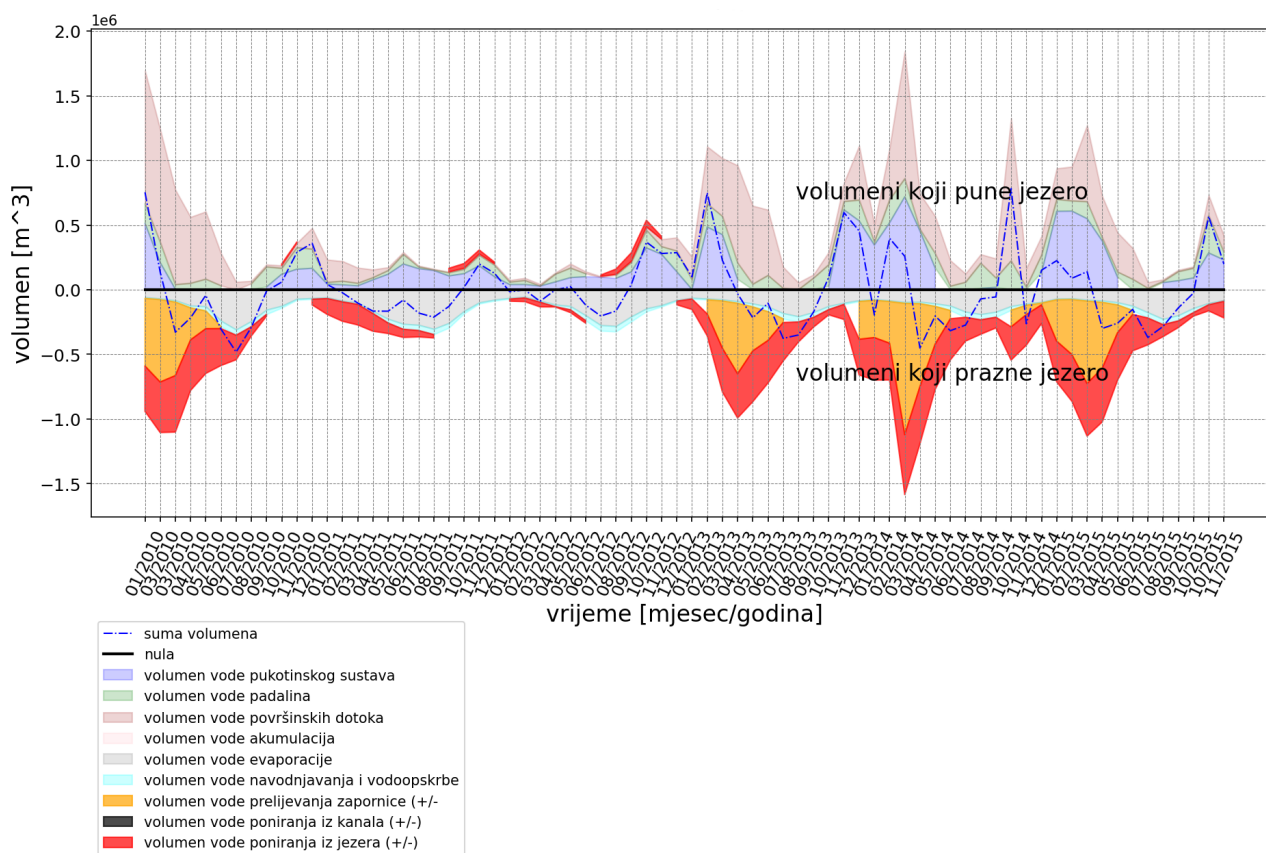
Slika 118: Usporedba minimalnih i maksimalnih razina jezera za varijantu praga na kotama 0,80 i 1,05 m n.m. u odnosu na postojeće stanje



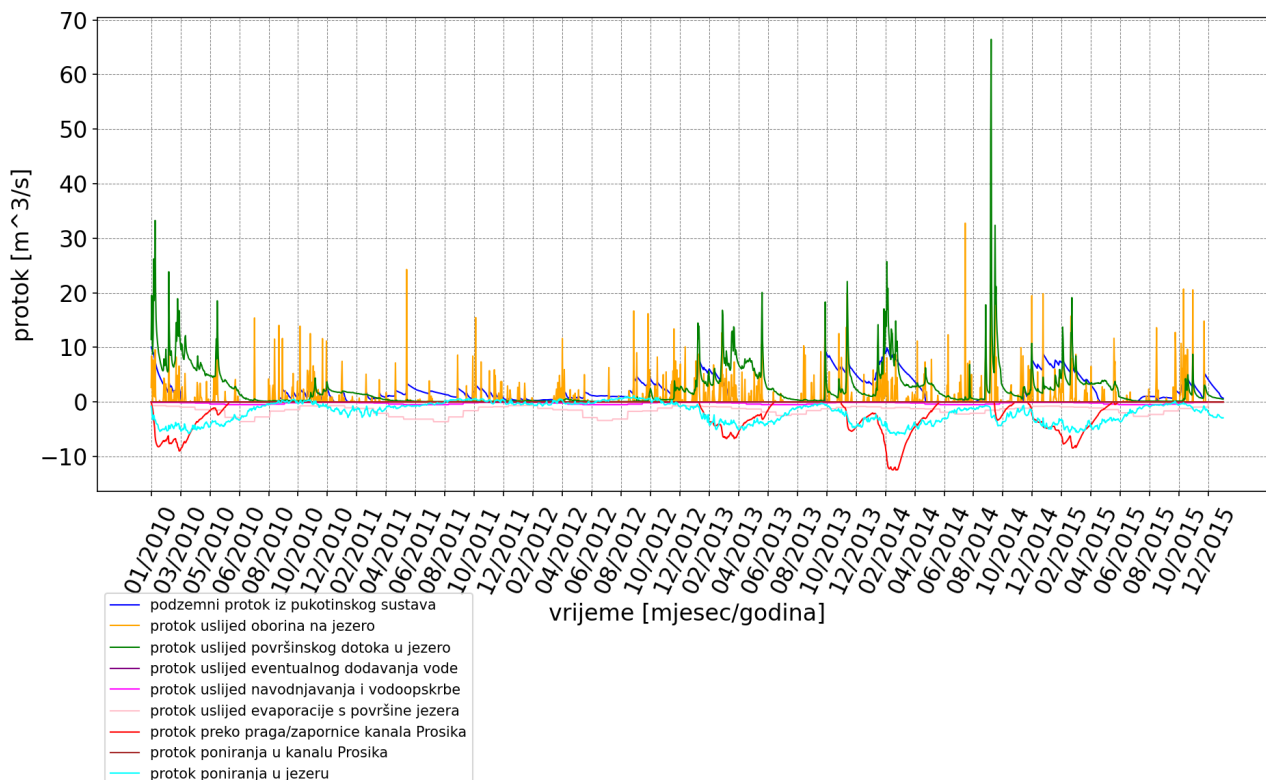
Slika 119: Usporedba slanosti jezera za varijantu praga na kotama 0,80 i 1,05 m n.m. u odnosu na postojeće stanje



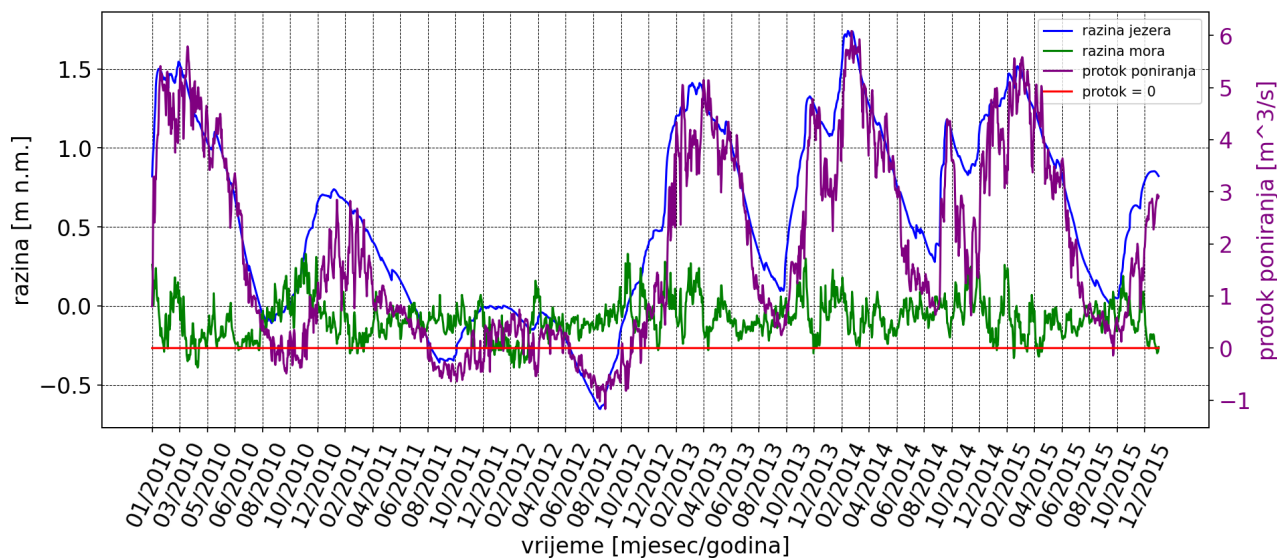
Slika 120: Usporedba trajanja slanosti jezera za varijantu praga na kotama 0,80 i 1,05 m n.m. u odnosu na postojeće stanje



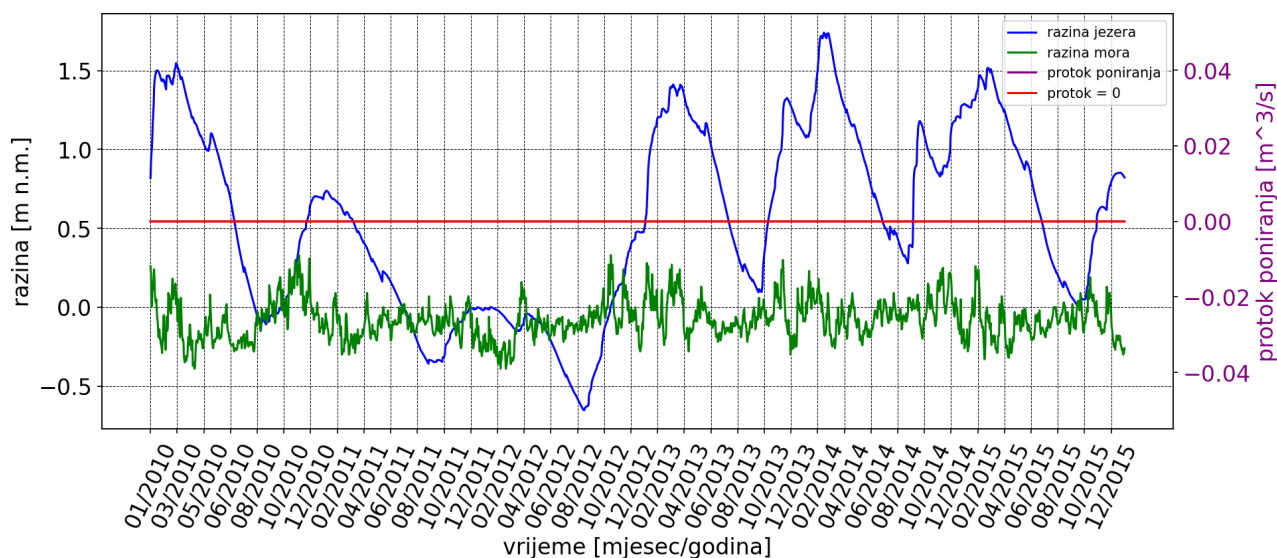
Slika 121: Dekompozicija volumena koji pune i prazne jezero za varijantu praga na koti 0,80 m n.m.



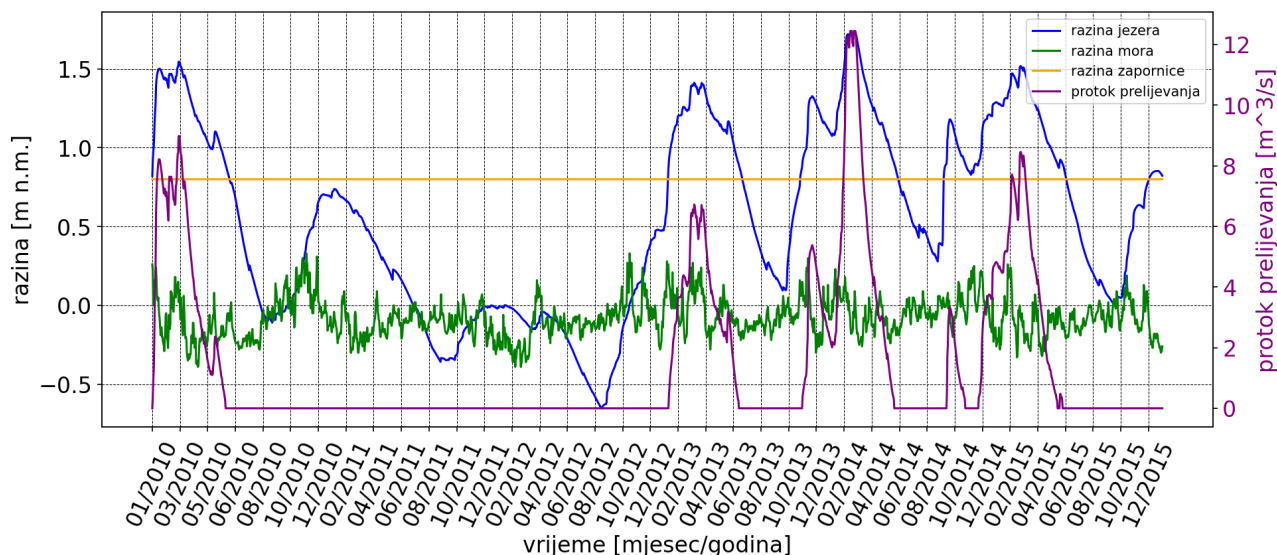
Slika 122: Dekompozicija protoka za varijantu praga na koti 0,80 m n.m.



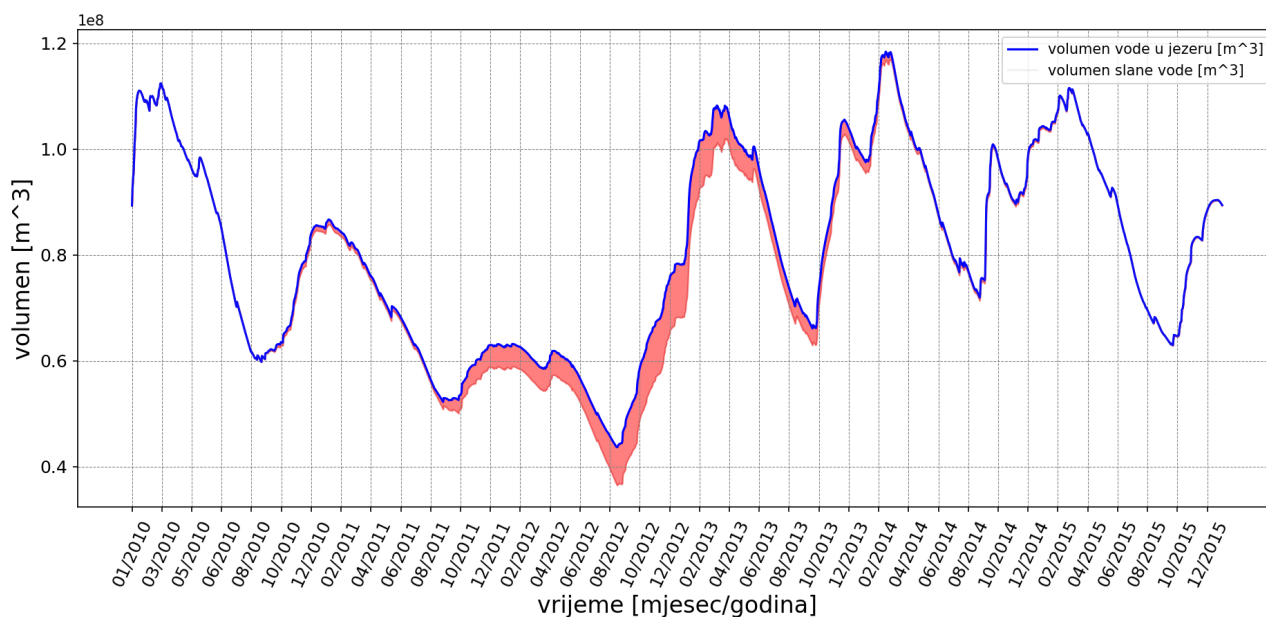
Slika 123: Razine jezera i mora te protok poniranja u jezero za varijantu praga na koti 0,80 m n.m.



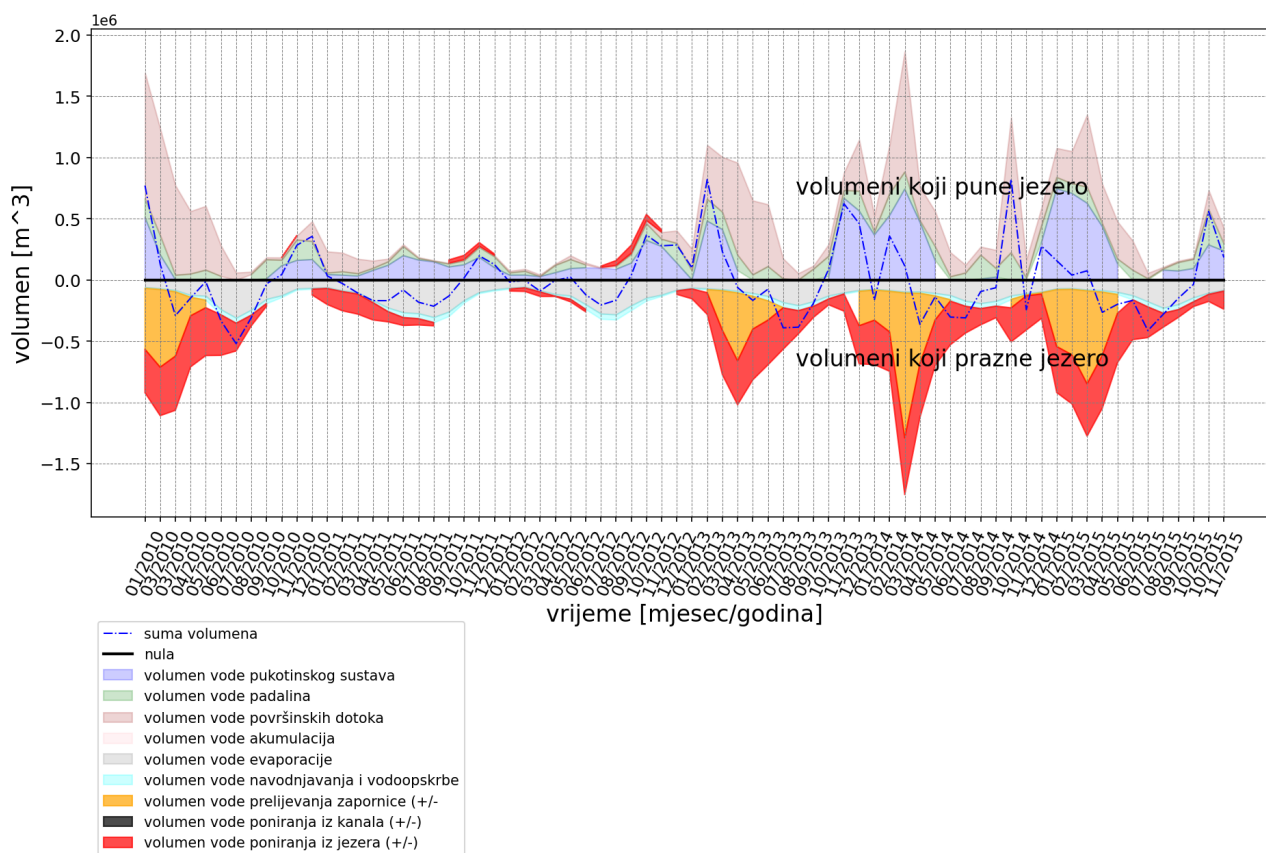
Slika 124: Razine jezera i mora te protok poniranja u kanalu za varijantu praga na koti 0,80 m n.m.



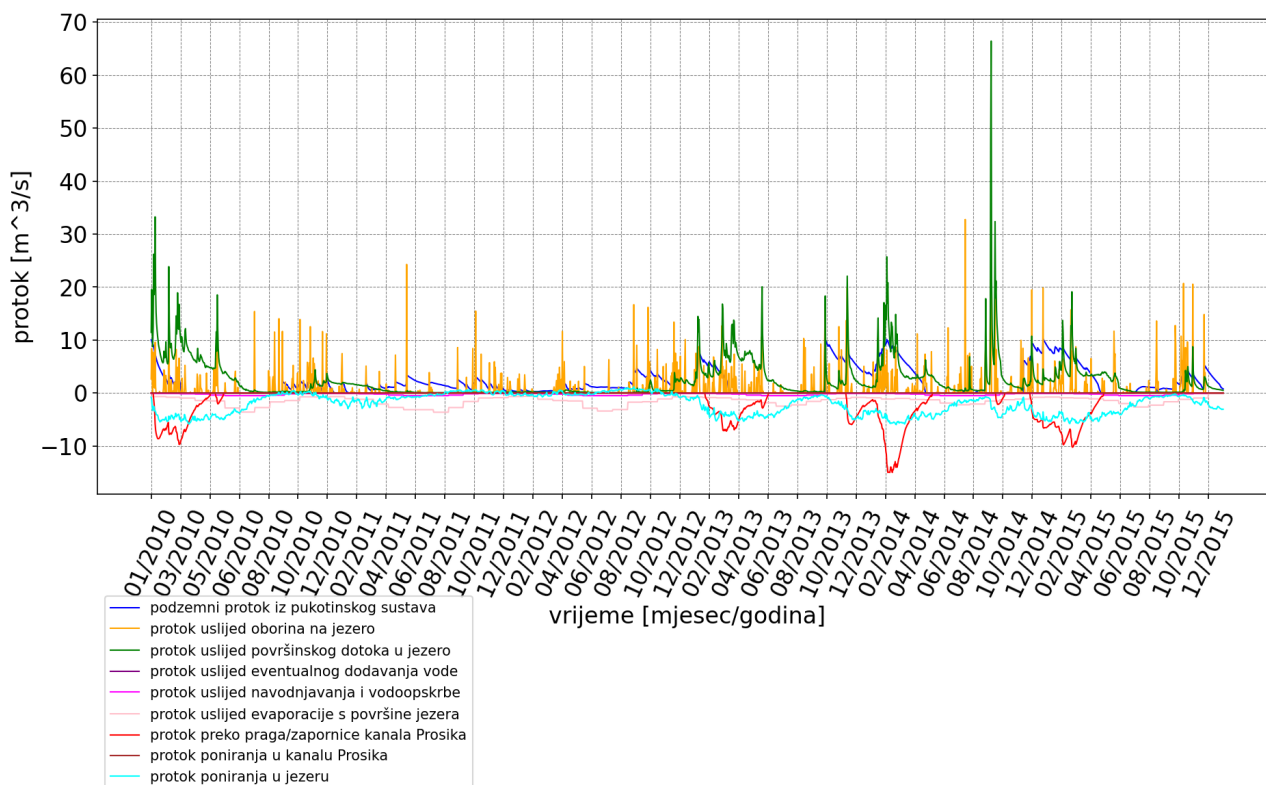
Slika 125: Razine jezera, mora i praga te protok prelijevanja preko praga za varijantu praga na koti 0,80 m n.m.



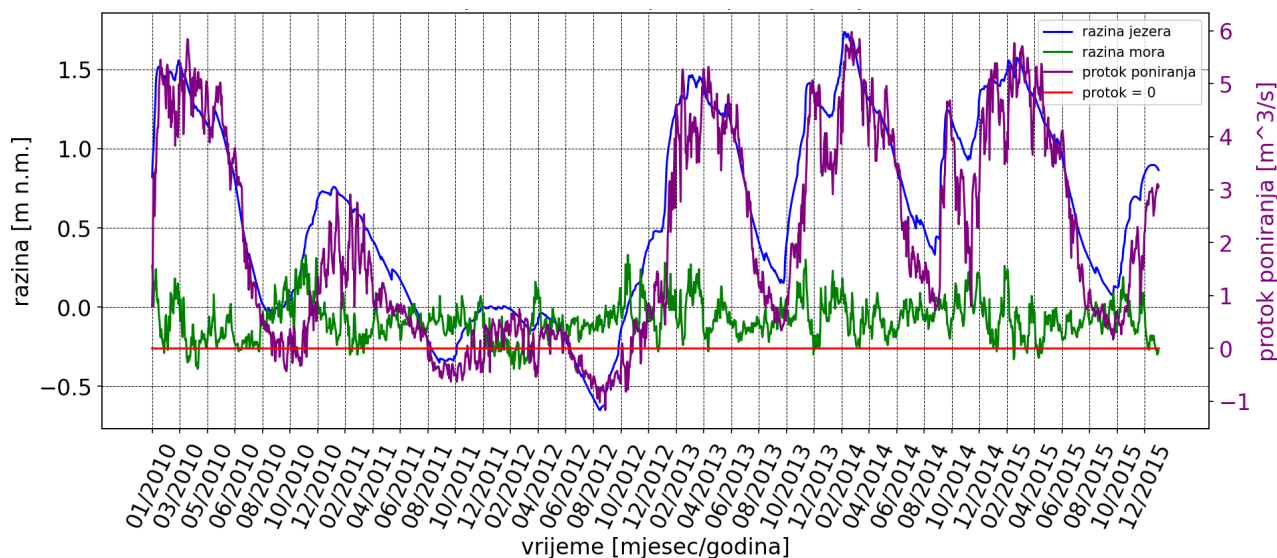
Slika 126: Udio slane vode za varijantu praga na koti 0,80 m n.m.



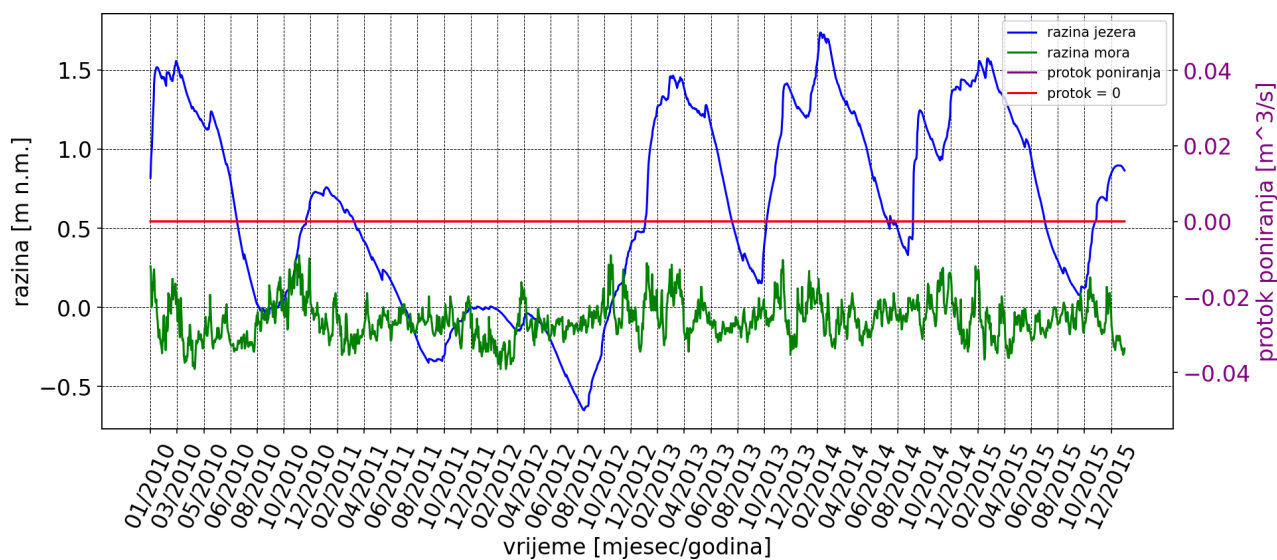
Slika 127: Dekompozicija volumena koji pune i prazne jezero za varijantu praga na koti 1,05 m n.m.



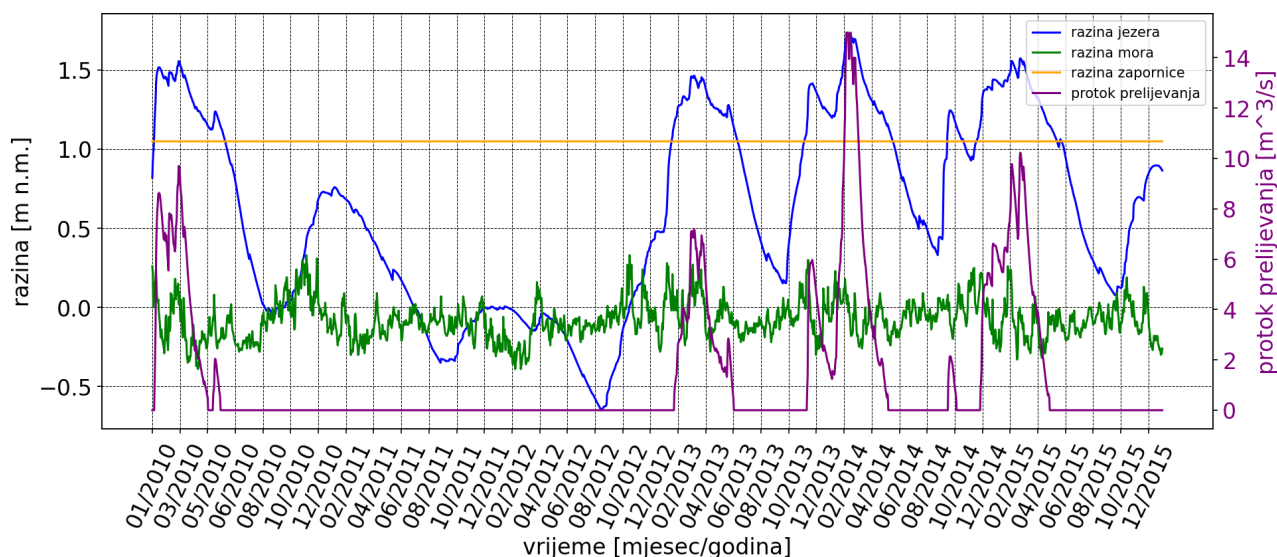
Slika 128: Dekompozicija protoka za varijantu praga na koti 1,05 m n.m.



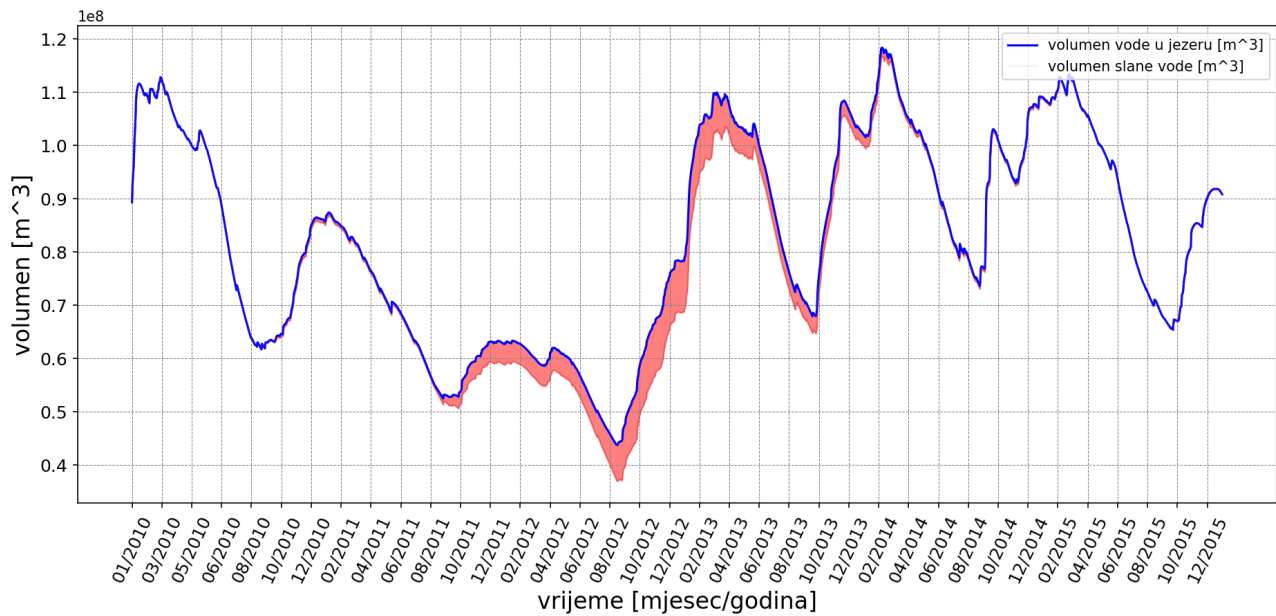
Slika 129: Razine jezera i mora te protok poniranja u jezero za varijantu praga na koti 1,05 m n.m.



Slika 130: Razine jezera i mora te protok poniranja u kanalu za varijantu praga na koti 1,05 m n.m.



Slika 131: Razine jezera, mora i praga te protok prelijevanja preko praga za varijantu praga na koti 1,05 m n.m.



Slika 132: Udio slane vode za varijantu praga na koti 1,05 m n.m.

3.4 Varijanta praga s jezerske strane

S obzirom da je proširenje korita uzvodno od pozicije praga u principu veće od potrebnog proširenja korita nizvodno od pozicije praga, razmotrila se je i varijanta praga na jezerskoj strani. Naime, na taj način veći dio korita nalazio bi se nizvodno od pozicije praga čime bi potrebno proširenje korita bilo manje.

Niveleta navedenog korita prikazana je na slici [133](#).

Za obje varijante definirana su potrebna proširenja korita nizvodno od pozicije praga. Uzvodno od praga nije potrebno proširenje, budući da prag pozicioniran uz jezero. S druge strane korito nizvodno definirano je tako da ima veću protočnu moć od protočne moći na poziciji praga do barem 30 godišnje razine vode u jezeru kako bi omogućio da se konsumpcijska krivulja cijelog korita ponaša u skladu s konsumpcijskom krivuljom praga, dok je za više razine jezera mjerodavna protočna moć nizvodnog korita.

Na taj način širina korita za varijantu praga na koti 0,80 m n.m. nizvodno od pozicije praga koja zadovoljava uvjete zaštite od štetnog djelovanja velikih voda prikazana je na nacrtu [Karakteristični poprečni presjeci kanala Prosika za analizirane varijante](#). Na istom nacrtu, prikazano je potrebno korito nizvodno od pozicije praga za varijantu praga na koti 1,05 m n.m.

Lokacija predviđena za prag prema ovoj varijanti prikazana je na nacrtu [Prikaz lokacija za varijante pragova i zapornica](#) (Lokacija 3).

U ovom poglavlju je obrađena varijanta:

- Prag na koti 0,80 m n.m.
- Proširenje korita nizvodno od praga - 226 cm

i varijanta:

- Prag na koti 1,05 m n.m.
- Proširenje korita nizvodno od praga - 426 cm

Razine jezera za varijantu praga na koti 0,80 m n.m. (varijanta 2) i varijantu praga na koti 1,05 m n.m. (varijanta 3) u odnosu na postojeće stanje (varijanta 1) prikazane su na slici [136](#), a na istoj slici prikazane su i kote pragova za svaku od varijanti (rad zapornice varijanta 1, 2 i 3).

Kao i za prethodne varijante minimumi su neznatno povećani (slika [137](#)), dok je slanost jezera za

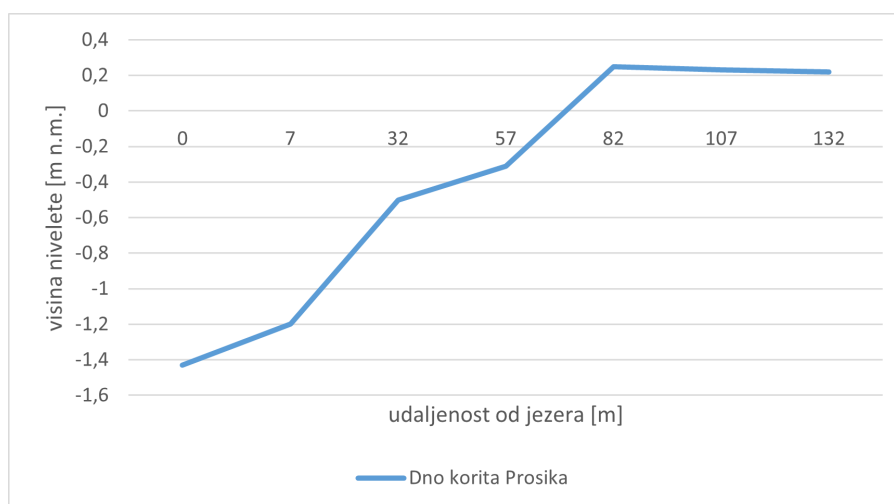
projektirano stanje znatno smanjena (slike 138 i 139).

Punjenje i pražnjenje slane vode u volumenu jezera za varijantu praga na koti 0,80 m n.m. prikazano je na slici 145. Na slici 140 prikazana je dekompozicija volumena za projektirano stanje prema varijanti praga na koti 0,80 m n.m., na slici 141 dekompozicija protoka, na slici 142 protok poniranja u jezero, na slici 143 protok poniranja u kanalu, te na slici 144 protok prelijevanja preko praga.

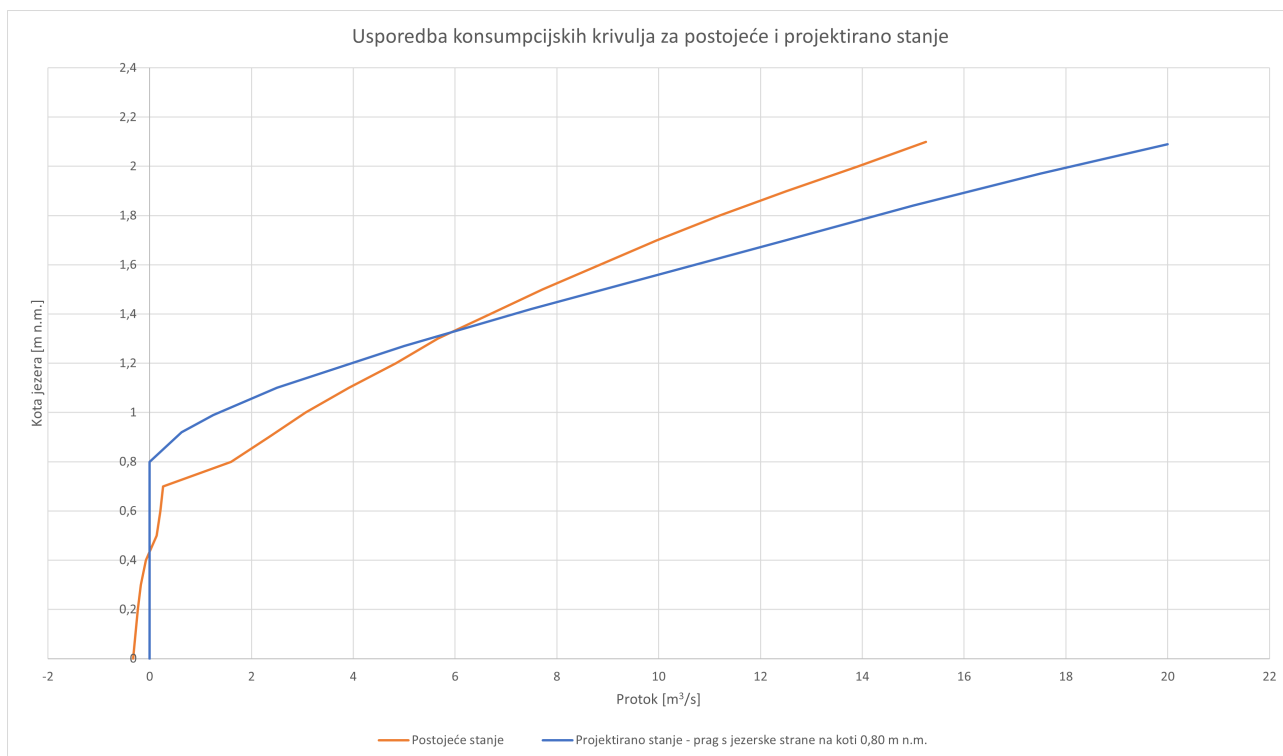
Na slici 134 prikazana je usporedba konsumpcijske krivulje za prag s jezerske strane na koti 0,80 m n.m. s konsumpcijskom krivuljom za postojeće stanje. Premda je nizvodno korito potrebno proširiti u skladu s prikazanim poprečnim profilom, analize su pokazale da bi protočna moć mostova za ovu varijantu bila dovoljna, odnosno nije potrebno ići u njihovu rekonstrukciju.

Punjenje i pražnjenje slane vode u volumenu jezera za varijantu praga na koti 1,05 m n.m. prikazano je na slici 151. Na slici 146 prikazana je dekompozicija volumena za projektirano stanje, na slici 147 dekompozicija protoka, na slici 148 protok poniranja u jezero, na slici 149 protok poniranja u kanalu, te na slici 150 protok prelijevanja preko praga.

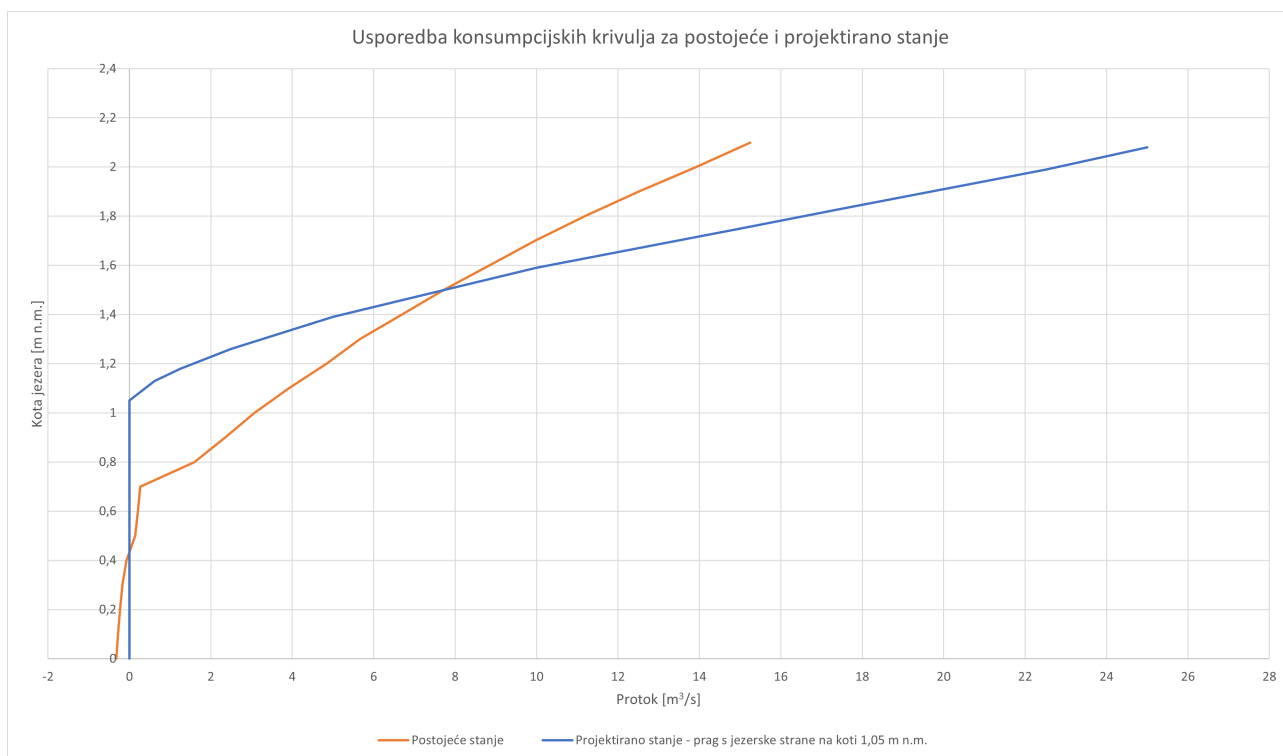
Na slici 135 prikazana je usporedba konsumpcijske krivulje za prag s jezerske strane na koti 1,05 m n.m. s konsumpcijskom krivuljom za postojeće stanje. Za ovu varijantu protočna moć mostova nije bila dostatna, te bi u slučaju odabira ove varijante bilo potrebno rekonstruirati mostove.



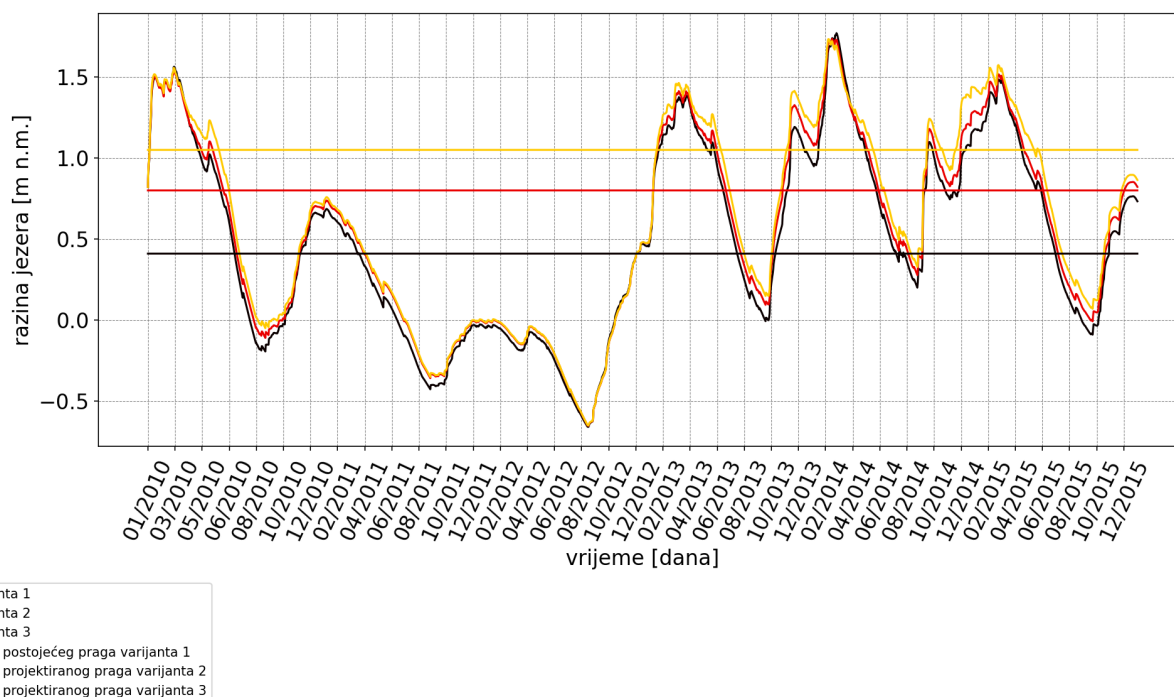
Slika 133: Niveleta korita Prosika za korigiranu varijantu zapornice i za prag



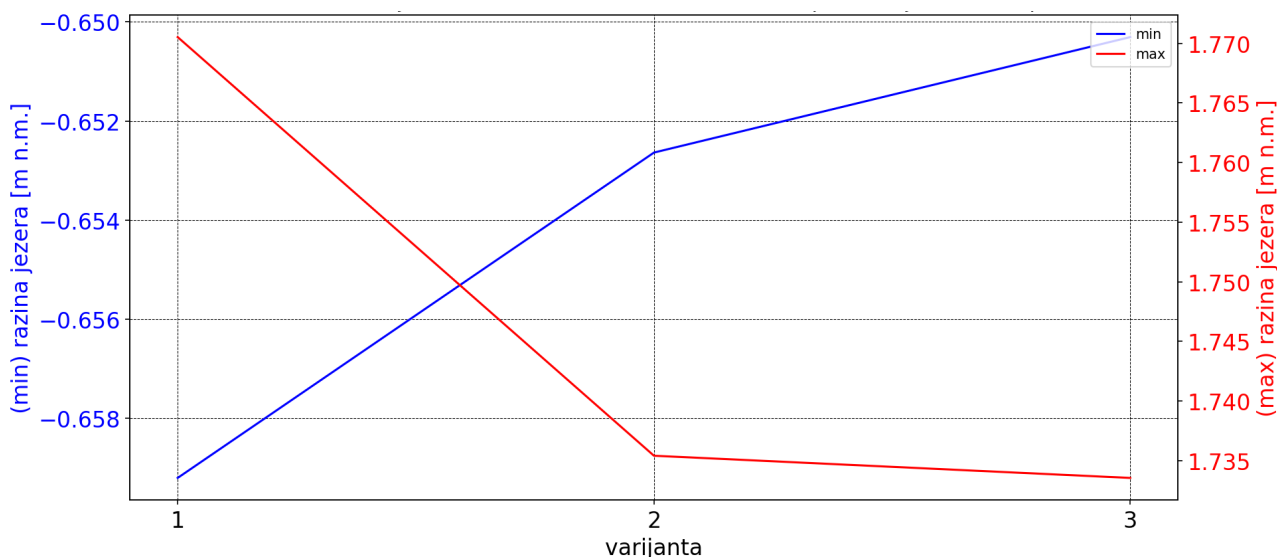
Slika 134: Usporedba konsumpcijske krivulje za varijantu praga s jezerske strane na koti 0,80 m n.m. s konsumpcijskom krivuljom za postojeće stanje



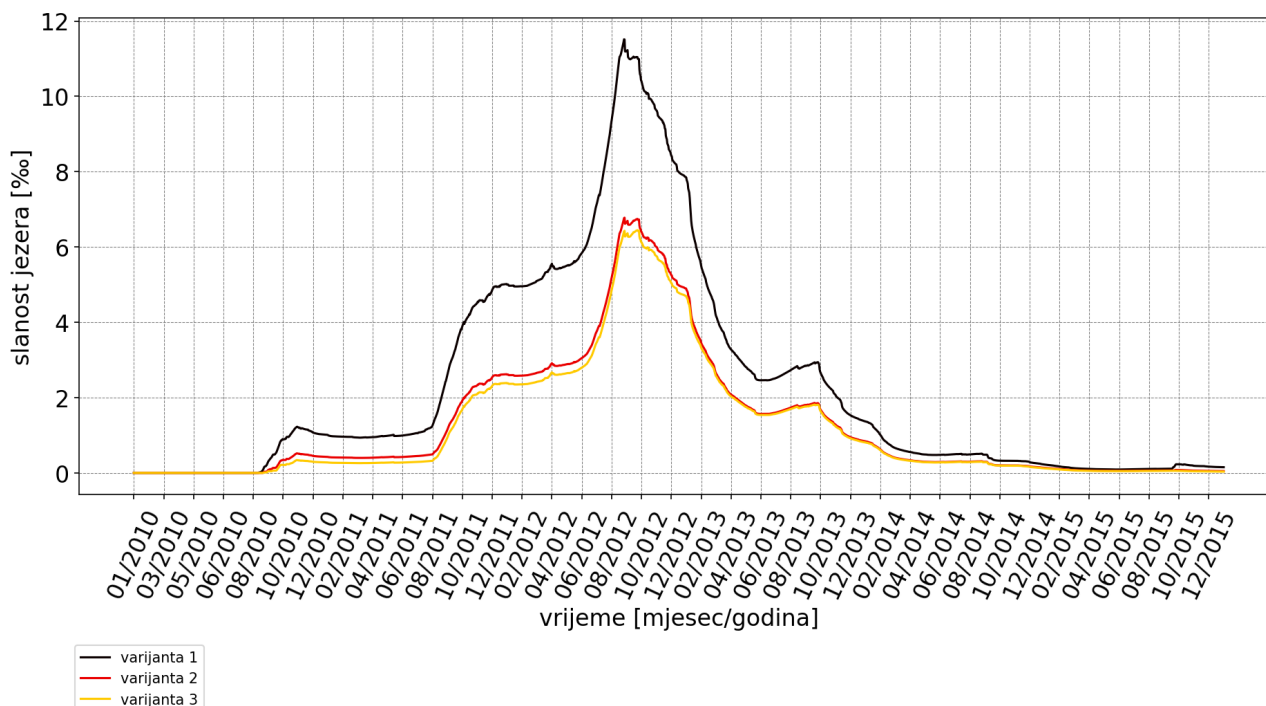
Slika 135: Usporedba konsumpcijske krivulje za varijantu praga s jezerske strane na koti 1,05 m n.m. s konsumpcijskom krivuljom za postojeće stanje



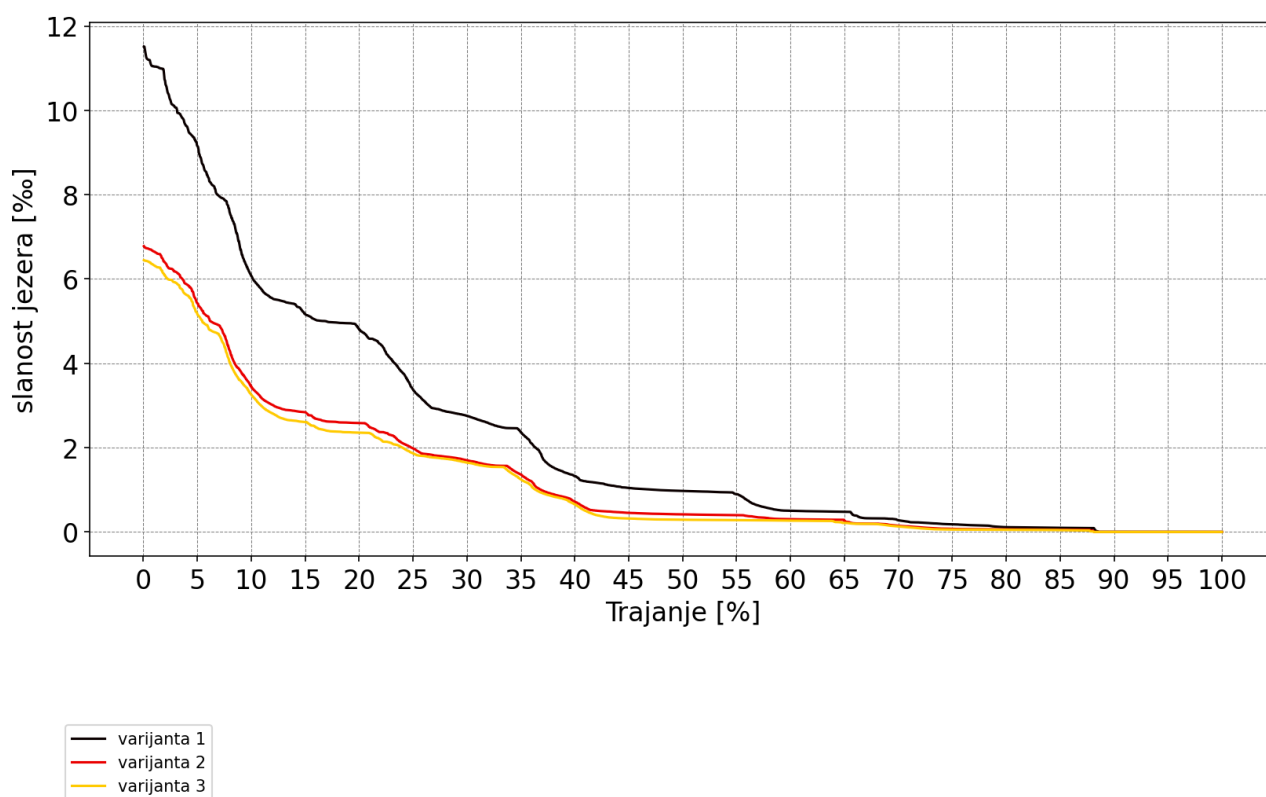
Slika 136: Usporedba razina jezera za varijantu praga s jezerske strane na kotama 0,80 m n.m. i 1,05 m n.m. u odnosu na postojeće stanje s prikazom kota praga



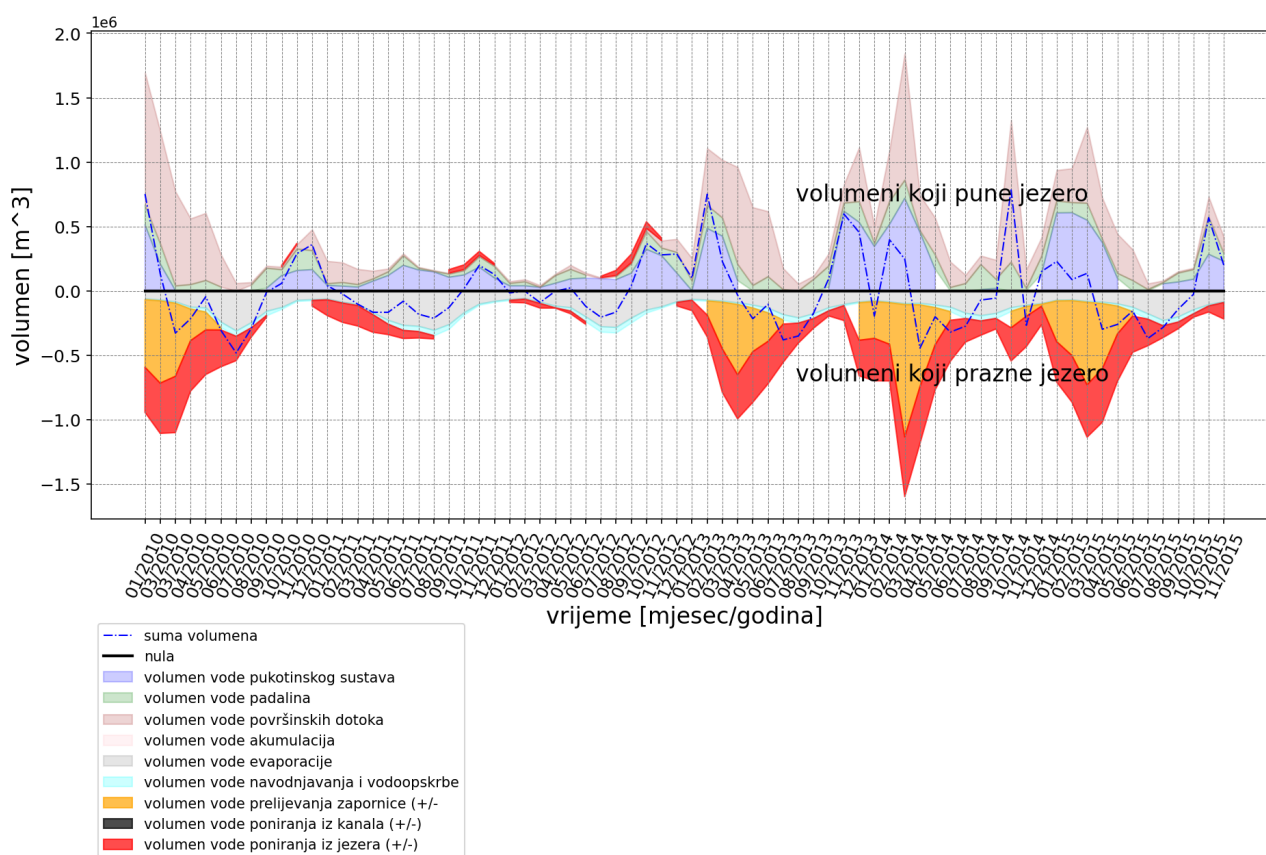
Slika 137: Usporedba minimalnih i maksimalnih razina jezera za varijantu praga s jezerske strane na kotama 0,80 m n.m. i 1,05 m n.m. u odnosu na postojeće stanje



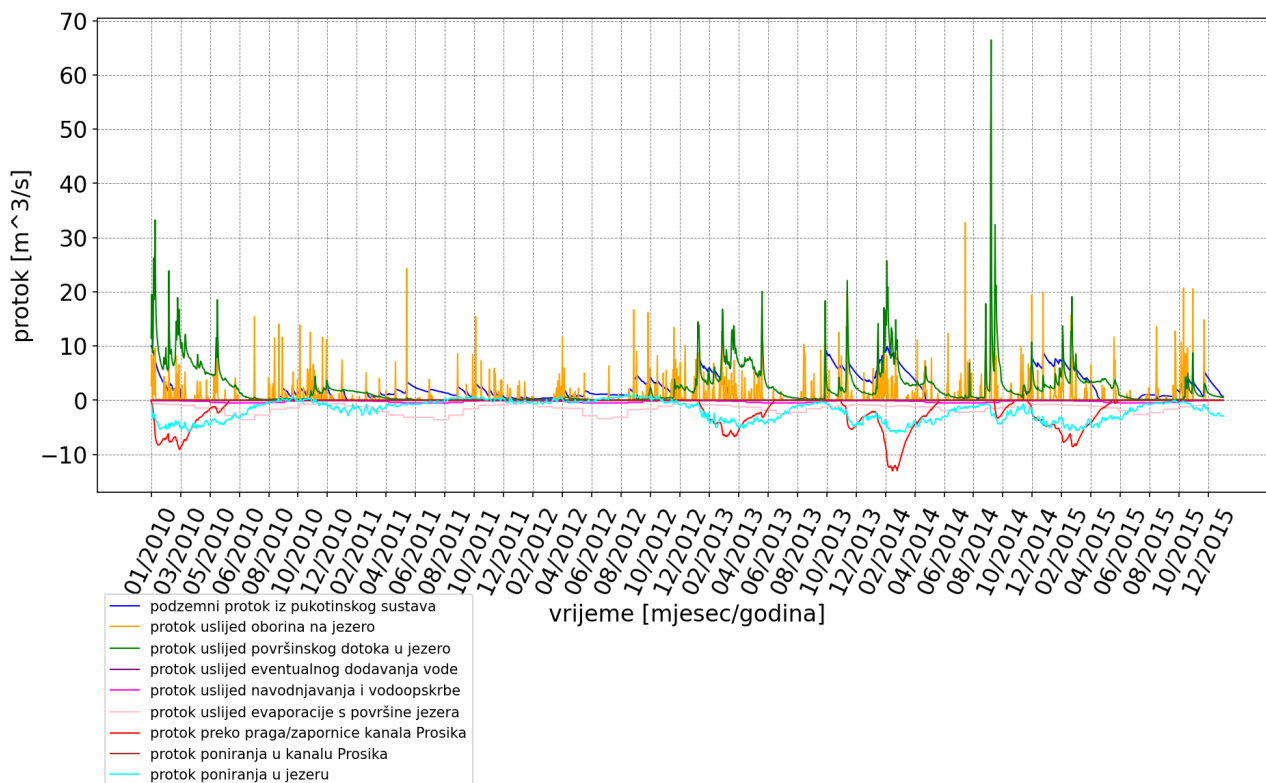
Slika 138: Usporedba slanosti jezera za varijantu praga s jezerske strane na kotama 0,80 m n.m. i 1,05 m n.m. u odnosu na postojeće stanje



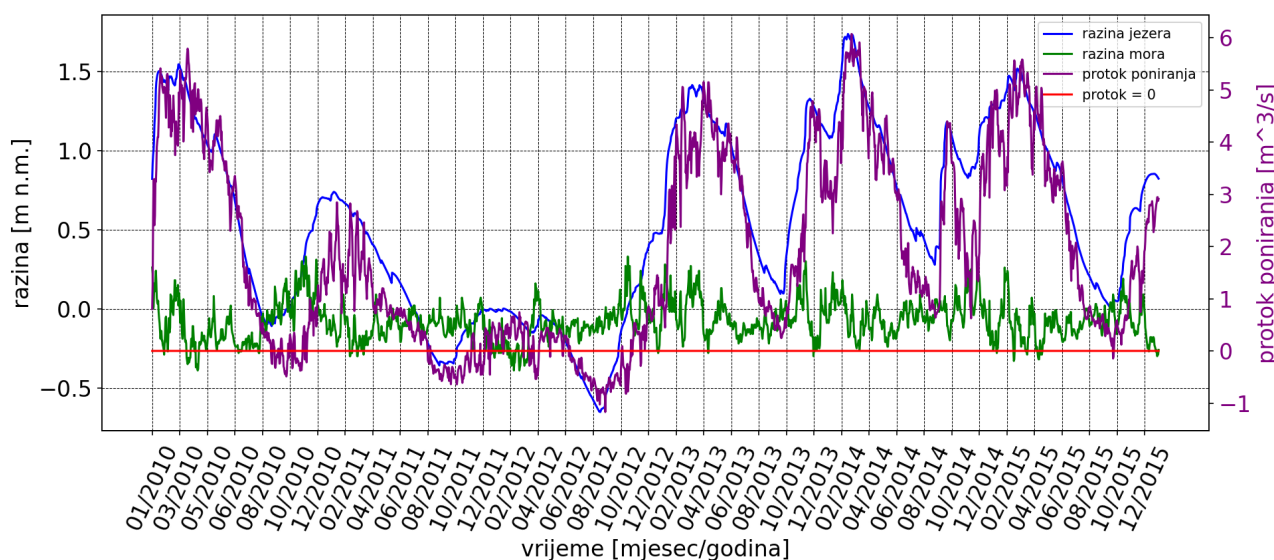
Slika 139: Usporedba trajanja slanosti jezera za varijantu praga s jezerske strane na kotama 0,80 m n.m. i 1,05 m n.m. u odnosu na postojeće stanje



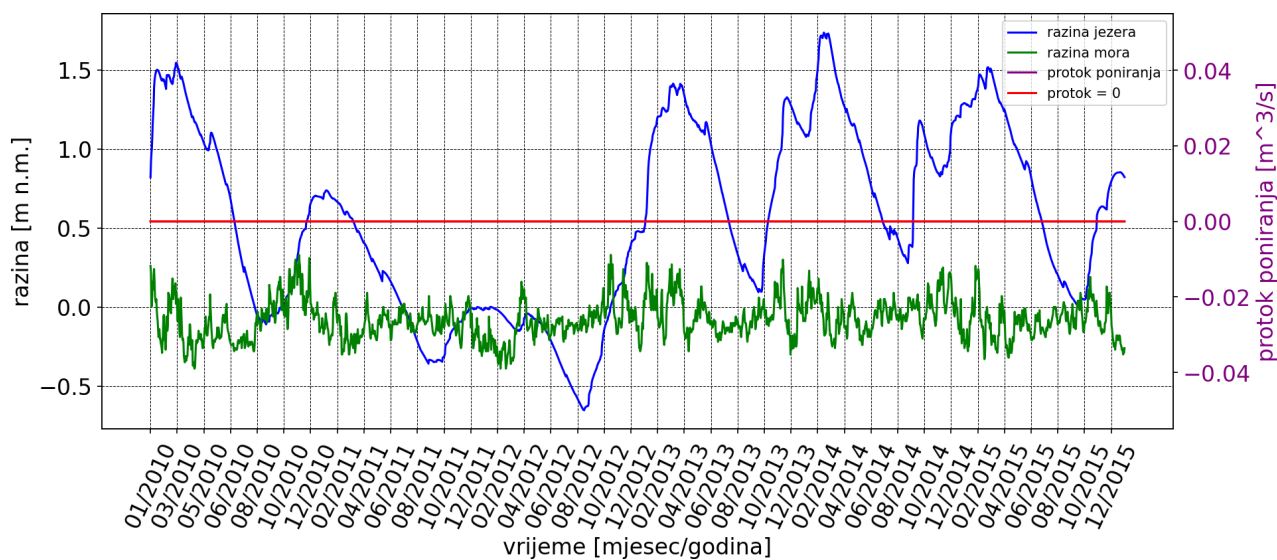
Slika 140: Dekompozicija volumena koji pune i prazne jezero za varijantu praga s jezerske strane na koti 0,80 m n.m.



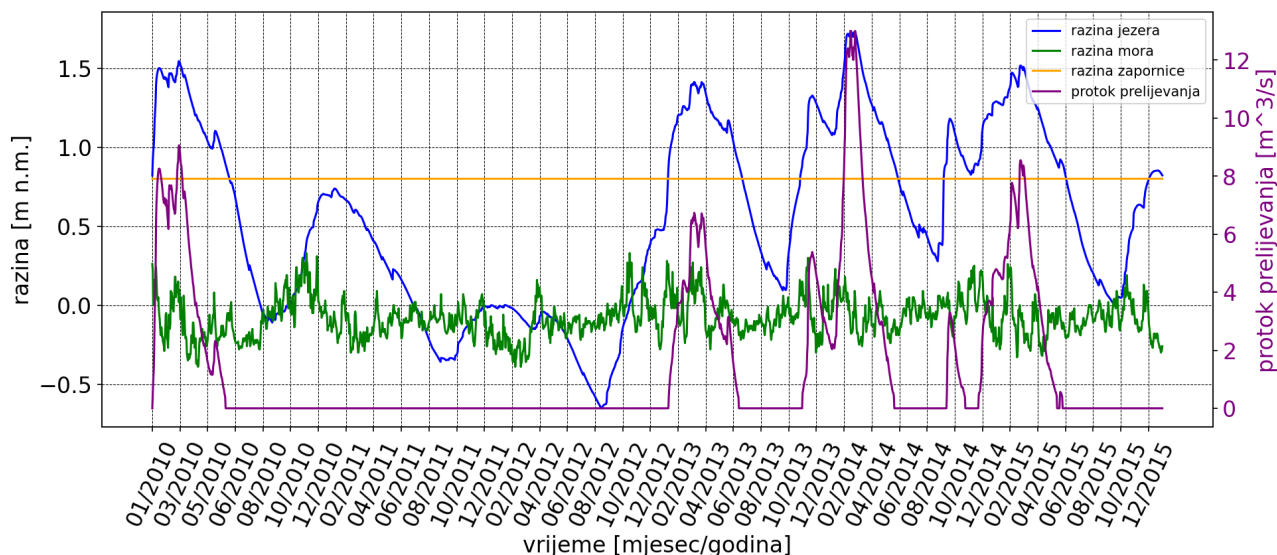
Slika 141: Dekompozicija protoka za varijantu praga s jezerske strane na koti 0,80 m n.m.



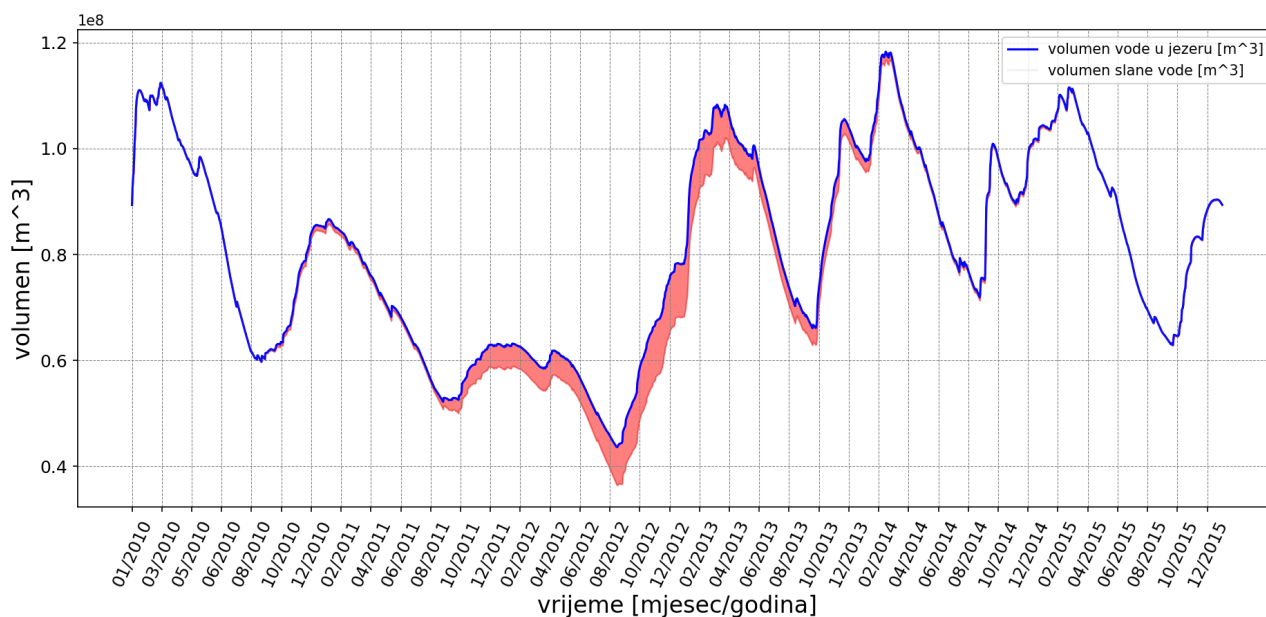
Slika 142: Razine jezera i mora te protok poniranja u jezero za varijantu praga s jezerske strane na koti 0,80 m n.m.



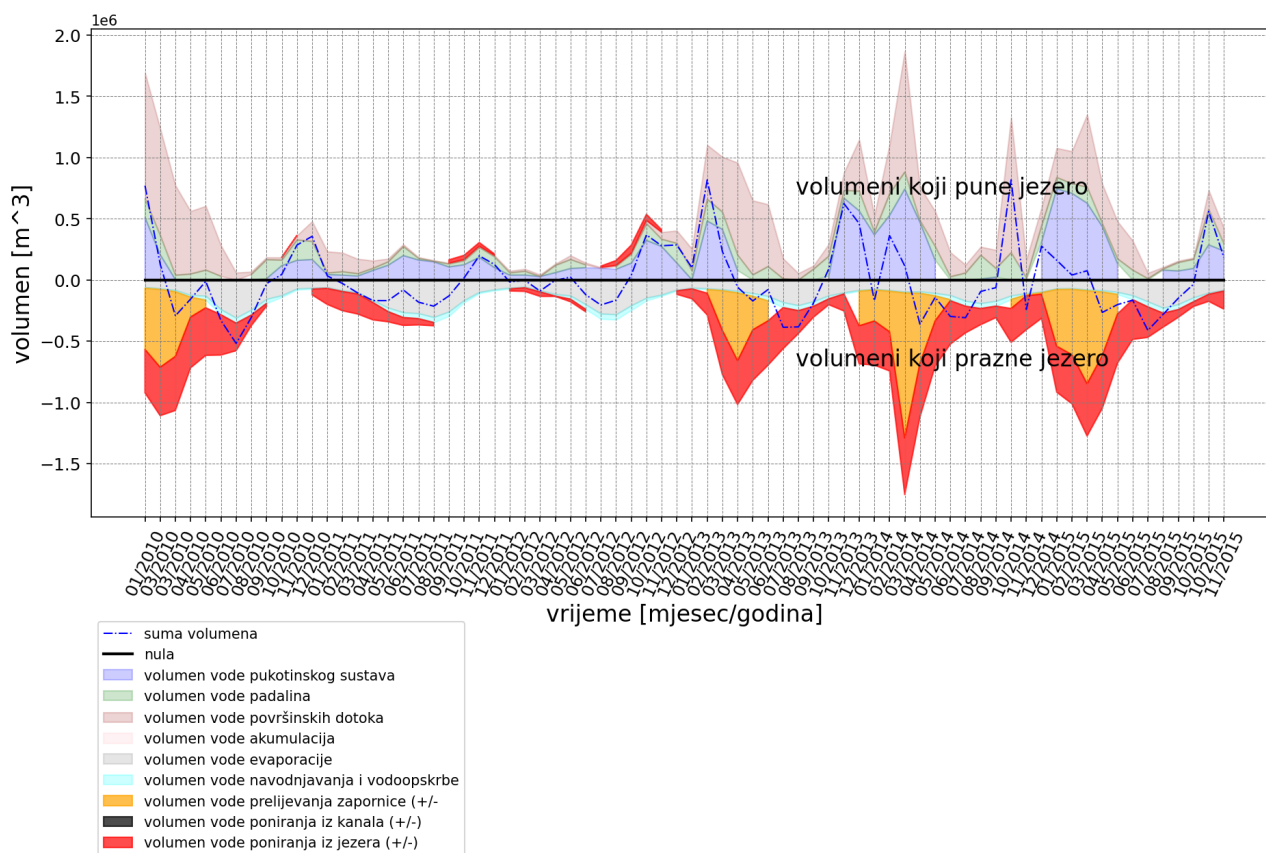
Slika 143: Razine jezera i mora te protok poniranja u kanalu za varijantu praga s jezerske strane na koti 0,80 m n.m.



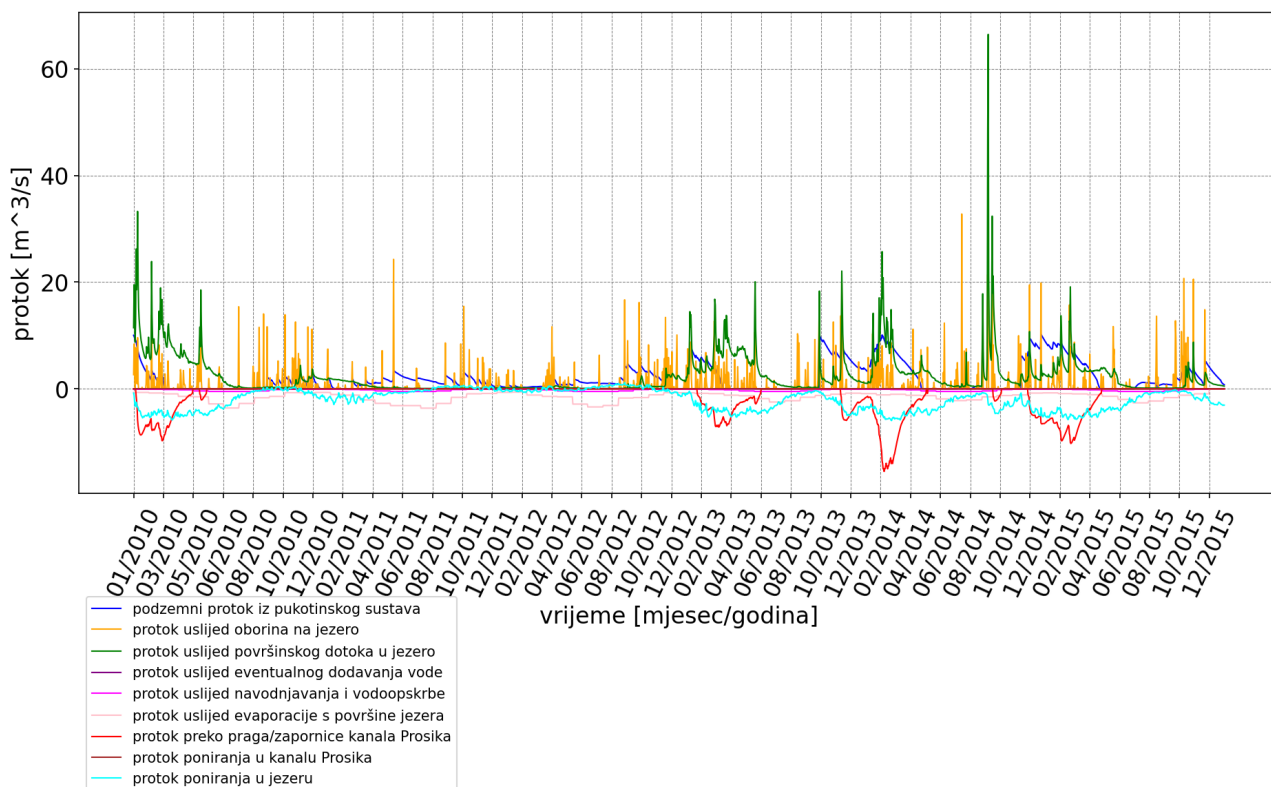
Slika 144: Razine jezera, mora i praga te protok prelijevanja preko praga s jezerske strane na koti 0,80 m n.m.



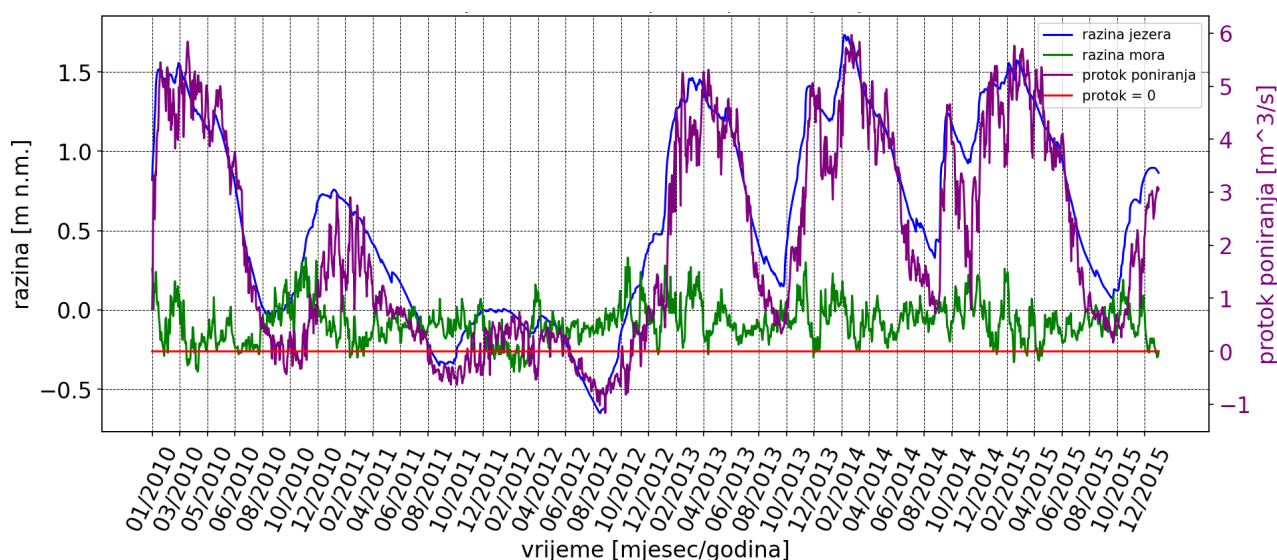
Slika 145: Udio slane vode za varijantu praga s jezerske strane na koti 0,80 m n.m.



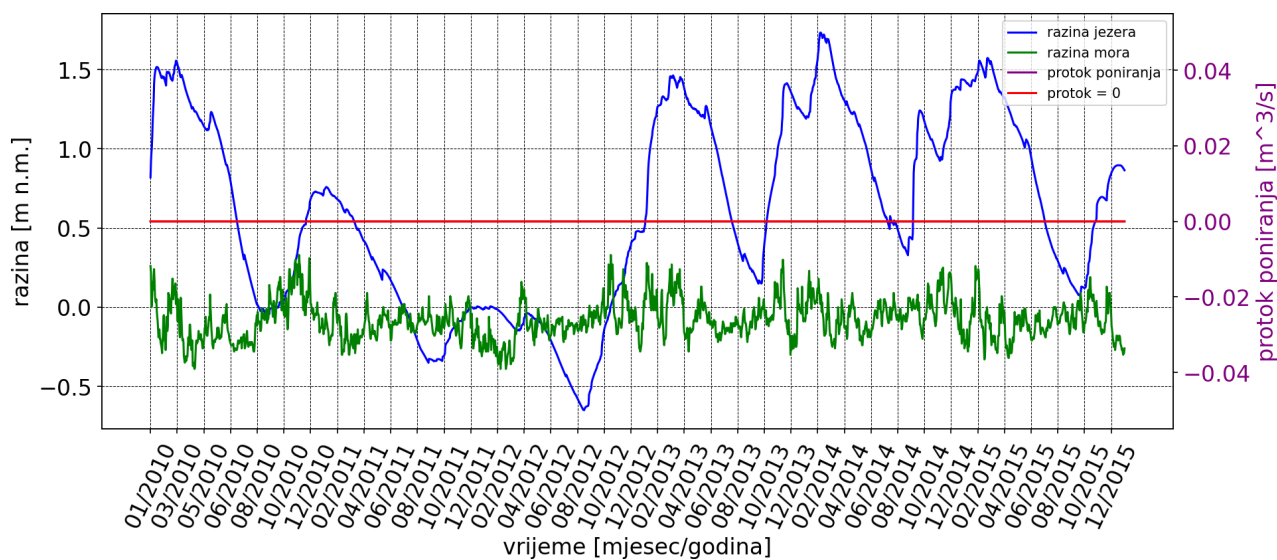
Slika 146: Dekompozicija volumena koji pune i prazne jezero za varijantu praga s jezerske strane na koti 1,05 m n.m.



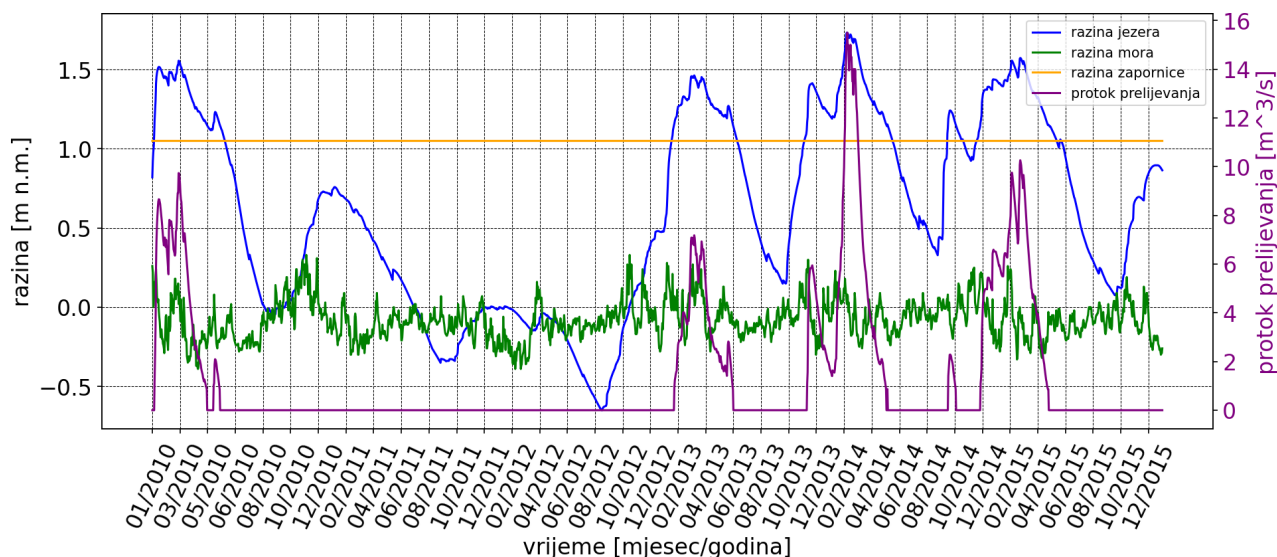
Slika 147: Dekompozicija protoka za varijantu praga s jezerske strane na koti 1,05 m n.m.



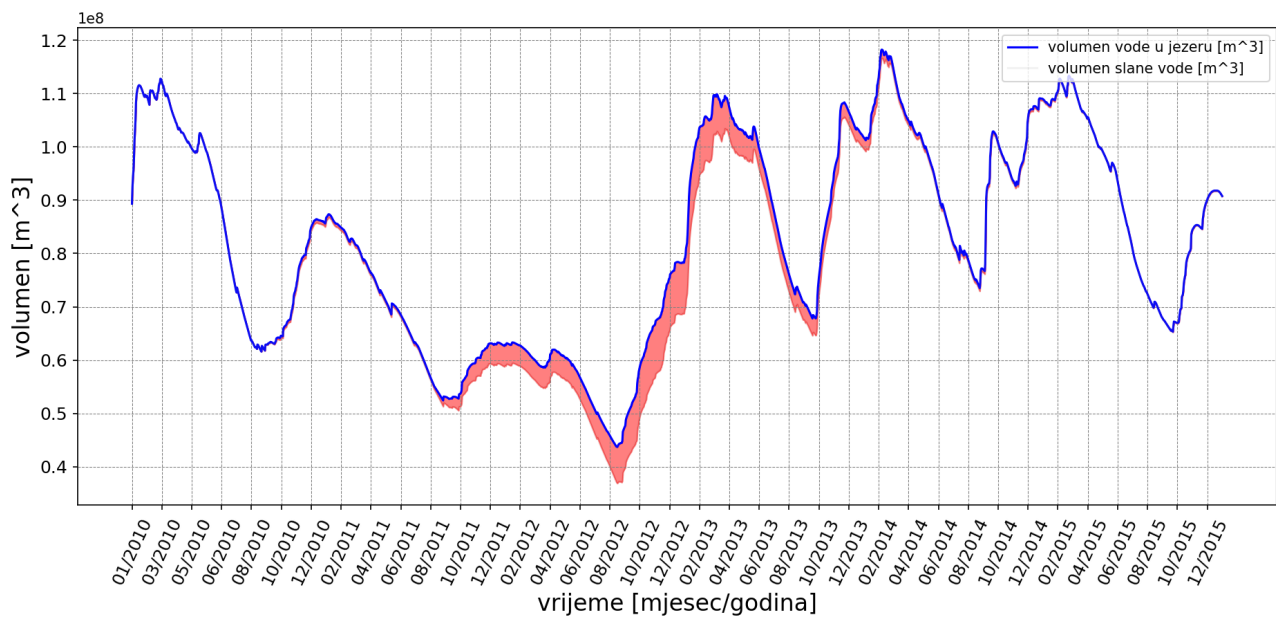
Slika 148: Razine jezera i mora te protok poniranja u jezero za varijantu praga s jezerske strane na koti 1,05 m n.m.



Slika 149: Razine jezera i mora te protok poniranja u kanalu za varijantu praga s jezerske strane na koti 1,05 m n.m.



Slika 150: Razine jezera, mora i praga te protok prelijevanja preko praga za varijantu praga s jezerske strane na koti 1,05 m n.m.



Slika 151: Udio slane vode za varijantu praga s jezerske strane na koti 1,05 m n.m.

3.5 Varijanta akumulacije

Kao druga vrsta pristupa u kontekstu poboljšanja stanja jezera u trenutku malih voda razmatrao se je utjecaj prihranjivanja jezera iz akumulacija. U prvom redu numeričkim modelom nastojalo se je kvantificirati potrebne volumene za prihranjivanje jezera što se je postiglo definiranjem algoritma rada akumulacija, odnosno trenutke kada se započinje, a kada završava s prihranjivanjem jezera.

Usvojeni algoritam rada ispuštanja vode iz akumulacija je sljedeći. Definirani protoci kojima se prihranjuje jezero tijekom ispuštanja iznose $3 \text{ m}^3/\text{s}$, dok su po varijantama akumulacija definirani različiti trenuci početka i završetka ispuštanja. Tako u varijanti 2 (varijanta 1 je postojeće stanje) ispuštanje započinje kada voda u jezeru padne ispod kote $-0,6 \text{ m n.m.}$, te završava kada razina vode u jezeru dosegne razinu od $-0,4 \text{ m n.m.}$ Za ostale varijante inkrementi započinjanja i završetka ispuštanja podižu se za po 5 cm , završno s varijantom 6 koja započinje s ispuštanjem kada razina vode u jezeru padne ispod kote $-0,35 \text{ m n.m.}$ te završava kada dosegne razinu $-0,15 \text{ m n.m.}$ Potrebni volumeni za navedene algoritme rada prikazani su na slici 154 te se kreću u rasponu od $8.812.800 \text{ m}^3$, do $27.993.600 \text{ m}^3$. Volumeni za varijantu 5 i varijantu 6 značajno su veći od ostalih, budući da se je algoritam rada za njihov slučaj aktivirao i za 2011. godinu, dok se je za ostale varijante aktivirao samo u 2012. godini, što se može vidjeti i na slici 152. Vrijedi primijetiti da je za sve varijante akumulacija, u usporedbi s varijantama zapornice ili praga, značajan doprinos povećanju minimalnih razina jezera, što se može vidjeti i na slici 153 gdje je za varijantu 2 minimalna razina jezera povećana za 10 cm , a za varijantu 6 čak 30 cm . Maksimalne razine jezera su neznatno povećane te se može zaključiti da varijanta akumulacija s pogleda obrane od poplava nema značajan negativni efekt.

Za sve analizirane varijante akumulacije, korito kanala Prosika usvojilo se je kao i za postojeće stanje.

Lokacija predviđena za akumulacije prikazane su na nacrtu [Prikaz lokacija akumulacija Draga i Markovac](#).

Krivulje slanosti 154 i trajanja slanosti 155 ukazuju na drugačiji efekt akumulacije na slanost jezera za varijantu akumulacije u odnosu na varijante zapornice ili praga. Naime, slanost jezera će za varijantu akumulacije rasti kao i u postojećem stanju sve do trenutka započinjanja ispuštanja vode iz akumulacija, te će efekt biti više izražen na vršnu slanost, dok će zahvati na kanalu Prosika utjecati na spljoštenje cijele krivulje slanosti.

Vrijedi istaknuti da rezultati numeričkog modela ukazuju da slanost u jezeru ne ovisi isključivo o minimalno dosegnutim razinama vode u analiziranom periodu, već će ovisiti o ukupnom prodoru volumena morske vode u svim prethodnim trenucima, što ovisi kako o prethodnim razinama jezera, tako i o uvjetima na koritu Prosika.

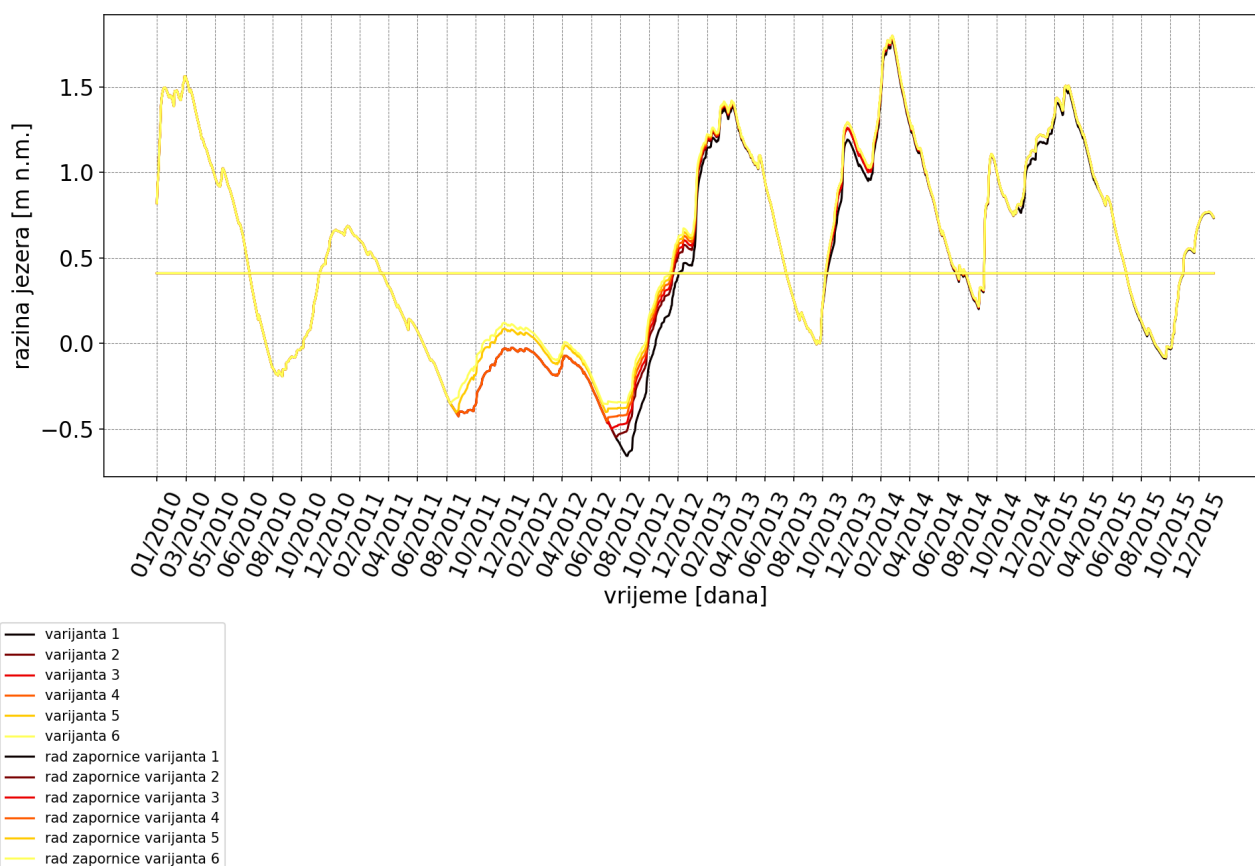
Uspoređujući krivulje slanosti jezera za varijantu zapornice ili praga na koti 1,05 m n.m. s krivuljama za varijante akumulacije, može se zaključiti da je sličan efekt postignut u slučaju varijante akumulacije veličine 23.328.000 m³ (varijanta 5), za koju je vršna slanost nešto manja, dok je trajanje slanosti iznad 2 ‰ nešto duža.

Punjenje i pražnjenje slane vode u volumenu jezera za varijantu akumulacije 5 prikazano je na slici [161](#).

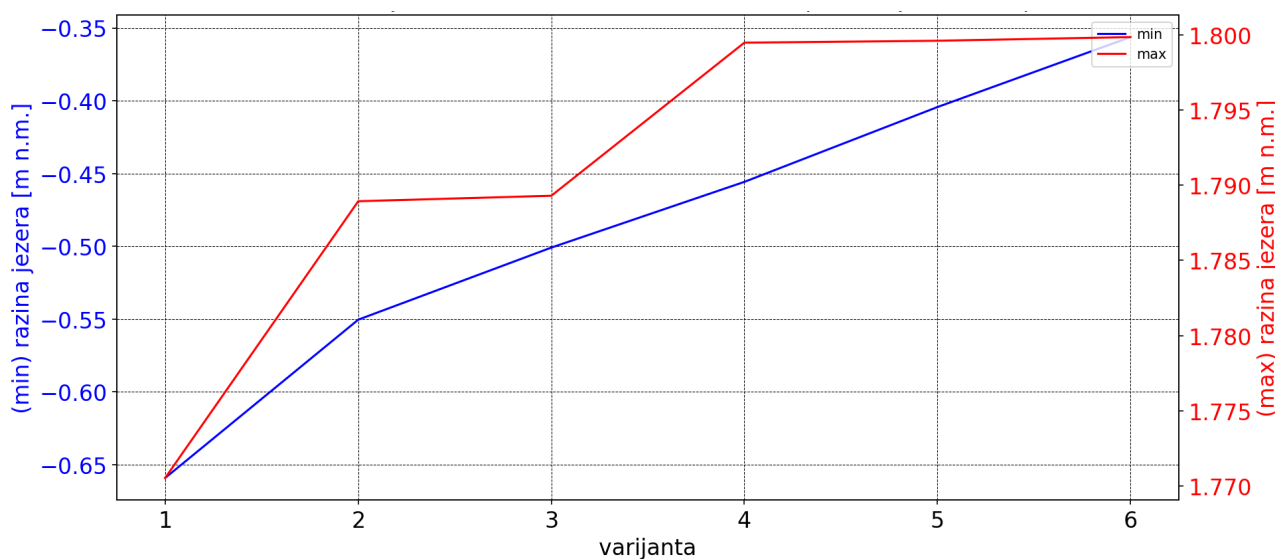
Na slici [156](#) prikazana je dekompozicija volumena za projektirano stanje (varijanta akumulacije 5), na slici [157](#) dekompozicija protoka, na slici [158](#) protok poniranja u jezero, na slici [159](#) protok poniranja u kanalu, te na slici [160](#) protok prelijevanja preko praga.

Napomena

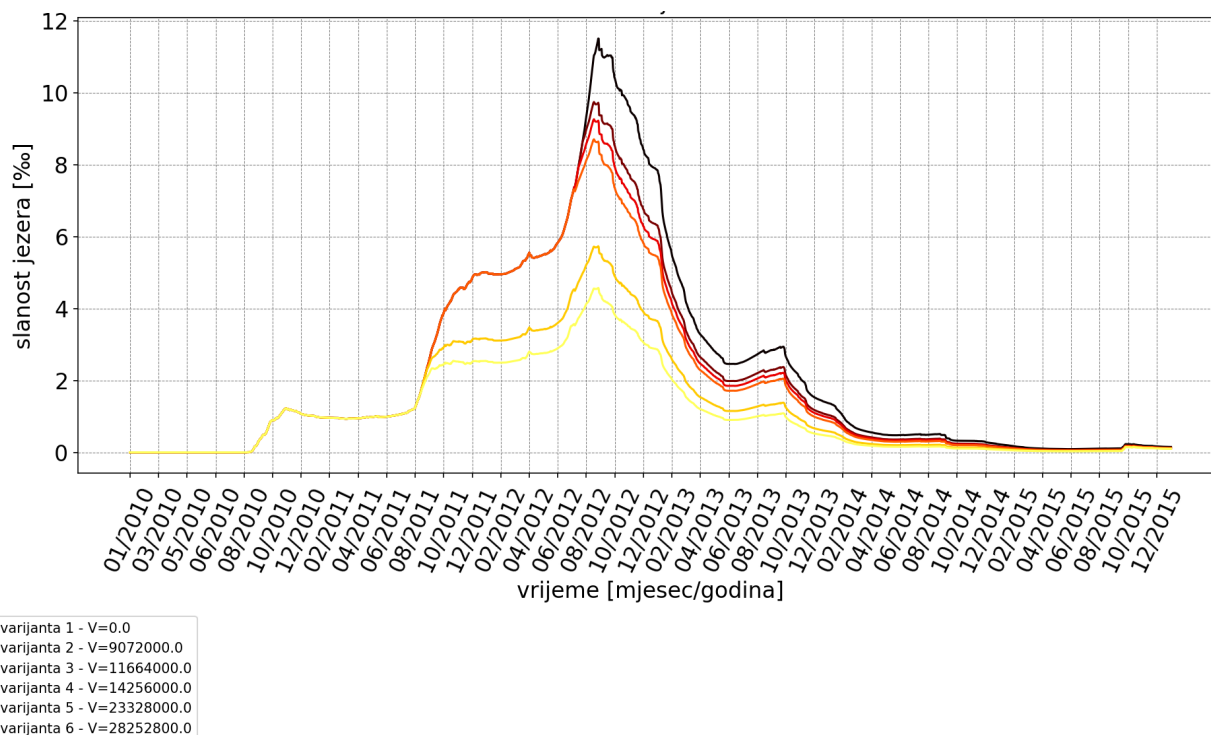
Za volumene vode koji moraju biti upušteni u jezero da bi se njegova slanost spustila na zadovoljavajuću razinu gradnja akumulacija na predloženom području nije tehnički izvediva. Iz tog razloga, ova se varijanta neće dalje razmatrati u proračunu cjeloživotnih troškova i multikriterijalnoj analizi.



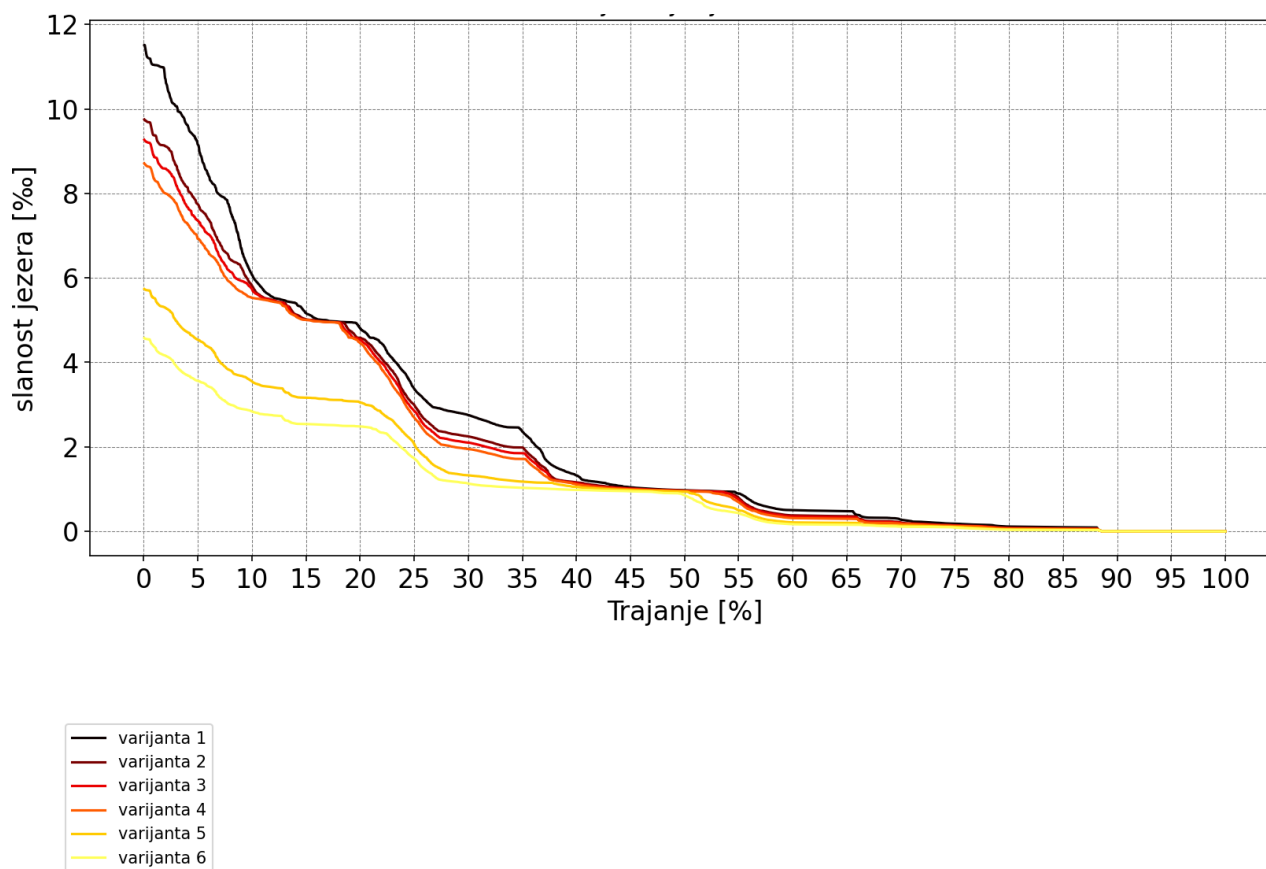
Slika 152: Usporedba razina jezera za varijantu akumulacija u odnosu na postojeće stanje sa prikazom razine postojećeg praga



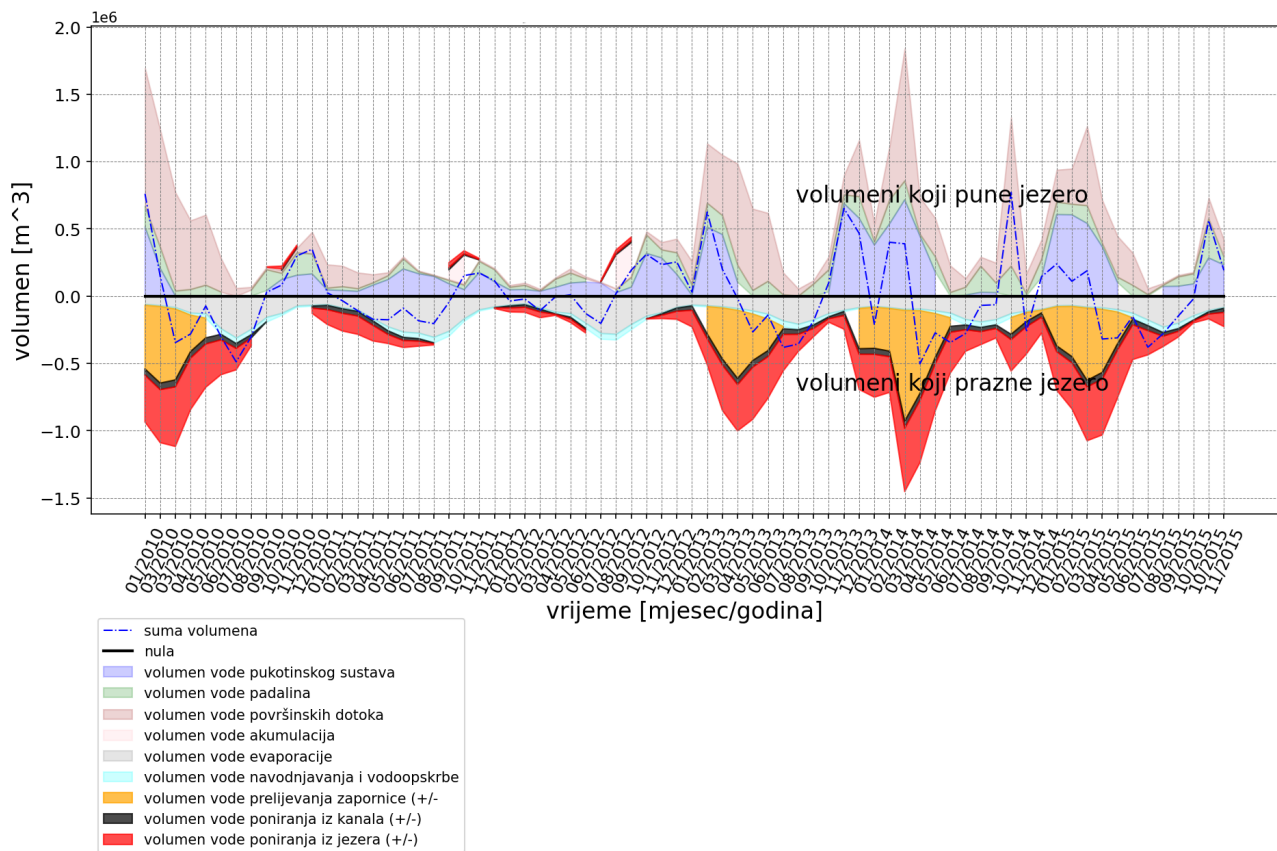
Slika 153: Usporedba minimalnih i maksimalnih razina jezera za varijantu akumulacija u odnosu na postojeće stanje



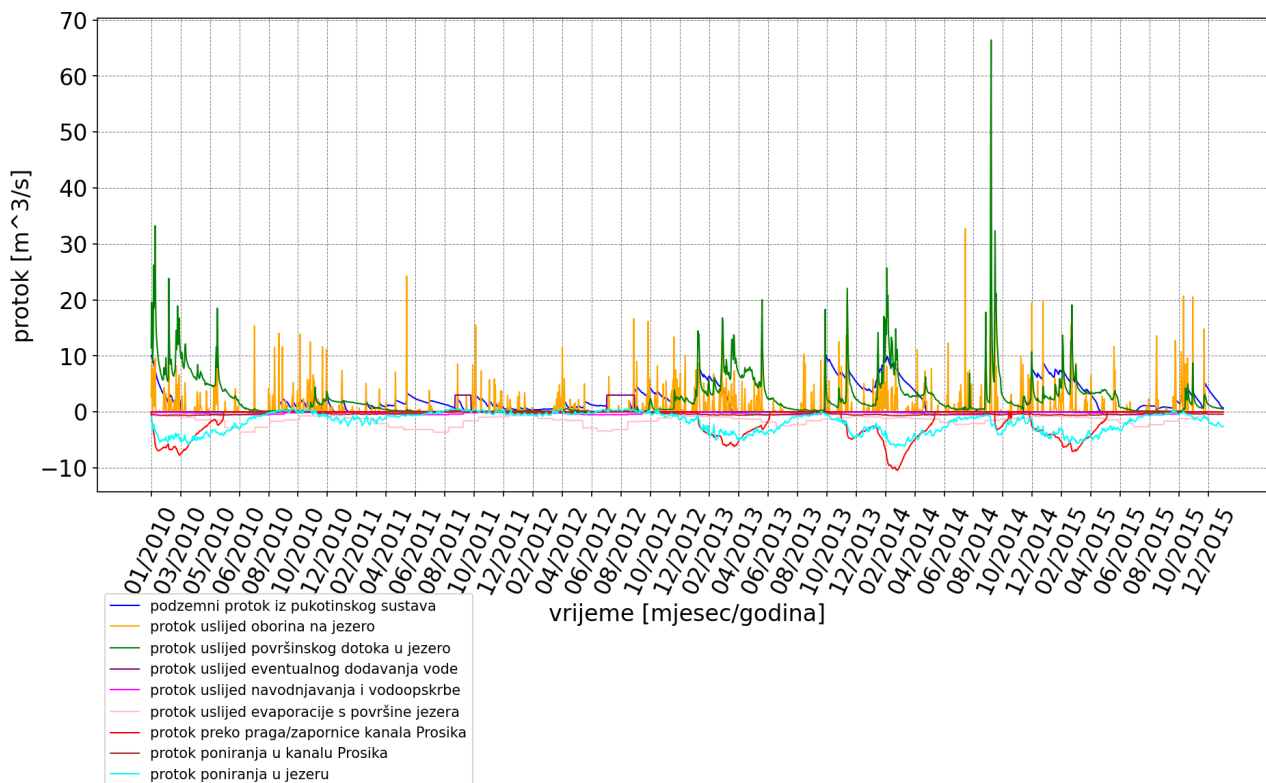
Slika 154: Usporedba slanosti jezera za varijantu akumulacija u odnosu na postojeće stanje



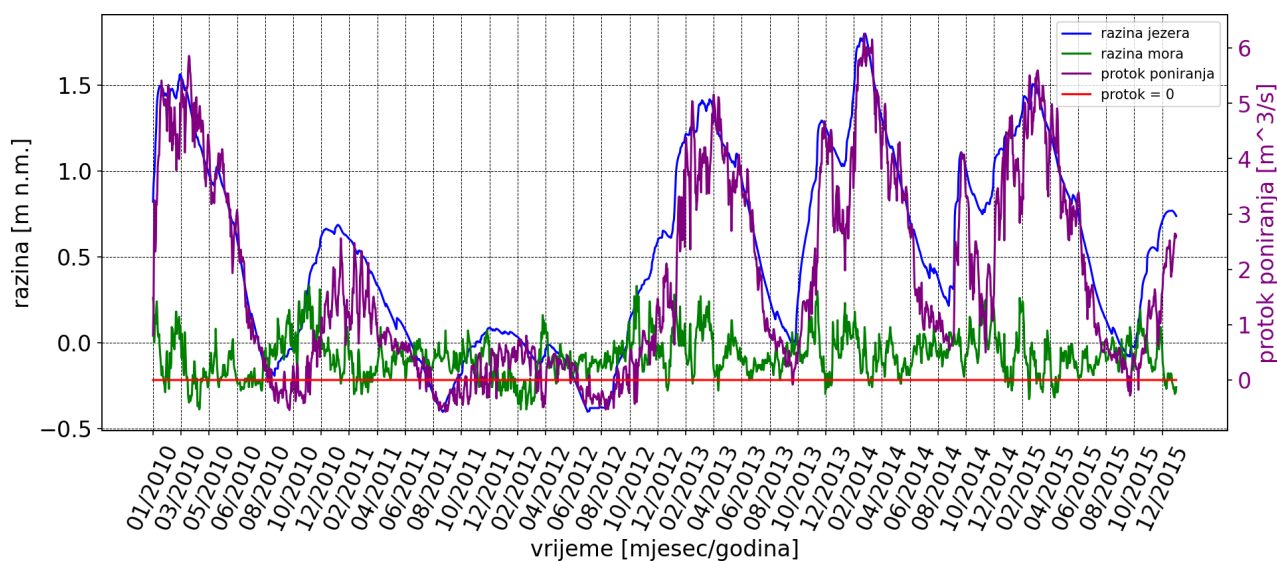
Slika 155: Usporedba trajanja slanosti jezera za varijantu akumulacija u odnosu na postojeće stanje



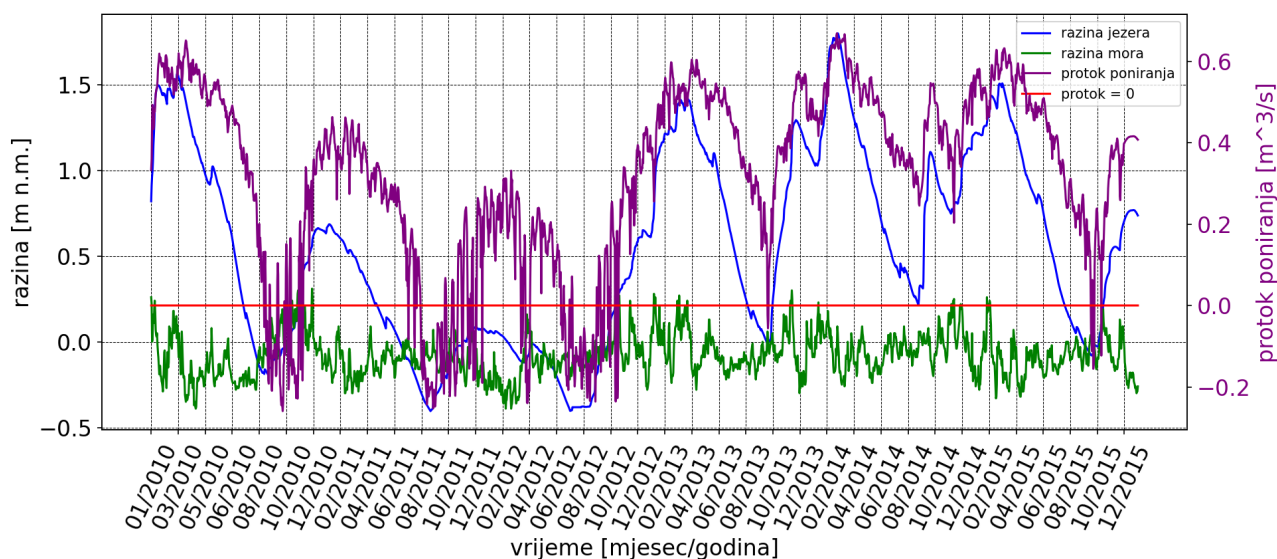
Slika 156: Dekompozicija volumena koji pune i prazne jezero za varijantu akumulacije



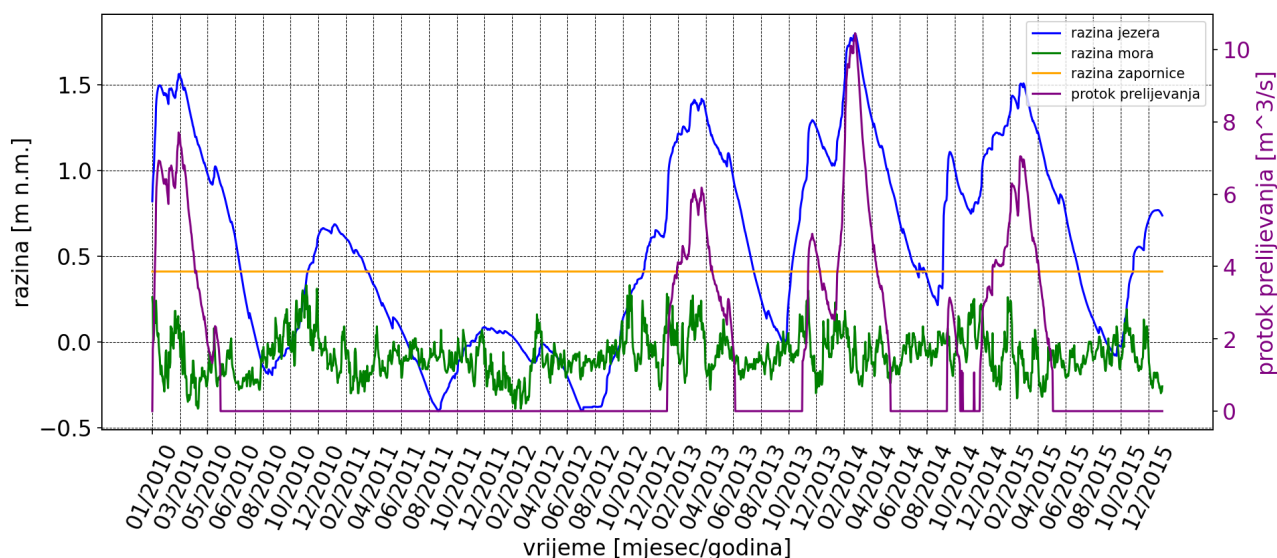
Slika 157: Dekompozicija protoka za varijantu akumulacije



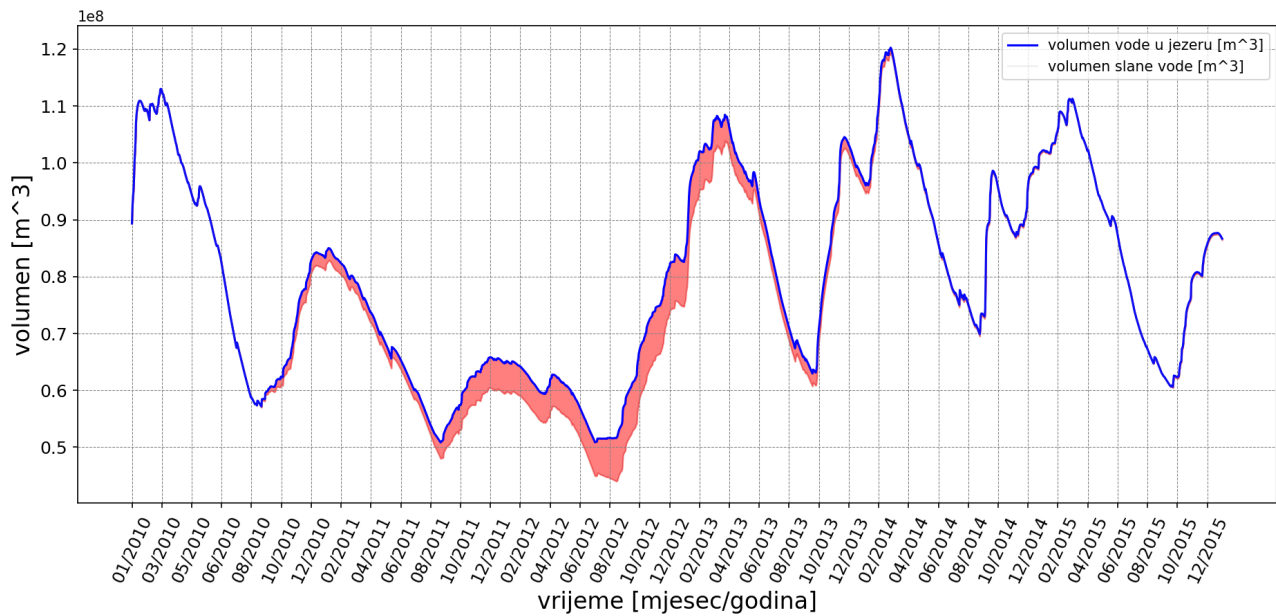
Slika 158: Razine jezera i mora te protok poniranja u jezero za varijantu akumulacije



Slika 159: Razine jezera i mora te protok poniranja u kanalu za varijantu akumulacije



Slika 160: Razine jezera, mora i praga te protok prelijevanja preko praga za varijantu akumulacije



Slika 161: Udio slane vode za varijantu akumulacije

3.6 Kombinirana varijanta zapornice i akumulacije

Završno, ispitana je kombinacija zapornice i akumulacije na slanost i razine vode u jezeru. U tom smislu odabrana se je zapornica obrađena u poglavlju 3.2.2 s jednakim algoritmom rada, dok je algoritam rada akumulacije usvojen ekvivalentan poglavlju 3.5.

Pritom obrađeno je ukupno 7 varijanti. Varijanta 1 predstavlja postojeće stanje, varijanta 2 zapornicu bez akumulacije, dok su varijante 3 do 7 kombinacije zapornice i akumulacija (algoritam rada za varijantu 3 istovrstan je algoritmu rada varijante 2 za akumulacije itd.).

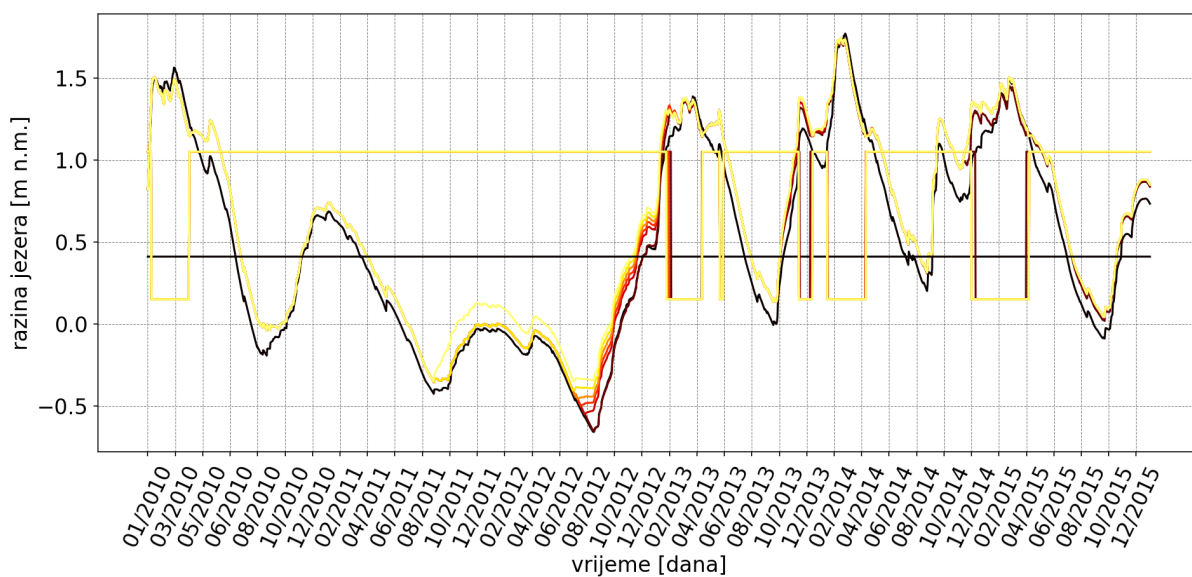
Lokacija predviđena za akumulacije prikazane su na nacrtu [Prikaz lokacija akumulacija Draga i Markovac](#).

Volumeni akumulacija koje zadovoljavaju tako definirane algoritme rada prikazani su na slici 164. Usporedbom tako dobivenih volumena s potrebnim volumenima akumulacija bez kombinacije sa zapornicom može se primijetiti značajno smanjenje volumena akumulacija za isti algoritam rada. Na taj način algoritam rada za varijantu akumulacije bez zapornice pod nazivom varijanta 5 zahtijevao je potreban volumen od 23.328.000 m³, dok istovrsni algoritam u kombinaciji sa zapornicom zahtjeva volumen od 15.292.800 m³. Navedeno smanjenje u značajnoj je mjeri rezultat podizanja razine jezera pod utjecajem zapornice u prethodnoj, 2011. godini te se posljedično algoritam rada akumulacije aktivirao isključivo u 2012. godini. Prikaz razina jezera i algoritma rada zapornice po varijantama prikazan je na slici 162. Kao i za varijante akumulacije, podignute su minimalne razine jezera, dok su maksimalne razine neznatno promijenjene po varijantama (slika 163).

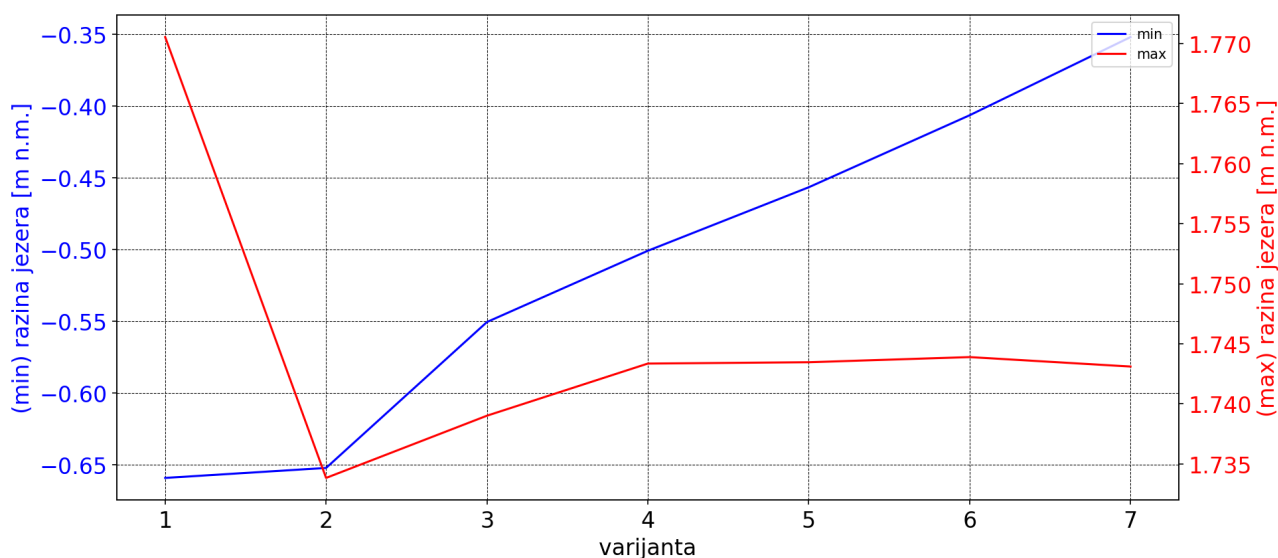
Pritom, vrijedi primijetiti da je prihranjivanje jezera iz akumulacije pripomoglo u smanjenju vršne slanosti u odnosu na samostalnu primjenu zapornice (slika 164), dok je trajanje slanosti iznad primjerice 2 ‰, neznatno smanjena (slika 165).

Punjenje i pražnjenje slane vode u volumenu jezera za kombiniranu varijantu zapornice i akumulacije 6 prikazano je na slici 171.

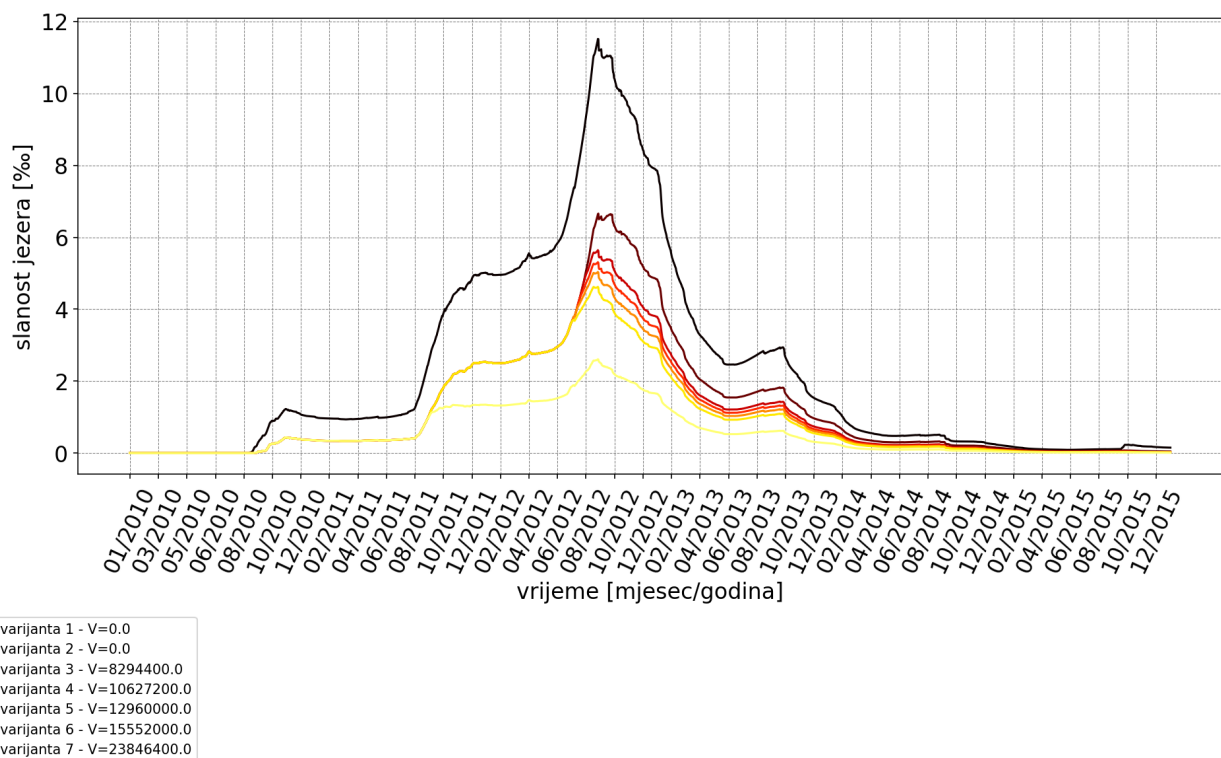
Na slici 166 prikazana je dekompozicija volumena za projektirano stanje (varijanta akumulacije 5), na slici 167 dekompozicija protoka, na slici 168 protok poniranja u jezero, na slici 169 protok poniranja u kanalu, te na slici 170 protok prelijevanja preko praga.



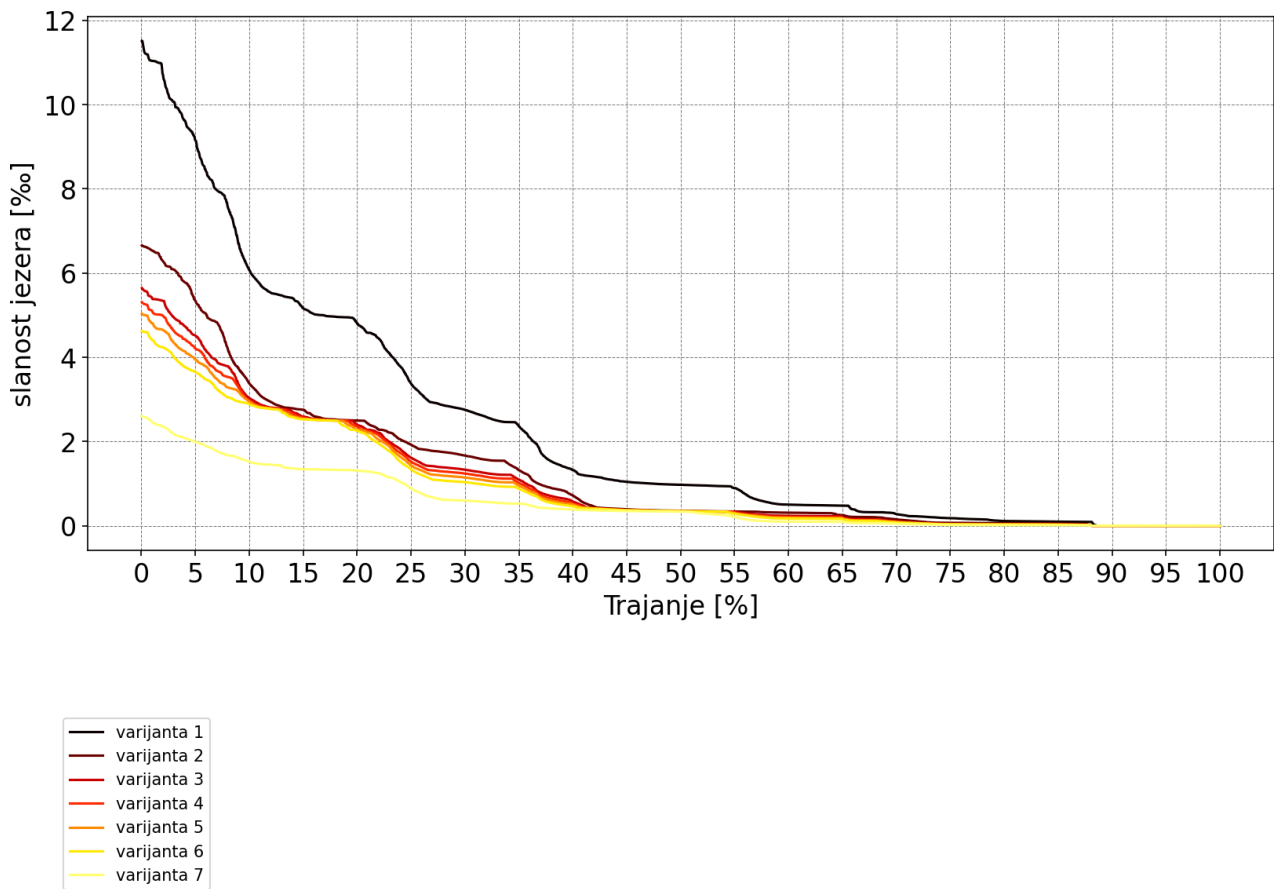
Slika 162: Usporedba razina jezera za kombiniranu varijantu zapornice i akumulacije u odnosu na postojeće stanje s prikazom rada zapornice



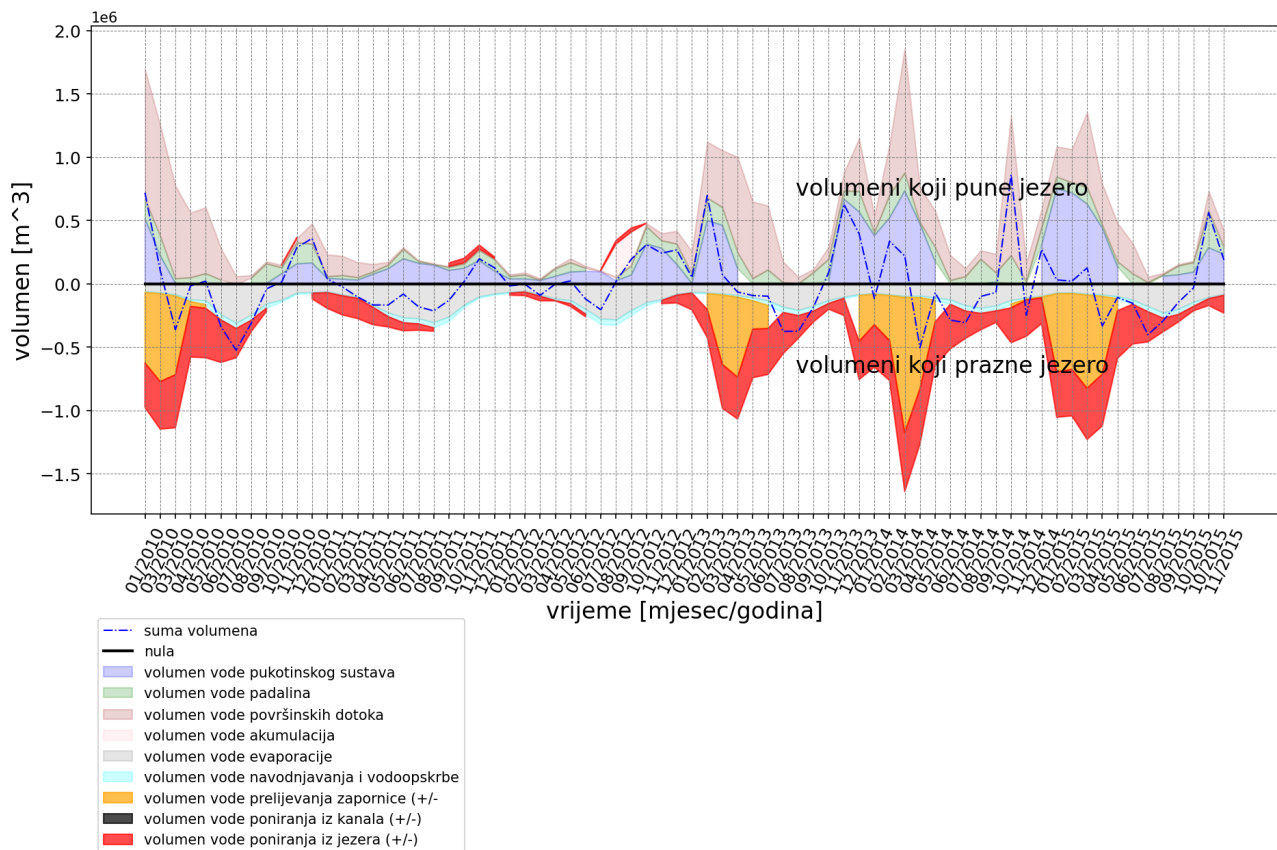
Slika 163: Usporedba minimalnih i maksimalnih razina jezera za kombiniranu varijantu zapornice i akumulacije u odnosu na postojeće stanje



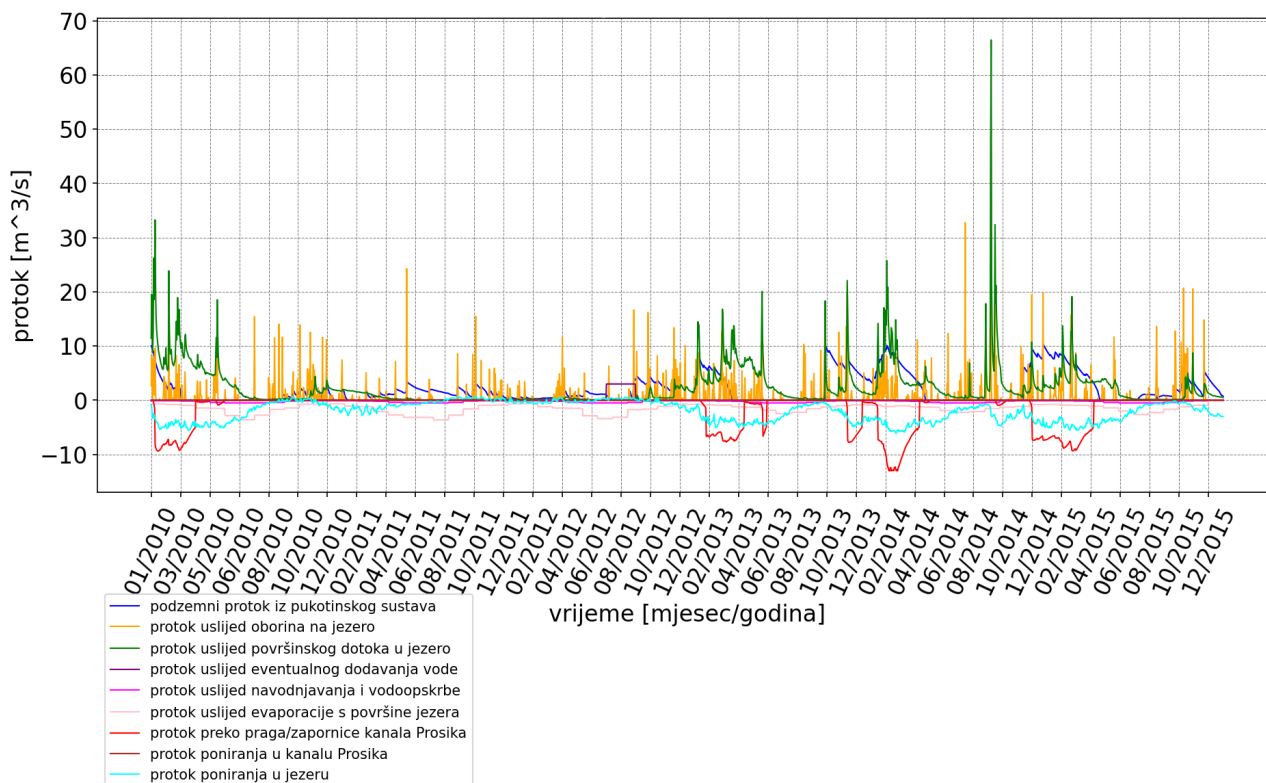
Slika 164: Usporedba slanosti jezera za kombiniranu varijantu zapornice i akumulacije u odnosu na postojeće stanje



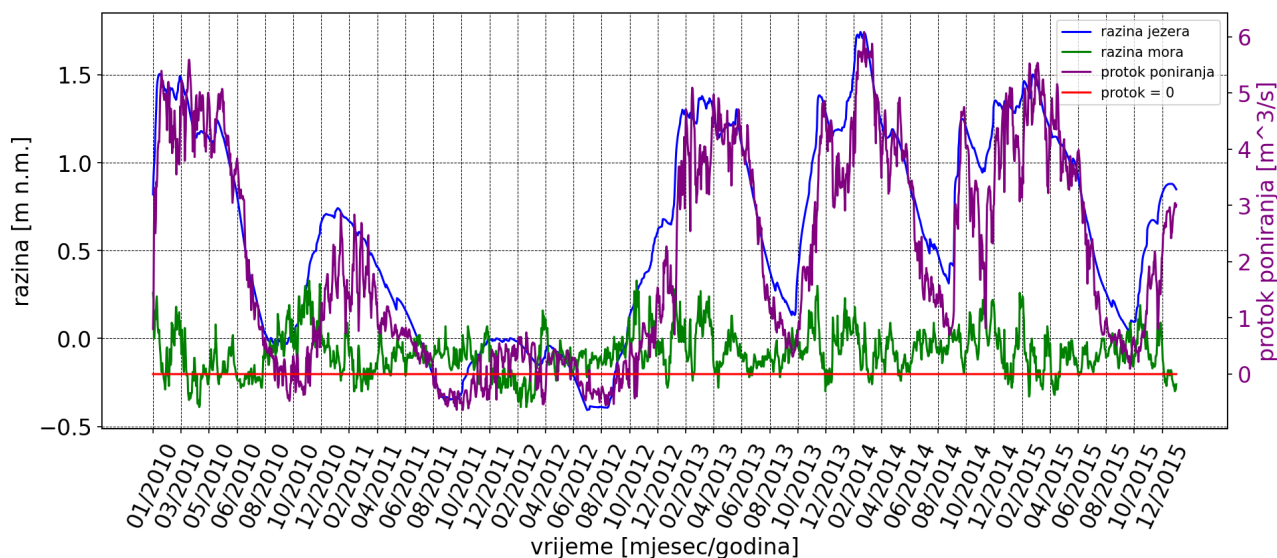
Slika 165: Usporedba trajanja slanosti jezera za kombiniranu varijantu zapornice i akumulacije u odnosu na postojeće stanje



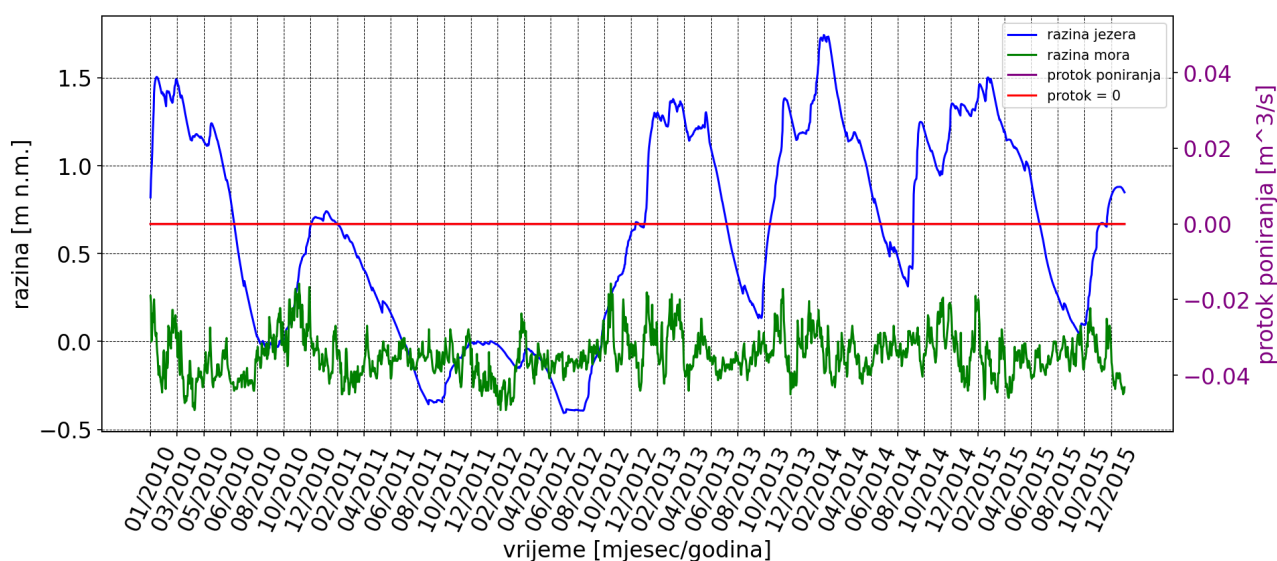
Slika 166: Dekompozicija volumena koji pune i prazne jezero za kombiniranu varijantu zapornice i akumulacije



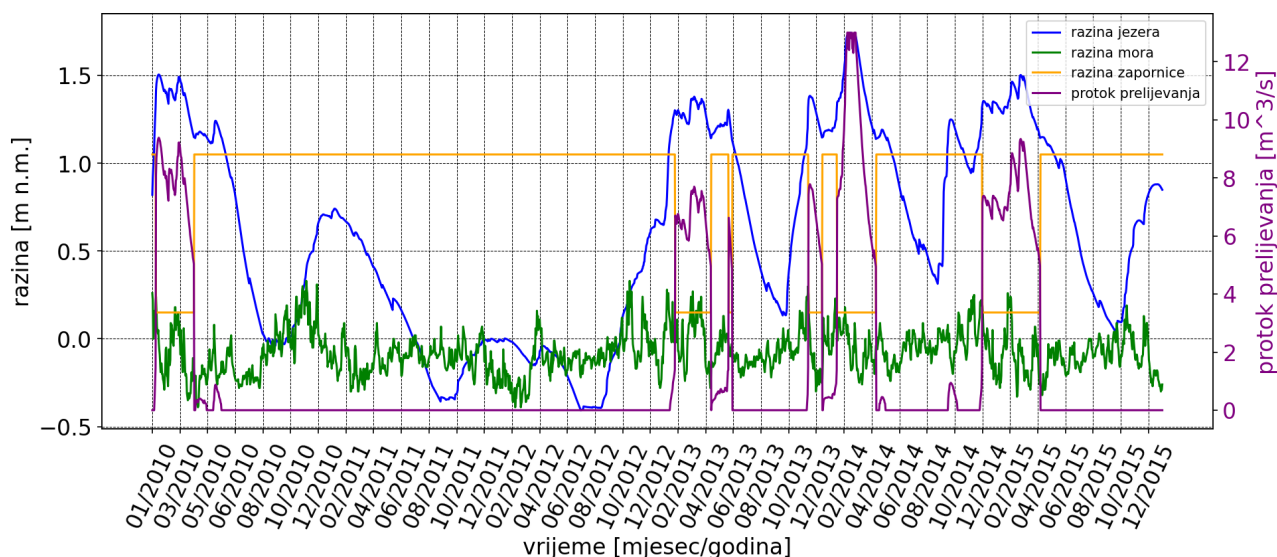
Slika 167: Dekompozicija protoka za kombiniranu varijantu zapornice i akumulacije



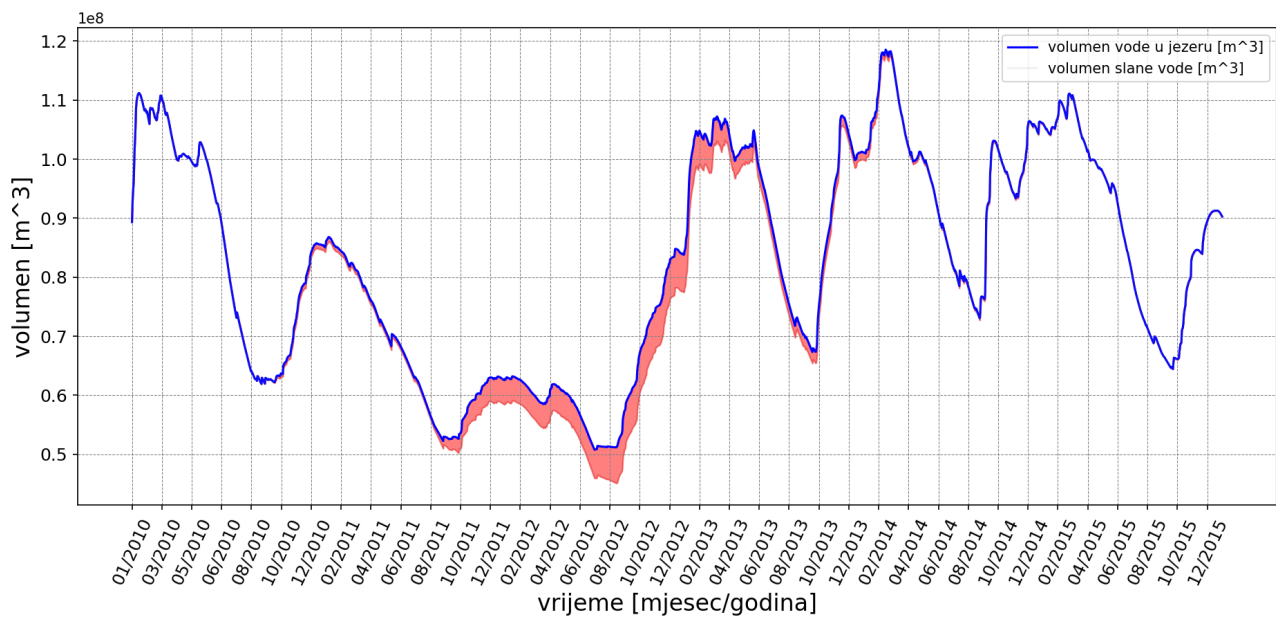
Slika 168: Razine jezera i mora te protok poniranja u jezero za kombiniranu varijantu zapornice i akumulacije



Slika 169: Razine jezera i mora te protok poniranja u kanalu za kombiniranu varijantu zapornice i akumulacije



Slika 170: Razine jezera, mora i praga te protok prelijevanja preko praga za kombiniranu varijantu zapornice i akumulacije

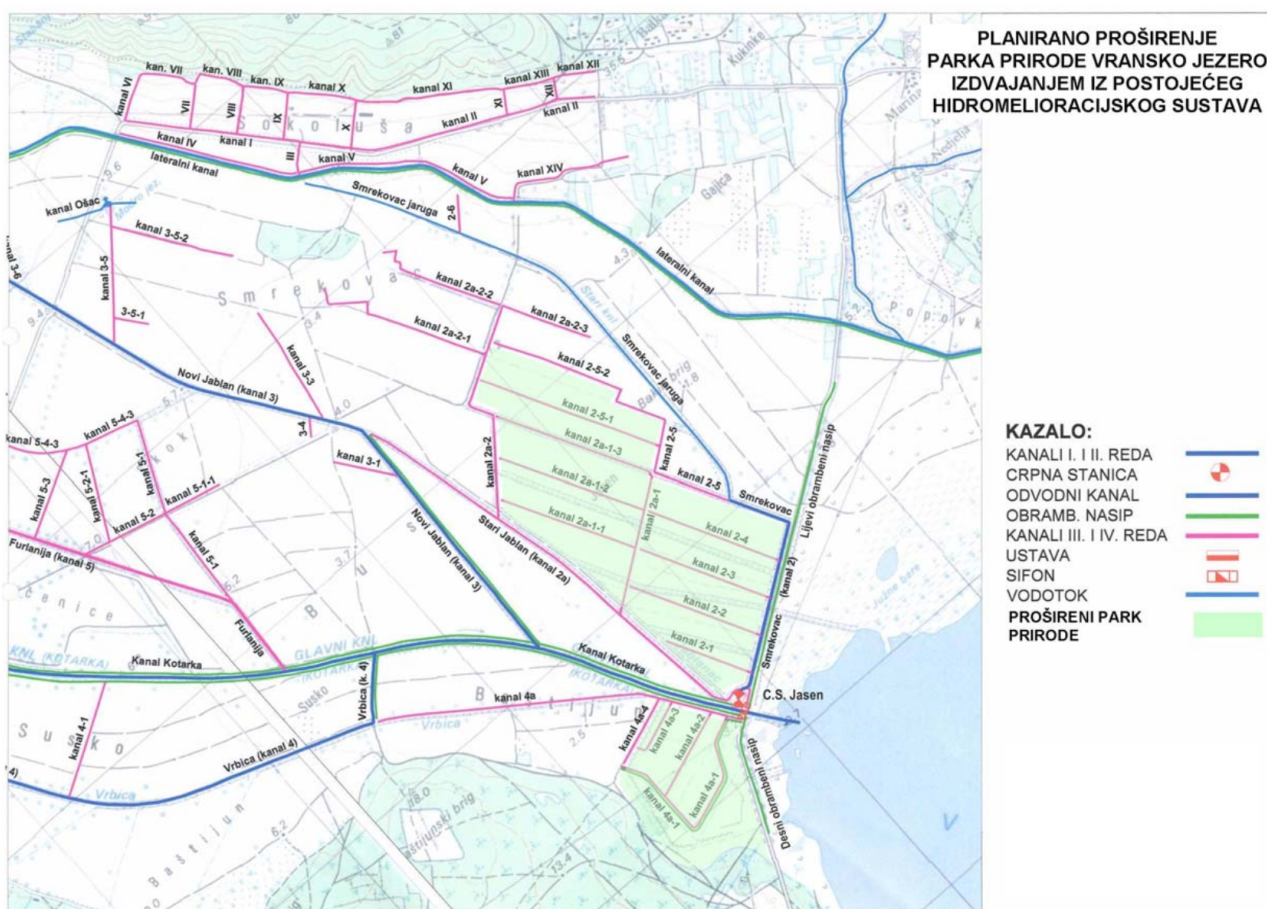


Slika 171: Udio slane vode za kombiniranu varijantu zapornice i akumulacije

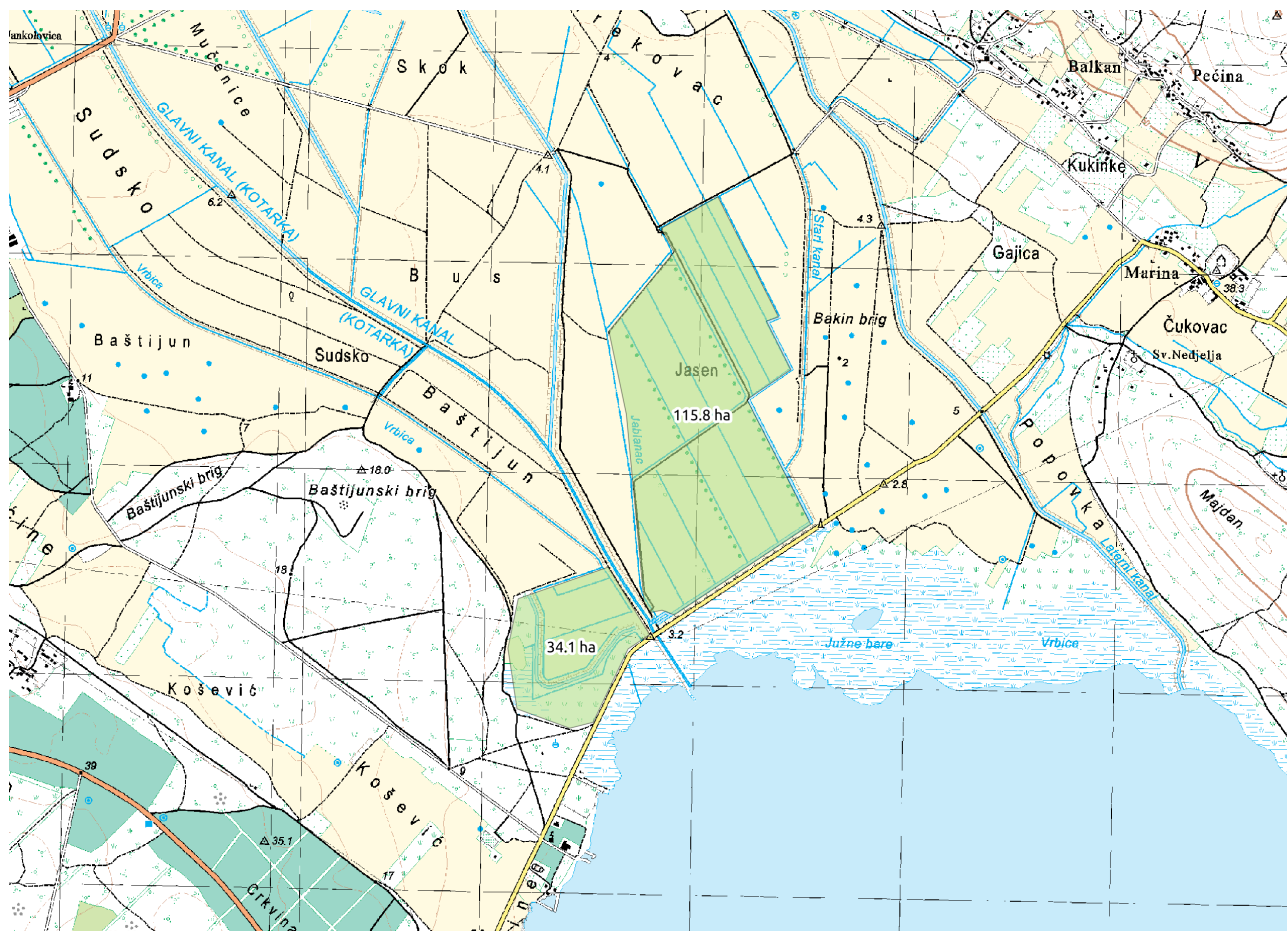
3.7 Retencijski prostor Jasen

U okviru analize varijanti razmotreno je proširenje Parka prirode na prostor Jasen. Prostor se ne bi mogao koristiti za akumuliranje vode budući da bi ona zbog niske razine u potpunosti evaporirala u ljetnim mjesecima. Stoga se ispitao učinak prostora na retencioniranje velikih voda kako bi u kombinaciji sa zahvatima na koritu kanala Prosike služila za obranu od poplava. U okviru ovog rada razmatrano je proširenje tako da je Jasen odvojen od jezera postojećim nasipima kako je prikazano na slici 172. Površine koje bi služile kao retencija prikazane su na slici 173, a njihove krivulje volumena prikazane su na slici 174. Visine su preuzete iz Hrvatske osnovne karte, te bi u slučaju da je potrebno preciznije definiranje visina bilo potrebno provesti snimanja terena.

Smanjenje razine vode u jezeru za slučaj retencioniranja vode na području Jasen prikazano je u tablici 7. Može se primijetiti da je smanjenje vode neznatno, razine 3 cm za stogodišnje vode, te se zaključuje da proširenje Parka prirode na Jasen ne bi imalo značajan utjecaj na obranu od poplava. Iz tog razloga ova se varijanta dalje ne razmatra. Ipak, proširenje bi imalo značajan ekološki učinak, iz tog aspekta je vrijedno za razmatranje te je imajući to u vidu navedeno proširenje obrađeno u [4].



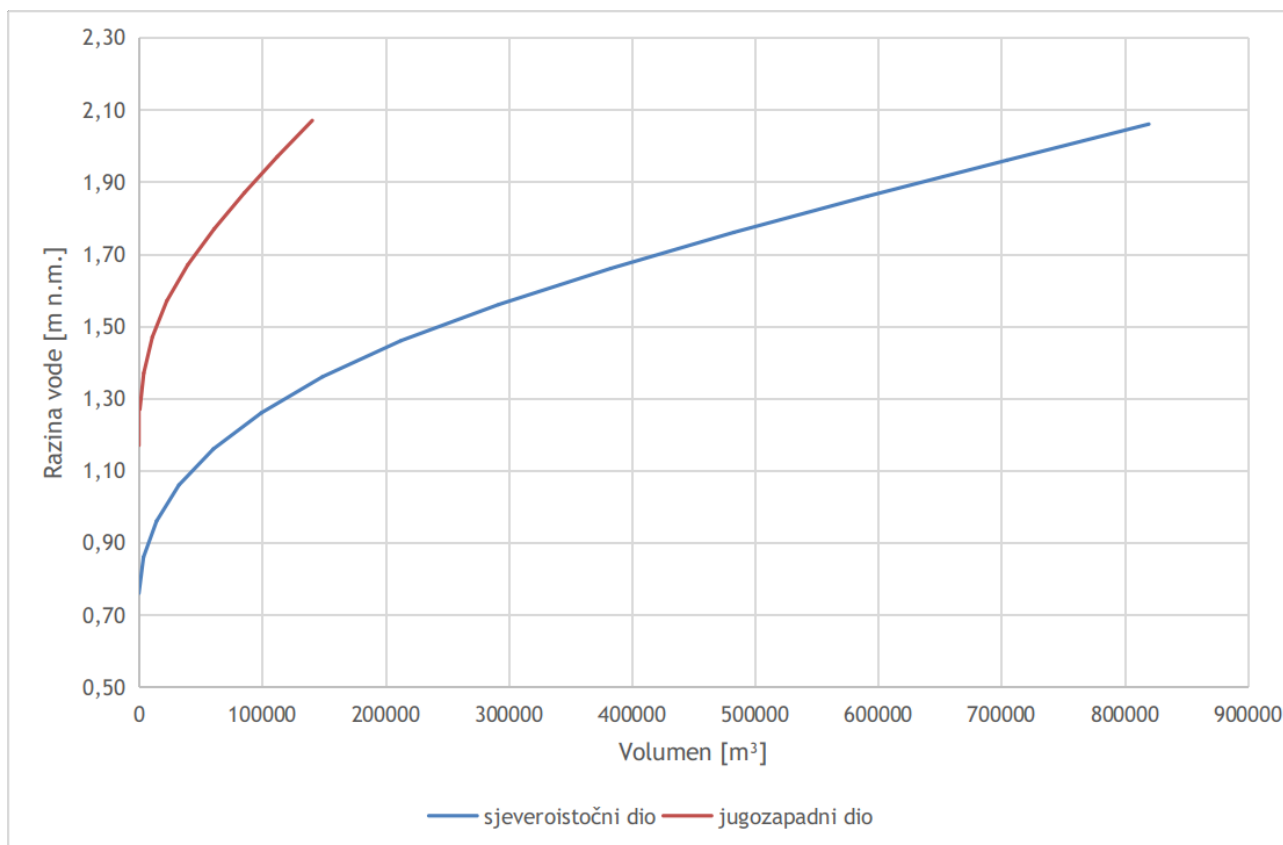
Slika 172: Prikaz proširenja Parka prirode na područje Jasen prema [4].



Slika 173: Prikaz planiranog proširenja s površinama sjeveroistočnog i jugozapadnog dijela.

Tablica 7: Razine vode u jezeru za velike vode za postojeće stanje i planirano proširenje Parka prirode na područje Jasen.

Povratni period [god.]	Postojeće		S proširenjem na područje Jasen			Razlika u razinama vode [m]
	Razina jezera [m n.m.]	Volumen jezera [10^6 m ³]	Razina jezera [m n.m.]	Volumen jezera [10^6 m ³]	Volumen retencije [10^6 m ³]	
100	2,04	127,366	2,01	126,48	0,886	0,03
50	1,92	123,843	1,9	123,113	0,73	0,02
20	1,73	118,134	1,72	117,641	0,493	0,01
10	1,57	113,217	1,56	112,904	0,313	0,01
5	1,36	106,642	1,36	106,489	0,153	0,00
2	0,97	94,182	0,97	94,166	0,016	0,00

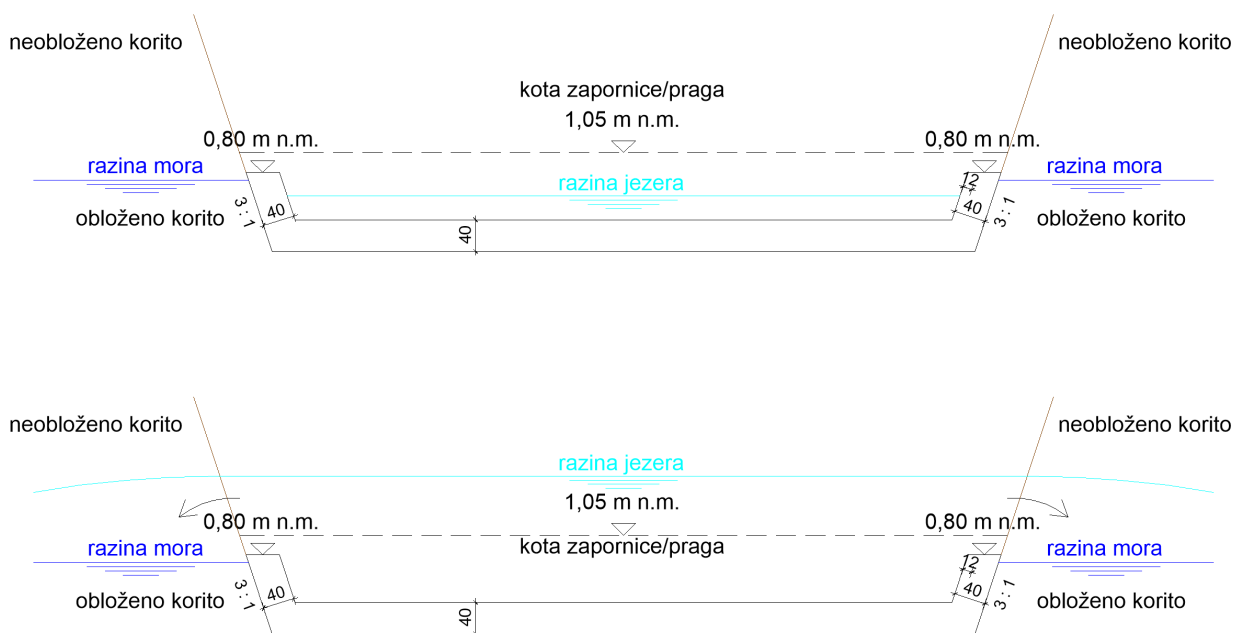


Slika 174: Krivulje volumena za područja proširenja.

3.8 Oblaganje kanala i efekt zaslađivanja grebena

Razina na koju se oblaže kanal određena je u skladu s minimalnom kotom praga, te je usvojena kao kota 0,80 m n.m. Naime, premda je u glavnom projektu zapornice odabrana kota oblaganja 1,90 m n.m., istom je kanal u potpunosti nepropustan budući da su svi zabilježeni vodostaji jezera ispod navedene kote te je spriječena mogućnost zaslađivanja grebena i istiskivanja mora u trenucima kada je razina jezera visoka. Predložena kota oblaganja kanala u sklopu ove analize i željeni efekt zaslađivanja grebena prikazan je na slici 175. Naime, projektiranom oblogom na koti 0,80 m n.m. nastoji se postići sprječavanje direktnog prodora mora u kanal prilikom visokih razina mora, a istovremeno omogućiti da jezero istiskuje more iz grebena prilikom viših vodostaja jezera. Navedena kota ujedno bi trebala biti dostatna kroz period od oko 50 godina u kontekstu očekivanog porasta mora, ukoliko se gledaju maksimalne dnevne razine.

Za ciljani efekt poželjno je da je prag/zapornica pozicionirana što nizvodnije čime se navedeni efekt zaslađivanja grebena postiže na što je moguće većoj duljini, te se ujedno more istiskuje dalje od jezera. Uz navedeno efekt će biti izraženiji što je prag/zapornica na višoj koti čime će se vrijeme trajanja većih razina vodostaja u jezeru produljiti i posljedično utjecati na produljenje trajanja efekta zaslađivanja grebena. Pozicija zapornice predviđena je u skladu s pozicijom predviđenom u glavnom projektu, dok



Slika 175: Kota oblaganja kanala i ciljani efekt zaslađivanja grebena

su varijante praga predviđene uzvodno od mosta na dionici D8, budući da bi pozicioniranje nizvodnije bilo nepovoljnije zbog protočne moći mostova. Naime, potrebno proširenje uzvodnog korita je veće od nizvodnog u varijantama fiksnog praga, te je ekonomski isplativije i opravdano pozicionirati prag uzvodno od pozicije mostova. U skladu s navedenim, pozicija zapornice nalazi se najnižvodnije od svih varijanti.

Nadalje, potrebno je naglasiti da je širenje korita Prosika u povijesnom smislu imalo i negativne konotacije, prvenstveno u pogledu povećanja propusne moći grebena uzdužno od kanala na relaciji jezero - more. Upotreba eksplozivnih sredstava nepovoljno je utjecala na okršene strukture grebena čime se oslabila stijenska masa i povećala njezina propusnost. Time se paralelni sustav pukotina uz sam kanal povećao i time počeo provoditi veću količinu vode iz mora u jezero uz sam kanal. Stoga je potrebno, ako miniranje nije moguće u potpunosti izbjeći, isto svesti na najmanju moguću mjeru. Pritom, opravdano je očekivati da ako za ista bude bilo potrebe današnja miniranja oštećuju znatno manje stijensku masu u odnosu na nekadašnja. Stoga se je negativan efekt povećanja propusne moći grebena u ovisnosti o proširenju korita izostavio iz višekriterijalne analize.

Prilikom analiziranja različitih varijanti, provela se je i analiza vremena trajanja vodostaja za analizirani period iznad kote 0,80 m n.m. za svaku varijantu. U tom smislu rezultati numeričkog modela za 6 godišnje razdoblje su sljedeći. Za postojeće stanje 33,7 % vremena vodostaji jezera su iznad kote 0,80 m n.m.. Za varijantu prema glavnom projektu zapornice taj period se penje na 41,2 %, dok je za korigiranu varijantu zapornice 39,8 %. Za varijantu nizvodnog praga na koti 0,50 m n.m.

iznosi 32,7 %, na koti 0,60 m n.m. 35,2 %, na koti 0,80 m n.m. 38,2 %, na koti 1,05 m n.m. 40,6 %. Za varijantu praga s jezerske strane na koti 0,80 m n.m. iznosi 38,2 %, dok za varijantu na koti 1,05 m n.m. iznosi 40,4 %.

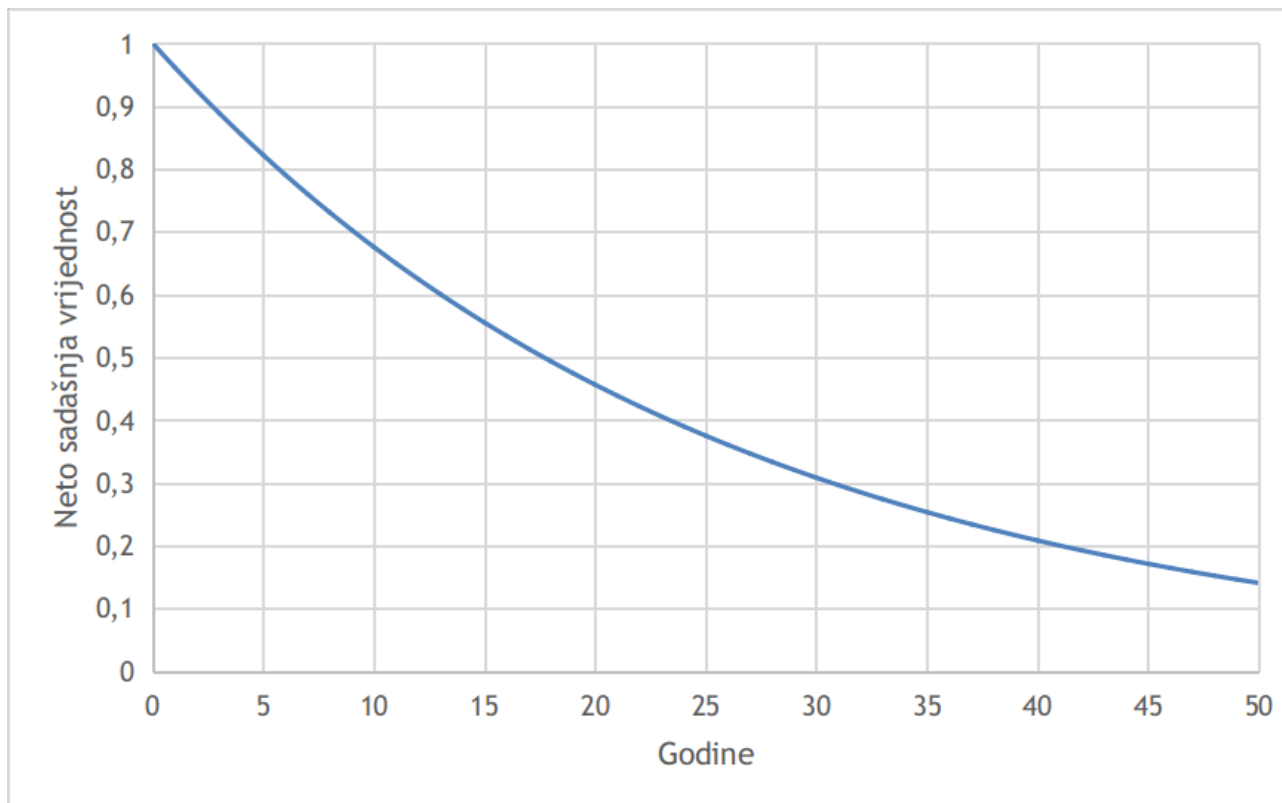
Vrijedi primijetiti da za varijantu praga na koti 0,50 m n.m. će se vrijeme trajanja vodostaja iznad kote 0,80 m n.m. u odnosu na postojeće stanje čak nešto malo i spustiti, što je kontraintuitivno obzirom da se je korito obložilo te podigla razina praga za 9 cm u odnosu na postojeće stanje, međutim uvidom u graf vodostaja može se vidjeti da je navedeni efekt u najvećoj mjeri rezultat snižavanja razina voda za veće vodostaje, dok je za male vodostaje razina u jezeru čak nešto i podignuta. Efekt podizanja vode u jezeru više je izražen za veće kote pragova/zapornica, što se može jasno vidjeti iz grafičkih prikaza razine jezera svake pojedine varijante, kao i navedenih trajanja vodostaja iznad kote 0,80 m n.m. Pritom slanost se u jezeru najznačajnije smanjuje zbog efekta oblaganja korita.

3.9 Cjeloživotni troškovi

Uzimajući u obzir zaključke iz prethodnih poglavlja, za procjenu cjeloživotnih troškova i višekriterijalnu analizu razmatraju se sljedeće varijante:

- **Varijanta ZA1** Zapornica prema glavnom projektu
- **Varijanta ZA2** Korigirana varijanta zapornice
- **Varijanta PR1-0,5** Prag 0,5 m n.m. na nizvodnoj strani
- **Varijanta PR1-0,8** Prag 0,8 m n.m. na nizvodnoj strani
- **Varijanta PR2-0,8** Prag 0,8 m n.m. s jezerske strane
- **Varijanta PR1-1,05** Prag 1,05 m n.m. na nizvodnoj strani
- **Varijanta PR2-1,05** Prag 1,05 m n.m. s jezerske strane
- **Varijanta ZA2+AK-15** Kombinirana varijanta zapornice i akumulacije neto volumena 15 mil. m³
- **Varijanta ZA2+AK-8** Kombinirana varijanta zapornice i akumulacije neto volumena 8 mil. m³

Cjeloživotni troškovi predstavljaju ukupne investicijske i tekuće troškove u vijeku trajanja građe-



Slika 176: Neto sadašnja vrijednost, odnosno diskontirana vrijednost jedne novčane jedinice (u ovom radu to je HRK) za razdoblje od 50 godina uz diskontnu stopu 4%.

vine. Vijek trajanja je 50 godina, a tekući troškovi su diskontirani uz diskontnu stopu 4% te se proračunavaju na sljedeći način:

$$T_{uk.} = \sum_{t=0}^n \frac{T}{(1+i)^t} \tag{44}$$

u kojoj je:

⇒ $T_{uk.}$ ukupni diskontirani tekući trošak u HRK,

⇒ T godišnji tekući trošak u HRK,

⇒ $i = 4\%$ diskontna stopa,

⇒ n vijek trajanja građevine u godinama.

Primjer diskontiranja prikazan je na slici 176.

3.9.1 Zapornice i pragovi

Investicijski troškovi zapornice/praga definirani su na sljedeći način:

- Jedinične cijene za građevinske radove definirane su pomoću Standardne kalkulacije za radove u visokogradnji Bilten IX. - 2019. [1], aproksimativnog troškovnika za idejni projekt zapornice na kanalu Prosika na Vranskom jezeru [18], te vlastitih iskustava i dostupnih podataka izrađivača studije
- cijena hidromehaničke opreme je procijenjena na 3.000.000 HRK na temelju prošlih saznanja i usporedbom s drugim građevinama ove vrste
- cijena nadzorno upravljačkog sustava je procijenjena na 250.000 HRK na temelju iskustva
- cijene riblje staze (za varijantu prema glavnom projektu) i upravljačke kućice preuzete su iz aproksimativnog troškovnika za idejni projekt
- u pripremne radove uključena je izvedba zagata da bi se omogućio rad u suhom
- količina armature je procijenjena na 80 kg/m³ betona
- nepredviđeni radovi kao 10% ukupnih radova
- projektiranje i nadzor kao 10% vrijednosti svih radova

Godišnji tekući troškovi odnose se na troškove održavanja i električne energije. Troškovi održavanja se proračunavaju kao postotak vrijednosti investicije:

- za konstrukciju 0,25%
- za hidromehaničku opremu 1%
- za bravarske i završne radove 3%
- za nadzorno upravljački sustav 1%

Troškovi električne energije se proračunavaju kao:

- trošak radne energije 0,50 HRK/kWh ; mjerodavna potrošnja je pretpostavljena kao 5000 kWh/god. uz napomenu da je energija koja se troši na podizanje odnosno spuštanje zapornice nekoliko puta godišnje neznatna
- naknada za obnovljive izvore energije 0,105 HRK/kWh (prema *Odluci o naknadi za obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju NN 87/2017*)

- trošak radne snage 26 HRK/kW ; mjerodavna radna snaga je 7,7 kW kako je navedeno u idejnom projektu zapornice [18]
- naknada za mjernu uslugu 66 HRK/mj.

Investicijski i tekući troškovi zapornica prikazani su u tablici 8 za varijantu ZA1 (zapornica prema glavnom projektu) i tablici 9 za varijante ZA2, ZA2+AK-15 i ZA2+AK-8 (varijante koje uključuju korigiranu zapornicu). Investicijski i tekući troškovi pragova prikazani su u tablici 10 za varijantu PR1-0,5 (prag 0,5 m n.m. nizvodno), tablici 11 za varijantu PR1-0,8 (prag 0,8 m n.m. nizvodno), tablici 12 za varijantu PR2-0,8 (prag 0,8 m n.m. uzvodno), tablici 13 za varijantu PR1-1,05 (prag 1,05 m n.m. nizvodno) i tablici 14 za varijantu PR2-1,05 (prag 1,05 m n.m. uzvodno).

Tablica 8: Investicijski i tekući troškovi izgradnje i održavanja zapornice za varijantu ZA1 (zapornica prema glavnom projektu).

INVESTICIJSKI TROŠKOVI

stavka	ukupno
pripremni radovi	100.000,00
zemljani radovi	22.500,00
betonski radovi	237.500,00
armirački radovi	238.600,00
zidarski radovi	33.300,00
završni radovi	38.100,00
bravarski radovi	136.000,00
nepredviđeni radovi	80.600,00
hidromehanička oprema	3.054.000,00
projektiranje i nadzor	394.060,00
dovod električne energije	180.000,00
nadzorno upravljački sustav	250.000,00
ukupno	4.764.660,00

GODIŠNJI TROŠKOVI ODRŽAVANJA

stavka	cijena inv.	% / god.	ukupno
konstrukcija	509.400,00	0,25%	1.273,50
hidromehanička oprema	3.054.000,00	1,00%	30.540,00
bravarija + zavr. radovi	174.100,00	3,00%	5.223,00
nadzorno upravljački sustav	250.000,00	1,00%	2.500,00

GODIŠNJI TROŠKOVI ELEKTRIČNE ENERGIJE

stavka	j.m.	kol.	j.c.	ukupno
radna energija	kWh/god.	5.000,00	0,50	2.500,00
naknada za o.i.e.	kWh/god.	5.000,00	0,11	525,00
vršna radna snaga	kW/mj.	7,70	26,00	2.402,40
naknada za o.m.m.	mj.	12	66,00	792,00
ukupno održavanje + el.en.:				45.755,90

Tablica 9: Investicijski i tekući troškovi izgradnje i održavanja zapornice za varijante ZA2, ZA2+AK-15 i ZA2+AK-8 (varijante koje uključuju korigiranu zapornicu).

INVESTICIJSKI TROŠKOVI

stavka	ukupno
pripremni radovi	100.000,00
zemljani radovi	22.500,00
betonski radovi	127.500,00
armirački radovi	105.600,00
zidarski radovi	33.300,00
završni radovi	38.100,00
bravarski radovi	80.000,00
nepredviđeni radovi	50.700,00
hidromehanička oprema	3.000.000,00
projektiranje i nadzor	355.770,00
dovod električne energije	180.000,00
nadzorno upravljački sustav	250.000,00
ukupno	4.343.470,00

GODIŠNJI TROŠKOVI ODRŽAVANJA

stavka	cijena inv.	% / god.	ukupno
konstrukcija	266.400,00	0,25%	666,00
hidromehanička oprema	3.000.000,00	1,00%	30.000,00
bravarija + zavr. radovi	118.100,00	3,00%	3.543,00
nadzorno upravljački sustav	250.000,00	1,00%	2.500,00

GODIŠNJI TROŠKOVI ELEKTRIČNE ENERGIJE

stavka	j.m.	kol.	j.c.	ukupno
radna energija	kWh/god.	5.000,00	0,50	2.500,00
naknada za o.i.e.	kWh/god.	5.000,00	0,11	525,00
vršna radna snaga	kW/mj.	7,70	26,00	2.402,40
naknada za o.m.m.	mj.	12	66,00	792,00
ukupno održavanje + el.en.:				42.928,40

Tablica 10: Investicijski i tekući troškovi izgradnje i održavanja praga za varijantu PR1-0,5 (prag 0,5 m n.m. nizvodno).

INVESTICIJSKI TROŠKOVI				
stavka	j.m.	kol.	j.c.	ukupno
povišenje praga	paušal	1,00	5.000,00	5.000,00

GODIŠNJI TROŠKOVI ODRŽAVANJA			
stavka	cijena inv.	% / god.	ukupno
cijela konstrukcija		procjena	200,00

Tablica 11: Investicijski i tekući troškovi izgradnje i održavanja praga za varijantu PR1-0,8 (prag 0,8 m n.m. nizvodno).

INVESTICIJSKI TROŠKOVI				
stavka	j.m.	kol.	j.c.	ukupno
pripremni radovi	paušal	1,00	50.000,00	50.000,00
široki iskop	m ³	110,87	80,00	8.869,60
odvoz materijala	m ³	110,87	40,00	4.434,80
betonski radovi	m ³	48,80	1.000,00	48.800,00
armirački radovi	kg	3.904,00	11,30	44.115,20
zidarski radovi	m ³	14,73	250,00	3.682,50
nepredviđeni radovi		10% ukupnih radova		15.990,21
projektiranje i nadzor		10% ukupnih investicijskih troškova		17.589,23
			ukupno:	193.481,54

GODIŠNJI TROŠKOVI ODRŽAVANJA			
stavka	cijena inv.	% / god.	ukupno
konstrukcija	96.597,70	0,25%	241,49

Tablica 12: Investicijski i tekući troškovi izgradnje i održavanja praga za varijantu PR2-0,8 (prag 0,8 m n.m. uzvodno).

INVESTICIJSKI TROŠKOVI				
stavka	j.m.	kol.	j.c.	ukupno
pripremni radovi	paušal	1,00	100.000,00	100.000,00
široki iskop	m ³	-	80,00	-
odvoz materijala	m ³	-	40,00	-
betonski radovi	m ³	54,12	1.000,00	54.120,00
armirački radovi	kg	4.329,60	11,30	48.924,48
zidarski radovi	m ³	12,75	250,00	3.187,50
nepredviđeni radovi	10% ukupnih radova			20.623,20
projektiranje i nadzor	10% ukupnih investicijskih troškova			22.685,52
ukupno:				249.540,70

GODIŠNJI TROŠKOVI ODRŽAVANJA			
stavka	cijena inv.	% / god.	ukupno
konstrukcija	106.231,98	0,25%	265,58

Tablica 13: Investicijski i tekući troškovi izgradnje i održavanja praga za varijantu PR1-1,05 (prag 1,05 m n.m. nizvodno).

INVESTICIJSKI TROŠKOVI				
stavka	j.m.	kol.	j.c.	ukupno
pripremni radovi	paušal	1,00	50.000,00	50.000,00
široki iskop	m ³	400,52	80,00	32.041,60
odvoz materijala	m ³	400,52	40,00	16.020,80
betonski radovi	m ³	87,63	1.000,00	87.630,00
armirački radovi	kg	7.010,40	11,30	79.217,52
zidarski radovi	m ³	25,50	250,00	6.375,00
nepredviđeni radovi	10% ukupnih radova			27.128,49
projektiranje i nadzor	10% ukupnih investicijskih troškova			29.841,34
ukupno:				328.254,75

GODIŠNJI TROŠKOVI ODRŽAVANJA			
stavka	cijena inv.	% / god.	ukupno
konstrukcija	173.222,52	0,25%	433,06

Tablica 14: Investicijski i tekući troškovi izgradnje i održavanja praga za varijantu PR2-1,05 (prag 1,05 m n.m. uzvodno).

INVESTICIJSKI TROŠKOVI				
stavka	j.m.	kol.	j.c.	ukupno
pripremni radovi	paušal	1,00	100.000,00	100.000,00
široki iskop	m ³	-	80,00	-
odvoz materijala	m ³	-	40,00	-
betonski radovi	m ³	106,98	1.000,00	106.980,00
armirački radovi	kg	8.558,40	11,30	96.709,92
zidarski radovi	m ³	21,68	250,00	5.420,00
nepredviđeni radovi	10% ukupnih radova			30.910,99
projektiranje i nadzor	10% ukupnih investicijskih troškova			34.002,09
ukupno:				374.023,00

GODIŠNJI TROŠKOVI ODRŽAVANJA			
stavka	cijena inv.	% / god.	ukupno
konstrukcija	209.109,92	0,25%	522,77

3.9.2 Korita

Investicijski troškovi korita definirani su na sljedeći način:

- Jedinične cijene za radove širenja i oblaganja korita definirane su pomoću Standardne kalkulacije za radove u visokogradnji Bilten IX. - 2019. [1], aproksimativnog troškovnika za Idejni projekt zapornice na kanalu Prosika na Vranskom jezeru [18], te vlastitih iskustava i dostupnih podataka izrađivača studije
- količina armature je definirana kao 16 kg/m³ betonske obloge, što odgovara ugradnji armaturnih mreža Q-196 s uključenim preklapanjem, kako je predviđeno glavnim projektom Zapornica na kanalu Prosika na Vranskom jezeru [2]
- nepredviđeni radovi kao 10% ukupnih radova
- otkup zemljišta 80 HRK/m²
- projektiranje i nadzor kao 10% vrijednosti svih radova
- cijene rekonstrukcije mostova za varijantu 6 procijenjene su na temelju cijena sličnih projekata

Godišnji tekući troškovi odnose se na troškove održavanja konstrukcije te se proračunavaju kao 0,25% vrijednosti konstrukcije (beton, armatura, kamena obloga i brtve).

Investicijski i tekući troškovi korita prikazani su u tablici 15 za varijantu ZA1 (zapornica prema glavnom projektu), tablici 16 za varijante ZA2, PR1-0,5, ZA2+AK-15 i ZA2+AK-8 (varijante koje uključuju korigiranu zapornicu, te prag 0,5 m n.m. nizvodno), tablici 17 za varijantu PR1-0,8 (prag 0,8 m n.m. nizvodno), tablici 18 za varijantu PR2-0,8 (prag 0,8 m n.m. uzvodno), tablici 19 za varijantu PR1-1,05 (prag 1,05 m n.m. nizvodno) i tablici 20 za varijantu PR2-1,05 (prag 1,05 m n.m. uzvodno).

Tablica 15: Investicijski i tekući troškovi izgradnje i održavanja korita za varijantu ZA1 (zapornica prema glavnom projektu).

INVESTICIJSKI TROŠKOVI				
stavka	j.m.	kol.	j.c.	ukupno
uklanjanje grmlja	m ²	9.005,50	7,50	67.541,25
široki iskop	m ³	-	80,00	-
odvoz materijala	m ³	-	40,00	-
betoniranje obloge	m ³	2.890,75	800,00	2.312.600,00
armirački radovi	kg	46.252,00	11,30	522.647,60
izvedba kamene obloge	m ³	1.736,00	250,00	434.000,00
ugradnja dilatacije	m	297,00	400,00	118.800,00
otkup zemljišta	m ²	-	80,00	-
nepredviđeni radovi		10% ukupnih radova		345.558,89
nadzor		4% ukupnih investicijskih troškova		152.045,91
			ukupno:	3.953.193,64

GODIŠNJI TROŠKOVI ODRŽAVANJA			
stavka	cijena inv.	% / god.	ukupno
konstrukcija	3.388.047,60	0,25%	8.470,12

Tablica 16: Investicijski i tekući troškovi izgradnje i održavanja korita za varijante ZA2, PR1-0,5, ZA2+AK-15 i ZA2+AK-8 (varijante koje uključuju korigiranu zapornicu).

INVESTICIJSKI TROŠKOVI				
stavka	j.m.	kol.	j.c.	ukupno
uklanjanje grmlja	m ²	9.005,50	7,50	67.541,25
široki iskop	m ³	3.953,13	80,00	316.250,40
odvoz materijala	m ³	3.953,13	40,00	158.125,20
betoniranje obloge	m ³	2.100,25	800,00	1.680.200,00
armirački radovi	kg	33.604,00	11,30	379.725,20
izvedba kamene obloge	m ³	1.178,00	250,00	294.500,00
ugradnja dilatacije	m	264,25	400,00	105.700,00
otkup zemljišta	m ²	620,00	80,00	49.600,00
nepredviđeni radovi	10% ukupnih radova			300.204,21
projektiranje i nadzor	10% ukupnih investicijskih troškova			330.224,63
ukupno:				3.682.070,88

GODIŠNJI TROŠKOVI ODRŽAVANJA			
stavka	cijena inv.	% / god.	ukupno
konstrukcija	2.460.125,20	0,25%	6.150,31

Tablica 17: Investicijski i tekući troškovi izgradnje i održavanja korita za varijantu PR1-0,8 (prag 0,8 m n.m. nizvodno).

INVESTICIJSKI TROŠKOVI				
stavka	j.m.	kol.	j.c.	ukupno
uklanjanje grmlja	m ²	9.005,50	7,50	67.541,25
široki iskop	m ³	13.919,14	80,00	1.113.531,20
odvoz materijala	m ³	13.919,14	40,00	556.765,60
betoniranje obloge	m ³	2.544,25	800,00	2.035.400,00
armirački radovi	kg	40.708,00	11,30	460.000,40
izvedba kamene obloge	m ³	1.442,00	250,00	360.500,00
ugradnja dilatacije	m	338,00	400,00	135.200,00
otkup zemljišta	m ²	2.419,25	80,00	193.540,00
nepredviđeni radovi	10% ukupnih radova			472.893,85
projektiranje i nadzor	10% ukupnih investicijskih troškova			520.183,23
ukupno:				5.915.555,52

GODIŠNJI TROŠKOVI ODRŽAVANJA			
stavka	cijena inv.	% / god.	ukupno
konstrukcija	2.991.100,40	0,25%	7.477,75

Tablica 18: Investicijski i tekući troškovi izgradnje i održavanja korita za varijantu PR2-0,8 (prag 0,8 m n.m. uzvodno).

INVESTICIJSKI TROŠKOVI				
stavka	j.m.	kol.	j.c.	ukupno
uklanjanje grmlja	m ²	9.005,50	7,50	67.541,25
široki iskop	m ³	9.188,38	80,00	735.070,40
odvoz materijala	m ³	9.188,38	40,00	367.535,20
betoniranje obloge	m ³	2.371,50	800,00	1.897.200,00
armirački radovi	kg	37.944,00	11,30	428.767,20
izvedba kamene obloge	m ³	1.340,75	250,00	335.187,50
ugradnja dilatacije	m	295,00	400,00	118.000,00
otkup zemljišta	m ²	1.736,00	80,00	138.880,00
nepredviđeni radovi	10% ukupnih radova			394.930,16
projektiranje i nadzor	10% ukupnih investicijskih troškova			434.423,17
ukupno:				4.917.534,88

GODIŠNJI TROŠKOVI ODRŽAVANJA			
stavka	cijena inv.	% / god.	ukupno
konstrukcija	2.779.154,70	0,25%	6.947,89

Tablica 19: Investicijski i tekući troškovi izgradnje i održavanja korita za varijantu PR1-1,05 (prag 1,05 m n.m. nizvodno).

INVESTICIJSKI TROŠKOVI				
stavka	j.m.	kol.	j.c.	ukupno
uklanjanje grmlja	m ²	9.005,50	7,50	67.541,25
široki iskop	m ³	44.949,98	80,00	3.595.998,40
odvoz materijala	m ³	44.949,98	40,00	1.797.999,20
betoniranje obloge	m ³	3.891,25	800,00	3.113.000,00
armirački radovi	kg	62.260,00	11,30	703.538,00
izvedba kamene obloge	m ³	2.255,00	250,00	563.750,00
ugradnja dilatacije	m	545,25	400,00	218.100,00
otkup zemljišta	m ²	7.912,00	80,00	632.960,00
nepredviđeni radovi	10% ukupnih radova			1.005.992,69
projektiranje i nadzor	10% ukupnih investicijskih troškova			1.106.591,95
ukupno:				12.805.471,49

GODIŠNJI TROŠKOVI ODRŽAVANJA			
stavka	cijena inv.	% / god.	ukupno
konstrukcija	4.598.388,00	0,25%	11.495,97

Tablica 20: Investicijski i tekući troškovi izgradnje i održavanja korita za varijantu PR2-1,05 (prag 1,05 m n.m. uzvodno).

INVESTICIJSKI TROŠKOVI				
stavka	j.m.	kol.	j.c.	ukupno
uklanjanje grmlja	m ²	9.005,50	7,50	67.541,25
široki iskop	m ³	17.350,00	80,00	1.388.000,00
odvoz materijala	m ³	17.350,00	40,00	694.000,00
betoniranje obloge	m ³	3.004,13	800,00	2.403.304,00
armirački radovi	kg	48.066,08	11,30	543.146,70
izvedba kamene obloge	m ³	1.634,68	250,00	408.670,00
ugradnja dilatacije	m	349,25	400,00	139.700,00
otkup zemljišta	m ²	3.286,00	80,00	262.880,00
nepredviđeni radovi	10% ukupnih radova			564.436,20
projektiranje i nadzor	10% ukupnih investicijskih troškova			620.879,81
most D8		procjena		2.500.000,00
most Pirovac		procjena		1.000.000,00
ukupno:				10.592.557,96

GODIŠNJI TROŠKOVI ODRŽAVANJA			
stavka	cijena inv.	% / god.	ukupno
konstrukcija	3.494.820,70	0,25%	8.737,05

3.9.3 Akumulacije

Investicijski troškovi akumulacija definirani su na sljedeći način:

- građevinski radovi iskustveno, obraćajući posebnu pažnju na visinu i volumen pregradne građevine
- radovi na vododrživosti akumulacije u iznosu 150 HRK/m² akumulacije
- obrtnički radovi kao 5% građevinskih radova
- nepredviđeni radovi kao 10% ukupnih radova
- hidromehanička oprema kao 30% građevinskih radova
- otkup zemljišta 80 HRK/m² akumulacije
- projektiranje i nadzor kao 10% vrijednosti svih radova i opreme

Godišnji tekući troškovi odnose se na troškove održavanja te se proračunavaju kao postotak vrijed-

nosti investicije:

- za konstrukciju (građevinski radovi) 0,25%
- za osiguravanje vododrživosti 0,25%
- za obrtničke dijelove 3%
- za hidromehaničku opremu 1%

Investicijski i tekući troškovi akumulacija prikazani su u tablici [21](#) za varijantu ZA2+AK-15 (zapornica + akumulacije 15 mil. m³ neto) i tablici [22](#) za varijantu ZA2+AK-8 (zapornica + akumulacija 8 mil. m³ neto).

Tablica 21: Investicijski i tekući troškovi izgradnje i održavanja akumulacija za varijantu ZA2+AK-15 (zapornica + akumulacije 15 mil. m³ neto).

INVESTICIJSKI TROŠKOVI

	Draga	Markovac
volumen akumulacije [m ³]	5.000.000	16.000.000
površina akumulacije [m ²]	440.500	1.467.000
površina za otkup [m ²]	21.294	1.467.000
građevinski radovi	29.500.000	15.230.000
radovi na vododrživosti	66.075.000	220.050.000
obrtnički radovi	1.475.000	761.500
nepredviđeni radovi	9.705.000	23.604.150
hidromehanička oprema	8.850.000	4.569.000
otkup zemljišta	1.703.520	117.360.000
projektiranje i nadzor	11.560.500	26.421.465
ukupno	128.869.020	407.996.115
	536.865.135	

GODIŠNJI TROŠKOVI ODRŽAVANJA

		Draga	Markovac
građevinski radovi	0,25%	73.750	38.075
radovi na vododrživosti	0,25%	165.188	550.125
obrtnički radovi	3%	44.250	22.845
hidromehanička oprema	1%	88.500	45.690
ukupno:		371.688	656.735
		1.028.423	

Tablica 22: Investicijski i tekući troškovi izgradnje i održavanja akumulacije za varijantu ZA2+AK-8 (zapornica + akumulacija 8 mil. m³ neto).

INVESTICIJSKI TROŠKOVI

	Markovac
volumen akumulacije [m ³]	11.942.000
površina akumulacije [m ²]	1.455.000
površina za otkup [m ²]	1.455.000
građevinski radovi	9.892.000
radovi na vododrživosti	218.250.000
obrtnički radovi	494.600
nepredviđeni radovi	22.863.660
hidromehanička oprema	2.967.600
otkup zemljišta	116.400.000
projektiranje i nadzor	25.446.786
ukupno	396.314.646

GODIŠNJI TROŠKOVI ODRŽAVANJA

		Markovac
građevinski radovi	0,25%	24.730
radovi na vododrživosti	0,25%	545.625
obrtnički radovi	3%	14.838
hidromehanička oprema	1%	29.676
ukupno:		614.869

3.9.4 Ukupni investicijski i cjeloživotni troškovi

Ukupni investicijski i cjeloživotni troškovi prikazani su u tablici [23](#).

Tablica 23: Ukupni investicijski i cjeloživotni troškovi za sve varijante.

varijanta:	ZA1	ZA2	PR1-0,5	PR1-0,8	PR2-0,8	PR1-1,05	PR2-1,05	ZA2+AK-15	ZA2+AK-8
ZAPORNICA/PKAG									
investicijski troškovi	4.514.660	4.093.470	4.098.470	193.482	249.541	328.255	374.023	4.093.470	4.093.470
godišnji tekući troškovi	43.256	40.428	40.428	241	266	433	523	40.428	40.428
diskontirani tekući troškovi u vijeku trajanja građevine	929.231	868.490	868.490	5.188	5.705	9.303	11.230	868.490	868.490
KORITO									
investicijski troškovi	3.953.194	3.682.071	3.682.071	5.915.556	4.917.535	12.805.471	10.592.558	3.682.071	3.682.071
godišnji tekući troškovi	8.470	6.150	6.150	7.478	6.948	11.496	8.737	6.150	6.150
diskontirani tekući troškovi u vijeku trajanja građevine	181.957	132.122	132.122	160.638	149.256	246.959	187.691	132.122	132.122
AKUMULACIJE									
investicijski troškovi	-	-	-	-	-	-	-	536.865.135	396.314.646
godišnji tekući troškovi	-	-	-	-	-	-	-	1.028.423	614.869
diskontirani tekući troškovi u vijeku trajanja građevine	-	-	-	-	-	-	-	22.092.762	13.208.729
INVESTICIJSKI TROŠKOVI:									
ukupno investicijski troškovi:	8.717.854	8.025.541	3.687.071	6.109.037	5.167.076	13.133.726	10.966.581	544.890.676	404.340.187
PDV 25% :	2.179.463	2.006.385	921.768	1.527.259	1.291.769	3.283.432	2.741.645	136.222.669	101.085.047
ukupno investicijski troškovi s PDV-om:	10.897.317	10.031.926	4.608.839	7.636.296	6.458.844	16.417.158	13.708.226	681.113.345	505.425.234
CJELOŽIVOTNI TROŠKOVI:									
ukupno cjeloživotni troškovi:	9.882.747	9.079.859	3.823.489	6.274.863	5.322.037	13.389.988	11.165.502	568.037.756	418.603.234
PDV 25% :	2.470.687	2.269.965	955.872	1.568.716	1.330.509	3.347.497	2.791.376	142.009.439	104.650.809
ukupno cjeloživotni troškovi s PDV-om:	12.353.434	11.349.823	4.779.362	7.843.580	6.652.546	16.737.484	13.956.878	710.047.195	523.254.043

3.10 Višekriterijalna analiza

3.10.1 Kriteriji

Za vrednovanje varijanti putem višekriterijalne analize kao mjerodavni odabrani su sljedeći kriteriji:

- **obrana od poplava** koji se temelji na rezultatima modela
- **učinkovitost pri sprječavanju zaslanjenja** koji se, kao i gore navedeni, temelji na rezultatima modela
- **cjeloživotni troškovi** koji se temelji na podacima iz poglavlja [3.9](#)
- **mogućnost aktivnog upravljanja** kojim se preferiraju varijante kojima je moguće upravljati nakon njihove izgradnje
- **trajanje primjerene razine zaštite** koji se odnosi na zadržavanje funkcionalnosti praga/zapornice u kontekstu sprječavanja ulaska mora u kanal uz očekivani porast razine mora
- **predradnje potrebne za realizaciju** kojim se varijante vrednuju s obzirom na potrebu izvedbe zagata s jezerske strane prije građenja praga uzvodno, odnosno potrebu osiguranja izvora električne energije za rad zapornice
- **oslađivanje podzemlja** koji se odnosi na proces opisan u poglavlju [3.8](#)

Kako bi se vrednovala relativna važnost kriterija dodjeljuju im se različite težine. U skladu s tim kriterije možemo podijeliti na diskvalifikacijske te kriterije s većim i manjim utjecajem, te se tako dodjeljuju sljedeće težine:

- bez težine za diskvalifikacijski kriterij *obrana od poplava*
- težina **0,3** za kriterije *učinkovitost pri sprječavanju zaslanjenja* i *cjeloživotni troškovi*
- težina **0,1** za kriterije *mogućnost aktivnog upravljanja*, *trajanje primjerene razine zaštite*, *predradnje potrebne za realizaciju* i *oslađivanje podzemlja*

Drugim riječima, težine kriterija s većim utjecajem su trostruko veće od težina kriterija s manjim utjecajem.

Prije same dodjele ocjena varijantama, za odabrane kriterije definirane su diskvalifikacijske vrijednosti, odnosno vrijednosti koje isključuju tu varijantu iz daljnjih razmatranja. Te vrijednosti su:

- kriterij *obrana od poplava* je diskvalifikacijski, odnosno vrednuje se jedino to da varijantno rješenje omogućuje evakuaciju velikih voda barem na razini postojećeg stanja, što se dokazuje matematičkim modelom
- za kriterij *učinkovitost pri sprječavanju zaslanjenja* maksimalno trajanje slanosti iznad 5 promila unutar modeliranog razdoblja 2010.-2015.g. mora iznositi 12 % (trajanje za postojeće stanje je 16,5 %)
- za kriterij *cjeloživotni troškovi* za promatranu varijantu navedeni troškovi moraju iznositi maksimalno 50 milijuna kuna

Vrijednosti po kriterijima prikazane su u tablici 24, gdje su crvenom bojom označene vrijednosti koje diskvalificiraju varijante iz daljnjih razmatranja. Može se primijetiti da varijanta 1 (zapornica prema glavnom projektu) nije zadovoljila po pitanju obrane od poplava, dok varijante 8 i 9 (zapornica i akumulacije 15, odnosno 8 mil. m³ neto) nisu zadovoljile po pitanju cjeloživotnih troškova.

3.10.2 Ocjene i rangiranje

Ocjena za kriterij *učinkovitost pri sprječavanju zaslanjenja* proračunava se kao:

$$O_2 = 1 - \frac{t}{t_{\text{postojeće}}} \quad (45)$$

gdje su t i $t_{\text{postojeće}}$ vremena unutar modeliranog razdoblja 2010.-2015.g. u kojima je modelirana slanost jezera bila iznad 5 promila za promatranu varijantu te za postojeće stanje.

Ocjena za kriterij *cjeloživotni troškovi* proračunava se kao:

$$O_3 = \frac{C}{C_{\text{min}}} \quad (46)$$

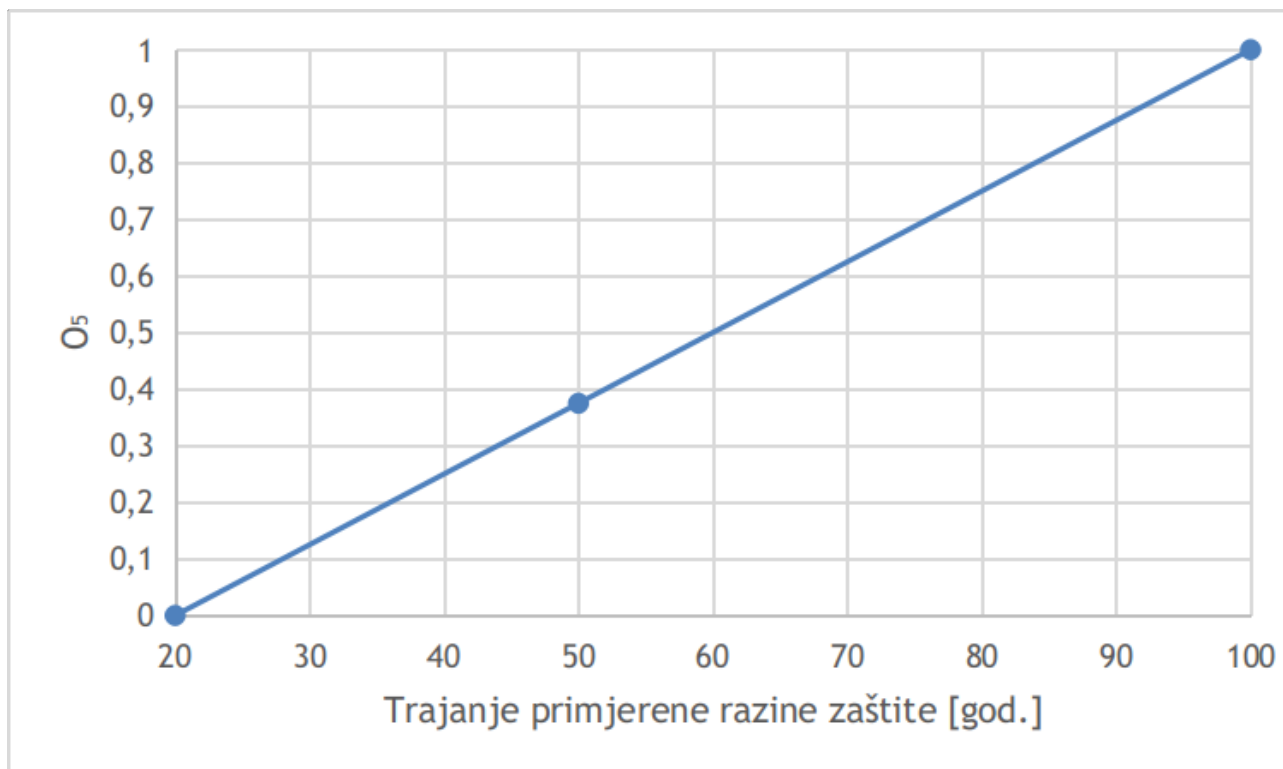
gdje su C cjeloživotni troškovi za promatranu varijantu, a C_{min} cjeloživotni troškovi za varijantu sa najmanjim troškovima.

Ocjena za kriterije *mogućnost aktivnog upravljanja* O_4 i *oslađivanje podzemlja* O_7 je **1** za DA i **0** za NE.

Ocjena za kriterij *trajanje primjerene razine zaštite* O_5 proračunava se tako da varijanta s trajanjem 20 godina ima ocjenu 0, a varijanta s trajanjem 100 godina ima ocjenu 1. Za varijante s trajanjem između 20 i 100 godina ocjena se mijenja linearno, kako je prikazano na slici 177.

Tablica 24: Vrijednosti kriterija za navedene varijante.

varijanta	opis	KRITERIJ						
		1	2	3	4	5	6	7
		odbrana od poplava	učinkovitost pri sprječavanju zaslanjenja [% vremena]	cjeloživotni troškovi [HRK]	mogućnost aktivnog upravljanja	trajanje primjerene razine zaštite [god.]	predradnje potrebne za realizaciju	oslađivanje podzemlja
ZA1	zapornica prema glavnom projektu	NE ZADOVOLJAVA	5	12.353.434	DA	100	dovod struje	DA
ZA2	zapornica korigirano	ZADOVOLJAVA	6	11.349.823	DA	100	dovod struje	DA
PR1-0,5	prag 0,5 m n.m. nizvodno	ZADOVOLJAVA	8	4.779.362	NE	20	/	DA
PR1-0,8	prag 0,8 m n.m. nizvodno	ZADOVOLJAVA	6	7.843.580	NE	50	/	DA
PR2-0,8	prag 0,8 m n.m. uzvodno	ZADOVOLJAVA	6	6.652.546	NE	50	izvedba zagata	NE
PR1-1,05	prag 1,05 m n.m. nizvodno	ZADOVOLJAVA	5,5	16.737.484	NE	100	/	DA
PR2-1,05	prag 1,05 m n.m. uzvodno	ZADOVOLJAVA	5,5	13.956.878	NE	100	izvedba zagata	NE
ZA2+AK-15	zapornica + ak. 15 mil. m ³ neto	ZADOVOLJAVA	0	710.047.195	DA	100	dovod struje	DA
ZA2+AK-8	zapornica + ak. 8 mil. m ³ neto	ZADOVOLJAVA	3,5	523.254.043	DA	100	dovod struje	DA



Slika 177: Prikaz ocjene O_5 u ovisnosti o trajanju primjerene razine zaštite.

Ocjena za kriterij *predradnje potrebne za realizaciju* definirana je kao:

- $O_6 = 1$ za varijante kod kojih nisu potrebne posebne predradnje
- $O_6 = 0,5$ za varijante kod kojih je za gradnju u suhom potrebna izvedba zagata s jezerske strane
- $O_6 = 0$ za varijante za koje je potrebno osigurati izvor električne energije

Konačna ocjena pojedine varijante O suma je umnožaka ocjena za kriterije s težinama tih kriterija:

$$O = \sum_{i=2}^7 T_i \cdot O_i \quad (47)$$

Ocjene za varijante prikazane su u tablici 25, dok je rangiranje varijanti od najbolje do najlošije prikazano u tablici 26.

Tablica 25: Ocjene za varijante prema mjerodavnim kriterijima.

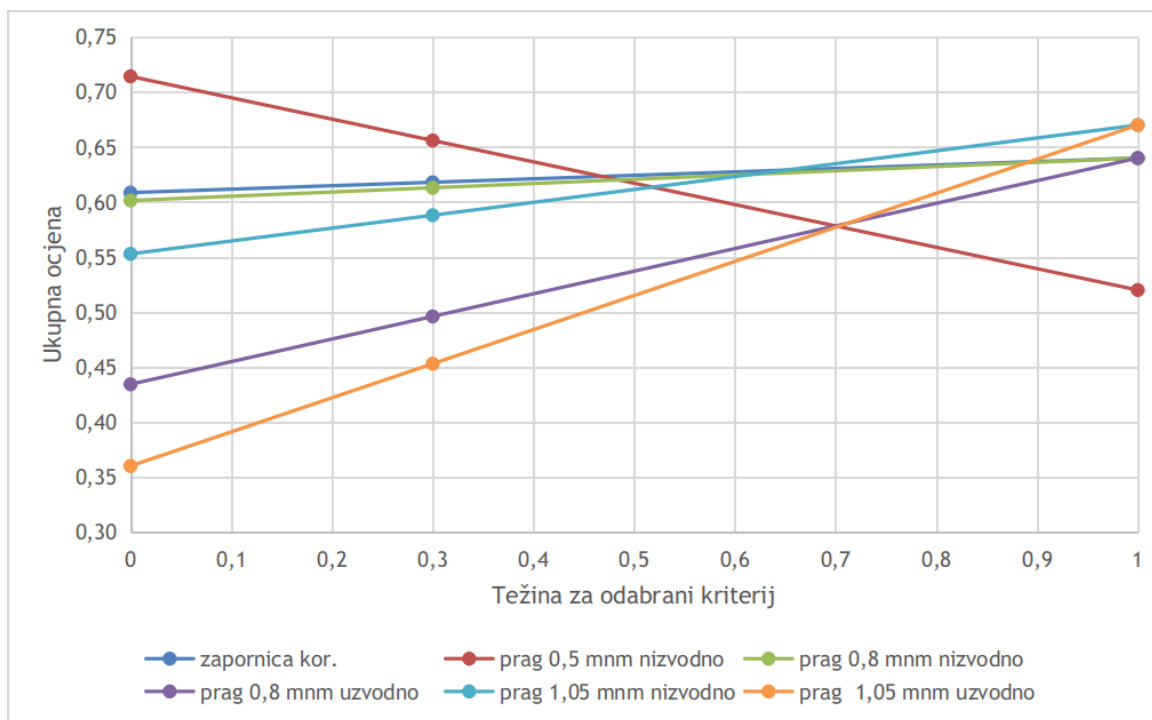
varijanta	opis	KRITERIJ							UKUPNA OCJENA
		2 učinkovitost pri sprječavanju zaslanjenja [% vremena]	3 cjelovitni troškovi [HRK]	4 mogućnost aktivnog upravljanja	5 trajanje primjerene razine zaštite [god.]	6 predradnje potrebne za realizaciju	7 oslađivanje podzemlja		
ZA2	zaporica korigirano	0,64	0,42	1,00	1,00	0,00	1,00	0,62	
PR1-0,5	prag 0,5 m n.m. nizvodno	0,52	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,66	
PR1-0,8	prag 0,8 m n.m. nizvodno	0,64	0,61	0,00	0,38	1,00	1,00	0,61	
PR2-0,8	prag 0,8 m n.m. uzvodno	0,64	0,72	0,00	0,38	0,50	0,00	0,50	
PR1-1,05	prag 1,05 m n.m. nizvodno	0,67	0,29	0,00	1,00	1,00	1,00	0,59	
PR2-1,05	prag 1,05 m n.m. uzvodno	0,67	0,34	0,00	1,00	0,50	0,00	0,45	
TEŽINE:		0,30	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	

Tablica 26: Rangiranje varijanti na temelju višekriterijalne analize.

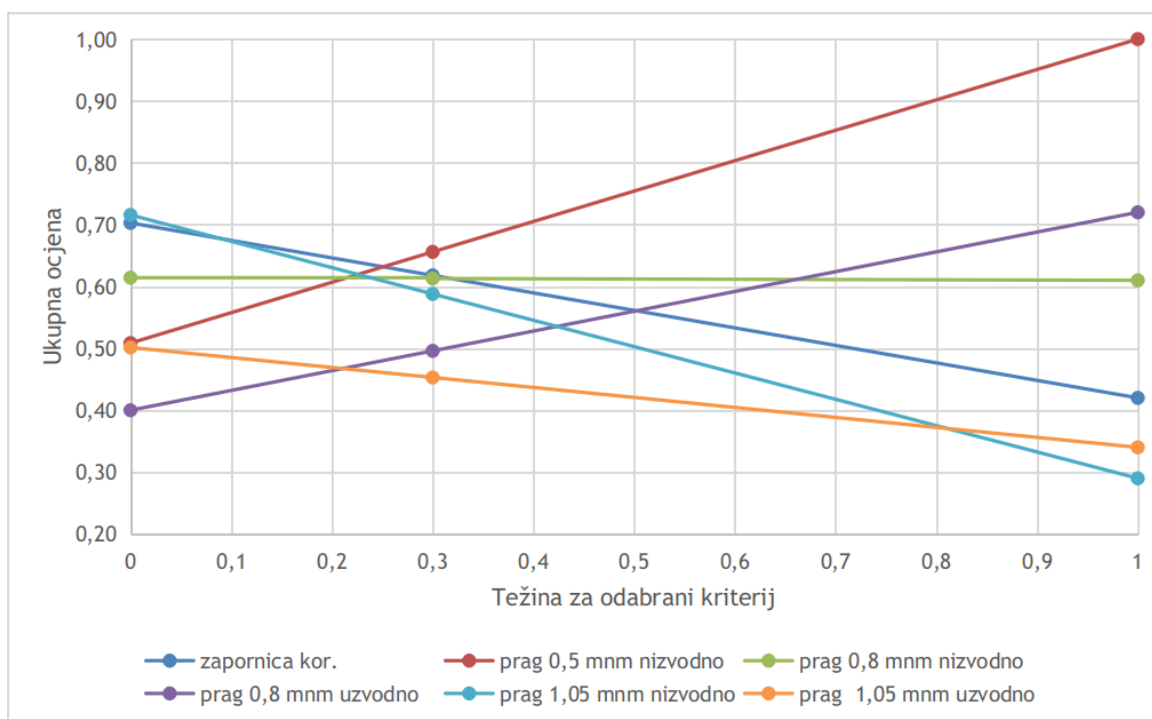
rang	varijanta	opis	konačna ocjena
1.	PR1-0,5	prag 0,5 m n.m. nizvodno	0,66
2.	ZA2	zapornica korigirano	0,62
3.	PR1-0,8	prag 0,8 m n.m. nizvodno	0,61
4.	PR1-1,05	prag 1,05 m n.m. nizvodno	0,59
5.	PR2-0,8	prag 0,8 m n.m. uzvodno	0,50
6.	PR2-1,05	prag 1,05 m n.m. uzvodno	0,45

3.10.3 Osjetljivost

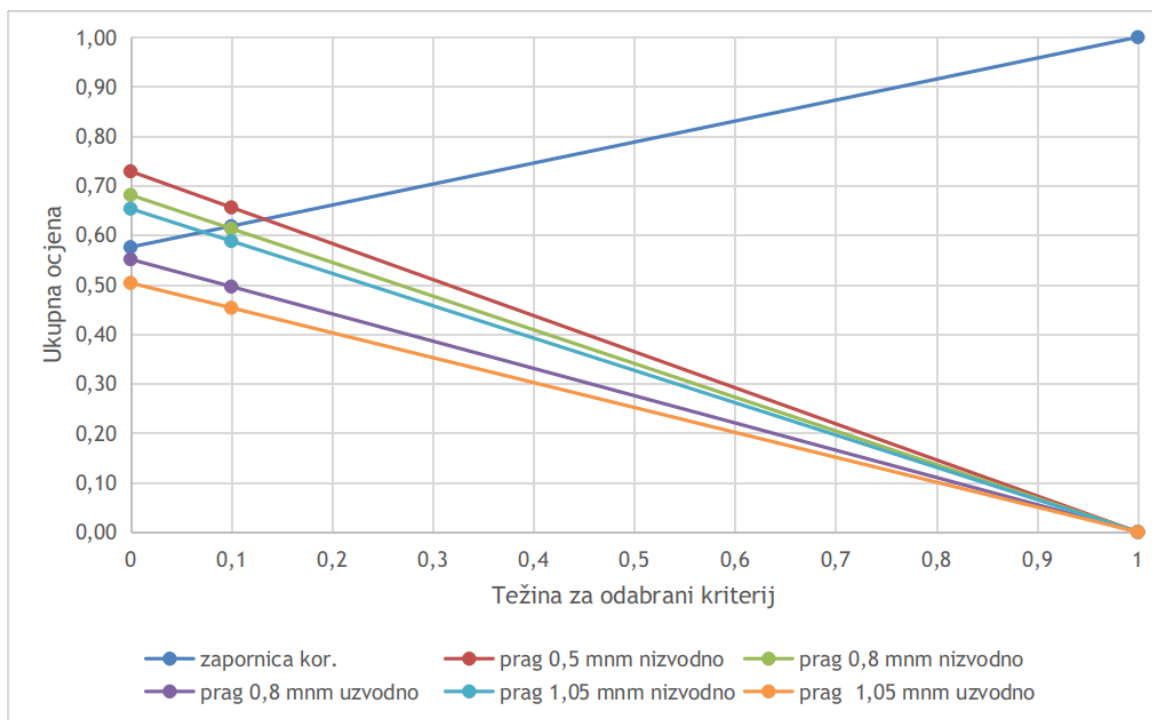
Da bi se ispitala osjetljivost konačnih ocjena te samim time i rangova varijanti, za svaki od kriterija pojedinačno varirane su njegove težine u rasponu od 0 do 1 tako da se odnosi između ostalih kriterija ne mijenjaju. Rezultati su prikazani na slikama [178](#), [179](#), [180](#), [181](#), [182](#) i [183](#). Na slici [178](#) može se uočiti da najbolje rangirana varijanta "prag 0,5 m n.m. nizvodno" prestaje to biti kada se težina za kriterij *učinkovitost pri sprječavanju zasljanjenja* poveća iznad 0,45. Ista stvar se događa za smanjenje težine kriterija *cjeloživotni troškovi s usvojenih 0,3 na 0,25*, što je vidljivo na slici [179](#). Promjena ranga pri relativno maloj promjeni težina događa se i za kriterije *mogućnost aktivnog upravljanja* (slika [180](#)), *vijek trajanja građevine* (slika [181](#)) i *predradnje potrebne za realizaciju* (slika [182](#)). Sve to ukazuje na činjenicu da su konačne ocjene jako osjetljive na promjenu težina, što sigurno treba uzeti u obzir kod vrednovanja pojedinih varijanti te odabira konačne varijante za realizaciju.



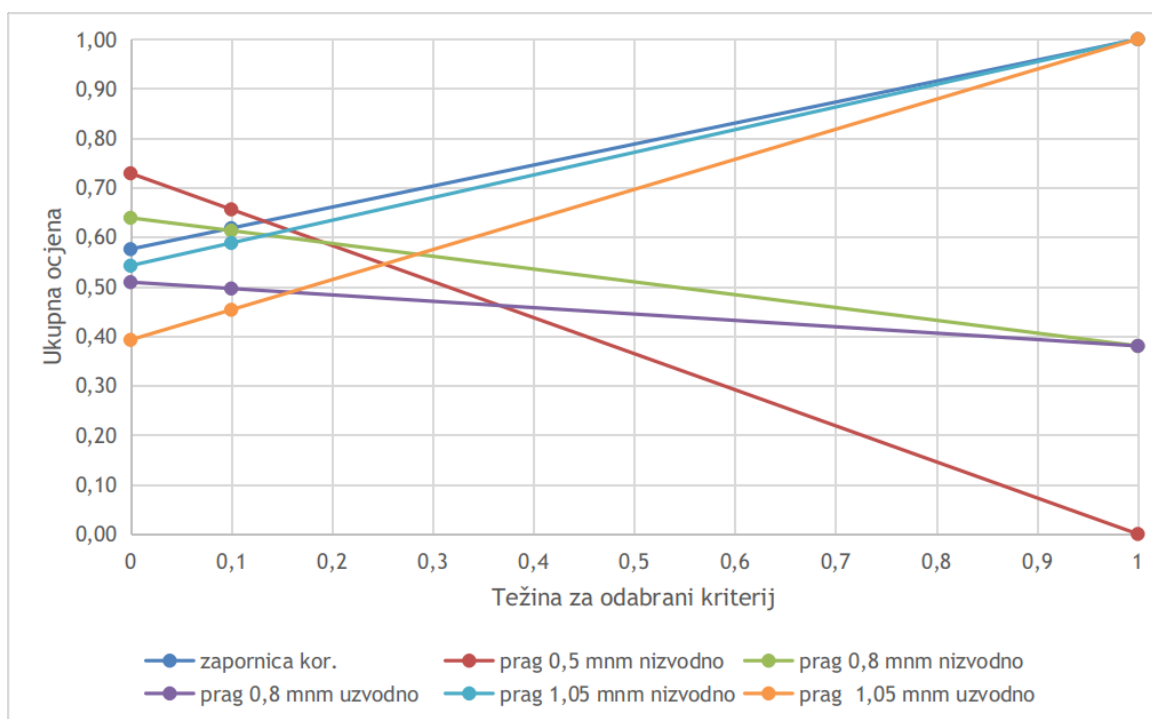
Slika 178: Prikaz osjetljivosti konačnih ocjena varijanti na promjenu težina kriterija *učinkovitost pri sprječavanju zaslantjenja*.



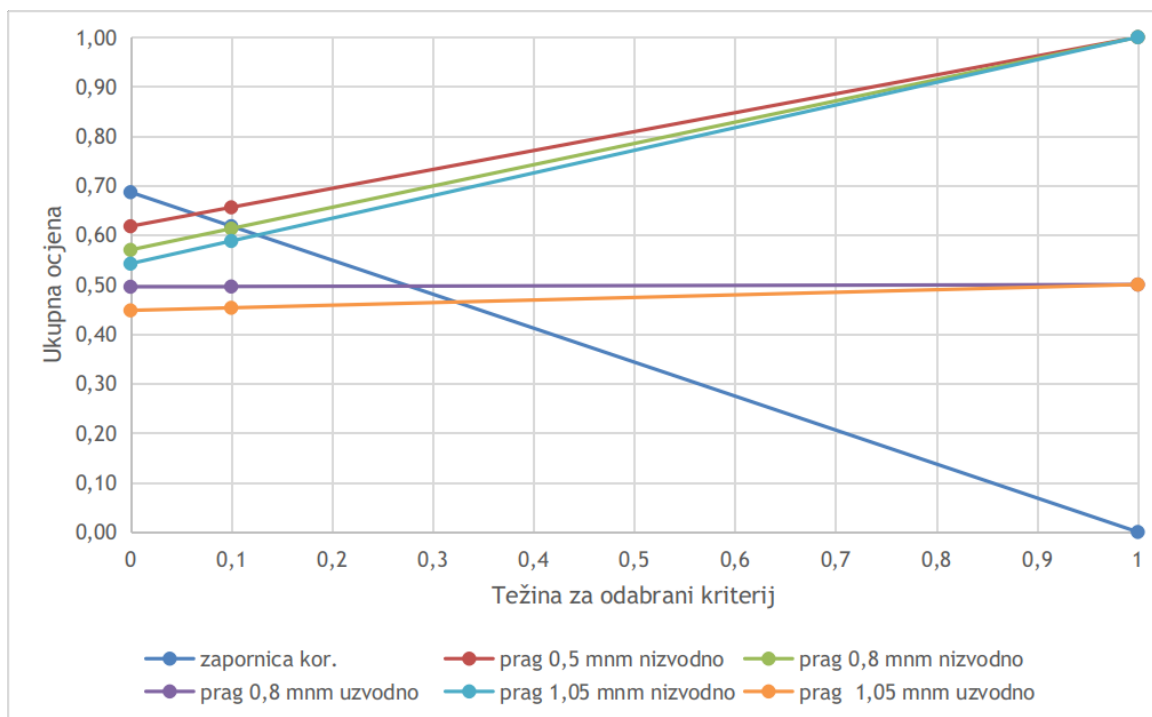
Slika 179: Prikaz osjetljivosti konačnih ocjena varijanti na promjenu težina kriterija *cjeloživotni troškovi*.



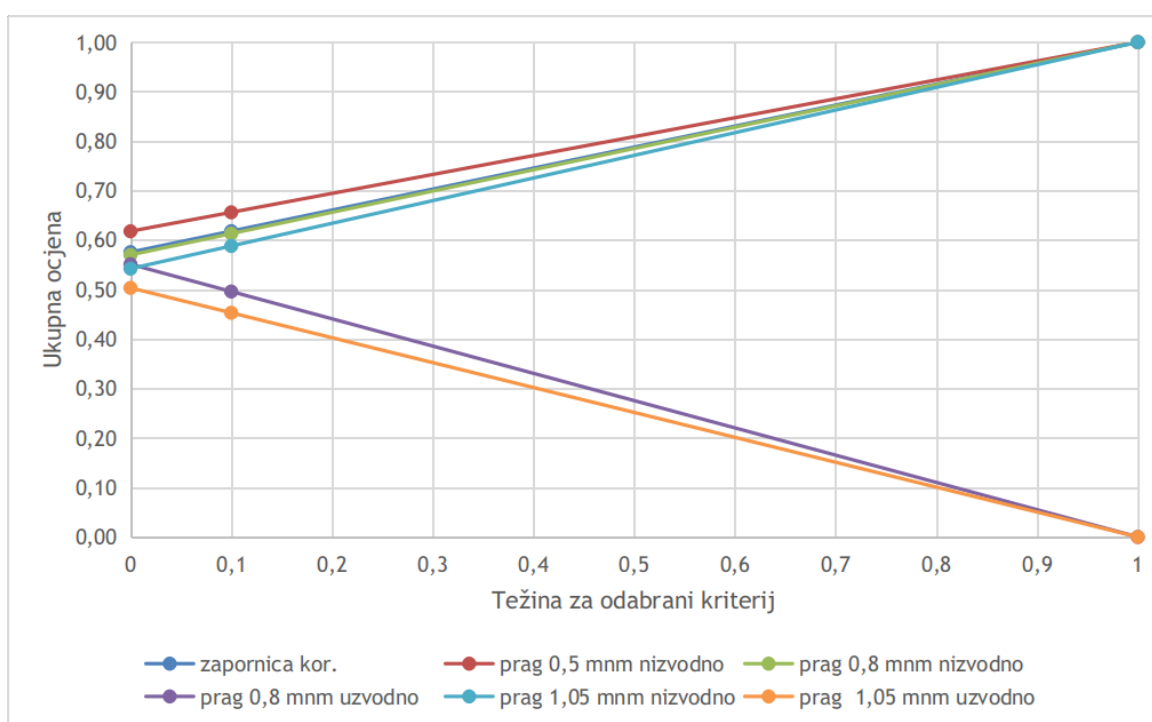
Slika 180: Prikaz osjetljivosti konačnih ocjena varijanti na promjenu težina kriterija *mogućnost aktivnog upravljanja*.



Slika 181: Prikaz osjetljivosti konačnih ocjena varijanti na promjenu težina kriterija *trajanje primjerene razine zaštite*.



Slika 182: Prikaz osjetljivosti konačnih ocjena varijanti na promjenu težina kriterija *predradnje* potrebne za realizaciju.



Slika 183: Prikaz osjetljivosti konačnih ocjena varijanti na promjenu težina kriterija *oslađivanje podzemlja*.

B

Tehnički dio idejnog rješenja

Zaključci i preporuke

4 Zaključci i preporuke

Izradio se je numerički model koji je kalibriran za postojeće stanje te se je isti koristio i za sva ostala varijantna rješenja i ispitivanje njihovih utjecaja na smanjenje slanosti kao i mogućnost evakuacije velikih voda. Varijantna rješenja koja su razmatrana u sklopu ove analize su varijante zapornice prema ranije izrađenom glavnom projektu, korigirane varijante zapornice, varijante fiksnog praga, akumulacija te kombinirane varijante zapornice i akumulacija.

Istim analizama ustanovljeno je da varijanta zapornice prema glavnom projektu ne zadovoljava uvjet evakuacije velikih voda, odnosno da bi izgradnjom iste prema predmetnom rješenju bile smanjene protočne moći korita kanala Prosika. Do istog zaključka došli su i projektanti navedenog projekta.

Za analizu utjecaja na poboljšanje stanja voda u kontekstu smanjenja slanosti jezera kao mjerodavni kriterij koristio se je indikator slanosti. Naime, modeliranje stvarne slanosti u jezeru izuzetno je kompleksni problem koji bi zahtjevao značajno više ulaznih podataka od trenutno dostupnih te su se u sklopu ove analize uvela određena pojednostavljenja, kao što je pretpostavka potpunog mješanja morske i jezerske vode. Stoga se slanost u sklopu ovih analiza može smatrati kao svojevrsnim indikatorom slanosti, a ne stvarnom vrijednosti, ali i kao takva predstavlja svojevrsni doprinos u kriterijima za odlučivanje u odnosu na prethodno razmatrani kriterij povećanja minimalnih razina voda u jezeru. Naime, prethodnim analizama u sklopu glavnog projekta zapornice ustanovljeno je da se minimalna razina u kritičnoj 2012. godini ne bi značajno povećala pod utjecajem izgradnje zapornice te se je postavilo pitanje isplativosti izvedbe takvog projekta. U sklopu izrađenih numeričkih modela i ispitivanja utjecaja različitih varijantnih rješenja ovim projektom primijetio se je sličan utjecaj na porast minimalnih razina u 2012. godini, ali s drugačijim utjecajem na slanost. Naime, ispitivanjem smanjenja slanosti pod utjecajem varijantnih rješenja došlo se je do zaključka da unatoč malim razlikama u povećanjima minimalnih razina voda u jezeru u kritičnoj 2012. godini, slanost se može znatnije smanjiti. Pritom, kao najznačajniji doprinos smanjenju slanosti detektirano je oblaganje kanala Prosika, kojim bi se spriječila komunikacija morske i jezerske vode podzemnim putem u kanalu Prosika. Predloženo je da se oblaganje vrši do kote kojom bi se branio direktni prodor visokog vodostaja mora u kanal, ali ne i istjecanje viših voda u jezeru u greben, što predstavlja efekt zaslađivanja grebena čime se pospješuje potiskivanje mora. Stoga je u odnosu na glavni projekt zapornice predložena i korekcija kote oblaganja korita.

Nadalje, analizama je ustanovljeno da se svim predloženim rješenjima može postići poboljšanje stanja voda u jezeru, te pritom svako od predloženih rješenja ima svoje prednosti i nedostatke. Zapornica ima prednost da se može pozicionirati najnižvodnije u koritu kanala Prosika te ujedno zahtjeva najmanje proširenje korita kanala Prosika. Ujedno omogućuje aktivno upravljanje što može predstavljati prednost u kontekstu prilagodbe na promjene uvjeta u jezeru. Naime, premda je u sklopu ove analize predložen algoritam rada zapornice, monitoringom i analizama stanja vode u jezeru

moglo bi se u budućnosti isti modificirati sukladno detektiranim potrebama. S druge strane upravo aktivno upravljanje može predstavljati i određene nedostatke, prvenstveno u potrebi za električnom energijom, servisu i održavanju te uvodi i ljudski faktor u potrebi za upravljanjem zapornicom. U tom smislu predlaže se da se postupak upravljanja zapornicom automatizira i na taj način minimizira mogućnost ljudske greške.

Varijanta fiksnog praga ispitana je za različite visinske kote, te na 3 različite lokacije (prikazane na nacrtu [Prikaz lokacija za varijante pragova i zapornica](#)). Kote praga za koje je analiziran utjecaj na smanjenje slanost su 0,41, 0,50, 0,60, 0,80, 1,05 m n.m. Pritom kota praga 0,41 m n.m. ujedno predstavlja i kotu postojećeg praga te smanjenje slanosti za takvu varijantu proizlazi zbog uređenja kanala, odnosno oblaganja do kanala do kote 0,80 m n.m. te smanjenja gubitaka podzemnim putem, kao i prodora mora kroz kanal podzemnim putem.

U tom smislu vrijedi istaknuti da je za postojeće stanje prema rezultatima modela vršna slanost iznosila oko 11,50 ‰, dok je za istu kotu praga s obloženim koritom iznosila oko 8 ‰. Dakle, samo oblaganje kanala prema numeričkom modelu omogućilo bi smanjenje vršne slanosti za približno 3,5 ‰ ili za približno 30 %. Podizanjem kote praga na 0,50 m n.m. vršna slanost se smanjuje na oko 7,5 ‰ ili za približno 35 %. Podizanjem kote praga na 0,60 m n. m. vršna slanost smanjuje se na oko 7 ‰ ili za približno 40 %. Razlika između smanjenja slanosti koje je nastalo pod utjecajem oblaganja i smanjenja slanosti koje nastaje pod utjecajem povišenja kote praga predstavlja utjecaj nadvišenja kote praga. Nadalje, dodatno nadvišenje kote praga na 0,80 m n.m. smanjuje vršnu slanost na oko 6,7 ‰ ili za približno 42 %, dok nadvišenje kote praga na 1,05 m n. m. istu smanjuje na oko 6,3 ‰ ili za približno 45 %. Dakle, ukoliko se uspoređi varijanta oblaganja za postojeću visinu praga i oblaganja za kotu praga na 1,05 m n. m. (maksimalna analizirana kota praga), može se primjetiti da oblaganje smanjuje vršnu slanost za oko 30 %, dok efekt nadvišenja kote praga na kotu 1,05 m n.m. može istu smanjiti za još dodatnih 15 %.

Za dvije različite kote fiksnog praga (kote 1,05 i 0,80 m n.m.) ispitana je i utjecaj njihovog položaja na nizvodnoj strani korita Prosika, kao i na jezerskoj strani na potrebna proširenja kanala Prosika. Ustanovilo se je da pozicija praga utječe na potrebnu širinu preljeva, kao i na potrebnu širinu nizvodnog kanala u odnosu na poziciju preljeva. Naime, pozicioniranjem praga bliže jezeru potrebna je njegova manja širina u odnosu na to kad ga se pozicionira nizvodnije, budući da u tom slučaju postoje manji gubici. Drugim riječima, što je kanal nizvodnije pozicioniran biti će veći linijski gubici u koritu te će za istu razinu na početku kanala biti dosegnute manje razine ispred samog preljeva u odnosu na to kad je preljev pozicioniran uzvodnije. Isti princip utječe na to da je kod pozicioniranja kanala nizvodnije potrebno manje širiti korito nizvodno od pozicije praga, jer je manja njegova duljina te posljedično stvara manji uspor. U tom smislu analizama se je utvrdilo da će za istu visinu praga biti potrebne različite širine korita uzvodno i nizvodno od praga, te će se i potrebno proširenje

razlikovati u ovisnosti o poziciji praga.

U varijanti fiksnog praga svojevrсни problem predstavljaju mostovi na cesti D8 te most Pirovac, koji predstavljaju fiksnu širinu koju nije moguće mijenjati bez rekonstrukcije istih. Stoga se je u analizama nastojao detektirati i njihov utjecaj na konsumpcijske krivulje, te je ustanovljeno da u svim varijantama fiksnog praga, osim varijante praga na jezerskoj strani na koti 1,05 m n.m., mogu ostati u postojećem stanju. Upravo zbog pozicije mostova i potrebnih proširenja korita u varijantama fiksnog praga, pragove nije moguće pozicionirati na poziciju kao u varijanti zapornice (lokacija 1 na nacrtu [Prikaz lokacija za varijante pragova i zapornica](#)), već to mora biti uzvodno od mosta na cesti D8 (lokacija 2 na nacrtu [Prikaz lokacija za varijante pragova i zapornica](#)).

Varijanta akumulacije pokazala se je kao najefikasnija po pitanju povećanja minimalnih razina voda u jezeru. Pritom, pokazalo se je da bi za željeno smanjenje slanosti u analiziranom razdoblju bilo potrebno ispuštati vodu i u 2011. i u 2012. godini i to u znatnim količinama (preko 20 milijuna m³). Pritom radi se o potrebnom neto volumenu, na koji se je potom uračunao efekt evapotranspiracije i gubitaka. Problem uz varijantu akumulacija je i taj što bi iste trebale biti u funkciji samo u izrazito rijetkim događajima stanja vode u jezeru (2012. je imala minimum veći od 100 godišnjeg povratnog perioda), što je razlika u odnosu na varijante praga ili zapornice, koje bi bile svake godine u funkciji. Uz navedeno akumulacije ne bi imale dostupnu mogućnost potpunog punjenja iz vlastitog sliva, odnosno bilo bi ih potrebno dopunjavati, a ujedno bi i oduzimale dio vode iz sliva Vranskog jezera. Najveći problem varijanti akumulacija pitanje je vododrživosti terena na analiziranim lokacijama Draga i Markovac, čime su varijante i cjenovno ispale iz kombinacije.

Za navedene varijante provela se je višekriterijalna analiza kojom su navedene varijante rangirane. Navedenom analizom predlaže se uređenje korita Prosika, te podizanje postojećeg praga na kotu 0,50 m n.m. Za takvu varijantu korito se uređuje na isti način kao i za varijantu korigirane zapornice, te se ista može promatrati kao 1. faza u izgradnji zapornice, koja se može nadograditi u trenutku kada se zbog porasta razine mora ustanovi potreba za istom. Naime, prema postojećim trendovima maksimalne dnevne razine mora mogle bi prelaziti preko kote 0,50 m n. m. za nekih 20-ak godina. Navedeni period bilo bi korisno iskoristiti za provedbu raznih monitoringa što bi se iskoristilo za izradu potrebne dokumentacije izgradnje zapornice.

Vrijedi istaknuti da u kontekstu porasta razine mora izgradnja zapornice dugoročno nema ekonomične alternative. Naime, povišenje praga na kotu 0,80 m n.m. moglo bi predstavljati rješenje kroz narednih 50-ak godina, nakon čega bi i prema trenutnim prognozama porasta razina mora i za tu varijantu bilo potrebno izgraditi zapornicu ili ići u novo širenje korita koje bi bilo potrebno za dodatno povećanje kote praga. Dodatno širenje korita u tom slučaju više ne bi bilo cjenovno usporedivo s ugradnjom zapornice budući da bi postojeće korito u tom slučaju već bilo obloženo.

Prijedlog uređenja korita Prosika te nadvišenja kote praga na 0,50 m n. m. predstavlja ekonomski najisplativije rješenje, sa značajnim poboljšanjem stanja voda u jezeru, te omogućuje naknadnu ugradnju zapornice koja ne bi negativno utjecala na stanje visokih voda u jezeru. Obzirom na relativnu hitnost djelovanja u svrhu poboljšanja stanja voda navedeni prijedlog uređenja ne bi imao poteškoće i eventualne nedostatke po pitanju opskrbe električnom energijom (izgradnja trafostanice), te bi se dobiveno vrijeme koje bi poboljšalo stanje voda moglo iskoristiti u svrhe potrebnih monitoringa te pripreme dokumentacije za izgradnju zapornice kao i osiguranja potrebnih izvora električne energije. Pritom, vrijedi istaknuti da bi rad zapornice iziskovao većinom jednogodišnje spuštanje i podizanje iste, te ne zahtjeva veliku količinu električne energije. Ukoliko se trafostanica u vremenu kojem bi podizanje praga i uređenje korita zadovoljavalo uvjete morske razine ne bi izvela (za neke druge potrebe), trebalo bi se pronaći adekvatni i ekonomski prihvatljiv izvor energije.

Uz navedene varijante, na prijedlog upravitelja Parka prirode Vransko jezero razmotrila se je i opcija stavljanja crpne stanice Jasen van funkcije, te korištenje trenutno branjenog područja uz crpnu stanicu u retencijske svrhe. Korištenjem Hrvatske osnovne karte ustanovljeno je da je prostor od malog retencijskog značaja, te bi se razine vode u jezeru u kontekstu obrane od poplava neznatno smanjile. S druge strane u pogledu smanjenja slanosti, varijanta retencijskog prostora nema utjecaj. Stavljanje crpne stanice Jasen i omogućavanje stvaranja retencijskog prostora uz nju u prvom redu treba razmatrati u kontekstu poboljšanja ekološke bioraznolikosti i proširenja vodnog staništa biljnim i životinjskim vrstama. Taj doprinos nije razmatran u predmetnoj dokumentaciji, te se preporuča da se razmatra u sklopu odvojenog projekta.

Jednako tako, važno je istaknuti da se u daljnjoj razradi projektne dokumentacije uključe sve u međuvremenu nove spoznaje nastale iz monitoringa i mjerenja različitih veličina na i u blizini Vranskog jezera. Takve spoznaje potrebno je u prvom redu uključiti u hidrološke i hidrauličke analize, koje bi omogućile eventualnu veću točnost u odnosu na matematički model izrađen u sklopu ovih analiza. Naime, potrebno je istaknuti da iako ima važan doprinos u pogledu odlučivanja o mogućim varijantama i njihovim međusobnim usporedbama, matematički model ima usvojene određene pretpostavke koje su rezultat kalibracije, koje bi se pod uvjetom provedenog monitoringa mogle zadavati kao izmjerene veličine. Primjerice, razina podzemne vode u slivu koja prihranjuje Vransko jezero, mogla bi biti predmet zadavanja na sličan način kao što su se zadale vrijednosti površinskog toka, uz uvjet provedenih piezometarskih mjerenja. Uz navedeno, vrlo je bitna i funkcija provodljivosti kanala Prosika u ovisnosti o razlici potencijala jezero-more, koja je u okviru ove analize usvojena kao konstantna vrijednost, budući da postoji mjerenje za jednu vrijednost razlike potencijala jezero-more te je kao takva pretpostavljena za sve razlike potencijala. Dodatna mjerenja provodljivosti kanala Prosika za različite razlike potencijala između jezera i mora, omogućilo bi veću točnost. Navedena vrijednost je bitna, jer utječe i na kalibracijske veličine funkcije provodljivosti između jezera i mora. Naime, što bi se u modelu zadala veća provodljivost kanala Prosika, to bi kao rezultat kalibracije

bile niže vrijednosti provodljivosti između jezera i mora, kako bi se osigurao uvjet izmjerene veličine vodostaja jezera. Stoga bi preciznije određivanje provodljivosti kanala Prosika pozitivno utjecalo na preciznost i točnost modela što bi bio vrijedan doprinos za sve potencijalne buduće zahvate bilo na kanalu Prosika, ili na Vranskom jezeru, što bi omogućio značajan stručni i znanstveni doprinos u razumijevanju dinamike izmjena masa vode u Vranskom jezeru. Važan doprinos bilo bi i kontinuirano mjerenje slanosti kako na Vranskom jezeru tako i u površinskim pritocima koji prihranjuju jezero, što bi se moglo koristiti u svrhe provjere točnosti raznih matematičkih modela. U tom smislu bilo bi korisno kada bi se pri monitoringu kakvoće voda koje provode Hrvatske vode pratio i stupanj zaslanjenosti iskazivan u ‰, odnosno ppm.

U sklopu analiza srednjih vrijednosti dotoka u jezero za modelirano razdoblje (2010.-2015. godina) ustanovljeno je da gotovo 50 % dotoka na Vransko jezero dopijeva površinskim dotocima (slika 55). U tom smislu važno je istaknuti da je u kontekstu zaštite od štetnog utjecaja zaslanjivanja na Vransko jezero bitno ne samo obložiti kanal Prosika i izgraditi ustavu ili zapornicu, već i osigurati očuvanje ravnoteže prihranjivanja jezera. Naime, pregledom dokumentacije [7] ustanovljeno je da se u svrhe navodnjavanja Vranskog polja namjeravaju izgraditi dvije akumulacije Malo Blato i Gorčine, koje će se prihranjivati iz Glavnog kanala Kotarka, te Lateralnog kanala što su ujedno i glavni površinski dotoci koji prihranjuju Vransko jezero. Pritom je u istom dokumentu navedeno da je Rješenjem Ministarstva zaštite okoliša i energetike (2018.) zahvat ocijenjen kao prihvatljiv za okoliš i ekološku mrežu uz primjenu zakonom propisanih i rješenjem utvrđenih mjera zaštite okoliša i mjera ublažavanja utjecaja na ciljeve očuvanja i cjelovitost područja ekološke mreže te uz provedbu programa praćenja stanja okoliša i ekološke mreže. U kontekstu zaštite Vranskog jezera kao uvjet zahvaćanja vode za potrebe akumulacija istim Rješenjem navedeno je da se voda može zahvaćati kada je vodostaj u jezeru iznad kote mora te kada je na odabranim mjernim mjestima na Vranskom jezeru stupanj saliniteta ispod graničnih vrijednosti za određeno mjerno mjesto. Takvi uvjeti poprilično su neprecizno definirani, jer oscilacija mora u danu može biti značajna, te pritom nije specificirano da li se radi o srednjim dnevnim vrijednostima, satnim ili nekim drugim. Ujedno, vezano za uvjet stupnja saliniteta nije kvantificirana granična vrijednost za mjerna mjesta. Vrijedi istaknuti da bi bilo kakva gospodarska aktivnost u slivu Vranskog jezera koja za posljedicu može utjecati na stanje voda u jezeru, trebala uzimati u obzir napredniji pristup određivanja utjecaja određene aktivnosti na stanje voda u jezeru kako se ne bi pretjeranim korištenja voda iz pritoka stanje voda jezera narušilo u značajnijoj mjeri nego što bi ga eventualni zahvat na kanalu Prosika mogao popraviti.

B

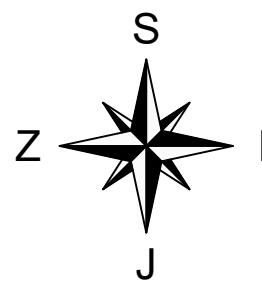
Tehnički dio idejnog rješenja


Grafički prikazi

5 Grafički prikazi

U nastavku se prilažu tehnički nacrti koji su sastavni dio mape 1/1 idejnog rješenja *Analiza varijantnih rješenja za poboljšanja stanja vode u Vranskom jezeru i kanalu Prosika*. U sastavnicama tehničkih nacrti je između ostalog naveden i redni broj stranice koja prati numeraciju stranica u grafičkim prikazima idejnog rješenja. U svrhu sistematičnog pregleda priloženih grafičkih prikaza, u nastavku se navodi popis svih tehničkih nacrti sadržanih u mapi 1/1:

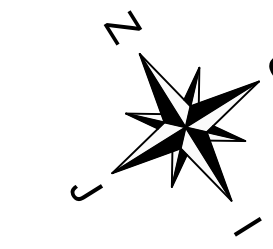
- [Prikaz lokacija akumulacija Draga i Markovac](#)
- [Prikaz lokacija za varijante pragova i zapornica](#)
- [Karakteristični poprečni presjeci kanala Prosika za analizirane varijante](#)



BR. REVIZIJE:	OPIS:	DATUM:	POTPIS:
 HIDROMODELING <small>— INVESTITOR —</small>			
Hrvatske vode, 10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 220			
<small>— PROJEKT —</small> Analiza varijantnih rješenja za poboljšanja stanja vode u Vranskom jezeru i kanalu Prosika			
<small>— RAZINA OBRADE —</small>		<small>— STRUKOVNA ODREDNICA —</small>	
Idejno rješenje		Građevinski projekt	
<small>— SURADNIK —</small>		<small>— Z.O.P. —</small>	<small>— OZNAKA PROJEKTA —</small>
Luka Zaharija, mag.ing.aedif.			21.02.IR
<small>— PROJEKTANT —</small>		<small>— MJERILO —</small>	<small>— BROJ NACRTA —</small>
Davor Stipanić, mag.ing.aedif.		1:50.000	1
<small>— NACRT —</small>		<small>— MJESTO —</small>	<small>— DATUM —</small>
		Rijeka	Srpanj 2021
Prikaz lokacija akumulacija Draga i Markovac			



LEGENDA



Lokacija 1:

- postojeći prag
- prag na 0,50 m n.m.,
- zapornica prema glavnom projektu,
- korigirana varijante zapornice

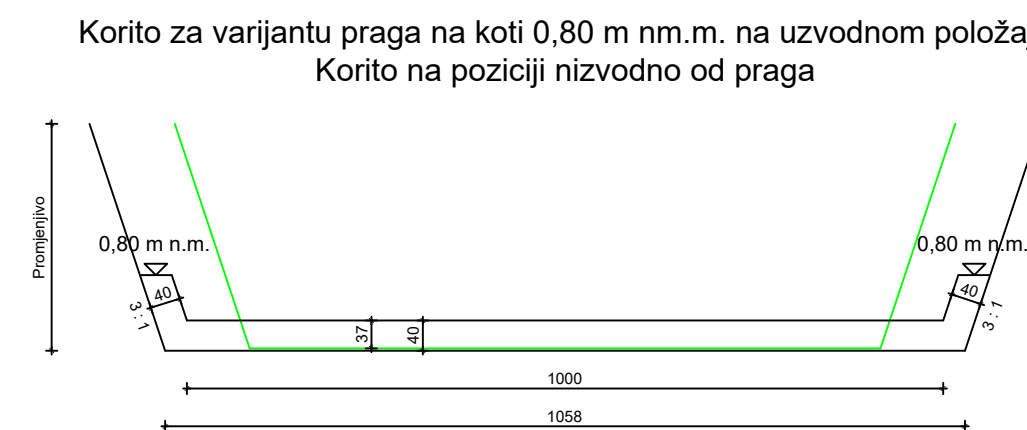
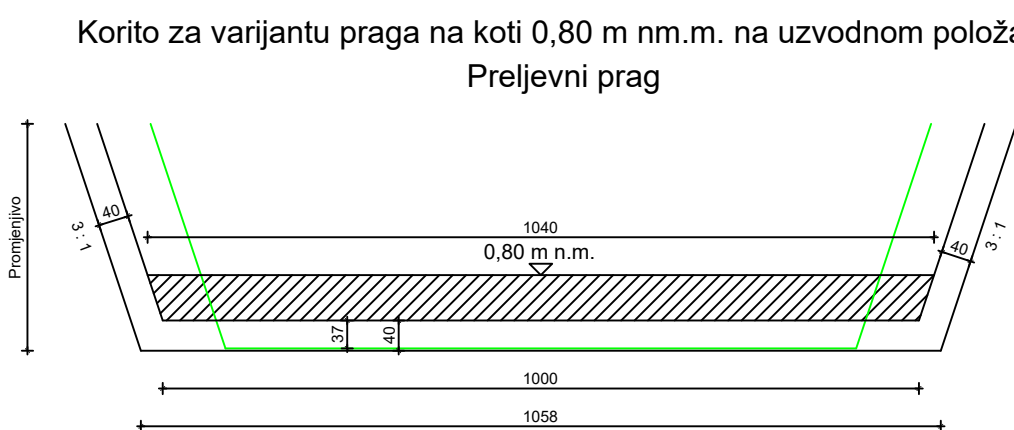
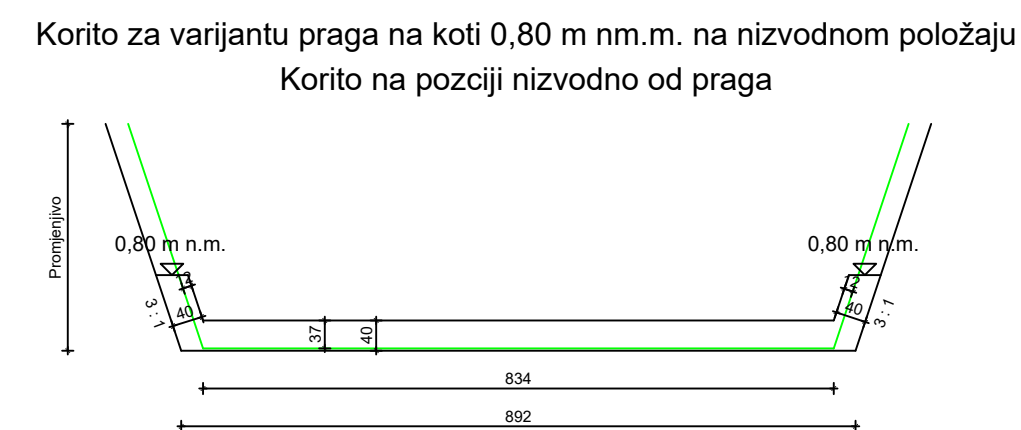
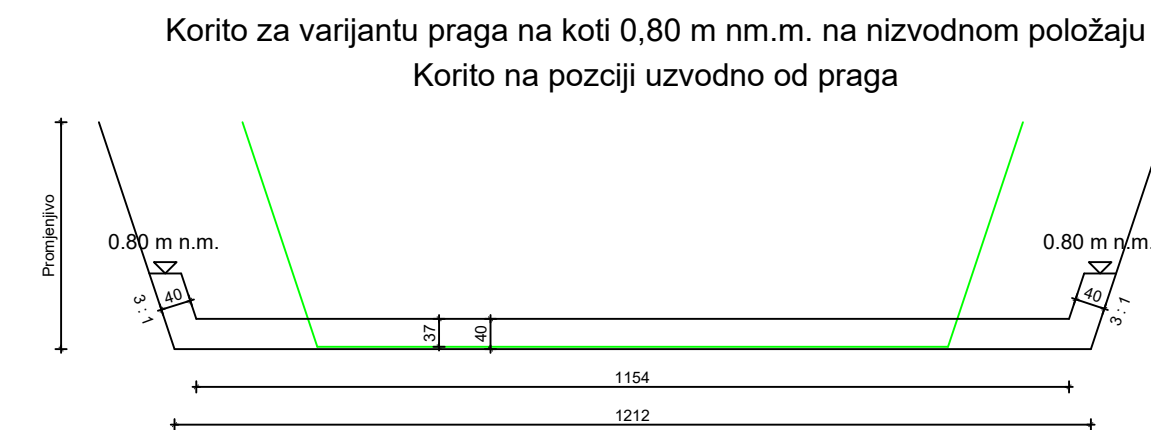
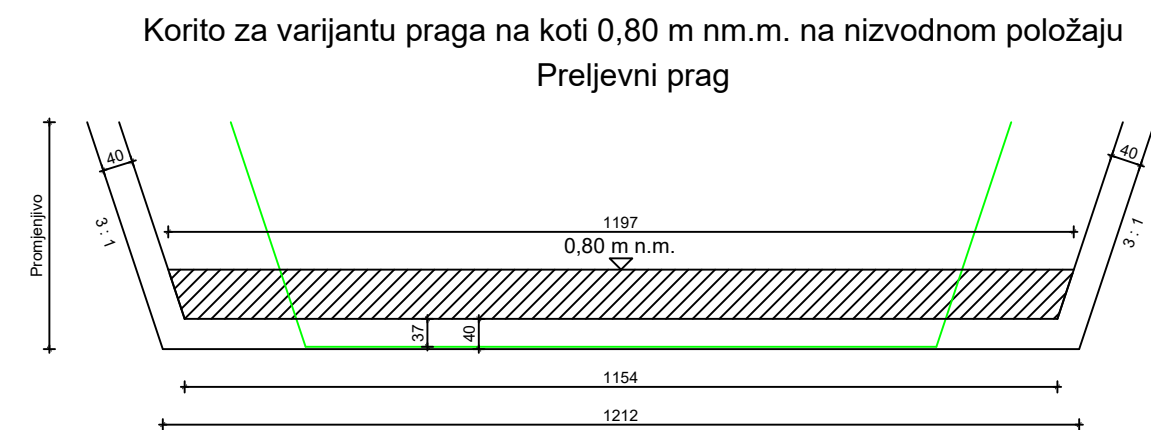
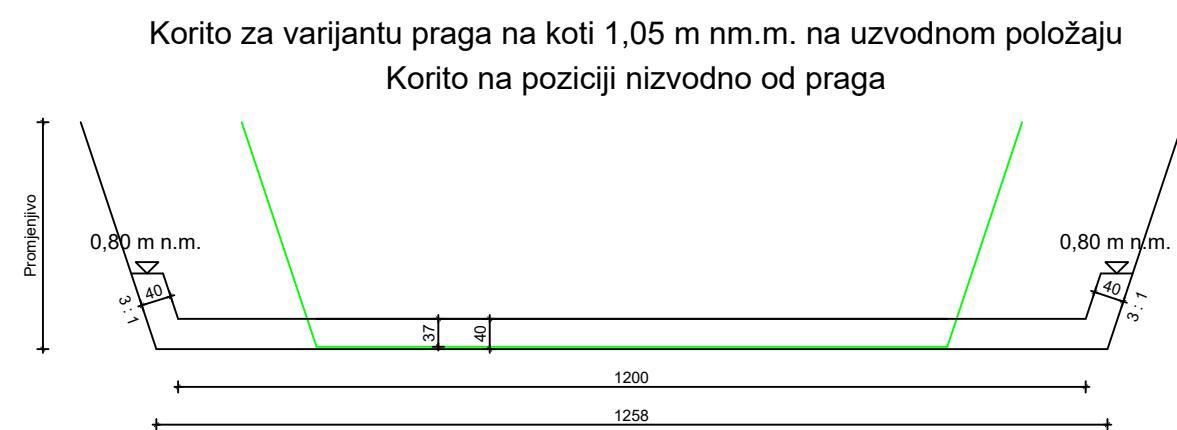
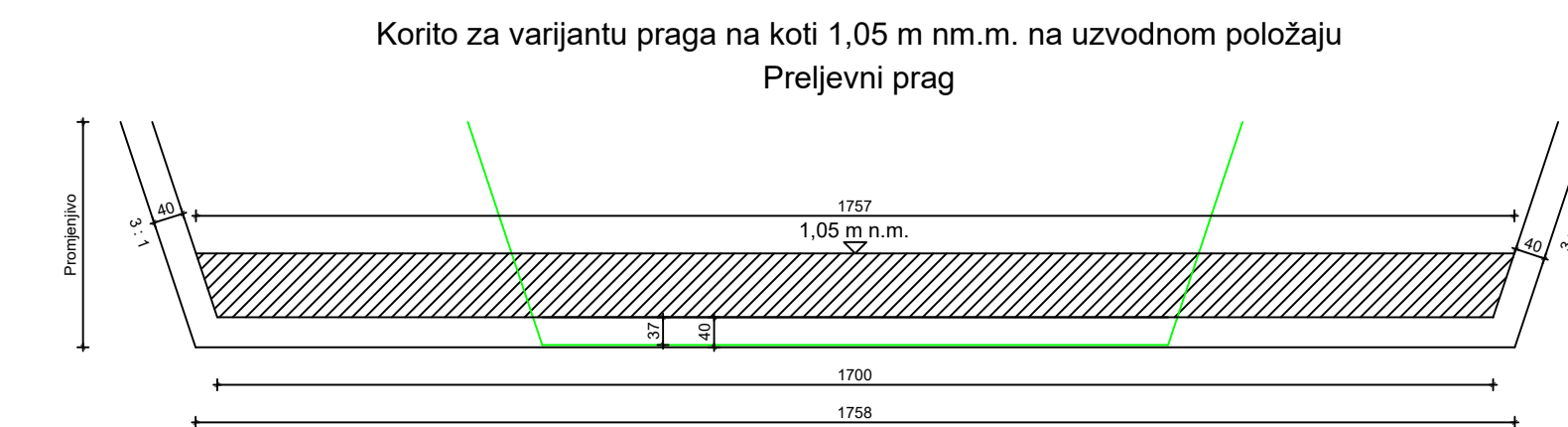
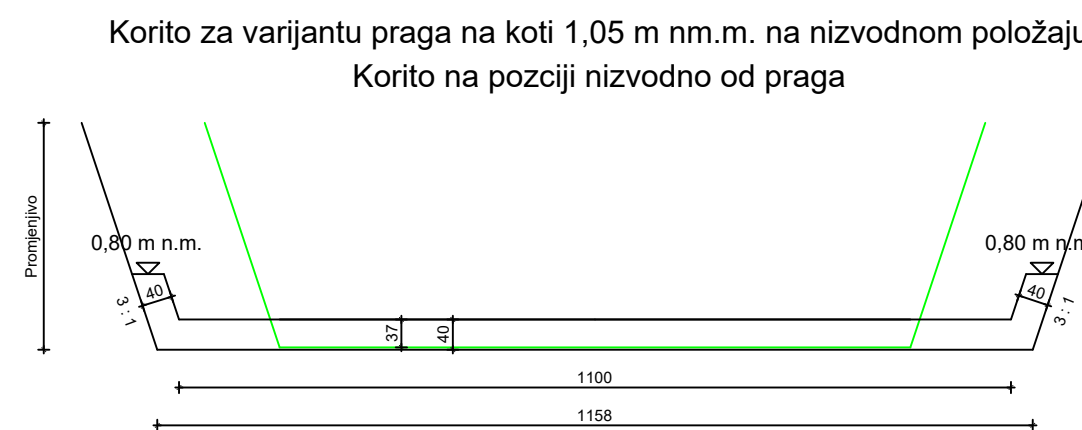
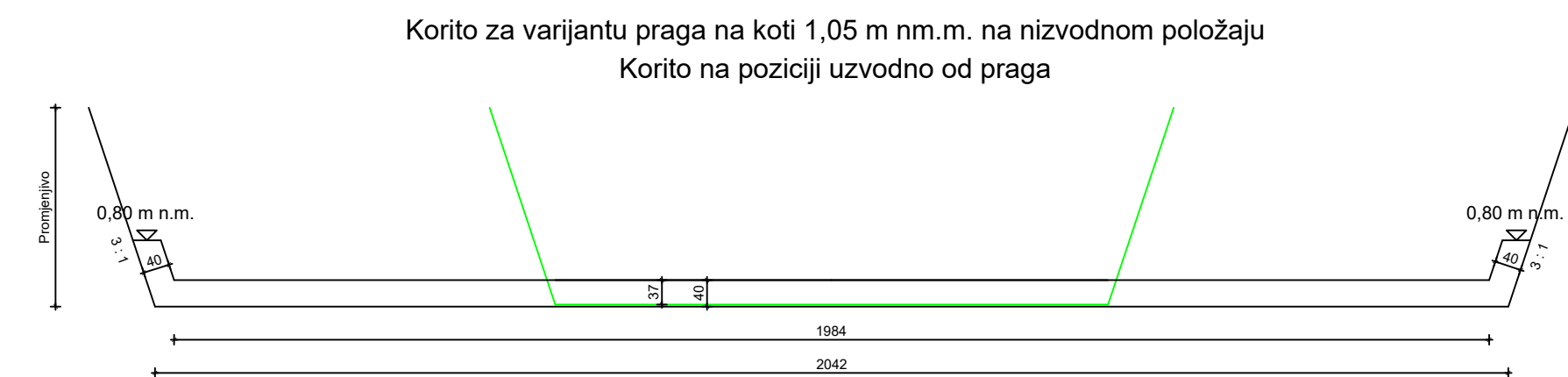
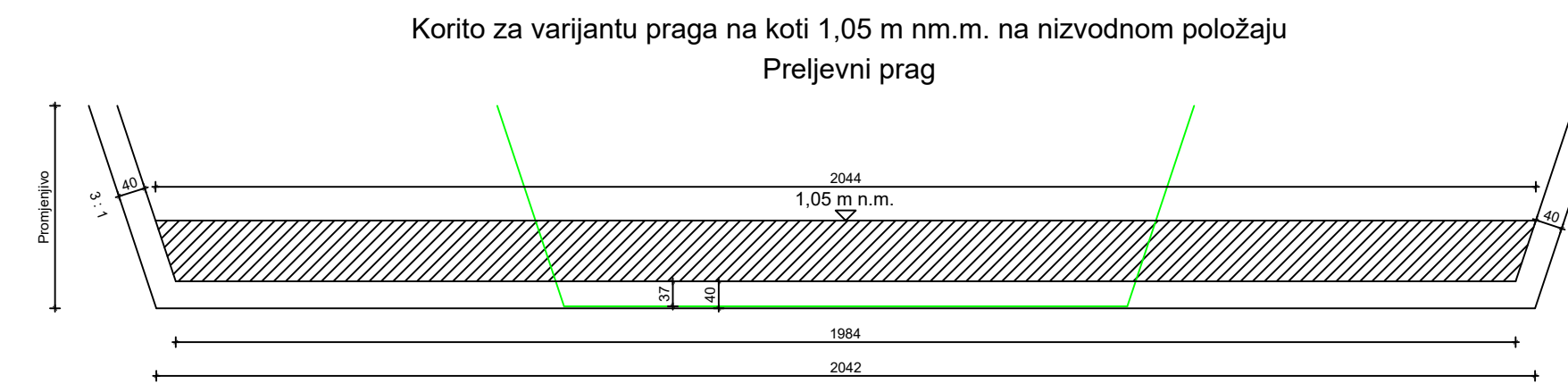
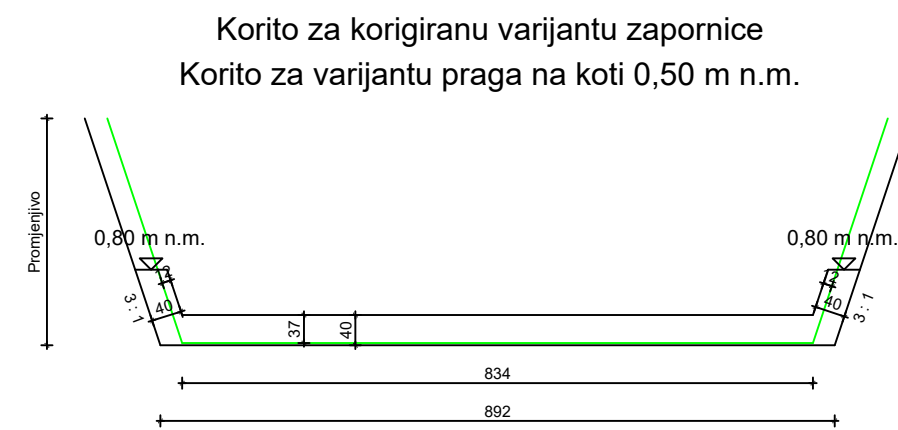
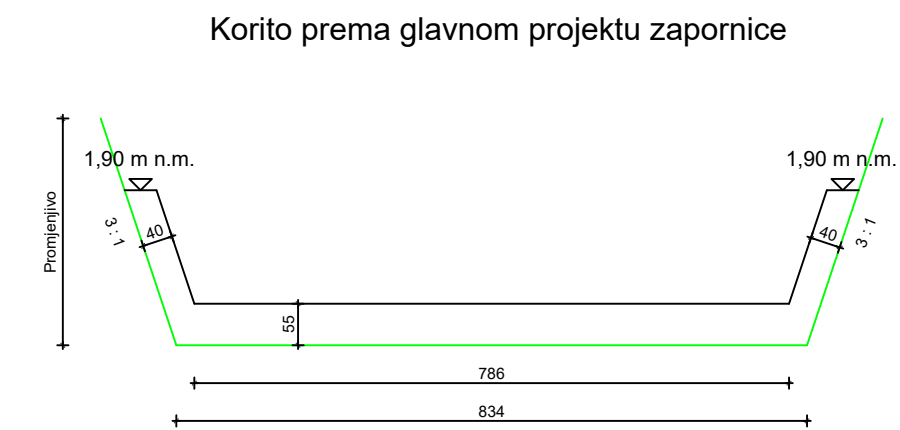
Lokacija 2:

- prag na 0,80 m n.m.,
- prag na 1,05 m n.m.

Lokacija 3:

- prag na 0,80 m n.m.,
- prag na 1,05 m n.m.

BR. REVIZIJE:	OPIS:	DATUM:	POTPIS:
 HIDROMODELING <small>INVESTITOR</small>			
Hrvatske vode, 10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 220 <small>PROJEKT</small>			
Analiza varijantnih rješenja za poboljšanja stanja vode u Vranskom jezeru i kanalu Prorika <small>RAZINA OBRADE</small>			
Idejno rješenje		Građevinski projekt	
<small>SURADNIK</small>		<small>Z.O.P.</small>	
Luka Zaharija, mag.ing.aedif.		21.02.IR	
<small>PROJEKTANT</small>		<small>OZNAKA PROJEKTA</small>	
Davor Stipanić, mag.ing.aedif.		2	
<small>MJERILO</small>		<small>BROJ NACRTA</small>	
1:1.000		2	
<small>MJESTO</small>		<small>DATUM</small>	
Rijeka		Srpanj 2021	
<small>NACRT</small>			
Prikaz lokacija za varijante pragova i zapornica			



BR. REVIZIJE:	OPIS:	DATUM:	POTPIS:
 HIDROMODELING INVESTITOR			
Hrvatske vode, 10000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 220			
PROJEKT Analiza varijantnih rješenja za poboljšanja stanja vode u Vranskom jezeru i kanalu Prosika			
RAZINA OBRADE		STRUKOVNA ODREDNICA	
Idejno rješenje	Građevinski projekt		
SURADNIK	Z.O.P.	OZNAKA PROJEKTA	
Luka Zaharija, mag.ing.aedif.		21.02.IR	
PROJEKTANT	MJERILO	BROJ NACRTA	
Davor Stipanić, mag.ing.aedif.	1:100	3	
NACRT	MJESTO	DATUM	
	Rijeka	Srpanj 2021	
Karakteristični poprečni presjeci kanala Prosika za analizirane varijante			

B

Tehnički dio idejnog rješenja

Popis korištenih podloga

6 Popis korištenih podloga

- [1] Institut IGH d.d. Standardna kalkulacija za radove u visokogradnji - Bilten IX. , 2019.
- [2] Institut IGH d.d. Zapornica na kanalu Prosika na Vranskom jezeru - Glavni projekt, 2019.
- [3] Elektroprojekt. Pregrada na Vranskom jezeru - Idejno rješenje, 1983. Zagreb.
- [4] Građevinski fakultet Rijeka. Hidrološka istraživanja na području PP Vransko jezero u kontekstu procjene mogućnosti zaštite jezera od zaslanjenja, 2009. (Voditelj zadatka: Josip Rubinić), Rijeka.
- [5] Građevinski fakultet Rijeka. Vransko jezero kod Biograda - procjena utjecaja praga na zaštiti jezera od zaslanjivanja i ocjena ekološki prihvatljivog protoka površinskih pritoka, 2011. (Voditelj zadatka: Josip Rubinić), Rijeka.
- [6] Franjo Fritz. Postanak i starost Vranskog jezera kod Biograda na moru. *Geološki vjesnik*, 37:231–243, 1984.
- [7] Hrvatski geološki institut Građevinski fakultet u Rijeci. Ocjena "zatečenog" stanja površinskih i podzemnih voda utjecajnog područja planiranog sustava za navodnjavanje Vranskog polja - I. faza (geološka, hidrogeološka, inženjerskogeološka i hidrološka istraživanja), 2021.
- [8] Frano Hekman. Melioracija Vranskog jezera: vodoprivredna problematika vranskog područja. *Radovi Instituta Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti u Zadru*, 18:469–476, 1971.
- [9] Frano Hekman. *Vodno gospodarstvo Dalmacije*. Ex libris, Zagreb, 2006.
- [10] Hidroprojekt. Ustava na kanalu Prosika - Glavni projekt, 1973. Zagreb.
- [11] Hrvatski institut za biološku raznolikost Hrvatsko društvo za biološka istraživanja. Smjernice za održavanje povoljnog vodostaja Vranskog jezera za faunu riba, November 2012. (Autor: Jelić Dušan), Zagreb.
- [12] Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, 2019.
- [13] Ministarstvo zaštite okoliša i energetike Republika Hrvatska. Sedmo nacionalno izvješće i treće dvogodišnje izvješće Republike Hrvatske prema okvirnoj konvenciji Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC), 2018.



- [14] Ivan Rožić. Izrada prethodne studije utjecaja na okoliš akumuliranja vode Vranskog jezera. *Hrvatska vodoprivreda*, 3(18):6–7, 1994.
- [15] Josip Rubinić. *Vodni režim Vranskog jezera u Dalmaciji i klimatski utjecaji*. PhD thesis, Sveučilište u Rijeci Građevinski fakultet, 2014.
- [16] Đuro Đaković inženjering. Mehanička zapornica - brana na kanalu Prosika - Idejno rješenje, 2008. Slavonski Brod.
- [17] Hrvatske vode VGO Split. Preljevni prag s ribljom stazom u kanalu Prosika - Idejno rješenje, 2009. (Voditelj zadatka: Mirjana Švonja), Split.
- [18] Institut za elektroprivredu i energetiku d.d. Zapornica na kanalu Prosika na Vranskom jezeru - Idejni projekt, 2016.
- [19] Institut za geološka istraživanja. Vransko jezero kod Biograda - Hidrogeološki odnosi, 1974. Zagreb.
- [20] Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti Zavod za ornitologiju. Stručna ornitološka studija za potrebe izgradnje zapornice, 2010. (Autor: Jelena Kralj), Zagreb.