

Analiza mogućnosti navodnjavanja i osiguranja vode iz akumulacije Marganica (Istra)

Kalčić, Ivana

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:203297>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-16**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI

IVANA KALČIĆ

**ANALIZA MOGUĆNOSTI NAVODNJAVANJA I OSIGURANJA
VODE IZ AKUMULACIJE MARGANICA (ISTRA)**

Završni rad

Rijeka, srpanj 2019.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI

Preddiplomski sveučilišni studij
Kolegij: Vodni resursi i sustavi

Ivana Kalčić
JMBAG: 0114027900

**ANALIZA MOGUĆNOSTI NAVODNJAVANJA I OSIGURANJA VODE IZ
AKUMULACIJE MARGANICA (ISTRA)**

Završni rad

Rijeka, srpanj 2019

IZJAVA

Završni rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

U Rijeci, 01. Srpnja 2019.

IZJAVA

Završni rad izrađen je u sklopu znanstvenog projekta Procjene utjecaja klimatskih promjena na hidrološku stabilnost zaštićenih jezerskih sustava u krškom području Hrvatske (voditelj doc.dr.sc.Josip Rubinić), koji se realizira uz potporu Sveučilišta u Rijeci (broj potpore 18-298).

Mentor:

doc.dr.Sc. Josip Rubinić, dipl.ing.građ.

U Rijeci, 01. srpnja, 2019

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru prof.dr.sc. Josipu Rubiniću na pomoći, stručnim savjetima i vodstvu, strpljenju i uloženom trudu i vremenu tijekom izrade ovog završnog rada.

ANALIZA MOGUĆNOSTI NAVODNJAVANJA I OSIGURANJA VODE IZ AKUMULACIJE MARGANICA (ISTRA)

SAŽETAK

Akumulacija Marganica planirana je u središnjem dijelu Istre na području Pazinštine na istoimenom vodotoku. Taj vodotok završava ponorom Čiže, a vode iz ponorske zone otječu prema izvoru Gradole. U ovom su radu prikazane analize potrebnog volumena akumulacije Marganica za navodnjavanje i njihova usporedba sa rezultatima iz već postojeće studije gdje se je do potrebnih volumena akumulacije došlo drugačijim, pojednostavljenim metodološkim pristupom. Za simulaciju rada akumulacije korišten je model SYMAC koji simulira rad vodnih rezervoara u različitim uvjetima i s različitim iskazanim potrebama, kao i s postojanjem različitog stupnja gubitaka vode na poniranje. Zbog sve većih potreba za vodom za navodnjavanje kao i svog položaja i povezanosti s izvorom Gradole, ova je akumulacija vrijedna istraživanja i realiziranja.

Ključne riječi: Marganica, krški vodonosnik, vodni resursi, ponor, infiltracija, navodnjavanje

ANALYSIS OF OPTIONS FOR IRRIGATION AND PROVISION OF WATER FROM MARGANICA RESERVOIR (ISTRIA)

ABSTRACT

The Marganica reservoir is planned to be built in the central Istria in the area surrounding the town of Pazin, on the watercourse bearing the same name. It ends at ponor Čiže while the waters from the area run towards the spring of Gradola. This paper analyses accumulation volume in Marganica required for irrigation and compares it with the existing study where the required accumulation volumes were determined using different, simplified methodology. The SYMAC model is used to simulate the operation of water tanks under different conditions and concerning different requirements, as well as in cases of various degrees of water loss due to infiltration. The research on the reservoir and the implementation of the potential project is significant considering the growing demand for irrigation water supply as well as the reservoir's location and its connectedness with the Gradole spring.

Key words: Marganica, karst aquifer, water resources, ponor, infiltration, irrigation

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. PODRUČJE OBUHVATA	4
2.1. Općenito o planiranju akumulacije Marganica	4
2.2. Ponor Čiže i njegova povezanost s izvorom Gradole.....	7
2.3. Rezultati prethodnog bilanciranja akumulacije Marganica	13
3. METODOLOGIJA.....	15
3.1. Općenito o simulacijskim modelima	15
3.2. SYMAC model.....	16
4. ANALIZA MOGUĆNOSTI NAVODNJEVANJA I OSIGURANJA VODE U AKUMULACIJI MARGANICA	19
4.1. Podaci	19
4.2. Rezultati provedenih analiza.....	21
5. ZAKLJUČAK.....	28
6. LITERATURA	30

POPIS TABLICA

Tablica 1: Karakteristične mjesečne i godišnje ukupne protoke izvora Gradole za cjelokupno analizirano razdoblje (1987.-2012.), kao i registrirane protoke tijekom 2011. i 2012.g., (Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2013)

Tablica 2: Procijenjeni mogući dotoci u akumulaciju Marganica u sušnoj i prosječnoj godini te ukupne potrebe za vodom (Matković i suradnici, 2013)

Tablica 3: Karakteristične srednje mjesečne i godišnje ukupne protoke (1972. –2016.)
(izradila autorica)

Tablica 4: Karakteristične mjesečne i godišnje ukupne oborine (1972. – 2016.)
(izradila autorica)

Tablica 5: Prikaz podataka površine i volumena Marganice s obzirom na razinu vode u akumulaciji (izradila autorica)

Tablica 6. Prikaz vrijednosti gubitaka za svakih 1 m visine (izradila autorica)

POPIS SLIKA

Slika 1: Položaj akumulacije Marganica (dopunjeno prema

<http://www.natura-histrica.hr/en/>)

Slika 2: Položaj Marganice s pripadajućim slivom (dopunjeno prema Matkoviću i suradnicima, 2013)

Slika 3: Smještaj akumulacije Marganica (Rubinić i suradnici, 1999)

Slika 4: Smještaj Marganice s pripadajućim slivom (Matković i suradnici, 2013)

Slika 5: Prikaz ponora Čiže (Matković i suradnici, 2013)

Slika 6: Ponor Čiže (Kožul, 2018)

Slika 7: Izvor Gradole (Kožul, 2018)

Slika 8: Izvor Gradole s pripadajućim slivom te položajem sliva Marganice (Kožul, 2018)

Slika 9: Osnovna geološka građa Istre s položajem Marganice (dopunjeno prema Rubiniću i suradnicima, 2009)

Slika 10: Rezultati trasiranja izvora Gradole: Prikaz koncentracije boje, količine boje te protoka (Gulić, 1973)

POPIS GRAFOVA

- Graf 1. Prikaz krivulje površine akumulacije Marganica (izradila autorica)
- Graf 2. Prikaz krivulje volumena akumulacije Marganica (izradila autorica)
- Graf 3. Ovisnost stupnja osiguranja opskrbe vodom obzirom na kotu praga preljeva (izradila autorica)
- Graf 4. Visina vode u akumulaciji u cjelokupno promatranim godinama (izradila autorica)
- Graf 5. Ovisnost stupnja osiguranja opskrbe vodom obzirom na kotu praga preljeva uz zahtjev za biološkim minimumom (izradila autorica)
- Graf 6. Visina vode u akumulaciji u cjelokupno promatranim godinama uz zahtjev biološkog minimuma (izradila autorica)
- Graf 7. Odnos visine vode i gubitaka (izradila autorica)
- Graf 8. Ovisnost stupnja osiguranja opskrbe vodom obzirom na kotu praga preljeva uz gubitke (izradila autorica)
- Graf 9. Visina vode u akumulaciji u cjelokupno promatranim godinama uz gubitke (izradila autorica)
- Graf 10. Ovisnost stupnja osiguranja opskrbe vodom obzirom na kotu praga preljeva uz gubitke i zahtjev biološkog minimuma (izradila autorica)
- Graf 11. Visina vode u akumulaciji u cjelokupno promatranim godinama uz gubitke i zahtjeve za ekološkim minimumom (izradila autorica)

1. UVOD

Regionalni prostor Istre sagledan sa današnjeg aspekta ima dovoljne količine pitke vode, no postoji niz situacija u kojima male promjene izdašnosti izvora nepovoljno utječu na vodoopskrbu. No, za sada se navodnjava iznimno mali dio poljoprivrednih površina, tako da je planirano da će za zadovoljavanje tih potreba trebati graditi niz akumulacija jer podzemnih zaliha za osiguranje voda za navodnjavanje nema u dovoljnoj mjeri da bi se pokrile iskazane potrebe. Područje Istre karakterizira pojava vrlo intenzivnih kratkotrajnih oborina te vrlo naglašenih sušnih razdoblja.

Važnu komponentu vodnih resursa u Istri te najiskoristiviji podzemni resurs predstavljaju krški vodonosnici. Od davnina se teži najisplativijem i najučinkovitijem načinu njihova iskorištavanja te očuvanja. Upravo radi zaštite kvalitete dostupnih količina vode na mnogobrojnim se područjima diljem poluotoka nalaze zone sanitarne zaštite.

Potrebe za pitkom vodom svakim se danom povećavaju. Time dolazi do sve većih zagađenja kako površinskih tako i podzemnih voda. Uz to, klimatske promjene čije se manifestacije već zapažaju u vidu sve učestalijih ekstrema sa sve naglašenijim sušnim razdobljima, nameću potrebu izgradnje akumulacija kako bi se osigurale potrebne količine voda za različite potrebe (vodoopskrba, navodnjavanje, potrebe ekosustava ovisnih o vodi). Velike prednosti korištenja javljaju se kod podzemnih voda radi njihove konstantne temperature i kemijskog sastava, bezbojnosti i bistrine. Povećavaju se srednje godišnje temperature zraka kao jedna od posljedica globalnog zatopljenja. Prirodno je napajanje krških vodonosnika umanjeno prevelikom izgradnjom područja.

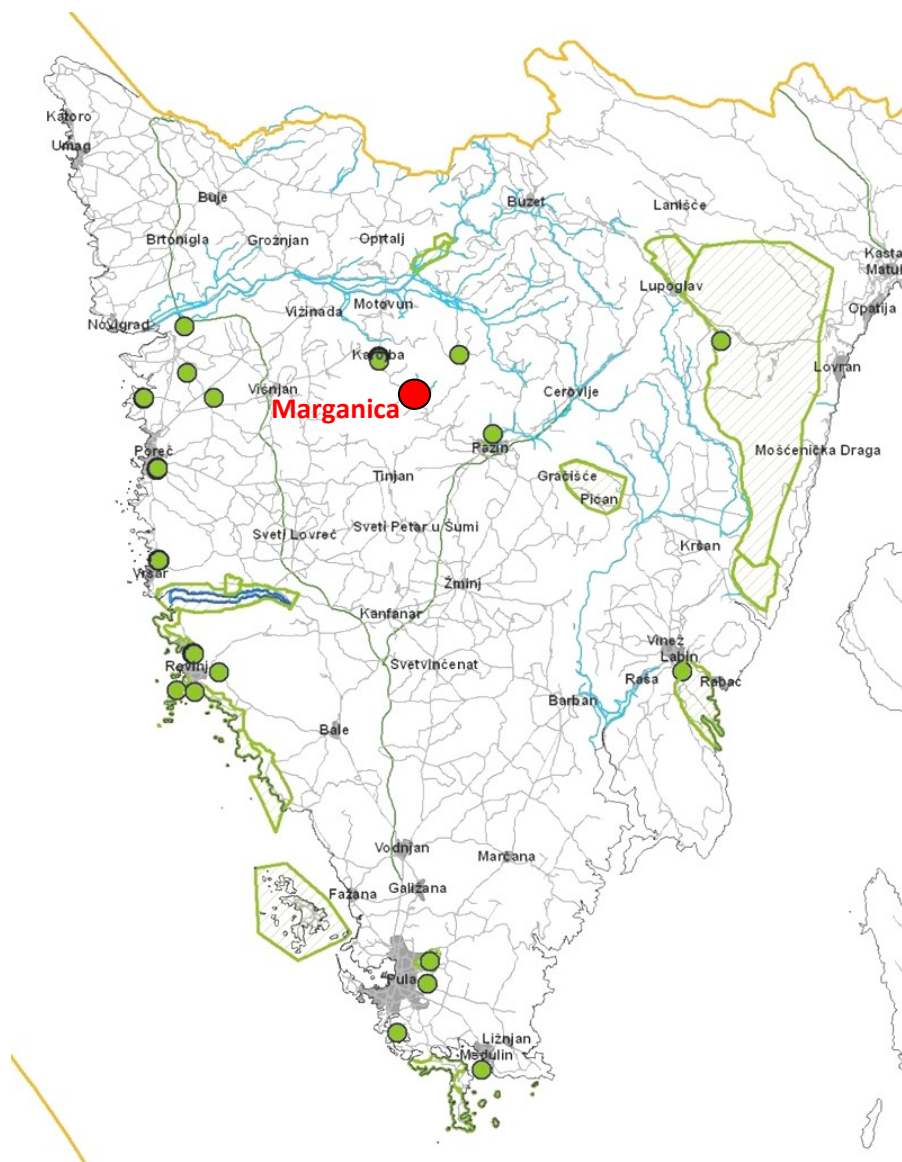
Zbog svih navedenih razloga sve se više teži reguliranom (umjetnom) napajanju vodonosnika koje se smatra najboljom strategijom za upravljanje vodnim resursima. Međutim, i umjetno napajanje iziskuje određene prostorne uvijete. Mora biti osigurano dovoljno resursa vode koja se može koristiti isključivo za potrebe umjetnog napajanja, dobro treba poznavati količine oborina, temperaturu vode i klimatska obilježja. Ulijevanjem vode u podzemlje te njezinom cirkulacijom dolazi do samopročišćenja i poboljšanja kvalitete vode.

Najznačajnije i najizdašnije izвориšte podzemnih voda Istarskog vodovoda je izvor Gradole prema kojem otječu vode iz ponorske zone Marganice. Uz Gradole velika bogatstva

predstavljaju i kaptirani izvori Bulaž i Sv. Ivan koji se pridružuju vodoopskrbnom sustavu te na taj način stvaraju dostatan kapacitet mreže.

Akumulacija služi za balansiranje i održavanje vodnih resursa te izravnavanje vodnog režima. Voda se prikuplja dijelom od stalnih dotoka u akumulaciju, dijelom oborinama koje padnu na sliv. Izgradnjom akumulacija omogućuje se gravitacijsko tečenje voda ka poljoprivrednim površinama, a može se koristiti i za prihranjivanje nekog drugog izvora ili za pojačanje vodoopskrbe nekog područja. Sama akumulacija mora biti optimizirana i u skladu sa širim vodoopskrbnim sustavom te imati mogućnost dodatnog napajanja iz susjednih izvorišta i slivova.

U ovom će radu biti prikazan proračun volumena akumulacije Marganica (Slika 1.) za navodnjavanje korištenjem hidroloških podataka od 1973. do 2016. godine. U odnosu na već postojeću studiju IGH "Idejno rješenje odvodnje i navodnjavanja Pazinštine" (Matković i suradnici, 2013) u kojoj su analizirane samo neke karakteristične godine, u ovom je radu korišten model u kojem su analizirane sve raspoložive godine. Dobivena je mogućnost iskazivanja stupnja osiguranja potreba za vodom ovisno o visini preljevnog praga i pripadajućem volumenu te koliki je broj godina s manjkovima u odnosu na ukupan broj sagledanih godina.



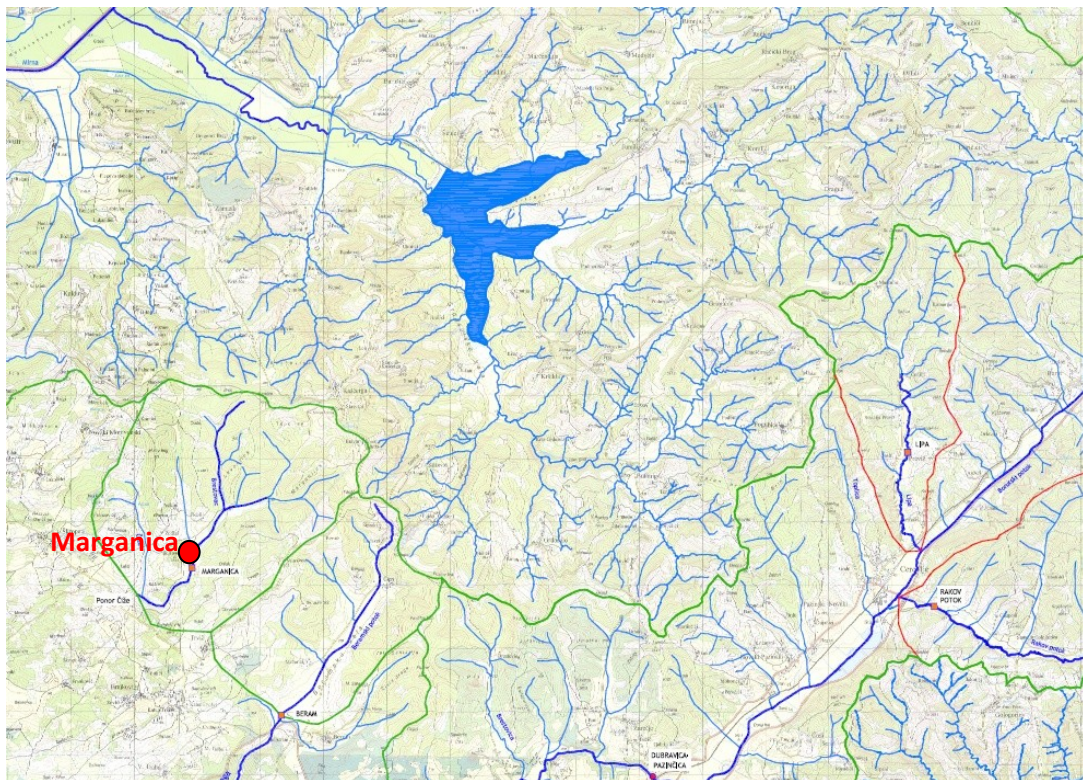
Slika 1: Položaj akumulacije Marganica (dopunjeno prema <http://www.natura-histrica.hr/en/>)

2. PODRUČJE OBUHVATA

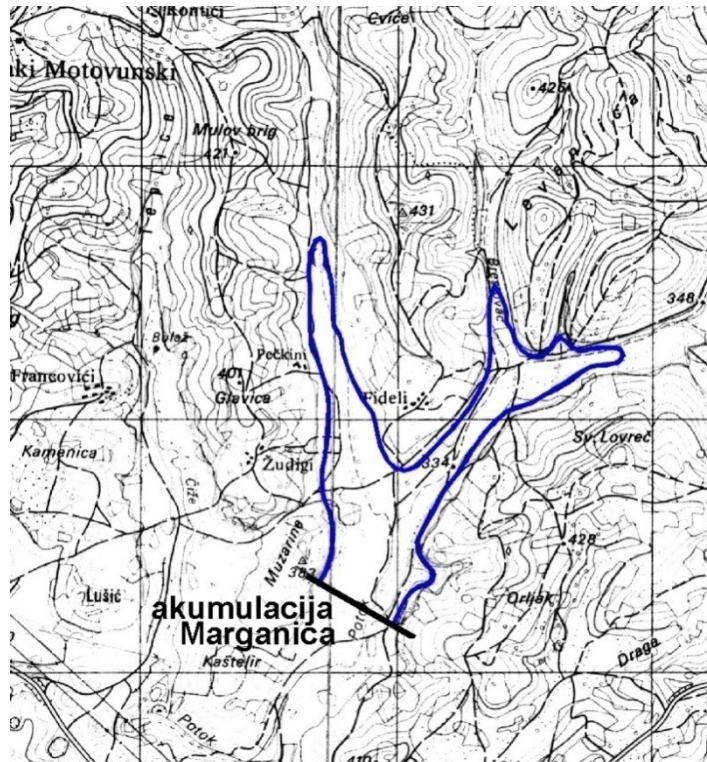
2.1. Općenito o planiranju akumulacije Marganica

Saznanjem da se ne mogu zadovoljiti sve iskazane potrebe za navodnjavanjem, izrađena je “Studija akumulacija u srednjoj Istri” (Elektroprojekt, 1970.). Tom je studijom u slivu Mirne predložena izgradnja triju akumulacija (Butoniga, Bračana i Rečina), kao i triju akumulacija na području Pazinštine (Pazin, Marganica i Rakov potok) (Rubinić i suradnici, 1999., prema Elektroprojektu 1970).

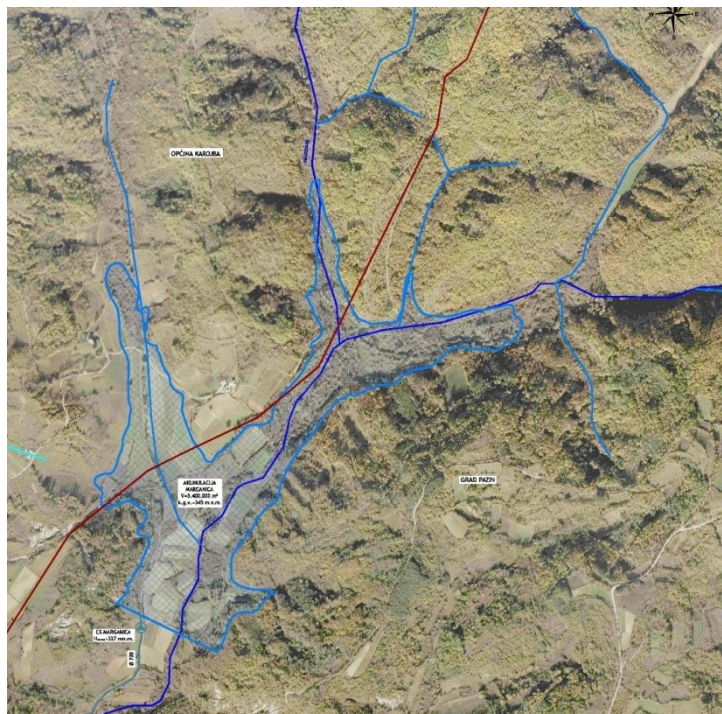
Akumulacija Marganica (Slika 2. i 3.) planirana je na istoimenom vodotoku, a nalazi se u središnjem dijelu Istre na području Pazinštine i to na granici dviju općina; općine Karojba i grada Pazina. Ukupna površina sliva vodotoka Marganice (Slika 4.), zajedno s njezinim pritocima Rakovnik i Topolovac iznosi 10.5 km² i završava ponorom Čiže koji se nalazi sjeverozapadno od naselja Trviž.



Slika 2. Položaj Marganice s pripadajućim slivom (dopunjeno prema Matkoviću i suradnicima, 2013)



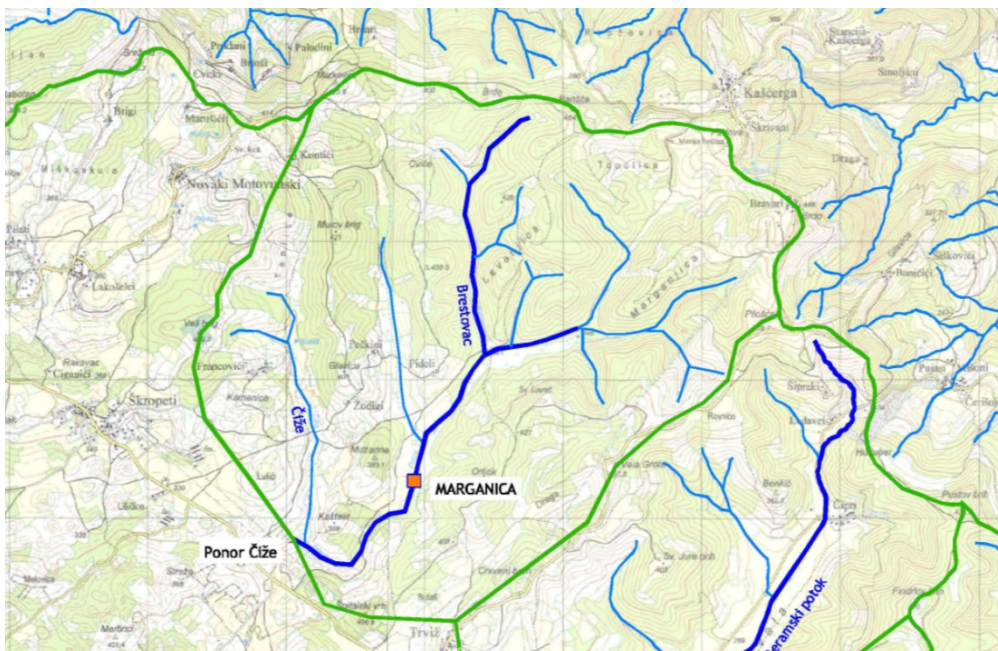
Slika 3. Smještaj akumulacije Marganica (Rubinić i suradnici, 1999)



Slika 4. Smještaj Marganice s pripadajućim slivom (Matković i suradnici, 2013)

U “Studiji akumulacija u srednjoj Istri” (Elektroprojekt, 1970), razmotreno je rješenje akumulacije brtvljenjem ponora Čiže čime bi se zahvatile sve vode koje mu gravitiraju. Srednji godišnji dotok za tu varijantu procijenjen je na 6.12 mil. m³. Načelno je planirano da bi se brtvljenje ponora izvelo na način da se betonira područje neposredno oko ponora u vidu otvorenog betonskog grotla te bi se ostavio zatvarač za kontrolirano ispuštanje vode u Ponor (Rubinić i suradnici, 1999., prema Elektroprojektu 1970). Ovo je bilo jedno idejno rješenje, no da bi se ono provelo potrebne su daljnje analize i detaljnija istraživanja.

Novije rješenje predstavlja planiranje pregradnog profila koji bi bio smješten oko 1,2 km sjeveroistočno od utoka u ponor Čiže (Slika 5.). Kota terena iznosi 327 m n. m., a kota vodnog lica praga preljeva akumulacije je na 345 m n. m. Pregradni profil omogućuje ostvarenje akumulacije od 3,4 mil.m³. Ukupna površina sliva uzvodno od pregradnog profila iznosi 8,1 km² što daje ukupni godišnji dotok od 2,2 mil.m³ u sušnoj godini i 2,5 mil.m³ u prosječnoj godini (Matković i suradnici, 2013).



Slika 5. Prikaz ponora Čiže (Matković i suradnici, 2013)

Prema “ Idejnom rješenju odvodnje i navodnjavanja Pazinštine” (Matković i suradnici, 2013) akumulacija Marganica planirana je kao višenamjenska akumulacija te je bilanca vode podijeljena na nekoliko stavki. Dio je predviđen za prihvat nanosa (do oko kote 331 m n. m.), dio za navodnjavanje (od 331 do 341,5 m n. m.) te dio za prihvat vodnog vala.

2.2. Ponor Čiže i njegova povezanost s izvorom Gradole

Ponor Čiže (Slika 6.) sastoji se od dva ponora koja se nalaze na različitim nadmorskim visinama. Nadmorska visina nižeg ponora je 320 m n. m. On se nalazi na dnu ljevkaste doline i u njega se ulijevaju male i srednje vode koje do ponora stižu potokom Čiže. U slučaju velikih voda niži ponor nije u mogućnosti prihvatiti svu vodu i tada zbog stvaranja retencije dolazi do aktivacije i višeg ponora koji zajedno sa nižim djeluje kao jedinstveni sustav (Kožul, 2018).

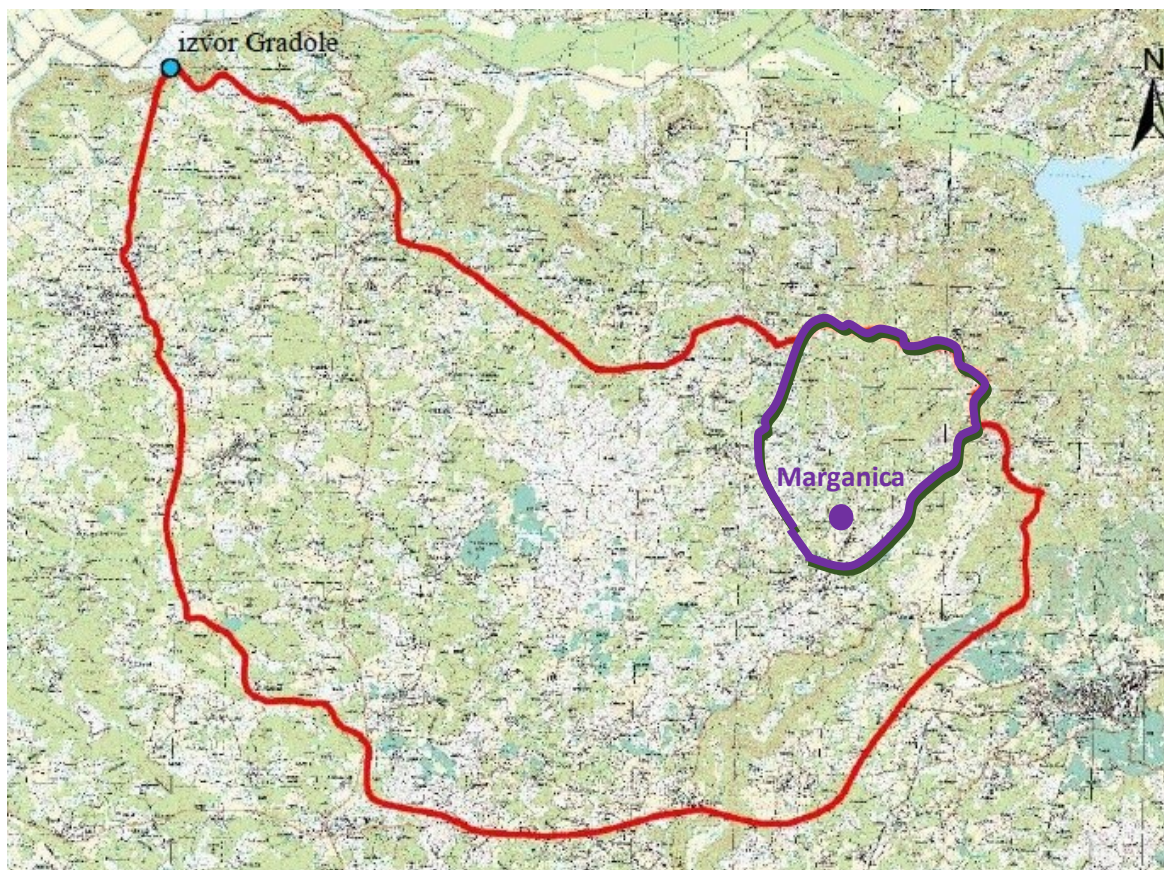


Slika 6. Ponor Čiže (Kožul, 2018)

Izvor Gradole (Slika 7. i 8.) koji je prema rezultatima provedenih trasiranja povezan s ponorom Čiže, nalazi se oko 9,5 km uzvodno od ušća rijeke Mirne na lijevoj obali doline i najznačajnije je izvorište podzemnih voda Istarskog vodovoda. Izdašnost varira između nekoliko stotina l/s pa do preko $18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2013).



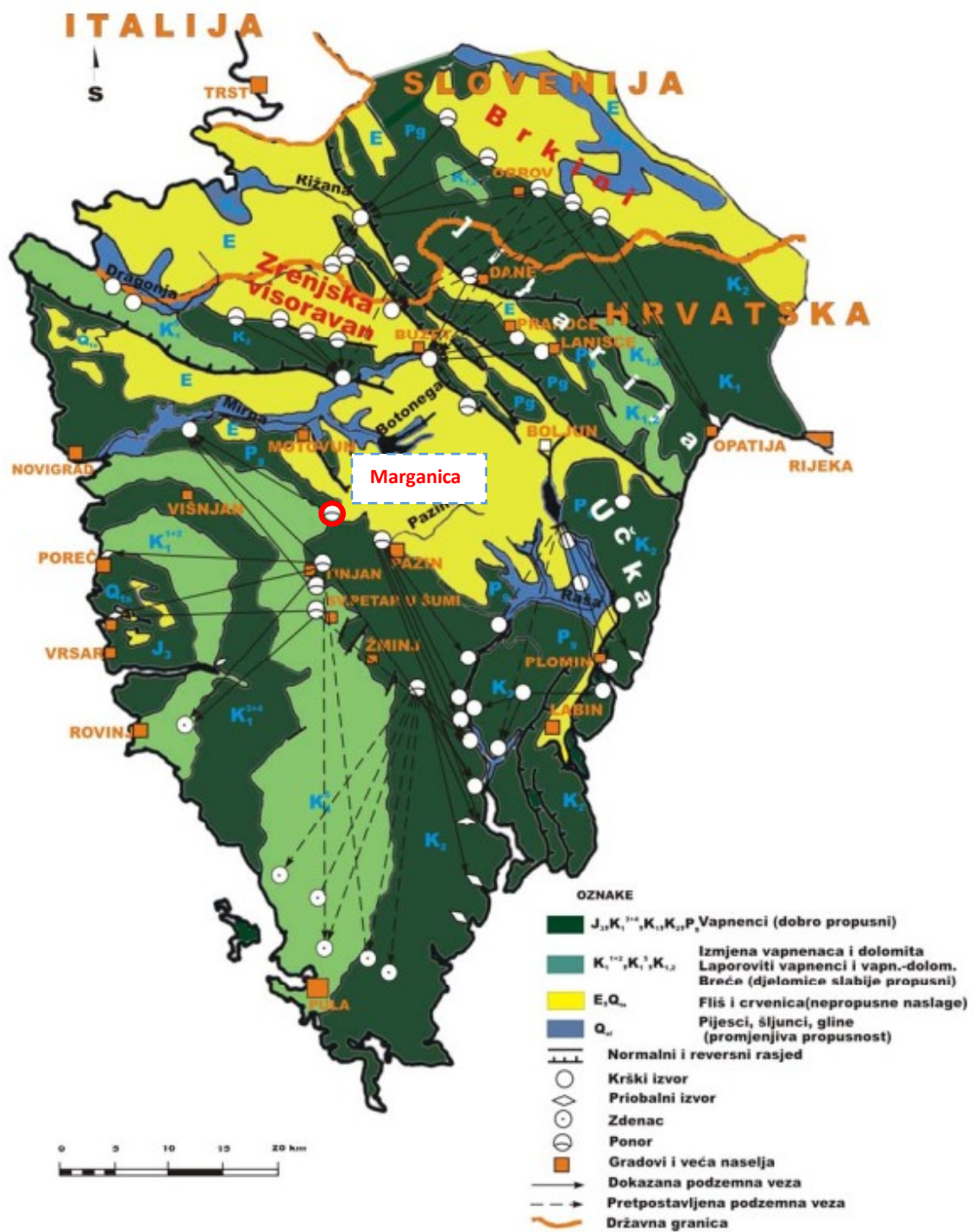
Slika 7. Izvor Gradole (Kožul, 2018)



Slika 8. Izvor Gradole s pripadajućim slivom te položajem sliva Marganice (Kožul, 2018)

Nadalje, hidrološki režim izvora karakterizira djelovanje kao preljev podzemne akumulacije te mu sama izdašnost ovisi o dotocima u podzemnu akumulaciju te o oscilaciji vodostaja u akumulaciji.

Područje Istarskog poluotoka vrlo je heterogeno u pogledu tipa otjecanja- na oko 40% površine (područje koje je izgrađeno od naslaga fliša te dolinskog aluvijalnog nanosa) prisutno je pretežno površinsko otjecanje, a na oko 60% površine (područje izgrađeno od karbonatnih naslaga) dominira podzemno otjecanje (Slika 9.) (Rubinić i suradnici, 2009).



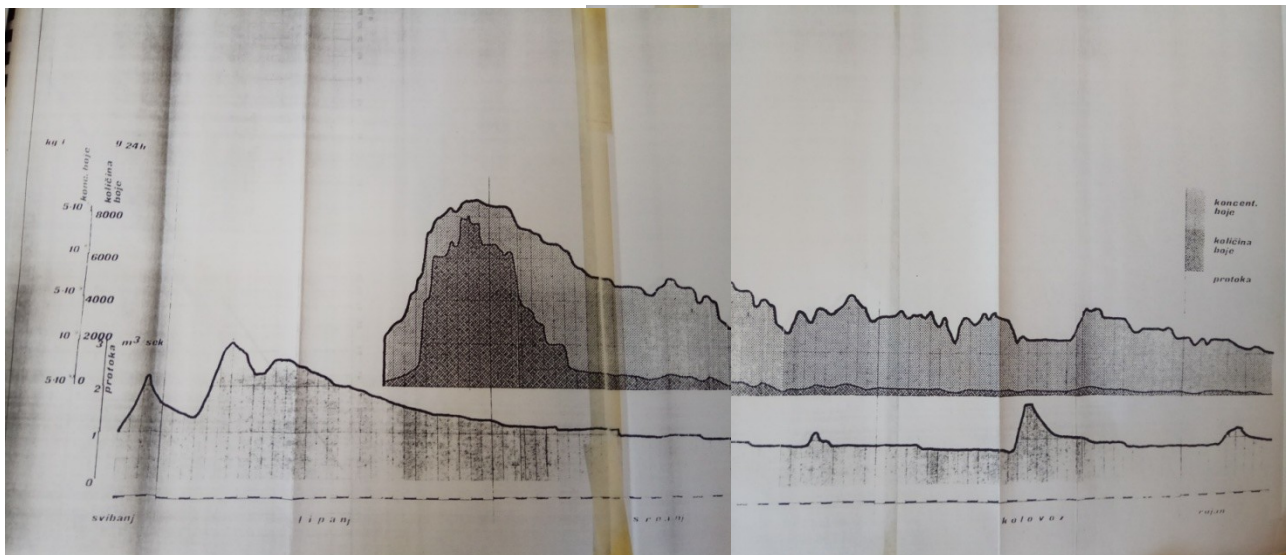
Slika 9. Osnovna geološka građa Istre s položajem Marganice (dopunjeno prema Rubiniću i suradnicima, 2009)

Prema "Hidrološkoj ekspertizi" (Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2013) u Tablici 1 nalazi se prikaz karakterističnih srednjih i ekstremnih mjesečnih i godišnjih vodostaja i protoka (SR, MAX i MIN, St. dev. i koeficijent varijacije Cv), na izvoru Gradole za cjelokupno analizirano razdoblje 1987.-2012.

Tablica 1. Karakteristične mjesečne i godišnje ukupne protoke izvora Gradole (1987.-2012.), (Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2013)

Parametar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednje mjesečne i godišnje ukupne protoke (m³s⁻¹)													
SR	2,92	2,57	2,45	2,48	2,09	1,64	1,13	0,94	0,98	1,42	2,44	3,04	2,01
St. dev.	1,78	1,37	1,42	1,07	0,92	0,98	0,47	0,38	0,68	1,28	1,79	1,82	0,622
Cv	0,61	0,53	0,58	0,43	0,44	0,60	0,42	0,40	0,70	0,90	0,73	0,60	0,31
MAX	7,08	5,28	6,71	4,50	4,24	4,59	2,62	2,03	3,04	5,26	6,05	7,61	4,25
MIN	0,412	0,31	0,39	0,44	0,54	0,49	0,44	0,29	0,29	0,28	0,55	0,51	0,863
Minimalne mjesečne i godišnje ukupne protoke (m³s⁻¹)													
SR	1,92	1,73	1,69	1,65	1,41	1,20	0,89	0,71	0,66	0,79	1,06	1,79	0,497
St. dev.	1,18	0,92	1,04	0,62	0,53	0,52	0,39	0,28	0,27	0,60	0,91	1,06	0,198
Cv	0,62	0,53	0,61	0,38	0,38	0,43	0,44	0,40	0,41	0,76	0,86	0,59	0,40
MAX	4,51	3,34	4,72	2,65	2,51	2,33	2,13	1,62	1,29	2,49	4,12	5,13	1,23
MIN	0,264	0,28	0,28	0,33	0,38	0,39	0,24	0,24	0,20	0,24	0,24	0,45	0,204
Maksimalne mjesečne i godišnje ukupne protoke (m³s⁻¹)													
SR	4,56	4,08	4,01	3,70	3,25	2,38	1,50	1,38	1,82	2,59	4,88	5,05	7,77
St. dev.	2,51	2,38	2,14	1,84	1,72	1,88	0,78	1,09	2,03	2,71	3,17	2,92	1,66
Cv	0,55	0,58	0,53	0,50	0,53	0,79	0,52	0,79	1,12	1,04	0,65	0,58	0,21
MAX	9,43	8,47	8,82	8,23	7,91	7,63	4,19	5,65	9,35	10,6	10,9	10,3	10,9
MIN	0,612	0,33	0,46	0,57	1,06	0,60	0,52	0,32	0,38	0,38	0,67	0,57	4,88

Trasiranje se provodilo nekolicinu puta (Građevinski fakultet Zagreb, 1969; Institut Ruđer Bošković, 1976 i 1988- prema “Umjetnom napajanju krškog vodonosnika na primjeru izvora Gradole ” (Kožul, 2018)) kako bi se dokazala povezanost ponora Čiže s izvorom Gradole. Tako je 1968. godine bojanje izvedeno ubacivanjem 100 kg fluoresceina u ponor , a 1976. godine ubacivanjem 1000 Ci tricirane vode. 1987. godine pristupilo se trasiranju ponora Čiže radi utvrđivanja dinamike podzemne vode za sušni period te mogućnosti da se kontrolirano poveća izdašnost izvora Gradole. Rezultati su pokazali da se praktički sva količina vode koja ponire javlja i na izvoru te je dokazana izravna veza između njih (Slika 10).



Slika 10. Rezultati trasiranja izvora Gradole: Prikaz koncentracije boje, količine boje te protoka (Gulić, 1973)

To je dalo ideju da se smanjene izdašnosti Gradola povećaju umjetnim dodatnim napajanjem putem ponora Čiže. Tako je tijekom sušnih mjeseci u ponor Čiže već u više navrata ubacivana voda iz akumulacije Botonega. Na taj način se je povećala mogućnost crpljenja na Gradolama, kao i osiguralo korištenje voda iz Botonege prije izgradnje uređaja za pročišćavanje vode iz akumulacije. Naime, upuštanjem vode iz akumulacije u podzemlje i tečenjem kroz krški vodonosnik dijelom je vršeno njihovo samopročišćavanje, a uz to vode koje se crpe na Gradolama pročišćavaju se na odgovarajućem uređaju za kondicioniranje voda (Rubinić i suradnici, 1999).

2.3. Rezultati prethodnog bilanciranja akumulacije Marganica

U nastavku prikazuju se procijenjeni mogući dotoci u akumulaciju za pregradni profil Marganica u sušnoj i prosječnoj godini prema “ Idejnom rješenju odvodnje i navodnjavanja Pazinštine ” (Matković i suradnici, 2013)(Tablica 2).

Tablica 2. Procijenjeni mogući dotoci u akumulaciju Marganica u sušnoj i prosječnoj godini te ukupne potrebe za vodom (Matković i suradnici, 2013)

Mjesec	Dotoci u ak. Marganica u sušnoj g.	Dotoci u ak. Marganica u prosječnoj g.	Ukupne potrebe za vodom
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
listopad	0	0	0
studeni	0	0	0
prosinac	0,117	0,077	0
siječanj	0,052	0,064	0
veljača	0,28	0,266	0
ožujak	0,159	0,232	0
travanj	0,16	0,285	0,022
svibanj	0,047	0,003	0,006
lipanj	0	0,01	0,089
srpanj	0	0	0,415
kolovoz	0	0	0,216
rujan	0	0	0,077
Ukupno	0,0698	0,0793	0,825

Pošto je dio vode akumulacije Marganica namijenjen za navodnjavanje, važno je ispitati mogućnosti zadovoljenja potreba za vodom akumulacije za poljoprivredne površine. Time se analiziraju dotoci, mjesečne potrebe za vodom te gubici iz akumulacije.

U slučaju prosječne godine u akumulaciji Marganica biti će dovoljno vode za navodnjavanje svih planiranih poljoprivrednih površina. Maksimalni volumen vode u akumulaciji u ovome slučaju iznosi 2.481.740 m³ čime bi razina vode u akumulaciji iznosila 342,5 m n. m (15,5 m relativne visine). U slučaju nailaska proračunatog vodnog vala od 0,55 mil.m³ u ovoj godini, razina vodnog lica popela bi se na 344 m n. m (17 m

relativne visine) (Matković i suradnici, 2013). U slučaju sušne godine u akumulaciji Marganica također će biti dovoljno vode za navodnjavanje svih planiranih poljoprivrednih površina. Maksimalni volumen vode u akumulaciji u ovome slučaju iznosi 2.141.551 m³ čime bi razina vode u akumulaciji iznosila 342,60 m n. m (15,6 m relativne visine).

Prema “ Idejnom rješenju odvodnje i navodnjavanja Pazinštine ” (Matković i suradnici, 2013) akumulacija će zadovoljiti potrebe za vodom i u sušnoj i u prosječnoj godini. U oba slučaja će u akumulaciji biti slobodan volumen od 0,55 mil. m³ za prihvat vodnog vala uz podizanje razine vodnog lica akumulacije na 345 m n. m (18 m relativne visine).

Ovo je samo jedna od procjena te ju ne možemo smatrati posve točnom pošto nisu analizirane sve godine kao ni neke najkritičnije sušnije. U nastavku biti će prikazana detaljnija analiza koja obuhvaća sve raspoložive godine.

3.METODOLOGIJA

3.1. Općenito o simulacijskim modelima

Simulacijski je proces struktura rješavanja stvarnih problema s pomoću simulacijskog modeliranja. On se može opisati u obliku niza koraka koji čine pojedine faze rješavanja problema i koji slijede jedan nakon drugog (Božikov, 2007).

Modeli ne smiju biti previše složeni niti detaljni, nego treba modelirati samo relevantne elemente sustava. Odviše složene i detaljne modele teško je ili čak nemoguće razumjeti i vrjednovati, što znači da su i njihov razvoj i uporaba teški i neizvjesne kvalitete. Ne smije se previše pojednostaviti problem npr. izbacivanjem varijabli nužnih za adekvatni opis sustava. Dobro je model rastaviti na više dobro definiranih i jednostavnih modula s točno određenom funkcijom koju je lakše izgraditi i provjeriti te je potrebna provjera logičke i kvantitativne ispravnosti modela, i to kako pojedinačnih modula, tako i cijelog modela (Božikov, 2007).

Izgradnja i uporaba simulacijskih modela, u pravilu, zahtijeva rad tima stručnjaka, i onih kojima je promatrani sustav predmet zanimanja i stručnjaka informatičara. Simulacijski se model realizira u obliku kompjutorskoga programa koji oponaša ponašanje realnog sustava. Taj je program obično napravljen dovoljno općenitim da bi se s pomoću njega mogle simulirati različite situacije koje jesu ili bi mogle nastupiti u stvarnosti. Takve situacije simuliraju se pomoću promjenjivih ulaznih podataka koji su analogni uvjetima u koje može biti doveden realni sustav. Stoga se svako izvođenje kompjutorskoga programa može smatrati simulacijskim eksperimentom koji daje rezultate analogne onima koji bi nastupili u stvarnosti u danim uvjetima. Budući da se rezultati odmah obrađuju i dobivaju u sređenom obliku (tablični i grafički prikazi, statistički obrađeni rezultati) moguća je njihova brža i lakša interpretacija nego što je to slučaj pri rezultatima dobivenima eksperimentalno na samom realnom sustavu. Dakako, simulacijsko je modeliranje metoda izbora u proučavanju realnih sustava s kojima ne možemo ili ne smijemo eksperimentirati (Božikov, 2007).

3.2. SYMAC model

Pri izradi analiza korišten je program za simulaciju dinamike mjesečnih kolebanja vodnih rezervoara (akumulacija i prirodnih jezera) SYMAC (Rubinić J. i suradnici, 2000).

Program SYMAC iz 2000. godine razlikuje se od drugih simulacija u tome što simulira rad vodnih rezervoara i u uvjetima postojanja gubitaka vode na poniranje - infiltraciju iz rezervoara. SYMAC operira i sa složenijim mogućnostima dotoka i njihovih kombinacija sa sliva i iz podzemlja te dotoka kao posljedica palih oborina na površinu vode te dotoka kao posljedice umjetnog prihranjivanja akumulacija. Model je namijenjen analizi sezonskih, godišnjih ili višegodišnjih izravnjanja vode u rezervoaru, a operira sa ulaznim podacima na razini mjesečne diskretizacije. No, ukoliko se ulazni podaci prilagode i nekom krajnjem intervalu diskretizacije, može se koristiti i za neke druge, vremenski detaljnije analize ponašanja rezervoara. Iako je model razvijen prije svega za analizu rada akumulacija, pogodan je i pri korištenju za analizu dinamike kolebanja razine vode u prirodnim jezerima.

U ovom se programu određuje razina vode u akumulaciji s obzirom na hidrološke prilike, potrebama za vodom te obilježjima akumulacijskog prostora i brane. Jednadžba vodne bilance na mjesečnoj razini kao funkcija volumena glasi (1):

$$\Sigma D - \Sigma I = +/- \Delta V \quad (1)$$

Tu su: ΣD - suma mjesečnih dotoka vode u akumulaciju (m^3)

ΣI - suma mjesečnih izlaza vode iz akumulaciju (m^3)

ΔV - mjesečna promjena volumena vode u akumulaciji (m^3)

Proširena jednadžba s unesenim elementima vodne bilance glasi:

$$(D_{sl} + D_{podz} + D_{ak} + D_{prih}) - (Z_{vod} + Z_{vod} + Z_{on} + G_i + G_{pon} + I_{pr} + I_{ek}) = +/- \Delta V \quad (2)$$

Tu su:

- D_{sl} - dotok sa sliva (dotok površinskim vodotocima)
- D_{podz} - dotok podzemnim putem (ili nekontrolirani dotok s posrednog sliva)
- D_{ak} - dotok kao posljedica palih oborina neposredno na površinu akum.
- D_{prih} - kontrolirani dotok - prihranjivanje akum.
- Z_{vod} - zahtjevi za vodoopskrbnim količinama vode iz akum.
- Z_{nav} - zahtjevi za navodnjavanjem iz akum.
- Z_{on} - uk.zahtjevi za ostale namjene korištenja vode iz ak. (npr. energetika)
- G_i - Gubitci vode iz ak. na isparavanje s površine akum.
- G_{pon} - Gubitci vode na poniranje - infiltraciju vode iz zaplavnog prostora
- I_{pr} - Ispuštene količine vode iz akumulacije putem preljeva
- I_{ek} - Ispuštanja iz akumulacije za osnovi ekoloških zahtjeva - biol. min.
- ΔV - Mjesečna promjena volumena vode u akumulaciji

Sam proračun, kao i svi ulazni i izlazni podaci, sadržani su u vidu jednog tabličnog prikaza kao numeričke vrijednosti.

Ulazni elemenati vodne bilance predstavljaju pale oborine na površinu akumulacije, isparavanja s površine akumulacije, gubitke vode na poniranje, značajke akumulacijskog prostora (krivulje površine i volumena) i stanja razine vode u akumulaciji u analiziranom mjesecu. Pošto postoji međuovisnost stanja razine vode i utjecajnih elemenata vodne bilance, razinu vode u akumulaciji nije moguće eksplicitno riješiti u prvom koraku, već je potreban iterativni postupak. U vidu četiri iterativna koraka se za analizirani mjesec, na temelju bilancnih postavki u tom koraku, vrši minimalizacija odstupanja modelom prognozirane promjene stanja (razine vode) u akumulaciji u odnosu na stanje u prethodnom koraku.

Planirano je da se modelom mogu vršiti simulacije korištenjem vremenskih nizova duljine do 1000 koraka, odnosno u slučaju mjesečnih ulaznih podataka duljine do cca 83 god.

Rezultati modela daju nam sažeti pregled najvažnijih podataka po godinama. Dobivamo koliko manjkova imamo svaku godinu, koliko godina s manjkovima imamo u odnosu na sveobuhvatni broj godina te koliki je postotak osiguranja opskrbe vodom. Tako možemo, promjenom ulaznih podataka, izmjeniti veliki broj pretpostavka čije nas rješenje na koncu zanima.

4. ANALIZA MOGUĆNOSTI NAVODNJAVANJA I OSIGURANJA VODE U AKUMULACIJI MARGANICA

4.1. Podaci

Površina pripadajućeg sliva do pregradnog profila iznosi 8,1 km², a Pazinčice na njenom nizvodnijem limnigrafskom profilu Dubravica 58.8 km² (Matković i suradnici, 2013).

Udio slivne površine Marganice u slivnoj površini do limnigrafskog profila Dubravica iznosi 13.8%. Stoga su srednji mjesečni protoci s postaje Dubravica za razdoblje od 1972./73. – 2015./16. reducirani koeficijentom 0.138. Karakteristične srednje mjesečne i godišnje ukupne protoke za cjelokupno analizirano razdoblje dane su u Tablici 3.

Tablica 3: Karakteristične srednje mjesečne i godišnje ukupne protoke (1972. – 2016.)

Parametar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
SR	0,183	0,179	0,151	0,139	0,080	0,046	0,010	0,016	0,029	0,092	0,196	0,190	0,108
St. dev.	0,148	0,143	0,106	0,094	0,078	0,053	0,013	0,029	0,041	0,115	0,174	0,147	0,040
Cv	0,810	0,798	0,702	0,675	0,978	1,132	1,243	1,869	1,427	1,260	0,891	0,774	0,369
MAX	0,559	0,573	0,420	0,415	0,364	0,195	0,057	0,152	0,159	0,402	0,613	0,600	0,216
MIN	0,002	0,002	0,002	0,004	0,007	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,043

Podaci o oborinama uzeti su s postaje Pazin za godine od 1972. do 2016. te su za te godine karakteristične mjesečne i godišnje ukupne oborine prikazane u Tablici 4.

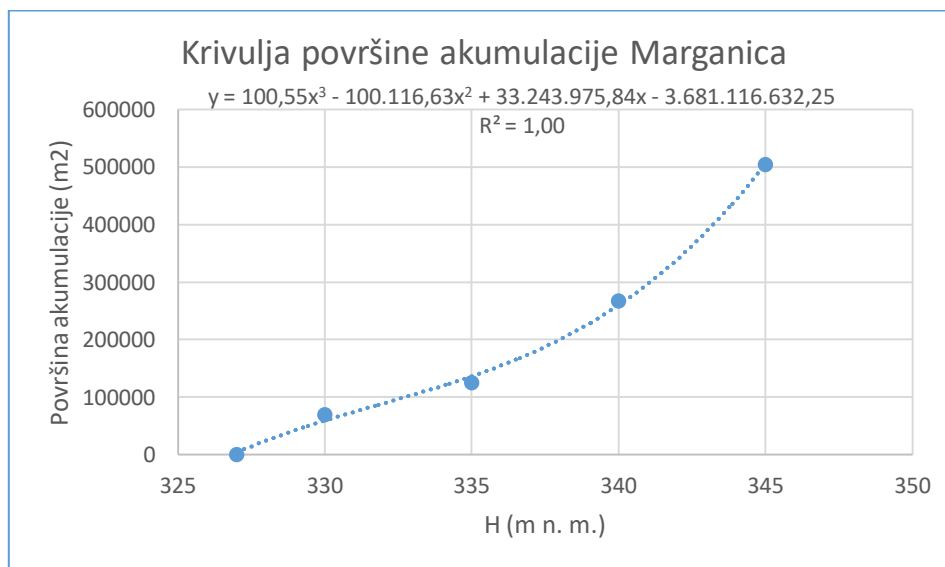
Tablica 4: Karakteristične mjesečne i godišnje ukupne oborine (1972. – 2016.)

Parametar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
SR	74,2	73,3	79,4	79,9	82,7	92,4	64,1	99,6	102,6	117,4	130,2	97,1	91,1
St. dev.	53,6	56,7	49,0	37,5	45,3	48,2	41,7	64,2	55,1	75,4	85,6	66,3	18,2
Cv	0,72	0,77	0,62	0,47	0,55	0,52	0,65	0,64	0,54	0,64	0,66	0,68	0,20
MAX	221,0	240,8	184,7	187,7	176,5	296,4	156,0	281,4	207,8	313,4	358,7	288,8	136,8
MIN	0,0	1,3	0,3	11,0	8,0	6,6	1,2	13,3	4,0	24,1	10,6	1,7	61,6

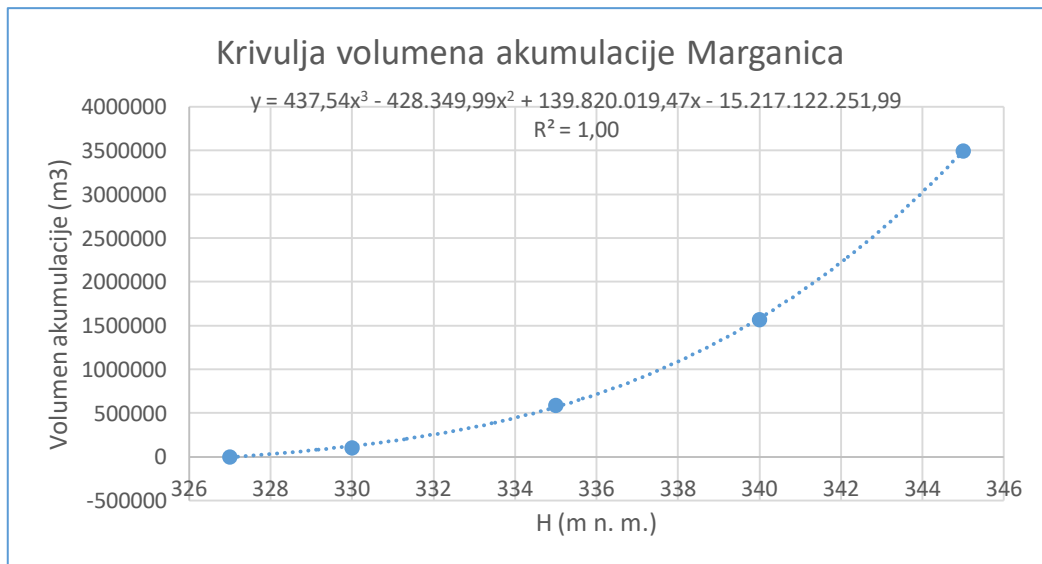
U sljedećoj Tablici 5. prikazani su podaci površine i volumena obzirom na razinu vode u akumulaciji, a u nastavku prikazani su i krivulje površine (Graf 1.) i volumena (Graf 2.) sa pripadajućim funkcijama. Vrijednosti su dobivene linearnom interpolacijom podataka prema tablici iz “Idejnog rješenja odvodnje i navodnjavanja Pazinštine” (Matković i suradnici, 2013) za svaki 1 m visine.

Tablica 5: Prikaz podataka površine i volumena Marganice s obzirom na razinu vode u akumulaciji

H _{rel} (m)	H _{aps} (m)	F(m)	V(m)
0	327	0	0
1	328	21456	37584
2	329	40561	79547
3	330	57919	128514
4	331	74133	187110
5	332	89805	257961
6	333	105540	343691
7	334	121940	446927
8	335	139610	570292
9	336	159151	716413
10	337	181169	887915
11	338	206265	1087422
12	339	235043	1317561
13	340	268107	1580956
14	341	306059	1880232
15	342	349503	2218016
16	343	399043	2596931
17	344	455281	3019604
18	345	518822	3488660



Graf 1. Prikaz krivulje površine akumulacije Marganica

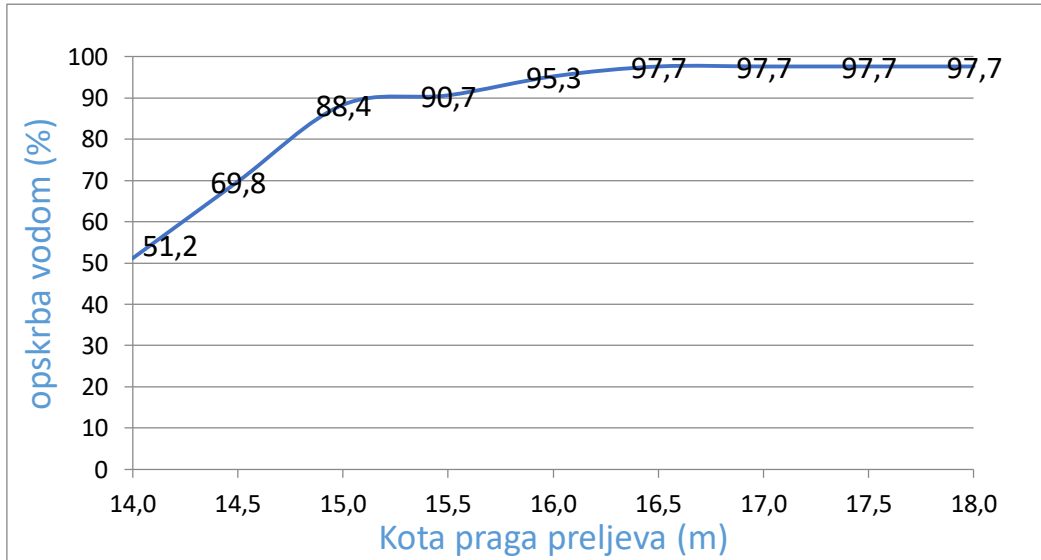


Graf 2. Prikaz krivulje volumena akumulacije Marganica

4.2. Rezultati provedenih analiza

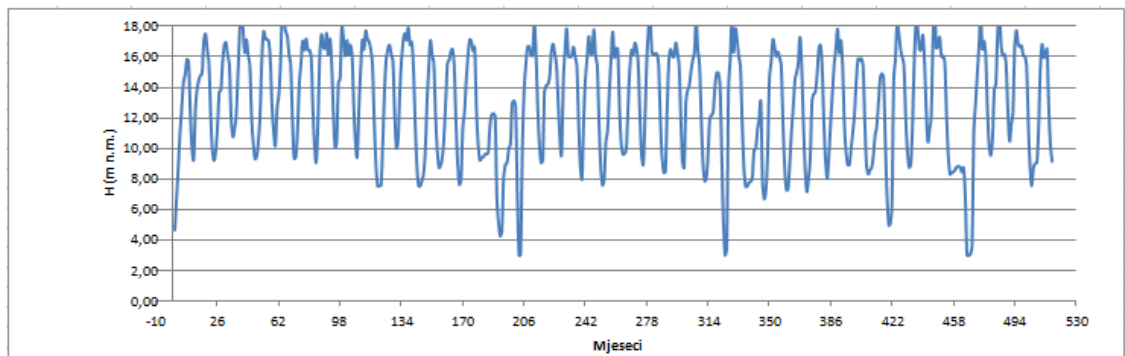
Minimalnu visinu vode u akumulaciji postavili smo na relativnu visinu od 3 m te ju pustili konstantnom tijekom cjelokupnog proračuna i različitih simulacija kao i njoj pripadajući volumen od 128 514 m³. Radi se o volumenu za koji je ocijenjeno da je nužan za održavanje biologije u akumulaciji kad se pojave kritično sušne hidrološke prilike.

Kao prvu pretpostavku, najjednostavniji model simulacije, uzeli smo da nema prihranjivanja akumulacije, infiltracije u podzemlje, zahtjeva za biološkim minimumom, zahtjeva za vodoopskrbnim količinama niti gubitaka. Mijenjanjem kote praga preljeva i njemu pripadajućeg volumena dobiven je postotak osiguranja opskrbe vodom za zadani slučaj čiji su rezultati prikazani na Grafu 3.



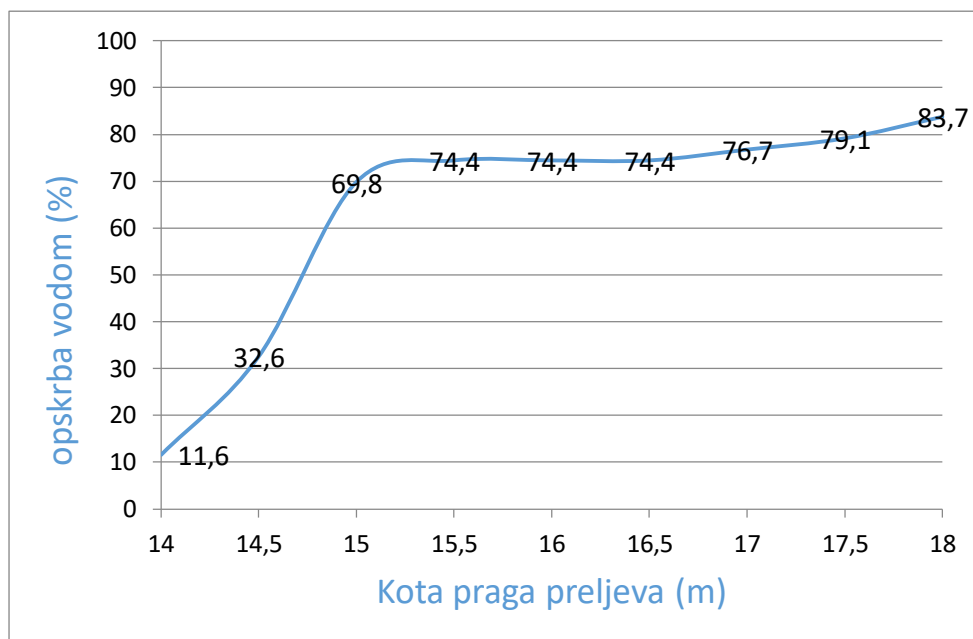
Graf 3. Ovisnost stupnja osiguranja opskrbe vodom obzirom na kotu praga preljeva

Vrijednosti od 15 m i iznad daju zadovoljavajuće mogućnosti osiguranja opskrbe vodom dok se postavljanjem preljevnog praga ispod razine od 15 m naglo smanjuje taj postotak. Mjerodavnu razinu vode uzeti ćemo na 16 m relativne visine sa postotkom osiguranja opskrbe vodom od 95% i njezin volumen u tom slučaju iznosi 2 596 931 m³. Na sljedećem Grafu 4. prikazano je variranje razine vode u obuhvaćenim godinama po mjesecima upravo za kotu od 16 m.



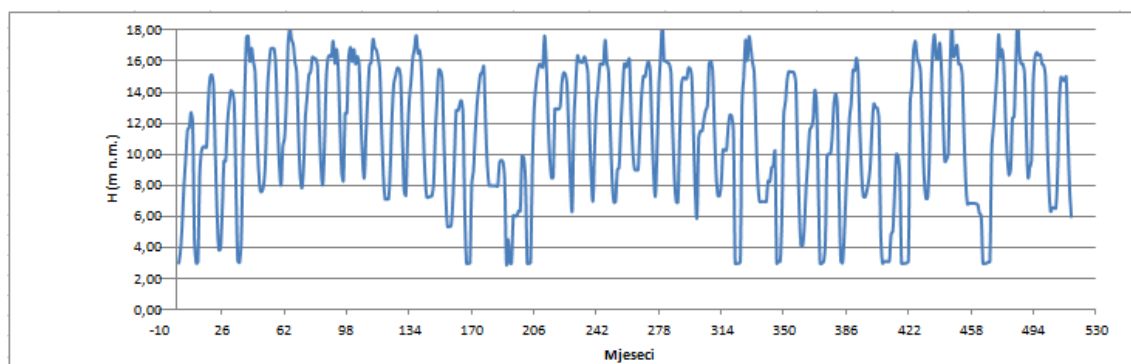
Graf 4. Visina vode u akumulaciji u cjelokupno promatranim godinama

U drugoj varijanti simulacije dodaje se zahtjev biološkog minimuma koji više nije nula već 50 l/s. Tih 50 l/s ispuštamo u ponore samo kada su dotoci veći od 50 l/s, a ukoliko su manji ispušta se onoliko koliko i dotječe. Dobiveni rezultati sugeriraju da se osiguranje opskrbe veće od 70% postiže kotom praga preljeva većom od 15 m (Graf 5.).



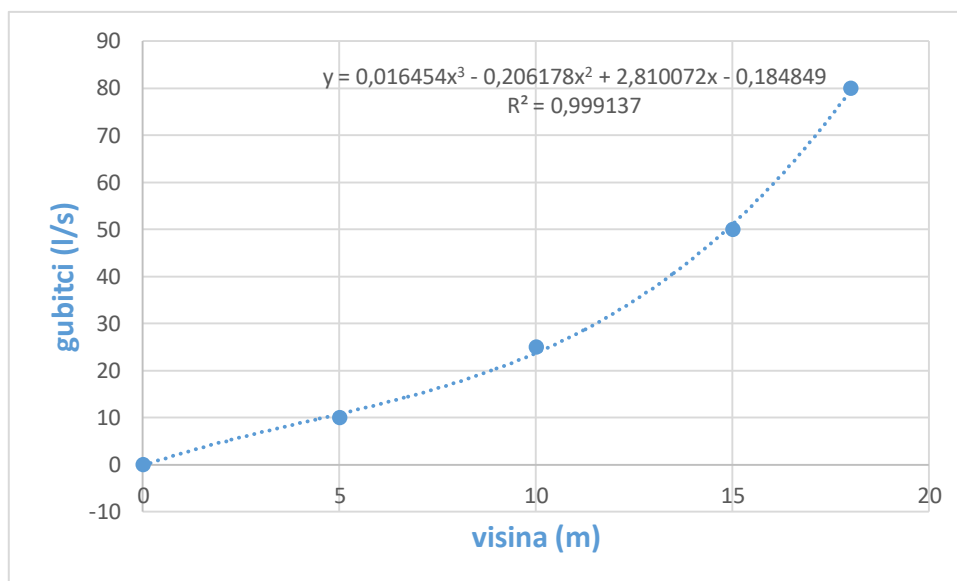
Graf 5. Ovisnost stupnja osiguranja opskrbe vodom obzirom na kotu praga preljeva uz zahtjev za biološkim minimumom

Na Grafu 6. nalazi se prikaz variranja razina vode po mjesecima na primjeru značajne visine preljevnog praga od 16 m uz zahtjev za ekološkim minimumom.



Graf 6. Visina vode u akumulaciji u cjelokupno promatranim godinama uz zahtjev biološkog minimuma

U trećoj varijanti simulacije biološki minimum jednak je nuli, no sada uračunavamo gubitke iz zaplavnog prostora akumulacije. Gubitke za svakih 1 m pretpostavili smo na temelju Grafa 7. te dobili vrijednosti (Tablica 6)

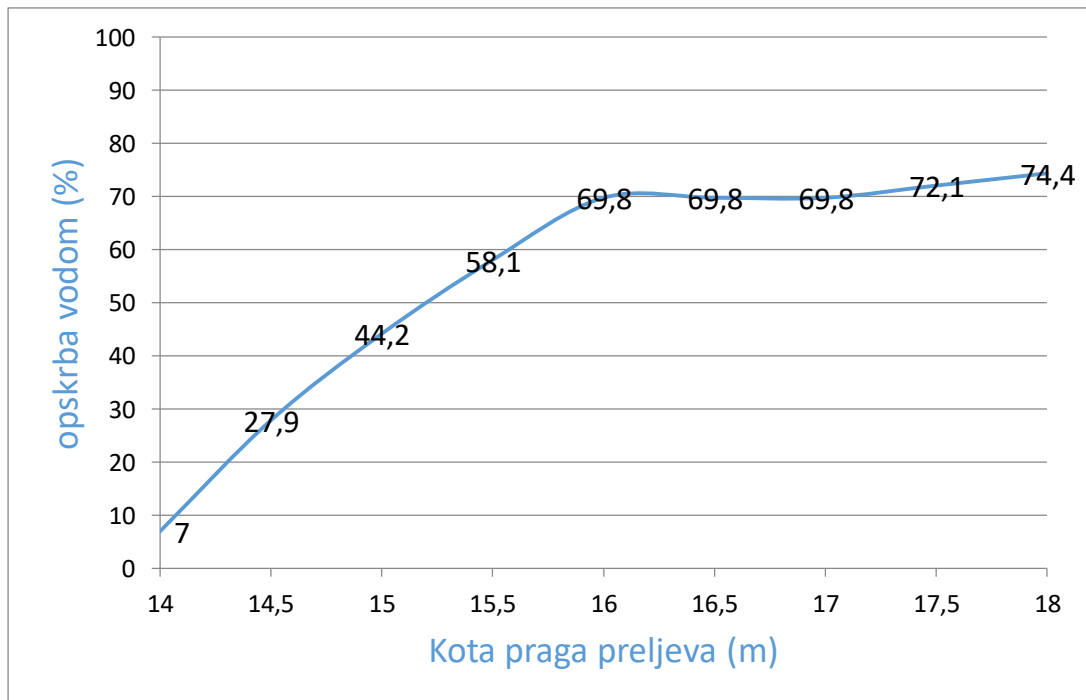


Graf 7. Odnos visine vode i gubitaka

Hrel m	Haps m n. m.	Gubici m3/s
0	327	0,327
1	328	0,328
2	329	0,329
3	330	0,33
4	331	0,331
5	332	0,332
6	333	0,333
7	334	0,334
8	335	0,335
9	336	0,336
10	337	0,337
11	338	0,338
12	339	0,339
13	340	0,34
14	341	0,341
15	342	0,342
16	343	0,343
17	344	0,344
18	345	0,345
19	346	0,346
20	347	0,347
21	348	0,348
22	349	0,349
23	350	0,35

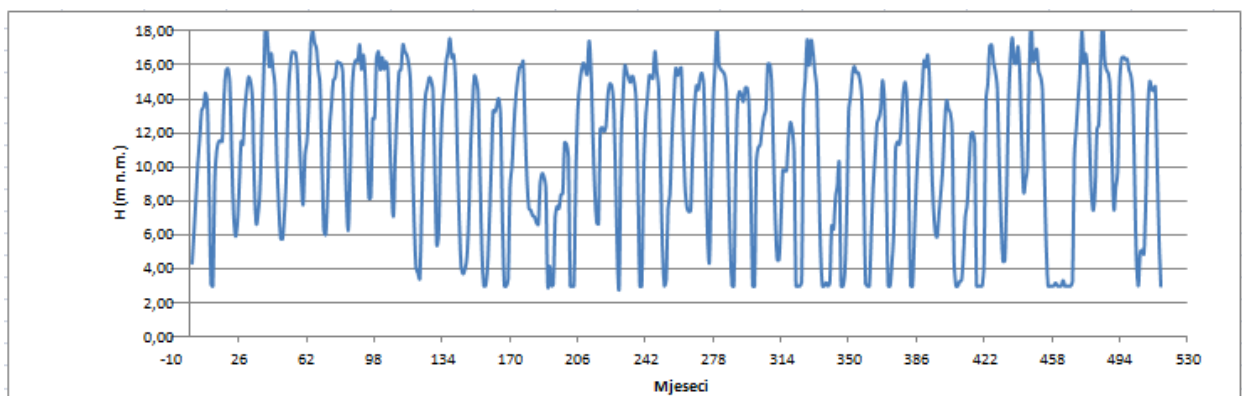
Tablica 6. Prikaz vrijednosti gubitaka za svakih 1 m visine

Značajni postoci osiguranja opskrbe vodom u ovom slučaju nastaju iznad 16 m u iznosu od 69,8% (Graf 8.)



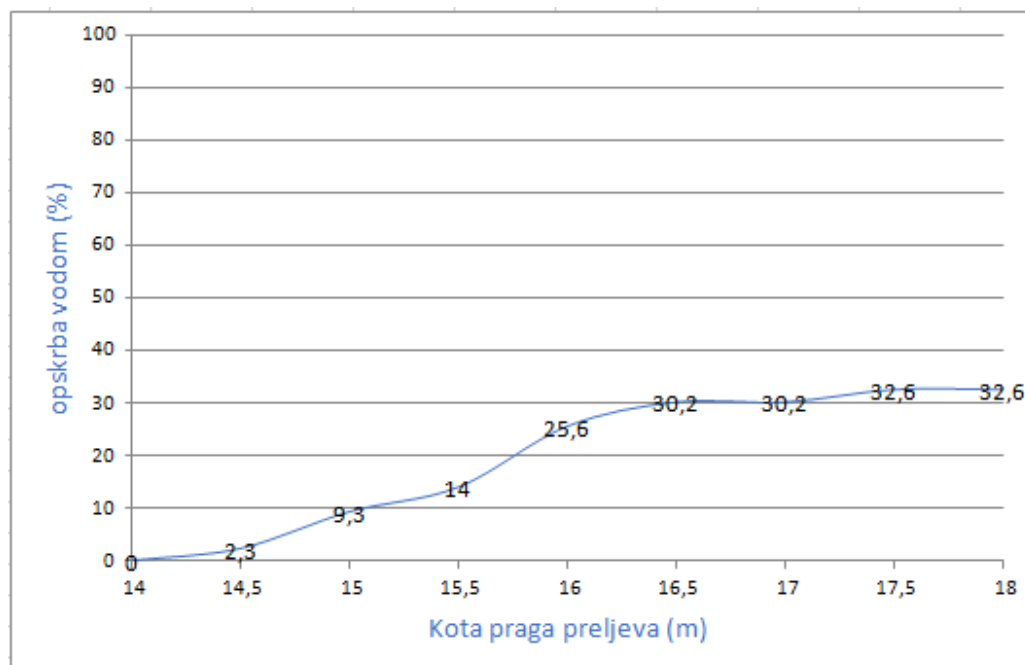
Graf 8. Ovisnost stupnja osiguranja opskrbe vodom obzirom na kotu praga preljeva uz gubitke

Na Grafu 9. nalazi se prikaz razina vode na primjeru značajne visine preljevnog praga od 16 m za slučaj s gubitcima.



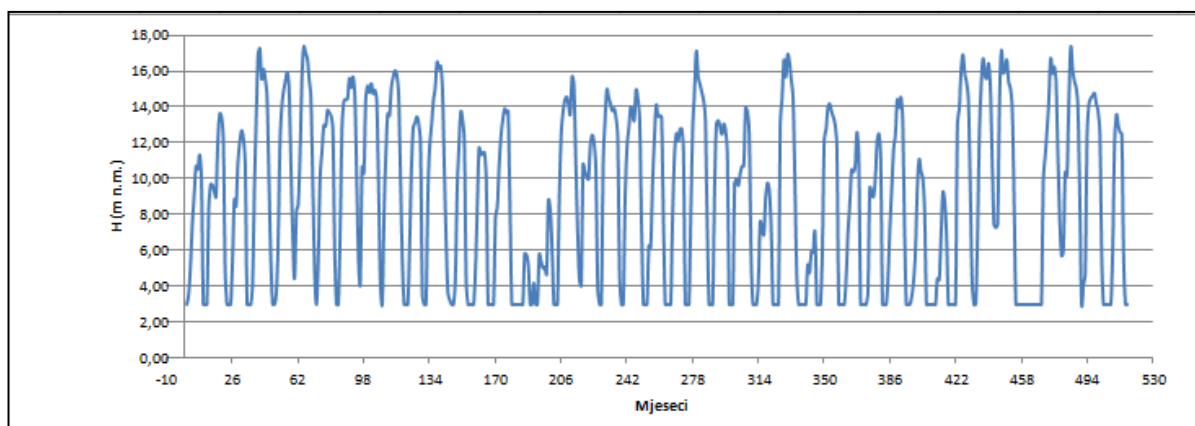
Graf 9. Visina vode u akumulaciji u cjelokupno promatranim godinama uz gubitke

U posljednjoj, četvrtoj varijanti, kombinirali smo zahtjeve za biološkim minimumom i gubitke u sustavu. Dobili smo znatno manje postotke osiguranja opskrbe vodom kao što je to i očekivano i vidljivo iz Grafa 10.



Graf 10. Ovisnost stupnja osiguranja opskrbe vodom obzirom na kotu praga preljeva uz gubitke i zahtjev biološkog minimuma

Na Grafu 11. nalazi se prikaz razina vode uz gubitke i zahtjev ekološkog minimuma na primjeru značajne visine preljevnog praga od 16 m.



Graf 11. Visina vode u akumulaciji u cjelokupno promatranim godinama uz gubitke i zahtjeve za ekološkim minimumom

Dobiveni rezultati pokazuje da je nužno osigurati potpuno vododrživu akumulaciju jer s pretpostavljenim gubicima vode ona ne bi mogla zadovoljavati potrebe za navodnjavanje.

5. ZAKLJUČAK

Iako područje Istre raspolaže dovoljnim količinama vode, sve više se istražuju dodatne mogućnosti zahvaćanja vode i sve se više razmišlja o budućim, a ne tako dalekim nedostacima vodnih količina do kojih će doći intenziviranjem klimatskih promjena. Stoga se idejnim projektima analiziraju mogućnosti izvedbe akumulacija duž područja Istre, a upravo se Marganica pokazala kao jedna od ideja dostatna daljnjih istraživanja.

Razrađujući samu problematiku akumulacije, uz pomoć modela SYMAC dobivena je mogućnost iskazivanja stupnja osiguranja potreba za vodom ovisno o visini preljevnog praga i pripadajućem volumenu. Upravo na ovaj način provedene su analize osiguranja opskrbe vodom bez zahtjeva za biološkim minimumom i gubitaka, sa zahtjevnom za biološkim minimumom, sa gubitcima te analiza kombinacije biološkog minimumom i gubitaka. U samom proračunu analizirano je svih 43 raspoloživih godina te je time sama analiza detaljnija, ima više parametara te rezultira i preciznijim rezultatima.

Prema “ Idejnom rješenju odvodnje i navodnjavanja Pazinštine” (Matković i suradnici, 2013) uračunati su gubici u sustavu od 10%. Za razine vodnog lica akumulacije od 345 m n. m. (relativnu visinu od 18 m) zadovoljene su količine za prihvrat vodnog vala, prihvrat nanosa te za navodnjavanje, zajedno s pretpostavljenim gubitcima u sustavu.

Ovaj model djelomično je idealiziran. Pretpostavlja da u stvarnosti razina vodnog lica neće pasti ispod vrijednosti od 3 m relativne visine tj. kote od 330 m n. m. što u praksi nije nemoguće. Ipak, mnoge pojave koje se očekuju u stvarnoj situaciji kao što su gubici, isparavanje iz same akumulacije, odstupanje oborina i dr. uzete su i uračunate u samom proračunu.

Nakon provedene analize mogućnosti navodnjavanja i osiguranja vode u akumulaciji možemo zaključiti kako 16 m relativne visine s ukupnim efektivnim volumenom od 2 596 931 m³ za navodnjavanje najviše odgovara pošto se iznad te visine vrijednosti povećavaju u mjeri koja nije značajna. Nadoda li se na tu visinu predviđeni prostor za prihvrat nanosa od 180 000 m³ te prostor za prihvrat vodnog vala od 830 000 m³, ukupna visina kote praga akumulacije iznosi u danim uvjetima 18,5 m, odnosno s kotom praga preljeva od 345,5 m

n. m. Dobiveni rezultati dali su za 0,5 m veću potrebnu visinu akumulacije, odnosno 244 006 m³ veći volumen negoli ranije obrade (Matković i suradnici, 2013), a ujedno i pokazali koliko je stupanj zadovoljavanja potreba za vodom za odabranu veličinu njenoga volumena.

Postoci osiguranja opskrbe vodom biti će visoki za sve slučajeve izuzev kombinacije biološkog minimuma i gubitaka. U tom slučaju volumen se preraspodjeljuje na druge komponente te manji udio ostaje za samu opskrbu. Smanjenjem gubitaka na poniranje iz zaplavnog prostora akumulacije ili zahtjeva za biološkim minimumom taj bismo postotak mogli povećati ovisno o tome koji nam parametri predstavljaju važniju komponentu.

6. LITERATURA

Knjige:

Božikov, J. (2007.): *Modeliranje i simulacija*, Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Medicinska Naklada, Zagreb, 27 str.

Gulić, I. (1973.): *Izvor Gradole- krški fenomen u dolini Mirne*, Građevinar, Zagreb, 158 str.

Kožul, S. (2018.): *Umjetno napajanje krškog vodonosnika na primjeru izvora Gradole*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 63 str.

Matković, B., Blažević, L., Travica, T., Mlakar, S., Mičetić, I., Graffius, V.V. (2013.): *Idejno rješenje odvodnje i navodnjavanja Pazinštine*, Institut IGH d.d., 396 str.

Rubinić, J. (2013.): *Analiza karakterističnih mjesečnih i dnevnih podataka o vodostajima, preljevima, crpljenjima i ukupnim izdašnostima izvora Gradole, Sv.Ivan i Bulaž te ocjena zabilježenih prilika tijekom 2011. i 2012.g. u kontekstu vjerojatnosti njihove pojave – hidrološka ekspertiza*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 34 str.

Rubinić, J., Ožanić, N., Bušelić, G., Kukuljan, I. (1999.): *Idejno rješenje razvitka izvorišta regionalnog vodoopskrbnog sustava Istre- hidrologija*, Hidroprojekt-ing, Zagreb, 158 str.

Rubinić, J., Žanić, N., Rubinić, A. (2000.): *Program za simulaciju dinamike mjesečnih kolebanja vodnih rezervoara (akumulacija i prirodnih jezera)*, Mošćenice, 12 str.

Internet stranice:

<http://www.natura-histrica.hr/en/>, pristup 20. 06. 2019.