

Rezultati hidroloških istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu od 2007. - 2017. godine

Šišović, Maja

Master's thesis / Diplomski 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:157:797531>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



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**

Maja Šišović

**Rezultati hidroloških istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu
od 2007. - 2017. godine**

Diplomski rad

Rijeka, 2019.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Diplomski sveučilišni studij Građevinarstva
Hidrotehnika
Inženjerska hidrologija**

**Maja Šišović
JMBAG: 0114025259**

**Rezultati hidroloških istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu
od 2007. – 2017. godine**

Diplomski rad

Rijeka, rujan 2019.

IZJAVA

Diplomski rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentoricom 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.

Maja Šišović

U Rijeci, 30. kolovoza 2019.

SAŽETAK

Vransko jezero na otoku Cresu najveće je jezero smješteno na hrvatskim otocima. S površinom od oko 5,7 km² te zapreminom od 220 milijuna m³, ovo jezero je i najveća kriptodepresija u Hrvatskoj sa dnom na 61,3 m ispod srednje razine mora. Posebnost ovom jezeru daje i smještaj na jednom od najkrševitijih otoka u Hrvatskoj, stoga je pitanje porijekla ovako velike količine vode na inače vodom siromašnom otoku predmet mnogih istraživanja. Vransko jezero od gospodarskog je značaja za otoke Cres i Lošinj zbog toga što je to jedini izvor pitke vode na tim otocima. Tema ovog rada je prikaz rezultata hidroloških istraživanja na Vranskom jezeru u razdoblju od 2007.-2017. godine. Kako bi navedena tema bila jasnija, u početnom dijelu opisane su opće karakteristike jezera te područja oko jezera. Kao uvod u temu hidroloških istraživanja dan je kratak osvrt na dosadašnja istraživanja te je opisana problematika funkcioniranja samog jezerskog sustava. Vransko jezero dio je složenog hidrološkog sustava koje funkcionira u skladu s podzemnim krškim vodonosnikom koji je u ravnoteži s morem. Crpljenje iz jezera za potrebe vodoopskrbe unosi neravnotežu u sustav te je stoga potrebno svakodnevno praćenje jezera u cilju njegove zaštite. U ovom radu analizirani su osnovni hidrološki i meteorološki parametri na području Vranskog jezera: oborine, temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, isparavanje s jezera, vodostaji jezera, temperatura vode u jezeru, crpljenja iz jezera, dotoci u jezeru te razine podzemnih voda. Prikazom rezultata opažanja ovih parametara, nastojalo se prikazati stanje jezera u novijem razdoblju kako bi se iskazala važnost u nastavku svakodnevnih praćenja ovih hidroloških i meteoroloških parametara. Cilj ovog rada je prenijeti značenje ovog jedinstvenog prirodnog fenomena za otočku zajednicu te važnost njegova očuvanja. Isto tako, radom se želio postići doprinos hidrološkom razumijevanju tematike funkcioniranja Vranskog jezera.

Ključne riječi: Vransko jezero, otok Cres, krš, vodonosnik, hidrološka analiza, meteorološki podaci, hidrološki podaci, zaštita jezera

ABSTRACT

Vrana lake on the island of Cres is the biggest lake among Croatian islands. With its average surface of 5,7 km² and a volume of 220 million m³, this lake is the biggest cryptodepression in Croatia with the bottom on 61,3 m under the sea level. This lake is specific for its position on the island with the most prominent karst characteristics in Croatia. Therefore, the origin of such big amount of water on generally waterless area, is the topic of many researches. The Vrana lake has the economic value for the islands of Cres and Lošinj – this is its only source for water supply. This paper describes results of hydrological researches on the Vrana lake in period from 2007. till 2017. For clearer understanding the topic of this paper, the first part of the paper describes general characteristics of the Vrana lake and the area around the lake. The short review of the previous researches as well as the problems of lake functioning were given as an introduction to hydrological researches. Vrana lake is the part of complex hydrological system which functions in harmony with underground karst aquifer which is in balance with the sea. Water pumping for water supply brings imbalance into the system, so observations on the daily basis are needed to keep the lake safe. This paper analyzes the basic hydrological and meteorological parameters on the Vrana lake area: precipitation, air temperature, relative humidity, evaporation from the lake surface, water level, water temperature, pumping, lake inflows and underground water level. The result of observing these parameters is the review of the lake condition in the more recent period. The intention is to express importance to keep observing these parameters on the daily basis. The main purpose of this paper is convey the significance of this unique natural phenomenon for the island community and also the importance of lake preservation. Also, the purpose of this paper is to contribute to hydrological understanding of the way the Vrana lake functions.

Key words: Vrana lake, Cres island, karst, aquifer, hydrological analysis, meteorological data, hydrological data, lake preservation

SADRŽAJ

1. POPIS TABLICA	1
2. POPIS SLIKA	3
3. UVOD.....	5
4. OPĆENITO O VRANSKOM JEZERU	7
4.1. Položaj i opće karakteristike jezera.....	7
4.2. Geologija i geomorfologija otoka Cresa i Vranskog jezera.....	10
4.3. Legenda o nastanku Vranskog jezera	11
4.4. Povijest istraživanja jezera.....	12
4.5. Vodne pojave otočkog krškog vodonosnika	15
4.6. Vodoopskrba i crpljenje iz jezera	17
4.7. Hidrološki koncept funkcioniranja sustava Vranskog jezera	19
4.8. Temperaturni režim jezera	22
4.9. Problem onečišćenja voda Vranskog jezera	23
5. ANALIZA OSNOVNIH HIDROLOŠKIH PARAMETARA TIJEKOM RAZDOBLJA 2007.-2017. GODINE	25
5.1. Oborine	25
5.2. Temperatura zraka	29
5.3. Relativna vlažnost zraka	31
5.4. Isparavanja sa jezera	33
5.5. Vodostaji jezera	36
5.6. Temperatura vode u jezeru.....	40
5.7. Crpljenja.....	42
5.8. Analiza dotoka u jezero u razdoblju 2007.-2017. godine	46
5.9. Razine podzemnih voda.....	60
6. ZAKLJUČAK.....	63
7. LITERATURA	67

1. POPIS TABLICA

Tablica 1: Mjesečne i godišnje oborine na postaji C. P. Vrana za razdoblje 2007.-2017.

Tablica 2: Srednje mjesečne i godišnje temperature zraka na postaji C. P. Vrana za razdoblje 2007.-2017.

Tablica 3: Srednje mjesečne i godišnje relativne vlažnosti zraka na postaji C. P. Vrana za razdoblje 2007.-2017.

Tablica 4: Mjesečna i godišnja isparavanja Vranskog jezera za razdoblje 1977.-1997.

Tablica 5: Srednji mjesečni i godišnji vodostaji Vranskog jezera na postaji C.P.Vrana za razdoblje 2007.-2017

Tablica 6: Srednje mjesečne i godišnje temperature površinskog sloja Vranskog jezera za razdoblje 2007.-2017.

Tablica 7: Srednja mjesečna i godišnja crpljenja (10^3m^3) iz Vranskog jezera za razdoblje 2007.-2017.

Tablica 8: Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2007. godinu

Tablica 9: Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2008. godinu

Tablica 10: Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2009. godinu

Tablica 11: Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2010. godinu

Tablica 12: Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2011. godinu

Tablica 13: Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2012. godinu

Tablica 14: Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2013. godinu

Tablica 15: Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2014. godinu

Tablica 16: Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2015. godinu

Tablica 17: Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2016. godinu

Tablica 18: Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2017. godinu

Tablica 19: Ukupni srednji mjesečni i godišnji dotoci u Vransko jezero za razdoblje 2007.-2017.

2. POPIS SLIKA

Slika 1. Situacija položaja otoka Cresa (www.karta-hrvatske.com.hr, pristup 30. travnja 2019.)

Slika 2. Položaj Vranskog jezera na otoku Cresu (www.kartahr.com, pristup 30. travnja 2019.)

Slika 3. Situacija Vranskog jezera sa ucrtanim dubinama (Ožanić, 1996.)

Slika 4. Pogled na Vransko jezero (www.priodahrvatske.com, pristup 8. svibnja 2019.)

Slika 5. Hidrogeološka karta područja Vranskog jezera (Kuhta, 2004)

Slika 6. Vodne pojave na širem području Vranskog jezera (Ožanić, 1996.)

Slika 7. Vodosprema Kalvarija, Mali Lošinj (www.viocl.hr, pristup 5. kolovoz 2019.)

Slika 8. Pumpna stanica, crpilište vode Vrana, otok Cres (www.viocl.hr, pristup 5. kolovoz 2019.)

Slika 9. Shematski presjek otoka Cresa kroz Vransko jezero (Ožanić, 1996.)

Slika 10. Vertikalni raspored temperature vode po dubini (Ožanić, 1996.)

Slika 11. Mjerna postaja C.P. Vrana, Vransko jezero (Ožanić, 2017.)

Slika 12. Godišnje oborine na Vranskom jezeru za razdoblje 1926.-2017.

Slika 13. Usporedba srednjih mjesečnih oborina na Vranskom jezeru za razdoblja 1926.-2006. i 2007.-2017.

Slika 14. Usporedba srednjih mjesečnih temperatura zraka na Vranskom jezeru za razdoblja 1981.-2000. i 2007.-2017.

Slika 15. Usporedba srednje mjesečne relativne vlažnosti zraka na Vranskom jezeru za razdoblja 1980.-2000. i 2007.-2017.

Slika 16. Srednja mjesečna isparavanja na Vranskom jezeru za razdoblje 1977.-1997.

Slika 17. Usporedba srednjih mjesečnih vodostaja na Vranskom jezeru

Slika 18. Srednji godišnji vodostaji Vranskog jezera za razdoblje 1929.-2017.

Slika 19. Usporedba srednjih godišnjih vodostaja i godišnjih oborina na Vranskom jezeru za razdoblje 2007.-2017.

Slika 20. Usporedba srednjih mjesečnih temperatura površinskog sloja vode na Vranskom jezeru za razdoblja 1979.-2006. i 2007.-2017.

Slika 21. Usporedba temperature zraka i temperature površinskog sloja vode Vranskog jezera za razdoblje 2007.-2017.

Slika 22. Ukupna godišnja crpljenja (10^3m^3) iz Vranskog jezera za razdoblje 1967.-2017.

Slika 23. Usporedba srednjih mjesečnih crpljenja iz Vranskog jezera

Slika 24. Hod srednjih godišnjih vodostaja, količine oborina i količine crpljenja iz Vranskog jezera za razdoblje 2007.-2017.

Slika 25. Usporedba srednjih mjesečnih ukupnih dotoka u Vransko jezero za razdoblja 1929.-2006. i 2007.-2017.

Slika 26. Godišnje vrijednosti vodostaja, oborina i dotoka u Vransko jezero za razdoblje 2007.-2017.

Slika 27. Položaj piježometarskih bušotina (Bonacci i Roje-Bonacci, 2018.)

3. UVOD

Vransko jezero na otoku Cresu predstavlja jedinstvenu prirodnu znamenitost velike količine akumulirane slatke vode na najkrševitijem hrvatskom otoku. Vransko jezero sa srednjom površinom od 5,7 km² i zapreminom od oko 220 milijuna m³ predstavlja najveće slatkovodno jezero na našim otocima. Ovo je jezero kriptodepresija s najnižom točkom na 61,3 m ispod razine mora te služi za vodoopskrbu otoka Cresa i Lošinja.

Vransko je jezero već desetljećima predmet mnogobrojnih istraživanja. Ranija istraživanja bila su usmjerena na shvaćanju mehanizma funkcioniranja samog jezera. Naime podzemlje otoka Cresa predstavlja veliki krški vodonosnik kojeg je Vransko jezero sastavni dio. Vransko jezero funkcionira u skladu s krškim vodonosnikom koji se uravnotežuje s morem. Ukoliko dođe do narušavanja te ravnoteže jezero može biti ugroženo te može doći do zaslanjenja ali i gubitka pitke vode za ove inače vodom siromašne otoke. Jezero može biti ugroženo pretjeranim crpljenjima ili incidentnim onečišćenjem podzemlja. Zato su kasnija istraživanja više usmjerena ka analizama održivosti i zaštite ovog prirodnog fenomena.

Pokretač pitanja očuvanja jezera bilo je naglo snižavanje razine vode u jezeru u razdoblju 1985.-1990. godine kada se voda snižavala prosječno 48 cm godišnje. Do tog stanja došlo je zbog povećanog crpljenja u kombinaciji s izuzetno malim oborinama u tom razdoblju (Ožanić, 1996.). Ovakva situacija izazvala je veliku zabrinutost stručnjaka ali i lokalnog stanovništva. Pod tim okolnostima, početkom 90-ih godina objavljeni su brojni radovi, studije i programi s ciljem istraživanja svojstava Vranskog jezera, načina njegova funkcioniranja te ocjene mogućeg korištenja, optimalnog upravljanja te postizanja zaštite samog jezera. Tako su „Hrvatske vode“ 1990. godine pokrenule složena istraživanja u sklopu Programa „Istražni radovi u svrhu donošenja odluke za optimalno korištenje i očuvanje vode Vranskog jezera na otoku Cresu“. Program je uključivao multidisciplinarni pristup istraživanjima u svrhu dobivanja što temeljitijih rezultata. U sklopu Programa objavljeno je mnoštvo radova, studija i elaborata koji su korišteni kao podloga za izradu ovog rada.

Rezultati dosadašnjih istraživanja pokazuju kako održanje Vranskog jezera trenutno nije ugroženo količinom crpljenja, ali to ne znači da se ono i dalje ne treba kontrolirati. Vransko jezero izuzetno je osjetljiv i kompleksan sustav te je potrebno kontinuirano praćenje njegova stanja kako bi se omogućio nesmetan razvoj otočke zajednice.

Novijih radova na tu temu ima i dalje ali sve manje zbog prekida kontinuiranih praćenja hidroloških i meteoroloških parametara na području Vranskog jezera. Ovim radom želi se nastaviti praksa analize novijih stanja hidroloških i meteoroloških parametara na Vranskom jezeru. Osnovni cilj rada je analiza bitnijih hidroloških i meteorološki parametara na području Vranskog jezera za razdoblje 2007.-2017. Svrha analize jest prikaz novijeg stanja na jezeru, te doprinos cjelokupnom sagledavanju problematike funkcioniranja Vranskog jezera.

Rad je formiran na način da su prvo opisane osnovne značajke samog jezera, njegova problematika, način njegova funkcioniranja kao i kratak osvrt na dosadašnja istraživanja. Zatim je provedena analiza hidrometeoroloških parametara za razdoblje 2007 – 2017. te su dani zaključci o trenutnom stanju u jezeru.

U sklopu rada proračunati su i ukupni dotoci u jezero korištenjem matematičkog modela „VRANA“. Specifičnost Vranskom jezeru daje i činjenica da se ono prihranjuje i „prazni“ do sada još nelokaliziranim putovima, pa se dotoci i gubici ne mogu odrediti neposrednim putem. Model „VRANA“ temeljen je na metodi vodne bilance pa se dotoci i gubici iz jezera mogu barem približno odrediti kako bi se dobio uvid u način funkcioniranja samog jezera.

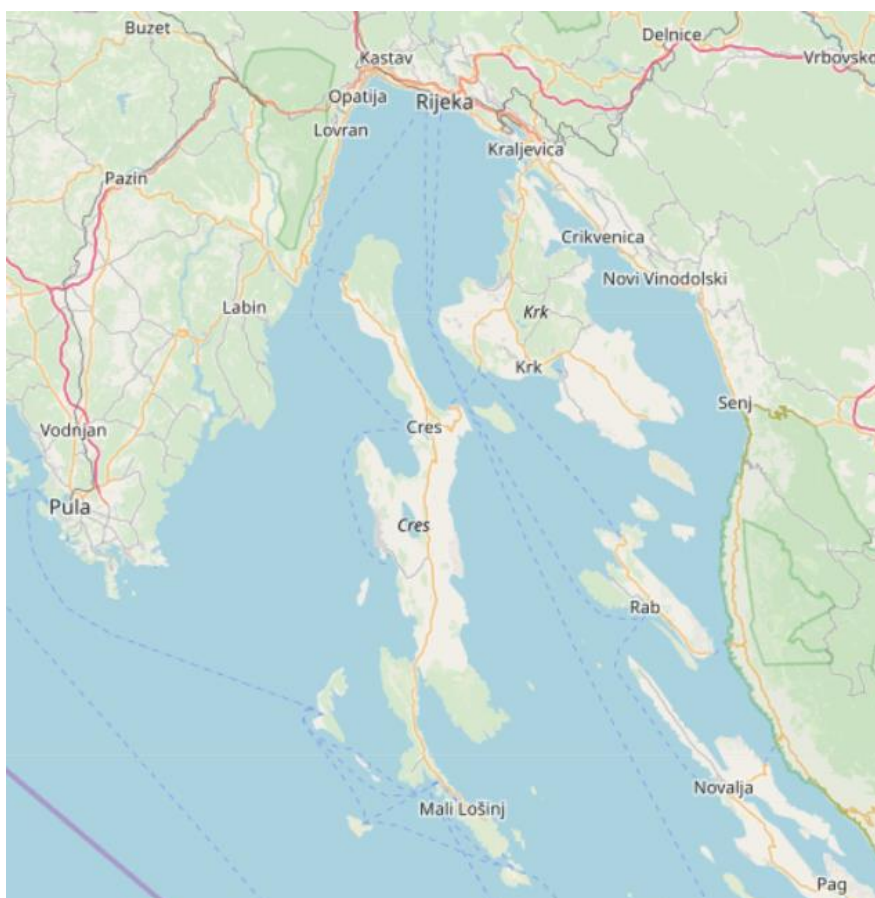
Cilj rada je da se rezultati provedenih hidrometeoroloških parametara za razdoblje 2007. – 2017. usporede sa rezultatima ranijih hidroloških istraživanja, da ih se analizira, te daju zaključci i preporuke za buduća istraživanja.

4. OPĆENITO O VRANSKOM JEZERU

4.1. Položaj i opće karakteristike jezera

Vransko jezero najveće je otočko slatkovodno jezero u Hrvatskoj. Smješteno je na sjevernom dijelu Jadrana na otoku Cresu. Otok Cres ima izduženi oblik, a nakon otoka Hvara, najdulji je hrvatski otok. Najveća duljina otoka je 71 km, dok najveća širina iznosi 12 km. Otok Cres zauzima površinu od 405,78 km², čime je uz otok Krk, najveći hrvatski otok (hr.metapedia.org).

Hrvatska obala izrazito je krševita što izravno utječe na mogućnost zadržavanja vode na površini. Otok Cres najkrševitiji je hrvatski otok i nema stalnih površinskih tokova, stoga postojanje znatne količine slatke vode na ovom otoku zasigurno predstavlja jedinstven prirodno-geografski fenomen (Brdar, 2007). Na slici 1. prikazan je položaj otoka Cresa u sjevernom Jadranu.



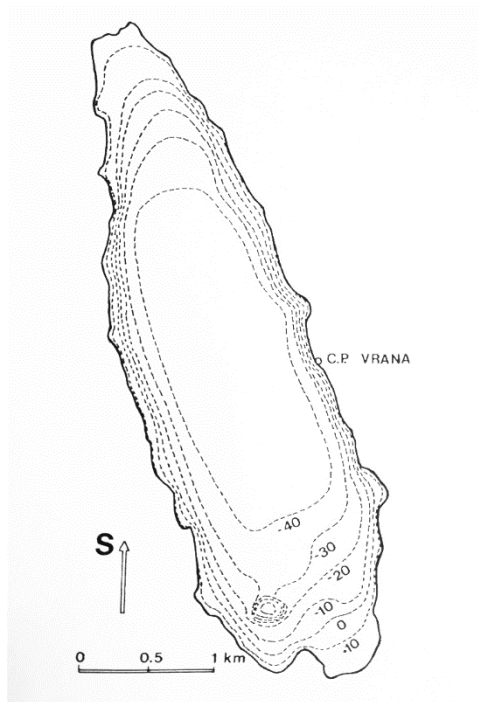
Slika 1. Situacija položaja otoka Cresa
(www.karta-hrvatske.com.hr)

Vransko jezero smješteno je u središnjem dijelu otoka Cresa. Dugačko je 5,5 km a široko 1,5 km. Apsolutna dubina jezera iznosi oko 74 metara. Vransko jezero je kriptodepresija s najvećom dubinom na 61,3 m ispod srednje razine mora. Pri srednjoj razini jezera od 12,69 mn.m., jezero zauzima površinu od 5,70 km². Ukupan volumen jezera iznosi oko 220 milijuna m³ dok volumen dijela jezera ispod razine mora iznosi 159 milijuna m³ (Rubinić, 1990.). Središnji dio otoka Cresa s Vranskim jezerom prikazan je na slici 2.



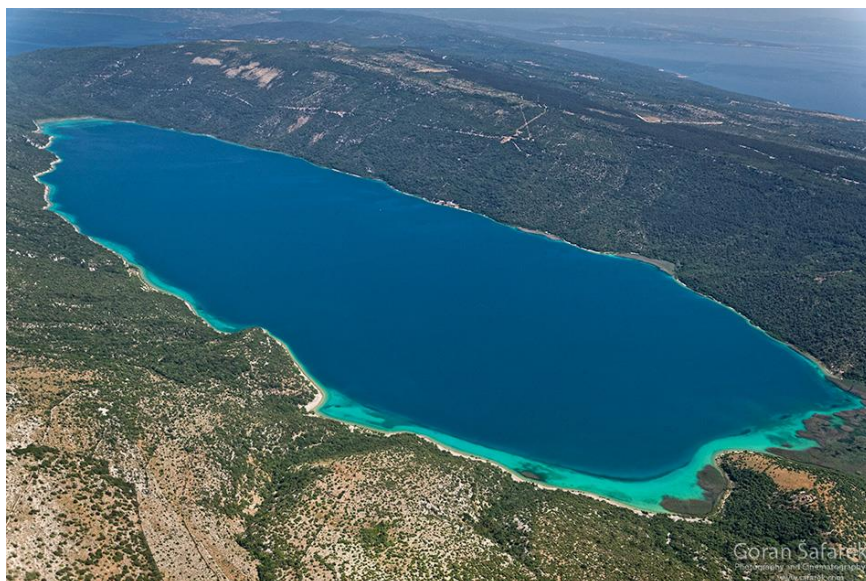
Slika 2. Položaj Vranskog jezera na otoku Cresu
(www.kartahr.com)

Vransko jezero može se svrstati u oligotrofno jezero što znači da je siromašno hranjivim tvarima te ima malu organsku proizvodnju. Jezero je izduženog oblika a obale su mu strme i krševite (Brdar, 2007.). Nakon strmih obala, dno jezera je uglavnom ujednačeno i nalazi se na dubini do oko 40 m ispod morske razine. Jednolike dubine narušava vrtačasto udubljenje na dnu južne strane jezera s promjerom dna od oko 100 m. Na tom dijelu dubine se naglo povećavaju do 61,3 m ispod morske razine što je ujedno i najdublji dio jezera (slika 3.) (Ožanić, 1994.). Pogled na Vransko jezero prikazan je na slici 4.



Slika 3. Situacija Vranskog jezera sa ucrtanim dubinama (Ožanić, 1996.)

Najmanja udaljenost jezera od mora iznosi 3-5 km, a u neposrednoj blizini prolazi otočna magistrala koja povezuje otoke Cres i Lošinj. Unatoč tome što je 2006. godine, magistrala premještena izvan orografskog sliva Vranskog jezera, zbog krševite podloge velike propusnosti i dalje postoji mogućnost da zagađenje s prometnice dospije do jezera (Brdar i Ožanić, 2008.).

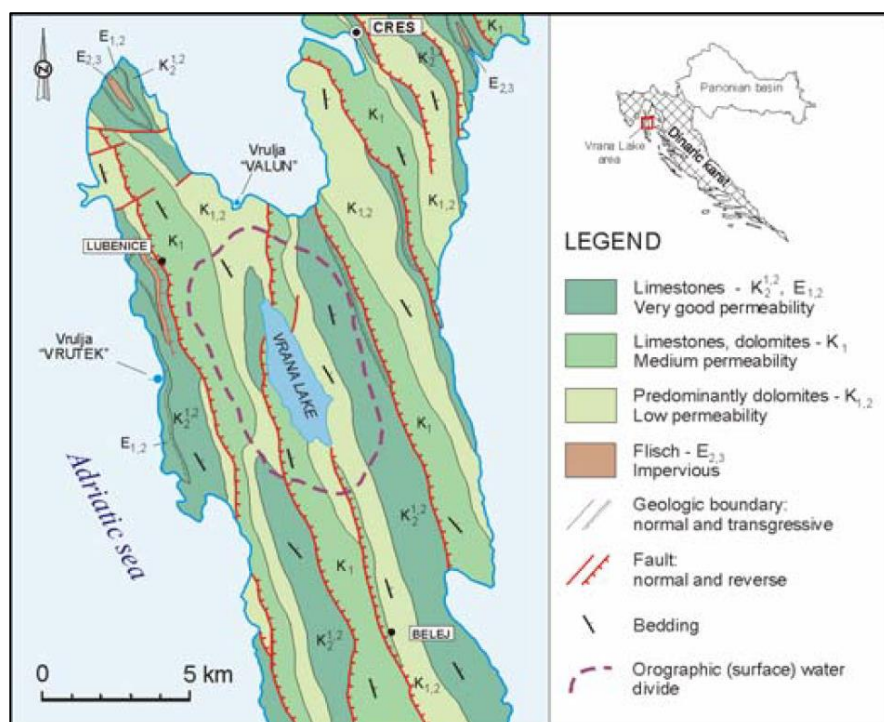


Slika 4. Pogled na Vransko jezero (www.prirodahrvatske.com)

4.2. Geologija i geomorfologija otoka Cresa i Vranskog jezera

Hrvatsko priobalje i otoci karakteristični su po svojoj geološkoj građi. Većinom prevladavaju vapnenci, a manjim dijelom dolomiti i fliš. Otok Cres formiraju pretežno karbonatne stijene iz razdoblja krede i eocena, i to većim dijelom dolomiti nego vapnenci. Manje pojave flišnih stijena paleogene su starosti. Vodonepropusne strukture dolomita i vapnenca omogućile su akumuliranje slatke vode na otoku te formiranje stalnog jezera (Biondić i dr., 1995.). Na slici 5. prikazana je hidrogeološka karta područja Vranskog jezera.

Pri oblikovanju otoka ali i samog jezera bitnu ulogu imali su strukturno-tektonski procesi. U tom pogledu, otok Cres dio je rubnog dijela Jadranske karbonatne platforme – Adrijatik (Herak, 1986.). Upravo zbog smještaja na rubnim dijelovima platforme, izražene su navlačne strukture. Zavala Vranskog jezera tektonskog je postanka pa se na geološkoj karti lako uočavaju uzdužni i poprečni rasjedi. Prema J. Rogliću (1949.) zavala Vranskog jezera nastala je kemijskom i mehaničkom erozijom vapnenca i dolomita. Današnje strukture otoka i jezera formirane su kroz nekoliko tektonski aktivnih faza, a dno Vranskog jezera formirano je uzduž relaksacijskog rasjeda (Ožanić, 1996.).



Slika 5. Hidrogeološka karta područja Vranskog jezera (Kuhta, 2004.)

tamnozeleno – vapnenci vrlo dobre propusnosti; svijetlozeleno – vapnenci i dolomiti srednje propusnosti; žuto – pretežno dolomiti slabe propusnosti; crveno – fliš; ljubičasto crtkano – topografska vododjelnica; crvene linije – rasjedi (normalni i reverzni)

Vransko jezero je nastajalo kroz nekoliko jezerskih i kopnenih faza kada je razina mora bila otprilike 100 m niža od današnje. Podizanjem i spuštanjem mora dolazilo je do taloženja sedimenta na jezerskom dnu, a analizom tog sedimenta utvrđeno je da je jezero nastalo u razdoblju pleistocena. U ranom pleistocenu dolazi do razvoja krških procesa čime započinje kopnena faza. U toj fazi, cijeli je prostor sjevernog Jadrana bilo kopno, a jezero je predstavljalo krško polje u kojemu su vode ponirale na najnižem dijelu današnjeg jezera. Krajem pleistocena dolazi do podizanja razine mora u kojem je depresija jezera opet ispunjena slatkom vodom a dolazi i do ponovnog taloženja jezerskog sedimenta. Na dnu jezera nataloženo je preko 30 m prašinastog sedimenta s tragovima bujičnog nanosa i erozijskih korita (Biondić i dr., 1995.).

Obale jezera čine strme padine slabo propusnih stijena. Na zapadnoj obali jezera prevladavaju vapnenci dok na istočnoj obali prevladavaju dolomiti (A. Bognar, 1992.). Padine se svrstavaju u razrede nagiba od 12-55°, a uz istočnu obalu protežu se padine s nagibima i većim od 55° (Šegota i Filipčić, 2001.).

Morsko dno oko otoka Cresa predstavlja potopljeni dinarski reljef. Zapadno od otoka, morsko dno duboko je oko 45-55 m, dok se istočno od otoka dubine mora kreću od 77-93 m (Šegota i Filipčić, 2001.).

4.3. Legenda o nastanku Vranskog jezera

Prema legendi, na mjestu Vranskog jezera nekada se nalazilo polje u vlasništvu dviju sestara Gavanki. Jedna sestra bila je bogata, škrti i zla i živjela je u luksuznom dvorcu, dok je druga sestra bila siromašna i živjela je u blizini dvorca u maloj skromnoj kućici. Siromašna sestra radila je u dvorcu bogate sestre kako bi zaradila za život i prehranila svoju obitelj. Ondje je mijesila kruh na pregači od ovčje kože, a od komadića koji su ostajali na pregači mijesila bi mali kruh za svoju obitelj. Jednog je dana neki siromah došao na vrata siromašne sestre i zamolio ju komadić kruha. Od onog malenog kruha kojeg je jedva uspjela zamijesiti, sestra otkine komadić i pokloni mu. U tom trenutku komadić se pretvori u veliku pogaču a voda u bačvi pretvorila se u najbolje vino. Siromah joj je rekao kako će zločesta sestra biti kažnjena, da će ju zadesiti potres i potop te da smjesta napusti polje i spasi svoju djecu. Tako je bogatoj i zločestoj sestri srušen i potopljen dvorac. Prema pričama, i danas se duboko na dnu jezera

vide ostaci dvorca, a ribarima je mreža zapinjala za krovove potopljenog dvorca (Babić, 2018.).

4.4. Povijest istraživanja jezera

Postojanje ovako velikog jezera na inače vodom siromašnom otoku, od davnina je privlačilo pozornost brojnih znanstvenika. Otok Cres nema stalnih površinskih tokova, a na samom jezeru nisu opaženi stalni izvori ni ponori, stoga je prava zanimljivost odakle se jezero prihranjuje i prazni.

Prva pisana bilješka o Vranskom jezeru objavljena je u Veneciji 1771. godine u putopisu Alberta Fortisa „Saggio d'ossezioni sopra l'isola di Cherso ed Ossero“ (Ožanić, 1996.).

Opsežnija istraživanja jezera prvi su započeli Lorenz (1859.) i Mayer (1873.) kada su izvršili prve premjere jezera i istražne radove. Oba autora iznose svoju pretpostavku o porijeklu vode u jezeru, a njihove se teze i danas isprepliću u istražnim radovima. Lorenz daje pretpostavku da se jezero prihranjuje podzemnim putem s udaljenijeg kopnenog područja – Velebita, Gorskog kotara i Učke, dok Mayer pretpostavlja da je prihranjivanje jezera lokalno, odnosno da se jezero prihranjuje s vlastitog otočkog sliva. Prema nekim istraživanjima smatra se da bi moguće mjesto dotoka ili gubitka vode moglo biti putem vrtačastog udubljenja na južnom dijelu jezera koje je ujedno i najdublje mjesto jezera. Postoji mogućnost da se za vrijeme sušnih razdoblja jezero na tom mjestu prihranjuje iz podzemlja, dok za vrijeme vodnijih razdoblja jezero prihranjuje podzemlje. No, ove pretpostavke nisu potvrđene zbog teškoća u mjerenju strujanja vode jer se dno depresije odnosno vrtače nalazi na velikoj dubini ispod razine mora (61,3 m) (Ožanić, 1996.).

Prva geološka i hidrogeološka istraživanja na Vranskom jezeru proveo je Poljak 1947. godine. On smatra da se jezero prihranjuje iz dubokog krškog podzemlja ali i da postoji mogućnost da se jezero prihranjuje s kopnenog dijela Istre. Prema njemu, Vransko je jezero krško polje potopljeno slatkom vodom koje se prihranjuje podzemnom vodom na isti način kao i pukotinska uzlazna vrela. No, ona su znatno manjih dimenzija i porijeklo vode im se može utvrditi neposrednim ili posrednim putem (Ožanić, 1996.).

Istraživanja početkom 20. stoljeća usmjerena su na ispitivanje pojedinih parametara vode i osnovnih geoloških karakteristika, dok je pitanje porijekla jezerske vode i dalje aktualno. 1928. godine započinju motrenja količine oborina te kolebanja razine vode u jezeru.

Rezultati motrenja koristili su se u svrhu izrade hidrološke studije (Cecconij, 1940.), a s ciljem ocjene potencijala eksploatacije jezera za vodoopskrbu. Za potrebe izrade studije uspostavljena su i istraživanja temperaturnog režima i saliniteta jezera. Cecconij se u svojoj studiji drži pretpostavke o lokalnom prihranjivanju jezera sa sliva površine 32,95 km². Pretpostavku i potvrđuje u zaključcima studije. Dobiveni rezultati istraživanja rezultirali su brojnim novim radovima i studijama koje se temelje na dopuni postojećih (Ožanić, 1996.).

U razdoblju od 1954.-1956. Petrik započinje hidrološko – limnološka istraživanja na Vranskom jezeru. Rezultati istraživanja objavljeni su u radovima 1958. i 1960. godine. U radovima se koristi pretpostavkama iz studije Cecconija ali uvodi i neke nove, te i on zaključuje da je porijeklo vode u jezeru lokalno s otočkog sliva. 1961. i 1969. godine Petrik objavljuje dopunu studije u kojoj daje prognozu o mogućnostima crpljenja iz jezera. Uspostavit će se da je dana prognoza ipak preoptimistična te dolazi do naglog opadanja razine vode, što potiče početak novih istražnih radova i novih hidroloških istraživanja. Naglasak istraživanja stavlja se na zaštitu jezera od precrpljenja, a rezultati istraživanja objavljeni su u nekoliko studija i elaborata (Ožanić, 1996.).

Daljnja istraživanja Vranskog jezera provodila su se 1989. godine u sastavu programa hidrogeoloških istraživanja „INA-projekta“. Programom su definirane zone sanitarne zaštite jezera te je provedeno trasiranje podzemnih voda. Također su razmatrane i mogućnosti maksimalnog dozvoljenog crpljenja iz jezera. Rezultati istraživanja objavljeni su u elaboratu „Hidrogeološki istražni radovi u svrhu optimalne eksploatacije vode iz Vranskog jezera na otoku Cresu“ (Golubić, 1989.). Golubić se isto tako drži pretpostavke o lokalnom prihranjivanju jezera sa sliva površine 44,5 km², te daje prognozu o maksimalnom dozvoljenom crpljenju od 350 l/s (Ožanić, 1996.).

Najveći trend opadanja razine vode u jezeru zabilježen je između 1985.-1990. godine kada se srednja razina jezera spustila za 3,53 m (Ožanić i dr.,2019.). Ova situacija posljedica je povećanog crpljenja jezera ali i niskih količina oborina u tom razdoblju. Novonastalo stanje izazvalo je veliku zabrinutost stručnjaka ali lokalnog stanovništva (Rubinić, 1990.). U sklopu hidroloških istraživanja „Vodoprivrede“ Rijeka, izrađena je studija „Analiza hidroloških karakteristika Vranskog jezera na otoku Cresu“ (Rubinić i Ožanić, 1990.). Rezultati studije ukazuju na postojanje složene problematike hidrološkog bilanciranja Vranskog jezera, te nemogućnost prihvaćanja dosad iznesenih procjena o dozvoljenim crpljenjima iz jezera. Iz tog razloga, 1990. godine „Hrvatske vode“ pokrenule su opsežna

istraživanja u okviru Programa „Istražni radovi u svrhu donošenja odluke za optimalno korištenje i očuvanje vode Vranskog jezera na otoku Cresu“. Program je uključivao multidisciplinarni pristup istraživanjima u svrhu da se što temeljitije istraže svojstva Vranskog jezera i način njegova funkcioniranja s ciljem analize mogućeg korištenja, adekvatnog upravljanja i zaštite jezera. Osim hidroloških istraživanja, izvršena su i hidrogeološka, limnološka, hidrokemijska i biološka istraživanja (Brdar i Ožanić, 2008.).

Hidrogeološka istraživanja provodio je „Institut za geološka istraživanja“ Zagreb (Biondić i sur.). U sklopu istraživanja provedena su opširna strukturno-tektonska, geofizička i druga istraživanja. U početku autori se drže pretpostavke da se jezero većim dijelom prihranjuje s regionalnih kopnenih područja, a snižavanje razine vode u jezeru objašnjavaju kao posljedicu globalnog utjecaja dubokog krškog vodonosnika. Rezultati istraživanja objavljeni su u elaboratu „Jezero Vrana na otoku Cresu – hidrogeološki istražni radovi – I faza“ (Biondić i sur. 1991.), te u nadopuni 1993. godine.

Trend opadanja razine jezera se u posljednjih dvadesetak godina ublažio, ali potreba za zaštitom jezera i dalje postoji. U razdoblju prikupljanja podataka između 1929. – 2017. godine, najveći vodostaj od 16,70 mn.m. zabilježen je 1936. godine, dok je najniži vodostaj zabilježen je 2012. godine a iznosio je 8,56 mn.m. (Ožanić i dr. 2019.).

U sastavu Programa, obavljen je i detaljan premjer jezera i nadvodnog jezerskog prostora. Premjer je izvršen 1991. godine pod vodstvom „Hidrografskog instituta“ iz Splita (Ožanić, 1996.).

Hidrološka istraživanja u sklopu Programa provodili su Rubinić (JVP istarskih slivova, Labin) i Ožanić (JVP „Hrvatska vodoprivreda“ OJ Rijeka). Rezultati istraživanja objavljeni su u elaboratu („Vransko jezero na Cresu – Rezultati hidroloških istražnih radova – I faza“ (Rubinić i Ožanić 1991.) i u radu „Hidrološke karakteristike Vranskog jezera na otoku Cresu“ (Rubinić i Ožanić 1992.). Rezultati provedenih istraživanja ukazuju da se jezero prihranjuje s vlastitog sliva na otoku, procijenjene veličine 20-25 km². Također, procijenjeni su gubici iz jezera na poniranje koji iznose 50% manje od gubitaka koje je procijenio Petrik 1958. godine, te je time argumentirano da su dosadašnje procijene o maksimalnim dozvoljenim crpljenjima iz jezera bile preoptimistične.

Pretpostavka o prihranjivanju jezera s lokalnog otočkog sliva potvrđena je i u radovima Bonacci (1993., 1995.), Ožanić (1996.) i Hertelendi i dr. (1995.). Bonacci i Ožanić pretpostavku su dokazali korištenjem različitih postupaka metode vodne bilance, dok je

druga skupina autora pretpostavku potvrdila analiziranjem starosti vode u jezeru primjenom izotopa. Utemeljeno je da je srednje vrijeme zadržavanja vode u jezeru između 30 i 40 godina (Ožanić, 1996.).

U magistarskom radu „Hidrologija jezera Vrana na otoku Cresu“ (Ožanić, 1994.) objedinjeni su raspoloživi rezultati hidroloških istraživanja te su date hidrološke analize dotoka i gubitaka vode iz jezera kao i početna hidrološka modeliranja o prognozi dotoka vode u jezero te ocjeni utjecaja crpljenja na promjenu razine vode u jezero. Navedena tematika proširena je u disertaciji „Hidrološki model funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu“ (Ožanić, 1996.). U radovima je površina sliva Vranskog jezera procijenjena na 24 km² a gubici vode iz jezera procijenjeni su na 60 % od gubitaka koje je Petrik procijenio 1969. godine. Ove su pretpostavke korištene i u ovom radu pri analizi dotoka u Vransko jezero.

Daljnja istraživanja kroz Program obuhvaćala su godišnje bilježenje rezultata hidroloških istraživanja dok su hidrogeološka istraživanja uključivala ispitivanja kemizma i radioaktivnosti vode u jezeru.

U sklopu Programa također su provedena limnološka istraživanja pod vodstvom IGH Zagreb (Zmajić) te biološko-ekološka istraživanja koja su predvodili Prirodoslovno-matematički fakultet te Institut Ruđer Bošković iz Zagreba (Ožanić 1996.).

Rezultati navedenih istraživanja objavljeni su u mnoštvo studija, elaborata, godišnjih izvještaja te znanstveno-stručnih radova kod nas i u inozemstvu, koji su korišteni kao podloga za izradu ovog rada.

4.5. Vodne pojave otočkog krškog vodonosnika

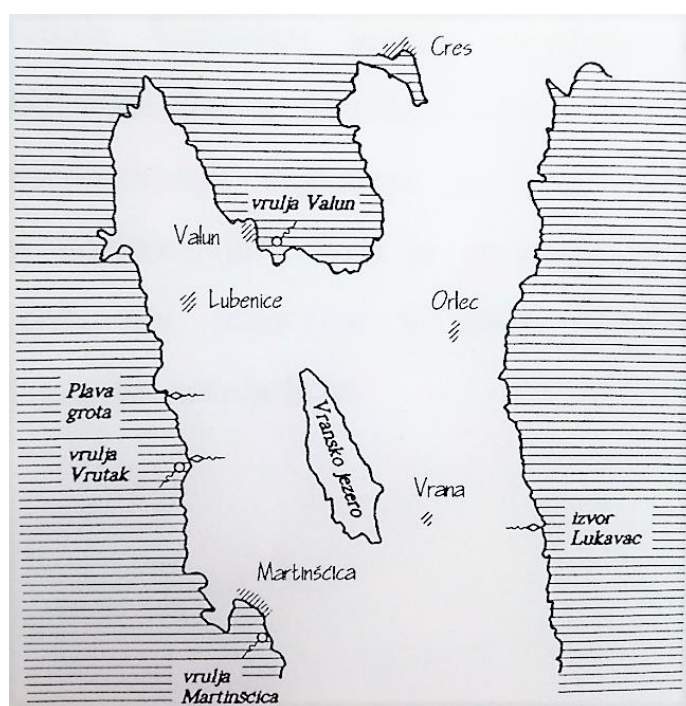
Na obalama otoka Cresa uočeno je nekoliko priobalnih izvora i vrulja za koje se smatra da su povezane s jezerom, odnosno da su to mogući putovi pražnjenja jezera. Većina vrulja i izvora privremenog su karaktera i javljaju se samo za vrijeme vodnijih razdoblja.

Prva detaljna istraživanja vodnih pojava na širem prostoru otoka Cresa realizirana su u sklopu istražnih radova „INA-projekta“ (1989.). U okviru istraživanja mjerene su izdašnosti vrulja kao i njihovi saliniteti.

Vrulja Vrutak, stalna je vrulja koja se nalazi na zapadnoj obali Cresa i s kapacitetom od 500-1000 l/s najizdašnija je vrulja na Cresu. Ostale stalne vrulje, kao što su vrulja

Martinščica i vrulja Miholašćica kapaciteta su svega nekoliko l/s. Od privremenih vrulja valja istaknuti vrulju Valun koja je vrlo izdašna za vrijeme značajnijih oborina.

Osim vrulja, uočene su mnoge pojave istjecanja slatke vode u priobalju. Na zapadnoj obali najistaknutije mjesto istjecanja slatke vode je u pećini Plava grota u uvali Žanja, dok se na istočnoj obali otoka ističe priobalni izvor Lukavac. Uz vrulje i izvore, postoje i brojna mjesta jačih ili slabijih difuznih istjecanja slatke vode koja mogu znatno utjecati na ukupnu bilancu istjecanja (Ožanić, 1996.). Na slici 6. prikazane su lokacije značajnijih vodnih pojava na širem prostoru oko Vranskog jezera.



Slika 6. Vodne pojave na širem području Vranskog jezera (Ožanić, 1996.)

Iako je teško dokazati izravnu povezanost Vranskog jezera s priobalnim izvorima slatke vode, postojanje ovako velikog broja mjesta istjecanja slatke vode u priobalju otoka Cresa ukazuje na prisutnost impozantnog vodonosnika slatke vode s Vranskim jezerom kao njegovim dominantnim dijelom.

4.6. Vodoopskrba i crpljenje iz jezera

Voda u jezeru plavo-zelene je boje, velike prozirnosti i izuzetne kakvoće te se za potrebe vodoopskrbe koristi bez pročišćavanja samo uz kloriranje. Prosječni salinitet jezera iznosi oko 60 – 70 mg/l dok prosječna količina otopljenog kisika iznosi 11 mg/l (Brdar i Ožanić, 2008.).

Izgradnja vodovodne mreže na otoku Cresu započela je 1946. godine gradnjom sjevernog kraka prema gradu Cresu. Eksploatacija je započela 1952. godine te je naselje Orlec prvo naselje koje je dobilo vodu. Sjeverni krak ukupne dužine približno 17 km dovršen je u studenom 1953. godine. Tadašnji kapacitet crpne postaje bio je 25 l/s, iako su se onda crpile i znatno manje količine.

Vodom iz Vranskog jezera ne opskrbljuje se samo otok Cres već i otok Lošinj. Južni krak do Velog Lošinja duljine 45 km dovršen je 1963. godine (www.viocl.hr). Zbog povećanja potrošnje na Lošinj, kapacitet crpne postaje morao se 1968. godine povećati na 60 l/s, a kako bi se povećao protok, na južnom kraku izgrađen je paralelni cjevovod.

Zadnji krakovi vodovoda prema Martinšćici i Valunu dovršeni su 1971. godine te time otoci Cres i Lošinj postaju jedini otoci koji imaju vodoopskrbu iz vlastitih izvora. Ukupna dužina vodoopskrbnog sustava Cres-Lošinj iznosi više od 200 kilometara (www.viocl.hr).

Voda iz jezera se koristi isključivo za piće te je područje oko jezera pod strogom zaštitom (Ožanić, 1996.). Zbog povećanog crpljenja, 1987. godine započinju crpljenja na novoj crpnoj postaji projektiranog kapaciteta 5 x 87,5 l/s. Zbog vrlo niskih vodostaja, crpljenja na staroj crpnoj postaji su obustavljena, te se crpljenje vrši isključivo putem nove crpne postaje koja ima kapacitet crpki oko 90 l/s (Ožanić, 1996.). Od onda se bilježi trend porasta crpljenja, uz iznimku ratnih godina 1991.-1995. zbog manjeg broja turista. Do sada, maksimalna crpljenja na godišnjoj razini zabilježena su 2015. godine od 2,56 milijuna m³.

Crpilište Vransko jezero nalazi se na nadmorskoj visini od 220 metara. U sklopu crpilišta nalaze se dvije vodospreme iz kojih se voda do svih naselja na sjevernom i južnom ogranku dovodi gravitacijski.



Slika 7. Vodosprema Kalvarija, Mali Lošinj (www.viocl.hr)

Na crpilištu se također u sklopu vodosprema nalaze tri crpna agregata kojima se voda crpi do vodospreme na visini od 310 mn.m. putem koje se opskrbljuju vodom naselja Orlec, Krčina i Loznati (slika 8.).



Slika 8. Pumpna stanica, crpilište vode Vrana, otok Cres (www.viocl.hr)

Na otok Ilovik, voda se iz Vranskog jezera doprema djelomično podmorskim cjevovodom iz smjera Malog Lošinja, dok se na otoke Susak, Unije i Srakane, voda doprema brodom vodonoscem. Na Susku je izgrađena hidrantska mreža s vodospremom i crpnom stanicom putem koje se dopremljena voda s vodonosca dovodi do vodospreme.

No, nekolicina naselja još uvijek nije spojena na sustav javne vodoopskrbe te se ona po potrebi opskrbljuju pitkom vodom iz autocisterne (www.viocl.hr).

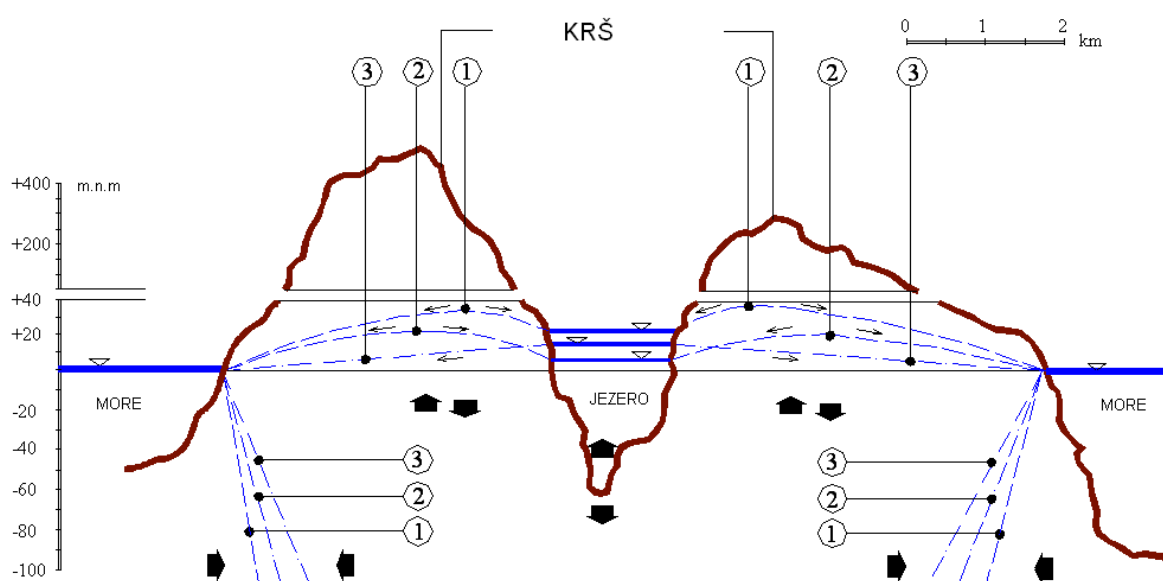
4.7. Hidrološki koncept funkcioniranja sustava Vranskog jezera

Kako bi se jezero moglo zaštititi od precrpljenja potrebno je analizirati način funkcioniranja jezerskog sustava kao i njegov odnos s podzemljem i okolnim morem. Otok Cres iako nema stalnih izraženih površinskih vodnih tokova, ima znatnu količinu slatke vode u podzemlju. Količina akumulirane podzemne vode, njezino otjecanje i kontakt s morem ovisi o stupnju okršenosti otoka. Upravo zbog krševitog podzemlja, postoji problem u neposrednom određivanju dotoka i otjecanja iz jezera te se oni mogu samo posredno odrediti pomoću metoda vodnog bilanca. Dotjecanje i otjecanje iz jezera odvija se nelokaliziranim putovima koji ovise o hidrogeološkim karakteristikama podzemlja. Stoga su se ove vrijednosti u dosadašnjim hidrološkim istraživanjima procjenjivale na temelju analiza dinamike promjene razina vode u jezeru obzirom na poznate odnosno izmjerene hidrološke parametre na lokalnom području te količine crpljenja iz jezera. Ustanovljeno je da postoji dovoljno čvrsta veza između elemenata vodnog bilanca otočnog lokalnog sliva te funkcioniranja jezera, stoga se Vransko jezero mora promatrati u području njegovog otočkog krškog vodonosnika (Ožanić, 1996.).

Pri razmatranju odnosa jezerske vode i mora vrijedi opći princip Ghyben-Hertzbergovog zakona o stvaranju slatkovodne otočke leće u podzemlju koja je u dinamičkoj ravnoteži s morem. Prema tom principu postoji ravnotežni omjer između slatke i slane vode u krškom podzemlju – za svaki metar slatke vode iznad razine mora postoji 40 m slatke vode ispod razine mora. Prema istraživanjima (Ožanić, 1996.), pri tom bi teoretskom odnosu kod razine jezera od 1,5 mn.m. došlo do prodora mora u jezero i došlo bi do zaslanjenja cijelog jezera. Ipak, neravnotežu u ovakvom sustavu unosi nehomogena struktura krškog podzemlja te različita propusnost stijenskog masiva uslijed čega dolazi do naglijih prodora mora u slatkovodnu leću što stvara široku prijelaznu zonu bočate vode (Ožanić, 1996.).

Specifičnost krškog vodonosnika otoka Cresa jest što je on dijelom otvoren kriptodepresijom Vranskog jezera koja ima naročit utjecaj na mehanizam „disanja“ krškog vodonosnika. Ožanić (1996.) u disertaciji „Hidrološki model funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu“ opisuje hidrološki koncept modela funkcioniranja vodonosnika Vranskog jezera. Vransko jezero razmatrano je kao vodna pojava u dinamičkom međudnosu s ostalim dijelovima otočkog krškog vodonosnika, odnosno kao njegov sastavni dio, te se ono ne može promatrati izolirano od ostalih vodnih pojava.

Slikom 9. prikazan je shematski presjek otoka Cresa kroz Vransko jezero kojim Ožanić (1996.) opisuje hipotetički međudnos jezera, podzemnih voda i mora u zoni otoka Cresa.



Slika 9. Shematski presjek otoka Cresa kroz Vransko jezero (Ožanić, 1996.)

Promatranjem dinamike promjene razina vode u Vranskom jezeru mogu se uočiti promjene u funkcioniranju jezera kod tri karakteristične razine. Pri visokim razinama vode u jezeru, visoka je i razina u krškome vodonosniku. U uvjetima jačih oborina, podiže se razina podzemne vode u okolnom krškome masivu te voda otječe dijelom prema jezeru a dijelom prema moru. U ovom slučaju volumen vode u krškome vodonosniku je najveći te se granica podzemne vododjelnice nalazi najdalje od jezera (položaj 1). Pri niskim razinama vode u jezeru, niska je i razina podzemnih voda, te se granica slatke i slane vode primiče prema jezeru (položaj 2). U ovom slučaju, jezero se dijelom prihranjuje podzemnim vodama iz krškome masiva a dijelom vodom iz krškome vodonosnika. Zanimljivo je razmatrati i razinu vode u jezeru nakon dugotrajnijih suša, kada se ona izjednačuje s najvećom razinom

podzemnih voda u okolnom kršu. Pri ovoj razini jezero ima tendenciju bržeg pražnjenja prema moru. Naglo opadanje razine vode u sušnijim razdobljima, usporava se povlačenjem podzemne granice slatke i slane vode prema jezeru (položaj 3).

Na mehanizam disanja jezera znatno utječe crpljenje vode iz jezera. U jezeru je tada narušena prirodna ravnoteža odnosa podzemnih voda i mora te se ona mora uravnotežiti povećanim prihranjivanjem podzemnim vodama iz okolnog krškog masiva te iz podzemnog krškog vodonosnika. U tom slučaju podzemna granica između slatke i slane vode primiče se prema jezeru. Ova granica nije jasno određena već predstavlja jedno šire područje bočate vode, stoga pažljivo treba razmotriti moguće dozvoljeno sniženje razine vode u jezeru. Jezero neće biti ugroženo sve dok je podzemna granica dovoljno udaljena od jezera. Iako komponenta crpljenja čini najmanji element vodne bilance, ona znatno narušava ravnotežu samog sustava Vranskog jezera, odnosno izravno utječe na pad srednje razine jezera. Pad srednje razine jezera odvijat će se sve do trenutka kada će se pri novo ostvarenoj srednjoj razini jezera gubici na poniranje smanjiti za količinu porasta crpljenja (Ožanić, 1996.). Opisan mehanizam „disanja“ Vranskog jezera i krškog vodonosnika daje samo teoretsku sliku o konceptu ponašanja jezera.

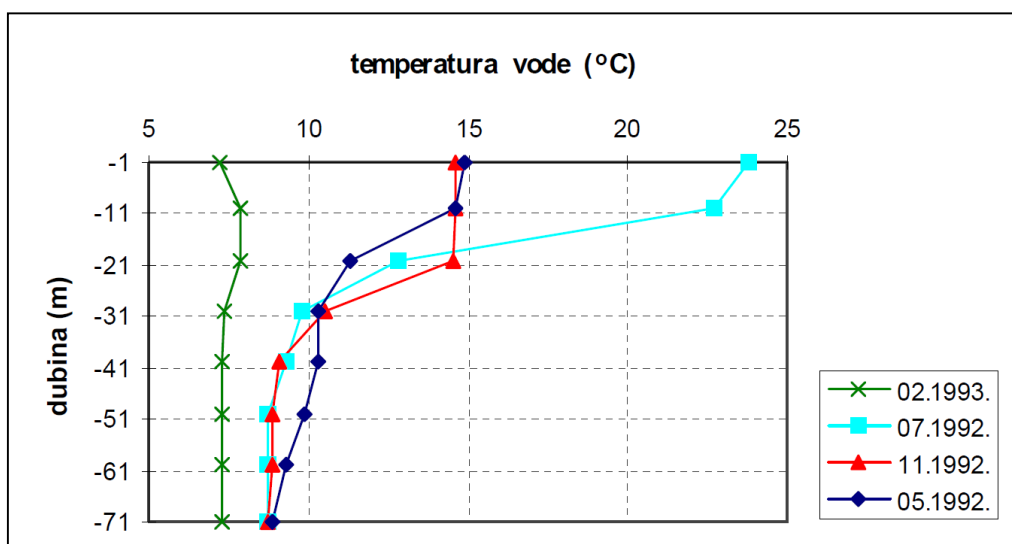
Za razumijevanje stvarnog stanja potrebno je u analize uključiti i hidrogeološke osobine i stupanj okršenosti stijenske podloge te pratiti kolebanja razine podzemnih voda putem pijezometarskih bušotina. Za potrebe istraživanja mogućeg utjecaja oscilacija razine mora (plime i oseke) na promjenu razine u jezeru uspostavljena su uz vodokazna mjerenja (1928.) i limnigrafska mjerenja (1992.) na jezeru, a 1991. započinje i mjerenje razine mora putem mereografa u Martinšćici (Ožanić, 1996.).

U hidrološkim istraživanjima (Ožanić, 1996.) provedena je analiza autokorelacije srednjih mjesečnih vodostaja. Rezultati istraživanja ukazali su na postojanje velike tromosti vodnih masa jezera zbog razmjerno malih dotoka u odnosu na velike dimenzije jezera. Analizom je pokazano da razdoblje trajanja značajne međuovisnosti vodostaja u jezeru traje čak 38 mjeseci.

Navedena problematika ukazuje na činjenicu kako je Vransko jezero izuzetno osjetljiv sustav koji funkcionira u zavisnosti o lokalnim hidrološkim i hidrogeološkim prilikama. Vransko jezero nužno je potrebno zaštititi od onečišćenja i pretjeranog crpljenja kako bi se ostvario nesmetani daljnji razvoj otočke zajednice.

4.8. Temperaturni režim jezera

Za bolje razumijevanje dinamike promjene razine vode u jezeru, bitno je poznavati termalni režim jezera odnosno promjenu temperature po dubini jezera. Ona nam ujedno daje i uvid o odnosu temperature jezerske vode prema temperaturi podzemnih voda koje se mjere u pijezometarskim bušotinama. Opsežnija istraživanja promjena temperature po dubini jezera proveo je Institut za geološka istraživanja (Biondić i sur. 1994.). Prema tim istraživanjima, Vransko jezero može se svrstati u srednje duboka jezera umjerenog klimatskog pojasa koja se zimi ne zaleđuju a površinska temperatura vode ne pada ispod 4°C. Rezultati ispitivanja temperature vode u razdoblju od svibnja 1992. do veljače 1993. prikazani su na slici 10.



Slika 10. Vertikalni raspored temperature vode po dubini (Ožanić, 1996.)

Tipičan godišnji temperaturni ciklus jezera započinje krajem zime i početkom proljeća kada postepenim povećavanjem temperature zraka počinje i postepeno zagrijavanje površinskog sloja vode. Tada, po dubini jezera možemo razlikovati tri sloja: epilimnij – površinski sloj jezera koji poprima temperaturu zraka, hipolimnij – dublji nezagrijani sloj vode i termoklina – sloj koji dijeli prva dva sloja u kojem dolazi do nagle promjene temperature i gustoće vode. Ljeti dolazi do izrazite vertikalne termalne stratifikacije kada je i područje termokline najoštrije te dolazi do nagle promjene temperature vode po dubini jezera. Područje termokline uglavnom se nalazi na dubinama od 10 do 30 metara. U jesen, temperatura površinskog sloja vode postepeno pada kako pada i temperatura zraka, a termoklina postaje sve blaža i postepeno se pomiče u dubinu zbog zagrijavanja dubljih slojeva vode. Zimi, kada

su najniže temperature zraka dolazi i do hlađenja površinskog sloja vode. Tom prilikom dolazi do potpune izotermije vodenog stupca, odnosno dolazi do izjednačenja temperature po dubini jezera. Naime, u zimskom razdoblju površinski sloj vode ima temperaturu približno 4°C. Pri toj temperaturi voda je najgušća te pada u dublje slojeve gdje se nalazi toplija voda koja je manje gustoće. Tada dolazi do njihovog potpunog miješanja te je temperatura jezera jednolika, odnosno ne mijenja se s promjenom dubine. Ovakvo miješanje vode dešava se samo jednom godišnje pa se Vransko jezero kategorizira kao monomiktično jezero (Biondić i sur. 1994.).

4.9. Problem onečišćenja voda Vranskog jezera

U prethodnim poglavljima opisana je problematika zaštite jezera od precrpljenja što bi posljedično uzrokovalo zaslanjenje jezera. Iako bi štete uzrokovane ovim problemom bile značajne, promjene u razini vode u jezeru odvijaju se relativno sporo pa bi se pravovremeno stiglo reagirati u donošenju preventivnih mjera zaštite. S druge strane, jezero te samo slivno područje potrebno je zaštititi od zagađenja uzrokovanih vanjskim utjecajima. U prvom redu to su antropogeni činioci odnosno sve veći porast prometa na slivnom području zbog povećanja broja turista.

Već sedamdesetih godina, lokalna je zajednica uvidjela ovaj problem te donijela politiku gospodarenja prostorom na slivnom području jezera kako bi se jezero zaštitilo od objekata i sadržaja koji bi ga eventualno mogli ugroziti. Danas je pristup jezeru zabranjen, ali i bitno otežan zbog nedostatka pristupnih putova. Na užem području sliva nema značajnijih naselja koja bi mogla ugroziti jezero, a od privrednih djelatnosti valja istaknuti ekstenzivni uzgoj ovaca, koji bi u slučaju povećanja broja grla utjecao na promjenu kvalitete vode (Ožanić i Rubinić, 1998.).

Pošto je pristup užem pojasu jezera strogo zabranjen te je opasnost od direktnog zagađenja minimalizirana, najveću opasnost jezeru danas predstavlja moguće zagađenje s obližnje prometnice. Naime, u neposrednoj blizini jezera prolazi glavna otopka magistrala D100 kojom se odvija sav promet na otoku Cresu ali i na otoku Lošinju do kojeg doseže ova prometnica. Iako je 2006. godine na zahtjev lokalne zajednice, prometnica udaljena od orografskog sliva, ona još uvijek predstavlja opasnost zbog nemogućnosti točnog određivanja hidrogeološkog sliva. Jezero može biti ugroženo zagađenjima koja se

svakodnevno stvaraju korištenjem prometnice, ali i incidentnim onečišćenjima zbog prometnih nesreća. Najmanja udaljenost prometnice od jezera je manja od 1 km, a okolno područje sačinjavaju slabo propusne stijene stoga je utjecajno područje prometnice na vodonosnik Vranskog jezera i veće od same zone kojom ona prolazi. Ukoliko bi došlo do nesreće koja bi rezultirala izlivanjem veće količine tekućih zagađivača, kao npr. naftnih derivata, ono bi moglo onečistiti jezero direktnim površinskim otjecanjem ili putem podzemnih voda. Ono što zasigurno ne ide u prilog jezeru jesu veliki nagibi sliva prema jezeru a i veoma strme obale jezera, što bi ubrzalo ulijevanje zagađivača u jezero. Ukoliko zagađivač dospije u podzemlje, u nekom trenutku doći će i u kontakt s podzemnim vodama vodonosnika Vranskog jezera. Ako jednom tako onečišćena voda dospije u sustav Vranskog jezera ne postoji više mogućnost da ona prirodnim putem istječe iz sustava. Iscrpljivanje onečišćenja također nije moguće zbog velikih dimenzija jezera – jezero ima sto puta veći volumen od godišnje količine crpljenja. Iscrpljivanje jezera u dugom razdoblju rezultiralo bi sniženjem razine vode ali bi se ona zbog mehanizma disanja s podzemljem opet uravnotežila s morem. Dotoci i istjecanja iz jezerskog sustava prirodnim putem su mali i nedovoljni za samopročišćenje jezera (Ožanić i Rubinić, 1998.). Prema istraživanjima (Ožanić, 1996.) vrijeme zadržavanja odnosno izmjene vode u jezeru jest 31 godinu, tako da bi zagađenje jezera prouzrokovalo dugoročno onečišćenje.

Također, onečišćenje mogu proizvesti i udaljeniji veći zagađivači poput termoelektrane Plomin koja je udaljena od jezera oko 30 km.

Danas je kvaliteta vode i dalje izvrsna, no svakako ne treba zanemarivati moguću pojavu zagađenja jezera te treba i dalje aktivno raditi na zaštiti jezerskog područja.

5. ANALIZA OSNOVNIH HIDROLOŠKIH PARAMETARA TIJEKOM RAZDOBLJA 2007.-2017. GODINE

U ovom poglavlju dan je prikaz rezultata analize najvažnijih hidroloških i meteoroloških parametara na području Vranskog jezera te analiza srednjih dotoka u jezero dobivenih putem analitičkog modela „VRANA“. Analizirano je razdoblje od 2007.-2017. godine, a podaci su obrađeni na dnevnoj, mjesečnoj i godišnjoj razini. Radi utvrđivanja značaja dobivenih rezultata, dan je i grafički prikaz usporedbe pojedinih parametara analiziranog razdoblja i cjelokupnog razdoblja za koja postoje pojedina osmatranja.

Hidrološki i meteorološki parametri koji su korišteni kao podloga za izradu ovog rada preuzeti su iz radova (Ožanić, 1996.), (Brdar, 2007.), (Ožanić i dr, 2019.) te podaci Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske. Analizom podataka utvrđeno je da za pojedina razdoblja nedostaju podaci o mjerenjima relativne vlažnosti zraka, temperature zraka, temperature površinskog sloja vode te crpljenja pa su nedostajući podaci zamijenjeni prosječnim vrijednostima za razdoblje kada su ti podaci bili na raspolaganju.

5.1. Oborine

Meteorološka opažanja na širem području Vranskog jezera započela su 1909. godine osnivanjem kišomjerne postaje Cres (DHMZ, Historijat stanice CP Vrana, Vransko jezero). Podaci o oborinama ujedno čine i najduži niz izmjerenih podataka na ovom području. Oborine su se kontinuirano mjerile na dnevnoj razini, izuzev ratnih godina kada je došlo do prekida motrenja pa podaci u razdoblju između 1941.-1951. nisu očuvani. Podaci iz tog razdoblja nadopunjeni su korelacijom s mjernom postajom Crikvenica koja ima sačuvani niz podataka od više od 100 godina što je ujedno i najduži sačuvani kontinuirani niz podataka na širem prostoru Vranskog jezera (Ožanić, 1996.).

Uz kišomjernu postaju Cres, u blizini postoje još i kišomjerne postaje Sutivan i Osor (DHMZ, Historijat stanice CP Vrana, Vransko jezero).

Na lokaciji crpne postaje Vrana, podaci o oborinama počinju se bilježiti 1977. godine na meteorološkoj postaji C.P.Vrana (20 mn.m.) te na kišomjerima Vrana-selo (240 mn.m.) i Lubenice (380 mn.m.) koje su osnovane 1990. godine radi praćenja količine oborina na slivu

Vranskog jezera. Spomenute kišomjerne postaje prestale su s radom 2001. godine zbog prestanka obnavljanja ugovornih obveza između Vodovoda Cres i agroklimatološkog odjela DHMZ-a (Brdar, 2007.). Meteorološka postaja C.P. Vrana (slika 11.) upotpunjena je ombrografom te se dnevne količine oborina nastavljaju bilježiti i dalje.



Slika 11. Mjerna postaja C.P. Vrana, Vransko jezero (Ožanić,2017.)

U nastavku je dan prikaz mjesečnih i godišnjih količina oborina za razdoblje 2007.-2017. izmjerenih na mjernoj postaji C.P. Vrana, kao i osnovna statistička obrada mjesečnih i godišnjih količina oborina (tablica 1).

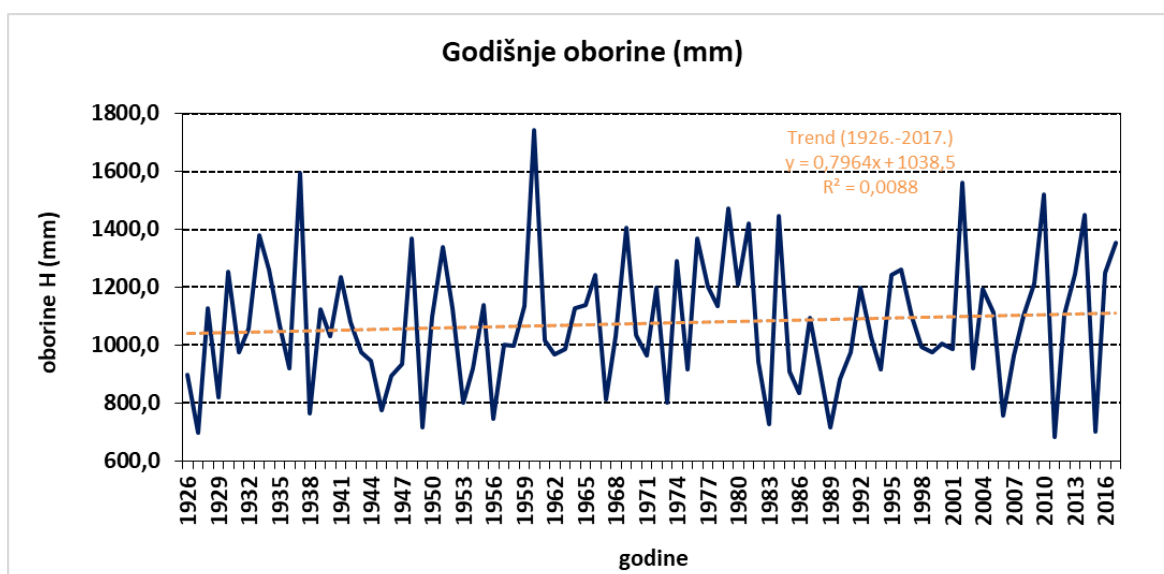
Tablica 1. Mjesečne i godišnje oborine na postaji C.P. Vrana za razdoblje 2007.-2017.

god/mj	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SUMA
2007	110,7	94,4	126,3	0,3	148,5	27,6	1,2	61,7	201,7	70,8	44,1	78,1	965,4
2008	68,8	53,1	166,2	60,8	95	73,2	25,2	40,2	22,7	35	200,7	260	1100,9
2009	155,8	126,2	117,1	60,4	4,1	63,6	36	61,3	93,3	121,6	121,2	252,2	1212,8
2010	315,3	150,6	43,6	75,6	89,7	160	18,2	52,2	110,4	69,5	278,1	157,2	1520,4
2011	11	6,2	65,2	31,6	48,3	34,6	103,1	11,4	127,8	137,9	64,6	40,2	681,9
2012	40,2	22,9	0,1	49,1	84,7	28,8	4,8	18,4	168,1	256,3	257	175,5	1105,9
2013	201,7	157,9	146,3	48,5	119,4	40,6	6,1	76,8	130,2	113,7	163,7	40,3	1245,2
2014	169,7	214,2	40,9	36	64,6	58,2	181,9	117,6	189,7	41,8	180,4	155,3	1450,3
2015	71,7	79,2	34,9	43,4	17,4	52,3	41,2	67,7	50,3	188,7	52,6	0	699,4
2016	142,2	255,4	63,8	43,4	119,4	56,5	5,5	74,1	139,2	107,4	243,4	0,6	1250,9
2017	53,6	155	48,4	67,9	68,3	45,5	45,4	31,1	336,1	93,1	249,9	160,2	1354,5
SR	121,9	119,6	77,5	47,0	78,1	58,3	42,6	55,7	142,7	112,3	168,7	120,0	1144,3
σ	87,6	77,5	52,9	20,5	43,8	36,7	54,7	30,1	84,0	65,0	86,7	93,6	274,3
C_v	0,719	0,648	0,683	0,436	0,560	0,630	1,283	0,540	0,589	0,578	0,514	0,780	0,240
C_s	1,700	0,845	1,129	-0,550	0,321	3,052	3,289	0,980	1,597	1,681	0,186	0,911	-0,347
MIN	11	6,2	0,1	0,3	4,1	27,6	1,2	11,4	22,7	35	44,1	0	681,9
MAX	315,3	255,4	166,2	75,6	148,5	160	181,9	117,6	336,1	256,3	278,1	260	1520,4

Na razini godišnjih količina oborina u razdoblju 2007.-2017., prosječno je palo 1144,3 mm oborine, što je za 78,1 mm više od višegodišnjeg prosjeka izmjenjenog u razdoblju 1926.-2006. godine kada je prosječna količina ukupno palih godišnjih oborina iznosila 1066,2 mm.

Maksimalna registrirana godišnja oborina za razdoblje 2007.-2017. iznosila je 1520,4 mm i to 2010. godine, dok je najmanje oborina u iznosu od 681,9 mm palo 2011. godine. U cjelokupnom promatranom razdoblju od kada postoje mjerenja, maksimalna prosječna godišnja oborina zabilježena je 1960. godina u iznosu od 1743,0 mm.

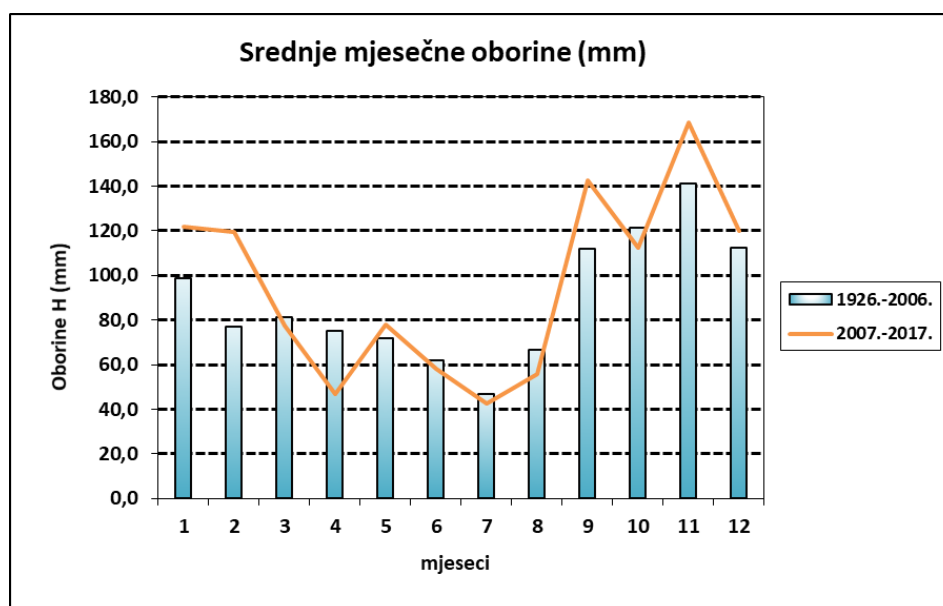
Na slici 12. dan je grafički prikaz godišnjih količina oborina za cjelokupno promatrano razdoblje 1926.-2017.



Slika 12. Godišnje oborine na Vranskom jezeru za razdoblje 1926.-2017.

Iz prikaza godišnjih količina oborina u razdoblju 1926.-2017. vidljiv je trend porasta količine oborina od cca. 0,8 mm godišnje.

Na slici 13. prikazana je usporedba srednjih mjesečnih oborina na Vranskom jezeru za razdoblja 1926.-2006. i 2007.-2017.



Slika 13. Usporedba srednjih mjesečnih oborina na Vranskom jezeru za razdoblja 1926.-2006. i 2007.-2017.

U pogledu srednjih mjesečnih oborina u promatranim razdobljima, može se zaključiti da su oborine u razdoblju 2007.-2017. bile iznadprosječne (u odnosu na višegodišnje razdoblje 1926.-2006.) za mjesec siječanj, veljaču, svibanj, rujan, studeni i prosinac, dok su ispodprosječne oborine za isto razdoblje zabilježene za mjesece ožujak, travanj, lipanj, srpanj, kolovoz i listopad.

Najveća dnevna oborina u razdoblju 2007.-2017. zabilježena na postaji C. P. Vrana bila je dne 09.01.2010. u iznosu od 110,1 mm. 2010. godina bila je i najvodnija godina u promatranom jedanaestogodišnjem razdoblju.

5.2. Temperatura zraka

Praćenje temperaturnih prilika na području Vranskog jezera od bitnog je značaja radi utvrđivanja elemenata vodne bilance jezera. Temperature zraka utječu na veličinu isparavanja sa slobodne vodene površine i evapotranspiracije sa cjelokupnog slivnog područja. Korišteni podaci o temperaturama zraka izmjereni su na suhom termometru na mjernoj postaji C.P. Vrana.

Zbog prekida obnavljanja ugovornih obveza između Vodovoda Cres i agroklimatološkog odjela DHMZ-a, došlo je do kvarova na instrumentima te znatne redukcije osmatranja temperature zraka. Iz tog razloga, podaci o temperaturama dostupni su za razdoblje 1981.-2000. te 2007.-2017. U 2000. godini nedostajuću podaci o temperaturama zraka u razdoblju od kolovoza do prosinca, nadopunjeni su prosječnim vrijednostima iz razdoblja kada su podaci bili na raspolaganju.

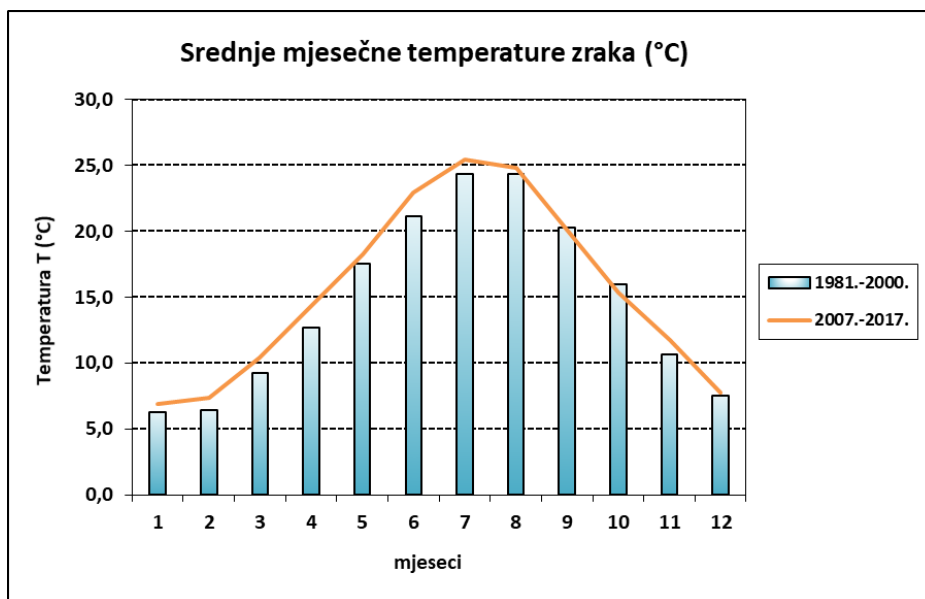
U tablici 2. dan je prikaz srednjih mjesečnih i godišnjih temperatura zraka na prostoru Vranskog jezera za razdoblje 2007.-2017., kao i osnovna statistička obrada podataka.

Tablica 2. Srednje mjesečne i godišnje temperature zraka na postaji C.P. Vrana za razdoblje 2007.-2017.

god/mj	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SRED
2007.	8,9	9,5	11,8	16,2	19,5	23,6	25,7	23,6	17,9	13,8	9,5	6,4	15,5
2008.	8	6,9	9,3	13,4	18,6	22,7	25,3	25	19,1	16,2	11,4	7,7	15,3
2009.	6,4	6,5	9,4	15	19,9	21,4	25,1	25,6	21,6	14,9	12	7,4	15,4
2010.	4,5	6,6	8,6	13,9	17,1	21,7	25,4	23,4	19	14,3	12	6,3	14,4
2011.	6,1	6,9	9,5	15,1	19,1	23	23,5	25,1	23,2	14,8	10,9	9,3	15,5
2012.	6,2	2,5	12,2	13,5	17,5	24	26,7	26	20,8	16,4	13,2	7,4	15,5
2013.	6,9	6,1	8,7	14,4	17	22	26,2	25	19,9	16,1	12,2	9	15,3
2014.	9,9	10,5	11,7	15	17,4	23	23,2	23,3	19	16,7	14,1	8,6	16,0
2015.	8,1	7,2	10,8	13,1	19	23,7	27,4	25,7	21,1	15,3	11	8,8	15,9
2016.	7,6	9,9	10,4	14,1	17,2	22,8	26,1	24,4	21,3	14,9	11,6	7,5	15,7
2017.	3,4	8,4	11,8	13,8	18,4	24,4	25,4	26,1	18,2	15,1	10,9	7,3	15,3
SR	6,9	7,4	10,4	14,3	18,2	22,9	25,5	24,8	20,1	15,3	11,7	7,8	15,4
σ	1,9	2,2	1,3	0,9	1,0	1,0	1,2	1,0	1,6	0,9	1,2	1,0	0,4
Cv	0,273	0,300	0,130	0,065	0,057	0,042	0,049	0,041	0,081	0,060	0,105	0,130	0,028
Cs	-0,097	-0,380	0,168	0,745	0,271	-0,137	-0,524	-0,394	0,503	0,094	0,428	0,188	-1,284
MIN	3,4	2,5	8,6	13,1	17	21,4	23,2	23,3	17,9	13,8	9,5	6,3	14,4
MAX	9,9	10,5	12,2	16,2	19,9	24,4	27,4	26,1	23,2	16,7	14,1	9,3	16,0

U promatranom razdoblju 2007.-2017. godine, srednje godišnje oborine kreću se od 14,4°C (2010.) do 16,0°C (2014.), a prosječna godišnja temperatura za to razdoblje iznosi 15,4°C.

Kod srednjih mjesečnih podataka može se uočiti pravilan hod temperatura zraka. U siječnju su zabilježene minimalne temperature od 6,9°C koje postupno rastu do maksimalne temperature u srpnju od 25,5°C, nakon čega dolazi do ponovnog pada temperature do prosinca. Na slici 14. dan je grafički prikaz usporedbe srednjih mjesečnih temperatura za razdoblja 1981.-2000. i 2007.2017.



Slika 14. Usporedba srednjih mjesečnih temperatura zraka na Vranskom jezeru za razdoblja 1981.-2000. i 2007.-2017.

Iz prikaza je vidljivo da su srednje mjesečne temperature zraka u razdoblju 2007.-2017. bile u odnosu na razdoblje 1981.-2000. iznadprosječne u mjesecima od siječnja do kolovoza te u studenom, u rujnu i prosincu srednje mjesečne temperature zraka bile su približno jednake, dok su listopadu temperature zraka bile nešto malo manje od prosjeka.

Na dnevnoj razini, maksimalna srednja dnevna temperatura zraka na području Vranskog jezera zabilježena je dne 07.08.2015. od 32,3°C, dok je minimalna temperatura zraka zabilježena dne 04.02.2012. od -4,6°C.

5.3. Relativna vlažnost zraka

Pri mjerenju podataka o relativnoj vlažnosti zraka također je došlo do redukcije u osmatranju zbog prekida ugovornih obveza između Vodovoda Cres i agroklimatološkog odjela DHMZ-a. Dostupni podaci o relativnoj vlažnosti zraka su iz razdoblja 1980.-2000. te 2007.-2017. Analizom podataka o srednjoj dnevnoj relativnoj vlazi, ustanovljeno je da nedostaju podaci za 2000. godinu i to za mjesec ožujak i travanj te kolovoz-prosinac, za 2011. godinu nedostaju podaci za mjesec lipanj te za 2017. godinu nedostaju podaci u razdoblju od svibnja do kolovoza te za prosinac. Nedostajući podaci nadopunjeni su prosječnim vrijednostima

relativne vlažnosti zraka iz razdoblja kada su podaci bili na raspolaganju. Relativna vlažnost zraka mjerena je na dnevnoj razini na mjernoj postaji C.P. Vrana.

U tablici 3. prikazane su srednje mjesečne i godišnje relativne vlažnosti zraka na prostoru Vranskog jezera za razdoblje 2007.-2017. godine.

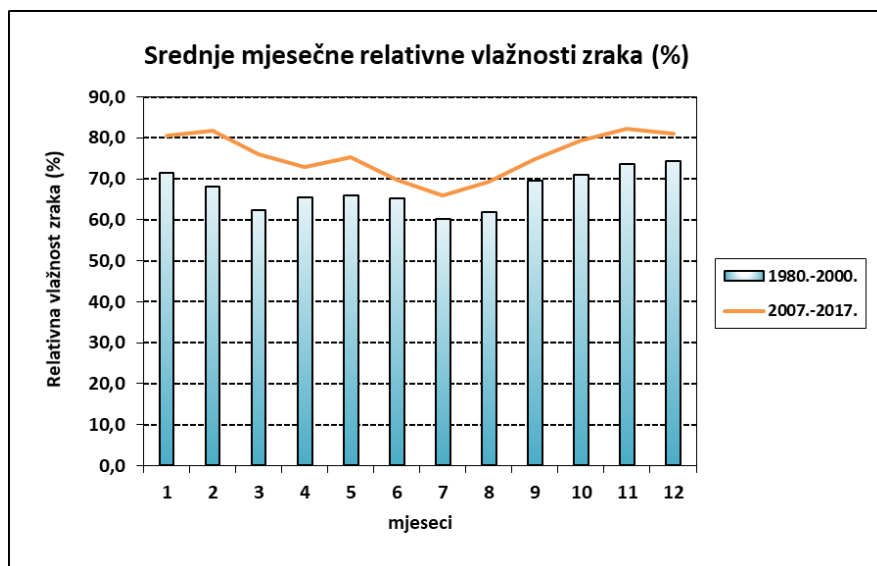
Tablica 3. Srednje mjesečne i godišnje relativne vlažnosti zraka na postaji C.P. Vrana za razdoblje 2007.-2017.

god/mj	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SRED.
2007.	87	86	71	63	68	69	57	72	83	74	72	84	73,8
2008.	83	78	84	79	76	73	68	68	65	75	80	81	75,8
2009.	74	89	87	80	81	69	65	70	68	75	88	83	77,4
2010.	81	82	79	72	87	72	65	72	74	73	87	83	77,3
2011.	80	72	71	64	64	66,2	70	74	70	78	77	80	72,2
2012.	74	78	72	74	70	62	64	59	72	89	83	79	73,0
2013.	85	81	77	71	79	70	61	63	78	84	78	82	75,8
2014.	87	85	76	77	79	77	78	77	85	80	86	80	80,6
2015.	79	73	68	76	70	63	68	76	67	82	86	90	74,8
2016.	85	91	80	77	84	80	68	68	72	74	78	73	77,5
2017.	71	85	70	69	69,2	66,9	62,3	64,5	90,0	90	90	76,7	75,4
SR	80,5	81,8	75,9	72,9	75,2	69,8	66,0	69,4	74,9	79,5	82,3	81,1	75,8
σ	5,6	6,1	6,1	5,7	7,4	5,5	5,5	5,6	8,1	6,1	5,6	4,3	2,4
Cv	0,069	0,075	0,081	0,079	0,098	0,079	0,083	0,081	0,108	0,077	0,069	0,053	0,031
Cs	-0,433	-0,168	0,607	-0,568	0,206	0,517	0,743	-0,380	0,813	0,818	-0,299	0,257	0,465
MIN	71,0	72,0	68,0	63,0	64,0	62,0	57,0	59,0	65,0	73,0	72,0	73,0	72,2
MAX	87,0	91,0	87,0	80,0	87,0	80,0	78,0	77,0	90,0	90,0	90,0	90,0	80,6

Srednje godišnje relativne vlažnosti zraka kreću se od 72,2 % (2011.) do 80,6 % (2014.). Prosječna godišnja relativna vlažnost zraka iznosi 75,8 %.

Na mjesečnoj razini, minimalna srednja relativna vlažnost zraka od 66,0 % zabilježena je u srpnju, dok je maksimalna relativna vlažnost od 82,3 % zabilježena u studenom.

Na slici 15. dan je grafički prikaz usporedbe srednje mjesečne relativne vlažnosti zraka na prostoru Vranskog jezera za razdoblja 1980.-2000. i 2007.-2017.



Slika 15. Usporedba srednje mjesečne relativne vlažnosti zraka na Vranskom jezeru za razdoblja 1980.-2000. i 2007.-2017.

Iz prikaza se uočava razmjerno pravilan hod srednjih relativnih vlažnosti zraka sa najmanjom vlažnosti u srpnju i najvećom u studenom. Hod srednjih relativnih vlažnosti zraka za razdoblje 2007.-2017. podudara se s hodom za razdoblje 1980.-2000. Prosječne vrijednosti srednjih relativnih vlažnosti za razdoblje 2007-2017. iznadprosječne su za sve mjesece u odnosu na razdoblje 1980.-2000.

Na dnevnoj razini, minimalna srednja dnevna relativna vlažnost zraka izmjerena je dne 16.04.2007. od 36 % a maksimalna srednja dnevna relativna vlažnost zraka izmjerena je dne 11.09.2017. od 100%.

5.4. Isparavanja sa jezera

Količine isparavanja sa slobodne vodene površine Vranskog jezera počele su se bilježiti 1977. godine na isparitelju klase A smještenom na klimatološkoj postaji Vrana-jezero u neposrednoj blizini jezera.

Mjerenja su do 1990. godine obavljana samo u toplijim mjesecima (travanj – studeni) a tek od 1991. godine mjerenja su obavljana tijekom cijele godine, odnosno i u zimskim mjesecima (prosinac – ožujak).

Zbog prethodno spomenutih razloga, došlo je do prekida mjerenja količine isparavanja s površine jezera, pa nema dostupnih novijih podataka o isparavanju.

Nastavno su u tablici 4. prikazane srednje mjesečne i godišnje vrijednosti isparavanja za razdoblje 1977.-1997. kao i osnovna statistička obrada podataka. Podaci su dani u očitanim – nereduciranim vrijednostima, koji su usvojeni kao mjerodavni zbog blizine isparitelja u odnosu na jezero te su takvi korišteni u analizi vodne bilance. Zbog nedostatka novijih podataka, za određivanje parametara vodne bilance potrebnih za modelsku analizu dotoka u jezero, podaci o isparavanju za razdoblje 2007.-2017. nadopunjeni su prosječnim vrijednostima postojećih podataka o isparavanju iz razdoblja 1977.-1997.

Tablica 4. Mjesečna i godišnja isparavanja Vranskog jezera za razdoblje 1977.-1997.

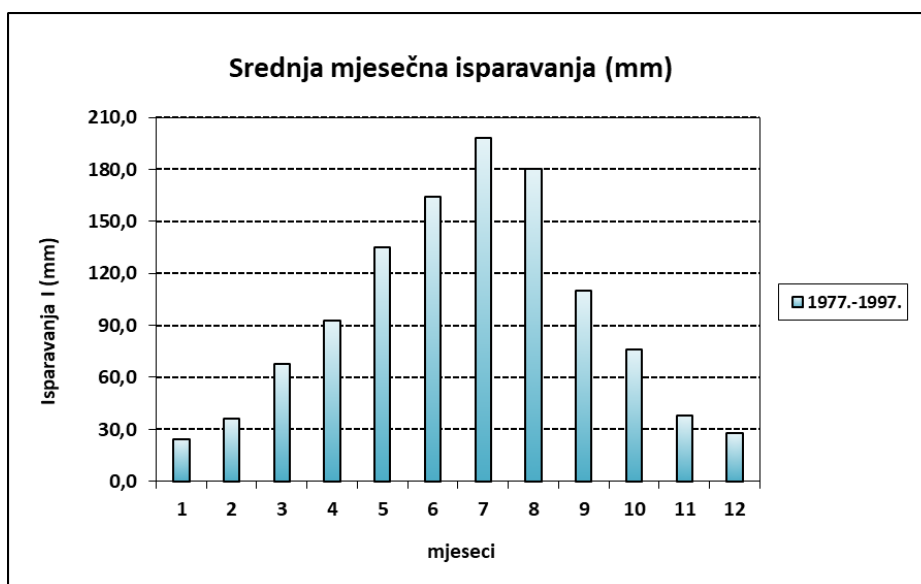
god/mj	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SUMA
1977				-	109,9	200,4	141,8	148,3	-	68,9	29		698,3
1978				59,2	67,1	140,3	187,6	173,5	128,9	93,4	49,2		899,2
1979				95,8	190,6	197,8	173,2	171,4	103,1	63,2	42,7		1037,8
1980				115,7	123,8	144,7	186,4	234,5	126,2	-	-		931,3
1981				98,5	146,5	186,7	210,1	187,6	95,6	95,6	46,1		1066,7
1982				92,2	144,7	146	194,5	172,2	120,6	74,4	39,8		984,4
1983				83,8	134,4	174,6	215,4	175,6	130,8	81,1	38,7		1034,4
1984				115,6	99,4	159,7	209,8	168,5	86	82,5	33,3		954,8
1985				87,6	138,3	167,9	203	188,8	136,5	81,6	-		1003,7
1986				91,3	151,4	171	199	186,1	119,3	89,9	46,3		1054,3
1987				102,5	120,7	158,9	215,3	175,6	109,6	70,7	41,1		994,4
1988				82	129,6	138,4	214,3	196,7	106,1	71,8	-		938,9
1989				82,8	149	141,4	183,1	144,5	105,1	-	-		805,9
1990			83,4	95,4	144,7	158,3	212,3	181,3	106,1	78,7	47,1	44	1151,3
1991	29,9	26,6	72,7	98,9	101,8	164,6	203,2	182,8	117,8	77,7	26	26	1128,0
1992	20,7	30,8	50,7	108,2	166,2	142,7	186,8	194,8	105	48,1	32,6	26,4	1113,0
1993	24,8	49,4	63,9	81,8	156,7	185,5	195,9	202,1	89,7	68	27,4	27,4	1172,6
1994	31,6	34,8	73,1	90,9	142,6	163,4	254,5	202,8	110,8	80,7	42,1	28,9	1256,2
1995	11,9	40,4	63	91,5	129,3	148,5	222,8	167,2	86,2	73,6	35,1	21,4	1090,9
1996	18,7	-	47,9	-	-	195	181,1	171,2	88,1	67,2	39,1	16,1	824,4
1997	28	34,2	92,5	84,4	156,3	152,9	175,2	151,3	133,4	-	26,6	34	1068,8
SR	23,7	36,0	68,4	92,5	135,2	163,7	198,3	179,8	110,2	76,0	37,8	28,0	1149,7
USVOJENO	24,0	36,0	68,0	93,0	135,0	164,0	198,0	180,0	110,0	76,0	38,0	28,0	1150,0
σ	7,0	8,0	15,3	13,2	27,0	19,9	22,8	20,4	16,1	11,4	7,6	8,3	132,1
Cv	0,292	0,222	0,224	0,141	0,200	0,121	0,115	0,113	0,146	0,150	0,200	0,297	0,115
MAX	31,6	49,4	92,5	115,7	190,6	200,4	254,5	234,5	136,5	95,6	49,2	44	1256,2
MIN	11,9	26,6	47,9	59,2	67,1	138,4	141,8	144,5	86	48,1	26	16,1	698,3

Prosječno godišnje isparavanje iz Vranskog jezera u razdoblju 1977.-1997. iznosilo je 1150 mm.

Maksimalno godišnje isparavanje u tom razdoblju u iznosu od 1256,2 mm zabilježeno je 1994. godine, a maksimalno mjesečno isparavanje u promatranom razdoblju zabilježeno je iste godine u kolovozu u iznosu od 254,5 mm.

Minimalno godišnje isparavanje iznosilo 698,3 mm a zabilježeno je 1977. godine (isparavanja mjerena samo u toplijim mjesecima). Minimalno mjesečno isparavanje od 11,9 mm zabilježeno je u siječnju 1995. godine.

Hod srednjih mjesečnih isparavanja je pravilan te prati hod temperature zraka na prostoru Vranskog jezera. Grafički prikaz srednjih mjesečnih isparavanja dan je na slici 16.



Slika 16. Srednja mjesečna isparavanja na Vranskom jezeru za razdoblje 1977.-1997.

Minimalna srednja mjesečna isparavanja zabilježena su u siječnju (23,7 mm) kada su i srednje temperature zraka najniže. Zatim isparavanja postupno rastu do srpnja kada su zabilježena i maksimalna srednja mjesečna isparavanja (179,8 mm) uz maksimalnu srednju temperaturu zraka, nakon čega isparavanja ponovno padaju do prosinca.

5.5. Vodostaji jezera

Praćenja razine Vranskog jezera započela su 1926. godine, ali su rezultati mjerenja sačuvani od svibnja 1928. godine do danas. Podaci o vodostajima predstavljaju najduži sačuvani niz podataka na području Istre i Kvarnera (DHMZ, Historijat stanice CP Vrana, Vransko jezero).

Tijekom razdoblja prikupljanja podataka provedeno je nekoliko promjena lokacija vodokaznih letvi. Te su promjene utjecale na postavke prijašnjih istraživača, a analizom je utvrđeno da su podaci iz ratnog i poslijeratnog razdoblja opterećeni greškama nastalim zbog pomaka u sustavu vodokaznih letvi te su oni ispravljeni na temelju hidroloških analiza provedenih početkom devedesetih godina (Ožanić, 1996.).

Hidrološka postaja na Vranskom jezeru osnovana je kao vodokazna postaja (mjerna postaja Stanić) 1926. godine, a 1928. godine upotpunjena je limnigrafom. 18.09.1948. godine vodokaz je preseljen na lokaciju crpne postaje ali sa istom kotom nule. No, motrenja su se i dalje vršila na starom vodokazu na postaji Stanić. 1954. godine sa strane Zavoda za Geodeziju ustanovljena je kota nule vodokaza „0“ = 11,05 mn.m. kod Crpne postaje. 12.09.1962. ponovno je osnovana hidrološka postaja Stanić te je provedena rekonstrukcija starog vodokaza sa istom kotom nule vodokaza. Motrenja na hidrološkoj postaji Stanić ukinuta su završetkom 1984. godine. 25.11.1977. postavljena je nova vodokazna letva na lokaciji crpnog postrojenja vodovoda u sklopu mjerne postaje C.P.Vrana s kotom nula vodokaza „0“ = 8,82 mn.m. Mjerna stanica C.P.Vrana započela je s radom 01.01.1978. godine. Krajem 1990. godina Hidrografski institut JRM iz Splita vršio je premjer visina vodokaznih letvi, te je utvrđeno da kota nule vodokaza na mjernoj postaji C.P. Vrana iznosi 8,76 mn.m, što je za 6 cm niže od početno postavljene. Pretpostavlja se da je do promjena došlo zbog potonuća letvi u muljevitom terenu. 19.12.2008. godine srušio se vodokaz zbog urušavanja obale te je postavljen pomoćni privremeni vodokaz s kotom nule „0“ = 9,25 mn.m. U svibnju 2011. izvršena je rekonstrukcija vodokaza te je kota nule postavljena na „0“ = 0,00 mn.m. pa tako započinju motrenja razine jezera u apsolutnim vrijednostima (DHMZ, Historijat stanice CP Vrana, Vransko jezero).

Za potrebe izrade ovog rada, podaci o vodostajima za razdoblje nakon 18.12.2008. preračunati su u relativne vrijednosti s kotom nule vodokaza od „0“ = 9,25 m.n.m.

U tablici 5. prikazani su srednji mjesečni i godišnji vodostaji za razdoblje 2007.-2017. godine kao i osnovna statistička obrada podataka. Vodostaji jezera izmjereni su na mjernoj postaji C.P.Vrana.

Tablica 5. Srednji mjesečni i godišnji vodostaji Vranskog jezera na postaji C.P.Vrana za razdoblje 2007.-2017

god/mj	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SRED
2007	11,01	11,02	11,23	11,31	11,23	11,1	10,84	10,56	10,33	10,15	10	9,94	10,73
2008	9,91	9,93	9,93	10,04	10,03	10,05	9,88	9,65	9,4	9,19	9,18	9,39	9,72
2009	9,83	10,34	10,67	10,76	10,7	10,52	10,33	10,07	9,83	9,71	9,75	9,93	10,20
2010	11,49	12,17	12,42	12,49	12,46	12,36	12,17	11,89	11,66	11,51	11,56	12,26	12,04
2011	12,5	12,38	12,21	12,12	11,94	11,68	11,48	11,27	10,99	10,75	10,74	10,65	11,56
2012	10,54	10,34	10,2	10,09	10,01	9,88	9,63	9,31	9,14	9,11	9,64	10,5	9,87
2013	10,91	11,48	11,88	12,22	12,22	12,14	11,85	11,52	11,29	11,21	11,26	11,38	11,61
2014	11,49	12,13	12,46	12,39	12,24	11,99	11,81	11,77	12,16	12,32	12,31	12,62	12,14
2015	12,64	12,64	12,64	12,52	12,38	12,12	11,82	11,51	11,25	11,08	11,03	10,95	11,88
2016	11,1	11,4	11,94	11,97	11,89	11,88	11,66	11,38	11,15	11,02	11,11	11,18	11,47
2017	11,01	11,03	11,2	11,14	11,03	10,83	10,59	10,27	10,17	10,4	10,63	11,1	10,78
SR	11,13	11,35	11,53	11,55	11,47	11,32	11,10	10,84	10,67	10,59	10,66	10,90	11,09
σ	0,90	0,91	0,94	0,93	0,92	0,89	0,88	0,90	0,96	0,99	0,93	0,98	0,88
Cv	0,080	0,080	0,082	0,081	0,080	0,079	0,079	0,083	0,090	0,094	0,088	0,090	0,079
Cs	0,400	-0,041	-0,459	-0,552	-0,519	-0,448	-0,440	-0,424	-0,119	0,062	0,141	0,408	-0,361
MIN	9,83	9,93	9,93	10,04	10,01	9,88	9,63	9,31	9,14	9,11	9,18	9,39	9,72
MAX	12,64	12,64	12,64	12,52	12,46	12,36	12,17	11,89	12,16	12,32	12,31	12,62	12,14

Srednja razina jezera za razdoblje 2007.-2017. godine iznosi 11,09 mn.m. što je za 1,6 m niže od prosječne srednje razine jezera u cjelokupnom promatranom razdoblju (1929.-2017.) koja iznosi 12,69 mn.m. Prosječna srednja razina jezera u razdoblju 1929.-2006. godine iznosila je 12,91 mn.m. što znači da je došlo do sniženja razine jezera za 0,22 m. Ovakav pad razine jezera može biti posljedica pojačanih gubitaka iz jezera pošto u promatranom razdoblju (2007.-2017.) nije došlo do smanjenja količina oborina u odnosu na prethodno razdoblje (1929.-2006.). Trend godišnjih oborina prikazan je u podpoglavlju 5.1.

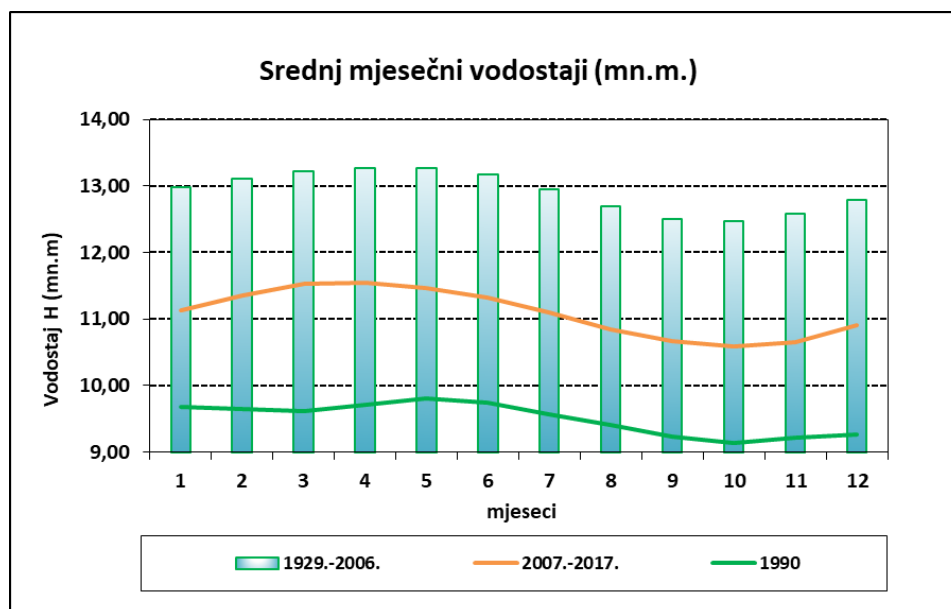
Maksimalan srednji godišnji vodostaj u promatranom razdoblju zabilježen je 2014. godine a iznosio je 12,14 mn.m. Ova je godina bila ujedno i jedna od vodnijih godina u promatranom

razdoblju sa zabilježenih 1450,3 mm oborina. Te je godine dne 29.12.2014. zabilježen i maksimalni srednji dnevni vodostaj od 12,69 mn.m.

Minimalni srednji godišnji vodostaj od 9,72 mn.m. zabilježen 2008. godine, dok je minimalni srednji dnevni vodostaj zabilježen dne 9.10.2012. u iznosu od 9,06 mn.m.

U cjelokupnom promatranom razdoblju (1929.-2017.) najveći srednji godišnji vodostaj od 15,84 mn.m. zabilježen je 1936. godine, a minimalni srednji godišnji vodostaj od 9,50 mn.m. zabilježen je 1990. godine.

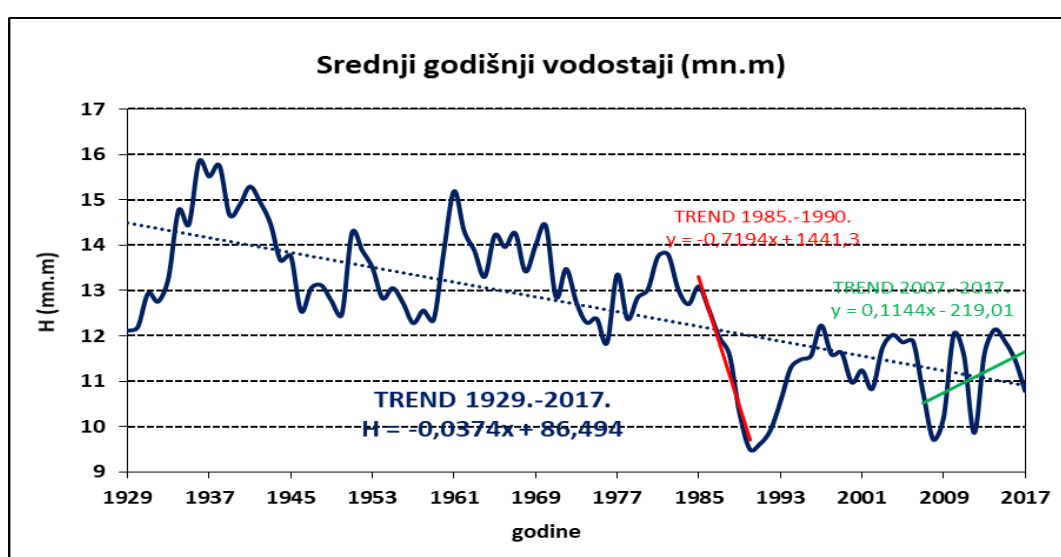
Slikom 17. prikazana je usporedba srednjih mjesečnih vodostaja za razdoblja (1929.-2006.) i (2007.-2017.) te 1990. godinu u kojoj su zabilježeni apsolutno najniži vodostaji od kada postoje mjerenja.



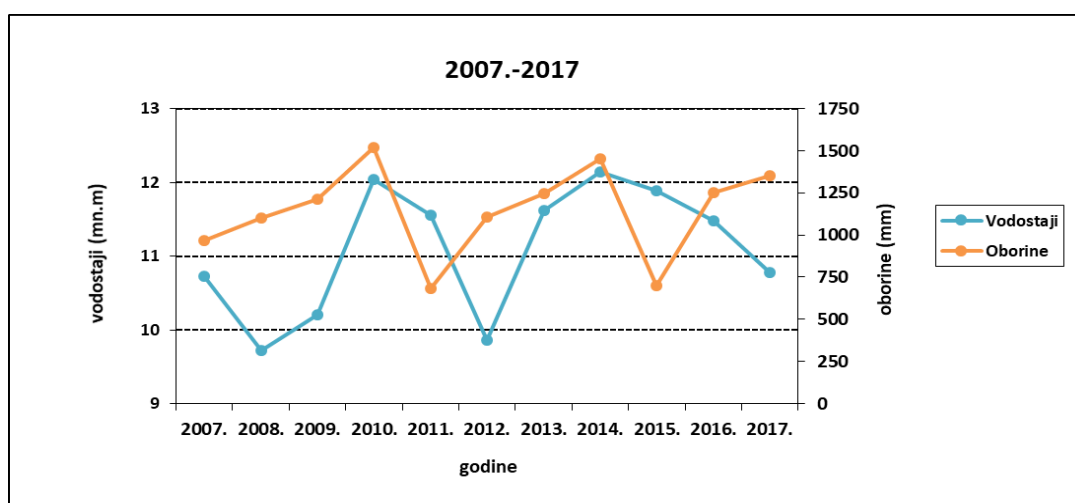
Slika 17. Usporedba srednjih mjesečnih vodostaja na Vranskom jezeru

Na slici 17. vidljiv je značajan porast razine jezera u razdoblju 2007.-2017. u odnosu na 1990. godinu i to za otprilike 1,50 m. Također može se primijetiti da su srednji mjesečni vodostaji za promatrano razdoblje niži u odnosu na višegodišnji prosjek i to za nešto manje od 2,0 m. Razlog tome mogu biti povećane temperature zraka koje izravno utječu na količinu isparavanja te povećana količina crpljenja iz jezera u promatranom razdoblju. Na slici 17 vidljiv je i hod srednjih mjesečnih vodostaja, odnosno porast razine jezera u hladnijim i vodnijim mjesecima te pad razine jezera u toplijim i sušnijim mjesecima.

Ako promatramo vodostaje jezera na godišnjoj razini, u cjelokupnom razdoblju (1929.-2017.) zabilježen je trend opadanja srednje godišnje razine jezera i to za prosječno 3,7 cm godišnje (slika 18.). Na slici je vidljivo postojanje nekoliko značajnijih trendova višegodišnjeg opadanja srednje godišnje razine jezera, a najizrazitiji trend opadanja javio se u razdoblju 1985.-1990. od 72 cm godišnje. U relativno kratkom razdoblju od 2007.-2017. zabilježen je trend porasta srednje godišnje razine jezera i to za 11 cm godišnje. To može biti posljedica povećanih oborina u promatranom razdoblju u odnosu na višegodišnje razdoblje. Na slici 19. dan je odnos srednjih godišnjih vodostaja i ukupnih godišnjih oborina za razdoblje 2007.-2017. godine.



Slika 18. Srednji godišnji vodostaji Vranskog jezera za razdoblje 1929.-2017.



Slika 19. Usporedba srednjih godišnjih vodostaja i godišnjih oborina na Vranskom jezeru za razdoblje 2007.-2017.

5.6. Temperatura vode u jezeru

Temperatura vode Vranskog jezera počela se pratiti još početkom 19. stoljeća za potrebe istraživanja značajki jezera. Istraživanja su uključivala mjerenje temperaturnih značajki po dubini jezera. No, mjerenja nisu provedena kontinuirano već u nekoliko navrata (Ožanić, 1996.). Kontinuirana mjerenja temperature vode započela su 1978. godine svakodnevnim bilježenjem površinske temperature jezera.

U ovom radu korišteni su podaci o površinskim temperaturama vode u razdoblju 1979.-2017. izmjereni na mjernoj postaji C. P. Vrana na lokaciji uz vodokaznu letvu. Pri analizi podataka utvrđeno je da je došlo do prekida mjerenja u par navrata (1997. – svibanj, lipanj, srpanj, 2001., 2013. – siječanj) te su nedostajući podaci nadopunjeni prosječnim vrijednostima iz razdoblja kada su podaci bili na raspolaganju. U tablici 6. dane su srednje mjesečne i godišnje temperature površinskog sloja vode Vranskog jezera za razdoblje 2007.-2017. kao i osnovna statistička obrada podataka.

Tablica 6. Srednje mjesečne i godišnje temperature površinskog sloja Vranskog jezera za razdoblje 2007.-2017.

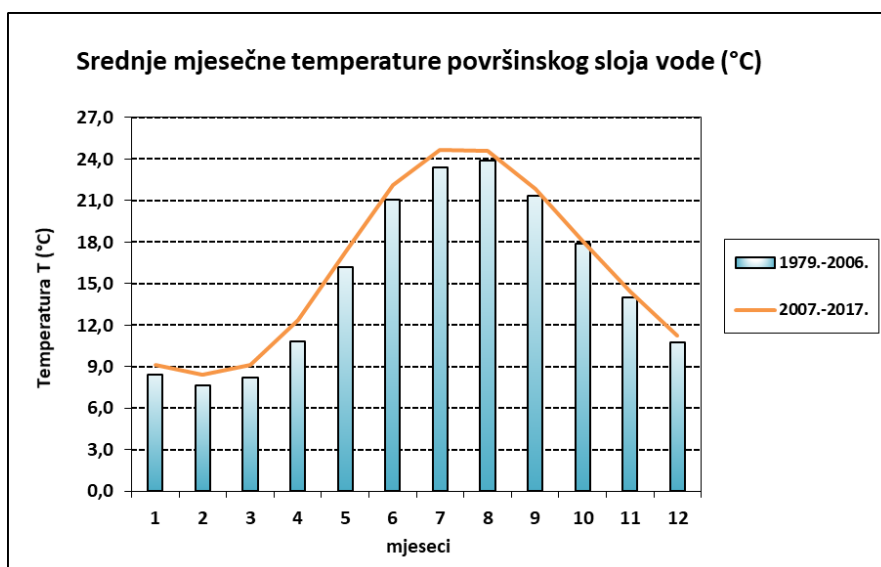
god/mj	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SRED
2007	9,1	8,1	10,5	13,2	18,8	22,9	24,5	23,6	20,2	16,5	12,2	9,4	15,7
2008	8,2	7,5	8,5	11,6	16,7	21,8	24,5	24,4	21,1	16,9	14,6	11,4	15,6
2009	8,7	8,8	8,7	12,6	18,1	20,6	23,8	24,7	22,0	18,2	13,7	11,4	15,9
2010	9,9	8,3	8,5	12,0	16,8	21,7	24,8	24,3	20,9	16,4	13,8	10,6	15,7
2011	8,4	7,0	7,6	11,6	17,0	22,3	24,1	24,5	23,9	17,5	13,3	11,1	15,7
2012	8,3	5,5	7,5	11,1	16,3	22,5	25,5	24,3	21,1	19,1	15,6	12,2	15,7
2013	8,5	9,1	9,3	12,2	17,5	21,6	23,9	24,4	21,7	18,3	15,2	10,4	16,0
2014	10,7	11,0	10,6	13,8	17,6	21,8	23,9	24,6	21,4	19,6	15,6	13,2	17,0
2015	9,9	8,9	9,1	11,4	17,2	22,0	25,5	25,6	22,8	17,5	13,8	11,0	16,2
2016	10,0	10,4	10,4	13,5	16,6	22,6	25,4	24,4	22,9	18,3	15,1	11,2	16,7
2017	8,4	7,9	9,9	13,2	17,2	23,6	25,5	25,9	22,4	20,4	15,4	11,9	16,8
SR	9,1	8,4	9,1	12,4	17,2	22,1	24,7	24,6	21,9	18,1	14,4	11,2	16,1
σ	0,9	1,5	1,1	0,9	0,7	0,8	0,7	0,6	1,1	1,3	1,1	1,0	0,5
Cv	0,094	0,180	0,121	0,076	0,042	0,035	0,028	0,026	0,049	0,070	0,077	0,088	0,031
Cs	0,736	0,044	0,097	0,287	0,969	0,073	0,131	0,918	0,544	0,496	-0,537	0,209	0,872
MIN	8,2	5,5	7,5	11,1	16,3	20,6	23,8	23,6	20,2	16,4	12,2	9,4	15,6
MAX	10,7	11,0	10,6	13,8	18,8	23,6	25,5	25,9	23,9	20,4	15,6	13,2	17,0

Za razdoblje 2007.-2017. srednja godišnja temperatura površinskog sloja vode iznosila je 16,1°C što je za 0,6°C više od višegodišnjeg prosjeka od 15,5 °C.

Maksimalna srednja godišnja temperatura površinskog sloja vode u tom razdoblju iznosila je 17°C a zabilježena je 2014. godine. To je ujedno i maksimalna izmjerena temperatura u višegodišnjem razdoblju od 1979.-2017.

Minimalna srednja godišnja temperatura površinskog sloja vode zabilježena je 2008. godine a iznosila je 15,6°C što je za 1,3°C više od najmanje zabilježene temperature u višegodišnjem razdoblju (1979.-2017.) koja je iznosila 14,3° C a zabilježena je 1984. godine.

Unutargodišnji raspored temperatura površinskog sloja vode prikazan je na slici 20. kao usporedba srednjih mjesečnih temperatura za razdoblja 1979.-2006. i 2007.-2017.



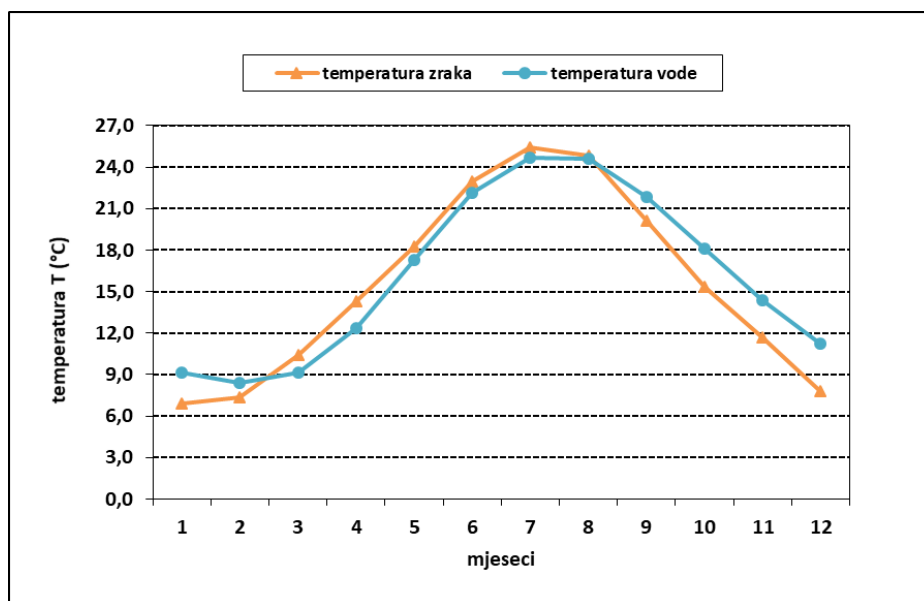
Slika 20. Usporedba srednjih mjesečnih temperatura površinskog sloja vode na Vranskom jezeru za razdoblja 1979.-2006. i 2007.-2017.

Na slici 20. može se uočiti kako su srednje mjesečne temperature površinskog sloja vode u razdoblju 2007.-2017. bile iznadprosječne u svim mjesecima u usporedbi s razdobljem 1979.-2006.

U pogledu ekstremnih dnevnih temperatura u razdoblju 2007.-2017., minimalna srednja dnevna temperatura zabilježena je 17.2.2007. a iznosila je 3,8°C. Maksimalna srednja dnevna temperatura iznosila je 28,2°C a zabilježena je 4.8.2017.

Temperatura vode Vranskog jezera mijenja se po dubini i znatno ovisi o temperaturi zraka na tom području. Vransko jezero se po dubini može podijeliti u tri sloja – epilimnij,

termoklina i hipolimniji. Površinski sloj jezera ili hipolimniji je sloj koji se brzo zagrijava i hladi te poprima temperaturu zraka što se može vidjeti na Slici 21. Temperaturni režim opširnije je opisan u podpoglavlju 4.8.



Slika 21. Usporedba temperature zraka i temperature površinskog sloja vode Vranskog jezera za razdoblje 2007.-2017.

5.7. Crpljenja

Crpljenja iz jezera su za potrebe vodoopskrbe započela 1952. godine. U početku su se crpile manje količine, a izgradnjom novih krakova vodovodne mreže, crpljenja su se povećavala. Količine crpljenja iz jezera ovise o gospodarskim djelatnostima otoka Cresa i Lošinja. Na otocima su najrazvijenije turističke djelatnosti te porastom broja turista raste i količina crpljenja.

U ovom radu prikazat će se podaci o količinama crpljenja iz Vranskog jezera u razdoblju 1967.-2017. godine. 1968. godine povećan je kapacitet crpne postaje i izgrađen dodatni paralelni cjevovod, a 1971. godine završen je posljednji krak vodovodne mreže do Valuna te se crpljenja od tada svake godine povećavaju. Crpljenje iz Vranskog jezera vrši se preko Crpne postaje Vrana.

Analizom podataka utvrđeno je da nedostaju podaci o količinama crpljenja za rujun 2015. godine te studeni i prosinac 2017. godine te su oni nadopunjeni prosječnim vrijednostima za pojedini mjesec u razdoblju 2007.-2017. godine.

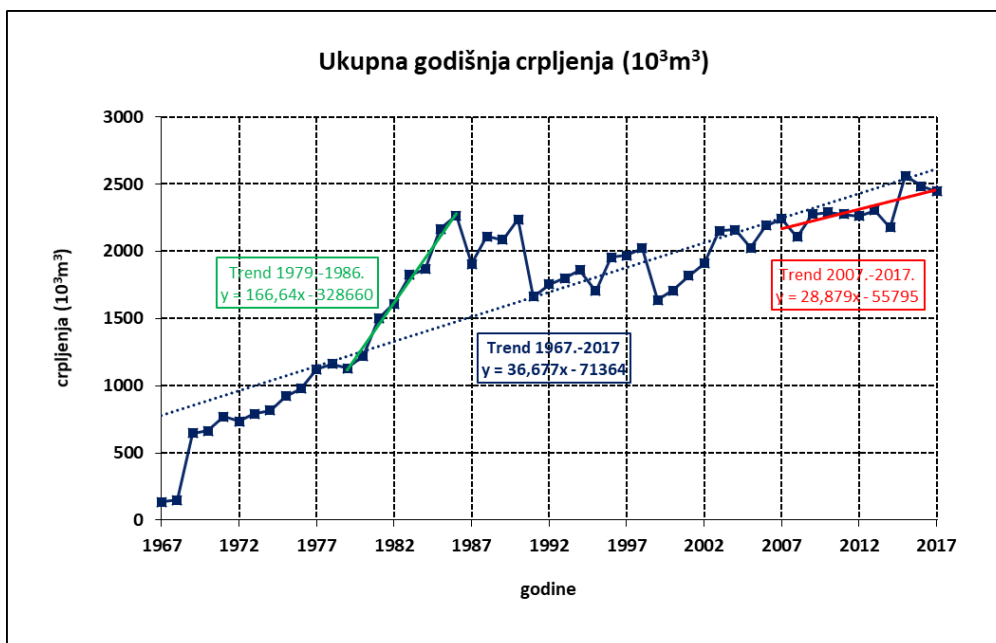
Nastavno je u tablici 7. dan pregled srednjih mjesečnih i godišnjih crpljenja iz Vranskog jezera za razdoblje 2007.-2017. kao i osnova statistička obrada podataka.

Tablica 7. Srednja mjesečna i godišnja crpljenja ($10^3 m^3$) iz Vranskog jezera za razdoblje 2007.-2017.

god/mj	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SRED
2007	124,6	118,8	127,9	156,6	178,2	237,2	350,2	333,1	197,4	157,7	132,4	126,8	2240,8
2008	126,4	103,4	113,9	122,3	165,6	207,8	341,8	343,6	210,1	137,8	114,3	119,5	2106,4
2009	133,0	120,7	136,6	151,9	188,7	237,8	339,9	355,2	212,7	151,0	122,9	125,5	2275,8
2010	122,9	111,9	130,2	152,4	170,3	239,2	328,0	358,4	230,8	159,1	148,9	136,9	2288,9
2011	128,0	121,0	127,7	155,9	191,2	237,9	320,6	354,8	238,8	156,6	127,2	117,2	2276,9
2012	116,8	122,6	132,2	139,7	169,0	253,9	362,3	371,6	208,1	137,1	125,6	121,8	2260,6
2013	120,4	108,7	136,7	144,1	180,0	241,8	365,9	379,5	222,6	155,1	121,1	127,2	2303,3
2014	131,7	107,2	125,5	148,4	176,7	255,8	297,1	328,4	199,3	146,1	128,7	132,9	2178,0
2015	141,2	132,2	154,2	179,8	205,9	283,4	402,3	402,5	221,5	166,3	139,5	131,7	2560,6
2016	143,7	143,3	157,3	168,6	198,1	258,6	388,5	368,3	245,4	158,3	122,3	130,6	2483,0
2017	143,9	124,8	146,3	156,9	183,1	280,3	367,7	393,7	250,1	141,1	128,3	127,0	2443,1
SR	130,2	119,5	135,3	152,4	182,4	248,5	351,3	362,6	221,5	151,5	128,3	127,0	2310,7
σ	9,4	11,6	12,9	14,9	12,6	21,4	30,4	23,4	18,0	9,7	9,4	5,9	133,9
Cv	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1
Cs	0,4	0,7	0,5	-0,1	0,6	0,1	0,0	0,3	0,4	-0,3	1,1	-0,1	0,7
MIN	116,8	103,4	113,9	122,3	165,6	207,8	297,1	328,4	197,4	137,1	114,3	117,2	2106,4
MAX	143,9	143,3	157,3	179,8	205,9	283,4	402,3	402,5	250,1	166,3	148,9	136,9	2560,6

Prosječna količina crpljenja u razdoblju 2007.-2017. iznosi oko 2,3 milijuna m^3 godišnje što je za 0,8 milijuna m^3 više od prosječnog godišnjeg crpljenja zabilježenog u razdoblju 1967.-2006. a koje iznosi oko 1,5 milijuna m^3 . Ako promatramo cjelokupno razdoblje 1967.-2017. prosječna količina crpljenja iznosi oko 1,7 milijuna m^3 .

Maksimalno godišnje crpljenje u razdoblju 2007.-2017. iznosi 2,56 milijuna m^3 a zabilježeno je 2015. godine. Ta je godina ujedno i rekordna godina po godišnjoj količini crpljenja ako promatramo cjelokupno razdoblje 1967.-2017. U prethodnom razdoblju 1967.-2006. maksimalno godišnje crpljenje zabilježeno je 1986. godine u iznosu od 2,3 milijuna m^3 što je za 0,3 milijuna m^3 manje od rekordne 2015. godine. Ukupna godišnja crpljenja s naznačenim trendovima prikazana su grafički na slici 22.



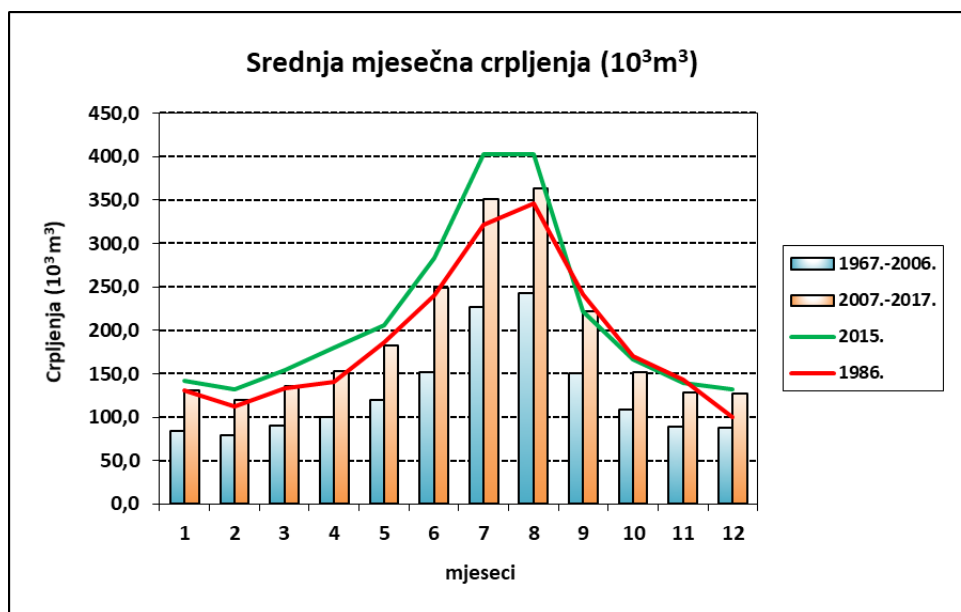
Slika 22. Ukupna godišnja crpljenja (10^3m^3) iz Vranskog jezera za razdoblje 1967.-2017.

Ako promatramo cjelokupno razdoblje od 1967.-2017. vidljiv je trend porasta godišnjeg crpljenja i to za oko $37\ 600\ \text{m}^3$ godišnje. U cijelom višegodišnjem razdoblju mogu se opaziti više razdoblja porasta i opadanja količina crpljenja iz jezera. Najizrazitiji trend porasta crpljenja je do 1986. godine kada je zabilježeno i najveće godišnje crpljenje do sada. Trend porasta crpljenja od 1979.-1986. godine iznosi oko $166\ 600\ \text{m}^3$ godišnje. Nakon 1986. godine trend porasta crpljenja je nešto blaži ali je i dalje postojeći. U razdoblju 2007.-2017. trend porasta crpljenja iz jezera iznosi skoro $29\ 000\ \text{m}^3$ godišnje.

Unutargodišnja raspodjela količine crpljenja za razdoblje 1967.-2006. i 2007.-2017. prikazana je na slici 23., gdje su srednja mjesečna crpljenja uspoređena s godinama 1986. i 2015. kada su zabilježena i najveća crpljenja iz Vranskog jezera.

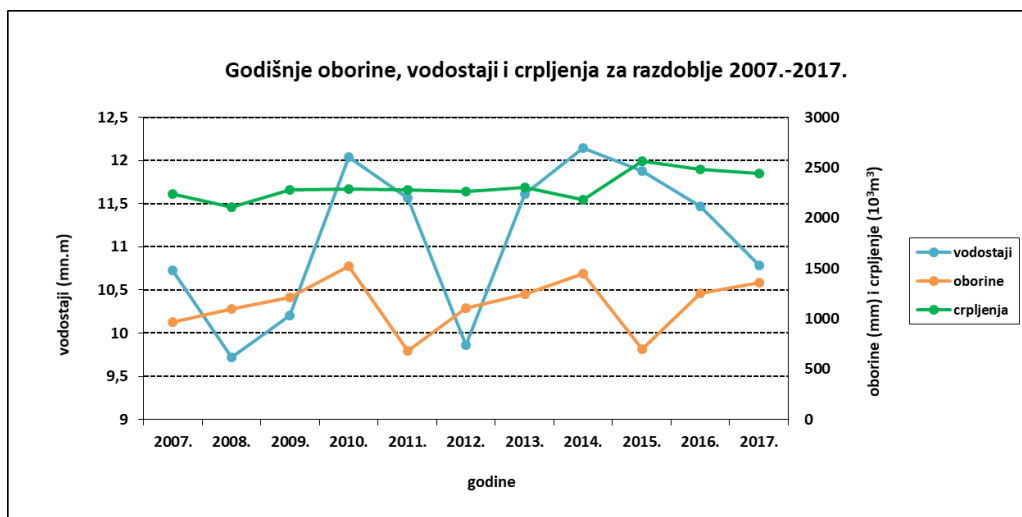
Na slici 23. prikazan je sezonski karakter crpljenja iz Vranskog jezera. Najveće crpljenje je tijekom ljetnih mjeseca, odnosno tijekom srpnja i kolovoza, što je i očekivano obzirom na porast potrošača tijekom ljeta zbog turizma. U odnosu na višegodišnje razdoblje (1967.-2006.), u razdoblju 2007.-2017. došlo je do povećanja mjesečne količine crpljenja i to za oko $50\ 000\ \text{m}^3$ u hladnijim mjesecima te oko $120\ 000\ \text{m}^3$ u ljetnim mjesecima. Količina crpljenja u tim mjesecima (srpanj i kolovoz) prekoračila je i maksimalnu količinu koja je iscrpljenja iz jezera 1986. godine koja je zabilježena kao godina s najvećim crpljenjem u razdoblju do 2006. godine. Ipak, u novijem razdoblju, najveće godišnje ali i mjesečno

crpljenje zabilježeno je 2015. godine kada je količina crpljenja bila iznadprosječna za sve mjesece u odnosu na prosječno mjesečno crpljenje u razdoblju 2007.-2017.



Slika 23. Usporedba srednjih mjesečnih crpljenja iz Vranskog jezera

Srednji godišnji vodostaji, godišnje oborine i godišnje količine crpljenja za razdoblje 2007.-2017. prikazani su na slici 24. Vidljivo je da kod crpljenja nije uočen značajan trend porasta već se ona kreću od najmanje vrijednosti do 2,1 milijuna m³ do najveće od 2,56 milijuna m³. Godišnje količine oborina također nemaju značajniji izraženi trend već se one kreću oko srednje vrijednosti od 1144,3 mm, dok su varijacije u vodostajima najizraženije te se mogu uočiti više razdoblja rasta i opadanja. Može se zaključiti kako su na godišnjoj razini veći utjecaj na promjenu razine vode imale oborine nego crpljenje iz jezera.



Slika 24. Hod srednjih godišnjih vodostaja, količine oborina i količine crpljenja iz Vranskog jezera za razdoblje 2007.-2017.

5.8. Analiza dotoka u jezero u razdoblju 2007.-2017. godine

Ukupna količina dotoka u Vransko jezero u razdoblju 2007.-2017. u ovom je radu određena modelskom analizom pomoću matematičkog modela „VRANA“ razvijenog pomoću tabličnog kalkulatora EXCEL 7.0. Metodologija ove analize iznesena je u elaboratu „Analiza hidroloških karakteristika Vranskog jezera“ (Rubinić i Ožanić, 1990.), zatim u okviru magistarskog rada „Hidrologija jezera Vrana na otoku Cresu“ (Ožanić, 1994.) te na kraju upotpunjena u disertaciji „Hidrološki model funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu“ (Ožanić, 1996.) iz koje su preuzete osnovne postavke proračuna.

Za analizu dotoka u Vransko jezeru u razdoblju 2007.-2017. korišteni su podaci o hidrološkim parametrima u razdoblju 1954.-2017. Podaci do 1995. godine preuzeti su iz prethodno spomenute disertacije (Ožanić, 1996.) koji su od strane iste autorice upotpunjeni do 2000. godine, a podaci za razdoblje 2001.-2006. preuzeti su iz diplomskog rada „Rezultati hidroloških istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu od 2001.-2006. godine“ (Brdar, 2007.) U oba rada analiza dotoka provedena je na isti način, odnosno matematičkim modelom „VRANA“, a u ovom radu biti će upotpunjena za novije razdoblje 2007.-2017. godine.

Ovaj matematički model omogućuje simuliranje ponašanja jezerskog sustava putem analitičkih algoritama obzirom na različite hidrološke prilike. Na taj način, ovisno o potrebi, mogu se provesti nekoliko različitih simulacija koje onda daju različite izlazne rezultate.

Modelom se može postići:

- proračun srednjih mjesečnih i godišnjih dotoka u Vransko jezero ovisno o hidrološkim prilikama
- proračun srednjih mjesečnih i godišnjih koeficijenata otjecanja sa sliva ovisno o hidrološkim prilikama
- simulacija dinamike kolebanja jezera obzirom na promjene oborinskog režima
- simulacija utjecaja crpljenja

U ovom radu naglasak je stavljen na proračun srednjih mjesečnih dotoka u Vransko jezero.

Ovakav proračun na razini mjesečnih podataka može u pojedinim slučajevima dati podatke opterećene greškama zbog dimenzije jezerskog sustava u odnosu na veličine zabilježenih mjesečnih promjena. Na razini godišnjih podataka, dobiveni podaci su prihvatljiviji zbog manjih grešaka. Naime, što je dulje razdoblje obrade to se odstupanja kod mjesečnih podataka više uravnotežuju (Ožanić, 1996.).

Kao što je već u prethodnim poglavljima navedeno, u Vranskom jezeru potpuno su nepoznati dotoci i otjecanja iz jezera te se zbog toga ne mogu koristiti klasične bilancne metode. No, analizom zabilježenih podataka, u modelu su uočene neke zakonitosti o dinamici promjene razine jezera ovisno o određenim hidrološkim parametrima na temelju kojih su generirane pretpostavke o provedbi modelske analize vodne bilance.

Valja napomenuti da zbog nedostatka podataka o kolebanju podzemnih voda mjerenih preko piezometarskih bušotina te zbog velike osjetljivosti rezultata zbog velike površine sustava, dobiveni rezultati modelskom analizom ne mogu se smatrati konačnima ali se mogu koristiti za tumačenje procesa u jezerskom sustavu. Modelskom analizom zapravo se želi utvrditi ponašanje jezerskog sustava ovisno o razini crpljenja, kako bi se utvrdilo maksimalno dozvoljeno crpljenje koje ne bi ugrozilo jezero.

Bilancna jednadžba dotoka koja je korištena pri izradi matematičkog modela „VRANA“ glasi (Ožanić, 1996.):

- godišnja promjena volumena jezera:

$$\Delta V = P * A_j + P * (A_{sl} * k) - C - E - G \quad (1)$$

gdje je:

ΔV – opažena godišnja promjena volumena jezera (m^3)

P – godišnja količina oborina (mm)

A_j – srednja površina jezera (m^2)

A_{sl} – srednja površina sliva (m^2)

k – godišnji koeficijent otjecanja

C – godišnja količina crpljenja (m^3)

E – godišnja evapotranspiracija s jezera (m^3)

G – godišnji gubici na poniranje (m^3) – aproksimiraju se iz krivulje poniranja – usvojena je krivulja gubitaka Ožanić '94.: $G = 0,028098 H$ (m^3/s) – gdje je H vodostaj u (mn.m.)

- mjesečna promjena volumena jezera:

$$\Delta V = D_{sl} + D_{jez} - G_{isp} - G_{cr} - G_{pon} \quad (2)$$

gdje je:

ΔV – promjena volumena jezera (m^3) u određenom vremenskom razdoblju, određuje se na osnovu izmjerene promjene vodostaja i geometrijskih karakteristika jezera

D_{sl} – dotok sa sliva (m^3) – predstavlja nepoznanicu, te ga se određuje kao rezultat provedenih analiza bilanca ostalih parametara

D_{jez} – dotok izravno na površinu jezera (m^3) – određuje se na osnovu veličine jezerske površine i količine palih oborina

G_{isp} – gubitak na isparavanje sa jezera (m^3) – određuje se na osnovu veličine površine jezera i usvojenih vrijednosti isparavanja

G_{cr} – gubitak na crpljenje (m^3) – izmjerena veličina

G_{pon} – gubitak na poniranje iz jezera (m^3) – aproksimira se iz krivulje poniranja – usvojena je krivulja gubitaka Ožanić '94.: $G = 0,028098 H$ (m^3/s) – gdje je H vodostaj u (mn.m.)

Proračun u modelu započinje tako da se najprije iz bilancne jednadžbe (1) preko poznatih vrijednosti izračuna ukupan dotok u jezero (dotok sa sliva i dotok izravno na površinu jezera). Zatim se na temelju dobivenog dotoka izračunavaju novi srednji mjesečni vodostaji iterativnim putem. Tada, bilancna jednadžba jezerskog sustava glasi:

$$\Delta H = \frac{D_{sl} + D_{jez} - G_{isp} - G_{pon2}}{A_j2} \quad (3)$$

gdje je:

ΔH – promjena vodostaja jezera (m) u određenom vremenskom razdoblju – sada u funkciji nove srednje površine jezera

D_{sl} – dotok sa sliva (m³)

D_{jez} – dotok izravno na površinu jezera (m³)

G_{isp} – gubitak na isparavanje sa jezera (m³) – određuje se na osnovu veličine površine jezera i usvojenih vrijednosti isparavanja

G_{pon2} – gubitak na poniranje iz jezera (m³) – uz istu usvojenu krivulju gubitaka ali u funkciji pretpostavljenog srednjeg mjesečnog vodostaja (mn.m.)

A_j2 – površina jezera u funkciji pretpostavljenog srednjeg mjesečnog vodostaja (m²)

Za izračunavanje novog srednjeg mjesečnog vodostaja, kao početna vrijednost uzima se stvarno izmjerena vrijednost vodostaja na početku razdoblja za koje se vrši simulacija modelom. Zatim se za tu vrijednost izračuna srednja površina jezera, gubitak na poniranje i ΔH prema bilancnoj jednadžbi. U slijedećem koraku, pretpostavi se srednja vrijednost vodostaja za slijedeći mjesec te se izračunaju novi parametri, novi ΔH te novi srednji mjesečni vodostaj. Ukoliko je tako dobiveni srednji mjesečni vodostaj identičan pretpostavljenom, postupak se može nastaviti za idući mjesec. Ako postoje razlike između dobivenih vrijednosti srednjih mjesečnih vodostaja, tada se ulazi u novi krug iteracija te se pretpostavlja novi srednji mjesečni vodostaj.

U nastavku su u tablicama 8.-18. dati rezultati proračunatih dotoka u Vransko jezero pomoću matematičkog modela „VRANA“ za razdoblje 2007.-2017. s pojašnjenjem pojedinog stupca.

Obrazloženje uz tablice 8.-18.:

STUPAC

1. godina – unesen podatak

2. mjesec – unesen podatak

3. broj dana u mjesecu – unesen podatak

4. nivo jezera (m) – dnevni vodostaj prvog dana u mjesecu – izmjeren podatak (mn.m.)

5. srednji nivo (m) – srednji mjesečni vodostaj – izmjeren podatak (mn.m.)

6. razlika nivoa (m^3) – volumen razlike vodostaja dobiven:

$$(\text{stupac } 4_{n+1} - \text{stupac } 4_n) * \text{stupac } 7_{n+1} (m^3)$$

7. površina jezera (m^2) – srednja površina jezera dobivena preko jednadžbe krivulje površine za raspon vodostaja jezera između kota 5,0 mn.m. i 17,5 mn.m.:

$$A = 3603110,136 + 236281,834 H - 5626,822 H^2 (m^2),$$

gdje je H = srednji nivo jezera (mn.m.)

8. volumen poniranja (m^3) – volumen gubitaka na poniranje za krivulju Ožanić '94 – dobiven: $G = 0,028098 * \text{stupac } 5_n * 864000 * \text{stupac } 3_n (m^3)$

9. Volumen crpljenja (m^3) – srednja mjesečna crpljenja – izmjeren podatak

10. volumen isparavanja (m^3) – zbog nedostatka mjerenja isparavanja u razdoblju 2007.-2017., podaci o isparavanju nadopunjeni su prosječnim vrijednostima isparavanja za razdoblje 1998.-2006. godine

11. volumen kiše (m^3) pale izravno na površinu jezera dobiven:

$$\text{stupac } 14_n * \text{stupac } 7_n (m^3)$$

12. volumen dotoka sa sliva za krivulju Ožanić '94. – dobiven:

$$\text{stupac } 8_n + \text{stupac } 9_n + \text{stupac } 10_n + \text{stupac } 6_n - \text{stupac } 11_n$$

13. koeficijent otjecanja za krivulju Ožanić '94. – dobiven:

$$\text{stupac } 12_n / (\text{stupac } 14_n * A_{sl}),$$

gdje je A_{sl} – površina sliva = usvojeno 24 km^2

14. oborine (m) – mjesečne oborine – izmjeren podatak

15. srednji dotoci (m³/s) – ukupni srednji dotoci dobiveni kao zbroj dotoka direktno na površinu jezera i dotoka sa sliva:

$$(\text{stupac } 11_n + \text{stupac } 12_n) / (86400 * \text{stupac } 3_n) \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Tablica 8. Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2007. godinu

VRANSKO JEZERO														
GODINA	MJESEC	BROJ DANA	NIVO JEZERA (m)	SREDNJI NIVO (m)	RAZLIKA NIVOA (m ³)	POVRŠINA JEZERA (m ²)	VOLUMEN PONIRANJA 60% PETRIK (m ³)	VOLUMEN CRPLJENJA (m ³)	VOLUMEN ISPARAVANJA (m ³)	VOLUMEN-KIŠA DIREKTNO NA JEZERO (m ³)	VOLUMEN DOTOKA 60% PETRIK (m ³)	KOEF. OTJ. ZA 60% PETRIK	OBORINE (m)	SREDNJI DOTOCI (m ³ /s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2007			10,97											
	1.	31	11,01	11,01	220.900	5.522.489	828.587	124.607	135.415	611.340	698.169	0,26	0,1107	0,489
	2.	28	11,10	11,02	497.125	5.523.612	749.081	118.794	202.870	521.429	1.046.441	0,46	0,0944	0,648
	3.	31	11,35	11,23	1.386.735	5.546.940	845.144	127.861	382.097	700.579	2.041.258	0,67	0,1263	1,024
	4.	30	11,24	11,31	-611.127	5.555.697	823.707	156.606	521.136	1.667	888.656	123,42	0,0003	0,343
	5.	31	11,18	11,23	-332.816	5.546.940	845.144	178.157	754.650	823.721	621.414	0,17	0,1485	0,540
	6.	30	11,00	11,10	-995.860	5.532.558	808.413	237.178	913.619	152.699	810.651	1,22	0,0276	0,372
	7.	31	10,67	10,84	-1.816.063	5.503.222	815.793	350.180	1.098.294	6.604	441.600	15,33	0,0012	0,167
	8.	31	10,46	10,56	-1.148.864	5.470.779	794.721	333.061	992.015	337.547	633.387	0,43	0,0617	0,363
	9.	30	10,26	10,33	-1.088.694	5.443.469	752.334	197.447	606.730	1.097.948	-630.131	-0,13	0,2017	0,180
	10.	31	10,07	10,15	-1.030.119	5.421.681	763.865	157.684	423.629	383.855	-68.796	-0,04	0,0708	0,118
	11.	30	9,93	10,00	-756.454	5.403.246	728.300	132.427	213.095	238.283	79.084	0,07	0,0441	0,122
12.	31	9,90	9,94	-161.874	5.395.801	748.061	126.770	157.075	421.412	448.620	0,24	0,0781	0,325	
god.							9.503.152			5.297.082	7.010.354	0,30	0,9654	0,391

Tablica 9. Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2008. godinu

VRANSKO JEZERO														
GODINA	MJESEC	BROJ DANA	NIVO JEZERA (m)	SREDNJI NIVO (m)	RAZLIKA NIVOA (m ³)	POVRŠINA JEZERA (m ²)	VOLUMEN PONIRANJA 60% PETRIK (m ³)	VOLUMEN CRPLJENJA (m ³)	VOLUMEN ISPARAVANJA (m ³)	VOLUMEN-KIŠA DIREKTNO NA JEZERO (m ³)	VOLUMEN DOTOKA 60% PETRIK (m ³)	KOEF. OTJ. ZA 60% PETRIK	OBORINE (m)	SREDNJI DOTOCI (m ³ /s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2008			9,90											
	1.	31	9,89	9,91	-53.921	5.392.064	745.804	126.434	135.415	370.974	582.758	0,35	0,0688	0,356
	2.	28	9,91	9,93	107.891	5.394.557	674.989	103.381	202.870	286.451	802.680	0,63	0,0531	0,450
	3.	31	10,00	9,93	485.510	5.394.557	747.309	113.927	382.097	896.575	832.268	0,21	0,1662	0,645
	4.	30	10,04	10,04	216.327	5.408.187	731.213	122.250	521.136	328.818	1.262.109	0,86	0,0608	0,614
	5.	31	10,06	10,03	108.139	5.406.954	754.835	165.558	754.650	513.661	1.269.521	0,56	0,0950	0,666
	6.	30	10,00	10,05	-324.565	5.409.419	731.942	207.759	913.619	395.970	1.132.785	0,64	0,0732	0,590
	7.	31	9,75	9,88	-1.347.079	5.388.316	743.546	341.757	1.098.294	135.786	700.733	1,16	0,0252	0,312
	8.	31	9,52	9,65	-1.232.627	5.359.246	726.237	343.630	992.015	215.442	613.813	0,64	0,0402	0,310
	9.	30	9,24	9,40	-1.491.553	5.326.973	684.602	210.071	606.730	120.922	-111.072	-0,20	0,0227	0,004
	10.	31	9,14	9,19	-529.932	5.299.321	691.618	137.806	423.629	185.476	537.645	0,64	0,0350	0,270
	11.	30	9,20	9,18	317.879	5.297.992	668.580	114.333	213.095	1.063.307	250.580	0,05	0,2007	0,507
12.	31	9,63	9,39	2.290.037	5.325.668	706.670	119.493	157.075	1.384.674	1.888.601	0,30	0,2600	1,222	
god.							8.607.343			5.898.054	9.762.421	0,37	1,1009	0,495

Tablica 10. Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2009. godinu

VRANSKO JEZERO														
GODINA	MJESEC	BROJ DANA	NIVO JEZERA (m)	SREDNJI NIVO (m)	RAZLIKA NIVOVA (m ³)	POVRŠINA JEZERA (m ²)	VOLUMEN PONIRANJA 60% PETRIK (m ³)	VOLUMEN CRPLJENJA (m ³)	VOLUMEN ISPARAVANJA (m ³)	VOLUMEN-KIŠA DIREKTNO NA JEZERO (m ³)	VOLUMEN DOTOKA 60% PETRIK (m ³)	KOEF. OTJ. ZA 60% PETRIK	OBORINE (m)	SREDNJI DOTOCI (m ³ /s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2009			9,63											
	1.	31	10,00	9,83	1.991.357	5.382.047	739.783	132.975	135.415	838.523	2.161.008	0,58	0,1558	1,120
	2.	28	10,52	10,34	2.831.228	5.444.669	702.858	120.684	202.870	687.117	3.170.523	1,05	0,1262	1,595
	3.	31	10,76	10,67	1.316.071	5.483.630	802.999	136.608	382.097	642.133	1.995.643	0,71	0,1171	0,985
	4.	30	10,77	10,76	54.940	5.494.043	783.651	151.914	521.136	331.840	1.179.801	0,81	0,0604	0,583
	5.	31	10,59	10,70	-987.680	5.487.111	805.257	188.665	754.650	22.497	738.395	7,50	0,0041	0,284
	6.	30	10,46	10,52	-710.589	5.466.072	766.172	237.793	913.619	347.642	859.352	0,56	0,0636	0,466
	7.	31	10,16	10,33	-1.633.041	5.443.469	777.412	339.880	1.098.294	195.965	386.580	0,45	0,0360	0,217
	8.	31	9,90	10,07	-1.407.089	5.411.881	757.845	355.221	992.015	331.748	366.244	0,25	0,0613	0,261
	9.	30	9,77	9,83	-699.666	5.382.047	715.919	212.741	606.730	502.145	333.579	0,15	0,0933	0,322
	10.	31	9,63	9,71	-751.364	5.366.887	730.752	151.004	423.629	652.613	-98.593	-0,03	0,1216	0,207
	11.	30	9,72	9,75	483.476	5.371.958	710.093	122.861	213.095	651.081	878.443	0,30	0,1212	0,590
12.	31	10,44	9,93	3.884.081	5.394.557	747.309	125.497	157.075	1.360.507	3.553.454	0,59	0,2522	1,835	
god.							9.040.050			6.563.813	15.524.429	0,53	1,2128	0,705

Tablica 11. Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2010. godinu

VRANSKO JEZERO														
GODINA	MJESEC	BROJ DANA	NIVO JEZERA (m)	SREDNJI NIVO (m)	RAZLIKA NIVOVA (m ³)	POVRŠINA JEZERA (m ²)	VOLUMEN PONIRANJA 60% PETRIK (m ³)	VOLUMEN CRPLJENJA (m ³)	VOLUMEN ISPARAVANJA (m ³)	VOLUMEN-KIŠA DIREKTNO NA JEZERO (m ³)	VOLUMEN DOTOKA 60% PETRIK (m ³)	KOEF. OTJ. ZA 60% PETRIK	OBORINE (m)	SREDNJI DOTOCI (m ³ /s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2010			10,44											
	1.	31	12,02	11,49	8.808.713	5.575.135	864.711	122.935	135.415	1.757.840	8.173.934	1,08	0,3153	3,708
	2.	28	12,35	12,17	1.862.942	5.645.278	827.252	111.859	202.870	850.179	2.154.744	0,60	0,1506	1,242
	3.	31	12,44	12,42	510.278	5.669.757	934.700	130.182	382.097	247.201	1.710.056	1,63	0,0436	0,731
	4.	30	12,48	12,49	227.059	5.676.485	909.647	152.384	521.136	429.142	1.381.084	0,76	0,0756	0,698
	5.	31	12,39	12,46	-510.625	5.673.609	937.711	170.346	754.650	508.923	843.159	0,39	0,0897	0,505
	6.	30	12,31	12,36	-453.116	5.663.946	900.179	239.188	913.619	906.231	693.639	0,18	0,1600	0,617
	7.	31	12,01	12,17	-1.693.583	5.645.278	915.886	327.958	1.098.294	102.744	545.811	1,25	0,0182	0,242
	8.	31	11,77	11,89	-1.348.086	5.617.025	894.814	358.384	992.015	293.209	603.918	0,48	0,0522	0,335
	9.	30	11,62	11,66	-838.974	5.593.158	849.198	230.771	606.730	617.485	230.240	0,09	0,1104	0,327
	10.	31	11,41	11,51	-1.171.227	5.577.272	866.216	159.083	423.629	387.620	-109.920	-0,07	0,0695	0,104
	11.	30	11,97	11,56	3.126.254	5.582.596	841.915	148.888	213.095	1.552.520	2.777.631	0,42	0,2781	1,671
12.	31	12,49	12,26	2.940.169	5.654.171	922.659	136.913	157.075	888.836	3.267.981	0,87	0,1572	1,552	
god.							10.664.888			8.541.930	22.272.278	0,61	1,5204	0,978

Tablica 12. Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2011. godinu

VRANSKO JEZERO														
GODINA	MJESEC	BROJ DANA	NIVO JEZERA (m)	SREDNJI NIVO (m)	RAZLIKA NIVOVA (m ³)	POVRŠINA JEZERA (m ²)	VOLUMEN PONIRANJA 60% PETRIK (m ³)	VOLUMEN CRPLJENJA (m ³)	VOLUMEN ISPARAVANJA (m ³)	VOLUMEN-KIŠA DIREKTNO NA JEZERO (m ³)	VOLUMEN DOTOKA 60% PETRIK (m ³)	KOEF. OTJ. ZA 60% PETRIK	OBORINE (m)	SREDNJI DOTOCI (m ³ /s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2011			12,49											
	1.	31	12,45	12,50	-227.098	5.677.442	940.721	127.974	135.415	62.452	914.561	3,46	0,0110	0,365
	2.	28	12,29	12,38	-906.542	5.665.888	841.527	120.961	202.870	35.129	223.687	1,50	0,0062	0,107
	3.	31	12,17	12,21	-677.909	5.649.242	918.896	127.699	382.097	368.331	382.453	0,24	0,0652	0,280
	4.	30	12,03	12,12	-789.642	5.640.297	882.700	155.855	521.136	178.233	591.815	0,78	0,0316	0,297
	5.	31	11,83	11,94	-1.124.427	5.622.135	898.577	191.210	754.650	271.549	448.461	0,39	0,0483	0,269
	6.	30	11,59	11,68	-1.342.862	5.595.257	850.655	237.945	913.619	193.596	465.761	0,56	0,0346	0,254
	7.	31	11,40	11,48	-1.059.072	5.574.064	863.958	320.633	1.098.294	574.686	649.127	0,26	0,1031	0,457
	8.	31	11,11	11,27	-1.609.885	5.551.327	848.154	354.809	992.015	63.285	521.808	1,91	0,0114	0,218
	9.	30	10,87	10,99	-1.324.857	5.520.239	800.402	238.826	606.730	705.487	-384.386	-0,13	0,1278	0,124
	10.	31	10,75	10,75	-659.147	5.492.890	809.020	156.605	423.629	757.470	-27.362	-0,01	0,1379	0,273
	11.	30	10,68	10,74	-384.422	5.491.737	782.194	127.234	213.095	354.766	383.335	0,25	0,0646	0,285
12.	31	10,58	10,65	-548.130	5.481.303	801.494	117.166	157.075	220.348	307.257	0,32	0,0402	0,197	
god.							10.238.298			3.785.331	4.476.516	0,27	0,6819	0,260

Tablica 13. Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2012. godinu

VRANSKO JEZERO														
GODINA	MJESEC	BROJ DANA	NIVO JEZERA (m)	SREDNJI NIVO (m)	RAZLIKA NIVOVA (m ³)	POVRŠINA JEZERA (m ²)	VOLUMEN PONIRANJA 60% PETRIK (m ³)	VOLUMEN CRPLJENJA (m ³)	VOLUMEN ISPARAVANJA (m ³)	VOLUMEN-KIŠA DIREKTNO NA JEZERO (m ³)	VOLUMEN DOTOKA 60% PETRIK (m ³)	KOEF. OTJ. ZA 60% PETRIK	OBORINE (m)	SREDNJI DOTOCI (m ³ /s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2012			10,58											
	1.	31	10,48	10,54	-546.843	5.468.428	793.216	116.785	135.415	219.831	278.742	0,29	0,0402	0,186
	2.	28	10,27	10,34	-1.143.381	5.444.669	702.858	122.569	202.870	124.683	-239.766	-0,44	0,0229	-0,048
	3.	31	10,12	10,20	-814.166	5.427.770	767.628	132.234	382.097	543	467.251	194,69	0,0001	0,175
	4.	30	10,06	10,09	-324.860	5.414.338	734.855	139.653	521.136	265.844	804.939	0,68	0,0491	0,413
	5.	31	9,95	10,01	-594.493	5.404.483	753.329	168.971	754.650	457.760	624.698	0,31	0,0847	0,404
	6.	30	9,78	9,88	-916.014	5.388.316	719.561	253.903	913.619	155.183	815.885	1,18	0,0288	0,375
	7.	31	9,45	9,63	-1.767.708	5.356.690	724.731	362.336	1.098.294	25.712	391.942	3,40	0,0048	0,156
	8.	31	9,19	9,31	-1.381.948	5.315.183	700.649	371.566	992.015	97.799	584.483	1,32	0,0184	0,255
	9.	30	9,09	9,14	-529.266	5.292.664	665.666	208.084	606.730	889.697	61.517	0,02	0,1681	0,367
	10.	31	9,23	9,11	740.412	5.288.656	685.597	137.142	423.629	1.355.482	631.298	0,10	0,2563	0,742
	11.	30	10,07	9,64	4.500.694	5.357.969	702.081	125.597	213.095	1.376.998	4.164.469	0,68	0,2570	2,138
12.	31	10,75	10,50	3.715.324	5.463.712	790.206	121.792	157.075	958.882	3.825.516	0,91	0,1755	1,786	
god.							8.740.379			5.928.414	12.410.974	0,47	1,1059	0,579

Tablica 14. Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2013. godinu

VRANSKO JEZERO														
GODINA	MJESEC	BROJ DANA	NIVO JEZERA (m)	SREDNJI NIVO (m)	RAZLIKA NIVOVA (m ³)	POVRŠINA JEZERA (m ²)	VOLUMEN PONIRANJA 60% PETRIK (m ³)	VOLUMEN CRPLJENJA (m ³)	VOLUMEN ISPARAVANJA (m ³)	VOLUMEN-KIŠA DIREKTNO NA JEZERO (m ³)	VOLUMEN DOTOKA 60% PETRIK (m ³)	KOEF. OTJ. ZA 60% PETRIK	OBORINE (m)	SREDNJI DOTOCI (m ³ /s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2013			10,75											
	1.	31	11,21	10,91	2.535.150	5.511.195	821.061	120.403	135.415	1.111.608	2.500.421	0,52	0,2017	1,349
	2.	28	11,69	11,48	2.675.551	5.574.064	780.349	108.740	202.870	880.145	2.887.366	0,76	0,1579	1,557
	3.	31	12,09	11,88	2.246.400	5.616.000	894.061	136.707	382.097	821.621	2.837.644	0,81	0,1463	1,366
	4.	30	12,25	12,22	904.037	5.650.230	889.983	144.100	521.136	274.036	2.185.219	1,88	0,0485	0,949
	5.	31	12,20	12,22	-282.511	5.650.230	919.649	180.027	754.650	674.637	897.177	0,31	0,1194	0,587
	6.	30	12,01	12,14	-1.072.036	5.642.293	884.156	241.770	913.619	229.077	738.433	0,76	0,0406	0,373
	7.	31	11,69	11,85	-1.796.134	5.612.917	891.804	365.887	1.098.294	34.239	525.612	3,59	0,0061	0,209
	8.	31	11,38	11,52	-1.729.285	5.578.339	866.969	379.539	992.015	428.416	80.821	0,04	0,0768	0,190
	9.	30	11,21	11,29	-944.097	5.553.514	822.251	222.647	606.730	723.068	-15.537	-0,00	0,1302	0,273
	10.	31	11,19	11,21	-110.895	5.544.740	843.639	155.116	423.629	630.437	681.052	0,25	0,1137	0,490
	11.	30	11,37	11,26	999.042	5.550.232	820.066	121.113	213.095	908.573	1.244.743	0,32	0,1637	0,831
12.	31	11,37	11,38	0	5.563.299	856.432	127.203	157.075	224.201	916.510	0,95	0,0403	0,426	
god.							10.290.420			6.940.058	15.479.460	0,52	1,2452	0,717

Tablica 15. Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2014. godinu

VRANSKO JEZERO														
GODINA	MJESEC	BROJ DANA	NIVO JEZERA (m)	SREDNJI NIVO (m)	RAZLIKA NIVOVA (m ³)	POVRŠINA JEZERA (m ²)	VOLUMEN PONIRANJA 60% PETRIK (m ³)	VOLUMEN CRPLJENJA (m ³)	VOLUMEN ISPARAVANJA (m ³)	VOLUMEN-KIŠA DIREKTNO NA JEZERO (m ³)	VOLUMEN DOTOKA 60% PETRIK (m ³)	KOEF. OTJ. ZA 60% PETRIK	OBORINE (m)	SREDNJI DOTOCI (m ³ /s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2014			11,37											
	1.	31	11,71	11,49	1.895.546	5.575.135	864.711	131.727	135.415	946.100	2.081.298	0,51	0,1697	1,130
	2.	28	12,41	12,13	3.948.907	5.641.296	824.533	107.245	202.870	1.208.366	3.875.190	0,75	0,2142	2,101
	3.	31	12,45	12,46	226.944	5.673.609	937.711	125.543	382.097	232.051	1.440.244	1,47	0,0409	0,624
	4.	30	12,34	12,39	-623.354	5.666.857	902.364	148.432	521.136	204.007	744.570	0,86	0,0360	0,366
	5.	31	12,12	12,24	-1.243.485	5.652.203	921.154	176.701	754.650	365.132	243.888	0,16	0,0646	0,227
	6.	30	11,89	11,99	-1.294.260	5.627.217	873.232	255.791	913.619	327.504	420.878	0,30	0,0582	0,289
	7.	31	11,81	11,81	-448.703	5.608.791	888.793	297.069	1.098.294	1.020.239	815.214	0,19	0,1819	0,685
	8.	31	11,93	11,77	672.558	5.604.647	885.783	328.449	992.015	659.107	2.219.698	0,79	0,1176	1,075
	9.	30	12,33	12,16	2.257.714	5.644.284	885.613	199.343	606.730	1.070.721	2.878.679	0,63	0,1897	1,524
	10.	31	12,23	12,32	-566.005	5.660.050	927.175	146.118	423.629	236.590	694.326	0,69	0,0418	0,348
	11.	30	12,47	12,31	1.358.177	5.659.073	896.537	128.653	213.095	1.020.897	1.575.566	0,36	0,1804	1,002
12.	31	12,66	12,62	1.080.879	5.688.834	949.752	132.892	157.075	883.476	1.437.122	0,39	0,1553	0,866	
god.							10.757.358			8.174.189	18.426.674	0,53	1,4503	0,853

Tablica 16. Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2015. godinu

VRANSKO JEZERO														
GODINA	MJESEC	BROJ DANA	NIVO JEZERA (m)	SREDNJI NIVO (m)	RAZLIKA NIVOVA (m ³)	POVRŠINA JEZERA (m ²)	VOLUMEN PONIRANJA 60% PETRIK (m ³)	VOLUMEN CRPLJENJA (m ³)	VOLUMEN ISPARAVANJA (m ³)	VOLUMEN-KIŠA DIREKTNO NA JEZERO (m ³)	VOLUMEN DOTOKA 60% PETRIK (m ³)	KOEF. OTJ. ZA 60% PETRIK	OBORINE (m)	SREDNJI DOTOCI (m ³ /s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2015			12,66											
	1.	31	12,62	12,64	-227.629	5.690.717	951.257	141.230	135.415	408.024	592.249	0,34	0,0717	0,373
	2.	28	12,68	12,64	341.443	5.690.717	859.200	132.163	202.870	450.705	1.084.972	0,57	0,0792	0,635
	3.	31	12,61	12,64	-398.350	5.690.717	951.257	154.210	382.097	198.606	890.608	1,06	0,0349	0,407
	4.	30	12,46	12,52	-851.903	5.679.352	911.832	179.783	521.136	246.484	514.364	0,49	0,0434	0,294
	5.	31	12,25	12,38	-1.189.836	5.665.888	931.690	205.878	754.650	98.586	603.795	1,45	0,0174	0,262
	6.	30	11,97	12,12	-1.579.283	5.640.297	882.700	283.439	913.619	294.988	205.487	0,16	0,0523	0,193
	7.	31	11,66	11,82	-1.739.046	5.609.825	889.546	402.322	1.098.294	231.125	419.992	0,42	0,0412	0,243
	8.	31	11,41	11,51	-1.394.318	5.577.272	866.216	402.495	992.015	377.581	488.827	0,30	0,0677	0,323
	9.	30	11,08	11,25	-1.831.215	5.549.136	819.338	221.547	606.730	279.122	-462.722	-0,38	0,0503	-0,071
	10.	31	11,07	11,08	-55.303	5.530.328	833.855	166.320	423.629	1.043.573	324.928	0,07	0,1887	0,511
	11.	30	11,02	11,03	-276.237	5.524.735	803.315	139.528	213.095	290.601	589.100	0,47	0,0526	0,339
12.	31	10,87	10,95	-827.359	5.515.726	824.072	131.678	157.075	0	285.466	0,00	0,0000	0,107	
god.							10.524.277			3.919.395	5.537.064	0,33	0,6994	0,301

Tablica 17. Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2016. godinu

VRANSKO JEZERO														
GODINA	MJESEC	BROJ DANA	NIVO JEZERA (m)	SREDNJI NIVO (m)	RAZLIKA NIVOVA (m ³)	POVRŠINA JEZERA (m ²)	VOLUMEN PONIRANJA 60% PETRIK (m ³)	VOLUMEN CRPLJENJA (m ³)	VOLUMEN ISPARAVANJA (m ³)	VOLUMEN-KIŠA DIREKTNO NA JEZERO (m ³)	VOLUMEN DOTOKA 60% PETRIK (m ³)	KOEF. OTJ. ZA 60% PETRIK	OBORINE (m)	SREDNJI DOTOCI (m ³ /s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2016			10,87											
	1.	31	11,20	11,10	1.825.744	5.532.558	835.360	143.721	135.415	786.730	2.153.511	0,63	0,1422	1,098
	2.	28	11,75	11,40	3.061.004	5.565.461	774.911	143.259	202.870	1.421.419	2.760.626	0,45	0,2554	1,729
	3.	31	12,00	11,94	1.405.534	5.622.135	898.577	157.313	382.097	358.692	2.484.828	1,62	0,0638	1,062
	4.	30	11,93	11,97	-393.763	5.625.188	871.775	168.630	521.136	244.133	923.645	0,89	0,0434	0,451
	5.	31	11,83	11,89	-561.703	5.617.025	894.814	198.119	754.650	670.673	615.208	0,21	0,1194	0,480
	6.	30	11,82	11,88	-56.160	5.616.000	865.221	258.615	913.619	317.304	1.663.990	1,23	0,0565	0,764
	7.	31	11,51	11,66	-1.733.879	5.593.158	877.505	388.464	1.098.294	30.762	599.621	4,54	0,0055	0,235
	8.	31	11,23	11,38	-1.557.724	5.563.299	856.432	368.333	992.015	412.240	246.816	0,14	0,0741	0,246
	9.	30	11,05	11,15	-996.860	5.538.112	812.055	245.390	606.730	770.905	-103.591	-0,03	0,1392	0,257
	10.	31	10,95	11,02	-552.361	5.523.612	829.340	158.257	423.629	593.236	265.628	0,10	0,1074	0,321
	11.	30	11,21	11,11	1.438.754	5.533.671	809.141	122.291	213.095	1.346.895	1.236.386	0,21	0,2434	0,997
12.	31	11,11	11,18	-554.143	5.541.431	841.381	130.568	157.075	3.325	571.556	39,69	0,0006	0,215	
god.							10.166.512			6.956.315	13.418.225	0,45	1,2509	0,654

Tablica 18. Proračun ukupnih dotoka u Vransko jezero putem modela „VRANA“ za 2017. godinu

VRANSKO JEZERO														
GODINA	MJESEC	BROJ DANA	NIVO JEZERA (m)	SREDNJI NIVO (m)	RAZLIKA NIVOVA (m ³)	POVRŠINA JEZERA (m ²)	VOLUMEN PONIRANJA 60% PETRIK (m ³)	VOLUMEN CRPLJENJA (m ³)	VOLUMEN ISPARAVANJA (m ³)	VOLUMEN-KIŠA DIREKTNO NA JEZERO (m ³)	VOLUMEN DOTOKA 60% PETRIK (m ³)	KOEF. OTJ. ZA 60% PETRIK	OBORINE (m)	SREDNJI DOTOCI (m ³ /s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2017			11,11											
	1.	31	10,95	11,01	-883.598	5.522.489	828.587	143.924	135.415	296.005	-71.678	-0,06	0,0536	0,084
	2.	28	11,14	11,03	1.049.700	5.524.735	749.761	124.821	202.870	856.334	1.270.818	0,34	0,1550	0,879
	3.	31	11,19	11,20	277.182	5.543.638	842.886	146.269	382.097	268.312	1.380.122	1,19	0,0484	0,615
	4.	30	11,09	11,14	-553.700	5.537.003	811.326	156.886	521.136	375.963	559.685	0,34	0,0679	0,361
	5.	31	10,95	11,03	-773.463	5.524.735	830.092	183.141	754.650	377.339	617.081	0,38	0,0683	0,371
	6.	30	10,74	10,83	-1.155.437	5.502.079	788.749	280.257	913.619	250.345	576.844	0,53	0,0455	0,319
	7.	31	10,42	10,59	-1.751.775	5.474.297	796.979	367.668	1.098.294	248.533	262.633	0,24	0,0454	0,191
	8.	31	10,12	10,27	-1.630.874	5.436.247	772.896	393.652	992.015	169.067	358.622	0,48	0,0311	0,197
	9.	30	10,31	10,17	1.030.583	5.424.120	740.681	250.149	606.730	1.823.047	805.096	0,10	0,3361	1,014
	10.	31	10,39	10,40	436.148	5.451.844	782.680	141.066	423.629	507.567	1.275.956	0,57	0,0931	0,666
	11.	30	10,89	10,63	2.739.486	5.478.973	774.183	128.293	213.095	1.369.195	2.485.862	0,41	0,2499	1,487
	12.	31	11,35	11,10	2.544.977	5.532.558	835.360	126.997	157.075	886.316	2.778.093	0,72	0,1602	1,368
god.							9.554.181			7.428.023	12.299.134	0,38	1,3545	0,629

U tablicama (8.-18.) dan je prikaz dotoka dobivenih simulacijom pomoću matematičkog modela „VRANA“. Vransko jezero je složen hidrološki sustav na kojem se ne mogu izravno mjeriti komponente dotoka i gubitaka iz jezera. Za potrebe simulacije, komponente dotoka dobivene su analizom dinamike promjene razine vode u jezeru obzirom na mjerljive hidrološke parametre – oborine, isparavanja i crpljenja. Gubici iz jezerskog sustava proračunati su pomoću usvojene krivulje gubitaka (Ožanić, 1994.).

Ukupni srednji mjesečni dotoci proračunati su u m³/s, a dobiveni su kao suma volumena kiše pale direktno na površinu jezera i volumena dotoka sa sliva Vranskog jezera. Dotoci sa sliva posljedica su oborina palih na slivnu površinu Vranskog jezera ali i dotoka koji su nastali zbog crpljenja podzemnih voda kod niskih vodostaja.

Dobiveni su ukupni srednji dotoci na mjesečnoj i godišnjoj razini. U analiziranom razdoblju od 2007.-2017. ukupni srednji godišnji dotok u Vransko jezero iznosio je 0,596 m³/s.

Modelom je dobiven i srednji koeficijent otjecanja za razdoblje 2007.-2017. u iznosu od 0,43, što se uklapa u šire regionalne vrijednosti u sličnim uvjetima (Ožanić, 1996.).

Nastavno je u tablici 19. dan prikaz ukupnih srednjih mjesečnih i godišnjih dotoka u Vransko jezero za razdoblje 2007.-2017. kao i osnovna statistička obrada podataka.

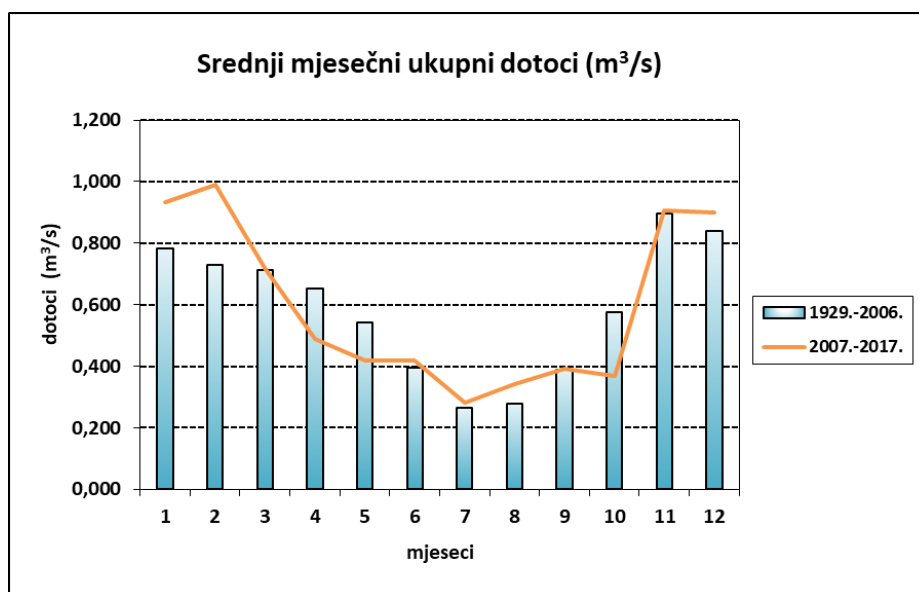
Tablica 19. Ukupni srednji mjesečni i godišnji dotoci u Vransko jezero za razdoblje 2007.-2017.

god/mj	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	SRED
2007	0,489	0,648	1,024	0,343	0,54	0,372	0,167	0,363	0,18	0,118	0,122	0,325	0,391
2008	0,356	0,444	0,645	0,614	0,666	0,59	0,312	0,31	0,004	0,27	0,507	1,222	0,495
2009	1,12	1,595	0,985	0,583	0,284	0,466	0,217	0,261	0,322	0,207	0,59	1,835	0,705
2010	3,708	1,242	0,731	0,698	0,505	0,617	0,242	0,335	0,327	0,104	1,671	1,552	0,978
2011	0,365	0,107	0,28	0,297	0,269	0,254	0,457	0,218	0,124	0,273	0,285	0,197	0,261
2012	0,186	-0,036	0,175	0,413	0,404	0,375	0,156	0,255	0,367	0,742	2,138	1,786	0,580
2013	1,349	1,557	1,366	0,949	0,587	0,373	0,209	0,19	0,273	0,49	0,831	0,426	0,717
2014	1,13	2,101	0,624	0,366	0,227	0,289	0,685	1,075	1,524	0,348	1,002	0,866	0,853
2015	0,373	0,635	0,407	0,294	0,262	0,193	0,243	0,323	-0,071	0,511	0,339	0,107	0,301
2016	1,098	1,68	1,062	0,451	0,48	0,764	0,235	0,246	0,257	0,321	0,997	0,215	0,651
2017	0,084	0,879	0,615	0,361	0,371	0,319	0,191	0,197	1,014	0,666	1,487	1,368	0,629
SR	0,933	0,987	0,719	0,488	0,418	0,419	0,283	0,343	0,393	0,368	0,906	0,900	0,596
σ	1,021	0,696	0,362	0,204	0,148	0,174	0,157	0,249	0,468	0,211	0,636	0,675	0,222
Cv	1,095	0,706	0,503	0,417	0,355	0,414	0,554	0,727	1,192	0,572	0,702	0,750	0,373
Cs	3,371	0,761	0,705	1,696	0,595	1,213	2,607	3,732	2,972	1,137	1,421	0,934	0,398
MIN	0,084	-0,036	0,175	0,294	0,227	0,193	0,156	0,190	-0,071	0,104	0,122	0,107	0,261
MAX	3,708	2,101	1,366	0,949	0,666	0,764	0,685	1,075	1,524	0,742	2,138	1,835	0,978

Maksimalni ukupni srednji godišnji dotok u jezero u razdoblju 2007.-2017. godine zabilježen je 2010. godine u iznosu od 0,978 m³/s, što je i očekivano obzirom da je 2010. godina zabilježena kao najvodnija godina u tom razdoblju. Ipak, ako promatramo cjelokupno razdoblje, maksimalni ukupni srednji godišnji dotok u jezero zabilježen je 1960. godine u iznosu od 1,140 m³/s što je opet očekivano obzirom da je te godine zabilježena najveća godišnja količina oborina u cjelokupnom razdoblju promatranja od 1926.-2017. godine.

Minimalni ukupni srednji godišnji dotok u jezero u razdoblju 2007.-2017. zabilježen je 2011. godine u iznosu 0,261 m³/s. Ta je godina ujedno bila i godina s najmanje oborina u cjelokupnom razdoblju promatranja. U prethodnom razdoblju do 2006. godine, najmanji ukupni srednji godišnji dotok zabilježen je 1938. godine u iznosu od 0,271 m³/s što nije značajno više od minimalnog zabilježenog dotoka.

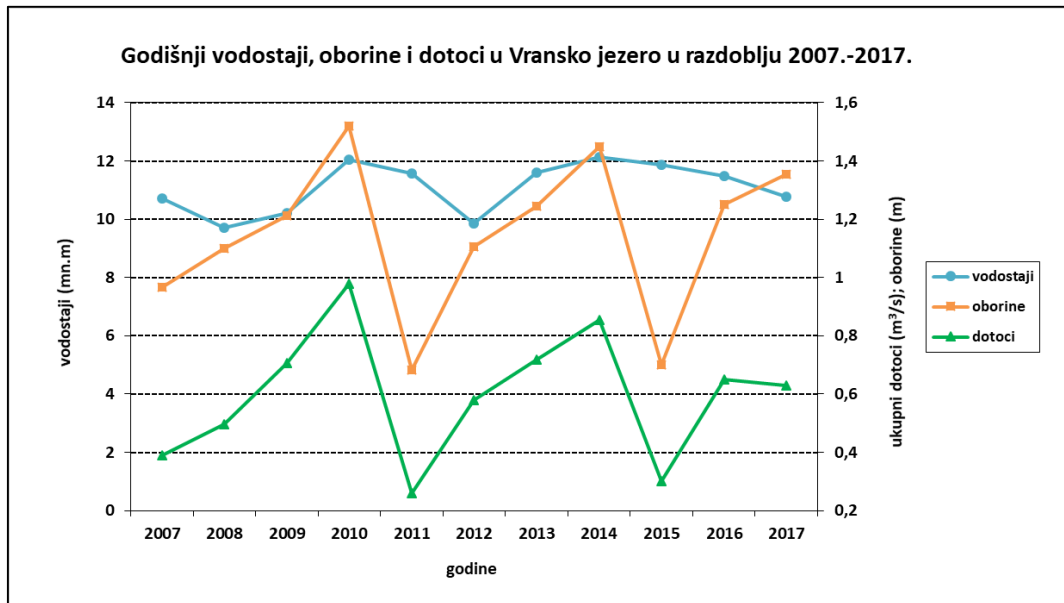
Usporedba srednjih mjesečnih ukupnih dotoka za razdoblja 1929.-2006. i 2007.-2017. prikazana je na slici 25.



Slika 25. Usporedba srednjih mjesečnih ukupnih dotoka u Vransko jezero za razdoblja 1929.-2006. i 2007.-2017.

U odnosu na prethodno razdoblje, u razdoblju 2007.-2017., iznadprosječni dotoci zabilježeni su u siječnju, veljači, kolovozu i prosincu. Ispodprosječni dotoci zabilježeni su u travnju, svibnju i listopadu, dok su dotoci za oba razdoblja u mjesecima ožujak, lipanj, srpanj i studeni približno jednaki. Najizrazitiji dotoci zabilježeni su u veljači i studenom kada su zabilježene i iznadprosječne količine oborine, dok su najmanji dotoci zabilježeni u travnju i studenom kada je zabilježeno i najmanje oborina. Godišnje vrijednosti ukupnih dotoka, vodostaja te oborina za razdoblje 2007.-2017. prikazane su na slici 26.

Na godišnjoj razini zabilježen je trend rasta srednjih godišnjih dotoka u iznosu od 0,0074 m³/s. Također, u istom razdoblju zabilježen je trend porasta količine oborina za 13 mm godišnje te porast vodostaja za 11 cm godišnje.



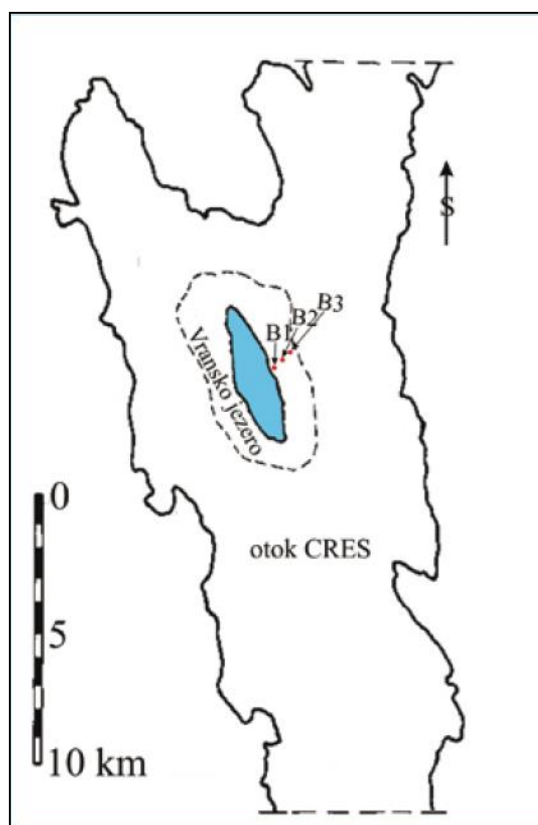
Slika 26. Godišnje vrijednosti vodostaja, oborina i dotoka u Vransko jezero za razdoblje 2007.-2017.

Na slici 26. može se uočiti velika promjenjivost u pojavi ukupnih dotoka. Oni su se u razdoblju 2007.-2017. kretali između $0,261 \text{ m}^3/\text{s}$ (2011.) i $0,978 \text{ m}^3/\text{s}$ (2010.). Na količinu dotoka izravno utječe količina oborina što je i vidljivo na slici – ekstremne vrijednosti oborina prate i ekstremni dotoci u istim godinama. Što se tiče srednjih godišnjih vodostaja, može se uočiti da oni zaostaju za srednjim ukupnim godišnjim dotocima. Razlog tome jest velika tromost jezerskog sustava zbog velikih dimenzija jezera u odnosu na veličinu dotoka što u konačnici rezultira zakašnjenjem promjene razine jezera.

Na temelju provedenih analiza može se zaključiti da su reakcije jezera tijekom razdoblja promatranja 2007.-2017. bile u skladu s uobičajenim reakcijama jezera obzirom na zapažene hidrološke parametre (oborine, crpljenje i dr.). Zabilježeni srednji godišnji dotoci od $0,596 \text{ m}^3/\text{s}$ gotovo da ne odstupaju od vrijednosti srednjih godišnjih dotoka za cjelokupno razdoblje promatranja koji iznose $0,589 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.9. Razine podzemnih voda

Praćenja razina podzemnih voda na području Vranskog jezera započela su sredinom 1995. godine kada je izvedena i prva pijezometarska bušotina. Do sada su izvedene ukupno tri bušotine, a nalaze se na sjeveroistočnom dijelu jezera (slika 27.)



Slika 27. Položaj pijezometarskih bušotina
(Bonacci i Roje-Bonacci, 2018.)

Bušotina B1 izvedena je 21.8.1995. godine a udaljena je od obale Vranskog jezera 335 metara. Kota vrha cijevi nalazi se na +132,73 mn.m. a dubina bušotine iznosi 200 m što znači da je dno bušotine 6 metara niže od najveće dubine jezera koja iznosi 61,3 m ispod srednje razine mora. Institut za geološka istraživanja organizirao je svakodnevna motrenja razine vode bušotini no ona su praćena problemima zbog kvarova mjernih sondi.

Bušotina B2 izvedena je 17.12.1995. godine na udaljenosti od 540 metara od obale Vranskog jezera. Kota vrha cijevi nalazi se na + 220,42 mn.m. a dubina bušotine iznosi 295 metara. Tako se dno bušotine nalaz na oko 13 metara niže od dna jezera. I u ovoj bušotini javljaju se poteškoće pri mjerenju razina podzemnih voda zbog velikih dubina bušotine.

Bušotina B3 izvedena je 10.9.1997. godine na udaljenosti od 740 metara od obale Vranskog jezera. Kota vrha cijevi pijezometra nalazi se na + 275,39 mn.m. a dubina bušotine iznosi 300 metara. Dno ove bušotine nalazi se 36 metara više od najdublje točke jezera.

Izvedbom bušotina započinju i kontinuirana mjerenja razine podzemne vode, temperature podzemne vode te elektrolitičke vodljivosti. U sklopu tih mjerenja, osim u bušotinama, motrenja se vrše i na dva mjerna profila u samom jezeru – mjerni profil VJ-1 u depresiji jezera na jugozapadnom dijelu i mjerni profil VJ-2 koji se nalazi 150 m ispred crpne stanice. Praćenje razina podzemnih voda u bušotinama se je do kraja 1997. godine izvodilo svakodnevno, a zatim do studenog 2002. godine svaka 3 dana (Kuhta, 2002.).

Ožanić (1996.) u disertaciji „Hidrološki model funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu“ daje rezultate praćenja razina podzemnih voda u bušotinama B1 i B2 u razdoblju 21.8.1995. do 30.9.1996. Iako su dobivene vrijednosti opterećene greškama zbog nedovoljne preciznosti u određivanju visinskog položaja vrha bušotina od kojih se vrši mjerenje razine vode u njima, dobiveni rezultati ipak su zanimljivi. Podaci o razinama vode u bušotinama pokazuju da je razina vode u bušotini B1 niža u odnosu na razinu vode u jezeru, dok je razina vode u bušotini B2 viša u odnosu na razinu vode u jezeru. Također, analizom korelacije razina vode u jezeru i u bušotinama dobiven je vrlo visok koeficijent korelacije od $k = 0,99$. No, to se može objasniti velikom blizinom između bušotina i jezera. Ukoliko se budu izvodile nove bušotine za praćenje gradijenta tečenja u ovisnosti o hidrološkim prilikama, pouzdaniji rezultati biti će ako su bušotine postavljene na većim udaljenostima od jezera. Također analizirani su relativni međuodnosi promjena razine u bušotinama te je zaključeno da pri pojavi većih oborina dolazi do naglašenijeg rasta vode u bušotinama nego u jezeru. To znači da se oborinska voda najprije sakuplja u krškom vodonosniku pa kasnije prihranjuje jezero. Postepenim pražnjenjem podzemlja, razine vode u jezeru i u bušotinama se skoro izjednačuju. Ožanić zaključuje da iako su navedeni rezultati upitne točnosti, oni ipak potvrđuju da jezero funkcionira u interakciji sa otočkim krškim vodonosnikom.

Kuhta (2002.) također zaključuje kako dobiveni rezultati istraživanja mogu biti opterećeni pogreškama zbog velikih dubina bušotina, zbog pogrešnog određivanju apsolutnih visina kota vrha bušotina, zbog različitog istežanja kabela mjerača ili otklona bušotina od vertikale. No, ipak navodi kako se dobiveni rezultati mogu koristiti za tumačenje odnosa podzemnih voda na istočnom boku i vode u Vranskom jezeru. Kuhta zaključuje kako su u stvarnosti

razine podzemnih voda u svim bušotinama iznad razine jezera, odnosno da se jezero prihranjuje iz podzemlja.

Noviji rad na tu temu objavili su autori Bonacci i Roje-Bonacci 2018. godine pod nazivom „Analiza odnosa razina podzemne vode i vodostaja Vranskog jezera na otoku Cresu“. Oni su analizirali razdoblje od 10.09.1997. do 31.12.2000. te su zaključili kako je ponašanje razina podzemnih voda u sva tri pijezometra gotovo identično. Razine vode u bušotinama B1 i B2 su niže od razine jezera, dok je razina podzemne vode u bušotini B3 viša od razine vode u jezeru. Autori i ovdje ukazuju na činjenicu da su podaci korišteni u analizi moguće opterećeni greškama te se mjerenja mogu smatrati točnima samo u pogledu shvaćanja dinamike razine podzemnih voda. Rezultati provedenih analiza pokazuju kako razine vode u pijezometrima i u jezeru naglije rastu, dok se opadanje razina odvija sporije. Također, porasti razina podzemne vode u bušotinama su veći od porasta vodostaja u jezeru a najveći porasti razine vode odvijaju se u bušotini B3 koja je najudaljenija od obale jezera. Isto tako, u slučaju visokih oborina, razina podzemnih voda u pijezometrima brže rastu od razine vode u jezeru. Autori zaključuju kako je međuovisnost vodostaja jezera i razina podzemnih voda vrlo visoka. Izračunati koeficijent linearne korelacije R^2 za odnos razine vode u jezeru i razine podzemne vode u najudaljenijoj bušotini iznosi $R^2 = 0,964$.

Obzirom se pitanje točnosti izmjerenih podataka proteže od kada postoje mjerenja razina podzemnih voda, neophodno bi bilo što prije utvrditi radi li se o nekoj pogrešci i o kojoj. Bonacci i Roje-Bonacci (2018.) također zaključuju kako samo tri pijezometra nisu dovoljna da bi se objasnila složena dinamika interakcije vode Vranskog jezera i podzemnih voda. Potrebno bi bilo izbušiti još nekoliko pijezometra oko cijelog jezera, što je u bliskoj budućnosti ipak teže ostvarivo zbog visoke cijene radova. Moguće povoljne lokacije za postavljanje novih pijezometara bile bi ili na zapadnoj obali u smjeru lokacije vrulje ili na sjevernoj obali jezera koja je najbliža moru. Postavljanje većeg broja pijezometra ujedno bi omogućilo i određivanje podzemne vododjelnice sliva Vranskog jezera, zaključuju autori.

6. ZAKLJUČAK

Vransko jezero zasigurno predstavlja jedinstven prirodni fenomen u kršu te najznačajniji i najveći prirodni resurs pitke vode na hrvatskim otocima. Specifičnost ovog jezera jest upravo u njegovim dimenzijama te mogućnosti skladištenja ovako velike količine slatke vode na otoku koji inače nema stalnih površinskih tokova ni izvora. Iz tog razloga ova je znamenitost već desetljećima predmet istraživanja te privlači pozornost brojnim domaćim i stranim znanstvenicima.

Do sada su provedena brojna interdisciplinarna među kojima i hidrološka istraživanja koja su se bavila pitanjem utvrđivanja načina funkcioniranja jezera, dinamike kolebanja vode u jezeru te utjecaju crpljenja iz jezera na funkcioniranje samog jezera. Također, analiziran je i odnos vode u jezeru s podzemnim vodama i morem. Vransko jezero je najveća kriptodepresija u Hrvatskoj s dnom na 61,3 m ispod srednje razine mora, stoga pojave u podzemlju uvelike utječu na funkcioniranje samog jezera. Rezultati istraživanja ukazali su na složenost jezerskog sustava. Vransko jezero dio je velikog otočkog krškog vodonosnika te se kao takvo ne smije promatrati zasebno već kao dio znatno većeg sustava. Ono funkcionira u skladu s otočkim krškim vodonosnikom koje se uravnotežuje s morem a crpljenje unosi neravnotežu u sam sustav i može ga ugroziti. Prema Ghyben-Hertzbergovom principu, pri srednjoj razini jezera od 12,69 mn.m, ispod razine mora nalazi se oko 508 metara slatke vode u podzemlju koja se uravnotežuje s morem. No ovaj princip je teoretski te vrijedi za homogene strukture. Na ravnotežu u ovom sustavu osim crpljenja, utječe i geološka građa otoka Cresa te područja uz samo jezero. Tu prevladavaju nehomogene, krševite strukture različite propusnosti, koje utječu na mogućnost lokaliziranja mjesta dotoka i otjecanja iz jezera. Smatra se kako su mogući smjerovi punjenja i pražnjenja jezera putem vrtačastog udubljenja na dnu jezera ili putem priobalnih izvora i vrulja, no ove pretpostavke još je potrebno znanstveno dokazati.

Do sada je već mnoštvo radova napisano na temu određivanja mogućih dotoka u jezero primjenom različitih metoda. Određivanje ovih elemenata vodne bilance je važno kako bi se moglo ocijeniti maksimalno dozvoljeno crpljenje koje ne bi ugrozilo opstojnost jezera.

U ovom radu proračunati su dotoci korištenjem matematičkog modela „VRANA“. Zbog nedostatka novijih podataka o isparavanjima te zbog kompleksnosti samog jezerskog sustava

pri čijoj analizi je potrebno uzimati u obzir i stanje podzemnih voda te mora, dobiveni dotoci mogu dati samo približnu sliku o mehanizmu funkcioniranja sustava.

U predmetnom radu analizirani su hidrološki i meteorološki parametri kroz razdoblje 2007.-2017. pomoću kojih su proračunati ukupni dotoci u Vransko jezero.

Prosječne vrijednosti osnovnih hidroloških parametara analiziranih u ovom radu jesu: prosječna godišnja oborina 1144 mm, prosječna relativna vlažnost zraka 75,8 %, prosječna godišnja temperatura zraka 15,4°C, srednji godišnji vodostaj 11,09 mn.m., srednja temperatura površinskog sloja vode 16,1°C, prosječna godišnja crpljenja 2,3 milijuna m³, maksimalna zabilježena godišnja količina crpljenja 2,56 milijuna m³ te maksimalna srednja dnevna crpljenja 177 l/s.

Analizom palih oborina na području Vranskog jezera utvrđeno je kako su se one u razdoblju 2007.-2017. kretale u prosječnim vrijednostima u odnosu na višegodišnje razdoblje za većinu mjeseci. Promjene se uočavaju u vodnijim mjesecima u kojima je zabilježena veća količina oborina za 20-40 mm.

Srednja relativna vlažnost zraka iznadprosječna je od prethodnog promatranog dvadesetogodišnjeg razdoblja te se povećala na mjesečnoj i godišnjoj razini za prosječno 8,4 %.

Pri analizi temperature zraka na području Vranskog jezera utvrđeno je kako su one ostale u prosječnim vrijednostima u odnosu na cjelokupno razdoblje promatranja te je utvrđeno da nije došlo do promjena u sezonskoj raspodjeli temperatura.

Novijih podataka o isparavanjima s površine jezera nema te bi se svakako praćenje ovog parametra moralo osigurati kako bi se što točnije mogli odrediti ostali parametri vodne bilance bitni za proučavanje mehanizma funkcioniranja jezera.

Analizom dinamike kolebanja razine vode u jezeru u razdoblju 2007.-2017. utvrđeno je da postoji trend povećanja srednjeg godišnjeg vodostaja za 11 cm. Godišnji minimalni vodostaji najčešće se javljaju u listopadu dok se maksimalni godišnji vodostaji javljaju u travnju. Zapažena je ekstremna dnevna promjena vodostaja od 13 cm koja je bila posljedica povećanih oborina palih na lokalnom slivnom području. Zapaženo je reagiranje vodostaja na oborine kao i sezonski karakter promjena vodostaja jezera.

Temperatura površinskog sloja vode kreće se u prosječnim vrijednostima te prati sezonsku promjenu temperature zraka. Prosječna godišnja temperatura površinskog sloja vode u jezeru iznosi 15,5°C.

Pri analizi godišnjih količina crpljenja uočen je trend porasta količine crpljenja u razdoblju 2007.-2017. za 28 880 m³, Najveća varijacija u godišnjim crpljenjima od 125 000 m³ zabilježena je 2015. godine kada je iscrpljena i najveća količina vode u cjelokupnom višegodišnjem razdoblju promatranja. Iste je godine u kolovozu zabilježena i najveća dnevna količina crpljenja od 177 l/s što je i više od dvostruko nego li je cjelogodišnji prosjek za tu godinu koji je iznosio oko 84 l/s.

Hidrološko matematičkim modelom „VRANA“ proračunati su ukupni dotoci u jezero – komponenta dotoka sa sliva te dotoci direktno na površinu jezera, zatim otjecanja odnosno gubici iz jezera te su određene vrijednosti koeficijenata otjecanja. Na temelju provedenih analiza, utvrđeno je da srednji godišnji dotok u jezero za razdoblje 2007.-2017. iznosi 0,596 m³/s, od čega je dotok sa neposrednog slivnog područja 0,396 m³/s, a dotok od palih oborina izravno na površinu jezera iznosi 0,201 m³/s.

Gubici na poniranje nisu zasebno analizirani već je usvojena prosječna krivulja gubitaka Ožanić '94. analitičkog oblika: $G = 0,028098 \cdot H$ (m³/s), gdje je H vodostaj jezera (mn.m.). Tako je pri srednjem vodostaju od $H = 12,69$ mn.m. procijenjen prosječan gubitak na poniranje od 0,357 m³/s.

Od velike važnosti za razumijevanje dinamike kolebanja razine vode u jezeru bila bi dostupnost novijim podacima o razinama podzemnih voda u postojećim pijezometrima kao i podaci o razinama mora na obali koja je najbliža jezeru. Iz tog razloga potrebno je što prije uspostaviti nova motrenja i otkloniti postojeće pogreške kako bi se sa sigurnošću mogao utvrditi utjecaj podzemnih voda na promjenu razine u jezeru. Isto tako potrebno je postaviti pijezometre oko cijelog jezera, jer svakako mjerenje razine podzemne vode na samo jednoj obali jezera ne može biti dovoljno da se daju cjelokupni zaključci o njihovom utjecaju na jezero. Također, u ovom radu nisu bili dostupni podaci o razinama mora stoga se analiza utjecaja mora na dinamiku promjene razine jezera nije razmatrala.

Ovim radom postignut je doprinos hidrološkim istraživanjima Vranskog jezera te bi se praksa dokumentiranja novijih podataka svakako trebala nastaviti i dalje. Vransko jezero ima veliku važnost u razvoju i opstanku otočke zajednice zbog toga što je to jedini izvor

pitke vode na tim otocima. Iz tog razloga potrebno je očuvati kvalitetu jezerske vode te zaštititi jezero od vanjskih utjecaja i onečišćenja.

7. LITERATURA

1. Babić, M., Vransko jezero na Cresu, www.prirodahrvatske.com, pristup 08.05.2019.
2. Biondić, B., Ivičić, D., Braun, K., Prelogović, E.: Jezero Vrana na otoku Cresu – hidrogeološki istražni radovi – I faza, fond stručne dokumentacije instituta za geološka istraživanja, Zagreb, 1991.
3. Biondić, B., Ivičić, D., Prelogović, E.: The Hydrology of the Lake of Vrana on the Cres Island, Proceedings of the International Symposium Geomorphology and Sea, pp. 22-26, Mali Lošinj, 1993.
4. Biondić, B., Ivičić, D., Kapelj, S., Mesić, S.: Hidrogeologija Vranskog jezera na otoku Cresu, Prvi hrvatski geološki kongres, Zbornik radova (89-94), Opatija, 1995.
5. Bognar, A.: Some of the Basic Geomorphologic Features of Kvarner Region, Proceedings of the International Symposium Geomorphology and Sea (37-45), Mali Lošinj, 1992.
6. Bonacci, O.: The Vrana Lake Hydrology (Island of Cres – Croatia). Water resources bulletin AWRA: (407-414), 1993.
7. Bonacci, O.: Investigations in Karst Hydrology of Croatia: The Vrana Lake on the Island of Cres, Acta Geologica 25: (1-15), 1995.
8. Bonacci, O., Roje-Bonacci, T.: Analiza odnosa razina podzemne vode i vodostaja Vranskog jezera na otoku Cresu, fond stručne dokumentacije Hrvatske vode, 103 (39-47), 2018.
9. Brdar, I.: Rezultati Hidroloških istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu od 2001.-2006. godine, Diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2007.
10. Brdar, I., Ožanić, N., Rezultati hidroloških istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu (2001.-2006.), Zbornik radova, knjiga XI, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2008.
11. DHMZ, Historijat stanice CP Vrana, Vransko jezero
12. Herak, M., A Concept of Geotectonic of the Dinarides, Acta Geologica, 16/1:1-42., Zagreb, 1986.

13. Hertelendi, E., Svingor, E., Rank, D., Futo, I.: Isotope Investigations of Lake Vrana and Springs in the Kvarner Area, Prvi hrvatski geološki kongres, Zbornik radova, Opatija, 1995.
14. Jadranski otoci, www.hr.metapedia.org, pristup 25.4.2019.
15. Kuhta, M.: Hidrogeološka istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu u razdoblju 2001.-2002. godine, fond stručne dokumentacije IGI. 2002.
16. Ožanić, N.: Hidrologija jezera Vrana na otoku Cresu, magistarski rad, Građevinski fakultet sveučilišta u Zagrebu, 1994.
17. Ožanić, N.: Hidrološki model funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 1996.
18. Ožanić, N., Rubinić, J.: Analiza hidroloških karakteristika Vranskog jezera na otoku Cresu – dodatna hidrološka razmatranja, Vodoprivreda, Rijeka, 1990.
19. Ožanić, N., Rubinić, J.: Rezultati hidroloških istraživanja Vranskog jezera na otoku Cresu u 1997. godini, fond stručne dokumentacije Hrvatske vode VGO Rijeka, Rijeka, 1998.
20. Ožanić, N., Sušanjan Čule, I., Volf, G., Krvavica, N., Žic, E.: Hidrološka analiza varijacija razine vode jezera Vrana na otoku Cresu, 7. hrvatska konferencija o vodama s međunarodnim sudjelovanjem, zbornik radova, Hrvatske vode, Opatija, 2019.
21. Roglić, J., Geomorfološka istraživanja na Kvarnerskim otocima i Zadarskom primorju, JAZU ljetopis 55, 161-167, 1949.
22. Rubinić, J.: Analiza hidroloških karakteristika Vranskog jezera na otoku Cresu, Fond stručne dokumentacije Vodoprivreda, Rijeka, 1990.
23. Rubinić, J., Ožanić, N.: Vransko jezero na Cresu – Rezultati hidroloških istražnih radova – I faza, fond stručne dokumentacije JVP istarskih slivova, Labin, 1991.
24. Rubinić, J., Ožanić, N.: Hidrološke karakteristike Vranskog jezera na otoku Cresu, Građevinar 44, Zagreb, 1992.
25. Šegota, T., Filipčić, A.: Hipotetska starost Vranskog jezera na Cresu, Acta Geographica Croatica, Vol. 35 (45-56), Zagreb, 2001.
26. Vodoopskrbni sustav, www.viocl.hr, pristup 05.08.2019.