

Analiza karakterističnih pokazatelja vodnog sustava Vranskog jezera na otoku Cresu

Galović, Andrej

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:157:813740>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**



image not found or type unknown

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**

Andrej Galović

**Analiza karakterističnih pokazatelja vodnog sustava
Vranskog jezera na otoku Cresu**

Diplomski rad

Rijeka, 2024. g.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Diplomski sveučilišni studij
Građevinarstvo
Hidrosustavi u kršu**

**Andrej Galović
JMBAG: 0114029396**

**Analiza karakterističnih pokazatelja vodnog sustava
Vranskog jezera na otoku Cresu**

Diplomski rad

Rijeka, veljača 2024. g.

Sveučilište - iz **Sveučilište u Rijeci**
Upisnika:
Predmet: **Diplomski rad**
Grana: **2.05.03 hidrotehnika**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 50

Pristupnik: **Andrej Galović (0114029396)**
Studij: **Građevinarstvo**
Modul: **Hidrotehnika**

Zadatak: **Analiza karakterističnih pokazatelja vodnog sustava Vranskog jezera na otoku Cresu**

Opis zadatka:

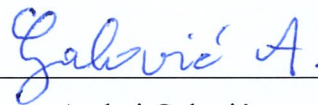
U radu je potrebno provesti analizu dostupnih hidroloških podataka za Vransko jezero na otoku Cresu, i to klimatskih prilika u slivu (oborine, temperatura zraka), razine vode u jezeru, crpljenja i temperature vode. Poseban naglasak potrebno je staviti na analize temperature vode. Uz to, potrebno je analizirati i rezultate monitoringa na mjestima koncentriranih istjecanja podzemnih voda u more - vrulji Vratak na zapadnoj obali Cresa kao i izvoru Lukavac na istočnoj obali. U radu je potrebno dati osvrt na postojeće trendove karakterističnih pokazatelja, kao i moguće promjene uslijed utjecaja klimatskih promjena.

Zadatak uručen pristupniku: 11. travnja 2023.
Rok za predaju rada: 27. veljače 2024.

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Igor Ružić

IZJAVA

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



Andrej Galović

U Rijeci, 27.02.2024.g.

ZAHVALA

Veliku zahvalnost želim izraziti mentorima doc.dr.sc. Josipu Rubiniću, dipl.ing.građ. i izv.prof.dr.sc. Igoru Ružiću na razumijevanju, strpljenju, prenesenom znanju i savjetima prilikom izrade ovog diplomskog rada. Neizmjereno hvala na ukazanoj pomoći i odvojenom vremenu za pregledavanje diplomskog rada.

Posebnu zahvalnost želim iskazati svojoj obitelji, posebice mami i tati, koji su me uvijek podržali i bili uz mene bez obzira radilo se o sretnim ili teškim trenucima. Zahvaljujem im se na svakodnevnoj potpori, ohrabrivanju, motivaciji i svemu dobrom za što su zaslužni.

Hvala još jednom svima od srca!

Sažetak

Jedan od specifičnih vodnih fenomena Dinarskog krša na području Hrvatske je Vransko jezero na otoku Cresu, kriptodepresija sa iznimno velikim volumenom od oko 220 milijuna m³ slatke vode za tako mali otok. Provedenim analizama karakterističnih pokazatelja vodnog sustava utvrđeni su njihovi vrlo različiti trendovi koji utječu na njegovu hidrološku stabilnost – trendove porasta karakterističnih temperatura zraka i vode, porasta razina mora, porasta količina crpljenja iz jezera za potrebe vodoopskrbe, te trendovi smanjenja razine vode u jezeru. Ti trendovi smanjenja razina nisu za sada kritični, ali ih je važno pratiti i procjenjivati utjecajne elemente kako bi se očuvala jezerska stabilnost i u budućnosti. Pri provedenim analizama korišteni su podaci dugogodišnjim mjerenja klimatskih i hidroloških prilika koja su započeta na tom prostoru pred gotovo stotinu godina, kao i rezultati istraživanja sadržani u ranijim projektima i znanstvenim i stručnim radovima. Utvrđene su promjene klimatskih prilika tijekom posljednjih tridesetak godina koje se mogu povezati s globalnim klimatskim promjenama, a što ima posljedice na jezerski sustav koje su najočitije u smanjenju njegove razine i porastu temperatura vode, posebno u njegovim dubljim dijelovima. Na osnovu analiziranih temperatura voda utvrđeno je i da jezero ima unutargodišnja kolebanja masa i izmjenu površinskih voda s pridnenim. Ono aktivno komunicira s njegovim krškim vodonosnikom što se zapaža u iskazanoj tromosti jezerskog sustava, kao i u vidu dvaju stalnih vodnih pojava na zapadnoj obali otoka Cresa (vrulja Vrutak) te njegovoj istočnoj obali (priobalni izvor Lukavac).

Ključne riječi: Jezero u kršu, hidrološki pokazatelji i trendovi, temperature vode, crpljenja

Abstract

One of the specific water phenomena of the Dinaric Karst in Croatia is Lake Vrana on the island of Cres, a crypto-depression with an extremely large volume of about 220 million m³ of fresh water for such a small island. Analyzes of the characteristic indicators of the water system have determined their very different trends that affect its hydrological stability - trends of increasing characteristic air and water temperatures, rising sea levels, increasing the amount of pumping from the lake for water supply needs, and trends of decreasing water levels in the lake. These trends of level reduction are not critical for now, but it is important to monitor them and evaluate the influencing elements in order to preserve lake stability in the future. The analyzes used data on long-term measurements of climatic and hydrological conditions that were started in that area almost a hundred years ago, as well as research results contained in earlier projects and scientific and professional works. Changes in climatic conditions over the last thirty years have been identified, which can be linked to global climate changes, and which have consequences for the lake system, which are more pronounced in the reduction of its level and increase in water temperature, especially in its deeper parts. Based on the analyzed water temperatures, it was determined that the lake has an intra-annual mass fluctuation and an exchange of surface water with bottom water. It actively communicates with its karst aquifer, which can be seen in the pronounced sluggishness of the lake system, as well as in the form of two permanent water phenomena on the west coast of the island of Cres (vrulja Vrutak) and its east coast (coastal source Lukavac).

Keywords: Karst lake, hydrological indicators and trends, water temperatures, pumping

Sadržaj:

1. UVOD	1
2. OPĆENITO O VRANSKOM JEZERU NA CRESU	3
3. PODACI I METODOLOGIJA.....	20
3.1. Podaci	20
3.2. Metodologija	25
4. KLIMATSKE PRILIKE	30
4.1. Oborine	32
4.2. Temperatura zraka	35
4.3. Fosterovi dijagrami.....	38
5. TEMPERATURA VODE	40
5.1. Općenito o temperaturi vode.....	40
5.2. Povijesni podaci	49
5.3. Temperature površinske vode na C.P. Vrana.....	55
5.4. Temperature po dubini jezera.....	60
5.5. Međuodnosi temperatura vode i zraka.....	64
6. VODOSTAJI I CRPLJENJE	68
6.1. Vodostaji.....	68
6.2. Crpljenje.....	79
7. VRULJA VRUTAK I IZVOR LUKAVAC.....	86
7.1. Vrulja Vrutak	86
7.2. Izvor Lukavac.....	88
7.3. Obrada izmjerenih podataka	90
8. ZAKLJUČAK	94
9. POPIS LITERATURE.....	98

POPIS TABLICA

Tablica 4.1.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti oborina (mm) na klimatološkoj postaji Cres za razdoblje od 1961.g. do 2021.g.

Tablica 4.2.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti temperatura zraka (°C) na klimatološkoj postaji Cres (1961.g.-2021.g.)

Tablica 5.2.1. Temperatura zraka i površinske vode na Vranskom jezeru očitane od strane Petrika (Petrik, 1960.)

Tablica 5.2.2. Usporedba temperatura po dubini od Petrika sa Casagrandijevim i Nümmanovim mjerenjima (Petrik, 1960.)

Tablica 5.2.3. Izmjerene temperature Vranskog jezera po dubini prema Mortonu, 20.IV.1931.g. (Petrik, 1960.)

Tablica 5.2.4. Usporedba temperatura vode u Vranskom jezeru u području hipolimnija, na dubinama ispod 40 metara (Kuhta i Brkić, 2013.)

Tablica 5.3.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura površinske vode (°C) u Vranskom jezeru (1979.g.-2021.g.)

Tablica 5.4.1. Izmjerene temperature vode Vranskog jezera od prethodnih provedenih mjerenja

Tablica 6.1.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih vodostaja na Vranskom jezeru (V.1928.g.-2021.g.)

Tablica 6.1.2. Kronološki popis ekstremnih nivoa (maksimalnih i minimalnih) vodostaja Vranskog jezera od svibnja 1928.g. do 2022.g.

Tablica 6.1.3. Učestalost pojava sezonskih godišnjih maksimuma i minimuma nivoa Vranskog jezera u razdoblju od svibnja 1928.g. do 2022.g.

Tablica 6.1.4. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih vodostaja mora na mareografskoj postaji Martinščica (1991.g.-2021.g.)

Tablica 6.2.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti crpljenja (l/s) iz Vranskog jezera za razdoblje od 1967.g. do 2021.g., za razdoblje od 1969.g. do 2021.g. i za razdoblje od 2015.g. do 2021.g.

Tablica 6.2.2. Podjela podataka o mjesečnim crpljenjima vode na razrede i njihov broj pojavljivanja

POPIS SLIKA

Slika 1.1. Vransko jezero na otoku Cresu (<https://www.viocl.hr/>, 2024.)

Slika 2.1. Smještaj Vranskog jezera na otoku Cresu

Slika 2.2. Prikaz Vranskog jezera u djelu Alberta Fortisa

(Damijanjević, 2022. prema Fortis, 2014.)

Slika 2.3. Poprečni presjek kroz teren i Vransko jezero

Curać, 2018. prema Kapelj, 1997.)

Slika 2.4. Hidrogeološka karta Vranskog jezera na otoku Cresu (Kuhta, 2004.)

Slika 2.5. Odnos slatke i slane vode u slučaju hidrostatskog zakona (Rubinić, 2021.)

Slika 2.6. Piperov dijagram Vranskog jezera na otoku Cresu (Curać, 2018. prema Kapelj, 1997., Biondić et al., 1997.)

Slika 2.7. Stara crpna stanica na Vranskom jezeru na Cresu (izradio autor)

Slika 2.8. Unutrašnjost stare crpne stanice (izradio autor)

Slika 2.9. Današnja crpna stanica na Vranskom jezeru na Cresu (izradio autor)

Slika 2.10. Unutrašnjost crpne stanice na Vranskom jezeru na Cresu (izradio autor)

Slika 2.11. Shematski prikaz današnjeg vodoopskrbnog sustava otoka Cresa i Lošinja (Institut IGH, 2016.)

Slika 3.1.1. Položaj svih mjernih postaja na otoku Cresu (<https://www.google.com/maps/@44.8718945,14.3823337,32526m/data=!3m1!1e3?authuser=0&entry=ttnu>, 2024)

Slika 3.1.2. Automatska klimatološka postaja Vransko jezero-Cres (izradio autor, 2023.)

Slika 3.1.3. Automatski isparitelj klase A na lokaciji Vransko jezero-Cres (izradio autor, 2023.)

Slika 3.1.4. Kišomjer uz Vransko jezero (izradio autor)

Slika 3.1.5. Hidrološka postaja C.P. Vrana (izradio autor)

Slika 3.1.6. Mareografska postaja Martinšćica (izradio autor)

Slika 4.1. Geografska raspodjela klime u Hrvatskoj po W. Köppenu u razdoblju 1961.-1990. (Šegota i Filipčić, 2003. prema Filipčić, 1998.)

Slika 4.1.1. Hod i trend karakterističnih godišnjih vrijednosti zabilježenih količina oborina na klimatološkoj postaji Cres (1961.g.-2021.g.)

Slika 4.1.2. Unutargodišnja raspodjela mjesečnih vrijednosti količina oborina na klimatološkoj postaji Cres (1961.g.-2021.g.)

Slika 4.1.3. Unutargodišnja raspodjela srednjih mjesečnih količina oborina na klimatološkoj postaji Cres za dva odabrana klimatološka razdoblja (1961.g.-1990.g. i 1991.g.-2021.g.)

Slika 4.2.1. Hod i trend karakterističnih godišnjih vrijednosti zabilježenih temperatura zraka klimatološkoj postaji Cres (1961.g.-2021.g.)

Slika 4.2.2. Usporedba trendova karakterističnih godišnjih vrijednosti zabilježenih temperatura zraka na klimatološkoj postaji Cres za razdoblja 1961.g.-2021.g. i 1991.g.-2021.g.

Slika 4.2.3. Unutargodišnja raspodjela mjesečnih vrijednosti temperatura zraka na klimatološkoj postaji Cres za dva odabrana klimatološka razdoblja (1961.g.-1990.g. i 1991.g.-2021.g.)

Slika 4.3.1. Fosterov dijagram za klimatološku postaju Cres za razdoblje 1961.g. - 2021.g.

Slika 4.3.2. Usporedba Fosterovih dijagrama za klimatološku postaju Cres za razdoblje 1961.g. – 1990.g. i 1991.g. - 2021.g.

Slika 5.1.1. Usporedni prikaz vertikalnih dubinskih profila prodora Sunčevog zračenja i temperature vode na primjer dvaju jezera (Wetzel, 2001.)

Slika 5.1.2. Primjer toplinske stratifikacije određenog jezera (Rubinić, 2019.)

Slika 5.1.3. Karakteristična toplinska stratifikacija jezera s podjelom slojeva vode na epilimniji, metalimniji i hipolimniji (isprekidane linije prikazuju približnu granicu metalimnija) (Wetzel, 2001.)

Slika 5.1.4. Miješanje vode u dimiktičnim jezerima (Rubinić, 2019.)

Slika 5.3.1. Godišnji hod srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura površinske vode u Vranskom jezeru sa njihovim trendovima (1979.g.-2021.g.)

Slika 5.3.2. Unutargodišnja raspodjela srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura površinske vode u Vranskom jezeru (1979.g.-2021.g.)

Slika 5.3.3. Korelacija srednjih temperatura zraka sa klimatološke postaje Cres i srednjih temperatura vode sa hidrološke postaje C.P. Vrana za svaki pojedini mjesec u razdoblju od 1979.g. do 2021.g.

Slika 5.3.4. Korelacija nizova podataka o srednjim mjesečnim temperaturama zraka i vode za razdoblje od 1979.g. do 2021.g.

Slika 5.4.1. Prikaz temperatura vode na površini i na dnu Vranskog jezera na postaji Vransko jezero (12.11.2021.g. do 04.09.2022.)

Slika 5.4.2. Temperature vode po dubini Vranskog jezera u različitim godišnjim dobima

Slika 5.4.3. Usporedni prikaz temperatura vode Vranskog jezera po dubini tijekom i na kraju ljeta sa rezultatima prijašnjih mjerenja

Slika 5.4.4. Usporedni prikaz temperatura vode Vranskog jezera po dubini na kraju zime i početku proljeća sa rezultatima prijašnjih mjerenja

Slika 5.5.1. Usporedni hod mjesečnih temperatura zraka sa klimatološke postaje Cres i temperature vode sa hidrološke postaje C.P. Vrana (1979.g.-2021.g.)

Slika 5.5.2. Usporedba unutargodišnje raspodjele srednjih, maksimalnih i minimalnih srednjih temperatura zraka i srednjih temperatura vode za razdoblje od 1979.g. do 2021.g.

Slika 5.5.3. Razlike srednjih temperatura zraka i vode u unutargodišnjoj raspodjeli za razdoblje od 1979.g. do 2021.g.

Slika 6.1.1. Amplitude vodostaja Vranskog jezera (1929.g.-2021.g.)

Slika 6.1.2. Unutargodišnji hod srednjih, maksimalnih i minimalnih vodostaja na Vranskom jezeru i njihovi trendovi (1929.g.-2021.g.)

Slika 6.1.3. Učestalost pojave sezonskih minimalnih nivoa u razdoblju od svibnja 1928.g. do 2022.g.

Slika 6.1.4. Učestalost pojave sezonskih maksimalnih nivoa u razdoblju od svibnja 1928.g. do 2022.g.

Slika 6.1.5. Amplitude mora na mareografskoj postaji Martinšćica (1991.g.-2021.g.)

Slika 6.1.5. Hod i trendovi godišnjih srednjih, maksimalnih i minimalnih razina mora na mareografskoj postaji Martinšćica za razdoblje od 1991.g. do 2021.g.

Slika 6.2.1. Utjecaj malih količina crpljenja iz 1967.g. i 1968.g. na ukupan trend količine crpljenja na primjeru mjeseca kolovoza

Slika 6.2.2. Hod i trendovi srednjih godišnjih vodostaja Vranskog jezera (1929.g.-2021.g.) te godišnjih količina crpljenja vode iz Vranskog jezera (1967.g.-2021.g.)

Slika 6.2.3. Prikaz količina crpljenja vode za svaki mjesec pojedinačno u razdoblju od 1967.g. do 2021.g.

Slika 6.2.4. Zasebni prikaz količina crpljenja vode za jesenske, zimske i proljetne mjesece unutar razdoblja od 1967.g. do 2021.g.

Slika 6.2.5. Zasebni prikaz količina crpljenja vode za mjesece lipanj, srpanj, kolovoz i rujan unutar razdoblja od 1967.g. do 2021.g.

Slika 6.2.6. Dijagram usporedbe trendova crpljenja specifičnog ljetnog (kolovoz) i zimskog (siječanj) mjeseca unutar razdoblja od 1967.g. do 2021.g.

Slika 6.2.7. Hod i trend mjesečnih podataka o crpljenju vode iz Vranskog jezera za razdoblje od 1967.g. do 2021.g.

Slika 6.2.8. Histogram učestalosti pojavljivanja vrijednosti crpljenja kroz razdoblje od 1967.g. do 2021.g.

Slika 7.1.1. Lokacija vrulje Vrutak na zapadnoj obali otoka Cresa (<https://www.google.com/maps/@44.8718945,14.3823337,32526m/data=!3m1!1e3?authuser=0&entry=tту>, 2024)

Slika 7.1.2. Temperatura vode na lokaciji vrulje Vrutak (10.11.2021.g.-12.07.2022.g.)

Slika 7.1.3. Morska razina vode na lokaciji vrulje Vrutak (10.11.2021.g.-12.07.2022.g.) u relativnim visinama provednih mjerenja

Slika 7.2.1. Lokacija izvora Lukavac na istočnoj obali otoka Cresa (<https://www.google.com/maps/@44.8718945,14.3823337,32526m/data=!3m1!1e3?authuser=0&entry=tту>, 2024)

Slika 7.2.2. Temperatura vode na lokaciji izvora Lukavac (17.11.2021.g.-31.08.2022.g.)

Slika 7.2.3. Razina vode na lokaciji izvora Lukavac (17.11.2021.g.-31.08.2022.g.)

Slika 7.3.1. Usporedni prikaz temperatura vode na dnu i površini Vranskog jezera, na vrulji Vrutak i zvoru Lukavac (17.11.2021.-12.07.2022.)

Slika 7.3.2. Korelacijska veza između temperatura vode na vrulji Vrutak i izvoru Lukavac

Slika 7.3.3. Korelacijska veza između temperatura vode na površini Vranskog jezera i vrulje Vrutak

Slika 7.3.4. Korelacijska veza između temperatura vode na površini Vranskog jezera i izvora Lukavac

Slika 7.3.5. Hod dnevnih razina vode na vrulji Vrutak i izvoru Lukavac u razdoblju od 17.11.2021.g. do 12.07.2022.g.

Slika 7.3.6. Korelacijska veza između razina vode na vrulji Vrutak i izvoru Lukavac u razdoblju od 17.11.2021.g. do 12.07.2022.g.

1. UVOD

Na pomisao nekog otoka prvo što nam pada na pamet je ljepota, izoliranost i mir pri čemu, na trenutke, zaboravljamo sve naše brige koje nas prate u stopu. Njihova netaknuta priroda, mnogobrojne prekrasne uvale i plaže te more koje ih okružuje samo je djelić onoga što sudjeluje u stvaranju nezaboravnih momenata. Istodobno, koliko god se otoci mogu pogrešno smatrati jednakima ipak su oni različiti i posebni na svoj način, u pogledu prirodnih, kulturnih ili povijesnih znamenitosti. Tako je, na primjer, otok Krk poznat po Bašćanskoj ploči i staroj plemićkoj obitelji Frankopan, otočje Brijuni po ostacima nekadašnjih povijesnih građevina i rezidenciji doživotnog predsjednika Socijalističke Federativne Republike Jugoslavije Josipu Brozu Titu te safari parku, otok Pag po čipki, solani i zabavama, otok Brač po šljunčanoj plaži Zlatni rat koja mijenja svoj oblik i položaj ovisno o smjeru vjetra te brački kamen koji je korišten za izgradnju brojnih poznatih zgrada, uključujući Dioklecijanovu palaču u Splitu i ulaznu dvoranu zgrade Ujedinjenih naroda u New Yorku, a otok Korčula po mitu o rođenju istraživača i putopisca iz 13. stoljeća Marka Pola.

Ipak, od svih otoka koji se nalaze u Jadranskom moru, a ima ih preko 700, vrlo malo njih se mogu pohvaliti vrijednim vodnim resursima. Kako i mogu, kada u geološkoj građi svih otoka u Jadranu prevladavaju dobro propusni vapnenci koji, bez obzira koliko velike količine padalina mogu pasti, ne dozvoljavaju vodi dulje zadržavanje na površini pa je pojava jezera ili lokvi vrlo rijetka. Slijedeći takav pogled, naići ćemo na nekoliko otoka na čijoj površini se može zadržavati određena vodena masa. Među njima, najviše treba istaknuti otok Cres. Smješten je u Kvarnerskom zaljevu, a smjer pružanja mu je sjever sjeverozapad – jug jugoistok, od istočne obale Istre do susjednog otoka Lošinja. Zajedno sa otokom Krkom dijeli poziciju najvećeg jadranskog otoka. Naselja su smještena većinom na zapadnom i južnom dijelu zbog blaže i niže konfiguracije terena, za razliku od sjeverne i istočne strane gdje je ostalo vrlo malo stanovnika sa tendencijom skorog nestajanja. Prekriven je mediteranskom vegetacijom, tipičnom za navedeno područje. Na sjevernom dijelu otoka smješteni su šumoviti vrhovi čije visine se uzdižu do neobično visokih vrijednosti za otoke, a kako se ide južnije nastupaju pašnjaci i kamenjar. Iako je poznat kao jedno od posljednjih prirodnih staništa bjeloglavog supa, na njemu se nalazi jedinstven hidrološki i hidrogeološki fenomen krša i najznačajniji rezervoar prirodne pitke vode, općenito na nekom otoku, a to je Vransko jezero (Slika 1.1.).



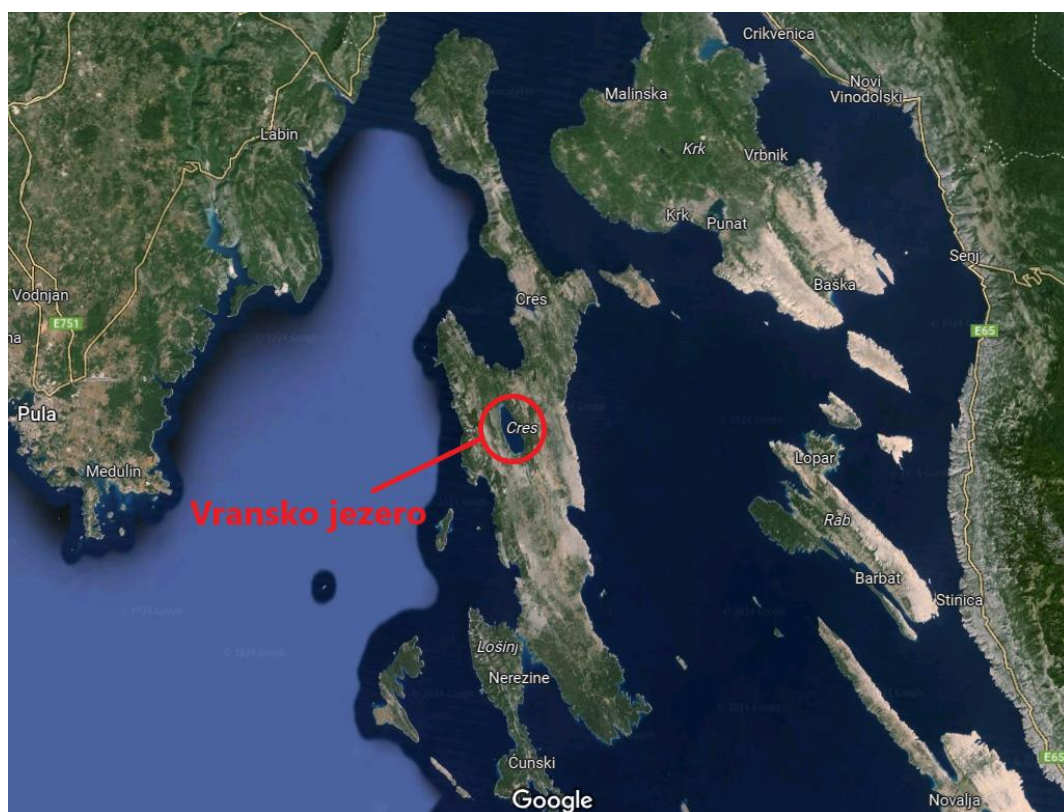
Slika 1.1. Vransko jezero na otoku Cresu (<https://www.viocl.hr/>, 2024.)

Kroz povijest, Vransko jezero svojim postojanjem privlačilo je mnoge istraživače. Shodno tome, zbog svoje iznimne prirodne i društvene vrijednosti te nužne potrebe njegove zaštite, proizašli su brojni radovi na osnovi njegovog funkcioniranja i održanja. U ovome radu prikazane su hidrološke i hidrogeološke značajke Vranskog jezera u cjelini. Navedene su hidrološke i klimatološke postaje čiji podaci su upotrijebljeni za provedbu konkretnih istraživanja kao i opis korištenih metoda istraživanja. Opisane su klimatske prilike otoka Cresa kao važan segment opstanka Vranskog jezera kroz meteorološke parametre, temperaturu zraka i količini oborina, na primjeru grada Cresa. Također, korištenjem Fosterovih dijagrama nastoji se predstaviti evidentne klimatske promjene kojima smo danas svjedoci.

Dane su osnovne informacije o temperaturi vode kao jednom od čimbenika kvalitete vode te prethodna povijesna bilježenja i mjerenja. Kako se voda iz jezera koristi za opskrbljivanje stanovništva Cresa, Lošinja i okolnih otoka prikazana su kretanja temperature vode, kako na površini pored C.P. Vrana tako i po dubini samog jezera, te međuodnos između temperature vode i zraka. Predstavljena je povezanost između vodostaja jezera i mora te problematika crpljenja vode iz jezera kao kočnica za razvoj otoka Cresa i Lošinja, realizaciju mogućih projekata i investicija te ono najvažnije, dovođenje u pitanje postojanje Vranskog jezera i stanovništva. Za kraj, uz obalu otoka Cresa nalaze se mnogi izvori pa je tako dan primjer vrulje Vrutak i priobalnog izvora Lukavac gdje se odvija najintenzivnija komunikacija podzemnih voda i mora.

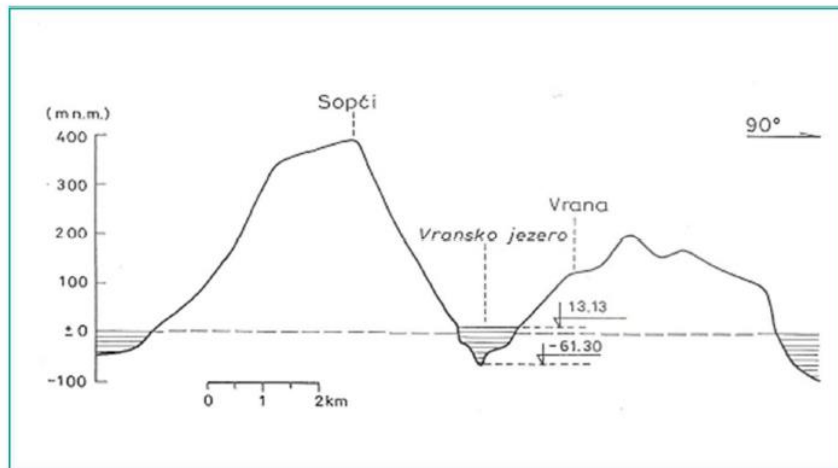
2. OPĆENITO O VRANSKOM JEZERU NA CRESU

Vransko jezero smješteno je, otprilike, u središnjem dijelu otoka Cresa i u svjetskim okvirima zauzima mjesto rijetke pojave vodnog fenomena u kršu i značajnu dragocjenost u pogledu ekoloških, okolišnih, ekonomskih i još mnogih drugih vrijednosti. Sami otok Cres, čija je dužina oko 65,5 km (<https://www.enciklopedija.hr/clanak/12707>, 2024), siromašan je vodom, osim za vrijeme velikih i naglih količina oborina kada se formiraju povremene bujice i lokve te iz toga proizlazi važnost postojanja samog jezera. Svoje ime duguje selu Vrana koje se nalazi u blizini jezera, ali stanovnici otoka su ga zvali samo "jezero". Pridjev "Vransko" mu je prvi put nadjenao 1771.g. putopisac i prirodoslovac Alberto Fortis u djelu „*Saggio d'osservazioni sopra l'isola di Cherso ed Ossero*“ („*Ogled zapažanja o otocima Cresu i Lošinju*“) (Slika 2.2.) te se naziv ustalio u primjeni do danas (<https://www.visitcres.hr/otok-cres/hr/>, 2023.).



Slika 2.1. Smještaj Vranskog jezera na otoku Cresu

([https://www.google.com/maps/@44.8718945,14.3823337,32526m/data=!3m1!1e3?authuser=0&entr](https://www.google.com/maps/@44.8718945,14.3823337,32526m/data=!3m1!1e3?authuser=0&entry=ttu)
[y=ttu](#), 2024)



*Slika 2.3. Poprečni presjek kroz teren i Vransko jezero
(Curać, 2018. prema Kapelj, 1997.)*

Iako je dno prilično jednoliko, dubine se poslije strmog nagiba uz rub jezera kreću do oko 40 metara ispod morske razine. Vransko jezero ima vrtačasto udubljenje na dnu, promjera dna od oko 100 metara, gdje se dubine naglo povećavaju do 61,3 metara. Nekad, u kopnenoj fazi, udubljenje je predstavljalo ponorsku zonu, a danas je to područje vjerojatnih najaktivnijih komunikacija jezera s podzemljem i moguća veza s podzemnim tokovima koje opskrbljuju jezero vodom (Ožanić i Rubinić, 1998.). Naravno, površina, duljina i širina, kao i dubina, nisu stalne jer se mijenjaju iz godine u godinu ovisno o razini jezera tijekom sušnih i kišnih perioda. Zimi se jezero ne zaleđuje te je dobro prozračeno. Posjeduje monomiktični karakter (jezero se miješa od vrha do dna tijekom jednog razdoblja svake godine) zbog jednogodišnjeg temperaturnog obrata (termalna stratifikacija i zimska izotermija). Zimi se površinska voda hladi na temperaturu jednaku temperaturi ispod površine i dolazi do izmiješavanja vode od vrha do dna zbog nedostatka termalne stratifikacije. Za vrijeme ljeta, razlika u gustoći epilimnija (toplija površinska voda) i hipolimnija (hladnija voda na dnu jezera) sprječava miješanje ovih voda. Također, otkriven je razvoj toplinske slojevitosti tijekom godine te izotermna situacija na kraju zime, u vremenu kada se događa promjena cjelokupne vodene mase jezera (Kuhta, 2004.).

Od prošlih pa sve do današnjih vremena, Vransko jezero je bio i ostao predmet mnogih istraživanja, od hidroloških, geoloških, hidrogeoloških te bioloških. Početci istraživanja sežu u razdoblje druge polovice 18. stoljeća kada je otok Cres posjetio A. Fortis (1771.g.), a intenzivnije se krenulo u drugoj polovici 19. stoljeća. R. Lorenz (1859.g.), G. Stache (1859.g.), F. Hauer (1868.g.) i E. Mayer (1874.g.) proučavali su Vransko jezero uglavnom u hidrološkom

i geološkom smislu, sa ciljem otkrivanja nepoznanica o porijeklu vode u jezeru. Prema mišljenju R. Lorenza, Vransko jezero se vodom prihranjuje sa kopna. Na temelju istraživanja G. Stache-a, otok Cres se sastoji od vapnenaca i pješćanih dolomita srednje kredne zone i svijetlijih vapnenaca gornje rudistne zone (geološki naziv za vapnenac gornje krede), a u kasnijem mišljenju naslage otočnog područja svrstava uglavnom u gornjokrednu epohu. U svom radu, F. Hauer smatra da vapnenci krednih naslaga cijelog otoka Cresa pripadaju cenomanu i donjem turonu (početni faunalni stadiji u epohi gornje krede). E. Mayer je svojim proučavanjem došao do važnih zaključaka u vezi s akumulacijom vode u Vranskom jezeru, odnosno iznio je teoriju da voda dotječe u jezero isključivo sa njegovog sliva koja je kasnije odobrena od strane različitih autora (Bonacci, 1993., 1995.; Hertelendi i drugi, 1995.; Ožanić, 1996.). Bonacci i Ožanić su to potvrdili različitim postupcima upotrebljavanjem metode hidrološkog bilanciranja dok je Hertelendi sa svojom grupom autora analizirao starost vode u jezeru upotrebom izotopa i potvrdio da vrijeme izmjene vode u jezeru iznosi otprilike tridesetak godina (Magaš, 1965.; Bonacci, 2014.).

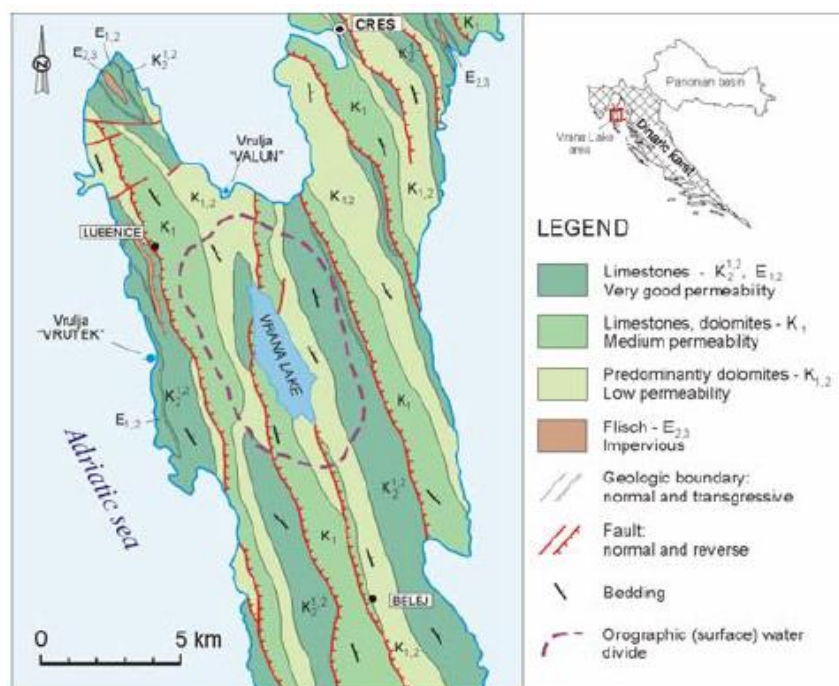
Početkom 20. stoljeća jezerom se bave A. Gavazzi (1902.g., 1904.g.) i L. Waagen (1904.g., 1905.g. i 1911.g.) koji dolomitima pripisuje cenomansko i donjoturansko porijeklo te za rudistne vapnence sumnja u senonsko porijeklo (nekadašnji objedinjeni naziv za kasnije faunalne stadije konijak, santon, kampan i mastriht u epohi gornje krede). Talijanski geolog F. Sacco (1922.g.-1929.g.) u preglednoj geološkoj karti Istre svrstava naslage otoka Cresa u period krede, ali ne ulazi u opširniju analizu, dok u geološkoj karti C. Socina (1941.g.) prikazano je područje Vranskog jezera izgrađeno od dolomita gornjocenomanske do donjoturanske starosti te prema njemu najmlađe kredne naslage su gornjoturanski do senonski vapnenci. Nakon Drugog svjetskog rata, J. Poljak (1947.g.), svojim istraživanjem jezera, smatra da voda u jezero dotječe podzemnim putem iz udaljenih područja Primorja i Istre. Daljnje proučavanje provode J. Roglič (1949.g.) i I. Rubić (1952.g.) u vidu geomorfoloških prilika otoka Cresa i geneze Vranskog jezera. B. Raljević i M. Borić (1959.g.) izrađuju geološku kartu otoka na kojoj su prikazani dolomiti donjokredne starosti i karbonatne naslage gornjokredne starosti. Hidrološka i limnološka istraživanja radio je M. Petrik (1958.g., 1960.g.) te je hidrološkim obradama i drugim metodama došao do zaključka da je Vransko jezero autohtono jer vodu dobiva samo od mjesnih padalina, a gubi podzemnim putem. Također, M. Petrik je proučavao fizikalne i kemijske karakteristike jezerske vode, a ona su pritom nastavljena i proširena sa istraživanjima iz različitih područja hidrologije u kasnijem razdoblju. Potražnja za istraživanjem Vranskog jezera porasla su nakon perioda od 1982.g. do 1990.g.

kada su srednji godišnji vodostaji pali za 4,29 metara. Stoga, u posjedu imamo radove različitih autora kao što su Teskeredžić i drugi (1990.g.), Biondić i drugi (1993.g.), Rubinić i Ožanić (1992.g.), Bonacci (1993.g. i 1995.g.), Ožanić i Rubinić (1994..g., 1995.g., 1998.g. i 2003.g.), Biodić i drugi (1995.g.), Hertelendi i drugi (1995.g.), Ožanić (1996.g.), Tomec i drugi (1996.g.), Szeroczynska (2002.g.), Kuhta (2004.g.), Habdija i drugi (2011.g.), Lončarić i drugi (2011.g.), Kuhta i Brkić (2013.g.) i mnogi drugi (Magaš, 1965; Bonacci, 2014.).

Od svih provedenih istraživanja, najrjeđa su bila ona biološka. Jedan od prvih istraživača u tom području je bio F. Morton (1933.g.) koji je sastavio listu glavnih predstavnika fitoplanktona i zooplanktona u Vranskom jezeru. Kasnije, W. Nümann (1949.g.) se bavio limnološkim istraživanjem, a Golubić (1961.g., 1962.g.) proučava fitogeni obraštaj od supralitorala do donje granice bentosne autotrofne vegetacije u sublitoralu, problematiku vegetacije jezera i zaštitu od zagađenja. U zadnje vrijeme pažnja se više pridaje analiziranju biološko-ekoloških svojstava jezera, pri čemu se mogu istaknuti Bukvić i sur. (1997.g.) te Tomec i sur. (1996.g., 2002.g., 2003.g.), a u okviru kojih je bila i zadaća utvrđenja strukture mikrofítobentosa kao bitnog čimbenika u metabolizmu jezerskog ekosustava (Tomec, 2003.).

Geološkim promatranjem, otok Cres je dio široko rasprostanjenog krškog područja koji prekriva praktično polovinu teritorija Republike Hrvatske. Najvećim dijelom je sačinjen od karbonatnih okršenih stijena, vapnenaca, i dolomita iz razdoblje krede i eocena, pri čemu je dolomit prevladavajući u litološkom smislu. Na relativno malom površinskom području postoje manje pojave fliških stijena paleogene starosti. U slivu jezera prisutne su i kvartarne naslage u obliku obročnih nasipa i sipara (Slika 2.4.). Na dnu jezera pronađeni su jezerski prašnasti sediment pleistocenske starosti debljine preko 30 m, bujični nanosi i recentni jezerski sediment (Ožanić i Rubinić, 1998. prema Biondić i dr., 1995.). U razumijevanju događaja iz razdoblja kvartara i geneze Vranskog jezera pomažu kvartar naslage, iako su one ograničenog opsega i hidrogeološki beznačajne. Čitavi otok Cres, uključujući i jezero, u strukturno-tektonskom smislu pripada Jadranskoj karbonatnoj platformi (Kuhta, 2004. prema Herak, 1986.). Sastoji se u principu od navlačnih struktura koje su tipične za rubne platforme. Za vrijeme stvaranja postojećih struktura, utjecanj na njih su imala tektonska kretanja te, radi boljeg razumijevanja strukture, nužno je istaknuti nekoliko aktivnih tektonskih faza. Jedne od njih, ujedno i najvažnije, obuhvaćaju one iz tercijarnog razdoblja kada su glavne tangencijalne strukture (prevrnute bore, reverzibilni rasvjedi, preklopljene strukture) nastale zbog utjecaja naprezanja u smjeru sjeveroistok – jugozapad. Opća orijentacija nastalih struktura je u pravcu

sjeverozapad – jugoistok (smjer pružanja pojasa Dinarida) te uzdužna os Vranskog jezera, također, prati navedenu liniju. Provedena cjelovita geološka istraživanja otkrila su da se mlađa tektonska faza, čija karakteristika je promjena smjera naprezanja prema sjeverozapadu, odvijala između kasnog tercijara i sadašnjosti. Neovisno o tome, popratne strukturne promjene nisu bile tako uočljive, starije strukture su rotirane i pomicanе vodoravno. Kako je već spomenuto, u geološkom smislu otokom Cresom prevladavaju karbonatne stijene. Na osnovi hidrogeoloških karakteristika karbonatne stijene se mogu podijeliti u nekoliko kategorija. Nastali vapnenci iz epohe gornje krede i foraminiferski vapnenci iz razdoblja eocena su karstificirani i dobro propusni. Sedimenti sastavljeni od vapnenaca s lećama breče, dolomita i tankoslojnih vapnenaca formirani u epohi donje krede su nešto slabije propusni dok su nisko propusni sedimenti sa prijelaza iz donje u gornju kredu pretežno sastavljeni od dolomita (uostalom su samo nepropusni lokalno prisutni flišni sedimenti). Na takvom terenu stvaranje jezera i slatkovodnog krškog vodonosnika iz kojeg jezero dobiva vodu izazvano je strukturnim položajem slabo propusnih dolomita i fliša koji ne dozvoljavaju ili osjetno usporavaju istjecanje slatke vode prema moru (Kuhta, 2004.).



Slika 2.4. Hidrogeološka karta Vranskog jezera na otoku Cresu (Kuhta, 2004.)

Prema tome, zanimljiva je činjenica kako ovakvo jezero može postojati na otoku sa takvom konfiguracijom terena. Prema geomorfološkim pokazateljima, nastanak jezera datira još od kraja posljednjeg velikog ledenog doba prije oko 10 000 godina kada se voda nakupljala na temelju raspoređenih nepropusnih slojeva i velike slivne površine. Sam proces nastanka

Vranskog jezera predodređen je neotektonskim pokretima koji, kao produkt promjene smjera regionalnih naprezanja, imaju za posljedicu rotaciju i horizontalno pomicanje strukturnih blokova stvorenih u prethodnoj tektonskoj fazi. Zavala u kojoj se nalazi jezero formirana je u zoni proširenja duž reaktiviranog longitudinalnog relaksacijskog rasjeda. Povrh spomenutog, postoje naznake da su najmlađi horizontalni pokreti za posljedicu imali stvaranje lokalnih negativnih cvjetnih struktura ili romboidnih graba („pull-apart“ strukture) na prostoru jezera, što je dovelo daljnjem razvlačenju stijena. S obzirom da su se navedeni tektonski preduvjeti zbivali u posljednjoj tektonskoj fazi, stoji konstatacija da je početak razvoja jezerske zavale završetkom razdoblja tercijara. U vezi postanka Vranskog jezera potrebno je razmotriti regionalne paleografske prilike. Važno je napomenuti da je u geološkoj epohi pleistocen područje današnjeg sjevernog Jadrana bilo kopno na kojem je gospodario nizinski tok rijeke Po. Provedenim podvodnim istraživanjima po najdubljim dijelovima jezera pronađeni su sedimenti pleistocenske starosti čija je debljina dvadesetak metara. Otkriveni sedimenti potvrđuju nastanak jezera već u donjem pleistocenu (period kada je nivo mora bio znatno niži od današnjeg). U tom razdoblju došlo je do izmjene kopnene i jezerske faze pri čemu je jezerska depresija djelovala kao krško polje. Dokaz tome navodi se pojava paleozemnih naslaga unutar sedimenata jezera. U današnji najdublji dio Vranskog jezera voda je došla iz lokalnog sliva i ponirala u podzemlje prema nižim dijelovima terena izvan današnjeg izgleda otoka Cresa. Konačna etapa stvaranja Vranskog jezera odvila se krajem pleistocena, u periodu završetka Würmskog glacijala, nakon čega se razina mora podigla za 100 metara. Povećanje razine mora dovelo je do izdizanja i potiskivanja slatke vode u smjeru nepotopljenog kopna. Snižavanje hidrauličkog gradijenta između jezera i nastale, povišene erozijske baze za posljedicu je imalo slabljenje podzemnog otjecanja i zatvaranje prethodnog sustava drenaže. Depresija se počela puniti vodom i formiralo se današnje Vransko jezero, živi primjer kako i koliko strukturna, litološka i stratigrafska kontrola toka podzemne vode može biti značajna u brzotrujnim okruženjima kao što je dinarski krš (Kuhta, 2004.).

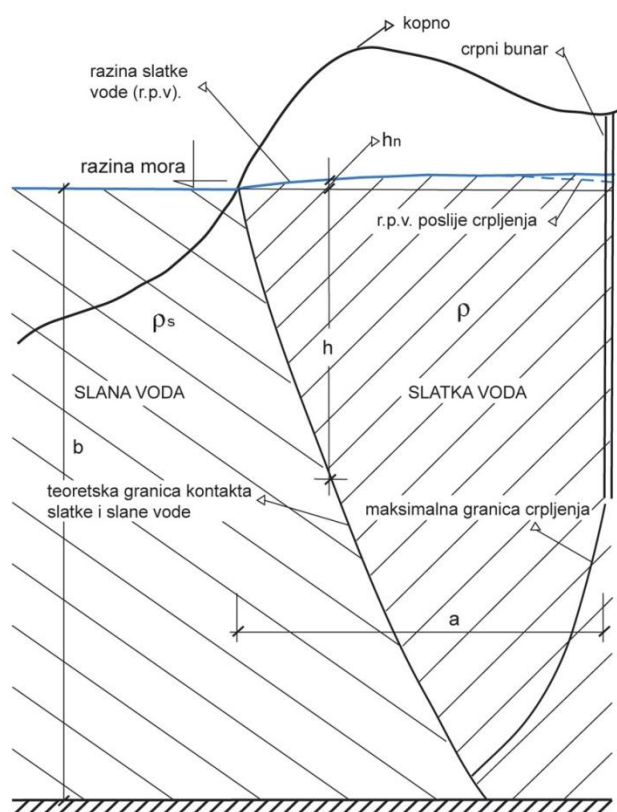
Inače, Vransko jezero je autohtono jer nema stalne površinske pritoke ili izvore koji se ulijevaju u njega, odnosno ponaša se kao samostalna hidrološka jedinica. Detaljna istraživanja dna jezera nisu niti na jednom mjestu pronašla izvor koji bi ukazivao na vodu porijeklom s kopna. Uz pomoć oborina i dotocima iz okolnog krškog vodonosnika osigurava se priljev vode u jezero. Zbog toga što nema vidljivih dotoka prema jezeru ili su oni vrlo slabi, javlja se pitanje podrijetla jezerske vode koje zaokuplja pažnju znanstvenika dugi niz godina. Još od sredine 19.st. vodi se rasprava i pronalaze teorije o načinu prihranjivanja jezera vodom. Posljedično tome, pojavile

su se dvije grupe istraživača koji zagovaraju potpuno drugačije stavove. Prema jednima, Vransko jezero vodu dobiva preko dubokog podzemnog dotoka s kopna koje je udaljeno više od 30 km, a prema drugima, u kojoj spadaju hidrolozi, Vransko jezero se napaja isključivo iz lokalnog otočnog sliva (Kuhta, 2004.). Kasnijim provođenjem određenih hidroloških proračuna, u jezero se slijeva oko 26,5 milijuna m^3 vode izravno putem oborina, površinskim i podzemnim dotokom s okolnog područja. Podzemnim putem je utvrđeno godišnje otjecanje iznosi oko 18 milijuna m^3 vode, a na proces evaporacije godišnje odlazi oko 8,5 milijuna m^3 vode (Institut IGH d.d., 2016.). Na taj se način redovitim i postupnim izmjenjivanjem vode održava ravnoteža jezera sa dotjecanjem i isparavanjem.

Hidraulički uvjeti pri otjecanju iz depresije Vranskog jezera se mijenjaju podizanjem razine mora. Ponovnim punjenjem jezera sa slatkom vodom formira se slatkovodna leća koja se dinamički uravnotežava sa morskom vodom te radi porasta razine dijelom prodire i ulazi u rubne okršene prostore otoka Cresa. Prosječni salinitet jezera je prilično ujednačen i kreće se oko 65 do 70 mg l^{-1} . Time postoji komuniciranje jezera sa podzemnim dijelom akvifera, ali nema stalnih izvora ili površinskih pritoka, izuzev dva manja povremena izvora s najvećom izdašnoću do svega oko 0,005 m^3s^{-1} . Između ostalog, postoje i gubici slatke vode iz Vranskog jezera u pogledu podzemnog pražnjenja. To je dokazano praćenjem priobalnog područja otoka Cresa i uočena su nekoliko mjesta difuznog istjecanja slatke vode na površinu mora (vrulje i priobalni izvori). Od zapaženijih, mogu se istaknuti vrulja Vrutak na zapadnoj obali otoka Cresa čija je izdašnost preko 0,100 m^3s^{-1} i salinitet oko 20 000 mg l^{-1} i priobalni izvor Lukavac na istočnoj obali otoka Cresa sa izdašnošću 0,03 do 0,05 m^3s^{-1} i salinitetom 2000 do 8000 mg l^{-1} . Usporedbe radi, salinitet okolnog mora kreće se oko 23 000 mg l^{-1} . Njihova prisutnost se može povezati s Vranskim jezerom kao potencijalni povlašteni smjerovi njegovog pražnjenja (Ožanić i Rubinić, 1992.).

Većina slatkovodnih jezera se nalaze daleko od obala mora i sama pomisao na utjecaj morske vode na njih i mogućnosti njihovog miješanja je nepojmljiva, ali tu se krije važan problem Vranskog jezera. Budući da se jezero nalazi na otoku čija se širina duž cijele dužine kreće od 2 km do 12 km, udaljenost jezera od mora s jedne i druge strane otoka iznosi samo nekoliko kilometara, konkretno 3 do 5 km (Ožanić i Rubinić, 1992.). U svakom priobalnom krškom vodonosniku dolazi do razdvajanja slatkih i slanih voda pa se prema prirodnim uvjetima mogu razlikovati slatkovodna zona, prijelazna zona ili zona miješanja i slana zona. Slatkovodna zona je uglavnom u praktičnom interesu, ali se ona ne može učinkovito i racionalno koristiti bez

detaljnog poznavanja međuodnosa koji vlada u sve tri navedene zone kako na mjestu planiranog zahvata tako i na širem prostoru, uzimajući u obzir i analizu geneze razvoja izvorišta i samog krškog sustava. Zbog blizine i prirodnih procesa, more nastoji prodrijeti kroz podzemlje u područje jezera, stoga u dubljim slojevima dolazi do miješanja slane i slatke vode te postoji realna opasnost od potpunog uvlačenja morske vode u područje slatke vode. Kako ne bi došlo do navedenog, potreban je odgovarajući sloj slatke vode koji će uslijed pritiska mase samog jezera onemogućiti daljnji prodor mora kroz porozne krške stijene. Sukladno tome, Vransko jezero, kao dio kompleksnog sustava otočnog akvifera, funkcionira na način da se konstantno uspostavlja dinamička ravnoteža mora i slatke vode, odnosno na temelju Ghyben-Herzbergovog zakona (Slika 2.5.). Navedeni zakon definira oblik linije koja razdvaja slatku i slanu vodu u priobalnim područjima za stacionarno stanje. Ghyben-Herzbergov zakon počiva na postavkama da slana voda je u stanju mirovanja i tečenje se odvija bez miješanja slatke i slane vode. Jednadžba se zasniva na hidrostatskom zakonu i odnosu gustoće slatke i morske vode te zakon konstatira da leća slatke vode stoji iznad morske vode jer posjeduje manju gustoću.



$$\frac{h}{h_n} = \frac{\rho_s}{(\rho_s - \rho)}$$

odnosno:

$$h = \frac{\rho_s}{(\rho_s - \rho)} \cdot h_n \cong \delta \cdot h_n$$

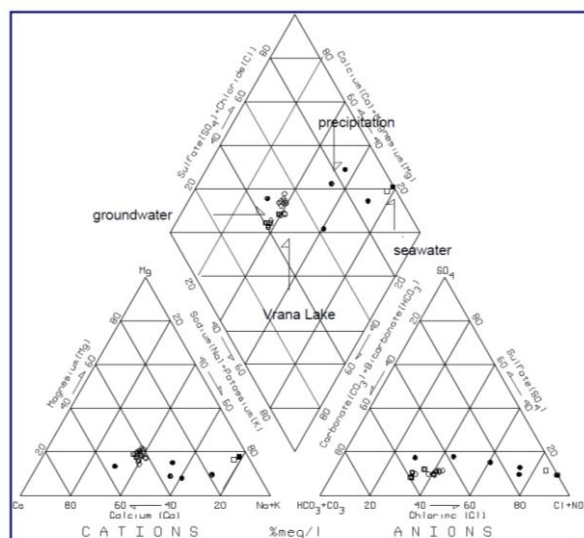
- h – dubina slatke vode ispod razine mora
- h_n – visina slatke vode iznad razine mora
- ρ – gustoća slatke vode ($\approx 1000 \text{ kg/m}^3$)
- ρ_s – gustoća morske vode ($\approx 1025 \text{ kg/m}^3$)
- δ – odnos gustoća slane vode i razlike gustoća slane i slatke vode

Slika 2.5. Odnos slatke i slane vode u slučaju hidrostatskog zakona (Rubinić, 2021.)

Na temelju Ghyben-Herzbergovog zakona dolazi se do zaključka da se uzdizanje slane vode ispod razine mora h ovisi o nadvišenju slatke vode iznad razine mora, to jest o obliku vodnog lica. Odnos slatke i slane vode (h/h_n) je obično stalan i kreće se u granicama od 28 do 42 (najčešće od 36 do 40). Iz priloženog se onda može odrediti da na svaki metar nadvišenja slatke vode iznad razine mora dolazi 40 metara slatke vode ispod te razine.

Međutim, iz ovoga proizlazi teškoća i najveća briga u pogledu razine vode u Vranskom jezeru za njegov opstanak i budućnost. Ukoliko bi se snizilo nadvišenje vodnog lica iznad morske razine uslijed crpljenja vode iz jezera ili ukoliko bi nastupilo prekomjerno opadanje vodostaja jezera i pritiska vode zbog dugotrajnog sušnog razdoblja uslijedilo bi uzdizanje morske vode čime bi nastupio negativan utjecaj na međuodnos slane i slatke vode u podzemlju, odnosno do prodora mora u leću slatke vode i zaslanjivanja jezera. Uz to, problem se povećao širenjem vodovoda i kapaciteta crpne postaje te su se u jednom periodu potraživale veće količine pitke vode dovevši do precrpljivanja vode iz jezera. Iz toga su proizašla pitanja maksimalne dopustive količine vode koje se smiju crpiti pazeći pritom da se razina vode ne spusti ispod kritične točke. Pod pretpostavkom da se to dogodi, doći će do narušavanja prirodne ravnoteže jezera čime bi stanovnici otoka ostali bez vode za piće, a vodocrpilište bi se zatvorilo. Vransko jezero bi postalo slano i razina vode u jezeru bi se izjednačila sa razinom Jadranskog mora, ali vodostaj jezera ipak ne bi bio fiksiran jer su količine oborina i pritjecanje vode sa slivnog područja te evaporacija i druge veličine promjenljive. Na primjer, problemi funkcioniranja režima i održivosti Vranskog jezera u uvjetima crpljenja za vodoopskrbu počeli su se javljati krajem 1980-ih godina. Tada je zabilježen minimalni vodostaj od 9,11 metara i izraziti trend opadanja razine vode od 48 cm godišnje tijekom razdoblja od 1985.g. do 1990.g. (Kuhta, 2004.; Ožanić i Rubinić, 1992.). Postavljala su se pitanja o daljnjem korištenju vode zbog bojazni od prodora slane vode u jezero. Posljedično su se započela iscrpna istraživanja (hidrološka, geološka, geodetska, biološka,...) koja su dovela do novih spoznaja o Vranskom jezeru i njegovih karakteristika (Ožanić i Rubinić, 1992.).

Mineralizacija vode Vranskog jezera je u veličinama karakterističnim za slatku vodu, a prema geokemijskom obliku je miješanog tipa, to jest, $\text{CaNa-HCO}_3\text{Cl}$ do $\text{NaCaHCO}_3\text{Cl}$ tipa zbog postotnih udjela (ekvivalentnih odnosa) pojedinih kationa (Slika 2.6.). Proizlazi da je geokemijski tip vode Vranskog jezera posljedica učinaka sastava marinskih padalina, sastava podzemnih voda iz njegovog sliva, evaporacije sa površine jezera i hidrodinamičke veze sa morem (Curać, 2018.).



Slika 2.6. Piperov dijagram Vranskog jezera na otoku Cresu (Curać, 2018. prema Kapelj, 1997., Biondić et al., 1997.)

Analizirajući stupanj biološke proizvodnje nekog vodnog sustava zaključilo se da ovisi o trofikaciji, to jest raspoloživoj hrani. Još je švedski botaničar i limnolog Einar Naumann 1919.g. klasificirao kakvoću otvorenih vodotoka i jezera po stupnju biološke proizvodnje. Indikatori biološke proizvodnje, odnosno stupnja trofije su ukupan fosfor, klorofil, broj stanica, organska proizvodnja i prozirnost. Uspoređujući navedene pokazatelje te njihove pojedinačne vrijednosti i međudnose, dobiva se stupanj trofije. Podijeljeni su redom kako proces degradacije kakvoće vode nastupa, od ultraoligotrofne, oligotrofne, mezotrofne pa sve do eutrofne i hipertrofne. Primarna razlika između oligotrofnih i eutrofnih voda je u količini hranjivih tvari. Eutrofne vode su bogate hranjivim tvarima i pod njih se podrazumijevaju plitka i toplija jezera zelenkaste boje te siromašna kisikom. Velike količine fosfornih i dušičnih spojeva pospješuju bujanje zooplanktona, fitoplanktona, algi i biljaka cvjetnica koji onda predstavljaju hranu vodenim organizmima i omogućuju njihov porast. Oligotrofne vode su siromašne hranjivim tvarima i tu spadaju duboka, hladna, prozračna i čista jezera. Među njima pripada i Vransko jezero. Kod njih ne dolazi do bujanja planktona i samim time do pretjeranog razvoja i kasnijeg raspadanja životinjskih organizama. Odlikuje ga niska produkcija organske tvari zbog malih količina nutrijenata. Vransko jezero posjeduje koncentraciju hranjivih soli dušika manju od 0,01 mg/l, a koncentraciju hranjivih soli fosfora manju od 0,4 mg/l (Curac, 2018.). Posljedica oligotrofnih voda je veća količina otopljenog kisika u vodi koja iznosi 11 mg/l (<https://geografija.hr/vransko-jezero-jedinstven-prirodnogeografski-fenomen-na-otoku-cresu/>, 2023.) i velika prozirnost koja, u slučaju Vranskog jezera, iznosi od 10 do 24 metara (Petrik, 1960.) što ga svrstava među najprozirnijim jezerima u Hrvatskoj.

U prošlosti, vrlo bitnu ulogu za odvijanje života na otoku Cresu su imali bunari, njih desetak, te lokve u blizini mjesta koje su se redovno održavale i bile ograđene od životinja. Bunari su danas većinom zapušteni, a preostale lokve se koriste za napajanje stoke. Prije su čak i neki izvori korišteni za opskrbu. Najizdašniji među njima su bili oni u Piskelu na južnom rubu Creske luke i opskrbljivao je grad Cres te vrelo Funtana na jugu otoka, u blizini uvale Jadrišćica (<https://geografija.hr/vransko-jezero-jedinstven-prirodnogeografski-fenomen-na-otoku-cresu/>, 2023.). S činjenicom što je Vransko jezero oligotrofno, voda iz jezera je čista i izvrsne kakvoće te se može koristiti kao izvor pitke vode. Toliko je čista da nije potrebna nikakva prerada niti dodatna tretiranja, kao npr. procese kondicioniranja i filtriranja jer gotovo da u svom sastavu nema bakterija. Koristi se samo proces dezinfekcije vode, u vidu korištenja klor dioksida za primarnu dezinfekciju nakon crpljenja vode iz jezera i natrijevog hipoklorita za dokloriranje u vodospremama. Osim toga, oko jezera nema većih naselja, industrije ili bilo kojih drugih izvora zagađenja već se voda kroz samo podzemlje filtrira i ulazi u jezero (<https://www.viocl.hr/kvaliteta-vode-za-pice>, 2023).

Još i prije samog vodovoda, ljudi iz bližih naselja su koristili vodu iz jezera za piće noseći je u zemljanim loncima ili drvenim bačvicama i za napajanje stoke. Za vrijeme austrijske i talijanske uprave razvile su se prve konkretne ideje vezane za izgradnju vodoopskrbnog sustava. Realizacija je započela nakon Drugog svjetskog rata 1946.g. izvedbom stare pumpne stanice (Slika 2.7. i Slika 2.8.) kapaciteta 25 l/s na istočnoj strani jezera, a prvi su vodu dobili mještani Orleca 1952.g., a godinu kasnije mještani grada Cresa. Slijedeći su vodu 1955.g. dobili Belej, zatim Osor i Nerezine 1959.g., Mali Lošinj 1960.g. i na kraju 1963.g. Veli Lošinj. Uslijed povišene potrošnje vode na otoku Lošinju kapacitet crpne pumpe je povećan 1968.g. dodavanjem još jednog crpnog agregata od 80 l/s (<https://www.viocl.hr/djelatnosti/vodoopskrba/vodoopskrbni-sustav-2>, 2024.).



Slika 2.7. Stara crpna stanica na Vranskom jezeru na Cresu (izradio autor)



Slika 2.8. Unutrašnjost stare crpne stanice (izradio autor)

S obzirom da s vremenom to nije zadovoljilo povećane potrebe za vodom, 1983.g. se krenulo u izgradnju nove crpne postaje (Slika 2.9. i Slika 2.10.) projektiranog kapaciteta 5x87,5 l/s koja je s radom započela 1987.g. Crpljenja na staroj crpnoj stanici su prekinuta u IX. mjesecu 1989.g. zbog zabilježenih niskih vodostaja jezera koja se prije nisu događala te od tada crpljenje vode iz jezera u potpunosti se izvodi na novoj crpnoj stanici. Godine 2015. crpna stanica je prošla proces temeljite rekonstrukcije sa uključenom obnovom građevinskih elemenata vodozahvatnih komora crpne stanice i ugrađene elektrostrojarske opreme (Damijanjević, 2022.). Od 1967.g. započelo je praćenje evidencije crpljenih količina vode zbog kontrole i racionalnog korištenja. Primjera radi, zaključno sa 1997.g. godišnje količine crpljenja iznosile su do otprilike 2 300 000 m³ (Ožanić i Rubinić, 1992.), a prema podacima društva Vodoopskrba i odvodnja Cres Lošinj d.o.o. godišnje se prosječno za stanovnike otoka

Cresa i Lošinja iskoristi oko 1 500 000 m³ vode iz Vranskog jezera, od kojih trećina samo otpada na otok Cres.



Slika 2.9. Današnja crpna stanica na Vranskom jezeru na Cresu (izradio autor)

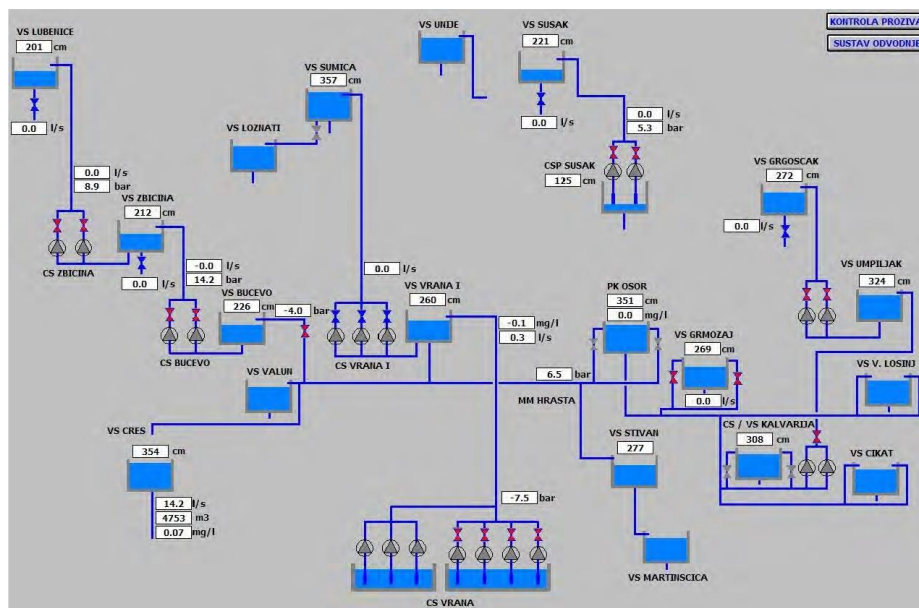


Slika 2.10. Unutrašnjost crpne stanice na Vranskom jezeru na Cresu (izradio autor)

Kako je Vransko jezero jedini izvor pitke vode na otoku Cresu, ono se prema Pravilniku o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite (NN 66/11) nalazi unutar I. zone sanitarne zaštite (zona strogog režima zaštite i nadzora) što znači da je pristup jezeru strogo zabranjen, osim službenim djelatnicima društva Vodoopskrba i odvodnja Cres Lošinj d.o.o. i ljudima sa propusnicima. Štetne posljedice od stanovnika u selima smještenih u njegovom slivu su zanemarive jer je područje slabo naseljeno pa nema ni velikih gospodarskih aktivnosti koje bi mogle negativno opteretiti sliv i kakvoću vode. Međutim, najveća opasnost prijeti od glavne i vrlo prometne otočne ceste koja povezuje Cres i Lošinj te prolazi rubnim dijelovima slivnog

područja. Ograđena je betonskim blokovima u cijeloj dionici prolaska kroz slivno područje jezera i izveden je zatvoreni sustav odvodnje kojim se oborine i onečišćenja slijevaju prema separatorima i bazenima izgrađenim uz cestu. Njihovim prisustvom se nastoji spriječiti opasnost od mogućih izlivanja nafte, ulja ili masti kako kroz podzemlje ne bi došli do samog jezera i izazvali nesagledive posljedice. Bojazan izaziva i pojačano crpljenje vode u ljetnom razdoblju uslijed turističke sezone pri čemu ono mijenja dinamiku dotoka vode u jezero, a s time i potencijalna zagađenja, uz mogućnost stvaranja novih kritičnih puteva onečišćavanja.

Današnji vodoopskrbni sustav (Slika 2.11.) snabdijeva gotovo cjelokupno stanovništvo otoka Cresa i Lošinja, priključeno je njih 96%. Uključuje ukupno oko 80 kilometara transportnih cjevovoda, oko 130 kilometara vodovodne mreže, 7 crpnih postaja i 24 vodospreme volumena otprilike 16 500 m³. Između njih prednjače vodospreme Čikat (4000 m³), Vrana I (3500 m³) i Cres (2850 m³). Voda se iz crpilišta uz jezero odvodi do dvije vodospreme koje se nalaze na nadmorskoj visini od 220 metara, odakle se transportira putem dva glavna dobavna ogranka, sjevernim do grada Cresa i južnim do Velog Lošinja. Sjeverni ogranak dužine oko 17 kilometara dovodi vodu naseljima Valun, Zbičina, Pernat, Lubenice i, zaključno, gradu Cresu. Južni ogranak dužine oko 45 kilometara opskrbljuje direktno naselja Vrana, Belej, Ostrine, Osor, Nerezine, Sveti Jakov, Čunski i Mali Lošinj, sa još nadovezanim ograncima za Stivan, Miholašćicu, Martinšćicu i Punta Križu. U sklopu spomenutih vodosprema na crpilištu, nalaze se tri crpna agregata koja, preko vodospreme na nadmorskoj visini 310 metara, opskrbljuju naselja Orlec, Krčina i Loznati vodom. Na godišnjoj razini prosječni gubici na cijelom sustavu javne vodoopskrbe iznose oko 32%. Ostala mjesta na otoku Cresu kao što su Pernat, Porozina, Filozići, Dragozetići, Beli, Sv. Petar, Predošćica, Vodice, Merag, Podol, Vidovići, Verin i Zabodarski nisu uključena u sustav vodoopskrbe već se pitka voda, po potrebi, dovodi autocisternama. Izvedbom podmorskog cjevovoda 2013.g., vodoopskrbni sustav se proširio do otoka Ilovika spajanjem na južni ogranak iz smjera Malog Lošinja. Na otoke Susak (vodu isto dobiva i desalinizacijom mora), Unije, Vele i Male Srakane voda se doprema vodonoscem pri čemu je na Susku izvedena hidrantska mreža s vodospremom i crpnom stanicom koja prihvaća vodu sa vodonosca i šalje u vodospremu (Institut IGH d.d., 2016.).



te je bila bogata i zla, a druga je bila siromašna i živjela je u malenoj kućici, u blizini. Uz to, bogata sestra je bila i vrlo pohlepna, otimala je sestrine zemlje i ponašala se nehumano prema seljacima. Kako bi siromašna sestra preživjela i hranila svoju obitelj, radila je u dvorcu tako što je mijesila kruh na pregači od ovčje kože. Od komadića tijesta koji bi ostali na pregači odnosila bi kući i mijesila mali kruh za svoju djecu. Jednog dana, na vrata kuće je pokucao siromah moleći komadić kruha. Siromašna sestra je od malenog kruha otrgnula komadić i udijelila siromahu. U tom momentu, kruh je postao velika pogača, a voda u bačvi najbolje vino. Siromah joj je poručio kako mora s djecom odmah napustiti polje jer će bogata sestra, zbog svog ponašanja, biti kažnjena. Sustigla ju je Božja kazna u vidu potresa i poplava koje su potom uslijedile. Porušeni i poplavljeni dvorac završio je na dnu novonastalog jezera. Prema nekim pričama njegovi ostaci se i dalje nalaze na dnu te se samo ponekad, za vrijeme olujnih noći, iz dubina može čuti zvonjava, a ribarima stvara probleme jer mreže zapinju za njegove krovove.

3. PODACI I METODOLOGIJA

3.1. Podaci

Za analiziranje bilo kakvih vodnih i meteoroloških pokazatelja potrebni su podaci sa mjernih postaja koje kontinuirano prate i bilježe promjene u određenom vodnom sustavu. Monitoring praćenja hidroloških i meteoroloških podataka provodi Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ). Za slučaj Vranskog jezera na otoku Cresu koristili su se podaci sa klimatološke postaje Cres, automatske klimatološke postaje Vransko jezero – Cres, hidroloških postaja Vrana – Stanić i C.P. Vrana te mareografske postaje Martinšćica. Njihov smještaj prikazan je na Slici 3.1.1.



Slika 3.1.1. Položaj svih mjernih postaja na otoku Cresu

(<https://www.google.com/maps/@44.8718945,14.3823337,32526m/data=!3m1!1e3?authuser=0&entry=ttu>, 2024)

KLIMATOLOŠKA POSTAJA CRES

Klimatološka postaja Cres smještena je na području grada Cresa, na 44°57'17" N geografske širine i 14°24'52" E geografske dužine. Nalazi se na nadmorskoj visini od 5 metara nad morem. Sama meteorološka povijest ovoga područja datira još od 1909.g. kada je osnovana kišomjerna postaja Cres. U razdoblju nakon završetka Prvog svjetskog rata i uspostavom službene talijanske uprave Rapallskim ugovorom 1920.g. pa sve do početka Drugog svjetskog rata na ovim prostorima formirane su još nove kišomjerne stanice, raspoređene bliže Vranskom jezeru (Lubenice, Belej, Vrana – Stanić, Osor, Štivan). Drugi svjetski rat je doprineo prekid praćenja

meteoroloških pokazatelja, a 1952.g. obnovom rada postaja Cres i Osor nastavila su se mjerenja do danas, pri čemu je postaja Cres postala klimatološka (GEO-5, 2022.).

AUTOMATSKA KLIMATOLOŠKA POSTAJA VRANSKO JEZERO – CRES

U funkciji je od 01.07.2019.g. i stacionirana je unutar sliva Vranskog jezera (Slika 3.1.2.), na koordinatama 44°51'30" N geografske širine i 14°24'8" E geografske dužine. Nadležnost nad njome, kao i nad klimatološkoj postaji Cres, je u DHMZ-u. Smještena je na nadmorskoj visini od 242 metara (GEO-5, 2022. prema www.meteo.hr, 2022.).



Slika 3.1.2. Automatska klimatološka postaja Vransko jezero-Cres (izradio autor)

Neposredno uz Vransko jezero i C.P. Vrana, 01.11.2020.g. je postavljen isparitelj klase A (Slika 3.1.3.) čime je dovršena automatska klimatološka postaja na tom području.



Slika 3.1.3. Automatski isparitelj klase A na lokaciji Vransko jezero-Cres (izradio autor)

Njezinim osnivanjem omogućuje se praćenje nekoliko meteoroloških pokazatelja kao što su oborine, temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, isparavanje, smjer i brzina vjetrova i sunčevo zračenje. Još od 1978.g. na mjestu uz C.P. Vrana djelovala je oborinska postaja Vrana – jezero koja je u svom vijeku trajanja jednim dijelom funkcionirala kao klimatološka postaja, uz posjedovanje isparitelja (JVP Labin, 1991.). Nakon ukidanja i otvorenja nove postaje na obronku Vranskog jezera, premješteni su svi uređaji za mjerenje, osim kišomjera (Slika 3.1.4.) koji već dulji niz godina djeluje i dalje kao interna kišomjerna postaja uz Vransko jezero (GEO-5, 2022.).



Slika 3.1.4. Kišomjer uz Vransko jezero (izradio autor)

HIDROLOŠKA POSTAJA VRANA – STANIĆ

Hidrološka postaja Vrana – Stanić osnovana je 1926.g. u selu Stanić, ispod sela Vrana, u vremenu dok je otok Cres bio pod upravom Kraljevine Italije, a tad je postavljen i vodokaz s kojim se počelo praćenje vodostaja Vranskog jezera. Međutim, podaci su sačuvani tek od svibnja 1928.g. kada je upostavljen limnigraf (Vodoprivredno-projektni biro d.d., 2021.). Nakon kapitulacije Italije 08.09.1943. godine, prekidaju se sva mjerenja koja su bila pod nadzorom Organizacije talijanske hidro-meteorološke službe. Zahvaljujući dobroj volji tadašnjeg motritelja, praćenje vodostaja se nastavilo do obnove postaje 1949. godine kada nadležnost prelazi na Upravu hidrometeorološke službe, kasnije Republički hidrometeorološki zavod (RHMZ) (JVP, Labin, 1991.). Postaja je ponovno upostavljena 12.09.1962.g. i

obnovljen je stari vodokaz sa istom kotom nule. Godina 1977. predstavlja završnu godinu mjerenja vodostaja nakon čega mjerenja preuzima hidrološka postaja C.P. Vrana. Naposljetku, zbog starosti motriteljice, postaja Vrana – Stanić je i službeno ukinuta 31.12.1984.g. (Vodoprivredno-projektni biro d.d., 2021.).

C.P. VRANA

U vremenu dok je hidrološka postaja Stanić funkcionirala zbog blizine motriteljeve kuće, 18.09.1948.g. od strane Republičkog hidrometeorološkog zavoda vodokazna letva je premještena kod stare crpne postaje sa istom kotom nule vodokaza. Godine 1954. promijenjena je kota nule vodokaza na "0" = 11,05 metara nad morem. Postavljanjem nove vodokazne letve s kotom "0" = 8.82 metara nad morem ispod crpne postaje, instalirana je nova hidrološka postaja C.P. Vrana (Slika 3.1.5.) 25.11.1977. godine opremljena limnigrafom. U pogon je puštena 01.01.1978.g. za mjerenje vodostaja, a poslije godinu dana je krenulo praćenje temperature vode. Potkraj 1980-tih godina, Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice iz Splita (danas Hrvatski hidrografski institut) dobio je zadatak provjere kote vodokaznih letava C.P. Vrana i nekadašnje stanice Vrana – Stanić. Istraživanjem je tada utvrđeno da na C.P. Vrana kota "0" vodokaza iznosi 8,76 metara nadmorske visine što je manje od početne vrijednosti na kojoj je postavljena, a na Vrana – Stanić kota "0" vodokaza 10,99 metara nadmorske visine (prihvaćeno je mišljenje da zbog ukidanja i neodržavanja postaje vodokazna letva uslijed muljevitog terena potonula). Kasnije, 19.12.2008. godine, uslijed urušavanja obale jezera, vodokaz se srušio i postavljen je novi, pomoćni privremeni vodokaz, s kotom nule "0" = 9.25 metara nad morem. Sa ciljem lakšeg praćenja razine vode, 10.05.2011. godine se izvršila rekonstrukcija vodokaza. Kota "0" vodokaza postavljena je na 0.00 metara nad morem te se očitavanja vodostaja vrše u apsolutnim vrijednostima, ali za unos u HIS sustav podaci se preračunavaju na prethodnu kotu 9.25 metara nad morem i unose kao relevantni (Vodoprivredno-projektni biro d.d., 2021.).



Slika 3.1.5. Hidrološka postaja C.P. Vrana (izradio autor)

Slijedom mijenjanja kote nule vodokaza, postoje tri razdoblja mjerenja vodostaja, samim time izmjereni ekstremi za svaki period. U razdoblju od 1978.g. do 1986.g. ("0" = 8.82 m n.m.) minimalni vodostaj je zabilježen 31.12.1986.g. sa iznosom od 275 cm, a maksimalni 19.01.1982.g. sa iznosom od 561 cm. Period od 1987.g. do 2008.g. ("0" = 8.76 m n.m.) imao je najniži vodostaj 18.10.1990.g. od 35 cm, a najviši vodostaj 25.01.1997.g. od 409 cm. U vremenu od 2009.g. do danas ("0" = 9.25 m n.m.) maksimalni vodostaj je izmjeren 28.12.2014.g. u iznosu od 344 cm, a minimalni vodostaj je izmjeren 10.10.2012. u iznosu od -20 cm. Što se tiče temperature vode, mjerenja su se vršila od 1979.g. do 2000.g. kada se dogodio prekid u bilježenju podataka te se ponovno uspostavilo 2002.g. sa trajanjem do danas. U tom periodu izmjerena je minimalna temperatura u iznosu 3.8 °C, 17.02.2012.g., i maksimalna temperatura 28.2 °C, 04.08.2017.g. (<https://hidro.dhz.hr/>, 2023.)

MAREOGRAFSKA POSTAJA MARTINŠĆICA

Mareografska postaja Martinšćica (Slika 3.1.6.) smještena je u istoimenom, drugom po veličini, mjestu na zapadnom dijelu otoka Cresa. Osnovana je od strane DHMZ-a 01.11.1990.g. na priobalnoj morskoj strani kako bi se moglo pratiti kolebanje razine mora, a prema tipu, postaja je limnografska. Kota nule vodokazne letve se nalazi na 0,000 metara nadmorske razine. U svom dosadašnjem tridesetjednogodišnjem radu zabilježila je minimalnu razinu mora od -

45 cm koja se dogodila 29.01.1994.g. i maksimalnu razinu od 137 cm 01.11.2012.g. (<https://hidro.dhz.hr/>, 2023.).



Slika 3.1.6. Mareografska postaja Martinšćica (izadio autor)

3.2. Metodologija

Na početku svakog znanstvenog ili istraživačkog rada u kojima se analiziraju hidrološki procesi, u što se podrazumijevaju npr. oborine, temperature, vodostaji ili oborine, namjera je sakupiti što je moguće veću količinu izmjerenih hidroloških i klimatoloških podataka kako bi konačni rezultati bili sigurniji, pouzdaniji i vjerodostojniji. Nakon što je prikupljena dovoljna količina podataka za početak proučavanja kreće se u provođenje statističke obrade u cilju dobivanja ograničenog broja rezultata na temelju kojih se otkriva veliki broj informacija o analiziranom vremenskom nizu podataka. Međutim, radi pravilne provedbe statističke obrade, hidrološki i meteorološki podaci moraju ispuniti određene uvjete. Ti uvjeti podrazumijevaju da članovi niza moraju biti slučajne varijable i međusobno neovisni, niz mora biti homogen i dovoljno dug te članovi niza moraju biti stacionarni. Ako jedan od uvjeta nije ispunjen, odnosno ne zadovoljava, cijeli niz se odbacuje ili se obrađuje, pri čemu na početku iznošenja rezultata analiza mora biti istaknuta obavezna napomena.

Općenito, statistička metoda je znanstvena metoda koja se bavi prikupljanjem, analizom i tumačenjem podataka različitih vrsta, a mogu se podijeliti na deskriptivne i inferencijalne. Osnovna ideja njezine primjene je donošenje suda o osobitostima promatranih pojava, ispitivanje različitih pretpostavki, procjena karakterističnih veličina te odabir statističkih

modela koji generiraju pojave i predviđanje pojava (Ožanić, 2017.). Konkretno, u hidrologiji, osnovna statistička obrada podataka obuhvaća određivanje karakterističnih statističkih pokazatelja vremenskih serija hidroloških i klimatoloških podataka, u što spadaju ekstremne vrijednosti (maksimum i minimum), aritmetičke sredine, standardne devijacije ili odstupanja, koeficijenti varijacije i asimetrije. Za potrebe ovoga rada analizirani su svi spomenuti parametri, osim koeficijenta asimetrije.

Ekstremne vrijednosti, u pogledu minimalnih i maksimalnih vrijednosti, određuju se na temelju najmanjih, odnosno najvećih vrijednosti pojedinih mjesečnih ili godišnjih podataka u nekom uzorku.

Aritmetička sredina ili prosjek (oznaka $\bar{x}$) je srednja vrijednost koja se dobiva dijeljenjem sume svih podataka s ukupnim brojem podataka u uzorku. Ukoliko neki određeni niz izgleda kao slijedeći primjer (1):

$$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n \quad (1)$$

aritmetička sredina je prikazana slijedećim izrazom (2) koji predstavlja prvi centralni moment (Sušanj, 2017.):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_i + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2)$$

gdje su: n – broj članova niza broj članova niza
 x_i – i-ti član niza

Standardna devijacija ili standardno odstupanje (oznaka σ) je prosječno srednje kvadratno odstupanje numeričkih vrijednosti neke veličine $x_1, x_2, \dots, x_n$ od njihove aritmetičke sredine $\bar{x}$. Ukratko, označava mjeru raspršenosti podataka u skupu. Upotrebljava se kao standard za mjerenje varijabilnosti niza i koristi kao mjera rasprostranjenosti članova niza podataka od prosječne vrijednosti. U slučaju da je standardna devijacija, nakon provedbe proračuna mala, aritmetička sredina dobro predstavlja rezultate. Ona označava drugi korijen iz varijance, a varijanca ili srednje kvadratno odstupanje predstavlja sumu kvadrata odstupanja svakog člana niza x_i od aritmetičke sredine niza pomnožene s odgovarajućom učestalosti te podijeljenu sa

brojem elemenata uzorka. Za izračun standardne devijacije koristi se slijedeća formula (3) (Žugaj, 2000.):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n f_i (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3)$$

gdje su: N – ukupna broj podataka

f_i – učestalost

x_i – i-ti član niza

$\bar{x}$ – aritmetička sredina

Koeficijent varijacije (oznaka c_v) je omjer između vrijednosti standardne devijacije i aritmetičke sredine promatranog niza podataka. Upotrebljava se za bezdimenzionalno izražavanje mjere rasprostranjenosti niza, odnosno disperzije niza. Koeficijent varijacije se računa prema izrazu (4) (Žugaj, 2000.):

$$c_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}, \quad (4)$$

gdje su: σ – iznos standardne devijacije ili odstupanja

$\bar{x}$ – aritmetička sredina

Trend je padajuće ili rastuće usmjeravanje u vremenskim nizovima. To je sustavna i neprekinuta pojava koja obuhvaća cijeli vremenski niz, isključujući periodične ili gotovo periodične promjene (Žugaj, 2000.). Izračunava se metodom najmanjih kvadrata odstupanja pa onda jednadžba linearnog trenda glasi (5) (Sušanj, 2017.):

$$x - \bar{x} = \frac{\sum (\Delta x_i * \Delta y_i)}{\sum (\Delta y_i)^2} (y - \bar{y}), \quad (5)$$

gdje su: x_i, y_i – koordinate i-te točke

$\bar{x}, \bar{y}$ – srednje vrijednosti koordinata

Na nekim hidrološkim ili meteorološkim postajama je moguće da nedostaju izmjereni podaci zbog različitih razloga, od kvarova postaja do razdoblja ratova. Prema tome, za provedbu hidroloških obrada, nedostajajući podaci sa postaja se mogu upotpuniti sa podacima

izmjerenim na drugim hidrološkim ili meteoroloških postajama, s time da one moraju biti unutar analiziranog sliva ili sa susjednih slivova, metodom korelacije. Korelacija je odnos ili međuovisnost dviju mjerljivih varijabli (Žugaj, 2000.). Korelacijskim analizama dobiva se statička ovisnost između slučajnih varijabli u različitim točkama, tj. ispituje se stupanj povezanosti dviju varijabli. Njome razmatrani statistički niz predstavljen parovima vrijednosti (x_i, y_i) se prikazuje grafički te se iz njega može otkriti kakva je čvrstina veze među parovima vrijednosti. Za predočavanje korelacije koriste se mjere, a najčešće korištena među njima je koeficijent korelacije. Koeficijent korelacije (oznaka r) mjeri jačinu odnosa između dviju varijabli i izražava njihov linearni odnos. Postoje različiti koeficijenti korelacije, a obično se koristi Pearsonov koeficijent korelacije (6) (Caren, 2021.):

$$r_{jk} = \frac{cov_{jk}}{s_j s_k} \quad (6)$$

gdje su: r_{jk} – koeficijent korelacije
 cov_{jk} – kovarijanca dviju varijabli
 s_j, s_k – standardne devijacije pojedinih varijabli

Vrijednost korelacijskih koeficijenata se kreće u rasponu od -1 do +1. Ako je koeficijent korelacije blizu +1, to znači da je korelacija pozitivna i tada varijable j i k imaju jaku pozitivnu korelaciju. U tom slučaju, porastom vrijednosti varijable j raste i vrijednost varijable k . Ako je koeficijent korelacije blizu -1, korelacija je negativna i varijable j i k imaju jaku negativnu korelaciju. Tada je situacija obrnuta, s porastom vrijednosti varijable j , vrijednosti varijable k opadaju (Caren, 2021. prema Posavec i Škudar, 2016.). Vrijednosti dobivenih korelacijskih koeficijenata se svrstavaju s obzirom na kriterij ocjene korelacijskih veza na slijedeći način (Žugaj, 2000.):

- za $r = \pm 1$ korelacijska veza je čvrsta i odnos je potpuno definiran linearnom funkcijom
- za $|1| > r > |0,75|$ korelacijska veza je relativno čvrsta
- za $|0,75| > r > |0,50|$ korelacijska veza je slaba
- za $r < |0,50|$ ne postoji značajna korelacijska veza, odnos tek naznačen i obično nema praktične vrijednosti za daljnje

proračune

Korišćenje koeficijenata korelacije u hidrologiji je poželjno ako je apsolutna vrijednost r veća od 0,70. Uslijed analiziranja manjih regionalnih područja i prirode hidroloških pojava, većinom je linearnost znatno izražena.

Učestalost je broj pojavljivanja neke vrijednosti slučajne varijable u nekom određenom razdoblju opažanja, odnosno broj koji pokazuje koliko puta se određena varijabla pojavila umutar nekoga skupa. Ukoliko se broj pojavljivanja neke učestalosti podijeli s ukupnim brojem pojava, dobiva se relativna učestalost. Grafički prikaz učestalosti se zove raspodjela učestalosti ili histogram. Učestalost pojavljivanja može se aproksimirati neprekidnom krivuljom koja se zove krivulja učestalosti. Postoji i zbrojna učestalost neke vrijednosti te ona označava zbroj učestalosti svih vrijednosti manjih ili jednakih toj vrijednosti ili obrnuto i predstavlja trajnost (Ožanić, 2017.; Sušan, 2017.).

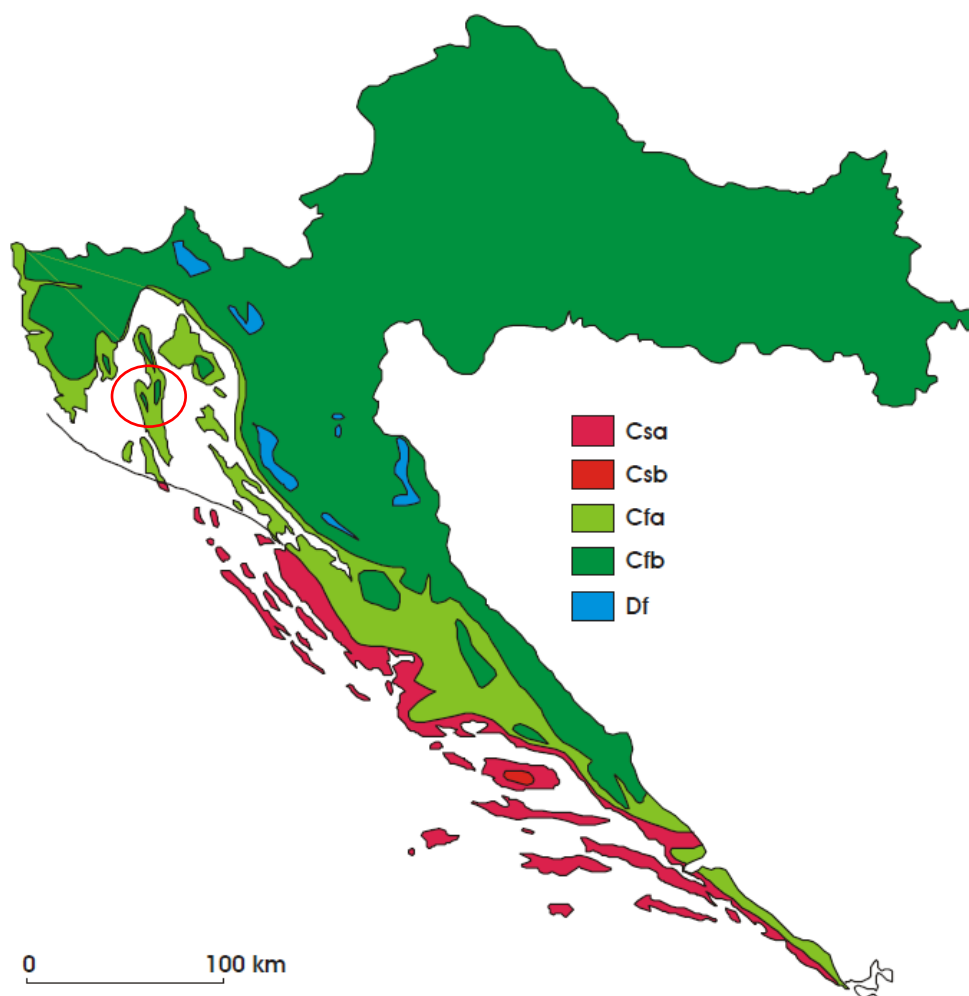
4. KLIMATSKE PRILIKE

Iako su nekada činili jedan otok, a danas su razdvojeni kanalom u mjestu Osor za kojeg se vjeruje da je prokopan još u rimskom dobu na mjestu nekadašnje prevlake, Cresko-lošinjsko otočje sa nekoliko pripadajućim otocima nalazi se u sredini Zemljine sjeverne polutke ili hemisfere jer kroz njegov dio prolazi 45. stupanj sjeverne geografske širine. S time se može potvrditi da je veći dio otočja smješten u suptropskoj zoni južne polovice sjeverne hemisfere. Na otoku Cresu se mogu pronaći dvije klime sličnog tipa. Zbog nešto većih nadmorskih visina u sjevernom dijelu otoka zastupljena je submediteranska klima koju odlikuju razmjerno niže temperature u zimskim mjesecima i znatno veća količina proljetnih, jesenskih i zimskih oborina. U srednjem i južnom dijelu otoka Cresa te otoka Lošinja prisutna je prava mediteranska klima, odnosno oblik umjereno tople kišne klime s toplim i suhim ljetima te kišovitim jesenima (Institut IGH d.d., 2016.).

Promatrajući otok Cres u cjelini, tijekom većeg dijela godine nalazi se u cirkulacijskom području umjerenih širina s čestim i intenzivnim promjenama vremena. Ključni faktor klime na ovom području je Jadransko more. Jednako važan element je i jako razvijena orografija Dinarida koji je pod neposrednim utjecajem ciklogenetskog djelovanja južne strane planinskog sustava Alpa u kombinaciji s djelovanjem Sredozemlja, osobito s područja Genovskog zaljeva (mjesto formiranja genovske ciklone) i sjevernog Jadrana. Preko ljeta je pod utjecajem azorske anticiklone koja "ne dopušta" dolazak atmosferskih poremećaja i prodor hladnoga zraka. Tada obično dolazi pod učinak suptropskoga pojasa koji se uslijed prividnog gibanja Sunca prema sjeveru, odnosno sjevernoj polutci, također premješta prema sjeveru (Državni hidrometeorološki zavod, 2021. prema Zaninović i sur., 2008.)

Kako postoje različite vrste klasifikacija prema kojima se može odrediti klima za određeno područje, na ovom primjeru spomenuti ćemo Köppenovu, Thornthwaitovu i Conradovu klasifikaciju klime. Prema Köppenovoj klasifikaciji (Slika 4.1.), klime se određuju prema srednjem godišnjem hodu temperature zraka i količini oborine. Unutar same klasifikacije postoji razdioba na pet klimatskih razreda koji se označavaju velikim slovima A (tropske kišne klime), B (suhe klime), C (umjereno tople kišne klime), D (snježno-šumske klime) i E (snježne klime). Dodavanjem slova f (nema sušnog razdoblja, svi mjeseci su vlažni), s (sušno razdoblje je ljeti) ili w (sušno razdoblje je zimi) dobivaju se niže kategorije klime, a kad se uzmu u obzir i neke druge veličine dobiva se jedanaest klimatskih tipova. Na kraju, spoj svih oznaka čini tip klime za neko promatrano područje (Šegota i Filipčić, 2001.). Za otok Cres vrijedi da je, u

najhladnijem mjesecu, srednja temperatura viša od -3°C i niža od 18°C te barem jedan mjesec u godini je temperatura viša od 10°C . Sukladno tome, možemo govoriti o umjereno toploj vlažnoj klimi (oznaka C). Sušno razdoblje nastupa u toplom dijelu godine koje traje od travnja do rujna. Tada se pojavljuju mjeseci s manje od 40 milimetara oborine, pri čemu je barem tri puta manja od one koja pripada najkišovitijem mjesecu u hladnom dijelu godine (oznaka s). Ljeta su na ovom području vruća, a to dokazuje najtopliji mjesec koji ima srednju temperaturu višu od 22°C (Državni hidrometeorološki zavod, 2021.). Međutim, uspoređujući sa Köppenovom kartom raspodjele klime, za područje sjevernog Jadrana ili Kvarnera, gdje se nalazi Grad Cres, pripada tip klime Cfa (umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetom), ali postoje mjesta na sjevernom dijelu otoka Cresa i u blizini Vranskog jezera gdje prevladava tip klime Cfb (umjerena topla vlažna klima s toplim ljetom). Sljedeća, Thornthwaitova klasifikacija klime zasniva se na odnosu količine vode potrebne za potencijalnu evapotranspiraciju i oborinske vode. Na taj način razlikuju se pet tipova klime, perhumidna (izrazito vlažna), humidna (vlažna), subhumidna (poluvlažna), semiaridna (polusuha) i aridna (suha) klima (Vojnović, 2017.). Tako, za područje otoka Cresa, prevladava perhumidna, a ponegdje i humidna klima. Po Conradovoj klasifikaciji, koja se određuje na temelju indeksa ishlapljivanja ili ohlađivanja, H ($\text{mcal}/\text{cm}^2\text{s}$), postoje prehladna ($H > 40$), jako podražajna ($30 < H < 40$), blago podražajna ($20 < H < 30$), poštredna ($10 < H < 20$) i pretopla ($H < 10$) klima (Zaninović, 1983.). Uzimajući u obzir njegovu klasifikaciju klime, na otoku Cresu dolazi do izmjenjivanja poštredne i blago podražajne klime. Poštredna klima se mjestimično proteže od četiri do deset mjeseci, a blago podražajna između dva i sedam mjeseci godišnje. Tijekom sredine ljeta, klima može biti pretopla na mjestima gdje nema dnevne cirkulacije zraka i gdje je zaštićeno od sjeverozapadnog vjetrova. Međutim, na pojedinim područjima javlja se jako podražajna klima. U slučaju da su ta područja izložena buri, ona traje oko četiri mjeseca, odnosno, ako su izložena jugu oko dva mjeseca. Treba imati na umu da bura, za razliku od juga, znatno više utječe na vrijednosti Conradovog indeksa ishlapljivanja. Provedene studije indeksa ishlapljivanja mora na području Kvarnera ukazale su da dominiraju povoljni klimatski uvjeti za razvoj turističkih, zdravstvenih ili rekreacijskih djelatnosti (Institut IGH d.d., 2016.).



Slika 4.1. Geografska raspodjela klime u Hrvatskoj po W. Köppenu u razdoblju 1961.-1990. Oznake: Csa - sredozemna klima s vrućim ljetom; Csb - sredozemna klima s toplim ljetom; Cfa - umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetom; Cfb – umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom; Df – vlažna borealna klima; crvena elipsa – istraživano područje (Šegota i Filipčić, 2003. prema Filipčić, 1998.)

4.1. Oborine

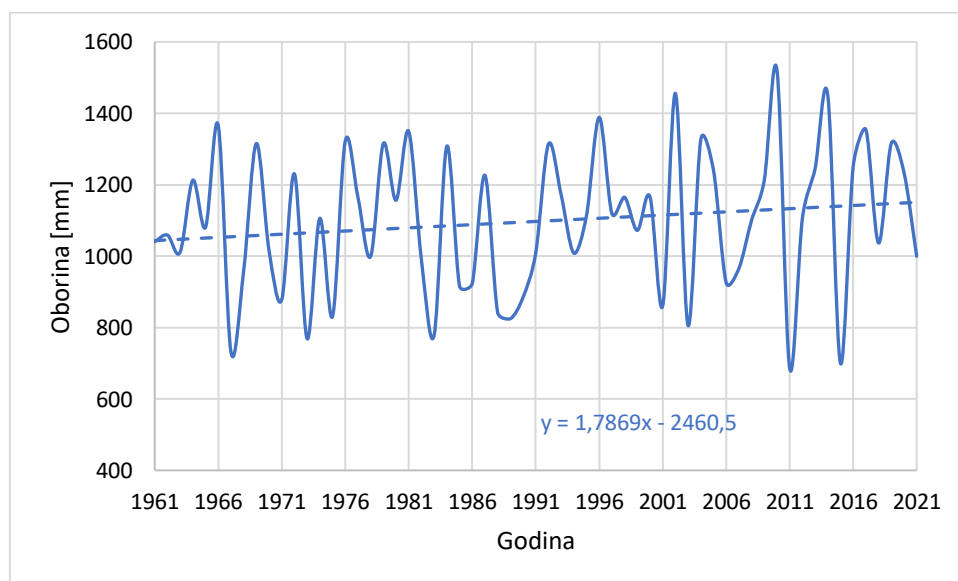
Klimatološke karakteristike sliva Vranskog jezera proučavane su na razini osnovnih klimatoloških karakteristika zabilježenih vremenskih serija. To su mjesečni i godišnji podaci o količinama oborina palih i očitanih na klimatološkoj postaji Cres. Navedena postaja ima najdulji niz motrenja bez promjene lokacije postaje ili prekida u radu što doprinosi točnijim i pouzdanijim rezultatima. Provedena je osnovna statistička obrada podataka o oborinama, koja uključuje srednju vrijednost niza (Sred), standardnu devijaciju (Stdev), koeficijent varijacije (Cv) te ekstremne vrijednosti unutar analiziranog niza srednjih mjesečnih i godišnjih vrijednosti (Max i Min) za cijelo razdoblje opažanja. Rezultati su prikazani u Tablici 4.1.1.

Tablica 4.1.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti oborina (mm) na klimatološkoj postaji Cres za razdoblje od 1961.g. do 2021.g.

Oborine (mm)													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godina
Sred	94,4	87,1	76,4	73,3	72,1	64,7	49,1	71,3	123,9	121,6	149,4	113,8	1097,2
Stdev	62,8	58,7	47,4	36,2	40,4	39,6	41,5	51,2	82,5	94,5	77,6	70,7	205,8
Cv	0,67	0,67	0,62	0,49	0,56	0,61	0,84	0,72	0,67	0,78	0,52	0,62	0,19
Max	315,3	255,4	168,5	162,5	176,7	174,6	183,6	246,6	450,4	445,4	313,0	277,6	1520,4
Min	0,0	5,6	0,1	0,3	0,6	0,0	0,9	0,0	9,4	0,0	18,3	0,0	685,7

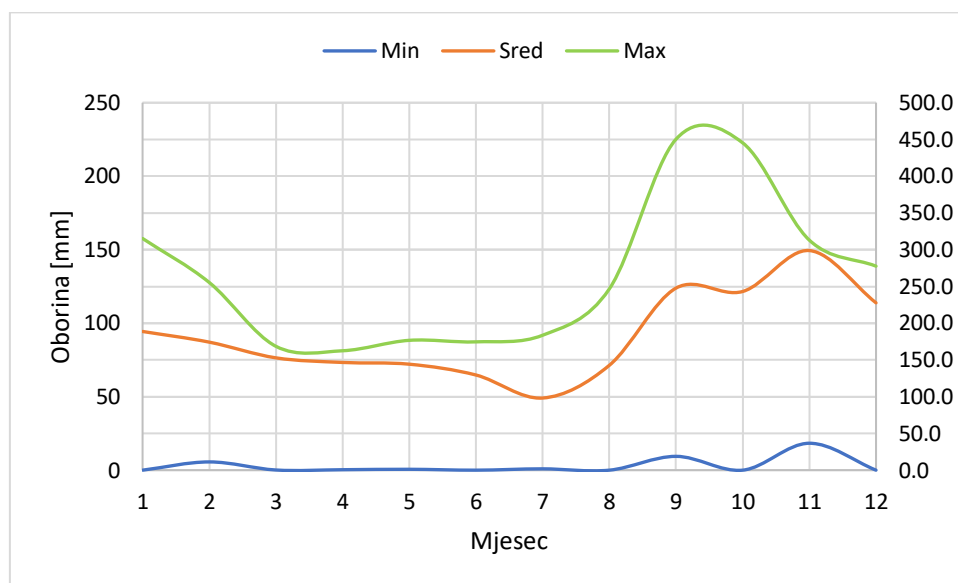
Iz prikazane tablice može se vidjeti da je prisutna vrlo velika promjenljivost u ukupno palim količinama oborina tijekom razdoblja od 1961.g. do 2021.g., i to po pojedinim mjesecima, ali i na razini godišnjih podataka. Godišnje varijacije se kreću u rasponu od 685,7 mm (2011.g.) i 1520,4 mm (2010.g.), a mjesečne između perioda bez zabilježenih oborina za vrijeme cijelog mjeseca, pri čemu se to pojavljivalo tijekom više mjeseci u različitim godinama, pa do najviše 450,4 mm koliko je izmjereno u IX. mjesecu 1998.g. Srednja ukupna godišnja oborina na klimatološkoj postaji za razdoblje 1961.g. – 2021.g. iznosi 1097,2 mm.

Na Slici 4.1.1. je prikazan trend hoda godišnjih količina oborina za isto razmatrano razdoblje. Primjetan je blagi trend povećanja ukupnih godišnjih oborina za oko 178 mm na 100 godina. Između ostalog, vidljive su razlike između vodnih i sušnih godina koje prije nisu bile tako izražene, ali u periodu od 2010.g. do 2016.g. su one postale vrlo izražene sa periodičkim javljanjem.



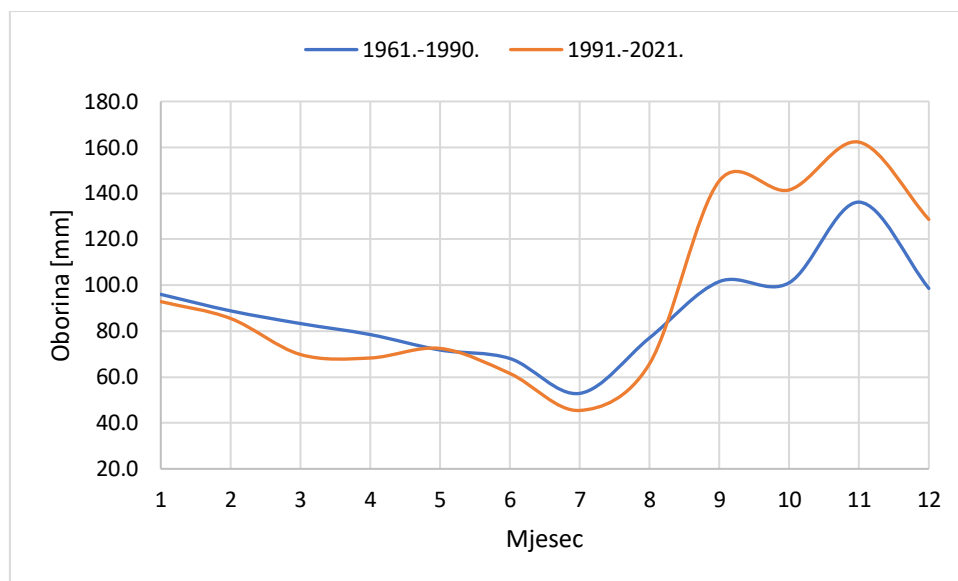
Slika 4.1.1. Hod i trend karakterističnih godišnjih vrijednosti zabilježenih količina oborina na klimatološkoj postaji Cres (1961.g.-2021.g.)

Prikazan je i grafički prikaz unutargodišnje raspodjele količina oborina (Slika 4.1.2.). Uočljivo je da najviše oborina na području klimatološke postaje Cres padne na jesen, od rujna do prosinca. Tijekom cijele godine mogu se pojaviti mjeseci u kojima nije zabilježena niti jedna kap oborina ili mjeseci sa vrlo malom količinom oborina (ispod 10 mm). Iznimka je mjesec studeni u kojem, za predmetno razdoblje, minimalna količina oborina se nije spuštala ispod 18,3 mm.



Slika 4.1.2. Unutargodišnja raspodjela mjesečnih vrijednosti količina oborina na klimatološkoj postaji Cres (1961.g.-2021.g.)

Na slici 4.1.3. dan je grafički prikaz usporedbe unutargodišnje raspodjele srednjih mjesečnih vrijednosti za dva razdoblja, jedno od 1961.g. do 1990.g., a drugo od 1991.g. pa do 2021.g. U kasnijem razdoblju je vidljivo da se količina oborina tijekom zimskih, proljetnih i ljetnih mjeseci smanjila, osim u svibnju u kojem je ostala približno ista. U studenom i prosincu je zabilježen rast količina oborina, dok u rujnu i listopadu je rast izuzetno primjetan.



Slika 4.1.3. Unutargodišnja raspodjela srednjih mjesečnih količina oborina na klimatološkoj postaji Cres za dva odabrana klimatološka razdoblja (1961.g.-1990.g. i 1991.g.-2021.g.)

4.2. Temperatura zraka

Klimatološke karakteristike sliva Vranskog jezera proučavane su na razini osnovnih klimatoloških karakteristika zabilježenih vremenskih serija. To su mjesečni i godišnji podaci o temperaturama zraka očitanih na klimatološkoj postaji Cres. Navedena postaja ima najdulji niz motrenja bez promjene lokacije postaje ili prekida u radu što doprinosi točnijim i pouzdanijim rezultatima. Provedena je osnovna statistička obrada podataka o temperaturama zraka, koja uključuje srednju vrijednost niza (Sred), standardnu devijaciju (Stdev), koeficijent varijacije (Cv) te ekstremne vrijednosti unutar analiziranog niza srednjih mjesečnih i godišnjih vrijednosti (Max i Min) za cijelo razdoblje opažanja. Rezultati su prikazani u Tablici 4.2.1.

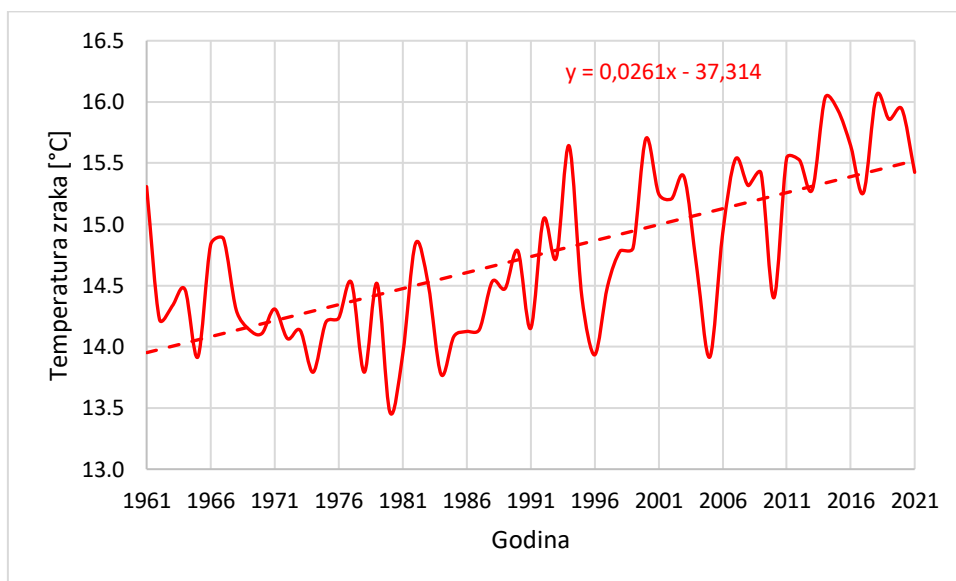
Tablica 4.2.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti temperatura zraka (°C) na klimatološkoj postaji Cres (1961.g.-2021.g.)

Temperature zraka (°C)													
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Godina
Sred	6,3	6,8	9,4	13,0	17,6	21,8	24,4	24,0	19,7	15,4	11,1	7,4	14,7
Stdev	1,6	1,9	1,6	1,3	1,4	1,6	1,3	1,6	1,4	1,3	1,5	1,3	0,7
Cv	0,25	0,28	0,17	0,10	0,08	0,07	0,05	0,07	0,07	0,09	0,14	0,17	0,05
Max	9,9	10,5	12,5	16,2	20,9	26,1	27,4	28,0	23,2	17,6	14,7	9,7	16,1
Min	2,0	2,5	5,2	9,8	14,1	18,2	22,3	19,9	16,4	10,0	7,6	4,9	13,5

Iz prikazane tablice vidljivo je kretanje temperature zraka između 13,5°C i 16,1°C, a godišnji prosjek na klimatološkoj postaji Cres iznosi 14,7°C. Najhladniji mjesec je siječanj sa srednjom temperaturom zraka iznad 6°C. Ljetni mjeseci, srpanj i kolovoz, su najtopliji mjeseci sa

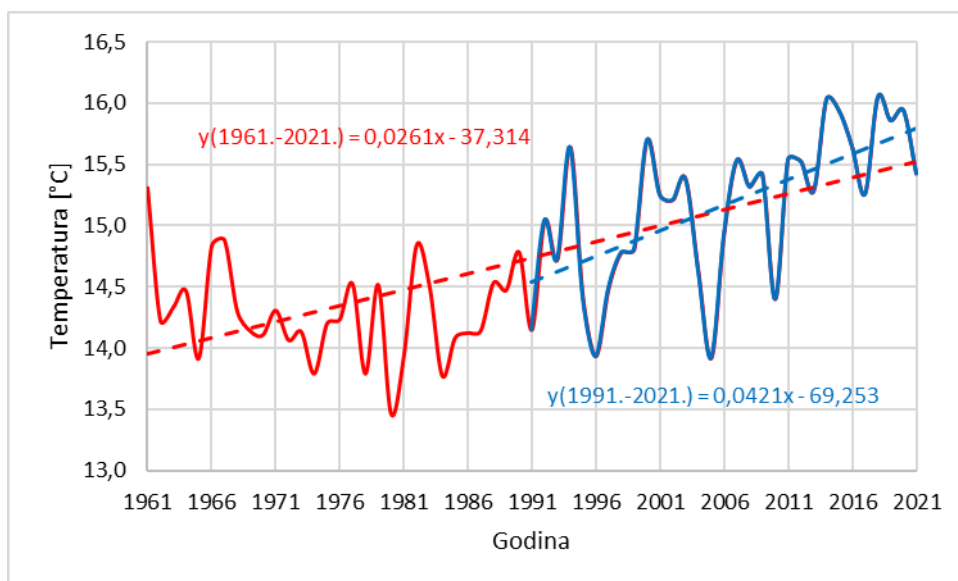
prosječnom temperaturom zraka oko 24°C. Međutim, pojavljaju se i mjeseci sa izraženijim ekstremnim vrijednostima prosječnih mjesečnih temperatura zraka, od siječnja 1963.g. sa 2,0°C pa do kolovoza sa 28,0°C.

Slika 4.2.1. prikazuje trend hoda srednjih godišnjih temperatura zraka na klimatološkoj postaji Cres za razdoblje od 1961.g. do 2021.g. Može se uočiti značajni trend povećanja srednjih godišnjih temperatura zraka od oko 2,6°C na 100 godina.



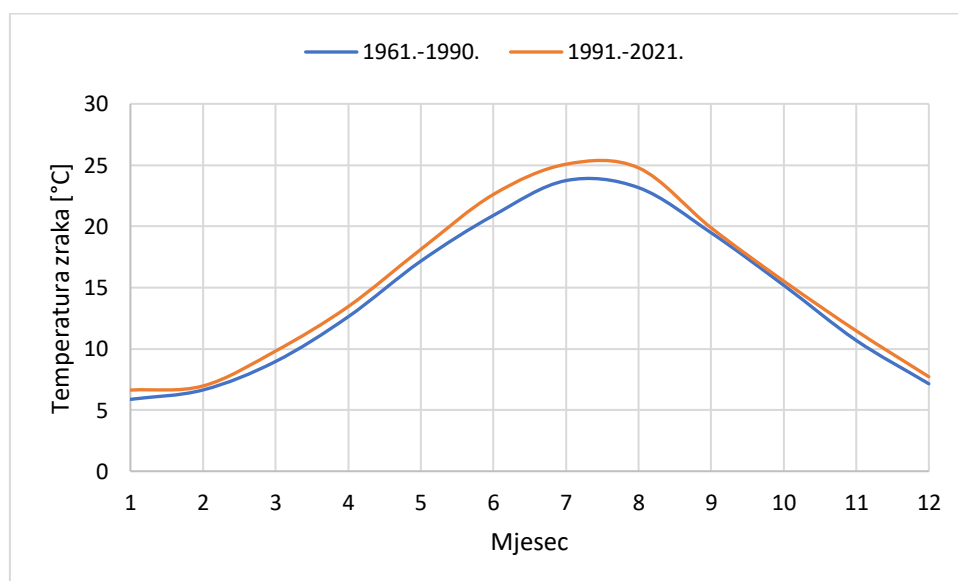
Slika 4.2.1. Hod i trend karakterističnih godišnjih vrijednosti zabilježenih temperatura zraka na klimatološkoj postaji Cres (1961.g.-2021.g.)

Međutim, uspoređujući trend hoda srednjih godišnjih temperatura sa Slike 4.2.1. sa trendom hoda srednjih godišnjih temperatura za neki kraći period razmatranja, u ovom slučaju za period od 1991.g. do 2021.g., može se vidjeti još značajniji trend povećanja srednjih godišnjih temperatura za oko 4,2°C na 100 godina (Slika 4.2.2.).



Slika 4.2.2. Usporedba trendova karakterističnih godišnjih vrijednosti zabilježenih temperatura zraka na klimatološkoj postaji Cres za razdoblja 1961.g.-2021.g. i 1991.g.-2021.g.

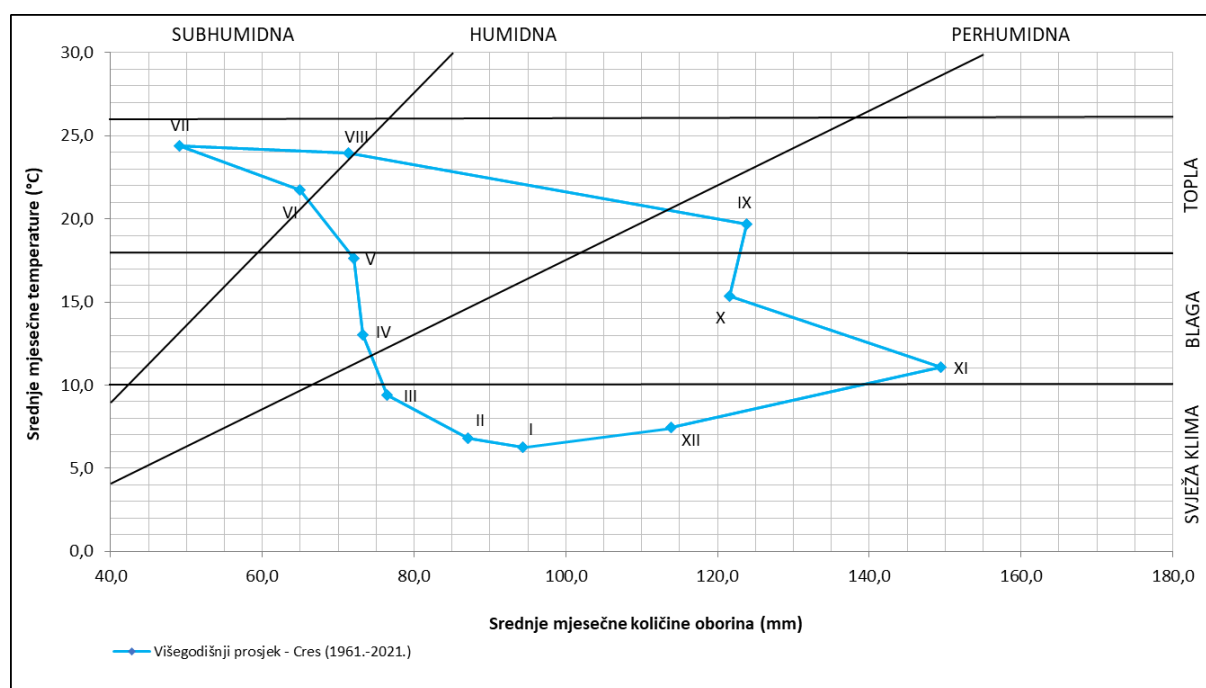
Grafički prikaz usporedbe unutargodišnje raspodjele mjesečnih temperatura zraka za razdoblje od 1961.g. do 1990.g. i od 1991.g. do 2021.g. dan je na slici 4.2.3. Primjetno je povećanje temperature zraka u kasnijem razdoblju, od 1991.g. do 2021.g., tijekom svih mjeseci, za prosječno 0,9°C. Najmanja povećanja temperature zraka zabilježena su u mjesecu listopadu, za 0,3°C, i u mjesecu veljači, za 0,4°C, a najveće povećanje temperature zraka iznosi 1,7°C u mjesecu lipnju, 1,6°C u mjesecu kolovozu te 1,4°C u mjesecu srpnju. U ostalim mjesecima, povećanje temperature zraka iznosi manje od 1°C.



Slika 4.2.3. Unutargodišnja raspodjela mjesečnih vrijednosti temperatura zraka na klimatološkoj postaji Cres za dva odabrana klimatološka razdoblja (1961.g.-1990.g. i 1991.g.-2021.g.)

4.3. Fosterovi dijagrami

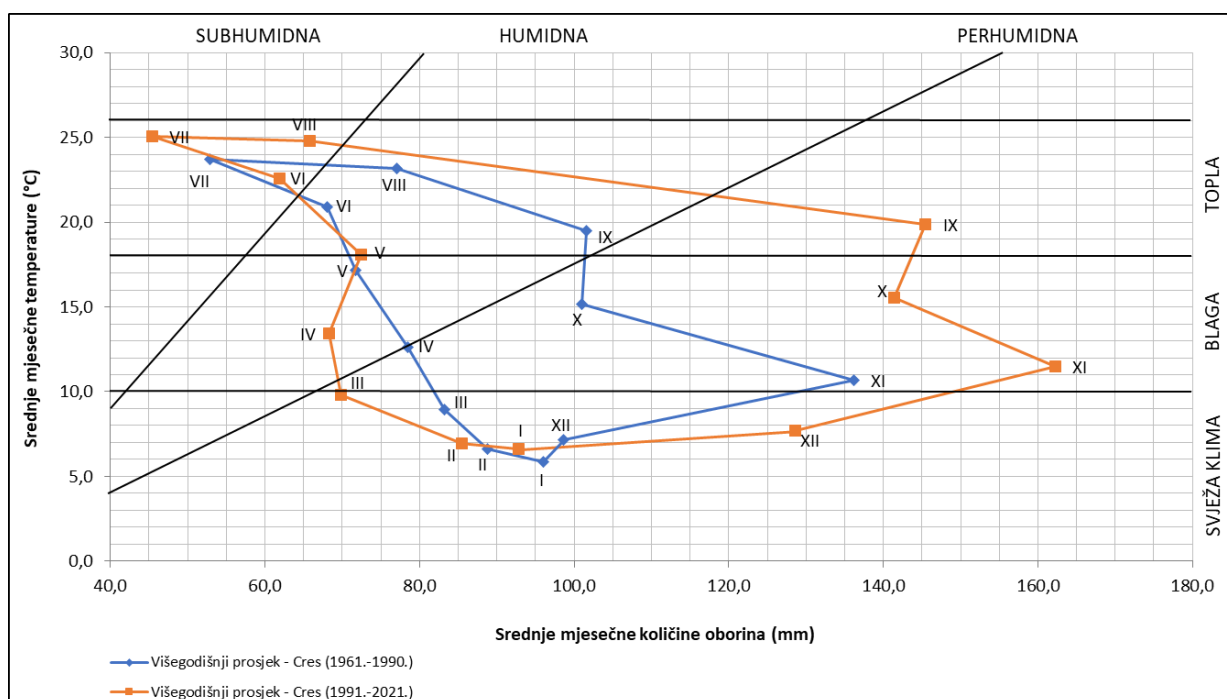
Opće klimatske značajke mogu se predstaviti Fosterovim dijagramom (Slika 4.3.1.), empirijskom metodom kojom se prikazuju podaci o srednjim mjesečnim količinama oborina i temperaturama zraka za određeno neprekidno razdoblje, u ovom slučaju za klimatološku postaju Cres tijekom razdoblja od 1961.g. do 2021.g. Iz dijagrama je vidljivo da u gradu Cresu tijekom godine većinom prevladava perhumidna klima, i to topla za mjesec rujan, blaga za mjesec listopad i studeni te svježija za razdoblje od prosinca do ožujka. Blaga humidna klima prevladava tijekom travnja i svibnja koji je na granici sa toplom klimom. Subhumidna klima karakterizira tri najtoplija, a ujedno i najsušija mjeseca u godini, lipanj, srpanj i kolovoz. Uspoređujući ta tri mjeseca, može se vidjeti da srpanj je sušiji od preostala dva ljetna mjeseca. Također, za primijetiti je da su najveće oborine od rujna do prosinca, sa najuvjerljivijim mjesecom studenim, a najmanje tijekom ljetnih mjeseci. Srednje mjesečne temperature zraka za vrijeme zimskih mjeseca ne padaju ispod 6°C dok maksimalna srednja mjesečna temperatura ne prelazi 25°C.



Slika 4.3.1. Fosterov dijagram za klimatološku postaju Cres za razdoblje 1961.g. - 2021.g.

Raspodjelom vremenskog razdoblja od 1961.g. do 2021.g. na dva razdoblja od 30 godina (1961.g. – 1990.g. i 1991.g. – 2021.g.) može se vidjeti kretanje klime promatrajući promjene u srednjim količinama oborina i temperaturama zraka tijekom mjeseci (Slika 4.3.2). Uspoređujući ta dva razdoblja vidljive su promjene u klimi nekih mjeseci kao što su prelasci

lipnja i kolovoza iz tople humidne klime u toplu subhumidnu klimu te mjesec svibanj koji je došao na granicu između blage i tople humidne klime. Promjene su vidljive u porastu temperature zraka i količini oborina u svim mjesecima. Porast srednje mjesečne temperature je svuda vidljiv, osobito u ljetnim mjesecima gdje je razlika veća i od 1°C. Zabilježene su i velike oscilacije u količinama oborina gdje se može primijetiti veliki porast oborina od rujna do prosinca, a u svim ostalim mjesecima dolazi do pada oborina, ponajviše u proljetnim i ljetnim mjesecima (izuzev svibnja koji je približno ostao na istim razinama). Sve navedene promjene posljedica su klimatskih promjena kojima smo danas izloženi, a direktno utječu, u ovom slučaju, na Vransko jezero. Proljeća i ljeta postaju sve toplija i sušija, a jesen i zima sve blaža i vlažnija zbog čega će se javljati i sve veći problemi oko količine i razine vode u samom jezeru.



Slika 4.3.2. Usporedba Fosterovih dijagrama za klimatološku postaju Cres za razdoblje 1961.g. – 1990.g. i 1991.g. – 2021.g.

5. TEMPERATURA VODE

5.1. Općenito o temperaturi vode

Temperatura vode je jedan od hidroloških parametara pomoću kojeg je moguće dobiti adekvatna saznanja o termičkom režimu nekog vodotoka, jezera ili bilo koje druge vodne pojave. Poznavanje temperature vode korisno je pri analiziranju porijekla vode, kretanja vode, vremena zadržavanja u podzemlju, promjena bioloških svojstava vode, potencijalnog onečišćenja i u još mnoge svrhe (Žugaj, 2000). Također, njezina važnost se očituje zbog utjecaja na kemijski sastav u vodi. Primjera radi, pri višoj temperaturi vode povećava se razina kemijskih reakcija. S višim temperaturama, voda, naročito podzemna voda, može rastopiti više stijenskih minerala pa će imati veću električnu provodljivost. Važan utjecaj, između ostalog, temperatura vode ima na biološku aktivnost i regulaciju vrsta organizama koji žive u jezerima i rijekama.

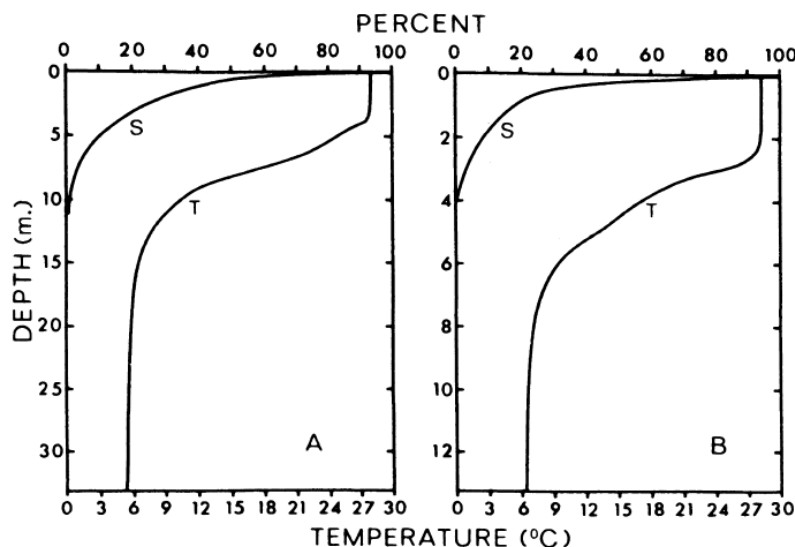
Ovisno o dubini rijeke, jezera, mora ili nekog drugog vodnog sustava, ali i o dobu dana u kojem se provodi mjerenje, temperatura vode se mijenja. Na površini je veća, a smanjuje se povećanjem dubine. Za hidrodinamiku i ekologiju vode bitan čimbenik je vrijednost temperature površinskog sloja. Temperatura vode svojim mijenjanjem može dovesti do izravnih i neizravnih ekoloških učinaka preko njihovog utjecaja na svojstva staništa te na život, rast i reprodukciju vodnih organizama. Oscilacije u temperaturi imaju efekat na hranidbenu strukturu i raspoloživost nutrijenata za biološke sustave te na druge biološke i ekološke procese u vodi (Tončić, 2018. prema Toffolon i sur., 2014.).

Na brojna pitanja vezana uz podrijetlo vode, njezinu cirkulaciju, vremenu zadržavanja u podzemlju, itd., odgovore omogućuju mjerenja temperature vode u kršu. Kako bi se utvrdile promjene topline, mjerenja se trebaju provoditi osjetljivom opremom zato jer varijacije imaju vrlo male amplitude (vrlo često i po nekoliko desetinki dijela 1°C) (Bonacci, 1987.). U kršu postoje povoljni uvjeti za primjenu geotermalnih istraživanja pri otkrivanju i praćenju prostornog položaja tokova podzemne vode. Shodno tome, krška masa i tok podzemne vode uzrokuju temperaturne anomalije koje se mogu izmjeriti čak i na površini terena. Te anomalije ovise o čimbenicima kao što su temperatura podzemne vode, dubina, slijeganje i veličina toka podzemne vode te stupanj karstifikacije područja između površine terena i toka (Bonacci, 1987. prema Komatina, 1984.).

Najveći izvor topline za jezera je Sunčevo zračenje koje u većini izravno apsorbira voda. Na apsorpciju Sunčeve energije od strane jezera utječe nekoliko fizičkih, kemijskih i, pod određenim uvjetima, bioloških svojstava vode. Ova svojstva su promjenjiva i mijenjaju se sezonski te tijekom geološkog vremena za pojedinačne jezerske sustave. Postoje još par procesa koji sudjeluju kao izvori topline za jezero, a to su prijenos topline iz zraka i iz sedimenata (u jezerima umjerene dubine taj je unos malen u usporedbi sa izravnom apsorpcijom, dok u plitkim vodama sedimenti mogu apsorbirati značajne količine Sunčevog zračenja te se toplota može djelomično prenijeti na vodu, ali je vrlo mala u usporedbi sa izravnom apsorpcijom Sunčevog zračenja od strane vode), kondenzacija vodene pare na površini vode i prijenos topline sa kopna preko oborina, površinskog otjecanja i unosa podzemnih voda (može biti značajno samo u onim jezerima koja imaju velike količine dotjecanja vode iz podzemnih izvora) (Wetzel, 2001.).

Također, određeni dio topline se gubi iz jezera toplinskim zračenjem. Budući da voda posjeduje vrlo nisku toplinsku vodljivost, gubitak topline toplinskim zračenjem većinom je površinski, ograničen na početnih nekoliko centimetara vode. Ipak, one količine topline koje se mogu izmjeriti gube se specifičnim provođenjem u zrak i u sedimente, ali u znatno manjoj mjeri. Toplina se gubi i isparavanjem pri čemu brzina isparavanja raste s višim temperaturama, smanjenim tlakom pare, nižim barometarskim tlakom i povećanjem kretanjem zraka iznad površine vode. Značajan dio topline iz jezera se može izgubiti i istjecanjem koje se sastoji pretežito od površinskih voda jer često su mnogo toplije od vodenih slojeva ispod njih (Wetzel, 2001.).

Stoga su procesi primanja i gubljenja topline uglavnom površinski fenomeni. Očekuje se da će Sunčev priljev topline vladati u toplijim godišnjim dobima, a vertikalna toplinska struktura bi tada bila približna profilu slabljenja Sunčevog zračenja. Između ostalog, s očekivanjem je da će toplija i vrlo stabilna zagrijana voda manje gustoće periodički prekrivati hladniju i gušću vodu. Međutim, do toga ne dolazi, a ono što se primijećuje (Slika 5.1.1.) je relativno jednolično izmiješan gornji dio jezera koji je izoterman često daleko ispod fotičke zone (najviši sloj vodenog tijela na koje izravno utječe Sunčeva svjetlost) (Wetzel, 2001.).



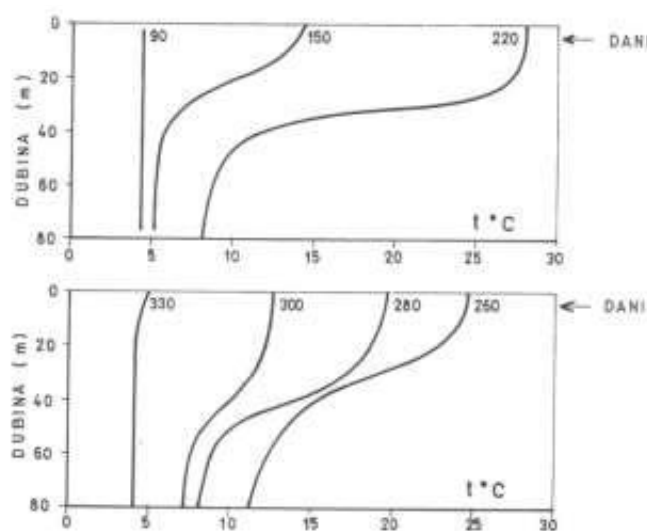
Slika 5.1.1. Usporedni prikaz vertikalnih dubinskih profila prodora Sunčevog zračenja i temperature vode na primjer dvaju jezera (Wetzel, 2001.)

Određene konvekcijske struje koje nastaju zbog razlike u temperaturi ili gustoći vode pojavljuju se po noći kada se površinske vode ohlade, postanu gušće i na kraju tonu. Na sličan način, površinske vode se mogu ohladiti za vrijeme kratkih promjena lokalnih meteoroloških uvjeta poput hladne kiše, povećane stope isparavanja vode ili nakon sezonskog pada temperature zraka. Površinski priljevi prema jezeru isto mogu ohladiti površinsku vodu i izazvati konvekcijska strujanja. Međutim, u većini uvjeta, u karakterističnim jezerima smještenih u umjerenoj geografskoj širini, miješanje površinskih voda pomoću konvekcijskim strujama je slabo (do 3 metra) i nedovoljno za nastajanje dugoročnih obrazaca stratifikacije koji se obično primijećuju u većini jezera (Wetzel, 2001).

Većina toplinske raspodjele u profilu rezultat je djelovanja vjetra čije struje se kreću preko površine vode, a napon trenja vjetra na površinskoj vode stvara miješanje i vodene struje proporcionalne brzini vjetra. Rezultat toga su vrlo brze promjene koje se događaju u mikrostrukturi temperaturnih profila površinskih slojeva. Stoga je temperatura, a i gustoća, rijetko ujednačena na površini vode, naročito kada dolazi do jakog površinskog zagrijavanja ili smanjenja pritiska vjetra (Wetzel, 2001. prema Imberger i Hamblin, 1982.; Imberger i Patterson, 1990.).

Mnoga jezera koja su smještena u umjerenim i posebno sjevernim geografskim širinama područjima te čije dubine prelaze preko otprilike 10 metara, a među njima se nalazi i Vransko jezero na otoku Cresu, pokazuju toplinsku stratifikaciju ili slojevitost (Slika 5.1.2.). Ona predstavlja težnju jezera za stvaranjem zasebnih i različitih toplinskih slojeva u periodu toplijeg

vremena. Nadovezuje se na promjenu temperature vode na različitim dubinama jezera, a posljedično i na promjenu gustoće vode.

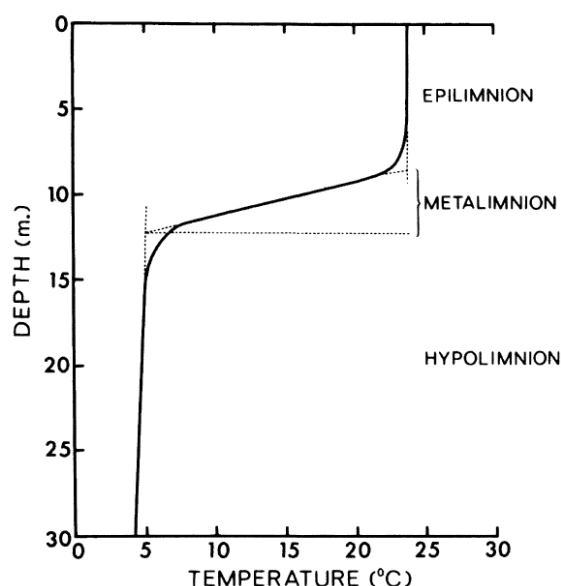


Slika 5.1.2. Primjer toplinske stratifikacije određenog jezera (Rubinić, 2019.)

U kasnu jesen i tijekom cijele zime, voda se homogeno miješa i Vransko jezero se tada ponaša kao da ima potpunu cirkulaciju vode. Za razliku, jezera koja se preko zime zaleđuju nemaju takav ciklus već ona miruju sve dok se led ne otopi. U tom periodu voda na svim dubinama ima ili je blizu temperature koja ima maksimalnu gustoću (4°C). Male promjene u smislu hlađenja ispod ili zagrijavanja iznad 4°C uslijed dinamičnih vremenskih uvjeta uzrokuju vrlo male promjene u razlici gustoće po jedinici promjene temperature. Iz toga proizlazi da postoji relativno mali toplinski otpor miješanju za čije miješanje stupca vode su potrebne samo male količine energije vjetra po površini jezera. U mnogim jezerima navedena količina energije vjetra je dovoljna da cirkulira cijelim vodenim stupcem (Wetzel, 2001.; Golterman, 1975.).

Sa dolaskom proljeća javljaju se veće količine i jačine Sunčevog zračenja koje sve više zagrijavaju gornje slojeve jezera. Trajanje proljetnog razdoblja ovisi o različitim čimbenicima, prvenstveno radi li se o malim ili velikim jezerima. Mala jezera, poglavito ako su zaštićena od vjetra okolnom topografijom ili vegetacijom, vremenski malo cirkuliraju i to samo nekoliko dana. Vransko jezero, budući da pripada površinski velikim jezerima, često cirkulira nekoliko tjedana i uz dobre vremenske uvjete njegova temperatura može narasti znatno iznad 4°C . Sa napredovanjem proljeća sloj površinske vode u jezeru, uglavnom veći od 6 metara, zagrijava se brže nego što se toplina kroz jezero širi miješanjem. Takvo površinsko zagrijavanje vode događa se za vrijeme mirnog i toplog razdoblja od svega nekoliko dana. Zagrijavanjem vode na površini dolazi do smanjenja njezine gustoće u odnosu na hladniju vodu koja je u dubljim

slojevima jezerima. Pritom, potrebno je napomenuti da relativni toplinski otpor miješanju značajno raste i razlika u temperaturi vode po dubini od samo nekoliko stupnjeva je dovoljna da spriječi potpunu cirkulaciju vode u jezeru. Od tog momenta, Vransko jezero i bilo koje drugo duboko jezero postaje termički podijeljeno u tri zone koja su međusobno otporna na miješanje (Slika 6.3.). Gornji sloj vode manje gustoće koja može biti više ili manje jednoliko topla, cirkulirajuća i prilično turbulentna zove se epilimnij, a donji sloj hladnije, gušće i relativno mirne vode koji se nalazi ispod epilimnija naziva se hipolimnija. Između njih se nalazi prijelazni sloj strmog toplinskog gradijenta omeđenog sjecištima epilimnija i hipolimnija sa izrazitim toplinskim promjenama ($>1^{\circ}\text{C}$ po metru) koji može mijenjati dubinu tijekom dana i zove se metalimnij ili termoklin (Wetzel, 2001.; Golterman, 1975.).



Slika 5.1.3. Karakteristična toplinska stratifikacija jezera s podjelom slojeva vode na epilimnij, metalimnij i hipolimniju (isprekidane linije prikazuju približnu granicu metalimnija) (Wetzel, 2001.)

Početna temperatura u hipolimniju, odnosno u najdubljem sloju jezerske vode, određena je konačnom temperaturom vode tijekom proljetnog perioda. Za vrijeme ljetne stratifikacije, temperatura vode u hipolimniju se malo mijenja, posebice u dubokim jezerima kao što je Vransko jezero. Na prelasku iz proljetnog razdoblja u ljetnu stratifikaciju, dubina metalimnija u znatnoj mjeri oscilira od jezera do jezera i iz godine u godinu, ovisno o vremenskim uvjetima. U slučaju da se voda brzo zagrijava u odnosu na umjereno intenzivno miješanje vode izazvano vjetrom koje je nedovoljno za cirkuliranje vode od vrha prema dnu jezera, metalimnij će nastupiti duboko u dubini jezera. Takva toplinska promjena unutar metalimnija brzo raste sa daljnjim zagrijavanjem i povećanjem razlika u gustoći. U slučaju da je vrijeme relativno mirno

i toplo, dogodit će se suprotno, toplinski diskontinuiteti javit će se na površini. U tom slučaju, sloj metalimnija počinje na površini jezera i kreće se dublje na način kako vjetar svojim miješanjem uspostavlja epilimnij. Od tog trenutka pa nadalje, sloj epilimnija prolazi kroz razdoblje privremenog zagrijavanja za vrijeme toplog i mirnog vremena te se izmjenjuje sa razdobljima snažnog miješanja vjetrom.

Debljina sloja metalimnija postupno se smanjuje kako gornji dio hipolimnija postupno prima male količine topline u razdoblju toplinske stratifikacije. Još su u svojim analizama, Ricker (1937.g.) i Hutchinson (1941.g.) ustanovili da se zagrijavanje jezerskih slojeva provodi kombinacijom izravnog Sunčevog zračenja, turbulentne kondukcije i strujanja gustoće. Turbulencija epilimnija prenosi se na slojeve metalimija i hipolimnija. Provođenje topline turbulentijom smanjuje se s povećanjem stabilnosti stratifikacije za vrijeme sezone grijanja, no provođenje topline unutar hipolimnija malo oscilira s povećanjem dubine. Zagrijavanje hipolimnija pomoću Sunčevog zračenja može se dogoditi u jezerima koja su osobito prozirna, a to je slučaj sa jezerima koja se nalaze u alpskim područjima i zaštićena su od jakog djelovanja vjetra. Međutim, s očekivanjem je da se relativna važnost izravnog Sunčevog zagrijavanja i prijenosa topline turbulentijama iz gornjih slojeva vode naročito oscilira zavisno o uvjetima određenih jezera. Prenosnje topline od površine jezera do sloja hipolimnija uz pomoć vjetra uglavnom je bitniji od Sunčevog zagrijavanja u mnogim jezerima, posebno u onim u kojima svjetlost s povećanjem dubine jezera brzo slabi. Naime, Sunčevo zagrijavanje hipolimnija može biti bitan mehanizam u određenim čistim jezerima.

Postoji još jedan uvjet koji određuje hoće li doći do stratifikacije. To je omjer između dubine sloja vode koji se može miješati djelovanjem vjetra i ukupne dubine vode. Ovisno o područjima u kojima su jezera smještena, dubina vode koju zahvaća miješanje vjetrom zavisi o površini i stupnju izloženosti vjetru. U slučaju pojavljivanja velikog broja oluja za vrijeme proljetnog zagrijavanja, toplina će se proširiti kroz puno dublji stupac vode od uobičajenog i s time se smanjuje vjerojatnost stratifikacije. Nakon dobrog uspostavljanja stratifikacije, stabilnost vodnog sustava je takva da nijedna oluja ne može poremetiti cjelokupni uzorak, premda dubina epilimnijuma može oscilirati (Golterman, 1975.).

Stabilnost bilo kojeg jezera ovisi o razlici u gustoći između hladne i tople vode. Na primjer, hladna voda na 6°C je teža od tople vode na 16°C i stoga je potreban određen rad koji će zamijeniti 1 m³ hladne vode s 1 m³ toplije vode. Množenjem dobivenog rezultata s površinom jezera dobiva se rad potreban za prevrtanje cijelog jezera. Također, stabilnost se može

izračunati pretpostavljanjem volumena različitih slojeva i njihovih težišta. Tada se stabilnost opisuje kao količina rada potrebnog za podizanje težišta epilimnija i hipolimnija pomnoženog sa težinom jezera (volumen jezera pomnožen sa njegovom gustoćom). Kako bi izračuni bili ispravni potrebno je izmjeriti ili izračunati temperaturu vode nakon miješanja i tada bi se mogla predvidjeti gustoća. Kvalitetnija procjena može se napraviti dobivanjem količine rada po m² potrebnog za podizanje hipolimnetičkog stupca kroz udaljenost od polovice epilimnetičke dubine, a količina "slobodnog" rada koja prolazi iz potonuća ekvivalentne epilimnetičke vode se mora oduzeti. Iz toga slijedi da je količina rada po jedinici površine (1) (Golterman, 1975.):

$$w = \frac{1}{2}(d_2 - d_1)g(Z - h) \quad (1)$$

gdje je: h – dubina epilimnija

Z – dubina jezera

d_2 – gustoća hipolimnija

d_1 – gustoća epilimnija

g – gravitacijsko ubrzanje

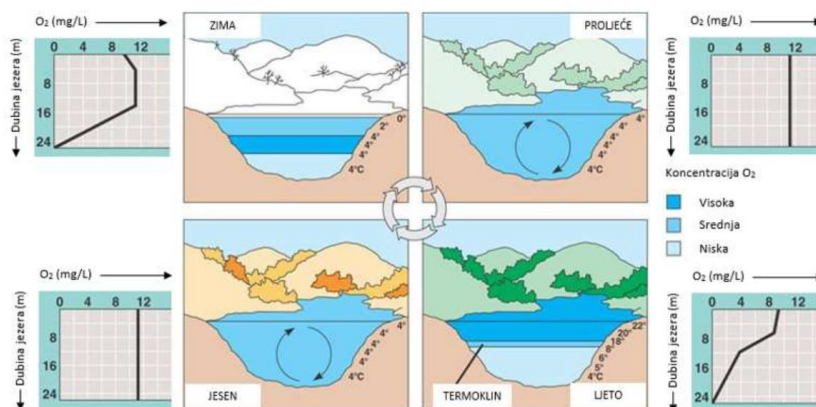
Razvijanjem toplinske slojevitosti tijekom proljeća, razlika između vrijednosti d_2 i d_1 je mala zbog niskih temperatura pa je razumljivo da strujanja vode izazvana vjetrom i dalje prenose toplinu prema dnu jezera. Također, treba znati da brzina promjene gustoće s temperatrom raste sa temperaturom. U tom smislu, toplinska stratifikacija je kombinirani rezultat Sunčevog zagrijavanja i utjecaja vjetra na površini jezera (Golterman, 1975.).

Sa dolaskom kasnog ljeta i početkom jeseni, odnosno završetkom tople sezone, padaju temperature zraka i s time dolazi do smanjenja dotoka topline u jezero, a gubitci topline premašuju unos Sunčevog zračenja. To dovodi do postupnog nestajanja toplinske slojevitosti. Tijekom jeseni, voda na površini jezera počinje se hladiti i postaje gušća s obzirom na topliju vodu u epilimniju koja je ispod nje. S tim činom nastupa ponovni početak miješanja epilimnijuma i hipolimnijuma. Vrijedi napomenuti da pojava jesenskih oluja sa prijelaza ljetne stratifikacije na jesensku cirkulaciju vode može biti nagla i često utječe na miješanje ova dva sloja prije nego što se njihove temperature izjednače. Površinska voda tone i miješa se kombinacijom konvekcijskih struja i cirkulacije unutar epilimnija izazvane vjetrom. Daljnjim nastavkom prodiranja površinske vode u metalimnij jezero se nastavlja hladiti. Istodobno je vidljivo postupno spuštanje metalimnij prema dnu jezera, a epilimnion povećava svoju debljinu. S spuštanjem metalimnija, gornji slojevi hipolimnija se miješaju sa epilimnijom. S

obzirom da kemijske razlike između voda gornjeg hipolimniju i epilimniju nisu velike, u epilimniju se događaju male promjene. Rezultat je prividno snižavanje metalimnijske termokline na godišnjoj razini. Kruženje vode se nastavlja postupnim hlađenjem po dubini, a brzina i trajanje hlađenja ovise o dimenzijama jezera, volumenu vode i meteorološkim uvjetima. Na kraju, cijela količina vode iz jezera je ponovno uključena u cirkulaciju te je pokrenut jesenski obrt vode i ciklus se ponavlja sa potpunim miješanjem vode tijekom zime (Wetzel, 2001.; Golterman, 1975.).

Kod nekih jezera moguća je i zimska stratifikacija, u slučaju formiranja leda te tada temperaturni slojevi imaju obrnutu temperaturnu razliku. Naziva se još i inverzna temperaturna stratifikacija, ali ona nije predmet ovog istraživanja. Jezera koja imaju i ljetnu i zimsku stratifikaciju sa jesenskim i proljetnim miješanjem nazivaju se dimiktična jezera. Za razliku od njih, monomiktička jezera u kojima postoji jedno godišnje razdoblje miješanja vode dijele se na hladna monomiktička jezera sa ljetnom cirkulacijom ispod 4°C i na topla monomiktička jezera sa zimskom cirkulacijom iznad 4°C. Upravo u topla monomiktična jezera spada i naše Vransko jezero sa otoka Cresa (Golterman, 1975.).

Sami proces termičke stratifikacije i cirkuliranja vode u jezeru utječe i na promjenu sadržaja kisika u jezeru. Uz pomoć navednih procesa kisik uspijeva doći i do dubljih slojeva jezera te se jezero konstantno obogaćuje kisikom po dubini tijekom godine što doprinosi održavanju biljnog i životinjskog svijeta. Na taj način u jezeru se omogućuje stalna koncentracija kisika. Na slici 5.1.4. je prikazan primjer miješanja vode u dimiktičnim jezerima. Slično je i sa monomiktičnim jezerima, ali kod njih je razlika što se miješanje vode događa samo jednog tijekom godine jer se ona ne zaleđuju.



Slika 5.1.4. Miješanje vode u dimiktičnim jezerima (Rubinić, 2019.)

Na osnovi svih prijašnjih mjerenja temperatura na Vranskom jezeru utvrđeno je da je ono srednje duboko jezero smješteno u umjerenom klimatskom pojasu i tijekom zime se ne zaleđuje. Tijekom cijele godine konstatirana je termička stratifikacija i na kraju zime izotermni uvjeti. Navedene informacije potvrđuju da je Vransko jezero monomiktičnog karaktera što znači miješanje cjelokupne jezerske vode jednom na godinu.

Temperatura vode u Vranskom jezeru mijenja se tijekom godine i njezine vrijednosti pokazuju izrazito veliku razliku između temperature u ljeti i zimi. Krajem zime ili početkom proljeća kreće zagrijavanje epilimnijskog sloja. Rast temperature vode na površini jezera dovodi do sve veće razlike u odnosu na temperaturni sloj hipolimnija. Na najčešćoj dubini od 10 do 20 metara uglavnom se formira termoklin ili metalimnij, sloj vode u kojem se temperatura vode počinje naglo mijenjati s dubinom i karakterizira ga gradijent temperature do $5^{\circ}\text{C}/\text{m}$. U sloju vode bliže površini jezera (početnih 10 metara dubine Vranskog jezera), iznad metalimnija, temperatura vode može dosegnuti vrijednosti i do 26°C . Nasuprot, u području hipolimnija temperatura jezera je niska te se, ovisno o klimatskim karakteristikama tijekom godine, kreće između $7,1^{\circ}\text{C}$ i $9,1^{\circ}\text{C}$. Sloj hipolimnija je isto podvrgnut polaganom zagrijavanju, no promjene su znatno sporije i manjeg opsega. S pojavom prvih naznaka hlađenja jezera u rujnu, a posebice tijekom listopada i studenog, dolazi do toplinske stratifikacije, topli zrak se uzdiže, a hladni zrak tone. U prosincu se najčešće postižu kriteriji za potpunu izotermiju. Cijela vodena masa Vranskog jezera po dubini tijekom izoternog razdoblja koje traje dva do tri mjeseca ima homogen temperaturni raspon od $6,7^{\circ}\text{C}$ do $8,7^{\circ}\text{C}$. Premda, vrijedi istaknuti da maksimalne ljetne temperature jezera na površini i temperature zimske izotermije uvelike se temelje na klimatskim prilikama svake pojedine godine. Tako, na primjer, tijekom studenog i prosinca 2011.g. te dijelom siječnja 2012.g. vrijeme je bilo prilično toplo pa je zimska izotermija kasnila oko mjesec dana i trajala kraće nego što je trebala. Nastupila je u veljači 2012.g. nakon vrlo hladnog drugog dijela siječnja i početka veljače što je rezultiralo hlađenjem jezera na izrazito niskih $5,13^{\circ}\text{C}$ (Kuhta, 2004.; Kuhta i Brkić, 2013.).

Uspoređujući podzemnu vodu sa vodom iz jezera dolazi se do toga da voda u bušotinama ima otprilike konstantnu temperaturu kroz cijelu godinu, s time da blago pada s dubinom. Temperaturne oscilacije unutar bušotina u intervalima od 5 metara su vrlo niske i kreću se od $0,2^{\circ}\text{C}$ do $0,4^{\circ}\text{C}$. Srednja temperatura podzemne vode kreće se od $13,1^{\circ}\text{C}$ do $14,6^{\circ}\text{C}$ ili od $14,1^{\circ}\text{C}$ do $15,5^{\circ}\text{C}$, ovisno o razdobljima u kojima su istraživanja i mjerenja provedena. U početnih 20 metara ispod razine vode, temperature podzemne vode su se smanjivale s

udaljenošću od jezera i s debljinom nesaturirane zone. (Kuhta, 2004.; Kuhta i Brkić, 2013.). Podzemna voda od jezerske vode, izuzev razlike u temperaturi, razlikuje se i po kemijskom sastavu i to se odražava kroz vodljivost, alkalitet, povišenu mineralizaciju, nižu razinu kisika i sadržaj SiO₂ i nitrata (Kuhta, 2004. prema Biondić i dr., 1995.).

5.2. Povijesni podaci

Povećanje temperatura vodnih sustava, pa tako i jezera, uzrokuju klimatske promjene koje se manifestiraju preko povećanih onečišćenja Zemljine atmosfere i s njim povezani efekti staklenika. Navedene promjene se događaju postepeno pa za njihovo praćenje su potrebni višegodišnji nizovi prikupljenih podataka. Takvih podataka za Vransko jezero, barem što se tiče temperature vode, ne postoje. Ipak, na raspolaganju imamo određena povremena mjerenja provedena u razdoblju od početka do sredine 20. stoljeća, rezultate povremenih mjerenja u razdoblju od 1995.g. do 2002.g.

Prve pisane podatke o vrijednostima temperatura Vranskog jezera iznio je R. Lorenz 16.IV.1858.g. i one su bile samo do dubine od 21 metra. A. Gavazzi u periodima 4.VII.-8.VII.1900.g. i 30.VI.-1.VII.1901.g. vrši mjerenja koja su provedena samo u gornjem, toplinski nestabilnom sloju jezera do dubine od 16 metara, odnosno u cijelom području epilimnija i u području termokline. Utvrdio je i kolebljivost termokline na Vranskom jezeru, to jest njeno pomicanje u vertikalnom smjeru kao posljedicu vjetrova. Služio se minimum-termometrima povezanim za konop u intervalima od 0,5 metara. Njegova mjerenja, u poređenju sa Petrikovim, ustanovila su slabiju homotermiju u epilimniju za obje godine, manju oštrinu stratifikacije i dublji lom temperature krivulje. Iz navedenog, to nagovještava vjetrovitije proljeće tijekom Gavazzijevih mjerenja i nije naletio na jasno izraženu termalnu stratifikaciju i zagrijani epilimnij zbog ranijih mjerenja od Petrikovih. Sljedeća istraživanja o temperaturama jezera uključivala su mjerenja po cijeloj dubini, a proveli su ih O. Casagrandi (11.VII.1921.g.), F. Morton (1933.g.), W. Nümann (12.XII.1940.g., 29.III, 12.VI., 6.VIII. i 19.XI.1941.g.) i M. Petrik (ljetu 1954.g. i 1956.g., ožujak 1956.g.).

Najopsežnija mjerenja temperatura po dubini proveo je M. Petrik u ljetu 1954.g. te u ožujku i ljetu 1956.g. na osnovu kojih je došao do zanimljivih činjenica o kretanju temperatura u Vranskom jezeru. Za mjerenje je koristio tri baždarena dubinska termometra na prevrtanje, proizvodnje Friedinger (Luzern) s razdiobom od 0,2°C, na kojima se moglo točno očitavati na 0,1°C te približno točno i na 0,05°C. Na nekim mjestima istraživanja je upotrebljavao samo jedan termometar, a na drugim je koristio dva ili tri termometra paralelno. Konkretno, tri

termometra su se koristila na sedam lokacija, dva termometra na jednoj lokaciji i jedan termometar na pet lokacija. Dobivene rezultate je u konačnici uspoređivao sa Gavazzijevim, Casagrandijevim, Mortonovim i Nümannovim rezultatima (Petrik, 1960.).

Petrik, sa svojim timom, je jedno od svojih mjerenja provodio pred kraj vrlo jake zime koja se dogodila na prijelazu 1955.g. na 1956.g. Očitavanje temperatura na površini jezera su započela potkraj siječnja 1956.g., no potom je nastupila oštra zima s burom koja je trajala sve do kraja veljače 1956.g. te su se očitavanja nastavila u ožujku 1956.g., u početku sa poteškoćom u vidu ponovne bure. Paralelno su se provodila mjerenja temperature zraka 1,5 metara iznad tla i vode na površini na istom mjestu kao i za temperaturu vode, ispod strojarnice vodovoda. Vrijednosti su prikazane u Tablici 5.2.1. (Petrik, 1960.).

Tablica 5.2.1. Temperatura zraka i površinske vode na Vranskom jezeru očitane od strane Petrika (Petrik, 1960.)

Datum	Vrijeme	Temperatura zraka	Temperatura vode
29.01.1956.	15:15 h	+7,2°C	8,6°C
30.01.1956.	15:05 h	+2,8°C	8,4°C
01.02.1956.	16:00 h	-3,6°C	7,8°C
01.02.1956.	16:38 h	-5,0°C	/
03.02.1956.	10:44 h	-5,2°C	6,9°C
08.03.1956.	08:30 h	+2,6°C	4,9°C
09.03.1956.	08:06 h	0,0°C	4,4°C
10.03.1956.	08:22 h	+2,1°C	5,1°C
11.03.1956.	08:23 h	+1,1°C	4,5°C
14.03.1956.	09:45 h	+3,6°C	4,7°C
15.03.1956.	07:26 h	+1,6°C	4,4°C
16.03.1956.	08:20 h	+3,1°C	4,6°C

Zaključilo se da zimske bure temeljito ohlade Vransko jezero, uspostavljaju termičku jednoličnost i tada sva jezerska voda cirkulira. Iz tog mjerenja su konstatirali gotovo potpuno savršenu homotermiju (ujednačenost) pri +4,6°C prouzrokovanu hlađenjem površinske vode burom tijekom zime. Ispod 40 metara dubine, najniža registrirana temperatura je bila 4,45°C, a temperaturni raspon od 4,45°C do 4,6°C. Temperature hipolimija izmjerene u ljeto 1954.g. i 1956.g. su se razlikovale, a posebice su se razlikovale sa Gavazzijevim, Casagrandijevim, Mortonovim i Nümannovim temperaturama, ali te razlike su pokazale kako se Vransko jezero u različitim godinama zimi hladi različito, neki put na višu, a neki put na nižu temperaturu, ovisno o meteorološkim prilikama tokom godina. Spuštanjem temperature na vrijednost

minimalne zimske konstantno nastaje totalno miješanje vode i sukladno tome, u jezeru ne nastupaju dva obrata vode (jesenji i proljetni) već samo jedan, a to je zimski (Petrik, 1960.).

Dolaskom proljeća gornji sloj vode se počinje grijati i uspostavlja se termička stratifikacija koja je na vrhuncu ljeta potpuno izgrađena. Također, sukladno meteorološkim prilikama primjećuje se s jedne strane različita temperatura epilimnija, a s druge strane različita dubina. To se može vidjeti iz usporedbe Petrikovih i Gavazzijevih mjerenja. Mjerenjem temperature vode, Petrik je uočio da se od zime do ljeta hipolimniji (ispod 40 metara dubine) u četiri mjeseca zagrije za oko 2°C, a epilimniji tijekom ljeta je imao srednju temperaturu od 22,6°C za 1954.g. i 23,3°C za 1956.g. Približne temperature su dobili i Casagrandi i Nümann. Zbog lakšeg razumijevanja rezultati su prikazani u Tablici 5.2.2. (Petrik, 1960.).

Tablica 5.2.2. Usporedba temperatura po dubini od Petrika sa Casagrandijevim i Nümmanovim mjerenjima (Petrik, 1960.)

Dubina	Casagrandi 11.VII.1927.g.	Nümann 6.VIII.1941.g.	Petrik (srednja vrijednost)	
			VII.-VIII. 1954.g.	VII. 1956.g.
0 - 10 m	23,5-24,0°C	20,8-24,5°C	22,6°C	23,3°C
20 m	12,3°C	12,8°C	10,2°C	10,2°C
30 m	9,3°C	9,9°C	7,9°C	7,9°C
40 m	8,3°C	/	6,7°C	6,9°C
50 m	/	9,0°C	6,2°C	6,5°C
55 m	8,0°C	/	/	/

Iz Tablice 5.2.1. se mogu vidjeti kako su Petrikova mjerenja manja od Casagrandijevog i Nümmanovog mjerenja. Ono što se primijeti su različite temperature po dubini u pojedinim godinama zbog razlika meteoroloških čimbenika za pretproljetnog perioda cirkulacije. Ljetna mjerenja 1954.g. su pokazale ravnomjernost termičkih prilika po dubinama na svim lokacijama jezera. U drugom dijelu srpnja 1954.g. Vransko jezero je ostvarilo potpunu i oštru stratifikaciju s velikim temperaturnim rasponom u metalimniju i totalnu homotermiju u dubljem hipolimniju. Istodobno, očitavanja u srpnju 1956.g. pokazala su jednako stanje, ali epilimniji je bio topliji i plići. Prema Petriku, dubina epilimnija 1954.g. je prosječno bila 9 metara, a 1956.g. 8,25 metara. Utvrdio je da ona zavisi s jedne strane o insolaciji, a s druge strane o vjetru. To je shvatio iz uvjeta koji su tada bili zastupljeni, mjerenje u ljetu 1954.g. odvijalo se na dan kada je vrijeme bilo pretežno bez vjetrova, dok u ljetu 1956.g. je u trenutku mjerenja bilo vjetrovito. Za razliku od Petrika, Gavazzi je dobio veću dubinu, ali nižu temperaturu epilimnija.

U metalimniju, prijelaznom sloju između epilimnija i hipolimnija, Petrik je primjetio veliki i nagli skok temperatura koji se ne pojavljuje stalno. Za vrijeme vjetrovitog vremena termoklina je bila nemirna te se u gornjem dijelu metalimnija mogla pratiti inverzija temperature i iznenadne promjene u visinskom položaju loma temperature krivulje. Suprotno tome, kod mirnog vremena lom temperature krivulje je bio oštar, a gradijent velik. Najveća primijećena vrijednost gradijenta 1954.g. je bila $1,72^{\circ}\text{C}$ na 10 cm dubinske razlike, a 1956.g. najveća je bila $1,40^{\circ}\text{C}$ na 10 cm dubinske razlike. Ucrtavanjem izmjerenih temperatura u dijagrame pokazalo se da lom temperature krivulje na različitim dijagramima ima različitu oštrinu zbog toga što su mjerenja na nekim mjestima obuhvaćala točku loma, a na drugim je točka loma preskočena. Tako su na dijagramima lomovi krivulja primijećeni na dubinama od 8 m, 8,5 m, 9 m, 9,3 m, 9,8 m, 10 m, 10,5 m, a na krivulji srednjih temperatura na 9 m. (Petrik, 1960.).

U očitavanjima Petrika, temperature u dnu hipolimnija uslovljene su najnižom temperaturom na koju se Vransko jezero ohladilo tijekom zime, odnosno temperaturom u procesu cirkulacije prije dolaska proljeća. U određenim godinama temperatura pri dnu hipolimnija može biti različita, a u slučaju 1954.g. ona je bila malo veća od 6°C . U 1954.g. i 1956.g., hipolimniji je bio identično dubok i skoro iste temperature. Gavazzi nije pružio temperature niti dubine mjerenja u hipolimniju, no zapisao je vrijednost temperature na površini od 7°C , a u dubinama jezera nije naišao na temperaturu nižu od 5°C .

Zaključno, Petrik sa svojim timom ustvrdio da je položaj i temperaturni gradijent termokline na Vranskom jezeru u funkciji vjeta, posebno bure i tramontane, a vrijednosti temperature jezera i dubine epilimnija rezultat geografskog položaja jezera i vjetrovitosti. Također, Petrik je uspoređujući Vransko jezero sa primjerima kao što su Kozjak i Prošće na Plitvičkim jezerima, Crveno jezero i Blato kod Imotskoga, Bohinjsko jezero i more pokazao da Vransko jezero posjeduje najoštriju ljetnu stratifikaciju, najdublji i najtopliji epilimniji te najvišu temperaturu u hipolimniju od svih pravih jezera u nizu (Petrik, 1960.).

Osim vlastitih provođenja i analiziranja izmjerenih temperatura Vranskog jezera, Petrik je proučio Nümannova i Mortonova mjerenja. Nümannova mjerenja isto pokazuju najveće hlađenje jezera i razvijanje homotermije pred dolaskom proljeća. Na primjeru vrijednosti temperatura od 29.III.1941.g., linija temperatura prikazuje skoro potpunu homotermiju ispod 10 m, s time da je iznad te dubine već započelo zagrijavanje vode uslijed povećanja temperature zraka. Slijedeće mjerenje izvedeno 12.VI.1941.g. već sugerira pojavu stratifikacije, s lomom temperature krivulje na 10 metara dubine. Nümann je mjerio temperaturu vode na velikim

rasponima dubine stoga početak metalimnija nije vidljiv dijagramom. Čitava masa vode se podjednako zagrijala. Također, vrijedi i za mjerenje obavljeno 6.VIII.1941.g. koje pokazuje još veću stratifikaciju. Posljednje mjerenje, izvršeno 19.XI.1941.g., ukazuje na hlađenje vode do dubine od 27 metara, ali ispod te dubine pa sve do dubine od 45 metara voda se ugrijala, što je normalni događaj tijekom jezerskog hlađenja. Iz podataka o temperaturi vode od istog dana se moglo vidjeti da je tada vladala homotermija u dva područja. Jedna je bila iznad 30 metara dubine s oko 11°C, a druga ispod 50 metara dubine s oko 7°C pa iz toga proizlazi pretpostavka miješanja vode vjetrom od površine do dubine od 30 metara. Zadnju fazu hlađenja jezera pokazuje mjerenje od 12.XII.1940.g. koje je, bez obzira što je izvršeno godinu dana prije, u načelu pokazalo istu liniju kakva je i od 19.XI.1941.g. Iznimka je jedino što su temperature bile niže, a homotermija u područjima od 0 do 20 metara i od 30 do 70 metara. Temperature na dnu jezera su se generalno mijenjale u toku godine za nešto manje od 2°C, a ista približna varijacija je bila i kod Petrika 1956.g. (Petrik, 1960.).

Morton je mjerio temperaturu Vranskog jezera po dubini 20.IV.1931.g., međutim, rezultati su prikazani na dijagramu i Petrik je očitao slijedeće vrijednosti prikazane u Tablici 5.2.3.

*Tablica 5.2.3. Izmjerene temperature Vranskog jezera po dubini prema Mortonu, 20.IV.1931.g.
(Petrik, 1960.)*

Dubina [m]	Temperatura po dubini [°C]
0	8,2
5	8,05
10	7,8
15	7,2
20	6,6
25	6,47
30	6,33
35	6,2
40 do 70	6,08

Kako je mjerenje provedeno u proljeću, Vransko jezero je bilo hladnije i iz priloženoga se vidi da je temperatura na 20 metara dubine i dublje manja od 7°C, ali viša od 6°C što je u skladu s Petrikovom tvrdnjom o hlađenju za pretproljetne cirkulacije (Petrik, 1960.).

Nova mjerenja provedena su od 1996.g. do 2012.g. i oslanjaju se na temperature Vranskog jezera u području hipolimnija, na dubinama ispod 40 metara, koja su potom uspoređena sa starim podacima od Mortona, Nümanna i Petrika (Tablica 5.2.4.).

Tablica 5.2.4. Usporedba temperatura vode u Vranskom jezeru u području hipolimnija, na dubinama ispod 40 metara (Kuhta i Brkić, 2013.)

Mjerenje	Morton		Nümann				Petrik			
Vrijeme	IV.1931.g.		III.1941.g.		VIII.1941.g.		III.1956.g.		VII.1956.g.	
Temperatura [°C]	6,08		6,2 - 6,4		8,2 - 9,3		4,45 - 4,6		6,5 - 6,9	
Mjerenje	HGI - Hrvatski geološki institut (Kuhta)									
Vrijeme	III.1996.g.	VIII.1996.g.	III.1997.g.	IX.1997.g.	III.2000.g.	VIII.2000.g.	II.2002.g.	VIII.2002.g.	II.2011.g.	II.2012.g.
Temperatura [°C]	7,1	7,6 - 7,8	7,9	8,5 - 8,9	7,4 - 7,5	8,5 - 8,8	6,7	7,8 - 8,5	7,7	5,1

Prikazani rezultati u Tablici 5.2.4. pokazuju manje vrijednosti temperatura jezera kod Mortonovih, Nümannovih i Petrikovih mjerenja nakon hlađenja Vranskog jezera tijekom zime od onih izmjerenih u periodu od 1996.g. do 2002.g. Približna vrijednost, odnosno najmanja razlika, se može vidjeti u Nümannovom mjerenju (ožujak 1941.g.) i mjerenju obavljenom u veljači 2002.g. u iznosu od 0,3°C-0,5°C. Uspoređujući vrijednosti iz različitih godina, ali istog mjeseca, najniža zabilježena temperatura je bila u ožujku 1956.g., a najviša u ožujku 1997.g. i njihova razlika iznosi 3,45°C.

Promatranjem podataka u cjelini proizlazi da su se minimalne temperature jezera na dubinama ispod 40 metara, koje su izmjerene na kraju 20.st. i početkom 21.st., povećale u odnosu na one temperature iz Mortonovih, Nümannovih i Petrikovih mjerenja. Naime, navedene promjene ne mogu biti dokaz utjecaja klimatskih promjena s obzirom da su vrijednosti temperatura nedovoljni i vremenski udaljeni. Evidentirana stanja su trenutna jer primarno odražavaju meteorološke prilike u razdoblju u kojem su provedena istraživanja. Tako, primjerice, temperatura jezera u ožujku 1956.g. je bila veoma niska zbog izrazito hladne i jake zime (prema Petriku u veljači te godine, temperatura zraka je u prvih 20 dana bila stalno ispod 0°C, s najnižom vrijednosti od -7,6°C). Približno je bilo i tijekom mjerenja u veljači 2012.g. kada je hladan period vremena doveo do pada temperature jezerske vode na 5,1°C, što je bila najniža zabilježena od početka mjerenja 1996.g. (Kuhta i Brkić, 2013.).

Vrijednosti temperatura hipolimnija najviša su potkraj ljeta ili tijekom početka jeseni, kao i kod drugih mjerenja. Najveća temperatura je izmjerena u rujnu 1997.g., i to 8,9°C, s time da Nümann izmjerio još veću, u kolovozu 1941.g. u vrijednosti od 9,3°C (Kuhta i Brkić, 2013.).

5.3. Temperature površinske vode na C.P. Vrana

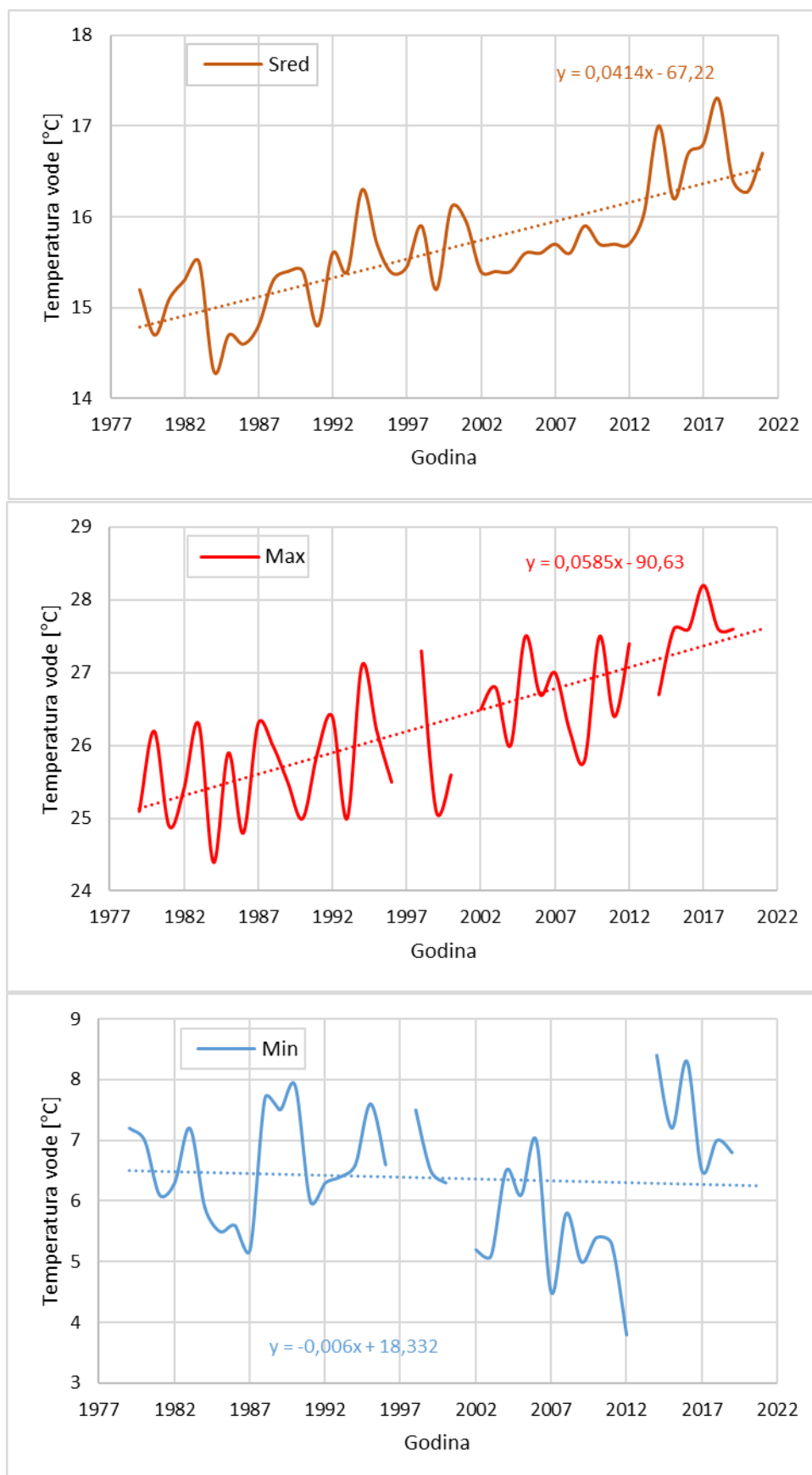
Kao i kod temperatura zraka i količina oborina, na početku svakog analiziranja određenih nizova podataka, potrebno je provesti osnovnu statističku obradu podataka o temperaturama vode na površini Vranskog jezera preuzetih sa hidrološke postaje C.P. Vrana. Osnovna statistička obrada podataka o temperaturi površinske vode podrazumijeva određivanje srednje vrijednosti niza (Sred), standardne devijacije (Stdev), koeficijenta varijacije (Cv), maksimalne i minimalne vrijednosti unutar analiziranog niza podataka. U Tablici 5.3.1. vidljiv je prikaz unutargodišnje raspodjele karakterističnih mjesečnih i godišnjih temperaturama površinske vode u Vranskom jezeru za razdoblje od 1979.g. do 2021.g.

Tablica 5.3.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura površinske vode (°C) u Vranskom jezeru (1979.g.-2021.g.)

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednja temperatura vode (°C)													
Sred	8,9	8,1	8,7	11,3	16,5	21,5	23,9	24,4	21,6	18,1	14,1	10,9	15,7
Stdev	1,0	1,2	1,3	1,2	1,6	1,3	1,1	0,9	1,1	0,9	1,2	1,2	0,7
Cv	0,11	0,15	0,15	0,11	0,10	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05	0,08	0,11	0,04
Max	12	11	13,6	13,8	20,2	25,1	25,7	26,4	24	20,4	16,4	13,6	17,3
Min	7	5,5	6,4	9	12,4	18,5	21,8	22,8	17,7	16,4	11,2	7,1	14,3
Maksimalna temperatura vode (°C)													
Sred	10,7	9,8	10,6	14,0	19,9	24,5	25,8	26,0	23,8	20,4	16,4	13,0	26,3
Stdev	1,5	1,7	1,3	1,6	2,0	1,6	1,2	1,1	1,2	1,0	1,3	1,4	1,0
Cv	0,14	0,17	0,12	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04	0,05	0,05	0,08	0,11	0,04
Max	15	13,9	15	17,5	24,8	26,8	27,6	28,2	26,3	22,8	19,4	15,8	28,2
Min	8,3	7,2	8,4	10,5	15,2	20,8	23,3	24,2	21,8	18,5	13,5	9,9	24,4
Minimalna temperatura vode (°C)													
Sred	7,4	6,7	7,2	9,1	13,3	18,6	21,8	22,6	19,4	15,4	12,0	9,1	6,4
Stdev	1,1	1,2	1,1	1,2	1,5	1,8	1,5	1,0	1,5	1,8	1,4	1,1	1,0
Cv	0,15	0,18	0,15	0,13	0,12	0,09	0,07	0,05	0,08	0,12	0,12	0,12	0,16
Max	10,5	9,8	9,3	12,1	16,2	23	24,8	25,1	21,8	18,5	15	11,4	8,4
Min	5,2	3,8	5,1	6,5	9,7	13,8	15,4	21	14,5	10	9,3	6,3	3,8

Iz tablice, za promatrano razdoblje od 1979.g. do 2021.g., može se očitati da je srednja godišnja temperatura vode na površini jezera 15,7°C, maksimalna temperatura je 28,2°C i minimalna temperatura je 3,8°C.

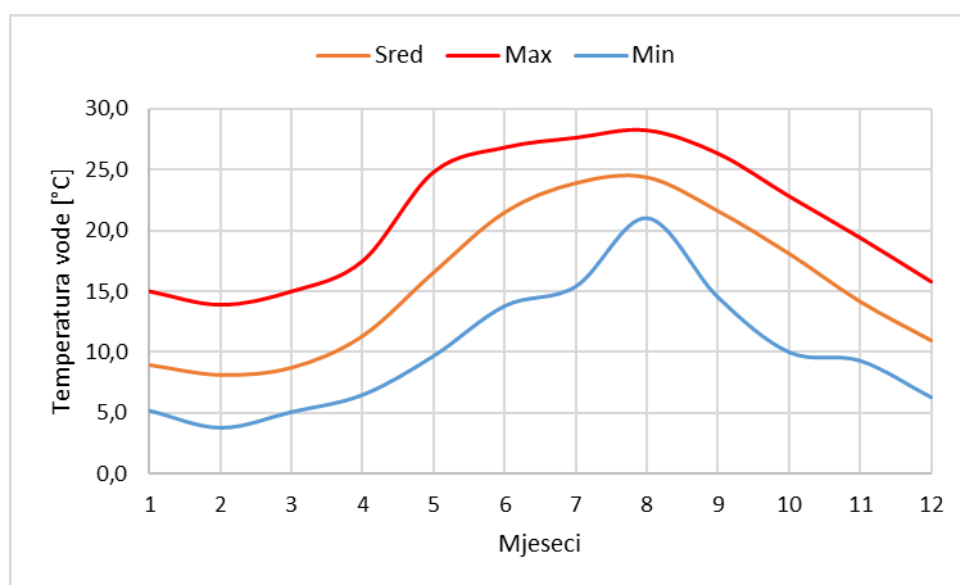
Na slici 5.3.1. dan je hod srednjih, maksimalnih i minimalnih godišnjih temperatura površinske vode sa njihovim pripadajućim trendovima za razdoblje od 1979.g. do 2021.g.



Slika 5.3.1. Godišnji hod srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura površinske vode u Vranskom jezeru sa njihovim trendovima (1979.g.-2021.g.)

Na Slici 5.3.1. prikazan je izraženi trend povećanja srednjih i maksimalnih godišnjih temperatura površinske vode u Vranskom jezeru, i to oko $4,1^{\circ}\text{C}/100$ godina za srednje godišnje temperature te oko velikih $5,8^{\circ}\text{C}/100$ godina za maksimalne godišnje temperature. Za razliku od njih, kod minimalnih godišnjih površinskih temperatura Vranskog jezera vidljiv je trend smanjenja temperatura od $0,6^{\circ}\text{C}/100$ godina.

Slika 5.3.2. prikazuje unutargodišnju raspodjelu površinske temperature vode na Vranskom jezeru za razdoblje od 1979.g. do 2021.g. sa hidrološke postaje C.P. Vrana.

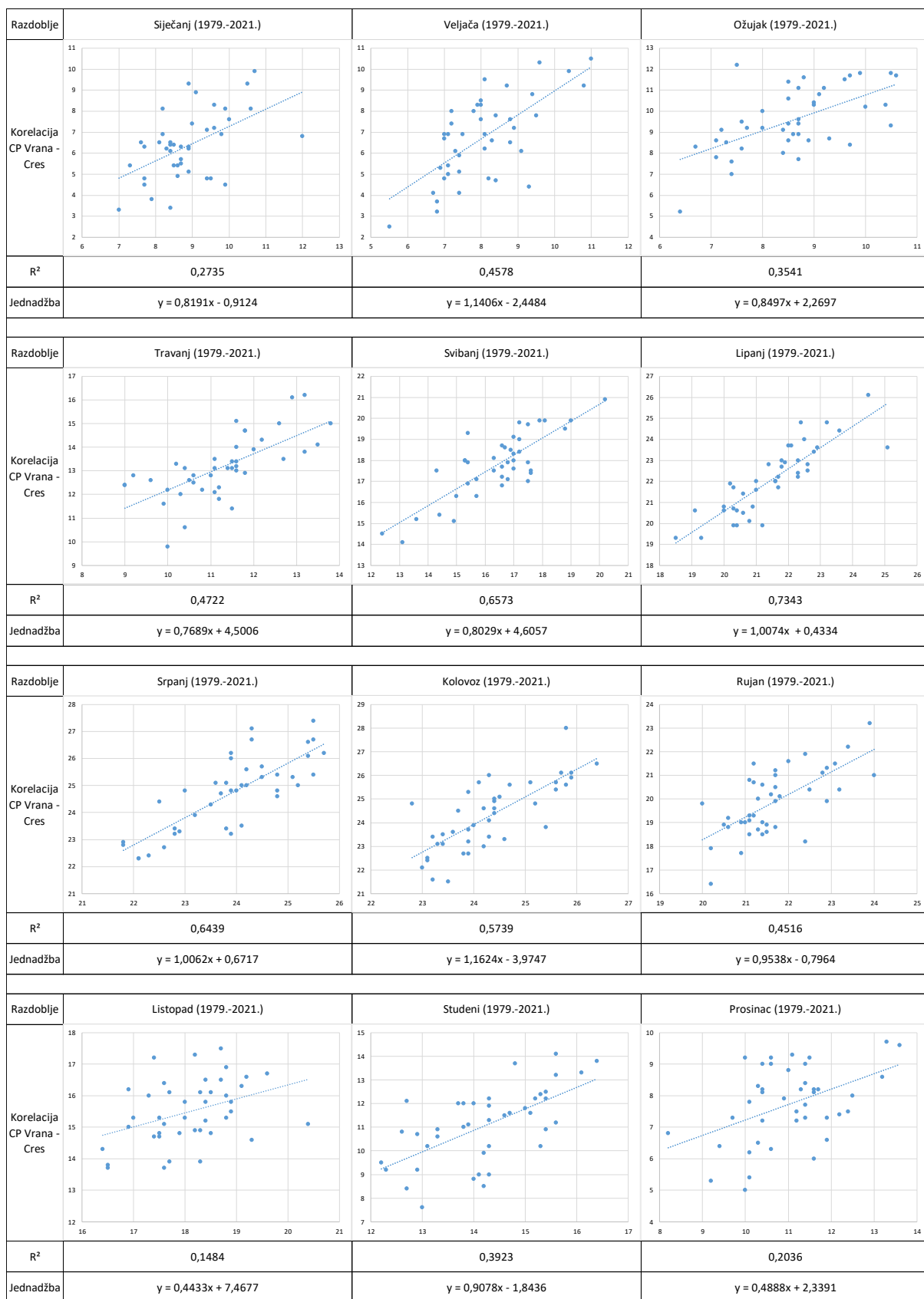


Slika 5.3.2. Unutargodišnja raspodjela srednjih, maksimalnih i minimalnih temperatura površinske vode u Vranskom jezeru (1979.g.-2021.g.)

Primijećeno je sa Slike 5.3.2. da se maksimalne mjesečne temperature javljaju u mjesecu kolovozu, a minimalne mjesečne temperature u mjesecu veljači. Također, vidljive su i velike oscilacije u površinskim temperaturama vode. Najveća unutargodišnja amplituda evidentirana je u 2012.g. u iznosu $23,6^{\circ}\text{C}$ (maksimalna temperatura $27,4^{\circ}\text{C}$ i minimalna temperatura $3,8^{\circ}\text{C}$) dok najmanja unutargodišnja amplituda je evidentirana u 1990.g. u iznosu $17,1^{\circ}\text{C}$ (maksimalna temperatura 25°C i minimalna temperatura $7,9^{\circ}\text{C}$). Raspon između evidentiranih ekstremnih temperatura se unutar određenih mjeseci kreće između otprilike 7°C i 15°C .

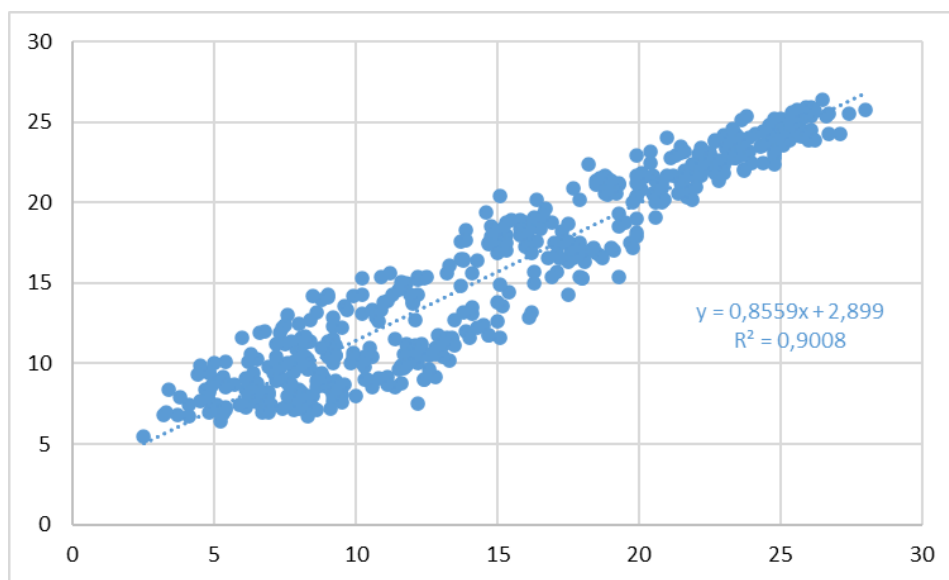
U razdoblju od 1979.g. do 2021.g. na hidrološkoj postaji C.P. Vrana postoje neizmjerene vrijednosti maksimalnih, srednjih i minimalnih temperatura vode za pojedina razdoblja, a to su svibanj i lipanj 1997.g., cijela 2001.g., siječanj 2013.g., studeni i prosinac 2020.g. te listopad 2021.g. Shodno tome, nedostaju i godišnji podaci maksimalnih, srednjih i minimalnih temperatura vode za navedene godine. Budući da se u blizini nalazi klimatološka postaja Cres

sa zabilježenim srednjim vrijednostima temperatura zraka, pokušala se izvesti korelacija sa hidrološkom postajom C.P. Vrana samo sa srednjim vrijednostima temperatura vode Vranskog jezera za svaki mjesec pojedinačno i tako popuniti nedostajajuće podatke. Korelacija između maksimalnih i minimalnih temperatura zraka i jezera se nije mogla izvesti zbog nedostupnosti maksimalnih i minimalnih temperatura zraka sa klimatološke postaje Cres. Rezultati su prikazani na Slici 5.3.3. i iz nje se može uočiti da korelacije nema, odnosno ne postoji za mjesece siječanj, veljača, ožujak, travanj, rujan, listopad, studeni i prosinac, ali za mjesece svibanj, lipanj, srpanj i kolovoz postoji nekakva slaba korelacijska veza. Možemo pretpostaviti da je razlog tome približno jednaka temperatura zraka i jezera tijekom ljeta, a u jesenskim, zimskim i proljetnim vremenima, temperature zraka i jezera se razlikuju zbog toga što se zrak brže zagrijava i hladi jer ima manju gustoću od vode, a Vransko jezero sporije jer je to velika masa vode koja ne može pratiti takav ritam i potrebno mu je određeno vrijeme. Dakle, rezultati korelacije nisu se uzele u obzir te su odbačeni.



Slika 5.3.3. Korelacija srednjih temperatura zraka sa klimatološke postaje Cres i srednjih temperatura vode sa hidrološke postaje C.P. Vrana za svaki pojedini mjesec u razdoblju od 1979.g. do 2021.g.

Zatim se probala provesti korelacija nizova podataka od 1979.g. do 2021.g. srednjih temperatura zraka sa klimatološke postaje Cres i vode sa hidrološke postaje C.P. Vrana i dobila se relativno čvrsta korelacijska veza ($R^2 = 0,90$) koja se može iskoristiti za nadopunjavanje nedostajajućih podataka o srednjoj temperaturi vode u Vranskom jezeru (Slika 5.3.4.).

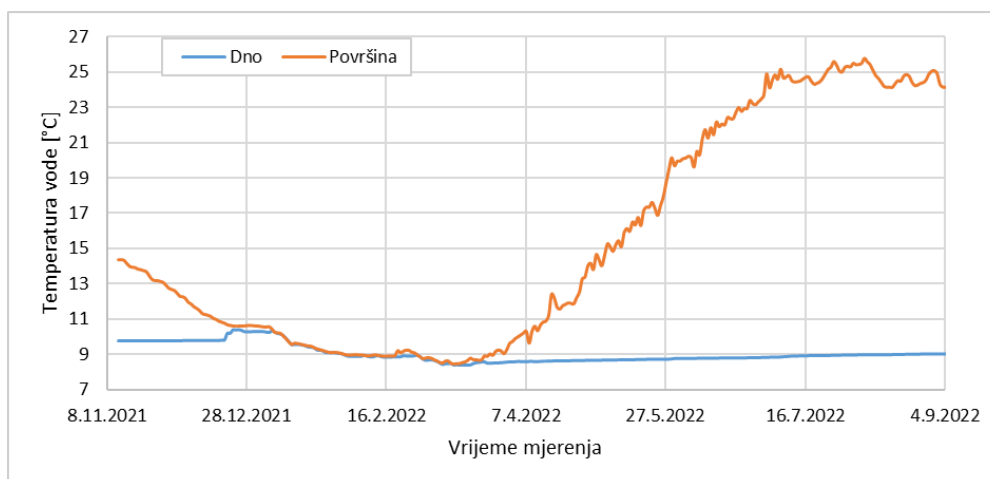


Slika 5.3.4. Korelacija nizova podataka o srednjim mjesečnim temperaturama zraka i vode za razdoblje od 1979.g. do 2021.g.

5.4. Temperature po dubini jezera

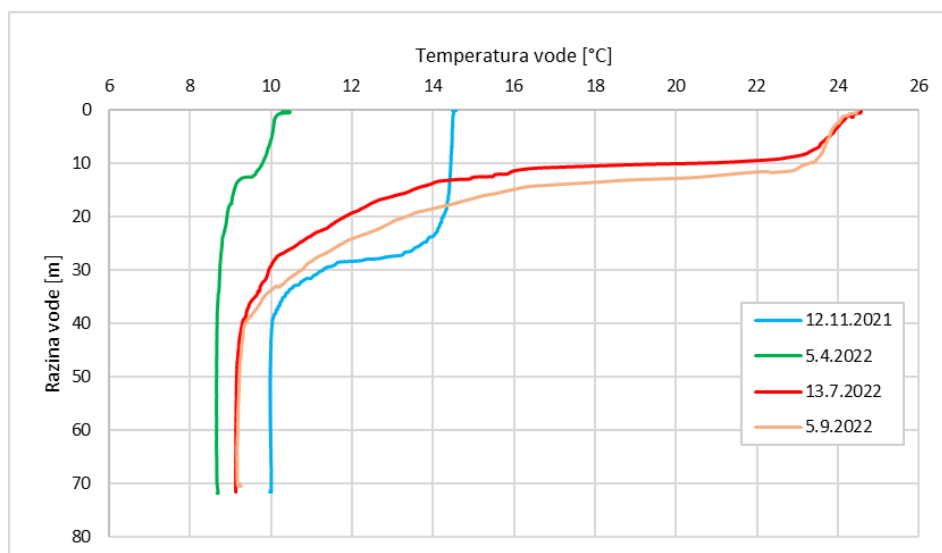
Temperature vode u jezeru, pa i one po dubini jezera, predstavljaju jedan od nekoliko parametara koji najilustrativnije može upućivati na promjene klimatskih karakteristika na nekom području u duljem vremenskom razdoblju. To se posebno odnosi na jezera s prilično velikim volumenom vode i u njima su manje istaknute oscilacije pod utjecajem lokalnih temperaturnih promjena u kraćem vremenskom razdoblju.

Na Slici 5.4.1. nalazi se dijagram koji prikazuje kretanje temperature vode na površini jezera i na dnu jezera na temelju izmjerenih vrijednosti u razdoblju od 12.11.2021.g. do 04.09.2022.g. Vidljivo je da se temperature na dnu Vranskog jezera za vrijeme predmetnog istraživanja kretala od 8,4°C do 10,4°C, a najveći broj dana se kretala oko 9°C. U usporedbi, temperatura na površini se jako mijenjala tijekom razdoblja promatranja, od najniže 8,5°C izmjerene u travnju, pa do najviše 25,8°C izmjerene u kolovozu. Također, može se vidjeti kako obe temperature tijekom zimskog i početnog proljetnog perioda imaju priližno iste vrijednosti.



Slika 5.4.1. Prikaz temperatura vode na površini i na dnu Vranskog jezera na postaji Vransko jezero (12.11.2021.g. do 04.09.2022.)

Izmjerene su i temperature vode po cijeloj dubini Vranskog jezera u različitim razdobljima (Slika 5.4.2.). Jedno mjerenje provedeno je tijekom zime, u prosincu 2021.g., druga dva su provedena za vrijeme proljeća i ljeta, odnosno u travnju i srpnju 2022.g., i zadnje je izvršeno na kraju ljeta 2022.g. Sa dijagrama je uočljiva razvijena termalna stratifikacija u toplom dijelu godine s najvećim temperaturama u sloju epilimnija dostižu vrijednost od 25°C na površini jezera, a katkada i prelaze preko. Dolaskom jeseni i na početku zime nastupa postepeno hlađenje Vranskog jezera na površini i prijenos topline u dubinu jezera koja počinje zagrijavati sloj hipolimnija. Završetkom zime dolazi do potpunog miješanja jezera. Temperature izmjerene u travnju pokazuju početak ponovnog procesa zagrijavanja površine Vranskog jezera što potvrđuje da pripada monomiktičkom tipu jezera. U travnju primjetna je vrlo mala razlika u temperaturi vode po cijeloj dubini jezera koja iznosi manje od 2°C. Sloj vode na površini prati variranje temperatura zraka u cijeloj godini. Metalimnij ili termoklin, sloj između epilimnija i hipolimnija, pokazuje nagle promjene temperature vode koja u ljetnim mjesecima iznose preko 10°C. U hipolimniju se nalaze relativno ujednačene niske temperature vode, s oscilacijama unutar godine za nekih oko 1,5°C. Na dubini ispod 40 metara više nema naglijih promjena u temperaturi voda ovisno o formiranju termokline i spuštanju toplije vode prema dnu, ali su promjene temperature voda ujednačenije te zavise o dinamici miješanja vode s površine i dna jezera.



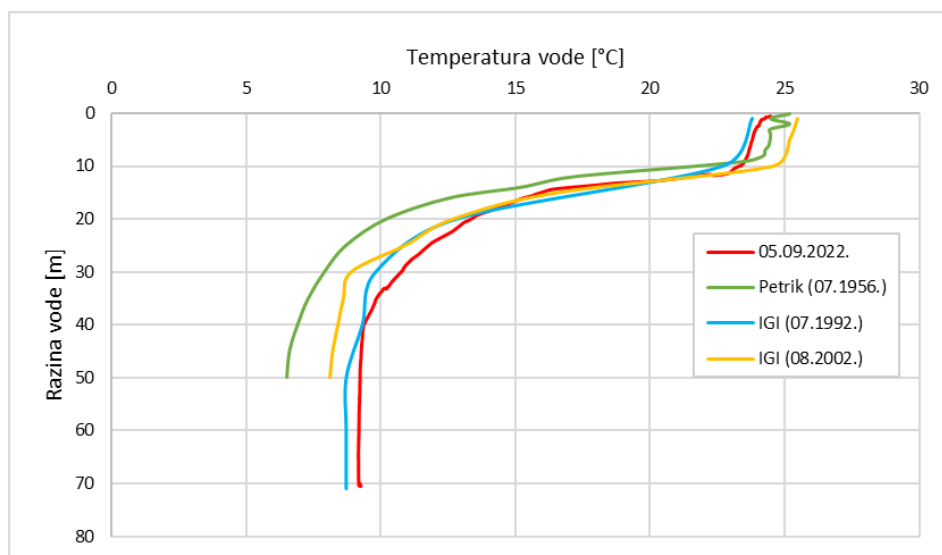
Slika 5.4.2. Temperature vode po dubini Vranskog jezera u različitim godišnjim dobima

Kako bi se mogle tumačiti promjene temperatura voda po dubini Vranskog jezera sa prijašnjim provedenim mjerenjima (Tablica 5.4.1.), provela se i usporedba najnovijih mjerenja sa onim starijim. Jedna od tih starijih mjerenja su i Petrikova mjerenja iz 1954.g. i 1956.g. koji je analizirao moguće promjene temperature vode u Vranskom jezeru i kasnije uspoređivao sa rezultatima izmjerenih od strane Lorenza (1858.g.), Gavazzija (1900.g. i 1901.g.), Casagrandija (11.07.1927.g.) i Nümanna (1941.g.), što je detaljnije objašnjeno u potpoglavlju 5.2. Također, upotrijebili su se podaci o temperaturama vode čije mjerenje je izvršio Institut za geološka istraživanja u periodu od 1992.g. do 1994.g. (Geotehnički fakultet, 2023. prema Biondić i dr., 1994.) i od 2001.g. do 2002.g. (Geotehnički fakultet, 2023. prema Kuhta, 2002.).

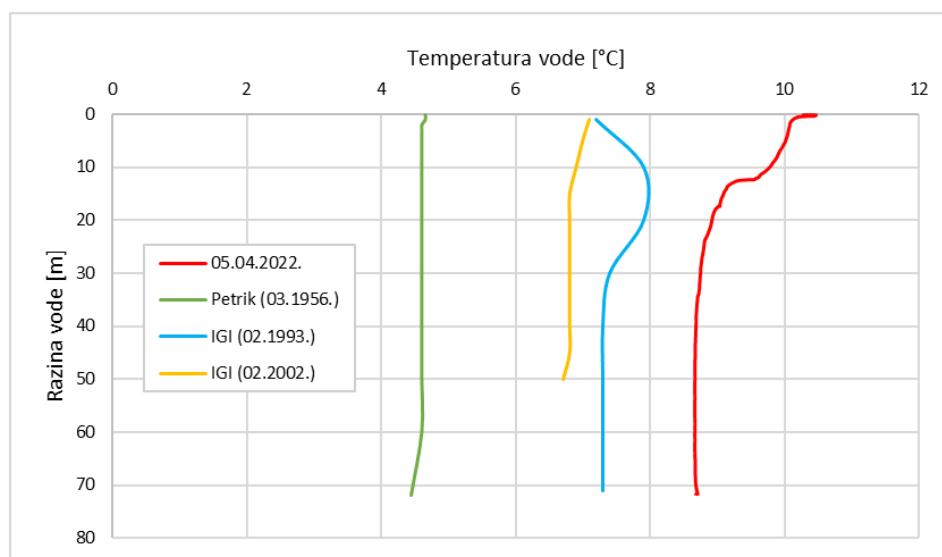
Tablica 5.4.1. Izmjerene temperature vode Vranskog jezera od prethodnih provedenih mjerenja

Dubina (m)	Temperatura vode (°C)		Dubina (m)	Temperatura vode (°C)		Dubina (m)	Temperatura vode (°C)	
	Petrik (03.1956.g.)	Petrik (07.1956.g.)		IGI (07.1992.g.)	IGI (02.1993.g.)		IGI (02.2002.g.)	IGI (08.2002.g.)
0,1	4,65	25,2	1	23,8	7,2	1	7,1	25,5
1	4,65	24,49	10	22,7	7,9	5	7	25,2
2	4,6	25,2	20	12,8	7,9	10	6,9	24,6
3	4,6	24,47	30	9,8	7,4	15	6,8	16,6
4	4,6	24,49	40	9,3	7,3	20	6,8	12,7
6	4,6	24,43	50	8,7	7,3	25	6,8	10,9
7	4,6	24,28	60	8,7	7,3	30	6,8	8,9
8	4,6	24,23	71	8,7	7,3	35	6,8	8,6
9	4,6	23,64				40	6,8	8,4
10	4,6	21,68				45	6,8	8,2
12	4,6	17,17				50	6,7	8,1
14	4,6	15,2						
16	4,6	12,57						
20	4,6	10,2						
25	4,6	8,7						
30	4,6	7,9						
35	4,6	7,3						
40	4,6	6,9						
45	4,6	6,6						
50	4,6	6,5						
60	4,6							
72	4,45							

Predstavljena su mjerenja za dva karakteristična stanja Vranskog jezera. Na prvom dijagramu (Slika 5.4.3.) su prikazane najveće temperature površinskog sloja jezera tijekom i potkraj ljeta u stanju potpune termokline, a na drugom dijagramu (Slika 5.4.4.) prikazano je izotermno stanje tijekom zime i ranog proljeća.



Slika 5.4.3. Usporedni prikaz temperatura vode Vranskog jezera po dubini tijekom i na kraju ljeta sa rezultatima prijašnjih mjerenja



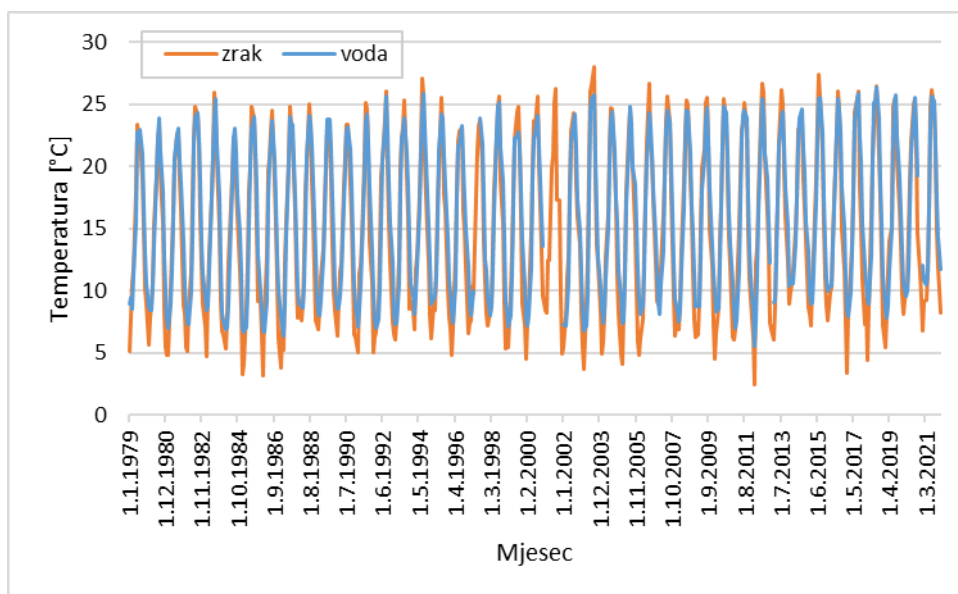
Slika 5.4.4. Usporedni prikaz temperatura vode Vranskog jezera po dubini na kraju zime i početku proljeća sa rezultatima prijašnjih mjerenja

Gledajući najnovije rezultate temperatura vode po dubini u odnosu na rezultate istraživanja provedenih u zadnjih 68 godina, može se vidjeti da na zagrijavanju površinskog sloja jezera tijekom ljeta se ne primjećuju znatne razlike u stupnju njegove zagrijanosti. Međutim,

evidentne su znatne razlike u temperaturama vode za vrijeme zimske izotermije Vranskog jezera nakon miješanja cjelokupne mase vode. Vidljiv je trend povećanja temperature vode u dubljim slojevima jezera, ali treba uzeti u obzir da su se zadnja mjerenja odvijala na početku zagrijavanja površine jezera. Temperature su se kretale oko 4,6°C u vremenu Petrikovih mjerenja 1956.g., oko 7,3°C i 6,8°C u vremenu mjerenja Instituta za geološka istraživanja 1993.g. i 2002.g. Zadnja mjerenja pokazala su kretanje temperature na oko 8,7°C, što znači povećanje za oko 4°C od onoga što je izmjerio Petrik. Dakako, ovakve promjene temperatura vode ovise o različitim čimbenicima kao što su oscilacije temperatura zraka unutar pojedinih godina, puše li vjetar, temperature vode u prethodnom razdoblju, vodostaj i volumen jezera, ali sigurno udio u takvim naglašenim promjenama u Vranskom jezeru zauzima utjecaj prisutnih klimatskih promjena.

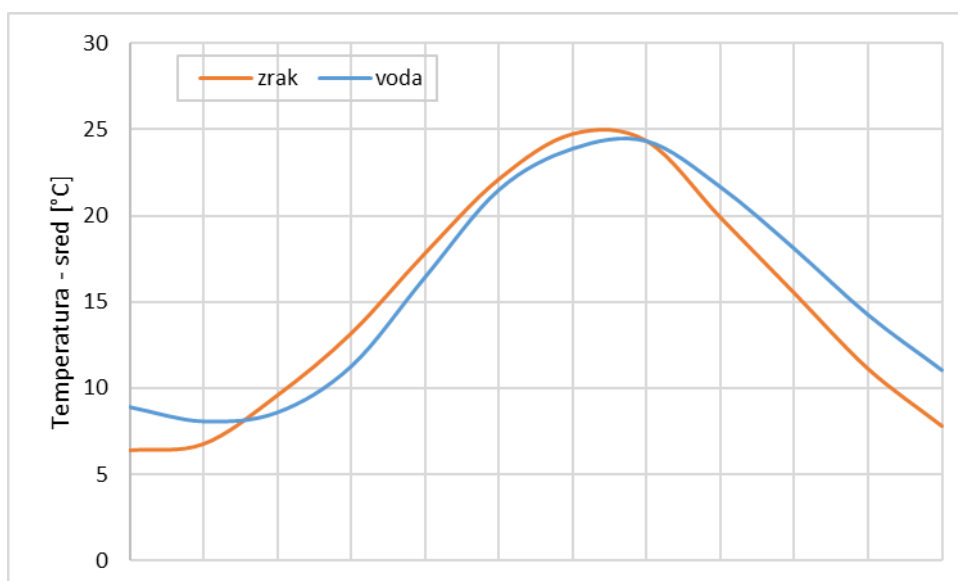
5.5. Međudnosi temperatura vode i zraka

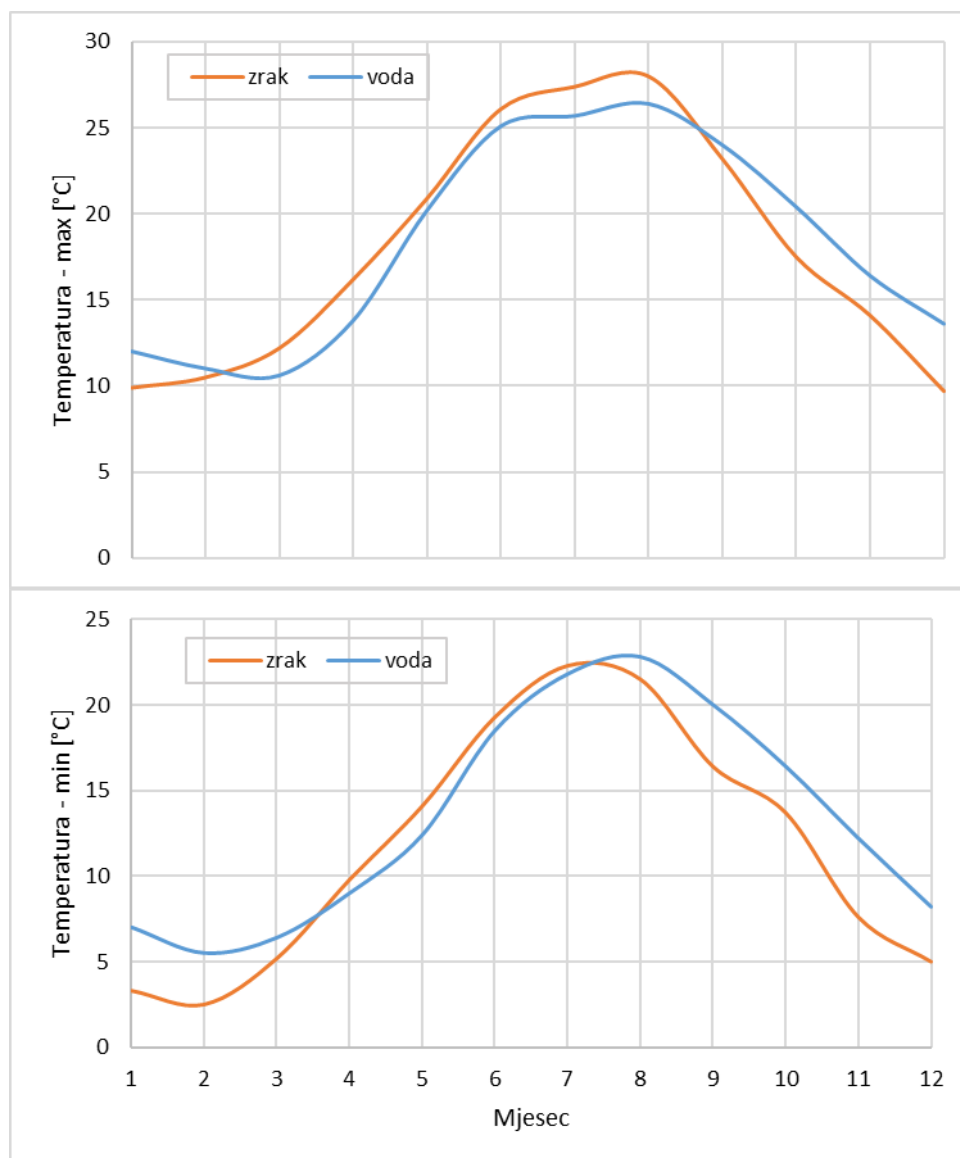
Analiza međudnosa srednjih temperatura vode sa hidrološke postaje C.P. Vrana i srednjih temperatura zraka sa klimatološke postaje Cres provedena je za razdoblje od 1979.g. do 2021.g. i prikazana je na Slici 5.5.1. Vidljivo je da temperature jezera tijekom ljeta zaostaju za temperaturama zraka zbog tromosti samog Vranskog jezera i velikog volumena koji posjeduje, ali i zbog toga što se zrak brže zagrijava od vode. Međutim, u nekim godinama, ali u zadnjim godinama posebno, srednje temperature jezera dostižu srednju temperaturu zraka po ljeti što možemo pripisati sve toplijim ljetima. Tijekom zime, srednja temperatura jezera se ne spušta do vrijednosti srednjih temperatura zraka, opet zbog toga što se zrak brže hladi od vode i zbog tromosti jezera. U ostalim godišnjim razdobljima temperatura zraka i vode se prate i približno poklapaju.



Slika 5.5.1. Usporedni hod mjesečnih temperatura zraka sa klimatološke postaje Cres i temperature vode sa hidrološke postaje C.P. Vrana (1979.g.-2021.g.)

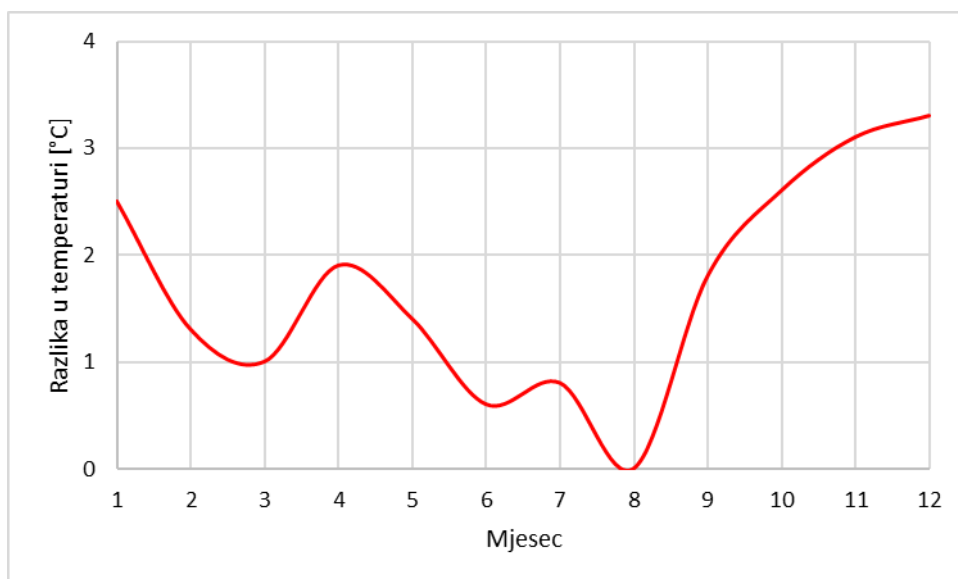
Na Slici 5.5.2. prikazani su usporedni dijagrami unutargodišnjih raspodjela srednjih, maksimalnih i minimalnih srednjih temperatura zraka i srednjih temperatura vode unutar razdoblja od 1979.g. do 2021.g. Vidljivo je to zaostajanje temperatura vode za temperaturama zraka u svim godišnjim dobima kod svih vrijednosti zbog već spomenute tromosti Vranskog jezera kojemu je potrebno duže vrijeme da se zagrije i ohladi. Srednje temperature vode postižu najveću vrijednost do mjesec dana kasnije od zraka, što vrijedi i kod minimalnih temperatura, dok maksimalne vrijednosti se postižu u skoro istom vremenu.





Slika 5.5.2. Usporedba unutargodišnje raspodjele srednjih, maksimalnih i minimalnih srednjih temperatura zraka i srednjih temperatura vode za razdoblje od 1979.g. do 2021.g.

Razlike u unutargodišnjoj raspodjeli srednjih temperatura zraka i srednjih temperatura vode unutar razdoblja od 1979.g. do 2021.g. prikazane su na Slici 5.5.3. Najveće razlike u srednjim temperaturama vidljive su krajem godine, u listopadu, studenom i prosincu zbog toga što se zrak brže hladi, a jezero se postupno hladi zadržavajući određenu toplinu još neko vrijeme. U siječnju, veljači i pogotovo u ožujku razlika se smanjuje jer se jezero do tada već ohladilo. Porastom srednje temperature zraka u travnju razlika ponovno raste nakon čega pada do vrhunca ljeta kada, u ovom slučaju, u kolovozu, srednje temperature zraka i vode izjednače.



Slika 5.5.3. Razlike srednjih temperatura zraka i vode u unutargodišnjoj raspodjeli za razdoblje od 1979.g. do 2021.g.

6. VODOSTAJI I CRPLJENJE

6.1. Vodostaji

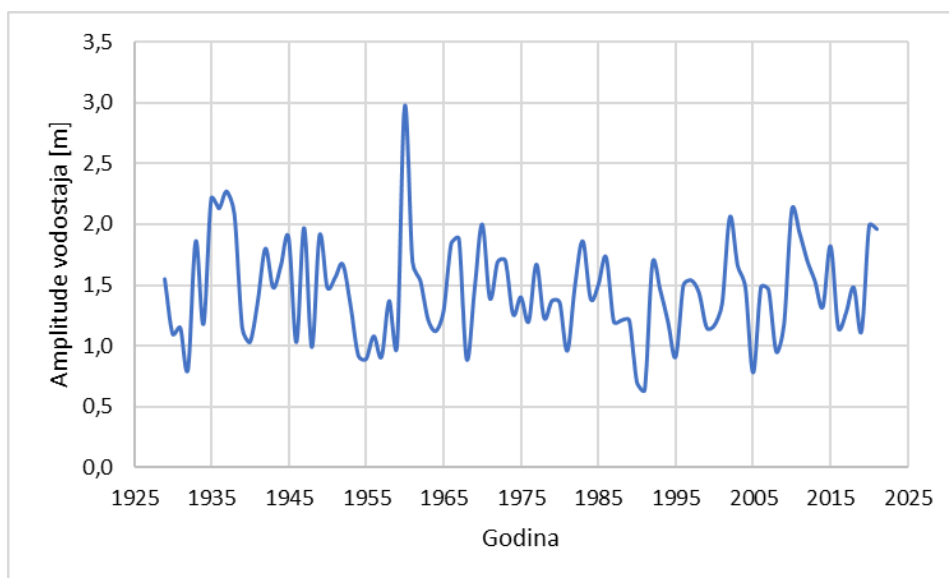
Osnovna statistička obrada podataka neophodna je i za početak analiziranja kretanja vodostaja na Vranskom jezeru. Kao i kod temperatura zraka, količini oborina i temperaturi površinske vode određivale su se srednje vrijednosti niza (Sred), standardne devijacije (Stdev), koeficijenti varijacije (Cv) te maksimalne i minimalne (Max i Min) vrijednosti unutar analiziranog niza podataka od svibnja 1928.g. do 2021.g. Treba napomenuti da u provedbi analize su se koristili podaci o kretanjima razine vode sa nekadašnje hidrološke postaje Stanić (V.1928.g. – 1977.g.) i današnje hidrološke postaje C.P. Vrana (1978.g. – 2021.g.). U Tablici 6.1.1. vidljiv je prikaz unutargodišnje raspodjele karakterističnih mjesečnih i godišnjih vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih vodostaja u Vranskom jezeru za razdoblje od svibnja 1928.g. do 2021.g.

Tablica 6.1.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih vodostaja na Vranskom jezeru (V.1928.g.-2021.g.)

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XIII	God
Srednji vodostaj [m n.m.]													
Sred	12,63	12,77	12,89	12,93	12,90	12,80	12,58	12,32	12,13	12,09	12,21	12,42	12,56
Stdev	1,50	1,50	1,50	1,51	1,50	1,49	1,48	1,45	1,43	1,42	1,44	1,48	1,44
Cv	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11
Max	16,82	16,76	16,66	16,64	16,44	16,37	16,11	15,66	15,25	15,37	15,62	16,47	15,84
Min	9,48	9,57	9,61	9,62	9,78	9,74	9,57	9,31	9,14	9,11	9,18	9,26	9,50
Maksimalni vodostaj [m n.m.]													
Sred	12,73	12,87	12,97	12,99	12,96	12,88	12,71	12,45	12,25	12,21	12,35	12,55	13,24
Stdev	1,50	1,50	1,52	1,52	1,50	1,50	1,49	1,46	1,44	1,42	1,46	1,49	1,51
Cv	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11
Max	16,86	16,84	16,71	16,69	16,55	16,42	16,27	15,90	15,42	15,41	15,95	16,80	16,86
Min	9,52	9,64	9,65	9,64	9,81	9,77	9,67	9,46	9,20	9,18	9,22	9,30	9,81
Minimalni vodostaj [m n.m.]													
Sred	12,51	12,66	12,79	12,87	12,83	12,70	12,45	12,19	12,03	11,98	12,07	12,29	11,79
Stdev	1,50	1,50	1,49	1,50	1,50	1,48	1,47	1,45	1,43	1,42	1,42	1,46	1,38
Cv	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Max	16,78	16,66	16,55	16,55	16,36	16,27	15,91	15,43	15,14	15,27	15,38	15,96	14,78
Min	9,32	9,48	9,57	9,59	9,62	9,67	9,46	9,20	9,09	9,05	9,13	9,20	9,05

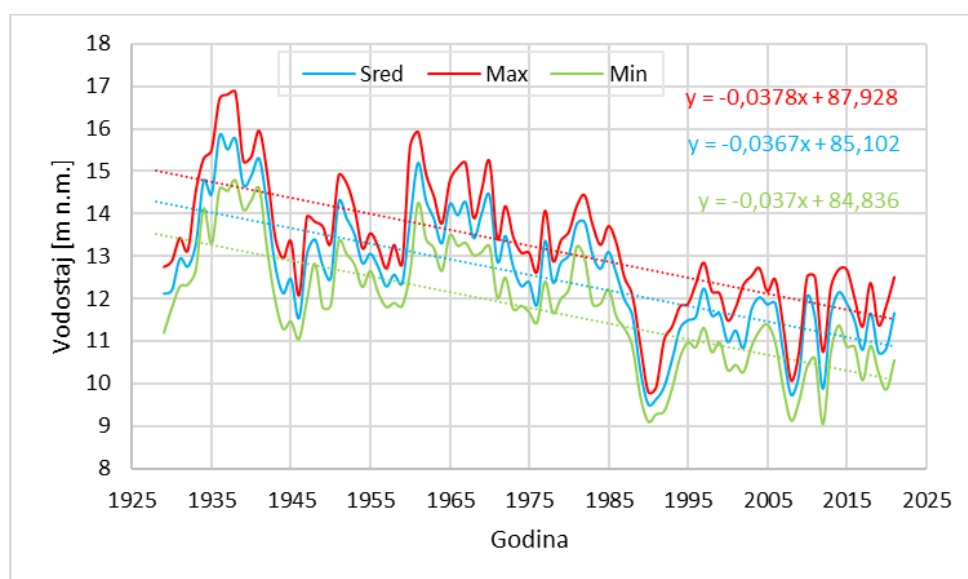
Iz Tablice 6.1.1. je primjetno da srednji godišnji vodostaj Vranskog jezera je 12,56 m n.m. Maksimalna razina vodostaja izmjerena je 1938.g. u iznosu od 16,86 m n.m., a minimalna razina vode u Vranskom jezeru je zabilježena u dva navrata. Prva, 1990.g., u iznosu od 9,11 m n.m. kada se počeo javljati problem precrpeljivanja jezera nakon uspostave nove crpne postaje sa povećanim kapacitetom crpljenja. Druga najniža razina vode u jezeru je bila 9,05 m n.m. i zbila se tijekom izrazito sušne 2012.g. Općenito, primjetno je da vodostaj Vranskog jezera na godišnjoj razini varira u relativno uskim granicama, u prosjeku 1 do 2 metra (Slika 6.1.1.). Najveća izmjerena godišnja amplituda je 2,97 m (maksimalni vodostaj 15,59 m n.m. i

minimalni vodostaj 12,62 m n.m.) i dogodila se 1960.g., a najmanja godišnja amplituda je 0,64 m (maksimalni vodostaj 9,92 m n.m. i minimalni vodostaj 9,28 m n.m.) koja se dogodila 1991.g. Međutim, u višegodišnjem razdoblju koji je u ovom slučaju od svibnja 1928.g. do 2021.g., rasponi ukupno izmjerenih amplituda kolebanja su mnogo veći, i to 7,81 m.



Slika 6.1.1. Amplitude vodostaja Vranskog jezera (1929.g.-2021.g.)

Na Slici 6.1.2. je prikazan dijagram godišnjeg hoda srednjih, maksimalnih i minimalnih vodostaja na Vranskom jezeru i njihovi trendovi za isto promatrano razdoblje, od 1929.g. do 2021.g.



Slika 6.1.2. Unutargodišnji hod srednjih, maksimalnih i minimalnih vodostaja na Vranskom jezeru i njihovi trendovi (1929.g.-2021.g.)

Iz prikazane Slike 6.1.2. uočljivi su veoma izraziti trendovi opadanja razine vode kod svih karakterističnih godišnjih razina vode. Kod srednjih i minimalnih godišnjih vodostaja trend opadanja je 3,7 m/100 godina, a kod maksimalnih godišnjih vodostaja je 3,8 m/100 godina. Trend opadanja razine vode u Vranskom jezeru posebno je vidljiv u drugoj polovici 1980-ih godina kad je on bio izrazito nagli. Sve do uspostave nove crpne postaje, minimalna razina vode se nije spuštala ispod 11 m n.m., a od 1988.g. samo je tijekom četiri godine ona bila iznad te vrijednosti, i to 1997.g., 2004.g., 2005.g. te 2014.g.

Kako bi mogli imati bolji uvid u dinamiku kretanja nivoa Vranskog jezera, od iznimnog je značaja analiza ekstremnih nivoa. U Tablici 6.2. prikazane su zapažene ekstremne vrijednosti mjesečnih vodostaja (maksimalnih i minimalnih) kronološki, od početka mjerenja u svibnju 1928.g. do 2022.g.

Tablica 6.1.2. Kronološki popis ekstremnih nivoa (maksimalnih i minimalnih) vodostaja Vranskog jezera od svibnja 1928.g. do 2022.g.

(Oznake: NV – najmanji vodostaj, VV – veliki vodostaj, H (cm) – izmjereni vodostaj na vodokaznoj letvi, H (m n.m.) – apsolutni vodostaj, datum pojave zapaženog sezonskog ekstrema, ΔH (cm) – veličina sezonske promjene vodostaja)

Broj	Ekstremni nivo	H [cm]	H [m n.m.]	Datum pojave	ΔH [cm]
1	NV	12	11,17	14.09.1928.	
2	VV	170	12,75	27.01.1929.	+158
3	NV	15	11,20	25.10.1929.	-155
4	VV	132	12,37	06.06.1930.	+117
5	NV	80	11,85	26.09.1930.	-52
6	VV	238	13,43	01.05.1931.	+158
7	NV	123	12,28	23.10.1931.	-115
8	VV	192	12,97	07.12.1931.	+69
9	NV	150	12,55	03.03.1932.	-42
10	VV	209	13,14	12.06.1932.	+59
11	NV	128	12,33	10.11.1932.	-81
12	VV	233	13,38	30.06.1933.	+105
13	NV	161	12,66	22.09.1933.	-72
14	VV	408	15,13	26.04.1934.	+247
15	NV	307	14,12	03.11.1934.	-101
16	VV	428	15,33	02.01.1935.	+121
17	NV	224	13,29	01.10.1935.	-204
18	VV	565	16,70	15.03.1936.	+341
19	NV	348	14,53	23.01.1937.	-217
20	VV	516	16,21	29.04.1937.	+168
21	NV	396	15,01	17.09.1937.	-120
22	VV	581	16,86	30.01.1938.	+185
23	NV	304	14,09	14.09.1939.	-277
24	VV	429	15,34	27.02.1940.	+125
25	NV	326	14,31	24.10.1940.	-103
26	VV	490	15,95	13.05.1941.	+164
27	NV	354	14,59	03.10.1941.	-136
28	VV	396	15,01	30.11.1941.	+42
29	NV	210	13,15	15.12.1942.	-186
30	VV	240	13,45	21.02.1943.	+30
31	NV	92	11,97	17.10.1943.	-148
32	VV	138	12,43	13.02.1944.	+46
33	NV	24	11,29	22.09.1944.	-114
34	VV	230	13,35	15.02.1945.	+206
35	NV	40	11,45	09.01.1946.	-190

Broj	Ekstremni nivo	H [cm]	H [m n.m.]	Datum pojave	ΔH [cm]
36	VV	67	11,72	16.03.1946.	+27
37	NV	0	11,05	28.07.1946.	-67
38	VV	287	13,92	21.04.1947.	+287
39	NV	150	12,55	25.10.1947.	-137
40	VV	276	13,81	02.03.1948.	+126
41	NV	177	12,82	30.09.1948.	-99
42	VV	266	13,71	26.11.1948.	+89
43	NV	74	11,79	07.11.1949.	-192
44	VV	188	12,93	30.04.1950.	+114
45	NV	78	11,83	23.10.1950.	-110
46	VV	385	14,90	01.05.1951.	+307
47	NV	280	13,85	17.09.1951.	-105
48	VV	367	14,72	25.02.1952.	+87
49	NV	200	13,05	11.10.1952.	-167
50	VV	308	14,13	15.02.1953.	+108
51	NV	177	12,82	28.10.1953.	-131
52	VV	214	13,19	29.03.1954.	+37
53	NV	122	12,27	09.11.1954.	-92
54	VV	249	13,54	11.04.1955.	+127
55	NV	160	12,65	04.10.1955.	-89
56	VV	216	13,21	25.01.1956.	+56
57	NV	108	12,13	26.10.1956.	-108
58	VV	166	12,71	09.05.1957.	+58
59	NV	75	11,80	02.11.1957.	-91
60	VV	222	13,27	30.04.1958.	+147
61	NV	85	11,90	12.12.1958.	-137
62	VV	178	12,83	24.05.1959.	+93
63	NV	78	11,83	28.10.1959.	-100
64	VV	329	14,34	18.04.1960.	+251
65	NV	234	13,59	16.09.1960.	-95
66	VV	488	15,93	14.01.1961.	+254
67	NV	319	14,24	22.12.1961.	-169
68	VV	389	14,94	19.04.1962.	+70
69	NV	235	13,40	06.11.1962.	-154
70	VV	336	14,71	21.03.1963.	+101
71	NV	214	13,19	25.11.1963.	-122
72	VV	272	13,77	03.05.1964.	+58
73	NV	160	12,65	08.10.1964.	-112
74	VV	372	14,77	22.03.1965.	+212
75	NV	244	13,49	03.11.1965.	-128

Broj	Ekstremni nivo	H [cm]	H [m n.m.]	Datum pojave	ΔH [cm]
76	VV	319	14,24	25.02.1966.	+75
77	NV	219	13,24	01.10.1966.	-100
78	VV	414	15,19	31.01.1967.	+195
79	NV	226	13,31	15.12.1967.	-188
80	VV	286	13,91	26.02.1968.	+60
81	NV	197	13,02	30.08.1968.	-89
82	VV	349	14,54	20.06.1969.	+152
83	NV	304	14,09	06.11.1969.	-45
84	VV	418	15,23	14.04.1970.	+114
85	NV	218	13,23	26.12.1970.	-200
86	VV	236	13,41	01.02.1971.	+18
87	NV	97	12,02	08.11.1971.	-139
88	VV	313	14,18	31.05.1972.	+216
89	NV	226	13,31	15.11.1972.	-87
90	VV	244	13,49	13.12.1972.	+18
91	NV	70	11,75	19.12.1973.	-174
92	VV	138	12,43	29.06.1974.	+68
93	NV	91	11,96	21.09.1974.	-47
94	VV	204	13,09	13.12.1974.	+113
95	NV	167	12,72	09.03.1975.	-37
96	VV	176	12,81	17.04.1975.	+9
97	NV	63	12,68	14.10.1975.	-113
98	VV	100	12,05	06.04.1976.	+37
99	NV	39	11,44	31.08.1976.	-61
100	VV	302	14,07	01.05.1977.	+263
101	NV	135	12,40	25.12.1977.	-167
102	VV	407	12,89	28.05.1978.	+272
103	NV	284	11,66	28.11.1978.	-123
104	VV	455	13,37	13.05.1979.	+171
105	NV	358	12,40	22.09.1979.	-97
106	VV	456	13,38	10.02.1980.	+98
107	NV	340	12,22	08.10.1980.	-116
108	VV	524	14,06	21.03.1981.	+184
109	NV	440	13,22	29.08.1981.	-84
110	VV	561	14,43	19.01.1982.	+121
111	NV	411	12,93	09.11.1982.	-150
112	VV	491	13,73	24.04.1983.	+80
113	NV	305	11,87	16.12.1983.	-186
114	VV	421	13,03	12.04.1984.	+116
115	NV	343	12,25	15.09.1984.	-78

Broj	Ekstremni nivo	H [cm]	H [m n.m.]	Datum pojave	ΔH [cm]
116	VV	489	13,71	14.05.1985.	+146
117	NV	339	12,21	30.10.1985.	-150
118	VV	448	13,30	30.04.1986.	+109
119	NV	276	11,52	10.01.1987.	-172
120	VV	374	12,50	04.03.1987.	+98
121	NV	254	11,30	20.11.1987.	-120
122	VV	332	12,08	09.04.1988.	+78
123	NV	211	10,87	30.11.1988.	-121
124	VV	222	10,98	09.12.1988.	+11
125	NV	81	9,57	25.03.1990.	-141
126	VV	105	10,81	06.05.1990.	+24
127	NV	35	9,11	25.10.1990.	-70
128	VV	116	9,92	09.06.1991.	+81
129	NV	52	9,28	01.11.1991.	-64
130	VV	114	9,90	21.12.1991.	+62
131	NV	93	9,69	21.03.1992.	-21
132	VV	118	9,94	17.04.1992.	+25
133	NV	59	9,35	23.09.1992.	-59
134	VV	227	11,03	23.12.1992.	+168
135	NV	180	10,56	08.06.1993.	-47
136	VV	199	10,75	10.06.1993.	+19
137	NV	112	9,88	23.09.1993.	-87
138	VV	296	11,72	06.02.1994.	+184
139	NV	278	11,54	01.04.1994.	-18
140	VV	306	11,82	07.05.1994.	+28
141	NV	186	10,62	23.10.1994.	-120
142	VV	312	11,88	06.04.1995.	+126
143	NV	252	11,28	08.09.1995.	-60
144	VV	272	11,48	21.09.1995.	+20
145	NV	237	11,13	06.12.1995.	-35
146	VV	315	11,91	20.02.1996.	+78
147	NV	210	10,86	11.09.1996.	-105
148	VV	409	12,85	25.01.1997.	+199
149	NV	255	11,31	06.11.1997.	-154
150	VV	342	12,18	20.01.1998.	+87
151	NV	198	10,74	03.09.1998.	-144
152	VV	336	12,12	29.05.1999.	+138
153	NV	221	10,97	17.11.1999.	-115
154	VV	255	11,31	08.01.2000.	+34
155	NV	243	11,19	08.02.2000.	-12

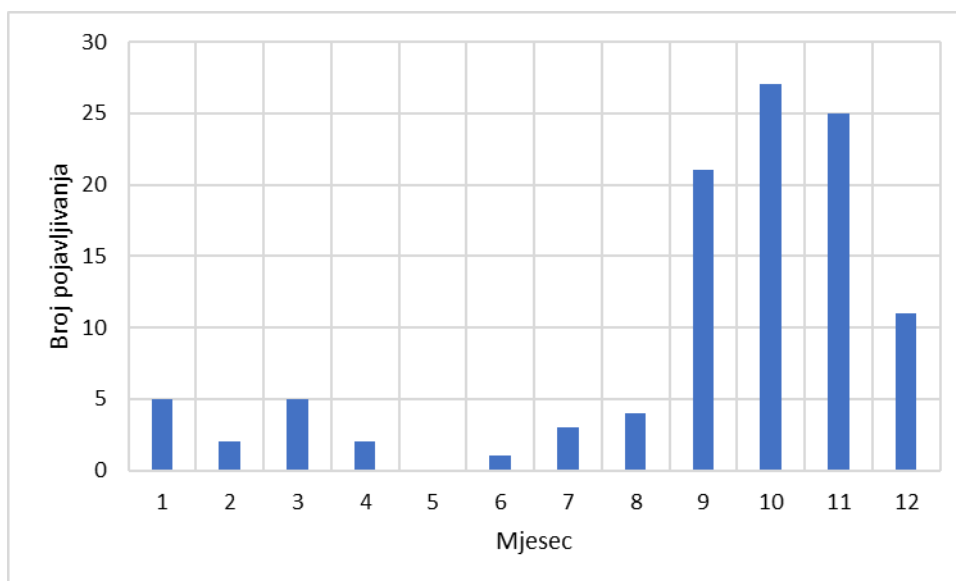
Broj	Ekstremni nivo	H [cm]	H [m n.m.]	Datum pojave	ΔH [cm]
156	VV	273	11,49	18.04.2000.	+30
157	NV	156	10,32	31.10.2000.	-117
158	VV	303	11,79	27.04.2001.	+147
159	NV	156	10,32	15.02.2002.	-147
160	VV	182	10,58	15.05.2002.	+26
161	NV	152	10,28	30.07.2002.	-30
162	VV	192	10,68	29.08.2002.	+40
163	NV	180	10,56	17.09.2002.	-12
164	VV	377	12,53	10.02.2003.	+197
165	NV	211	10,87	19.10.2003.	-166
166	VV	395	12,71	13.05.2004.	+184
167	NV	273	11,49	26.10.2004.	-122
168	VV	340	12,16	19.01.2005.	+67
169	NV	325	12,01	23.03.2005.	-15
170	VV	337	12,13	20.04.2005.	+12
171	NV	264	11,40	27.09.2005.	-76
172	VV	292	11,68	29.10.2005.	+28
173	NV	280	11,56	24.11.2005.	-12
174	VV	369	12,45	12.03.2006.	+89
175	NV	221	10,97	31.12.2006.	-148
176	VV	259	11,35	30.03.2007.	+38
177	NV	113	9,89	03.01.2008.	-146
178	VV	131	10,07	23.04.2008.	+18
179	NV	37	9,13	31.10.2008.	-94
180	VV	152	10,77	04.04.2009.	+115
181	NV	38	9,63	01.11.2009.	-114
182	VV	326	12,51	10.04.2010.	+288
183	NV	216	11,41	30.10.2010.	-110
184	VV	326	12,51	16.01.2011.	+110
185	NV	-19	9,06	09.10.2012.	-345
186	VV	302	12,27	22.04.2013.	+321
187	NV	191	11,16	04.10.2013.	-111
188	VV	323	12,48	11.03.2014.	+132
189	NV	246	11,71	16.08.2014.	-77
190	VV	310	12,35	07.10.2014.	+64
191	NV	295	12,20	03.11.2014.	-15
192	VV	344	12,69	29.12.2014.	+49
193	NV	162	10,87	31.12.2015.	-182
194	VV	275	12,00	20.03.2016.	+113
195	NV	169	10,94	02.11.2016.	-106

Broj	Ekstremni nivo	H [cm]	H [m n.m.]	Datum pojave	ΔH [cm]
196	VV	197	11,22	26.11.2016.	+28
197	NV	168	10,93	31.01.2017.	-29
198	VV	198	11,23	11.03.2017.	+30
199	NV	83	10,08	10.09.2017.	-115
200	VV	312	12,37	15.04.2018.	+229
201	NV	138	10,63	26.04.2019.	-174
202	VV	168	10,93	09.06.2019.	+30
203	NV	136	10,61	27.07.2019.	-32
204	VV	154	10,79	04.08.2019.	+18
205	NV	101	10,26	01.11.2019.	-53
206	VV	216	11,41	04.01.2020.	+115
207	NV	62	9,87	22.09.2020.	-154
208	VV	326	12,51	25.02.2021.	+264
209	NV	130	10,55	24.11.2021.	-196
210	VV	181	11,06	14.01.2022.	+51
211	NV	30	9,55	14.11.2022.	-151

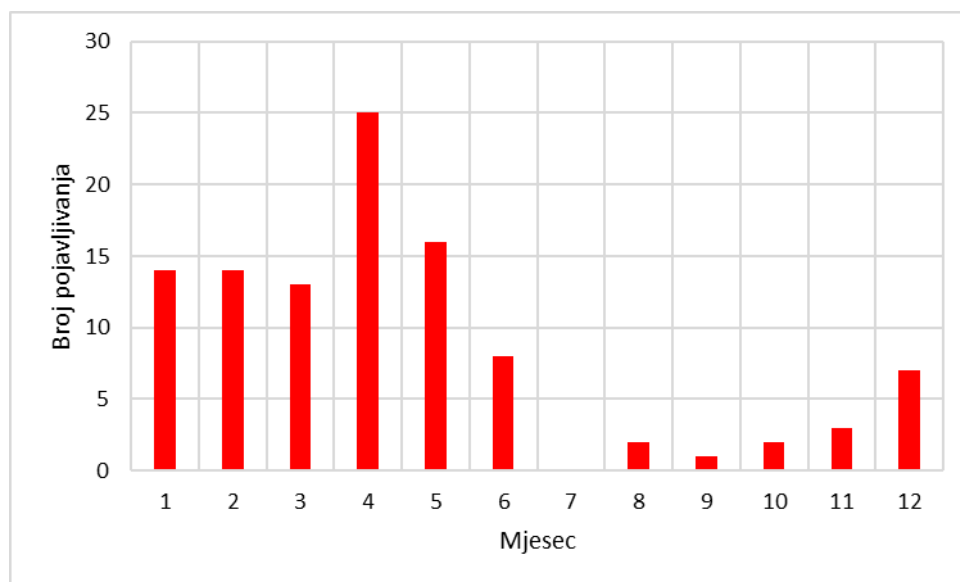
Na temelju Tablice 6.1.2., napravljen je pregled učestalosti pojave sezonskih ekstrema po pojedinim mjesecima (Tablica 6.1.3.) i grafički prikazi učestalosti pojave sezonskih maksimuma i minimuma u promatranom razdoblju od svibnja 1928.g. do 2022.g. (Slika 6.1.3. i Slika 6.1.4.).

Tablica 6.1.3. Učestalost pojava sezonskih godišnjih maksimuma i minimuma nivoa Vranskog jezera u razdoblju od svibnja 1928.g. do 2022.g.

Mjesec	Učestalost pojava godišnjih maksimuma	Učestalost pojava godišnjih minimuma
1	14	5
2	14	2
3	13	5
4	25	2
5	16	-
6	8	1
7	-	3
8	2	4
9	1	21
10	2	27
11	3	25
12	7	11



Slika 6.1.3. Učestalost pojave sezonskih minimalnih nivoa u razdoblju od svibnja 1928.g. do 2022.g.



Slika 6.1.4. Učestalost pojave sezonskih maksimalnih nivoa u razdoblju od svibnja 1928.g. do 2022.g.

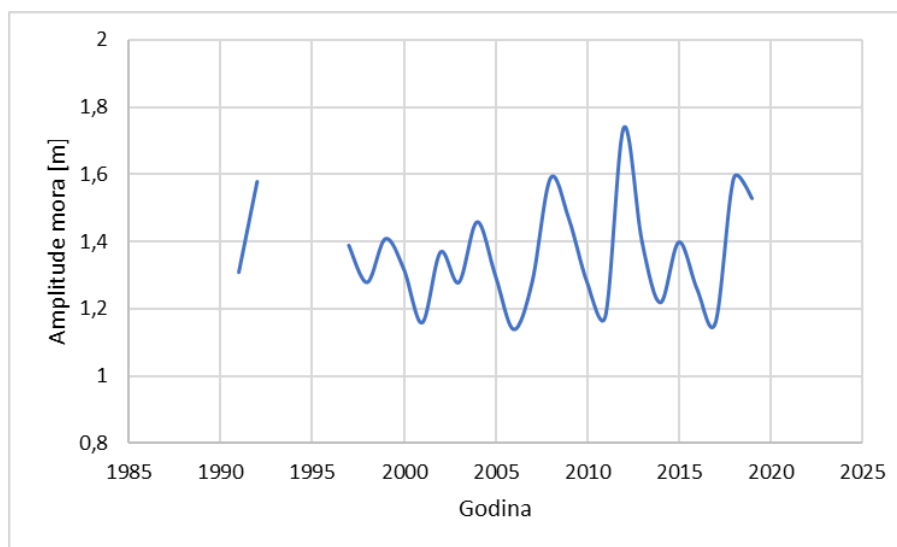
Iz priloženih podataka može se vidjeti da postoje znatna zakašnjenja u pojavi ekstremnih nivoa jezera. Sezonski minimumi vodostaja ne javljaju se u razdoblju kolovoza i rujna, što bi bilo normalno s obzirom na dinamiku padanja oborina, veličine isparavanja s površine jezera te količinu crpljenja. Navedeni minimumi pomaknuti su za oko dva do tri mjeseca i najučestalije se javljaju u listopadu i studenome, pa onda u rujnu i prosincu. Maksimalni vodostaji jezera najučestalije se javljaju u travnju i svibnju, na završetku zimsko-proljetnog razdoblja. Pojave zakašnjenja ekstremnih nivoa Vranskog jezera mogu se promatrati pretpostavkom o značajnoj retencijskoj sposobnosti podzemlja.

Također, provedena je osnovna statistička obrada podataka o razinama mora sa mareografske postaje Martinšćica. U Tablici 6.1.4. prikazane su unutargodišnje raspodjele karakterističnih mjesečnih i godišnjih vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih razina mora pored naselja Martinšćica za razdoblje od 1991.g. do 2021.g.

Tablica 6.1.4. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti srednjih, maksimalnih i minimalnih vodostaja mora na mareografskoj postaji Martinšćica (1991.g.-2021.g.)

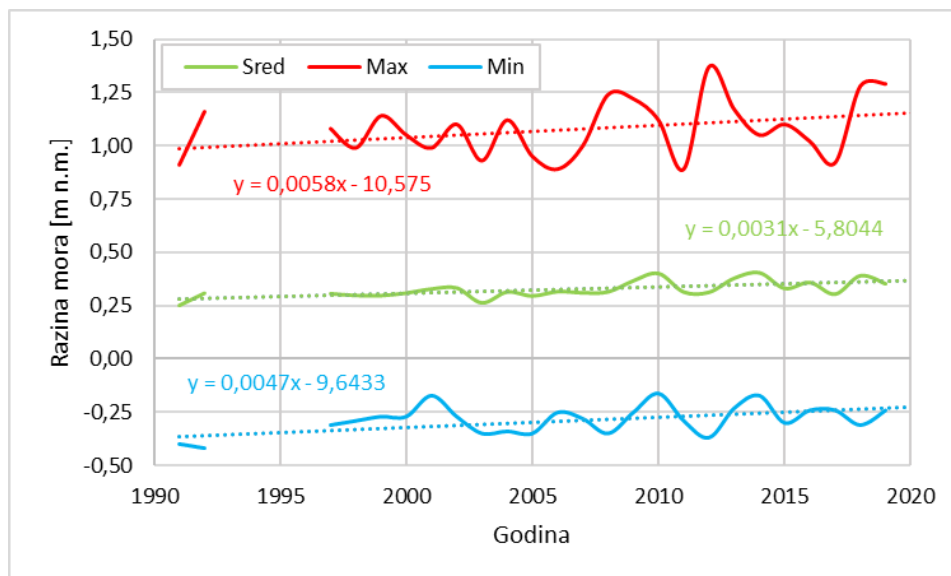
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Srednja razina mora [m n.m.]													
Sred	0,34	0,27	0,25	0,30	0,31	0,32	0,32	0,32	0,35	0,38	0,42	0,34	0,32
Stdev	0,17	0,12	0,10	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,07	0,09	0,09	0,04
Cv	0,49	0,44	0,41	0,20	0,17	0,16	0,13	0,14	0,14	0,18	0,21	0,27	0,12
Max	0,84	0,52	0,57	0,39	0,40	0,43	0,41	0,41	0,40	0,52	0,66	0,55	0,40
Min	0,13	0,05	0,12	0,16	0,16	0,20	0,23	0,23	0,23	0,23	0,31	0,15	0,25
Maksimalna razina mora [m n.m.]													
Sred	0,82	0,80	0,74	0,75	0,75	0,74	0,71	0,69	0,75	0,86	0,95	0,95	1,07
Stdev	0,19	0,20	0,16	0,09	0,10	0,11	0,07	0,08	0,08	0,15	0,15	0,18	0,13
Cv	0,23	0,25	0,22	0,13	0,13	0,15	0,11	0,11	0,11	0,18	0,16	0,19	0,13
Max	1,09	1,17	1,02	0,91	1,01	1,02	0,91	0,94	0,89	1,28	1,37	1,27	1,37
Min	0,43	0,48	0,48	0,55	0,62	0,54	0,51	0,53	0,58	0,54	0,73	0,58	0,89
Minimalna razina mora [m n.m.]													
Sred	-0,25	-0,22	-0,16	-0,11	-0,15	-0,11	-0,13	-0,09	-0,04	-0,01	-0,07	-0,17	-0,29
Stdev	0,10	0,11	0,12	0,07	0,16	0,08	0,07	0,07	0,06	0,07	0,09	0,08	0,07
Cv	-0,39	-0,51	-0,74	-0,68	-1,07	-0,68	-0,51	-0,75	-1,49	-8,60	-1,32	-0,48	-0,25
Max	0,02	0,04	0,16	0	0,07	0,1	0,09	0,11	0,18	0,12	0,16	-0,01	-0,16
Min	-0,45	-0,42	-0,42	-0,29	-0,9	-0,22	-0,22	-0,2	-0,14	-0,22	-0,2	-0,31	-0,45

Iz priložene Tablice 6.1.4. zaključujemo da srednja razina mora se kreće oko 0,32 m n.m. Maksimalna razina mora zabilježena je 2012.g. u vrijednosti od 1,37 m n.m., dok minimalna razina mora u vrijednosti od -0,45 m n.m. zabilježena je 1994.g. Unutar godine, more na području Martinšćice oscilira prosječno od oko 1,2 metara do oko 1,6 metara, s time da se najveća oscilacija mora od 1,74 metara dogodila 2012.g. Najmanja vrijednost oscilacije mora od 1,14 metara dogila se 2006.g. (Slika 6.1.5.).



Slika 6.1.5. Amplitude mora na mareografskoj postaji Martinšćica (1991.g.-2021.g.)

Na Slici 6.1.5. prikazan je hod godišnjih srednjih, maksimalnih i minimalnih razina mora na mareografskoj postaji Martinšćica i njihovi pripadajući trendovi za razdoblje od 1991.g. do 2021.g. Za razliku od trendova sa Vranskog jezera, ovdje su zabilježeni suprotni trendovi. Bez obzira što se radi o relativno kratkotrajnom nizu izmjerenih podataka u kojem postoje i prekidi u mjerenju, očigledno je da su prisutni trendovi porasta razine mora kod svih vrijednosti, i to 0,31 m/100 godina kod srednjih, 0,58/100 godina kod maksimalnih te 0,47/100 godina kod minimalnih godišnjih razina mora.



Slika 6.1.5. Hod i trendovi godišnjih srednjih, maksimalnih i minimalnih razina mora na mareografskoj postaji Martinšćica za razdoblje od 1991.g. do 2021.g.

6.2. Crpljenje

S činjenicom da se Vransko jezero upotrebljava kao zahvat vode za vodoopskrbu stanovnika otoka Cresa i Lošinja, ali i drugih okolnih otoka, crpljenje predstavlja vrlo važan čimbenik koji najviše utječe na razinu vode u Vranskom jezeru.

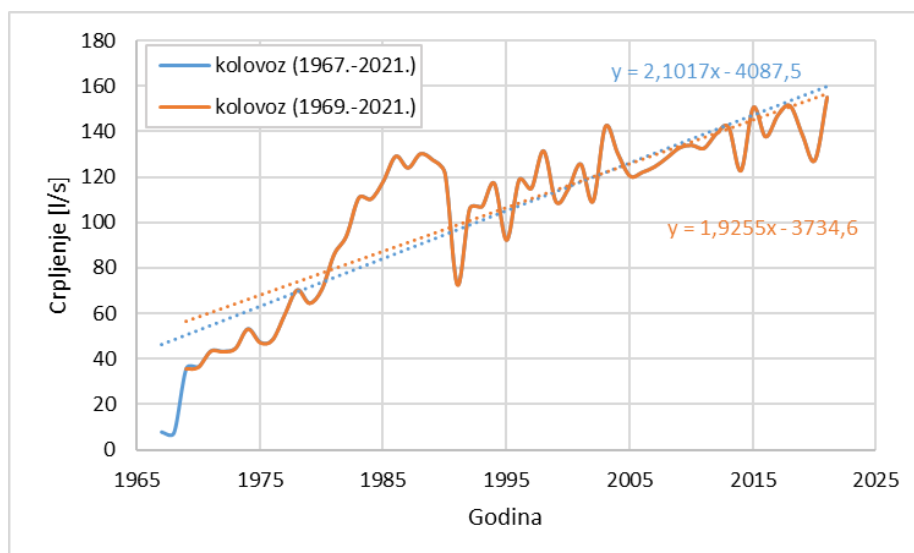
Od početka samog crpljenja 1946.g. pa do kraja 2021.g. iz Vranskog jezera je iscrpljeno oko 96,5 milijuna m³ pitke vode. Uspoređujući navedenu količinu vode sa srednjim volumenom jezera od oko 220 milijuna m³ pitke vode, to znači da je oko 44% današnjeg ukupnog volumena Vranskog jezera već utrošeno za različite potrebe. Tijekom razdoblja eksploatacije vode od 1967.g. do 2021.g., prosječna vrijednost godišnjeg crpljenja vode iznosila je 56 l/s. Međutim, promatrajući zadnjih desetak godina, konkretno od 2011.g. do 2021.g., može se vidjeti povećanje prosječnih godišnjeg crpljenja koja iznose oko 76 l/s. U godini 2021. zabilježene su najveće godišnje količine crpljenja u iznosu od 2,71 milijuna m³ vode, to jest u prosjeku 86 l/s.

Najveće prosječno dnevno crpljenje vode izmjereno je u ljeto 2022.g. u iznosu od 178 l/s. U Tablici 6.2.1. prikazane su mjesečna i godišnja crpljenja vode iz Vranskog jezera za cijelo razdoblje zabilježenih crpljenja od 1967.g. do 2021.g., za razdoblje od 1969.g. do 2021.g. i za razdoblje od 2015.g. do 2021.g.

Tablica 6.2.1. Karakteristične mjesečne i godišnje vrijednosti crpljenja (l/s) iz Vranskog jezera za razdoblje od 1967.g. do 2021.g., za razdoblje od 1969.g. do 2021.g. i za razdoblje od 2015.g. do 2021.g.

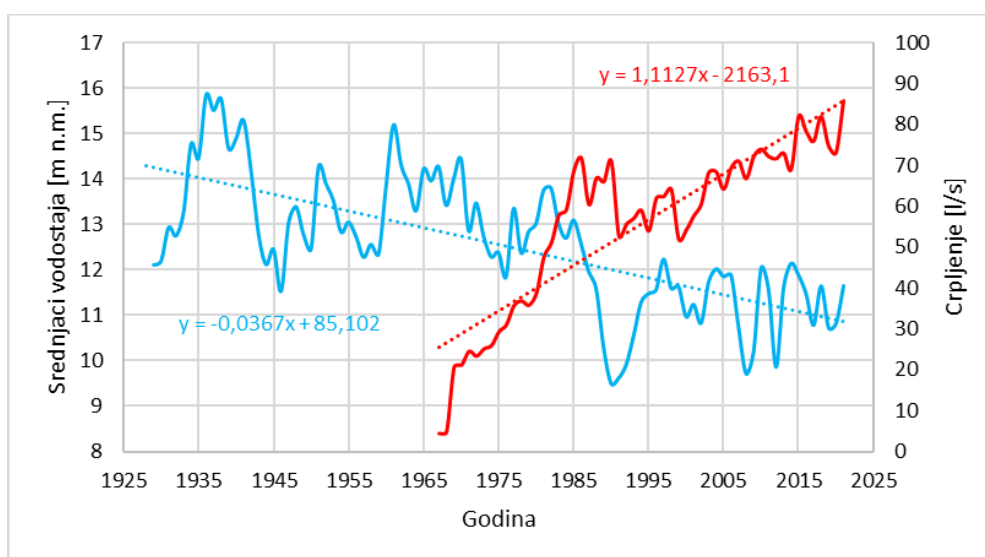
Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God
Crpljenje (l/s) (1967.g.-2021.g.)													
Sred	36,2	37,2	38,8	44,3	51,2	69,3	98,2	103,2	66,1	45,3	39,0	37,2	55,7
Stdev	13,6	13,8	14,6	17,0	19,0	27,6	37,3	38,5	23,8	16,0	14,1	13,1	20,2
Cv	0,37	0,37	0,38	0,38	0,37	0,40	0,38	0,37	0,36	0,35	0,36	0,35	0,36
Max	53,9	57,2	64,9	74,7	81,3	118,2	152,4	154,7	110,3	77,0	68,0	56,1	86,1
Min	3,0	2,9	2,9	3,2	4,0	5,2	6,9	7,6	5,4	3,8	3,0	3,1	4,3
Crpljenje (l/s) (1969.g.-2021.g.)													
Sred	37,4	38,5	40,2	45,8	53,0	71,7	101,6	106,8	68,4	46,9	40,3	38,5	57,6
Stdev	12,1	12,3	13,0	15,3	17,0	25,1	33,5	34,3	21,0	14,0	12,5	11,5	17,9
Cv	0,32	0,32	0,32	0,33	0,32	0,35	0,33	0,32	0,31	0,30	0,31	0,30	0,31
Max	53,9	57,2	64,9	74,7	81,3	118,2	152,4	154,7	110,3	77,0	68,0	56,1	86,1
Min	12,2	11,8	13,3	15,0	18,1	23,3	32,9	35,8	25,8	17,9	13,3	14,8	20,5
Crpljenje (l/s) (2015.g.-2021.g.)													
Sred	51,9	53,4	56,9	64,4	71,6	105,1	140,5	143,7	91,7	61,4	55,2	51,0	79,2
Stdev	2,20	3,14	4,95	5,80	6,85	10,03	8,44	9,75	10,54	7,57	8,03	2,86	4,56
Cv	0,042	0,059	0,087	0,090	0,096	0,095	0,060	0,068	0,115	0,123	0,145	0,056	0,058
Max	53,9	57,2	64,9	74,7	81,3	118,2	152,4	154,7	110,3	77,0	68,0	56,1	86,1
Min	48,6	47,8	50,7	59,0	59,8	85,9	125,8	127,2	78,8	52,7	47,2	48,4	73,6

Iz Tablice 6.2.1. je vidljivo da se minimalne količine crpljenja u iznosima od 2,9 l/s do 7,6 l/s pojavljuju samo u 1967.g. i 1968.g., prije nego što se vodoopskrbni sustav krenuo razvijati i širiti. Nakon tih godina, količina crpljenja nikada se nije vratila na takve vrijednosti. Međutim, male vrijednosti iz tih godina imaju utjecaj na trendove crpljenja svakog pojedinog mjeseca zbog naglog skoka i povećanja crpljenja vode iz Vranskog jezera nakon 1968.g., pri čemu je na zimske mjesece vrlo mali utjecaj, a malo veći na ljetne mjesece (Slika 6.2.1.). Srednja količina crpljenja iz jezera u cijelom razdoblju promatranja je 55,7 l/s, s time da gledajući samo na razdoblje od 2015.g. do 2021.g. ta se količina povećala zbog toga što su u navedenom razdoblju izmjerene maksimalne količine crpljenja koje su ujedno i maksimalne za cijelo razdoblje promatranja.



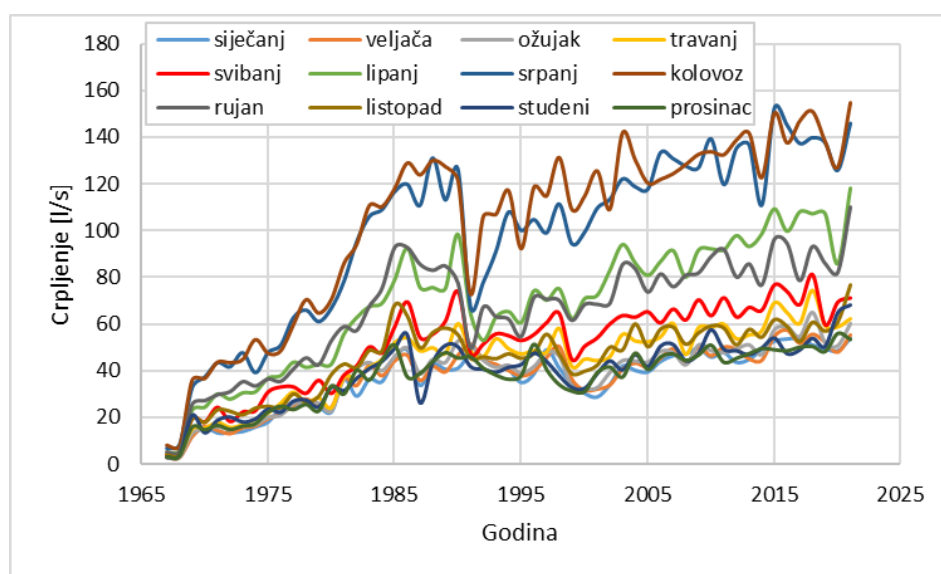
Slika 6.2.1. Utjecaj malih količina crpljenja iz 1967.g. i 1968.g. na ukupan trend količine crpljenja na primjeru mjeseca kolovoza

Dijagram godišnjeg hoda crpljenja za razdoblje od 1967.g. do 2021.g. prikazan je na Slici 6.2.2. Kako bi se crpljenje moglo tumačiti, na isti dijagram je prikazan godišnji hod srednjih razina Vranskog jezera. Od početka praćenja količine crpljenja prisutan je vrlo naglašen trend povećanja crpljenja vode u iznosu od oko 111 l/s/100 godina, a u isto vrijeme primjetan je pad srednjih vrijednosti vodostaja. Sa dijagrama su posebno uočljivi događaji potkraj 1980-ih godina kada se trend opadanja vodostaja Vranskog jezera poklapa sa naglim povećanjem količina crpljenja. Također, razlozi znatnog dijela trenda smanjenja vodostaja u jezeru prvenstveno leže u povećanju crpljenja vode iz jezera, uz ostale čimbenike kao što su porast temperatura zraka i evapotranspiracije te smanjenje količina oborina.



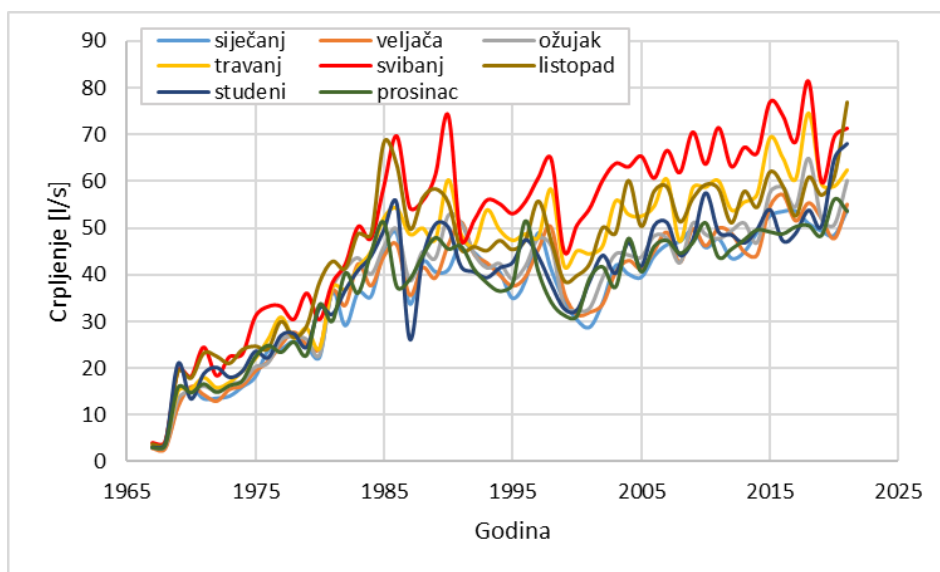
Slika 6.2.2. Hod i trendovi srednjih godišnjih vodostaja Vranskog jezera (1929.g.-2021.g.) te godišnjih količina crpljenja vode iz Vranskog jezera (1967.g.-2021.g.)

Na Slici 6.2.3. prikazana je usporedba u količinama crpljenja za svaki mjesec pojedinačno unutar cjelokupnog razdoblja promatranja od 1967.g. do 2021.g. Kod svih mjeseci vidljiva su izrazito velika povećanja u crpljenju vode do kraja 1980-ih i početka 1990-ih godina kada je vodostaj Vranskog jezera naglo opao pa su i crpljenja naglo smanjena, posebice u studenom 1987.g., srpnju i kolovozu 1991.g. te lipnju 1992.g. Smanjenje crpljenja vode se može vidjeti i na kraju 1990-ih te početkom 2000-ih godina nakon čega je proces crpljenja nastavio blago rasti.

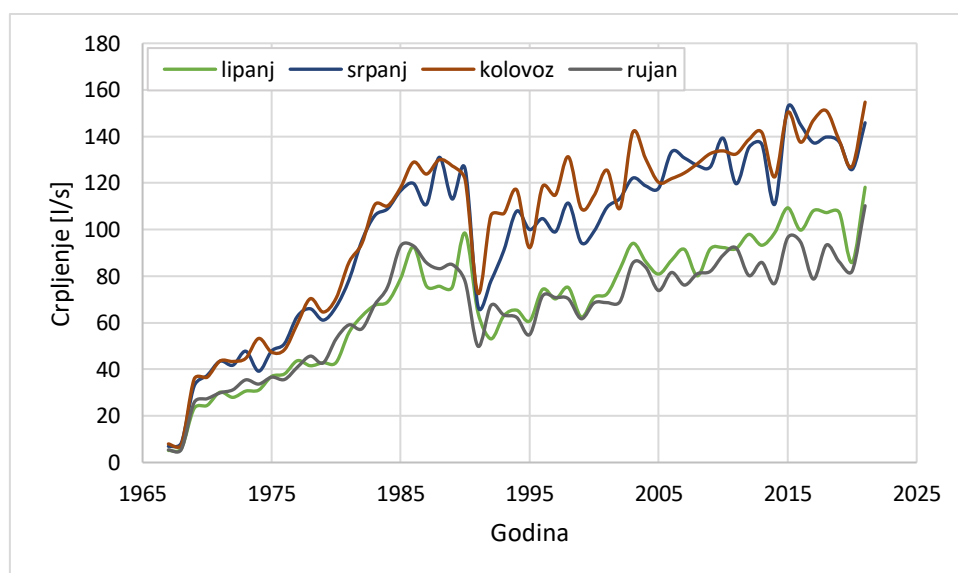


Slika 6.2.3. Prikaz količina crpljenja vode za svaki mjesec pojedinačno u razdoblju od 1967.g. do 2021.g.

Također, sa dijagrama na Slici 6.2.3. se mogu vidjeti tri grupe mjesečnog crpljenja. Prvu grupu čine mjeseci od listopada do svibnja (Slika 6.2.4), odnosno jesenski, zimski i proljetni mjeseci, u kojima su mjesečne količine crpljenja najmanje zbog toga što se voda upotrebljava samo za lokalno stanovništvo te one ne prelaze količinu od oko 80 l/s. Gledajući navedene mjesece zasebno vidljivo je da mjesec svibanj u drugom dijelu promatranog razdoblja odskaače od ostalih mjeseci što može značiti o ranijim počecima toplijeg vremena koja prije nisu bila toliko izražena. Drugu grupu mjeseca sa nekakvim srednjim crpljenjima čine lipanj i rujan koja predstavljaju početak i završetak turističke sezone, odnosno predsezonu i postsezonu. U njima potražnja za vodom po mjesecu ne prelazi preko 120 l/s. Zadnju grupu čine mjeseci srpanj i kolovoz sa najvećim crpljenjima vode, čak i do 160 l/s, zbog vrhunca turističke sezone, mogućih poljoprivrednih aktivnosti i pojave sušnijih perioda (Slika 6.2.5.).



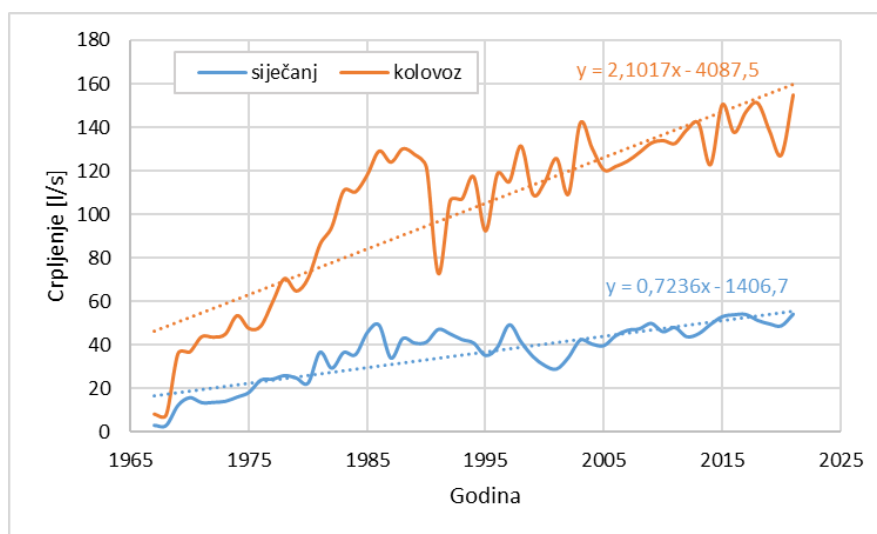
Slika 6.2.4. Zasebni prikaz količina crpljenja vode za jesenske, zimske i proljetne mjesecе unutar razdoblja od 1967.g. do 2021.g.



Slika 6.2.5. Zasebni prikaz količina crpljenja vode za mjesecе lipanj, srpanj, kolovoz i rujan unutar razdoblja od 1967.g. do 2021.g.

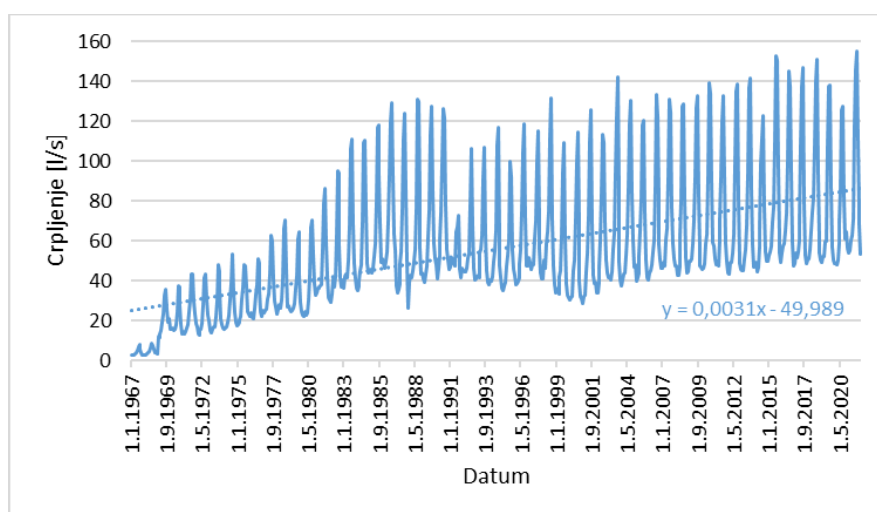
Na Slici 6.2.6. prikazana je usporedba u količinama i trendovima crpljenja vode iz Vranskog jezera na primjeru specifičnog zimskog (siječanj) i specifičnog ljetnog (kolovoz) mjeseca. Mjeseci su odabrani na temelju najvećih i najmanjih crpljenja vode iz jezera. Odmah su uočljive velike razlike u količini crpljenja koje su prvenstveno razlog u različitom godišnjem dobu, ali udio imaju i turizam, vlažniji i sušniji periodi godine, porast broja ljudi tijekom ljetnih mjeseci i smanjenje samo na lokalno stanovništvo tijekom zimskih mjeseci. U kolovozu je

vidljiv trend porasta crpljenja od 2,1 l/s/god., dok je u siječnju trend porasta crpljenja tri puta manji, svega 0,72 l/s/god.



Slika 6.2.6. Dijagram usporedbe trendova crpljenja specifičnog ljetnog (kolovoz) i zimskog (siječanj) mjeseca unutar razdoblja od 1967.g. do 2021.g.

Hod mjesečnih količina crpljenja i njegov trend u periodu od 1967.g. do 2021.g. prikazan je na Slici 6.2.7. Dijagram prikazuje trend povećanja mjesečnih crpljenja kroz cijelo razdoblje. Kao što je i prije rečeno, prve dvije godine zabilježenih podataka količina crpljenja je bila vrlo niska te uslijed proširenja vodoopskrbnog sustava crpljenje je iz godine u godinu raslo. Nailaskom na problem precrcpljivanja Vranskog jezera potkraj 1980-ih godina i početkom 1990-ih godina dovelo je do smanjenja crpljenja vode nakon čega se crpljenje postupno i blago ponovno počelo povećavati.

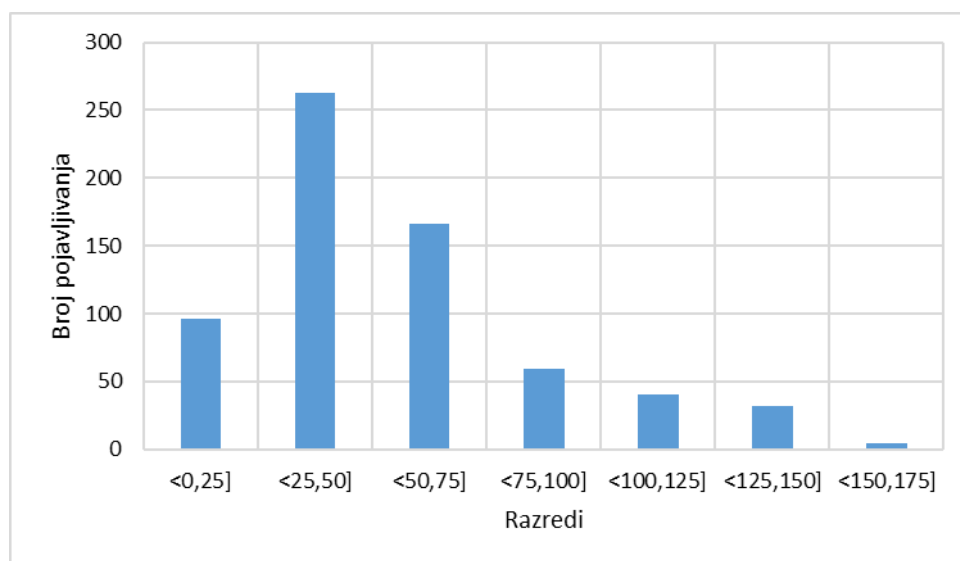


Slika 6.2.7. Hod i trend mjesečnih podataka o crpljenju vode iz Vranskog jezera za razdoblje od 1967.g. do 2021.g.

Poznavanjem nizova podataka o mjesečnim količinama crpljenja može se odrediti njihova učestalost pojavljivanja. Podjelom količina crpljenja na određene razrede dolazi se do zaključka iz kojeg proizlaze najčešće vrijednosti crpljenja. U ovom slučaju razrede smo odredili proizvoljno i prikazali ih u Tablici 6.2.2., a na Slici 6.2.8. je prikazan histogram količina crpljenja za cijelo razdoblje od 1967.g. do 2021.g. Vidljivo je da su najčešće vrijednosti crpljenja između 25 l/s i 50 l/s, nakon čega slijede one iz razreda od 50 l/s do 75 l/s. Najveće vrijednosti crpljenja, one koje prelaze preko 100 l/s, imaju manju učestalost jer se većinom javljaju preko ljeta kada je veća potražnja za vodom.

Tablica 6.2.2. Podjela podataka o mjesečnim crpljenjima vode na razrede i njihov broj pojavljivanja

Razred	Broj pojavljivanja
<0,25]	96
<25,50]	263
<50,75]	166
<75,100]	59
<100,125]	40
<125,150]	32
<150,175]	4

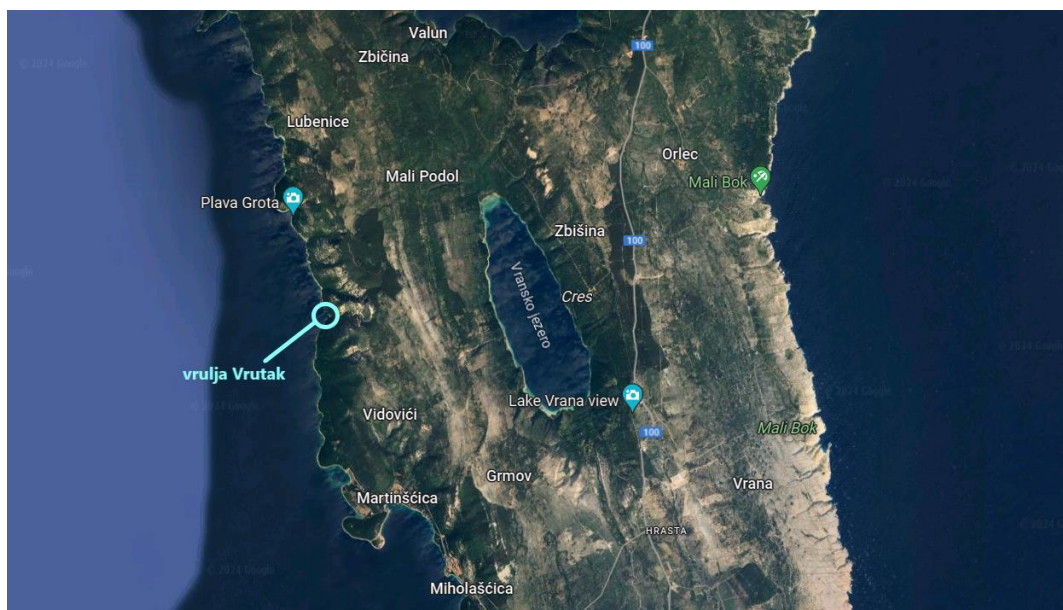


Slika 6.2.8. Histogram učestalosti pojavljivanja vrijednosti crpljenja kroz razdoblje od 1967.g. do 2021.g.

7. VRULJA VRUTAK I IZVOR LUKAVAC

7.1. Vrulja Vrutak

Vrulja Vrutak predstavlja najznačajnije mjesto stalnog ispuštanja podzemne vode (bočate vode) na cijelom području otoka Cresa. Smještena je uz zapadnu morsku obalu otoka Cresa, u istoimenoj uvali, otprilike udaljena 3,3 kilometara od Vranskog jezera (Slika 7.1.1.). Prema pričama Creskih ribara, vrulja nikada vidljivo ne mijenja količinu istjecanja. Središte vrulje je udaljeno od obale oko 14 metara i posjeduje promjer od oko 8 do 10 metara. Mjesto na kome vrulja izbija nalazi se na neravnom morskom dnu koje se blago uzdiže prema obali (Geotehnički fakultet Sveučilište u Zagrebu, 2023. prema JVP, Labin, 1991.). Izdašnost joj ovisi o trenutnim hidrološkim prilikama, a prema nekim procjenama kreće se od 50 do 250 l/s (Kuhta, 2004. prema Kuhta, 2002.). Izuzev vrulje, na obali uvale Vrutak pojavljuju se još na nekim mjestima istjecanja bočate vode. Izvršeno praćenje i trasiranje podzemne vode na zapadnoj obali Vranskog jezera nije dokazalo povezanost jezera sa vruljom (Kuhta, 2004.).



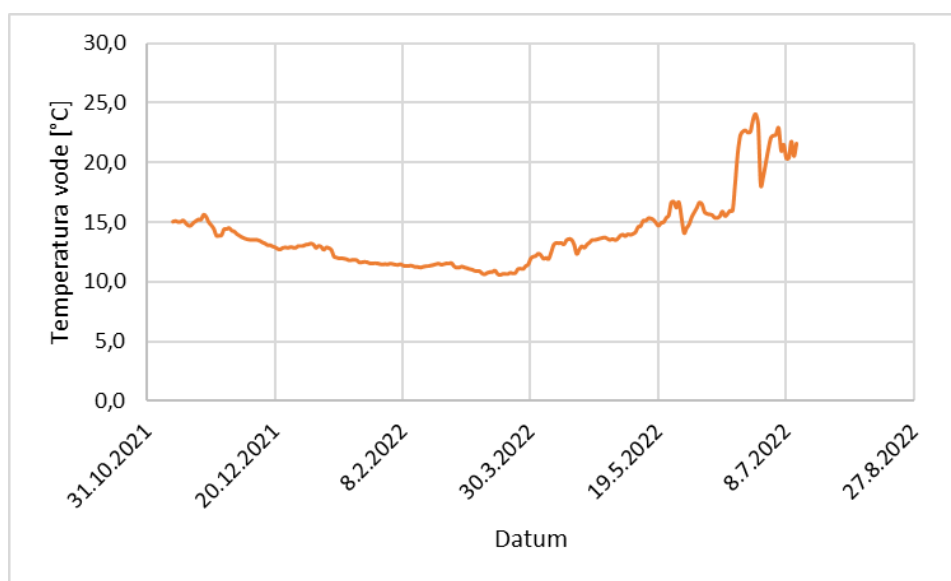
Slika 7.1.1. Lokacija vrulje Vrutak na zapadnoj obali otoka Cresa

(https://www.google.com/maps/@44.8718945,14.3823337,32526m/data=!3m1!1e3?authuser=0&entr_y=ttu, 2024)

Za potrebe ovog istraživanja koristili su se podaci o temperaturi i razini vode koje je prikupljao mjerni uređaj postavljen na morsko dno u samu vrulju na oko 8,5 metara dubine dana 10. studenog 2021.g. Kasnije, dana 12. srpnja 2022.g., došlo je do pomicanja mjernog uređaja u

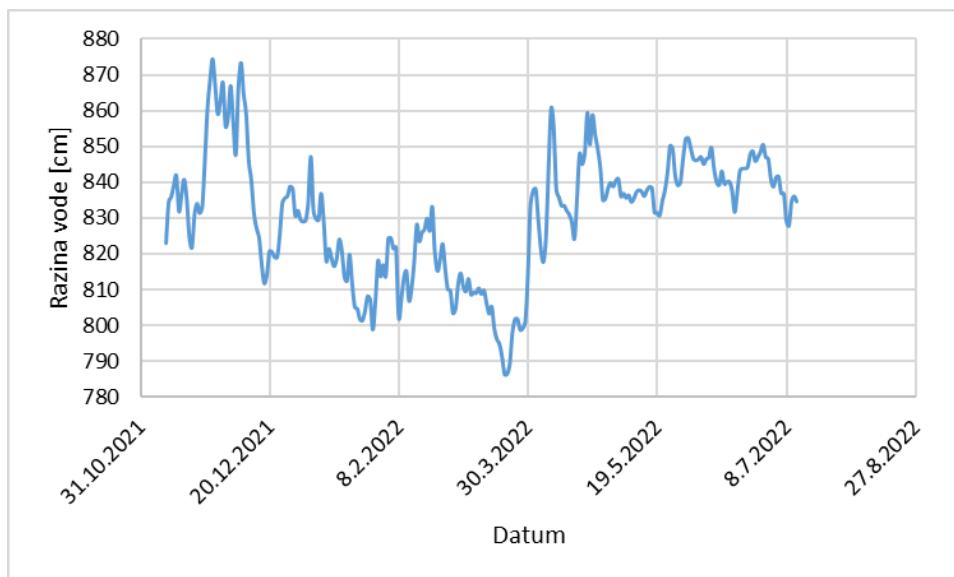
iznosu od oko 5 metara od same vrulje Vrutak i na kraju, zbog navedenog događaja, motrenja su prekinuta i podaci su sakupljeni samo do tog datuma.

Na Slici 7.1.2. prikazani su izmjereni podaci temperature vode na lokaciji vrulje Vrutak. Krajem mjerenja, koje je u ovom slučaju bilo po ljeti, vidljive su puno veće varijacije izmjerene temperature vode što može biti posljedica upravo pomak mjernog instrumenta. Srednja temperatura vode u vrulji Vrutak za navedeno razdoblje je 13,9°C. Maksimalna temperatura vode zabilježena je 26.06.2022.g. u iznosu od 24,1°C, dok 08.03.2022.g. je zabilježena minimalna temperatura u iznosu od 10,5°C.



Slika 7.1.2. Temperatura vode na lokaciji vrulje Vrutak (10.11.2021.g.-12.07.2022.g.)

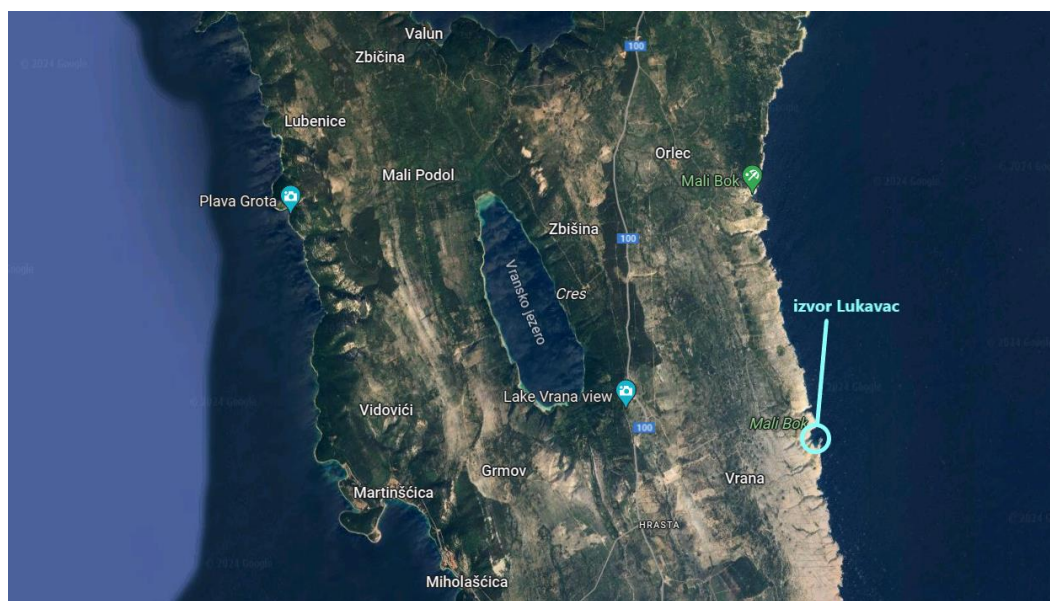
Slika 7.1.3. prikazuje zabilježene podatke o razinama vode na lokaciji vrulje Vrutak za isti vremenski period mjerenja. Vidljive su u pojedinim razdobljima mjerenja, točnije u studenom, prosincu i ožujku, velike oscilacije koje mogu prelaziti i preko 50 cm. Srednja razina vode na lokaciji vrulje Vrutak za navedeno razdoblje je 830,6 cm. Maksimalna razina vode zabilježena je 28.11.2021.g. u iznosu od 874,3 cm, dok 21.03.2022.g. je zabilježena minimalna razina vode u iznosu od 786,4 cm.



Slika 7.1.3. Morska razina vode na lokaciji vrulje Vrutak (10.11.2021.g.-12.07.2022.g.) u relativnim visinama provednih mjerenja

7.2. Izvor Lukavac

Izvor Lukavac smjestio se na istočnoj obali otoka Cresa, u uvali koja nosi isto ime, a od Vranskog jezera udaljena je oko 4,5 kilometara (Slika 7.2.1.). Uslijed niskog položaja priobalnog izvora, istjecanje se nalazi pod jakim usporom mora što znači da su izvorske vode u direktnom doticaju sa morem (Geotehnički fakultet Sveučilište u Zagrebu, 2023.).

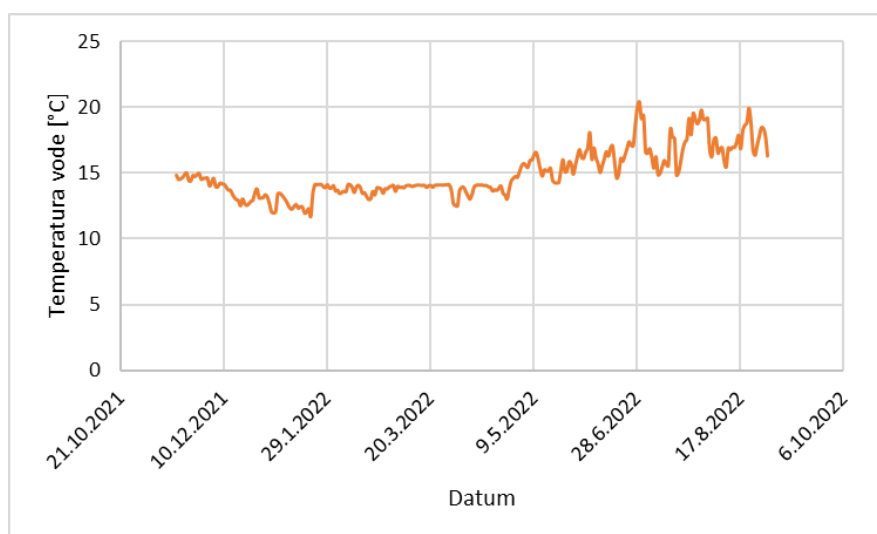


Slika 7.2.1. Lokacija izvora Lukavac na istočnoj obali otoka Cresa

([https://www.google.com/maps/@44.8718945,14.3823337,32526m/data=!3m1!1e3?authuser=0&entr](https://www.google.com/maps/@44.8718945,14.3823337,32526m/data=!3m1!1e3?authuser=0&entry=ttu)
y=ttu, 2024)

Isto kao i kod vrulje Vratak, za potrebe ovog istraživanja koristili su se podaci o temperaturi i razini vode koje je prikupljao mjerni uređaj postavljen dana 17. studenog 2021.g., a praćenje je završeno 31. kolovoza 2022.g.

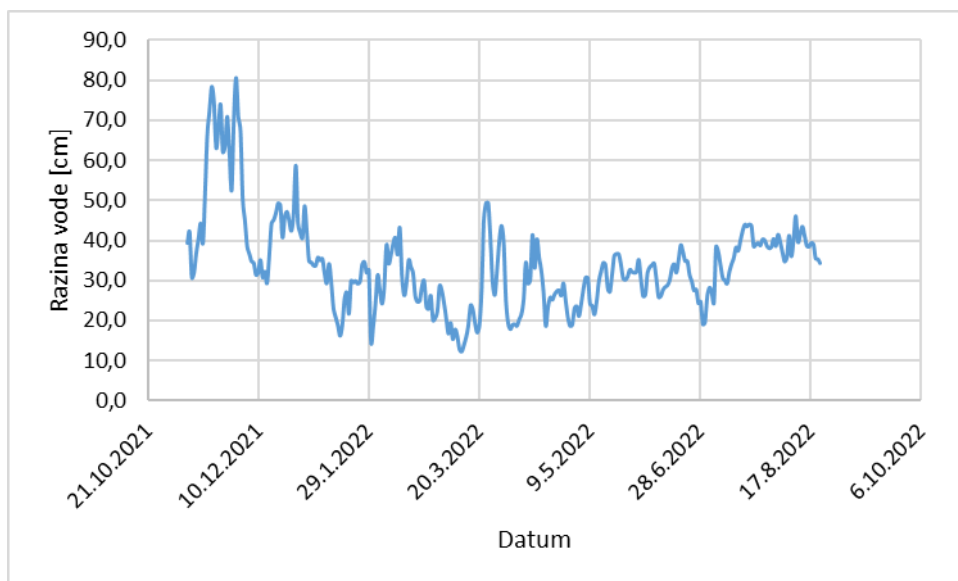
Na Slici 7.2.2. prikazani su izmjereni podaci temperature vode na lokaciji priobalnog izvora Lukavac za predmetno razdoblje. Vidljivo je da se u prvom dijelu mjerenja temperatura nije puno mijenjala, ali s početkom toplijeg vremena su započele veće oscilacije koje su prelazile preko 5°C. Srednja temperatura vode na izvoru Lukavac za navedeno razdoblje je 15,0°C. Maksimalna temperatura vode zabilježena je 29.06.2022.g. u iznosu od 20,4°C, a 21.01.2022.g. je zabilježena minimalna temperatura u iznosu od 11,7°C.



Slika 7.2.2. Temperatura vode na lokaciji izvora Lukavac (17.11.2021.g.-31.08.2022.g.)

Slika 7.2.3. prikazuje zabilježene podatke o razinama vode na lokaciji priobalnog izvora Lukavac za isti vremenski period mjerenja. Na početku mjerenja vidljive su velike oscilacije koje su, kako je vrijeme prolazilo, u kasnijem razdoblju mjerenja se smanjile. Srednja razina vode na lokaciji izvora Lukavac za navedeno razdoblje je 33,9 cm. Maksimalna razina vode zabilježena je 10.12.2021.g. u iznosu od 80,7 cm, dok 21.03.2022.g. je zabilježena minimalna

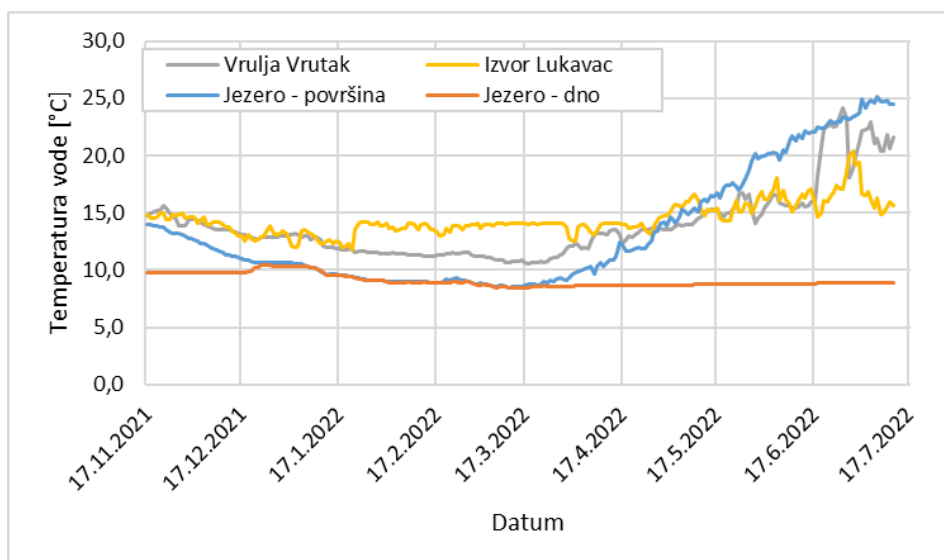
razina vode u iznosu od 21,3 cm. Vrijedi istaknuti da je istog dana, 21.03.2022.g. zabilježena i minimalna razina vode za vrulju Vrutak.



Slika 7.2.3. Razina vode na lokaciji izvora Lukavac (17.11.2021.g.-31.08.2022.g.)

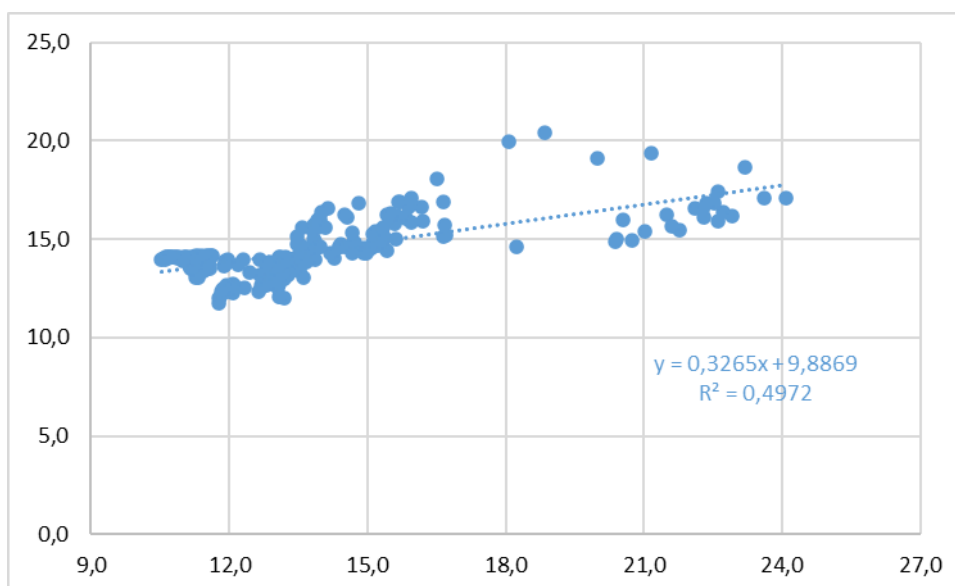
7.3. Obrada izmjerenih podataka

Na Slici 7.3.1. prikazan je usporedni dijagram izmjerenih temperatura vode na dnu i površini Vranskog jezera te temperatura vode na vrulji Vrutak i priobalnom izvoru Lukavac za zajedničko razdoblje mjerenja od 17.11.2021.g. do 12.07.2022.g. Vidljivo je da je na dnu Vranskog jezera temperatura konstantno hladna tijekom cijelog razdoblja promatranja. Temperatura na površini Vranskog jezera je tijekom zime približno slična temperaturi na dnu zbog zimske izotermije, dok ne nastupi toplije vrijeme i posljedično njezino povećavanje. Veće su razlike između površinskih i temperatura na dnu Vranskog jezera te temperatura na vrulji i priobalnom izvoru jer se jezero prije zagrije, odnosno ohladi, u odnosu na vrulju i priobalni izvor (mogući utjecaj istjecanja i toplinski koeficijent mora). Primjetan je skok temperature vode na izvoru Lukavac 22.01.2022., što možemo pripisati vjerojatnoći pomicanja mjernog instrumenta. Također, vjerojatnije bi bile zabilježene hladnije temperature na Vrutku i Lukavcu ako bi se mjerenje ograničilo samo na istjecanje slatkih voda.



Slika 7.3.1. Usporedni prikaz temperatura vode na dnu i površini Vranskog jezera, na vrulji Vrutak i zvoru Lukavac (17.11.2021.-12.07.2022.)

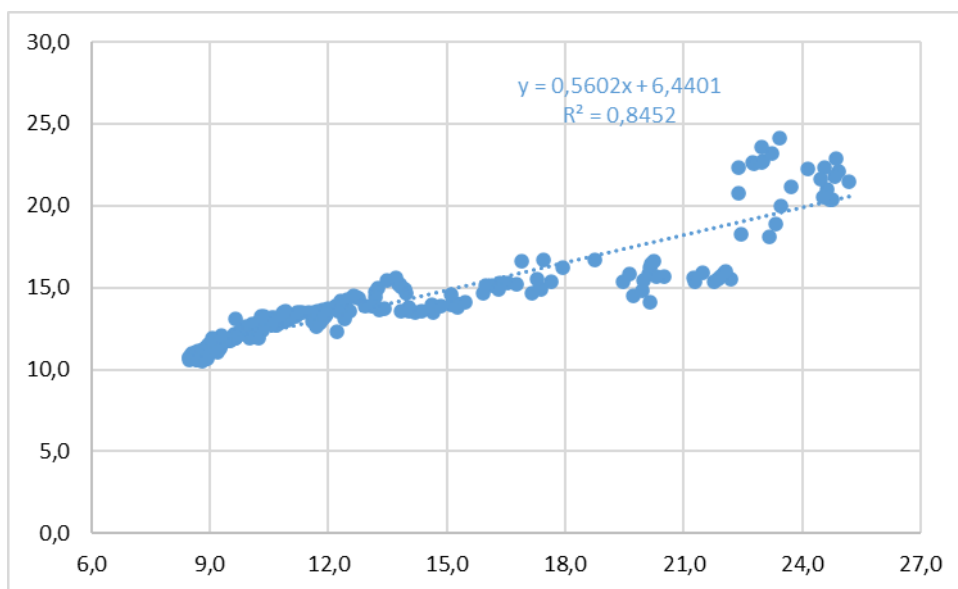
Na slijedećim prikazanim slikama pokušala se ispitati mogućnost postojanja korelacijskih veza između temperatura na površini Vranskog jezera, na vrulji Vrutak i na priobalnom izvoru Lukavac. Slika 7.3.2. prikazuje korelacijsku vezu između temperatura na Vrutku i Lukavcu koja je ne postoji zbog mogućeg utjecaja pomaka mjernog instrumenta. Vrlo je bitan utjecaj postavljanja mjernog instrumenta, udaljenost od izvora slatkih voda determinira izmjerenu temperaturu i salinitet.



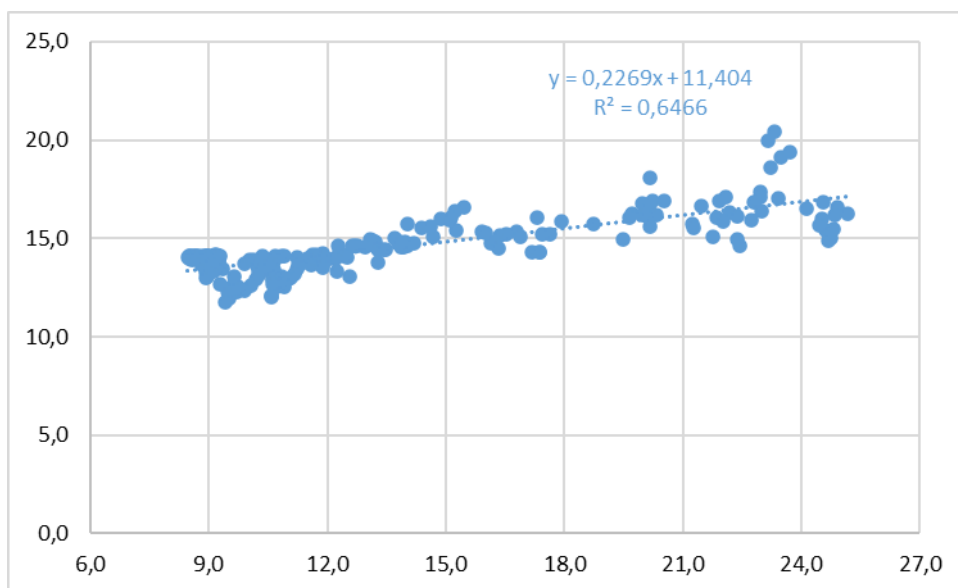
Slika 7.3.2. Korelacijska veza između temperatura vode na vrulji Vrutak i izvoru Lukavac

Na Slici 7.3.3. i 7.3.4. prikazane su korelacijske veze između temperature vode na površini Vranskog jezera i temperature vode na vrulji Vrutak te korelacijske veze između temperature

vode na površini Vranskog jezera i priobalnog izvora Lukavac. Ovdje se vidi bolja korelacijska veza koja je u slučaju Vranskog jezera i vrulje Vrutak relativno čvrsta ($R^2 = 0,85$), a u slučaju Vranskog jezera i izvora Lukavac slaba ($R^2 = 0,65$) uprkos preliminarnim mjerenjima. Potrebno je provesti detaljnija istraživanja kako bi se dobio duži niz podataka za adekvatne zaključke.



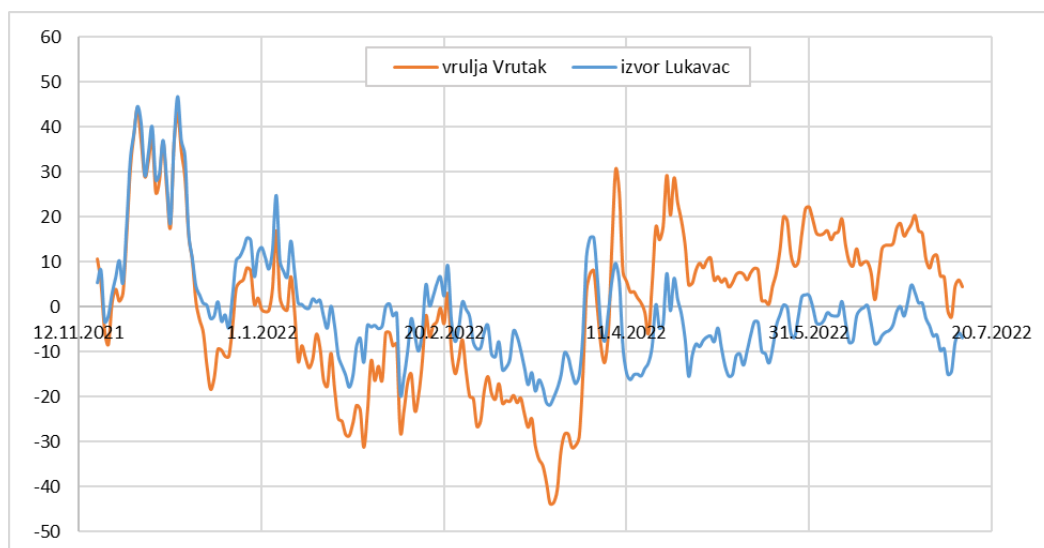
Slika 7.3.3. Korelacijska veza između temperatura vode na površini Vranskog jezera i vrulje Vrutak



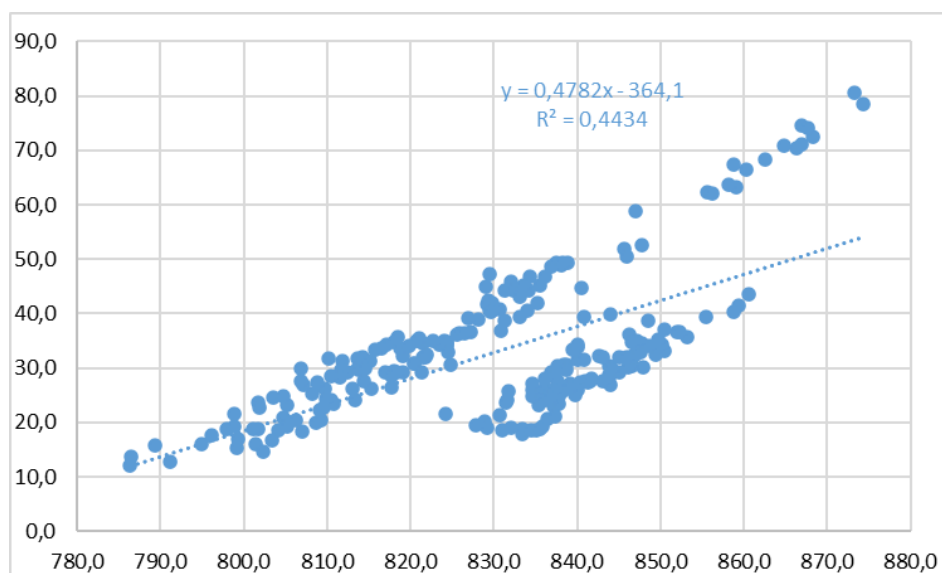
Slika 7.3.4. Korelacijska veza između temperatura vode na površini Vranskog jezera i izvora Lukavac

Hod dnevnih izmjerenih razina vode na vrulji Vrutak i izvoru Lukavac u istom vremenskom razdoblju od 17.11.2021.g. do 12.07.2022.g. prikazan je na Slici 7.3.5. Vrijednosti razine vode za vrulju Vrutak su umanjene za prosječnu vrijednost odstupanja od izvora Lukavac koja iznosi

830 cm kako bi se mogla provesti usporedba. Vidljive su veće amplitude na Vrutku, vjerovatno jer je lokacija izloženija djelovanju morskih valova, ali pomak lokacije mjernog instrumenta može navesti na krive zaključke. Slika 7.3.6. pokazuje korelaciju razina vode na Vrutku i Lukavcu na kojoj je vidljiv utjecaj pomaka mjernog instrumenta.



Slika 7.3.5. Hod dnevnih razina vode na vrulji Vrutak i izvoru Lukavac u razdoblju od 17.11.2021.g. do 12.07.2022.g.



Slika 7.3.6. Korelacijska veza između razina vode na vrulji Vrutak i izvoru Lukavac u razdoblju od 17.11.2021.g. do 12.07.2022.g.

8. ZAKLJUČAK

Hrvatska se svrstava u skupinu zemalja sa relativno bogatim količinama pitke vode, ali to ne znači da je gospodarenje vodnim resursima manje izazovan zadatak. Posebno se to odnosi na vodne resurse u krškim područjima koja se rasprostiru na oko polovine njene ukupne površine zbog okolnosti da krški karakter područja nije pogodan za stvaranje i zadržavanje sezonskih vodnih rezervi kojima se osiguravaju potrebe za vodom tijekom ljetnih sušnih razdoblja kada su one zbog turističke orijentacije najveće. Stoga je potrebno spriječiti bilo kakve moguće negativne promjene koje bi mogle utjecati na bogatstvo naših vodnih resursa. Jedan od takvih specifičnih vodnih resursa je Vransko jezero na otoku Cresu, rijedak i višestruko vrijedan krški vodni fenomen i kriptodepresija sa iznimno velikim volumenom od oko 220 milijuna m³ slatke vode za tako mali krški otok. Vransko jezero je jedini izvor pitke vode na vodom inače deficitarnim otocima Cresu, Lošinju i Iloviku i predstavlja okosnicu njihovog daljnjeg razvoja. Za sada, slabo naseljeno slivno područje Vranskog jezera na kojem nema većih ljudskih aktivnosti nije jače ugroženo promjenama koje bi mogle negativno utjecati na kakvoću vode u jezeru. Međutim, potencijalnim porastom antropogenih djelovanja i uslijed sve naglašenijeg utjecaja klimatskih promjena mogu trenutno stanje promijeniti. Zbog toga je potrebno konstantno provoditi razna istraživanja kako bi se pranašla upravljačka rješenja koja bi takve situacije spriječile ili barem ublažile.

Analizom podataka o količinama oborina sa klimatološke postaje Cres došlo se do zaključka da je prisutna vrlo velika oscilacije u ukupno palim oborinama tijekom godine i po pojedinim mjesecima u kojima je moguć potpuni izostanak oborina. Prisutan je vrlo blagi trend povećanja godišnjih količina oborina za oko 1,8 mm godišnje. Najviše oborina padne na jesen i u prvom dijelu zime. Podjelom cijelog promatranog razdoblja na dva odabrana klimatološka razdoblja, 1961.g.-1990.g. i 1991.g.-2021.g., vidljiv je blagi pad srednjih mjesečnih oborina u drugom razdoblju tijekom ljeta, većini proljeća i zime, dok je u zadnjoj trećini godina vidljiv rast srednjih mjesečnih količina oborina. Što se tiče temperatura zraka, evidentan je značajni trend povećanja srednjih godišnjih temperatura od oko 2,6°C/100 godina. Uspoređujući razdoblje 1991.g.-2021.g. sa cijelim promatranim razdobljem vidljiv je još veći trend povećanja srednjih godišnjih temperatura za oko 4,2°C/100 godina. Također, u razdoblju 1991.g.-2021.g. primjetan je i rast svih srednjih mjesečnih temperatura u odnosu na period 1961.g.-2021.g. za prosječno 0,9°. Primjenom Fosterovog dijagrama za period 1961.g.-2021.g. prikazano je da u gradu Cresu u većini godine prevladava perhumidna klima (topla za rujan, blaga za listopad i

studeni, svježa od prosinca do ožujka), zatim blaga humidna klima u travnju i svibnju te subhumidna u lipnju, srpnju i studenom. Srednje mjesečne temperature po zimi ne padaju ispod 6°C, a maksimalna ne prelazi 25°C. Fosterovi dijagrami upotrijebili su se za usporedbu dva, već spomenuta, klimatološka razdoblja gdje u periodu 1991.g.-2021.g. su vidljive promjene u vidu rasta srednjih mjesečnih količina oborina od rujna do prosincu i neznatno u svibnju, pada srednjih mjesečnih količina oborina od siječnja do kolovoza te rast srednjih mjesečnih temperatura zraka u svim mjesecima u odnosu na razdoblje 1961.g.-1990.g. Pojedini mjeseci su promijenili i tip klime kao što su lipanj i kolovoz (humidna u subhumidna), travanj (perhumidna u humidna) i rujan (humidna u perhumidna). Takve promjene posljedica su djelovanja klimatskih promjena i utječu kako na stanje u jezerskom sustavu (povećavaju se i temperature vode i isparavanja sa površine jezera), tako i na stanje u slivu (povećava se evapotranspiracija, a time se smanjuju i dotoci u jezerski sustav).

Obradom površinskih temperatura vode s hidrološke postaje C.P. Vrana za razdoblje 1979.g.-2021.g. dobio se vrlo izraženi trend povećanja srednjih (4,1°C/100 god.) i maksimalnih (5,8°C/100 god.) godišnjih temperatura vode, dok trend minimalnih godišnjih temperatura pokazuje smanjenje (0,6°C/100 god.). Maksimalne mjesečne temperature na površini Vranskog jezera se javljaju u kolovozu, a minimalne u veljači. Prisutne su i velike oscilacije u površinskim temperaturama vode. Zbog nepotpunih podataka o temperaturi na površini jezera u pojedinim razdobljima, probala se izvesti korelacija između srednjih mjesečnih površinskih temperatura vode na C.P. Vrana sa srednjim mjesečnim temperaturama zraka na postaji Cres. Dobiveni rezultati pokazali su da nema nema korelacijske veze ako se analizira svaki mjesec pojedinačno, ali analizom nizova svih mjesečnih podataka dobiva se bolja korelacijska veza. Razlog toga je tromost jezerskog sustava zbog njegovog velikog volumena, tako na stanje temperaturnih prilika u jezeru utječe puno dulje razdoblje prethodnog temperaturnog stanja. Iz izmjerenih podataka o temperaturi po dubini Vranskog jezera tijekom zime, na početku proljeća, tijekom i na kraju ljeta, vidljiva je izražena ljetna toplinska stratifikacija i zimska izotermija što karakterizira monomiktični karakter Vranskog jezera. Uspoređivanjem najnovijih mjerenja sa prijašnjim mjerenjima Petrika i Instituta za geološka istraživanja, vidljive su male promjene u vrijednostima za ljetne temperature po dubini jezera u vremenu stratifikacije. Međutim, u razdoblju zimske izotermije vidljive su izrazite promjene u smislu povećanja temperatura po dubini za oko 4°C, gledajući od Petrika do danas. Analizom međuodnosa srednjih temperatura površinske jezerske vode i zraka vidljivo je da temperature jezera zaostaju za temperaturama zraka tijekom ljeta i zime zbog toga što se jezero sporije hladi

i zagrijava, ali unazad nekoliko godina primjećuje se kako su vrijednosti temperatura jezera počele približno sustizati temperaturu zraka. Najveće razlike u vrijednostima srednjih temperatura vidljive su krajem godine.

Analiza vodostaja u jezeru pokazala je prisutnost trendova pada kod srednjih i minimalnih vodostaja za oko 3,7 m/100 god., a kod maksimalnih vodostaja za oko 3,8 m/100 god. Pretpostavka je da su presudni utjecaji na takav hod trendova imali nagli pad razine jezera 1990.g. kada se pojavio problem precrpljivanja jezera i izrazito sušno razdoblje tijekom 2012.g. Nakon tih događaja može se reći da trendovi ne pokazuju tendenciju daljnjeg smanjenja vodostaja i trenutno nije zabrinjavajuće. Vodostaj Vranskog jezera na godišnjoj razini varira u relativno uskim granicama, prosječno 1 do 2 metra. Kronološkom analizom ekstremnih (maksimalnih i minimalnih) mjesečnih vodostaja dobivena je njihova učestalost pojavljivanja, pri čemu se godišnji maksimumi najčešće pojavljuju u zimskim i proljetnim mjesecima, a godišnji minimumi najčešće u jesenskim mjesecima. To je također posljedica tromosti i retencijskih obilježja jezerskog sustava i njegova krškog vodonosnika.

Na temelju provedenih analiza mareografskih podataka s mareografa u Martinšćici na Cresu iz razdoblja 1991.-2021., utvrđen je i trend porasta razine mora koji kod srednjih godišnjih razina iznosi 31 cm/100 god., a koji je kod ekstremnih značajnije više (minimalne 47 cm/100 god., a maksimalnih čak 58 cm/godina. To je također posljedica klimatskih promjena i može utjecati na promjenu rubnih uvjeta koji osiguravaju stabilnost jezerskog sustava.

Crpljenja vode iz jezera za potrebe vodoopskrbe imaju najveći porast, u prvim decenijama zbog postupnog proširenja vodoopskrbnog područja na cijeli otok, a kasnije zbog sve naglašenijeg razvoja turizma. Zadnjih godina (2021.) crpi se preko 2,7 mil. m³/god., a maksimalno prosječno dnevno crpljenje iznosilo je 178 l/s. Za razdoblje od početka praćenja količina crpljenja (1967.-2011.) trend povećanja iznosi 111 l/s/100 god, a što je imalo utjecaj i na spomenute trendove smanjenja vodostaja u jezeru. Analizirana je i unutargodišnja raspodjela crpljenja prema kojoj se tijekom mjeseci u hladnijem dijelu godine (listopad – svibanj) prosječno crpi oko 80 l/s vode, tijekom prijelaznih mjeseci (lipanj i rujan) oko 120 l/s, a tijekom ljetnih mjeseci kad je potražnja za vodom uslijed turizma i navodnjavanja okućnica najprisutnija, čak i do 160 l/s. Utvrđeno je da je kolovozu trend porasta crpljenja od 2,1 l/s/god, dok je u siječnju trend porasta crpljenja tri puta manji, svega 0,72 l/s/god.

U radu su sadržani i rezultati kratkotrajnog monitoringa (2021./2022.) provedenog u okviru UKV projekta na dvije najznačajnije priobalne vodne pojave u okruženju Vranskog jezera. Radi se o vrulji Vrutak na zapadnoj obali, kao i o priobalnom izvoru Lukavac na istočnoj. Provedena je uporedba kolebanja razona vode i temperature na njima, kao i u samom Vranskom jezeru – pri površini i na dnu najdubljeg dijela jezera. Vrulja Vrutak pokazala je veću amplitudu kolebanja iz razloga što je pod utjecajem okolnog mora. Utvrđena je i nešto bolja korelacijska veza između površinske temperature vode Vranskog jezera i vrulje Vrutak (koef. determinacije $R^2=0,85$) u odnosu na povezanost površinske temperature vode Vranskog jezera i izvora Lukavac ($R^2=0,65$). Radi se o složenim međuvezama zbog termalne stratifikacije Vranskog jezera, odnosa jezera i krškog vodonosnika te na kraju odnosa priobalnih dijelova krškog vodonosnika i mora na mjestu istjecanja.

Rad je, na temelju provedenih analiza karakterističnih pokazatelja vodnog sustava Vranskog jezera na otoku Cresu, pokazao svu složenost međuodnosa koje vladaju u tom posebnom vrijednom otočkom resursu, kao i potrebu da se u cilju njegove zaštite nastave i prošire započeta istraživanja.

9. POPIS LITERATURE

- Bonacci, O. (1987.): Karst Hydrology, With Special Reference to the Dinaric Karst, Part of the book series: Springer Series in Physical Environment (SSPENV., volume 2), ISBN: 978-3-642-83167, Springer
- Bonacci, O. (2014.): Analiza varijacija razine vode jezera Vrana na otoku Cresu, Hrvatske vode, vol. 22, br. 80, str. 337.-346.
- Caren, M. (2021.): Autokorelacijska i kroskorelacijska analiza protoka uz ušće Kupe u Savu, diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- Curać, J. (2018.): Utjecaj mora na jezera u Hrvatskoj, završni rad, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- Damijanjević, L. (2022.): Hidrogeografska obilježja Vranskog jezera na Cresu, završni rad, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka
- Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) (2021.): Analiza sadašnje klime i projekcije klime za tri pilot područja u jadranskom priobalju i otocima, doprinos projektu „Upravljanje krškim priobalnim vodonosnicima ugroženima klimatskim promjenama“ – KK.05.1.1.02.0022, Zagreb
- GEO-5 (2022b): Monitoring podzemnih voda Vranskog jezera, Grupa 3: Analiza postojećeg monitoringa i prijedlog sustava monitoringa jezera (tehničko izvješće), Arhiv Geo-5 d.o.o. Rovinj
- Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, DHMZ, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Hrvatski geološki institut (2023.): Upravljanje krškim priobalnim vodonosnicima ugroženima klimatskim promjenama (UKV) (KK.05.1.1.02.0022) – Monografija projekta, Varaždin
- Golterman, H.L. (1975.): Physiological limnology - An approach to the Physiology of Lake Ecosystems, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands
- Institut IGH d.d. (2016.): Sustav odvodnje otpadnih voda aglomeracije Cres, Martinšćica, Mali Lošinj i Veli Lošinj, elaborat zaštite okoliša u postupku ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš, Kukuljanovo

- JVP Labin (JVP za slivno područje istarskih slivova, Hrvatska vodoprivreda) (1991): Vransko jezero, Rezultati hidroloških istražnih radova I. faza (tehničko izvješće), Labin
- Kuhta, M. (2004.): Vrana Lake on Cres Island – genesis, characteristic and prospects, Hrvatski geološki institut, Zagreb
- Kuhta, M., Brkić, Ž. (2013.): Seasonal temperature variations of Lake Vrana on the Island of Cres and possible influence of global climate changes, Journal of Earth Science and Engineering 3, 4, str. 225.-237.
- Magaš, N. (1965.): O depresiji Vranskog jezera na otoku Cresu i geološkim odnosima njegovog užeg područja, Geološki vjesnik, Volumen 18/2, Zagreb
- Ožanić, N (2017/2018.): Hidrologija I – predavanja, materijali s predavanja kolegija Hidrologija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka
- Petrik, M. (1960.): Prilozi limnologiji jezera Vrana, Krš Jugoslavije 2, Zagreb, str. 105-192
- Rubinić, J., Ožanić, N. (1992.): Hidrološke karakteristike Vranskog jezera na otoku Cresu, Građevinar, vol. 44, br. 8, str. 521.-530., Zagreb
- Rubinić, J. (2018./2019.): Jezera, materijali s predavanja kolegija Vodni resursi i sustavi, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka
- Rubinić, J. (2020./2021.): Priobalni krški vodonosnici i izvori, materijali s predavanja kolegija Hidrosustavi u kršu, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka
- Sušanj, I. (2017./2018.): Osnovna statistička obrada podataka, materijali s vježba kolegija Hidrologija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka
- Šegota, T., Filipčić, A. (2003.): Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje, Geoadria, vol. 8, br. 1, str. 17.-37., Zadar
- Tomec, M. (2003.): Mikrofitobentos Vranskog jezera (otok Cres), znanstveni rad, Ribarstvo, 61, str. 55.-73.
- Tončić, I. (2018.): Temperature voda imora kao indikatori stanja vodnih resursa, diplomski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka

Vodoprivredno-projektni biro d.d. (2021.): Batimetrijska, psalmološka i morfološka karakterizacija prirodnih jezera u Republici Hrvatskoj – konačno izvješće, Zagreb

Wetzel, R. G. (2001.): Limnology Lake and River Ecosystems, Third edition, Academic Press (An Imprint of Elsevier), San Diego, California, USA

Žugaj, R. (2000.): Hidrologija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Internetski izvori:

<https://hidro.dhz.hr/>, pristup 23.02.2024.

<https://www.viocl.hr/>, pristup 23.02.2024.

https://meteo.hr/klima.php?section=klima_hrvatska¶m=k1#pog5, pristup 23.02.2024.

<https://www.visitcres.hr/otok-cres/atrakcije-cres/vransko-jezero-cres.aspx>, pristup 23.02.2024.

<https://www.visitcres.hr/otok-cres/mjesta-cres/otok-cres.aspx>, pristup 23.02.2024.

<https://priodahrvatske.com/2018/12/15/vransko-jezero-na-cresu/>, pristup 23.02.2024.

<https://geografija.hr/vransko-jezero-jedinstven-prirodnogeografski-fenomen-na-otoku-cresu/>, pristup 23.02.2024.

<https://belivisitorcentre.eu/2020/02/crtica-o-vranskom-jezeru-hidroloskom-fenomenu-otoka-cresa/>, pristup 23.02.2024.

<https://www.enciklopedija.hr/clanak/12707>, pristup 23.02.2024.