

Novije hidrološke promjene Vranskoj jezera u Dalmaciji

Vojvodić, Aleksandar

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:072248>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Aleksandar Vojvodić

Novije hidrološke promjene Vranskog jezera u Dalmaciji

Prvostupnički rad

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivan Čanjevac

Ocjena: _____

Potpis: _____

Zagreb, 2023.

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Prvostupnički rad

Novije hidrološke promjene Vranskog jezera u Dalmaciji

Aleksandar Vojvodić

Izvadak: U novijem razdoblju zabilježene su izraženije promjene u režimu tekućica ali i mnogih stajaćica u Hrvatskoj. Vransko jezero u Dalmaciji nije izuzetak, gdje veliki problem predstavljaju izraženije varijacije klimatskih elemenata koje negativno utječu na vodostaj i količinu vode jezera te salinizacija jezera uvjetovana sušama i prodorom morske vode. U sklopu ovog rada analizirat će se novije hidrološke promjene Vranskog jezera u Dalmaciji s naglaskom na analizu trendova vodostaja i saliniteta jezera. Analizirat će se i trendovi temperature zraka i količine padalina. Cilj je utvrditi mogući utjecaj klimatskih promjena na jezero, razmotriti buduće scenarije razvoja jezera te istražiti moguća rješenja za povećanu salinizaciju jezera.

38 stranica, 22 grafičkih priloga, 0 tablica, 46 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: hidrologija, hidrogeografija, Vransko jezero, Dalmacija, salinizacija, klimatske promjene

Voditelj: izv. prof. dr. sc. Ivan Čanjevac

Tema prihvaćena: 9. 2. 2023.

Datum obrane: 21. 9. 2023.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Sveučilišta u Zagrebu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Trg Marka Marulića 19, Zagreb, Hrvatska.

| |
|--------------------------|
| BASIC DOCUMENTATION CARD |
|--------------------------|

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geography

Undergraduate Thesis

Recent hydrological changes of Lake Vrana in Dalmatia

Aleksandar Vojvodić

Abstract: In recent times, substantial changes in the regimes of rivers and lakes in Croatia are recorded. Lake Vrana in Dalmatia is not an exception, where more pronounced variations of climate elements and the salinisation of the lake, influenced by droughts and intrusion of sea water, pose a significant problem which negatively affect the water level and the amount of water in the lake. As a part of this thesis, recent hydrological changes of Lake Vrana in Dalmatia will be analysed, with an emphasis on the analysis of water level and lake salinity trends. Trends in air temperature and precipitation will also be analysed. The goal is to determine a possible influence of climate change on the lake, to discuss possible future scenarios for the development of the lake and to research possible solutions for the increasing salinisation of the lake.

38 pages, 22 figures, 0 tables, 46 references; original in Croatian

Keywords: hydrology, hydrogeography, Lake Vrana, Dalmatia, salinisation, climate change

Supervisor: Ivan Čanjevac, PhD, Associate Professor

Undergraduate Thesis title accepted: 09/02/2023

Undergraduate Thesis defense: 21/09/2023

Thesis deposited in Central Geographic Library, University of Zagreb Faculty of Science,
Trg Marka Marulića 19, Zagreb, Croatia

SADRŽAJ

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA O VRANSKOM JEZERU U DALMACIJI..... | 2 |
| 3. OSNOVNE ZNAČAJKE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI..... | 3 |
| 3.1. GEOLOŠKE ZNAČAJKE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI | 3 |
| 3.2. GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI.... | 6 |
| 3.3. PEDOLOŠKE ZNAČAJKE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI..... | 7 |
| 3.4. KLIMATOLOŠKE ZNAČAJKE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI | 8 |
| 3.5. BIOGEOGRAFSKE ZNAČAJKE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI ... | 12 |
| 3.6. HIDROLOŠKE ZNAČAJKE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI..... | 13 |
| 4. ANTROPOGENI UTJECAJI I PRITISCI NA VRANSKO JEZERO U DALMACIJI – POVIJESNI PREGLED I DANAŠNJE STANJE | 15 |
| 5. ANALIZA NOVIJIH HIDROLOŠKIH PROMJENA VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI | 17 |
| 5.1. VODOSTAJ..... | 17 |
| 5.2. SALINITET / ELEKTRIČNA VODLJIVOST | 20 |
| 5.3. MEĐUODNOSI POKAZATELJA TEMPERATURE ZRAKA, PADALINA, VODOSTAJA, SALINITETA I ELEKTRIČNE VODLJIVOSTI..... | 23 |
| 5.4. POTENCIJALNA RJEŠENJA ZA PROBLEMATIKU JEZERA | 29 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 30 |
| 7. LITERATURA | 31 |
| 8. IZVORI..... | 35 |

1. UVOD

Slatkovodna staništa u neposrednoj blizini morskih površina predstavljaju iznimnu pojavu u raznim sferama, poput geografske prostorne kompleksnosti, hidrološkog bogatstva ili biološke raznolikosti. Između ta dva staništa obično postoji dugoročna interakcija i koegzistencija živog i neživog svijeta. Upravo je taj međuodnos vrlo delikatan te izuzetno osjetljiv na vanjske utjecaje koji mogu donijeti razorne posljedice na postojeću ravnotežu, poput antropogenih iskorištavanja ili sve aktualnijih klimatskih promjena i izraženijih varijacija klimatskih elemenata. Sredozemni prostor se smatra jednim od najpodložnijih područja na spomenute klimatske promjene uvjetovano većim prosječnim zagrijavanjem nego u ostalim dijelovima svijeta, gdje su mnoga slatkovodna staništa pod velikim rizikom od nestajanja i ireverzibilnog onečišćenja, poput jezera Bafa u Turskoj (Kazancı i dr., 2008), mnogih jezera unutar delte rijeke Nil u Egiptu (El Kafrawy i dr., 2018) ili Albufera u Španjolskoj (Martín i dr., 2020). Jadranski hidrološki sustav kao dio Sredozemlja također spada u pogođena područja, gdje hrvatsko Vransko jezero u Dalmaciji služi kao izvrstan primjer ranije spomenute ravnoteže između mora i jezera pod velikim rizikom od nepovratne degradacije.

Vransko jezero u Dalmaciji¹ se administrativno nalazi u Zadarskoj i Šibensko-kninskoj županiji, spadajući pod regiju Ravni kotari² na sjeveru Dalmacije. Specifičnost Vranskog jezera je značaj jezera kao močvarnog staništa od izuzetne važnosti te blizina mora i dugoročna ravnoteža između jezerskog režima i prodora slane morske vode kroz uski niski krški greben. Postojanje značajnog slatkovodnog staništa u neposrednoj blizini mora donosi mnoge blagodati, poput razvoja specifične flore i faune, mogućnosti hidromelioracijskog iskorištavanja jezerske vode ili turistička atraktivnost. Međutim, isto more koje pridonosi ili potencira ranije spomenute korisnosti, u skorijem vremenu pridonosi potencijalnoj destrukciji jezera uvjetovano iznimno naglašenim antropogenim utjecajima, prvenstveno kroz izgradnju kanala Prosike te intenzivnog hidromelioracijskog iskorištavanja za poljoprivredne svrhe na sjeveru jezera, i sve izraženijim varijacijama klimatskih elemenata, putem kojih dolazi do sve

¹ Zbog raznih prostornih definicija Vranskog jezera (kod Biograda na Moru, kod Pakošтана i sl.) u sklopu ovog rada će se koristiti širi termin Vransko jezero u Dalmaciji.

² Ravni kotari su regija s raznim definicijama prostornog obuhvata, no zbog jednostavnosti će se unutar rada definirati pripadnost Vranskog jezera uvjetno-homogenoj regiji Ravni kotari, odnosno na tromeđi Središnjih Ravni kotara, Sjevernokotarskog priobalja i Jugoistočno kotarskog priobalja, koristeći Blaćinu (2014) regionalizaciju.

češćih ekstremnih intruzija slane vode u jezero tijekom ljetnog perioda, dovodeći do salinizacije jezera i mogućnosti nepovratne destrukcije jezera (Magaš, 2013; *Plan upravljanja*, 2022).

Cilj ovog rada je analiza novijih hidroloških promjena Vranskog jezera. Prvo je dan kraći prikaz geoloških, geomorfoloških, pedoloških, klimatoloških, biogeografskih te hidroloških obilježja Vranskog jezera, uz prikaz antropogenih utjecaja i pritisaka na prostor, s ciljem prikaza trenutnog stanja jezera iz raznih sfera. Naposljetku će se analizirati pokazatelji vodostaja, saliniteta, električne vodljivosti, srednje mjesečne količine padalina te srednje mjesečne temperature zraka kako bi se utvrdili noviji trendovi u hidrologiji jezera s ciljem pronalaska mogućih rješenja za sve izraženije promjene i salinizacije jezera.

2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA O VRANSKOM JEZERU U DALMACIJI

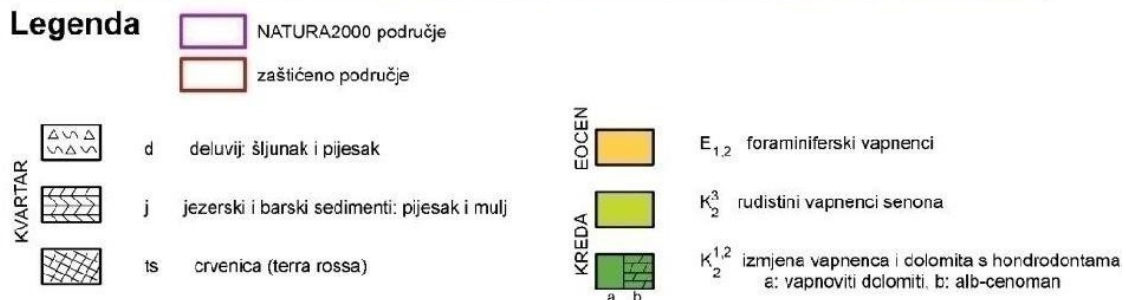
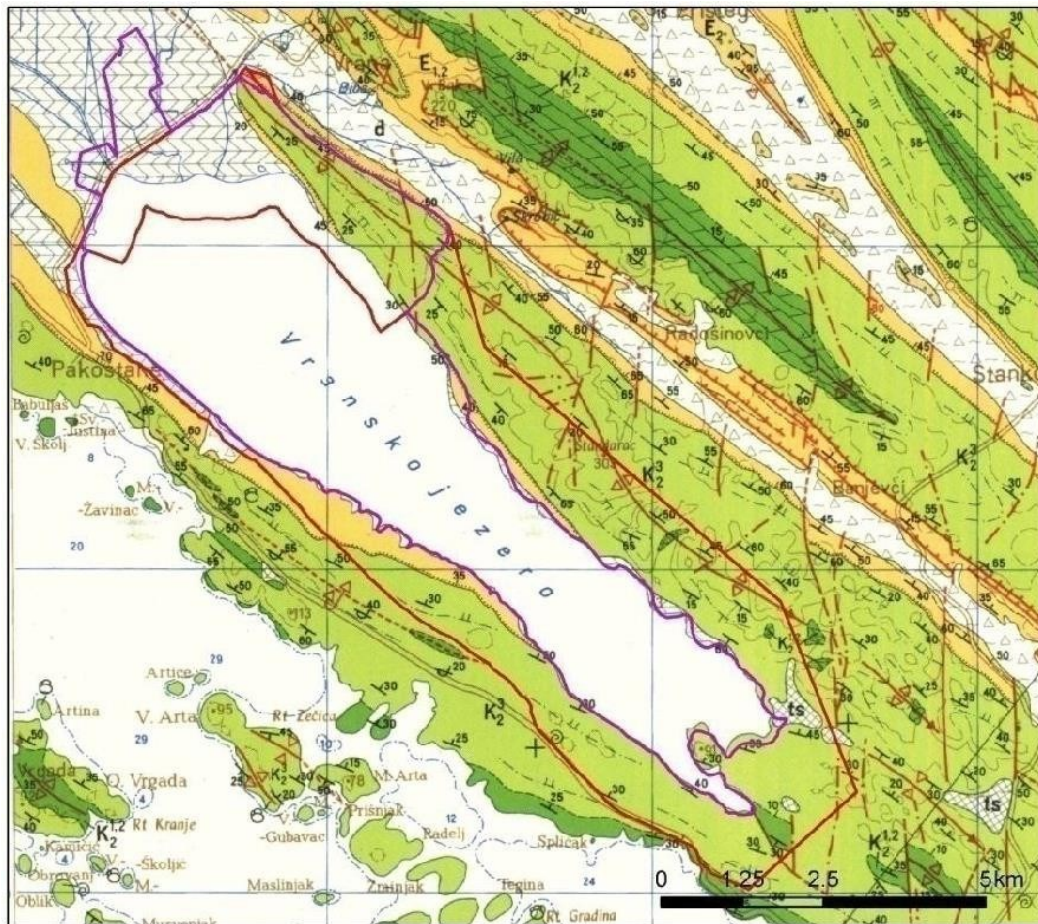
Uvjetovano činjenicom da je područje Vranskog jezera zaštićeno kao park prirode, Javna ustanova „Park prirode Vransko jezero“ (kraće: JUPPVJ) obavlja dugogodišnja praćenja i istraživanja na području jezera, samostalno ili u suradnji s Hrvatskim vodama (*Plan upravljanja*, 2022), te je samo jezero (i okolne pojave i kompleksnosti) česta tema mnogobrojnih diplomskih i doktorskih radova, uz veliki broj znanstvenih članaka i radova o Vranskom jezeru iz raznih sfera. Definiirajući prvenstveno biološku važnost i specifičnost Vranskog jezera, veliki broj radova se bavi biološkim analizama jezera, npr. Beran i dr. (2013), Mustafić i dr. (2017), gdje se u kontekstu ovog rada od velike važnosti ističu radovi koji definiraju međuovisnosti flore i faune i saliniteta Vranskog jezera ili korištenje biljnih i životinjskih vrsta kao bioindikatora za promjene u kakvoći i salinitetu jezera, poput Žganec (2017).

U hidrološkom smislu se najviše ističe doktorski rad Josipa Rubinića (2014) te ostala mnogobrojna hidrološka istraživanja Vranskog jezera pod njegovim autorstvom, poput Rubinić i Šuljić (2010), Rubinić i dr. (2010), Rubinić i Katalinić (2014), koncentrirajući se na analize režima i trendova salinizacije Vranskog jezera s velikim naglaskom na sve aktualnije negativne posljedice pojava poput klimatskih promjena ili antropogenih pritisaka. Javno dostupna istraživanja koja se bave novijim hidrološkim promjenama Vranskog jezera u Dalmaciji su rijetka, stoga je jedan od dodatnih ranije definiranih ciljeva ovog rada osuvremenjivanje hidroloških spoznaja o Vranskom jezeru u Dalmaciji i prikaz recentnog hidrološkog stanja jezera.

3. OSNOVNE ZNAČAJKE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI

3.1. GEOLOŠKE ZNAČAJKE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI

Pri definiranju geoloških značajki šireg prostora oko Vranskog jezera te nastanka samog jezera, iznimno važno je definirati prisustvo krškog reljefa, odnosno veliki postotak izrazito okršenih krednih (rudistnih) i eocenskih (foraminiferskih) vapnenaca, te krednih dolomita. Međutim, uzimajući u obzir da su Ravni kotari jedno od najznačajnijih flišnih područja Hrvatske (Magaš, 2013), u području oko Vranskog jezera se nalaze značajne količine eocenskog fliša (koji transgresivno slijedi rudistne vapnenice te foraminiferske vapnenice), gdje u veliku ruku prevladava lapor (Slika 1). Ravne kotare karakterizira dinaridski smjer pružanja (SZ-JI) tektonskih struktura, uglavnom bora, zbog čega se ovo područje geološki naziva ravnokotarsko borano područje. U jezgrama antiklinala bora se primarno nalaze vapnenci i dolomiti, dok se u jezgrama sinklinala primarno nalazi fliš s akumulacijom kao dominirajućim procesom, što ukazuje na prisustvo tzv. normalnog reljefa (Faričić i Marelić, 2014). Međutim, uvjetovano relativno visokim stupnjem tektonske destrukcije prostora Ravnih kotara (zbog izražene subdukcije jadranske mikroploče pod euroazijsku), u širem području je moguće pronaći primjere inverznog reljefa, odnosno prisustvo fliša na ravnokotarskim uzvisinama tj. jezgrama antiklinala te vapnenca i dolomita u udolinama, odnosno u jezgrama sinklinala, uz veliko prisustvo reversnih rasjeda. Fliš se taložio kretanjem pijeska i mulja niz padine korita prema dnu (tj. prema jezgrama sinklinala) gdje se danas mogu naći izmjene ranije spomenutog lapora, laporovitih vapnenaca, vapnenačnih lapora i pješčenjaka, stoga se, uvjetovano nepropusnošću fliša, u jezgri vranske flišne sinklinala (koja je dio većeg sinklinorija) nalaze kvartarne naslage iznad fliša i foraminiferskih vapnenaca, prvenstveno debeli slojevi jezersko-barskih pijesaka, muljeva i gline te proluvijalno-deluvijalnih pijesaka i šljunaka (Fritz, 1984; Velić i Velić, 2017; Ilijanić i dr., 2018).



Sl. 1. Geološka karta područja Vranskog jezera

Izvor: *Plan upravljanja*, 2010

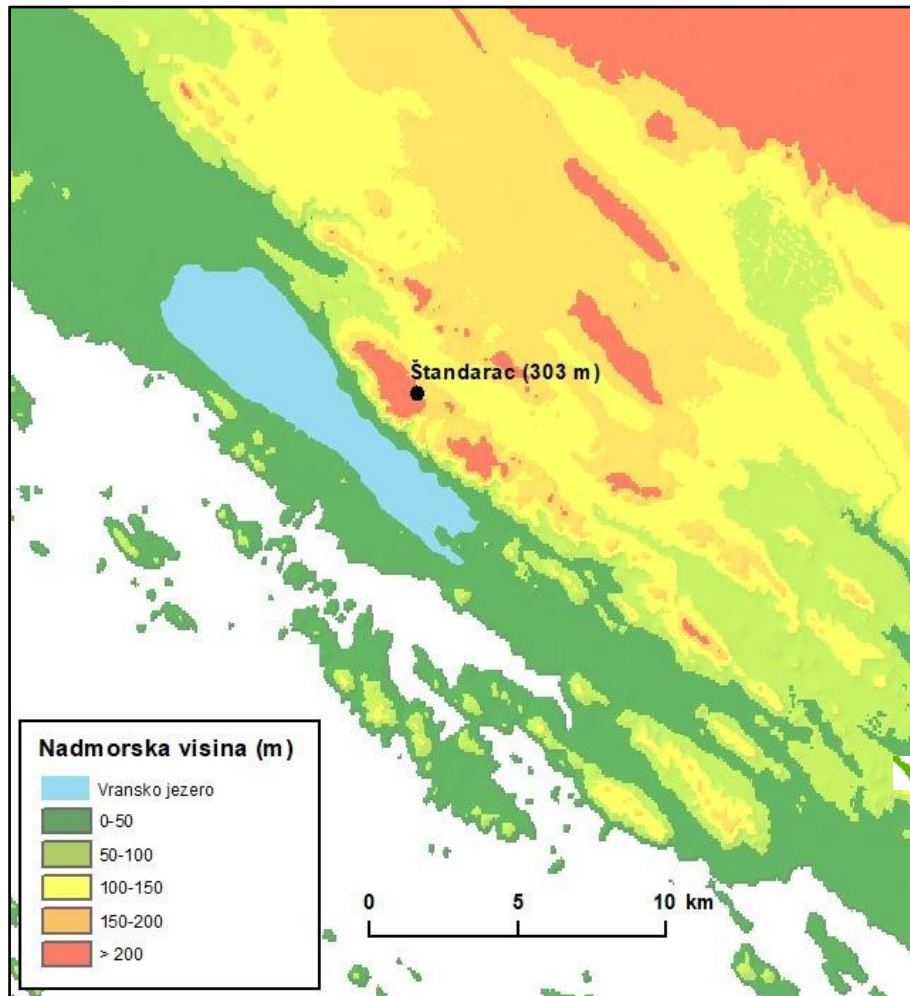
Međusobna izmjena i odnos rudistnih i foraminiferskih vapnenaca i fliša je u hidrogeološkom smislu iznimno važna za ljudsku uporabu, gdje kontaktna mjesta propusnijeg krša i nepropusnijeg fliša potiču stvaranje izvora važnih za vodoopskrbu lokalnog stanovništva, no ti izvori ljeti nerijetko znaju biti zaslanjeni, odnosno boćati, što je problematično uzme li se u obzir manjak alternativnih izvora vode na ovom području (Bonacci, 2014; Terzić i dr., 2017). Izvori i ponori su također važni i za jezero, gdje je takva vrsta prihranjivanja jezera vodom značajna, nakon prihranjivanja vode iz slijeva Vranskog jezera. Stijene u području Vranskog jezera prema svojstvu vodopropusnosti se mogu podijeliti na: propusne (vapnenac), djelomično nepropusne (glinoviti foraminiferski vapnenici i pješčenjaci koji sastavljaju eocenski fliš),

djelomično propusne (pločasti laporoviti vapnenci s foraminiferama te lokalno razlomljeni pločasti vapnenci), nepropusne (naslage fliša) te stijene naizmjeničnih svojstava (klastične naslage). Uvjetovano šarolikom kombinacijom nepropusnijih i propusnijih stijena, područje Vranskog jezera karakteriziraju kompleksni podzemni hidrogeološki odnos barijera i tokova, koji je u kontekstu analize recentnijih hidroloških promjena u jezeru iznimno važan te predstavlja potrebu za detaljnije hidrogeološke analize kako bi se što temeljitije uočile uzročno-posljedične veze u kršu, moguća mjesta ekstremnije intruzije slane morske vode ili područja najpodložnija onečišćenju (Fritz, 1984; Velić i Velić, 2017; Ilijanić i dr., 2018).

U pleistocenskom periodu Vransko jezero nije postojalo, s prvenstvenim prevladavanjem fluvijalnog okoliša i značajnih istjecanja vode u more kroz krški greben što je sprječavalo nastanak dugoročnije akumulacije vode (ne uzimajući u obzir nastanak povremenih bara ili lokava) na ovom području. Istjecanje vode u more se događa i danas, no zbog iznimno niske tadašnje razine mora (oko 65 metara niže nego danas), nije bilo moguće stvaranje jezera. Iako se morska razina početkom holocena dizala uvjetovano naglim otapanjem ledenjaka, svejedno značajnija akumulacija vode nije mogla nastati, sve dok se morska razina još više nije uzdigla. S povećanom količinom vode se ona sporije odvodila niz ponore te su se počeli razvijati močvarni uvjeti i polako se počela puniti vranska sinklinala. Veća količina vode je usporavala istjecanje vode u Pirovački zaljev te omogućila značajniju karbonatnu sedimentaciju i finalno, stvaranje Vranskog jezera. Analizom sedimenata u Pirovačkom zaljevu, sa starosti od oko 11 500 godina su definirani ostatci slatkovodne ostrakodne faune, što služi kao temeljit dokaz za postojanje jezera u tom periodu (Hajek-Tadesse i dr., 2017). Kasnija transformacija jezera u jezero s lagano boćatom vodom te kombinacijom slatkovodne i marinske faune obilježava dodatno povišenje razine mora, koja je prije 5000 godina bila 5 metara ispod današnje razine, no zbog niže razine tadašnjeg jezera je velika količina morske vode istjecala u jezero, stoga taj period karakterizira iznimno velik utjecaj mora na jezero. Od prije 3800 godina do danas postupnim taloženjem kvartarnih sedimenata i povećanjem razine vode u jezeru nastaju uvjeti kakvi prevladavaju i danas, s karakterističnim međuodnosom između jezera i mora te trajnim postojanjem Vranskog jezera. Talozenje kvartarnih sedimenata će se nastaviti i u budućnosti, sve dok djeluje transgresija mora (Fritz, 1984; Velić i Velić, 2017; Ilijanić i dr., 2018).

3.2. GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI

Vransko jezero se nalazi u najnižem području Ravnih kotara, u plitkoj kriptodepresiji unutar ranije definirane vranske sinklinale (vranskog krškog polja), koje je omeđeno s dva grebena, odnosno antiklinalama. Jugozapadni greben je spomenuti niski krški greben putem kojeg se odvija interakcija između morske vode i jezera, dok je sjeveroistočni greben viši te se sastoji od nekoliko uzvisina, od kojih jedna sadrži najviši vrh Ravnih kotara, Štandarac, koji je visok 303 metra. Sjeveroistočni greben karakteriziraju veća vertikalna raščlanjenost i veći nagibi s prisustvom jaruga i suhih dolina, na čijem dnu i kontaktu s jezerom je moguće pronaći proluvijalne lepeze na kojima se nalaze poljoprivredne površine, nastale akumulacijom materijala na dnu jaruga. U ovom području prevladavaju procesi denudacije, jaruženja i spiranja, uz pokoji pojavu procesa urušavanja na najstrmijim padinama (Buzjak i dr., 2018). Međutim, generalno cjelokupno područje je okarakterizirano zaravnjenošću, niskom vertikalnom raščlanjenošću i blagom nagnutošću te izmjenom viših vapnenačkih bila i flišnih udolina (Slika 2). Zaravnjenost prostora se očituje na sjeverozapadu jezera prisustvom Vranskog polja, koje je prije hidromelioracijskih zahvata 1770. godine (primarno iskopavanjem kanala Prosike) bilo dio jezera te značajno močvarno područje, gdje je u kontaktu sa sadašnjim jezerom moguće uočiti nisku obalu s tršćakom. Ostale jezerske obale su također prvenstveno niske i pristupačne te stjenovite i šljunkovite, s velikim udjelom uvala. Na jugozapadu jezera se nalaze blago više obale, nastale abrazijskim djelovanjem. Uvjetovano okršenošću terena, na području Vranskog jezera je moguće pronaći mnoge primjere tipičnog krškog reljefa, gdje glavni i najveći primjer čini potopljeno krško polje unutar kojeg se Vransko jezero nalazi (Faričić i Marelić, 2014). Ponikve se također mogu naći, od kojih je najznačajnija ponikva unutar koje se nalazi biogeografski fascinantna lokva Benča. Zabilježeno je i prisustvo kamenica i škrapa. Od speleoloških objekata se ističe Bandenova špilja. Uz krški reljef, područje Vranskog jezera karakterizira prisustvo fluviokrškog, padinskog, fluvijalnog i lakustrijskog reljefa (*Plan upravljanja*, 2010; *Plan upravljanja*, 2022).

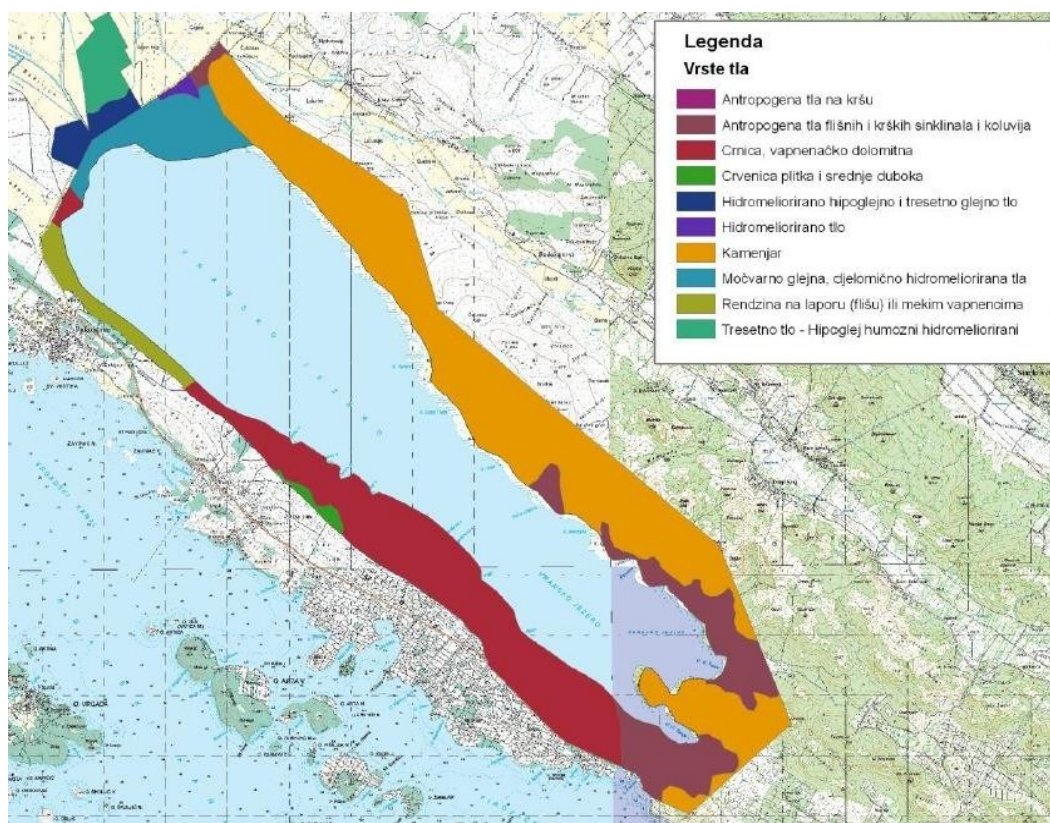


Sl. 2. Hipsometrijska karta područja Vranskog jezera

Izvor: DGU, 2016; SRTM, 2018

3.3. PEDOLOŠKE ZNAČAJKE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI

Oko Vranskog jezera je moguće definirati četiri osnovne grupe tala (Slika 3). Kamenjar, uz vapnenačko-dolomitnu crnicu i crvenicu predstavlja najzastupljeniju grupu, tipičnu za kršku litološku podlogu uz veliku propusnost te najmanje mogućnosti za razvoj poljoprivrede uz prevladavanje podzemnog otjecanja. Rendzina i antropogena tla se nalaze uz obalu jezera, koja su umjereno vodopropusna i dugo zadržavaju kemijske spojeve anorganskih tvari, pa se naglašava štetni utjecaj intenziviranja poljoprivrede na ovim tlima. U močvarnom sjevernom djelu jezera je moguće pronaći močvarna aluvijalno karbonatna i aluvijalno livadna tla na kojima se u skorije vrijeme intenzivira poljoprivreda. Uvjetovano time, podložna su onečišćenju i ostavljanju negativnog utjecaja na jezero, što se i aktualizira. Četvrta grupa se sastoji od tresetno hidromelioriranih i tresetno humusno hidromelioriranih tala koja su slabo propusna s velikim kapacitetom upijanja, stoga ova tla smanjuju zagađenje jezera i podzemnih voda (*Plan upravljanja*, 2010; Buzjak i dr., 2018; *Plan upravljanja*, 2022).



Sl. 3. Pedološka karta područja Vranskog jezera

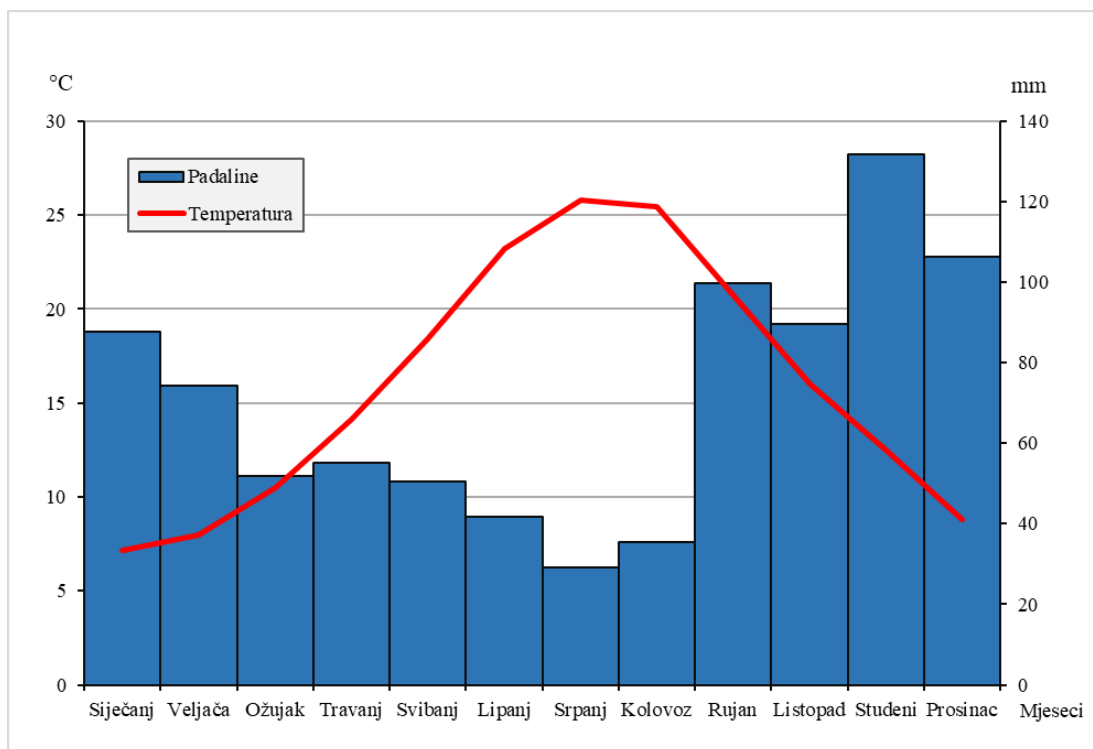
Izvor: *Plan upravljanja*, 2010

3.4. KLIMATOLOŠKE ZNAČAJKE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI

Područje gdje se nalazi Vransko jezero karakterizira klimatski tip *Csa* prema Köppenovoj klimatskoj klasifikaciji, odnosno sredozemna klima sa suhim vrućim ljetom. Ova klima se također naziva i klimom masline, uvjetovano iznimnom pogodnošću ove klime za uzgoj maslina. Vruća ljeta te sušni ljetni period su glavna obilježja ove klime, s pokojim dolaskom hladnog vala zraka, gdje se u rijetkim slučajevima Vransko jezero zaledi. Raspodjela padalina je iznimno sezonska, što djeluje negativno na jezero s obzirom da je glavni način prihrane jezera vodom putem tokova koji ovise o padalinama, koje velikom većinom padaju tijekom hladnog dijela godine. Tijekom ljeta je nerijetka pojava suše i nižih vodostaja jezera, te ako se uzme u obzir ranije definirana geološka i geomorfološka krška podloga područja, u tim periodima se javlja intruzija slane vode u jezero (Rubinić i dr., 2010). Posljedično, s izraženijim i dugotrajnijim sušama te značajnijim varijacijama klimatskih elemenata postoji mogućnost sve češćih pojava ekstremne salinizacije jezera te potencijalnih dugotrajnijih negativnih posljedica koje mogu nepovratno destabilizirati hidrološku ravnotežu jezera te svu floru i faunu koja naziva jezero svojim domom (Šegota i Filipčić, 1996; *Plan upravljanja*, 2010; *Plan upravljanja*, 2022).

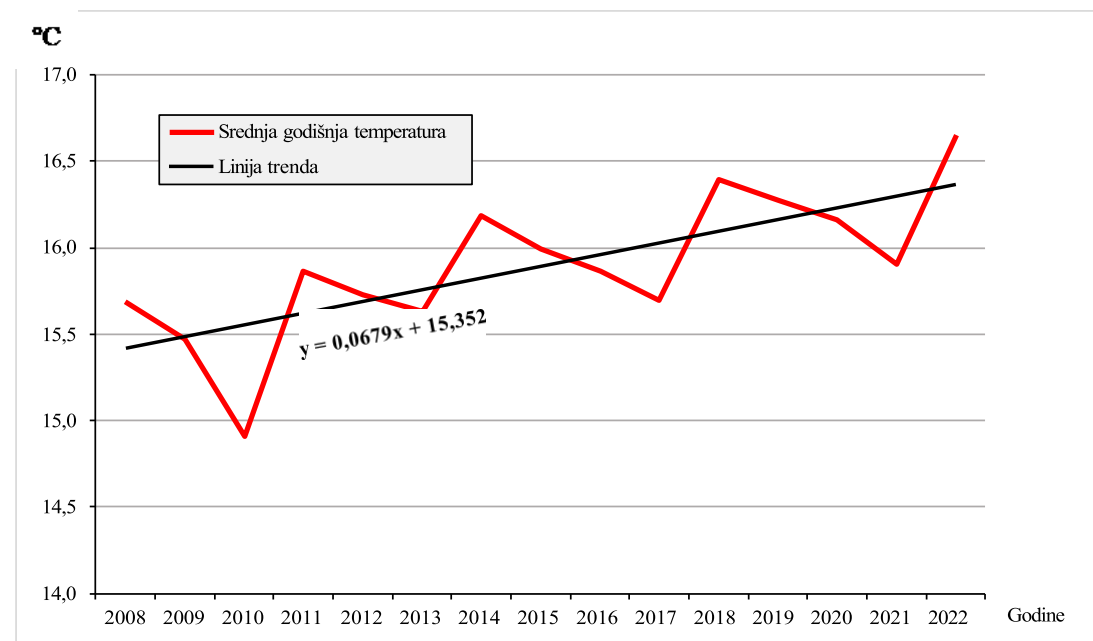
Sredozemno područje je iznimno podložno recentnim klimatskim promjenama, s projekcijama koje definiraju još ekstremnije promjene u klimi u usporedbi s ostalim dijelovima svijeta, prvenstveno u povećanju srednje temperature zraka te smanjenju količine padalina (Kazanci i dr., 2008). Na području Vranskog jezera je moguće utvrditi i potvrditi ranije spomenute trendove povećanja temperature i smanjenja količine padalina (*Plan upravljanja*, 2022). Najaktualnija meteorološka stanica za područje Vranskog jezera je stanica Biograd na Moru, koja u periodu 1961.-2020. bilježi srednju godišnju količinu padalina od 877,6 mm, s izrazito definiranom varijabilnošću, koja je karakteristika klime područja no nepogodna za režim jezera. Padalinski maksimum se obično javlja u listopadu ili u studenome, gdje Genovske i Atlantske ciklone imaju glavni utjecaj. Padalinski minimum se javlja ljeti, uvjetovano pojavom Azorske anticiklone. Pojava snijega je rijetka te se u prosjeku snijeg javlja svake dvije godine. Srednja godišnja temperatura zraka u navedenom periodu iznosi 14,9 °C. Najviše temperature se javljaju u srpnju, dok se najniže temperature javljaju u siječnju. Tipični vjetrovi za ovo područje su sjeverna/sjeveroistočna velebitska i dinarska bura (koja stvara značajne valove koji djeluju erozijski/blago abrazivno na obalu), te u manjoj mjeri jugoistočno jugo tijekom zime te sjeverozapadni maestral ljeti, no ti vjetrovi su obično slabijeg intenziteta nego, primjerice, u područjima podno Velebita, s rijetkim pojavama olujnih vjetrova (*Plan upravljanja*, 2010; *Plan upravljanja*, 2022).

U periodu od 1961. do 2020. godine je zabilježen zabrinjavajući trend zagrijavanja od 0,034 °C/god te smanjenje padalina od -2,9 mm/god, što potvrđuje ranije navedene klimatske trendove u Sredozemlju (*Plan upravljanja*, 2022). Kako bi se što zornije prikazale recentne klimatske promjene područja Vranskog jezera, u narednom dijelu je ukratko analizirano posljednje petnaestogodišnje razdoblje, odnosno od 2008. do 2022. godine, te prikazani trendovi u količini padalina i promjeni temperature.



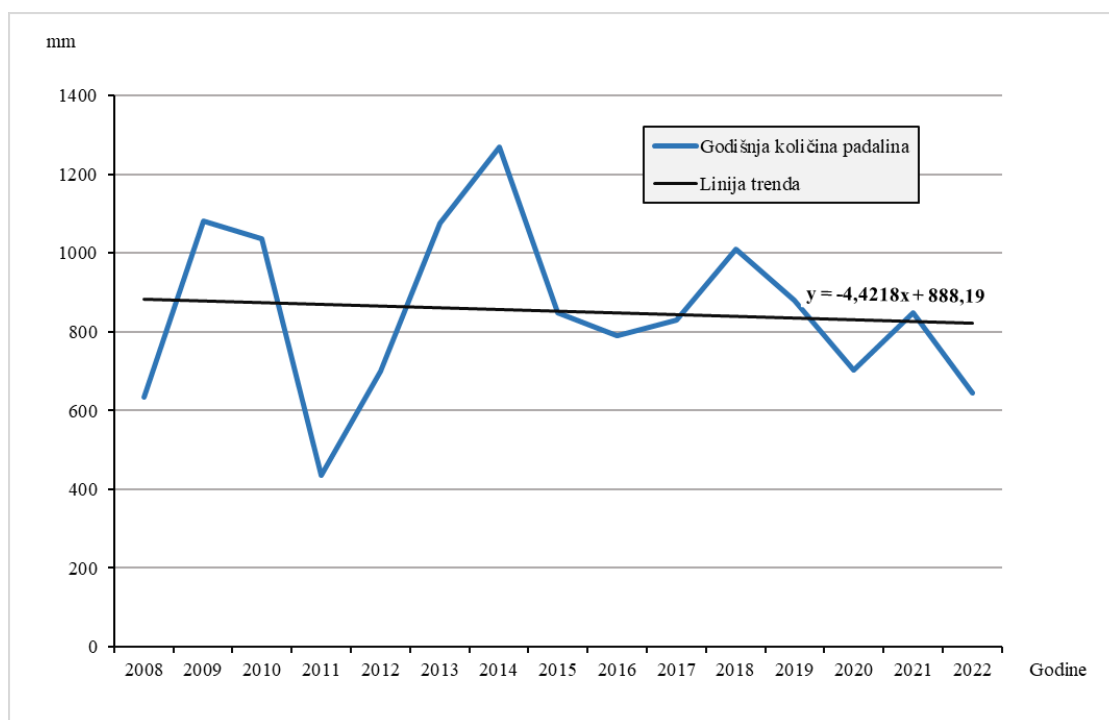
Sl. 4. Srednje mjesečne temperature zraka i količine padalina za meteorološku stanicu Biograd na Moru za period od 2008. do 2022. godine

Izvor: DHMZ, 2023a



Sl. 5. Promjena srednje godišnje temperature zraka na meteorološkoj stanici Biograd na Moru u periodu od 2008. do 2022. godine

Izvor: DHMZ, 2023a



Sl. 6. Godišnja količina padalina na meteorološkoj stanici Biograd na Moru u periodu od 2008. do 2022. godine
Izvor: DHMZ, 2023a

Klimadijagram (Slika 4) potvrđuje ranije iznesene podatke o pojavi najnižih temperatura u siječnju (prosječna temperatura iznosi 7,2 °C) i najviših u srpnju (prosječna temperatura iznosi 25,8 °C). Prosječna temperatura tijekom cijelog perioda iznosi 15,9 °C. U studenome je moguće uočiti maksimum padalina od 131,7 mm, dok je minimum u srpnju od 29,1 mm, što također ide uz ranije iznesene klimatske značajke da je jesenski period najkišovitiji. Prosječna količina padalina u navedenom razdoblju iznosi 852,8 mm (DHMZ, 2023a). Moguće je uočiti najviše temperature u periodu najmanjih količina padalina te pojavu najnižih temperatura u periodu najvećih količina padalina, što je tipična karakteristika maritimnog klimatskog režima. Definirani trend povećanja srednje godišnje temperature se može zorno vidjeti u Slici 5 s prikazom tipičnih klimatskih međugodišnjih oscilacija, no očitog uzlaznog trenda. U Slici 6 je moguće vidjeti blagi negativni trend smanjenja godišnje količine padalina, dodatno dokazujući ranije definirane klimatske karakteristike prostora oko jezera. U analiziranom petnaestogodišnjem periodu je moguće uočiti dvije izrazito sušne godine, 2008. i 2012. godinu. Ovi podatci impliciraju zabrinjavajuće potencijalne buduće scenarije jezera, s obzirom da se područje oko jezera sve više zagrijava, a količina padalina opada, stavljajući hidrologiju jezera, kakvoću jezerske vode, floru i faunu jezera te razne druge aspekte pod rizik. Projekcije za buduće klimatsko stanje na području jezera koristeći razne modele projiciraju nastavak i pogoršanje ranije spomenutih trendova (Rubinić i Katalinić, 2014).

3.5. BIOGEOGRAFSKE ZNAČAJKE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI

Jezero i područje uz jezero predstavljaju jedno od najznačajnijih močvarnih staništa u Hrvatskoj, koje karakterizira iznimna bioraznolikost u neposrednoj blizini mora i fitogeografska graničnost između eumediteranske zone izvornih, a danas degradiranih zajednica hrasta crnike i submediteranske zone zajednica hrasta medunca i bijelog graba (Blaće, 2019), stvarajući jedinstveno područje s izuzetnom raznolikošću staništa. Glavne karakteristike tih jezerskih staništa su blaga zaslanjenost vode uvjetovana povezanošću jezera s morem, gdje je voda blago boćata, te ujednačenost temperature i koncentracije hranjivih tvari u vodi, što je rezultat plitkoće jezera i dubokog prodiranja Sunčeve energije te miješanja vode od strane valova i vjetrova. Floristička raznolikost se ističe, gdje je jezero dom za više od 700 zabilježenih vrsta biljaka, od kojih su mnoge ugrožene. Veliki postotak svih ugroženih biljnih vrsta čine vrste vezane uz vlažna staništa (močvare), prvenstveno zbog ugroženosti i promjena u samim vodenim staništima, gdje su te vrste iznimno kvalitetni pokazatelji stupnja onečišćenja, odnosno eutrofikacije jezera. Njihova važnost se također ističe u njihovoj mogućnosti apsorbiranja ugljičnog dioksida iz zraka, što ih čini kvalitetnim spremištima ugljikovog dioksida putem čega ublažavaju klimatske promjene. Jedna od glavnih vodenih biljnih vrsta su parožine (*Characeae*), koje su iznimno kvalitetni bioindikator zbog činjenice da reagiraju na promjene u duljem vremenskom periodu. Uvjetovano kontrolom poplavlivanja i pojačanim odvodnjavanjem, količina močvarnih vrsta se smanjuje te su ugrožena, poput običnog ljepuška (*Hydrocotyle vulgaris*) (*Plan upravljanja*, 2010; *Plan upravljanja*, 2022).

Stanišni tip od velike važnosti koji je povezan uz močvarne vrste je tršćak. Rijetkost tršćaka i funkcija kao hranilište, noćilište ili gnjezdilište im daje iznimnu biološku važnost, no također su izuzetno važni zbog mogućnosti upijanja hranjivih tvari i filtriranja vode, učvršćivanja tla i zadržavanja vode, gdje sprječavaju ulazak štetnih tvari u jezero (ili suprotno, rasterećuju poljoprivredne površine od viška vode), smanjuju eroziju i ublažavaju posljedice suša ljeti ili poplava zimi. Glavni rizik koji ugrožava tršćak je, uz pojavu sve nižih vodostaja, pojava požara. Ovdje se uočava direktna povezanost između hidrologije jezera i flore/faune. Ako se hidrološki jezero destabilizira ili smanji površina poplavnih livada koje su potrebne za mriješćenje riba i gniježđenje ptica, tršćak će se degradirati pa će se životinjskim vrstama koje koriste tršćak ugroziti opstanak. Ptičje vrste poput malog vranca (*Microcarbo pygmaeus*), čaplje dangube (*Ardea purpurea*) ili sive štijoke (*Zapornia parva*) direktno ovise o tršćacima te su iznimno osjetljive na pad razine vode jer se gnijezde nad plitkom vodom (*Plan upravljanja*, 2010; *Plan upravljanja*, 2022).

Za ihtiofaunu nema zabilježenih zapisa prije probijanja kanala Prosike koji bi definirali brojnost i raznolikost tadašnjih vrsta unutar Vranskog jezera. Dio sadašnje jezerske ihtiofaune je dospio u jezero iz mora nakon prokopavanja kanala te koriste jezero povremeno. Značajna količina uvezene slatkovodne ihtiofaune se također nalazi u jezeru (poput šarana, soma ili štuke), koja je uvezena s ciljem uzgoja, borbe protiv malarije ili slučajno. Maleni dio ihtiofaune čine autohtone slatkovodne vrste. Po navedenom, ihtiofauna je mješovita i nestabilna, gdje povremena ekstremna zaslanjivanja imaju kobne utjecaje na riblje vrste i nose dugoročne negativne posljedice. Utjecaj salinizacije i onečišćenja je već vidljiv na vrsti *Anisus vorticulus*, koju je sada samo moguće pronaći u lokvi Benča (Crnčan i dr., 2017; Mustafić i dr., 2017).

3.6. HIDROLOŠKE ZNAČAJKE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI

Vransko jezero u Dalmaciji je površinski najveće jezero u Hrvatskoj, gdje se 31,1 km² jezera rasprostire oko 14 km u smjeru SZ-JI. Međutim, jezero je kriptodepresija i relativno plitko, stoga je jako podložno i osjetljivo na vanjske utjecaje i pritiske, zbog čega se voda vrlo brzo ugrije i zahladi. Ove karakteristike su tipične za polimiktična jezera (Riđanović, 1992; Gligora Udovič i dr., 2017). Zbog malene dubine, Sunčeva energija prodire do dna jezera te pogoduje razvoju biljnih organizama. Jezero je stoga osjetljivo na sušne periode gdje koncentracija otopljenih tvari u vodi raste s nižim vodostajima. Samo u najdubljim dijelovima jezera se razgrađuju organske tvari, zbog čega se pospješuju procesi povećavanja koncentracije hranjivih tvari i zatrpavanja jezera. Jezero je klasificirano kao granično između mezotrofnog i oligotrofnog jezera, s generalnim trendom eutrofikacije, posebice na sjevernom dijelu jezera s intenzivnim korištenjem gnojiva i povećanim udjelom nitrata (Tudić, 2017). Režim jezera je nestabilan; razina vode varira oko 250 cm, gdje su maksimumi u vodostaju tijekom zime i proljeća, dok su najniži tijekom ljeta i jeseni. Putem toga, volumen vode u jezeru također varira, gdje srednji volumen iznosi oko 75 milijuna m³. Načini prihranjivanja jezera vodom su kompleksni, gdje je unutar vodne bilance jezera 48% dotoka vode putem površinskih tokova, 35% putem podzemnih tokova (primarno iz izvora na sjeveru i jugoistoku jezera) te 17% putem direktnih oborina na jezero. Jezero prvenstveno gubi vodu procjeđivanjem u podzemlje (34%), evaporacijom (31%), otjecanjem putem kanala Prosike (30%) i korištenjem vode za ljudske potrebe (5%) (*Plan upravljanja*, 2022). Cjelokupni slijev Vranskog jezera površinski iznosi oko 515 km². Uvjetovano činjenicom da Vransko jezero predstavlja najniži dio Ravnih kotara te je u regiji prisutan SZ-JI smjer otjecanja, velika količina voda unutar Ravnih kotara otječe k jezeru, prvenstveno putem tekućica Kotarke, Škorobića te Kličevice, koje ponekad presušuju

ljeti (Faričić i Marelić, 2014). Rijeka Kotarka je pri ulasku u Vransko polje pretvorena u tzv. Glavni kanal, čija je svrha poljoprivredno iskorištavanje odnosno hidromelioracija i napajanje. Potok Škorobić utječe u tzv. Lateralni kanal (*Plan upravljanja*, 2010; Rubinić i Katalinić, 2014; Rubinić i dr., 2017).

Jedna od glavnih hidroloških karakteristika Vranskog jezera je zaslanjenost, gdje je voda unutar jezera blago boćata, s prosječnim zaslanjenjem ispod 1‰. Utvrđeno je da je zaslanjenost jezera prisutna već 4000 godina (uz stalne oscilacije u salinitetu), uvjetovano iznimnom blizinom mora i okršenosti terena gdje morska voda podzemnim hidrogeološkim tokovima (putem vodonosnika) ulazi u jezero (Rubinić i Katalinić, 2014). Glavni skok u salinitetu jezera predstavljaju hidromelioracijski zahvati 1770. godine, odnosno prokopavanje kanala Prosike čime je uspostavljena izravna veza jezero-more. Uz kanal Prosiku i okršeni vapnenački greben, jezero također prima slanu vodu iz ranije spomenute Kotarke koja prima vodu iz ponekad zaslanjenih izvora. Intruzija slane vode u jezero varira tijekom godine te ovisi o vodostajima i klimatološkim uvjetima. Međuodnos između mora i jezera je iznimno osjetljiv, te je već duže razdoblje u dinamičkoj ravnoteži. U periodima viška slatke vode, vodostaj jezera se diže te se jezerska voda razrjeđuje i postupno istiskuje slanu vodu, dok se u periodima s manjkom vode događa suprotno i morska voda ulazi u jezero (*Plan upravljanja*, 2010; Rubinić i Šuljić, 2010; *Plan upravljanja*, 2022).

U ekstremnim uvjetima, kojih je u recentnom periodu sve više, javljaju se razdoblja ekstremnog zaslanjenja jezera koji su praćeni značajnim dugoročnim posljedicama, prvenstveno velikim pomorima ihtiofaune, manjkom adekvatne vode za hidromelioraciju, te poremećajima u flori (npr. makrofita). Ekstremna zaslanjenja se događaju kada vodostaj jezera padne ispod razine mora, što uvjetuje direktno utjecanje mora u jezero te intruziju velike količine slane vode u jezero. Dodatni faktor koji pospješuje jače periode salinizacije je sve jače crpljenje vode iz jezera. Učestalija razdoblja ekstremnog zaslanjenja su rezultati klimatskih promjena (više temperature, manje padalina, manje zalihe podzemne vode, transgresija mora i sl.) i antropogenih pritisaka, prvenstveno kroz izgradnju kanala Prosika te iskorištavanje jezerske vode za hidromelioraciju i vodoopskrbu (Rubinić i Katalinić, 2014). Uvjetovano klimatskim promjenama, prisutan je generalno veći antropogeni pritisak na jezero. Godine 2008. i 2012. su jedne od ekstremnijih u kontekstu hidrologije jezera i zaslanjenja, gdje je zbog niskih vodostaja i suše morska voda direktno ulazila u jezero, zbog čega je salinitet Vranskog jezera skočio na 11‰ u 2008. godini te na 17‰ u 2012. godini. Uvjetovano ranije definiranim klimatskim promjenama na području Vranskog jezera te jačim antropogenim pritiscima prvenstveno u pogledu poljoprivrede, očekuje se da će se ekstremni sušni periodi praćeni jačim

epizodama zaslanjivanja nastaviti i u budućnosti te će biti sve učestaliji i jači, gdje se javlja značajan rizik smanjenja bioraznolikosti i eutrofikacije jezera (*Plan upravljanja*, 2010; Katalinić Bach i dr., 2017; *Plan upravljanja*, 2022).

4. ANTROPOGENI UTJECAJI I PRITISCI NA VRANSKO JEZERO U DALMACIJI – POVIJESNI PREGLED I DANAŠNJE STANJE

Antropogeni utjecaji na područje oko Vranskog jezera sežu još od prapovijesti, gdje je arheološki dokazano da se na tom području obitavalo još prije 4-5 tisuća godina. Tijekom rimskog perioda počinje blago modificiranje krajolika, s izgradnjom vila (*ville rusticae*) te raznih mlinova i mlinica. Najznačajnije naslijeđe iz tog doba predstavlja rimski akvedukt u blizini Vranskog jezera koji je opskrbljivao vodom grad Zadar. Tijekom vladavine hrvatskih knezova u srednjem vijeku nastaje naselje Vrana, po kojem je Vransko jezero dobilo ime, koje je u tom periodu predstavljalo značajno crkveno i svjetovno središte. U srednjem vijeku se javlja izgradnja značajnijih vodenica i mlinica, primjerice na tekućici Vrbici. Godine 1409. područje Vranskog jezera pada pod Mletačku vlast, no nakon malo više od sto godina vladavine pada u turske ruke. U turskom periodu se mlinice ruše, no nakon njihovog protjerivanja se spomenute mlinice restauriraju. Glavnom turskom ostavštinom u blizini jezera se smatra Maškovića Han, koji se opskrbljivao pitkom vodom iz izvora Pećine. Važno je naglasiti utjecaj mletačko-turskih ratova na okoliš, s brojnim podmetnutim požarima s obje strane, što je dovelo do izrazite obešumljenosti prostora (Blaće, 2019). Šume su se općenito koristile vrlo neodrživo (za brodogradnju, ispašu i sl.), što je jedan od razloga obešumljenosti područja. Prisustvo ekstenzivnog stočarstva tijekom povijesti je također pospješilo degradaciju vegetacijskog pokrova (Hlanuda-Vegar, 2007; Čuže Denona, 2017; *Plan upravljanja*, 2022).

Nakon turske vlasti se područje Vranskog jezera vraća pod mletačku vlast, te taj period predstavlja prve značajnije antropološke utjecaje na samo jezero putem prvih hidromelioracijskih zahvata. Vransko jezero je u tom razdoblju bilo znatno veće, te je pokrivalo veliki dio Vranskog polja. Međutim, zbog pojave malarije, potrebe za povećanjem obradive površine za lokalno stanovništvo i prisustvom štetnih poplava koje su otežavale promet i komunikaciju među ravnokotarskim selima, druga polovina 18. stoljeća je obilježena opsežnim hidromelioracijskim zahvatima, od kojih najznačajniji predstavlja isušivanje Vranskog polja i iskopavanje kanala Prosike, nakon kojih je vodostaj Vranskog jezera pao za 300 cm (Faričić i Marelić, 2014; Rubinić i Katalinić, 2014). Miniranja tijekom izgradnje kanala Prosike su

deformirala pukotine u podzemlju, dodatno komplicirajući hidrogeološke tokove oko kanala. Kanal je tijekom austrijske vladavine produbljen te je 1948. godine poprimio svoj sadašnji oblik. Krajem 20. stoljeća je prepoznata jedinstvenost i ugroženost Vranskog jezera i okolne flore i faune, stoga je 1983. sjeverni dio jezera proglašen Posebnim ornitološkim rezervatom, a 1999. godine je cijelo područje jezera zaštićeno kao Park prirode. Naposljetku je jezero stavljeno pod Ramsarsku povelju i pod ekološku mrežu NATURA 2000 (Buzjak i dr., 2018). Godine 2009. je, nakon ranije spomenute ekstremne intruzije slane vode, kao privremeno rješenje izgrađen betonski prag na dnu kanala Prosike. Kao konkretno dugoročno rješenje se uspostavlja izgradnja zapornice na kanalu, koja bi oponašala prirodni hidrološki ciklus Vranskog jezera uz iznimno smanjeni rizik ponavljanja ekstremnih intruzija slane vode i poništila antropološke utjecaje na jezero zadnjih 200 godina (Hlanuda-Vegar, 2007; Čuže Denona, 2017; Rubinić i dr., 2017).

Ravni kotari su jedno od najznačajnijih poljoprivrednih područja Primorske Hrvatske, posebice područje na sjeveru Vranskog jezera, uvjetovano prisustvom fliša u udolinama i akumulacijom kvalitetnog pokrova za poljoprivredu (Faričić i Marelić, 2014; Magaš, 2013). Poljoprivreda predstavlja djelatnost s najizraženijim pozitivnim i negativnim te direktnim i indirektnim učincima na ovaj prostor (Katičin i dr., 2017; *Plan upravljanja*, 2022). Nakon originalnih melioracija na sjeveru jezera, u 20. stoljeću dolazi do intenziviranja poljoprivrede i radova na tom području, putem izgradnje obrambenih nasipa i sustava za navodnjavanje. Međutim, opsežni antropogeni utjecaji i pritisci poljoprivrede istiskuju originalno močvarno područje, kontaminiraju podzemne vode, i pospješuju eutrofikaciju jezera (Miko i dr., 2017). Područje pod najvećim utjecajem poljoprivrede, tj. sjeverna i sjeveroistočna strana jezera, predstavlja najveći stupanj antropogenog utjecaja i izmjene na prostor (Buzjak i dr., 2018). Novijim planiranim sustavima navodnjavanja su potrebne velike količine vode iz jezera, što predstavlja još veći pritisak na jezero (Heček i dr., 2017), no zagađivači iz poljoprivrednih površina te divlji deponiji komunalnog otpada i neispravno izgrađene septičke jame predstavljaju i potencijalnu kvalitativnu degradaciju jezera. Noviji pritisak na jezero također predstavlja pojava turizma (Rubinić i Katalinić, 2014; Lončarić i dr., 2015; Čuže Denona, 2017).

5. ANALIZA NOVIJIH HIDROLOŠKIH PROMJENA VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI

U narednom dijelu rada analizirane su novije hidrološke promjene Vranskog jezera u Dalmaciji putem tri glavna pokazatelja: vodostaj jezera, salinitet jezera i električna vodljivost jezera. Naposljetku su tri spomenuta pokazatelja, uz ranije analizirane pokazatelje temperature zraka i količine padalina, stavljena u međudnos kako bi se definirale potencijalne povezanosti i jačine korelacije između pojedinih pokazatelja. Za analizu je uzet petnaestogodišnji period od 2008. do 2022. godine kako bi se što zornije prikazala recentnija stanja i promjene u hidrologiji Vranskog jezera.³ Sva tri pokazatelja su mjerena kod kanala Prosike, gdje je prisutan direktniji utjecaj mora, stoga su analizirane vrijednosti saliniteta i električne vodljivosti značajno veće nego srednje vrijednosti tih pokazatelja na razini cijelog jezera.

5.1. VODOSTAJ

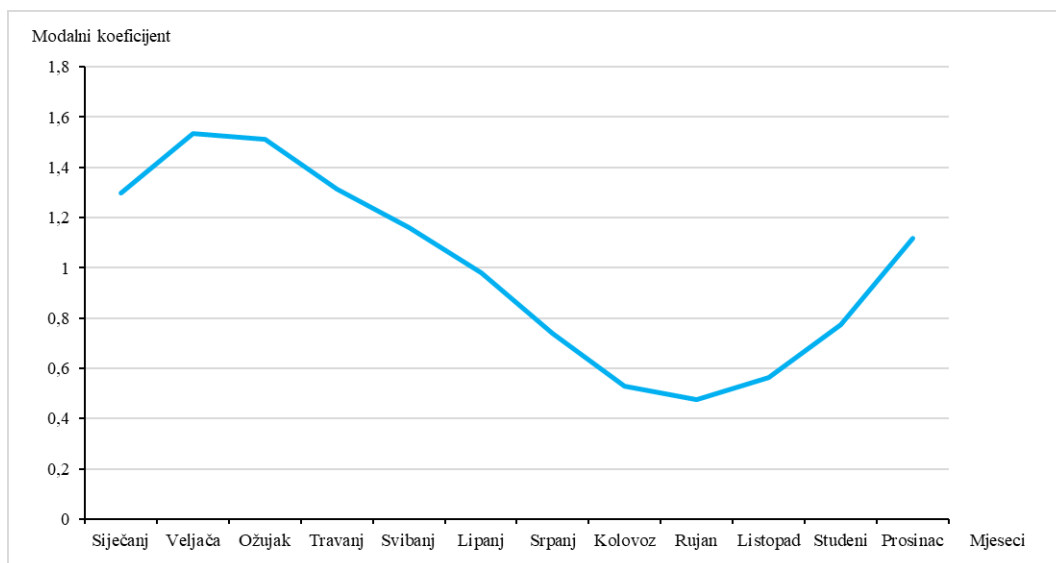
Uzimajući u obzir da je skoro polovica dotoka vode u Vransko jezero putem površinskih tokova, neophodno je sanirati hidrološke mjerne stanice unutar slijeva te omogućiti njihovu ujednačenost. Međutim, velika većina hidroloških mjernih stanica na slijevu Vranskog jezera su zarasle, neujednačene u održavanju mjernih presjeka s mnogim promjenama lokacija stanice, položaja stanice i vrste mjernih uređaja koji ne dozvoljavaju adekvatnu usporedivost i koherentnost za hidrološke analize. Dodatni otežavajući faktor za hidrološke analize je prisustvo krške hidrogeologije (Rubinić i Šuljić, 2010).

³ METODOLOŠKA NAPOMENA: Podatci o klimatskim elementima i vodostajima su preuzeti iz DHMZ (2023a; 2023b), podatci o fizikalnim pokazateljima (salinitet, el. vodljivost) su primarno preuzeti iz JUPPVJ (2023), no zbog nedostataka podataka su ti podatci nadopunjeni i preuzeti iz HV (2023). Pri analizi podataka su prisutni periodi bez izmjerenih podataka, primjerice: za fizikalne podatke nedostaju podatci u periodu od kasne 2016. do rane 2017., za vodostaj nedostaju podatci za cijelu 2017. godinu i ranu 2018. godinu te za period od sredine 2020. do rane 2021. godine. Uz spomenute periode, ponekad se javlja nedostatak podataka u nasumičnim mjesecima unutar uzetog perioda za analizu.



Sl. 7. Objedinjene vrijednosti srednjeg mjesečnog vodostaja Vranskog jezera na hidrološkoj stanici Prosika za period od 2008. do 2022. godine

Izvor: DHMZ, 2023b

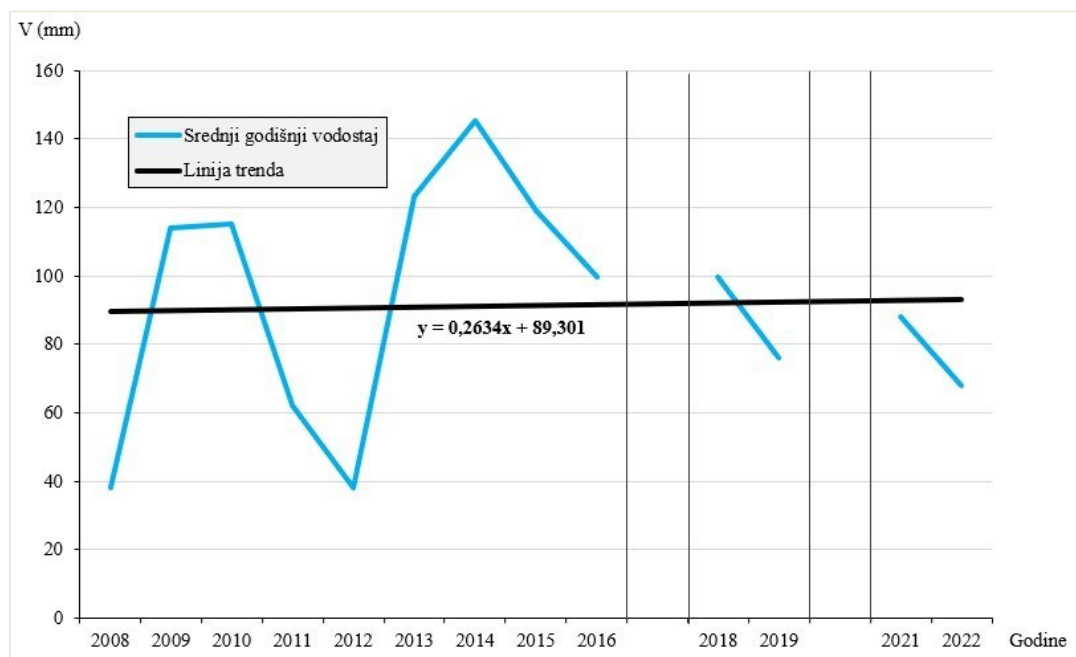


Sl. 8. Srednji mjesečni vodostaj Vranskog jezera na hidrološkoj stanici Prosika za period od 2008. do 2022. godine

Izvor: DHMZ, 2023b

Analizirajući vodostaj Vranskog jezera na hidrološkoj mjerneoj stanici Prosika (Slika 7, Slika 8), moguće je uočiti prisutnost jednog maksimuma i jednog minimuma. Vrijednosti srednjih visokih vodostaja te srednjih niskih vodostaja također vrlo slično prate vrijednosti srednjaka vodostaja uz manjak oscilacija. Akumulacija svih zimskih padalina u slijevu Vranskog jezera doseže svoj vrhunac u veljači te se u tom mjesecu bilježi maksimum vodostaja. Slično tomu, sušniji period godine se u vodostaju jezera tek aktualizira u rujnu, kad se bilježi

minimum vodostaja. Uzme li se u obzir činjenica da je na području Vranskog jezera u prosjeku najkišovitiji mjesec studeni, a najsušniji srpanj, te da je mjesec s najvišim vodostajima veljača, a najnižim rujan, zaključuje se da je jezeru generalno potreban blago duži period da se prihrani vodom, nego da izgubi vodu. Generalno trajanje razdoblja između promjene u količini padalina i reakcije jezera putem vodostaja traje tri mjeseca. Ovo ukazuje na malenu tromost jezera, što predstavlja veliki rizik za jezero tijekom pojave sušnijih razdoblja, gdje je jezeru potrebno malo vremena da reagira na manjak padalina (Rubinić i Šuljić, 2010).



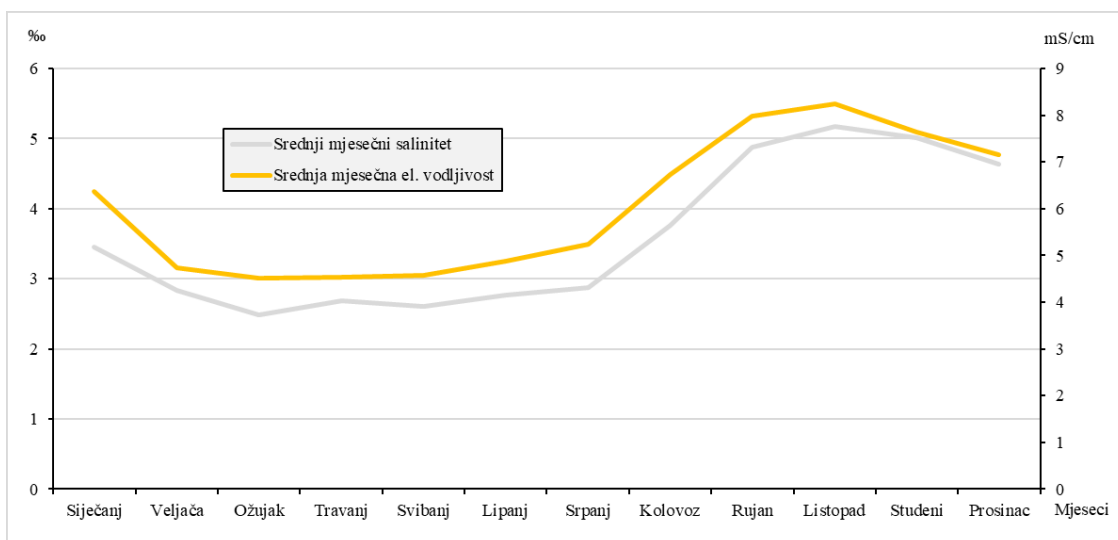
Sl. 9. Promjena srednjeg godišnjeg vodostaja Vranskog jezera na hidrološkoj stanici Prosika u periodu od 2008. do 2022. godine

Izvor: DHMZ, 2023b

Uzimajući u obzir definirani trend opadanja količina padalina na području Vranskog jezera, učestalija sušna razdoblja na tom području te manjak značajnijih vodnih rezervi jezera, logičan zaključak koji proizlazi iz tih spoznaja je da bi se u analiziranom periodu trebao pojaviti negativan trend u srednjim godišnjim vodostajima jezera. Međutim, analizirajući Sliku 9 moguće je primijetiti suprotno, odnosno prisustvo pozitivnog trenda u vodostajima, tj. blago povećanje srednjih godišnjih vodostaja u analiziranom periodu (uz manjak podataka iz 2017. i 2020. godine). Gledajući duži period, u literaturi koja se bavi hidrološkim obilježjima Vranskog jezera je također prisutan isti trend. Pretpostavka je da se trend povećanja vodostaja javlja zbog sličnih fluktuacija u razini mora, koji su također u porastu. Transgresija mora pospješuje povišenje vodonosnika, pa i samog Vranskog jezera, stvarajući novu dinamičku ravnotežu između jezera i mora te predstavljajući primjer jedinstvenog načina na koji klimatske promjene utječu na sredozemni, odnosno hrvatski prostor (Rubinić i Katalinić, 2014).

5.2. SALINITET / ELEKTRIČNA VODLJIVOST

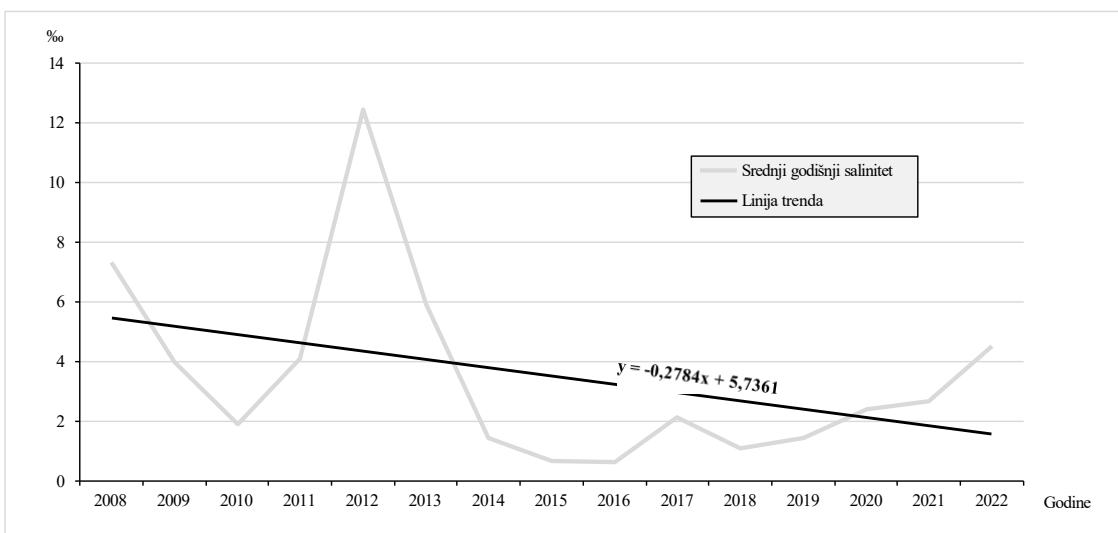
Kao što je ranije naglašeno, Vransko jezero je u dinamičkoj ravnoteži s morem, stoga je vrlo važno u kontekstu hidroloških analiza Vranskog jezera u Dalmaciji prikazati kretanja i trendove u slanoći jezera. Uz salinizaciju će se prikazati i vrijednosti električne vodljivosti jezera. Električna vodljivost vode predstavlja mogućnost vode da provodi struju. Što je veći udio magnezijevih, kloridnih i kalcijevih iona u vodi, ona ima veću mogućnost da provodi struju, odnosno ima veće vrijednosti električne vodljivosti (Šikić i dr., 2013).



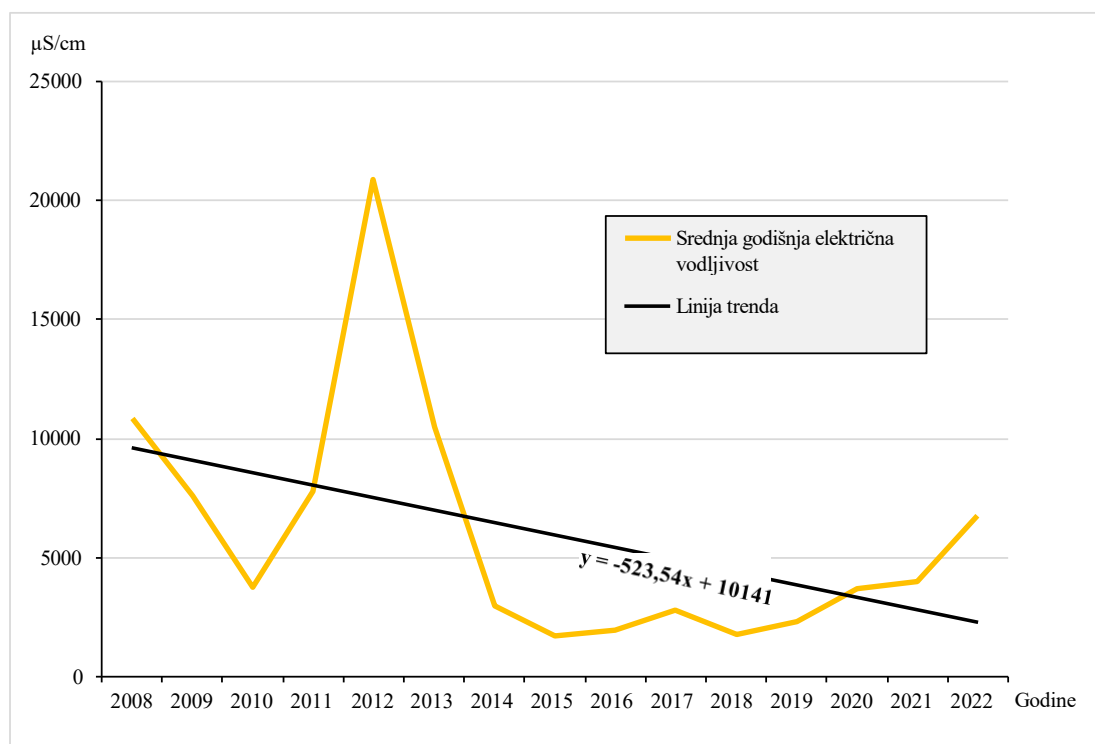
Sl. 10. Srednje mjesečne vrijednosti saliniteta i električne vodljivosti Vranskog jezera kod kanala Prosike za period od 2008. do 2022. godine

Izvor: HV, 2023; JUPPVJ, 2013

Slika 10 prikazuje srednje mjesečne vrijednosti saliniteta i električne vodljivosti. Generalno je moguće uočiti pojavu povećanja vrijednosti saliniteta i električne vodljivosti jezera nakon svibnja s maksimumom u jesenskom dijelu godine, kada je vodostaj jezera u prosjeku najniži. Nakon maksimuma se javlja opadanje saliniteta i električne vodljivosti s povećanjem vodostaja, s minimumom u proljetnom dijelu godine. Međutim, važno je za naglasiti da analizirani petnaestogodišnji period obuhvaća čak dva ekstremna zaslanjenja jezera, tijekom 2008. i 2012. godine.

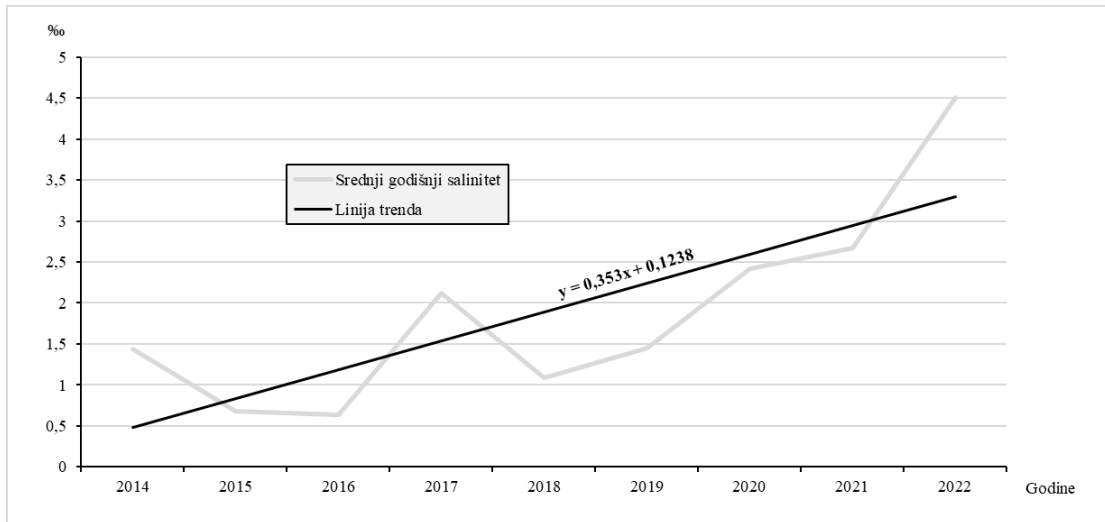


Sl. 11. Srednji godišnji salinitet Vranskog jezera kod kanala Prosike u periodu od 2008. do 2022. godine
Izvor: HV, 2023; JUPPVJ, 2023

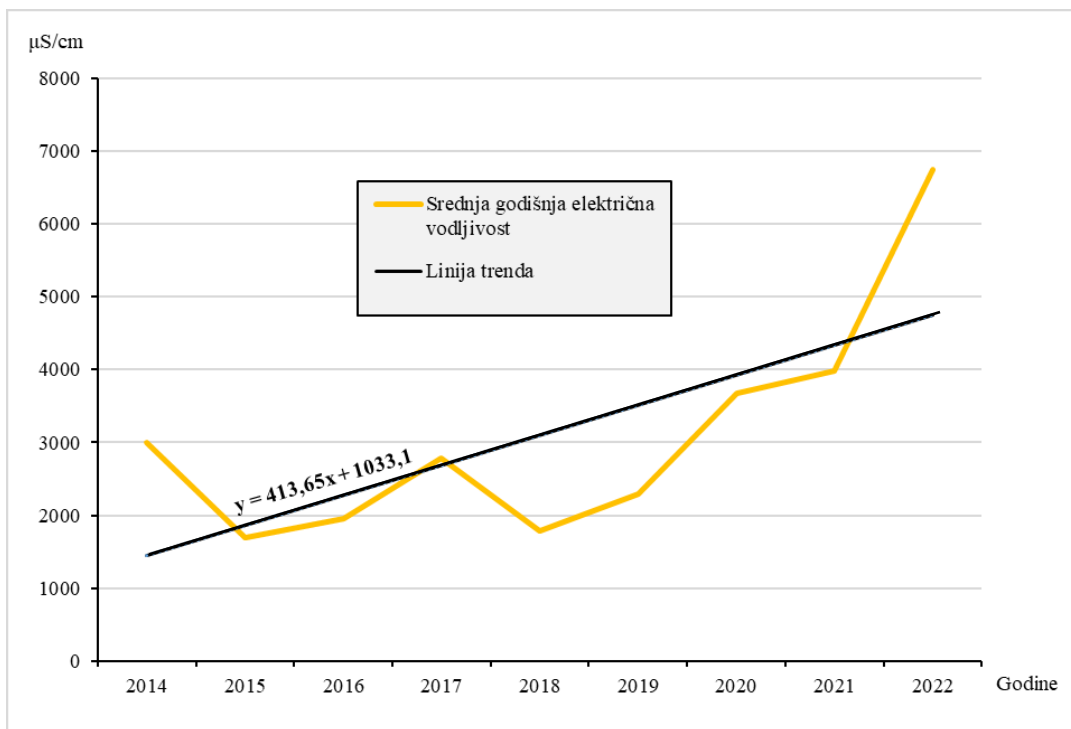


Sl. 12. Srednja godišnja električna vodljivost Vranskog jezera kod kanala Prosike u periodu od 2008. do 2022. godine
Izvor: HV, 2023; JUPPVJ, 2023

Dva ekstremna zaslanjenja jezera su direktno vidljiva u Slici 11 i Slici 12, s pojavom ekstremnijih vrijednosti u 2008. i 2012. godini. Uzimajući u obzir prisustvo tih ekstrema, unutar analiziranog petnaestogodišnjeg perioda je prisutan negativan trend u srednjim godišnjim vrijednostima saliniteta i električne vodljivosti jezera, no samo uzimajući u obzir period nakon tih ekstrema, vidljiv je očiti uzlazni trend u tim vrijednostima (Slika 13 i Slika 14).



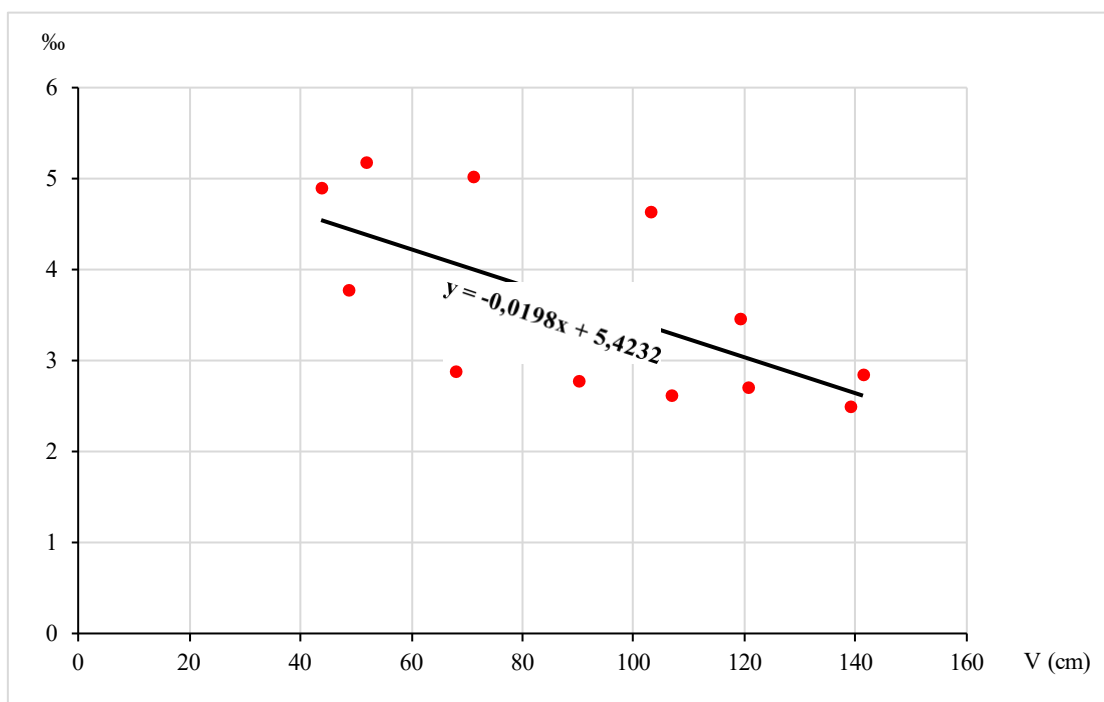
Sl. 13. Srednji godišnji salinitet Vranskog jezera kod kanala Prosike u periodu od 2014. do 2022. godine
Izvor: HV, 2023; JUPPVJ, 2023



Sl. 14. Srednja godišnja električna vodljivost Vranskog jezera kod kanala Prosike u periodu od 2014. do 2022. godine
Izvor: HV, 2023; JUPPVJ, 2023

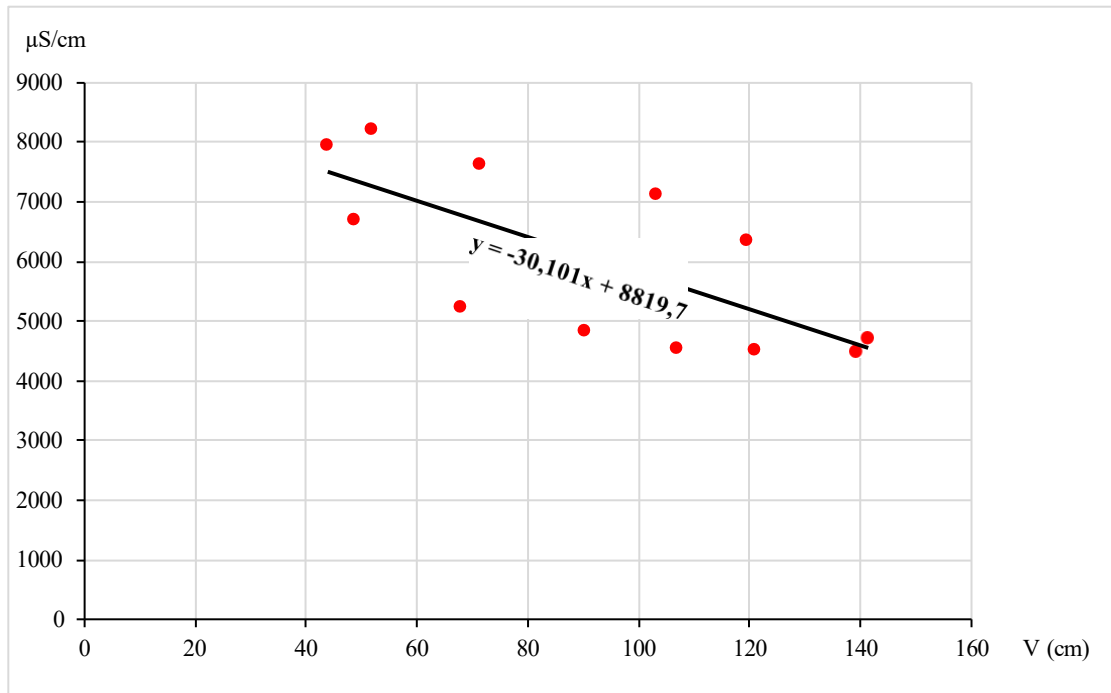
5.3. MEĐUODNOSI POKAZATELJA TEMPERATURE ZRAKA, PADALINA, VODOSTAJA, SALINITETA I ELEKTRIČNE VODLJIVOSTI

U prethodnom dijelu rada su se već mogle uočiti poneke poveznice između pokazatelja, poput pojave da je salinitet veći kad je vodostaj manji. U Slici 15 je unutar grafa rasipanja vidljiv spomenuti odnos, gdje su ti pokazatelji u obrnuto proporcionalnom odnosu, tj. kad je veći vodostaj, salinitet je manji i obrnuto. Pearsonov koeficijent za ovu korelacijsku analizu iznosi -0,66, što je, prema Papiću (2014), riječ o srednje jakoj negativnoj korelaciji koja je statistički značajna.



Sl. 15. Korelacije srednjeg mjesečnog vodostaja na hidrološkoj stanici Prosika i srednjeg mjesečnog saliniteta Vranskog jezera kod kanala Prosike za period od 2008. do 2022. godine
Izvor: DHMZ, 2023b; HV, 2023; JUPPVJ, 2023

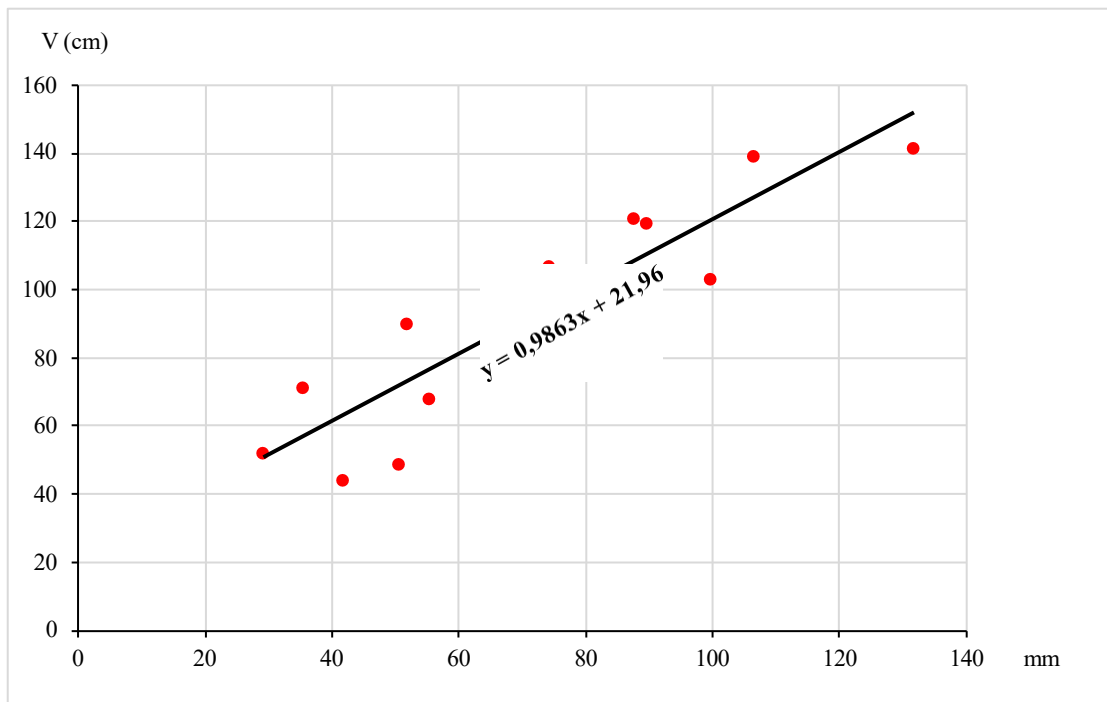
Vrlo slično stanje se javlja i u međuodnosu između vodostaja i električne vodljivosti (Slika 16), s obrnuto proporcionalnim odnosom. Pearsonov koeficijent za ovu korelacijsku analizu je veći (uvjetovano time da je za veću električnu vodljivost potreban salinitet, ali i ostali ioni osim klorida), te iznosi -0.72, što također spada u srednje jaku negativnu korelaciju koja je statistički značajna. Iz ovih korelacijskih analiza se može zaključiti da vodostaj ima potencijalnu povezanost sa salinitetom, stoga je vrlo važno da vodostaj ne padne ispod kritičnih razina (posebice da ne padne ispod razine mora) kako bi se spriječile epizode intenzivnog zaslanjivanja jezera i sve negativne posljedice za jezero koje proizlaze iz ekstremnih zaslanjivanja.



Sl. 16. Korelacije srednjeg mjesečnog vodostaja na hidrološkoj stanici Prosika i srednje mjesečne električne vodljivosti Vranskog jezera kod kanala Prosike za period od 2008. do 2022. godine

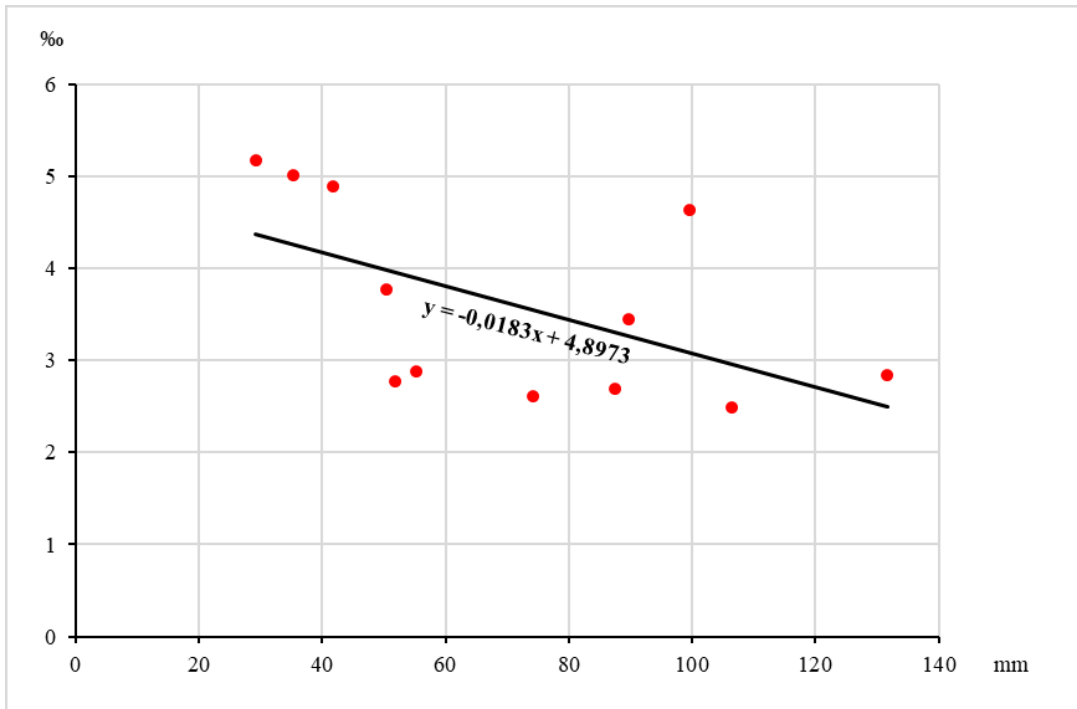
Izvor: DHMZ, 2023b; HV, 2023; JUPPVJ, 2023

Uzme li se u obzir ranije definirana tromost jezera te tromjesečni period koji je potreban Vranskom jezeru da reagira na promjene, korelacija klimatoloških pokazatelja i pokazatelja koji prikazuju stanje jezera (vodostaj, salinitet, električna vodljivost) ne bi bila dobar pokazatelj. Zbog toga su u narednim korelacijskim analizama pomaknuti jezerski pokazatelji 3 mjeseca unazad (simulirajući trenutni utjecaj na jezero), kako bi se mogle uočiti potencijalne povezanosti. Definirana je činjenica da Vransko jezero u velikoj mjeri ovisi o padalinama (tj. o površinskim i podzemnim vodotokovima koji direktno ovise o padalinama), što je moguće potvrditi u Slici 17 koja prikazuje korelaciju između srednje mjesečne količine padalina i srednjeg mjesečnog vodostaja jezera, s Pearsonovim koeficijentom od 0,91, što prema Papiću (2014) predstavlja jaku korelaciju koja je statistički značajna, simbolizirajući da s povećanjem padalina dolazi i do povećanja vodostaja jezera. Putem ovoga se može utvrditi povezanost između padalina i vodostaja Vranskog jezera.

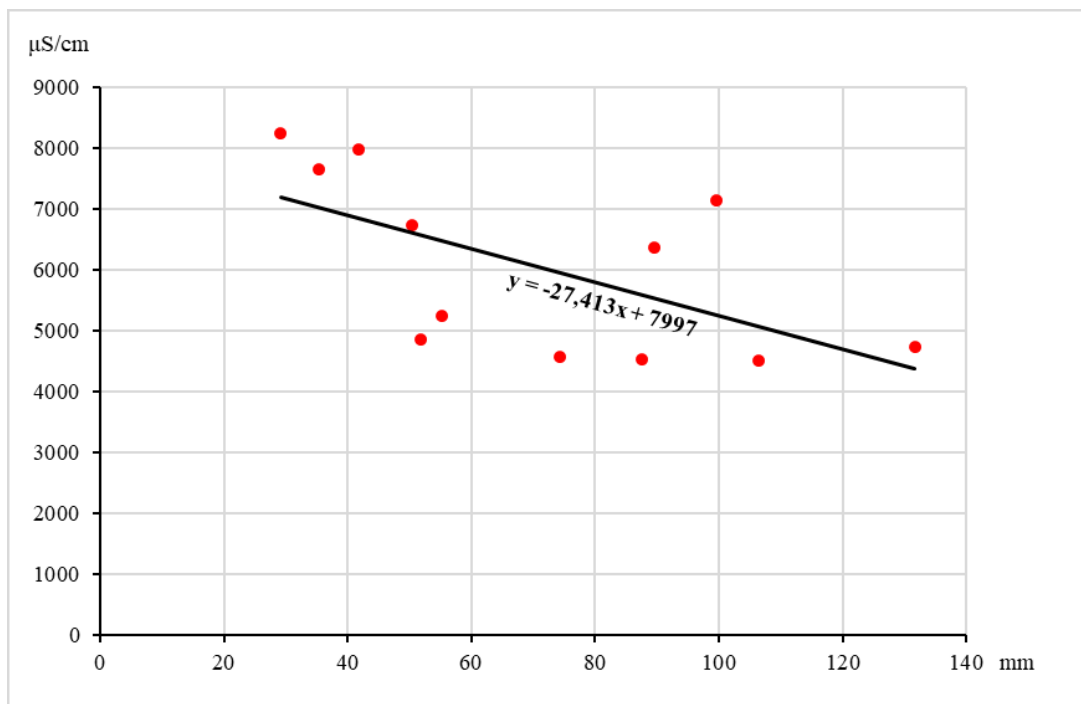


Sl. 17. Korelacije srednje mjesečne količine padalina na meteorološkoj stanici Biograd na Moru i srednjeg mjesečnog vodostaja Vranskog jezera kod kanala Prosike za period od 2008. do 2022. godine
Izvor:DHMZ, 2023a; DHMZ, 2023b

Korelacijske analize padalina i saliniteta te padalina i električne vodljivosti predstavljaju srednje jake korelacije, no s malo nižim vrijednostima Pearsonovog koeficijenta (-0,56 za salinitet i -0,6 za električnu vodljivost). Međutim, svejedno je važno za naglasiti potencijalnu povezanost između padalina i saliniteta te padalina i električne vodljivosti, gdje s povećanjem padalina opadaju vrijednosti saliniteta i električne vodljivosti i obrnuto (Slika 18 i Slika 19). Ova spoznaja prikazuje negativan utjecaj klimatskih promjena na jezero, gdje se ranije definirani opadajući trend u godišnjoj količini padalina može negativno odraziti na fizikalne parametre jezerske vode i prouzročiti daljnje probleme.

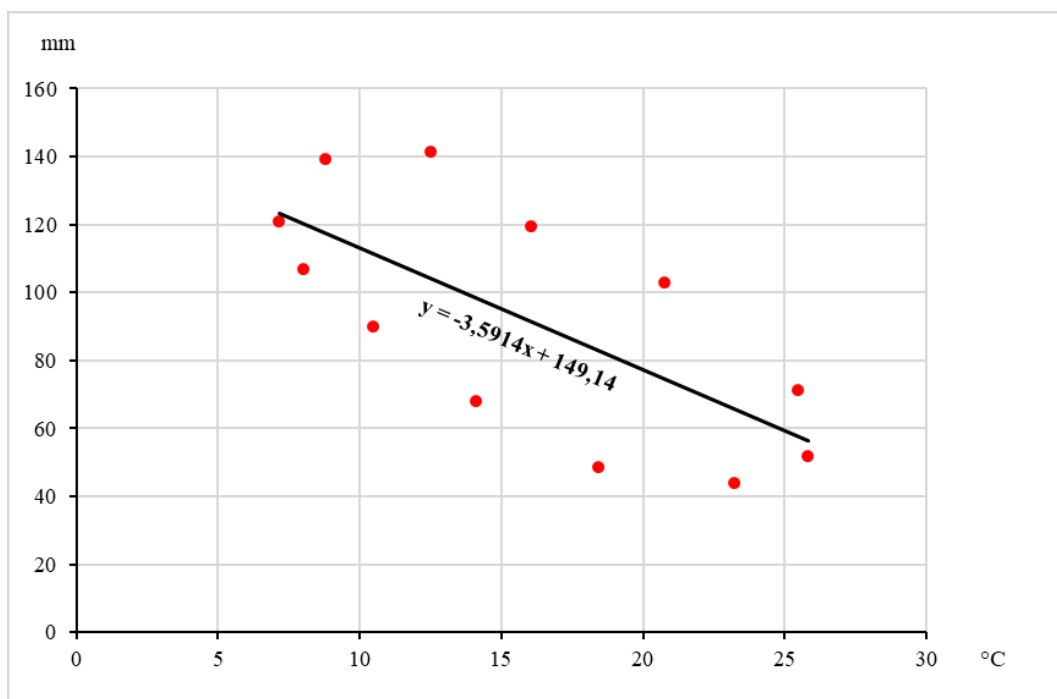


Sl. 18. Korelacije srednje mjesečne količine padalina na meteorološkoj stanici Biograd na Moru i pomaknutog srednjeg mjesečnog saliniteta kod kanala Prosike za period od 2008. do 2022. godine
Izvor: DHMZ, 2023a; HV, 2023; JUPPVJ, 2023



Sl. 19. Korelacije srednje mjesečne količine padalina na meteorološkoj stanici Biograd na Moru i pomaknute srednje mjesečne električne vodljivosti kod kanala Prosike za period od 2008. do 2022. godine
Izvor: DHMZ, 2023a; HV, 2023; JUPPVJ, 2023

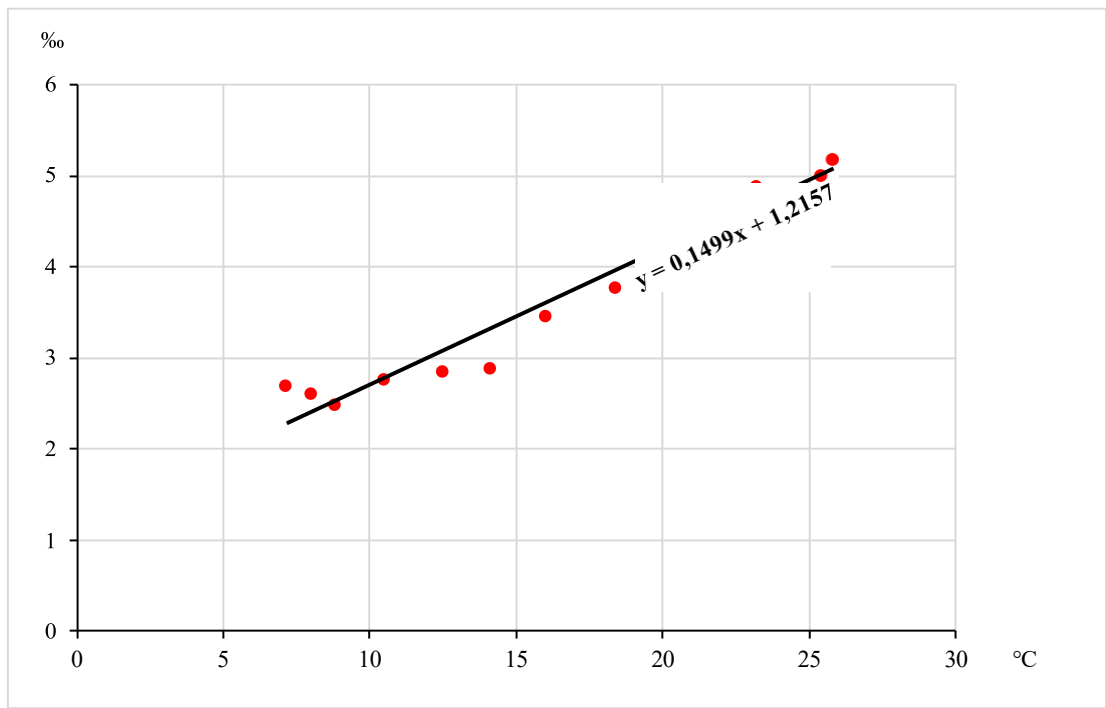
Drugi, značajniji trend u promjenama klimatskih elemenata područja oko Vranskog jezera je vidljiv u korelacijskim analizama s temperaturom zraka, gdje je ustanovljen izrazito značajan pozitivni trend u izmjerenim srednjim godišnjim temperaturama. Utjecaj temperature na vodostaj jezera je vidljiv u Slici 20, gdje se javlja srednje jaka korelacija s Pearsonovim koeficijentom od -0,7 ukazujući na povezanost između rasta temperature zraka i padanja vodostaja jezera. Ovaj proces je posebice istaknut u periodima nižih vodostaja kad se procesi evaporacije i evapotranspiracije pospješuju i ubrzavaju, stoga jezero brže gubi vodu.



Sl. 20. Korelacije srednje mjesečne temperature zraka na meteorološkoj stanici Biograd na Moru i pomaknutog srednjeg mjesečnog vodostaja na hidrološkoj stanici Prosika za period od 2008. do 2022. godine

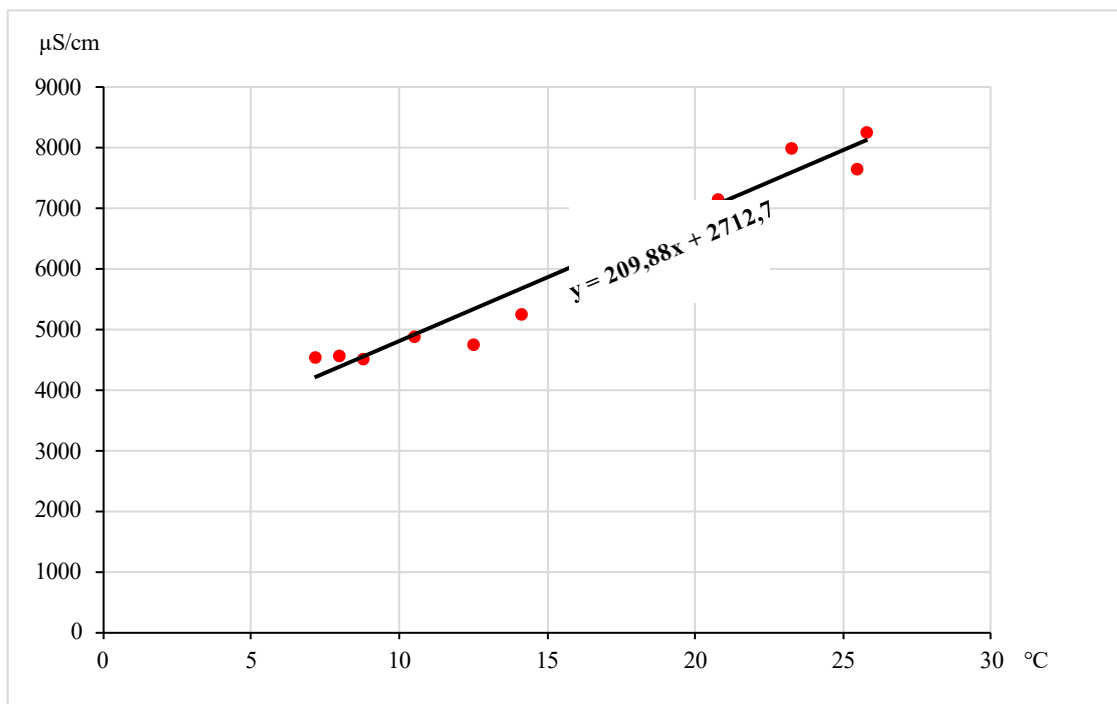
Izvor: DHMZ, 2023a; DHMZ, 2023b

Najznačajnija povezanost se javlja u korelacijskim analizama između temperature zraka i fizikalnih pokazatelja vode Vranskog jezera (Slika 21 i Slika 22). Korelacijom temperature zraka i saliniteta te temperature zraka i električne vodljivosti se javlja izrazito jaka, skoro potpuna povezanost, s Pearsonovim koeficijentom od 0,97 za salinitet i 0,98 za električnu vodljivost, što prema Papiću (2014) predstavlja jaku korelaciju koja je statistički značajna. Ova spoznaja ukazuje na još očitiji negativni utjecaj klimatskih promjena na jezero, gdje izraženi trend u povećanju srednje godišnje temperature ima negativan utjecaj na vodostaj jezera te na fizikalne parametre jezera. Kombinacija svih ranije definiranih trendova predstavlja rizik za opstanak jezera, gdje je potrebno hitno djelovanje kako bi se jezero očuvalo i ublažile posljedice mogućih intenziviranja ranije spomenutih trendova.



Sl. 21. Korelacije srednje mjesečne temperature zraka na meteorološkoj stanici Biograd na Moru i pomaknutog srednjeg mjesečnog saliniteta kod kanala Prosike za period od 2008. do 2022. godine

Izvor: DHMZ, 2023a; HV, 2023; JUPPVJ, 2023



Sl. 22. Korelacije srednje mjesečne temperature zraka na meteorološkoj stanici Biograd na Moru i pomaknute srednje mjesečne električne vodljivosti kod kanala Prosike za period od 2008. do 2022. godine

Izvor: DHMZ, 2023a; HV, 2023; JUPPVJ, 2023

5.4. POTENCIJALNA RJEŠENJA ZA PROBLEMATIKU JEZERA

Prethodne korelacijske analize i analize literature ukazuju na negativne trendove u varijaciji klimatskih elemenata na području jezera, koji imaju nepovoljne utjecaje na novije hidrološke promjene Vranskog jezera u Dalmaciji. Glavni problemi su povećana čestina pojava ekstremno sušnih razdoblja koja donose epizode ekstremne intruzije slane vode u Vransko jezero, uvjetovano nižim vodostajima i povećanim temperaturama, što dovodi veliki dio jezerske flore, poput makrofita i tršćaka, te faune, poput ihtiofaune i avifaune u rizik. Važna je činjenica da su jezerska staništa te jezerska flora i fauna jedne od najvećih bogatstava Vranskog jezera, ali i cijele Hrvatske. Dodatni rizik su onečišćenja kakvoće vode, zbog intruzije štetnih tvari putem vodotokova koji prolaze kroz područja intenzivne poljoprivrede, te neadekvatno izgrađene septičke jame. Svi ovi rizici dodatno pospješuju eutrofikaciju jezera (Katičin i dr., 2017; Terzić i dr., 2017; *Plan upravljanja*, 2022; Rubinić, 2022).

Kao glavno rješenje, o kojemu se raspravlja već 50 godina, se smatra izgradnja zapornice na kanalu Prosika kako bi bilo moguće kontrolirati vodostaj jezera te spriječiti izravan ulazak morske vode u jezero. Iako taj plan napreduje, za aktualizaciju izgradnje zapornice je potrebno usklađivanje raznih interesa, uzimajući u obzir granični administrativni položaj Vranskog jezera (nalazeći se na međi dvije županije i raznih jedinica lokalne samouprave), te kooperaciju većeg broja javnih ustanova, poput JUPPVJ i Hrvatskih voda. Zapreku također predstavlja financijska težina projekta. Uz zapornicu, javlja se moguće rješenje izgradnje plutajućih mobilnih membrana kako bi se spriječilo dodatno miješanje slatke vode i slane morske vode. Uvjetovano prisustvom krša i kompleksnim hidrogeološkim odnosima, za povećano razumijevanje tih odnosa su potrebna dodatna hidrogeološka istraživanja kako bi se utvrdile i definirale uzročno-posljedične veze vodonosnika, jezera i mora. Neusklađenost i zapuštenost velikog broja hidroloških stanica u slijevu Vranskog jezera dodatno pogoršava istraživanja u području slijeva, stoga je potrebna njihova hitna sanacija i usklađenost kako bi se mogle iskoristiti u budućim hidrološkim analizama Vranskog jezera u Dalmaciji (Katičin i dr., 2017; Terzić i dr., 2017; *Plan upravljanja*, 2022; Rubinić, 2022).

6. ZAKLJUČAK

Vransko jezero u Dalmaciji predstavlja jedinstveno i iznimno vrijedno područje Sredozemlja i Hrvatske u pogledu bioraznolikosti i georaznolikosti, koje je također izrazito ugroženo. U cijelom Sredozemlju, a i na području Vranskog jezera su uočene klimatske promjene s izraženim trendovima opadanja srednje godišnje količine padalina i porasta srednjih godišnjih temperatura zraka. Uzimajući u obzir definirane trendove u radu, uočljive su nepovoljne posljedice klimatskih promjena na cjelokupno Vransko jezero. Glavni rizik predstavljaju pojave epizoda ekstremnog zaslanjenja Vranskog jezera koje imaju kobne posljedice za samo jezero te svu floru i faunu koja nastanjuje područje jezera. U analiziranom periodu od 2008. do 2022. godine je već moguće uočiti dvije takve epizode koje su nosile dalekosežne posljedice na kakvoću vode jezera, floru i faunu jezera te na procese eutrofikacije unutar jezera. Zbog mogućnosti intenziviranja tih pojava i trendova javlja se potreba hitnih i konkretnih rješenja kako bi se spriječile negativne posljedice, ili u najmanju ruku ublažile negativne posljedice. Izgradnja zapornice na kanalu Prosika se predstavlja kao glavno rješenje, uz potencijalnu izgradnju membranskih postrojenja na jezeru kako bi se spriječilo miješanje zaslanjene vode s jezerskom vodom. Uz ova rješenja je potrebno sanirati i uskladiti veliki broj hidroloških postaja u slijevu Vranskog jezera koji su neadekvatni za značajna hidrološka istraživanja Vranskog jezera. Također su potrebna dodatna hidrogeološka istraživanja na području Vranskog jezera kako bi se utvrdile i definirale uzročno-posljedične veze između samog jezera, mora i vodonosnika, posebice zbog činjenice da cjelokupno područje Vranskog jezera karakterizira okršenost koja dodatno komplicira hidrogeologiju cijelog područja.

7. LITERATURA

Beran, L., Lajtner, J., Crnčan, P., 2013: Aquatic molluscan fauna (Mollusca: Gastropoda, Bivalvia) of Vrana Lake Nature Park (Croatia), *Natura Croatica* 22 (1), 15-27.

Blaće, A., 2014: Prilog poznavanju regionalne strukture Primorske Hrvatske – regionalizacija ravnokotarskog prostora/Contribution to the study of regional structure of Littoral Croatia – regionalization of Ravni Kotari area, *Geoadria* 19 (1), 129-145.

Blaće, A., 2019: Promjene šumskoga pokrova na području Ravnih kotara u drugoj polovici 19. stoljeća/Forest cover changes in the Ravni Kotari Region in the second half of the 19th century, *Hrvatski geografski glasnik* 81 (2), 69-88, DOI: 10.21861/HGG.2019.81.02.03.

Bonacci, O., 2014: Karst hydrogeology/hydrology of Dinaric chain and isles, *Environmental Earth Sciences* 74, 37-55, DOI: 10.1007/s12665-014-3677-8.

Buzjak, N., Čanjevac, I., Vučković, I., Martinić, I., Valožić, L., 2018: Geoekološka analiza Parka prirode i okolice Vranskog jezera u Dalmaciji, u: *Hidrologija u službi zaštite i korištenja voda te smanjenja poplavnih rizika - suvremeni trendovi i pristupi* (ur. Rubinić, J., Ivanković, I., Bušelić, G.), Hrvatsko hidrološko društvo, Zagreb, 25-33.

Crnčan, P., Jagić, M., Lajtner, J., 2017: Monitoring NATURA 2000 vrste *Anisus vorticulus* (Troschel, 1834) u lokvi Benča, Park prirode Vransko jezero, u: *Upravljanje jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj – Procesi, zaštita i valorizacija* (ur. Rubinić, J.), Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Zagreb, 67-71.

Ćuže Denona, M., 2017: Vodič terenskog obilaska 6.5.2017. - Park prirode Vransko jezero, u: *Upravljanje jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj – Procesi, zaštita i valorizacija* (ur. Rubinić, J.), Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Zagreb, 349-355.

El Kafrawy S.B., Bek, M.A., Negm, A.M., 2018: An Overview of the Egyptian Northern Coastal Lakes, u: *Egyptian Coastal Lakes and Wetlands: Part I - Characteristics and Hydrodynamics* (ur. Negm, A.M. i dr.), Springer International Publishing AG, Cham, 3-17, DOI: 10.1007/698_2018_275.

Faričić, J., Marelić, T., 2014: Prirodno-geografske osnove razvitka Zadarske županije, u: *Potencijali društveno-gospodarskog razvitka Zadarske županije* (ur. Faričić, J.), Sveučilište u Zadru, Zadar, 44-61.

Fritz, F., 1984: Postanak i starost Vranskog jezera kod Biograda na moru, *Geološki vjesnik* 37, 231-243.

Gligora Udovič, M., Žutinić, P., Šimunović, M., Plenković-Moraj, A., 2017: Fitoplankton - Biološki element za ocjenu ekološkog stanja krških jezera, u: *Upravljanje jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj – Procesi, zaštita i valorizacija* (ur. Rubinić, J.), Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Zagreb, 91-95.

Heček, N., Brajković, A., Glavaš, B., 2017: Sustav navodnjavanja Vransko polje u slivu Vranskog jezera, u: *Upravljanje jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj – Procesi, zaštita i valorizacija* (ur. Rubinić, J.), Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Zagreb, 111-114.

Hajek-Tadesse, V., Iljanić, N., Miko, S., Hasan, O., 2017: Ostrakodi priobalnih krških jezera Hrvatske kao indikatori okolišnih promjena tijekom holocena, u: *Upravljanje jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj – Procesi, zaštita i valorizacija* (ur. Rubinić, J.), Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Zagreb, 107-110.

Hlanuda-Vegar, M., 2007: Stanje mlinica u blizini Parka prirode Vransko jezero i mogućnost njihove obnove te stavljanje mlinica na listu turističkih destinacija, *Informatica Museologica* 38 (3-4), 98-101.

Iljanić, N., Miko, S., Hasan, O., Marković, T., 2018: Geološka, strukturno-tektonska i hidrogeološka obilježja područja Pakoštana i Vranskog jezera, u: *PAKOŠTANE VELI ŠKOJ, Kasnoantički brodolom u geološko-geografskom i kulturno-povijesnom kontekstu* (ur. Radić Rossi, I., Boetto, G.), Sveučilište u Zadru, Zadar, 161-177.

Katalinić Bach, A., Karaga, A., Čuže Denona, M., Fressel, N., Gligora Udovič, M., 2017: Vransko jezero: Monitoring fitoplanktona i zooplanktona u kontekstu upravljanja jezerskim ekosustavom, u: *Upravljanje jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj – Procesi, zaštita i valorizacija* (ur. Rubinić, J.), Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Zagreb, 145-148.

Katičin, D., Čuže Denona, M., Fressel, N., 2017: Problematika upravljanja vodnim sustavom Vranskog jezera, u: *Upravljanje jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj – Procesi, zaštita i valorizacija* (ur. Rubinić, J.), Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Zagreb, 149-158.

Kazancı, N., Girgin, S., Dügél, M., 2008: Climate Change Impacts on Lake Bafa in Mediterranean Climate Region in Turkey, *BALWOIS 2008 - Ohrid, Republic of Macedonia* 27, 1-6.

Lončarić, R., Surić, M., Perica, D., Samodol, K., Deklić, A., 2015: Groundwater quality in selected caves in Ravni kotari (Croatia)/Kakvoća podzemne vode u odabranim spiljama u Ravnim kotarima (Hrvatska), *Hrvatski geografski glasnik* 77 (2), 55-71.

Miko, S., Ilijanić, N., Orlić, S., Pjevac, P., Brunović, D., Hasan, O., Marković, T., 2017: Vransko jezero kod Biograda: Prirodni i antropogeni utjecaji na stvaranje metana u jezerskim sedimentima, u: *Upravljanje jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj – Procesi, zaštita i valorizacija* (ur. Rubinić, J.), Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Zagreb, 223-225.

Magaš, D., 2013: *Geografija Hrvatske*, Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju, Meridijani, Zadar.

Martín, M., Hernández-Crespo, C., Andrés-Doménech, I., Benedito-Durá, V., 2020: Fifty years of eutrophication in the Albufera lake (Valencia, Spain): Causes, evolution and remediation strategies, *Ecological Engineering* 155 (138), 105932, DOI: 10.1016/j.ecoleng.2020.105932.

Mustafić, P., Marčić, Z., Zanella, D., Čaleta, M., Buj, I., Horvatić, S., Mrakovčić, M., 2017: Ihtiofauna Parka prirode Vransko jezero, u: *Upravljanje jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj – Procesi, zaštita i valorizacija* (ur. Rubinić, J.), Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Zagreb, 227-235.

Papić, M., 2014: *Primijenjena statistika u MS Excelu*, Naklada Zoro, Zagreb.

Plan upravljanja Parkom prirode Vransko jezero, Javna ustanova „Park prirode Vransko jezero“, 2010, https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/4857155/documents/HR2109_mgt180921.pdf (17.7.2023.).

Plan upravljanja Parkom prirode i Posebnim ornitološkim rezervatom Vransko jezero i pridruženim područjima ekološke mreže (PU 6163) 2023. – 2032., Javna ustanova „Park prirode Vransko jezero“, 2022, http://www.pp-vransko-jezero.hr/hr/wp-content/uploads/PU-6163_Vransko_Plan-upravljanja.pdf (17.7.2023.).

Riđanović, J., 1992: *Hidrogeografija*, Školska knjiga, Zagreb.

Rubinić, J., Šuljić, A., 2010: Analiza vodnog režima Vranskog jezera u Dalmaciji, u: *Zbornik radova Sveučilišta u Rijeci – Građevinski fakultet* (ur. Jelenić, G.), Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka, 91-112.

Rubinić, J., Bošnjak, T., Pejaković, B., Švonja, M., Čuže, M., Katalinić, A., 2010: High Waters in Vrana Lake (Dalmatia) – Protection and Risk, *BALWOIS 2010 – Ohrid, Republic of Macedonia* 25, 1-12.

Rubinić, J., 2014: *Vodni režim Vranskog jezera u Dalmaciji i klimatski utjecaji*, Doktorski rad, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet.

Rubinić, J., Katalinić, A., 2014: Water regime of Vrana Lake in Dalmatia (Croatia): changes, risks and problems, *Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques* 59 (10), 1908-1924, DOI: 10.1080/02626667.2014.946417.

Rubinić, J., Radišić, M., Ružić, I., Kalajžić, D., 2017: Interakcija voda Vranskog jezera i more, u: *Upravljanje jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj – Procesi, zaštita i valorizacija* (ur. Rubinić, J.), Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Zagreb, 259-264.

Rubinić, J., 2022: Praćenje stanja u Vranskom jezeru kao i upravljačkih akcija vezanih uz procese zaslanjivanja i smanjivanja rizika od njegove pojave, Građevinski fakultet u Rijeci, Katedra za hidrotehniku, interni materijali.

Šegota, T., Filipčić, A., 1996: *Klimatologija za geografe*, Školska knjiga, Zagreb.

Šikić, Z., Pernar, N., Yerkovich, B.B., Rogošić, J., Širac, S., 2013: Influence of water levels of Vrana Lake and the Adriatic Sea to the water chemistry of Vrana lake, *Acta Adriatica* 54 (2), 199-212.

Terzić, J., Frangen, T., Boljat, I., 2017: Hidrogeološka istraživanja za zaštitu vodoopskrbnih izvorišta u slijevu Vranskog jezera, u: *Upravljanje jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj – Procesi, zaštita i valorizacija* (ur. Rubinić, J.), Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Zagreb, 295-299.

Tudić, A., 2017: Stanje podzemnih voda na monitoring postajama u području prirodnih jezera na Jadranu, u: *Upravljanje jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj – Procesi, zaštita i valorizacija* (ur. Rubinić, J.), Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Zagreb, 307-312.

Velić, I., Velić, J., 2017: Geološke značajke područja Vranskog jezera, u: *Upravljanje jezerima i akumulacijama u Hrvatskoj – Procesi, zaštita i valorizacija* (ur. Rubinić, J.), Hrvatsko društvo za zaštitu voda, Zagreb, 313-315.

Žganec, K., 2017: Zajednice rakova (Malacostraca) kao bioindikatori zaslanjivanja u Vranskom jezeru i njihova primjena za određivanje ekološki prihvatljivih protoka i razina vode u jezeru, Ekološka udruga „EMYS“, interni materijali.

8. IZVORI

1. Državna geodetska uprava (DGU), 2016: Središnji registar prostornih jedinica RH (SRPJ) (GIS Shapefileovi), Zagreb.
2. Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), 2023a: Meteorološki podatci za meteorološku postaju Biograd na Moru, interni podatci.
3. Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), 2023b: Hidrološki podatci za hidrološku postaju Prosika (7078), <https://hidro.dhz.hr/> (23.8.2023.).
4. Hrvatske vode (HV), 2023: Kvaliteta vode, interni podatci.
5. Javna ustanova Park prirode „Vransko jezero“ (JUPPVJ), 2023: Fizikalni parametri, interni podatci.
6. *Plan upravljanja Parkom prirode Vransko jezero*, Javna ustanova „Park prirode Vransko jezero“, 2010, https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/4857155/documents/HR2109_mgt180921.pdf (17.7.2023.).
7. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), 2018: SRTM 90m DEM Digital Elevation Database.