Utjecaj mora na jezera u Hrvatskoj

Curać, Jure

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:573916

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-20**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Utjecaj mora na jezera u Hrvatskoj

Curać, Jure

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:573916

Rights / Prava: In copyright

Download date / Datum preuzimanja: **2020-10-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering

Sveučilište u Zagrebu

Geotehnički fakultet

Jure Curać

Utjecaj mora na jezera u Hrvatskoj

Završni rad

Varaždin, 2018

Sveučilište u Zagrebu

Geotehnički fakultet

Završni rad

Utjecaj mora na jezera u Hrvatskoj

Kandidat: Jure Curać

Mentorica:

Prof. dr.sc. Sanja Kapelj

Varaždin , 2018.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

UTJECAJ MORA NA JEZERA U HRVATSKOJ

JURE CURAĆ

BROJ INDEKSA : 2546

SADRŽAJ

1. **UVOD**

2. **OPĆENITO O ISTRAŽIVANJU UTJECAJA MORA NA PRIOBALNE VODONOSNIKE**
   - 2.1. **Geologija i hidrogeologija hrvatskog priobalja**
   - 2.2. **Hidrologija**
   - 2.3. **Geokemijska obilježja vodonosnika pod utjecajem mora**

3. **JEZERA POD UTJECAJEM MORA U HRVATSKOJ**
   - 3.1. **Vransko jezero na otoku Cresu**
   - 3.2. **Ponikve i Njivice na otoku Krku**
   - 3.3. **Vransko jezero kod Pakoštana**

4. **KORIŠTENJE I ZAŠTITA JEZERSKIH SUSTAVA**
5. **ZAKLJUČAK**

LITERATURA

SAŽETAK

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

_____

(naslov završnog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom Dr.sc. Sanja Kapelj

Izjavljujem da nitijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način , odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, _____

SAŽETAK

U ovom završnom radu prikazan je pregled utjecaja mora na odabrana jezera u hrvatskom priobalju i na otocima. Geološki, hidrogeološki, hidrološki i geokemijski čimbenici osnovni su pokazatelji ocjene utjecaja mora na podzemne vode i jezera . Direktan utjecaj mora najviše se može prepoznati prema kemijskom sastavu vode u jezeru, a ponajviše po porastu saliniteta u priobalnim i otočnim područjima na Zemlji. To je u većini slučaja točno, ali puno točnije se utjecaj mora može ustanoviti na temelju ionskih odnosa osnovnih kationa i aniona. Utjecaj mora na priobalne vodonosnike i ujezerenje vode na području krša u Hrvatskoj posljedica je geološke građe i hidrogeološke funkcije stijena te podizanja razine mora nakon zadnje oledbe prije cca 10000 do 11000 godina. Kao jedan od primjera je Vransko jezero na otoku Cresu - najveća kriptodepresija u Hrvatskoj. Nešto manje poznata jezera su Ponikve i Jezera kraj Njivica na Krku. Zanimljiv primjer je boćato Vransko jezero kod Pakoštana. To je jezero jedan od najposebnijih prirodnih rezervata u Hrvatskoj sa prepoznatljivom florom i faunom, ujedno je i park prirode. U svijetlu najnovijih spoznaja u radu se razmatra i utjecaj klimatskih promjena, korištenje i zaštita jezerskih sustava kako od prirodnih tako i od antropogenih čimbenika.

Ključne riječi: jezera, krš, utjecaj mora, Hrvatska

SADRŽAJ

1. UVOD.....1

2. OPĆENITO O ISTRAŽIVANJU UTJECAJA MORA NA PRIOBALNE VODONOSNIKE.....2

2.1. Geologija i hidrogeologija hrvatskog priobalja.....**2**

2.2. Hidrologija.....**6**

2.3. Geokemijska obilježja vodonosnika pod utjecajem mora.....**7**

3. ODABRANA JEZERA POD UTJECAJEM MORA U HRVATSKOJ.....12

3.1. Vransko jezero na otoku Cresu.....**12**

3.2. Ponikve i Njivice na otoku Krku.....**17**

3.3. Vransko jezero kod Pakoštana.....**22**

4. KORIŠTENJE I ZAŠTITA JEZERSKIH SUSTAVA.....27

5. ZAKLJUČAK.....31

6. POPIS LITERATURE.....32

7. POPIS SLIKA.....35

8. POPIS TABLICA.....36

1. UVOD

Svakodnevno smo svjedoci velikih promjena na Zemlji koje imaju veliki utjecaj na prirodne resurse bitne za čovjeka tako i za ostala živa bića. Neke od njih su izazvane ljudskom djelatnošću, a neke su dio dugotrajno prisutnih prirodnih procesa koji direktno utječu na hidrološke čimbenike, a posredno i na ostale sastavnice okoliša. Topljenje ledenjaka i dizanje razina mora uz porast koncentracije stakleničkih plinova, širenje pustinja, smanjivanje zelenih površina su samo neke od njih.

Utjecaj mora na jezera može se činiti kao marginalni čimbenik, no itekako je bitan u razumijevanju zaštite jezerskim ekosustava u hrvatskom priobalju i u ostalim područjima na Zemlji koja imaju iste ili slične geološke, hidrogeološke, hidrološke i klimatske karakteristike. Na primjer samo povećanje salinizacije slatkovodnih jezera može uzrokovati promjenu flore i faune. Određene slatkovodne vrste ne prihvaćaju takve prirodne uvjete i zato izumiru.

Porast saliniteta priobalnih vodonosnika smanjuje mogućnost korištenja voda za ljudsku potrošnju i/ili poskupljuje cijenu vode zbog potrebe održavanja i utroška energije za postrojenja za desalinizaciju.

Priobalna i otočna jezera isto tako mogu biti ugrožena utjecajem antropogenih aktivnosti poput otpadnih voda iz domaćinstava, turističkih objekata i procjednih voda iz poljodjelstva, peradarstva ili stočarstva koji se nalaze u priljevnom području.

Možemo li se obraniti od negativnog utjecaja ili barem ih ublažiti pitanja su kojim će se baviti ovaj rad na primjeru nekoliko odabranih jezera: Vranskog jezera na otoku Cresu, Ponikve i Jezera na otoku Krku i Vranskog jezera kod Pakoštana.

2. OPĆENITO O ISTRAŽIVANJU UTJECAJA MORA NA PRIOBALNE VODONOSNIKE

2.1. Geologija i hidrogeologija hrvatskog priobalja

Ako se govori o geologiji hrvatskog priobalja, nemoguće je ne spomenuti jedinstvenu geološku građu zastupljenu pretežito okršenim i dobro propusnim karbonatnim stijenama, vapnencima.

Poznate su tri definicije krša hrvatskih znanstvenika, Milana Heraka, Ognjena Bonaccija i Srećka Božičevića. Milan Herak (1986) smatra da je ,,Za krš karakteristično da su podzemne vodene komunikacije jače od nadzemnih i vezane su za šupljine različitih dimenzija koje se postupno proširuju zbog otapanja (korozije) vapnenaca i dolomita“ . Prema Ognjenu Bonacciju (1987) ,,Krš predstavlja područje sastavljeno od posebnog podzemnog i nadzemnog reljefa i površinsko-podzemne hidrografske mreže koja je nastala kao rezultat cirkulacije vode, te njenog agresivnog kemijskog i fizičkog djelovanja na prsline, pukotine i šupljine u slojevima topivih stijena kao što su vapnenac, kreda, dolomit, gips i sol“. Srećko Božičević (2000) poznat po svojoj predanosti speleološkim istraživanjima smatra da je ,,Krš s geološkog gledišta karakterističan oblik reljefa na vapnenačko-dolomitnoj podlozi, odnosno pretežno kamenoj karbonatnoj površini oblikovan dugotrajnim radom oborinske i protočne vode“ .

Krš i krške morfološke pojave se razvijaju u karbonatnim stijenama koji se sastoje najčešće od minerala kalcita ($CaCO_3$), magnezita ($MgCO_3$) i dolomita $CaMg(CO_3)_2$, a u manjoj mjeri i ostalih minerala sulfata, hidroksida i oksida, fosfata itd. i organske materije. Dinaridi u našem priobalju su pretežito građeni od karbonatnih stijena, vapnenaca i dolomita (Slika 1).

Slika 1. Samarske stijene – primjer krškog oblika - kukovi (preuzeto s www.croatia.hr , 8.7.2018.)

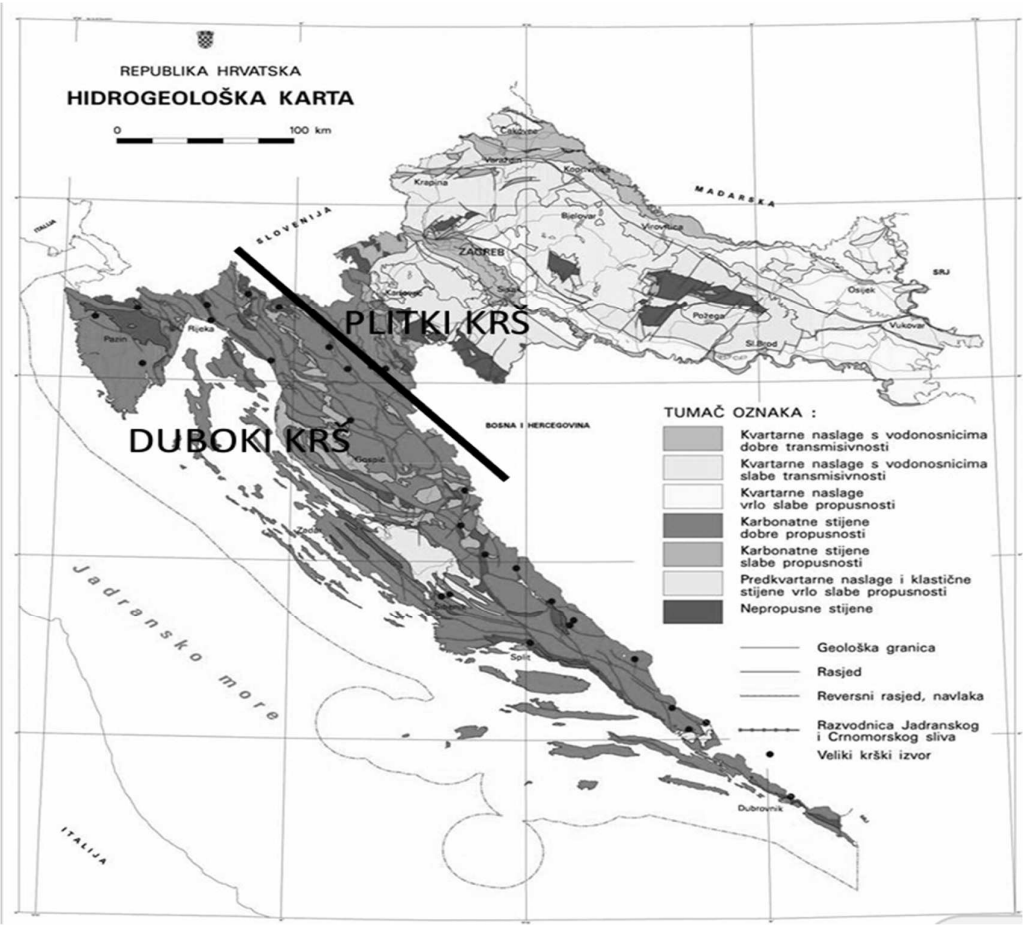
Glavnu ulogu u oblikovanju krškoga reljefa imaju uz tektoniku, mehaničke procese erozije i kemijski procesi. Bez aktivnih kemijskih procesa ne bismo mogli objasniti nastanak krškog reljefa. Krški je reljef rezultat međusobnog djelovanja mehaničkog i kemijskoga trošenja karbonatnih stijena, pretežito vapnenaca. Najvažniji uvjet za odvijanje procesa okršavanja jest topivost karbonatnih stijena u vodi, a osnovni agens otapanja je karbonatna kiselina. Te stijene doduše izgledaju vrlo čvrsto i otporno, ali otopljena karbonatna kiselina u vodi ih postupno nagriza. To se kemijsko trošenje ne događa očigledno, nego tijekom dugog niza godina, stoljeća i tisućljeća. Kao rezultat kemijskog otapanja karbonatnih stijena nastaju brojni krški morfološki oblici spilje, ponikve ili vrtače, jame, ponori, rijeke ponornice, kamenice, škrape, kukovi, doline, doci, humlje, kaverne, itd. (Slika 1).

Kemijska jednadžba otapanja kalcita glasi:

$$CaCO_3 + H_20 + CO_2 \leftrightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-.$$

Prilikom otapanja najzastupljenijeg minerala u kršu, kalcita, kalcijevi i hidrogenkarbonatni ioni prelaze u vodenu otopinu (Kapelj, 2010).

Krš u Hrvatskoj se dijeli na duboki i plitki krš (slika 2), a izgrađuju ga pretežito karbonatne stijene, vapnenci i dolomiti u kombinaciji s klastičnim sedimentima paleozoika, eocena (fliš), neogena i kvartarnih sedimenata (Biondić, 1994, 2005, 2014).



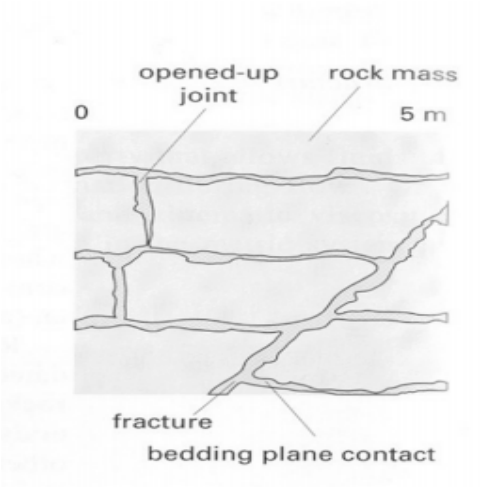
Slika 2. Podjela krša u Hrvatskoj (preuzeto iz B.Biondić, 1994.)

Na isti način nastaju i reljefni krški oblici: škrape, kukovi, humlje, zaravni u kršu, polja, spilje, jame, kaverne, ponori, ponornice, kamenice i vrtače (ponikve).

Kada se govori o hidrogeologiji hrvatskog priobalja moramo spomenuti kojemu slivu pripada to razmatrano područje. Sliv ili slivno područje je područje s kojeg sve vode otječu prema nekoj erozijskoj bazi. U našem slučaju erozijska baza je razina Jadranskog mora. Osim Jadranskom slivu, dio krša Dinarida u Hrvatskoj pripada i Crnomorskom slivu. Linija koja predstavlja granicu dva sliva nazivamo razvodnicom između Jadranskog i Crnomorskog sliva (Slika 3).

Slika 3. Slivna područja u Hrvatskoj (preuzeto s https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_08_97_2726.html , 8.7.2018.)

Još jedno važno obilježje hidrogeologije krša je poroznost stijena. Kod hidrogeologije krša prevladava tip sekundarne poroznosti, odnosno kavernozno-pukotinska poroznost (Slika 4). Gdje je kavernozno pukotinska poroznost dobro razvijena, stijene imaju i dobru propusnost.



Slika 4. Prikaz pukotinske-kavernozne (disolucijske) poroznosti (preuzeto iz B.Biondić, 1994)

2.2. Hidrologija hrvatskog priobalja

Jezera ima u svim dijelovima Hrvatske (Slika 5), ali su površinom uglavnom mala. Najveće je jezero Vransko (30,7 km²) . Najdublje jezero je Crveno jezero kod Imotskog. To je jedinstveni krški fenomen koje je zapravo jama ispunjena vodom. Tek je 2013. godine izmjerena njegova prava dubina koja iznosi približno 255 metara (http://volim-hrvatsku.weebly.com/home/jezera-hrvatske). U svijetu su najpoznatija slikovita Plitvička jezera u Lici. Od umjetnih akumulacija, izgrađenih za potrebe hidroelektrana, najveće su Dubrava (17,1 km²) i Varaždinsko jezero (10,1 km²) na Dravi te Perućko jezero (13 km²) na Cetini. Jezera dijelimo na prirodna i umjetna.

Slika 5. Jezera u Hrvatskoj (preuzeto s http://volim-hrvatsku.weebly.com/home/jezera-hrvatske , 8.7.2018.)

Na slici 5. prikazana su mjesta svih važnijih jezera u Hrvatskoj, a jezera pod direktnim i indirektnim utjecajem mora su Vransko jezero na Cresu, Vransko jezero kod Pakoštana, Prokljansko jezero kod Šibenika, Baćinska jezera kod Metkovića i manja jezera poput Jezera i Ponikve na otoku Krku koja zbog svoje male veličine nisu prikazana na slici 5.

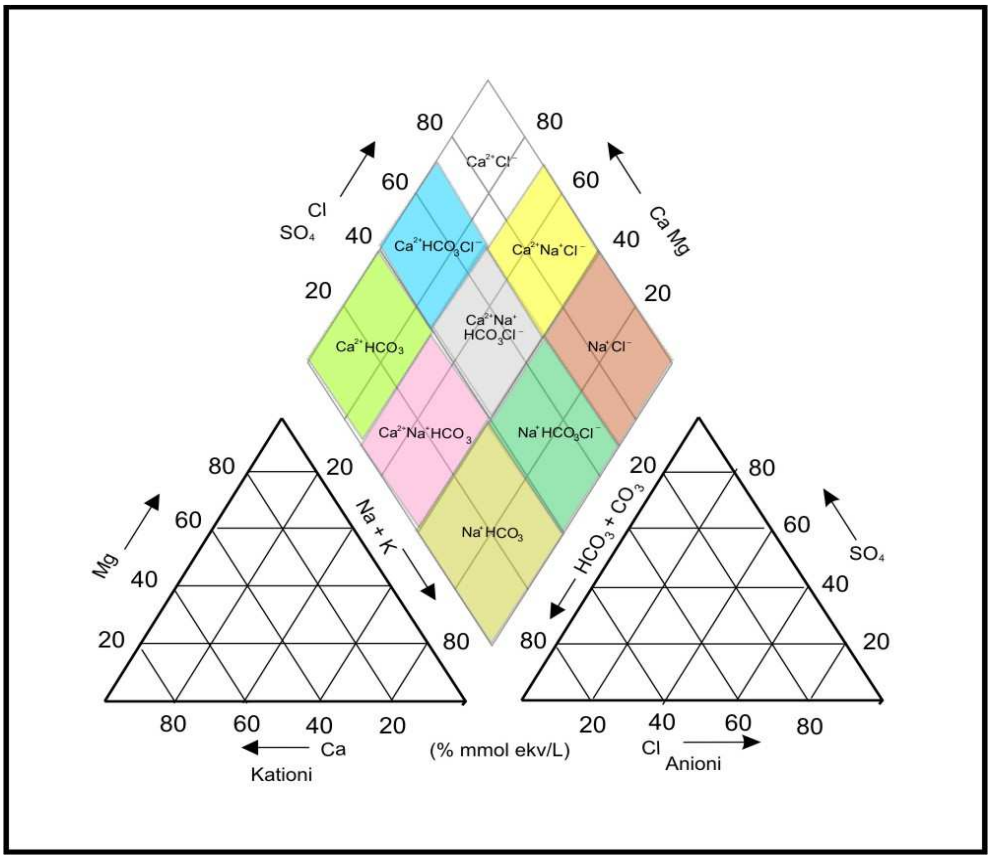
2.3. Geokemijska obilježja vodonosnika pod utjecajem mora

Vodonosnik je propusni sloj ili više slojeva, propusna raspucana stijena s međusobno povezanim pukotinama, šupljinama i prslinama koje sadržavaju vodu i kroz koje se voda može gibati u prirodnim uvjetima. Osim u podzemlju, vodonosnici su i površinski vodotoci rijeke, jezera i akumulacije.

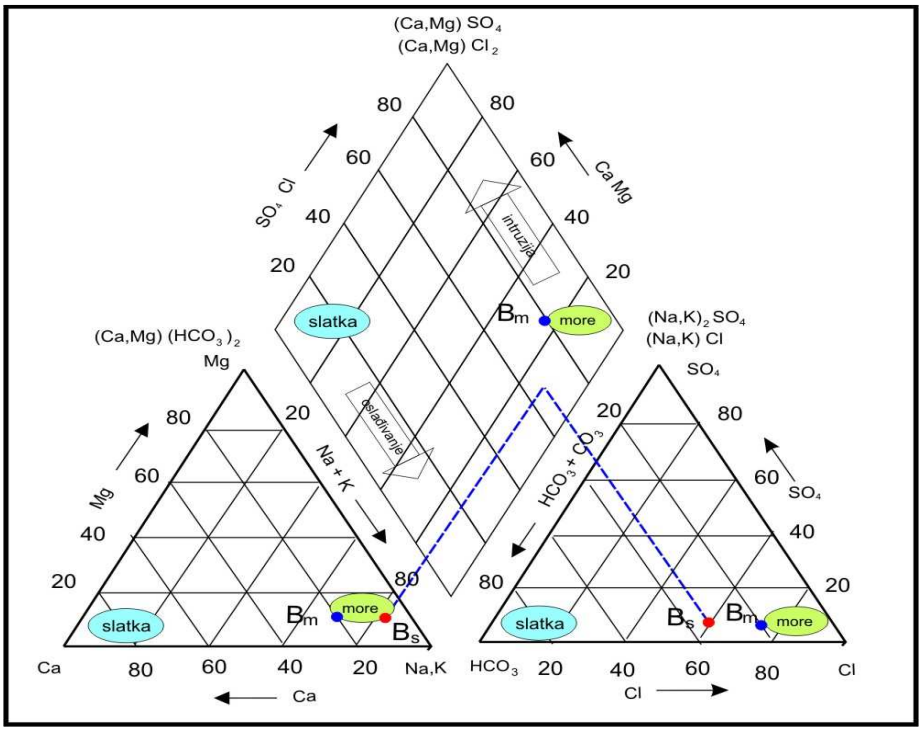
Vodonosnici pod utjecajem mora ostvaruju svoju vezu s morem na tri načina: neposredno kroz zonu miješanja ili indirektno infiltracijom marinskih oborina, ili njihovom kombinacijom.

Najjednostavniji način određivanja direktnog utjecaja mora na priobalne vodonosnike je mjerenjem elektrolitičke vodljivosti (EC) i ukupno otopljene krute tvari (TDS u mg/L) ili ukupne mineralizacije koja predstavlja koncentraciju svih otopljenih soli (mg/L). Nakon toga slijedi određivanje koncentracije otopljenog klorid iona (Cl^-). Ukupna mineralizacija morske vode prosječno iznosi približno 34000 – 35000 mg/L, a slatkom, površinskom i podzemnom vodom se smatra voda čija mineralizacije ne prelazi 1000 mg/L (Hem, 1985). Međutim, takav pristup je moguće primijeniti samo u ekstremnim slučajevima kada postoji direktna intruzija (prodor) morske vode u podzemne vode ili jezera. Puno pouzdaniji način je određivanje hidrogeokemijskog facijesa koji se temelji na izračunima postotnih udjela milimolekvivalenata osnovnih iona i unosom vrijednosti u tzv. Piperov dijagram (Slika 6).

Korištenjem Piperovog dijagrama se tipološki može jednostavno odrediti geokemijska pripadnost vode (Slika 6), a mogu se prepoznati uvjeti jednostavnog tzv. konzervativnog miješanja slane i slatke vode, ali i prepoznati geokemijski procesi koji se javljaju prilikom miješanja slane i slatke vode, direktna intruzija, oslađivanje zaslanjene vode, ionska izmjena, adsorpcija i slično (Slika 7). Na sličan način, za bržu procjenu mogu se koristiti i molarni omjeri pojedinih osnovnih iona npr. omjer Mg/Ca, Na/Cl ili SO_4/Cl. U geokemiji voda često se upotrebljavaju i drugi ionski omjeri, geokemijski i izotopni traseri (Kapelj, 2010). Vodonosnici pod utjecajem mora ne moraju uvijek imati povišenu mineralizacije te se stoga samo primjenom geokemijskih postupaka poput Piperovog dijagrama ili ionskih omjera može ocijeniti utjecaj mora. Tako na primjer i padaline koje nastaju iznad oceana i mora imaju isti ionski omjer kao i morska voda, a ukupna mineralizacija im je često i tri do četiri reda veličine manja od mineralizacije morske vode.



Slika 6. Prikaz hidrogeokemijskih facijesa u rombu Piperovog dijagrama (Deutsch, 1997 preuzeto iz Kapelj, 2010)



Slika 7. Prikaz miješanja morske i slatke vode s tendencijom intruzije morske vode i oslađivanja zaslanjene vode te efekt ionske izmjene na Piperovom dijagramu (Appelo i Postma, 2005 preuzeto iz Kapelj, 2010)

Proučavanjem jezera bavi se limnologija (Lerman, 1978). Limnologija je interdisciplinarna znanost koja obuhvaća geologiju, hidrogeologiju, hidrologiju, hidrodinamiku, odnosno termodinamiku, geokemiju, biogeokemiju i biologiju jezerskih sustava.

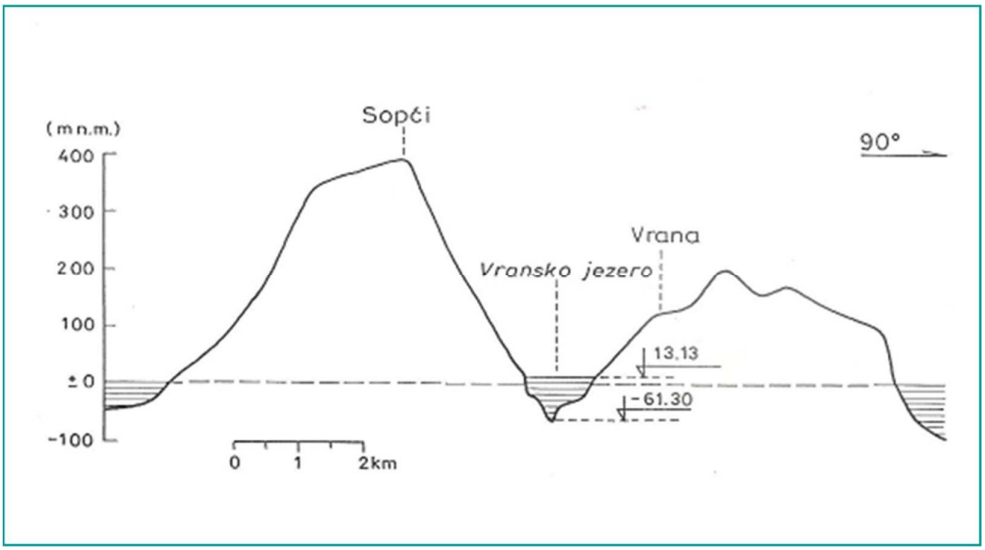
Prema svom kemijskom sastavu jezera mogu biti slatkovodna, boćata/brakična i slana. Obično u aridnom područjima gdje je isparavanje veće od dotoka svježe vode, dolazi do postupnog porasta koncentracije otopljenih minerala u vodi pa jezera postaju brakična ili slana. U određenim geološkim i strukturnim odnosima, brakična jezera nastaju i u priobalnim područjima koja su pod utjecajem mora (npr. Vransko jezero kod Pakoštana). Brakična jezera sadrže između 1 i 10 g/L otopljenih tvari, a ona s više od 10 g/L nazivaju se slana jezera. Jezera se razlikuju i prema stupnju trofičnosti, odnosno prema stupnju bioprodukcije koja za mjeru ima koncentraciju hranjivih soli dušika i fosfora, ukupno otopljenog kisika i zasićenosti kisika, sadržaju organske tvari te klorofila. Prema kriteriju trofije jezera mogu biti oligotrofna, oligotrofno-

mezotrofna, mezotrofna i eutrofna pri čemu bioprodukcija raste od oligotrofnog prema eutrofnom stanju. S obzirom na raspodjelu temperature jezerske vodne mase koje utječe na hidrodinamiku u jezerima, jezera mogu biti monomiktična, dimiktična i polimiktična. Kod monomiktičnih jezera dolazi do obrata vodene mase i njenog potpunog miješanja jednom godišnje , kod dimiktičnih dva puta godišnje, a kod polimiktičnih više puta godišnje ili postoji neprestano strujanje i miješanje vode u jezeru. Kod monomiktičnih jezera razvija se termalna stratifikacija vodene mase tijekom godine, a kod dimiktičnih dva puta godišnje (Lerman, 1978).

3. ODABRANA JEZERA POD UTJECAJEM MORA

3.1. Vransko jezero na otoku Cresu

Vransko jezero je slatkovodno jezero u središnjem dijelu otoka Cresa. Dugo je oko 5,5 km, široko do 1,5 km, a površina mu iznosi 5,5 km². Vransko jezero je kriptodepresija, što znači da je površina jezera iznad razine mora, a dno jezera je ispod površine mora. Maksimalna apsolutna dubina je -61 mnm , ili relativna dubina 74,13 m (slika 8) (Kapelj, 1997).



Slika 8. Topografski poprečan profil kroz Vransko jezero (preuzeto iz Kapelj, 1997)

Na slici 8. Možemo vidjeti razliku vodostaja jezera i razine mora. Vodu iz jezera koriste stanovnici Cresa kao i stanovnici otoka Lošinja. Voda iz jezera izvrsne je kakvoće te se bez pročišćavanja koristi za vodoopskrbu. Što se tiče biološke raznolikosti Vransko jezero je još nedovoljno biološki istraženo o čemu svjedoči i nedavni neočekivani nalaz slatkovodnih spužvi na njegovu dnu. Budući da jezerska voda potječe pretežito od padalina i neposrednog sliva, njihova promjenjivost odražava se u godišnjoj promjenjivosti godišnjih vodostaja. U četrdesetogodišnjem razdoblju (1929.-1968.) srednja razina iznosila je 13,73 metra iznad morske razine.

Tablica 1. Srednje godišnje razine Vranskog jezera (1929.-1968.) (preuzeto iz Ožanić i Rubinić, 1994.)

Godina/Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1920	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,11
1930	12,19	12,93	12,76	13,26	14,77	14,54	15,84	15,52	15,75	14,67
1940	14,89	15,29	14,95	14,48	13,66	13,76	12,55	13,06	13,12	12,77
1950	12,47	14,27	13,88	13,51	12,83	13,06	12,73	12,28	12,56	12,35
1960	13,86	15,19	14,31	13,88	13,30	14,22	13,96	14,27	13,42	-

Kompleksnu hidrološku bilancu Vranskog jezera s pripadajućim slivom predložio je Bonacci (1995). Uzeo je u obzir 9 komponenti:

ΔV_1 +/- $\Delta V_2 = P_1 + P_2 - (ET_1 + E_2 + C + I) + Q$

ΔV1 – promjena volumena podzemnih voda u slivu

ΔV2 – promjena volumena voda akumuliranih u jezeru

P_1 - padaline na jezeru isključujući površinu jezera

P_2 - padaline na površinu jezera

ET_1 - evapotranspiracija sliva bez uključivanja jezera

E_2 – evaporacija sa površine jezera

C – crpljenje vode za potrebe otočkog vodovoda

I – gubici vode procjeđivanjem iz jezera u more

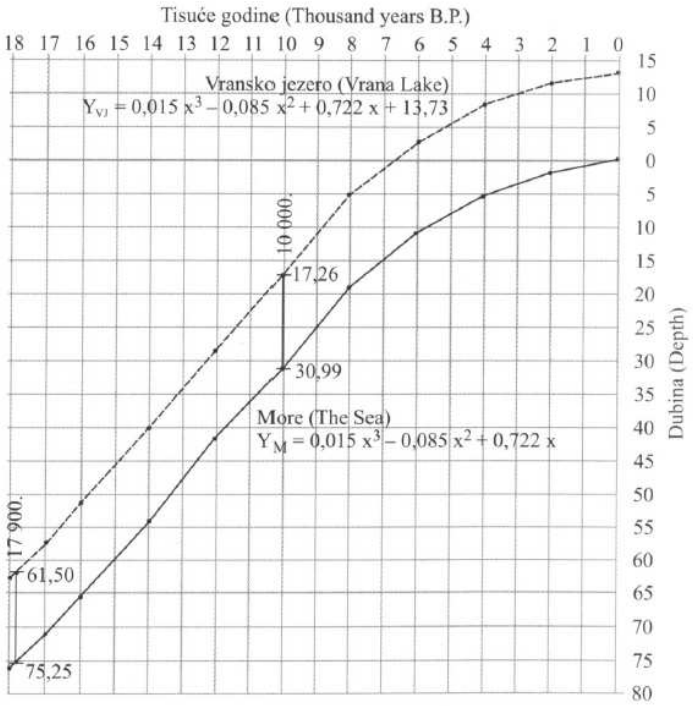
Q – eventualni podzemni dotok iz mora ili sa nekog drugog sliva u jezero

Slatkovodno Vransko jezero okruženo je slanim Jadranskim morem. Ni jedna točka na obali Vranskoga jezera nije udaljenija od jadranske obale više od 5 kilometara. Profili, odnosno batimetrijske i orografske karte pokazuju da je morsko dno zapadno od Cresa duboko 45-55 metara a istočno 77-93 metara. Odavno je poznato da je to potopljeni dinarski reljef. Ta je činjenica produbljena, pa se uzima da se i taj dio reljefa našeg primorja ne može objasniti bez uzimanja u obzir nižeg položaja morske razine u dijelu virma i u holocenu. Krški

procesi su bili vrlo intenzivni (niska temperatura, razvoj tajge i povećana količina otopljene karbonatne kiseline). Polazeći od spomenutih činjenica, može se zaključiti da je postanak i razvoj Vranskog jezera već poznat jer se mora dovesti u uzročno posljedičnu vezu s izdizanjem razine Jadranskog mora poslije maksimuma virmskog glacijala prije 10000 do 12000 godina (Šegota , 1968, Šegota i Filipčić, 2001).

Kad se morska razina promatra po stoljećima onda se može generalizirati i tretirati samo morsku razinu uopće. Nije potrebno posebno govoriti o razini Jadranskog mora, ili pak stalno naglašavati da se radi o razini svjetskog mora. Položaj morske razine (Slika 9) prikazan je kubnom funkcijom:

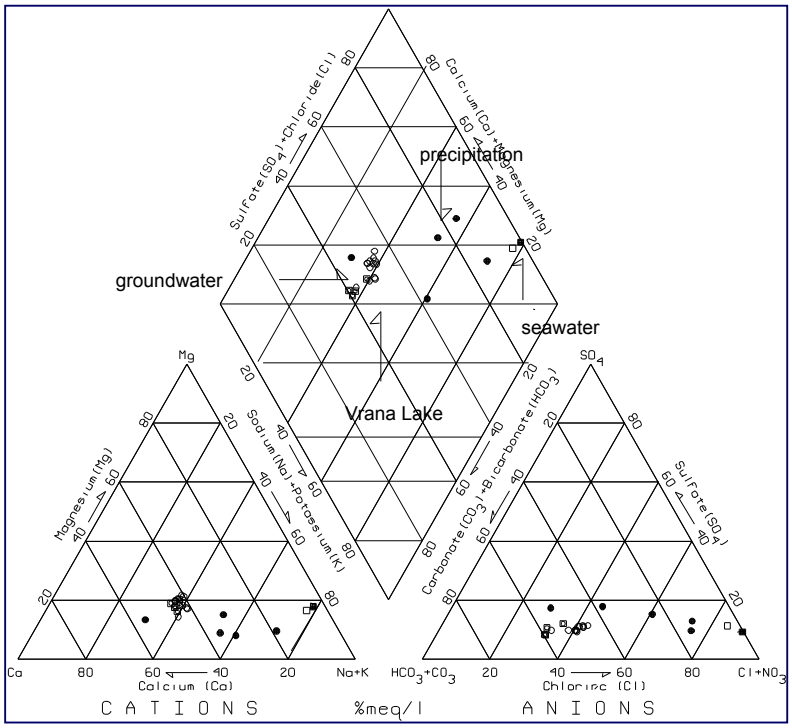
$$Y_m = 0{,}015\ x^3 - 0{,}085\ x^2 + 0{,}722\ x$$



Slika 9.Položaj morske razine i kretanje razine Vranskog jezera (preuzeto iz Šegota i Filipčić, 2001.)

Da je Vransko jezero slano jezero, tj. da je njegova slana voda jadranskog podrijetla, da postoji stalna komunikacija Jadrana i Vranskog jezera, tada bi razina Vranskog jezera bila izjednačena s razinom Jadranskog mora. Dakako, razina jezera ne bi bila fiksna jer su količine kiše, odnosno pritjecanje vode iz slivnog područja jezera, kao i evaporacija i svi drugi parametri varijabilne veličine. Vransko jezero ima slatku vodu i nema nikakvog dokaza da jadranska voda prodire, ili je prodirala, u jezero. Međutim, mora postojati hidrodinamička veza između Vranskog jezera i mora jer bi uz veliku evaporaciju od cca 70% Vransko jezero postalo vremenom sve slanije jezero što ovdje nije slučaj (Kapelj, 1997; Biondić et al., 1997).

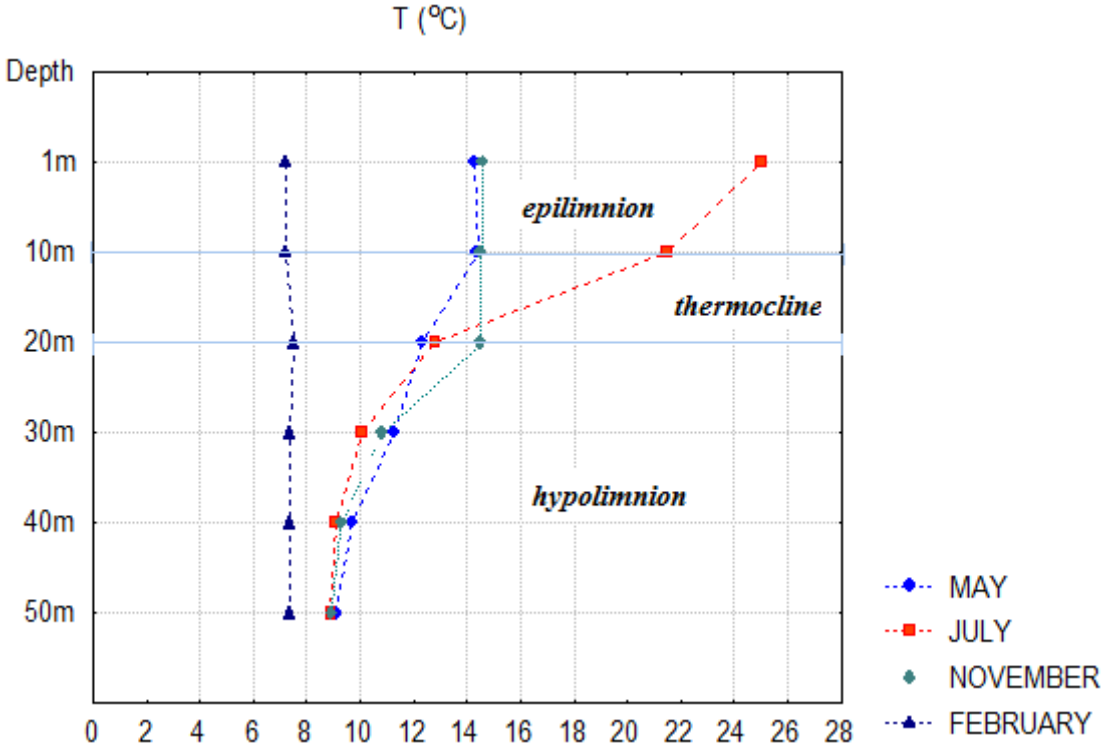
Međutim, bez obzira što je mineralizacija vode u veličinama karakterističnim za slatku vodu, prema geokemijskom tipu, voda Vranskog jezera na otoku Cresu je miješanog tipa, odnosno CaNa-HCO_3Cl do NaCaHCO_3Cl tipa zbog postotnih udjela, odnosno ekvivalentnih odnosa pojedinih kationa što se najbolje vidi na Piperovom dijagramu (Slika 10).



Slika 10. Piperov dijagram vode Vranskog jezera na otoku Cresu (preuzeto iz Kapelj, 1997; Biondić et al., 1997)

Stoga se može zaključiti da je geokemijski tip vode Vranskog jezera posljedica utjecaja četiri čimbenika: sastava marinskih padalina, sastava podzemnih voda iz neposrednog sliva, evaporacije s otvorene vodene površine i hidrodinamičke veze s morem.

Vransko jezero je oligotrofno, što znači da ima malu bioprodukciju te stoga i malo otopljenih hranjivih tvari u jezeru. Jezero ima koncentraciju hranjivih soli dušika manju od 0,01 mg/l, a koncentraciju hranjivih soli fosfora manju od 0,4 mg/l. Jezero je i monomiktično što znači da jednom godišnje dolazi do obrata jezerske vode zbog razlike u temperaturi, odnosno gustoći jezerske vode po dubini (kraj zime, obično veljača).



Slika 11. Ovisnost temperature po dubini vodenog stupca po mjesecima u godini (preuzeto iz Kapelj , 1997; Biondić et al., 1997)

Tijekom proljeća počinju rasti temperature zraka i voda jezera se postupno zagrijava uz razvijanje termalne uslojenosti jezerske vode na područje epilimnija koji je pod sezonskim utjecajem insolacije i hipolimnija koji je tijekom razdoblja stratifikacije u potpunosti odvojen od utjecaja s površine (Slika 11). Između ta dva sloja razvija se područje termokline koje predstavlja prijelaznu zonu postupnog zagrijavanja i geokemijskog zoniranja jezerske vodene mase. Stratifikacija jezerske vodene mase se samo odražava na pokazateljima koji su ovisni o sezonskim uvjetima, kako temperaturnim, tako i biološkim (O_2, pH, HCO_3^-, CO_2, SiO_2), ostali hidrokemijski pokazatelji pokazuju priličnu ujednačenost po dubini većeg dijela jezera. (Kapelj, 1997; Biondić et al., 1995; 1997).

3.2. Ponikve i Jezerce na otoku Krku

Otok Krk je najveći jadranski otok (409.9 km^2), uz nekoliko površinskih rječica ima i dva jezera, tj. akumulacije slatke vode: Jezero i Ponikve. Obje akumulacije uključene su u vodoopskrbni sustav otoka.

Slika 12. Prikaz otoka Krka (preuzeto s http://www.arvalis.hr/Karta%20OK.html, 11.06.2018. u 8:00)

Akumulacija Jezero smještena je na sjevernom dijelu otoka, a 11 km južnije, bliže sredini otoka, smještena je akumulacija Ponikve (Slika 12).

Slika 13. Jezero kod Njivica (preuzeto s www.visit-omisalj-njivice.hr/54-jezero.aspx, 11.06.2018 u 9:30)

Jezero (45° 10' N, 14° 30' E) kod Njivica već je nekoliko desetljeća u središtu interesa, prvenstveno zbog činjenice da se iz njega pitkom vodom opskrbljuje čitav sjeveroistočni dio otoka Krka, što je posebno značajno za razvoj osnovne privredne djelatnosti – turizma (Slika 13).

Ukupna površina zajedno s tresetnim rubom iznosi 0,64 km^2 (64 ha). Jezero podliježe vertikalnoj termičkoj stratifikaciji pri čemu nastaje jasno omeđen epilimnij dubine oko 4 metra, ali samo u dubljem istočnom dijelu, gdje dubina iznosi više od osam metara. U plićem zapadnom dijelu Jezera ne zamjećuje se stratifikacija i on se može tijekom cijele godine smatrati relativno homogenom sredinom. Općenito je zaključeno da je Jezero trofično (Popijač, 2003) .

Jezero Njivice je izgrađeno u krškom polju kod mjesta Njivice. Projektom su pregrađeni raniji prirodni površinski izljevi iz krškog polja prema moru i stvorena je akumulacija od oko 2-3 milijuna m^3 prosječne dubine oko 5 m. Kaptažni zahvat na jezeru Njivice je sedamdesetih godina izgrađena akumulacija u prostranom krškom polju Veli i Mali Lug, čime su bitno povećane mogućnosti eksploatacije vode na području Njivica. Prema tome u području Njivica se za vodoopskrbu koristi prirodni izvor Vrutak i zahvat iz akumulacije. Vode se pročišćavaju na uređaju izgrađenom u blizini zahvata iz akumulacije. Maksimalna moguća eksploatacija iz jezera i kaptiranog izvora je 120 l/s, a prosječna godišnja oko 45 l/s (Biondić, 2003, 2005).

Jezero Njivice ima velikih problema s kakvoćom vode, kako iz jezera tako i s izvora Vrutak. Čak niti izgrađen uređaj za pročišćavanje jezerskih voda nije donio konačno rješenje. Onečišćenja su uglavnom lokalna i to zbog neodgovarajućeg deponiranja otpadnog materijala iz uređaja.

Osim kemijskih onečišćenja voda je i bakteriološki visoko opterećena, jer je jezero plitko i u potpunoj termičkoj promjenljivosti i visokoj bioprodukciji (Biondić, B., 2003).

Kaptažni zahvat Ponikve vezan je za podzemnu vodu krškog zaleđa i površinsku vodu prikupljenu u akumulaciji. Do izgradnje brane i formiranja akumulacije za vodoopskrbu je korištena isključivo podzemna voda na izvorima osim u vrijeme poplava, a kasnije je cijeli sustav došao pod utjecaj akumulacije, pa i kakvoća vode. U hladnijim razdobljima godine i za visokih voda, vode akumulacije su dobre kakvoće. Tijekom ljeta se voda zagrijava, postaje mutna i prezasićena kisikom u površinskom dijelu, a ima i pojava povećanih koncentracija željeza i mangana. Sve to čini vodu nepovoljnom za direktno korištenje u vodoopskrbi. Podzemna voda je daleko bolje kakvoće od jezerske, ali jednako kao na drugim krškim izvorima opterećena bakteriološkim onečišćenjem.

.

Slika 14. Akumulacija Ponikve na otoku Krku

(http://www.hidroinzenjering.hr/hr/podrucja-djelatnosti/zastita-okolisa/projekti-regulacije-trofije-u-akumulacijama/projekt-regulacije-trofije-akumulacije-ponikve-na-otoku-krku/

Akumulacija Ponikve (Slika 14) je najznačajniji vodni resurs na otoku Krku. Izvedena je u tipičnom krškom polju izgradnjom brane, koja sprječava otjecanje vode iz izvorišne zone prema prirodnim ponorima. U prvoj fazi razvoja kaptažnog zahvata Ponikve su eksploatirani prirodni izvori Mala Fontana i Škrilj, a zatim je izgrađena kapatažna galerija Vela Fontana. U daljnjem razvoju crpilišta Ponikve je izgrađena brana, kojom je zadržan dio visokih vodnih valova i razina eksploatabilnih količina dovedena na prosječnih 100 l/s. Kaptažni zahvat Ponikve je vezan za podzemnu vodu iz krškog zaleđa i površinsku voda, koja se prikuplja u akumulaciji. Do izgradnje brane za vodoopskrbu je korištena

samo podzemna voda krških izvora uz rub Ponikva, a po završenoj izgradnji cijeli sustav je pod utjecajem akumulacije (Biondić, B., 2005).

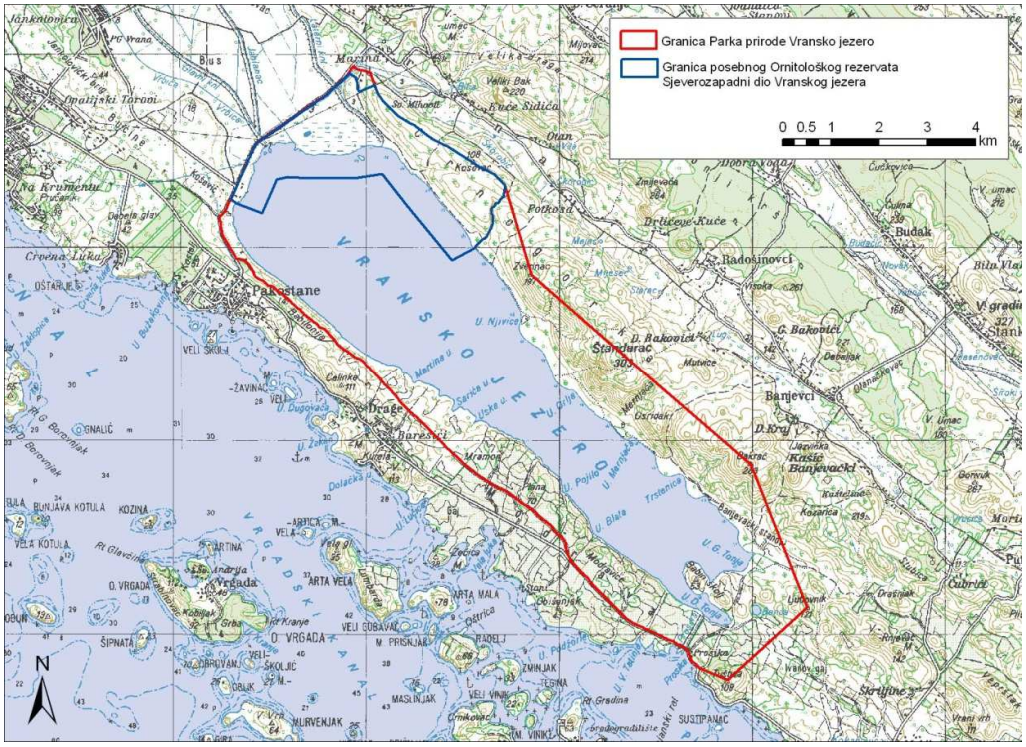
U hladnijim razdobljima godine i za visokih voda, vode akumulacije su dobre kakvoće.

Akumulacija Ponikve razlikuje se od akumulacije Jezero po nižim koncentracijama klorofila a i orto-fosfata, dvostruko manjoj biomasi fitoplanktona i zooplanktona te većim vrijednostima prozirnosti. Očito je onda da je i produktivnost (trofički status) akumulacije Ponikve manja od produktivnosti akumulacije Jezero. Rezultati istraživanja potvrdili su hipotezu da je akumulacija Ponikve tipično plitko jezero obraslo podvodnom makrovegetacijom i s bogatim makrozoobentosom, a da je akumulacija Jezero suprotno stanje plitkog jezera, bez podvodne makrovegetacije i sa zamućenom vodom, punom fito- i zooplanktona, a s vrlo siromašnim makrozoobentosom (Popijač, 2003).

Uzroci dosta velikih razlika između akumulacija Jezero i Ponikve najvjerojatnije su mnogostruki, a mnogo je manja vjerojatnost da je odgovoran samo jedan čimbenik. Za glavne uzročnike pogoršanja stanja u akumulaciji Jezero, kao najvjerojatnije su: povećani unos nutrijenata, unos fitofagnih i bentivornih riba, uklanjanje makrovegetacije od strane čovjeka, te ispiranje aluminijevih spojeva i njihovo gomilanje u jezeru. Dugogodišnja visoka koncentracija aluminija u vodi i sedimentu akumulacije Jezero dokaz je intenzivnog utjecaja čovjeka na akumulaciju od 1970ih do danas. Kako se planira smanjivanje stupnja trofije u jezeru Ponikve, među ostalim i uklanjanjem vodene makrovegetacije, preporuča se selektivno uklanjanje samo većih plivajućih i plutajućih biljaka, poput mrijesnjaka, a naselja višestaničnih algi Chara sp. da se u cijelosti ostave takva kakva jesu, jer su mnoga istraživanja dokazala da su ta naselja najkorisnija za održavanje kvalitete vode i odgovorna za najveću raznolikost i brojnost makrozoobentosa.

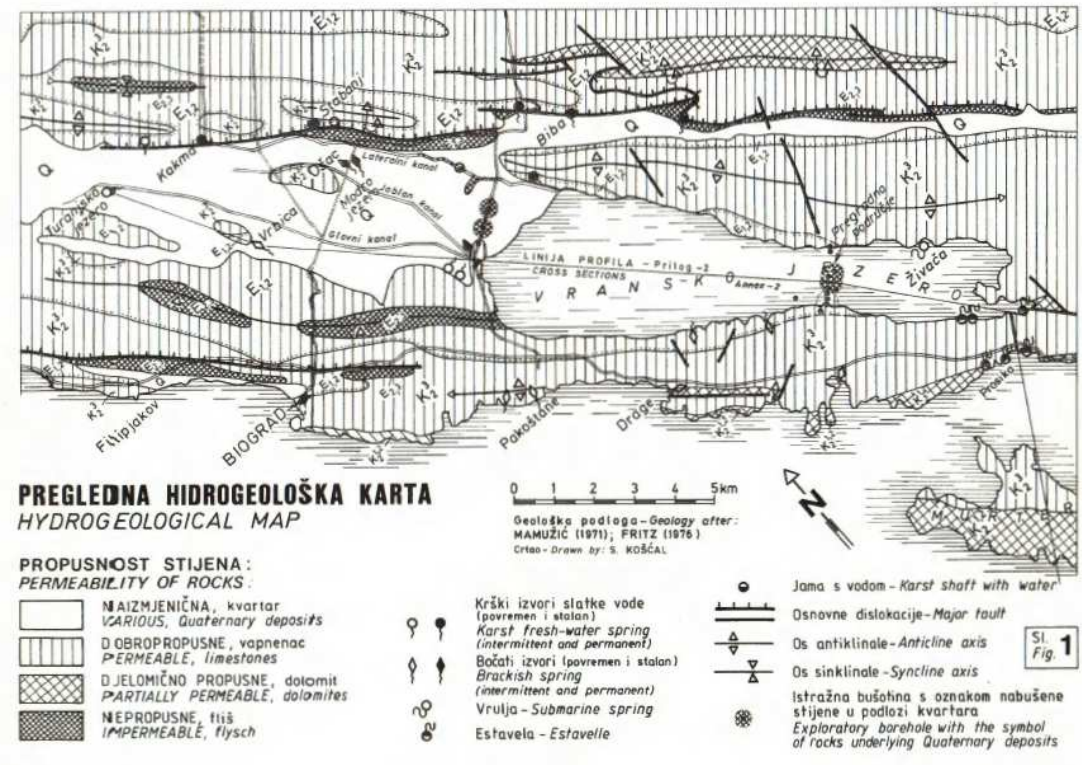
3.3. Vransko jezero kod Pakoštana

U sjevernoj Dalmaciji, između dva poviješću bogata grada Šibenika i Zadra nalazi se prirodni fenomen blizine dva jednako lijepa, a opet, toliko različita plavetnila. S jedne strane razvedena jadranska obala, poznata po svojoj primamljivoj ljepoti i čistoći, a sa druge, najveće prirodno jezero u Hrvatskoj (Slika 15). Kao jedno od rijetkih, gotovo netaknutih prirodnih staništa ptica vodarica, to je područje osebujnih specifičnosti i bioraznolikosti 1999. godine proglašeno parkom prirode. Granice Parka smještene su između Pirovca i Pakoštana. Park se prostire na otprilike 57 km^2, a najveći dio tog područja, oko 30,02 km^2 odnosi se na Vransko jezero položeno u pravcu sjeverozapad-jugoistok, pružajući se paralelno s morskom obalom od koje je mjestimično udaljeno manje od kilometra. Po svom položaju i karakteristikama specifično je u Hrvatskoj ali i na širem europskom prostoru. Ono je zapravo krško polje ispunjeno boćatom vodom i predstavlja u geomorfološkom smislu kriptodepresiju.



Slika 15. Geografski prikaz Vranskog jezera (preuzeto s http://www.pp-vransko-jezero.hr/hr/prostorni-plan/ , 8.7.2018. 11:35)

Dugo je 13,6 km, široko do 3,5 km, a duboko do 3,9 m. Vodu dobiva iz nekoliko izvora te potoka Skorobića. Vransko jezero i polje s okolnim izvorima hidrogeoloski je veoma zanimljiv teren. U sklopu hidrogeološke studije Ravnih Kotara i Bukovice ovo je područje relativno detaljno hidrogeološki istraženo a za potrebe idejnog rješenja pregrade na Vranskom jezeru izvedeni su dodatni geološki istražni radovi. Za analizu razvitka reljefa potrebno je upoznati osnovu geološku i hidrogeološku građu terena. Osnovna geološka i hidrogeološka građa šireg terena Vranskog jezera i polja prikazana je na preglednoj karti (Slika 16). Na karti su označeni i podaci registrirani istražnim bušenjem i kartiranjem lateralnog kanala.



Slika 16. Hidrogeološka karta Vranskog jezera (preuzeto iz Fritz, 1984.)

Teren oko Vranskog polja i jezera i izgrađuju sedimentne stijene krede i paleogena. Zastupljene su krednim i eocenskim vapnencima, krednim dolomitima i eocenskim flišem. Danas je veza jezero--more ostvarena izvedbom kanala na Prosici, ali je također i danas dobro uočljiva u tom području i kroz vapnenački greben između jezera i mora. U tom je području naime registrirano i

s jezerske i s morske strane više vodnih objekata promjenjive funkcije ovisno o sezonskoj razlici nivoa mora i jezera. Češće je stanje da je razina jezera viša od razine mora. Tada oko Prosike s jezerske strane poniru znatne količine ujezerene vode, koja istječe na priobalnim izvorima uz morsku obalu. Kada je razina mora viša od razine jezera (a to se događa u jesen kad nadođe veliko jugo) situacija je obrnuta, morska voda uvire u mjesta inačutjenacajae priobalnih izvora (pa su to tada ponori), prolazi kroz greben i izvire na obali Vranskog jezera. Ovi podaci govore o neobično dobroj vezi jezero-more kroz vapnenački greben oko Prosike. Nesumnjivo je da je ta veza bila dobra i u najmlađoj geološkoj prošlosti, pa je dio grebena oko Prosike vršio funkciju ušća površinskih voda Vranske depresije u more u cijelo vrijeme cijelog razvitka današnje kriptodepresije i u vrijeme taloženja kvartarnih taložina. Kao cilj istraživanja utjecaja mora na Vransko jezero na terenu postavljena je determinacija anomalnih stanja u vodi Parka prirode Vransko jezero koja bi mogla biti posljedica pritisaka na okoliš. Očekuje se da pritisci na kakvoću vode Vranskog jezera dolaze od poljoprivrede u slivnom području (Kapelj, 2005), ali i utjecajem mora i klime. Metode uključuju analizu dinamike temperatura i oborina i dinamika razine morske i jezerske vode za razdoblje promatranja od siječnja 2000. do prosinca 2009. Dinamika razina mora i jezerske vode praćena je na vodokazima postavljenim na dvije lokacije. Uzorkovanje vode provedeno je na dvije mjerne točke u sklopu državnog praćenja stanja voda. Usporedbom dinamike razine vode u jezeru i razine mora s dinamikom koncentracije iona kalcija, magnezija, klora, te sulfatnog iona, vidljivo je da odnos razine vode u jezeru i razine mora ima direktan i snažan utjecaj na kemizam jezerske vode. Alkalitet i njena visoka električna vodljivost posljedica su miješanja s morskom vodom. Činjenica da se promjenom odnosa razine jezerske vode i razine mora mijenja i koncentracija soli u jezeru pokazuje da je morska voda izvor soli u jezeru. Prodor morske vode u jezero korespondira s dugotrajnošću i izraženošću sušnih razdoblja. Podatci o tvrdoći jezerske vode na Prosici prate isti trend kao i podatci o ionima i električnoj vodljivosti. Činjenica da se promjenom odnosa razine jezerske vode i razine mora mijenja i koncentracija natrija i klorida u jezeru pokazuje da je morska voda izvor zaslanjenja Vranskog jezera (Rubinić et al., 2008; Kapelj et al. ,1997, 2003, 2005, 2008; Kapelj, 2004).

Na osnovi podataka i stečenih spoznaja prikupljenih na osnovi provedenih hidrogeoloških, kao i detaljnih hidrogeokemijskih istraživanja u području sliva Vranskog polja i jezera moguće je zaključiti (Kapelj et al.,1997; 2003, 2005, 2008; Kapelj, 2004). :

U slivu ne postoje problemi manjka količina podzemnih voda zbog njene eksploatacije, barem ne u mjeri i formi koje bi trebale zabrinjavati korisnike, a to su vodoopskrba, poljoprivreda uz istodobno očuvanje Parka prirode kao ekološke cjeline i istovremeno turistički atraktivnog odredišta. Razlog tome leži u slijedećim činjenicama:

- glavnina podzemnih tokova i zaliha podzemnih voda vezana su za krški vodonosnik,
- pokrov krškog vodonosnika u Vranskom polju je propustan i ondje ne postoji mogućnost zadržavanja podzemnih voda tijekom sušnih razdoblja, već sve oborine koje padnu u slivu se na terenima bez pokrova vrlo brzo infiltriraju u podzemlje, a nešto sporije kroz pokrov vodonosnika. Pokrov vodonosnika je granulometrijski vrlo heterogen u vertikalnom i horizontalnom smislu, a njegova debljina se smanjuje prema rubovima polja.
- crpne količine na postojećim izvorima su vrlo male u usporedbi s ukupnim dotocima u jezero koji se odvijaju uglavnom podzemnim putem te je stoga malo vjerojatno da mogu značajno utjecati na količinu i razinu podzemne vode u tako velikom slivu.

Rezultati provedenih istraživanja upućuju na zaključak da u slivu postoje pokazatelji koji upućuju na pogoršanje kakvoće površinskih (Vransko jezero) i podzemnih voda (Kapelj et al., 1997; 2008):

1. Prirodnim utjecajima – zaslanjenje podzemnih i površinskih voda zbog povećanog utjecaja mora uslijed smanjenog dotoka slatke vode iz kopnenog zaleđa tijekom dužih sušnih razdoblja. Tada dolazi do smanjenja debljine sloja slatke vode u podzemlju na širem prostoru sliva što se uglavnom može tumačiti klimatskim promjenama, a ne postojećom

eksploatacijom podzemne vode. Klimatske promjene koje imaju utjecaj na godišnju raspodjelu oborina nedvojbeno su i u prošlosti utjecale na intenzitet i duljinu trajanja poplavnih razdoblja te s tim u vezi i veličinu rasprostiranja plavljenih površina.

2. Antropogeni utjecaji koji u današnje vrijeme u prvom redu uzrokuju nepročišćene otpadne vode naselja, kao i poljoprivredna aktivnost u Vranskom polju, zatim u Nadinskom blatu te u Miranjskom i Benkovačkom polju, zatim izgradnja i proširenje kanala Prosika zajedno s izgradnjom melioracijskih kanala u prošlosti, sigurno su uzrokovali smanjenje rasprostiranja povremeno plavljenih površina i skratile duljinu trajanja poplavnih razdoblja.

4. KORIŠTENJE I ZAŠTITA JEZERSKIH SUSTAVA

Opskrba vodom u 2016. iznosila je ukupno 44 764 919 000 m^3, što predstavlja povećanje od 8,8% u odnosu na 2015. Prema podrijetlu vode za opskrbu voda iz akumulacija činila je 87,7% (86,4% u 2015.), voda iz vodotoka 11,4% (12,1% u 2015.), a ostatak od 0,9% (1,5% u 2015.) odnosi se na vodu iz javnog vodovoda, drugih sustava, podzemne vode te na vodu iz izvora, jezera i mora (preuzeto s www.dzs.hr 8.7.2018.u10:49).

Pod opskrbom vodom podrazumijevaju se sve količine vode kojom su se poduzeća/trgovačka društva opskrbljivala, bez obzira na to jesu li te vode iskorištene za vlastite potrebe ili su prodane drugim korisnicima. Uzete količine vode određuju se na osnovi vodomjera. Ukoliko nema vodomjera, količine zahvaćenih voda procjenjuju se prema normativima za određenu djelatnost ili se uzimaju iz projektne dokumentacije. Podaci o opskrbi vodom dani su prema podrijetlu voda: iz javnog vodovoda, drugih sustava ili vlastitog vodozahvata, a vlastiti vodozahvat može biti iz podzemnih voda, izvora, vodotoka, jezera, akumulacija ili mora.

Prema tome se iz jezera tijekom 2015. godine ukupno iskoristilo 512 000 m^3 vode, a u 2016. godini 7 387 000 m^3 vode što je povećanje veće od reda veličine (Slike 17 i 18).

tis. m^3
'000 m^3

		Iskorištene količine vode *Volume of water used*								
		Ukupno *Total*	iz javnog vodovoda *From public water supply system*	dobivene iz drugih sustava *Received from other sources*	iz vlastitih vodozahvata *From own water supplies*					
					iz podzemnih voda *From underground waters*	iz izvora *From springs*	iz vodotoka *From watercourses*	iz akumulacija *From reservoirs*	iz jezera *From lakes*	iz mora *From sea*
		2015.								
	Ukupno *Total*	41 162 914	10 341	5 187	40 347	88 849	4 988 700	35 569 585	512	459 393
B	Rudarstvo i vađenje *Mining and quarrying*	7 249	627	21	11	-	1 822	-	242	4 526
C	Prerađivačka industrija *Manufacturing*	61 089	8 741	615	5 403	274	7 111	11 948	141	26 856
D	Opskrba električnom energijom, plinom, parom i klimatizacija *Electricity, gas, steam and air conditioning supply*	41 011 909	161	3	2 073	60 828	4 963 418	35 557 415	-	428 011
E	Gospodarenje otpadom te djelatnosti sanacije okoliša *Water supply; sewerage, waste management and remediation activities*	82 667	812	4 548	32 860	27 747	16 349	222	129	-

Slika 17. Opskrba vodom u 2015. godini (preuzeto s www.dzs.hr 8.7.2018. u 10:49)

		2016.								
	Ukupno *Total*	44 764 919	10 037	646	8 500	74 299	5 092 475	39 262 524	7 287	309 151
B	Rudarstvo i vađenje *Mining and quarrying*	2 697	383	25	462	1	174	100	167	1 385
C	Prerađivačka industrija *Manufacturing*	58 032	9 219	619	5 880	252	4 787	4 312	7 101	25 862
D	Opskrba električnom energijom, plinom, parom i klimatizacija *Electricity, gas, steam and air conditioning supply*	44 703 806	123	2	2 156	73 995	5 087 514	39 258 112	-	281 904
E	Gospodarenje otpadom te djelatnosti sanacije okoliša *Water supply; sewerage, waste management and remediation activities*	384	312	-	2	51	-	-	19	-

Slika 18. Opskrba vodom iz 2016. godine (preuzeto s www.dzs.hr 8.7.2018. u 10:53)

Prema navedenim pokazateljima nije vidljivo koliko vode se koristilo iz otočnih i priobalnih jezera. Evidentno je da korištenje jezerskih sustava pod utjecajem mora za vodoopskrbu stanovništva i u druge svrhe smanjuje debljinu sloja slatke vode u priljevnim područjima, poglavito kriptodepresijama što može izazvati u budućnosti i veći utjecaj mora, odnosno povećanje saliniteta spomenutih jezera ukoliko se promijene klimatske i posljedično hidrološke prilike.

Ostale opasnosti kojima su pojedina jezera ugrožena odnose se na ostale antropogene utjecaje poput doprinosa otpadnih voda iz domaćinstava i drugih sadržaja poglavito turističkih, zatim utjecaja otpadnih voda iz poljodjelstva i stočarstva, utjecaja nekontroliranih odlagališta otpada itd. Međutim, antropogene utjecaje možemo mjerama zaštite priljevnih područja jezerima smanjiti, a neke u potpunosti ukloniti izgradnjom objekata kontrolirane odvodnje otpadnih voda, pročišćavanjem otpadnih voda, sanacijom odlagališta otpada, uklanjanjem nekontroliranog otpada ili potpunim uklanjanjem izvora opasnosti.

Najveća posljedica za spomenuta jezera je smanjenje doprinosa slatke vode u jezera zbog smanjenih količina oborina na slivnim područjima. Time se

smanjuje sloj slatke vode u okršenom podzemlju i izaziva uz postojeću eksploataciju i promjena smjera gradijenta podzemnog strujanja te veća mogućnost prodora morske vode. To se poglavito odnosi na slučaj Vranskog jezera na otoku Cresu.

S druge strane, povećanje oborina u priljevnim područjima tijekom godina može pozitivno djelovati na povećanje debljine sloja slatke vode, ali negativno na kakvoću vode u smislu različitih antropogenih utjecaja. To se može spriječiti uklanjanjem ili minimaliziranjem utjecaja izvora opasnosti različitog porijekla iz priljevnih područja. U tom smislu posebno su ugrožena jezera na otoku Krku, Ponikve i Jezero kod Njivica i Vransko jezero kod Pakoštana.

5. ZAKLJUČAK

U hrvatskom priobalju nema odveć veliki broj jezera. Iz tog razloga istraživanja utjecaja mora na ta jezera bi trebala biti neotežana prevelikim količinama podataka, opažanja, itd. Pored opisanih jezera, u daljnje istraživanje bi bilo korisno spomenuti i Prokljansko jezero, smješteno u Nacionalnom parku Krka. Zbog dopiranja mora, voda pri dnu jezera je slana (oko 35 promila, što je još uvijek manje od prosjeka saliniteta u tom dijelu Jadrana), a pri površini je boćata. Kao najznačajniji utjecaji nameću se promjena razine vode u jezeru uzrokovano promjenom razine mora i promjena u kemijskom sastavu jezerske vode. Na neke promjene, kao što je promjena razine jezerske vode, je teško utjecati. Ono što se zasigurno može učiniti je smanjenje utjecaja staklenika. Takav korak podrazumijeva velik napor, no smanjenje antropogenog onečišćavanja voda bi trebao biti prvi korak. Očuvanje vode kao egzistencijalne tvari je vitalan cilj. Jezerska voda je podjednako važna u poljoprivredi, turizmu kao što je važna i za piće. Održavanje pozitivne ravnoteže otopljenih tvari, opisane na prethodnim primjerima, od iznimne je i biološke važnosti. Onečišćenje Vranskog jezera kod Pakoštana moglo bi imati katastrofalne učinke na razvijenu poljoprivredu, floru i faunu, a i turizam na tom području. Drugi opisani primjer sa kritičnim onečišćenjem je jezero Njivice. U slučaju ovog jezera na Krku onečišćenje se događa kao posljedica neodgovarajućeg deponiranja otpadnog materijala iz uređaja. Ovakvo nesustavno gospodarenje i upravljanje vodenim površinama je iznimno opasno i štetno. Voda je za otoke od vitalne važnosti. Kao što je prethodno spomenuto, vrlo mali broj otoka uopće raspolaže sa značajnijim vodenim površinama. Nažalost, iz primjera Njivica se iščitava nebriga prema skromnim resursima kojih ionako nema u izobilju.

Prvi korak ka boljem i održivom gospodarenju jezera u priobalju jest detaljno istraživanje i terensko utvrđivanje opisanih čimbenika, njihove ovisnosti o količinama padalina, kemijskom sastavu tala i stijena, salinitetu mora, količinama štetnih plinova u zraku itd. S tim podacima mogle bi se napraviti detaljnije usporedbe uvjeta, onečišćivača i primjena. To bi omogućilo puno određenije smjernice u korištenju i gospodarenju ovih vodenih površina. Također, donijelo bi saznanja koja bi uvelike olakšala istraživanja o utjecaju i korištenju dodatnih akumulacijskih jezera, ukoliko dođe do takvih projekata.

LITERATURA

Appelo, C.A.J. and Postma, D (2005): Geochemistry, Groundwater and Pollution, CRC Press, Taylor and Francis, 2nd Edition, 649 str.

Biondić, B.; Biondić, R. (2014): *Hidrogeologija Dinarskog krša u Hrvatskoj*. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Denona, 341 str..

Biondić, B. (2003): Istraživanja zaštite izvorišta vodoopskrbe na području Primorsko-goranske županije. Arhiv Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Biondić, B. (2005): Rekonstrukcija ceste D-102 na otoku Krku. Idejno rješenje. Hidrogeološko i inženjersko-geološko izvješće. Arhiv GEO-INFO, Zagreb.

Biondić, Božidar; Biondić, Ranko**;** Kapelj, Sanja (2005): The sea water influence on karstic aquifers in Croatia. COST Environment 621 Action: Groundwater management of coastal karstic aquifers. Final report / Tulipano, Luigi (ur.).Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 303-311. (ISBN 92-898-0002-X).

Biondić, B., Kapelj, S. & S. Mesić (1997): Natural tracers - Indicators of the origin of the Vrana Lake on Cres Island, Croatia. In: Kranjc, A. eds.: "Tracers Hydrology 97", Proceedings of the 7th International Symposium on Water Tracing, Portorož - Slovenia, str.113-120, 450 str., Balkema, Rotterdam.

Biondić, B., Ivičić, D., Kapelj, S. & Mesić, S. (1995): Hydrogeology of Vrana Lake on Cres Island, Croatia. First Croatian Geological Congress, Opatija 18-21.October 1995, *Proceedings 1*, 95-100, Zagreb.

Biondić, B., Biondić, R., Kapelj, S. (2000) Problem utjecaja mora na krške

vodonosnike u Hrvatskoj (2000): 2. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES, Cavtat 17-20.svibanj 2000, *Zbornik radova,*, 531-538, Zagreb.

Bonacci O., Roje-Bonacci T. *Jezera u Hrvatskoj-koliko ih stvarno poznajemo* ? Hrvatske vode 2017. 109-116.

Bonacci, O. (1987): Karst Hydrology. Springre-Verlag, Berlin-Heidelberg, 184 str.

Božićević, S. (2000): Kamen i voda – Rock and Water. Mtg - topograf, Zagreb-Velika Gorica, ISBN 953-663-06-6.

Deutsch, W.J. (1997): Groundwater Geochemistry – Fundamentals and Application to Contamination.Lewis Publishers, 221 str.

Fritz F. *Postanak i starost Vranskog jezera kod Biograda na moru* Dostupno na: http://31.147.204.208/Gelogia-Croatica/clanci/1984_Fritz_814.pdf 1984. pp. 231-243 Datum pristupa: 06.05.2018.

Hem, J.D.(1985): Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of natural water. Geological Survey Water-Supply Paper 1473, Washington.

Herak, M. (1986): A New Concept of Geotectonics of the Dinarides. Acta Geologica, 16/1, JAZU, Prirodoslovna istraživanja, 53, p. 1-42, Zagreb.

Kapelj, S. (2010): GEOKEMIJA VODA u upravljanju vodama, inženjerstvu okoliša i geoinženjerstvu, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 110 str., e-skripta, Varaždin.

Kapelj, S., Lambrakis, N., Morell, I., Petalas, C. (2005): Sources of aquifer salinisation // COST Action 621"Groundwater management of coastal karstic aquifers" / Tulipano, L.; Fidelibus, D.; Panagopoulos,A.(ur.). Luxembourg: Office

for Official Publications of the European Communities, (2005), 154-159. (ISBN 92-894-6416-X).

Kapelj, S. (2004): Selected Coastal Karst Aquifers (Croatia): Vrana Lake, Vis Island // The main coastal karstic aquifers of southern Europe: a contribution by members of the COST-621 Action 'Groundwater management of coastal karstic aquifers' (EUR 20911) / Calafora, Jose M.(ur.).Luxembourg: Office for Official Publications of the Euroepan Commities 37, 41. (ISBN 92-894-6413-5).

Kapelj, S., Kapelj, J., Tepeš, P., Biondić, B. (2008): Coastal Aquifer of the Vransko polje and the Vrana Lake Catchment and Climate Changes – Croatia. *XXXVI IAH Congress, 26. October – 1. November 2008., Toyama, Japan. Paper in Proceedings on CD edition, 1-10, and Book of Abstract*, 161, 21.

Kapelj, J., Kapelj, S., Pavičić, A. (2003): Prilog poznavanju hidrogeoloških I hidrogeokemijskih odnosa u slivu Vranskog polja i jezera. Znanstveno-stručni skup *Stabilizacija i očuvanje biološke raznolikosti Parka prirode Vransko jezero*, Gojko Pintur (ur.) Biograd, Javna ustanova Park prirode Vransko jezero. 6-11.

Kapelj, S. (1997): Hidrogeokemijske značajke Vranskog jezera na otoku Cresu. Doktorska disertacija, Rudarsko geološko naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 101 str.

Lerman, A. (1978): Lakes – Chemistry, Geology, Physics. Springer – Verlag, 363 str.

Ožanić, N., Rubinić, J. (2001): Hydraulic Limitation of Exploitation Vrana lake for Water Supply (Croatia). XXIX IAHR Congress, Bejing, China. September 2001, Book of Proceedings, Ed. Gulfen, L., 100-106.

Popijač, A. (2003): Makrozoobentos i trofična obilježja akumulacije Jezero i Ponikve na otoku Krku. Magistrarski rad, Biološki odsjek Prirodoslovno matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 100 str.

Rubnić J. , Katalinić A. , Buselić G. (2008): Hydrogeology of Two Coastal Karst Cryptodepressions in Croatia : Vrana lake vs Vrana lake“. Proceedings of the Tual 2007: The 12th World Lake Conference, 732-743.

Šegota, T. (1968): Morska razina u holocenu i mlađem Wurmu. Geografski glasnik 30, Zagreb.

Šegota T. & Filipčić A. (2001): Hipotetska starost Vranskog jezera na Cresu“ , Acta Geographica Croatia, 45-56, Zagreb.

POPIS SLIKA

Slika 1. Samarske stijene	Stranica 3.
Slika 2. Podjela krša u Hrvatskoj	Stranica 4.
Slika 3. Slivna područja u Hrvatskoj	Stranica 5.
Slika 4. Prikaz pukotinske poroznosti	Stranica 6.
Slika 5. Jezera u Hrvatskoj	Stranica 7.
Slika 6. Prikaz hidrogeokemijskih facijesa u rombu Piperovog dijagrama	Stranica 8.
Slika 7. Prikaz miješanja morske i slatke vode s tendencijom intruzije morske vode i oslađivanja zaslanjene	Stranica 9.

vode te efekt ionske izmjene na Piperovom dijagramu	
Slika 8. . Topografski poprečan profil kroz Vransko jezero	Stranica 10.
Slika 9. Položaj morske razine i kretanje razine Vranskog jezera	Stranica 12
Slika 10. . Piperov dijagram vode Vranskog jezera na otoku Cresu	Stranica 13.
Slika 11. Ovisnost temperature po dubini vodenog stupca po mjesecima u godini	Stranica 14.
Slika 12. Prikaz otoka Krka	Stranica 15.
Slika 13 Jezero kod Njivica	Stranica 16.
Slika 14. Akumulacija Ponikve na otoku Krku	Stranica 18.
Slika 15. Geografski prikaz Vranskog jezera	Stranica 20
Slika 16. Hidrogeološka karta Vranskog jezera	Stranica 21.
Slika 17. Opskrba vodom u 2015. godini	Stranica 24.
Slika 18 . Opskrba vodom u 2016. godini	Stranica 25.

POPIS TABLICA

Tablica 1. Srednje godišnje razine Vranskog jezera	Stranica 11.