

HIPOTETSKA STAROST VRANSKOG JEZERA NA CRESU

TOMISLAV ŠEGOTA i ANITA FILIPČIĆ

Izvadak:

Zavala Vranskog jezera bila je reljefna osnova za postanak krškog polja. Slijedeća faza bilo je slatkovodno jezero. Budući da jezerska voda potječe od padalina, njihova promjenljivost odražava se u promjenljivosti godišnjih vodostaja. U 40-godišnjem razdoblju 1929.-1968. srednja razina jezera iznosila je 13,73 m iznad morske razine. Za toliko je razina jezera uvijek bila viša od razine Jadranskog (odnosno svjetskog) mora. Polazeći od poznatih visina morske razine određena je razina Vranskog jezera. Na početku holocena, prije 10 000 godina, Vransko jezero bilo je 17,26 m niže od morske razine danas (odnosno od nulte izobate u jezeru). Ako je najdublja točka u jezeru 61,50 m ispod razine mora (ili 75,23 m ispod današnje razine jezera) onda bi Vransko jezero bilo staro 17 900 godina. Gornjem virnu pripada 7 900 godina, a holocenu 10 000 godina. Prema tome, Vransko jezero je gornjovirnsko-holocensko jezero.

Ključne riječi:

Vransko jezero, razina Vranskog jezera, starost Vranskog jezera

HYPOTHETIC AGE OF VRANA LAKE ON CRES ISLAND, CROATIA

Abstract:

The older depression was a relief predisposition for the origin of Vrana Lake. The next phase was a fresh water karst lake. Since the lake water originates of atmospheric precipitation water (rainfall and underground inflow) the variability of the lake level corresponds in essence to precipitation annual changes. In the 40 year period 1929-1968 mean lake level was 13.73 m above the mean sea level. This difference was maintained even in the past. Comparison with the known world sea level curve in certain critical dates it is possible to calculate the Vrana Lake levels. At the beginning of Holocene period, 10,000 years ago, Vrana Lake

level was 17.26 m lower than the present sea level. Supposing that the deepest point in the Vrana Lake is 61.50 m below sea level (or 75.23 m below the present lake level) it was calculated that Vrana Lake is 17,900 years old. About 7,900 years belong to the Upper Würm period and 10,000 years to the Holocene period. Accordingly, Vrana Lake is of Upper Würm and Holocene age.

Key words:

Vrana Lake, Vrana Lake's level, Vrana Lake's age

UVOD

U početku istraživanja našeg krša mogućnosti za istraživanje, kao i početno opće nepoznavanje problema bilo je u skladu s ondašnjim znanjem. U takvim uvjetima moralo se krenuti od najjednostavnijih tumačenja nečega što uopće nije bilo poznato. Počelo se s opisnom generalizacijom da se čisti vapnenac otapa u vodi s otopljenim ugljičnim dioksidom (korozija). Uskoro se pokazalo da nisu svi vapnenci savršeno kemijski čisti. Nečisti vapnenci se otapaju mnogo slabije. Oblikovanje krškog reljefa ovisi i o promjenljivoj petrografskoj građi naoko "istih" karbonatnih stijena. Pokazalo se da dolomit ima specifična svojstva, mehanički se lakše troši. Dodatni je faktor komplicirana geološka struktura (sinklinala – antiklinala, pružanje i pad slojeva, slojevitost, zatrpavanje pukotina itd.). Postupnim upoznavanjem krškog reljefa i hidrologije daleko se odmaklo, pa se pokazalo da su procesi u kršu mnogo kompliciraniji, kompleksniji i prostorno-vremenski promjenljiviji nego što se to u početku mislilo (N. STRAŽIČIĆ, 1981; O. BONACCI, 1987; J.

RIĐANOVIĆ, 1993; R. ŽUGAJ, 1995; R. ŽUGAJ, 2000).

Zavala Vranskog jezera je kompleksnog postanka. Osnova je tektonska (N. MAGAŠ, 1965) pa se na geološkoj karti lako opažaju uzdužni i poprečni rasjedi. Tako tektonski predisponirana zavala modelirana je diferenciranom mehaničkom i kemijskom erozijom vapnenca i dolomita (J. ROGLIĆ, 1949). Bitno je važno da uz zapadnu obalu dominiraju vapnenci, a uz istočnu obalu dolomiti. Zato je na hidrološkoj karti Cresa cijelo Vransko jezero okruženo pojasom koji je označen kao "slabo propusne stijene". Građa podloge pridonosi strmini padina uz obalu jezera (A. BOGNAR, 1992). One spadaju u razred 12-55°, a uz istočnu obalu pretežu padine i s više od 55°.

Profili, i uzdužni i poprečni, jasno dokazuju da se radi o potopljenom krškom polju sa zaravnjenim dnom. Tako je u geološki najmlađoj fazi od krškog polja nastalo slatkovodno Vransko jezero.

Postanak Vranskog jezera još nije konačno riješen problem, pa je potrebno upoznati procese koji su uzročno-posljedično međusobno povezani. Najprije

dolazi problem porijekla jezerske vode. Već je u početku bilo jasno da cijela zavala mora utjecati na dotok vode iz slivnog područja, a ne da jezero potječe samo od kiše (udio snijega može se zanemariti) koja padne na samo jezero. Tu se odmah javlja problem komuniciranja s Jadranskim morem. Na to upućuju vrulje i izvori na dnu pred morskom obalom ili pak nešto iznad razine Jadranskog mora.

Poseban je problem "podjezerski re-lje" jugozapadnog krajnjeg dijela jezera. Batimetrijska karta i hipsometrijski profili (M. PETRIK, 1960; B. BIONDIĆ i sur. 1995) pokazuju da tu postoji "tanjurasto" ili pak "ljevkasto" udubljenje, odnosno "potopljena vrtača" što podsjeća na "preplavljeni krški ponor" za kojeg se ne zna je li još aktivan. Dosadašnja istraživanja ne mogu nedvosmisleno odgovoriti na pitanje sadašnjeg otjecanja vode iz Vranskog jezera.

Velike teškoće čini nedostatak dugotrajnih pouzdanih podataka o padalinama, evaporaciji jezerske vode i tokovima podzemne vode. Neki podaci nisu uvijek pouzdani, pa se moraju dopunjavati djelomično pouzdanim proračunima i modelima. Naime, svi relevantni parametri su promjenljive veličine i u prostoru i u vremenu. Dovoljno je samo spomenuti da na jezeru i u njegovoj neposrednoj blizini nije bilo nekoliko meteoroloških postaja s dugim, pouzdanim motrenjima. To posebno vrijedi za kišu koja je prostorno vrlo varijabilan element u ovom brdovitom kraju s vrlo jakim orografskim efektom. Treba oprezno koristiti meteorološke podatke susjednih postaja udaljenih i po više kilometara.

RAZINA VRANSKOG JEZERA DANAS

Kompleksnu hidrološku bilancu Vranskog jezera s pripadajućim slivom predložio je O. Bonacci (1995.). Uzeo je u obzir čak 9 komponenti pretežno procijenjenih ili približnih.

$$\Delta V_1 \pm \Delta V_2 = P_1 + P_2 - (ET_1 + E_2 + C + I) + Q$$

pri čemu je

ΔV_1 - promjena volumena podzemnih voda u slivu,

ΔV_2 - promjena volumena voda akumuliranih u jezeru,

P_1 - padaline na površinu sliva 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.

Formalno je nešto malo drukčija jednadžba bilance vode N. Ožanić, J. Rubinića (1994)

$$DV = D_{sl} + D_{jez} - G_{isp} - G_{cr} - G_{pon}$$

gdje je

DV - promjena volumena jezera u određenom razdoblju,

D_{sl} - dotok sa sliva,

D_{jez} - dotok izravno na površinu jezera,

Tab. 1. Srednje godišnje razine Vranskog jezera (m) 1929-1968. (N. Ožanić, J. Rubinić, 1994)
 Tab. 1. Mean annual water levels of the Vrana Lake

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	-

- G_{isp} - gubitak na isparavanje sa jezera,
 G_{cr} - gubitak crpljenjem za otočki vodovod,
 G_{pon} - gubitak poniranjem iz jezera.

Nama nije potrebno poznavanje pojedinih komponenti, nego visina jezerske razine i to u višegodišnjem razdoblju (tab. 1). Ona je odraz istovremenog utjecaja svih spomenutih veličina. Naime, poznato je da još uvijek "... za krške vodotoke nema zadovoljavajućih veza između više od dviju varijabli" (R. ŽUGAJ, 1995). Dakako, nema principijelne razlike između "vodotoka" i "jezera", konkretno Vranskog jezera. Tako se gornje jednadžbe vodne bilance za našu potrebu mogu svesti na vrlo jednostavan izraz

$$D = G,$$

tj. dotok vode D u određenom razdoblju izjednačuje se sa gubitkom vode G . U pojedinim godinama postoje razlike, pa otuda slijedi variranje jezerske razine. To znači da smo uzeli da je razina jezera R funkcija količine vode V u jezeru u određenom, ne predugom razdoblju

$$R = f(V).$$

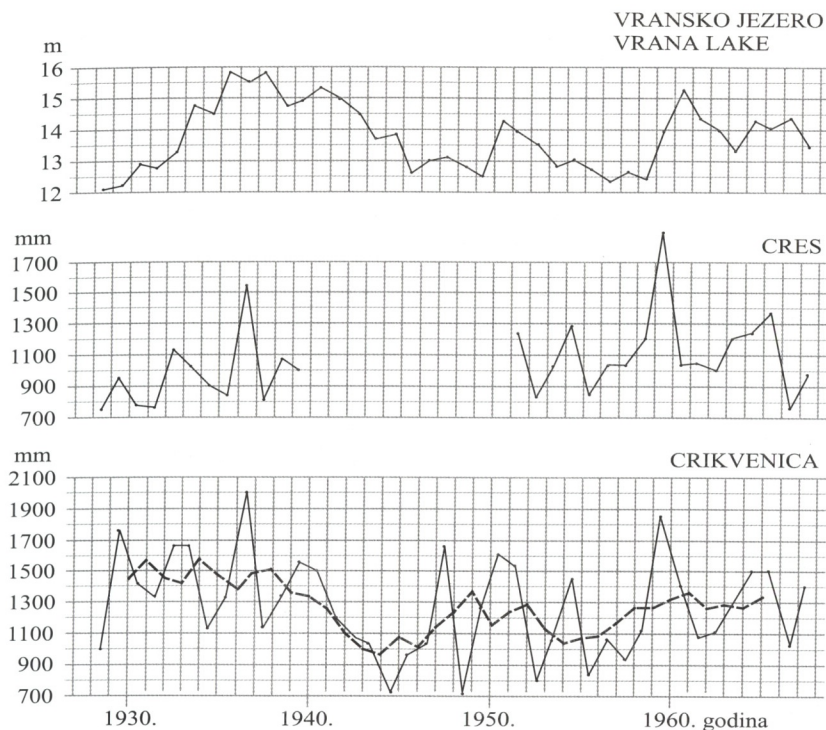
U novijoj fazi utvrđivanje bilance vode Vranskog jezera otežalo je crpljenje vode za otočki vodovod. U početku količina

crpljene vode bila je malena, pa se za izračunavanje srednje razine jezera uzelo sve godine do 1968.

Utvrđivanje (srednje) godišnje razine Vranskog jezera bio je težak posao. Počeo je A. Cecconi (1940), a nastavio je M. Petrik (1957). Međutim, mjerna tehnika u ono doba bila je u početnoj fazi razvoja, pa je prvobitne podatke trebalo preračunati. U određenoj mjeri slično je učinjeno i kasnije. Numerički podaci o razini Vranskog jezera preuzeti su iz jednog najnovijeg publiciranog rada (N. OŽANIĆ, J. RUBINIĆ 1994).

Budući da svako razdoblje daje drukčiju srednju višegodišnju razinu jezera, u daljnjem razmatranju polazimo od izračuna: srednja razina Vranskog jezera u 40-godišnjem razdoblju 1929-1968. godine iznosila je 13,73 m nad morskom razinom.

Problem ili važnost određivanja srednje razine Vranskog jezera može se uočiti analizom višegodišnjeg niza (sl. 1). Srednja godišnja razina podliježe brojnim varijabilnim veličinama. Na grafu se opaža samo rezultanta. Očito je da postoji smjena razdoblja s višim razinama i razdoblja s nižim razinama. Ali, ne postoji pravilnost koja bi mogla poslužiti za prognoziranje vodostaja.



Sl. 1. Hod godišnjih razina Vranskog jezera; hod godišnjih padalina u mjestu Cresu, te hod godišnjih padalina u Crikvenici s krivuljom 5-godišnjih pokretnih srednjaka (1929-1968.)
 Fig. 1. The course of the Vrana Lake water level. The precipitation curve for Cres. The precipitation curve for Crikvenica with a curve of 5-year moving averages.

U promatranom razdoblju nije postojala niti jedna meteorološka postaja s neprekinutim motrenjem. Najbolji je prekinuti niz podataka u mjestu Cresu. I u ovom slučaju lako se opaža već poznata korelacija. Visina razine Vranskog jezera prije svega ovisi o količini kiše na jezeru i u njegovu slivu.

Zbog nedostatka podataka iz analiziranog područja u navedenom razdoblju koristimo neprekinuti niz podataka o padalinama u Crikvenici. Korelacija između godišnjih padalina u Crikvenici i godišnjih vodostaja Vranskog jezera je čvrsta.

Usprkos tome, nismo se upustili u izračunavanje linearnih trendova jer oni u kraćim razdobljima ne moraju biti reprezentativni, a osim toga, razina jezera ovisi (doduše, manje) i o drugim faktorima.

Slatkovodno Vransko jezero okruženo je slanim Jadranskim morem. Ni jedna točka na obali Vranskog jezera nije udaljenija od jadranske obale više od 5 km.

Profili, odnosno orografske i batimetrijske karte pokazuju da je morsko dno zapadno od Cresa duboko 45-55 m, a istočno od otoka 77-93 m. Odavno je poznato da je to potopljeni dinarski reljef. Ta je

činjenica produbljena, pa se uzima (F. FRITZ, 1979) 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 bili su vrlo intenzivni (niska temperatura, povećana količina otopljene ugljične kiseline). Polazeći od spomenutih činjenica smatramo da je postanak i razvoj Vranskog jezera već poznat: mora se dovesti u uzročno-posljedičnu vezu s izdizanjem razine Jadranskog mora poslije maksimuma virmanskog glacijala.

RAZINA JADRANSKOG MORA I VRANSKOG JEZERA

Blizina Jadranskog mora i okršenost njegova podmorja kao i cijelog Cresa, polazeći od geološkog principa aktualizma, dozvoljava da se postojeće stanje i procesi "preslikaju" na nedavnu geološku prošlost. Polazimo od fundamentalne činjenice da je "Hidrološki sustav Vranskog jezera sastavni dio šireg otočkog krškog akvifera – slatkovodne leće u dinamičkoj ravnoteži s morem" (N. OŽANIĆ, J. RUBINIĆ, 1994).

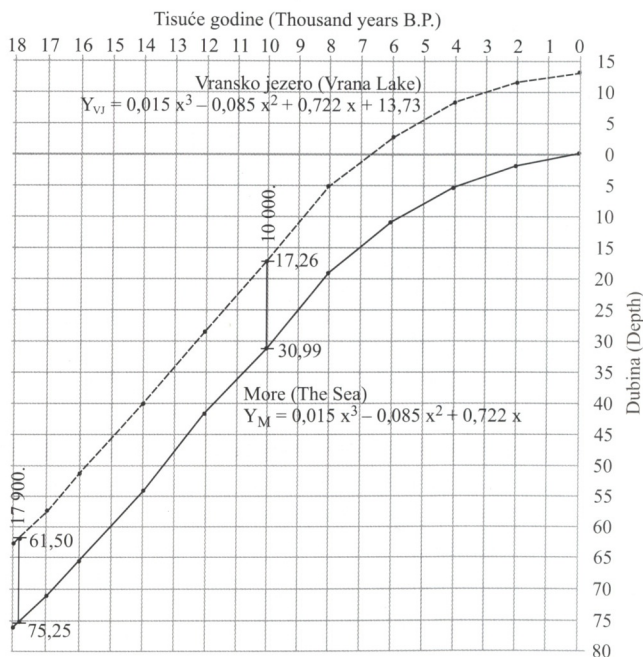
Kad se morska razina promatra po stoljećima onda se može generalizirati i tretirati samo morsku razinu uopće. Nije potrebno posebno govoriti o položaju

razine Jadranskog mora, ili pak stalno naglašavati da se radi o razini svjetskog mora. Položaj morske razine (sl. 2) prikazan je kubnom funkcijom (T. ŠEGOTA, 1968)

$$Y_M = 0,015 x^3 - 0,085 x^2 + 0,722 x$$

Ona je dobro prilagođena arheološkim i geološkim podacima na istočnoj obali Jadrana (T. ŠEGOTA, A. FILIPČIĆ, 1991).

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



Sl. 2. Položaj morske razine i kretanje razine Vranskog jezera u posljednjih 18 000 godina

Fig. 2. The position of sea level and the simultaneous rise of Vrana Lake level in the last 18,000 years

jezera ne bi bila fiksna jer su količina kiše, odnosno pritjecanje vode iz slivnog područja jezera, kao i evaporacija i svi drugi parametri varijabilne veličine. To dokazuje i stalna promjenljivost visine razine Jadranskog mora. Ona je u Bakru 1951. iznosila 79,0 cm, a 1973. godine 67,5 cm, tj. razlika je iznosila 11,5 cm (T. ŠEGOTA, 1996).

Međutim, Vransko jezero ima slatku vodu, a nema nikakvog dokaza da jadranska voda prodire, ili je prodirala, u jezero. Vrulje bi mogle biti dokaz da se može pretpostaviti otjecanje vode iz jezera ili iz sliva. Otjecanje je moguće i kroz uže pukotine tako da nema vidljivih vrulja. Moguće je da vrulje postoje i na većoj dubini pa ih nije moguće opaziti na površini mora. Pojas između obalne crte jezera i granice biljnog pokrova uz zapadnu obalu jezera širok je oko 3 m. To znači da je već najmanje jedno stoljeće visinska razlika ista, tj. ne postoji dokaz za izuzetno visoke vodostaje, mnogo više od maksimalno zabilježenih do sada.

Slatkovodno jezero, slano more i razvijena krška podzemna (i podmorska) komunikacija upućuju na zaključak da se rješenje problema vertikalne razlike između visine morske i jezerske razine mora posegnuti za Ghyben-Herzbergovim zakonom (J. BATUREIĆ i dr. 1972; R. LINSLEY i dr. 1983; N. OŽANIĆ, J. RUBINIĆ 1995). Zbog razumljivih razloga nismo mogli doći do izvornih radova, pa smo preuzeli K. Gjurašinov prikaz (1942): "Do ovakvog rješenja, koje u svakom pogledu zadovoljava, dovodi promatranje dinamičkih pojava uslijed razlike u specifičnoj težini

slatke i slane vode". (Dakako, mora se uzeti u obzir da postoji slobodna komunikacija između obaju medija, a važna je i visina stupca vode.) "Hidrostatski tlak tekućine razmjernan je specifičnoj težini tekućine i dubini." Budući da su temperatura vode jezera i mora kao i slanoća, odnosno specifična težina obiju voda varijabilne veličine, te da su podzemni kanali kroz koje teče voda vrlo različitih dimenzija, odnosno profila i hrapavosti, nije jednostavno izračunati razliku u visini obiju razina.

Pozivamo se na poznati rad M. Petrika (1960) s vrlo instruktivnim profilima i kartom izobata u jezeru ispod današnje razine mora. Značajno je da je "...dno jezera plosnato... Cio je centralni dio dakle na 2.600 m gotovo horizontalan s dubinom koja varira između 40 i 43 m ispod mora, a u glavnom dijelu između 41 i 42 m... U zapadnom je zaljevu na južnom kraju jezera u tom ravnom dnu tanjurasta udubina... Tu se dubine spuštaju do između 57 i 61 m ispod mora... Najveće su dubine, preko 74 m izmjerene na 6 točaka. Najveća je izmjerena dubina bila 74,4 m, a to je apsolutna kota -61,5 m... Ne može se odbiti misao da je takvo ždrijelo nekad postojalo, ali se u nedavnoj prošlosti (po geološkom mjerilu) zabrtvilo i ispunilo". Ovakva interpretacija se podudara s mjerenjem A. Gavazzija (1904) da se u tom dijelu nalazi "lijevak". Zanimljiva je fotografija (B. BIONDIĆ i dr. 1992) najdubljeg dijela jezera gdje se jasno vidi da se radi o vertikalnoj strukturi za koju je napisano da je "cave".

Za naše pretpostavke važno je poznavanje hidrologije Vranskog jezera u

Tab. 2. Položaj morske razine i razine Vranskog jezera u tisućama godina prije sadašnjosti
 Tab. 2. The sea level position and the height of Vrana Lake water level

Godina Year B. P.	Jadransko more (m) Adriatic Sea	Vransko jezero (m) Vrana Lake
0	0	+13,73
2 000	- 1,91	+11,82
4 000	- 5,23	+ 8,50
6 000	- 10,70	+ 3,03
8 000	- 19,05	- 5,32
10 000	- 30,99	- 17,26
12 000	- 42,40	- 28,67
14 000	- 54,10	- 40,37
16 000	- 65,50	- 51,77
18 000	- 76,00	- 62,27

promatranoj geološkoj prošlosti. Spuštanjem morske razine u virnu morska je obala bivala sve udaljenija od zavale Vranskog jezera (ili Vranskog polja), ali mnogo više na zapadu nego na istoku. Reljefna struktura je takva da udaljenost mora nije bila prevelika, tj. može se uzeti da hidrostatski odnosi nisu bili bitno drukčiji nego što su danas. Kod najnižeg položaja morske razine u virnu more se povuklo iz Riječkog zaljeva, ali su u najdubljim depresijama preostala slatkovodna i brakična jezera. Voda je mogla teći samo kroz Srednja vrata prema dubljoj depresiji Kvarnerića (Č. BENAC, 1996). Postojala je i mogućnost povezanosti Kvarnerića i južno od Lošinja s morskim bazenom u srednjem Jadranu (Č. BENAC, M. JURACIĆ, 1998).

Budući da se radi o ključnom problemu rezimirajmo i proširimo batimetrijske podatke.

M. Petrik (1960): Dubina u “tanjurastom udubljenju” iznosi 57 – 61 m, a najdublji dio dublji je od 61,5 m ispod morske razine.

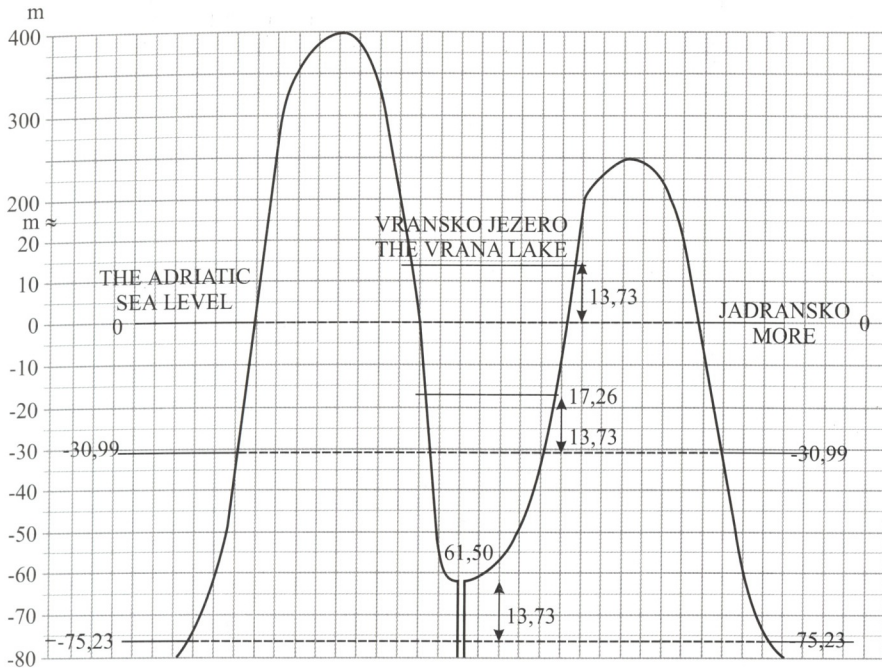
Z. Bičanić (1994): U subdepresiji dno je na 68 m ispod razine mora.

B. Biondić i dr. (1995): Maksimalna je dubina 60 m ispod morske razine.

O. Bonacci (1995): Maksimalna je dubina 62 m ispod morske razine.

N. Ožanić, J. Rubinić (1995): Vrtačasto udubljenje s kotom dna je na oko 61 m ispod morske razine.

Dakle, većina mjerenja i procjena kreće se između 60 i 62 m. Budući da je najdublji dio vrlo uzak (uspoređen s dimenzijom dna Vranskog jezera) smatramo da je ta uska vertikalna pukotina i kad je bila “stalno” ispunjena slatkom vodom, to još nije bilo jezero (tab. 2, sl. 2). Tek kad je voda za stalno preplavila barem dio “tanjurastog udubljenja” čije je dno danas na



Sl. 3. Shematski presjek šireg područja Vranskog jezera s prikazom odnosa razine Jadranskog mora i razine Vranskog jezera

Fig. 3. Vrana Lake area and the relation between sea level and the level of the Vrana Lake

61,5 m ispod razine mora nastala je vodena površina koja bi se mogla nazvati Vranskim jezerom!

Budući da su hidrološki zakoni od kojih smo pošli bili isti kao i danas, ta razina "Paleovranskog" jezera bila je i onda 13,73 m viša od ondašnje morske razine. Dakle, razina Vranskog jezera bila je sistematski za 13,73 m viša od razine mora u odgovarajućoj godini, pa bi jedna-džba koja prikazuje kretanje Vranskog jezera glasila (sl. 2):

$$Y_{VJ} = 0,015 x^3 - 0,085 x^2 + 0,722 x + 13,73.$$

Vransko jezero je nastalo kada je morska razina bila 75,23 m niža od današnje

morske razine. U tom momentu razina Vranskog jezera ($75,23 - 13,73 = 61,50$) bila je na 61,50 m ispod današnje morske razine. Zornosti radi sve je to sintetizirano na sl. 3.

Slijedeća važna granica je početak holocena. Općenito je prihvaćeno da je holocen počeo prije 10 000 godina. Presjecište krivulje morske razine s odgovarajućim pravcem za 10 000 godina daje traženu izobatu. Morska razina prije 10 000 godina bila je 30,99 m niža od današnje morske razine. Razina Vranskog jezera bila je za 13,73 m viša od morske razine ($30,99 - 13,73 = 17,26$), tj. razina Vranskog jezera na početku holocena, prije

10 000 godina, bila je 17,26 m niža od današnje nulte izobate u jezeru.

Slijedeći problem je starost najdublje točke, odnosno dubina je poznata, ali se traži godina postanka Vranskog jezera. Najveća dubina u jezeru je 61,50 m ispod morske razine. Jezero je nastalo ($61,50 + 13,73 = 75,23$) kad je morska razina bila 75,23 m niža od današnje morske razine. Presjecišta krivulja koje prikazuju kretanje razina mora i jezera s njihovom spojnicom daje veličinu 17 900 godina. To bi bila godina postanka Vranskog jezera; dakle, Vransko jezero je staro 17 900 (okruglo 18 000) godina!

To znači da je Vransko jezero nastalo i povećavalo se 7 900 godina koje pripadaju gornjem virmu. Zatim slijedi još 10 000 godina u holocenu. To je razlog

da se ne može reći da je Vransko jezero nastalo u "postglacijalu". Ispravnije je: Vransko jezero je gornjovirmsko-holocensko jezero.

Izdizanje morske razine i razine Vranskog jezera nije bio linearan proces. Obje razine su se brže izdizale u obuhvaćenom dijelu gornjeg virma nego u holocenu. To znači da je veći dio Vranskog jezera ($61,50 - 17,26 = 44,24$) 44,24 m nastao u kraćem gornjem virmu, a manji dio ($17,26 + 13,73 = 30,99$), 30,99 m, nastao je u duljem holocenu.

Ove veličine pokazuju da u genezi Vranskog jezera treba lučiti dva razdoblja. Prvo je bila kopnena faza u kojoj je nastalo krško polje. U drugoj fazi, posljednjih 17 900 godina, polje je preplavljeno, pa je od krškog polja nastalo krško jezero.

LITERATURA

Baturić, J., A. Magdalenić, T. Gregl, V. Jurak (1972.): Djelomična potvrda Herzbergovog zakona u primorskom kršu. Zbornik radova 2. jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inžinjerskoj geologiji 1, Beograd, 9-15.

Benac, Č. (1996.): Morfološka evolucija Riječkog zaljeva: utjecaj klimatskih i glacio-eustatičkih promjena. Acta Geographica Croatica 31, 69-84.

Benac, Č., M. Juračić (1998.): Geomorphological Indicators of Sea Level Changes During Upper Pleistocene (Würm) and Holocene in the Kvarner Region (NE Adriatic Sea). Acta Geographica Croatica 33, 27-45.

Bićanić, Z. (1994.): Prilog poznavanju nekih oceanografskih i hidrografskih obilježja Vranskog jezera i jugozapadnog priobalnog područja Cresa. Acta Geographica Croatica 29, 57-64.

Biondić, B., D. Ivičić, S. Kapelj, S. Mesić (1995.): Hidrogeologija Vranskog jezera na otoku Cresu. 1. hrvatski geološki kongres, Zbornik radova 1, 89-94.

Biondić, B., D. Ivičić, E. Prelogović (1992.): The hydrogeology of the Lake of Vrana on the Cres Island. Proceedings of the International Symposium Geomorphology and Sea, Mali Lošinj, 25-36.

- Bognar, A. (1992.): Some of Basic Geomorphologic Features of Kvarner Region. Proceedings of the International Symposium Geomorphology and Sea, Mali Lošinj, 37-45.
- Bonacci, O. (1987.): Karst Hydrology. Springer-Verlag, Heidelberg, 174 str.
- Bonacci, O. (1995.): Istraživanja u hidrologiji hrvatskog krša: jezero Vrana na otoku Cresu. Acta Geologica HAZU 25/1, 1-15.
- Cecconi, A. (1940.): Il regime idraulico del lago di Vrana. Annali dei Lavori Pubblici.
- Fritz, F. (1979.): Hidrogeološke rajonizacije priobalnog krša Hrvatske u svjetlu novijih saznanja. Geološki vjesnik 31, 327-336.
- Gavazzi, A. (1904.): Die Seen des Karstes. I Teil. Morphologisches Material. Abhandlungen der k. k. geographischen Gesellschaft 5 (2), 1-136.
- Gjurašin, K. (1942.): Prilog hidrografiji primorskog krša. Tehnički vjesnik 59 (4-6), 107-112.
- Linsley, R., M. A. Kohler, J. L. H. Paulus (1983.): Hydrology for Engineers. Mc GrawHill, Tokyo, 492 str.
- Magaš, N. (1965.): O depresiji Vranskog jezera na otoku Cresu i geološkim odnosima njegovog užeg područja. Geološki vjesnik 18 (2), 255-261.
- Ožanić, N., J. Rubinić (1994.): Analiza hidrološkog režima Vranskog jezera na otoku Cresu. Hrvatske vode 2(8), 535-543.
- Ožanić, N., J. Rubinić (1995.): Hidrološki koncept funkcioniranja Vranskog jezera na otoku Cresu. Prva hrvatska konferencija o vodama. Zbornik radova, Dubrovnik, 159-167.
- Petrik, M. (1957.): Hidrološki režim jezera Vrana. Krš Jugoslavije 1, 109-161.
- Petrik, M. (1960.): Prilog limnologiji jezera Vrane. Krš Jugoslavije 2, 105-192.
- Ridanović, J. (1993.): Hidrogeografija. 2. izdanje. Zagreb, XII + 216.
- Roglić, J. (1949.): Geomorfološka istraživanja na Kvarnerskim otocima i Zadarskom primorju. JAZU Ljetopis 55, 161-167.
- Stražičić, N. (1981.): Otok Cres. Prilog poznavanju geografije naših otoka. Otočki ljetopis 4, Mali Lošinj, 1-334.
- Šegota, T. (1968.): Morska razina u holocenu i mlađem Würmu. Geografski glasnik 30, 15.
- Šegota, T. (1996.): Razina Jadranskog mora prema podacima mareografa u Bakru. Geografski glasnik 58, 15-32.
- Šegota, T., A. Filipčić (1991.): Arheološki i geološki pokazatelji holocenskog položaja razine mora na istočnoj obali Jadranskog mora. Rad HAZU, Razred za prirodne znanosti 25, 149-172.
- Žugaj, R. (1995.): Regionalna hidrološka analiza u kršu Hrvatske. Hrvatsko hidrološko društvo, monografija 1, Zagreb, X + 139.
- Žugaj, R. (2000.): Hidrologija. RGNF i Sveučilište u Zagrebu, 407 str.

Summary

HYPOTHETIC AGE OF VRANA LAKE ON CRES ISLAND, CROATIA

by TOMISLAV ŠEGOTA and ANITA FILIPČIĆ

The cryptodepression Vrana Lake is a particular natural phenomenon with 220 million cu. m. of potable water in a karst area in the immediate vicinity of the Adriatic Sea. The older depression was a relief predisposition for the origin of Vrana Lake. The depression was created by tectonic fractures and strong erosion of the top of the anticlinale. The cryptodepression is the result of epirogenetic movements. In the formation of the depression erosional (mechanical and chemical) influences were strongest when the bottom of present lake was still above the sea level when there were no lake. The dolomites have been much more eroded than the limestones.

The next phase was a fresh water karst lake. Since the lake water originates of atmospheric precipitation water (rainfall and underground inflow) the variability of lake level correspond in essence to rainfall annual course. Because the lake water has been used since 1954 as a drinking water supply, the water level dramatically lowered since 1981. This is the reason that the present authors do not analyse lake levels after 1968. In the 40 year period 1929-

1968 mean lake level was 13.73 m above mean sea level. This difference was maintained even in the past. Namely, since sea water (specific gravity about 1.025) is heavier than fresh water, the groundwater under a uniformly permeable circular land the lens of fresh water floating on salt water is known as a Ghyben-Herzberg lens. About 1/40 unit of fresh water is required above sea level for each unit of fresh water below sea level to maintain hydrostatic equilibrium. Comparison with a supposed sea level curve, it is possible to calculate the Vrana Lake levels in the past.

At the beginning of the Holocene period, 10,000 years ago, Vrana Lake level was 17.26 m lower than the present sea level. Supposing that the deepest point in the Vrana Lake is 61.50 m below sea level (or 75.23 m below the present lake level) it was calculated that Vrana Lake is 17,900 years old. About 7,900 years belong to the Upper Würm period and 10,000 years belong to the Holocene period. Accordingly, Vrana Lake is of Upper Würm-Holocene age.

Dr. sc. Tomislav Šegota, red. prof., u mirovini,
Geografski odsjek PMF-a Sveučilišta u Zagrebu,
Marulićev trg 19/II, 10000 Zagreb

Dr. sc. Anita Filipčić, docent, Geografski odsjek PMF-a
Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19/II, 10000 Zagreb