

Geol. vjesnik	Vol. 37	str. 231—243	Zagreb 1984.
---------------	---------	--------------	--------------

UDK 551.481:551.7(497.13)

Izvorni znanstveni rad

## Postanak i starost Vranskog jezera kod Biograda na moru

Franjo FRITZ

*Geološki zavod, 41000 Zagreb, Sachsova ul. 2*

Razvitak Vranskog jezera povezuje se uz promjenu razine mora. Rezultati ukazuju na mladost današnjeg reljefa: inicijalni reljef oformljen je krajem pleistocena, a kvartarni talozi pripadaju holocenu.

The development of the topography of lake of Vrana in Croatia is related to large changes in sea level altitude. The results of a morphological study point to a young age of the present topography, i. e. the initial relief was formed by the end of Pleistocene and Quaternary deposits are of Holocene age.

### UVOD

Morfološka evolucija današnje kriptodepresije Vranskog jezera obrađena je u cilju ocjene mogućnosti uspora vode u jezeru za nekoliko metara što je veoma problematično zbog uskog vapnenačkog grebena, koji dijeli jezero od mora.

Vransko jezero dijeli od mora vapnenački greben s nešto dolomita, širok svega 1—2,5 km. Zauzima površinu oko 30 km<sup>2</sup>. Relativno je plitko, mjeranjem je ustanovljeno da je najveća dubina vode oko 3 m. Voda je u kišnom razdoblju slatka a razina jezera je tada do 1 m iznad razine mora. U razdoblju malih voda slabo je bočato (do 1.000 mg Cl/l) i praktički je u razini mora. Da bi se spriječile poplave Vranskog polja izveden je kod Prošike (krajnji jugoistočni dio jezera) odvodni kanal u razini mora.

Vransko jezero i polje s okolnim izvorima hidrogeološki je veoma interesantan teren. U sklopu hidrogeološke studije Ravnih Kotara i Bukovice ovo je područje relativno detaljno hidrogeološki istraženo (Fritz, 1974. i 1976), a za potrebe idejnog rješenja pregrade na Vranskom jezeru izvedeni su dodatni geološki istražni radovi (Fritz, 1983).

Sliv Vranskog jezera i polja (470 km<sup>2</sup>) zauzima teren središnjeg dijela Ravnih Kotara. Unutar sliva izdvojena su 4 podsliva: Kotarka (131 km<sup>2</sup>), Tinj—Kakma—Stabanj (122 km<sup>2</sup>), Kličevica (50 km<sup>2</sup>) i Pećina—Biba—Živača (167 km<sup>2</sup>). Na osnovi tada poznatih podataka analizirana je geneza Vranskog jezera i ta saznanja govorela su u prilog mogućnosti ostvarenja uspora vode u dijelu Vranskog jezera, što je i publicirano (Fritz, 1980).

Istražna bušenja izvedena u vezi s idejnim rješenjem pregrade na Vranskom jezeru locirana su u terenu pokrivenom jezerom ili kvartarnim sedimentima, pa je dobiveno niz novih geoloških podataka. To se osobito

odnosi na debljinu jezerskih taloga i na rasprostranjenost nepropusnih naslaga eocenskog fliša, što ima za posljedicu korigiranje koncepcije o starosti Vranske depresije i o putovima prodora morske vode u kopno.

Kao geološka podloga hidrogeološkim istraživanjima poslužila je Osnovna geološka karta SFRJ M. 1 : 100.000, list Biograd (Mamučić & Nedela-Devidé, 1968) i list Šibenik (Mamučić, 1971). Ta je podloga samo mjestimično detaljnije istražena i to u terenima gdje su rađene karte većeg mjerila (sjeveroistočni dio Vranskog jezera, dio grebena između Vranskog jezera i mora). Rezultati ovih kartiranja i istražnog bušenja ukazuju, da je geološka građa ispod jezera i polja znatno složenija od one koju je pretpostavljala osnovna geološka karta. Osobito je znatno življa tektonika.

### GEOLOŠKA I HIDROGEOLOŠKA GRAĐA TERENA

Za analizu razvitka reljefa potrebno je upoznati osnovu geološku i hidrogeološku građu terena. Šire područje Vranskog jezera u tom je pogledu relativno detaljno obrađeno (Fritz, 1976).

Osnovna geološka i hidrogeološka građa šireg terena Vranskog jezera i polja prikazana je na preglednoj karti (slika 1). Na karti su označeni i podaci registrirani istražnim bušenjem i kartiranjem lateralnog kanala nakon čišćenja.

Teren oko Vranskog polja i jezera i podinu kvartarnih taložina Vranskog polja i jezera izgrađuju sedimentne stijene krede i paleogena. Zastupljene su krednim i eocenskim (foraminiferskim) vapnencima (grupa propusnih stijena na slici 1), krednim dolomitima (djelomično propusne stijene) i eocenskim flišom (nepropusne stijene). Fliš je u ovom dijelu Ravnih Kotara (kako su pokazala istražna bušenja i podaci u lateralnom kanalu) zastupljen uglavnom laporima, dok su ulošci pješčenjaka i laporovitih vapnenaca rijetki.

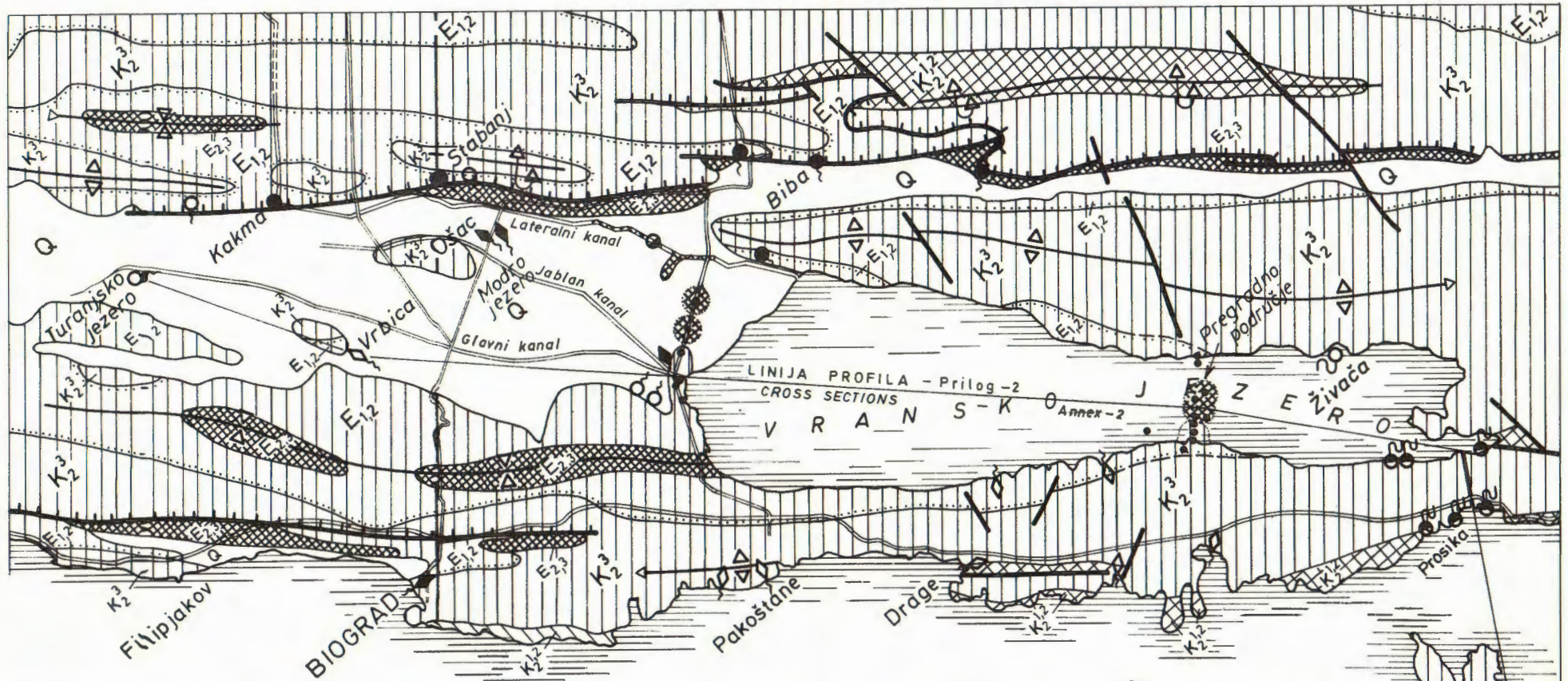
Stijene krede i paleogena (eocena) su prekrivene kvartarnim (pretežno jezerskim prašinasto glinovitim) talozima na većem dijelu polja i ispod jezera.

Nepropusne stijene fliša izgrađuju jezgre sinklinala. Ponegdje stoga ne sežu dovoljno duboko ispod razine mora (krajnje erozione baze za podzemne i površinske vode), pa ne vrše funkciju potpune barijere za podzemne vode, već dio vode prolazi na putu prema moru i ispod njih. Takva je situacija na potezu kontakta fliša i vapnenaca kod izvora Mali Stabanj, gdje s jugozapadne strane fliša (danas unutar kvartarnih naslaga) izviru bočati izvori Ošac i Modro jezero (vidi sliku 1).

Dolomiti su na površini malog prostranstva, a izgrađuju jezgre anti-klinala.

Naslage krede i paleogena tvore bore dinarskog pravca pružanja (sjeverozapad—jugoistok). Česta je pojava undulacije osi bora i redukcije ili proširenja naslaga uzduž rasjeda i navlaka.

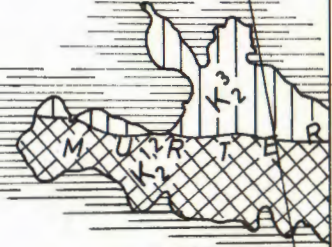
Rasjedna tektonika u većem dijelu terena nije detaljnije obrađivana. Detaljnim kartiranjem dijela grebena između jezera i mora ustanovljeno je, da je rasjedna tektonika u ovom području bila veoma intenzivna. Tako je uzduž transgresivnog kontakta kreda—paleogen na dužini od 8 km registrirano 20 rasjeda s hodom od nekoliko metara, pa do blizu 100 m.







**PREGLEDNA HIDROGEOLOŠKA KARTA**  
**HYDROGEOLOGICAL MAP**








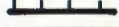
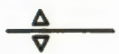
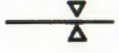

Geološka podloga - Geology after:  
 MAMUŽIĆ (1971); FRITZ (1976)  
 Crtao - Drawn by: S. KOŠČAL



**PROPUSNOST STIJENA:**  
**PERMEABILITY OF ROCKS:**

-  NAIZMJENIČNA, kvartar  
VARIOUS, Quaternary deposits
-  DOBROPROPUSNE, vapnenac  
PERMEABLE, limestones
-  DJELOMIČNO PROPUSNE, dolomit  
PARTIALLY PERMEABLE, dolomites
-  NEPROPUSNE, fliš  
IMPERMEABLE, flysch

-  Krški izvori slatke vode (povremen i stalan)  
Karst fresh-water spring (intermittent and permanent)
-  Bočati izvori (povremen i stalan)  
Brackish spring (intermittent and permanent)
-  Vrulja - Submarine spring
-  Estavela - Estavelle

-  Jama s vodom - Karst shaft with water
-  Osnovne dislokacije - Major fault
-  Os antiklinale - Anticline axis
-  Os sinklinale - Syncline axis
-  Istražna bušotina s oznakom nabušene stijene u podlozi kvartara  
Exploratory borehole with the symbol of rocks underlying Quaternary deposits

Sl. Fig. 1

Ovaj podatak govori o stvarnoj zastupljenosti poprečnih i dijagonalnih rasjeda. Uzdužni rasjedi paralelni s pružanjem bora nisu detaljnije obrađivani, ali je iz OGK poznato da su to često reversni rasjedi ili navlake (npr. navlaka »Bak« istočno iznad izvora Biba). Ima ih svakako znatno više nego što je to danas poznato. Ove nepoznanice onemogućavaju detaljniju interpretaciju geološke građe ispod polja i jezera bez daljnjih istražnih radova.

Za analizu geneze kriptodepresije jezera nije neophodno poznavanje detaljne geološke građe terena. Podaci izvedenih geoloških istraživanja dostatni su za ocjenu o djelovanju erozije u geološkoj prošlosti, jer je ključ za rješavanje problema geneze depresije u poznavanju sastava i debljine kvartarnih naslaga. Izvedenim istražnim bušenjem u jezeru i polju dobiveni su u tom pogledu dragocjeni podaci, pa je današnji pristup analizi razvitka kriptodepresije znatno konkretniji nego što je to bio u radu Fritz, 1980.

#### DEBLJINA I SASTAV JEZERSKIH TALOGA

Debljina i sastav jezerskih taloga ispitan je s 11 bušotina u jezeru. Jezerski kvartarni talozi istaloženi su u tri genetska tipa: prah tekućeg konzistentnog stanja, glina i glina s valuticama stijena. Osnovne su karakteristike ovih prašinsto glinovitih taloga postupan prelaz iz jednog u drugi genetski tip, postupna konsolidacija koja se povećava s dubinom (debljinom) naslaga, postupna pomjena boje od svijetlosive do mrkosive boje i neizražena slojevitost. Najdeblji (najniži) talozi tako su konsolidirani, čvrsti, mrkosive boje, da je jezgru iz bušotina gotovo nemoguće razlikovati od jezgre lapora eocenskog fliša, koji su u podlozi kvartara u središnjem dijelu jezera. Granica kvartarnih taloga (gdje su u podlozi eocenski lapori i gdje prividno nema prekida sedimentacije), ipak je određena s potrebnom sigurnosti i to na osnovi prve pojave valutica u čvrstoj glini, jer takve valutice ne sadrže eocenski lapori. Eocenski lapori u podini dokazani su paleontološki (L. Šikić, 1982. i Benić, 1983).

Danas kad znamo da je rasprostranjenost eocenskih lapora ispod jezera i polja znatno veća nego što se pretpostavljalo i da lapori praktički ne sadrže proslojke pješčenjaka i vapnenaca, lakše je objasniti veliku debljinu glinovitih jezerskih taloga i gotovo neprimjetan kontakt kvartarne gline i lapora eocena, tj. kontakt kvartarnih sedimenata s ishodišnim materijalom.

Taloženje jezerskih taloga odvijalo se u ujezernjima s malim transportom materijala, osim u klimatski promjenjivim uvjetima kada su nadolazile veće količine vode donoseći vučeni materijal (valutice). Taloženje se je odvijalo bez prekida i bez naglih promjena u tipu sedimenata, dakle u jednoj fazi.

S obzirom na jezerske uvjete taloženja za očekivati je, da su kvartarni talozi podjednakog sastava ispod čitavog jezera. Detaljno im je sastav upoznat u području projektirane pregrade, gdje su izvedena i istražna bušenja. Najveća im je ustanovljena debljina 29 m, što je najvjerojatnije i njihova maksimalna debljina. Uzvodnije, nedaleko zapadno od jezera, uzduž obrambenog nasipa uz cestu Pakoštone—Vrana, maksimalna im je debljina 15,40 m. Još više uzvodnije u središnjem dijelu polja, stjenovita

podloga mjestimično izbija na površinu terena. Iz navedenih podataka je vidljivo, da se debljina kvartarnih taloga povećava u smjeru današnjeg toka vode, tj. u smjeru jugoistoka. Znači, osnovni smjer tečenja površinskih voda u kvartaru bio je isti kao što je i današnji.

U središnjem i nizvodnom dijelu jezera, gdje su kvartarni talozi najdeblji, debljina izdvojenih genetskih tipova je slijedeća: prah tekućeg konzistentnog stanja lokalno sa sitnim valuticama stijene debeo je 12 m, niže su gline debljine oko 10 m, a najniže (najstariji talozi) su gline s više ili manje valutica (šljunka) debljine oko 7 m, što je ukupno 29 m kvartarnih taloga. Dno je na tom dijelu jezera na apsolutnoj visini — 1,2 m, šta znači da se kvartarni talozi nalaze danas do dubine oko 30 m ispod današnje razine mora.

### STAROST I MORFOLOŠKA EVOLUCIJA DEPRESIJE

Za analizu ove problematike potrebno je poznavati vrijeme kada je formiran inicijalni reljef u naslagama krede-paleogena i prostor u kome su se odvijali procesi, koji su doveli do današnjeg stanja reljefa.

Postojanje Vranskog jezera je vezano uz današnju razinu mora. Ako bi se razina mora snizila više od 2—3 m voda iz jezera ponirala bi u vapnenački greben oko Prosike, gdje su dobro razrađeni podzemni putevi jezera—more i obratno (Fritz, 1976, 1980), i jezero bi se pretvorilo u dolinu blagih strana s povremenim tokom, a u kišnom razdoblju s povremeno ujezerenom vodom. Trajanje ujezerenja ovisilo bi samo o propusnosti (okršenosti) vapnenačkog grebena.

Praktički to se događa i danas u vrijeme srednjeg i visokog vodostaja, ali samo za dio voda koje imaju dovoljan gradijent za otjecanje u more. Ovo se aktualistički može svakako primjeniti i na prošlost. Poznato je, da je u najmlađoj geološkoj prošlosti, tj. nakon zadnje oledbe, razina mora bila niža od dosadašnje. Prije oko 25.000 god. razina mora je bila 96,4 m niža od današnje (Šegota, 1968) i od tada se do danas neprestano postupno uzdiže. Taj je proces (ciklus) još aktualan i trebao bi trajati još oko 1900 godina u koje vrijeme će se razina mora povisiti za još 1,17 m.

Razina mora bila je u prošlosti (kao što je i danas) eroziona baza za površinske i krške podzemne vode Vranskog područja. Uz površinske vode, riječne i jezerske, vezana je i geneza kvartarnih taložina Vranskog polja i jezera. One su se mogle taložiti samo iznad razine »ušća« doline u aktualnu erozionu bazu, posebno one koje sadrže vučeni nanos (kao što to sadrže najstariji kvartarni talozi u Vranskom jezeru), a »ušće« je u ovom terenu bila tadašnja razina mora.

Razmotrit ćemo kada je razina mora bila u nivou današnjih genetskih kvartarnih članova i niže što će nam poslužiti za indirektno određivanje starosti kvartarnih taloga. Do razdoblja kada je razina mora bila niže od »ušća«, voda iz depresije (doline) je otjecala u more kod Prosike (kroz vapnenački greben — slika 2, profil A), stvarao se i produbljivao paleoreljef današnje depresije u krednim i eocenskim stijenama. Taloženje kvartarnih naslaga u Vranskoj depresiji započelo je generalno tek kada se razina mora uzdigla iznad nivoa »ušća« ponornih voda iz Vranske depresije i traje sve do danas do kada se razina mora postupno sve više

uzdiže (slika 2, profil B i C). Proces taloženja kvartarnih nanosa trajat će i dalje, sve dok će se razina mora uzdizati (još oko 1.900 godina). Iza toga razdoblja u novom ciklusu spuštanja razine mora nestat će jezera, a Vranska depresija će biti krško polje s ponorima oko Prosike i površinskim tokom koji će usjecati svoje korito u kvartarne taloge.

Vratimo se problematici starosti kvartarnih taloga odnosno starosti pojedinih genetskih tipova u Vranskoj depresiji. Da bi to mogli analizirati potrebno je karakteristične podatke o debljini kvartarnih sedimenata svesti na apsolutne visinske odnose tj. u odnosu na razinu današnjeg mora, jer nam je vrijeme niže razine mora u prošlosti poznato (Šegota, 1968):

- maksimalna dubina dna današnjeg jezera je oko —3 m
- prah se taloži i danas, a nalazi se do dubine — 13 m
- glina se nalazi između —13 i —23 m
- glina sa šljunkom se nalazi između —23 i —30 m
- niže od 30 m je starija stjenovita podloga

Ovi podaci odnose se na maksimalnu debljinu kvartarnih taloga, odnosno na najniže apsolutne visine do kojih su naslage taložene, što nam je i potrebno za kompariranje s nivoom razine mora i za određivanje njihove starosti posredstvom položaja razine mora u prošlosti.

Šegota (1968) je analizirao položaj morske razine u holocenu za svakih 1.000 god. prije sadašnjosti. Prema tim podacima razina mora bila je na —3 m (dno današnjeg jezera) prije oko 2.700 godina. Prije tog razdoblja stalno Vransko jezero nije egzistiralo, područje današnjeg jezera bilo je samo povremeno plavljeno.

Za određivanje apsolutne visine kvartarnih sedimenata u vrijeme njihovog taloženja moramo uzeti u obzir i podatak o spuštanju naše obale (Šegota, 1982). Stoga treba korigirati današnje visinske položaje granica genetskih članova kvartara za vrijednost spuštanja kopna nakon njihovog taloženja (kopno je postupno torulo, a u isto vrijeme se postupno, ali znatno brže, dizala razina mora). Obradom navedenih podataka i usporedbom s položajem razine mora u prošlosti proizlazi, da se prah počeo taložiti prije 5.400 god., glina je taložena od 5.400 do 7.700 god. prije sadašnjosti, a glina sa šljunkom između 7.700 i 8.900 god. prije sadašnjosti.

Prikaz osnovnih podataka za određivanje vremena taloženja kvartarnih sedimenata:

	Prah	Glina	Glina s valuticama
Maksimalna debljina (u metrima)	12	10	7
Današnja donja kota	—13	—23	—30
Donja kota u vrijeme taloženja	—9,0	—17,7	—24
Vrijeme početka taloženja: (Razina mora — erozionu bazu, godine prije sadašnjosti)	5.400	7.700	8.900

Znači kvartarni sedimenti u najnižvodnijem dijelu Vranskog jezera istaloženi su kontinuirano približno u zadnjih 9.000 god. Prije 9.000 godina razina mora bila je na oko —24 m. Vidimo da je debljina kvartarnih

## LEGENDA — LEGEND

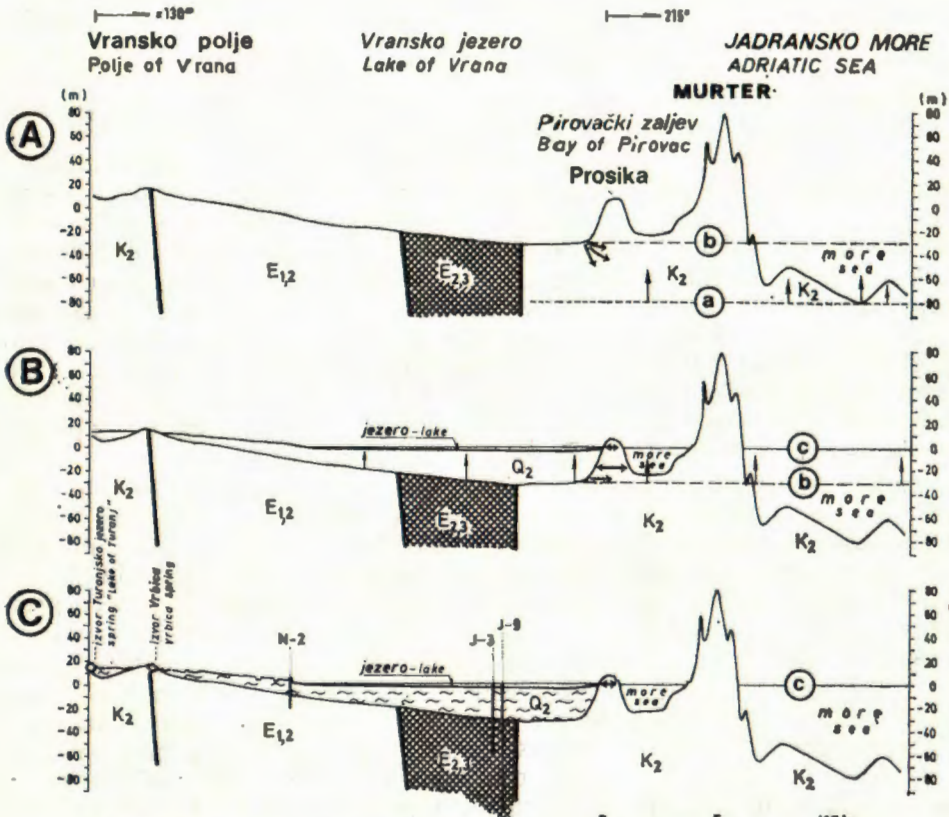
## Profil:

## Cross section:

1. Faza erozije krednih i paleogenskih stijena (stadij maksimalne dubine erozije) i vrijeme aktivnosti ponora kod Prosike (razdoblje od 9.000 god. prije sadašnjosti)  
Phase of Cretaceous and Paleogene rocks erosion (maximal depth of erosion) and activity of ponors at Prosika (earlier than 9,000 wears ago)
2. Faza taloženja kvartanih naslaga, aktivnosti ponora-izvora s obje strane Prosike i vrijeme zaslanjenja jezera (posljednjih 9.000 god.)  
Phase of deposition of Quaternary sediments, activity of ponors/springs on both sides of Prosika, and salinization of lake (last 9,000 years)
3. Današnji pregledni geološki profil uzduž Vranskog polja i jezera te terena oko otoka Murtera  
Present general geologic cross section along the polje and lake of Vrana and of the area surrounding the Murter island
4. prašinate gline — silty clays
5. lapori — marls
6. vapnenci — limestones
7. istražne bušotine — exploratory boreholes
8. geološka granica — geological boundary
9. rasjed — fault
10. smjer kretanja ponornih voda  
direction of sinking water flow
11. postupni porast razine mora odnosno postupno taloženje  $Q_2$  naslaga  
gradual rise of sea level or gradual deposition of  $Q_2$  sediments
12. a. Razina mora prije 16.000 god.  
Sea level 16,000 years ago
- b. Razina mora prije 9.000 god.  
Sea level 9,000 years ago
- c. Razina mora danas  
Present sea level

# UTJECAJ PROMJENA RAZINE MORA NA RAZVOJ RELJEFA VRANSKOG POLJA I JEZERA

EFFECT OF SEA LEVEL CHANGES ON THE POLJE AND LAKE OF VRANA RELIEF DEVELOPMENT



LEGENDA - LEGEND :

- (A) 1
- (B) 2
- (C) 3
- 4
- 5
- 6
- N-2, J-3 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- (a), (b), (c) 12

Crtao - Drawn by: S. KOŠČAL

Sl. Fig. 2



sedimenata veća za oko 6 m od početnih uvjeta taloženja, odnosno od najnižeg nivoa eroziona baze. To je posljedica tonjenja sedimentacionog prostora u vrijeme sedimentacije.

Razmotrit ćemo uplivni prostor koji je omogućio razvitak današnjeg reljefa.

Geološka građa nešto šireg područja (slika 1) pokazuje da se geološke strukture pružaju paralelno s obalom mora. Poznato je, da su erozijski procesi najbrži u stijeni podložnoj trošenju i raspadanju. Jedna od najmanje otpornih sredina (na utjecaj egzogenih faktora) bio je teren današnjeg polja i jezera, jer ga izgrađuju pretežno laporci eocena, a to su stijene (u ovom terenu) daleko najviše podložne denudaciji i eroziji. Veća prisutnost eocenskog fliša u području današnjeg Vranskog polja i jezera i zastupljenosti uglavnom laporima omogućili su formiranje široke depresije u kojoj su zatim, nakon promjene uvjeta razvoja reljefa, taloženi prašinsto-glinoviti talozi. Ovi talozi taloženi su u dolini paralelnog pružanja s obalom mora i s centralnim površinskim tokom u smjeru jugoistoka, što je evidentno na osnovi porasta debljine taloga u tom smjeru.

Uske fliške sinklinale jugozapadno od Vranskog polja su u prošlosti bile (kao što su i danas) barijere za krške podzemne vode i ujezerene vode u depresiji i sprečavale su njihovo otjecanje prema moru. Tamo gdje fliške sinklinalne barijere prestaju (kao posljedica undulacije osi bora, ili kao posljedica rasjedne tektonike) omogućeno je otjecanje krških podzemnih voda, kao i voda iz površinskih tokova i ujezerenja prema moru, te prodor mora u kopno.

Za Vransko jezero značajna je fliška sinklinala (barijera) koja se proteže počam istočno od Biograda do jezera i nastavlja se svojim pružanjem ispod jezera uz jugozapadnu obalu. Da li se ta barijera proteže sve do naslaga eocenskih lapora nabušenih u području pregrade (u projektu) još je otvoreno pitanje. Do sada ustanovljeni podaci nameću pretpostavku da se ta sinklinala proteže do blizu pregradnog mjesta.

Spomenuta fliška sinklinala uz jugozapadnu obalu Vranskog jezera nadvisila je u prošlosti paleodepresiju i spriječavala u vrijeme taloženja kvartarnih nanosa otjecanja površinskih i podzemnih voda iz tadašnje depresije prema moru. Tek jugoistočnije, gdje prestaje ova barijera, bilo je moguće podzemno otjecanje površinskih i podzemnih voda u more, odnosno postojali su svi uvjeti za formiranje ponora u depresiji i otjecanje voda kroz vapnenački greben u more.

Danas je veza jezero—more ostvarena izvedbom kanala na Prosici, ali je također i danas dobro uočljiva u tom području i kroz vapnenački greben. 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 ujesen kad nadode veliko »jugo«) situacija je obrnuta, morska voda uvire u mjesta inače priobalnih izvora (pa su to tada ponori), prolazi kroz greben i izvire na obali Vranskog jezera. Ovi podaci govore o neobično do broj vezi jezero—more kroz vapnenački greben oko Prosike. Nesumljivo 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 čitavog razvitka današnje kriptodepresije i u vrijeme taloženja kvartarnih taložina.

Istražnim bušenjem je ustanovljeno da su kvartarne naslage debele do 30 m. One su taložene (prema ranije opisanom) oko 9.000 godina. Prema toj starosti sve bi taložine pripadale mlađem kvartaru — holocenu (razdoblje posljednjih 10.000 do 12.000 god.).

Usporedit ćemo registrirane podatke o sastavu kvartarnih naslaga i opisane postavke o njihovoj starosti klimatskim uvjetima koji su vladali u najmlađoj geološkoj prošlosti.

Općenito se smatra da su kvartarni erozijski procesi bili najintenzivniji u doba nastupa i maksimuma glacijacije. Relativno su se smirili posljednjih oko 8.500 godina.

Ovi osnovni podaci bili bi sukladni s osnovnim genetskim karakteristikama i izračunatom starošću kvartarnih naslaga u Vranskom jezeru, jer naslage ne ukazuju na bitnije klimatske promjene u vrijeme njihovog taloženja. Međutim poznato je da je klima bila u manjem opsegu promjenjiva i u holocenu, pa ćemo izvesti i detaljniju usporedbu genetskih tipova kvartara s klimom u holocenu.

Za prvu polovicu holocena karakterističan je porast temperatura, zatim nastupa stagnacija s klimatskim optimumom koji je trajao od oko 6.500 do 4.500 god. prije sadašnjosti, a iza te stagnacije je nastupio pad temperature (Segota, 1976). Usporedit ćemo ustanovljene genetske članove i izračunatu starost s opisanim klimatskim uvjetima u tom razdoblju. Glina sa šljunkom taložena je u vrijeme porasta temperature, glina u vrijeme stagnacije, a prah povremeno sa sitnim ulomcima taložen je u vrijeme kolebanja i pada temperature. Vidimo da su postojeće promjene u tim sedimentima, iako male, ipak usporedive s isto tako malim promjenama klimatskih uvjeta taloženja, pa se ova usporedba može smatrati potvrdom izračunate starosti geneze Vranske depresije posredstvom položaja razine mora u prošlosti.

#### HIDROGEOLOŠKA KONCEPCIJA VODODRŽIVOSTI JEZERA

Ova problematika već je ranije opisana (Fritz, 1980), pa ćemo ovdje iznijeti neke dopunske podatke.

Vode Vranskog jezera uzvodno od projektirane pregrade na grebenu prema moru, pokrivaju samo najmlađi dio foraminiferskog vapnenca tzv. glaukonitne i dio numulitnih vapnenaca. To su u stvari prelazne naslage iz vapnenaca u fliš, koje idući prema flišu sadržavaju sve više laporovite komponente (što smanjuje propusnost vapnenaca). Ujezerena voda je postupno počela dolaziti u kontakt s vapnencima u tom grebenu prije oko 800 god. ili manje (dubina vode do granice fliš-glaukonitni vapnenca je manja od 0,5—0,6 m), tako da su do danas potopljene samo spomenute prelazne naslage tj. vapnenca s nešto glinovite komponente. Zapažanjima na terenu i raspitivanjem kod stanovništva nije se saznalo da bilo gdje jezerska voda uvire u njih. Prije oko 800 god. i ranije ujezerena je voda bila u tom dijelu grebena u kontaktu s nepropusnim naslagama fliša.

Analizirajući taj dio grebena u cjelini vidimo da ga izgrađuju vapnenci u krilu antiklinale (os bora je registrirana kod Pakošтана) u čijoj su jezgri dolomiti (na površini vidljivi kod Draga). Ova antiklinala s dolomitima u jezgri mogla se samo pozitivno odraziti na nepropusnost grebena, jer je u prošlosti sprječavala jači prodor morske vode u kopno, kao i intenzivnije okršavanje grebena infiltriranim oborinskim vodama u smjeru mora.

Na osnovi iznesenog se može zaključiti, da greben u području uzvodno od projektirane pregrade u geološkoj prošlosti nije razrađivan podzemnim putovima jezero—more na potezu sve dok se fliška sinklinalna barijera pruža ispod jugozapadnog dijela jezera.

Kredna antiklinala s dolomitima u jezgri nadopunjavala je u prošlosti pozitivnu funkciju fliških naslaga. Sve do pregradnog profila ustanovljena je podzemna razvodnica u grebenu od koje dio voda gravitira prema jezeru (izvori uz obalu jezera, viši nivo podzemne vode u bušotini K-1, koja je izbušena u dolini uzvodno od desnog boka pregrade) što je najbolji dokaz da ne postoje podzemni putevi jezero—more.

Jugoistočnije od pregradnog profila hidrogeološki odnosi nisu detaljnije obrađivani, ali je kod Prosike ustanovljena očita veza jezero—more kroz vapnenački greben.

Na osnovi dosad iznesenog ne treba očekivati gubitke vode iz ujezerenja do predviđene kote 3,30 m kroz vapnenački greben između jezera i mora. Manji gubici mogu se eventualno pojaviti samo na užim potezima ili lokacijama. Takvi eventualni gubici mogu se uspješno naknadno sanirati površinskim otješnjenjem.

Sjeveroistočna obala jezera je eroziona baza za krške podzemne vode koje dotječu s te strane jezera pa se gubici na tu stranu ne očekuju. Najpoznatiji vodni objekt je vrulja Živača (slika 1) na kojoj istječu i ponorne vode kod Stankovaca. U sušnom razdoblju vrulja presušuje. Izvori uz tu obalu su uglavnom povremeno aktivni zbog relativno malog sliva.

Najveći dio pregradnog profila izgrađuju nepropusni kvartarni talozi, pa se problematika vododrživosti ujezerenja uzvodno od predviđene pregrade do kote od nekoliko metara svodi samo na rješavanje otješnjenja u bokovima i u podini pregrade u blizini obale. Dio problematike vododrživosti vezan je i uz zaštitni (uzvodni) nasip, a u ostalom dijelu ujezerenja gubici vode se ne očekuju.

#### PUTEVI PRODORA MORSKE VODE U KOPNO

Ispitivanja izvedena u okviru idejnog rješenja pregrade na Vranskom jezeru, prvenstveno istražna bušenja, znatno su upotpunila poznavanje geološke građe ispod jezera i ispod kvartara u Vranskom polju. Ustanovljeno je, da je rasprostranjenje lapora eocenskog fliša znatno veće nego što se to ranije prognoziralo (Fritz 1976, 1980), a s time u vezi je i znatno složenija tektonska građa tog terena. Ova saznanja kao i podatak istražnog crpljenja novootkrivene jame s vodom u lateralnom kanalu (u krajnjem sjeverozapadnom dijelu propusnih stijena sjeveroistočno od jezera) kojim je ustanovljena u sušnom razdoblju slatka voda u tom dijelu terena (Dukarić 1982), uz već opisanu analizu razvitka reljefa

i okršavanja, osnova su za prognoziranje putova morske vode dublje u kopno, kojeg su posljedica bočata voda na nekim izvorima u Vranskom polju. To su grupa izvora Ošac, Modro jezero i Kotlić, izvor Mali Stabanj, povremeni izvor Vrbica, te izvor Jasen kod crpne stanice uz glavni kanal blizu ceste Pakošane — Vrana. Ukupne količine slatkih voda na tim izvorima su u sušnom razdoblju znatne i kada ne bi bile pod uplivom mora moglo bi se privesti eksploataciji više stotina sekundarnih litara.

Analizirajući razvitak Vranske depresije i u vezi s time razvitak okršavanja ovog terena u najmlađoj geološkoj prošlosti (što je od primarnog značenja za kretanje današnjih slatkih i slanih podzemnih voda) upoznali smo i dijelove terena kroz koji su slatke podzemne vode iz kopna otjecale u more. To su potezi između dviju fliških barijera sjeverno od Biograda (danas je aktivna vrulja u Biogradu) i potez vapnenačkog grebena između jezera i mora oko Prosike. Ovdje je bio omogućen i dublji prodor morskoj vodi u kopno, odnosno utjecaj morske vode na dinamičke slatke vode. Da se to dogodilo dokazuju nam spomenuti bočati izvori u Vranskom polju, kao i zaslanjenost vode Vranskog jezera.

Dosad je bilo otvoreno pitanje kojim se podzemnim putovima zaslanjuju te vode. U ranijim razmatranjima, kad debljina kvartarnih taloga u jezeru nije bila poznata i kada se pretpostavljalo da im podinu izgrađuju propusni vapnenci, ocjenjeno je, da se jezero i izvori zaslanjuju morskom vodom koja prodire u kopno kroz širi teren oko Prosike (F i r t z, 1980). Međutim, kako je opisano u ovom radu, debljina vodonepropusnih kvartarnih taloga ispod jezera doseže i do 30 m, a veći dio njihove podine izgrađuju nepropusni lapori eocenskog fliša. Kompleks nepropusnog kvartara i fliša sprečava prodor morske vode dublje u kopno ispod jezera iz smjera oko Prosike. Morska voda iz tog terena bi mogla prodrijeti dublje u kopno i kroz vapnence u lijevoj (sjeveroistočnoj) strani jezera. Međutim to se vjerojatno ne događa na dužem potezu, a sigurno je da se kroz to područje ne zaslanjuju izvori u Vranskom polju. Ta sigurnost proizlazi iz podataka, da je na kraju tog propusnog poteza, u lateralnom kanalu, crpljena spomenuta jama s vodom kapaciteta u sušnom razdoblju oko 6 l/s, sa sniženjem razine vode ispod razine mora, a da se salinitet vode nije povećao iznad 50 mg Cl/l.

Ako usvojimo navedeno obrazloženje ostaje gotovo sigurna pretpostavka da se bočati izvori u Vranskom polju zaslanjuju iz područja Biograda i to kroz vapnence između dviju sinklinalnih barijera sjeverno od Biograda (slika 3). Stoga nadvišenje vode u dijelu Vranskog jezera neće utjecati na desalinizaciju bočatih izvora u Vranskom polju. Određen utjecaj višeg nivoa budućeg jezera na podzemne vode Vranskog polja kroz vapnence zapadno od jezera spriječit će se tehničkim riješenjem otješnjenja jezera.

Shodno opisanom uzvodno od buduće pregrade jezero se više neće zaslanjivati, jer se prodor mora u kopno odvija putovima koji su izvan uplivnog područja projektirane akumulacije (slika 3).

*Primljeno: 15. 11. 1983.*

## LITERATURA

- Benić, J. (1983): Vapnenački nanoplankton u klastitima Vranskog jezera. Fond struč. dok. Geol. zavod, Zagreb.
- Dukarić, F. (1982): Izvještaj o pokusnom crpljenju jame smještene u dnu lateralnog kanala Vranskog jezera Kakma, Fond struč. dok. Geol. zavod, br. 293, Zagreb.
- Fritz, F. (1974): Vransko jezero kod Biograda. Hidrogeološki odnosi. Fond struč. dok. Geol. zavod, br. 5538, Zagreb.
- Fritz, F. (1976): Ravni Kotari — Bukovica, Hidrogeološka studija, Fond struč. dok. Geol. zavod, br. 112/76, Zagreb.
- Fritz, F. (1978): Hidrogeologija Ravnih Kotara i Bukovice. *Krš Jugosl.* 10/1, 1—43, Zagreb.
- Fritz, F. (1980): O mogućnostima uspora vode u Vranskom jezeru kod Biograda n/m. Zbornik 6, Jugosl. simp. hidrogeol. inž. geol., knjiga 1. 191—197, Portorož.
- Fritz, F. (1983): Pregrada na Vranskom jezeru. Idejno rješenje. Geološki istražni radovi. Fond struč. dok. Geol. zavod, Zagreb.
- Mamužić, P. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Šibenik, Beograd.
- Mamužić, P. & Neděla-Devidé, D. (1968): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Biograd, Beograd.
- Šegota, T. (1968): Morska razina u holocenu i mlađem Würmu. *Geografski glasnik*, 30, 15—39, Zagreb.
- Šegota, T. (1976): Klimatologija za geografe. Školska knjiga, Zagreb.
- Šegota, T. (1982): Razina mora i vertikalno gibanje dna Jadranskog mora od ris-virmskog interglacijala do danas. *Geološki vjesnik*, Vol. 35, 93—109, Zagreb.
- Šikić, L. (1982): Mikropaleontološke analize uzoraka sedimenata područja Vranskog jezera. Fond struč. dok. Geol. zavod, br. 350/82, Zagreb.

### The origin and age of the lake near Biograd na moru, Croatia

F. Fritz

Lake of Vrana (Vransko jezero) is separated from the Adriatic sea by a ridge wide only 1 to 2.5 kilometers and composed of limestone with some dolomite, the latter appearing on limited areas near the sea coast. The lake level is practically equal to the sea level. During dry season the lake water is slightly brackish. The surrounding terrain is built of Tertiary and Paleogene limestones and Eocene flysch while the lake bottom and karst poljes are filled with Quaternary deposits (Fig. 1).

The feasibility of the construction of a dam across the lake has been considered in order to elevate water level in the lake for water supply purposes. The small width of the ridge between the lake and sea seemed the greatest problem. But, after a study of the morphology of that area, optimistic views about the elevation of lake level prevail.

By means of exploratory drilling, the total thickness of the Quaternary deposits was determined to amount 29 meters (12 meters of silt, 10 meters of clay, and 7 meters of clay with pebbles) and also the fact that the sediments were deposited without breaks and sharp changes in lithology.

The greatest depth of the lake is 3 meters. If the sea level were lower for more than 3 meters the permanent lake would not exist. Sporadic existence of the lake after heavy rainfalls would depend only on the permeability of the calcareous ridge which is — because of several estavelles found in the area of Prosika (Fig. 2) — very high in seaward and lakeward directions.

A known fact is that the sea level has been constantly elevated since the last glaciation. During the geological history, as it is nowadays, the sea level was the erosion basis for waters from the depression of Vrana.

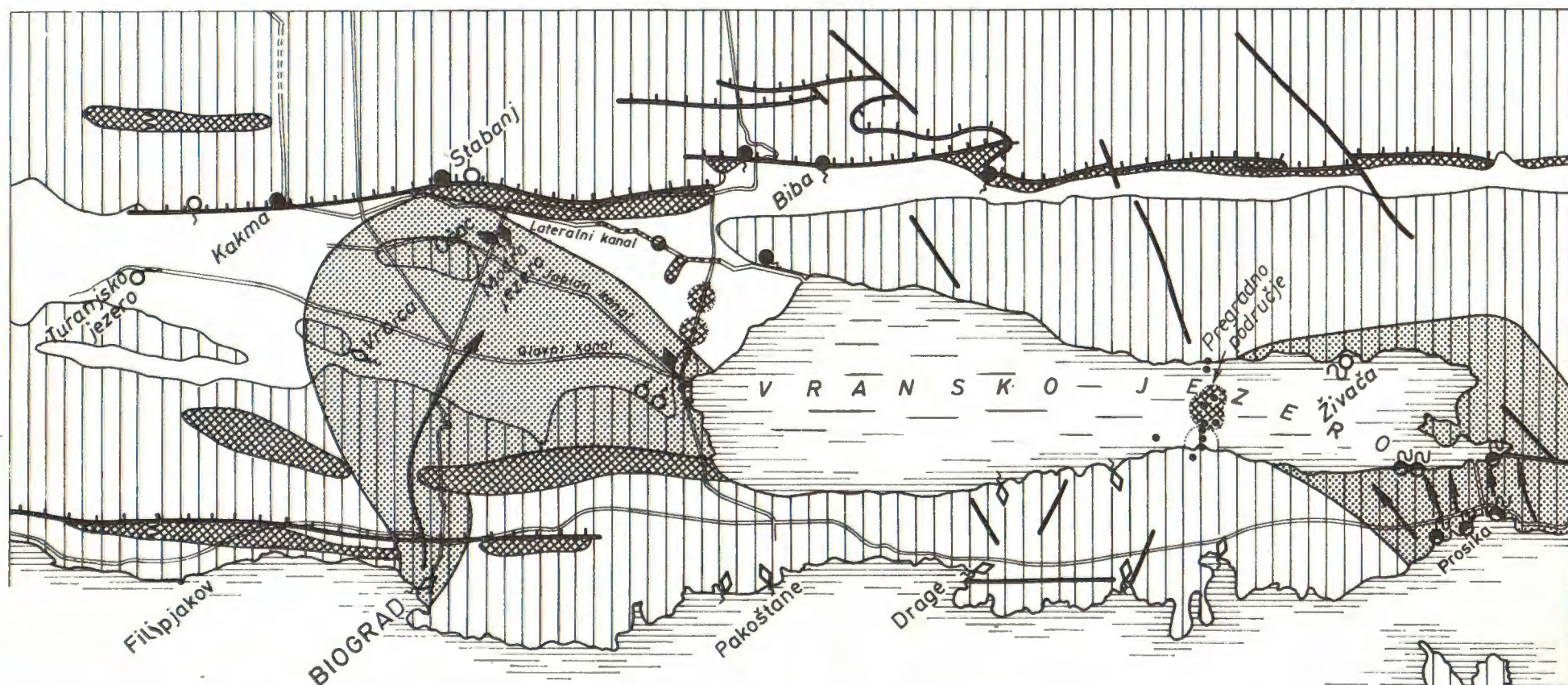
The initial relieve in the Cretaceous and Eocene deposits was being deepened till the time when the sea level became lower than the bottom of the Quaternary deposits. Then waters flew from the depression (valley) into the sea through the

calcareous ridge (Fig. 2, cross section A). The deposition of the Quaternary sediments of the lake of Vrana began when the sea level rose above the »mouths« of sinking waters and it has lasted till now (Fig. 2, cross sections B and C).

Segota (1968) studied the position of sea level for each thousand years from the last glaciation till the recent time. By using those data corrected for intervals within which the Yugoslav coast was lowered (Segota, 1982) a conclusion may be made that the Quaternary sediments were deposited during the last 9,000 years, i. e. that they are of Recent age.

A partially inundated flysch syncline, situated in the upstream part of the lake along the calcareous ridge, in the past overtopped a paleodepression and prevented the karstification of the ridge by waters that percolated between the lake and sea.

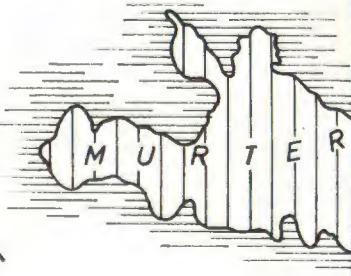
Because of above mentioned facts, it has been estimated that the water level in the considered part of the lake may be elevated several meters without considerable leakage of water. It would result mostly with the inundation of transitional deposits from foraminiferal limestones into flysch, so-called glauconite limestones, which are more marly as they are nearer the flysch, that means also less permeable.



**PRODORI MORSKE VODE DUBLJE U KOPNO**  
**DEEP INTRUSIONS OF SEA WATER INTO THE LAND**

0 1 2 3 4 5 km

Crtao - Drawn by: S. KOŠČAL



**PROPUSNOST STIJENA :**  
**PERMEABILITY OF ROCKS :**



NA IZMJENIČNA  
 VARIUOUS



PR OPUSNE KARBONATNE STIJENE  
 PERMEABLE CARBONATE ROCKS



NEPROPUSNE  
 IMPERMEABLE



Prognozirani smjer prodora morske vode dublje u kopno  
 Prognostic direction of deep sea water intrusion into the land



Prognozirano područje zaslanjenja pri površinskih voda u sušnom razdoblju  
 Prognostic area of surface waters salinization during dry season