

## HIDROGEOLOŠKI ODNOSI U PODRUČJU ZAPADNOG DIJELA RAVNIH KOTARA – DALMACIJA

*S 2 slike u tekstu i 3 priloga*

Iznose se rezultati hidrogeoloških istraživanja u priobalnom području (Sjeverna Dalmacija). Hidrogeološke funkcije naslaga, struktura terena, te hipsometrijski položaj naslaga dali su poseban pečat hidrogeološkim odnosima u ovom području, čime se ono izdvaja iz općenite hidrogeološke slike krša u priobalnom području.<sup>1</sup>

### UVOD I HISTORIJAT

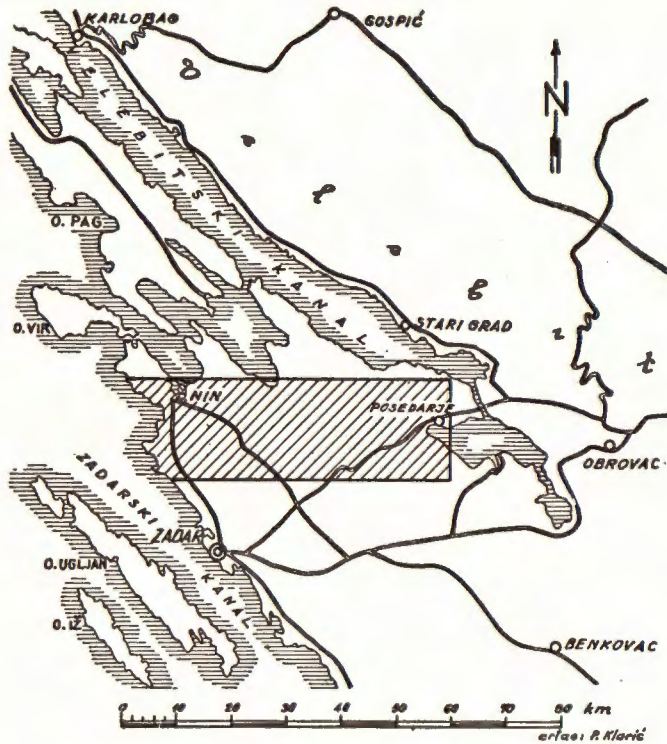
Proučavano područje nalazi se u zapadnom dijelu Ravnih kotara, a obuhvaća površinu od 233 km<sup>2</sup> (sl. 1).

Područje je u niz navrata geološki istraživano. Prve podatke nalazimo na preglednoj geološkoj karti F. Hauera (1867–1871, 1868). Početkom ovog stoljeća u ovom su području dosta radili R. Schubert (1903, 1905, 1907, 1908, 1909a, b, c, 1912, 1920) i F. Kerner (1901, 1920).

Novija istraživanja – D. Anić i suradnici (1955) i P. Mamužić i suradnici (1956) – vršena su u okviru istražnih radova za geologiju nafte. B. Sikošek & S. Uccellini (1960) obrađuju regionalne tektonske odnose šireg područja Ravnih Kotara. F. Fritz & P. Mamužić (1962 a, b) i F. Fritz & V. Šikić (1962 a, b) izvršili su paralelno geološka i hidrogeološka istraživanja ovog područja na topografskoj podlozi M 1 : 25.000. Tom su prilikom prikupljeni i uzorci stijena za sedimentno-petrografske i granulometrijske analize (koje je obradio P. Jović, 1962 a, b, c), a sa izvora i bunara uzeto je 142 uzorka vode za kemijske analize. Speleološke objekte u ovom području obradio je S. Božičević (1962a, b). Preglednu sliku vodoprivrede Dalmacije, kojom je obuhvaćeno i ovo područje, dao je A. Celin (1958). U okviru radova za opskrbu Zadra podzemnom vodom iz

<sup>1</sup> Iz materije ovoga rada u skraćenom je obliku održano predavanje na I. kolokviju o zunanjih Dinaridih, u Ljubljani, 22. 6. 1966.

područja Bokanjačkog blata, kao i za melioraciju Blata izvršen o je više vodoistražnih radova, pretežno hidroloških, a manje geoloških i geofizičkih. Z. K r u l c (1954) utvrdio je geoelektričkim istraživanjima u području bunara za zadarski vodovod znatnija tektonska poremećenja. Električkim mjerenjem pomoću zaslanjivanja nisu dobiveni očekivani rezultati utvrđivanja podzemnih vodotoka. N. P a u k o v i ć, J. D o m a-



Sl. 1. Situacija istraživanog područja.

Fig. 1. Position of the explored region.

ćinović & P. Raffaelli (1955) su mišljenja, da postoji povezanost podzemne vode u području Blata. Smatraju, da se odvodnjavanje ne smije vršiti s nižom kotom od 18,00 metara. I. C r n o l a t a c (1961) daje geološki pregled područja na temelju karte R. S c h u b e r t a (1920), a isti autor (1963) opisuje detaljno područje odvodnog tunela i upozorava na znatnu karstifikaciju naslaga uzduž nivelete tunela. E.

Svetličić (1961) dao je hidrološku studiju Bokanjačkog blata. U studiji je detaljno obrađen režim podzemnih i površinskih voda. Na osnovu površinske razvodnice orijentaciono je određen sliv Bokanjačkog blata (60,5 km<sup>2</sup>), a uzimajući u obzir specifičnost područja, izračunat je vodni bilans. U toku su daljnji istražni radovi za opskrbu vodom Zadra i okoline.

Veliku zahvalnost dugujem M. Heraku i D. Srebrenoviću na korisnim sugestijama pri radu.

#### OPĆI PODACI O TERENU

*Reljef* terena u jugozapadnoj polovini istraživanog područja blago je zatalasan s najvišim kotama oko 60 m. Idući prema sjeveroistoku teren se postepeno diže i doseže visinu preko 200 m (najviša kota 250 m). U tom se dijelu terena dobro može uočiti pravac pružanja orografskih osi (sjeverozapad–jugoistok).

U istraživanom području vlada *jadransko-mediteranska klima*. Prosječno godišnje padne oko 1000 mm oborina s tim, da u zapadnom dijelu padne oko 940 mm, a u krajnjem sjeveroistočnom dijelu terena oko 110 mm. Najviše oborina padne u oktobru, novembru i martu. Jačinu vjetrova od 6 Beaufort-a (odgovara brzini 36 km/h), i više, ima Zadar prosječno 21–22 dana. Jačinu od 8 Beaufort-a (55 km/h), i više, ima jedan dan godišnje. Na tišinu otpada 30% vremena kroz koje su vršena opažanja. Godišnji hod relativne vlage u Zadru (za razdoblje 1945–51) kreće se od 63–72%, pa se i prosjek od 70% može smatrati kao relativno niska vrijednost.

*Biljni pokrivač* je uglavnom sredozemni s uvijek zelenim šikarama, ali je i znatan utjecaj kopna, pa nalazimo i kopnenu vegetaciju s listopadnim drvećem i žbunjem. Na karbonatnim naslagama vegetacija je uglavnom rijetka, dok je na naslagama fliša i kvartara više-manje neprekidna (veći dio zasađen je kulturama).

*U hidrografskom pogledu*, ovisno o geološkoj građi, možemo razlikovati dva područja. Jedno je izgrađeno od karbonatnih naslaga (kreda i paleogen) i u tom području od vodotoka postoje samo jaruge, kojima vode teku povremeno nakon intenzivnih kiša. Drugo područje izgrađuju fliške naslage (eocen) i dijelom kvartarne tvorevine (uglavnom pleistocenske gline istočno od Nina). U ovom području ima i ljeti površinskih tokova. Ipak, u kritičnom sušnom razdoblju presuše svi površinski tokovi.

#### GEOLOŠKI SASTAV TERENA

Istraživano područje izgrađeno je od gornjokrednih, paleogenskih i kvartarnih naslaga.

Gornjokredne naslage su isključivo u karbonatnom razvoju. U bazi serije su dolomiti i dolomitni vapnenci, koji sačinjavaju jezgre antiklinala, a na njih su kontinuirano taloženi rudisti vapnenci.

*Dolomiti i dolomitni vapnenci* –  $K_2$ – $S$  su tamnosive do svijetlosive boje, uglavnom slabo uslojeni, a debljina slojeva varira od 0,2–0,6 metara. Sadržje 60–92%  $CaMg(CO_3)_2$ . Struktura im je srednjeznata, a veličina zrna varira od 0,05–0,25 mm. Debljina naslaga iznosi preko 250 metara.

*Rudistni vapnenci* -  ${}_2K_2^{3-8}$  izgrađuju najveći dio antiklinala, tvoreći njihova krila ili jezgre. Dobro su uslojeni (0,2-0,8 m), boje su svijetlosmede do sivosmede. Sadrže često blizu 100%  $CaCO_3$ , te spadaju u »čiste» vapnence. Veličina zrna varira od 0,1-0,01 mm, a samo iznimno i do 0,15 mm, pa im je struktura uglavnom grmulozna s kriptokristalastim do zrnatim matriksom. Debljina rudistnih vapnenaca iznosi do 400 metara.

Naslage paleogena leže transgresivno na gornjokrednim vapnencima. Kutna diskordanca između naslaga paleogena i krede praktično nije primjetna. Bazalne breče i konglomerati, koji upućuju na transgresiju, samo su mjestimično istaloženi.

Unutar paleogenskih naslaga izdvojeno je prilikom kartiranja niz stratigrafskih članova, što su razvijeni ili u obliku vapnenaca ili u obliku fliša. Radi preglednosti kante (prilog 1) nisu izdvojeni svi karbonatni stratigrafski članovi.

*Foraminiferski vapnenci* -  $E_{1-2}$  obuhvaćaju na karti i liburnijske naslage, koje su istaložene u uskoj zoni zapadno od Polešnika i sjeverno od Golog briga (zastupljene su u bazi transgresivnim brečama i konglomeratima na kojima slijede gotovo sasvim škriljavi vapnenci), kao i završni dio foraminiferskih vapnenaca, koji su zastupljeni tzv. »glaukonitnim vapnencima«. S obzirom na foraminifere, koje prevladavaju, možemo ove vapnence podijeliti - od starijih prema mladima - na miliolidne, alveolinske i numulitne. Ukupna debljina ovih vapnenaca iznosi do 300 metara. Debljina slojeva raste idući od starijih prema mladim naslagama (miliolidni vapnenci 1 cm, numulitni 1 m). Slojevitost se često puta ne može razabrati zbog osobito intenzivnog površinskog trošenja naslaga. Sadržaj  $CaCO_3$  je gotovo uvijek blizu 100%.

*Eocenski fliš* -  ${}_1E_2^{3-8}$  stratigrafski se može podijeliti u dvije skupine: naslage podinskog fliša i naslage krovinskog fliša.

Naslage podinskog fliša taložene su konkordantno i kontinuirano na foraminiferske vapnence. Započinju pretežno laporima, koji sadrže po koji tanji uložak pješčenjaka. Debljina ovih naslaga iznosi oko 350 m (prema rezultatima mikropaleontoloških analiza S. Muldini - Mamužić, 1962).

Transgresivno na naslage podinskog fliša, bez primjetne kutne diskordance, istaložene su naslage krovinskog fliša, koje se od podinskog razlikuju faunistički i litološki. Uglavnom su to više-manje pjeskoviti lapori, sitnozrni pješčenjaci, a javljaju se i vapnenci i konglomerati. Spomenuti litološki članovi se međusobno izmjenjuju. Ipak, u pojedinom nivou istaloženi su pretežno lapori, pa su ove partije - zbog različitih hidrogeoloških osobina - izdvajane od partija gdje su lapori podjednako zastupljeni u odnosu na ostale litološke članove ili imaju čak podređenu ulogu. To je izdvajanje na terenu bilo otežano zbog prekrivenosti naslaga fliša eluvijalnim tvorevinama. Debljina krovinskog dijela fliša iznosi i do 850 m (Islamska sinklinala).

Naslage fliša dolaze u jezgri gotovo svih sinklinala. Izuzetak su sinklinala što leže sjeverno i južno od Posedarja i kojima su u jezgri utvrđeni još slijedeći, mladi članovi paleogena:

- numulitni i koraljni vapnenci* -  ${}_2E_2^{3-8}$  (debljine do 120 m),
- pločasti laporoviti vapnenci* -  ${}_3E_2^{3-8}$  (debljina slojeva samo izuzetno doseže do 40 cm, ukupna debljina oko 330 m) i
- eocenski konglomerati i breče* -  ${}_4E_2^{3-8}$  (valutice i ulomci variraju pretežno u granicama 1-30 cm).

Naslage krovinskog dijela fliša, kao i mlade naslage, bolje su razvijene u širem području Ravnih Kotara, a poznate su pod nazivom »prominske naslage«.

Kvartarne tvorevine rasprostranjene su najviše u širem području Nana. Vremenski pripadaju pleistocenu i holocenu.

*Pleistocen* -  $Q_1$  zastupljen je pijescima (k) i pjeskovitim glinama (pg). Pijesci su nevezani, dobro sortirani, a u sastavu frakcija dominira kremen. U sastavu pjeskovitih glina prevladava komponenta silta (0,062-0,004 mm), dok je pjeskovita kao i glinovita komponenta u podređenom položaju.

Pijesci se eolskog porijekla, ali veliki dio siltne, te glinovite komponente u pjeskovitim glinama nije eolskog porijekla (F. Fritz & P. Jović, 1965). Debljina pijesaka i pjeskovitih glina dostiže i preko 30 metara.

*Holocen* -  $Q_2$  je zastupljen zemljom crvenicom, jezerskim sedimentima, eluvijskim i deluvijskim tvorevinama i aluvijalnim nanosom. S obzirom da su holocenske tvorevine uglavnom male debljine (do par metara) one, osim jezerskih sedimenata i dijelom aluvijalnih nanosa, nisu interesantne u hidrogeološkom pogledu.

Eluvijske tvorevine (e) nalazimo samo u području fliša, čijim su trošenjem i nastale. Sastoje se pretežno od pjeskovito-glinovite supstance, koja je izmiješana s produktom raspadanja vegetacije. Debljina im se kreće redovito ispod 1,5 metara.

Jezerški sedimenti (i) razvijeni su u području Bokanjačkog blata. Sastoji se pretežno od pjeskovite gline bogate vapnom (E. Svetličić, 1961). Prema determinaciji pijezometarskih bušotina debljina sedimenata iznosi i do 18 metara.

Potočni nanosi (al) istaloženi su uzduž većih povremenih tokova. Sastoje se pretežno od glinovito-pjeskovitog materijala, a manje od fragmenata okolnih stijena.

## TEKTONIKA

Na osnovu površinskog istraživanja možemo zaključiti da je područje relativno jednostavne strukturne građe. Sastoji se od niza antiklinala i sinklinala, koje se pružaju uglavnom u pravcu sjeverozapad-jugoistok. Bore su uspravne do malo nagnute (prilog 1). Česta je pojava undulacije osi bora.

Registriran je niz rasjeda, koji su uglavnom lokalnog značenja. Najizrazitiji su u središnjem dijelu terena, u širem području Poljica, te u području mjesta Rupali. Navedeni rasjedi su dijagonalni, pružaju se u smjeru istok-zapad i čine s pravcem pružanja bora kut od cca 45°.

Osnovni pečat hidrogeološkim odnosima u ovom priobalnom području dala je, osim hidrogeoloških osobina naslaga, prvenstveno struktura terena i geometrijski položaj naslaga, što je detaljnije opisano u hidrogeološkom dijelu rada. Stoga u područjima gdje se karbonatne naslage nalaze između eocenskog fliša, registrirani rasjedi i mikrotektonski elementi nemaju veći utjecaj na smjer kretanja i pojave podzemnih voda, pa u ovoj fazi istražnih radova analizi mikrotektonskih elemenata nije posvećena veća pažnja.

## GEOMORFOLOGIJA

Pružanje grebena i udolina podudara se s pružanjem geoloških struktura. Međutim, česta je pojava da su grebeni sinklinalne, a udoline antiklinalne građe. Npr. udoline Bokanjačkog blata i područja donjeg toka potoka Baštice formirane su u tiemenima antiklinala, dok je središnji dio »Islamske sinklinale« - greben (vidi hidrogeološke profile na prilogu 1). Ovakav »inverzan« reljef pogoduje poniranju oborinskih voda u područjima antiklinalne građe (koja su redovito izgrađena od karbonatnih naslaga - npr. Bokanjačko blato, područje jugozapadno od Polešnika i dr.), što znatno obogaćuje podzemne vode u tim područjima.

U karbonatnim naslagama karakteristični krški oblici slabo su razvijeni. Izrazitijih ponikava gotovo i nema, a škrape su rijetka pojava. S. Božičević (1962 a, b) registrirao je 7 pećina i 36 jama i ponora. Međutim, to su pretežno objekti neznatnih dimenzija, rijetko većih od 10 metara. Ponora sa stalnim uviranjem nema.

Slab razvoj krških fenomena razumljiv je obzirom na malenu nadmorsku visinu karbonatnih naslaga u ovom području.

## HIDROGEOLOGIJA

### Hidrogeološke karakteristike i funkcije stijena

Iz geološkog se pregleda vidi, da proučavani teren izgrađuju slijedeće vezane stijene: vapnenci, dolomiti, konglomerati, breče, lapori i pješčenjaci i *poluvezane i nevezane* kvartarne tvorevine: pijesci, pjeskovite gline, gline, šljunci i kršje.

Ove se naslage različito odnose prema vodi. Ovisno o uslovima pod kojima se voda nalazi i kreće u njima, naslage su podijeljene u 4 grupe i to:

- dobro propusne, lokalno slabije propusne
- slabo propusne
- praktično nepropusne
- posebno su na hidrogeološkoj karti izdvojeni aluvijalni nanosi kao stijene s vertikalnom i bočnom promjenom propusnosti. Međutim, ovi su nanosi, kao i dio kvartarnih tvorevina, od malenog hidrogeološkog značenja. Od primarnog su značenja vezane stijene - karbonatne naslage i naslage fliša.

Dobro propusne stijene zauzimaju najveći dio istraživanog terena. To su vapnenci ( ${}_2K_1^{2-3}$ ,  $E_{1-}$ ,  ${}_2E_1^{2-3}$ ), konglomerati ( ${}_4E_1^{2-3}$ ), dolomiti i dolomitični vapnenci u svom površinskom dijelu ( ${}_1K_1^{2-3}$ ) i kvartarni pijesci (p).

Dolomiti i dolomitični vapnenci izgrađuju jezgre antiklinala i na površini se javljaju u području Bokanjačkog blata i u antiklinali jugozapadno od Posedarja. U svom površinskom dijelu, u zoni istezanja (tjeme antiklinala), ove su naslage znatno propusne i u tom se pogledu ne razlikuju od vapnenaca (što potvrđuju krški izvori u antiklinali kod Posedarja), pogotovo jer je za kretanje podzemnih voda u ovom području interesantan samo dio naslaga, koji se nalazi uglavnom iznad razine mora. Međutim, propusnost ovih naslaga se s dubinom smanjuje i u dubljim dijelovima, gdje prevladavaju dolomiti, one su slabije propusne i mogu vršiti funkciju relativne barijere za podzemne vode.

Propusnost karbonatnih naslaga najvećim je dijelom sekundarna (pukotinska, djelovanjem vode pojedine se pukotine proširuju, pa nastaju

šupljine – kaverne, te je i kavernožnost znatno zastupljena). Pukotine su nastale u toku različitih orogenetskih faza, a u površinskom dijelu i djelovanjem eksogenih sila. Propusnost naslaga varira od mjesta do mjesta, ovisno o intenzitetu izlomljenosti, razvitku krških fenomena i sekundarnoj ispunjenosti ovih šupljina. Oborinska voda, koja padne na površinu karbonatnih naslaga, najvećim dijelom ubrzo ponire kroz mnogobrojne pukotine i šupljine u podzemlje. Ostali dio ishlapi ili otiče površinom terena. To je rijetka pojava, osobito u zapadnom dijelu terena.

Kvartarni pijesci (p) klasificirani su kao dobro propusni na osnovu koeficijenta propusnosti, koji je dobiven računskim putem na temelju granulometrijskih analiza poremećenih uzoraka, a što može poslužiti samo kao orijentaciona vrijednost. Na isti način određen je i koeficijent propusnosti ostalih poluvezanih stijena. Koeficijent propusnosti (k) kreće se prema skraćenoj formuli Hazena ( $K = 1,16 \times d_{10}$  cm/sek) u pijescima između  $1,6 \times 10^{-2}$  cm/sek i  $2,56 \times 10^{-3}$  cm/sek, a po Creager-u (Creager, W. P., Justin, J. D. & Hinds, J., 1950, str. 649) između  $4,6 \times 10^{-2}$  cm/sek i  $4,8 \times 10^{-3}$  cm/sek. Poroznost pijesaka je međuzrska. Pijesci su više zaglinjeni (i manje propusni) u području samog mjesta Nina i u središnjem dijelu Islamske sinklinale. U području poluotoka Privlaka, zapadno od Nina, i u središnjem i sjeverozapadnom dijelu Islamske sinklinale pijesci vrše funkciju vodiča apsorbiranih oborinskih voda u propusnu podlogu, dok se u jugoistočnom dijelu Islamske sinklinale podzemna voda u pijescima (koja se akumulira na kontaktu s nepropusnim laporima) eksploatira pomoću kopanih bunara.

Slabo propusne stijene su od manjeg hidrogeološkog značenja u istraživanom području. U ovu su hidrogeološku grupu uvršteni od vezanih stijena pločasti laporoviti vapnenci ( $3E_1^{a-s}$ ), te poluvezane stijene pjeskovite gline (pg), jezerski sedimenti (j) i produkt trošenja naslaga eocenskog fliša (e).

Pločasti laporoviti vapnenci razvijeni su sjeverno od Posedarja u širem području Golog Briga. Po svojim hidrogeološkim karakteristikama su slični već opisanim, dobro propusnim karbonatnim naslagama, samo što su u njima krški fenomeni slabije razvijeni i propusnost im je manja.

Poroznost poluvezanih naslaga (pg, j, e) je međuzrska. Oborinska voda koja padne na njihovu površinu manjim se dijelom apsorbira, dok veći dio – osobito nakon duljih i intenzivnijih kiša – otječe površinom terena. Rezerve slobodne podzemne vode u ovim naslagama su neznatne, jer u stijenama prevladavaju kapilarne i subkapilarne pore.

Koeficijent propusnosti (uzeto je svega 6 uzoraka) se kreće između  $2 \times 10^{-4}$  cm/sek i  $5,6 \times 10^{-6}$  cm/sek. Uzorci su uzimani u više pjeskovitim partijama.

Talozi pjeskovitih glina, te jezerski talozi u Bokanjačkom blatu najvjerojatnije ispunjavaju i znatan dio pukotina u karbonatnoj podlozi, a kako se nalaze u razini ili blizu razine mora, vrše funkciju izvjesnog usporavanja podzemnih voda koje, u svom kretanju prema moru, nadolaze iz područja jugoistočno od ovih naslaga. U hidrološkom maksimumu, kada je nivo podzemne vode najviši, u graničnom dijelu ovih taložina i karbonatnih stijena dolazi do izviranja podzemne vode.

Pjeskovite gline u priobalnom području sprečavaju dublje prodiranje morske vode u kupno.

Praktično nepropusne stijene su naslage eocenskog fliša -  $E_1^{2-3}$ , koje dolaze u jezgrama sinklinala. S obzirom na litološki sastav najviše su zastupljeni lapori (koji su u starijim partijama vapnoviti, a u mlađim više pjeskoviti), zatim pješčenjaci, vapnenci i iznimno konglomerati. Dio naslaga prekriven je rastresitim pokrivačem (e), koji je nastao trošenjem ovih naslaga.

U područjima gdje lapori igraju podređenu ulogu naslage su propusne do stanovite dubine, gdje se pukotine suzuju ili su ispunjene slabopropusnim do nepropusnim produktom trošenja lapora, i mogu sadržavati izvjesne rezerve podzemnih voda. Poroznost tog dijela fliša je pukotinska i međuzrnska. Veća je u površinskom dijelu naslaga, gdje je uglavnom pukotinska i s dubinom se smanjuje. Poroznost lapora je međuzrnska, ali fina, sitna i prevladavaju subkapilarne pore, pa je lator praktično nepropusan i ne sadrži slobodnu podzemnu vodu. Oborinska voda, koja padne na površinu lapora, praktično sva otječe površinom ili ishlapi, dok se na ostalom području fliša dio vode infiltrira u podzemlje, pa u ovom dijelu ima pojava i stalnih izvora. Stalnost izvora je veća ako su naslage prekrivene rastresitim kvartarnim tvorevinama koje dobro apsorbiraju oborinske vode, a polagano ih spuštaju (s dubinom u kvartarnim tvorevinama pore se sve više suzuju, osobito u kontaktnom dijelu s naslagama fliša). Zbog ovakvih hidrogeoloških odnosa najveće rezerve podzemnih voda u flišu nalazimo u središnjem dijelu Islamske sinklinala.

U rastresitom pokrivaču na flišu postoji stanovita rezerva podzemnih voda, koja se koristi preko niza iskopanih bunara, ali su te rezerve neznatne. Jakim kapilaritetom pospješuje se isparavanje vode iz tih tvorevina, čime se rezerve još više smanjuju, pa je u kritičnom sušnom razdoblju veći dio bunara suh.

U cjelini nepropusne naslage eocenskog fliša, ovisno o hipsometrijskom položaju, u odnosu na karbonatne naslage i more, vrše funkciju barijere za podzemne vode u dobro propusnim karbonatnim naslagama.

Podzemne se vode u karbonatnim naslagama nalaze na relativno maloj apsolutnoj visini i ne vrše veliki hidrostatski pritisak prema zoni istjecanja. Evidentno je, da okršavanje s dubinom opada, a postojeće šire pukotine se s dubinom suzuju, zbog čega raste otpor kretanju vode. Osina



toga, fliški lapori koji u dodiru s vodom bubre i raspadaju se u glinoviti materijal, omogućuju ispunjavanje postojećih pukotina i drugih pora u kontaktnom dijelu s karbonatnim naslagama, čime se povećava otpor kretanju podzemne vode. Sve to uslovljava da se podzemne vode u karbonatnim naslagama – generalno uzevši – kreću u pravcu pružanja struktura, gdje je otpor kretanju vode znatno manji. Ni kod najpliće sinklinalne Kožin-Petrčane ne dolazi do podilaženja vode pod barijeru (najkraći pravac do erozione baze), našto nam ukazuje pomanjkanje priobalnih izvora i vrulja.

Pod istaknutim okolnostima (između dviju fliških barijera) nalaze se podzemne vode u karbonatnim naslagama u središnjem i zapadnom dijelu istraživanog terena. U širem području Ravnih kotara podzemne su vode u karbonatnim naslagama najvećim dijelom tako »omeđene« barijerama fliša. Zbog toga dinamičke vode u karbonatnim naslagama pod iznjetim uslovima možemo u hidrogeološkom pogledu tretirati kao »bočno zatvorene karbonatne vode«.

### Kretanje podzemnih voda u karbonatnim naslagama

Na kontaktu dobro propusnih karbonatnih naslaga s naslagama u cjelini nepropusnim (flišem) nema u istraživanom terenu pojava kontaktnih izvora. Podzemne vode (u većem dijelu središnjeg i zapadnog dijela terena) se nalaze niže, između dviju barijera, pa im je omogućen generalni pravac kretanja prema erozionoj bazi više-manje *paralelno sa strukturama*, tj. u smjeru sjeverozapada. U tom se smjeru vode prvenstveno i proširivale postojeće pukotine, pa je statistička obrada pukotina u ovom slučaju od sekundarne važnosti.

U području Poljica, uslijed usporne funkcije koju vrše pjeskovite gline, podzemna voda većim dijelom nastavlja svoj put sjeverno od pjeskovitih glina (prema izvoru »Vrulja« kod jame Golubinke – izvan terena), a manji dio istječe u izvoru Boljkovac, istočno od Nina.

Najintenzivnije proširivanje pukotina i šupljina se vršilo, a i danas se vrši u zoni kolebanja podzemnih voda. Tamo su formirani najizrazitiji podzemni tokovi, koje se prema prije navedenom više-manje poklapaju s pravcem pružanja bora.

Ne smijemo izgubiti iz vida činjenicu da u karbonatnim naslagama postoji i niz potpuno izoliranih pukotina i šupljina koje nemaju značenja za kretanje podzemnih voda, niti su interesantne sa stanovišta eksploatacije podzemnih voda.

Podzemne vode iz karbonatnih naslaga pojavljuju se na površini u priobalnom području u obliku izvora i priobalnih boćatih izvora.

U priobalnom području dolazi do pretežno difuznog miješanja slatke podzemne vode (koja gravitira prema moru) i slane morske vode, pa je u tom pojasu voda više ili manje bočata.

Nakon iskopa odvodnog tunela »Bokanjačko blato – Miljašić jaruga« dio podzemne vode iz područja Bokanjačkog blata drenira tunel, koji odvodi vode u smjeru sjevera i dalje u Miljašić jarugu (oko 30 lit/sek u sušnom razdoblju).

U području dobro propusnih karbonatnih naslaga, gdje one nisu omeđene nepropusnim naslagama fliša, izrazite lomne linije, te analiza mikrotektonskih elemenata od primarnog su značenja za utvrđivanje kretanja podzemnih voda. Na taj se način može objasniti lokalno obogaćenje podzemnom vodom područja jugozapadno od Poljica, područje samog mjesta Posedarje, kao i pojave izvora jugozapadno od Posedarja.

### Režim podzemnih voda u karbonatnim naslagama

Podzemne vode u karbonatnim naslagama u kišnom razdoblju godine dobivaju stanovite količine vode i s područja fliša. Tako površinski tokovi iz područja sinklinale sjeverno od Polešnika poniru u karbonatnim naslagama antiklinale Polešnik–Poljica, a površinske vode s dijela terena u širem području Islama poniru u sjeveroistočne karbonatne naslage, te se dijelom pojavljuju u registriranim izvorima jugozapadno od Posedarja.

Ove površinske vode s fliša obogaćuju i onako obilne količine podzemnih voda u karbonatnim naslagama u tom razdoblju godine, pa je tada nivo podzemnih voda tako visok, da dolazi i do plavljenja nižih dijelova terena (Bokanjačkog blata, udolina zapadno od Polešnika i jugozapadno od Poljica). Na istim mjestima nije vršeno sistematsko motrenje kolebanja nivoa podzemnih voda, ali je izmjeren nivo u sušnom razdoblju (u bunarima), pa je utvrđeno da godišnje kolebanje podzemnih voda doseže i do 10 m (zapadno od Polešnika 10 m, jugozapadno od Poljica 6 m). A. Celegin (1958) navodi, da zapadno od Polešnika u bunaru padne voda i do 14 m ispod površine terena.

Detalniji uvid u režim podzemnih voda dobiven je u području Bokanjačkog blata. Osmatranja su vršena na tri pijezometarske bušotine i 7 vodokaza u vremenskom razdoblju 1953–1960 godina, a što je obradio E. Svetličić (1961). Iz podataka se vidi, da vodostaji podjednako rastu ili opadaju na svim mjernim mjestima, dakle kao funkcija općeg sniženja ili podizanja nivoa hidraulički povezane podzemne vode. Maksimalno podizanje nivoa podzemnih voda javlja se u decembru i januaru (najviši zabilježen nivo 21,44 m. n. m.). Podzemni nivo doseže svoj minimum obično u septembru i oktobru, kada je na pijezometru broj 3 za-

bilježen i najniži vodostoja u tom području (14,51 m. n. m.). Prema tome, oscilacije podzemne vode su se kretale unutar intervala od 6,93 metara.

Opisani se je režim poremetio nakon iskopa odvodnog tunela, kojim se veliki vodni val evakuira u Miljanić jarugu, pa više ne dolazi do plavljenja područja Bokanjačkog blata podzemnom i površinskom vodom.

Podzemne vode u karbonatnim se naslagama nalaze na relativno visokoj koti (15–20 m. n. m. u području Bokanjačkog blata, 20–26 m jugozapadno od Poljica i 49–59 m zapadno od Polešnika), što iznenađuje s obzirom na blizinu mora. Ovo stanje podzemnih voda možemo tumačiti dijelom kao posljedicu usporne funkcije što vrše kvartarne tvorevine u području Bokanjačkog blata, odnosno u području jugoistočno od Nina. Općenito u istraživanom području postoje indikacije da je kretanje podzemnih voda u karbonatnim naslagama u cjelini sporije, nego što je to inače u području krša. Naime, postojeće šupljine dobrim su dijelom ispunjene crvenicom, humusom, kršjem i produktom trošenja fliša (koji je donasan s područja što ga izgrađuje fliš), što smanjuje propusnost naslaga. S tim se u vezi povećava i mogućnost retardacije podzemnih tokova, što dovodi do *ujednačenog vodnog režima u pojedinim područjima*. To sve čini ove naslage perspektivnim u pogledu eksploatacije podzemnih voda, što je u daljnjem tekstu opširnije obrazloženo.

### Režim izvora u području naslaga fliša

S obzirom da je cilj istraživanja bio upoznavanje hidrogeoloških odnosa, izdašnost izvora je mjerena samo u jednom navratu i to približno u hidrološkom minimumu. Ipak, na temelju hidrogeoloških karakteristika naslaga i režima oborina i obzirom na vrijeme motrenja, možemo govoriti o sezonskom kolebanju izdašnosti izvora, polazeći od činjenice, da promjena izdašnosti ovisi o promjeni rezerve podzemnih voda koje hrane dotični izvor. Zadržat ćemo se samo na izvorima unutar naslaga eocenskog fliša. Veći dio tih izvora u sušnom razdoblju presuši. Zahvaljujući (za tu sredinu) neobično povoljnoj hidrogeološkoj građi središnjeg dijela sinklinale u području Islama Latinskog, sjeverozapadno od ceste Polešnik–Posedarje, nalazimo više stalnih izvora relativno velike minimalne izdašnosti. Izvori se pojavljuju u graničnom pojasu lapora i lapora u izmjeni s ostalim litološkim članovima fliša. Najizdašniji je »Šopot« sa cca 8 lit/sek. U prosjeku 2 lit/sek imaju 4 izvora, dok su ostali kapaciteta ispod 1 lit/sek. S obzirom da dio vode ističe i izvan mjesta izvora, u promatranom području površine od oko 6 km<sup>2</sup> isticalo je ukupno u 8. mjesecu 1961. god. oko 35 lit/sek vode. Navedena, za fliš velika,

količina podzemnih voda akumulirana je u podzemlju, zahvaljujući i kvartarnim pijescima koji prekrivaju znatan dio naslaga fliša. Godišnje padne u ovom području oko 1100 mm padalina.

U ljetnim mjesecima rezerve podzemnih voda ne obogaćuju se dovoljno. S obzirom na izdašnost izvora u 8. mjesecu, može se zaključiti da podzemne vode ne istječu brzo, što upućuje na malu propusnost stijena u nivou podzemnih voda i da su višemjesečne oborine mjerodavne za izdašnost izvora. Problem oborina koje padnu i otječu vrlo je kompleksan. Za proučavanje srednjih godišnjih oticanja treba odrediti koeficijent oticanja. U sličnim se okolnostima D. Frančić (1963) poslužio Kelle-rovom formulom, za koju smatra da je pogodna za primjenu, pa ćemo je i ovdje primijeniti:

$$\mu = 0,942 - \frac{405}{h} = 0,942 - \frac{405}{1100} = 0,572$$

S obzirom da su nepoznati faktori površinskog oticanja, na osnovu analogije sa sličnim terenima, smatramo, da je koeficijent poniranja (a) jednak približno 0,40, pa srednje godišnje oticanje (izdašnost izvora) iznosi:

$$q_{sr} = \frac{a \cdot h \cdot F}{T} = \frac{6.000.000}{31.536.000} \times 0,4 \times 1,1 = 0,190 \times 0,4 \times 0,1 = 0,0836 \text{ m}^3/\text{sek} = 84 \text{ lit/sek.}$$

F = površina sliva u m<sup>2</sup>

h = visina godišnjih oborina

T = vrijeme, tj. godina izražena u sekundama.

Prema tome:  $q_{min} : q_{sr} = 30 : 84 = 1,0 : 2,8$

Radi upoznavanja režima izvora tokom godine zanima nas maksimalna izdašnost izvora. Pokušat ćemo oborinama prikazati taj iznos. Kišomjerna stanica Ljubač je najkompetentnija za upoznavanje režima tokom godine u predmetnom području. Na osnovu petogodišnjeg prosjeka oborina možemo grupirati mjesečne oborine s obzirom na visinu oborina u 4 grupe:

- a) V, VI, VII i VIII mjesec (kada padne u prosjeku 55 mm oborina mjesečno),
- b) IX i X mjesec (96 mm),
- c) XI, XII, I mjesec (128 mm) i
- d) II, III i IV mjesec (73 mm).

Prema ovim podacima i prije izloženim uvjetima kretanja podzemne vode vidimo da izmjerena količina od 35 lit/sek u VIII. mjesecu odgovara približno minimalnoj izdašnosti istjecanja. Volumen godišnjeg poniranja vode iznosi:

$$a \cdot h \cdot F = 0,4 \times 1,1 \times 6.000.000 = 2.640.000 \text{ m}^3$$

S obzirom na režim oborina možemo pretpostaviti da 9 mjeseci teku minimalne i srednje vode, a 3 mjeseca maksimalne vode. Od spomenutih devet mjeseci neka su tri mjeseca s minimalnim istjecanjem (što je pesimistička prognoza) u to će vrijeme isteći slijedeće količine podzemne vode:

$$\begin{aligned} q_{\min} &= 35 \text{ lit/sek} = 3.024 \text{ m}^3/\text{dan} \times 30 = 90.720 \text{ m}^3/\text{mjesec} \\ &\quad \text{za 3 mjeseca} \quad \quad \quad = 272.000 \text{ m}^3 \\ q_{\text{sr}} &= 84 \text{ lit/sek} = 7.257 \text{ m}^3/\text{dan} \times 30 = 217.710 \text{ m}^3/\text{mjesec} \\ &\quad \text{za 6 mjeseci} \quad \quad \quad = 1.306.260 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Za 3 mjeseca, kada voda maksimalno istječe, ostaje 1,071.740 m<sup>3</sup> vode, odnosno istječe:

$$1,071.740 : 3 : 30 = 11.908 \text{ m}^3/\text{dan} = 140 \text{ lit/sek}$$

Prema tome:

$$q_{\min} : q_{\text{sr}} : q_{\max} = 30 : 84 : 140 = 1 : 2,8 : 4,7$$

S obzirom na raspoložive podatke, ovaj odnos pruža samo aproksimacije i može orijentaciono poslužiti kao konstatacija o fluktuacijama normalno minimalne, normalno srednje i normalno maksimalne izdašnosti izvora.

### Mogućnost korišćenja podzemnih voda

U obrađivanom se području osjeća nestašica pitke vode, osobito u priobalnom dijelu.

Najveće se rezerve podzemnih voda nalaze u dobro propusnim karbonatnim naslagama i u ovim područjima treba tražiti rješenje za konačnu opskrbu vodom. Hidrogeološka sredina, kao što su »bočno omeđene karbonatne naslage« pogodne su za oblikovanje podzemnih bazena, tj. sistema prostorno povezanih pukotina i šupljina ispunjenih vodom (F. F r i t z, 1965). Voda je u tim šupljinama (porama) hidraulički povezana i nalazi se na određenom nivou sa slobodnom površinom, slično kao voda temeljnica u nevezanim stijenama. Za razliku od voda temeljnica vode u ovim bazenima nemaju stalan smjer kretanja i stalnu prosječnu brzinu. Prostorna povezanost sistema pukotina i šupljina, odnosno veličina bazena može se brzo mijenjati, zavisno o stanju (kolebanju) podzemnih voda i u tom pogledu ne predstavljaju konstantnu hidrološku cjelinu.

Za vrijeme visokog vodostaja podzemnih voda, kada se one u pojedinim predjelima izljevaju i na površinu, povezana je gotovo sva podzemna voda u »bočno zatvorenim« karbonatnim naslagama. Spuštanjem podzemne vode odvajaju se pojedine pukotine i spletovi pukotina i šupljina ispunjeni vodom, tj. veći ili manji bazeni koji više nisu hidraulički povezani s ostalom podzemnom vodom. Za eksploataciju su najintere-

santniji najniži bazeni u određenom dijelu naslaga, koji su lokalna eroziona baza za tamošnje podzemne vode, a nalaze se na pravcu kretanja podzemnih voda prema moru.

U proučavanom terenu treba očekivati ovakove bazene u području bunara i izvora »Oko« zapadno od Polešnika, u području Bokanjačkog blata (gdje se i eksploatira), u području južno od Poljica i drugdje, što je predmet detaljnijih hidrogeoloških i geofizičkih istraživanja.

Na osnovu izvedenih terenskih istraživanja ne možemo kvantitativno odrediti rezerve podzemnih voda, što konačno nije niti predmet ovog rada. Nedostaju nam osnovni faktori, tj. sabirne površine pojedinih »bočno zatvorenih« karbonatnih naslaga, koje se mogu dobiti hidrogeološkom obradom terena jugoistočno od istraživanog, kao i detaljnim uvidom u istjecanje podzemnih voda iz tih područja.

### Fizička i kemijska svojstva vode

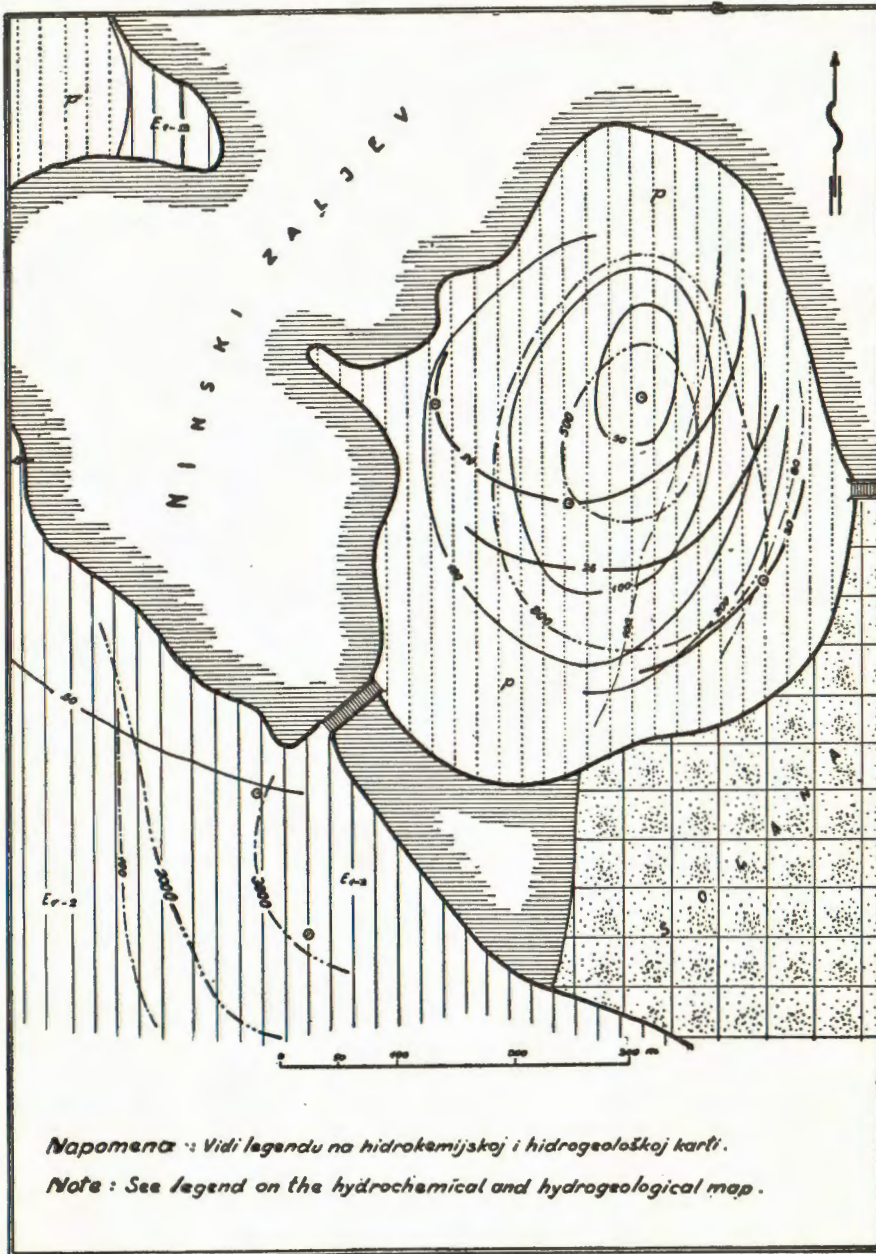
Temperature vode na izvorima i bunarima izmjerene u toku 8. i 9. mjeseca dosta su visoke. Kreću se uglavnom od 14,5–17,0° C na izvorima i od 15,0–17,5° C u bunarima. Relativno visoke temperature uvjetovane su znatnim utjecajem vanjske temperature na podzemnu vodu, koja nije duboko od površine terena, kao i zagrijavanjem vode na samom mjestu izvora, što je moguće zbog malene izdašnosti izvora.

Vode iz vodnih objekata u karbonatnim naslagama i kvartarnim pijescima su bistre, bezbojne i bez mirisa. Vode iz objekata unutar naslaga fliša su najčešće malo замуćene od prisustva koloidalnih čestica gline. Uslijed toga je i okus vode malo blatnjav.

Kemijski su analizirani uzorci vode iz 97 bunara, 37 izvora, 7 priobalnih izvora i 1 pećine s vodom. Izvršena je »skraćena« kemijska analiza, tj. određen je sadržaj klorida, sulfata, hidrokarbonata, natrija, kalcija, magnezija, zatim je određena tvrdoća vode i koncentracija vodikovih iona. Suhi ostatak, koji služi kao orijentaciona vrijednost za ukupnu mineralizaciju vode, nije dobiven isparavanjem već računskim putem.

Na osnovu rezultata kemijskih analiza i klasifikacije podzemnih voda (prilog 2) izrađena je hidrokemijska karta (prilog 3). Kemijski sastav podzemne vode u području mjesta Nin obrađen je na slici 2.

S obzirom da se teren nalazi u priobalnom području, od kemijskog sastava je najinteresantniji sadržaj klorida. Zavisno od uticaja morske vode sadržaj klorida u podzemnim vodama se znatno razlikuje. Najveći sadržaj klorida imaju priobalni izvori i bunari u blizini mora. Količina klorida u priobalnim se izvorima kreće od 124–5325 mg/lit Cl, zavisno od pritoka slatke vode, kao i o tome da li je uzorak uzet za vrijeme plime ili oseke. Ove se vrijednosti tokom godine znatno mijenjaju. Za piće se



Sl. 2. Kemijski sastav podzemne vode u području mjesta Nin.  
Kemijski sastav podzemne vode u području mjesta Nin.

koristi obično voda koja sadrži manje od 500 mg/lit Cl, pa su zbog toga na hidrokemijskoj karti (prilog 3) u priobalnom području izvučene izolije od 500 mg/lit Cl.

U unutrašnjosti terena sadržaj klorida iznosi do 100 mg/lit Cl, odnosno zapadno od Islama Latinskog do 150 mg/lit Cl. Povećani sadržaj klorida nalazimo u području uzvišenja istočno od Zatona, te istočno od Ljubač uvale. Podzemne vode u navedenom području nemaju direktne veze s morskom vodom, pa ipak sadržaj klorida iznosi između 150–250 mg/lit Cl. Ovakav povišeni sadržaj klorida indirektno je uvjetovan bližinom mora. Naime, spomenuta uzvišenja su izložena često jakim vjetrovima, koji nose čestice morske vode; istaloženu sol na površini naslaga otapaju oborinske vode i odnose je u podzemlje.

Količina sulfata varira između 40 i 120 mg/lit  $\text{SO}_4$ . Ove su vrijednosti rijetko veće ili manje, osim u priobalnom području, gdje redovito imaju vrijednost od preko 100 mg/lit  $\text{SO}_4$ .

Od aniona sadržaj hidrokarbonata u prosjeku je najveći. U najvećem dijelu terena se kreće između 300–500 mg/lit  $\text{HCO}_3$ . U priobalnom području podzemne vode sadrže manje hidrokarbonata i količine se kreću ispod 200 mg/lit  $\text{HCO}_3$ .

U najvećem broju analiziranih uzoraka reakcija vode je neutralna, pH iznosi od 7,0–7,5. Rijetko je slabo kisela (pH 6,7–7,0) ili slabo alkalna (pH 7,5–8,3).

Po tvrdoći najveći dio voda spada u red tvrdih voda. Ukupna se tvrdoća kreće pretežno oko 20° njemačkih. Umjereno tvrde vode (između 6 i 12° nj.) nalazimo samo u zapadnom dijelu terena u području između Nina i Petrčana. Ovakova je tvrdoća vode u skladu s geološkim sastavom terena. Proučavani teren je pretežno izgrađen od karbonatnih naslaga i lapora, a te stijene daju tvrdu vodu.

Mineralizacija vode se kreće uglavnom ispod 1 g/lit, pa vode spadaju u red slatkih voda. Mineralne vode, tj. vode koje sadrže više od 1 g/lit rastvorene mineralne supstance, nalazimo samo u uskom priobalnom pojasu i u području uzvišenja istočno od Ljubač uvale. Na navedenim lokalitetima porast mineralizacije je vezan direktno ili indirektno za morsku vodu.

#### ZAKLJUČAK

Istraživano područje izgrađeno je od gornjokrednih, paleogenskih i kvartarnih naslaga. Gornjokredne naslage zastupljene su isključivo u karbonatnom razvoju. Naslage paleogena razvijene su ili u obliku karbonatnih naslaga, ili u obliku fliša. Kvartarne tvorevine zastupljene su pijescima, pjeskovitim glinama i zemljom crvenicom.

Područje je relativno jednostavne strukturne građe. Sastoji se od niza antiklinala i sinklinala. Bore su upravne do malo nagnute. Česta je po-



java da su grebeni sinklinalne građe (fliš), a udoline antiklinale građe (karbonatne naslage), što pogoduje poniranju oborinskih voda u karbonatne naslage.

Zbog malene nadmorske visine karbonatnih naslaga u ovom su području slabo razvijeni karakteristični krški enomeni.

Površinskih voda pogodnih za opskrbu vodom nema.

U hidrogeološkom pogledu naslage su podijeljene u 4 grupe

Dobro propusne naslage su gotovo sve karbonatne naslage (osim pločastih laporovitih vapnenaca, eocen) i kvartarni pijesci. Dolomiti su u svom površinskom dijelu, u zoni istežanja (tjeme antiklinale), jednako dobro propusni kao i vapnenci, što potvrđuju i krški izvori jugozapadno od Posedarja.

Slabo propusne stijene su spomenuti pločasti laporoviti vapnenci i poluvezane kvartarne tvorevine: jezerski talozi, pjeskovite gline i rastresiti površinski pokrivač na eocenskom flišu. Pjeskovite gline i jezerski talozi vrše funkciju izvjesnog uspora podzemnim vodama, koje, u svom kretanju kroz karbonatne naslage prema krajnjoj erozionoj bazi - moru, nadolaze iz područja jugoistočno od ovih naslaga.

Praktično nepropusne stijene su naslage eocenskog fliša. Naslage su propusne do stanovite dubine, ovisno o učestću lapora u lito-loškom sastavu, pa u području fliša nalazimo veći broj bunara i izvora, koji uglavnom ljeti presuše. Međutim, u središnjem dijelu sinklinalne sjeverozapadno od Islama Latinskog dio izvora u sušnom razdoblju ima kapacitete i do 2 lit/sek, a jedan čak i 8 lit/sek. Orijentaciono je određen odnos normalno minimalne, normalno srednje i normalno maksimalne izdašnosti ovih izvora:

$$q_{\min} : q_{\text{sr}} : q_{\max} = 1 : 2,8 : 4,7.$$

Stijene s vertikalnom i bočnom promjenom vodopropusnosti (aluvijalni nanosi) su od sekundarnog hidrogeološkog značenja.

Najdinamičnije su podzemne vode u karbonatnim naslagama. Godišnje kolebanje u području Bokanjačkog blata doseže 6,93 m, jugozapadno od Poljica 6 m, a zapadno od Polešnika 10 metara.

Prema anionima podzemne vode pripadaju najvećim dijelom hidrokarbonatnom tipu vode, a prema kationima kalcijsko-natrijskom tipu vode.

U istraživanom području površinskih voda, pogodnih za opskrbu, nema. Od podzemnih voda daleko najveće rezerve nalaze se u karbonatnim naslagama. Zahvaljujući malenoj nadmorskoj visini terena, naslage fliša, koje su u cjelini nepropusne stijene, vrše funkciju barijere za dinamične podzemne vode u karbonatnim naslagama. Čak ni kod najpliće sinklinalne (Kožin-Petrčane) ne dolazi do podilaženja vode pod barijeru.

Pod iznjetim okolnostima (između dviju fliških barijera) nalaze se podzemne vode u karbonatnim naslagama u središnjem i zapadnom dijelu istraživanih područja i u tom je području generalni smjer kretanja podzemnih voda u smjeru sjeverozapada. U širem području Ravni kotara podzemne vode u karbonatnim naslagama većim su dijelom tako »omeđene« barijerama fliša, pa se – u hidrogeološkom pogledu – podzemne vode pod iznjetim uvjetima mogu tretirati kao »bočno zatvorene vode«. U takovim područjima generalni smjer kretanja podzemnih voda uvjetovan je pružanjem struktura, a mikrotektonski elementi su od sekundarnog značenja.

Područja bočno zatvorenih karbonatnih naslaga vrlo su perspektivna za eksploataciju podzemnih voda, jer je takova sredina pogodna za oblikovanje podzemnih bazena, tj. sistema prostorno povezanih pukotina i šupljina ispunjenih vodom. Iz područja Bokanjačkog blata podzemne vode se već koriste za opskrbu Zadra. Perspektivna područja za eksploataciju su i zapadno od Polešnika, te šire područje Poljica.

Primljeno 28. 6. 1966.

Institut za geološka istraživanja,  
Zagreb, Kupaska 2.

#### LITERATURA

- Anić, D. & suradnici (1955): Geološko kartiranje Ravni Kotara. List Novigrad-Polešnik i list Obrovac-Zelengrad. Arh. Inst. geol. istr., Zagreb.
- Božičević, S. (1962a): Speleološki objekti. List Zadar 51-25/4 (Nin). Arh. inst. geol. istr., Zagreb.
- Božičević, S. (1962b): Speleološki objekti na listovima Zadar 52-25/3 i 4 (Poljica, Islam). Arh. Inst. geol. istr., Zagreb.
- Celegin, A. (1958): Vodoprivreda Dalmacije. Jub. zbornik DIT-a, Split.
- Creager, W. P., Justin, J. D. & Hinds, J. (1950): Engineering for Dams, New York.
- Crnolatac, I. (1961): Geologija šireg područja Bokanjačkog blata i Miljašić jaruge u vezi melioracionih zahvata. Fond struč. dokum. poduzeća »Projekt« Zagreb.
- Crnolatac, I. (1963): Izvještaj o geološkom pregledu terena i tunela u predjelu Bokanjačkog blata i Miljašić jaruge. Arh. Vodne zajednice, Split.
- Franić, D. (1963): Vodoistražni radovi u Prgovom polju (O. Lastovo). Arh. »Geoistraživanja«, Zagreb.
- Fritz, F. (1965): Hydrogeological relations in the Western part of Ravni Kotari, Dalmatia. Bull. Sci. Cons. Acad. RSF Yougosl. (A) 10/2, Zagreb.
- Fritz, F. & Jović, P. (1965): Remarks on Quaternary deposits at Ravni Kotari and the Island of Lastovo. Bull. Sci. Cons. Acad. RSF Yougosl., 10/7-8, Zagreb.
- Fritz, F. & Mamužić, P. (1962a): Geološka i hidrogeološka istraživanja na listu Zadar 51-25/4. Knjiga I. Arh. Inst. geol. istr., Zagreb.
- Fritz, F. & Mamužić, P. (1962b): Geološka i hidrogeološka istraživanja na listu Zadar 52-25/3 i 4. Knjiga I. Arh. Inst. geol. istr., Zagreb.
- Fritz, F. & Šikić, V. (1962a): Geološka i hidrogeološka istraživanja na listu Zadar 51-25/4. Knjiga II. Arh. Inst. geol. istr., Zagreb.

- Fritz, F. & Šikić, V. (1962b): Geološka i hidrogeološka istraživanja na listu Zadar 52-25/3 i 4. Knjiga II. Arh. Inst. geol. istr., Zagreb.
- Hauer, F. (1867-1871): Geologische Übersichtskarte der Oesterr.-ungar. Monarchie, Wien.
- Hauer, F. (1868): Geologische Übersichtskarte der Oesterr.-ungar. Monarchie. Blatt X. Dalmatien. Jahrb. Geol. Reichsanst., 18/3, 431-455, Wien.
- Jović, P. (1962a): Petrografska obrada nekih karbonatnih stijena s područja Ravnih Kotara. Arh. Inst. geol. istr., Zagreb.
- Jović, P. (1962b): Sedimentno-petrografske analize nekih rastresitih sedimenata na listu Zadar 51-25/4 (Nin). Arh. Inst. geol. istr., Zagreb.
- Jović, P. (1962c): Sedimentno-petrografske analize nekih rastresitih sedimenata na listu Zadar, 52-25/3, 4 (Poljica, Islam). Arh. Inst. geol. istr., Zagreb.
- Kerner, F. (1901): Erläuterungen zur geologischen Karte Kistanie-Drniš, Wien.
- Kerner, F. (1920): Erläuterungen zum Nachtrag zur geologischen Karte »Zara«, Wien.
- Kružić, Z. (1954): Geoelektrična ispitivanja Bokanjačkog blata. Arh. Inst. geol. istr., Zagreb.
- Mamužić, P. & suradnici (1956): O geološkom kartiranju područja Zadar-Nin-Ražanac-Vinjerac. Arh. Inst. geol. istr., Zagreb.
- Muldini-Mamužić, S. (1962): Mikropaleontološka obrada uzoraka lista Zadar, 52-25/3, 4. Arh. Inst. geol. istr., Zagreb.
- Pauković, N., Domaćinović, J. & Raffaelli, P. (1955): Mogućnost melioracije Bokanjačkog blata. Arh. Inst. geol. istr., Zagreb.
- Schubert, R. (1903): Zur Geologie des Kartenblattbereiches Benkovac-Novigrad. III. Das Gebiet zwischen Polčnik, Smilčić und Posedarje. Verhandl. Geol. Reichsanst., Wien.
- Schubert, R. (1905): Das Verbreitungsgebiet der Prominaschichten im Kartenblatte Novigrad-Benkovac (Norrdalmatien). Mit einer geologischen Übersichtskarte (Taf. No XII). Jahrb. Geol. Reichsanst., 54, H 3. 4. 461-511. Wien.
- Schubert, R. (1907): Der geologische Aufbau der Umgebungen von Zara-Nona. Mit einer Tafel (No 1). Jahrb. Geol. Reichsanst., 57/1-2, 1-21. Wien.
- Schubert, R. (1908): Geologische Spezialkarte Novigrad und Benkovac. Wien.
- Schubert, R. (1909a): Erläuterungen zur geologischen Karte Novigrad-Benkovac, Wien.
- Schubert, R. (1909b): Geologischer Führer durch die Nördliche Adria. Sammlung geologischer Führer 17. Berlin.
- Schubert, R. (1920): Geologische Spezialkarte Zara, Wien.
- Sikošek, B. & Uccellini, S. (1960): Jedan karakterističan profil Jadranskog pojasa »Nafta« br. 1. Zagreb.
- Svetličić, E. (1961): Bokanjačko Blato. Hidrološka studija. Fond struč. dokum. poduzeća »Projekt«, Zagreb.

## F. FRITZ

## HYDROGEOLOGICAL RELATIONS IN THE AREA OF THE WESTERN PART OF RAVNI KOTARI - DALMATIA

The explored area is formed by the sediments of Upper-Cretaceous, Paleogene and Quaternary age.

The Upper-Cretaceous consists of carbonate rocks exclusively. Dolomites and dolomitic limestones are in the basis of the sequence, and limestones with rudistids lie concordantly upon them. Paleogene strata are transgressive on Upper-Cretaceous lime-

stones. The later are developed either in the form of carbonate layers (limestones, and, to a lesser degree conglomerates and breccias) or flysch. Quarternary deposits are represented by sands, sandy clays, and red podzolic soil. Sandy clays are mostly developed to the East of Nin, where they reach the thickness of about 30 meters.

The tectonic structure of the area is relatively simple. It consists of a series of anticlines and synclines. Folds are simetrical or gently inclined, stretching in the NW-SE direction. The ridges and valleys in the studied area are of the same geographical orientation. It often occurs that ridges are of a synclinal structure (flysch) and valleys of an anticlinal one (carbonate rocks), what facilitates the percolation of the rainfall into carbonate layers.

Since carbonate layers are low above the sea level the characteristic Karst phenomena are not developed to the great extent.

The sequence of the sediments is divided into four groups according to the permeability of the related rocks.

Almost all carbonate and Quarternary beds (sands with the exception of marly limestones) belong to the group of rocks with high permeability. Most of precipitation in the area percolates underground immediately after the rainfall and this is the reason why periodic surface streams are a rare phenomenon.

Dolomites in the core of anticlinal structures - the zone of tension - are so well pervious as the limestones over the other parts of the area. The permeability of the dolomites is proved by Karst springs in the area to the south-west of Posedarje. Springs occur only along the coastline over the area covered by carbonate rocks. Water of these springs is generally brackish.

The rocks of low permeability include the above mentioned marly and thinly layered limestones and clastic quarternary sediments consisting mostly of sandy clays. The lower permeability of marly limestones is due to the lower degree of development of Karst phenomena as well as to the fact that the fissures in the sediments are filled with the weathered material.

The permeability of the loose clastic sediments of the quarternary age ranges from  $10^{-4}$  cm sek<sup>-1</sup> to  $5,6 \times 10^{-6}$  cm sek<sup>-1</sup> according to the granulometric analyses. Those sediments provide the barrier to water moving toward the sea from the south-east area covered with carbonate rocks.

Lithologically this formation consists of pervious coarse clastic deposits and of the practically impermeable beds (marls clays and marly limestones).

Therefore contrary to the fact that the formation is generally impervious, a reasonable number of shallow dug wells and springs, can be found in flysch area. The yield of the greatest springs ranges from 2 l sek<sup>-1</sup> to 8 l sek<sup>-1</sup> in the area to the west of the Islam Latinski. The rest of them are intermittent corresponding to the climatic season.

Rocks with the vertical and lateral alteration of permeability (alluvial deposits) have limited hydrogeological importance. Springs and wells from this sediments run dry in the dry season almost without exception.

The ground water level appears to be very variable in carbonate rocks. Annual variation amounts to 6.93 m over the area of Bokanjačko blato, 6 m to the southwest of Poljica, and 10 m to the west of Polešnik.

Considering the chemical composition of ground waters they are of the hydrocarbonate type, and to a lesser degree of the mixed and chloride types according to the anions. Considering the cations, ground waters belong to the mixed calcium-sodium type, and to a lesser degree to the mixed water type.

The scarcity of drinking water is specially evident along the coastline area of the studied region. There is no surface water suitable for domestic use. Concerning the ground water storage, the greatest amount of water is to be found in carbonate rocks.

Since the territory is low above the sea level, the flysch strata depending to their structural position-form a barrier against ground water movement through the carbonate rocks. Even a the shallowest syncline (Kožin-Petrcane) ground water does not

penetrate beneath the barrier – the shortest line towards the sea – but flows a longer course, parallelly to the structures, and appears on the surface in the wider area of Zaton.

The ground water of carbonate rocks is to be found in such a situation between the two flysch barriers in the central and western parts of the explored area. Thus, ground water in carbonate layers are mostly encircled by flysch barriers in the wider area of Ravni kotari, and – in the hydrogeological sense – ground water under the mentioned conditions may be considered as »laterally confined water«. The general direction of ground water movement is stipulated by the trend of the tectonic structures, and microtectonic elements are of a secondary importance in this area.

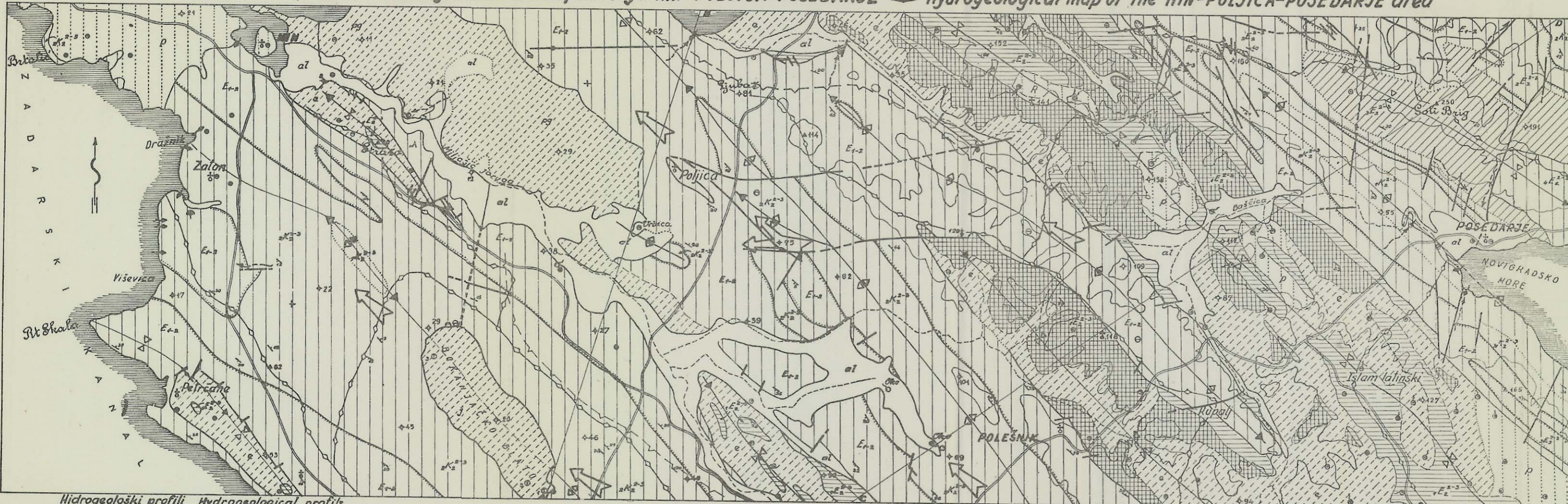
The area of laterally bounded carbonate rocks is very suitable for the exploitation of ground water, since such conditions have the tendency to form subterranean basins. Waters from the area of Bokanjačko blato are already used to supply Zadar. Prospective areas for ground water exploitation are also to the west of Polešnik, as well as in the wider region of Poljica.

*Received 28th June, 1966.*

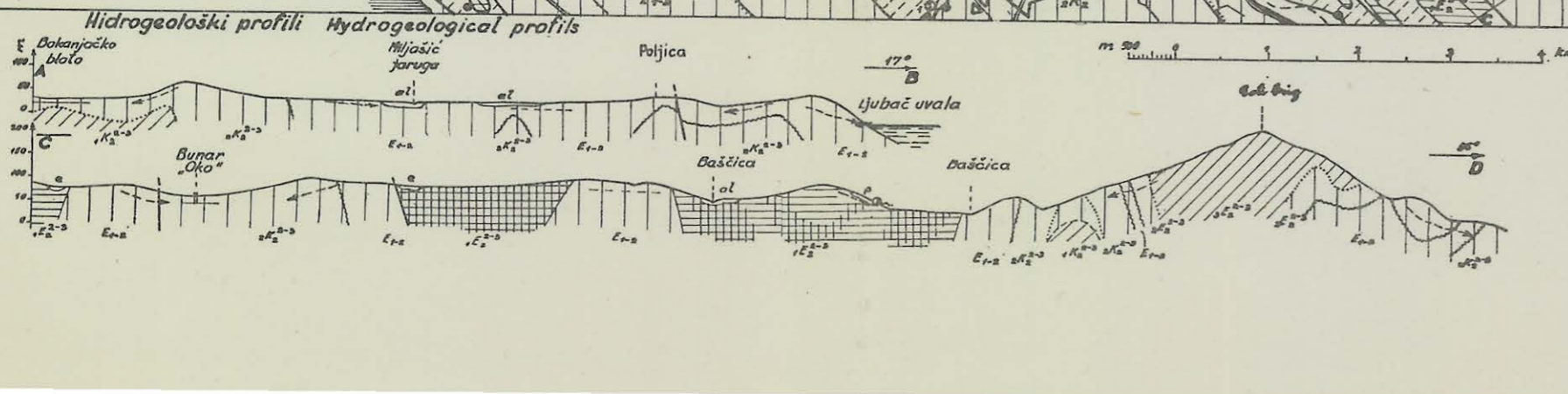
*Institute of Geology,  
Zagreb, Kupska 2.*

Geološku i hidrogeološku kartu snimili: F. Fritz, P. Mamučić, V. Šikić  
The geological and hydrogeological map was surveyed by

# Hidrogeološka karta područja NIN-POLJICA-POSEDARJE ← Hydrogeological map of the NIN-POLJICA-POSEDARJE area



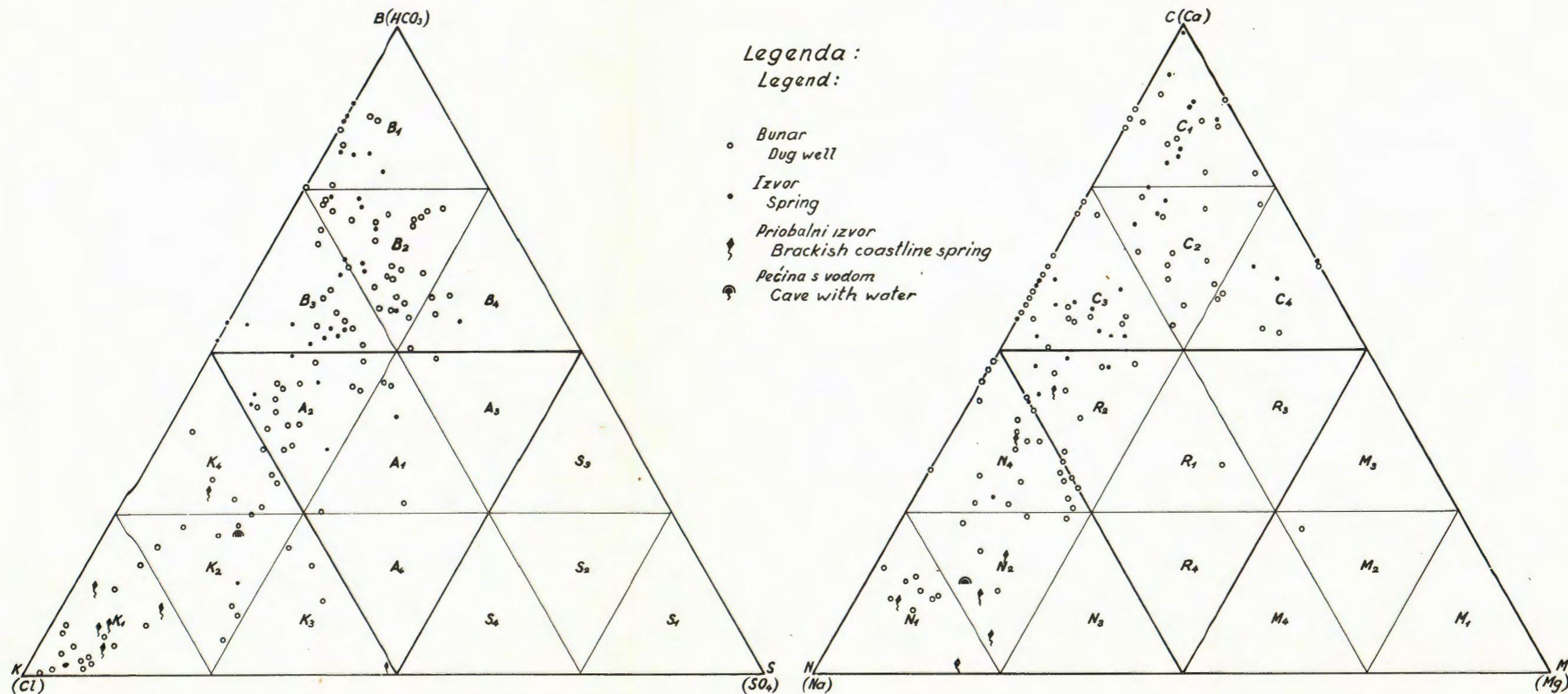
LEGENDA: - LEGEND:	
Podjela terena prema hidrogeološkim osobinama stijena	Stratigrafski simboli i petrografske sastav
Division of the territory according to the hydrogeological characteristics of rocks	Stratigraphic symbols and petrographic composition
<p>Vertikalne i bočne promjene vodopropusnosti. Međuzrnska poroznost. Vertical and lateral permeability variations. Intergranular porosity</p>	<p><math>Q_2</math> Pjaskovite gline, pijesci, gline Sandy clays, sands, clays</p>
<p>Međuzrnska poroznost Intergranular porosity</p>	<p><math>Q_1</math> pijesci sands</p>
<p>Propusnost varira ovisno o izlamljivosti i karstifikaciji. Pukotinska poroznost Permeability depends on brokenness and karstification Fissile porosity</p>	<p>vapnenci <math>K_2^{2-3}</math> limestones <math>E_{1-2}^{2-3}</math> konglomerati <math>E_2^{2-3}</math> dolomiti <math>K_2^{2-3}</math></p>
<p>Međuzrnska poroznost Integranular porosity</p>	<p><math>Q_1, Q_2</math> više ili manje pjeskovite gline more or less sandy clay</p>
<p>Pukotinska poroznost Fissile porosity</p>	<p>placasti laporoviti vapnenci <math>E_2^{2-3}</math> thin layered marly limestones dolomiti (dublje partije) <math>K_2^{2-3}</math> dolomites (deeper parts)</p>
<p>Praktično nepropusne. Međuzrnska poroznost Practically impermeable Intergranular porosity</p>	<p>lapori <math>E_2^{2-3}</math> marls</p>
<p>Propusne do stanovite dubine. Propusnost pukotinska dijelom međuzrnska Permeable down to a certain depth. Secondary porosity in general (fissured rocks)</p>	<p>pješčenjaci lapori i vapnenci u izmjeni <math>E_2^{2-3}</math> sandstones, marls limestones inter-changeably</p>



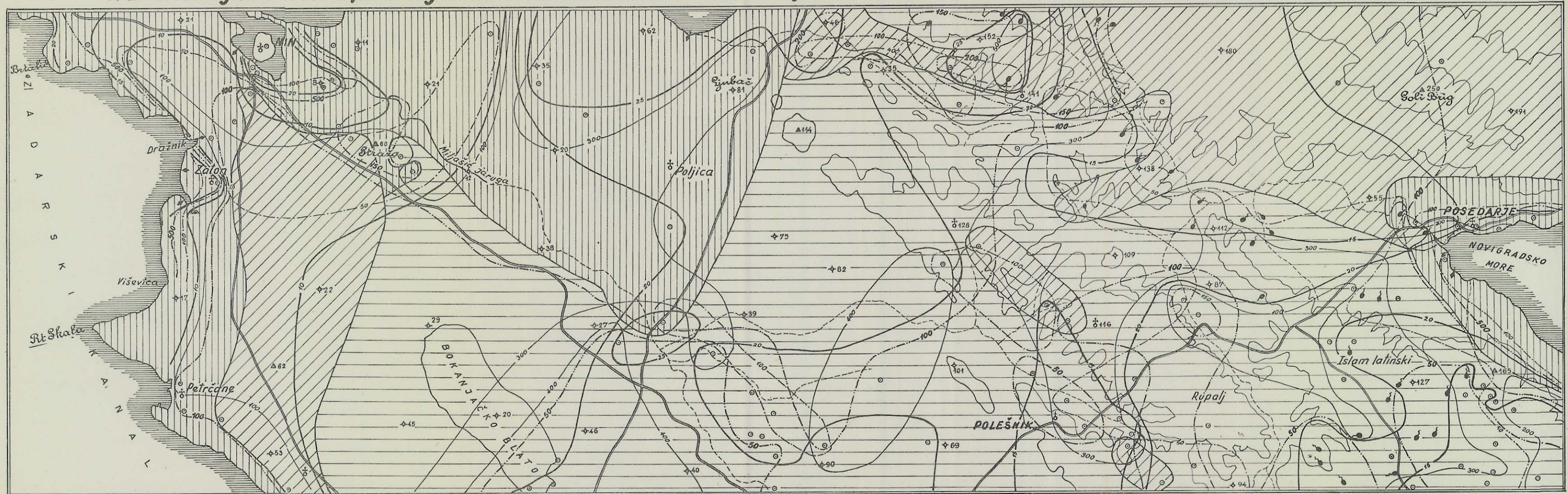
- ♀ Izvor minimalne izdašnosti do 0,1 lit/sec. Spring of minimal capacity up to 0,1 lit/sec.
- ♀ Izvor minimalne izdašnosti od 0,1-1 lit/sec. Spring of minimal capacity from 0,1-1 lit/sec.
- ♀ Izvor minimalne izdašnosti od 1-5 lit/sec. Spring of minimal capacity from 1-5 lit/sec.
- ♀ Izvor minimalne izdašnosti od 5-10 lit/sec. Spring of minimal capacity from 5-10 lit/sec.
- ♀ Izvor povremeni. Spring intermittent.
- ♀ Bočati priobalni izvor. Brackish coastline spring.
- Kopani bunar. Dig well.
- ♀ Pacina s vodom. Cave with water.
- Istražna bušotina. Exploratory well.
- Ponor povremeno aktivan. Swallow-hole periodically active.
- - - Povremeni površinski tok. Periodical surface stream.
- - - Stalni površinski tok. Permanent surface stream.
- - - Odvodni tunel. Draining tunnel.
- - - Površinska razvodnica. Surface watershed.
- - - Podzemna zonalna razvodnica (pretpostavljena). Subterranean zonal watershed (supposed).
- Generalni smjer kretanja podzemnih voda. General direction of ground water flow.
- - - Pretpostavljeni smjer toka podzemne vode. Supposed direction of ground water flow.
- Uvrđena granica. Geologic boundary.
- - - Pokrivena ili aproksimativna granica. Geologic boundary (supposed).
- - - Transgresivna granica. Geologic boundary (transgressive).
- - - Postupan prelaz. Gradual transition.
- ↘ Pad sloja. Dip.
- Rasjed. Fault.
- ↗ Os antiklinale. Axis of the anticline.
- ↘ Os sinklinale. Axis of the syncline.
- A-B Linija profila. Line of the profile.

crtao: P. KLARIĆ

**DIJAGRAMI KEMIJSKE KLASIFIKACIJE PODZEMNIH VODA**  
**DIAGRAMS OF THE CHEMICAL CLASSIFICATION OF GROUND WATER**






# Hidrokemijska karta područja NIN-POLJICA-POSEDARJE — Hydrochemical map of the NIN-POLJICA-POSEDARJE area



**Legenda:**  
**Legend:**

- ♠ Bočati izvor — Brackish coastline spring
- ⊕ Izvor — Spring
- ⊙ Kopani bunar — Dug well
- ⊕ Pećina s vodom — Cave with water

**Klasifikacija podzemnih voda prema anionima**  
**Classification of ground water according to anions**

-  Hidrokarbonatne vode — Hydrocarbonate waters
-  Kloridne vode — Chloride waters
-  Miješane vode — Mixed waters

- 100 ----- Linija istih vrijednosti sadržaja Cl<sup>-</sup> u mg/lit  
Line of the same values of the content of Cl<sup>-</sup> in mg/lit
- 50 ----- Linija istih vrijednosti sadržaja SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> u mg/lit  
Line of the same values of the content of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> in mg/lit
- 400 ----- Linija istih vrijednosti sadržaja HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> u mg/lit  
Line of the same values of the content of HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> in mg/lit
- 20 ----- Izolinija ukupne tvrdoće u dH°  
Isoline of total hardness of water in dH°