

ZLATKO POLLAK:

PRIKAZ HIDROKEMIJSKIH ISTRAŽIVANJA  
U SJEVERNOM SINKLINORIJU  
UGLJENONOSNOG BAZENA KREKA

S 4 slike u tekstu i 5 priloga

U okviru hidrogeoloških istraživanja ugljenonosnog bazena Kreke, vršena su i hidrokemijska istraživanja. Kemijski je analiziran niz voda užeg i šireg područja Sjevernog sinklinorija, da bi dobili potpunu sliku hidrodinamskih odnosa u ugljenom bazenu.

In the framework of hydrogeologic explorations of the Kreka Coal Basin hydrochemical investigations were carried out. A whole series of waters of the narrower and wider areas of the northern synclinorium were chemically analysed in order to obtain a complete picture of the hydrodynamic relations prevailing in this coal basin.

Poduzeće »Geoistraživanja« iz Zagreba izvodi detaljna istraživanja u cilju odvodnjavanja, vodonosnih pijesaka u podini ugljenih slojeva, ugljenonosnog bazena Kreke.

Obimnim hidrogeološkim radovima, prethodila su geološka kartiranja ne samo ugljenog bazena, već i šireg područja sliva rijeke Jale (Miletić & Kranjec, 1957). Na tabli I dajemo preglednu geološku kartu Sjevernog sinklinorija ugljenog bazena Kreke.

U sklopu kompleksnih hidrogeoloških istraživanja, izrađen je čitav niz kemijskih analiza (kompletnih ili samo na pojedine komponente), da bi dobili što potpuniju sliku hidrodinamskih odnosa istraživanog područja. Kemijske analize voda je izradila inž. J. Švel.

Zahvaljujem se inž. A. Šarinu i inž. P. Miletiću, koji su mi pomogli u radu, kao i prof. dr. M. Heraku, čiji su mi savjeti mnogo koristili.

Kod svojih hidrokemijskih istraživanja nismo se zadržali samo na području sjevernog sinklinorija, već smo istraživanjima obuhvatili šire područje između Tuzle i Puračića. Izradili smo kemijske analize čitavog toka rijeke Jale sa pritocima, pijezometarskih bušotina, jamskih voda i izvora te bunara na području između Prlina i Tuzle. Kemijski su analizirane vode od ukupno 170 izvora sa površine, 93 uzorka rijeke Jale i pritoka i 74 jamskih voda.

Smatrali smo, da će za potrebe naših istraživanja biti dovoljni sljedeći elementi analize: od fizičkih osobina vode: temperatura,

boja, okus, a od kemijskih: pH, slobodna poluvezana i agresivna ugljična kiselina, isparni ostatak, alkalitet, ukupna karbonatna i nekarbonatna tvrdoća, od kationa:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  i  $\text{Fe}^{2+}$ ; od aniona:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , i  $\text{SiO}_3^{2-}$ . Bili smo mišljenja, da će za interpretaciju rezultata biti prikladniji oblik izražavanja vrijednosti kationa i aniona u mg ekv/l, odnosno u mg ekv ‰, nego u mg/l.

Tabelarne prikaze analiza nećemo dati, već se one nalaze u arhivi geološkog odjela »Geoistraživanja«.

Kemijski sastav vode smo izrazili skraćenom formulom Kurlova, gdje su posebno anioni, a posebno kationi izraženi u postocima. Sadržaj formule možemo upoznati na slijedećoj analizi:

$$M \ 0,16 \ \frac{C_{49} \ Cl_{44} \ S_7}{Na_{42} \ Mg_{40} \ Ca_{18}} \ 13,7$$

Broj pred razlomkom M 0,16 označava nam mineralizaciju u g/l. U brojniku  $C_{49} = \text{HCO}_3^-$  — 49‰ mg ekv,  $Cl_{44} = \text{Cl}^-$  — 44‰ mg ekv,  $S_7 = \text{SO}_4^{2-}$  — 7‰ mg ekv. U nazivniku  $Na_{42} = \text{Na}^+ + \text{K}^+$  — 42‰ mg ekv,  $Mg_{40} = \text{Mg}^{2+}$  — 40‰ mg ekv,  $Ca_{18} = \text{Ca}^{2+}$  — 18‰ mg ekv. Broj iza razlomka označava temperaturu vode u °C.

Za klasifikaciju podzemnih voda po njihovom kemijskom sastavu najprikladniji nam se činio način Š č u k a r e v a i S l a v j a n o v a, koji pri ocjeni vode ne uzimaju u obzir komponente, čije vrijednosti ne prelaze 25‰ mg ekv.

Na prikazanoj tabeli dajemo klasifikaciju po Š č u k a r e v u i S l a v j a n o v u:

Anioni	Kationi						
	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$ $\text{Mg}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$ $\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$ $\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$ $\text{Na}^+$ $\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$
$\text{HCO}_3^-$ . . . . .	1	2	3	4	5	6	7
$\text{HCO}_3^- \text{SO}_4^{2-}$ . . . . .	8	9	10	11	12	13	14
$\text{HCO}_3^- \text{SO}_4^{2-} \text{Cl}^-$ . . . . .	15	16	17	18	19	20	21
$\text{HCO}_3^- \text{Cl}^-$ . . . . .	22	23	24	25	26	27	28
$\text{SO}_4^{2-}$ . . . . .	29	30	31	32	33	34	35
$\text{SO}_4^{2-} \text{Cl}^-$ . . . . .	36	37	38	39	40	41	42
$\text{Cl}^-$ . . . . .	43	44	45	46	47	48	49

Navedena klasifikacija je najpotpunija za analizu i interpretaciju rezultata, međutim za sam prikaz kemijskog sastava na karti mnogo je pogodnija klasifikacija F e r e - a, pa smo kemijski sastav podzemnih voda na karti izrazili na taj način (tabla II).

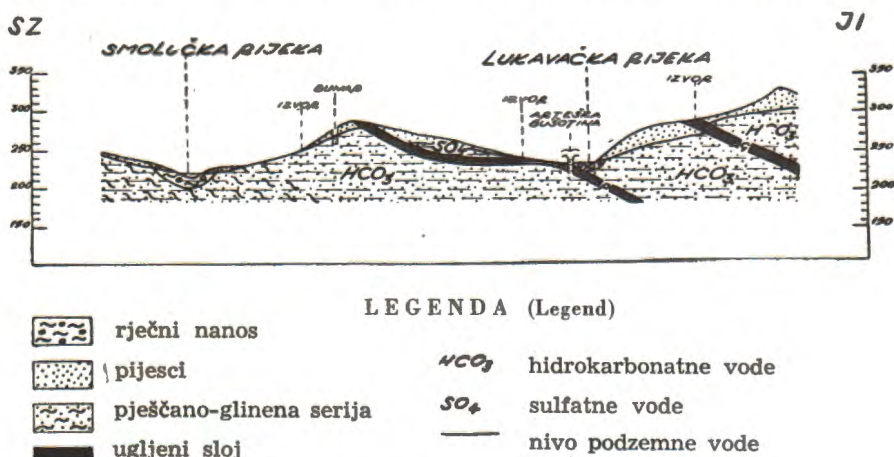
## FAKTORI KOJI UTJEČU NA KEMIJSKI SASTAV PODZEMNIH VODA

Bitni su faktori kod formiranja kemijskog sastava podzemnih voda: geološka građa terena, mineraloški sastav stijena, atmosferilije, klimatske prilike i zatim u manjoj mjeri tzv. fizički procesi, kao podzemno isparavanje, difuzija soli i gravitaciona diferencijacija otopina.

U kolikoj mjeri su zastupljeni pojedini faktori, dat će nam odgovor hidro-kemijska istraživanja.

Kod interpretacije kemizma podzemnih voda, bili smo već u prvoj fazi istraživanja prisiljeni obratiti se ne samo na opće teoretske postavke, nego i na specifične prilike, koje su od velikog značenja za proučavanje nekog područja. Kod naših istraživanja moramo uočiti dvije činjenice, koje su od bitnog značaja za hidrokemijsku sliku ispitivanog područja: prvo, da su vodonosni slojevi po svom petrografskom sastavu kremeniti pijesci, i drugo, činjenica, da jamski radovi mogu imati priličan utjecaj pri formiranju vode određenog kemijskog sastava. Pri protjecanju vode kroz razne sedimente ne povećava se samo mineralizacija, nego se vrši i promjena njezinog sastava u skladu s promjenom petrografskog sastava sedimenata.

U kolikoj mjeri ovisi kemijski sastav podzemne vode o geološkoj građi i petrografskom sastavu sedimenata s kojima je voda u kontaktu, pokazuje nam hidrokemijski profil Brezik — Lukići (sl. 1).



Sl. 1. Hidrokemijski profil Brezik — Lukići.  
Fig. 1. Hydrochemical cross-section Brezik — Lukići.

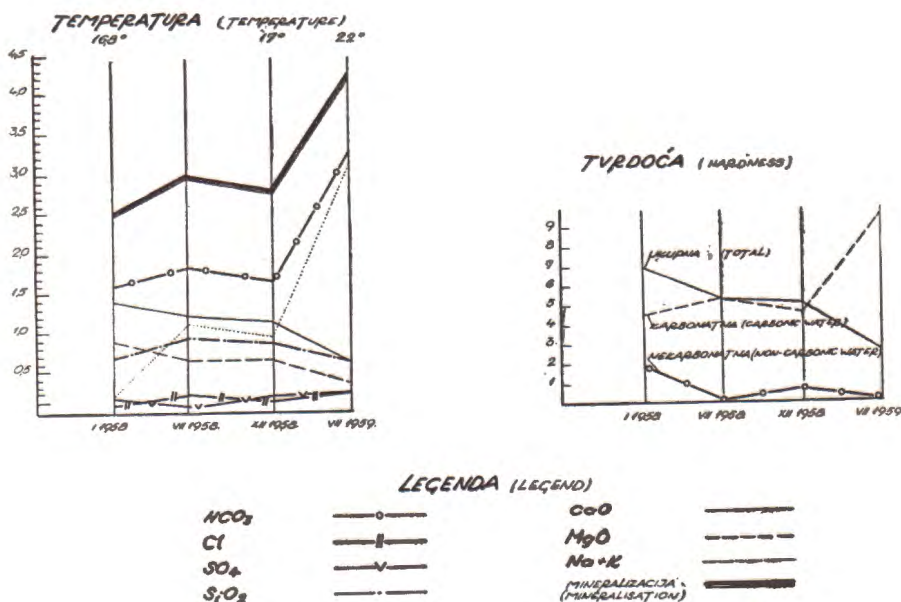
Područje Brezika i Lukića nalazi se na sjeverozapadnom krilu Sjevernog sinklinorija, gdje u krovini ugljenih slojeva nalazimo pješčane, a ne glinene sedimente. Neposredna krovina, koja se sastoji iz pijeska s veoma malim koeficijentom filtracije i geološka struktura terena (neznatno povijanje podinskog ugljenog sloja) uzrokuju dugo

zadržavanje vode u kontaktu s ugljenom, koji sadrži pirit ( $\text{FeS}_2$ ). U tom ćemo slučaju umjesto redovitog hidrokarbonatnog tipa imati sulfatni tip vode. Pored izvora koji je sulfatnog tipa, nalazimo arteški izvor sa vodom hidrokarbonatnog tipa.

Izvori sa naglašenom sulfatnom komponentom u jamama samo potvrđuju taj zaključak. Naime, gdje god nalazimo povećanu količinu sulfata, možemo biti gotovo sigurni da voda ne dotječe neposredno iz pješčane podine, nego da je dulje tekla po ugljenom sloju ili kroz sam sloj. Promjena kemizma vode s obzirom na sadržaj sulfata ovisi samo o trajanju kontakta vode s piritom u ugljenoj masi.

Na pojedinim su lokacijama uzimani uzorci vode za kemijsku analizu u sušnom i kišnom periodu 1958. i 1959. g., pa smo bili u stanju pratiti oscilacije kemijskog sastava u vezi s godišnjom dobi.

Dajemo grafički prikaz oscilacije kemizma na izvoru br. 16, a ostali izvori pokazuju uz manje odstupanja iste karakteristike (sl. 2).



Sl. 2. Ovisnost kemijskog sastava vode o godišnjem doba (izvor br. 16).  
Fig. 2. Dependence of the chemical composition of the water of the season (spring No. 16).

U sušnom periodu imamo redovito povišenje mineralizacije. Voda ostaje hidrokarbonatnog tipa kod podjele prema anionima. Ta osobina, da prevladavajući anion ostaje uvijek isti bez obzira na godišnje doba, primijećena je na svim promatranim izvorima. S kationima međutim nije tako kako vidimo na grafikonu, kemijski sastav voda prema kationima varira bez obzira na godišnje doba. Pokušati ćemo

objasniti tu pojavu. Sve su to vode veoma slabe mineralizacije. Posve neznatni, a različiti izvori mineralizacije mogu biti razlog promjeni tipa vode po kationima.

Smatramo da pri formiranju kemijskog sastava podzemnih voda u ugljenom bazenu Kreke mogu biti od priličnog značaja uz mineraloški sastav teške i lake frakcije pijeska, lapora, gline i ugljena, kemijski sastav kišnice, i razgranatost jamskih radova, a s tim u vezi narušavanje prvobitne hidrokemijske ravnoteže.

Kolektori su gotovo čisti kremeni pijesci, koji u praktičnom smislu ne mogu biti izvorom mineralizacije voda. Međutim u našem slučaju, gdje postoji dugo vrijeme kontaktiranja sedimenata i vode, obogaćuje se otopina sve više čak i sa  $\text{SiO}_2$ . Osobito se povećava koncentracija drugih komponenata, koje sadržavaju minerali teške frakcije pijeska. Najbolji dokaz toj pretpostavci su prosječni kemijski sastavi voda u jamama, koje ćemo kasnije detaljnije obraditi. Vode, koje sadrže ugljičnu kiselinu, polako razlažu teško topive silikate i alumosilikate. Rezultat je stvaranje kalcijevih, magnezijevih i natrijevih karbonata i hidrokarbonata. Ti procesi luženja postoje prvenstveno u aeracijskoj zoni, u zoni intezivne izmjene vode.

Smatramo, da priličnu ulogu pri formiranju kemijskog sastava podzemnih voda s našim specifičnim karakteristikama kolektora imaju izluživanje i difuzija otopina iz glina. Kako znamo pijesci u podini ugljenih slojeva postepeno prelaze u gline. Sasvim je vjerovatno, da su u većini slučajeva izvor mineralizacije gline. Za njih znamo da lako otpuštaju katione kationskom izmjenom, i na taj način mijenjaju kemijski sastav vode. Budući da su to pretežno miješane vode po kationima, dovoljna je posve mala količina jednog kationa da taj prevlada i prema tome promijeni tip vode.

Na istom grafičkom prikazu možemo primijetiti još jednu interesantnu pojavu, a to je alterniranje sulfata i klorida, kada ih nalazimo u približno jednakoj količini, gdje su vode hidrokarbonatskog karaktera. Na svim analiziranim izvorima imamo istu sliku, porast sulfata zimi, a smanjenje u ljetu. Razlog tome je jače nakupljanje sulfata u površinskom sloju tla u toku ljeta zbog organskih procesa. U zimskom periodu, kada se podigne nivo podzemne vode, bivaju ti sulfati odnešeni i daju izvorskoj vodi pojačani sulfatni karakter. Kao što je i normalno mineralizacija i tvrdoća se u ljetu povećavaju. Za ostale promatrane izvore vrijede iste zakonitosti, koje smo utvrdili na izvoru br. 16.

Iz toga možemo izvući slijedeći zaključak: kemijski sastav vode po pretežnim anionima je stalan bez obzira na godišnje doba. Sastav kationa koleba pak u tolikoj mjeri, da će nam sigurni podaci biti tek količine iznad 50% mg ekv.

#### *Opća hidrokemijska slika voda na površini*

U uvodnom smo dijelu spomenuli faktore koji su uzrokovali formiranje vode određenog kemijskog sastava.

Najveća je pažnja posvećena području Sjevernog sinklinorija, pa je tu i analiziran najveći broj uzoraka vode.

Zbog obilja podataka i nepreglednosti koje bi nastale nanašanjem svih podataka na jednu kartu, dajemo tri posebne karte.

Na tabli II dali smo prikaz kemijskog sastava podzemnih voda po trokutu Ferrea za anione, a šrafirali smo područje gdje prevladavajući kation ima vrijednost veću od 50% mg ekv. Uočujemo dvije zone: hidrokarbonatnu i kloridnu. Hidrokarbonatnoj zoni pripada čitavo ispitivano područje, a kloridne vode su penetrirale dolinom rijeke Jale u zonu hidrokarbonatskih voda.

Unutar hidro-kemijskih zona postoje izvori, čiji se sastav ne slaže s hidro-kemijskom zonom. To naročito vrijedi za pojedine izvore hidrokarbonatne zone. No ta lokalna neslaganja ne mogu izmijeniti opći hidrokarbonatski tip voda spomenutog područja.

Na karti smo posebnim znacima označili izvore u jamama, gdje su vode na svom putu doživjele izvjesnu promjenu kemizma, pa su u neskladu s izvorima na površini.

Vidimo na karti da ugljenonosnu seriju Sjevernog sinklinorija okružuju lako uočljiva područja dominantnih kationa. Sarmatski sedimenti (vapnenci i lapori) uzrok su kalcijским vodama na sjevernom i sjeveroistočnom dijelu sinklinorija. Za istočni rub bazena i jalski nanos karakteristične su natrijske vode, koje potječu iz solnih ležišta i otpadnih voda solana. Magnezijske vode su na području kojeg izgrađuju serpentini, ili u dijelovima, za koje smatramo da su genetski vezani na serpentinski masiv. Ove vode uokviruju bazen s južne i zapadne strane.

Od ukupno 110 analiziranih izvora 66 pripada prvoj grupi podjele po anionima (1—7 po Ščukarevu i Slavjanovu) tj.  $\text{HCO}_3^-$  grupi, a upravo polovica njih, tj. 33 su  $\text{Ca}^{2+}$  —  $\text{Mg}^{2+}$  tipa (2 po Ščukarevu i Slavjanovu). Iako po brojčanoj zastupljenosti uočujemo kakove su vode na čitavom području, moramo uzeti s rezervom klasifikaciju po kationima, radi promjene tipa vode s obzirom na godišnje doba.

U prilogu dajemo kartu mineralizacije podzemnih voda (tabla III). Već na prvi pogled uočujemo činjenicu da zone iste mineralizacije prate geološku strukturu terena. Vode ugljenonosne serije su veoma slabo mineralizirane; uz iznimke njihova je mineralizacija ispod 0,3 gr/l. Slabo mineralizirane vode ugljenonosne serije okružuju vode nešto povećane mineralizacije (0,3—0,9 gr/l), to su vode pješčano-glinene serije, gdje su gline uzrok povećanju mineralizacije. Još veću mineralizaciju imaju vode miocenskih sedimentata, što je rezultat uložaka vapnenaca i jače vapnene komponente u laporima i pješčenjacima miocenskih sedimentata. Prodor soli dolinom Jale, uzrokovao je povećanje mineralizacije u tom dijelu ugljenonosnog bazena.

Veoma slična karti mineralizacije je karta tvrdoće podzemnih voda (tabla IV), jer se i zone istih tvrdoća podudaraju s geološkom strukturom terena. Kod podjele voda prema tvrdoći držali smo se podjele po Kluttu 0—4 vrlo mekana, 4—8 mekana, 8—12 umjereno tvrda, 12—18 dosta tvrda, 18—30 tvrda, preko 30 vrlo

tvrdra (sve u njemačkim stupnjevima tvrdoće —  $\text{dH}^0$ ). Veći dio ugljenonosne serije Sjevernog sinklinorija ima mekane vode (0—8  $\text{dH}^0$ ). Pješčano glinenu seriju i sarmatske sedimente karakteriziraju vode veće tvrdoće (8—30  $\text{dH}^0$ ), što je u vezi s povećanjem vapnene komponente u sedimentima. Lokalna povećanja tvrdoće unutar sinklinorija uzrokovana su ili povećanjem laporovite komponente u sedimentima ili geološkom građom. Tako u Šikuljačkoj rijeci, sjeveroistočno od sela Šikulja i Dobošnice, postoje stariji (sarmatski) sedimenti na površini.

Uz neke iznimke vode rječnih nanosa su redovito tvrde. To naročito vrijedi za rijeku Jalu kod Moluha.

Vratimo se na kartu kemijskog sastava podzemnih voda, gdje smo posebno označili lokacije uzimanja uzoraka površinskih tokova. Površinski tok rijeke Jale i njenih pritoka presjecaju vodonosne pijeske u podini ugljenih slojeva, pa je jedan od zadataka hidrogeologije bio i taj, da utvrdi mogućnost hranjenja vodonosnih pijeska površinskim tokovima.

Najbolju sliku izmjene kemijskog sastava površinskog toka rijeke Jale daje nam grafički prikaz (sl. 3).

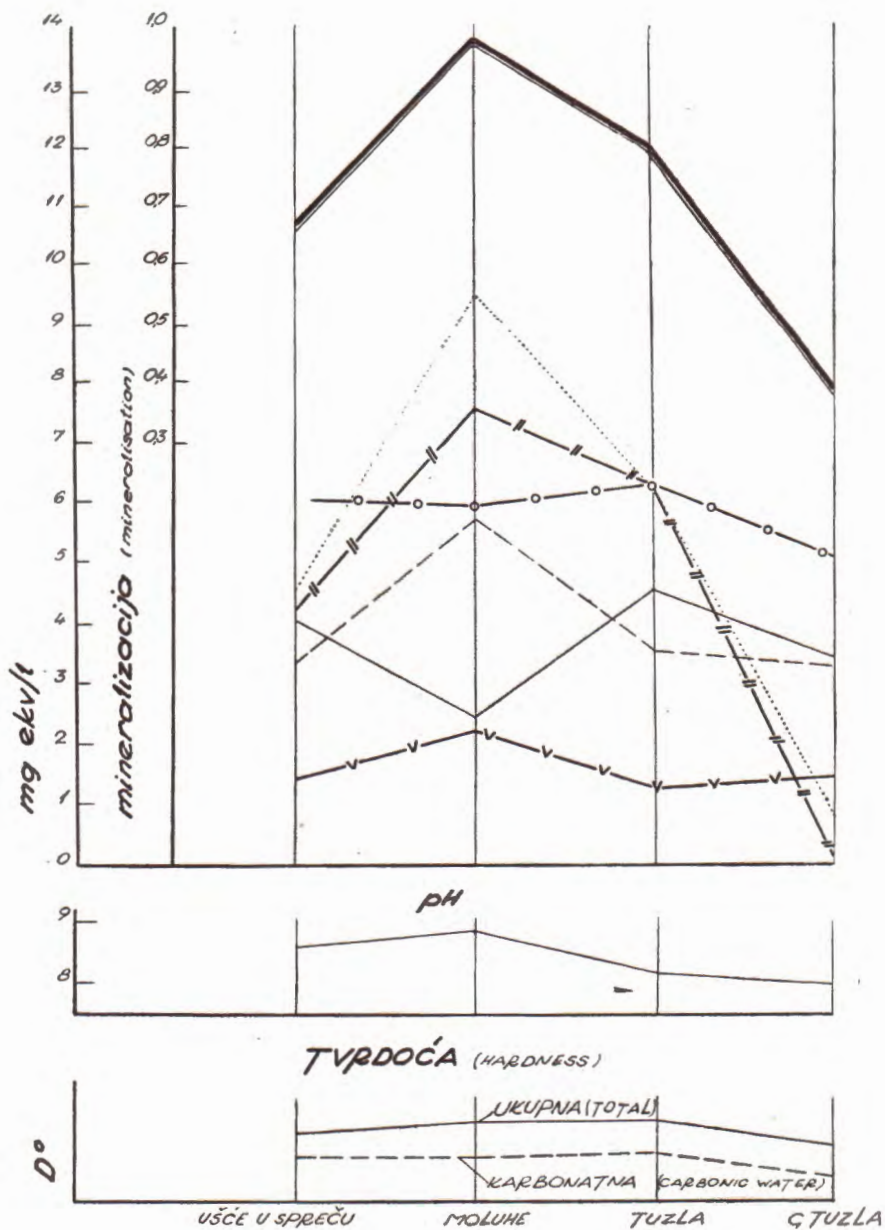
Zbog toga ćemo ga malo detaljnije objasniti. U Gornjoj Tuzli jalska voda ima kalcijско-magnetsko-hidrokarbonatni karakter (tip 2). Kod Tuzle se mineralizacija povećava; među anionima su  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{Cl}^-$  podjednako zastupljeni, dok kod kationa prevladava  $\text{Na}^+$ . Jala kod Moluha ima maksimalnu količinu  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  (tip 49) najveću mineralizaciju, tvrdoću i pH. Jedine dvije komponente koje su na toj lokaciji doživjele smanjenje su  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{HCO}_3^-$ .

U blizini ušća Jale u Spreču voda Jale ima ponovno hidrokarbonatni karakter, dok je među kationima  $\text{Na}^+$  još dominantan. Kako se to podudara s geološkom građom terena? Tok Jale od Gornje Tuzle do Tuzle okarakteriziran je prolazom kroz miocenske sedimente (lapori, vapnenci, konglomerati, pješčenjaci i gline) što je bilo uzrokom kalcijско-magnezijskom tipu vode.

Kod Moluha dobiva Jala otpadne vode solana, rudnika Tušnja, a i sama solonosna serija hrani rječni nanos Jale solju, tako da se to neminovno moralo odraziti i na kemijskom sastavu površinskog toka rijeke Jale. Vidimo iz grafikona, da se količina  $\text{NaCl}$  u donjem dijelu toka rijeke Jale smanjuje; razlog tome je činjenica, da imamo samo jedno žarište soli uzvodno od Moluha.

Osim kompletnih analiza, izrađeno je 86 analiza na kloride toka rijeke Jale od Simin Hana do ušća u Spreču. Dajemo prikaz rezultata, do kojih smo došli na temelju kemijskih analiza površinskih tokova Joševice i Šičke rijeke. Na karti kemijskog sastava podzemnih voda odražava se princip, kojim smo se rukovodili kod odabiranja lokacije za uzimanje kemijskih analiza voda. Uzorak vode smo uzimali ispred i iza ugljenonosne serije sjeveroistočnog i jugozapadnog krila sinklinorija.

U Joševici, a još više u Šičkoj rijeci, čiji grafički prikaz dajemo (sl. 4), nalazimo vodu prije prolaza kroz ugljenonosnu seriju tipa 4



LEGENDA (LEGEND)

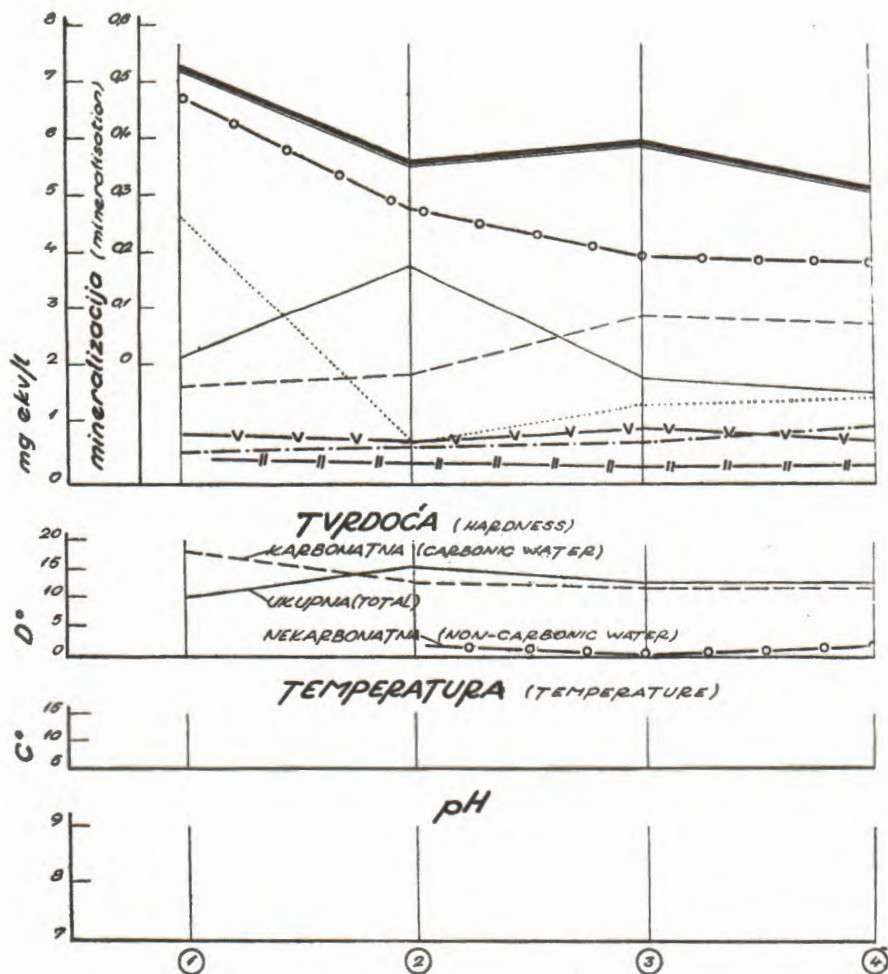
HCO <sub>3</sub>	—○—	CaO	———
Cl	—  —	MgO	- - - - -
SO <sub>4</sub>	—v—	Na+K	.....

MINERALIZACIJA  
(MINERALISATION)

—————

Sl. 3. Kemijska analiza toka rijeke Jale.  
Fig. 3. Chemical analysis of the Jala River water.





### LEGENDA (LEGEND)

$\text{HCO}_3$	—○—	$\text{CaO}$	—
$\text{Cl}$	—△—	$\text{MgO}$	- - -
$\text{SO}_4$	—▽—	$\text{Na}^+\text{K}$	.....
$\text{SiO}_2$	- - -	MINERALIZACIJA (MINERALISATION)	—————

### UZORCI UZETI: (SAMPLES ARE TAKEN)

- ① PRED SJ KRILOM SINKLINORIJA  
BEFORE THE NE WING OF THE SYNCLINORIUM
- ② IZA SJ KRILA SINKLINORIJA  
AFTER THE NE WING OF THE SYNCLINORIUM
- ③ PRED JZ KRILOM SINKLINORIJA  
BEFORE THE SW WING OF THE SYNCLINORIUM
- ④ IZA JZ KRILA SINKLINORIJA  
AFTER THE SW WING OF THE SYNCLINORIUM

Sl. 4. Kemijska analiza toka Sičke rijeke.  
Fig. 4. Chemical analysis of the Sička River water.

— po Ščukarevu i Slavjanovu — tj. natrijsko-hidrokarbonatnog karaktera. Pri prolazu kroz ugljenonosnu seriju i nakon nje pada ne samo karbonatna tvrdoća nego i mineralizacija, što nas upućuje na to, da su izvori u ugljenonosnoj seriji slabije mineralizirani od vode spomenutih rijeka.

Znatna količina  $\text{SiO}_2$  u koloidnom obliku, u analizama rječne vode nakon prolaza rijeke preko čitavog sinklinorija, rezultat je otapanja kremenca, koji je u pijescima dominantan mineral, dok u glinama ima cca 50%  $\text{SiO}_2$  (u alumosilikatima).

#### PRIKAZ HIDROKEMIJSKIH ISPITIVANJA UZORAKA VODE IZ PIJEZOMETARSKIH BUŠOTINA I JAMA

Uporedo sa hidrokemijskim ispitivanjima na površini, uzimane su kemijske analize vode pijezometarskih bušotina u dolini rijeke Jale i izvora u jamama.

Izvršeno je 74 analiza jamskih voda, ali sve nismo nanegli na kartu kemijskog sastava podzemnih voda. Smatrali smo da je nepotrebno nanositi sve analize na kartu, budući da su neke na veoma maloj udaljenosti jedna od druge i imaju gotovo identični kemijski sastav.

Ispitivano područje čini jednu cjelinu u hidrogeološkom smislu. Postoje 4 produktivna ugljena sloja (pliocenske starosti): II krovni, I krovni, glavni i podinski ugljeni sloj. U krovini ugljenih slojeva nalazimo gline, dok se u podini nalaze pijesci. Po tektonskoj strukturi to je sinklinorij, na čijem se rubu nalaze rudnici (tabla I).

Kod hidrokemijskih ispitivanja bazena pokušali smo dati mikro-zonalnu hidrokemijsku raspodjelu prema rudnicima, nanošenjem postotaka mg ekv aniona na trokut Ferre-a, ali nismo došli do očekivanih rezultata. Dobili smo raspored kemijskog sastava podzemnih voda prema vodonosnim horizontima. Jamske vode istog vodonosnog horizonta imaju sličan kemijski sastav, bez obzira na granice među rudnicima. To je i shvatljivo, jer su granice među rudnicima umjetne, uvjetovane dužinom jamskog transporta. Prema tome i hidrokemijski je potvrđeno, a ne samo tektonski, da svaki vodonosni horizont, tj. svaki pješćani sloj predstavlja izoliranu hidrogeološku jedinicu.

Primijećeno je kod nekih jamskih voda rudnika Moluha, da su neke vode kloridno-sulfatne, kloridno-hidrokarbonatne i kloridne, pa je ponovo oživjela pretpostavka, da se tu ipak radi o rasjedu i da prema tome postoji veza između solnog ležišta i ugljenog bazena.

U svrhu promatranja nivoa podzemne vode i utvrđivanja mogućnosti napajanja pijesaka u podini ugljenih slojeva površinskim tokom rijeke Jale, izbušeno je na području Moluha čitav niz bušotina uz rijeku Jalu u pijescima svakog pojedinog ugljenog sloja sa svojim parom u rječnom nanosu. Iz tih su bušotina uzimani uzorci vode za kemijsku analizu.

Na slijedećoj tabeli dan je odnos prosječnih veličina pojedinih komponenata kemijskih analiza voda rijeke Jale, voda iz pijezometarskih bušotina u rječnom nanosu, iz bušotina bušenih u pijescima pod I krovnom ugljenim slojem (tj. pod rječnim nanosom), te voda iz jamskih izvora jugoistočnog krila I krovnog ugljenog sloja u Moluhama.

	Jala iznad Moluha	Pijezometar u rječnom nanosu	Pijezometar u pijescima ugljenog sloja ispod riječnog nanosa	Izvori u jami, XV sprat. I krovnog sloja Moluha
Mineralizacija u mg/l .	984	9800	13.300	1246
CaO u mg ekv/1 . . . .	2,38	13,63	5,39	5,50
MgO u mg ekv/1 . . . .	5,81	10,36	7,73	1,93
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> u mg ekv/1 .	9,53	150,64	227,52	13,88
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> u mg ekv/1 . . . .	5,94	0,83	1,90	5,13
Cl <sup>-</sup> u mg ekv/1 . . . . .	7,69	171,83	232,95	12,60
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> u mg ekv/1 . . . .	2,11	4,23	4,23	4,32
SiO <sub>2</sub> u mg ekv/1 . . . . .	0,48	0,7	1,52	0,43
pH . . . . .	8,9	7,9	8,8	7,55
Tvrdoća ukupna . . . . .	22,95	67,28	36,84	20,87
„ karbonatna . . . . .	16,63	2,32	5,32	17,16
„ nekarbonatna . . . . .	6,32	64,96	31,52	3,71

Najzanimljiviji je svakako odnos sadržaja klorida. Kloridi u Jali, u rječnom nanosu, u pijesku pod ugljenim slojem i u jami odnose se međusobno kao 1:22:30:1,6. Najveću količinu klorida, kako vidimo, imaju pijesci u podini ugljenog sloja.

Kad bi postojao rasjed između ležišta soli i ugljenog bazena, kroz koji mogu komunicirati solnonosne podzemne vode, morali bi imati najveću količinu soli u jami, a ne u pijescima ugljenonosne serije, neposredno pod rječnim nanosom. Očito je dakle, da sam rječni nanos hrani kloridima pijeske ugljenih slojeva. Koncentracija klorida smanjuje se s vertikalnom i horizontalnom udaljenošću od nanosa rijeke Jale.

Zbog priličnog broja analiza iz jame I krovnog ugljenog sloja rudnika Moluha, možemo sasvim točno pratiti slabljenje kloridne komponente udaljavanjem od rječnog nanosa Jale. Na udaljenosti od oko 500 m po pružanju ugljenog sloja nalazimo vode, koje su već hidrokarbonatskog tipa. Kod glavnog i podinskog sloja situacija je slična, samo se tu utjecaj klorida ne osjeća toliko daleko (prilog II).

Podzemno protjecanje u rječnom nanosu, koje je paralelno površinskom toku rijeke Jale, okarakterizirano je vertikalnom zonalnošću, pri čemu u dnu nanosa nalazimo specifično teže slane vode. Tu

smo činjenicu osim kod Moluha i Bukinja, utvrdili i južno od Bi-starca, gdje je poduzeće »Geoistraživanja« izvodilo ispitivanje na do-bivanju vode za potrebe Fabrike sode Lukavac. Iz jalskog nanosa filtrira se konstantno najslanija frakcija u pijeske ugljenih slojeva. Na tom mjestu dakle imamo hidrokemijsku inverziju, jer se kloridne vode nalaze iznad hidrokarbonatskih, pa je to razlog pojačane kloridne komponente vode u jami, a ne pretpostavljeni rasjed.

U sjevernom sinklinoriju se nalaze vodonosni slojevi na dubini većoj od 1000 m, pa je postojala mogućnost utvrđivanja osim horizontalne čak i vertikalne zonalnosti podzemnih voda.

O vertikalnoj zonalnosti možemo govoriti samo tamo, gdje postoje jamski radovi sa sigurnim izvorima iz podine ugljenih slojeva ili vode koju smo dobili iz bušotina. Prilično nepoznat s hidrokemijskog stanovišta je najdublji dio bazena, gdje nema, a ne će ni biti jamskih radova. Međutim na temelju nekih indikacija iz perifernih dijelova bazena može se dobiti približna slika i o toj najdubljoj zoni bazena.

Kote ugljenih slojeva, na površini u rječnim dolinama sjevero-istočnog i jugozapadnog krila Sjevernog sinklinorija, nemaju iste vrijednosti. Te vrijednosti dajemo na slijedećoj tabeli:

Apsolutne visine ugljenih slojeva i pješčanoglinene serije:

*Sjeveroistočno krilo*

	Pješčano glinena serija	Podinski sloj	Glavni sloj	I krovni sloj
Šička r. . . . .	258	253	248	242
Joševica . . . . .	254	248	243	238
Lukavačka r. . . . .	258	240	230	—

*Jugozapadno krilo*

	Pješčano glinena serija	Podinski sloj	Glavni sloj	I krovni sloj
Šička r. . . . .	203	205	206	224
Joševica . . . . .	210	212	213	217
Lukavačka r. . . . .	196	197	198	—

Vidimo, da je razlika u apsolutnim visinama između odgovarajućih slojeva od 20—50 m. S teoretskog stanovišta to bi bilo dovoljno nadvišenje da postoji, iako polagano, ali ipak stalno protjecanje podzemnih voda u pješčanim sedimentima iz sjeveroistočnog u jugozapadno krilo sinklinorija. No, u literaturi se navodi, kako na dubini od 1000 m ne postoji kretanje podzemnih voda. Naime, kod prodi-

ranja podzemnih voda u dubinu imamo u vertikalnom smislu tri zone. To su:

1. Zona slobodne izmjene (po nekim autorima do eroziona baze rijeke)
2. Zona otežane izmjene i
3. Na dubini od oko 1000 m zona zastoja.

Ako su te postavke tačne, onda bi pješćano-glinena serija i pijesci pod podinskim ugljenim slojem u centralnom najdubljem dijelu sinklinorija bili u zoni zastoja, dok bi vode glavnog i I krovnog vodonosnog horizonta, zbog plićeg položaja bile u zoni otežane izmjene.

U podinskom sloju su slabo razvedeni jamski radovi, pa nemamo kemijskih analiza, kako bi mogli svoju pretpostavku dokazati.

Komparirali smo prosječne vrijednosti kemijskih analiza jamskih voda u rudnicima sjeveroistočnog (Dobrnja Sjever, Lipnica) i jugozapadnog krila sinklinorija (rudnici Dobrnja Jug i Bukinje), te dajemo grafički prikaz tih veličina u I krovnom sloju Dobrnje Sjever i Dobrnje Jug (tabla V). Uz mineralizaciju su povećane i sve druge komponente osim  $\text{HCO}_3^-$  iona, pH vrijednosti i karbonatne tvrdoće. Razloge upravo ovakove situacije u rudniku Dobrnja Sjever nećemo posebno isticati, jer smo se na to osvrnuli već u uvodnom dijelu, gdje je prikazana opća hidrokemijska situacija vode na površini.

Uz opći porast mineralizacije najvažnija je činjenica smanjenje pH vrijednosti, pa smo od neutralnih voda dobili vode sa slabom kiselim reakcijom, što je rezultat stanovite količine piritu u ugljenu i mjestimičnih orudnjenja piritom u neposrednoj podini ugljenog sloja. Na nekoliko je lokacija nabušena ovakva mineralizacija. Iz navedenog možemo zaključiti, da su podzemne vode I krovnog ugljenog sloja pri svojoj migraciji od rudnika Dobrnja Sjever do Dobrnje Jug, metamorfozirane u smislu veće mineralizacije i tvrdoće, povećane temperature i agresivnosti, te smanjenja pH vrijednosti.

Posve identična slika je s vodama vodonosnih pijesaka glavnog ugljenog sloja.

Prema tome postoji iako polagano, ali ipak stalno protjecanje podzemnih voda od sjeveroistočnog prema jugozapadnom krilu sinklinorija, u podini I krovnog i glavnog ugljenog sloja.

Iz ranijih smo izlaganja vidjeli, da postoje jasne razlike pH vrijednosti između izvora, površinskih tokova i jamskih voda. Na navedenoj tabeli najbolje ćemo uočiti te razlike:

Ukupni broj analiza sa pH

	manjim od 6	6—7	7—8	većim od 8	Prosječni pH
Površinski tokovi . . .	—	2	14	14	8,16
Površinski izvori . . .	8	49	54	11	7,11
Jamski izvori . . . .	2	42	—	—	6,6

Na istraživanom području postoje, kako je to vidljivo iz tabele, tri zone pH vrijednosti. Bazične, koje su zastupljene površinskim tokovima, neutralne u izvorima na površini i kisele vode u jamama.

### *Pregled rezultata*

U okviru hidrogeoloških istraživanja u cilju odvodnjavanja Sjevernog sinklinorija ugljenog bazena Kreke vršena su i hidrokemijska ispitivanja. Kemijski su analizirani uzorci vode iz izvora i bunara, rječnih tokova, pijezometara i jamskih izvora.

Kemijski sastav vode izrazili smo skraćenom formulom Kurlova, a vode smo klasificirali po sistemu Ščukareva i Slavjanova. Spomenuli smo faktore, koji su usloveli formiranje vode određenog kemijskog sastava.

Snimljeno područje karakteriziraju vode slabe mineralizacije i male tvrdoće, koja se povećava prema rubnom dijelu ugljenonosnog bazena. Po anionima pretežu hidrokarbonati, dok su kloridi zastupljeni samo u dolini rijeke Jale.

Nalaz klorida u jamama rudnika Moluha, nije rezultat postojanja rasjeda između ugljenonosne serije i solnog ležišta, već filtracije klorida iz rječnog nanosa u pijeske u podini ugljenih slojeva.

Hidrokemijski je utvrđeno, da postoji stalno protjecanje u vodonosnim pijescima I krovnog i glavnog ugljenog sloja od sjeveroistočnog prema jugozapadnom krilu sinklinorija.

Primljeno 25. 07. 1961.

»Geoistraživanja«,  
Zagreb, Kupska 2

### LITERATURA

- Lange O. K. (1958): Osnovi gidrogeologii. Izd. Moskov. univ., Moskva.
- Miletić P. & Kranjec V. (1958): O geološkim i hidrogeološkim odnosima u slivu rijeke Jale. Geološki vjesnik 12, Zagreb.
- Stadnikov G. L. (1957): Glinistie parodi. Izd. Akad. nauk SSSR Moskva.
- Suharev G. M. (1956): Osnovi neftopromislovoj gidrogeologii Gostoptehizdat. Moskva.
- Sarin A., Pollak Z. & Posavec M. (1960): Geološki izvještaj III — Kreka, Geol. arhiva, »Geoistraživanja«, Zagreb.
- Trask P. D. (1950): Applied sedimentation. John Wiley Sons, Inc., New York.
- Zdanov M. A. & Karcev A. A. (1958): Neftopromislovaja geologija i gidrogeologija. Gostoptehizdat, Moskva.

## Z. POLLAK

## REPORT ON A HYDROCHEMICAL INVESTIGATION IN THE NORTHERN SYNCLINORIUM OF THE KREKA COAL BASIN

The Kreka lignite mines near Tuzla present in the exploitation of the coal mass certain problems in connection with quicksands in the foot wall of the coal layers. Drainage of these layers was preceded by geological explorations of the northern synclinorium of the Kreka Coal Basin.

A hydrochemical investigation was also carried out within the scope of the hydrogeological explorations. Chemical analyses were made of water samples throughout the entire course of the Jala River with its tributaries as well as in the boreholes for the determination of the groundwater level, the groundwater courses and the springs in the mines and waterwells of the area between Prlina and Tuzla.

In the course of our explorations we were satisfied as to the following elements of the physical and chemical properties of the water: temperature, colour, taste, pH, free, semi-bound and aggressive carbonic acid, evaporation residua, alkalinity, total carbonate and non-carbonate hardness; as to the cations:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  and  $\text{Fe}^{2+}$ ; as to the anions:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ .

In our opinion, the most convenient methods for the classification of groundwaters — according to their chemical composition — appear to be Ščukarev's and Slavjanov's, who — in their classification — take into consideration the components whose value does not exceed 25% mg. eq.

The chemical composition of the water is expressed by means of the reduced Kurlov formula.

FACTORS INFLUENCING THE CHEMICAL COMPOSITION  
OF THE GROUNDWATER COURSES

We would mention some of the factors that are of general significance for the chemical composition of the groundwater: geological structure of the soil, mineralogical composition of the rocks, weather and climatic conditions and also, but on a smaller scale, the so-called physical processes such as underground evaporation, diffusion of salt and gravitational differentiation of solutions.

There are two important facts concerning the groundwater courses in the area explored: first, the water-bearing sands are, according to their petrographic composition, quartz sands; the second fact is that the underground mining workings may considerably influence the forming of a certain chemical composition of the water. The flow of the groundwater through the sediments not only increases the mineralisation but also the metamorphism depending on the petrographic composition of the sediments.

A hydrochemical cross-section of Brezik-Lukići — in the northwest wing of the northern synclinorium — shows in which way the chemical composition of the groundwater depends on the geological structure and on the petrographic composition of the sediments.

The oxidation of pyrite in the coal layer is the cause of the sulphate character of the springs surging from the sands in the hanging wall of the coal layer, while the artesian well of the foot wall of the coal layer shows a hydrocarbonate character. Springs with an accented sulphate component in the mines only confirm this conclusion. We are presenting a graphic illustration of the chemical oscillations in one spring, depending on the season. Mineralisation increases during the dryseason, the water having still a carbonic character in its anionic composition, while the dominating cation does not remain the same. This change of the dominating cation is caused by the

poor mineralisation of the water and the possibility that even insignificant factors may cause a change in the cation composition. We would mention only some of them: mineralogical composition, heavy and light fractions of sands, marl and clay; leaching and diffusion of clay; gravitational differentiation of solutions, extensive branching of the underground mining workings and, in this connection, unbalancing of the original hydrochemical equilibrium.

#### GENERAL HYDROCHEMICAL DESCRIPTION OF THE SUPERFICIAL WATER COURSES

We present maps of the chemical composition, mineralisation and hardness of the groundwater.

On the map chemical composition we present an illustration of the chemical composition of the groundwater according to Ferre's triangle classification of anions; the area where the predominating cations have a greater value than 50% is hatched.

Almost the entire mapped area belongs to the hydrocarbonate zone, while the valley of the Jala River exhibits a chloride character. In connection with the petrographic composition of the rocks, the coal-bearing series — in the north and north-east — is enclosed by a zone of  $\text{Ca}^{2+}$  water courses, in the east the Jala Valley is also characterized by  $\text{Na}^+$  ions, while the southern and western parts of the basin belong to  $\text{Mg}^{2+}$  water courses.

We present a mineralisation map of the groundwater courses too. Zones of the same mineralisation correspond to the geological structure of the soil. The water courses of the coal-bearing series are weakly mineralised, whereas they are surrounded by water courses with a stronger mineralisation (Miocene sediments).

The map of the groundwater hardness shows a great resemblance to the mineralisation map. According to Kent's division we have separated the zones of the same hardness, corresponding to the geological composition of the soil.

On the map of the chemical composition of the groundwater we have marked the locations where superficial water samples were taken.

As the courses of the rivers pass over water-bearing sands, the problem of feeding by superficial water courses came into being. As regards the amount of water, the Jala River presented the main problem. The question had also to be answered by hydrochemical analyses. It was proved that the superficial course of the Jala River does not feed the water-bearing sands in the foot wall of the coal layers.

#### ILLUSTRATION OF A HYDROCHEMICAL INVESTIGATION IN PIEZOMETERS AND IN THE MINES

Parallel with a hydrochemical investigation on the surface, chemical analyses of groundwater samples — taken in piezometers — were carried out in the Jala River valley as well as in the mine springs. Groundwater in the mines, belonging to one and the same water-bearing horizon, are of similar chemical composition irrespective of the individual mine boundaries. Accordingly, it was determined hydrochemically, not only tectonically, that every water-bearing horizon represents an isolated hydrogeological unit.

The discovery of chloride in the mine of Moluhe led to the revival of the hypothesis of faults existing between the coal-bearing layers and the salt deposit.

As can be seen, the largest amounts of chloride are found in the sands situated in the immediate vicinity of the fluvial drift, by the proportion of



the average chloride amounts in the Jala River above Moluhe Mine (8 mg eq/1), in the piezometers of the fluvial drift (172 mg eq/1), in the piezometers in the sands of the coal layer below the fluvial drift (233 mg eq/1), and in the spring in the pit of the First coal layer of the Moluhe Mine hanging wall (13 mg eq/1).

In the case of the faults, the largest amounts of chloride were found in the mines and not in the sands under the fluvial drift. Consequently, it is evident that the sands of the coal layers are fed with chlorides by the fluvial drift. The concentration of chloride diminishes in proportion to the vertical and horizontal distances from the Jala River drift.

The lowest levels of the coal layers — on the surface in the river valleys of the north-east and south-west wings of the northern synclinorium — do not show the same values. The north-east wing is higher than the south-east one by 20—50 m. By comparing the average values of the chemical analysis of the groundwater in the mines of Dobrnj: Sjever — Dobrnja Jug and Lipnica — Bukinje, it can be seen that the water in the mines of the south-west wing of the synclinorium is metamorphosed in relation to the water of the north-west wing.

Accordingly, there exists a steady albeit slow flow of the groundwater from the north-east to the south-west of the synclinorium.

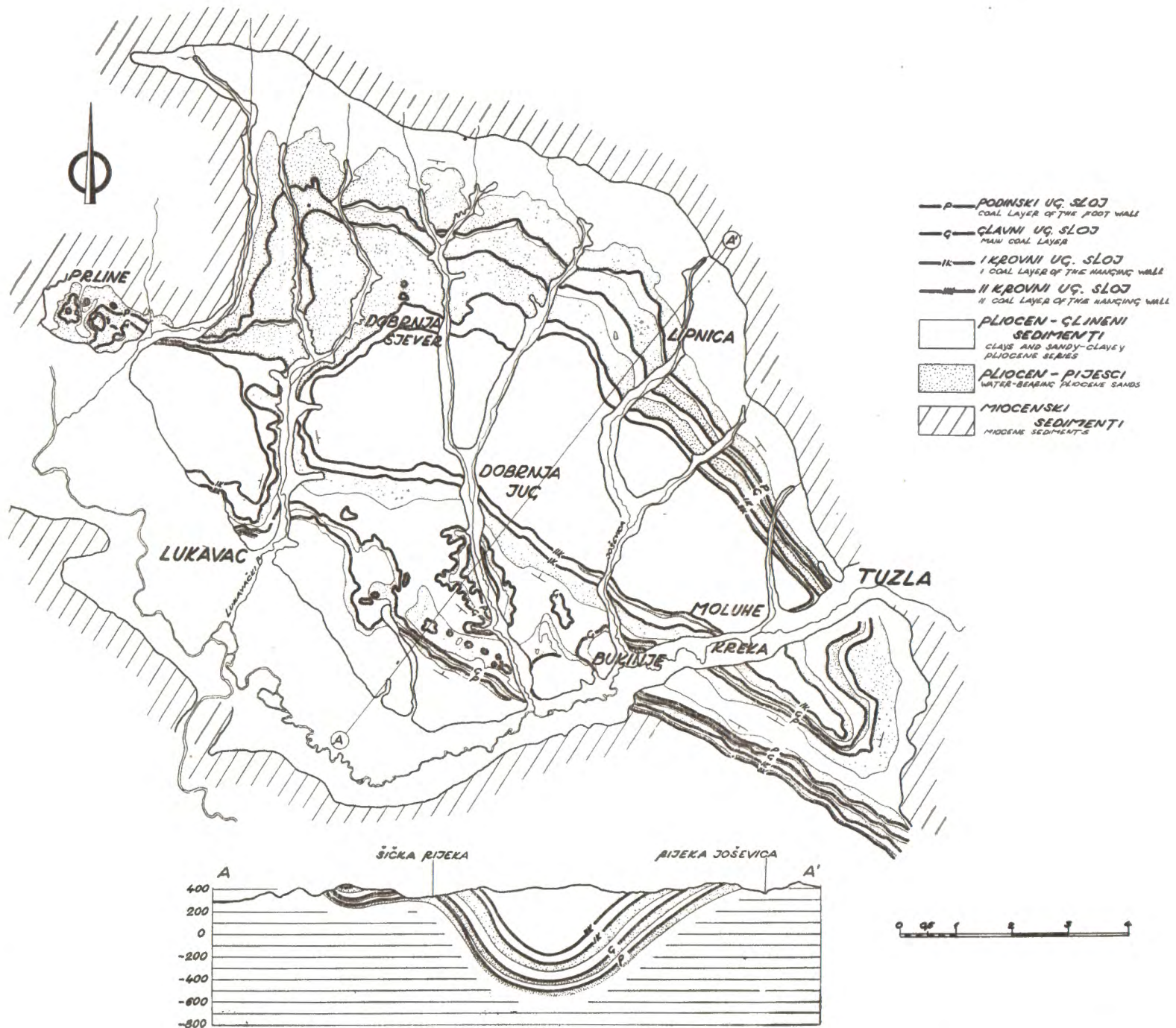
»Geostrazivanja«,  
Zagreb, Kupaska 2

Received July 25th 1961

PREGLEDNA GEOLOŠKA KARTA  
PODRUČJE UGLJENOG BAZENA KREKA

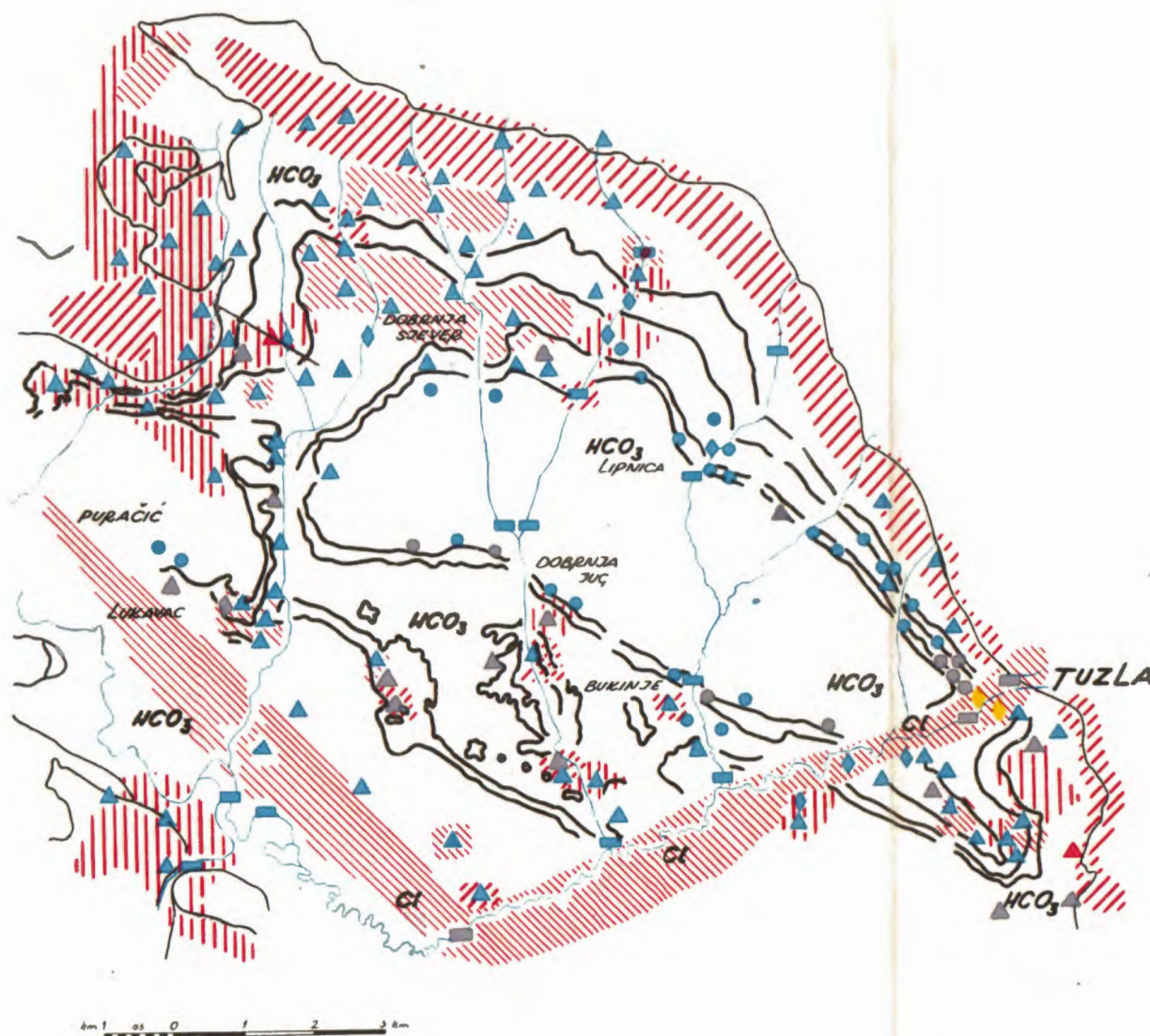
GENERAL GEOLOGICAL MAP  
KREKA COAL BASIN

IZRADILI:  
ŠARIN - POSAVEC - PLAZEK



KARTA KEMIJSKOG SASTAVA PODZEMNIH VODA  
PODRUČJE KREKA - PURAČIĆ

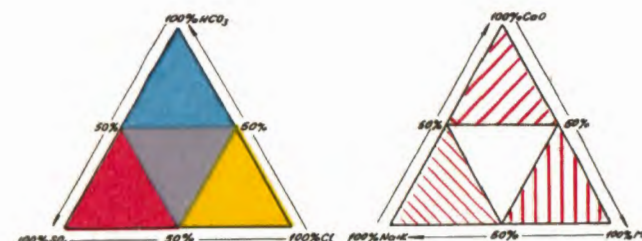
MAP OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF GROUNDWATERS  
DISTRICT KREKA - PURAČIĆ



LEGENDA  
LEGEND

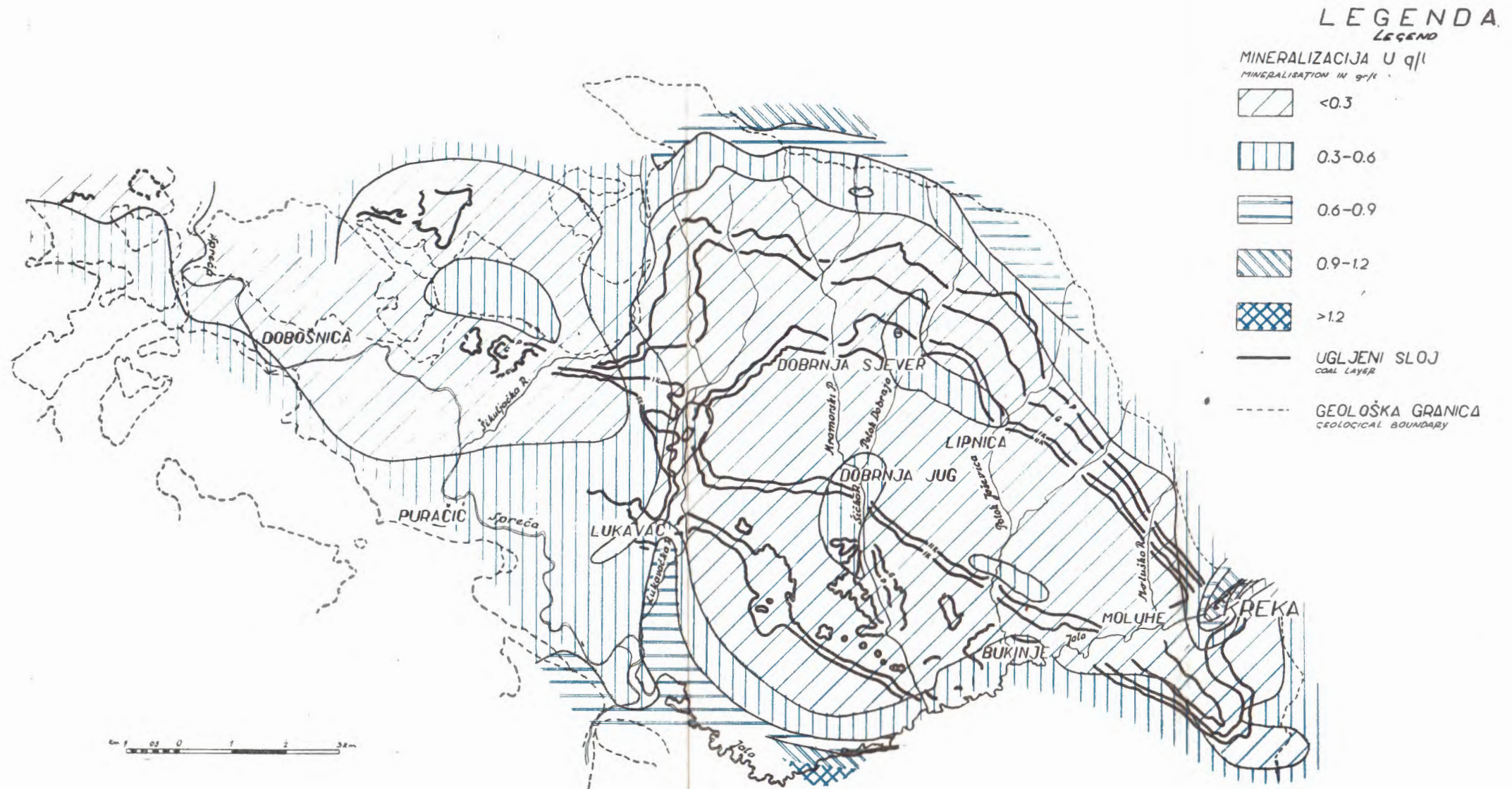
ANIONI

KATIONI

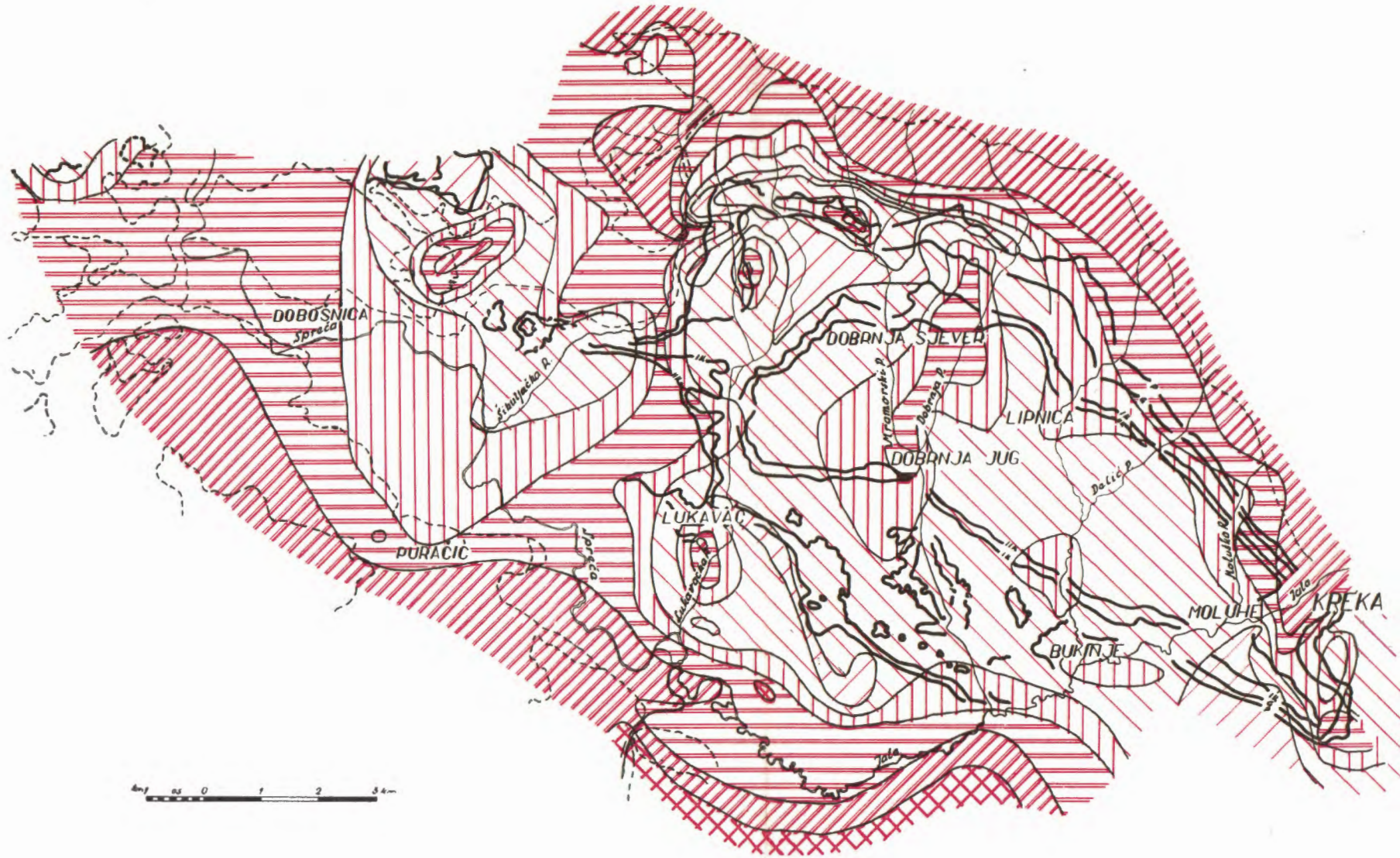


- ANALIZA IZVORA  
ANALYSIS OF SPRING
- ANALIZA VODE POUŠIŠINSKOG TOKA  
ANALYSIS OF SURFICIAL WATERS
- ANALIZA VODE U BUŠOTINI  
ANALYSIS OF WATER IN THE BOREHOLE
- ANALIZA IZ VORA U JAMI  
ANALYSIS OF SPRING IN THE MINE
- $HCO_3$  ZONA HIDROKARBONATNIH VODA  
ZONE OF HYDROCARBONIC WATERS
- $Cl$  ZONA KLORIDNIH VODA  
ZONE OF CHLORIDE WATERS
- UGLJENI SLOJ  
COAL LAYER
- ĆEOLOŠKA GRANICA  
GEOLOGICAL BOUNDARY
- LINIJA HIDROKEMIJSKOG PROFILA  
LINE OF HYDROCHEMICAL CROSS-SECTION

KARTA MINERALIZACIJE PODZEMNIH VODA  
PODRUČJE KREKA - PURAČIĆ  
MAP OF GROUNDWATER MINERALISATION  
DISTRICT KREKA - PURAČIĆ



KARTA TVRDOĆE PODZEMNIH VODA  
 PODRUČJE KREKA - PURAČIĆ  
 MAP OF GROUNDWATER HARDNESS  
 DISTRICT KREKA - PURAČIĆ



LEGENDA  
 LEGEND

UKUPNA TVRDOĆA U D°  
 TOTAL HARDNESS IN D°

0-4

4-8

8-12

12-18

18-30

>30

UGLJENI SLOJ  
 COAL LAYER

GEOLOŠKA GRANICA  
 GEOLOGICAL BOUNDARY

PRIKAZ PROSJEČNOG KEMIJSKOG SASTAVA  
 JAMSKIH VODA RUDNIKA DOBRNJE SJEVER I DOBRNJE  
 JUG - I KROVNI UGLJENI SLOJ

REPORT ON THE AVERAGE CHEMICAL COMPOSITION  
 OF GROUNDWATERS IN THE UNDERGROUND MINING WORKINGS  
 OF DOBRNJE SJEVER AND DOBRNJE JUG MINES  
 I COAL LAYER OF THE HANGING WALL

