

Geol. vjesnik	27	265—271	1 tab.	Zagreb, 1974
---------------	----	---------	--------	--------------

551.49(161.16.46)

LUKA BOJANIĆ i DARKO IVIČIĆ

OPĆE HIDROGEOLOŠKE KARAKTERISTIKE BAZENA CRNE MLAKE

Utvrđen je litološki sastav naslaga koje izgrađuju više dijelove bazena. Registrirani su vodonosni horizonti i lokalno dubine do podzemne vode. Voda se nalazi pod pritiskom kao subarteška, a u centralnom dijelu depresije kao arteška. Izrađenim kemijskim analizama određene su ukupna mineralizacija i ukupna tvrdoća, te klasifikacija podzemne vode.

UVOD

Bazenom Crna Mlaka označen je ravničarski prostor, koji se nalazi između 15°32' i 15°50' istočne geografske dužine po Greenwich-u i 45°30' i 45°42' sjeverne geografske širine. Taj je prostor okružen sa sjevera i zapada žumberačkom Gorom, s juga Banijskim pobrdem i sa istoka Vu-komeričkim Goricama. Uz jugozapadni rub bazena smješten je Karlovac, gdje se nalazi značajno hidrografsko i saobraćajno čvorište. Za osrednji dio ovog prostora u kojem se nalazi skupina manjih jezera upotrebljava se naziv Crna Mlaka. Bazen Crna Mlaka predstavlja u geomorfološkom, hidrografskom i hidrogeološkom smislu jednu cijelinu.

Ovaj rad temelji se na rezultatima regionalnih hidrogeoloških istraživanja koja su izvođena od 1969—1973. g. u organizaciji Instituta za geološka istraživanja u Zagrebu. To su: geoelektrična ispitivanja, duboka strukturno-hidrogeološka bušenja, plitka strukturna bušenja, pijezometarske bušotine, hidrogeološko rekognosciranje i skraćene kemijske analize podzemnih voda. O istraživanom području postoje pretežno općeniti ili fragmentarni podaci vezani za istraživanje mineralne vode kod Jamnice i riješavanje problema vodoopskrbe Karlovca. U novije vrijeme bazen je privukao pažnju istraživača kao vrlo složena i zanimljiva hidromorfološka pojava (Roglić 1963 i Riđanović, 1968) dok su opće mišljenje o hidrogeološkoj građi zabilježili Herak & Bahun (1968) u hidrogeološkoj studiji sliva Kupe.

OPCE ZNAČAJKE BAZENA

Površina bazena je više-manje ravna, s vrlo blagim nagibom prema središnjem dijelu. U tom dijelu su koncertirani vodotoci koji teku iz zaleđa i periferije bazena prema Kupi. Ovdje dolazi do čestog i dugotrajnog razlijevanja vodotoka, pa se tako stvara prilično velik barski prostor. Ovo je područje teško pristupačno, uglavnom pošumljeno i nenastanjeno. Središnji dio bazena nalazi se na koti oko 107 m, dok se južni dio, pojas uz Kupu, nalazi na koti od 108—118. m. Ove visinske razlike nisu postojale u vrijeme kad je Kupa utjecala u svoje korito. Riđanović (1969) navodi mišljenje Roglića da je do ovih visinskih razlika djelomično došlo zbog jačeg naplavlivanja i izdizanja korita Kupe, te zbog mladih tektonskih gibanja u širem području bazena. Naime, u središnjem dijelu došlo je do spuštanja, a na perifernim dijelovima do izdizanja. Ovi pokreti su dakle doveli do skretanja i koncentričnog pritjecanja vodotoka prema središnjem dijelu. Bazen se po rubu nastavlja u uske i plitke doline kroz koje protječu vodotoci. Između ovih dolina nalaze se niska pobrđa, koja čine sastavni dio morfološkog okvira bazena. Prema Plješivičkom prigorju bazen se raščlanjuje u niz uskih i dugačkih dolina između kojih se nalaze izdužene rebraste »povije«. Sjeveroistočni rub bazena omeđen je Vukomeričkim Goricama, koje su asimetrične građe (jugozapadna strana je blago nagnuta, sitne reljefne raščlanjenosti i s bogato razvijenom hidrografskom mrežom). Današnji položaj Hrvatskog praga, koji spaja Vukomeričke Gorice sa Plješivičkim gorjem, nastao je kao rezultat mladih vertikalnih tektonskih gibanja. Južni rub bazena je morfološki nešto oštrije odjeljen od Banijskog pobrđa, a isto tako i zapadni rub na potezu od Karlovca do Ozlja.

Pod utjecajem mladih vertikalnih tektonskih gibanja, došlo je do formiranja hidrografske mreže, čiji pritoci koncentrično dotiču prema središnjem dijelu bazena. Kupčina je glavni otplavni recipijent za gotovo sve vode iz područja Žumberka. S obzirom na hipsometrijski položaj, hidrološke osobine i hidrogeološka svojstva naslaga, Kupčina i njeni pritoci su u gornjem toku tipične bujice. Budući da znatnim dijelom svoga toka protječu kroz relativno »mekane« tercijarne sedimente, nose sa sobom znatne količine bujičinog narnosa u bazen Crne Mlake i dolinu Kupe. Slične pojave imamo i kod nekih desnih pritoka Kupe uzduž južnog ruba bazena.

Hidrološki režim vodotoka u hidrografskom čvoru kod Karlovca ima svog odraza i na hidrološki režim dijela bazena. Osim srednjaka, zračajna veličina su ekstremi, kod kojih u sadašnjem stanju dolazi do poplavlivanja znatnih površina bazena. Time je retardirajući efekt naročito izražen, što dovodi do znatnog sploštenja velikog vodnog vala, odnosno do smanjenja maksimalne zapažene protoke na nizvodnom dijelu toka. Ovaj retardirajući efekt Kupe treba se nadomjestiti akumulacionim prostorom. Takav prostor moguće je ostvariti u donjem toku Kup

čine, bez značajnije štete za šumsko gospodarstvo, a današnji vodni režim tog područja čak bi se poboljšao. Naime, danas je to područje poplavljeno pri svakoj većoj vodi, dok se predviđa da ga u buduće poplavljaju vodle veće od 20-godišnjeg povratnog perioda. Djelomično rješenje ovog problema postići će se kanalom Kupa-Kupa sa zahvatom voda kod Mahičnog i utokom u Kupu kod sela D. Kupčina.

U površinskom dijelu, veći dio bazena izgrađuju naslage holocena, a periferni dio, naslage pleistocena i mlađeg neogena. Uz rub zapadnog dijela bazena nalaze se pojave mlađeg paleozoika i gornjeg trijasa. Paleozoiku pripadaju sitnozrni pješčenjaci, glineni škriljavci, kvarcni konglomerati i ulošci vapnenaca, a trijasu dolomiti i vapneni dolomiti uz moguće manje pojave vapnenaca. Pliocen je zastupan raznobojnim pijescima, te šljuncima, laporima i pješčenjacima. Pleistocen je razvijen u vidu glinovitih šljunaka, glinovitih pijesaka, pijesaka i glina. Naslage holocena izgrađuju najveći dio bazena, a sastoje se od gline, pjeskovite gline, pijeska, glinovitog pijeska i šljunka.

Postanak bazena je predisponiran tektonskim gibanjima i rasjedima koji zamaskirani postoje uz rub bazena, od kojih su neki utvrđeni geofizičkim putem. Uz južni i zapadni rub rasjedi su izrazitiji s većim skokom, dok su uz sjeverni i istočni rub rasjedi slabijeg intenziteta. Postanak bazena vezan je za period pliocen-pleistocen (Roglić, 1963). Starije naslage u podlozi su desecirane i kasnije prekrivene mlađim talozinama uključivši i kvartar.

Na osnovi geoloških podataka na površini bazena i izvan njega, možemo pretpostaviti geološku građu dubljih dijelova bazena. Vjerojatno je, da najdublju osnovu izgrađuju djelomično paleozojski klastiti, trijaski dolomiti i klastiti, jurski dolomiti i kredni vapnenci i klastiti. Na toj osnovi leži transgresivno neogen u čijem sastavu, pored klastičnih, ima i karbonatnih elemenata. Iznad ovih sedimenata leži kompleks kvartarnih naslaga.

HIDROGEOLOŠKI PRIKAZ

Hidrogeološke pojave i rezultati istražnih radova odražavaju vrlo složene hidrogeološke odnose. Njihovo poznavanje temelji se prvenstveno na rezultatima dubinskih geoelektričnih profila, te plitkog i dubokog strukturno-hidrogeološkog bušenja (Bojanić i dr., 1973). Površinski dio naslaga središnjeg dijela bazena do dubine cca 10 m glinovitog je sastava sa većim ili manjim lećama pijeska i šljunka, više ili manje zaglinjenim. U predjelu od Mahičnog do Karlovca i Kamenskog nalazi se kontinuirani sloj pijeska s nešto šljunka i gline, debljine do 20 m. Dublji dijelovi ispitivanih naslaga bazena izgrađeni su od gline, pjeskovite i prašinate gline, te zaglinjenog pijeska s ulošcima i lećama čistoga i zaglinjenog pijeska.

U dubljem dijelu južnog dijela bazena dolaze pretežno gline s mogućim rijetkim ulošcima pijeska i zaglinjenog pijeska. U području Karlovca bušotina KS-2 (102 m) probušila je najprije 4,00 m prašine gline, a zatim do 81,30 m pijeske pliocena — s dva uloška pijeska s nešto šljunka i to od 4,00—13,00 m i od 31,00—33,60 m, a zatim do 102,00 m dubine laprovite gline. Koeficijenti filtracije u pijescima se kreću $K_f=2,6 \cdot 10^{-3}$ — $1,7 \cdot 10^{-4}$ cm/sek. Najpovoljniji vodonosni horizont, nabušen na dubini od 4,00 do 13,00 m sastavljen je od pijeska, te šljunka i pijeska sa $K_f=2,6 \cdot 10^{-3}$ cm/sek.

U predjelu Mahično utvrđene su naslage paleozoika, koje su na površini pretežno pokrivene pliocenskim i kvartarnim naslagama. Periferni dio bazena između Mahičnog i Ozlja je nešto jednostavnije građe. Površinski dio naslaga od 5—10 m izgrađen je od pijeska i pijeska sa šljunkom s dosta gline. Na temelju geofizičkih podataka, dublji dijelovi — do 7 m — izgrađeni su od raznih glina s mogućim ulošcima zaglinjenog pijeska i pijeska, a zatim dublje dolaze lapori.

Bušotina KS-1 (130 m) registrirala je dva vodonosna horizonta. Prvi se nalazi na dubini od 6,50—9,50 m, a sastoji se od sitnozrnih šljunaka sa $K_f=4,6 \cdot 10^{-1}$ cm/sek a drugi na dubini od 66,30—74,00 m od krupnozrnih zaglinjenih pijesaka sa $K_f=2,2 \cdot 10^{-4}$ cm/sek. U oba vodonosna horizonta nalazi se voda pod pritiskom i to u prvom — subarteška, a u drugom — arteška (0,29 atm). Ako pretpostavimo da je spomenuti pješčani horizont kontinuirano razvijen u horizontalnom smislu, onda možemo očekivati artešku vodu na većem području terena, osobito prema sjeveru. Vrlo je vjerojatno da se arteška voda nalazi (pliće ili dublje) u pjeskovito-šljunkovitom sloju ili leći, na bilo kojem dijelu bazena, ali prvenstveno u njenom središnjem dijelu.

Iako ne raspolažemo s dovoljno podataka o geološkoj građi dubljih dijelova bazena, propusni litološki elementi, tektonska razlomljenost i stanovito koritasto spuštanje naslaga, pružaju mogućnost sakupljanja i koncentriranja dubokih arteških voda, barem u nekim zonama i možda u više horizonata.

Plitke strukturne bušotine bušene su do dubine 3—14 m u kvartarnim naslagama. Probušeni materijal sastoji se od glina, prašinih glina i zaglinjenih pijesaka s mjestimičnim ulošcima zaglinjenih pijesaka i šljunaka. Registrirane dubine do ovih uložaka se kreću od 0,50—5,70 m. Neke od bušotina probušile su isključivo glinoviti materijal — praktično vodonepropustan — bez podzemne vode, dok se u drugim bušotinama prigodom bušenja voda izdigla u bušotini kao rezultat stanja pod pritiskom. Koeficijenti filtracije dobiveni iz granulometrijskih analiza kreću se od $K_f=5,0 \cdot 10^{-3}$ — $1,2 \cdot 10^{-8}$ cm/sek.

Pijezometarske bušotine opažane su u vremenu od listopada 1969. do listopada 1971. god. Kroz taj vremenski period pijezometri u području Mahično-Ozalj imali su minimalni vodostaj u drugoj polovini rujna 1971.,

a maksimalni u drugoj polovini ožujka i prvoj polovini travnja 1970. god. Pijezometri na profilu Kupe, istočno od Karlovca imali su minimalni vodostaj u drugoj polovici listopada 1971, a maksimalni u travnju 1970. i 1971. uz stanovita manja odstupanja. Pijezometri bliže Kupi, redovito su skladno reagirali na promjene nivoa vode u Kupi, što znači da promjena nivoa podzemne vode ovisi o režimu vode u koritu Kupe.

Fluktuacija nivoa plitke podzemne vode u aluvionu bazena ovisi o rasporedu i intenzitetu oborinskih ciklusa, i o promjenama u hidrološkom režimu rijeke Kupe.

U istočnom dijelu bazena, uz Kupu, postoji pojava mineralne vode pod nazivom »Jamnička kiselica«. Voda se eksploatira bušotinama kroz kvartarne naslage, a mineralizacija vode dovodi se u vezu s paleozojskim naslagama, koje se u neposrednoj blizini nalaze na površini.

Za istraživano područje izrađene su skraćene kemijske analize voda (49 uzoraka), koje su odredile ukupnu mineralizaciju i ukupnu tvrdoću, a prema sadržaju kationa i aniona i klastifikaciju podzemnih voda. Mineralizacija se kreće u vrijednostima od 228—6884 mg/l. Izražena u postocima, od ukupnog broja analiziranih uzoraka, mineralizaciju do 300 mg/l ima 8%, od 400—700 mg/l 63%, od 800—1000 mg/l 16%, od 1000 mg/l 8% i preko 1000 mg/l— 5% analiza vode. Iz ovog je vidljivo da prevladavaju uzorci vode čija se mineralizacija kreće od 400—700 mg/l. Ukupna tvrdoća analiziranih uzoraka vode izražena je u mg/kv po O. A. Alekinu. Iz prikaza u postocima proizlazi da su zastupane meke vode sa 12%, tvrde sa 78% i vrlo tvrde sa 10%. Prema tome, pretežni dio analiza podzemnih voda pripada tvrdj vodi. Prema sadržaju određivanih kationa (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) i aniona (HCO_3^- , SO_4^{--} , Cl^-) izvršena je hidrokemijska klasifikacija vode. Prevladavaju magnezij-kalcijsko-sulfatno-hidrokarbonatni i magnezij-kalcijsko-kloridnohidrokarbonatni tipovi voda, dok se pH kreće od 6—7.

PREGLED REZULTATA

Područje bazena Crne Mlake čini cjelinu u hidrografskom, geomorfološkom i hidrogeološkom pogledu. Istraživani dio bazena izgrađen je pretežno od glinovitih naslaga kvartara u kojima su uloženi proslojci i leće pijeska i sitnozrnih konglomerata, te od pijesaka mlađeg neogena. Dublji dijelovi izgrađeni su od sedimentata tercijara i mezozoika. Rubni dio izgrađuju naslage starijeg kvartara i neogena. Postanak bazena veže se za period pliocen-pleistocen. Starije naslage u podlozi su disecirane i kasnije prekrivene mlađim naslagama.

Bazen je blago nagnut prema središnjem dijelu, dok su rubovi izdignuti, pod utjecajem mladih tektonskih pokreta. Zavisno od toga formirala se hidrografska mreža čiji vodotoci koncentrično dotječu prema centralnom dijelu bazena, a zatim preko Kupčine u Kupu.

Zbog pretežno glinovitog sastava površinskog dijela naslaga, pojedini dijelovi bazena su stalno ili povremeno poplavljeni. Pojava stanovitog broja stalnih jezera (ribnjaci) može biti lokalno uvjetovana i plitkim nivoom vode temeljnice.

Dubokim bušotinama registrirana su dva vodonosna horizonta: prvi na dubini od 8,40—13,00 (KS-2) i od 6,50—9,50 m (KS-1) sastava od sitnozrnog šljunka i pijeska sa šljunkom, a drugi, uglavnom od pijeska, na dubini od 31,60 do 33,60 m (KS-2) i od 66,30—74,00 m (KS-1). U obje bušotine nalazi se podzemna voda pod pritiskom, a iz dubljeg vodonosnog horizonta bušotine KS-1 dobijena je arteška voda. Za praktične potrebe vodoopskrbe interesantna su oba vodonosna horizonta utvrđena bušotinom KS-1. Vodonosni horizonti utvrđeni bušotinom KS-2 zbog male izdašnosti i prilično visoke vrijednosti prisutnog željeza u vodi nisu osobito zanimljivi. Prostiranje ovih vodonosnih horizonata istražnim radovima nije utvrđeno, pa je nepoznat njihov stvarni hidrogeološki značaj.

Dublji dijelovi bazena, prvenstveno u užem dijelu, mogu sadržavati u nekim zonama i možda u više horizonata koncentraciju znatnih količina vode pod pritiskom. Na to upućuje postojanje propusnih unutar nepropusnih litoloških elemenata, zatim tektonska razlomljenost i koritasto spuštanje naslaga prema sredini bazena.

Za praktične potrebe vodoopskrbe — uz današnje ekonomsko-tehničke mogućnosti — ne postoje povoljni prirodni uvjeti za zahvatanje i iskorištavanje podzemnih voda u regionalne svrhe. Njihovo značenje je prvenstveno u okviru rješavanja problema lokalne vodoopskrbe.

Rubni dijelovi bazena, izgrađeni od naslaga predkvartarne starosti, kao i starije naslage koje izgrađuju okvir bazena, imaju drugačije hidrogeološke karakteristike i nisu razmatrane u ovom radu.

Primljeno 15. 03. 1974.

Institut za geološka istraživanja,
41000 Zagreb, Sachsova 2

LITERATURA

- Bojanić, L., (1973): Regionalna hidrogeološka istraživanja područja sliva Kupe. Struč. fond Inst. geol. istraž. br. 322, Zagreb.
- Bojanić, L. & Ivičić, D., (1973): Hydrogeologic characteristics of the Karlovac Depression. Bull. Scient. Cons. Acad. Yougosl., (A), 18/4—6, Zagreb.
- Herak, M. & Bahun, S., (1968): Hidrogeološka studija sliva rijeke Kupe. Stručni fond Inst. geol. istraž. br. 4576, Zagreb.
- Ričanović, J. (1969): Hidromorfološke značajke zagrebačke okolice. Radovi Geogr. inst. 7, 39—50, Zagreb.
- Roglić, J. (1963): Elementi i dinamika reljefa zagrebačke regije. Fond stručne dokumentacije Inst. za geogr. br. 3, Zagreb.

L. BOJANIĆ and D. IVIČIĆ

GENERAL HYDROGEOLOGIC CHARACTERISTICS OF THE CRNA MLAKA
BASIN (NORTHWESTERN CROATIA)

The Crna Mlake basin is a plain area northeast of Karlovac, with the Žumberak highlands making its northern and western border, the Banija hills extending along its south, and Vukomeričke Gorice on its eastern side.

The part of the basin which formed the subject of the present investigation is built up predominantly of Quaternary argillaceous beds, with sand and fine-grained conglomerate intercalations and lenses, as well as with sands belonging to the younger Neogene. Deeper down, they are built up of Tertiary and Mesozoic sediments. It is believed that the basin had developed during the Pliocene-Pleistocene period.

The action of recent tectonic movements has resulted in a slight tilting of beds towards the central parts of the depression and in its slightly uplifted rims.

The near-surface parts of the beds are mostly argillaceous, and therefore some parts of the depression are from time to time or permanently flooded. There are lakes whose origin and existence may be attributed to the near-surface levels of groundwater.

The depth down to the first water-bearing stratum and its thickness have been determined by drilling deep boreholes (KS — 1 from 6.50 to 9.50m, KS — 2 from 8.40 to 13.00m). Deeper aquifers are at different depths, and are of poorer properties from the hydrogeological standpoint. What is common to all of them is that the water contained in water-bearing beds is under a given head. In the borehole KS — 1, at the depth of 66.30—74.00 m, the aquifer yielded artesian water. Since no exact data are available about the stretching of aquifers, their significance in the hydrogeological sense is unknown.

As the action of tectonics is evident, as we know what the beds are built of, and as we are aware of their tilting towards the central part of the depression, we conclude that large amounts of groundwater under head may be expected in the deeper regions.

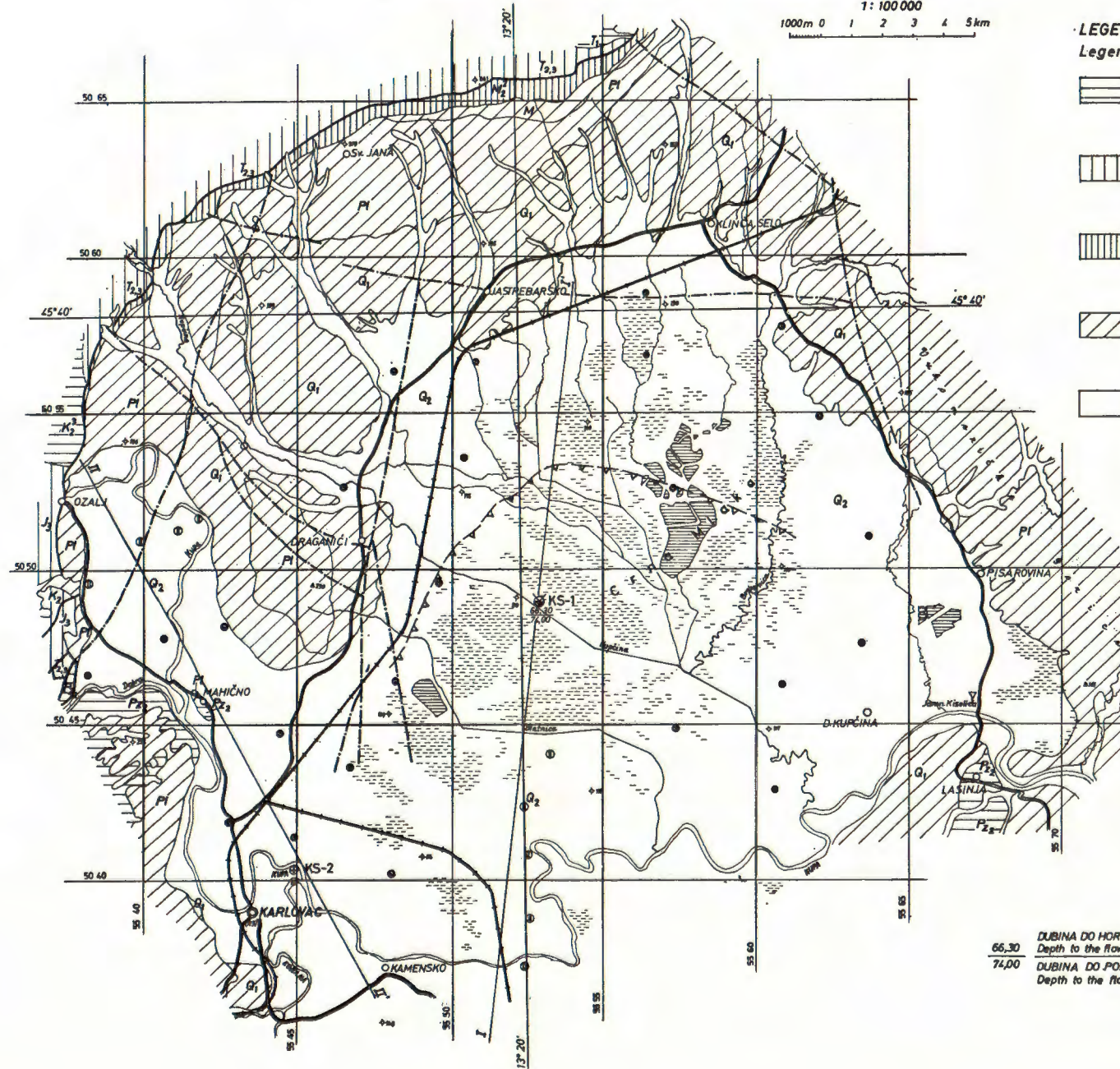
The results of chemical analyses show total desolvent solids and total hardness of groundwater. The classification of groundwater has also been made according to the said results. In the eastern part of the depression, close to the Kupa River, sources of mineral water, known as »Jamnička Kiselica«, are commercially exploited. The water mineralization is attributed to the Palaeozoic beds.

Received 15 March 1974

*Institute of Geology
41000 Zagreb, Sachsova 2*

REGIONALNA HIDROGEOLOŠKA KARTA BAZENA CRNA MLAKA
Generalized hydrogeological map of the Crna Mlaka basin

1: 100 000
1000m 0 1 2 3 4 5km



LEGENDA
Legend

- KLASTIČNE STIJENE STARIJE OD TERCIJARA
— NEPROPUSNO I SLABO PROPUSNO
Pre-Tertiary clastic rocks, impermeable and poorly permeable
- KARBONATNE STIJENE STARIJE OD TERCIJARA
— DOBRO I SLABJE PROPUSNO
Pre-Tertiary carbonate rocks, highly and poorly permeable
- NASLAGE TORTONA DOBRO PROPUSNO
Tortonian rocks, highly permeable
- NASLAGE NEOGENA I STARIJEG KVARTARA
— NEPROPUSNO DO DOBRO PROPUSNO
Neogene and early Quaternary deposits, impermeable to highly permeable
- NASLAGE MLADEG KVARTARA — KOMPLEKS
NEPROPUSNIH I PROPUSNIH STIJENA U IZMJ.
Late Quaternary deposits, impermeable and permeable beds in alternation
- DUBOKA STRUKTURNO —
HIDROGEOLOŠKA BUŠOTINA
Deep exploratory borehole
- DUBOKA BUŠOTINA S
ARTEŠKOM VODOM
Deep flowing artesian well
- PLITKA STRUKTURNA BUŠOTINA
Shallow exploratory borehole
- PIEZOMETARSKA BUŠOTINA
Observation well
- MINERALNI IZVOR
Mineral spring
- PRETPOSTAVLJENA GRANICA
RASPROSTRANJENJA HORIZONTA
S ARTEŠKOM VODOM
Uncertain boundary of
flowing artesian aquifer
- POVRŠINSKI TOK
Stream
- JEZERO (RIBNJAK)
Lake or pond
- VODOPLAVNI TEREN
Flood-stage area
- GEOTELEKTRIČNI PROFIL
Resistivity survey profile
- RASJED GEOFIZIČKI UTVRĐEN
Fault, determined by resistivity
survey

66,30 DUBINA DO HORIZONTA S ARTEŠKOM VODOM
Depth to the flowing artesian aquifer, in meters
74,00 DUBINA DO PODINE HORIZONTA S ARTEŠKOM VODOM
Depth to the flowing artesian aquifer — underlying rocks interface,
in meters