

HIDROGEOLOŠKA PROBLEMATIKA UGLJENOKOPA  
RASPOTOČJE  
(RUDNICI MRKOG UGLJENA ZENICA)

*S 1 sl. u tekstu i 6 priloga (1 karta, 2 profila i 3 dijagrama)*

Razjašnjenjem detaljnih geoloških i hidrogeoloških prilika na površini i u podzemlju užeg dijela područja Raspotočje, dobiveni su prvi puta podaci o porijeklu i režimu podzemnih voda, te količinama pritoka vode u samoj jami Raspotočje. Dokazan je dominantan utjecaj površinskih voda (uglavnom rijeke Bosne) na režim voda u podzemlju, kao i na pritoke vode u jami. Utvrđena je uža zona infiltracije vode u koritu rijeke Bosne kroz koju voda ulazi u podzemlje.

UVOD

Jedna od najperspektivnijih jama u eksploatacionom području Rudnika mrkog ugljena Zenica je jama Raspotočje, koja je sada u fazi šire pripreme. Nalazi se pred ozbiljnim problemima, o čijim rješenjima zavisi njen budući razvoj. Otplinjavanje i odvodnjavanje jame su najvažniji od tih problema. Koncentracija metana u jami je blizu maksimuma dozvoljenog za rad, a količine vode koje kroz krovinu pritiču u jamu nisu bile poznate, niti se znalo za njihovo porijeklo. Voda, kemijski vrlo aktivna, javljala se na čelima radilišta u znatnim količinama iz »krovne ploče« u obliku kiše, ili slabijih i jačih mlazeva, koji su jako otežavali normalan rad. Na rješavanju hidrogeoloških i geoloških odnosa u eksploatacionom polju rudnika, a naročito na užem području jame Raspotočje, radili su autori u toku 1960–1965. godine. Uz autore povremeno je učestvovalo više geologa iz poduzeća »Geoistraživanja« (sada »Geotehnika«): Č. Plazek, Đ. Božić, R. Korolija, Ž. Vulić, D. Milovanović, kemičarka J. Švel, tehničari V. Medved, R. Martinec i drugi. Autori izražavaju zahvalnost svim suradnicima na sudjelovanju kod izrade izvještaja, koji su poslužili kao osnova ovoga rada, a naročito Č. Plazeku za neke podatke.

## LITOLOŠKI I TEKTONSKI OPIS

F. Katzer (1903, 1919–1921) utvrdio je, da su ugljenonosne naslage Zeničkog basena oligocenske i miocenske starosti, no budući da ih nije bilo moguće razdijeliti, označene su kao oligomiocenske. I. Soklić (1951) ih je podijelio na: 1. podinsku stepenicu, 2. glavnu ugljenonosnu stepenicu, 3. stepenicu krovinskih tvrdih lapora, 4. stepenicu krovinskih konglomerata. Sedimenti užeg područja jame Raspočlje pripadaju dijelom najmlađim horizontima glavne ugljenonosne stepenice i najstarijim horizontima stepenice tvrdih krovinskih lapora. Glavni ugljeni sloj, u kome je otvorena jama Raspočlje, leži na granici između njih. Eksploataciono polje RMU Zenica nalazi se u tzv. zeničkoj uvali Zeničko-sarajevskog ugljenonosnog basena.

U podini glavnog ugljenog sloja leže laporovite gline sivozelene boje s ulošcima pješčenjaka. Prosječna debljina iznosi im 30 metara. Ugljeni sloj tvori kvalitetni smeđi ugljen s lomnom površinom smolaste sjajnosti i smeđim ogrebom. Bližu krovinu izgrađuju laporoviti vapnenci žutosmede boje s ulošcima vapnenog lapora smeđesive boje. Prosječna debljina ovog horizonta iznosi 65 m, a naslage su mu stanko uslojene i raspadaju se pločasto. Mjestimično su pune prosljoka sjajno ugljena. Na 8–10 m ispod prelaza bliže krovine u višu, nalazi se tanki krovinski ugljeni sloj. Višu krovinu tvore pjeskoviti sivi lapori debljine oko 350 metara. Na erodiranoj površini krovinskih sedimenta leže fluvio-glacijalni nanosi pleistocenskih terasa. Terasa leže između 320 i 500 m n. m. Debljina pojedinih terasa iznosi maksimalno 25 metara. Svaka terasa sastoji se obično od dva različita horizonta: a) donjeg, debljeg, što je sastavljen većinom od šljunaka, dijelom vezanih sedrom i koji je djelimično uslojen, a kut nagiba je do 8° prema rijeci Bosni; b) gornjeg, mnogo tanjeg, što je sastavljen od nečistih pjeskovitih gline, a kojega na nekim terasama uopće nema. Najmlađi su holocenski nanosi – šljunci i pijesci s ulošnim lećama nečistih, pjeskovitih gline. Holocenski nanosi izgrađuju dvije terase: a) mlađu, nižu terasu iznad rijeke Bosne, b) stariju, višu terasu (za 5–8 m iznad mlađe). Debljina nanosa iznosi 0–5 metara. Zajedno s pleistocenskim terasnim sedimentima holocenski nanosi leže na preko 3/5 istraživanog područja, pokrivajući i veći dio starijih naslaga. Radi prekrivenosti starijih naslaga mlađima iskapano je mnogo sondažnih jama, izbušeno nekoliko bušotina, a vršena su i istraživanja geofizičkom metodom specifičnog otpora, da bi se dobili svi elementi potrebni za rješavanje strukturnih odnosa među naslagama.

Za uže područje jame Raspočlje od najveće je važnosti tektonika osnovnog gorja ležišta ugljena, zbog većeg broja uzdužnih i dijagonalnih rasjeda, koji su doveli do odvajanja pojedinih blokova i stvaranja parketaste strukture. Postanak rasjeda uvjetovali su pored tektonike također i diferencijalni dijagenetski procesi.

U području Raspočlja postoje dva tipa rasjeda:

- a) stariji – uzdužni rasjedi, skoro paralelni s pružanjem slojeva i pružanjem nekadašnje obale basena, koji su uzrokovali stepeničasto spuštanje blokova prema sjever-sjeveroistoku.
- b) Mlađi – dijagonalni i poprečni rasjedi, što sijeku blokove i starije rasjede, dovodeći do stvaranja parketaste strukture.

To su normalni rasjedi, često škarastog tipa sa smanjivanjem, ili nekada i povećavanjem skoka. Bušenjem i rudarskim radovima ustanovljeno je 8 tektonskih blokova, što se stepeničasto spuštaju prema sjeveroistoku s različitim skokovima između svakoga od njih (15–80 m). Uzdužni rasjedi povijaju u smjeru prema istok–jugoistoku i ne prolaze ispod rijeke Bosne, kako se to ranije mislilo, već ulaze u dublje horizonte naslaga.

## POROZNOST I VODOPROPUSNOST SEDIMENATA

Sedimenti, što su ranije spomenuti, imaju najvećim dijelom sekundarnu pukotinsku poroznost (kavernozna je poroznost veoma rijetka), a manjim dijelom primarnu, intergranularnu poroznost. Primarna poroznost je praktički bez utjecaja na vodopropusnost oligomiocenskih sedimenata, dok je sekundarna, pukotinska poroznost od velike važnosti. Ona je uvjetovana tektonskim i diferencijalnim dijagenetskim procesima, a ima najveći utjecaj na hidrogeološke odnose ugljenog ležišta. Primarna poroznost uslovljuje dobru vodopropusnost samo kod kvartarnih terasnih i riječnih nanosa. Krovinski laporoviti vapnenci, odlikuju se prostornom nejednolikošću raspodjele pukotina. Tako su opažene zone jače raspucanosti, pa su čak i manje kaverne u njima. Nasuprot tome postoje pojedini blokovi vrlo malo ispucani i gotovo vodonepropusni. Lokalno slabo vodopropusni su i lapori više krovine, kada su jače tektonski izlomljeni ili kada su u zoni urušavanja nad jamom. Oni, naime, ne bujaju i radi toga ne ispunjavaju pukotine.

Za vrijeme bušenja pijezometarskih bušotina vršena su mjerenja vodopropusnosti, na osnovu kojih je – kao i na osnovu terenskih opažanja količina vode – izvršena hidrogeološka klasifikacija sedimenata. To su:

1. dobro vodopropusni sedimenti – primarno vodopropusni – terasni i riječni nanosi s koeficijentima filtracije:  $K = 1 \times 10^{-1}$  do  $6 \times 10^{-3}$  cm/sek (prema Dipuit-u).

2. Slabo vodopropusni sedimenti – sekundarno vodopropusni, koje tvore laporoviti vapnenci bliže krovine glavnog ugljenog sloja. Koeficijenti filtracije iznose:  $K = 1,2 \times 10^{-3}$  do  $2,8 \times 10^{-4}$  cm/sek, pa se time nešto približavaju dobro vodopropusnim sedimentima.

3. Relativno vodonepropusni sedimenti – lapori više krovine, ugljeni sloj i podinske gline. Koeficijenti filtracije iznose:  $K = 2,2 \times 10^{-4}$  do  $4,8 \times 10^{-6}$  cm/sek.

## VODONOSNI HORIZONTI

Na osnovu detaljnog poznavanja litološkog sastava naslaga, mjerenja vodopropusnosti stijena, kao i terenskih opažanja izlučeni su slijedeći vodonosni horizonti:

- a) I vodonosni horizont u riječnim terasama
- b) II vodonosni horizont u pleistocenskim terasama
- c) III vodonosni horizont u krovinskim laporovitim vapnencima.

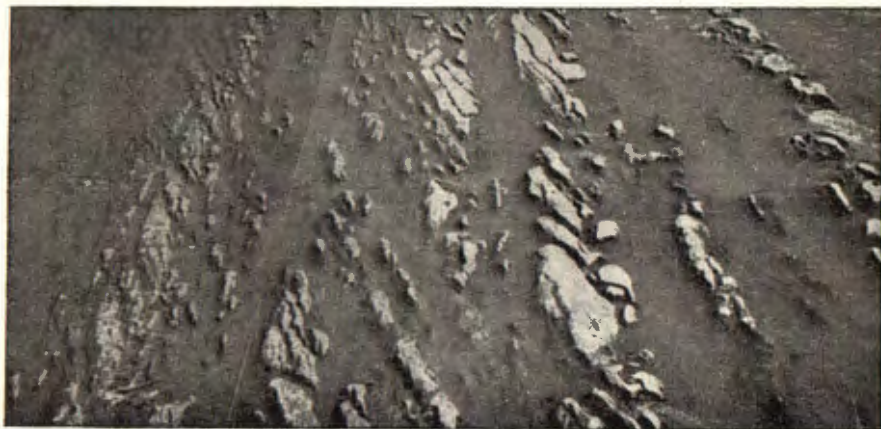
I vodonosni horizont nalazi se u nanosima rijeke Bosne, te potoka Raspotočje i Gnjuste. Nanosi su debljine do 5 metara. Sastavljeni su

od većih kamenih valutica, šljunaka, pijesaka, onečišćenih glina i ilovača. Gline i ilovače ne umanjuju dobru vodopropusnost nanosa, jer se javljaju samo kao leće unutar šljunaka. Podlogu ovog horizonta čine najvećim dijelom vodonepropusni pjeskoviti lapori više krovine glavnog ugljenog sloja. Gornja površina ovog horizonta prima oborine gotovo u cijelosti, pa su količine vode, kao i oscilacije nivoa podzemne vode u njemu, uvjetovane oborinama. Površinski tokovi i potoci gube mnogo vode tekući preko nanosa, zbog njihove velike vodopropusnosti. Kod niskog vodostaja rijeka Bosna drenira ovaj vodonosni horizont, dok se, kada vodostaj postane viši, vrši opskrbljivanje vodom i tog horizonta iz površinskih tokova. Mnogo veće količine vode tog horizonta pritiču iz pleistocenskih terasa, dok ih najvećim dijelom dobiva od oborina. Kako I vodonosni horizont dijelom pokriva direktno III vodonosni horizont, postoji između njih dobra hidraulička veza.

*II vodonosni horizont* nalazi se u pleistocenskim terasnim sedimentima. Dobra vodopropusnost uvjetovana je njegovim povoljnim sastavom: to su šljunci i veći kameni blokovi, što su dijelom vezani sedrom, pa pijesci i pjeskovite gline. Terasa se sastoji od dvije zone superpozicijski različite: a) donje, mnogo deblje – krupnoklastične i b) gornje, mnogo tanje, pjeskovito-glinovite. U podini terasa nalaze se vodonepropusni sivi lapori više krovine glavnog ugljenog sloja. Relativno veća debljina (5–25) i prostranstvo ovog vodonosnog horizonta omogućuje značajne akumulacije podzemne vode u njemu. Između II, III i IV terase postoji neposredna veza radi toga, što su starije terase djelomično pokrivene mlađima. Opskrba vodom ovog vodonosnog horizonta vrši se samo oborinskom vodom, te oticanjem vode iz starije, više terase u mlađu, nižu terasu. Oscilacije nivoa podzemne vode u neposrednoj su zavisnosti o oborinama. Najviši nivoi registrirani su u II i IV mjesecu, te IX i X, a najniži krajem ljeta. Maksimalne amplitude kolebanja iznose cca 6 metara. Sezonske oscilacije odražavaju se i na kemizmu voda, uvjetujući njegove promjene. Tako u kišnom periodu dolazi do osjetnog povećanja Ca-iona na račun Mg-iona. U sušnom periodu opet dolazi do znatnog povećanja mineralizacije, te smanjivanja sveukupne karbonatne tvrdoće vode u terasi. Dreniranje terasa vrši se samo izvorima i ocjeđivanjem vode na donjim rubovima u smjeru prema rijeci Bosni i prema dolinama većih potoka. Kako su neke terase djelomično međusobno odvojene, one predstavljaju i djelomično samostalne vodonosne slojeve.

*III vodonosni horizont* nalazi se u laporovitim vapnencima bliže krovine glavnog i krovinskog ugljenog sloja. Ograničen je relativno vodonepropusnim sedimentima – ugljenom i glinama u podini, te pjeskovitim laporima u krovini, pa je na taj način napajanje omogućeno samo preko površinskih izdanaka. Debljina mu iznosi prosječno 65 metara. Sekundarna vodopropusnost vapnenaca uvjetovana je nejednolikom raspu-

calošću stijena, gušćim ili rjeđim sistemima pukotina, koje su od vodonepropusne stvorile, u cjelini, slabo vodopropusnu stijenu. Rudarski radovi još su povećali njihovu propusnu moć. Neke pukotine su proširene u manje kaverne. Na taj su način stvoreni uvjeti za veće akumuliranje i brže proticanje podzemne vode u njima. Oni su i glavni dovodni kanali vode u jami. (Slika 1) Mjerenja vodopropusnosti utiskivanjem



Sl. 1. Ispucani laporoviti vapnenci bliže krovine glavnog ugljenog sloja u koritu rijeke Bosne. (Broken marly limestones from the nearer roof of the main coal seam in the course of the Bosna River)

vode pod pritiskom unutar krovinskih laporovitih vapnenaca pokazala su znatna variranja vrijednosti koeficijenta filtracije, kako u vertikalnom, tako i u horizontalnom smjeru. U profilu bušotine P-2 izmjerene su velike razlike u vodopropusnosti tako, da su ulošci vapnenog lapora praktički nepropusni ( $K = 7,7 \times 10^{-7}$  cm/sek), ili suprotno tome sloj laporovitog vapnenca skoro dobro vodopropusan ( $K = 1 \times 10^{-8}$  cm/sek). U većini bušotina vidi se izmjena slojeva, uglavnom slabo i bolje vodopropusnih sa skoro vodonepropusnim slojevima. Napajanje ovog horizonta vrši se neposredno iz rijeke Bosne i iz I vodonosno horizonta, a iz II horizonta posrednim proticanjem preko I vodonosnog horizonta. Napajanje se sve više povećava zbog poremećene hidrogeološke ravnoteže, prouzrokovane izradom i proširivanjem jamskih hodnika. Površinsko dreniranje ovog horizonta zbog toga uopće ne postoji, već se ono vrši samo kroz jamu.

## HIDROGEOLOGIJA POVRSINE

Detaljnim pregledom većeg dijela dna korita rijeke Bosne, rješenjem tektonike, mjerenjima u dva profila pijezometarskih bušotina, kao i bojadisanjem podzemne vode ustanovljena je uža zona infiltracije vode iz rijeke Bosne u krovinske vapnence glavnog ugljenog sloja. Zona se proteže koritom rijeke između I i II dijagonalnog rasjeda u dužini od cca 350 metara (prilog VI). Zbog škarastog karaktera rasjeda između V i VI tektonskog bloka, zapadno od te zone laporoviti vapnenci udaraju po padu u relativno vodonepropusne lapore više krovine, pa zatvaraju put vodi prema jami. Osim toga, rasjedni kontakt je zatvorenog tipa. Istočnije od uže zone infiltracije moguća je infiltracija vode iz rijeke Bosne zbog smanjenog skoka spomenutog uzdužnog rasjeda, pa radi budućeg širenja jame u pravcu istoka, treba voditi o tome računa.

Simultana mjerenja količina protoka vode vršena su na potocima Raspotočju i Gnjuse, pošto oni teku iznad jame. Cilj je mjerenjima bio, da se ustanovi postoje li gubici vode tih potoka na njihovom toku do rijeke Bosne. Potok Gnjuse imao je značajne gubitke vode iza mjerne tačke  $M_3$  u sušnom periodu svake godine, dok na mjernoj tački  $M_4$  kroz veći dio godine uopće nije bilo vode na površini. U potoku Raspotočje (prilog I) od tačaka  $M_1$  do  $M_3$  količine vode se povećavaju zbog pritičanja vode iz III i IV pleistocenske terase (uglavnom u sušnom periodu). Između tačaka  $M_3$  i  $M_4$  dolazi povremeno do nestajanja vode. No, iza tačke  $M_4$  uvijek se moglo ustanoviti naglo nestajanje vode, koje je do tačke  $M_5$  potpuno tokom cijele godine. Samo poslije jakih kiša manji dio vode ipak se ulijeva površinski u rijeku Bosnu.

## HIDROGEOLOGIJA JAME I PODZEMLJA

Mjerenja pritoka vode u jami vršena su na 5 Thompson-ovih preljeva, ali i na svim važnijim lokacijama većih pojava vode. Najjači pritoci vode iz »krovne ploče« uvijek se nalaze na krajevima hodnika. Daljnjim napredovanjem hodnika dolazi u njemu do naglog smanjivanja postojećih pritoka vode. Naime, nakon pojave novih pritoka na čelu hodnika cjeđenje, kapanje i manji mlazovi vode nestaju, a mjesta jakih pritoka skoro sasvim presuše.

Isto tako voda nestane kada se ispod najdonjeg iskopa novi niži hodnik. Detaljnim hidrogeološkim istraživanjima, mjerenjima i bojadisanjem podzemne vode u potpunosti je dokazan dominantan utjecaj površinskih voda (uglavnom rijeke Bosne) na pritoke vode u jami (Prilozi II-V). Najjače je ovaj utjecaj izražen na sjevernim i istočnim rubovima jame tj. na fronti prema rijeci Bosni, dok se najočitije vidi u gornjim dijelovima zračnih niskopa tj. ispod ulaza u jamu. U sušnom pe-

riodu stijene su gotovo suhe, osim na nekoliko mjesta, dok su u kišnom periodu i u proljeće skoro sve mokre sa čestim kapanjem i pojavom slabijih mlazeva vode.

Prilično velike oscilacije pritoka vode u jamu podudaraju se s kišnim, sušnim i prelaznim razdobljima godine, dok se s količinama padalina prilično dobro podudaraju (Prilog III). Najveći pritoci uvijek su bili u kišnom periodu godine i nakon proljetnog topljenja snijega (u IV mjesecu 1962. g. – 111.714 m<sup>3</sup>). Ukupni pritoci vode zatim su postepeno opadali preko ljeta do X i XI mjeseca, kada su bili najmanji (XI mj. 1962. – 70.678 m<sup>3</sup>). Postoje stanovita neslaganja pritoka vode u jamu u odnosu na oborine. Tako nakon otapanja snijega i proljetnih kiša prodiru u podzemlje velike količine vode, što se infiltriraju jednim dijelom – uglavnom posredno – i u III vodonosni horizont. Tada se pritoci vode naglo povećavaju. Nakon toga u slijedećim mjesecima, iako s manje oborina, pritoci su još uvijek veliki, a početkom kišnog perioda, iako padnu najveće količine kiše, pritoci vode u jamu su najmanji. To je zbog toga, što je nakon sušnog perioda podzemlje siromašno vodom, pa se porast pritoka vode osjeća nešto kasnije.

Povećanje ukupnih pritoka vode u jamu uvjetovano je napredovanjem rudarskih radova prema istoku. U 1963. g. oni su iznosili od 2,1 do 4,33 m<sup>3</sup>/min, a u 1964. g. još su se nešto povećali. Pored toga može se očekivati iznenadno povećavanje pritoka vode ulaskom rudarskih radova pod jače ispucane krovinske slojeve, a naročito nailaskom na otvorene pukotine i kaverne uz prvi dijagonalni rasjed.

#### Odnosi oborina, vodostaja rijeke Bosne i nivoa podzemne vode

Mjerenja nivoa podzemne vode vršena su u dva profila pijezometarskih bušotina između rijeke Bosne i jame. Mjerenja pokazuju izraziti pad nivoa podzemne vode prema jami u I profilu (bušotine P-1 do P-4, prilog V), dok na II profilu pokazuju depresiju nivoa (u bušotini P-6 između rijeke Bosne i P-7, Prilog IV). Kolebanja vode na ovim profilima su veoma velika i u potpunosti su zavisnosti o promjenama nivoa rijeke Bosne. Dok vodostaj rijeke pokazuje raspon između maksimuma i minimuma od svega 1,43 m, u pijezometarskim bušotinama su razlike mnogo veće, te iznose do 18,45 metara. Godišnja kolebanja podudaraju se s kišnim, prelaznim i sušnim periodima godine. Mjesečna, pa i dnevna kolebanja nivoa vode u pijezometarskim bušotinama potpuno su zavisna o promjenama vodostaja rijeke Bosne. To se naročito očituje za vrijeme naglih porasta vodostaja. Tada u vremenskom razmaku od svega pola dana (8–12 sati) dolazi do naglog porasta nivoa vode u bušotinama, što se poput »vala« pomiče prema jami. Nivo podzemne vode raste najprije u pijezometarskim bušotinama što su najbliže rijeci, zatim redom što su bliže jami, nakon čega se povećavaju pritoci vode u njoj. Na isti način dolazi i do snižavanja nivoa podzemne vode. Dok

do povišenja nivoa dolazi uvijek naglo, snižavanje je uvijek mnogo sporije. Ova činjenica potvrđuje zaključak, da su laporoviti vapnenci slabo vodopropusne stijene, pa kod jače infiltracije površinske vode dolazi ubrzo do ispunjavanja mreže pukotina i malih kavernih vodom, zbog toga što one ne mogu propustiti svu količinu vode. Tada dolazi do naglog povišenja nivoa vode u cijelom vodonosnom horizontu.

Nivo podzemne vode jednostrano je nagnut od rijeke Bosne prema jami, što se jasno vidi na priloženom hidrogeološkom profilu I (Prilog V). Isto je takav i položaj vodonosnog horizonta, što je poput »džepa« na južnom dijelu V tektonskog bloka zatvoren rasjedom, koji se nalazi između V i VI tektonskog bloka. Do najvećeg povišenja nivoa vode dolazi u donjem dijelu »džepa« (pijezometri P-3, P-4).

Bojadisanjem podzemne vode otopinom fluorescina (Na-fluoresceinatum) – Prilog II, dobiveni su podaci o brzinama pomicanja podzemne vode između rijeke Bosne i jame. Brzine pomicanja iznose 1,4 do 2,4 cm/sek, a vrijeme potrebno za prolazak kroz podzemlje od rijeke do jame iznosi 8–12 sati.

Zavisnost pritoka vode na preljevima u jami  
u odnosu na oborine i vodostaj rijeke Bosne

Mjerenja na preljevima u jami pokazala su, da se dominantan utjecaj vodostaja rijeke Bosne – ne samo na opskrbu vode V tektonskog bloka i kolebanja nivoa podzemne vode – odnosi također i na pritoke vode u rijoj (Prilog III). Dotoci na preljevima u gornjem, a naročito istočnom dijelu jame, prate sve oscilacije vodostaja rijeke Bosne (čak i dnevne), dok se u ostalim dijelovima jame pokazuju opća kolebanja pritoka vode u odnosu na kišni, prelazni i sušni period godine. Maksimum vodostaja rijeke Bosne dolazi u stanovitom zakašnjenju za maksimumom oborina, ali najveći pritoci vode u jami javljaju se u isto vrijeme s maksimalnim vodostajem i vrlo su izraziti (više u proljeće, nego u jesen).

Poriijeklo vode u jami

Opažanjima i mjerenjima na površini, u podzemlju i jami, a naročito bojadisanjem podzemne vode, razjašnjeni su najvažniji momenti koji uvjetuju infiltraciju površinskih voda u jamske radove. Vode u jami pritječu:

1. Iz rijeke Bosne – infiltracijom riječne vode unutar uže zone infiltracije u III vodonosni horizont. To potvrđuju nagib nivoa podzemne vode prema jami, rezultati bojadisanja podzemne vode, kao i sličnost kemizma površinskih i jamskih voda.

2. Iz III vodonosnog horizonta u donjim i bočnim dijelovima jame, gdje se vrši normalna drenaža tog horizonta, potpuno ispunjenog vo-



dom. Pošto je u krovini i podini horizont ograničen vodonepropusnim sedimentima, to se u odnosu na dubinu, u njemu voda nalazi pod manjim ili većim pritiskom. Priticanje vode može se zbog toga vršiti samo s površine.

3. Iz potoka Gnjuse i manjih, ali stalnih površinskih tokova vode, što poniru u vlastiti nanos i nanos rijeke Bosne, tj. u I vodonosni horizont. Protičući dalje prema rijeci Bosni, voda se infiltrira u III vodonosni horizont, umjesto da otječe u rijeku.

4. Iz II vodonosnog horizonta, koji sadrži prilično velike količine vode. Direktno preko izvora i bušotina voda se infiltrira u III vodonosni horizont, ili posredno preko I horizonta (slično kao pod 3.).

5. Infiltracijom oborinskih voda preko I i II vodonosnog horizonta u III vodonosni horizont.

Pritoci vode spomenuti pod 1, 2, 3 i 4 stalni su, a pod 5 sezonski. Od njih dominantan utjecaj imaju pritoci spomenuti pod 1, a zatim oni spomenuti pod 2. Zajedno daju najveće količine vode koja se javlja u jami.

Pored spomenutih uzroka pritoka vode, treba već sada računati s još dva potencijalna, a stalna nosioca vode nad jamom Raspočje. To su IV pleistocenska terasa i potok Raspočje. Za sada većina vode otječe iz njih u rijeku Bosnu, jer leže i teku preko vodonepropusnih pjeskovitih lapora više krovine glavnog ugljenog sloja. Zarušavanjem krovine, nakon otkopavanja ugljena, nastat će jače otvorene pukotine sve do površine, kroz koje će veće količine vode, akumulirane u terasi, a isto tako i iz potoka (naročito iza jačih kiša) moći naglo prodirati u jamu. Naime, sivi lapori više krovine nad susjednom Starom jamom propuštaju kroz takove pukotine svu vodu sa površine. U laboratoriju je utvrđeno da lapori ne bujaju, pa je teško pretpostaviti ispunjavanje pukotina nakon stanovitog vremena. Iz navedenih razloga izvršen je i proračun za određivanje rezervi podzemne vode u IV terasi nad jamom Raspočje (prema N. A. Plotnikovu). Dobiven jedinični protok iznosi  $q = 1935 \text{ m}^3/\text{dan}$ . Pomoću njega su izračunate dinamičke rezerve vode u terasi. One iznose:  $Q_p = 9,68 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{dan}$ . Isto je tako izračunata brzina podzemnog toka kroz terasu  $V_{sr} = 6 \times 10^{-3} \text{ m}/\text{sek}$ . Pored toga izračunate statičke rezerve vode u terasi iznose:  $Q_v = 8,4 \times 10^5 \text{ m}^3$ . Jedinični protok ( $q$ ) povećava se u uvjetima poremećene hidrogeološke ravnoteže, kakovi nastaju prilikom jamskog otkopavanja (sa zarušavanjem krovine). S ovim se činjenicama mora računati kod otvaranja pokusnog otkopnog polja u jami. Na postojeće rezerve podzemne vode u terasi mora se računati, naročito ako se otkopavanje bude vršilo sa zarušavanjem krovine.

Potok Raspočje bujičnog je karaktera, a ima veliko sabirno područje, pa treba također ozbiljno voditi računa o opasnosti naglog prodora i infiltriranja većih količina vode (u proljetnom i jesenjem periodu).

Da bi se utvrdilo porijeklo vode u jami Raspotočje, pored ostalih radova, izvedene su i kemijske analize uzoraka voda s površine (izvori, rijeka Bosna), zajedno s vodama iz jame. Uzorci su uzimani u kišnom i sušnom periodu godine. Prema anionima sve su vode hidrokarbonatne. U jami se, prema kationima, razlikuju dvije grupe voda: a) kalcijско-magnezijske vode u istočnom dijelu jame. Po sastavu su vrlo bliske vodi iz rijeke Bosne. b) Jako mineralizirane kalijско-natrijske vode, koje bi svojim kemizmom odgovarale vodama iz više krovine glavnog ugljenog sloja.

### Bojadisanje podzemne vode

Kako su mjerenja nivoa podzemne vode pokazala izraziti nagib nivoa od rijeke Bosne prema jami, izvršena su bojadisanja fluorescinom, ulijevanjem boje u dvije pijezometarske bušotine (P-2 i P-6), da bi se dobili sigurni elementi o infiltraciji vode iz rijeke Bosne u podzemlje. Horizontalna udaljenost između bušotine P-2 i najbližih dijelova jame iznosi od 350 do 450 m, a od bušotine P-6 do jame 420 m (do lokacije  $M_3$ ) i 850 m (do lokacije  $M_2$ ). Iz dijagrama bojadisanja kroz prvu bušotinu (prilog II) vidljivo je, da se boja pojavila najprije na lokacijama  $M_2$  i  $M_3$ , a tek kasnije na lokacijama  $M_1$  i  $M_4$ . Na prvi pogled rezultat začuđuje, jer se pojavljivanje boje očekivalo najprije na lokaciji  $M_1$ . Do zakašnjanja je došlo radi uspora vode u kanalu zatvorenog hodnika na dužini od 175 m ispred same lokacije  $M_1$ . Prema tome, boja se pojavila skoro u isto vrijeme na lokacijama  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , a na  $M_4$  sa zakašnjenjem od cca 1<sup>h</sup>. Koncentracija boje se naglo i u skokovima mijenjala od najveće u prvim uzorcima, do minimalne. U pijezometarskim bušotinama P-3 i P-4 koncentracije boje su bile mnogo manje, što navodi na zaključak o nepravilnoj razgranatosti podzemnih komunikacija i usmjeravanju pritoka vode na jače pukotine i kaverne. Srednja brzina pomicanja vode kroz podzemlje iznosi 1,4 cm/sek. Prema tome, voda od rijeke Bosne prevale put kroz III vodonosni horizont do jame za svega 8–12<sup>h</sup>.

Interesantni su podaci bojadisanja kroz bušotinu P-6. Boja se pojavila najprije na lokaciji  $M_1$  (nakon 8<sup>h</sup> 40'), a zatim na lokacijama  $M_2$ ,  $M_3$  i  $M_4$  (nakon 9<sup>h</sup> 10'). U ostalim pijezometarskim bušotinama opažena je mnogo kasnije – na P-4 (nakon 18<sup>h</sup> 27'), P-7 (nakon 19<sup>h</sup> 07'), te u P-3 (nakon 22<sup>h</sup>). Interesantna je činjenica, da se u najbližoj bušotini P-7 (udaljenoj svega 105 m) boja pojavila kasnije, nego na P-4 (udaljenoj 1444 m). Rezultati dokazuju, da postoje usmjereni tokovi vode prema jami unutar cijele uže zone infiltracije.

Još je zanimljivija pojava maksimuma boje na pojedinim lokacijama, koja se ne poklapa s vremenom pojavljivanja boje. Takav je maksimum boje najprije bio opažen na lokaciji  $M_3$  (nakon 9<sup>h</sup> 10'), a zatim na  $M_1$  (nakon 11<sup>h</sup> 35'), dok je na  $M_2$  bio opažen najkasnije (nakon

20<sup>h</sup>). U pijezometrima je maksimum bio najprije na P-4 (nakon 10<sup>h</sup> 15'), a najkasnije na najbližoj bušotini P-7 (nakon 28<sup>h</sup>). Zakašnjelo pojavljivanje boje na P-7 može navesti na pogrešan zaključak, ako se ne uzme u obzir viši nivo podzemne vode u njemu, kao i činjenica da rudarski radovi nisu doprli dovoljno daleko, da bi drenirali vodu u zoni te bušotine. Prema gornjim podacima srednje brzine u smjeru pojedinih lokacija nešto su različite: prema M<sub>3</sub> - 1,4 cm/sek, M<sub>2</sub> i M<sub>4</sub> - 2,4 cm/sek. Prema pijezometarskim bušotinama brzine su mnogo manje: 0,7 cm/sek za P-4, a 0,2 cm/sek za P-7. Iz toga se jasno vidi, da su brzine protjecanja vode prema jami najveće. Isto tako je ustanovljeno bočno tečenje vode. Očito je, da su jamski radovi poremetili ranije tokove podzemne vode, te ih usmjerili i koncentrirali u pravcu jame. Pojave maksimalnih koncentracija boje vrlo su nagle, a isto tako i smanjivanja do minimuma, što upućuje na to, da se radi o koncentriranim tokovima, tj. otvorenim pukotinama i kavernama. Takve su pojave opažene na površini i u jami. Činjenica, da su se pojavila dva ili čak više maksimuma koncentracije boje (na M<sub>4</sub> i u P-3) navodi na zaključak, da su kaverne i pukotine razgranate i povezane, te da tvore mrežu »kanala« prema jami. Daljnja bušenja pijezometarskih bušotina s mjerenjima i bojadisanjem podzemne vode još istočnije (uz potok Gnjuse) pokazat će, da li postoji šira zona infiltracije vode iz rijeke Bosne u podzemlje. Tamo, naime, rijeka prvi put teče preko laporovitih vapnenaca iz bliže krovine glavnog ugljenog sloja.

#### VARIJANTE ZA SANACIJU PRITOKA VODE U JAMU

Razjašnjenjem hidrogeoloških odnosa površine i jame, te dominantnog utjecaja rijeke Bosne na bilans voda u podzemlju i jami, može se kazati, da su sazreli momenti za konačno rješenje sanacija dotoka vode u jamu Raspotočje.

Postoji više tehničkih varijanti, koje dolaze u obzir za odabiranje najpogodnijeg rješenja sanacije:

1. Pokusno crpljenje u glavnoj promatračkoj bušotini, koja je izbušena na mjestu budućeg okna. Rezultati crpljenja su pokazali, da koeficijenti filtracije iznose (kod tri snižavanja nivoa podzemne vode):  $K = 1,2 \times 10^{-3}$  do  $9,45 \times 10^{-4}$  cm/sek, što znači da su nešto veći od rezultata dobivenih upumpavanjem vode. Pored toga potvrđeno je, da se voda u III vodonosnom horizontu nalazi pod pritiskom. Utjecaj crpljenja vode osjetio se u pijezometarskim bušotinama P-3, P-4 i P-10, gdje je došlo do većeg sniženja nivoa podzemne vode. Zbog toga moći će se novo okno koristiti kao bunar za crpljenje vode iz V tektonskog bloka. Na taj bi se način sniženjem nivoa podzemne vode prekinula hidraulička veza između rijeke Bosne i jame.

2. Bušenje usmjerenih bušotina iz najviših istočnih horizonata jame u V tektonski blok i crpljenje vode radi sniženja nivoa podzemne vode u njemu ispod visine ugljena u VI bloku. Tako bi se prekinulo prelijevanje vode u niže horizonte i oslobodilo jamu glavnog pritoka vode – iz rijeke Bosne.

3. Reguliranje toka rijeke Bosne, tj. pomicanje njenog korita sjevernije preko napuštene jame Mrtvice. Dužina novog korita iznosila bi cca 750 m, a teklo bi po pružanju vodonepropusnih sedimenata iz podine glavnog ugljenog sloja. Tada bi se cijela zona infiltracije oslobodila vode, a staro korito moglo zatrpati. Ova varijanta dala bi trajno i najbolje rješenje. Osim toga voda ne bi ometala kopanje te izgradnju novog okna.

4. Pokusna istraživanja za injekcionu zavjesu uz rijeku Bosnu na potezu uže zone infiltracije.

5. Injektiranje mjesta većih pritoka vode na najvišim horizontima jame. Zatim, budućim rudarskim radovima ne približavati se V tektonskom bloku, niti bušiti prema njemu bušotine na istoku jame. Ova će mjera pokazati za koliko će se podići nivo podzemne vode u bloku i kako će se to odraziti na povećanje pritoka vode u istočnom dijelu jame.

Za sada varijanta pod 3 izgleda najbolja, dok bi varijante pod 1 i 2 promijenile samo sistem crpljenja vode iz podzemlja i iz najviših horizonata jame. Za varijantu pod 4 nije moguće jamčiti potpuni uspjeh, a bila bi i najskuplja, dok bi posljednja varijanta možda samo privremeno poboljšala stanje pritoka vode u jamu.

Ekonomska analiza dat će odgovor, koja je od predviđenih varijanti najekonomičnija, a rezultati istražnih radova će pokazati koja je od njih tehnički najprikladnija.

Primaljeno 12. 11. 1966.

Institut za geološka istraživanja  
Zagreb, Kupaska ul. 2  
»Geotehnika« Zagreb, Kupaska ul. 2

#### LITERATURA

- Gojković, B. (1965): Hidrogeološki izvještaj V. Zenica 1960–65. Izvj. Arhiv »Geotehnika«, Zagreb.
- Katzer, F. (1908): Geološki razvoj naslaga mrkog ugljena u zeničkoj kotlini. Gl. Zem. muz. 15, Sarajevo.
- Katzer, F. (1912–21): Die fossilen Kohlen Bosniens und der Hercegowina. 1, 2. Sarajevo.
- Loušin, J., Gojković, B., Švel, J. (1964): Geološki i hidrogeološki izvještaj IV. Zenica 1963–64. Izvj. Arhiv »Geotehnika«. Zagreb.
- Milovanović, D., Štajduhar, M. (1966): Geološki, hidrogeološki i geomehanički izvještaj o istražnoj bušotini 0–1 u Raspotočju. Izvj. Arhiv »Geotehnika«. Zagreb.

- Plazek, Č., Posavec, M., Švel, J. (1961): Hidrogeološki izvještaj Zernica I. Raspotočje 1960-61. Izvj. Arhiv »Geotecnika«, Zagreb.
- Posavec, M., Korolija, R., Švel, J. (1962): Geološki i hidrogeološki izvještaj II. Zenica 1961-62. Izvj. Arhiv »Geotecnika«, Zagreb.
- Posavec, M., Vulić, Ž., Gojković, B., Švel, J. (1963): Geološki i hidrogeološki izvještaj III. Zenica 1962-63. Izvj. Arhiv »Geotecnika«, Zagreb.
- Soklić, I. (1951): Identifikacija slojeva i geoloških horizonata u srednjebosanskom zeničko-sarajevskom basenu. Geol. vjesnik 9., Beograd.

M. POSAVEC and B. GOJKOVIĆ

### HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE RASPOTOČJE PIT (WITHIN ZENICA COAL MINES)

In the course of the last five years within the programme of complex geological explorations and drilling, »Geoistraživanja« Zagreb (now »Geotecnika«) has been carrying out detailed hydrogeological explorations, examinations, and measurements, in the exploitation area of the Zenica coal mines, especially in the Raspotočje Coal Pit and in piezometric holes near the Raspotočje Pit. Besides methane, water represents a serious inconvenience for an undisturbed development and exploitation of coal reserves in these coal mines.

From the geological point of view, the mines are working in a monoclinally dipping series of fresh-water sediments of the Oligomiocene.

In the Raspotočje Pit coal is being extracted from the main coal seam. In the base there are grey marly clays with interlayers of sandstones (total thickness 90 ms.), and in the nearer roof brown marly limestones with interlayers of grey marls (total thickness 65 ms.), while in the higher roof there are grey sandy marls (thickness over 350 ms.). The sediments are crossed by a larger number of longitudinal faults, which have resulted in a drop of the tectonic blocks towards N-NE, and by some transversely diagonal faults, which gave rise to the formation of a parquet structure.

Special attention has been paid to the close hanging-wall of the main coal seam, which is waterbearing. At the Raspotočje Pit a partial underground grout curtain should be constructed to prevent the inflow of water from the Bosna River.

The results of the explorations have proved that three separate water-bearing horizons exist in the area of the Raspotočje Pit. The most important is the third horizon, represented by marly limestone of a deficient permeability in the hanging-wall of the main coal seam (filtration coefficient  $K = 2.8 \times 10^{-4}$  to  $1.2 \times 10^{-3}$  cm/sec), while the first two horizons, i. e. the fluvial and the terrace drifts, are of a rather good permeability (filtration coefficient  $K = 1.10^{-1}$  cm/sec).

The close foot-walls of the main coal seam are comparatively impermeable, while the hanging-walls are slightly permeable. As the sediments are predominantly solid, not loose, their water-permeability is of a secondary birth, provoked by diagenetic processes, especially by intense tectonic movements, which produced several systems of cracks and fissures in the rocks. There is accumulated water in these cracks, most frequently percolating. Even some caverns were noticed, giving free passage to considerable amounts of water.

Examinations and measurements have established a permanent water inflow into the Raspotočje Pit, on the average amounting to 4.33 cu. ms./min. Ground water level measurements, carried out in the piezometers in the Raspotočje area, have shown a constant water level drawdown between the Bosna River and the Pit. Their hori-

zontal distance ranges from 350 to 500 ms., and the vertical one from 125 to 200 ms. By colouring the ground water in these piezometers, the existence of permanent ground water courses has been proved, streaming from the Bosna River towards the Pit, and in this way the mean speed value has been determined, being 1.4 cm/sec. The water rises to the highest horizons of the Pit in 8-12 hours, approx., forming a »wawe« after the water of the Bosna River has risen. It has been proved that nearly all the water which flows into the Pit comes either directly from the Bosna River or from rainfall. The width of the infiltration zone in the river bed amounts to 350 ms., approx.

Based on the results or explorations, proposals and suggestions have been submitted for the solution of problems related to the regulation of water courses, and for the execution of dewatering systems in the Raspotočje Pit.

The technical variants for the amelioration of water drainage in the Pit are as follows:

1. Pumping underground water by means of 1-2 wide-diameter wells drilled in the 5th tectonic block (including the projected shaft).
2. Drilling directed holes from the highest eastern horizons of the Pit into the fifth tectonic block and drawing out water for the purpose of bringing the underground water level below the height of the coal seam in Block VI. In this manner it would be possible to prevent water from flowing into lower horizons as well as to free the Pit from the main water flow - from the direction of the Bosna River.
3. Regulation of the course of the Bosna River, i. e., displacing its bed towards the north, over the water-impermeable sediments above the base of the main coal seam. In this way the whole zone of infiltration would be freed from water.
4. An injection curtain along the Bosna River, along the line of the narrower zone of infiltration.

For the time being variant 3. appears to be the most logical one, while variants 1. and 2. would only change the system of drawing water from subterranean spaces. Variant 4. cannot assure full success, and, moreover, it would be the most expensive one.

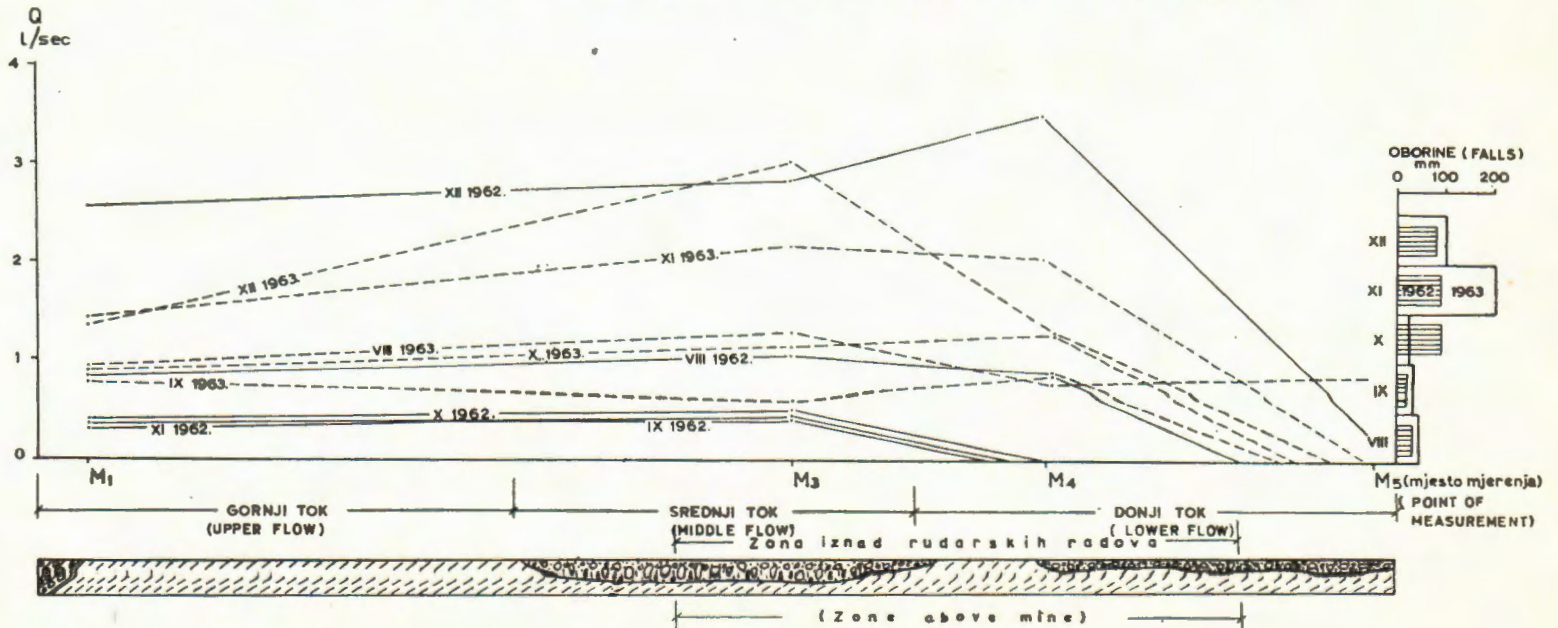
An economic analysis will answer the question which of the proposed variants is the most economical, while the results of prospectings will show which of them is technically the most suitable.

*Received 12th November, 1966.*

*Institute of Geology, Zagreb,  
Kupaska 2/1  
»Geotehnika«, Zagreb, Kupaska 2.*

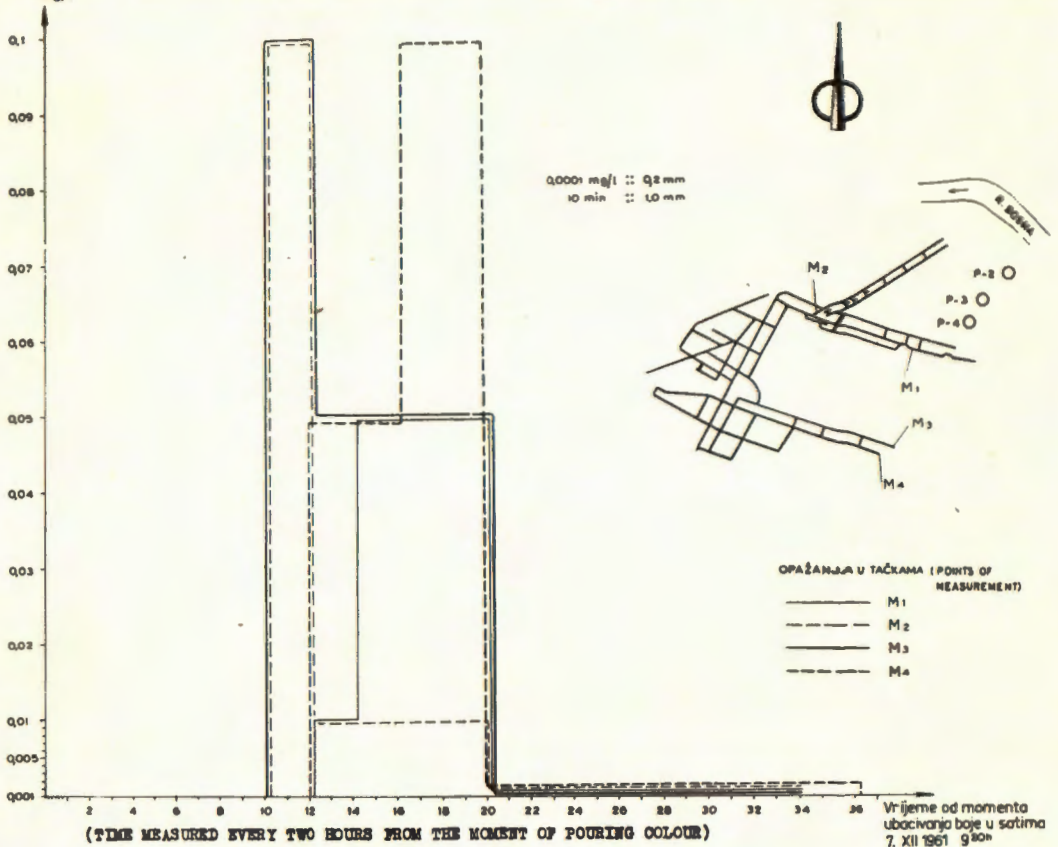
## DIJAGRAM GUBITAKA VODE U POTOKU RASPOTOČJE

(DIAGRAM OF THE LOSSES OF WATER IN RASPOTOČJE STREAM)



## BOJADISANJE PODZEMNE VODE

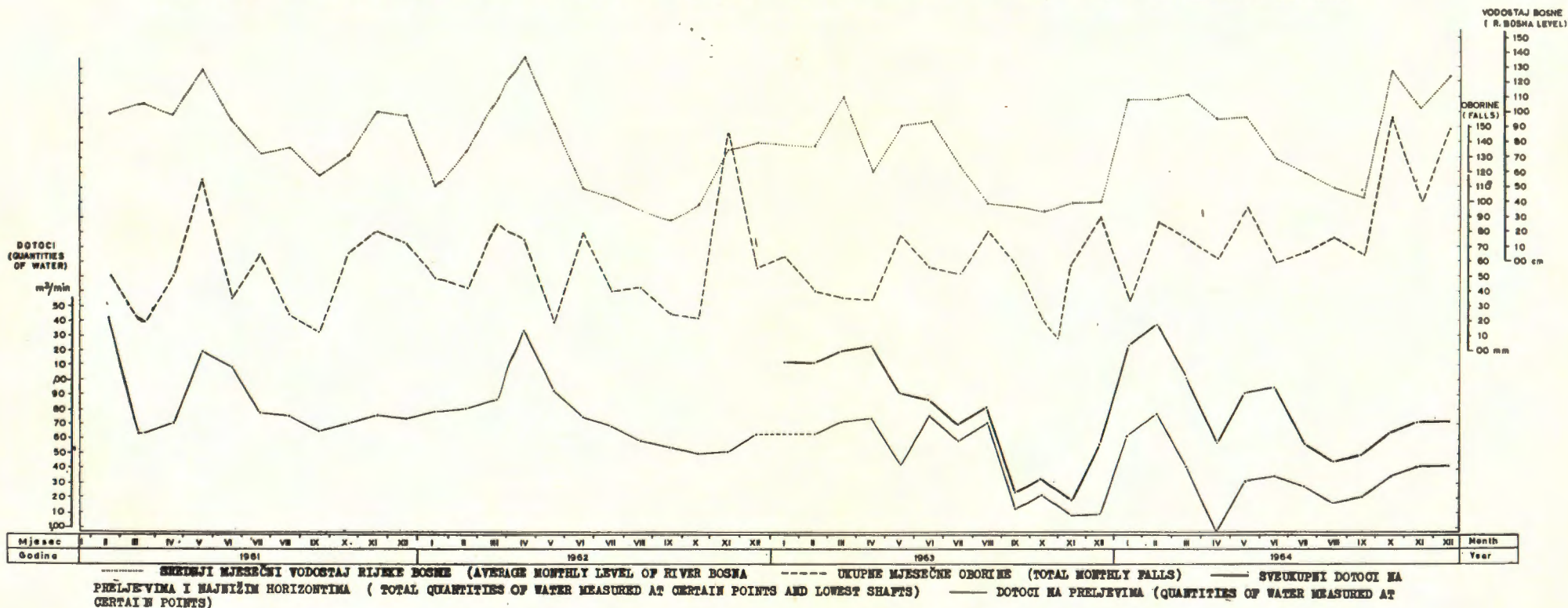
Koncentracija (Concentration of fluoresceina of colour) (COLOURING OF UNDERGROUND WATER)  
mg/l





## KOMPARATIVNI DIJAGRAM UKUPNIH DOTOKA VODE U JAMI SA OBORINAMA I VODOSTAJEM RIJEKE BOSNE

(DIAGRAM OF THE TOTAL QUANTITIES OF WATER IN THE MINE COMPARRED WITH THE FALLS AND THE RIVER BOSNA LEVEL)



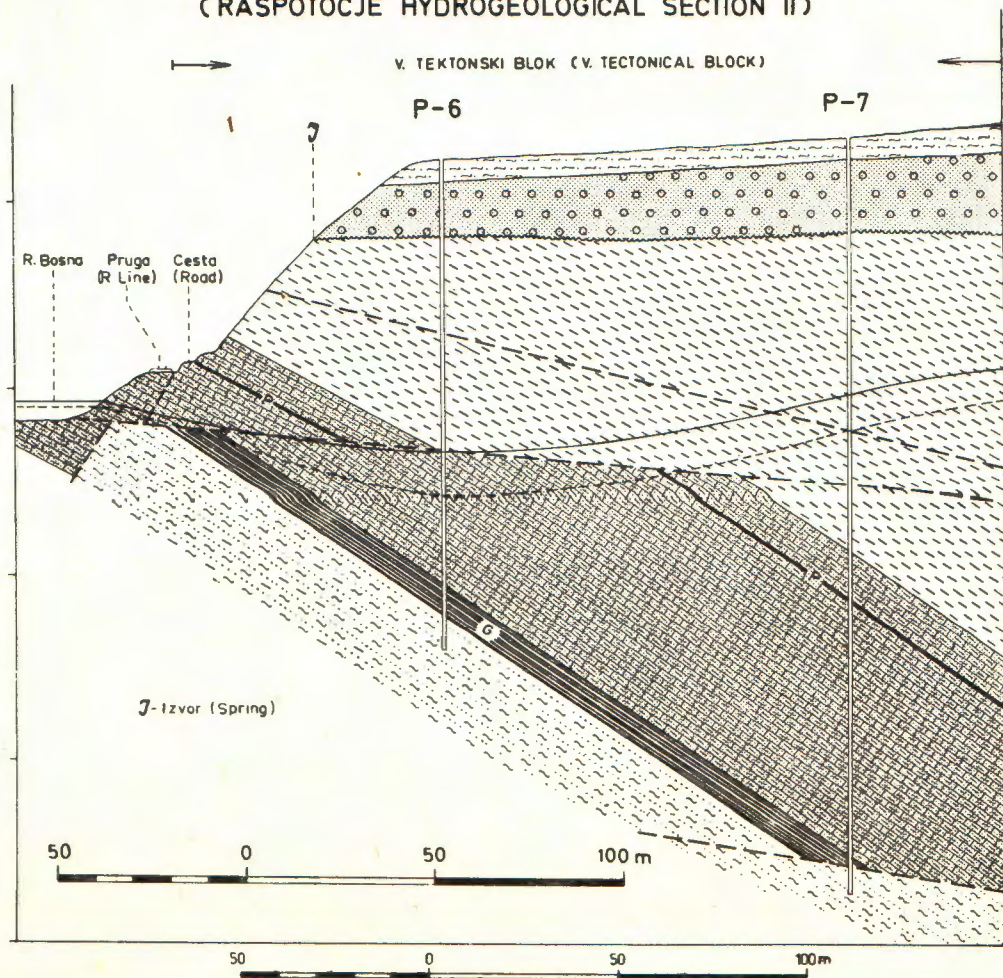
**HIDROGEOLOŠKA KARTA RASPOTOČJA**  
**(HYDROGEOLOGICAL MAP OF THE RASPOTOČJE AREA)**

**LEGENDA ZA KARTU I PROFILE (LEGEND FOR THE MAP AND SECTIONS)**

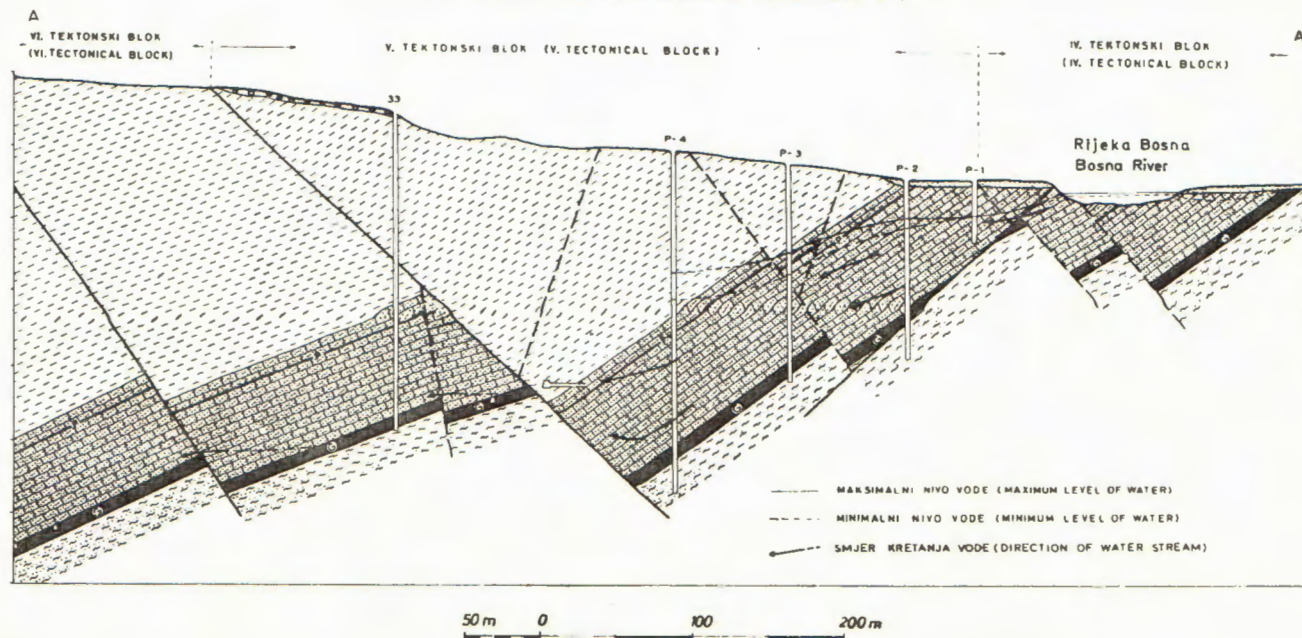
Obradili (elaborated by): M. Posavec & B. Gojković

1. Šljunci, pijesci i pjeskovite ilovače – Riječni nanosi – HOLOCEN (Gravels, sands, and sandy clays – Valley deposits – HOLOCENE)
2. Valutice, šljunci, pijesci i gline – Terasni sedimenti – PLEISTOCEN (Pebbles, gravels, sands, and clays – Terrace deposits – PLEISTOCENE),
3. Pjeskoviti lapor – Stepenica krovinskih lapora – GORNJI DIO OLIGOMIOCENA (Sandy marls – Step of hanging marls – UPPER PART OF OLIGOMIOCENE),
4. Laporoviti vapnenci s krovinskim ugljenim slojem – Stepenica krovinskih lapora – GORNJI DIO OLIGOMIOCENA (Marly limestones with hanging wall coal seam – Step of hanging marls – UPPER PART OF OLIGOMIOCENE),
5. Glavni ugljeni sloj – Glavna ugljenonosna stepenica – SREDNJI DIO OLIGOMIOCENA (Main coal seam – Main carboniferous step – MIDDLE PART OF OLIGOMIOCENE),
6. Gline, pijesci i pješčenjaci – Glavna ugljenonosna stepenica – SREDNJI DIO OLIGOMIOCENA (Clays, sands, and sandstones – Main carboniferous step – MIDDLE PART OF OLIGOMIOCENE),
7. Rasjed s oznakom spuštenog krila (Fault with sign of downthrown side),
8. Geološka granica – vidljiv i prekriveni kontakt (Geological boundary – visible and covered contact),
9. Linija profila (Section line),
10. Pad slojeva (Strike and dip of beds),
11. Dobro propusni sedimenti (Well permeable sediments),
12. Slabo propusni sedimenti (Slightly permeable sediments),
13. Nepropusni sedimenti (Impermeable sediments),
14. Izvor – kapacitet od 0,1 do 1 lit/sek (Spring – capacity from 0.1 to 1 lit./sec.),
15. Izvor – kapacitet od 1–2 lit/sek (Spring – capacity from 1 to 2 lit./sec.),
16. Bunar (Well),
17. Bunar za mjerenje (Well for measurement),
18. Glavna promatračka bušotina (The main measurement borehole),
19. Promatračka bušotina – pjezometar (Piezometer – measurement borehole),
20. Mjesta simultanih mjerenja potoka (Places for simultaneous measurements of brooks),
21. Hidroizohipse u krovinskim laporovitim vapnencima (Hydroisolines in hanging marly limestones),
22. Hidroizohipse u pleistocenskim terasama (Hydroisolines in the pleistocene terraces),
23. Rudnički hodnici u jalovini i ugljenom sloju (Mine shafts in stone and coal seam),
24. Smjer kretanja podzemne vode u krovinskim laporovitim vapnencima – III. vodonosni horizont (Underground water flow direction in hanging marly limestones – 3rd waterbearing horizon),
25. Smjer kretanja podzemne vode u pleistocenskim terasama – II. vodonosni horizont (Underground water flow directions in Pleistocene terraces – 2nd waterbearing horizon),
26. Uža zona infiltracije površinskih voda (Narrower zone of surface water infiltration).

# HIDROGEOLOŠKI PROFIL RASPOTOČJA II (RASPOTOČJE HYDROGEOLOGICAL SECTION II)

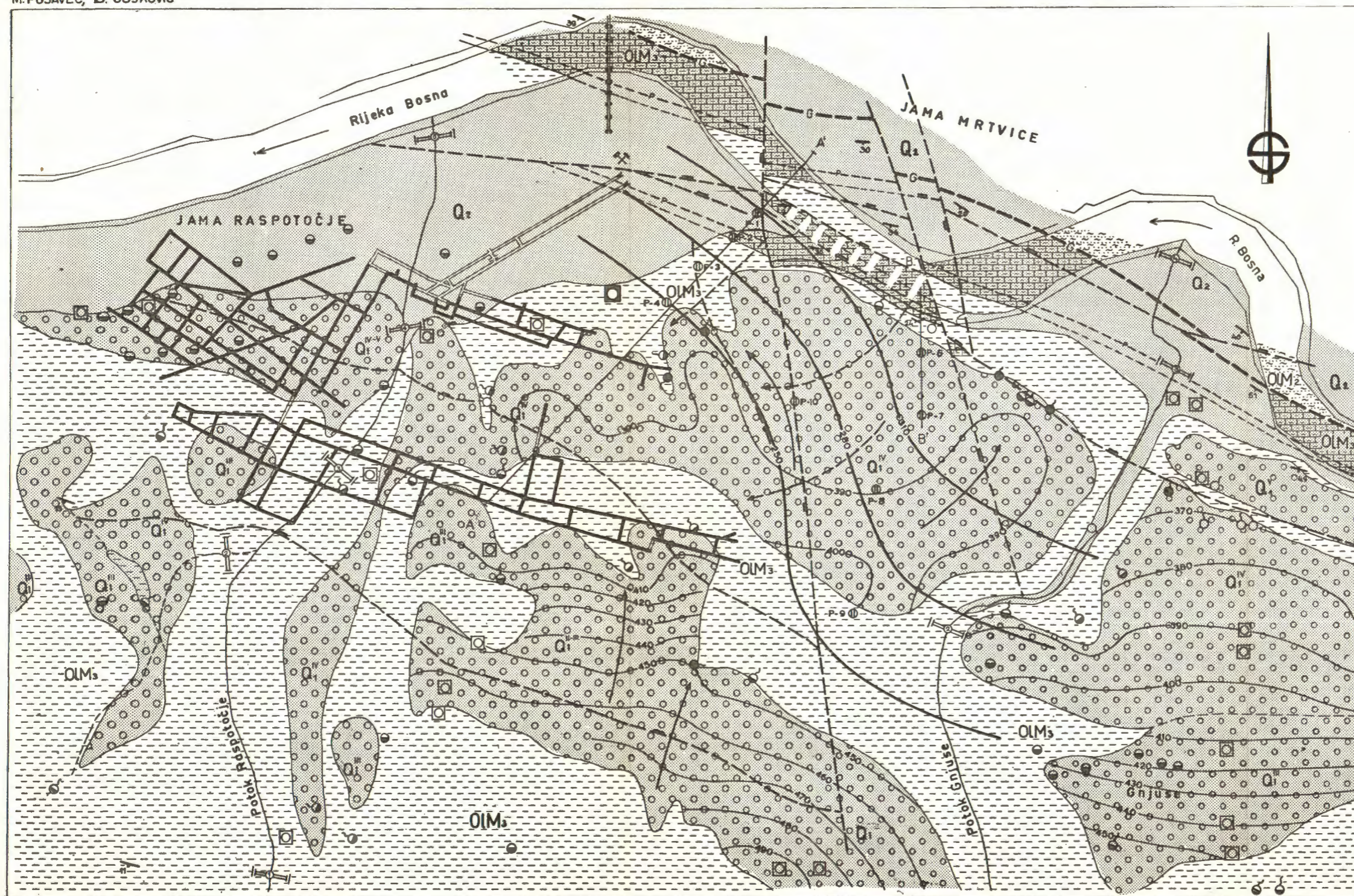


# HIDROGEOLOŠKI PROFIL RASPOTOČJA I ( RASPOTOČJE HYDROGEOLOGICAL SECTION I )



# HIDROGEOLOŠKA KARTA RASPOTOČJA (HYDROGEOLOGICAL MAP OF RASPOTOČJE)

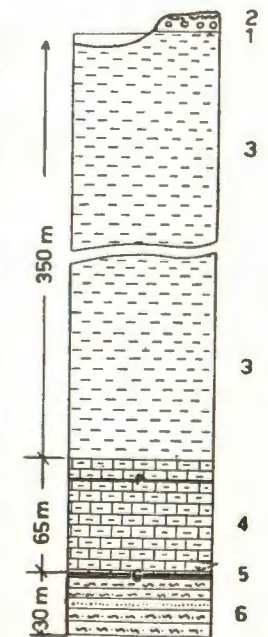
OBRADILI (ELABORATED BY):  
M. POSÁVEC, B. GOJKOVIĆ



## LEGENDA (LEGEND)

- |  |    |  |    |
|--|----|--|----|
|  | 1  |  | 24 |
|  | 2  |  | 25 |
|  | 3  |  | 26 |
|  | 4  |  |    |
|  | 5  |  |    |
|  | 6  |  |    |
|  | 7  |  |    |
|  | 8  |  |    |
|  | 9  |  |    |
|  | 10 |  |    |
|  | 11 |  |    |
|  | 12 |  |    |
|  | 13 |  |    |
|  | 14 |  |    |
|  | 15 |  |    |
|  | 16 |  |    |
|  | 17 |  |    |
|  | 18 |  |    |
|  | 19 |  |    |
|  | 20 |  |    |
|  | 21 |  |    |
|  | 22 |  |    |
|  | 23 |  |    |

GEOLOŠKI STUP  
(GEOLOGICAL  
COLUMN)



Crtao: T. Markov