

HIDROGEOLOŠKI ODNOSI SJEVERNOG DIJELA
ZENIČKO-SARAJEVSKOG UGLJENONOSNOG BASENA
(ZENIČKA UVALA)

S tri priloga

Po prvi puta izrađene su detaljne geološke i hidrogeološke karte eksploatacionog polja Rudnika mrkog ugljena Zenica, te upoznate hidrogeološke pojave i karakteristike ugljenonosnih naslaga od podinskih do krovinskih sedimenata. Registrirane su i mjerene sve važnije vodne pojave na površini, a u jamama vršena su stalna mjerenja kroz više godina. Dominantan je utjecaj površinskih voda na dotoke vode u većini jama i moguće su jače provale vode, naročito prigodom otkopavanja s potpunim zarušavanjem krovine. Pronađena su još dva starija ugljena sloja ispod VII podinskog sloja.

UVOD

U vremenu od 1960—65. autori su, uz povremeno sudjelovanje R. Korolije te Ž. Vulića, izradili spomenute karte M 1 : 5000 za površinu od 60 km². Obuhvaćeno je šire područje eksploatacionog polja RMU Zenica sa najvažnijim jamama: Raspotočje, Stara Jama i Side. One imaju probleme sa stalnim dotocima vode iz krovine, koji ometaju normalni rad i poskupljuju proizvodnju ugljena. Neke od jama napuštene su i potopljene (Raša, Skoče, Podbrežje, Drivuša), a jama Radakovo tako je naglo potopljena, da su iz nje jedva spašene najvažnije instalacije. Porijeklo voda u podzemlju nije bilo poznato, a niti su do tada mjerene njihove količine.

Tehničar V. Medved vršio je uz autore stalna mjerenja najvažnijih vodnih pojava na površini i u jamama. Ovime autori izražavaju zahvalnost suradnicima, kao i B. Zalkaru, te M. Heraku na stručnoj pomoći. Posebno zahvaljuju J. Loušinu, što je omogućio objavljivanje najzanimljivijih rezultata istražnih radova.

LITOLOŠKI I TEKTONSKI OPIS

Zenička uvala obuhvaća sjeverni dio velikog tercijarnog srednje-bosanskog ugljenonosnog basena tzv. Zeničko-sarajevskog basena. To je monoklinalno nagnuta serija slatkovodnih oligomiocenskih sedimenata dinarskog smjera pružanja, sa generalnim

nagibom slojeva prema jugozapadu. Ovako jednostranu građu uzrokovao je tzv. Busovački rasjed čiji skok iznosi maksimalno između 1500 i 2000 m. Za poznavanje razvoja i starosti ugljenonosnih, kao i popratnih naslaga najviše su zaslužni F. Katzer (1903, 1918—21), te I. Soklić (1951), čija je podjela prihvaćena i u ovome radu. Oligomiocenski sedimenti su podijeljeni u 4 stepenice: 1. podinsku stepenicu, 2. glavnu ugljenonosnu stepenicu, 3. stepenicu krovinskih lapora i 4. stepenicu krovinskih konglomerata. Radovima autora navedene stepenice su još detaljnije podijeljene u više horizonata, ali one radi preglednosti hidrogeološke karte nisu na njoj prikazane.

Sedimenti, koji će u daljnjem tekstu biti razmatrani, su kredne, oligomiocenske, pleistocenske i holocenske starosti. Najstariji sedimenti su vapnenci, zatim tanko uslojeni lapori sa ulošcima pješčenjaka i vapnenaca kredne starosti. Oni predstavljaju bazu sedimentata Zeničke uvale. Najstariji sedimenti oligomiocenskih naslaga jesu sitni i trošni bazalni konglomerati. Oni transgresivno i diskordantno leže preko krednih sedimentata koji su istovremeno dali osnovni materijal za njihovu sedimentaciju. U gornjim horizontima bazalnih konglomerata, pronađen je najstariji sloj ugljena Zeničke uvale, — IX podinski ugljeni sloj. Konkordantno na spomenutim slojevima leže dobro uslojeni fosiliferni laporoviti vapnenci. Pored gore spomenutih sedimentata u podinsku ugljenonosnu stepenicu spadaju još slabo vezani pješčenjaci i pijesci u izmjeni sa glinama, te rijetkim ulošcima lapora. U njima se nalaze VIII i VII podinski ugljeni sloj.

Glavna ugljenonosna stepenica ima litološki dva različita horizonta: 1. donji, kojeg izgrađuju gline, pješčenjaci i nešto lapori sa VI, V i IV podinskim ugljenim slojem, te 2. gornji horizont sa laporima, vapnenim fosilifernim laporima, pješčenjacima i glinama između kojih leže III, II i I podinski sloj. Glavni ugljeni sloj predstavlja granicu prema slijedećoj stepenici krovinskih lapora.

Stepenica krovinskih lapora ima također dva horizonta od kojih je donji najvažniji a hidrogeološkom smislu unutar cijele Zeničke uvale. To su cca 65 m debeli fosiliferni laporoviti vapnenci u kojima se pri vrhu nalazi najmlađi sloj ugljena Zeničke uvale tzv. povlatni ugljeni sloj. Gornji horizont izgrađuju jednolični tvrdi lapori debljine do 350 m.

Sedimenti stepenice krovinskih konglomerata konkordantno leže na krovinskim laporima i morfološki su veoma izraziti (brdo Zmajevac). Izgrađuju ih debelo uslojeni krupni vapneni konglomerati što su u gustoj izmjeni sa tanjim slojevima čvrstog pješčenjaka i pjeskovitog ili glinovitog lapora. To je donji horizont ove stepenice, dok gornji horizont izgrađuju pjeskoviti lapori i pješčenjaci, između kojih su uloženi sad deblji, sad tanji slojevi vapnenog konglomerata.

Pleistocenski sedimenti razvijeni su terasasto sa obje strane doline rijeke Bosne. To su fluvioglacialni šljunci, te ilovače, već prije detaljnije opisani (M. Posavec & B. Gojković, 1966). Holocenski nanosi izgrađuju dvija terase rijeke Bosne — stariju i mlađu, sastavljenih pretežno iz šljunaka, te nešto pjeskovitih glina. Pleistocenski i holocenski sedimenti pokrivaju najveći dio produktivnih ugljenonosnih naslaga i veoma su otežali rekonstrukciju pružanja ugljenih slojeva, a naročito rješavanje tektonskih zbivanja unutar Zeničke uvale.

U tektonskom pogledu može se kazati da su sedimenti Zeničke uvale jako izlomljeni sve od njenih rubova do većih dubina basena. Glavni smjerovi pružanja rasjeda jesu istok zapad i sjeverozapad—jugoistok. Rasjedi su škarastoga tipa s najčešćim povećavanjem skoka prema zapadu i sjeveroistoku, te su mnogo češći u blizini rubova uvale. Sve su to normalni rasjedi sa utvrđenim skokovima do 400 m. Postanak rasjeda je dvojak i uvjetovan je: a) tektonskim pokretima iz podloge basena i b) diferencijalnim dijagenetskim procesima unutar naslaga basena. Procesi pod b) odigrali su dominantnu ulogu kod stvaranja današnje strukturne slike Zeničke uvale. Rasjedi su uvjetovali stepeničasto spuštanje blokova, te stvaranje nepravilnog tektonskog grebena i plitke tektonske grabe unutar Zeničke uvale.

U tjemenu grebena nalazi se jama Siđe, u sjevernom spuštenu krilu jama Rače, dok su u južnom jama Podbrežje i mnogo niže spuštena Stara jama. Nepravilna,

široka i plitka tektonska graba nalazi se između Stare jame i Raspotočja s jezgrom na područja Kočeva potoka. Višestruko je izlomljena, pa ima veći broj tektonskih blokova, koji se stepeničasto spuštaju prema njenoj jezgri. Sada se može kazati da povećani pritisci iz podloge basena nisu odigrali glavnu ulogu kod formiranja današnje strukture Zeničke uvale, kako je to I. Soklić mislio (1951). U stvarnosti došlo je do slabog razmicanja većih tektonskih blokova i spuštanja između njih manjih blokova u obliku klinova. Zapravo se može reći da je došlo do smanjivanja pritiska iz podloge basena.

Kutovi nagiba slojeva najblaži su u sredini Zeničke uvale (5—25°), a na bokovima strmiji (10—50°). Debljine pojedinih članova podinske i glavne ugljenonosne stepenice, te stepenice krovinskih konglomerata smanjuju se u smjeru od sjeverozapada prema jugoistoku, a neki članovi čak isklinuju. Suprotno tome debljina stepenice krovinskih lapora povećava se u spomenutom smjeru na račun krovinskih konglomerata.

HIDROGRAFIJA I OBORINE

Najveći vodotok područja je rijeka Bosna. Prema njoj gravitiraju svi stalni i povremeni tokovi i ona predstavlja erozionu bazu vodotoka istraživanog terena. Opća karakteristika svih tokova je velika promjenljivost protoka uvjetovana bilansom oborinskih voda i litoloških sastavom terena kojeg dreniraju. Potoci se odlikuju vrlo malim kapacitetima u toku sušnog perioda godine i bujičnim karakterom u toku kišnog perioda. Na protoke potoka Raspotočje, Brist, Podbrježe i Rače utiču pored prirodnih faktora, još i vještački faktori, — jamski radovi. U zonama nad rudnim otkopnim poljima dolazi do osjetnog smanjenja protoka vode u većini tih potoka.

Na istraživanom terenu registriran je veliki broj izvora i bunara malog kapaciteta. Na karti su uneseni samo izvori kapaciteta većeg od 0,3 l/sec., kao i značajnije grupe bunara. Najviše izvora ističe iz krovinskih konglomerata i pleistocenskih terasa, dok su bunari najbrojniji u spomenutim terasama i aluvijonu rijeke Bosne. Iz prikupljenih podataka o količinama oborina za ovo područje vidi se, da postoje dva perioda s više oborina. Jedan proljetni s najviše oborina u II—IV mjesecu, i drugi jesenji, sa maksimalnim oborinama u XI mjesecu. Između ova dva perioda dolaze sušni ljetni u VIII i IX mjesecu te zimski u XII i I mjesecu. Oscilacije vodostaja rijeke Bosne podudaraju se sa bilansom oborina uz stanovita manja fazna zakašnjenja.

POROZNOST I VODOPROPUSNOST SEDIMENATA

Prije opisani sedimenti imaju dvije, genetski različite vrste poroznosti: primarnu (intergranularnu) i sekundarnu (pukotinsku) poroznost. Oligomiocenski sedimenti imaju slabo izraženu primarnu poroznost i njena uloga na vodopropusnost praktički je bez većeg značenja. Nešto značajniju ulogu na vodopropusnost tih sedimenata, ima ova poroznost u slabo vezanim krovinskim i bazalnim konglomeratima te pješčenjacima. Radi

dobre primarne intergranularne poroznosti terasni i riječni nanosi imaju dobru vodopropusnost. Sekundarna pukotinska poroznost, uvjetovana tektonskim, diferencijalnim i dijagenetskim procesima, te hidrokemijskim agensima prevladava i karakteristična je za hidrogeološke odnose istraživanog područja. Sekundarnu poroznost odnosno vodopropusnost imaju svi oligomiocenski sedimenti osim glina.

Ocjena vodopropusnosti sedimenata data je na osnovu terenskih filtracionih ispitivanja, laboratorijskih ispitivanja uzoraka stijena, te na osnovu hidrogeološkog kartiranja (litološkog rasčlanjivanja sedimenata, učestalosti vodnih pojava, mjerenja ispucalosti i sl.). Sedimente krovinskih konglomerata karakteriziraju česte facijelne izmjene kako u horizontalnom, tako i u vertikalnom smislu. Tamo prisustvo intergranularne i pukotinske poroznosti omogućuje cirkulacije vode unutar kompleksa, kojeg izgrađuju slojevi različite vodopropusnosti (od slabo do relativno dobro vodopropusnih). Slojevi sivih lapora iz više krovine ugljenonosnih naslaga su nepropusni. Lokalna slaba vodopropusnost, koja se primjećuje u pojedinim njihovim dijelovima, posljedica je ispucalosti nastale urušavanjem nad rudarskim radovima (Stara Jama). Zbog znatnog sadržaja pješčane i vapnene komponente lapori ne bujaju. Laporoviti vapnenci iz krovine glavnog ugljenog sloja imaju sekundarnu pukotinsku poroznost i slabo su vodopropusni. Za njih je karakteristična prostorna nejednolikost rasporeda pukotina. Mjestimično se u njima susreću pojedini dijelovi vrlo malo ispucani i gotovo vodonepropusni, te zone sa jakom ispucalošću i pojavom okršavanja, koje uvjetuju dobru vodopropusnost. Sedimenti, koji se protežu od podine glavnog ugljenog sloja prema dubini do podinskih vapnenaca (glavna i gornji dio podinske ugljenonosne stepenice), predstavljaju izmjenu vodonepropusnih i slabo vodopropusnih sedimenata. Jako ispucani podinski laporoviti vapnenci zajedno sa bazalnim konglomeratima odlikuju se slabom vodopropusnošću. Kredni sedimenti, razvijeri u vapnenom i flišolikom facijesu, ispucani su intenzivno i ponašaju se kao dobro vodopropusna sredina.

Svi naprijed opisani sedimenti svrstani su prema vodopropusnosti u slijedeće 4 kategorije:

1. Dobro vodopropusni sedimenti — primarno vodopropusni riječni i terasni nanosi, te sekundarno vodopropusni kredni sedimenti. Koeficijenti filtracije iznose: $K = 1,0 \times 10^{-1}$ do $6,0 \times 10^{-3}$ cm/sec.
2. Slabo vodopropusni sedimenti — sekundarno vodopropusni vapnenci nad glavnim ugljenim slojem, podinski laporoviti vapnenci i primarno, te sekundarno vodopropusni bazalni konglomerati. Koeficijenti filtracije iznose: $K = 1,2 \times 10^{-3}$ do $2,8 \times 10^{-4}$ cm/sec.
3. Izmjena slabo vodopropusnih i vodonepropusnih sedimenata: pješčenjaci lapori i gline glavne i gornjeg dijela podinske ugljenonosne stepenice. Serija krovinskih konglomerata sa koeficijentom filtracije: $K = 6,8 \times 10^{-4}$ do $3,3 \times 10^{-6}$ cm/sec.

4. Vodonepropusni sedimenti — lapori više krovine, te gline, pijesci i lapori ispod glavnog ugljenog sloja sve do podinskih vapnenaca, zajedno sa ugljenim slojevima. Koeficijenti filtracije su manji od $3,3 \times 10^{-6}$ cm/sec.

VODONOSNI HORIZONTI I REŽIMI NJIHOVIH PODZEMNIH VODA

Na osnovu detaljnog poznavanja litoloških karakteristika sedimenata, mjerenja njihove vodopropusnosti, kao i terenskih opažanja izdvojeni su slijedeći vodonosni horizonti svrstani prema njihovoj geološkoj starosti:

- I horizont u aluvijonu rijeke Bosne i njenih pritoka
- II horizont u pleistocenskim terasama
- III horizont u krovinskim konglomeratima
- IV horizont u vapnencima nad glavnim ugljenim slojem
- V horizont u glavnoj i gornjem dijelu podinske ugljenonosne stepenice
- VI horizont u bazalnim konglomeratima i vapnencima
- VII horizont u krednim sedimentima

Prvi vodonosni horizont pokriva sjeveroistočni, veći dio istraživanog područja. U njegovoj podlozi nalaze se stijene različite vodopropusnosti. Debljina mu iznosi do 11 m.

Najviši nivoi podzemne vode u horizontu registrirani su u kišnim mjesecima (II—IV i XI mjesec), a najniži u sušnim (VIII i IX mj). Napajanje tog horizonta iz rijeke Bosne događa se povremeno, samo za vrijeme visokih vodostaja. Potoci na dijelu svog toka preko ovog horizonta u sušnom periodu godine gube potpuno vodu, a u kišnim mjesecima djelomično, jer je tada vodonosni horizont maksimalno zasićen vodom (prilog I.). Značajne količine vode pritiču u ovaj horizont iz pleistocenskih terasa (II vodonosni horizont). Dreniranje podzemnih voda I. vodonosnog horizonta, u slučaju kada mu podlogu čine vodonepropusni sedimenti, vrši se po padu površine podloge u pravcu rijeke Bosne. Na mjestima, gdje horizontu u podlozi leže vapnenci iz krovine glavnog ugljenog sloja (IV vodonosni horizont), što je slučaj na području Raspotočja te Radakova, dolazi do jače hidrauličke povezanosti podzemnih voda obaju vodonosnih horizonata. To potvrđuju i elementi režima, te kemizam voda.

Drugi vodonosni horizont. Dobra vodopropusnost sedimenata ovog horizonta uvjetovana je njegovim litološkim sastavom. U većini slučajeva terase se sastoje iz dvije superpozicijski različite zone:

donje, deblje — krupnoklastične (djelomično vezane sedrom) i gornje, tanje — glinovito-pjeskovite. Maksimalna debljina terasa iznosi do 25 m. Terasni sedimenti taloženi su u nekoliko nivoa i leže preko sedimentata različitih hidrogeoloških karakteristika. Na području Raspotočja i Siđa uspostavljena je neposredna veza između starijih i mlađih terasa, jer mlađe, niže terase dijelom pokrivaju starije, više terase. Napajanje vodom vodonosnog horizonta vrši se uglavnom oborinskom vodom, a manjim dijelom iz površinskih tokova i drugih vodonosnih horizonata. Postotak oborina — računajući i one što padnu u obliku snijega preračunate u mm vodenog stupca, a koji odlazi na napajanje podzemnih voda ovog vodonosnog horizonta, iznosi 41%. Oscilacije nivoa podzemnih voda u neposrednoj su zavisnosti od oborina. Najviši nivoi registrirani su u II i III mjesecu, te u IX i X, a najniži krajem ljeta. Maksimalne amplitude kolebanja iznose cca 8 m. Dreniranje ovog horizonta u prirodnim uvjetima vrši se preko izvora, pištalina i bunara. Veličina koeficijenta podzemnog oticanja u prirodnim uvjetima iznosi $\eta = 0,29$. Smjerovi kretanja podzemnih voda su po padu baze terasa prema rijeci Bosni, a dijelom i u pravcu bočnih dolina. Simultana mjerenja protoka na potocima pokazala su, da im se na donjem dijelu toka kroz terasu povećava količina vode. U uvjetima poremećene hidrogeološke ravnoteže, kakovi nastaju prilikom jamskog otkopavanja (jama Siđe, Stara Jama, Raspotočje), jedinični protok se znatno povećava kao posljedica povećanja vrijednosti parametara I i K (hidraulički gradijent i koeficijent filtracije), što se odražava u bržem isticanju podzemnih voda iz vodonosnog horizonta. U ovakovim slučajevima rudarski radovi igraju ulogu drenažnih kanala. Obzirom na značajne rezerve podzemnih voda u terasama (statičke i dinamičke) ovo je ozbiljan problem za rudarske radove, naročito u jamama Siđe i Raspotočje. Oscilacije nivoa podzemnih voda odražavaju se u temperaturnim promjenama i u promjenama kemizma vode. U kišnom periodu dolazi u vodi do osjetnog povećanja Ca iona na račun Mg iona. Znatno povećanje mineralizacije u sušnom periodu, te smanjenje ukupne karbonatne tvrdoće govore, da na kemiizam podzemnih voda utječu osnovni hidrogeološki faktori.

Treći vodonosni horizont obuhvaća sedimente stepenice krovinskih konglomerata. Neke partije ispucanog konglomerata pokazuju dobru vodopropusnost, a u cjelini vodonosni horizont je slabo vodopropustan. Lokalno svaki od litoloških članova može predstavljati posebni vodonosni sloj. Zbog čestih promjena litološkog sastava u horizontalnom i vertikalnom smjeru te intenzivne ispucalosti uspostavljena je cirkulacija podzemnih voda između ovih slojeva, tako da se cijela serija krovinskih konglomerata u hidrogeološkom smislu ponaša kao jedna cjelina. Pored oborina i površinski tokovi napajaju ovaj horizont. Veliko prostranstvo i debljina serije krovinskih konglomerata (cca 800 m) omogućuje značajno akumuliranje podzemnih voda. Oticanja akumuliranih rezervi podzemnih voda vrši se u pravcu hipsometrijski nižih

nivoa preko brojnih silaznih i uzlaznih izvora. Intenzitet ocjeđivanja daleko je veći u pravcu pada sloja. Dreniranje preko uzlaznih izvora ostvareno je najčešće u zonama rasjeda i dubljih potočnih dolina. Veći skokovi rasjeda otkrili su dublje dijelove vodonosnog horizonta čime se povećava intenzitet isticanja. Takav slučaj postoji u zoni Podbrežanskog rasjeda, gdje podzemne vode iz ovog horizonta otiču u napuštenu jamu Podbrežje i kroz nju, paralelno s rasjedom, u najbliže horizonte Stare Jame. U dubljim dijelovima ovaj horizont ima arteški karakter što je utvrđeno dubokom bušotinom B-15 u Stranjanskom potoku. Oscilacije nivoa podzemnih voda i promjene dinamičkih rezervi uvjetovane su samo bilansom oborina.

Četvrti vodonosni horizont nalazi se u laporovitim vapnencima iznad glavnog ugljenog sloja. Ograničen je vodonepropusnim sedimentima u podini kao i u krovini. Debljina ovog horizonta iznosi cca 65 m. Zbog sekundarne ispućalosti, u vapnencima ima s jedne strane neispućanih blokova sa koeficijentom ispućalosti $K_p = 0,0$, a s druge strane blokova jako ispućanih i okršenih sa $K_p = 2 \times 10^{-1}$. Posljedica ovog su velike varijacije koeficijenta filtracije u horizontalnom i u vertikalnom smjeru ($K = 1,1 \times 10^{-3}$ do $7,7 \times 10^{-7}$ cm/sec.). U uvjetima gdje se vrši otkopavanje uglavnom ugljenog sloja javljaju se u krovini pukotine nastale kao posljedica urušavanja, kod čega se povećava vodopropusnost i uspostavlja hidraulička veza sa drugim i trećim vodonosnim horizontom. To je već sada slučaj na području Stare Jame. Napajanje ovog horizonta, zbog prekrivenosti, vrši se manjim dijelom iz oborina, a većim iz drugih vodonosnih horizonata. U zoni Podbrežanskog rasjeda uspostavljena je hidraulička veza između ovog i trećeg vodonosnog horizonta, koji igra ulogu hranioca. Na području Raspočja, Stare Jame i Podbrežja pleistocenske terase (drugi vodonosni horizont) prekrivaju četvrti vodonosni horizont. Zbog toga najveći dio voda taj horizont prima iz spomenutih terasa i to naročito u uvjetima poremećene hidrogeološke ravnoteže nastale jamskim otkopavanjem. Na mjestima gdje rijeka Bosna teče preko krovinskih vapnenaca, ili su oni ispod njenog aluvijona, dolazi do direktne infiltracije vode u njih. Zbog toga je režim podzemnih voda ovog vodonosnog horizonta u potpunoj zavisnosti od promjena režima voda rijeke Bosne i I i II vodonosnog horizonta. To se naročito dobro očituje za vrijeme naglih porasta vodostaja rijeke. Tada a vremenskom razmaku od 10—12 sati dolazi do naglog porasta nivoa vode u horizontu (mjereno u piezometarskim bušotinama u Raspočju). Kako četvrti vodonosni horizont leži između vodonepropusnih sedimenata, a ima pad suprotan padu terena, podzemne vode u njemu nalaze se pod pritiskom, koji se sa dubinom povećava. Rudarski radovi u glavnom ugljenom sloju su umjetni drenažni putevi za vode ovog horizonta. U područjima, gdje se ne vrši otkopavanje ugljena t. j. u prirodnim hidrogeološkim uvjetima, dreniranje podzemnih voda vrši se isključivo uzlaznim i rasjednim izvorima. U jamama Raspočje i

Staroj Jami postoji stalna hidraulička veza između IV te I i II vodonosnog horizonta. Rezerve vode u njemu neprestano se popunjavaju dotokom vode iz spomenutih horizonata.

Peti vodonosni horizont obuhvaća sedimente glavne i gornjeg dijela podinske ugljenonosne stepenice tj. između glavnog ugljenog sloja i podinskih vapnenaca. Raznolikost litološkog razvoja, u kome prevladavaju sedimenti sa subkapilarnom poroznošću, uvjetuje vrlo malu vodopropusnost. Izuzetak čine slojevi lapora iz krovine II i III podinskog ugljenog sloja, koji imaju sekundarnu poroznost, odnosno veću vodopropusnost od predhodnih. Potpunim otkopavanjem ugljena u oba sloja, oni su naknadno vrlo gusto ispucali i postali mnogo bolje vodopropusni.

Šesti vodonosni horizont. Podinski vapnenci su zbog jake tektonske izlomljenosti bolje vodopropusni od bazalnih konglomerata i pješčenjaka. Bogatstvo vodonosnog horizonta podzemnim vodama možemo razjasniti boljom vodopropusnošću sedimentata, a naročito hidrauličkom vezom sa vodonosnim horizontom u krednim sedimentima, koja je uzrokovana rasjedima. Na to upućuje također i isti kemijski sastav podzemnih voda ova dva horizonta.

Sedmi vodonosni horizont nalazi se u krednim sedimentima. Oni čine podlogu oligomiocenskim sedimentima i na kartiranom području utvrđeni su samo na sjevernom i istočnom rubu. Jaka boranost, te intenzivna tektonska ispucanost, prouzrokovale su dobru vodopropusnost sedimentata, pa su u njima akumulirane velike količine podzemnih voda. U formiranju podzemnih voda ovog vodonosnog horizonta učestvuju kako infiltracija atmosferilija, tako i intenzivno upijanje vode iz površinskih tokova koji teku preko njega (naročito rijeka Bosna). Dobivene vrijednosti koeficijenta vodoizmjene $\epsilon = 1,2$ do $\epsilon = 1,5$ pokazuju da se unutar ovog vodonosnog horizonta vrši intenzivna podzemna cirkulacija voda.

Primljeno 6. 12. 1967.

Institut za geološka istraživanja
Zagreb, Kupska 2/1

»Geotehnika« Zagreb, Kupska 2

LITERATURA

- Gojković, B. (1965): Hidrogeološki izvještaj V. Zenica 1960—65. Izvj. Arhiv »Geotehnika«, Zagreb.
- Katzer, F. (1903): Geološki razvoj mrgkog ugljena u zeničkoj kotlini. Gl. Zem. muz. 15, Sarajevo.
- Katzer, F. (1918—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.
- Plazek, Č., Posavec, M. & Švel, J. (1961): Hidrogeološki izvještaj Zenica I. Raspočje 1960—61. Izvj. Arhiv »Geotehnika«, Zagreb.
- Posavec, M. (1962): Rezultati mjerenja bunara nad jamom Side u Zenici. Izvj. Arhiv »Geotehnika«, Zagreb.
- Posavec, M. & Gojković, B. (1967): Hidrogeološka problematika ugljenokopa Raspočje (Rudnica mrkog ugljena Zenica). Geol. vjesnik 20. Zagreb.
- Posavec, M., Korolija, R. & Švel, J. (1962): Geološki i hidrogeološki izvještaj II. Zenica 1961—62. Izvj. Arhiv »Geotehnika«, Zagreb.
- Posavec, M., Vujić, Z., Gojković, B. & Švel, J. (1963): Geološki i hidrogeološki izvještaj III. Zenica 1962—63. Izvj. Arhiv »Geotehnika«, Zagreb.
- Soklić, I. (1951): Identifikacija slojeva i geoloških horizonata u srednjobosanskom zeničko-sarajevskom basenu. Geol. vesnik 9, Beograd.

M. POSAVEC and B. GOJKOVIĆ

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS IN THE NORTHERN PART
OF ZENICA—SARAJEVO COAL-BEARING BASIN
(WITHIN THE ZENICA BAY)

Through making detailed geologic and hydrogeologic maps of the greatest part of Zenica Bay, drillings as well as measurings of all more important water occurrences on the surface and in pits over a span of several years, it has been possible to obtain elements for a successful drainage or elimination of water inflow in the threatened pits within the exploitation area of the brown coal Mine of Zenica.

From a geologic aspect, the Zenica Bay is built up of a monoclinial series of freshwater oligomiocene sediments with nine foot wall coal seams as well as a main and a hanging wall coal seam. The sediments are divided into a base and a main coal-bearing stair, a stair of hanging marls and a stair of hanging conglomerates. The sediments are broken up by a large number of faults of the scissor type of a general East-West extension. The faults have created an irregular tectonic ridge and a shallow tectonic ditch within the arch-like deposited sediments of the Zenica Bay. The origin of the faults were conditioned by differential diagenetic processes in the basin as well as by tectonic displacements from the basic cretaceous rocks. The most important pits within the exploitation area of Zenica Mine are as follows: Stara Jama, Raspočje, Side, as well as the abandoned and sunken pits Rača, Skoče, Podbrežje, Radakovo and Drivuša, in which are being exploited almost all coal seams except the hitherto unknown 7th to 9th foot wall coal seams.

Hydrogeologic measurements in Stara Jama, Raspočje and Side show clearly that the dominant influence on the inflows of water in them is exercised by superficial waters — precipitations and superficial water courses. In the Raspočje pit this influence is exercised by the Bosna River, in Stara Jama by precipitations and Brist Brook, and in Side by the waters from the 5th pleistocene terrace and Podbrežje Brook. Besides the above-mentioned causes also mining works — owing to cracking in the roof after digging with complete falling in of the roof — increase the water-permeability of the roof sediments. By bringing thus into a hydraulic connection the water-bearing horizons, they interfere with the natural balance and increase to a great extent the water inflow into the pit spaces.

The sediments within the Zenica Bay possess in the main a secondary fissure porosity, and only to a smaller extent primary intergranular porosity. The consequence

of the former is poor water-permeability of the sediments and the consequence of the latter is good water-permeability of the sediments. According to the water-permeability, these sediments may be classified into the following four categories:

1. Well water-permeable sediments — primarily water-permeable river and terrace alluvia, and secondarily water-permeable cretaceous sediments. The filtration coefficients are as follows: $K = 1,0 \times 10^{-1}$ up to $6,0 \times 10^{-3}$ cm/sec;

2. Poorly water-permeable sediments — secondarily water-permeable limestones above the main coal seam, base marly limestones and primarily as well as secondarily water-permeable basal conglomerates. The filtration coefficient are as follows: $K = 1,2 \times 10^{-3}$ up to $2,8 \times 10^{-4}$ cm/sec;

3. Alternation of poorly water-permeable and water-impermeable sediments — a series of sandstones, marls and clays from the main and the upper part of the base coal-bearing stair, and a series of hanging conglomerates with the following filtration coefficient: $K = 6,8 \times 10^{-4}$ up to $3,3 \times 10^{-4}$ cm/sec;

4. Water-impermeable sediments — marls from the hanging stair, clays, sandstones and marls beneath the main coal Seam as far as to the base limestones, together with the coal seams. The filtration coefficients are less than $K = 3,3 \times 10^{-6}$ cm/sec.

Similarly, according to the basic hydrogeologic characteristics of the sediments and their age seven water-bearing horizons have been separated:

- I Horizon in the alluvium of the Bosna River and its tributaries;
- II Horizon in the pleistocene terraces;
- III Horizon in the hanging conglomerates;
- IV Horizon in the limestones above the main coal seam;
- V Horizon in the main and in the upper part of the foot wall coal-bearing stair;
- VI Horizon in the basal conglomerates and limestones;
- VII Horizon in the cretaceous sediments (basic rocks).

It has been established that there exist two drought periods in the year (summer and winter) with small quantities of water, as well as two humid periods (spring and autumn) with maximal quantities of water.

Measurements have shown that there exist diurnal, monthly and seasonal fluctuations in the inflow of water into the pits, which are in direct connection with the fluctuations in the quantities of superficial waters — precipitations and water courses.

The chemism of the superficial waters is mainly hydrocarbonate in character, or less frequently hydrocarbonatesulphate, irrespective of the water-bearing horizon to which they may belong. Pit waters, in relation to the superficial ones, have increased quantities of sulphate and chloride ions, especially large quantities of sodium. In addition, they are possessed of a high mineralization, total and carbonate hardness, and they are full of hydrogen sulphide.

Received 6th December 1967

Institute of Geology
Zagreb, Kućska 2/1,
Geotehnika — Zagreb, Kućska 2.

DIJAGRAM GUBITAKA VODE POTOKA BRIST NAD STAROM JAMOM

DIAGRAM OF THE LOSSES OF WATER IN BRIST STREAM ABOVE STARA JAMA PIT

Pasavec & Gajković

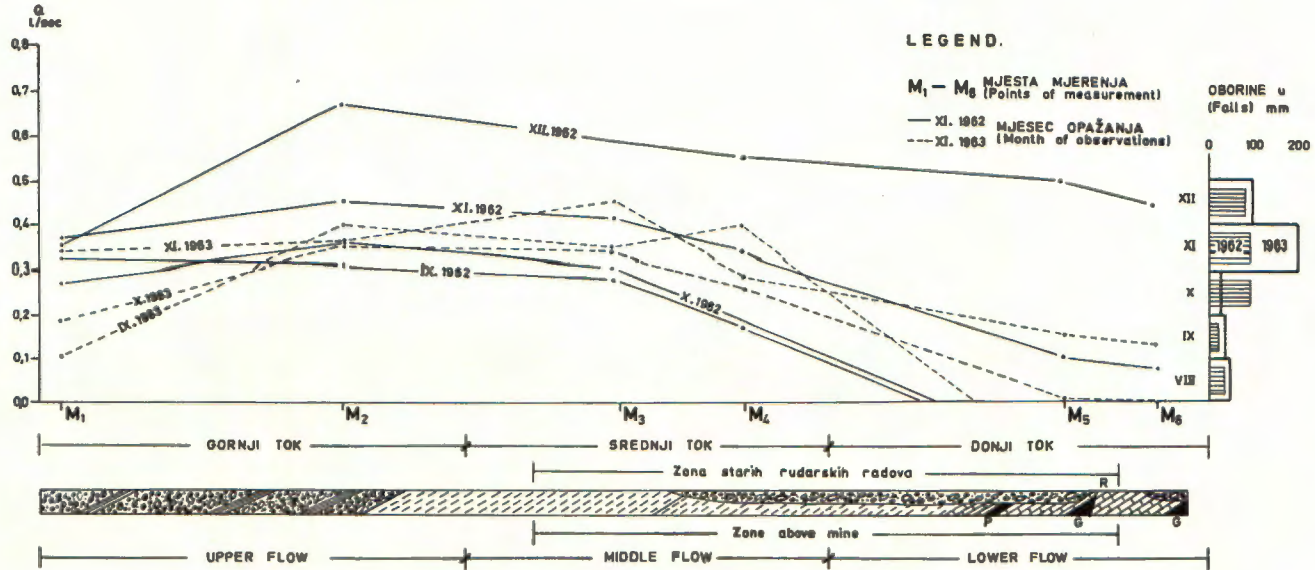
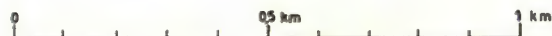
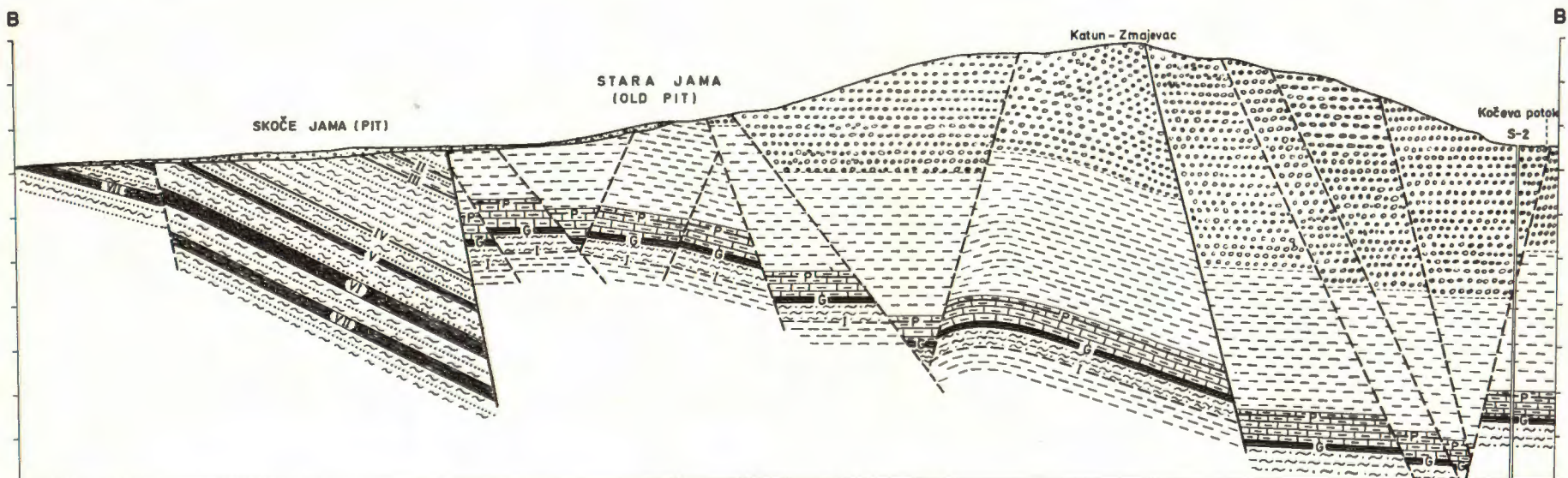


TABLA — PLATE I



LEGENDA (LEGEND)
za hidrogeološki profil Zenica
(For Hydrogeological Section Zenica)

1. DOBRO VODOPROPUSNI SEDIMENTI — II. vodonosni horizont — šljunci, pijesci (WELL PERMEABLE SEDIMENTS — IInd waterbearing Horizon — Gravels, Sands), 2. — IZMJENA SLABO PROPUSNIH I VODONEPROPUSNIH SEDIMENTATA — III. vodonosni horizont — Konglomerati, pješčenjaci i lapori (ALTERATION OF SLIGHTLY PERMEABLE AND IMPERMEABLE SEDIMENTS, — IIIrd waterbearing Horizon — Conglomerates, Sandstones and Marls), 3. VODONEPROPUSNI SEDIMENTI — Lapori (IMPERMEABLE SEDIMENTS — Marls), 4. SLABO VODOPROPUSNI SEDIMENTI — IV. vodonosni horizont — Laporoviti vapnenci (SLIGHTLY PERMEABLE SEDIMENTS — IVth waterbearing Horizon — Marly Limestones) 5. VODONEPROPUSNI SEDIMENTI — Gline sa pijescima (IMPERMEABLE SEDIMENTS — Clays with Sands), 6. VODONEPROPUSNI SEDIMENTI —

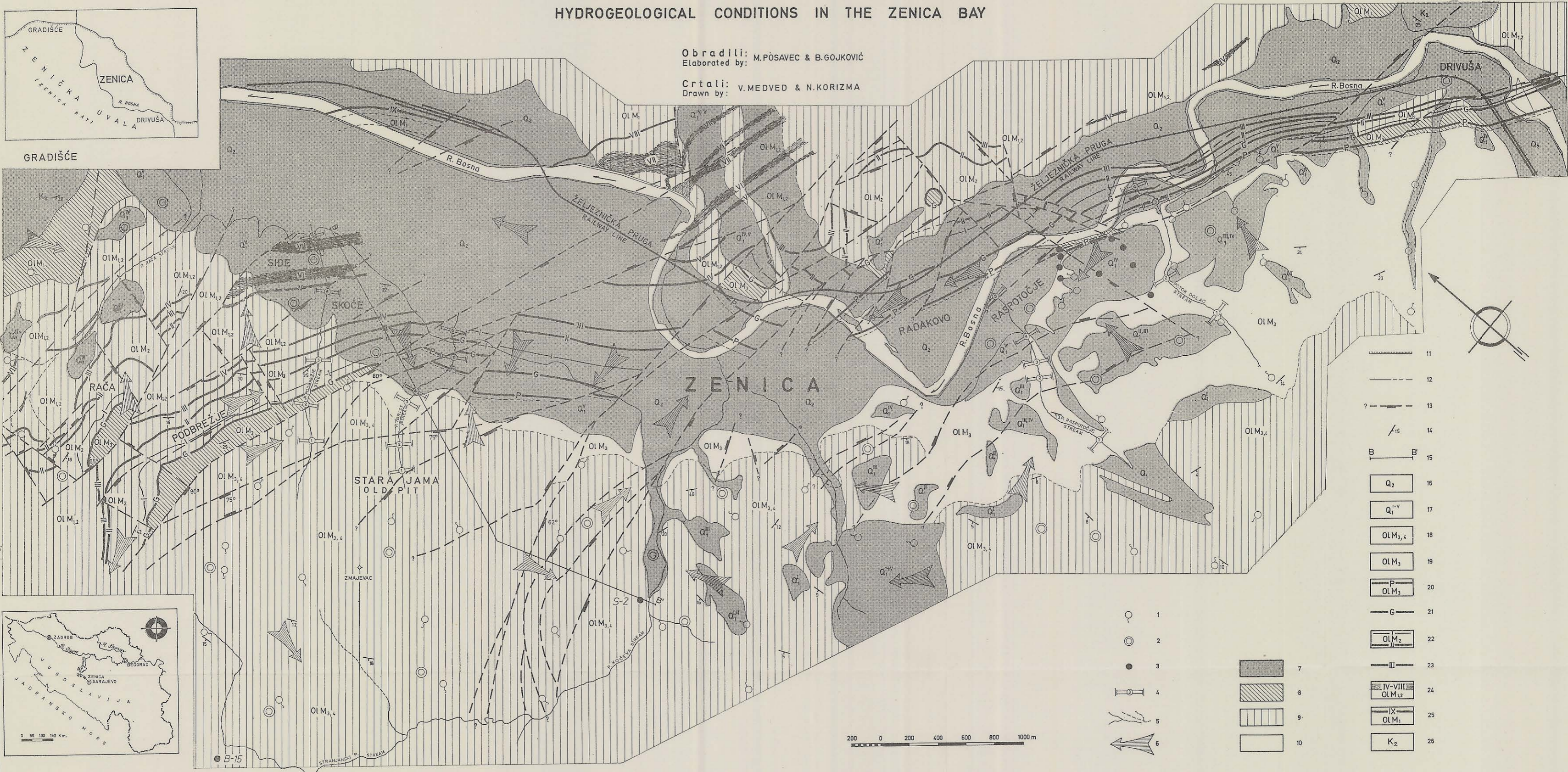
Lapori (IMPERMEABLE SEDIMENTS — Marls), 7. IZMJENA VODONEPROPUSNIH I SLABO PROPUSNIH SEDIMENTATA — Gline pješčenjaci i lapori (ALTERATION OF IMPERMEABLE AND SLIGHTLY PERMEABLE SEDIMENTS — Clays, Sandstones and Marls), 8. VODONEPROPUSNI SEDIMENT — Glavni ugljeni sloj (IMPERMEABLE SEDIMENT — Main Coal Seam), 9. VODONEPROPUSNI SEDIMENTI — I—IV podinski ugljeni sloj (IMPERMEABLE SEDIMENTS — 1st to IVth Foot Wall Coal Seam), 10. VODONEPROPUSNI SEDIMENTI — V—VII podinski ugljeni sloj (IMPERMEABLE SEDIMENTS — Vth to VIIth Foot Wall Coal Seam), 11. Geološka granica (Geological Boundary), 12. Rasjed (Fault), 13. Oznaka bušotine (Sign of Bore Hole).

HIDROGEOLOŠKI ODNOSI U ZENIČKOJ UVALI

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS IN THE ZENICA BAY

Obradili: M. POSAVEC & B. GOJKOVIĆ
Elaborated by:

Crtali: V. MEDVED & N. KORIZMA
Drawn by:



LEGENDA (LEGEND)
za hidrogeološku kartu Zeničke uvale
(for Hydrogeological Map of the Zenica Bay)

1. Izvor većeg kapaciteta od 0,3 l/sec (Spring of Capacity Bigger than 0,3 l/sec), 2. Grupa kopanih bunara (Group of Sinked Wells), 3. Hidrogeološke bušotine (Hydrogeological Bore Holes), 4. Mjesta simultanih mjerenja potoka (Locations for Simultaneous Measurements of Brooks), 5. Stalni i povremeni površinski tokovi (Constant and Periodical Surface Flows), 6. Smjer kretanja podzemnih voda (Underground Water Flow Direction), 7. Dobro vodopropusni sedimenti (Well Waterpermeable Sediments), 8. Slabo vodopropusni sedimenti (Slightly Water-permeable Sediments), 9. Izmjena vodonepropusnih i slabo propusnih sedimentata (Alteration of Impermeable and Slightly Permeable Sediments), 10. Vodonepropusni sedimenti (Water-impermeable Sediments), 11. Transgresivna geološka granica (Transgressive Geological Boundary), 12. Geološka granica (Geological Boundary), 13. Rasjed s oznakom spuštenog krila (Fault with Sign of Downthrown Side), 14. Pad slojeva (Strike and Dip of Beds), 15. Linija profila (Section Line), 16. Sljunci, pijesci i pjeskovite ilovače — riječni i potočni nanosi — HOLOCEN (Gravels, Sands and Sandy Clays — Ualley and Brook Deposits — HOLOCENE), 17. Valutice, sljunci, pijesci i gline — Terasni sedimenti

— PLEISTOCEN (Pebbles, Gravels, Sands and Clays — Terrace deposits — PLEISTOCENE), 18. Konglomerati, lapori i pješčenjaci u izmjeni — stepenica krovinskih konglomerata — GORNJI DIO OLIGOMIOCENA — OLM_{3,4} (Conglomerates, Marls and Sandstones in Alteration — Step of Hanging Conglomerates — UPPER PART OF OLIGOMIOCENE — OLM_{3,4}), 19. Pjeskoviti lapori — Stepenica krovinskih lapora — GORNJI DIO OLIGOMIOCENA — OLM₃ (Sandy Marls — Step of Hanging Marls — UPPER PART OF OLIGOMIOCENE — OLM₃), 20. Laporoviti vapnenci sa povlatnim ugljenim slojem — Stepenica krovinskih lapora — GORNJI DIO OLIGOMIOCENA — OLM₃ (Marly Limestones with Hanging Wall Coal Seam — Step of Hanging Marls — UPPER PART OF OLIGOMIOCENE — OLM₃), 21. Glavni ugljeni sloj — Glavna ugljenonosna stepenica — SREDNJI DIO OLIGOMIOCENA — OLM₂ (Main Coal Seam — Main Coal-bearing Step — MIDDLE PART OF OLIGOMIOCENE — OLM₂), 22. Vapneni lapori, gline, pijesci i pješčenjaci sa I i II podinskim ugljenim slojem — Glavna ugljenonosna stepenica — SREDNJI DIO OLIGOMIOCENA — OLM₂ (Calcareous Marls, Clays, Sands and Sandstones with

1st and 11th Foot Wall Coal Seam — Main Coal-bearing Step — MIDDLE PART OF OLIGOMIOCENE — OLM₂), 23. III podinski ugljeni sloj — Glavna ugljenonosna stepenica — SREDNJI DIO OLIGOMIOCENA — OLM₂ (IIIrd Foot Wall Coal Seam — Main Coal-bearing Step — MIDDLE PART OF OLIGOMIOCENE — OLM₂), 24. Gline, pješčenjaci i lapori sa IV—VIII podinskim ugljenim slojem — Donji dio glavne i gornji dio podinske ugljenonosne stepenice — DONJI DIO SREDNJI OLIGOMIOCEN — OLM_{1,2} (Clays, Sandstones and Marls with IVth—VIIIth Foot Wall Coal Seam — Lower Part of Main and Upper Part of Foot Wall Coal-bearing Step — LOWER TO MIDDLE OLIGOMIOCENE — OLM_{1,2}), 25. Laporoviti vapnenci, konglomerati, pješčenjaci i gline sa IX podinskim ugljenim slojem — Podinska ugljenonosna stepenica — DONJI DIO OLIGOMIOCENA — OLM₁ (Marly Limestones, Conglomerates, Sandstones and Clays with IXth Foot Wall Coal Seam — Foot Wall Coal-bearing Step — LOWER PART OF OLIGOMIOCENE — OLM₁), 26. Vapneni lapori i pješčenjaci — GORNJA KREDA — K₂ (Limestones, Marls and Sandstones — UPPER CRETACEOUS SEDIMENTS).