

Geol. vjesnik	Vol. 40	Str. 273—289	Zagreb 1987.
---------------	---------	--------------	--------------

UDK 556.33:551.79

Izvorni znanstveni rad

Geološke i hidrogeološke specifičnosti kvartarnog vodonosnog kompleksa prisavske ravnice na dionici granica SR Slovenije — Rugvica

Ivan ČAKARUN¹, Viniko MRAZ¹, Željko BABIĆ¹,
Rozalija MUTIĆ¹, Ana SOKAČ², Domagoj FRANIĆ³

¹*Geološki zavod, Sachsova 2, p.p. 283 YU — 41000 Zagreb*

²*Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, YU — 41000 Zagreb*

³*Inženjersko projektni zavod, Petrinjska 7, p. p. 329 YU — 41000 Zagreb*

Hidrogeološka istraživanja provedena u svrhu zaštite podzemnih voda, nadopunila su dosadašnje i omogućila nove spoznaje o stratifikaciji, vertikalnom i horizontalnom prostiranju kvartarnog vodonosnog kompleksa. Analiza rezultata istraživanja omogućava plansko i ekonomično gospodarenje te podlogu za adekvatnu zaštitu podzemnih voda iz ovih naslaga.

Hydrogeological research, carried out in order to protect the ground waters, have resulted in more completed insights regarding the stratification, and the vertical and horizontal distribution of the Quaternary water-bearing complex (= complex aquifer). The analysis of the results makes the basis for planning and economical managing, as well as for adequate protection of groundwater resources from these deposits.

UVOD

Nedostatak kvalitetne vode za vodoopskrbu stanovništva, inicirao je hidrogeološka istraživanja na području Zagreba već u prošlom stoljeću. Prvim ispitivanjima obuhvaćena su izvorišta Kraljičin zdenac, Adolfovac i Ribnjak na južnim padinama Medvednice. Mjerenjima je utvrđeno da grupa vrela na prostoru Kraljičinog zdenca i Adolfovca ne može podmiriti potrebe grada za pitkom vodom. Bojeći se pak zagađenja vode Ribnjaka i od njegova se je kaptiranja odustalo. Naime dokazano je da potok Pustodol djelomično ponire oko 500 m uzvodno od izvora, na desnoj obali korita. Također, istovremeno razmatrano je i korištenje Save, međutim zbog visokih troškova pročišćavanja vode, uslijed stalnog porasta zagađenja rijeke i ovo rješenje nije prihvaćeno.

Kao nastavak na ove radove slijedi istraživanje podzemnih voda u kvartarnim naslagama prisavske ravnice, na dijelu između sela Ljubljavnice i Kolodvorske ceste — danas crpilište Zagorska. Ovdje je 1876 godine iskopan zdenac, a prvi javni vodovod Zagreba otvoren je 7. VII. 1878. Porastom potrošnje, istraživanje se nastavlja na širem gradskom prostoru i na lijevoj i na desnoj obali Save. U periodu do 1960 godine, Vodovod grada Zagreba otvara nova crpilišta uglavnom na lijevoj obali. Također, već od 1932. vrše se opsežna istraživanja i na desnoj obali u

području sela M. Mlaka. Međutim, magistralno crpilište M. Mlaka počinje se uključivati u vodoopskrbni sistem grada tek 1964. godine.

Sistematska hidrogeološka istraživanja organizira Geološki zavod, nakon katastrofalne poplave koja je zadesila Zagreb 1964. godine, a u sklopu »Hidrogeološke studije poplavnog područja Zagreba«. Slijede 1967. kompleksni geološki, hidrogeološki, inženjerskogeološki te seizmološki radovi kao podloga Generalnom urbanističkom planu grada. Za potrebe projekata hidroenergetskog iskorištenja srednje Save, te odbrane od visokih voda rijeke izvode se istovremeno i hidrogeološka istraživanja na dijelu od granice sa SR Slovenijom do Rugvice. U nastavku, provode se radovi na istočnom prostoru grada, pa se tu pristupa i izvođenju novog magistralnog crpilišta Sašnjak.

Nakon toga, 1970. godine nastupio je prekid, a sistematski radovi nastavljaju se tek 1978/79. Tada Vodovod grada Zagreba u suradnji sa Geotehnikom počinje opsežna hidrogeološka istraživanja na području perspektivnog crpilišta Črnkovec. Kako se istovremeno radovi na nuklearnoj elektrani Krško privode kraju, Inženjerski projektni zavod iz Zagreba, organizira i rukovodi istraživanjima u svrhu zaštite podzemnih voda. Hidrogeološkim istraživanjima, provedenim u okviru programa zaštite podzemnih voda, nadopunjene su dosadašnje i polučene nove spoznaje o kvartarnom vodonosnom kompleksu.

KRATAK PRIKAZ DOSADAŠNJEG POZNAVANJA KVARTARNOG VODONOSNOG KOMPLEKSA PRISAVSKE RAVNICE

Prvi podaci o hidrogeološkim karakteristikama kvartarnih naslaga prisavske ravnice potiču od Gorjanović-Krambergera (1888). Razmatrajući položaj vodonosnog zdenca na crpilištu Zagorska, kaže da je ovaj preblizu grada, tj. još na dohvat septičkih jama i nedaleko potoka Kunišćak i Vrhovec. Analizom opažanja nivoa podzemnih i površinskih voda, zaključuje da rijeka Sava napaja velik dio savske ravnice vodom, pa tvrdi da bi za zdenac bilo bolje da je bliže Savi.

Heinz (1888) daje bakteriološke analize podzemne vode iz vodovodnog i javnih zdenaca na području Zagreba.

Pilar (1889) u članku »Zagrebački vodovod sa gledišta geološkog i hidrografijskog« vodi oštru raspravu sa D. Gorjanovićem i pobija njegovu tezu da je glavni izvor obnavljanja podzemne vode rijeka Sava. Pilar smatra da se prihranjivanje šljunčanog vodonosnika vrši uglavnom poniklim vodama sa Medvednice, koje tekući nizvodno podzemljem, probijaju podinske lapore i razlijevaju se u ravnice.

Gorjanović-Kramberger (1907) navodi da je zagrebačka terasa produkt taloženja stajaćih voda i potoka. Žute i sive ilovine istaložile su se u jezerima ili barama u koje su uticali potoci i nanosili proslojke i slojeve pijeska i valutica. Autor smatra da je odlaganje ovih naslaga započeto nakon izdizanja trupine Medvednice početkom kvartara. Razmatrajući formiranje Save, Gorjanović zaključuje da je Sava za diluvija ulazila u zagrebačko posavlje između Sv. Nedelje i Poduseda stvorivši abrazionu terasu sv. nedeljansko-rakitsku. Međutim, područje zagrebačke terase ostajalo je izvan utjecaja Save.

Gorjanović-Kramberger (1908) u tumaču geološke karte Zagreb ukazuje da je stupnička terasa nastala tijekom mlađeg diluvija,

kao produkt odlaganja starijeg nasipa rijeke. Također smatra, da se diluvijalne tvorevine na listu Zagreb kontinuirano nastavljaju na gornje pliocenske, levantinske naslage. Međutim, kasnije te su taložine bile odnesene Savom, sve do zagrebačke terase.

Nowinska, Miletić, Borčić & Tufekčić (1967) na osnovi prikupljenih arhivskih podataka geomehaničkog i hidrogeološkog bušenja te dodatnih istraživanja, daju granice, promjene u krupnoći zrna, debljine, te karakter pokrovnih i podinskih naslaga prvog šljunčanog vodonosnog horizonta.

Miletić & Borčić (1967) temeljem provedene analize vodostaja potvrdili su uzajamnu ovisnost površinskih i podzemnih voda.

Borčić, Čapar, Čakarun, Kostović, Miletić & Tufekčić (1968) daju nadopunjeni prikaz prvog šljunčanog vodonosnog horizonta na bazi rezultata novo izvedenih istraživanja. Svakodnevna opažanja vodostaja podzemne i površinske vode omogućila su točno utvrđivanje njihovih odnosa. Također, izvršena je i korelacija vodostaja u podzemlju ovisno o vodostaju Save.

Crnković & Bušić (1970) objavljuju podatke o mineraloško-petrografskom sastavu vučenog nanosa Save od Krškog polja do Slavonskog Šamca. Tabelačni podaci i histogrami mineraloško-petrografskog sastava pokazuju jasno izraženu zavisnost sastava nanosa od petrografsko-stratigrafske pripadnosti slivnog područja. U nanosu sa Jaruna i Novog Čiča uz dominantnu karbonatnu komponentu utvrđen je utjecaj petrografskog sastava Medvednice, posebno sadržajem zelenog škriļjavca.

Kranjec, Prelogović & Hernitz (1972) analizom dubinsko-strukturnih i strukturno-geomorfoloških podataka zaključuju o karakteristikama i znakovima mlađih gibanja na području od Zagreba do Siska.

Stupanj poznavanja dubine zalijeganja, stratifikacija i tektonske građe kvartarnog vodonosnog kompleksa prisavske ravnice na dionici od granice sa SR Slovenijom do Rugvice je oskudan. U radovima novijeg datuma Šimunić & Basch (1975) su na temelju terenskih i laboratorijskih istraživanja izdvojili sedimente gornjeg pliocena, pleistocena i holocena na ovom području. Također Šare & Miletić (1978) daju samo djelomičnu nadopunu prostiranja i debljine prvog vodonosnika na prostoru samoborskog bazena.

U tumaču osnovne geološke karte list Zagreb, Šikić, Basch & Šimunić (1979) ukazuju na jaku tektonsku aktivnost krajem daka, koja predstavlja završno formiranje strukturnog sklopa i geomorfološkog oblikovanja panonskog prostora. Naglašeno izdizanje gorskih masiva Žumberka, Medvednice i Orlice, omogućilo je taloženje debelih fluvijalno-jezerskih i proluvijalnih sedimenata u levantu (rumunian) s mogućim prelazom u pleistocen.

STRATIGRAFSKI I HIDROGEOLOSKI ODNOSI

Pod nazivom kvartarni vodonosni kompleks prisavske ravnice, obuhvaćene su naslage istaložene u rasponu gornji pliocen — holocen. Hidrogeološkim istražnim bušenjem dobro su definirane do približne dubine

oko 100 m. Samo nekoliko bušotina u nizvodnom dijelu područja (Petruševac — Oborovo) bušeno je i dublje. Na njima dokazane su krupnozrne naslage do 200 m. U najdubljem dijelu, za koji vjerujemo da je nastao u periodu gornji pliocen — donji pleistocen, pretežno je zastupljena glina sa proslojcima i slojevima pijeska. U završnom dijelu ovih naslaga nastupaju promjene u uvjetima odlaganja, te su tu ritmički istaloženi slojevi šljunka, pijeska i gline. Mineraloško-petrografski sastav zrna šljunka ukazuje da su izvorna područja samo starije naslage Samoborskog gorja i Medvednice. U donjem pleistocenu nastupa prekid, a taloženje se nastavlja u srednjem. Tada se vrši intenzivno nanošenje krupnozrnog materijala s uzvodnog dijela porječja. Ove naslage čine srednji dio kvartarnog vodonosnog kompleksa. Sačuvane su samo djelomično u uzvodnom dijelu — samoborskom bazenu, uglavnom izostaju u centralnom, a nizvodno od mosta Mladosti prati se čitav stup ovih naslaga. Također se odlikuje ritmičkom sedimentacijom šljunka, pijeska i glina. Odlaganje najplićeg dijela nastupa krajem srednjeg i nastavlja se u gornji pleistocen. Za srednji i završni dio serije karakteristično je da u sastavu prevladava šljunak, veličina zrna mu postepeno opada idući nizvodno, te kod Dubrovčaka prelazi u pijesak.

Odlaganje kvartarnog kompleksa ne odvija se kontinuirano. Nakon taloženja pojedinih cjelina nastupaju periodi tektonskih pokreta. Duž ranije formiranih rasjeda dolazilo je do izdizanja ili spuštanja djelova bazena. Procesima erozije vrši se denudacija izdignutih djelova, a koncentracije krupnozrnog materijala nastaju u manjim ili većim depresijama. Zbog toga na prostoru od granice sa SR Slovenijom do Rugvice možemo izdvojiti tri bloka, koji se stepeničasto spruštaju prema jugoistoku. To su: samoborski, blok od Podsuseda do mosta Mladosti te nizvodni od mosta. Na dijelu od Strmca do Podsuseda formiran je prag koji dijeli samoborski bazen od bazena zagrebačkog posavlja.

Prostiranje naslaga kompleksa određuju sa sjevera Marijagorička brda i Medvednica — rub zagrebačke terase. Međutim, granica je prekinuta utocima Sutle i Krapine. U dolinama ovih rijeka, također su razvijene kvartarne naslage. Sa juga granicu čine sjeverni pristranci Samoborskog gorja i Vukomeričkih gorica.

Stratigrafski i tektonski odnosi uvjetovali su hidrogeološke karakteristike kvartarnog vodonosnog kompleksa. Dio naslaga značajan za eksploataciju podzemne vode u samoborskom bazenu doseže maksimalno 50 m dubine, u dijelu od podsusedskog praga do mosta Mladosti 80 m, nizvodno i do 200 m. Hidrogeološki, možemo ga podijeliti na prvi vodonosnik u kojem je podzemna voda slobodne površine i u neposrednoj hidrauličkoj vezi sa rijekom Savom. Dublje slijede horizonti koji su od prvog i između sebe odvojeni slojevima gline. U njima voda je pod pritiskom, a piezometarski nivo uglavnom je izjednačen sa vodostajem u prvom horizontu. U vertikalnom razrezu, I vodonosnik je promjenljive debljine, u horizontalnom mjestimično iskljinja. Veća odebljanja utvrđena su na mjestima gdje izostaju slojevi gline pa su spojene mlađe i starije šljunčane naslage. Propusnost s dubinom opada zbog bolje sortiranosti nanosa i opadanja veličine zrna šljunka, a također i zbog toga što su stariji šljunci nevezani do dobro vezani.

Samoborski bazen

Na uzvodnom dijelu samoborskog bazena, od granice sa SR Slovenijom do Klokočevaca, istražnim bušenjem utvrđeno je da podinu izgrađuju lapori gornjeg panona i donjeg panta. Nizvodno pak do Vrbovca, podinu čine lapori, glinoviti lapori, pieskovite gline i sitnozrni pijesci gornjeg panta (rhomboide naslage) (vidi tabelu I). Jugoistočno od Vrbovca naslage podine nisu nabušene, zbog znatnog odebljanja gline koja već pripada kvartarnom vodonosnom kompleksu. Lapori donjeg i gornjeg panona ponovo su dokazani u području istočnog diela mesta Strmac — podsusedski prag. Tu na velikom regionalnom rasjedu (Medvedničko — Kalnički rasjed — Gorjanović 1908) završava samoborski bazen. Uslijed izdizanja duž rasjeda tijekom kvartara, lapori donjeg i gornjeg panta nalaze se vrlo plitko ispod površine terena i čine podinu najmlađim šljuncima. Slijed miocenskih i pliocenskih naslaga u samoborskom bazenu ukazuje na sinklinalu čiji je najdublji dio zapadno područje Strmca, nenosredno uz podsusedski prag (Tabla I).

Najniži dio kvartarnog vodonosnog kompleksa čine gline sive do žuto-smeđe boje, utvrđene bušenjem na potezu od Vrbovca nizvodno do rasjeda. Unutar glina prisutna su dva sloja sitnozrnog jednoličnog pijeska i treset. U području Vrbovca debljina glina iznosi svega 5 m, međutim kod Prelaca zapadno od Strmca debljina im naglo raste, prelazi 50 m i razvijena je u intervalu 60—110 m od površine terena. Ove gline su, navodi Gorjanović (1908), produkt taloženja stajaćih voda, tipičan jezerski sediment. Također smatra, da su ove naslage nastale u rasponu gornji pliocen — donji pleistocen, tj. kontinuirano se nastavljaju na leventinske naslage. Krajem taloženja ovog najnižeg diela kvartarnog vodonosnog kompleksa nastupaju promjene u uvjetima odlaganja, karakterizirane ritmičkom sedimentacijom šljunka, pijeska i gline. Serija počinje krupnozrnim šljunkom (ϕ zrna do 60 mm), nastavlja se pijesak pa glina. Ovakav slijed naslaga može se vratiti od Otoka do Medsava. Na ovom potezu prevladavaju gline. Međutim, kod Medsava nastupa nagli bočni prelaz, pa su nizvodno prisutni uglavnom samo slojevi pijeska i šljunka. Krupnoklastični razvoj prati se do podsusedskog praga. Najveća debljina utvrđena je kod Strmca u intervalu 27—51 m dubine i iznosi oko 24 m. Ova leća šljunka i pijeska elipsastog je oblika, a duža os je paralelna sa rasjedom i pružanja je SI—JZ.

Kako je navedeno, plići dio kompleksa počinje šljuncima i većeg je prostiranja. Zbog toga se može pretpostaviti prekid sedimentacije nakon odlaganja niže položениh starijih glina te proširenje bazenskog prostora u novom ciklusu. Međutim, sastav naslaga te pojave treseta duž profila ukazuju da se taloženje i dalje vrši u jezersko-močvarnoj sredini u koju povremeno ili pak stalno (područje uz rasjed) tekućice nanose krupnozrni materijal. Petrografski sastav i zaobljenost zrna šljunka jasno dokazuju da izvorno područje čine samo naslage Samoborskog gorja i sjeverozapadnih obronaka Medvednice.

Na dva uzorka iz samoborskog bazena, i to na jednom iz bušotine NOS-36 s nivoa 33,0—34,0 m i na drugom uzorku iz bušotine B-23 s nivoa 15,4—23,3 m određen je granulometrijski sastav, zatim petrografski sastav valutica i ulomaka, izvršena kvalitativna odredba kalcijevog karbonata i modalna analiza teške i lake mineralne frakcije.

Uzorak NOS-36 je zelenkastosivi zbijeni siltno-pjeskoviti šljunak. Srednja veličina dijametra čestica (M_d) je 1,4 mm. Prema koeficijentu sortiranoosti (S_o) uzorak izgrađuje nesortiran detritus, dok je koeficijentom adsortiranosti (S_k) izraženo bolje okupljanje čestica na strani krupnijih čestica od medijana. U uzorku prevladavaju angularne i subangularne čestice stijena, a ima i oštrobriđnih njihovih krhotinica i ulomaka. Među najkrupnijim sastojcima susreću se i dobro zaobljene i subsferične litogene čestice. Raznolikost sastava uzorka izražena je i bojom; zastupane su gotovo crne, tamnosive, sive, zelenkastosive, zelene, smeđastoljubičaste, crvenoljubičaste, žućkastosmeđe i bjelkaste valutice i ulomci koji po sastavu odgovaraju različitim vrstama litoarenita, siltita, pelita i česticama silicijskih stijena. Na prelomu uzorka naročito su uočljivi crvenoljubičasti sastojci od kojih je i sitnija frakcija uzorka više-manje poprimila takvo obojenje.

Uzorak B-23 je pjeskoviti šljunak. Sitnija frakcija, tj. pijesak, zastupana je s 1/4 u odnosu na sveukupni granulometrijski sastav. Srednja veličina dijametra sastojaka (M_d) je 5 mm, dok veličine dijametra ekstremno najkrupnijih sastojaka variraju od 2 do 7 cm. Detritus je uzorka slabo sortiran, a koeficijentom adsortiranosti ($S_k = 0,88$) u uzorku je izražena bliskost simetričnoj raspodjeli veličina čestica oko medijana. Uzorak je u cijelosti impregniran rdastosmeđom bojom, što se naročito vidi na sitnijoj primjesi. Sastojci su subangularni do subzaobljeni, više-manje nepravilni, rjeđe subsferični. Tu su u prvom redu zastupane čestice silicijskih stijena (rožnac, kvarcit, kvarcni konglomerat), zatim efuzivi, pješčenjaci, te fino-zrnati i gusti neodređivi peliti.

Niti u jednom uzorku u detritusu nije utvrđen dolomit niti vapnenac. Također niti pjeskovita frakcija prilikom djelovanja s razrijeđenom HCl nije pokazala nikakvu reakciju otapanja.

Znatno više nego li iznesena obilježja i razlike između ova dva uzorka, rezultati modalne analize teške i lake mineralne frakcije pokazali su te razlike u najvećoj mjeri kada je došlo u pitanje izvorno područje i petrografski sastav matičnih stijena njihovih karakterističnih teških minerala.

Mineralni sastav uzoraka prikazan je na tabeli.

Obadva se uzorka, kako se razabire iz tabelarnog prikaza odlikuju znatnim procentualnim učešćem teške frakcije. Taj prilično visoki iznos teške frakcije u uzorku NOS-36 odnosi se velikim dijelom na učešće grozdastih nakupina i pojedinačnih globulica autigenog pirita.

U uzorku B-23 toj su količini teške frakcije pridonijela opaka neodređiva zrna sa žućkastosmeđom prevlakom od željezovite supstancije i zrna sa žućkastobjeličastom prevlakom od glinovite tvari.

Mineralna asocijacija uzorka NOS-36 odlikuje se dominacijom apatita i cirkona. Morfološkim izgledom većina zrna ovih dvaju minerala upućuju na dugo prerađivanje, vjerojatno i pretaloživanje. Ovakva obilježja tih minerala kao i njihove koncentracije vjerojatno su porijeklom iz permo-trijaskih klastita. U prilog toj pretpostavci su i smeđastoljubičaste valutice i ulomci utvrđeni u šljunkovitoj frakciji uzorka, a koji su također erozioni produkt naslaga istog stratigrafskog horizonta. U sastavu ima nešto malo i svježih kristalića i polukristalića cirkona i apatita. Vjerojatno su vulkanogenog porijekla ili iz starijih piroklas-

Tabela — Table

Dijametar frakcije 0,039—0,15 mm
Diameter of fraction 0,039—0,15 mm

	bušotina — borehole	
	NOS-36 33,0—34,0 m	B-23 15,4—23,3 m
Količina teške frakcije Quantity of heavy fraction	% 4,90	% 5,70
I. Sastav teške frakcije Composition of heavy fraction	%	%
opaka zrna — opaque grains	48,7	31,0
klorit — chlorite	9,2	3,1
biotit — biotite	0,2	0,3
ostali — other	51,3	65,6
prozirni zrnati minerali — 100% transparent of heavy fraction 100%		
granati — garnet	4,9	45,8
staurolit — staurolite	0,3	10,6
disten — kyanite	—	3,1
andaluzit — andalusite	—	0,8
epidot — epidote	5,9	5,7
kloritoid — chloritoide	1,0	—
amfiboli — amphibole	2,3	1,6
cirkon — zircon	34,8	17,1
turmalin — tourmaline	8,2	4,7
rutil — rutile	1,3	3,7
titanit — titanite	0,3	1,8
apatit — apatite	39,0	4,7
kromit — chromite	0,3	1,0
hipersten — hypersthene	—	1,6
brukit — brookite	0,3	0,2
II. Sastav lake frakcije — 100% Composition of light fraction		
kvarc — quartz	68,2	75,0
feldspati — feldspar	21,9	5,6
muskovit — muscovite	—	0,9
čestice stijena — rocks fragments	9,2	18,7

tita. Na to upućuju i subzaobljena zrna apatita s inkluzijama koje su karakteristične za to njegovo porijeklo.

Osim turmalina, granata i epidota ostale su mineralne vrste u ovom uzorku minimalno zastupljene, a disten, andaluzit i hipersten nedostaju u sastavu.

Mineralni sastav uzorka B-23 nešto je bogatiji mineralnim vrstama od uzorka NOS-36. Znatnija je također i učestalost mineralnih vrsta u ovom uzorku. Dominantna granat-staurolitno-distenska asocijacija ispitnog uzorka uz minimalno učešće andaluzita produkt je erozije kristaliničnih stijena. Staurolit i disten su tipični minerali vezani za metamorfozu glinovitih sedimenata. Vjerojatno su eroziji bili na domaku pliocensko-kvarternim tektonskim pokretima izdignuti reljefi takvog petrografskog sastava.

Također i u dobro izdvojenoj asocijaciji grupe rezistentnih minerala: cirkon-turmalin-rutil osim zrna s tragovima prerađivanja zastupan je također cirkon porijeklom iz magmatskih stijena. Iz pegmatita potječe modri i ružičasti turmalin. Također apatit i hipersten upućuju na prinos iz miocenskih efuziva i piroklastita.

Laku mineralnu frakciju uzorka čine kvarc i feldspati uz znatno učešće čestica stijena (rožnac, mikrokvarcit, tinjčasti kvarcit, čestice tinjčastog škriljca i sitnolistićavog neodredivog agregata).

Izdizanje krajem daka (Šikić, K. i dr. 1979) te sedimentno petrografske analize uzoraka šljunka uzvodno i nizvodno od Podsuseda upućuju na zaključak da je samoborski bazen tijekom odlaganja najnižeg dijela naslaga donjeg pleistocena predstavljao posebnu cjelinu, te je bio odvojen od zagrebačkog podsusedskim pragom. Završni dio ovog najstarijeg dijela kvartarnog vodonosnog kompleksa markiran je slojem gline, koji se uglavnom prati na cijelom samoborskom području prisavske ravnice, od Otoka na sjeverozapadu do podsusedskog praga nizvodno.

Početak novog ciklusa karakteriziran je šljunkom, međutim mineraloško-petrografski sastav i veličina zrna bitno se razlikuju od niže položenih. Tu prevladavaju zrna pretežno izgrađena iz vapnenca i dolomita, a veličina im doseže 100 mm. Naslage ovog ciklusa u samoborskom bazenu, sačuvane su samo na potezu od Medsava do podsusedskog praga, dakle u vrlo uskom pojasu i debljina im ne prelazi 10 m. Nabušene su na dubini 13—23 m od površine terena.

Prema ostrakodskoj fauni šljunci, pijesci i gline ovog novog ciklusa pripadaju srednjem pleistocenu, dakle Sava se u srednjem pleistocenu probija nizvodno od Brežica, te vrši intenzivno nanošenje krupnozrnog nanosa sa uzvodnog dijela porječja u prostranu nizinu. Na veliku količinu odloženog materijala ukazuju šljunci čija nadmorska visina doseže 143 m, a sačuvani su na nedeljansko-rakitskoj terasi i nalaze se oko 26 m iznad istih (vidi tablu II), utvrđenih u ravnici (približno 117 m n. m.). (Postanak ove terase erozijom, tumači već Gorjanović, 1907). Korelacijom prostornog položaja sačuvanog dijela ovih naslaga može se procijeniti da je debljina serije nižeg dijela srednjeg pleistocena u samoborskom bazenu bila 30—40 m. Ovi šljunci dokazani su i u zagrebačkom posavlju nizvodno od mosta Mladosti (vidi tablu I). Odlaganje materijala vršeno je najmanje u četiri ciklusa, vjerujemo i više, međutim svaki mlađi vodni val erodirao je i transportirao nizvodno nanos, te se ritmovi samo lokalno mogu definirati.

Uslijed strmijeg nagiba korita Save od granice sa SR Slovenijom do mosta Mladosti i danas se na tom dijelu vrši izravnjavanje terena duž profila. Rijeka za visokih vodostaja erodira korito i bokove te premješta i odlaže vučeni nanos nizvodno. Prateći ove recentne pojave, možemo zaključiti da nakon odlaganja nižeg dijela naslaga srednjeg pleistocena, slijedi njihovo otplavlivanje nizvodno od rasjeda koji spaja Botinec i most Mladosti.

Krajem srednjeg te tijekom gornjeg pleistocena nastavlja se odlaganje najplićeg dijela kvartarnog vodonosnog kompleksa nanošenjem krupnozrnog materijala sa uzvodnog dijela porječja. Širina prostiranja ovih naslaga je manja od srednje pleistocenskih, jer bočno prema Samoboru, šljunci Save izostaju, prelaze u potočne nanose Bregane, Gradne

i Rakovice. Najmlađi šljunci Save vrlo su krupnozrni, veličina samaca doseže i 300 mm. Debljina im se postepeno povećava idući nizvodno, iznosi 7—12 m, a najveća je utvrđena neposredno uzvodno od podsusedskog praga.

U površinskom dijelu šljunci su prekriveni sitnozrnim, glinovito-pjeskovitim naslagama, čija debljina uglavnom raste od rijeke prema obodu bazena.

Sa hidrogeološkog stanovišta za korištenje podzemnih voda najznačajniji je I vodonosnik, odnosno najmlađe naslage kvartarnog vodonosnog kompleksa. Budući da su ovi šljunci vrlo krupnozrni, propusnost je velika ($k = 2—5 \cdot 10^{-2}$ m/s), a kako je korito Save usječeno u njima, obnavljanje podzemne vode vrši se direktno procjeđivanjem iz rijeke. Međutim, ograničavajući uvjeti su mala debljina vodonosnika i visina stupca vode u njemu.

Korištenje podzemne vode iz dubljih horizonata limitirano je manjom propusnošću naslaga te obnavljanjem podzemne vode. Međutim, na djelovima terena gdje su formirana veća odebljanja šljunka i gdje djelomično izostaju slojevi gline između prvog i dubljih horizonata, ova područja predstavljaju perspektivna crpilišta podzemne vode. To je u samoborskom bazenu prostor uz podsusedski prag, od Strmca na jugu do Zaprešića na sjeveru. Ova područja potrebno je zaštititi od daljnje devastacije, te spriječiti poluciju podzemne vode odlaganjem smeća u napuštene šljunčare.

Područje podsusedskog praga i nizvodno do mosta Mladosti

Usljed izdizanja duž rasjeda već i prije kvartara, formiran je podsusedski prag, koji je tijekom donjeg pleistocena dijelio samoborski bazen od bazena zagrebačkog posavlja.

U uzvodnom dijelu zagrebačkog posavlja, bušenjem su dokazani donji i gornji pleistocen. Srednji pleistocen tu je uglavnom otplavljen, a sačuvan je samo na nedeljansko-rakitskoj terasi.

Od Podsusedskog praga do mosta Mladosti u centralnom i dubljem dijelu kvartarnog vodonosnog kompleksa koji pripada donjem pleistocenu, utvrđena su bušenjem četiri horizonta šljunka. Debljina im doseže do 6 m. Idući od Save prema zagrebačkoj terasi, slojevi se mogu pratiti do ulice Proleterskih brigada, dalje prema sjeveru isklinjavaju. Veličina zrna ne prelazi 60 mm, a izgrađuju ih pretežno: vapnenac, dolomit, kvarc, zeleni škrljavac i klastični kvarcni sedimenti. Po sastavu razlikuju se od ekvivalentnih u samoborskom bazenu. Za šljunak i pijesak je karakteristično da su nevezani do dobro vezani. Dobro vezani nanos prisutan je u dubljim horizontima.

Vrlo krupnozrni šljunci, ϕ do 250 mm, nizvodno od podsusedskog praga, razvijeni su samo u gornjem pleistocenu i nalaze se u najplićem dijelu kvartarnog vodonosnog kompleksa. Tu čine prvi vodonosnik, u kojem je voda slobodne površine i u neposrednom je hidrauličkom kontaktu sa Savom. Debljina mu je od 5—15 m i povećava se postepeno idući prema mostu Mladosti. Međutim, i uzvodno utvrđena su lokalno veća odebljanja i to na mjestima gdje izostaje sloj gline, pa mladi i

stariji šljunci čine jedan vodonosnik. Provedbom pokusnih crpljenja — Geotehnika Zagreb (1973), na istražno eksploatacionim bunarima, utvrđeno je da je propusnost najmlađih šljunaka veća od onih starijih. Koeficijent filtracije prvog vodonosnog horizonta su oko $k = 2 \cdot 10^{-2}$ m/s a dubljih približno $k = 1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Dublji vodonosnici odvojeni su od prvog tj. najplićeg vodonosnika i između sebe slojevima nepropusne, jako zbijene gline, polučvrste do čvrste. Usljed toga, vertikalno procjeđivanje i obnavljanje vode je smanjeno. Pojačano napajanje vrši se na mjestima gdje su stariji šljunci u kontaktu sa najmlađima. Podzemna voda u horizontima je pod pritiskom, a nivo je uglavnom izjednačen sa razinom u najplićem vodonosniku.

Hydrogeološke karakteristike starijih horizonata kvartarnog vodonosnog kompleksa ne omogućavaju crpljenje značajnijih količina podzemne vode. Vodonosnici se mogu koristiti samo za podmirenje lokalnih potreba.

Ranijim istraživanjima (Miletić & Borčić 1967) dokazana je intenzivna infiltracija vode Save u prvi vodonosnik, osobito za visokih vodostaja. Kako se proširuju stara i otvaraju nova crpilišta i na desnoj i na lijevoj obali rijeke, novije analize mjerenja vodostaja pokazuju sve jače napajanje podzemlja za vrijeme visokih i za vrijeme niskih vodostaja rijeke. Eksploatacija vode danas se uglavnom vrši samo iz ovog prvog horizonta. Postojećim crpilištima na lijevoj strani Save prijete stalna opasnost od zagađenja uslijed intenzivne urbanizacije. Zbog toga ih smatramo pomoćnima, a za osiguranje novih količina vode moramo graditi nova izvorišta izvan ovog područja.

Šljunčane naslage na stupničkoj terasi također čine vodonosni horizont, koji je u površinskom dijelu zaštićen slojem gline, debljine i do 10 m. Glina usporava vertikalno procjeđivanje, pa je i tu obnavljanje ograničeno. Kako je pak vodonosnik nagnut prema rubu stepenice, podzemna voda se drenira u tom smjeru.

Područje nizvodno od mosta Mladosti

Na ovom prostoru, dokazano je naglo odebljanje naslaga kvartarnog vodonosnog kompleksa. Porast debljine uvjetovan je spuštanjem dna bazena duž rasjeda pravca SI—JZ, a nakon taloženja naslaga donjeg pleistocena (vidi tablu II).

Najniži dio, izgrađen pretežno od gline, utvrđen je između toplane i Petruševca na 90—120 m, a kod Oborova i dublje od 200 m. Kraj taloženja ovog starijeg dijela, karakteriziran je kao i uzvodno slojevima šljunka, pijeska i gline. I tu su naslage šljunka slabo do dobro vezane, a promjer zrna ne prelazi 50 mm. Idući od mosta Mladosti prema jugoistoku postepeno opada veličina zrna šljunka, te ovaj prelazi kod Lekena u pijesak.

Usljed spuštanja dna dijela bazena nizvodno od mosta Mladosti nakon taloženja starijeg dijela kvartarnog vodonosnog kompleksa, te izravnavanja terena duž profila u uzvodnom dijelu, uslijedilo je odlaganje debele serije tijekom srednjeg pleistocena. Kod toplane i Petruševca debljina ovih naslaga je 40—50 m, a nizvodno pri Oborovu prelazi

130 m. U sastavu na prostoru toplana — Rugvica, prevladava šljunak, a od Rugvice do Oborova pijesak. Veličina valutica šljunka doseže 100 mm, sa dubinom i idući prema jugoistoku opada. Nizvodno od Oborova šljunak izostaje, razvijen je samo pijesak.

U centralnom dijelu bazena erodirani su slojevi gline, pa se na potezu toplana — Mičevec — Čička Lazina javlja šljunčani horizont srednjeg pleistocena debljine i do 60 m. Međutim bočno, prema rubovima prisavske ravnice, a isto tako i nizvodno, odnosi se mijenjaju, glina je sačuvana, te se tu prati ritmičko odlaganje naslaga, stalna izmjena šljunka, pijeska i gline, a prisutan je i treset, koji se uglavnom pojavljuje na prelazu iz pijeska u glinu, a debljina mu doseže i do 2 m. Slojevi i proslojci treseta ukazuju da je odlaganje nanosa vršeno u plitkoj jezersko-močvarnoj sredini s obiljem raslinja. Također, unutar šljunčanih i pjeskovitih horizonata, bušenjem su dokazani i tanki proslojci, maksimalne debljine 0,3 m, dobro vezanog pijeska i šljunka vertikalno i horizontalno nepravilno raspoređeni. Vezivo je kalcijev karbonat. Pojave dobro vezanog šljunka i pijeska, u središnjem dijelu naslaga kvartarnog kompleksa, mogu se objasniti dijagenetskim procesima koji su nastupili uslijed povišene mineralizacije vode u pojedinim dijelovima bazena, a u toplijim razdobljima.

Naslage u najplićem dijelu, do dubine 18 m kod toplane, te 30 m u području Rugvice, čine završni dio kvartarnog vodonosnog kompleksa. Nizvodno od mosta Mladosti do Ivanja Reke, unutar šljunkovitih horizonata, prisutne su valutice i do 150 mm promjera. Samci ove veličine odloženi su u najnižem dijelu serije. Idući prema površini terena promjer valutica je manji, ne prelazi 100 mm. Naglo opadanje veličine zrna, utvrđeno je nizvodno od Ivanja Reke, te je na prostoru Rugvice šljunak prisutan samo dublje, u intervalu 20—30 m, međutim i u tom dijelu u mješavini prevladava pijesak. Opisani slijed gornje pleistocenskih nanosa prati se do Dubrovčaka, nizvodno šljunak izostaje, razvijen je samo pijesak.

U središnjem dijelu prisavske ravnice, na potezu toplana — Mičevec — Čička Lazina, granicu gornje i srednje pleistocenskih naslaga ne markira sloj gline, te su one u neposrednom dodiru i čine jedinstveni šljunčani horizont, mjestimice debeo i do 80 m. Prema sjevernom rubu bazena i nizvodno sačuvan je sloj gline. Glina je tu, razvijena i pliće.

Naglo zadebljanje gline utvrđeno je sjeverno i sjeveroistočno od linije koja spaja: Maksimir — Borongaj jug — Resnički Gaj — autoput — Ivanja Reka — Trstenik. Tu je i do dubine preko 20 m razvijena pretežno glina, a šljunčanih naslaga Save nema. Unutar gline prisutni su potočni nanosi Blizneca, Štefanovca, Trnave, Rijeke i Vugrova potoka. U sastavu zrna ovih nanosa prevladava zeleni škriljavac, kvarc, vapnenac i škriljavac, a valutice su slabo zaobljene i plosnate. Odlaganje ovog krupnozrnog nanosa, ϕ samaca do 100 mm, vršeno je u tri ciklusa. Utvrđeni odnosi ukazuju na smanjeni utjecaj Save, u ovom rubnom dijelu bazena, tijekom gornjeg pleistocena, te postepeno oblikovanje terena, slično današnjem.

Veća debljina naslaga kvartarnog vodonosnog kompleksa nizvodno od rasjeda (most Mladosti) čini ovaj prostor interesantnim za korištenje podzemnih voda. U pojedinim djelovima uz Savu, raspoložive re-

zerve podzemne vode su značajne, jer je prvi vodonosnik u direktnoj hidrauličkoj vezi sa rijekom, koja ga intenzivno napaja. Zbog toga se prema hidrogeološkim karakteristikama mogu izdvojiti zone perspektivne za otvaranje novih crpilišta. U ovim zonama izostaju slojevi gline, u neposrednom su dodiru starije i mlađe šljunčane naslage, koje izgrađuju prvi vodonosni horizont do dubine i 80 m. Na visoku propusnost naslaga ukazuju novi istražno-eksploatacioni bunari u području Petruševca. Bunari su bušeni do 40 m, i na njima su pumpanjem postignuti kapaciteti 270 l/s, uz sniženje od samo 0,7 m. Bunare je izvela Geotekhnika Zagreb (1981), a pod nadzorom Inženjersko projektnog zavoda i Geološkog zavoda.

Prema obodu bazena te idući nizvodno, hidrogeološki odnosi se mijenjaju, sačuvani su slojevi gline te je tu razvijen niz vodonosnih horizontata. Kao i uzvodno, podzemna voda u dubljim vodonosnicima je pod pritiskom, a piezometarski nivo u njima izjednačen je sa nivoom u prvom horizontu. Vertikalno obnavljanje vodom dubljih vodonosnika je malo, zbog slabe propusnosti slojeva gline, te su i raspoložive rezerve ograničene.

Izradom niza granulometrijskih analiza i njihovom obradom, utvrđeno je da sa dubinom opada veličina zrna šljunka. Također, idući prema niže položenim horizontima nanos je sve bolje i bolje sortiran, pa je u šljunčano pjeskovitim naslagama prisutno i do 5 % praha. Promjena granulometrijskog sastava utječe direktno na propusnost. Pliće položeni vodonosnici veće su, a dublji, manje propusnosti. Također i slabo do dobro vezani šljunci u dubljim horizontima smanjene su propusnosti.

Važno je naglasiti, da su zbog dosadašnjeg nepoznavanja prirodnih uvjeta a uslijed neplanskog provođenja istraživanja, dijelovi terena interesantni za otvaranje najperspektivnijih crpilišta znatno devastirani. Na ovim područjima, u stare napuštene šljunčare i rukavce Save, odlagan je i još se odlaže kruti gradski i tekući industrijski otpad. Također, značajan dio zemljišta zaposjela je tzv. prljava industrija, a presjeca ga i glavni gradski kolektor. U svrhu zaštite, već danas je potrebno pristupiti odstranjenju otpada i sanaciji šljunčanog horizonta, kako bi se spriječilo dalje širenje zagađenja u visoko propusni vodonosnik.

SAŽETAK

Temeljem analize rezultata istraživanja područja prisavske ravnice na dionici granica SR Slovenije — Rugvica izvršena je stratifikacija i hidrogeološka rajonizacija naslaga kvartarnog vodonosnog kompleksa.

Najniži dio kompleksa izgrađen iz gline s tankim slojevima sitnozrnog jednoličnog pijeska, smatramo, nastao je tijekom gornjeg pleistocena. Nakon njegova odlaganja, krajem gornjeg pliocena i početkom donjeg pleistocena nastupa period tektonskih pokreta. Refleks tektonske aktivnosti posebno je izražen uz ranije formirane rasjede, duž kojih dolazi do izdizanja ili spuštanja djelova terena. Hidrogeološke karakteristike naslaga ne omogućavaju značajniju eksploataciju podzemne vode, razvijeni su samo tanji slojevi pretežno sitnozrnog pijeska, te ovaj najniži dio kompleksa nije interesantan za vodoopskrbu.

Početak donjeg pleistocena, na promatranom dijelu postoje dva odvojena bazenska područja. To su samoborski bazen i bazen zagrebačkog posavlja. Međusobno su odvojeni podsusedskim pragom. Procesima erozije vrši se denudacija izdignutih dijelova, a koncentracija krupnozrnog materijala nastaje u manjim depresijama.

Uvjeti sedimentacije slični su kao i tijekom gornjeg pliocena tj. odlaganje se i dalje vrši u jezersko-močvarnoj sredini u koju povremeno tekućice nanose krupnozrni materijal. Zastupljenost šljunka i pijeska je ograničena vertikalno i horizontalno, te u ovom dijelu kompleksa još uvijek prevladava glina. Mineraloško-petrografski sastav šljunka ukazuje da su izvorna područja ovog krupnozrnog nanosa Samoborska i Zagrebačka gora, tj. rijeka Sava se tijekom donjeg pleistocena nije probila nizvodno od Brežica. Nakon odlaganja ovih naslaga, a zbog oživljavanja pokreta na starim rasjedima, dolazi do stepeničastog spuštanja terena i proboja savskih voda nizvodno od Brežica. Od granice sa SR Slovenijom do Rugvica formirana su četiri bloka: samoborski, podsusedski, blok od Podsuseda do mosta Mladosti te nizvodni od mosta Mladosti.

Usljed relativno mirne sedimentacije, tijekom donjeg pleistocena u jezersko-močvarnim uvjetima, sačuvani su pojedini ciklusi odlaganja naslaga, te su nastali šljunčani vodonosni horizonti izolirani debelim naslagama visoko zbijene, slabo propusne do nepropusne gline. Jedino u uskoj zoni uz podsusedski prag (samoborski bazen), vodonosnici su u hidrauličkoj vezi tj. nisu odvojeni slojevima gline. Granulometrijske analize šljunčanih i pjeskovitih naslaga pokazuju, da su ove dobro sortirane, a u sastavu je prisutno i do 5% praha i gline. Također, dijagenetskim procesima došlo je i do cementacije zrna, te su šljunci i pijesci slabo do dobro vezani.

Relativno niska propusnost vodonosnika uslijed dobro sortiranosti nanosa i cementacije zrna, te ograničeno obnavljanje podzemne vode, čine ove horizonte interesantnim samo za podmirenje lokalnih potreba vodoopskrbe.

Početak srednjeg pleistocena Sava se probija nizvodno od Brežica, te nanosi velike količine materijala u područje samoborske i zagrebačke depresije. Zasipavanje bazena slijedi postepeno, jer jaki vodni valovi povremeno i naglo odlažu vučeni nanos. Usljed toga, na uzvodnom dijelu, tijekom početka srednjeg pleistocena, dolazi do velike koncentracije krupnozrnog nanosa.

U mlađim ciklusima rijeka erodira korito i bokove, vrši izravnjanje terena duž profila, te premješta odloženi nanos nizvodno. Zbog toga su naslage srednjeg pleistocena sačuvane na ovom prostoru samo u uskoj zoni uzvodno od podsusedskog praga te na sv. nedeljansko-rakitskoj i stupničkoj terasi. U centralnom i sjevernom dijelu zagrebačkog posavlja (između podsusedskog praga i mosta Mladosti) su otplavljene. Odložene su nizvodno od rasjeda Botinec — most Mladosti, te je tu bušenjem utvrđena debela serija naslaga srednjeg pleistocena. U sastavu prevladava šljunak i pijesak, a veličina zrna se postepeno povećava idući od niže položenih horizonata prema plićim.

Geomorfološke odlike i strukturni sklop naslaga srednjeg pleistocena uvjetuje i njihove hidrogeološke karakteristike. Na području sv. nedeljansko-rakitske i stupničke terase vodonosnici su ograničene debljine

i u površinskom dijelu prekriveni debelim slojem gline. Obnavljanje podzemne vode je ograničeno, te se ona može koristiti samo za podmirenje lokalnih potreba. Nizvodno od rasjeda Botinec — most Mladosti, ove naslage predstavljaju bogat rezervoar podzemne vode. U pojedinim zonama — Petruševac — Mičevac — Čička Lazina, raspoložive rezerve su značajne, jer se obnavljanje može vršiti nesmetano u vertikalnom smjeru. Tu su uslijed povoljnih hidrogeoloških odnosa u neposrednoj hidrauličkoj vezi stariji i mlađi šljunci, koji zajedno čine jedinstveni I vodonosni horizont, mjestimice debeo i do 60 m. Međutim, bočno i nizvodno, gdje su horizonti međusobno odvojeni slojevima gline, prihranjivanje je ograničeno.

Krajem srednjeg te početkom gornjeg pleistocena smiruje se tektonska aktivnost i počinje odlaganje najplićeg dijela kvartarnog vodonosnog kompleksa. Uzvodno, granica SR Slovenije — most Mladosti, debljina ovih naslaga je do 15 m, nizvodno postepeno raste, te na dijelu Oborovo — Dubrovčak, doseže do 30 m. I tu, kao i u srednjem pleistocenu, u sastavu nanosa prevladavaju šljunak i pijesak. Prostiranje ovih naslaga horizontalno je ograničeno nanosima jačih pritoka te sv. nedejljansko-rakitskom i stupničkom terasom, što ukazuje na opadanje utjecaja Save. Međutim, naplavlivanje novog i premještanje ranije odloženog materijala i dalje se nastavlja samo na užem prostoru, te su šljunci u ovom dijelu kompleksa najkrupnozrniji i dopiru nizvodno čak do Dubrovčaka.

Intenzivno naplavlivanje i premještanje nanosa u uzvodnom dijelu porječja omogućilo je nastanak jedinstvenog vrlo krupnozrnog i šljunčanog vodonosnog horizonta, visoke propusnosti. Iznimno uz rubove bazena, prisutni su i rijetki proslojci gline. Međutim nizvodno od Petruševca i Čičke Lazine, uslijed relativno mirne sedimentacije, prate se pojedini ciklusi odlaganja nanosa, te su tu u ovom najmlađem dijelu kompleksa razvijena 2—3 vodonosnika. Sava je od Brežica do Ivanje Reke plitko usječena u ovim naslagama, korito je viseće, te se vrši intenzivna infiltracija vode iz rijeke u podzemlje. Zbog toga su i raspoložive rezerve značajne. Intenzitet infiltracije stalno se povećava, a kako se otvaraju nova crpilišta. Nizvodno pak od Ivanje Reke zasjecanje Save u teren je dublje, a također su i viši nivoi podzemne vode uslijed danas zanemarivo male eksploatacije, te rijeka tu drenira podzemlje. Iznimno za visokih vodnih valova proces je obrnut.

Primljeno: 20. 12. 1986.

LITERATURA

- Borčić, D., Capar, A., Čakarun, I., Kostović, K., Miletić, P. & Tufekčić, D. (1968): Prilog daljnjem poznavanju aluvijalnog vodonosnog horizonta na širem području Zagreba. *Geol. vjesnik*, 21, 303—309, Zagreb.
- Crnković, B. & Bušić, M. (1970): Mineraloško-petrografski sastav nanosa rijeke Save. Zbornik radova Rud.-geol. naft. fak., Sveuč. u povodu 30 g. rada (1939—1969), 133—140, Zagreb.
- Čakarun, I. (1981): Hidrogeološki istražni radovi u svrhu utvrđivanja nultog stanja za potrebe NE Krško. Arhiv Geol. zavoda br. 8167/1.
- Gorjanović-Kramberger, D. (1888): Zagrebački vodovod sa gledišta geološkog i hidrografijskoga. *Glasnik Hrv. naravosl.društva*, 3, 325—328, Zagreb.

- Gorjanović-Kramberger, D. (1907): Da li je bila gora Zagrebačka oledena i kako je postala zagrebačka terasa. *Glasnik Hrv. naravosl. društva*, 19, 37—43, Zagreb.
- Gorjanović-Kramberger, D. (1908): Geološka prijegledna karta Kraljevine Hrvatske—Slavonije. Tumač geologijskoj karti Zagreb (Zona 22, Col. XIV). Nakl. Kralj. zemalj. vlade, Odjel unutar. poslove, II + 75, 6 sl., Zagreb.
- Heinz, A. (1888): Bakteriološka analiza zagrebačkih pitkih voda. *Glasnik Hrv. naravosl. društva*, 3, 286, Zagreb.
- Kranjec, V., Prelogović, E. & Hernitz, Z. (1972): Strukturno-geomorfološko proučavanje neotektonskih gibanja u dijelu Posavine između Zagreba i Siska, te obziri na planiranje gradnji. Zbornik radova 2. jugosl. simp. hidrogeol. inž. geol., Sarajevo, 2, 163—186, Beograd.
- Miletić, P. & Borčić, D. (1967): Prilog poznavanju podzemnih voda na području Zagreba. *Geol. vjesnik*, 20, 285—291, Zagreb.
- Novinska, N., Miletić, P., Borčić, D. & Tufekčić, D. (1967): Prilog poznavanju aluvijalnog vodonosnog horizonta na užem području Zagreba. *Geol. vjesnik*, 20, 293—301, Zagreb.
- Pilar, Đ. (1889): Zagrebački vodovod sa gledišta geološkoga i hidrografijskoga. *Glasnik Hrv. naravosl. društva*, 4, 165—179, Zagreb.
- Sare, I. & Miletić, P. (1978): Neki aspekti korištenja, istraživanja i zaštite podzemnih voda u Zagrebu. Simp. istraž. eksploat. gospod. podzemnim vodama, Zbornik referata, 716—796, Zagreb.
- Sikić, K., Basch, O. & Simunić, A. (1979): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Zagreb 233—280, Inst. geol. istraž. Zagreb (1972), Sav. geol. zavod, 81 str., Beograd.
- Simunić, A. & Basch, O. (1975): Stratigrafija kvartarnih sedimenata Zagrebačkog Posavlja. *Geol. vjesnik*, 28, 153—164, Zagreb.

Geological and Hydrogeological Characteristics of the Quaternary Water-bearing Complex of the River Sava Plain (On the section from the boundary with S. R. Slovenia to the Rugvica village)

I. Cakarun, V. Mraz, Z. Babić, R. Mutić, A. Sokač and D. Franić

On the basis of the analysis of the results of the research carried out in the River Sava Plain (stretching from the boundary with S. R. Slovenia to the Rugvica village), lithostratigraphic and hydrogeological classification of the Quaternary water-bearing complex has been carried out.

The basal part of the Quaternary complex consists of clay with thin intercalations of fine-grained sand. We consider it to be of the Upper Pliocene age. After its deposition — at the end of the Upper Pliocene and at the beginning of the Lower Pleistocene — a period of tectonic movements occurred. These were most strongly reflected along the already existing faults, where parts of the terrane were sunk or uplifted. Because of its hydrogeological properties, this lowermost part of the complex is of no interest for water supply — it contains but thin intercalations of predominantly fine-grained sand.

At the beginning of the Lower Pleistocene, in the area investigated there existed two separate basins. These are the Samobor Basin and the Zagreb Sava plain Basin. They are separated by the Podsused threshold. The uplifted parts were subject to erosion and denudation and the coarse-grained material was being concentrated in small depressions. The conditions of deposition were similar to those during the Upper Pliocene, i. e. the deposition took place in a lacustrine-marshy environment, with sporadic influx of the coarse-grained material by streams. The amount of gravel and sand is restricted in both vertical and horizontal profiles with clay still predominating in that part of the complex. The mineralogical-petrographical composition of the sand indicates that the source region for these

coarse-grained alluvial deposits were the Medvednica Mountain and the Samobor Mountain, thus proving that the Sava river, at that time, did not clear its way further downstream of Brežice. After the deposition of these deposits, and due to the reactivation of the pre-existing faults, the stepwise sinking of the terrane and the break-through of the Sava water downstream of Brežice occurred. From the boundary with S. R. Slovenia to Rugvice village four blocks have been formed: the Samobor block, the Podsused block, the block between Podsused and the Youth Bridge, and the block downstream of the Youth Bridge.

Due to comparatively quite sedimentation in the lacustrine-marshy environments during the Lower Pliocene, individual cycles of the deposits have been preserved, giving rise to water-bearing gravel horizons, separated («insulated») by thick layers of highly compacted, poorly permeable to impermeable clay. Only in a narrow zone near the Podsused threshold (Samobor Basin), the water-bearing horizons are hydraulically connected, i. e. not separated by clay layers. Granulometric analyses of the gravel and sand deposits show good sorting; they contain up to 5% dust and clay admixtures. In addition, diagenetic processes have caused the cementation of the grains, so that sand and gravel are weakly to well consolidated.

Due to comparatively low permeability of the water-bearing horizons (because of good sorting and cementation of grains) and to limited renewal of subsurface water, these horizons are of interest to only local needs of water supply.

At the beginning of the Middle Pleistocene, Sava river has cleared its way also downstream of Brežice, thus the Zagreb and the Samobor depressions filling with large amount of material. The filling of the basins occurred gradually, because strong streams and/or waves sporadically and abruptly laid down the transported material. Therefore, during the beginning of the Middle Pleistocene, large amounts of coarse-grained material have accumulated upstream.

In younger cycle, the river eroded its bed and the flanks, leveled the terrane along the valley profile and transported the accumulated material more downstream. Therefore, the Middle Pleistocene deposits are nowadays preserved only in a narrow zone upstream of the Podsused threshold and on the Sv. Nedelja—Rakitno and Stupnik terraces. In the central and northern parts of the Zagreb Sava plain (between the Podsused threshold and the Youth Bridge), the Middle Pleistocene deposits have been flooded away. They have been redeposited downstream of the Botinec—Youth Bridge fault, where the drilling has shown a thick series of the Middle Pleistocene deposits to exist. Gravel and sand predominate in their composition, and the grain size gradually increases going upwards.

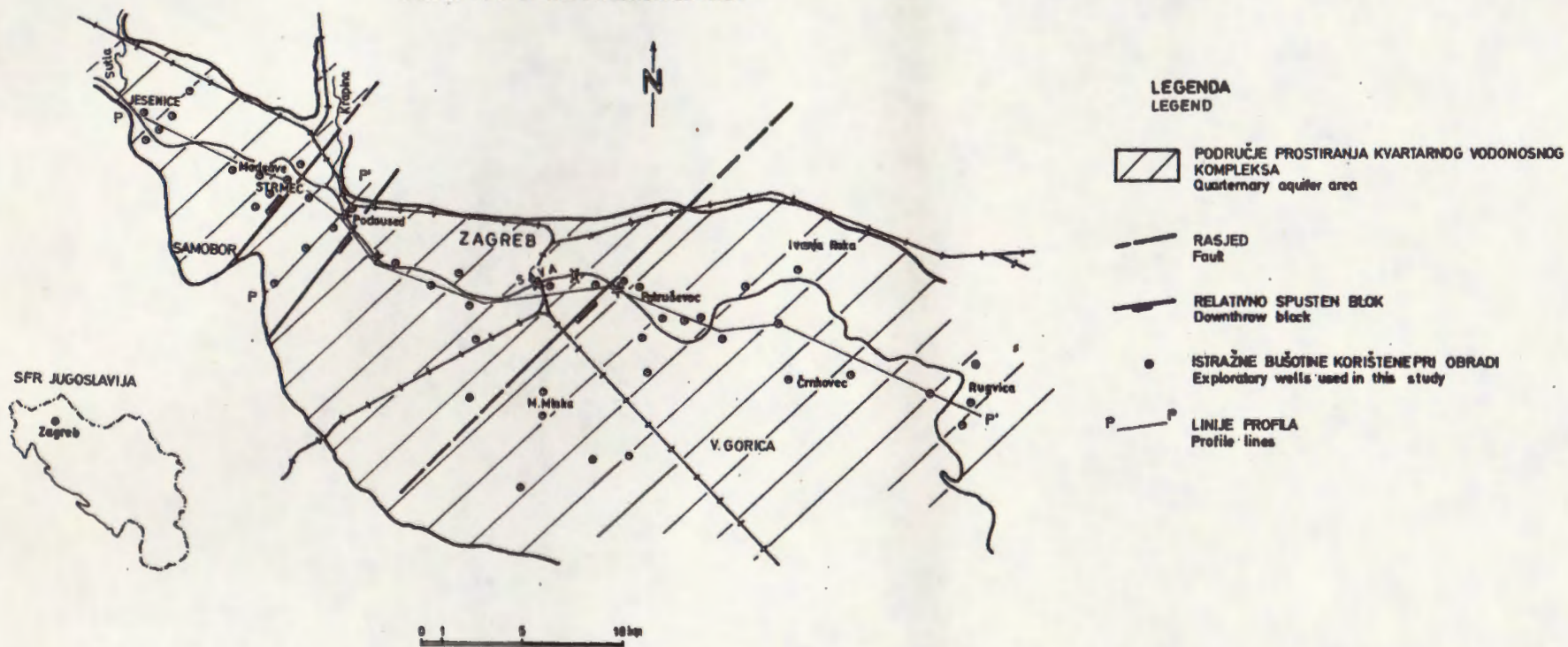
The geomorphological characteristics and the structural pattern of the Middle Pleistocene deposits determine their hydrogeologic properties. In the areas of the Sv. Nedelja—Rakitno and Stupnik terraces the water-bearing horizons are not very thick and covered by thick layers of clay in their surface parts. The renewal of the ground water is limited, so that it may be used only to meet the local needs. Downstream of the Botinec—Youth Bridge fault, however, these deposits form a rich ground-water aquifer. In certain zones — Petruševac, Mičevac, Čička Lazina — the available resources are considerable, because the renewal can take place unhindered in the vertical direction. Here, due to suitable hydrogeologic relations, the older and the younger gravel horizons are in direct hydraulic connection, thus forming a common and uninterrupted aquifer, at places even up to 60 m thick. Laterally and more downstream, however, where the gravel horizons are separated by clay layers, the capacity is more limited.

At the end of the Middle and at the beginning of the Upper Pleistocene, the tectonic activity ceased and the deposition of the shallowest part of the Quaternary water-bearing complex took place. More upstream, from the Slovenian boundary to the Youth Bridge, the thickness of these deposits is up to 15 m, slowly increasing downstream and reaching 30 m in the Oborovo — Dubrovčak region. Here also, as in the Middle Pleistocene, sand and gravel dominate in the composition of the material. Their horizontal distribution is limited both by alluvial deposits laid down by strong tributaries and by the Sv. Nedelja and the Stupnik terraces, thus indicating the weakening of the Sava river influence. However, the deposition of the new and the transport and redeposition of the already deposited material continued, so that the gravels in this part of the Quaternary water-bearing complex took place. More upstream, from the Slovenian even to Dubrovčak.

The intensive deposition and transportation of the material in the upstream part of the river-basin has enabled the formation of an uninterrupted, very coarse-grained and highly permeable gravel aquifer. Occasionally, along the basin margins, rare clay intercalations occur. However, downstream of Petruševac and Čička Lazina, individual cycles of deposition can be traced, due to comparatively quiet sedimentation, resulting in 2–3 separated aquifers. From Brežice to Ivanja Reka, Sava river has cut its shallow bed into these deposits. In fact, it is a »hinging bed«, so that the water from the river is intensively filtered into the subsurface. Therefore the available resources are considerable. As more new pumping stations are being opened, the intensity of the infiltration increases. Contrary to that, downstream of Ivanja Reka, the bed of Sava river is deeper cut and at the same time the ground water level is higher (due to very low exploitation nowadays), so that here the subsurface is drained by the river. Exceptionally at the time of high water waves, the process is reversed.

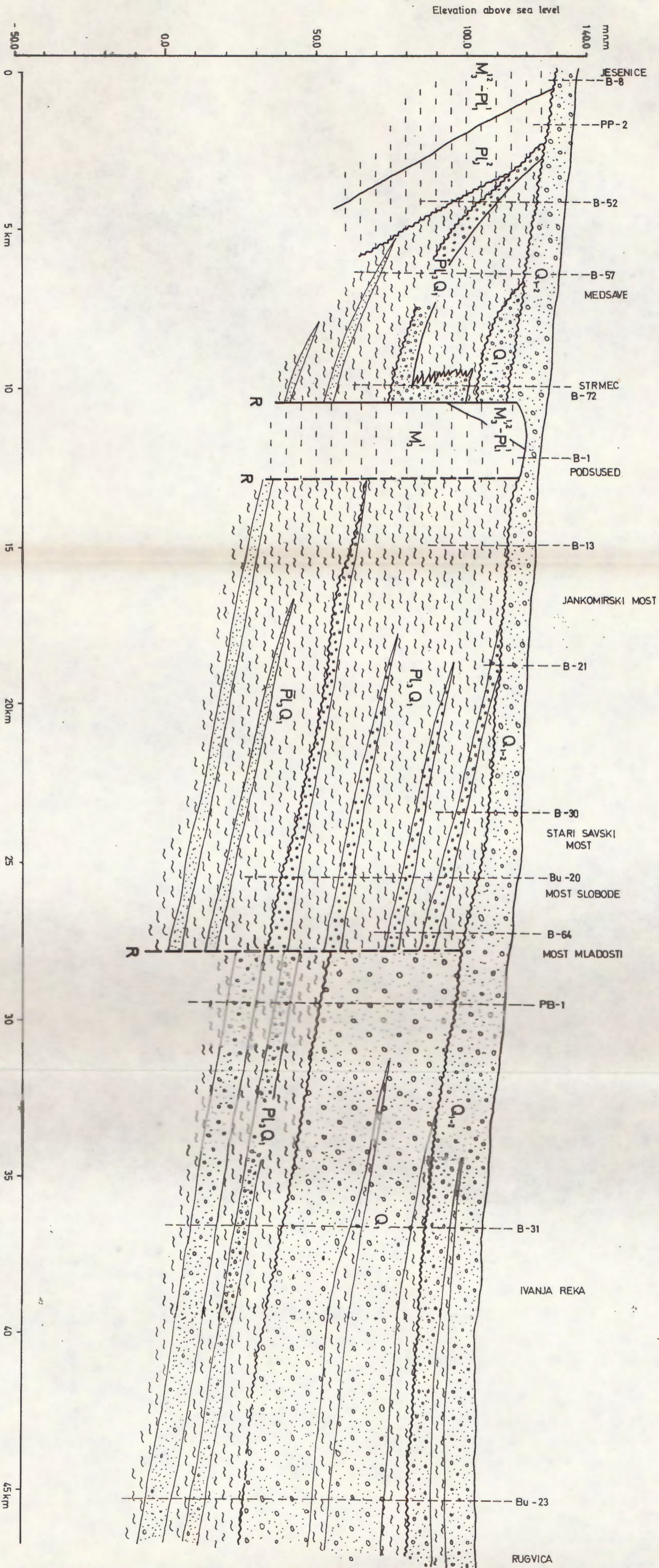
SKICA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA
SKETCH-MAP OF THE INVESTIGATED AREA

TABLA-PLATE I

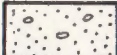

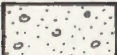
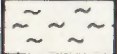
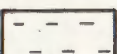


SHEMATSKI HIDROGEOLOŠKI PROFIL DUŽ TOKA SAVE OD JESENICA DO RUGVICE
 SHEMATIC HYDROGEOLOGIC CROSS SECTION ALONG THE RIVER SAVA FROM JESENICA TO RUGVICA

TABLA-PLATE II



LEGENDA - LEGEND

 <p>Q₁₋₂</p>	<p>GORNJI PLEISTOCEN - HOLOCEN Vrlo krupnozrni šljunci i pijesci UPPER PLEISTOCENE TO HOLOCENE Very coarse-grained gravels and sands</p>	<p>VISOKO PROPUSNE NASLAGE MOST PERMEABLE DEPOSITS</p>
 <p>Q₁</p>	<p>SREDNJI PLEISTOCEN Krupnozrni do sitnozrni šljunci i pijesci MIDDLE PLEISTOCENE Coarse to fine-grained gravels and sands</p>	<p>DOBRO PROPUSNE NASLAGE VERY PERMEABLE DEPOSITS</p>
 <p>Pl₃ Q₁</p>	<p>GORNJI PLIOCEN - DONJI PLEISTOCEN Srednjezrni do sitnozrni nevezani do dobrovezani šljunci i pijesci UPPER PLIOCENE TO LOWER PLEISTOCENE Medium to fine grained loose to wet-cemented gravels and sands</p>	<p>PROPUSNE NASLAGE PERMEABLE DEPOSITS</p>
 <p>Q₁₋₂ Q₁ Pl₃ Q₁</p>	<p>GLINE CLAYS</p>	<p>SLABO PROPUSNE DO NEPROPUSNE NASLAGE-IZOLATORI LOW PERMEABLE TO IMPERMEABLE DEPOSITS CONFINING BEDS</p>
 <p>M₃¹; M₃^{1,2}; Pl₁¹ Pl₁²</p>	<p>GORNJI MIOCEN I DONJI PLIOCEN Pretežno lapori UPPER MIOCENE AND LOWER PLIOCENE Mainly marls</p>	<p>SLABO PROPUSNE DO NEPROPUSNE NASLAGE LOW PERMEABLE TO IMPERMEABLE DEPOSITS</p>

RASJED
FAULT

~~~~~  
EROZIJSKO DISKORDANTNA GRANICA  
EROSIONAL CONTACT

Čakarun, I. et al.: Kvartarni vodonosni kompleks

