

DINKA BORČIĆ, ANDRIJA CAPAR, IVAN ČAKARUN, KSENIJA KOSTOVIĆ,
PAVAO MILETIĆ i DARKO TUFEKČIĆ

PRILOG DALJNJEM POZNAVANJU ALUVIJALNOG VODONOSNOG HORIZONTA NA ŠIREM PODRUČJU ZAGREBA

S 2 priloga

Najnoviji podaci o građi i položaju šljunčano-pjeskovitog horizonta na širem području Zagreba doveli su do velike izmjene u upoznavanju prostornog rasporeda i oblika ovog horizonta.

UVOD

Poznavanje podzemnih voda na širem području Zagreba usko je povezano s poznavanjem rasprostranjenosti i litološkog sastava aluvijalnog vodonosnog horizonta. Radovi u smislu rješavanja tog problema započeti su godine 1965 a nastavljeni su tokom 1966/67 sredstvima poduzeća »Elektroprivreda« iz Zagreba (Čakarun i dr., 1967), Skupštine grada Zagreba, Direkcije za Savu i »Kanalizacije« Zagreb (Capar i dr., 1967). Sve navedene radove kao i njihovu interpretaciju izvršio je Institut za geološka istraživanja iz Zagreba u suradnji s RGN fakultetom također iz Zagreba.

U ovom radu obrađuju se podaci o rasprostranjenosti i litološkom sastavu vodonosnog horizonta (prilog 1) s posebno izrađenom kartom starih korita Save (prilog 2).

Kako po području tako i po sadržaju istraživanja ova publikacija je slična ranije publiciranim materijalima (Nowinska i dr., 1967.). Nastavljena istraživanja pružila su međutim mogućnost znatno točnijem poznavanju debljina i litoloških karakteristika vodonosnog horizonta. Kako ove promjene imaju utjecaja na sve zahvate na cilju regulacije Save, zaštite Zagreba i vodosnabdjevanja a i odgovarajuću naučnu vrijednost, jer dokazuju aktivnost i diferencijalno kretanje manjih tektonskih blokova u dolini Save tokom kvartara, kao i mogućnost registracije starih savskih korita, to smatramo da su od interesa za širu stručnu javnost. Ovo saznanje nas je ponukalo da ih i objavimo.

Zahvaljujemo se na susretljivosti Skupštini grada Zagreba, Direkciji za Savu, »Kanalizaciji« Zagreb, Vodovodu grada Zagreba i »Elektroprivredi« Zagreb, koji su financijski omogućili izvođenje navedenih radova i pružili pomoć kod prikupljanja i obrade podataka. Posebno

zahvaljujemo svim kolegama za pomoć kod prikupljanja i interpretacije podataka, naročito ing. S. Reštaroviću, ing. M. Roudnickom, ing. Z. Selancu, dr ing. E. Svetličiću, ing. Špigelski i D. Vukovojcu.

DOPUNSKI ISTRAŽNI RADovi I PRIKUPLJANJE PODATAKA

Rezultati istraživanja izvedenih godine 1965/66 kao i interpretacija ranijih podataka sadržani su u publikaciji Nowinske i dr. (1966).

U cilju razjašnjenja nekih spornih problema i poboljšanja tačnosti postojeće karte rasprostranjenosti vodonosnog horizonta iz gore citiranog članka, izvršeni su u godini 1966 i 1967 dopunski istražni radovi. Oni su obuhvatili pliće geoelektrično sondiranje na 260 lokaliteta, dublje strukturno bušenje od cca 10 do preko 70 m dubine na 13 lokaliteta, pliće prospektorsko bušenje od 5—10 m dubine na cca 180 lokaliteta, granulometrijske analize materijala iz gotovo svih izvedenih bušotina i sređivanje svih novijih i dostupnih arhivskih podataka o vodonosnom horizontu. Sve lokacije nanesene su na kartu, prilog 1. Za dopunsku interpretaciju korišćena su i novija geotehnička i ostala istraživanja, izvedena na ovom terenu.

Prilikom sređivanja geotehničkih izvještaja pojavio se problem popisa literature, koji bi zauzimao mnogo prostora. Zato ovdje dajemo samo popis autora koji su vršili istraživanje abecednim redom, a detaljniji uvid u geotehničku dokumentaciju može se dobiti u Institutu za geološka istraživanja iz Zagreba ili u Geodetskom zavodu grada Zagreba. Autori radova su: Z. Eiler, M. Fijember, V. Horvatić, G. Hubeny, I. Kleiner, D. Kos, J. Mojsisović, B. Percel, F. Poturić, L. Prebeg, I. Rečaj, M. Roudnicki, Z. Sever, T. Shek, A. Strmac, S. Szawits Nossan, M. Štajduhar, Z. Tušar i R. Vinček.

Podaci dobiveni na mehaničkim bušotinama koje su nabušile glinovitu podlogu bile su osnova za interpretaciju podataka geoelektričnog sondiranja. Osnovne geoelektrične karakteristike kvartarnih narosa bile su sljedeće: *pokrovni slojevi* — pjeskovita glina i humus — imaju otpore manje od 100 ohmm; *šljunčano pjeskoviti horizont* na nekim mjestima je dovoljno jednoličan da ga geoelektrički izdvajamo kao jednu cjelinu s vrijednostima specifičnog otpora od cca 200—400 ohmm, dok je na drugima, kao na bušotinama BS-2, 290, BS-5 (prilog 2), rezultate bušenja i geoelektričnog sondiranja moguće uskladiti jedino na taj način da se šljunčano-pjeskoviti horizont razdijeli u dva dijela — gornji s otporima i preko 1000 ohmm i donji s normalnim vrijednostima otpora od 200—400 ohmm.

Iz navedenog proizlazi da su dobivena dva tipa dijagrama sondiranja. Jedan je troslojni tip krivulje »K« s pogreškama procjena debljina od 10%, a drugi četveroslojni tip »AK« s pogreškama debljina od približno 15%.

Prema granulometrijskim dijagramima izvršen je račun koeficijenta propusnosti prema formulama $k = 1,16 d_{10}^2$ odnosno $k = 0,36 d_{20}^2$.

TUMAČ PRILOŽENOJ KARTI IZOBATA KROVINE I IZOPAHA SLJUNČANO-PJESKOVITOG HORIZONTA

Tokom istraživanja vršeno je vertikalno raščlanjivanje horizonata prema njihovim litološkim karakteristikama.

Krovinski dio je određen kao pokrivač promjenljivog sastava od čistog pijeska, pijeska s manje ili više prašine do pjeskovito-prašinate gline.

Uodonosni horizont je po litološkom sastavu šljunak i pijesak s nešto manje proslojaka pjeskovite prašine i gline. Od tih sastojaka prevladava šljunak s nešto pijeska. Zato taj horizont nazivamo šljunčano-pjeskoviti horizont. Na čitavom istraživanom području šljunak nije jednolikog sastava. Promjenljivost sastava pijeska i šljunka utječe na promjene njegove propusnosti, rezultata geoelektričnog sondiranja itd. U regionalnom smislu za taj horizont je utvrđeno da na zapadu pretežu krupnozrni šljunci, a na krajnjem istočnom rubu područja dolaze sitnozrni šljunci i pijesci koji su često i zaglinjeni.

Podina šljunčano pjeskovitog horizonta je po sastavu smeđa šljunkovita glina u najgornjem dijelu i masna sivo-plava glina odmah ispod nje. Budući da su sve duboke bušotine registrirale sivo plavu glinu i da je njen kontinuitet rasprostranjenosti potvrđen geoelektričnim sondiranjem, ona je uzeta kao provodni horizont, koji označava podinu. Starost podine nije određena. Izgledom i sastavom podinske taložine slične su izdancima pleistocenskih i mlađih pliocenskih naslaga zagrebačke terase. Ovaj sasvim novi element omogućio je eliminiranje pogrešaka nastalih zamjenom lećastih pojava glina u vodonosnom horizontu s njegovom stvarnom podinom.

U pogledu propusnosti utvrđeno je na osnovu granulometrijskog sastava da je propusnost krovine u granicama $k = 10^{-3}$ do 10^{-6} cm/sek, vodonosnog horizonta $k = 10^0$ do 10^{-2} cm/sek i podine $k = 10^{-6}$ do 10^{-8} cm/sek. Ovi pokazatelji potvrđeni su i rezultatima crpljenja Vodovoda grada Zagreba za lokalitet Mala Mlaka.

Ustanovljene su značajne promjene u odnosu na publicirani rad (Nowinska i dr., 1967) i to naročito u pogledu debljine vodonosnog horizonta.

Izobate krovine (prilog 1)

Na osnovu rasporeda izobata krovine uočava se nekoliko karakteristika značajnih za čitavo istraživano područje.

U prvom redu to je *položaj izobata* obzirom na tok Save. Duž čitavog područja izobate su manje više paralelne toku Save. Odstupanja su uglavnom od lokalnog značaja (vidi prilog 1).

Druga karakteristika je *debljina pokrivača* u odnosu na udaljenost od Save. Najveća debljina krovine je na sjevernom rubu promatranog područja, uglavnom između 5 i 7 m. Maksimalna debljina ustanovljena je kod stadiona »Dinamo« na dvije bušotine, od kojih je jedna probušila krovinu na 14,5 m, a druga tek na 17,0 metara. Prema Savi postepeno se smanjuje debljina pokrivača na manje od 1 metar, da bi se dalje prema jugu ponovo povećala ali do manjih vrijednosti nego na sjeveru (cca 3 — 5 metara).

Treća karakteristika je *povećanje debljine krovine* od zapada prema istoku, tj. u smjeru toka Save. Zapravo se to najbolje vidi ako se promatra situacija uz samu Savu. Kod Podsuseda je debljina krovine manja od 1 metar, kod Mosta Slobode je cca 2 metra, kod Jakuševca 3 metra, a kod Mičevca je već 4 metra.

Izopaha šljunčano-pjeskovitog horizonta (prilog 1)

Iz karte proizlazi općenita zakonitost — *smanjenje debljine šljunčano-pjeskovitog horizonta prema rubovima bazena*, naročito na sjeveru. Granica je Podsused, Vrapče, Ilica, Vlaška ulica, Borongaj, Resnik, s debljinama manjim od 10 metara. Osim na rubu bazena iste se debljine javljaju još lokalno, najčešće u zapadnom dijelu (vidi prilog 1). Najmanja debljina registrirana je na području Podsused—Jankomir (tvornica »Jedinstvo«). Tu imamo debljine čak manje od 5 metara.

Druga opća pravilnost je *porast debljine horizonta od zapada prema istoku*, što je utvrđeno i ranijim radom (Nowinska i dr., 1967). Postoje međutim vrlo velike razlike u pogledu debljine horizonta na velikom dijelu promatranog područja. Najveća debljina horizonta u zapadnom dijelu registrirana je dubokom strukturnom bušotinom L-3 i iznosi 25 metara. Istočno od linije Brezovica—Novi Zagreb—Vukomelec debljina šljunčano-pjeskovitog horizonta počinje se povećavati. Ustanovljeno je nekoliko maksimuma. Jedan je na geoelektričnoj sondi 5/IX u Jakuševcu (cca 55 metara), drugi na sondama 10/VIII i 11/VIII istočno od Klare (cca 35 metara), i treći na bušotini XVIII između Male Mlake i Odre (više od 35 metara). Dalje dolazi jedan minimum na potezu Mičevac—Resnik od cca 25 metara (sonda 17/X), odnosno cca 20 metara (sonde 1—8/XII, 7 i 8/X). Istočno imamo nekoliko maksimuma, koji su registrirani na geoelektričnom profilu F. Karakteristična su dva ekstremna maksimuma od preko 100 metara debljine horizonta kod Ščitarjeva i Črnkovca.

Ako pogledamo iznijete promjene u debljini šljunčano-pjeskovitog horizonta (prilog 1) i usporedimo ih s rasjedima koji su ustanovljeni seizmičkim mjerenjima (Gjetvaj, 1965) vidimo u velikoj mjeri njihovo podudaranje. Usporednim promatranjem moguće je nesumnjivo zaključiti da su neki od rasjeda bili aktivni tokom većeg dijela kvartara, pa je uslijed sukcesivnog spuštanja blokova dolazilo do veće koncentracije grubo klastičnog materijala. To se naročito odnosi na područja Selnica—Ribnica—Poljana, Obrežina—Ščitarjevo—Novaki, Petruševac—Jakuševac—Velika Mlaka, Klara—Odra—Mala Mlaka i Lučko—Blato.

Samo ta konstatacija navodi nas na pomisao da bi daljnja i detaljna analiza debljine šljunčano-pjeskovitog horizonta duž registriranih rasjeda omogućila tačnije otkrivanje aktivnih tektonskih ploha i relativne

ocjene intenziteta te aktivnosti, a time i selekciju rasjeda koji su zanimljivi za promatranje problema seizmičke rajonizacije i mikrorajonizacije gradskog područja.

TUMAČ PRILOŽENOJ KARTI STARIH KORITA SAVE

Budući da su podaci geoelektričnog mjerenja najpravilnije raspoređeni na području istraživanja i da su geoelektrični profili redovito postavljeni okomito na promjene u sastavu šljunčano-pjeskovitog horizonta, koristimo se rezultatima geoelektrike da damo definiciju njegovog litološkog sastava. Slijedeći geoelektrične profile nailazimo na velike i česte promjene u litološkom sastavu vodonosnog horizonta. Za primjer ćemo uzeti geoelektrični profil A, a slična je situacija i na ostalim profilima.

Za profil A treba istaći uočljivo smanjenje specifičnih otpora šljunčano-pjeskovitog horizonta na njegovom sjevernom, a još izrazitije na južnom kraju. Već od sonde 27 prema 36 specifični otpori se postepeno smanjuju od 380 na 90 ohmm. Ako usvojimo da je tome uzrok postepeno zaglinjenje onda možemo govoriti da se vodopropusnost također smanjuje u tom pravcu. Na sondama 37 i 38 otpori srednjeg sloja su tako mali (30—40 ohmm), da ih možemo smatrati glinovitim pijescima vrlo male propusnosti. Druga polovina profila od sonde 4 do 25 tipična je radi mjestimične pojave visokootpornog sloja u šljunčano-pjeskovitom horizontu. To su pojave ograničene širine, koje su registrirane na sondi 3 sa specifičnim otporima sa 620 ohmm. Na sondama 2, 1 i 5 nije prisutan, da bi se ponovno javljao na sondama 6 i 7 i tako u naizmjeničnom poretku sve do sonde 25 (prilog 2).

Iz gornjeg vidimo da je *šljunčano-pjeskoviti horizont moguće podijeliti na većem broju geoelektričnih sondi u dva dijela*: gornji s velikim preko 1000 ohmm i donji s manjim 200—400 ohmm geoelektričnim otporima. Otpori za obje izdvojene sredine pokazuju zakonitu promjenu smanjenja od zapada prema istoku.

Sredine s povećanim geoelektričnim otporima javljaju se u formi leća. Ukoliko izdvojene leće visokootpornog sloja prostorno povežemo, dobivamo čitav *sistem korita* koji se divergentno prostire prema istoku i većim dijelom završava iza profila E (prilog 2). Iznimku čini korito koje siječe profil E na sondi 6 i 7 i proteže se prema profilu F. Obzirom dakle na smjer rasprostiranja korita, možemo sa sigurnošću tvrditi da je visoko otporni sloj šljunčano-pjeskovitog horizonta također formiran smjerom toka rijeke Save, zapad—istok. Položaj ovih korita nameće nam zaključak da se u ovom slučaju radi o prvom registriranju *starih savskih tokova*, danas prekrivenih mladim nanosima.

Za preostali dio šljunčano-pjeskovitog horizonta rekli smo da teži smanjenju specifičnog otpora od zapada prema istoku, ali istovremeno

i prema rubovima bazena. Maksimalne vrijednosti specifičnog električnog otpora kreću se od profila I/65 do VII a/65 u granicama od 300 do 480 ohmm. Nakon profila VII a prema istoku slijedi jedan opći porast debljine nanosa i tu se maksimalne vrijednosti specifičnog otpora kreću od 200 do 300 ohmm. Ako usvojimo da je zaglinjenje faktor koji utječe na sniženje otpora, onda možemo zaključiti da se u tim razmjerima smanjuje i vodopropusnost kvartarnih nanosa.

Primljeno 8. 12. 1967.

Rudarsko-geološko-naftni fakultet,
Zagreb, Pierotijeva 6

Institut za geološka istraživanja,
Zagreb, Kuška 2

LITERATURA

- Capar A., Borčić D., Čakarun I., Kostović K., Miletić P. & Tufekčić D. (1967): Zagreb, Hidrogeološki izvještaj 1966/67. Inast. geol. istr. Zagreb.
- Čakarun I., Borčić D., Capar A., Kostović K., Miletić P. & Tufekčić D. (1967): HE Srednje Save. Izvještaj o preliminarnim hidrogeološkim istraživanjima. Inst. geol. istr. arh. 58/67. Zagreb.
- Gjetvaj I. (1965): Studija tektonskih linija i vjerojatnosti njihove daljnje aktivnosti na širem području grada Zagreba. »Naftaplin«, Zagreb.
- Nowinska N., Miletić P., Borčić D. & Tufekčić D. (1967): Prilog poznavanju aluvijalnog vodonosnog horizonta na užem području Zagreba. Geol. vjesnik 20, Zagreb.

D. BORČIĆ, A. CAPAR, I. ČAKARUN, K. KOSTOVIĆ,
P. MILETIĆ and D. TUFEKČIĆ

A SUPPLEMENT TO THE STUDY OF THE ALLUVIAL AQUIFER IN THE AREA OF ZAGREB

On the basis of supplementary exploration work and available data, the map of the gravelly-sandy horizon (plate I) and the map of old river beds of Sava (plate II) have been constructed.

It has been established formerly (N. Nowinska and coauthors, 1967) that the boundaries between overburden, aquifer and bottom layers can be determined over the investigated area.

Overburden is of a variable lithological composition—from pure sand, sand with some silt, silty sand all the way towards the sandy and silty stays. Its thickness varies in large proportions too. The greatest thickness has been determined in the most northern part of the terrain ("Dinamo" stadion — 17 m). Generally we find thicknesses of overburden about 7 m. It decreases towards the Sava river, and we find gravel on the surface on its proper site. The thickness repeatedly increases further to the South, but there it attains rarely more than 5 m (G. Čehi, Jakuševac, Kosnica).

It is significant that the thickness of overburden increases in the West — East direction (Podsused 1 m, Mičevac 4 m) along the river bed but the same is true also at some distance from the river site.

The composition of the *gravelly-sandy horizon* changes also in the West — East direction. We have large sized gravel in the western part of the area (Podsused) and toward the East we find (at Šćitarjevo) mostly sands, clayey sands and fine grained gravel. The thickness of the gravelly — sandy horizon changes from the West to East too. At Podsused (factory "Jedinstvo") the thickness is lower than 5 m, but at Šćitarjevo and Črnkovec it attains even more than 100 m. Such a rapid increase in thickness of the aquifer can be explained by existence of a series of faults. These faults predetermined the relief of the bottom layers on which the gravelly-sandy material was deposited. The thickening of the horizon starts to be more accentuated at the eastern side of the fault of the North — South direction — from Šalata to Most Slobode and further towards Mala Mlaka. The largest thickening is found to the East of the fault Novaki—Mičevac—Lomnica.

We can separate two media in the gravelly sandy horizon. They give a totally different response to geoelectrical measurements i. e. they possess quite different values of electrical resistibility.

The determined lenses of the high resistibility layer have been connected on the map, and several channels have been obtained. These are the *old river beds* which have been left over by the river Sava, the latter changing gradually its position in the South — North direction (appendix № 2).

The age of the *bottom layer clay* and silty clay can not be properly determined. However, according to their composition they look similar to outcrops of Pleistocene and Upper Pliocene layers of Zagrebačka gora. This is yellow to grey sandy and silty clay.

The permeability of overburden is low ($k = 10^{-8}$ to 10^{-6}), it is very good for gravelly-sandy horizon ($k = 10^0$ to 10^{-2}) and the bottom layers are practically impermeable ($k = 10^{-6}$ to 10^{-8}).

Received 8th December, 1967.

*Institute of Geology
Zagreb, Kupška 2*

*Institute of General and
Applied Geology, Faculty
of Mines, Geology and Petroleum
Zagreb, Pierottijeva 6*